การจำลองและการทดลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

นายเรืองฤทธิ์ สารางคำ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2551

SIMULATION AND EXPERIMENT ON IMPACT DROP TEST FOR HARD DISK PACKAGING

Ruangrit Sarangkum

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

การจำลองและการทดลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(รศ. ดร.ทวิช จิตรสมบูรณ์)
ประธานกรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล)
กรรมการ

(อ. ดร.กีรติ สุลักษณ์)
กรรมการ

(ศ. ดร.ไพโรจน์ สัตยธรรม)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ ขำพิศ)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

เรืองฤทธิ์ สารางคำ : การจำลองและการทดลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ (SIMULATION AND EXPERIMENT ON IMPACT DROP TEST FOR HARD DISK PACKAGING) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์, 95 หน้า.

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาค่าแรงเนื่องจากความเร่ง (G-Force) ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ในลักษณะการตกกระแทกแบบอิสระ (Free Fall Drop) ซึ่งค่าดังกล่าวถือเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งที่ก่อให้เกิดความเสียหายกับฮาร์ดดิสก์ในขณะขนส่งฮาร์ดดิสก์ไปยังที่ต่าง ๆ ปัจจุบันการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ในภาคอุตสาหกรรมนั้นกระทำได้โดยการส่งบรรจุภัณฑ์ไปทำการทดสอบยังห้องปฏิบัติการต่าง ๆ ทั้งในและต่างประเทศ ส่งผลให้เสียค่าใช้จ่ายในการทดสอบและเวลาในการทดสอบแต่ละครั้งสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาค่าแรงเนื่องจากความเร่งจากการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ ในทิศทางการตกกระแทกจากด้านล่าง ด้านหน้า ด้านข้าง ด้านบน ขอบด้านหน้า ขอบด้านข้าง ขอบแนวดิ่ง มุม จากระดับความสูง 40, 50, 60, 80 ,90 และ 100 เซนติเมตร ในแต่ละทิศทางของการตกกระแทก โดยวิธีการทางไฟไนต์อิลิเมนต์และการทดสอบจริง กล่าวคือการศึกษาการตกกระแทกด้วยวิธีการทางไฟไนต์อิลิเมนต์นั้นใช้โปรแกรม SolidWorks และ COSMOSWorks ช่วยในการสร้างแบบจำลองบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ และใช้ในการวิเคราะห์การตกกระแทก ในส่วนของการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์นั้น ได้ใช้เครื่องทดสอบการตกกระแทก (Drop Tester Machine) ซึ่งเป็นเครื่องที่สร้างขึ้นมาเพื่อทำการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ ทั้งนี้ค่าแรงเนื่องจากความเร่งที่ได้จากทั้งสองวิธีการดังกล่าวนั้นถูกนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อหาค่าความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์จากงานวิจัยนี้ ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้คาดว่าสามารถนำเครื่องทดสอบการตกกระแทกไปใช้ในการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์และบรรจุภัณฑ์อื่นต่อไปได้ และนอกจากนี้วิธีการศึกษาการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ด้วยวิธีการทางไฟไนต์อิลิเมนต์นั้นยังสามารถนำไปใช้เป็นวิธีการหนึ่งในการศึกษาการตกกระแทกนอกเหนือจากการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์จริง

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล | ลายมือชื่อนักศึกษา______________________

ปีการศึกษา 2551 | ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา________________

RUANGRIT SARANGKHUM : SIMULATION AND EXPERIMENT ON IMPACT DROP TEST FOR HARD DISK PACKAGING. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. FLT. LT. KONTORN CHAMNIPRASART, Ph.D., 95 PP.

HARD DISK DRIVE/ FEM/ DROP TEST/ PACKAGING

The aim of research had studied G-Force on the hard disk by free fall impact drop test for hard disk drive packaging. The value regarded important factor causes the damage while hard disk transportation. Nowadays the impact drop test for hard disk drive packaging in industrial is made by sending packaging to both the domestic and foreign of laboratory, causes the high cost and time. This research has the objectives for study G-Force on the hard disk packaging from below, front, side, top, front edge, side edge, vertical edge, corner, from height levels 40, 50, 60, 80, 90 and 100 cm in each the direction of impact drop test by finite element method (FEM) and actually test. The studies impact drop test by finite element method used SolidWorks for created hard disk packaging model and COSMOSWorks program for simulation. Impact drop test for hard disk packaging used drop tester machine. The G-Force values from two methods were compared for seeking the justice value and reliability of the result from this research. The results from this research can be used drop tester machine with other package and the FEM can be used the alternative way for drop test of hard disk drive package and other package also.

School of Mechanical Engineering Student's Signature _________________

Academic Year 2008 Advisor's Signature_________________

กิตติกรรมประกาศ

ความสำเร็จลุล่วงด้วยดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเกิดขึ้นมิได้ ถ้าหากไม่ได้รับความกรุณาจากรองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความรู้ ความช่วยเหลือสนับสนุน ให้คำปรึกษา และชี้แนวทางในการทำวิจัย จนทำให้ผู้วิจัยสามารถฟันฝ่าอุปสรรคต่างๆ ไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความเมตตาของท่าน

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ นาวาอากาศเอก ดร.วรพจน์ ขำพิศ ที่ได้ให้ความรู้และความเข้าใจเกี่ยวกับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ โศรฎา แข็งการ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้คำแนะนำด้านภาษาอังกฤษ และให้การช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณประสิทธิชัย ดำเนินฐิติกิจ วิศวกร และคุณกอบแก้ว ชัยประโคน เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษา และอำนวยความสะดวกสถานที่ในการทดลองและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณ คุณคมสัน ภาษยเดช วิศวกรประจำโรงเครื่องมือกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ซึ่งกรุณาให้ ความช่วยเหลือ และคำแนะนำ ในการสร้างเครื่องมือในการทดสอบ

ขอขอบคุณ คุณสุภาวดี ส่งศรีโรจน์ ที่ให้กำลังใจ คำแนะนำ และให้การช่วยเหลือมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท ฮิตาชิโกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ที่อนุเคราะห์บรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์สำหรับการทดสอบ และข้อมูลการในการทำวิจัย

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่ออุดร - คุณแม่บุญช่วย สารางคำ และคุณสิทธิเดช สารางคำ ที่ให้การเลี้ยงดู อบรมและส่งเสริมการศึกษา เป็นกำลังใจ และให้การช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดมาจนประสบความสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้

เรืองฤทธิ์ สารางคำ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)........ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)........ข
กิตติกรรมประกาศ........ค
สารบัญ........ง
สารบัญตาราง........ช
สารบัญรูป........ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ........ฑ

บทที่

1 บทนำ........1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา........1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย........2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย........3
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย........3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ........6

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง........7

2.1 ความสำคัญของฮาร์ดดิสก์........7
2.2 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์........7
2.3 ชนิดของ HDD........10
2.3.1 ฮาร์ดดิสก์แบบ IDE (Integrate Drive Electronics)........10
2.3.2 ฮาร์ดดิสก์แบบ E-IDE (Enhanced Integrated Drive Electronics)........10
2.3.3 ฮาร์ดดิสก์แบบ SCSI (Small Computer System Interface)........12
2.3.4 ฮาร์ดดิสก์แบบ Serial ATA........13
2.4 สาเหตุของความเสียหายของ HDD........14
2.4.1 แรงกระแทก (shock)........14
2.4.2 การสั่นสะเทือน (vibration)........14

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 แรงจากการตกกระแทก และการวิเคราะห์สัญญาณการตกกระแทก......................15
2.5.1 แรงจากการตกกระแทก......................15
2.5.2 การวิเคราะห์สัญญาณการตกกระแทก......................16
2.6 เครื่องมือที่ใช้วัดการตกกระแทก......................19
2.6.1 Drop Height Sensors......................19
2.6.2 Triaxial accelerometer......................19
2.6.3 เครื่องทดสอบการตกกระแทก (Drop Test Machines)......................21
2.6.4 เครื่องทดสอบการกระแทกอย่างกะทันหันในแนวดิ่ง......................22
2.6.5 Horizontal and Inclined Impact Tester......................24
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบบรรจุภัณฑ์......................24
3 วิธีดำเนินการวิจัย......................28
3.1 การจำลองการตกกระแทกด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์......................28
3.1.1 การทดสอบโปรแกรม COSMOSWorks2007......................28
3.1.2 รูปแบบของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในงานวิจัย......................30
3.1.3 แบบจำลองบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์......................33
3.1.4 ขั้นตอนการจำลองการตกกระแทก......................35
3.2 การทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทก (Drop Tester Machine)......................43
3.2.1 เครื่องทดสอบการตกกระแทก......................43
3.2.2 การทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์......................46
4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล......................51
4.1 ผลการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์......................52
4.1.1 ผลการจำลองการตกกระแทกด้านล่าง......................52
4.1.2 ผลการจำลองการตกกระแทกด้านหน้า......................53
4.1.3 ผลการจำลองการตกกระแทกด้านข้าง......................54
4.1.4 ผลการจำลองการตกกระแทกด้านบน......................55
4.1.5 ผลการจำลองการตกกระแทกขอบด้านหน้า......................56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.6 ผลการจำลองการตกกระแทกขอบด้านข้าง......57
4.1.7 ผลการจำลองการตกกระแทกขอบแนวดิ่ง......59
4.1.8 ผลการจำลองการตกกระแทกของมุม......60
4.2 ผลการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์......61
4.2.1 ผลการทดสอบการตกกระแทกด้านล่าง......61
4.2.2 ผลการทดสอบการตกกระแทกด้านหน้า......62
4.2.3 ผลการทดสอบการตกกระแทกด้านข้าง......62
4.2.4 ผลการทดสอบการตกกระแทกด้านบน......63
4.2.5 ผลการทดสอบการตกกระแทกขอบด้านหน้า......64
4.2.6 ผลการทดสอบการตกกระแทกจากขอบด้านข้าง......65
4.2.7 ผลการทดสอบการตกกระแทกจากขอบแนวดิ่ง......66
4.2.8 ผลการทดสอบการตกกระแทกจากมุม......67
4.3 เปรียบเทียบผลจากการจำลองและการทดสอบ......68
4.4 การอภิปรายผล......78
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ......80
5.1 สรุปผลการวิจัย......80
5.2 ข้อเสนอแนะ......81
รายการอ้างอิง......82
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ COSMOSWorks2007......84
ภาคผนวก ข การทดสอบโปรแกรมวัดแรงเนื่องจากความเร่ง และ Accelerometer......89
ภาคผนวก ค บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่......94
ประวัติผู้เขียน......95

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 รูปแบบการจำลองการตกกระแทก....4

1.2 คุณสมบัติพื้นฐานทางกลศาสตร์ของฮาร์ดดิสก์และวัสดุกันกระแทก....4

3.1 เปรียบเทียบผลการจำลองกับการข้อมูลการทดสอบ....29

3.2 คุณสมบัติของวัสดุ....38

3.3 รูปแบบของการตกกระแทก....39

4.1 แสดงผลที่มากที่สุดจากการจำลองตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จาก การตกกระแทกด้านล่าง....52

4.2 แสดงผลที่มากที่สุดจากการจำลองตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จาก การตกกระแทกด้านหน้า....53

4.3 แสดงผลที่มากที่สุดจากการจำลองตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จาก การตกกระแทกจากด้านข้าง....54

4.4 แสดงผลที่มากที่สุดจากการจำลองตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จาก การตกกระแทกจากด้านบน....55

4.5 แสดงผลที่มากที่สุดจากการจำลองตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จาก การตกกระแทกจากขอบด้านหน้า....57

4.6 แสดงผลที่มากที่สุด จากการจำลองตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จาก การตกกระแทกจากขอบด้านข้าง....58

4.7 แสดงผลที่มากที่สุดจากการจำลองตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จาก การตกกระแทกจากขอบแนวดิ่ง....59

4.8 แสดงผลที่มากที่สุด จากการจำลองตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จาก การตกกระแทกจากมุม....60

4.9 แสดงผล G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกด้านล่าง....61

4.10 แสดงผล G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกด้านหน้า....62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.11 แสดงผล G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกด้านข้าง....63
4.12 แสดงผล G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกด้านบน....63
4.13 แสดงผล G-Force ที่มากที่สุด จากการทดสอบตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกขอบด้านหน้า....64
4.14 แสดงผล G-Force ที่มากที่สุด จากการทดสอบตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกจากขอบด้านข้าง....65
4.15 แสดงผล G-Force ที่มากที่สุด จากการทดสอบตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกจากขอบแนวดิ่ง....66
4.16 แสดงผล G-Force ที่มากที่สุด จากการทดสอบตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกของมุม....67
4.17 ค่าความคลาดเคลื่อน (% error) ของค่า G-Force จากการทดสอบและการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์....73

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 ส่วนประกอบจัดในการเก็บข้อมูลของฮาร์ดดิสก์....................8
2.2 จานแม่เหล็กหรือจานดิสก์ (Platter) พร้อมหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์....................9
2.3 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์....................9
2.4 ลักษณะของฮาร์ดดิสก์แบบ E-IDE....................11
2.5 ลักษณะของฮาร์ดดิสก์แบบสะกัสซี่ (SCSI)....................12
2.6 ลักษณะของฮาร์ดดิสก์แบบ Serial ATA....................13
2.7 การหาค่าการดลจากกราฟแรงและเวลา....................15
2.8 สัญญาณการกระแทก (shock pulse)....................16
2.9 การวิเคราะห์สัญญาณ shock pulse จากความเร่งกับเวลา....................17
2.10 ตัวอย่าง Data Logger/Shock Recorder....................19
2.11 ลักษณะของ Triaxial accelerometer....................20
2.12 ทั้งสามกรณีที่สามารถวัดค่าด้วย Triaxial accelerometer โดยตรง....................20
2.13 เครื่องทดสอบการตกกระแทก....................21
2.14 แสดงตัวอย่างเครื่อง drop test แบบต่างๆ....................22
2.15 เครื่อง vertical shock machine....................23
2.16 เครื่องทดสอบแบบ Inclined Impact Tester....................24
2.17 แบบจำลองทิศทางการตกกระแทกของ K.H. Low, Yuqi Wang, K.H. Hoon and N. Vahdati (2004)....................25
2.18 ผลจากการจำลองการตกกระแทกเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไปของ K.H. Low, Yuqi Wang, K.H. Hoon, and N. Vahdati (2004)....................25
2.19 การทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกของ K.H. Low, Yuqi Wang, K.H. Hoon, and N. Vahdati (2004)....................26
2.20 ผลจากการจำลอง และการวัดการตกกระแทกของ K.H. Low, Yuqi Wang, K.H. Hoon, and N. Vahdati (2004)....................26

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.21 ผลการจำลอง และการวัดการตกกระแทกของ Y.Y. Wang, C.Lu, J. Li,
X.M. Tan and Y.C. Tse (2005)....27
3.1 ฮาร์ดดิสก์ ขนาด 2.5 นิ้ว....30
3.2 กล่องกระดาษบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์....31
3.3 วัสดุกันกระแทกด้านบน....32
3.4 วัสดุกันกระแทกด้านล่าง....32
3.5 รูปร่างฮาร์ดดิสก์ ก) ฮาร์ดดิสก์จริง ข) แบบจำลองของฮารดดิสก์....33
3.6 แบบจำลองวัสดุกันกระแทกด้านบน....34
3.7 แบบจำลองวัสดุกันกระแทกด้านล่าง....34
3.8 การประกอบแบบจำลองบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์....36
3.9 การเลือกวิเคราะห์การตกกระแทก (Drop Test) ของแบบจำลอง
บรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์....37
3.10 การกำหนดทิศทางการตกกระแทก....38
3.11 แบบจำลองการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ ในลักษณะ
การตกกระแทกจาก (ก) ด้านล่าง (ข) ด้านบน (ค) ด้านหน้า (ง) ด้านข้าง....39
3.12 แบบจำลองการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ ในลักษณะ
การตกกระแทกจาก (ก) ขอบด้านหน้า (ข) ขอบด้านข้าง (ค) ขอบแนวดิ่ง (ง) มุม....40
3.13 ตัวอย่างการกำหนดเงื่อนไขการตกกระแทกด้านล่างที่ระดับความสูง 40 ซม....41
3.14 ความสัมพันธ์ของผิวสัมผัสแบบ No penetration ในลักษณะ Node to Surface....42
3.15 ขนาดของเอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิจัย....43
3.16 แบบจำลองเครื่องทดสอบการตกกระแทก (Drop Tester Machine)....44
3.17 เครื่องทดสอบการตกกระแทก (Drop Tester Machine)....45
3.18 หน้าต่างโปรแกรมที่ใช้ในการวัดแรงเนื่องจากความเร่ง....46
3.19 โปรแกรมและลายวงจร (Diagram) ที่ใช้ในการวัดค่าแรงเนื่องจากความเร่ง....47
3.20 เปรียบเทียบความถี่ที่ป้อนให้กับคานกับความถี่ที่ได้จากการโปรแกรม....48
3.21 การติดตั้งสายวัดกับ DAQ และ Accelerometer กับแผ่นอะคริลิก....48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.22 การประกอบแผ่นอะคริลิกที่ติดตั้ง Accelerometer เข้ากับวัสดุกันกระแทก แล้วนำลงกล่อง.....49
3.23 การบรรจุแผ่นอะคริลิกที่ติดตั้ง Accelerometer เข้ากับวัสดุกันกระแทก แล้วนำลงกล่องบรรจุภัณฑ์พร้อมก่อนการปิดผนึก.....49
3.24 บรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ที่พร้อมทำการทดสอบการตกกระแทก.....50
4.1 แสดงผลความเค้นของการตกกระแทกด้านล่าง (Bottom) จากความสูง 90 cm.....51
4.2 ค่าความเค้น และแรงเนื่องจากความเร่ง ที่มากที่สุดของการจำลองการตกกระแทก ของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกด้านล่าง.....53
4.3 ค่าความเค้น และแรงเนื่องจากความเร่ง ที่มากที่สุดของการจำลองการตกกระแทก ของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกด้านหน้า.....54
4.4 ค่าความเค้น และแรงเนื่องจากความเร่ง ที่มากที่สุดของการจำลองการตกกระแทก ของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกด้านข้าง.....55
4.5 ค่าความเค้น และแรงเนื่องจากความเร่ง ที่มากที่สุดของการจำลองการตกกระแทก ของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกด้านบน.....56
4.6 ค่าความเค้น และแรงเนื่องจากความเร่งที่มากที่สุดของการจำลองการตกกระแทก ของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกขอบด้านหน้า.....57
4.7 ค่าความเค้น และแรงเนื่องจากความเร่งที่มากที่สุดของการจำลองการตกกระแทก ของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกขอบด้านข้าง.....58
4.8 ค่าความเค้น และแรงเนื่องจากความเร่งที่มากที่สุดของการจำลองการตกกระแทก ของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกขอบแนวดิ่ง.....59
4.9 ค่าความเค้น และแรงเนื่องจากความเร่งที่มากที่สุดของการจำลองการตกกระแทก ของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกมุม.....60
4.10 ค่า G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบการตกกระแทกของด้านล่างบรรจุภัณฑ์ ฮาร์ดดิสก์.....61
4.11 ค่า G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบการตกกระแทกของด้านหน้าบรรจุภัณฑ์ ฮาร์ดดิสก์.....62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.12 ค่า G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบการตกกระแทกของด้านข้างบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์.....63
4.13 ค่า G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบการตกกระแทกด้านบนของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์.....64
4.14 ค่า G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบการตกกระแทกขอบด้านหน้าของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์.....65
4.15 ค่า G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบการตกกระแทกขอบด้านข้างของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์.....66
4.16 ค่า G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกจากขอบแนวดิ่ง.....67
4.17 ค่า G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบการตกกระแทกที่มุมบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์.....68
4.18 เปรียบเทียบผล G-Force (G) ที่มากที่สุดจากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกจากด้านล่างของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์.....69
4.19 เปรียบเทียบผล G-Force (G) ที่มากที่สุดจากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกจากด้านหน้าของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์.....69
4.20 เปรียบเทียบผล G-Force (G) ที่มากที่สุดจากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกจากด้านข้างของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์.....70
4.21 เปรียบเทียบผล G-Force (G) ที่มากที่สุดจากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกจากด้านบนของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์.....70
4.22 เปรียบเทียบผล G-Force (G) ที่มากที่สุดจากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกจากขอบด้านหน้าของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์.....71
4.23 เปรียบเทียบผล G-Force (G) ที่มากที่สุดจากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกจากขอบด้านข้างของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์.....71
4.24 เปรียบเทียบผล G-Force (G) ที่มากที่สุดจากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกจากขอบแนวดิ่งของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์.....72
4.25 เปรียบเทียบผล G-Force (G) ที่มากที่สุดจากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกของมุมบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์.....72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.26 ความถี่ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทก ด้านล่างของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์......74

4.27 ความถี่ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทก ด้านหน้าของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์......75

4.28 ความถี่ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทก ด้านข้างของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์......75

4.29 ความถี่ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทก ด้านบนของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์......76

4.30 ความถี่ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทก ขอบด้านหน้าของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์......76

4.31 ความถี่ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทก ขอบด้านข้างของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์......77

4.32 ความถี่ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทก ขอบแนวดิ่งของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์......77

4.33 ความถี่ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทก มุมของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์......78

4.34 G-Force ที่มากที่สุดจากการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ ในทิศทางการตกกระแทกต่างๆ......79

4.35 G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ ในทิศทางการตกกระแทกต่างๆ......79

ก.1 เอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งทรงสี่หน้า......86

ก.2 โมเดลเอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งทรงสี่หน้า......86

ก.3 แรงเนื่องจากความเร่งจากที่ HDD จากการตกกระแทกด้านล่างที่ความสูง 90 cm......88

ก.4 ความเค้นจากการตกกระแทกด้านล่างที่ความสูง 90 cm......88

ข.1 เครื่องทดสอบการสั่นระบบคานเดียวที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม......90

ข.2 Accelerometer ที่ใช้ในการวัดค่าแรงเนื่องจากความเร่งในงานวิจัย......90

ข.3 ผลการทดสอบโปรแกรมวัดค่าแรงเนื่องจากความเร่ง......92

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

HDD	=	ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Hard Disk Drive)
FEA	=	Finite Element Analysis
DAQ	=	Data Acquisition
IDE	=	Integrate Drive Electronics
E-IDE	=	Enhanced Integrated Drive Electronics
SCSI	=	Small Computer System Interface
rpm	=	revolution per minute
DOF	=	ระดับขั้นความอิสระ
σ_{max}	=	ค่าความเค้นหลักสูงสุด
G	=	แรงเนื่องจากความเร่ง
G_X	=	แรงเนื่องจากความเร่งในแนวแกน x
G_Y	=	แรงเนื่องจากความเร่งในแนวแกน y
G_Z	=	แรงเนื่องจากความเร่งในแนวแกน z
V	=	ความเร็ว (m/s)
ΔV	=	การเปลี่ยนแปลงความเร็ว (m/s)
g	=	แรงโน้มถ่วงของโลก $g = 9.81$ m/s^2
t	=	เวลา (ms)
mV	=	มิลลิโวลต์
E	=	ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)
ν	=	อัตราส่วนปัวส์ซอง (Poisson’s ratio)
Hz	=	หน่วยค่าความถี่ของสัญญาณ
m	=	เมตร
cm	=	เซนติเมตร
mm	=	มิลลิเมตร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเทคโนโลยีในด้านต่าง ๆ ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็วและมีการแข่งขันกันในแต่ละบริษัทสูงมาก ทำให้แต่ละบริษัทได้นำเทคโนโลยีที่ทันสมัยอย่างคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการจัดเก็บข้อมูลทางการค้า นอกจากนี้คอมพิวเตอร์ยังเป็นเครื่องใช้ไฟฟ้าที่ได้รับความนิยมอย่างมากกับบุคคลทั่วไป เนื่องจากคอมพิวเตอร์ในทุกวันนี้มีราคาถูกลงอันเนื่องมาจากการแข่งขันกันที่มากขึ้นของบริษัทผู้ผลิตรายต่าง ๆ และความสามารถของเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตสูงขึ้นสามารถทำให้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์แต่ละอย่างมีขนาดเล็กลงแต่ความสามารถในการทำงานมากขึ้น

บริษัทผู้ผลิตรายใหญ่ ที่มีอยู่ในท้องตลาด ล้วนแล้วแต่นำชิ้นส่วนต่าง ๆ ของคอมพิวเตอร์จากผู้ผลิตมาทำการประกอบเป็นคอมพิวเตอร์ กล่าวคือ บริษัทที่ผลิตและ/หรือจำหน่ายคอมพิวเตอร์เพื่อนำออกขายในท้องตลาดนั้นไม่ได้ผลิตอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของคอมพิวเตอร์ทุกชิ้นส่วน แต่จะสั่งอุปกรณ์จากบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์นั้น ๆ มาประกอบแล้วส่งขายต่อไป ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Hard Disk Drive, HDD) เป็นอุปกรณ์ชิ้นหนึ่งที่สำคัญของคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่เป็นหน่วยความจำถาวร เอาไว้ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลต่าง ๆ การที่บริษัทผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์นำส่งฮาร์ดดิสก์ให้กับลูกค้านั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องระมัดระวังเรื่องของความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ก่อนที่จะส่งถึงมือลูกค้า โดยสาเหตุสำคัญของความเสียหายทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระหว่างการขนส่งกับฮาร์ดดิสก์นั้นพบว่าเกิดจากความไม่เหมาะสมของบรรจุภัณฑ์ ความสูงของการตกกระแทก ลักษณะของการตกกระแทก ทั้งนี้สาเหตุเกิดมาจากการที่ได้แรงกระทำจากการกระแทก ด้วยเหตุผลนี้ทำให้มีการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่จะทำการบรรจุและรองรับการกระแทกในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อให้เหมาะสมกับรูปแบบของฮาร์ดดิสก์ และมีราคาถูกที่สุด

ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการบรรจุและรองรับการกระแทกที่ออกแบบมานั้น ต้องผ่านการทดสอบว่าสามารถรับแรงกระแทกแล้วก่อให้เกิดแรงกระทำกับฮาร์ดดิสก์ปริมาณเท่าใดที่จะไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับฮาร์ดดิสก์ ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการทดสอบนั้นปัจจุบันนิยมที่จะทำอยู่ด้วยกัน 2 วิธี (K.H. Low, Aiqiang Yang, K.H. Hoom, Xinwie Zhang, Judy K.T. Lim, and K.L. Lim (2001), K.H. Low, Yuqi Wang, K.H. Hoon, and W.K. Wai (2004), Y.Y. Wang, C. Lu, J. Li, and X.M. Tan Y.C. Tse (2005)) คือ

1.1.1 การทดสอบกับเครื่องทดสอบการตกกระแทก (Drop Tester Machine)

1.1.2 การจำลองการตกกระแทกโดยโปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์อิลิเมนต์ (finite element)

ปัจจุบันนี้ในการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ในประเทศไทยนั้นยังไม่มีการทดสอบโดยการจำลองการตกกระแทกด้วยโปรแกรมทางไฟไนต์อิลิเมนต์ ทั้งนี้เนื่องจากยังไม่ได้รับการยอมรับถึงความถูกต้อง ในการจำลองการกระตกกระแทกด้วยโปรแกรมทางไฟไนต์อิลิเมนต์ และมีความสลับซับซ้อนในการจำลองการตกกระแทก จึงทำให้การทดสอบในปัจจุบันทำได้เพียงการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกโดยตรง ซึ่งในการทดสอบนั้นไม่ว่าจะเป็นการทดสอบด้วยโปรแกรมทางไฟไนต์อิลิเมนต์หรือการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทก ทั้งสองวิธีนี้ ส่วนใหญ่แล้วจะทำการส่งผลิตภัณฑ์ไปทำการทดสอบยังต่างประเทศ เช่น ญี่ปุ่น สิงคโปร์ และสหรัฐอเมริกา ทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายสูงในการทดสอบแต่ละครั้ง (Hitachi Global Storage Technologies (Thailand) Company Limited, 2006) นอกจากนี้ข้อมูลที่เกี่ยวกับการทดสอบลักษณะนี้ ปัจจุบันพบได้น้อยทั้งนี้เพราะเป็นข้อมูลทางการค้าของแต่ละบริษัท ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นเสมือนจุดเริ่มต้นให้กับนักวิจัยกลุ่มอื่นที่สนใจในลักษณะการศึกษาด้านการทดสอบบรรจุภัณฑ์ ไม่ว่าจะเป็นการทดสอบทางด้านอาหารหรือบรรจุภัณฑ์ประเภทอื่นในอนาคตได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์หลัก

1.2.1 จำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์อิลิเมนต์ COSMOSWork2007 เพื่อหาแรงเนื่องจากความเร่งที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ในขณะที่ตกกระแทก

1.2.2 สร้างเครื่องทดสอบการตกกระแทก เพื่อทดลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์และสามารถนำไปใช้ทดสอบผลิตภัณฑ์อื่นได้

1.2.3 ทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จริงด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทก เพื่อหาแรงเนื่องจากความเร่งที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ในขณะที่ตกกระแทก

วัตถุประสงค์รอง

1.2.1 สร้างองค์ความรู้ด้านบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ ให้กับภาคอุตสาหกรรม

1.2.2 ลดค่าใช้จ่ายในการทดสอบบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ของบุคคลากรหรือองค์กรทางด้านนี้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 กำหนดให้ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในงานวิจัยเป็นวัสดุเนื้อเดียวกัน (Isometric material)

1.3.2 ขนาดของฮาร์ดดิสก์ที่ใช้เป็นฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้วเท่านั้น

1.3.3 ในการจำลองการตกกระแทกจะทำการจำลองในลักษณะที่ฮาร์ดดิสก์ประกอบกับวัสดุกันกระแทกเท่านั้น ไม่พิจารณากล่องกระดาษที่ใช้ในการบรรจุ

1.3.4 ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์จะแทนด้วยอะคริลิก สำหรับการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทก โดยประกอบอะคริลิกจำนวน 20 อัน เข้ากับวัสดุกันกระแทกแล้วบรรจุลงในกล่องกระดาษก่อนทำการทดสอบ

1.3.5 ไม่พิจารณาผลกระทบของความชื้นและอุณหภูมิ

1.3.6 พิจารณาการเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้น (elastic deformation) เท่านั้น

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยในส่วนของงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ระเบียบวิธีวิจัย สถานที่ทำการวิจัย และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.4.1 ระเบียบวิธีวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัย จะแบ่งเป็นลำดับขั้นตอนดังนี้

1.4.1.1 การศึกษาและทดสอบโปรแกรม COSMOSWorks2007

1.4.1.2 การจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

1.4.1.3 การสร้างเครื่องทดสอบการตกกระแทก

1.4.1.4 การทดลองการตกกระแทกจริงของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

1.4.1.5 การวิเคราะห์และสรุปผล

โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1.4.1.1 การศึกษาและทดสอบโปรแกรม COSMOSWorks2007

โปรแกรม COSMOSWorks2007 เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการแก้ปัญหาด้วยวิธีการทางไฟไนต์อิลิเมนต์ โดยที่โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ COSMOSWorks2007 เป็นโปรแกรมย่อยของโปรแกรม SolidWorks2007 ซึ่งมีเครื่องมือในการวิเคราะห์ปัญหาด้านการตกกระแทก (drop test) แบบตกกระแทกอิสระ (free fall drop) ทั้งนี้กระบวนการการทำงานของโปรแกรม COSMOSWorks2007 นั้น เริ่มต้นจากการขึ้นรูปแบบจำลองชิ้นส่วนประกอบของบรรจุภัณฑ์

ฮาร์ดดิสก์ และประกอบแบบจำลองฮาร์ดดิสก์ด้วยโปรแกรม SolidWorks2007 จากนั้นนำเข้าโปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์ COSMOSWorks2007 เพื่อทำการวิเคราะห์และแสดงผลต่อไป

1.4.1.2 การจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

ทำการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์โดยกำหนดให้มีลักษณะการตกกระแทก 8 รูปแบบดังตารางที่ 1.1 และมีค่าคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของวัสดุดังตารางที่ 1.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 1.1 รูปแบบการจำลองการตกกระแทก

ส่วนประกอบ	**จำนวน**	**รายละเอียด**	**ระดับความสูง**
ผิว/ด้าน	4	ด้านประกอบของกล่องบรรจุทั้ง 4 ด้านคือ ด้านหน้า ด้านบน ด้านล่างและ ด้านข้างขวา	40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm
ขอบ	3	ด้านประกอบทั้ง 3 ของมุมที่ทดสอบ	40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm
มุม	1	มุมกล่องที่ประกอบจากขอบทั้ง 3 ขอบ	40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm

ตารางที่ 1.2 คุณสมบัติพื้นฐานทางกลศาสตร์ของฮาร์ดดิสก์และวัสดุกันกระแทก

ฮาร์ดดิสก์ (HDD)	**วัสดุกันกระแทก**
Elastic Modulus = 137.9 GPa Poisson ratio = 0.3 Mass Density = 1410 kg/m^3	Elastic Modulus = 1.7x10^3 MPa Poisson ratio = 0.4101 Shear Modulus = 377.2 Mpa Mass Density = 952 kg/m^3 Tensile Strength = 21.1 MPa

1.4.1.3 การสร้างเครื่องทดสอบการตกกระแทก

การสร้างเครื่องทดสอบการตกกระแทก โดยศึกษาจากเครื่องทดสอบที่มีอยู่แล้วในท้องตลาด แล้วหาวิธีสร้างใหม่ให้สามารถทำงานได้ในระดับเบื้องต้น ภายใต้งบประมาณที่น้อยที่สุด แต่ยังคงความสามารถในการทดสอบการตกกระแทกในลักษณะต่าง ๆ ตามที่ต้องการและมีความถูกต้องของผลลัพธ์

1.4.1.4 การทดลองการตกกระแทกจริงของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

ติดอุปกรณ์วัดค่าความเร่ง (Accelerometer) เข้ากับชิ้นงานตามที่ต้องการ แล้วทำการทดสอบการตกในลักษณะที่กำหนดโดยต่อสัญญาณที่ได้จากอุปกรณ์วัดค่าความเร่งเข้ากับโปรแกรมการวัด ซึ่งถูกเขียนขึ้นจากโปรแกรม LabVIEW ในการทดสอบนั้นจะทำการทดสอบทั้ง 8 รูปแบบ ดังแสดงในตารางที่ 1.1 บันทึกผลที่ได้เพื่อนำไปสู่ขั้นตอนต่อไป

1.4.1.5 การวิเคราะห์และสรุปผล

นำผลที่ได้จากการทดสอบด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ COSMOSWorks2007 และจากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทก ของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์มาเปรียบเทียบผลที่ได้ว่าสอดคล้องกันหรือไม่ และนำผลไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากทางบริษัทที่ได้ทำการทดสอบไว้ เพื่อนำไปสู่ขั้นตอนการปรับปรุงและพัฒนาต่อไป

1.4.2 สถานที่ทำการวิจัย

ใช้สถานที่ ห้องทำงานบัณฑิตศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล อาคารศูนย์เครื่องมือและวิทยาศาสตร์ 4 และห้องปฏิบัติการวิศวกรรมการผลิต อาคารศูนย์เครื่องมือและวิทยาศาสตร์ 6 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1.4.3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการจำลองการตกกระแทก

1.4.3.1.1 คอมพิวเตอร์ที่มี LAN Card

1.4.3.1.2 หน่วยความจำชั่วคราวอย่างน้อย 256 Mb

1.4.3.1.3 หน่วยความจำถาวรเพื่อเก็บข้อมูลอย่างต่ำ 3 Gb

1.4.3.1.4 ระบบปฏิบัติการ Windows XP

1.4.3.1.5 โปรแกรม SolidWorks2007 และโปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ COSMOSWorks2007

1.4.3.1.6 เครื่องพิมพ์

1.4.3.2 เครื่องมือ/อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการตกกระแทก

1.4.3.2.1 Hard Disk Drive (HDD) ขนาด 2.5 นิ้ว

1.4.3.2.2 Accelerometer แบบ 3 แกน

1.4.3.2.3 โปรแกรมการวัด LabVIEW และชุดอุปกรณ์การวัดซึ่งประกอบไปด้วย DAQ Card, Connecting box และ สายเชื่อมต่อระหว่าง DAQ Card กับ Connecting box

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 การจำลองการตกกระแทกด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ทางไฟไนต์อิลิเมนต์ COSMOSWorks2007 แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มและผลของแรงเนื่องจากความเร่งที่จะเกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ ในกล่องบรรจุภัณฑ์ จากระดับความสูงต่าง ๆ ของการตกกระแทก เพื่อนำไปสู่การพัฒนาบรรจุภัณฑ์และหาวิธีการป้องกัน

1.5.2 เป็นการลดค่าใช้จ่ายและเวลาที่ใช้ในการนำชิ้นงานไปทำการทดสอบยังต่างประเทศหรือห้องทดสอบขนาดใหญ่ ที่ใช้งบประมาณในการทดสอบต่อครั้งสูง

1.5.3 สามารถนำเครื่องทดสอบการตกกระแทกที่ได้จากการสร้างเพื่อใช้ในการทดสอบครั้งนี้ไปให้นักศึกษาหรือบุคคลที่สนใจนำไปใช้ทดสอบอย่างอื่น และยังสามารถนำไปเป็นต้นแบบในการประยุกต์ใช้กับบรรจุภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ ได้

1.5.4 เพิ่มพูนความรู้ในทางวิศวกรรม ประสบการณ์การทำงานตลอดจนระเบียบวิธีวิจัยอันจะนำไปสู่การพัฒนางานวิจัยในด้านอื่น ๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อส่วนรวมต่อไป

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญของฮาร์ดดิสก์

ฮาร์ดดิสก์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูลและโปรแกรมต่าง ๆ ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ระยะแรกใช้ชื่อว่า ฟิกส์ดิสก์ (Fixed disks) ซึ่งหลายท่านยังใช้เรียกกันอยู่ ต่อมาได้เปลี่ยนชื่อเป็น ฮาร์ดดิสก์ เพื่อให้มีความแตกต่างจากฟล็อปปี้ดิสก์ (Floppy disk) ซึ่งฮาร์ดดิสก์สามารถบันทึกและลบข้อมูลต่าง ๆ ได้หลายครั้ง โดยที่การทำงานของฮาร์ดดิสก์จะเก็บข้อมูลในรูปแบบแทรคส์ (Track) และเซคเตอร์ (Sector) ซึ่งแทรคส์จะเป็นลักษณะวงกลมซ้อนกันหลายชั้น ส่วนเซคเตอร์จะเป็นส่วนแบ่งส่วนหนึ่งของวงแทรคส์ในแต่ละแทรคส์ ดังนั้นในหนึ่งแทรคส์ก็จะมีหลายเซคเตอร์การที่ฮาร์ดดิสก์สามารถบันทึกและลบข้อมูลได้นั้นใช้หลักการทำงานของสารแม่เหล็กที่สามารถลบหรือเขียนได้ใหม่อยู่ตลอดเวลา ซึ่งแต่ก่อนมีพื้นที่ในการเก็บข้อมูลไม่มาก แต่ทุกวันนี้มีพื้นที่ในการเก็บข้อมูลมากจนไม่จำเป็นต้องใช้ฮาร์ดดิสก์หลายตัวในเครื่องคอมพิวเตอร์หนึ่งเครื่อง

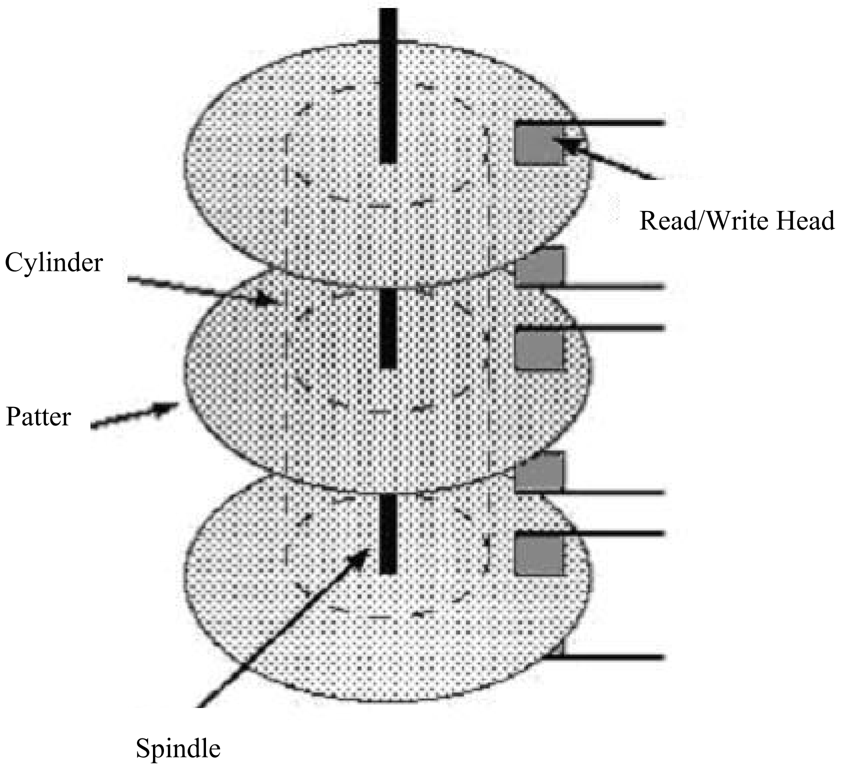
2.2 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์

ฮาร์ดดิสก์มีส่วนประกอบที่เป็นจานแม่เหล็กหรือจานดิสก์ (Platter) ซึ่งออกแบบมาสำหรับบันทึกข้อมูล โดยขึ้นอยู่กับสถาปัตยกรรมในการออกแบบด้วยว่าได้มีการกำหนดให้มีขนาดความจุต่อแผ่นเท่าใด และในฮาร์ดดิสก์แต่ละรุ่นจะต้องใช้จำนวนแผ่นเท่าใด ซึ่งจานแม่เหล็กมีลักษณะเป็นทรงกลม และมีมอเตอร์สำหรับควบคุมการหมุนของจานดิสก์ (Spindle) โดยอัตราความเร็วในการหมุน ณ วันนี้ถูกจัดหมวดออกเป็น 5400, 7,200 และ 10,000 รอบต่อนาที (rpm) ซึ่งถ้าจำนวนรอบในการหมุนของจานดิสก์มีระดับความถี่ที่สูง จะส่งผลให้สามารถเข้าถึงข้อมูลได้รวดเร็วยิ่งขึ้นตามไปด้วย

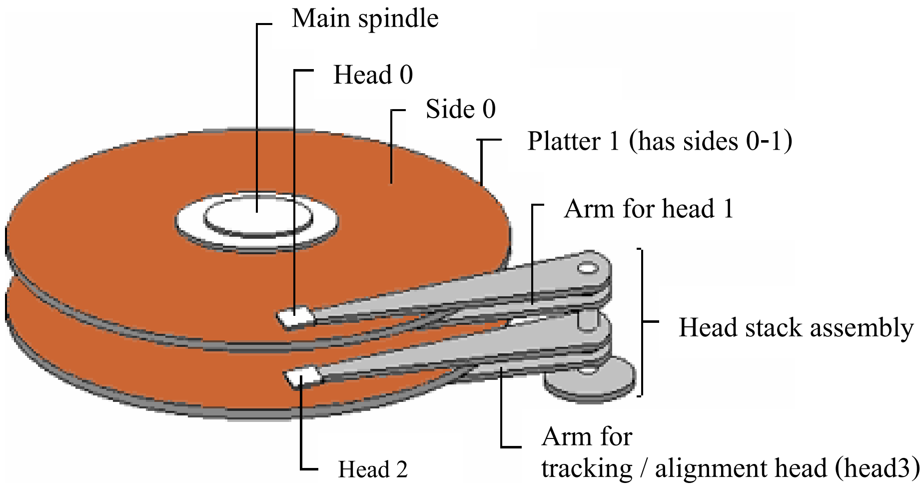
ในส่วนของลักษณะการอ่านเขียนข้อมูลภายในไดร์ฟนั้น มีสิ่งสำคัญคือหัวอ่านเขียน (Read/Write Head) โดยหัวอ่านเขียนจะมีจำนวนเท่าใดนั้นขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนจานดิสก์ด้วย สำหรับหัวอ่านเขียนข้อมูลนั้นเป็นอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่ไปบนจานดิสก์ โดยเว้นระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับจานดิสก์อย่างคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2 ซึ่งหากฮาร์ดดิสก์ได้รับการกระทบกระเทือนจนระยะห่างระหว่างหัวอ่านเขียนกับจานดิสก์ผิดเพี้ยนไป จะทำให้ฮาร์ดดิสก์ไม่สามารถทำงานได้ แต่ปัจจุบันฮาร์ดดิสก์รุ่นใหม่ ๆ ได้มีการออกแบบจุดพักหัวอ่านเขียนไว้ด้านข้างเพื่อกันการกระแทกบนจานดิสก์ นอกจากนี้ด้านหลังของตัวไดร์ฟยังประกอบไปด้วยหน้าสัมผัส

(interface) ซึ่งเป็นช่องสำหรับเชื่อมต่อกับสายสัญญาณประเภทต่าง ๆ แบ่งได้ตามชนิดของฮาร์ดดิสก์ เช่น ฮาร์ดดิสก์แบบติดตั้งภายในมีหน้าสัมผัสแบบ IDE, SCSI และ Serial ATA และฮาร์ดดิสก์แบบติดตั้งภายนอกมักมีหน้าสัมผัสแบบ USB และ Fire wire ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งทั้งสองแบบนั้นจำเป็นต้องมีช่องสำหรับต่อเข้ากับแหล่งจ่ายไฟเพื่ออาศัยพลังงานในการหล่อเลี้ยงอยู่เสมอด้วย

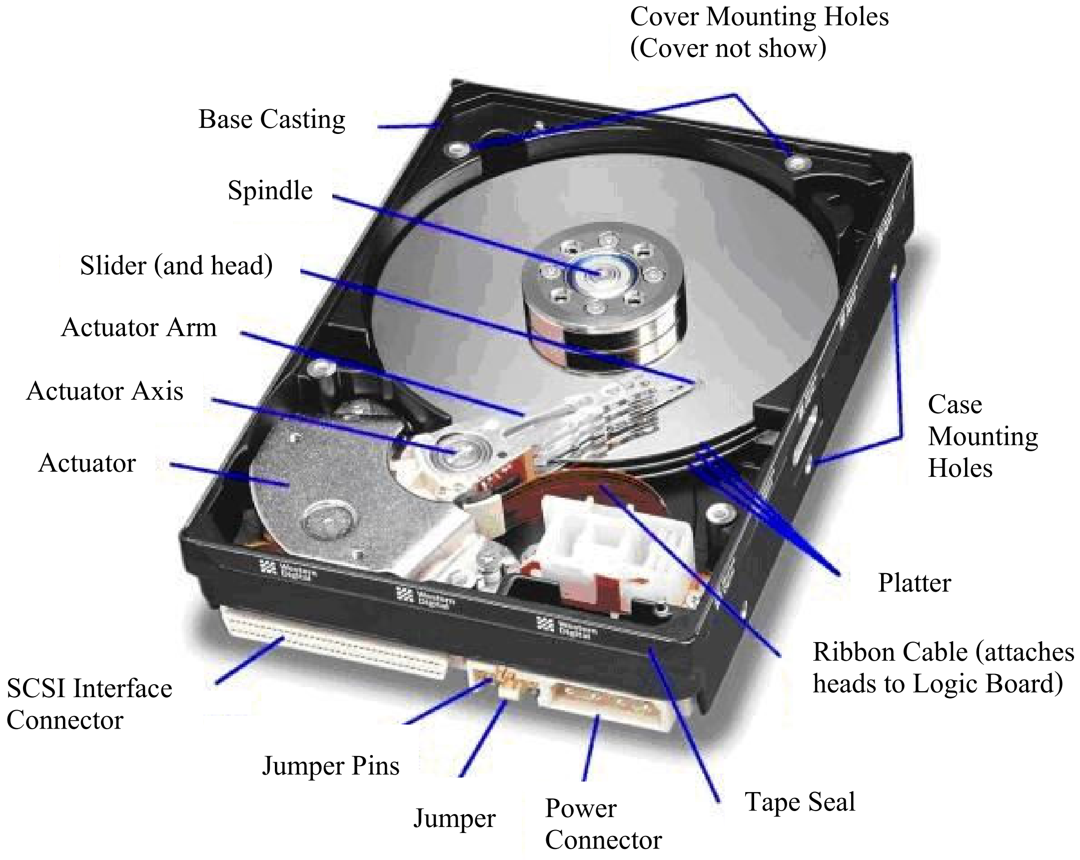
Anatomy of Winchester Disk



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบจัดในการเก็บข้อมูลของฮาร์ดดิสก์



รูปที่ 2.2 จานแม่เหล็กหรือจานดิสก์ (Platter) พร้อมหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์

2.3 ชนิดของ HDD

การแบ่งชนิดของฮาร์ดดิสก์เมื่อพิจารณาตามการเชื่อมต่อจากหน้าสัมผัสสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชนิด ดังต่อไปนี้

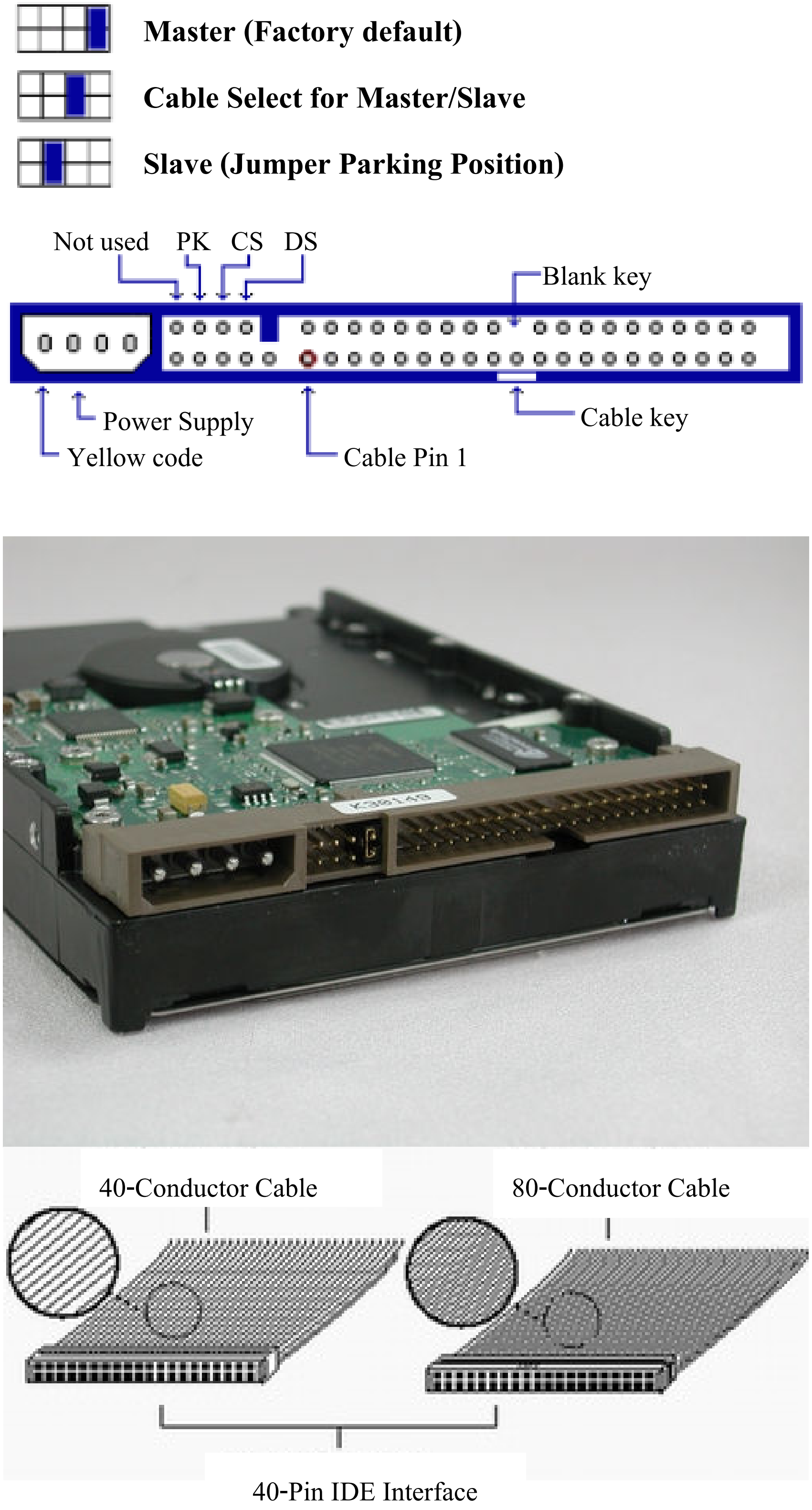
2.3.1 ฮาร์ดดิสก์แบบ IDE (Integrate Drive Electronics)

ฮาร์ดดิสก์แบบ IDE เป็นส่วนประสาน (interface) รุ่นเก่า ที่มีการเชื่อมต่อโดยใช้สายแพขนาด 40 เส้น โดยสายแพ 1 เส้น สามารถต่อฮาร์ดดิสก์ได้ 2 ตัว บนเมนบอร์ด (Mainboard) มีขั้วต่อ IDE อยู่ 2 ขั้วด้วยกัน ทำให้สามารถพ่วงต่อฮาร์ดดิสก์ได้สูงสุด 4 ตัว มีความเร็วสูงสุดในการถ่ายโอนข้อมูลอยู่ที่ 8.3 เมกะไบต์/วินาที สำหรับขนาดความจุนั้นมีเพียงแค่ 504 เมกะไบต์ (MB) เท่านั้น

2.3.2 ฮาร์ดดิสก์แบบ E-IDE (Enhanced Integrated Drive Electronics)

ฮาร์ดดิสก์แบบ E-IDE ได้รับการพัฒนามาจากฮาร์ดดิสก์ประเภท IDE ด้วยสายแพขนาด 80 เส้น ผ่านตัวเชื่อมต่อสัญญาณ (connector) 40 ขาเช่นเดียวกันกับ IDE ซึ่งช่วยเพิ่มศักยภาพในการทำงานให้มากขึ้น โดยฮาร์ดดิสก์ที่ทำงานแบบ E-IDE นั้นจะมีขนาดความจุที่สูงกว่า 504 MB และความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลที่สูงขึ้น โดยสูงถึง 133 เมกะไบต์/วินาที ดังแสดงในรูปที่ 2.4

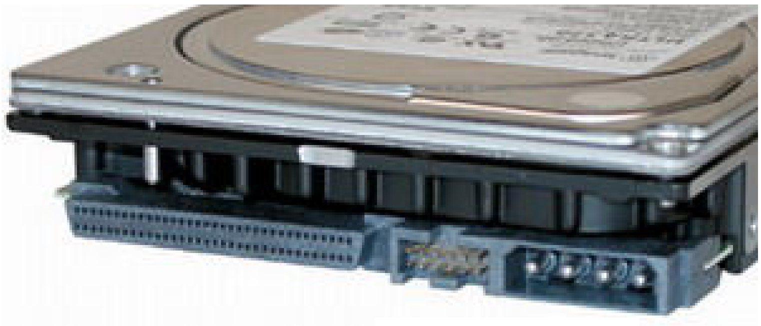
วิธีการรับส่งข้อมูลของฮาร์ดดิสก์แบบ E-IDE นั้นยังแบ่งออกเป็นหลายแบบ ทั้ง PIO (Programmed Input Output) และ DMA (Direct Memory Access) โหมด PIO เป็นการรับส่งข้อมูลโดยผ่านการประมวลผลของซีพียู (CPU) คือรับข้อมูลจากฮาร์ดดิสก์เข้ามายังซีพียูหรือส่งข้อมูลจากซีพียูไปยังฮาร์ดดิสก์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการทำงานของฮาร์ดดิสก์แบบ E-IDE นั้นมีความเกี่ยวข้องกับซีพียู ดังนั้นจึงไม่เหมาะในลักษณะงานที่ต้องการเข้าถึงข้อมูลในฮาร์ดดิสก์บ่อยครั้งหรือการทำงานหลาย ๆ งานพร้อมกันในเวลาเดียวที่เรียกว่า สิ่งแวดล้อมหลายภารกิจ (multitasking environment) ซึ่งการที่ต้องเข้าถึงข้อมูลในฮาร์ดดิสก์บ่อยครั้งนั้น มีผลให้ความสามารถในการทำงานโดยรวมของระบบต่ำลง ซึ่งวิธีการส่งข้อมูลแบบ DMA จะอนุญาตให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ส่งผ่านข้อมูลหรือติดต่อไปยังหน่วยความจำหลัก (RAM) ได้โดยตรงโดยไม่ต้องติดต่อไปที่ซีพียูก่อนเหมือนกระบวนการทำงานปกติ ประโยชน์ของการวิธีการส่งข้อมูลแบบ DMA เห็นได้ชัดเจน เพราะเมื่อซีพียูสามารถมุ่งมั่นกับงานของตนเองให้เสร็จโดยไม่ต้องพะวงว่าจะถูกสะกิดรบกวนจากฮาร์ดดิสก์ให้ช่วยทำงาน ซึ่งสามารถทำให้ซีพียูจัดการงานได้รวดเร็วขึ้น ส่งผลให้ระบบโดยรวมมีความเร็วสูงขึ้นตามไปด้วย

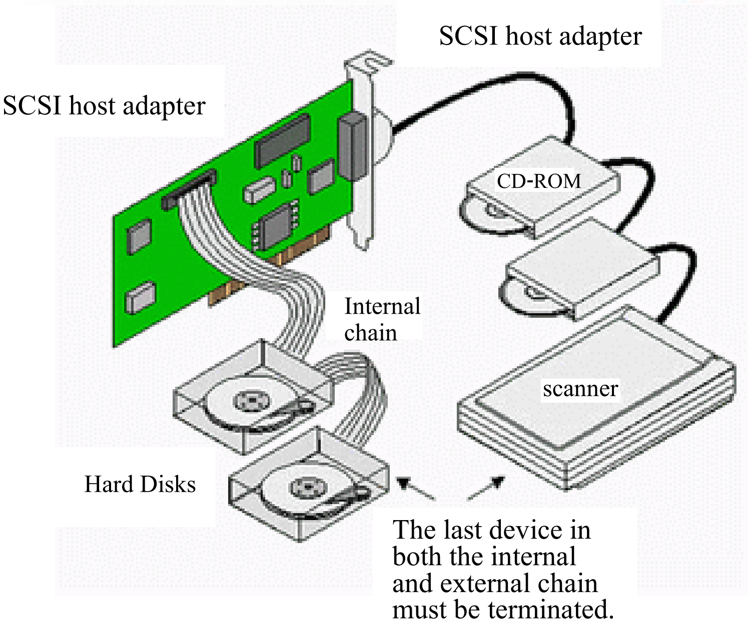


รูปที่ 2.4 ลักษณะของฮาร์ดดิสก์แบบ E-IDE

2.3.3 ฮาร์ดดิสก์แบบ SCSI (Small Computer System Interface)

ฮาร์ดดิสก์แบบสะกัสซี่ (SCSI) เป็นฮาร์ดดิสก์ที่มี interface ที่แตกต่างจาก E-IDE โดยฮาร์ดดิสก์แบบ SCSI จะมีการ์ดสำหรับควบคุมการทำงานโดยเฉพาะซึ่งเรียกว่า การ์ด SCSI สำหรับความสามารถของการ์ด SCSI นั้นสามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ที่มีการทำงานแบบ SCSI ได้ถึง 7 ชิ้นอุปกรณ์ด้วยกัน ผ่านสายแพแบบ SCSI โดยที่อัตราความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์แบบ SCSI มีความเร็วสูงสุดถึง 320 เมกะไบต์/วินาที รวมถึงกำลังรอบในการหมุนของจานดิสก์นั้น ปัจจุบันแบ่งเป็น 10,000 และ 15,000 rpm ซึ่งมีความเร็วที่มากกว่าประเภท E-IDE ส่งผลให้ราคาของฮาร์ดดิสก์ประเภทนี้มีราคาที่แพง โดยส่วนใหญ่จะนำฮาร์ดดิสก์แบบ SCSI มาใช้กับงานด้านเครือข่าย (server) เท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5





รูปที่ 2.5 ลักษณะของฮาร์ดดิสก์แบบสะกัสซี่ (SCSI)

2.3.4 ฮาร์ดดิสก์แบบ Serial ATA

ฮาร์ดดิสก์แบบ Serial ATA นั้นเป็นฮาร์ดดิสก์ที่กำลังได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน ทั้งนี้เพราะการเชื่อมต่อในลักษณะ E-IDE นั้นมีปัญหาในเรื่องของความเร็วที่ไม่สามารถพัฒนาให้มีความเร็วเท่ากับฮาร์ดดิสก์แบบ SCSI ได้ ด้วยเหตุนี้ส่งผลให้ผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์หันมาให้ความสนใจเทคโนโลยีต่อเชื่อมรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า Serial ATA โดยที่ฮาร์ดดิสก์แบบ Serial ATA นั้นให้อัตราความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลขั้นแรก 150 เมกะไบต์/วินาที โดยเทคโนโลยี Serial ATA นี้ถูกพัฒนาขึ้นโดยกลุ่มผู้พัฒนา Serial ATA ซึ่งได้เผยข้อกำหนดคุณสมบัติสำหรับ Serial ATA 1.0 ขึ้น ด้วยคาดหวังว่าจะสามารถขยายช่องสัญญาณ (bandwidth) ในการส่งผ่านข้อมูลได้เพิ่มขึ้นถึง 2-3 เท่า และยังรองรับข้อมูลได้มากยิ่งขึ้น ไม่เฉพาะฮาร์ดดิสก์เพียงเท่านั้นที่มีการเชื่อมต่อในรูปแบบนี้ แต่ยังรวมไปถึงอุปกรณ์ตัวอื่น ๆ อีกด้วย และด้วยการพัฒนาของฮาร์ดดิสก์แบบ Serial ATA ทำให้ลดปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการส่งผ่านข้อมูลระหว่างซีพียูความเร็วสูงกับตัวฮาร์ดดิสก์ลงได้ โดยสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องด้วยความเร็วของระบบที่เพิ่มมากขึ้น ด้วยเหตุนี้ Serial ATA จึงเหมาะสำหรับการเพิ่มความเร็วในการถ่ายโอนข้อมูลของฮาร์ดไดร์ฟ (Hard Drive) ในอนาคต นอกจากนี้ Serial ATA ยังแตกต่างจากฮาร์ดไดร์ฟที่ใช้ interface แบบ Parallel ATA ซึ่งเป็นแบบขนานอย่างชัดเจน เพราะอินเทอร์เฟซ Serial ATA นี้ มีการกำหนดให้ฮาร์ดไดร์ฟตัวไหนเป็นตัวหลัก (master) หรือตัวรอง (slave) ผ่านช่องเชื่อมต่อบนเมนบอร์ดได้เลย ทั้งนี้เพื่อลดความยุ่งยากในการติดตั้ง อีกทั้งฮาร์ดดิสก์ประเภทนี้บางตัวยังรองรับการถอดสับเปลี่ยนโดยทันที (hot swap) ทำให้การเชื่อมต่อในลักษณะนี้กำลังได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ ในปัจจุบัน ดังแสดงในรูปที่ 2.6

รูปที่ 2.6 ลักษณะของฮาร์ดดิสก์แบบ Serial ATA

2.4 สาเหตุของความเสียหายของ HDD

ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์นั้น สาเหตุหลักเกิดขึ้นจากการขนส่ง หรือการเคลื่อนย้ายฮาร์ดดิสก์ไปยังตำแหน่งหรือสถานที่ต่าง ๆ ดังนั้นการทดสอบบรรจุภัณฑ์ก่อนการขนส่งจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ทั้งนี้ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์นั้น ส่วนใหญ่เกิดจากปัญหาของการกระแทก และการสั่นสะเทือน

2.4.1 แรงกระแทก (shock)

แรงกระแทกส่วนมากเกิดจากการตกกระแทก ความเสียหายขึ้นอยู่กับความเปราะบางของสินค้านั้น นอกจากนี้พื้นที่ในการตกกระทบมีความแข็งแค่ไหน หากมีการใช้วัสดุกันกระแทก (cushion) ร่วมด้วย เช่น โฟม พลาสติก กระดาษ กระดาษลูกฟูก bubble wrap ในกรณีของสินค้าที่แตกง่าย วัสดุกันกระแทกจะเป็นตัวช่วยลดแรงกระแทกที่เกิดขึ้น ทำให้มีค่าน้อยกว่าจุดที่ทำให้สินค้าแตกหักเสียหาย

การทดสอบด้วยวิธีนี้สามารถทำการทดสอบได้โดยการปล่อยบรรจุภัณฑ์พร้อมสินค้าให้ตกกระแทกลงสู่พื้น สิ่งสำคัญในการทดสอบคือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบต้องสามารถควบคุมบริเวณที่ตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์นั้นได้ โดยขณะปล่อยตกลงมาต้องไม่มีการหมุนตัวของบรรจุภัณฑ์ วิธีการทดสอบการตกกระแทกนั้น สามารถแยกทดสอบได้โดยการทดสอบที่ความสูงของการตกกระแทกคงที่ด้วยจำนวนครั้งที่ปล่อยให้ตก หรือทำการทดสอบด้วยการเพิ่มความสูงในการทดสอบไปเรื่อย ๆ

2.4.2 การสั่นสะเทือน (vibration)

บรรจุภัณฑ์และสินค้าจะสั่นสะเทือนอย่างต่อเนื่องในระหว่างการขนส่ง ซึ่งเป็นสาเหตุให้สินค้าเกิดความเสียหายได้หลายประการ เช่น

- ชิ้นส่วนบางชิ้นส่วนของสินค้าหลวมหรือเกิดการคลายตัวของเกลียวที่ขันยึด
- การเคลื่อนที่และการล้มคว่ำของสินค้า
- เกิดรอยขีดข่วนจากการเสียดสี
- ส่วนประกอบของสินค้าบางชิ้นส่วนแยกจากกัน

วิธีในการป้องกันความเสียหายของสินค้าเนื่องจากการสั่น มีหลายวิธี เช่น

- การใช้วัสดุกันกระแทก (cushioning)
- การอัดให้แน่น (blocking)
- การมีที่รั้งหรือมัดให้แน่น (bracing)
- การออกแบผลิตภัณฑ์ใหม่ หรือการออกแบบอุปกรณ์สำหรับรถพ่วง

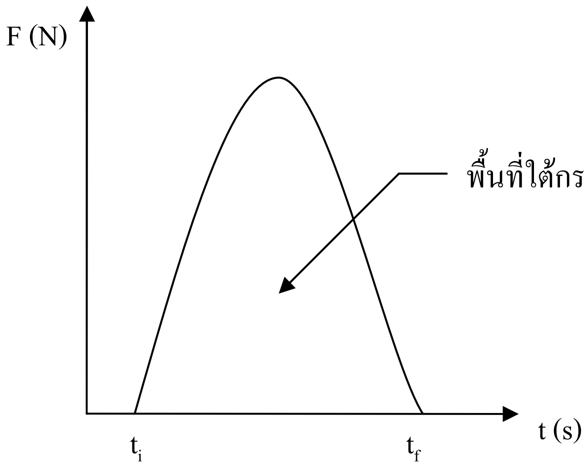
2.5 แรงจากการตกกระแทก และการวิเคราะห์สัญญาณการตกกระแทก

2.5.1 แรงจากการตกกระแทก

การที่วัตถุหนึ่งไปกระทบกับอีกวัตถุหนึ่งในช่วงสั้น ๆ เช่น ตีลูกบอล การตีลูกเทนนิส การตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ต่าง ๆ เป็นต้นย่อมก่อให้เกิดแรงเกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้น ๆ ดังกล่าว โดยแรงที่เกิดขึ้นนั้นเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัม ของวัตถุจากการได้รับการกระแทกในช่วงเวลาอันสั้น

$$\vec{P} = m\vec{v} \tag{2.1}$$

โดยการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมเรียกอีกอย่างว่าการดล ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2.2) หรือพื้นที่ใต้กราฟ แรงกับเวลาดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การหาค่าการดลจากกราฟแรงและเวลา

$$\vec{P} = m\vec{v} - m\vec{u} \tag{2.2}$$

โดยที่ P คือ โมเมนตัมเชิงเส้นของวัตถุ
m คือ มวลของวัตถุ
v คือ ความเร็วก่อนการชนของวัตถุ
u คือ ความเร็วหลังการชนของวัตถุ

ดังนั้นค่าแรงที่เกิดขึ้นจากอัตราการเปลี่ยนแปลงโมเมนตัมนั้นเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า แรงดล (impulse) ซึ่งหาได้จาก

$$\sum F = \frac{mv - mu}{\Delta t} \tag{2.3}$$

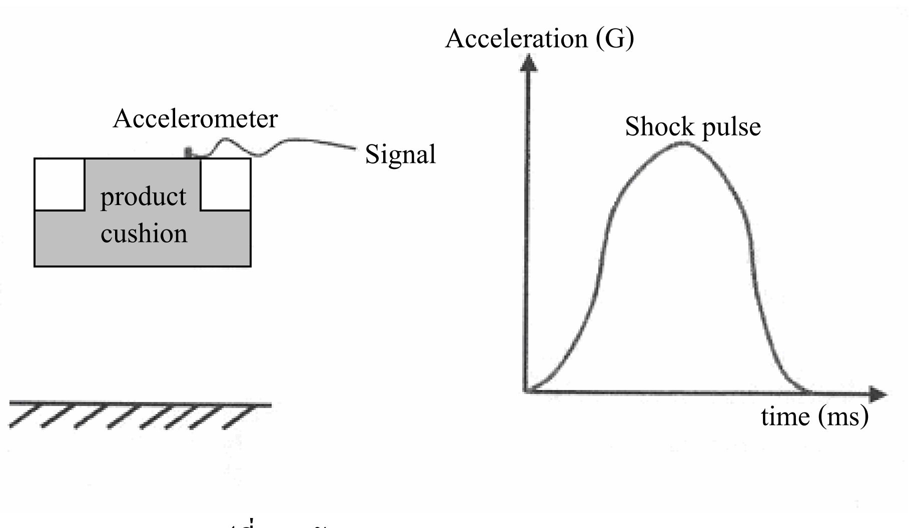
แทนค่า $a = \frac{(v-u)}{t}$ ลงในสมการที่ (2.2) จะได้

$$\sum F = ma \tag{2.4}$$

โดยที่ F คือ แรงที่กระทำต่อวัตถุหรือแรงลัพธ์
mv คือ โมเมนตัมของวัตถุก่อนมีแรงมากระทำ
mu คือ โมเมนตัมของวัตถุหลังมีแรงมากระทำ
a คือ ความเร่งของการเคลื่อนที่

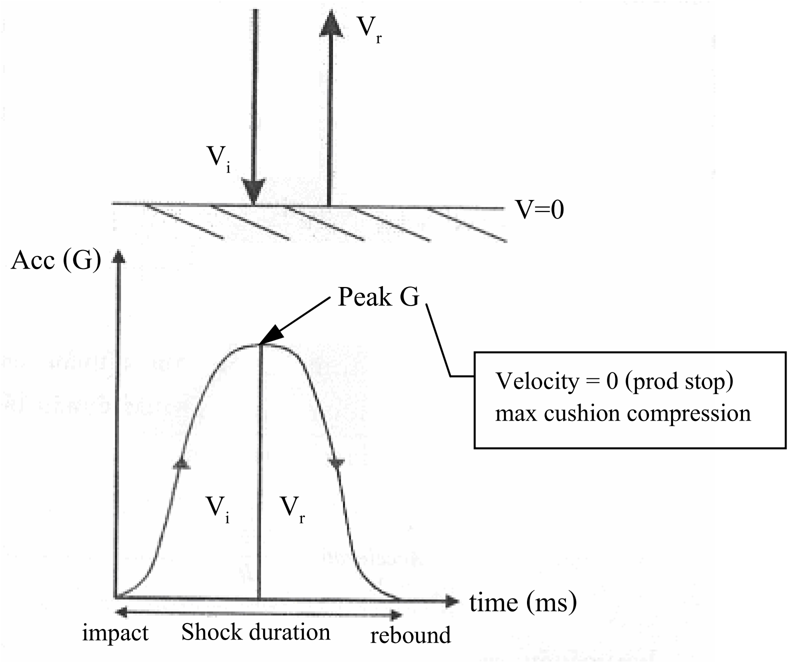
2.5.2 การวิเคราะห์สัญญาณการตกกระแทก

สัญญาณการกระแทก (shock pulse) เป็นการบันทึกระหว่างความเร่ง (acceleration) กับเวลา (time) ของวัตถุที่ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงความเร็วในช่วงเวลาอันสั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 สัญญาณการกระแทก (shock pulse)

ตัวอย่างการบันทึก shock pulse ของการตกอย่างอิสระของบรรจุภัณฑ์กระทบกับพื้น โดยติด accelerometer อยู่บนตัวบรรจุภัณฑ์ ข้อมูลจาก shock pulse สามารถบอกรายละเอียดที่เกิดกับผลิตภัณฑ์ได้ ไม่ว่าจะเป็นปริมาณแรงที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เสียหาย คุณภาพของวัสดุกันกระแทก และบอกความสูงในการตกปกติแล้ว shock pulse จะเป็นรูป “half sine” ความสูงของ pulse เป็นตัวบ่งชี้ความเสียหาย (damage potential) ของผลิตภัณฑ์ เพราะมีความสัมพันธ์กับแรงกระแทกสูงสุด (maximum force impact) จากกฎของนิวตัน (Newton’s laws) ในส่วนของความกว้าง pulse เป็นตัวแสดงช่วงเวลาของการเกิดแรงกระแทก (impact force)



รูปที่ 2.9 การวิเคราะห์สัญญาณ shock pulse จากความเร่งกับเวลา

ถ้า accelerometer ติดอยู่บนตัวผลิตภัณฑ์ในกล่องบรรจุภัณฑ์ โดยกำหนดให้ผลิตภัณฑ์นี้ตกกระแทกทางด้านล่างกับพื้น ดังนั้นปรากฏการณ์เหล่านี้จะเกิดขึ้นในระยะเวลาอันสั้นมาก ๆ เมื่อบรรจุภัณฑ์สัมผัสพื้นครั้งแรก ค่าความหน่วง (Deceleration) มีค่าเป็นศูนย์ (ณ จุด impact เป็นจุดแรกที่ผลิตภัณฑ์กับวัสดุกันกระแทก) ในขณะที่ผลิตภัณฑ์ยังคงเคลื่อนที่ลงมา ทำให้เกิดการกดทับกับวัสดุกันกระแทกมากขึ้น ในทางกลับกันวัสดุกันกระแทกจะดันผลิตภัณฑ์มากขึ้นเช่นเดียวกันจนกระทั่งผลิตภัณฑ์หยุดการเคลื่อนที่ วัสดุจะถูกกดสูงสุด ณ จุดที่สินค้าหยุดการเคลื่อนที่ด้วย “impact phase” ระหว่างช่วงของการกระแทกจนกระทั่งถึงค่าสูงสุด (peak value) หรือ

peak G ณ จุดที่ G สูงสุด ผลิตภัณฑ์จะหยุดชั่วขณะหนึ่ง ณ จุดนี้ค่าการอัด (compression) จะสูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.9

ในช่วงการเด้งกลับ (rebound phase) นั้นวัสดุกันกระแทกจะดันผลิตภัณฑ์ขึ้น ทำให้สินค้าเริ่มมีความเร็วและสุดท้ายเด้งออกจากวัสดุกันกระแทก ในช่วงนี้ความเร็วจะค่อย ๆ ลดลงจนกระทั่งหยุดนิ่งในที่สุด ซึ่งเหตุการณ์ทั้งหมดนี้เกิดขึ้นในระยะเวลาเพียง 2 ms – 100 ms ขึ้นอยู่กับพื้นที่ที่สินค้านั้นตกกระทบ และจะได้ค่า peak G จาก

$$\text{Acceleration} = \frac{\text{velocity change}}{\text{time}} \tag{2.5}$$

กราฟ shock pulse เป็นการบันทึกระหว่างความเร็วฉับพลัน (instantaneous acceleration) กับเวลาระหว่างการกระแทก ดังนั้นค่า acceleration หาได้จาก

$$\text{Acceleration} = \frac{dV}{dt} \tag{2.6}$$

จากสมการที่ (2.5) ถ้าเราพิจารณาในทางกลับกัน โดยการ integrating the acceleration ซึ่งสามารถหาความเร็วได้เมื่อเรา integrate ความเร็วเทียบกับเวลา ดังนั้นเราเรียกอีกอย่างหนึ่งก็คือ การหาพื้นที่ใต้กราฟ shock pulse

นอกจากนี้ในการคำนวณหาค่าความเร่งเฉลี่ย (average acceleration) สามารถหาได้โดยการนำการเปลี่ยนแปลงความเร็วหารด้วยเวลาทั้งหมด ตั้งแต่วัตถุสัมผัสพื้นเกิดการกระแทกจนกระทั่งกระเด้งกลับ แล้วหารด้วยค่าแรงโน้มถ่วงโลก (g) เพื่อเปลี่ยน acceleration เป็นค่า G หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าค่า G เป็นค่าที่ใช้เปรียบเทียบว่าเป็นกี่เท่าของความเร่งโลก ดังจะหาได้จาก

$$\text{Average G} = \frac{(\text{velocity change})}{\text{shock duration}} \times \frac{1}{g} \tag{2.7}$$

$$\text{Average G} = \frac{\Delta V}{t} \times \frac{1}{g} \tag{2.8}$$

2.6 เครื่องมือที่ใช้วัดการตกกระแทก

2.6.1 Drop Height Sensors

ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์นั้นจำเป็นต้องทราบปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในการขนส่ง เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ (RH) นอกจากนั้น จำเป็นต้องทราบความสูงในการตกกระแทก (drop height) และระดับความแรงในการกระแทก (shock level) ดังนั้นจึงมีการพัฒนาอุปกรณ์ขนาดเล็ก ซึ่งสามารถติดไปกับบรรจุภัณฑ์ในระหว่างการขนส่งได้ ซึ่งอุปกรณ์นี้จะเป็นตัวบันทึกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการขนส่งสินค้า สามารถบันทึกข้อมูลต่าง ๆ เช่น เวลา วันที่ การเปลี่ยนแปลงความเร็ว ระยะเวลาของการกระแทก (shock duration) ค่า G และความสูงในการตกกระแทก เป็นต้น จากข้อมูลดังกล่าวสามารถนำมาใช้ในการออกแบบบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมต่อไป อย่างไรก็ตามความสามารถในการเก็บข้อมูลของเครื่องแต่ละรุ่นไม่เท่ากัน ดังนั้นในการเลือกซื้อ data logger มาใช้งาน ต้องทราบว่าต้องการข้อมูลอะไรบ้าง และต้องทราบงบประมาณในการซื้อด้วย ตัวอย่างของ Drop Height Sensors หรือ Data logger แสดงในรูปที่ 2.10

รูปที่ 2.10 ตัวอย่าง Data Logger/Shock Recorder

2.6.2 Triaxial accelerometer

ประกอบด้วย accelerometer 3 อันตั้งฉากซึ่งกันและกัน ซึ่งสามารถบันทึก shock pulse ไม่ว่าจะตกจากความสูงระดับใดที่ทิศทางใด ดังแสดงในรูปที่ 2.11

รูปที่ 2.11 ลักษณะของ Triaxial accelerometer

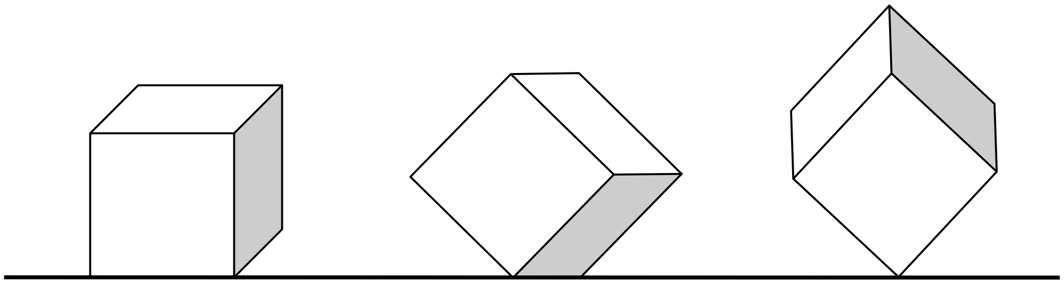
มี 3 กรณี ที่สามารถวิเคราะห์ โดยใช้ Triaxial accelerometer ได้อย่างตรงไปตรงมา

กรณีที่ 1 : มีสัญญาณเดียวเกิดขึ้น แสดงว่าสินค้าตกลงบนพื้นราบ โดยการกระแทกสม่ำเสมอทั่วทั้งก้นกล่อง (รูปที่ 2.12 ก)

กรณีที่ 2 : มีสัญญาณเกิดขึ้น 2 สัญญาณ การตกกระทบเกิดที่ขอบ accelerometer ตัวที่แกนขนานกับขอบที่ตกกระทบจะไม่มีสัญญาณ ถ้า pulse ทั้ง 2 เหมือนกัน จะแปลผลได้ว่า การตกกระทบทำมุม 45 องศาพอดี (รูปที่ 2.12 ข)

กรณีที่ 3 : หากเกิดสัญญาณ 3 อันเหมือนกัน แสดงว่าเกิดการตกกระทบที่มุมอย่างสมบูรณ์ มุมวัดจากพื้นเท่ากัน (รูปที่ 2.12 ค)

ความเป็นไปได้ในการเกิดกรณีทั้ง 3 นี้เป็นไปได้ยาก ส่วนใหญ่ shock pulse ทั้ง 3 แกนจะแตกต่างกัน ดังนั้น ในการหาค่า G จะต้องใช้ vector algebra ช่วยในการรวมค่า G ในแต่ละแกนให้เป็น 1 ค่า ดังสมการที่ 2.9



(ก) การตกกระแทกของด้าน (ข) การตกกระแทกที่ขอบ (ค) การตกกระแทกที่มุม

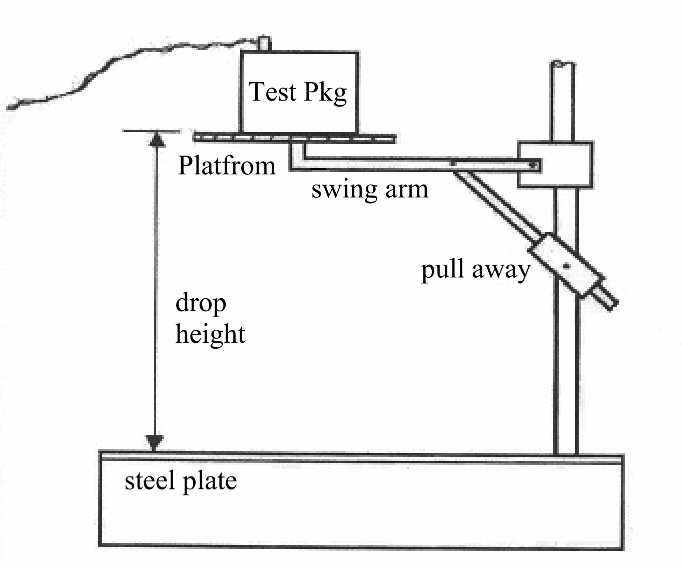
รูปที่ 2.12 ทั้งสามกรณีที่สามารถวัดค่าด้วย Triaxial accelerometer โดยตรง

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2 + G_z^2} \tag{2.9}$$

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการตกกระแทกของจำนวน พื้นผิว ขอบ และมุมของกล่อง เป็น 6, 12 และ 8 ตามลำดับ

2.6.3 เครื่องทดสอบการตกกระแทก (Drop Test Machines)

เครื่องทดสอบการตกกระแทกโดยปล่อยตกอย่างอิสระ (free fall) ประกอบด้วยแผ่นรองแนวระดับที่ติดกับแขนที่แกว่งได้ ซึ่งต้องเคลื่อนที่ลงและออกจากตัวอย่างที่จะทดสอบ หากตัวอย่างกระทบแผ่นรองในระหว่างที่เคลื่อนที่ลง จะทำให้ตัวอย่างหมุนและไม่ตกลงพื้น โดยเอาด้านก้นลงอย่างสม่ำเสมอ ความสูงของแผ่นรองสามารถปรับได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 เครื่องทดสอบการตกกระแทก

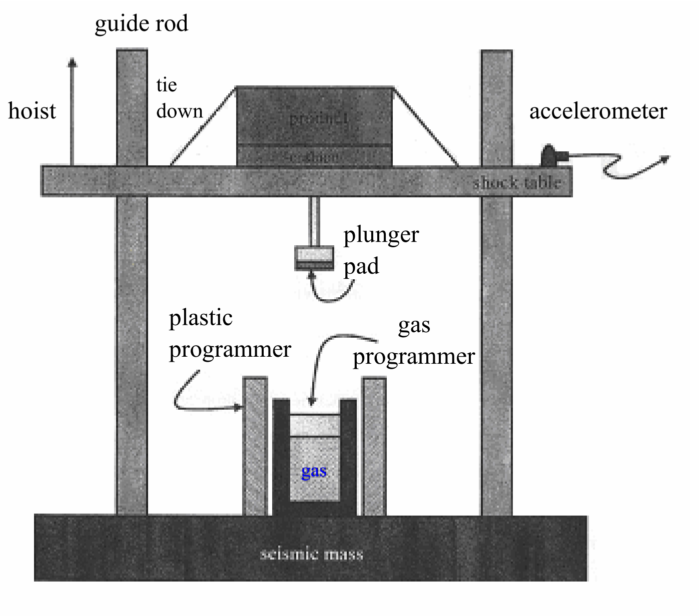
ในการออกแบบเครื่องทดสอบการตกกระแทก ความสูงต่ำสุดจะต้องสูงกว่าความยาวของแขนที่เชื่อมต่อแผ่นรองรับบรรจุภัณฑ์ทดสอบ ซึ่งแขนต้องไม่ชนพื้น โดยที่ชิ้นทดสอบจะมีการติด accelerometer เพื่อวัดแรงกระแทกระหว่างการตก และความแข็งของพื้นสามารถเปลี่ยนได้ตามความต้องการ ข้อดีของเครื่องนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับการปล่อยตัวอย่างจากมือ คือสามารถทำให้ตัวอย่างตกกระทบบริเวณก้นขอบหรือมุมได้อย่างสมบูรณ์ ในรูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างเครื่อง drop test แบบต่าง ๆ

รูปที่ 2.14 ตัวอย่างเครื่องการตกกระแทกแบบอิสระ

2.6.4 เครื่องทดสอบการกระแทกอย่างกะทันหันในแนวดิ่ง

เครื่องทดสอบการกระแทกอย่างกะทันหันในแนวดิ่ง (vertical shock machine) การทดสอบจะนำตัวอย่างมามัดติดกับโต๊ะกระแทก ซึ่งควบคุมด้วยแกนตั้ง 2 อัน ขณะที่บรรจุภัณฑ์ตกกระแทก โต๊ะและผลิตภัณฑ์จะถูกยกขึ้นไปที่ระดับความสูงที่ต้องการตก และ “air brake” เป็นตัวทำให้โต๊ะอยู่ในระดับความสูงที่กำหนด เมื่อพร้องโต๊ะจะถูกปล่อยให้ตกลง หลังจากการกระเด้งกลับ “air brake” จะเป็นตัวจับไม่ให้โต๊ะตกลงไปอีก (รูปที่ 2.15)

หัวใจสำคัญของเครื่องนี้คือ สามารถตั้งโปรแกรมพื้นผิวที่สินค้าจะตกกระทบที่อยู่ใต้โต๊ะได้ ถ้าตกลงบนแท่งพลาสติกที่แข็ง เรียกว่า plastic programmer หากตกลงบนลูกสูบหรือกระบอกลูกสูบที่มีอากาศอัดอยู่ เรียกว่า gas programmer พื้นผิวสองลักษณะนี้เป็นการจำลองการตกลงบนพื้นผิวที่แข็ง เช่น คอนกรีต เหล็ก ส่วนพื้นผิวที่อ่อน เช่น cushion มีการติดตั้ง accelerometer บนโต๊ะเพื่อบันทึก shock pulse



รูปที่ 2.15 เครื่อง vertical shock machine

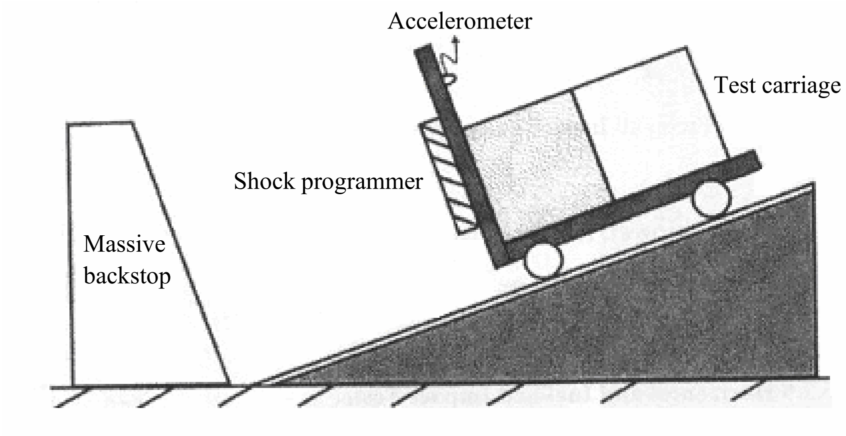
ข้อดีของเครื่อง vertical shock machine เหนือ drop tester คือ สามารถใช้ทดสอบสินค้าขนาดใหญ่มาก ๆ ทิศทางของตัวอย่างที่ตกกระทบสามารถควบคุมได้ง่าย พื้นผิวที่จะตกกระทบ สามารถเลือกได้ทั้ง 2 เครื่อง (drop tester และ vertical shock machine) ใช้สำหรับเลียนแบบการตกอย่างอิสระ การตั้งความสูงสำหรับ drop tester สามารถตั้งได้ตามความสูงจริง แต่ไม่สามารถทำแบบนี้กับ vertical shock machine เพราะการตกแบบนี้จะรุนแรงกว่า free fall drop ณ ความสูงเดียวกัน สินค้าที่ไม่เสียหายเมื่อตกจากระดับสูง 12 นิ้ว โดยวิธี free fall แต่อาจพังยับเยินเมื่อติดตั้งบน shock machine ที่ปล่อยจากระดับสูง 10 นิ้ว โดยเฉพาะเมื่อตั้งโปรแกรมเป็นแบบ plastic สาเหตุคือการตกอย่างอิสระสินค้ากระทบพื้นที่อยู่นิ่ง แต่สำหรับ shock machine เป็นการกระทบระหว่างสินค้าที่เคลื่อนที่ และโต๊ะที่เคลื่อนที่กระทบกับพื้น ขณะที่โต๊ะและสินค้ากระทบพื้นทั้งคู่มีความเร็วเท่ากัน สิ้นค้าไม่ได้กระทบพื้นที่นิ่ง แต่กระทบกับโต๊ะที่เคลื่อนที่สวนทางขึ้น ในกรณีที่รุนแรงที่สุดคือ รวมการเปลี่ยนแปลงความเร็วของโต๊ะเข้าด้วยกัน ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ 2.10

$$\textit{Maximum Free Fall impact Velocity} = \textit{Shock Table Velocity Change} \qquad (2.10)$$

shock pulse ที่เกิดขึ้นโดย shock table ถ้าเป็นพลาสติกโปรแกรม จะได้เป็น half-sine wave แต่ถ้าตกลงบนแก๊สโปรแกรม จะได้เป็นรูป square wave

2.6.5 Horizontal and Inclined Impact Tester

Horizontal impact tester ใช้ทดสอบแรงกระแทกทางด้านข้าง จะไม่ใช้พื้นเอียง ดังนั้นต้องใช้ตัวขับดันให้สินค้าเคลื่อนที่ ส่วน Inclined impact tester (รูปที่ 2.16) นั้น ใช้แรงโน้มถ่วงของโลกช่วยในการขับเคลื่อน สำหรับการทดสอบแรงกระแทกทั้ง 2 กรณี อาจใช้รถที่มีล้อเป็นตัวพาสินค้าที่ทดสอบเคลื่อนที่ ซึ่งด้านหน้ารถ (ด้านที่จะชน) จะแข็ง ในการทดสอบหากไม่ใช้รถสามารถใช้สินค้าชนโดยตรงก็ได้ ส่วนที่เป็นตัวรับแรงกระแทกสามารถเลือกได้ โดยทั่วไปเครื่องนี้ใช้เลียนแบบสถานการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการขนส่ง เช่น การต่อตู้รถไฟ การเลื่อนกล่องจากรถบรรทุกโดยใช้พื้นเอียง

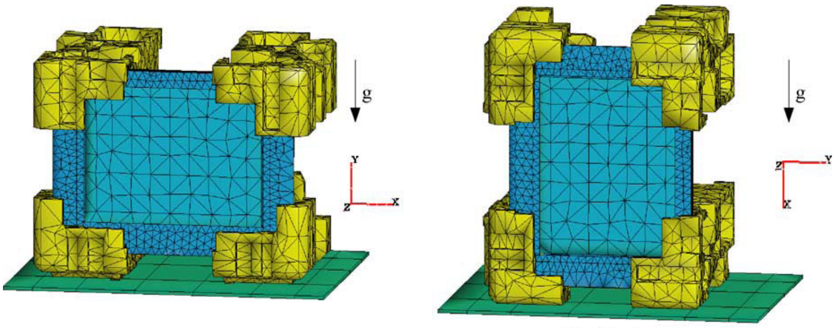


รูปที่ 2.16 เครื่องทดสอบแบบ Inclined Impact Tester

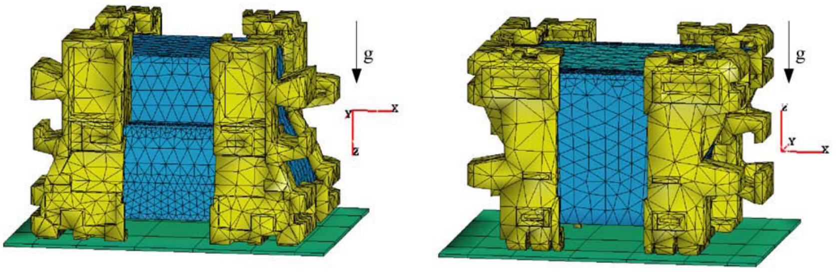
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบบรรจุภัณฑ์

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบบรรจุภัณฑ์นั้น โดยส่วนใหญ่จะเป็นลักษณะของงานที่เกี่ยวกับเครื่องใช้ไฟฟ้า หรือเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทั้งนี้เนื่องมาจากอุปกรณ์เหล่านี้มีส่วนเกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น และยังเป็นอุปกรณ์ที่ค่อนข้างจะได้รับความเสียหายจากการตกกระแทกได้ง่าย ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยหลาย ๆ งานวิจัยดังต่อไปนี้

K.H. Low, Yuqi Wang, K.H. Hoon, and N. Vahdati (2004) ได้ทำการศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับการตกกระแทกของโทรทัศน์ขนาด 29 นิ้ว โดยการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้วัตถุตกจากความสูงที่ 0.5 m โดยกำหนดให้มีลักษณะของทิศทางการตกกระแทก 4 ลักษณะ คือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านข้าง และด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 2.17



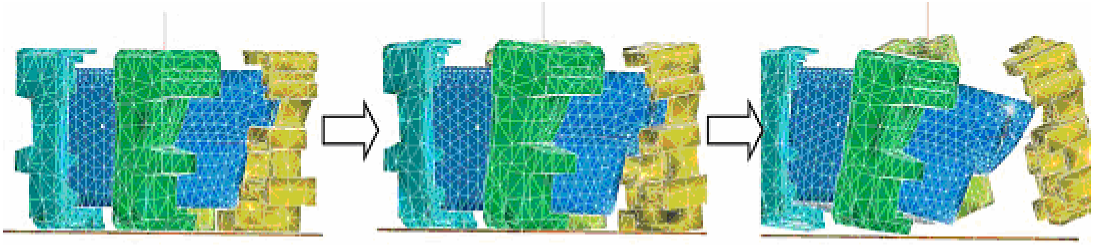
(a) Bottom drop (b) Side drop



(c) Front drop (d) Back drop

รูปที่ 2.17 แบบจำลองทิศทางการตกกระแทกของ K.H. Low, Yuqi Wang, K.H. Hoon, and N. Vahdati (2004)

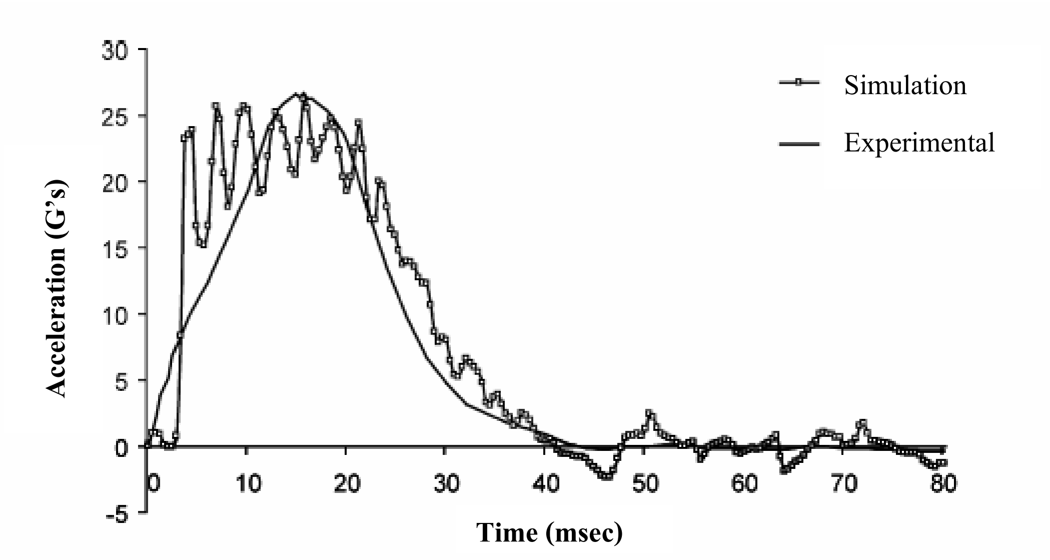
เพื่อดูว่าแรงเนื่องจากความเร่งที่กระทำกับตัวโทรทัศน์มีค่าเท่าใดในรูปของ G- Force ที่เกิดขึ้นแล้วทำการเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบ โดยเครื่องทดสอบการตกกระแทก (Drop Tester) ขั้นตอนการทดสอบจะประกอบโทรทัศน์กับวัสดุกัน กระแทกบรรจุลงไปในกล่องกระดาษ แล้วทำการทดสอบ แต่ในการจำลองจะทำการจำลองเพียงแค่โทรทัศน์ที่ประกอบกับวัสดุกันการกระแทกเท่านั้นซึ่งผลที่ได้ก็สอดคล้องกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.18 รูปที่ 2.19 และรูปที่ 2.20



Back drop, at 0 ms Back drop, at 28 ms Back drop, at 80 ms

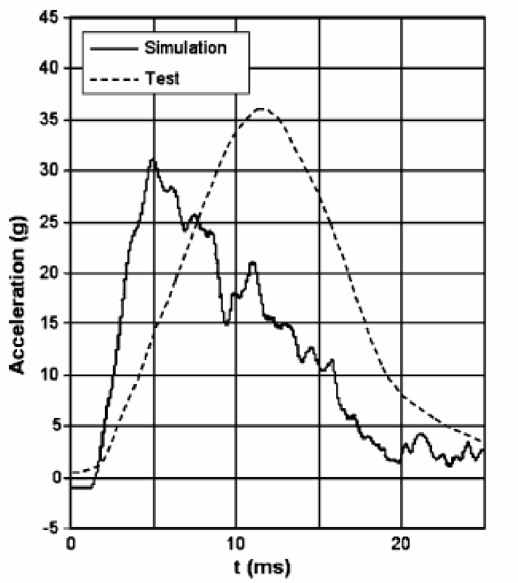
รูปที่ 2.18 ผลจากการจำลองการตกกระแทกเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไปของ K.H. Low, Yuqi Wang, K.H. Hoon, and N. Vahdati (2004)

รูปที่ 2.19 การทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกของ K.H. Low, Yuqi Wang, K.H. Hoon, and N. Vahdati (2004)



รูปที่ 2.20 ผลจากการจำลอง และการวัดการตกกระแทกของ K.H. Low, Yuqi Wang, K.H. Hoon, and N. Vahdati (2004)

Y.Y. Wang, C.Lu, J. Li, X.M. Tan, and Y.C. Tse (2005) ทำการจำลองการตกกระแทกของเครื่องใช้ไฟฟ้าโดยใช้โทรทัศน์เป็นตัวอย่างในการศึกษา โดยการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้วัตถุตกจากความสูงที่ 0.5 m ตกกระแทก 6 ด้าน คือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านข้าง ด้านบน ด้านล่าง และมุม เพื่อดูว่าแรงในรูปของ G- Force ที่กระทำกับโทรทัศน์มีค่าเท่าใด แล้วนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบ ลักษณะของการทดสอบในงานวิจัยนี้จะคล้ายกับงานวิจัยของ K.H. Low, Yuqi Wang, K.H. Hoon, and W.K. Wai (2004) และผลที่ออกมาก็สอดคล้องกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ผลการจำลอง และการวัดการตกกระแทกของ Y.Y. Wang, C.Lu, J. Li, X.M. Tan, and Y.C. Tse (2005)

งานวิจัยของ Tong Yan Tee, Hun Shen Ng, Chwee Teck Lim, Eric Pek และ Zhaowei Zhong (2004) เป็นอีกงานวิจัยหนึ่งที่ได้ทำการศึกษาความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับแผงวงจรของเครื่องใช้ไฟฟ้าว่าเมื่อแผงวงจรเกิดการตกกระแทกแล้วจะเกิดความเสียหายหรือไม่ ระหว่างบรรจุภัณฑ์ 2 แบบ เพื่อหารูปแบบของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะกับแผงวงจร

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้น จากการสืบค้นของผู้วิจัยพบว่าข้อมูลที่เกี่ยวกับการทดสอบของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์นั้นยังไม่มีนักวิจัยกลุ่มใดได้ทำการศึกษามาก่อน อย่างไรก็ตามการศึกษาและการทดสอบถึงการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์มีความสำคัญอย่างยิ่งเพื่อรับรองว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมาและส่งต่อไปยังลูกค้านั้นจะไม่เกิดความเสียหายจากการตกกระแทกภายใต้ข้อกำหนด

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk Drive Packaging) จากที่ระดับความสูง 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 เซนติเมตร (cm) ในลักษณะการตกกระแทกจากด้านหน้า ด้านล่าง ด้านข้าง ขอบด้านหน้า ขอบด้านข้าง ขอบแนวดิ่ง และมุม โดยพิจารณาผลที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์ ในรูปของแรงเนื่องจากความเร่ง (G-force) และความเค้น (Stress) ในงานวิจัยนี้แบ่งการดำเนินการออกเป็น 2 ส่วน คือ การจำลองการตกกระแทกด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ (Finite Element Analysis : FEA) โดยใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ COSMOSWorks2007 และการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทก (Drop Tester Machine) ดังรายละเอียดนี้

3.1 การจำลองการตกกระแทกด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์

การจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ช่วยไฟไนต์อิลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม COSMOSWorks2007 ซึ่งในการจำลองนั้นกระทำภายใต้ข้อกำหนด ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้เป็นฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว ซึ่งเป็นฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในเครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา (Notebook) โดยพิจารณาฮาร์ดดิสก์ (HDD) เป็นวัสดุเนื้อเดียว (Isometric material) ในการจำลองการตกกระแทกไม่ทำการพิจารณากล่องกระดาษบรรจุภัณฑ์ และพิจารณาการเปลี่ยนรูปร่างของวัสดุในช่วงยืดหยุ่นเชิงเส้นเท่านั้น (elastic deformation) ซึ่งวิธีการต่างดังนี้

3.1.1 การทดสอบโปรแกรม COSMOSWorks2007

ในการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรมด้วยวิธีการวิเคราะห์ทางไฟไนต์อิลิเมนต์ ขั้นตอนที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ ขั้นตอนการทดสอบความถูกต้องของผลที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ทางไฟไนต์อิลิเมนต์ งานวิจัยนี้อาศัยวิธีการวิเคราะห์ทางไฟไนต์อิลิเมนต์ เพื่อหา G-Force ที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานทดสอบ โดยใช้โปรแกรม COSMOSWorks2007 ในการวิเคราะห์ปัญหา ดังนั้นในการทดสอบความถูกต้องสามารถทำได้โดยทำการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ ที่ระดับความสูง 90 cm โดยพิจารณาค่า G-Force ที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม ช่วยวิเคราะห์ COSMOSWorks2007 เปรียบเทียบกับข้อมูลการทดสอบ จากบริษัทฮิตาชิ โกลบอลสตอเรจ เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยพิจารณาค่าความผิดพลาด (error)

$$error = \left| \frac{G_{Experiment} - G_{SImulation}}{G_{Experiment}} \right| \times 100\% \quad (3.1)$$

ตัวอย่างการหาค่าความผิดพลาดระหว่างการทดสอบกับการจำลองการตกกระแทกในจากการตกกระแทกในลักษณะตกกระแทกจากด้านล่าง ที่ระดับความสูง 90 cm

$$error = \left| \frac{131.38 - 140.02}{131.38} \right| \times 100\%$$

$$= 6.58\ \%$$

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบผลการจำลองกับการข้อมูลการทดสอบ

Directions	**Acceleration (G)**		**Error**
	Simulations	**Experiment**	**(%)**
Bottom	140.02	131.38	6.58
Front	75.72	63.28	19.66
Side	53.12	48	10.66
Top	108.38	105.58	3.60
Front Edge	71.26	67.48	5.60
Side Edge	95.34	89.45	6.58
Vertical Edge	55.33	43.78	26.37
Corner	58.34	46.02	26.78

จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดสอบจริงและการจำลองแสดงให้เห็นถึงความน่าเชื่อถือของผลจากการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ด้วยโปรแกรม COSMOSWorks2007 นอกจากการเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดสอบแล้ว การที่โปรแกรมที่ใช้ในงานวิจัยครั้งเป็นโปรแกรมทางการค้าซึ่งย่อมได้รับการทดสอบมาเป็นอย่างดียิ่งแล้วถึงความถูกต้อง นอกจากนี้โปรแกรมดังกล่าวนี้ยังได้รับความนิยมในหลายบริษัท ดังนั้นจึงเป็นเหตุอันน่าเชื่อถือได้ถึงความถูกต้องของผลการคำนวณที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม COSMOSWorks2007

3.1.2 รูปแบบของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในงานวิจัย

โดยทั่วไปแล้วฮาร์ดดิสก์ที่เตรียมพร้อมขนย้ายหรือขนส่งนั้น จะต้องอยู่ในบรรจุภัณฑ์ ซึ่งบรรจุภัณฑ์ในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดก็มีส่วนประกอบภายในบรรจุภัณฑ์แตกต่างกันออกไป แต่โดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วย กล่องกระดาษที่ใช้บรรจุผลิตภัณฑ์ วัสดุกันกระแทกและผลิตภัณฑ์ ทำนองเดียวกันบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ บรรจุด้วย ฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว จำนวน 20 อัน วัสดุกันกระแทกด้านบน วัสดุกันกระแทกด้านล่าง และกล่องกระดาษลูกฟูก ดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1.2.1 ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (HDD)

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าลักษณะของฮาร์ดดิสก์โดยทั่วไปนั้น ประกอบไปด้วยชิ้นส่วนหลายชิ้นส่วน เช่น จานแม่เหล็กหรือจานดิสก์ (Platter) ซึ่งมีลักษณะเป็นทรงกลมและมีมอเตอร์สำหรับควบคุมการหมุนของจานดิสก์ (Spindle) พร้อมทั้งหัวอ่าน และส่วนประกอบอื่น ๆ

รูปที่ 3.1 ฮาร์ดดิสก์ ขนาด 2.5 นิ้ว

3.1.2.2 กล่องกระดาษ

กล่องกระดาษที่ใช้เป็นบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ในการทดสอบนี้ เป็นกล่องกระดาษลูกฟูกขนาดกว้าง 23.5 cm ยาว 23.5 cm และสูง 16.5 cm ดังรูปที่ 3.2 โดยในงานวิจัยนี้ พิจารณากล่องกระดาษลูกฟูกในกรณีการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตก

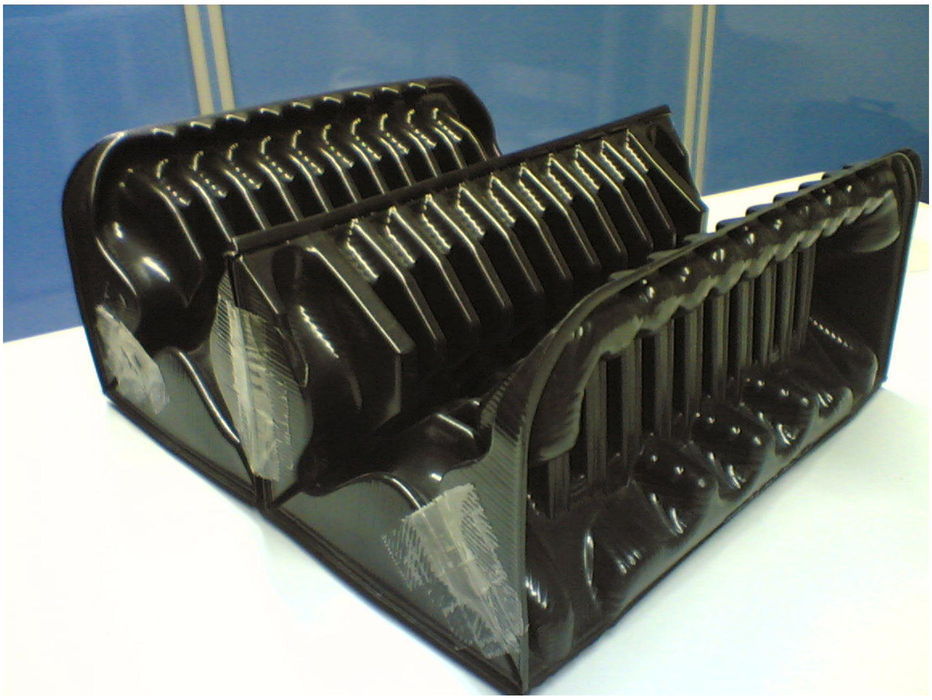
กระแทกเท่านั้น ในส่วนของการจำลองด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ COSMOSWorks2007 จะไม่พิจารณากล่องกระดาษ

รูปที่ 3.2 กล่องกระดาษบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

3.1.2.3 วัสดุกันกระแทก

วัสดุกันกระแทกที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์นี้เป็นโพลีเอทธีลีน ความหนาแน่นสูง (High–density Polyethylene: HDPE) ซึ่งเป็นพลาสติกเทอร์โมพลาส หรือเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) ชนิดหนึ่ง โดยที่คุณสมบัติของวัสดุประเภทนี้สามารถหลอมตัวได้ด้วยความร้อน และแข็งตัวเมื่ออุณหภูมิต่ำลง ทำให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ และมีราคาถูก โดยในบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วยวัสดุกันกระแทก 2 ชิ้นส่วน คือชิ้นส่วนด้านบนและชิ้นส่วนด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.4

รูปที่ 3.3 วัสดุกันกระแทกด้านบน



รูปที่ 3.4 วัสดุกันกระแทกด้านล่าง

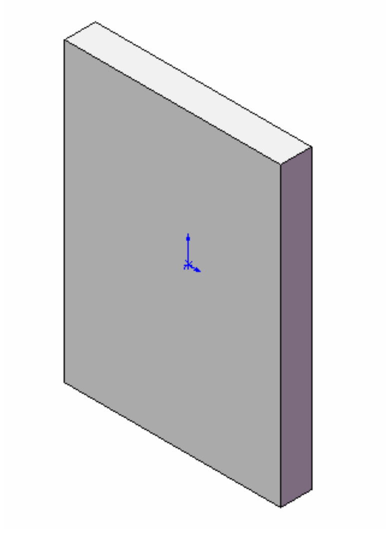
3.1.3 แบบจำลองบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

จากข้อกำหนดที่ได้กำหนดไว้ในขอบเขตของการวิจัย ในงานวิจัยนี้จึงทำการพิจารณาส่วนประกอบของแบบจำลองบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ออกเป็น 3 ส่วนประกอบหลักดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1.3.1 แบบจำลองฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (HDD)

ดังที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้นว่าฮาร์ดดิสก์เป็นอุปกรณ์ที่มีส่วนประกอบด้วยชิ้นส่วนต่าง ๆ หลายชิ้นส่วนอาทิเช่น จานแม่เหล็กหรือจานดิสก์ ชุดหัวอ่าน ตลอดจนชิ้นส่วนอื่น ๆ ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาค่าของแรงเนื่องจากความเร่งที่เกิดขึ้นกับตัวของฮาร์ดดิสก์เป็นหลัก ไม่ได้พิจารณาในแต่ละชิ้นส่วนประกอบภายในฮาร์ดดิสก์ ดังนั้นในการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น จะทำการสร้างแบบจำลองฮาร์ดดิสก์ด้วยโปรแกรม SolidWorks2007 โดยพิจารณาเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมเท่านั้นดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยไม่พิจารณาส่วนประกอบอื่นของฮาร์ดดิสก์ ดังที่ได้ตั้งสมมุติฐานไว้

ก) ฮาร์ดดิสก์จริง



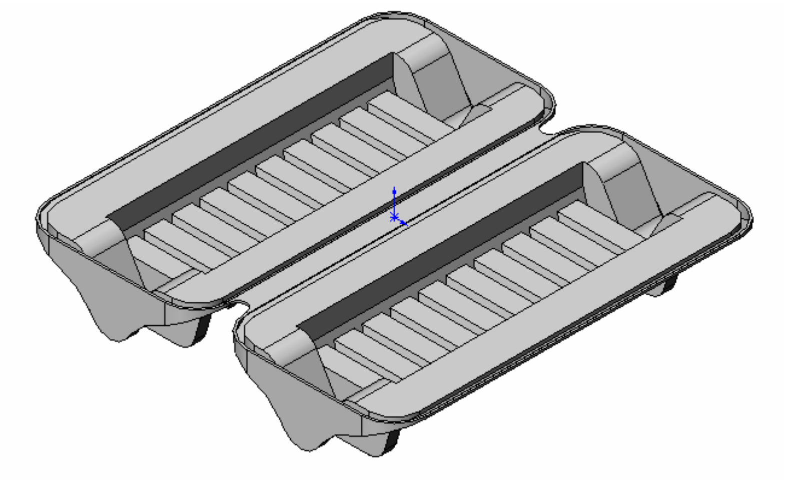
ข) แบบจำลองของฮาร์ดดิสก์

รูปที่ 3.5 รูปร่างฮาร์ดดิสก์ ก) ฮาร์ดดิสก์จริง ข) แบบจำลองของฮาร์ดดิสก์

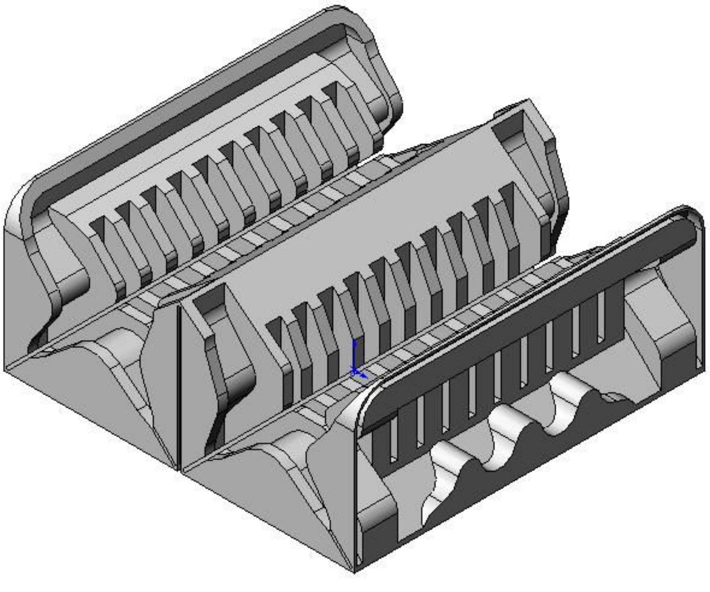
3.1.3.2 แบบจำลองวัสดุกันกระแทก

วัสดุกันกระแทกที่ใช้ในบรรจุนี้เป็นโพลีเอทธีลีน ความหนาแน่นสูง (High–Density Polyethylene: HDPE) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีรูปร่างเป็นแผ่นบางขนาดความหนาเท่ากันทั่ว

ทั้งแผ่น ดังนั้นแบบจำลองวัสดุกันกระแทกจะทำการขึ้นรูปด้วยโปรแกรม SolidWorks2007 โดยให้มีรูปร่างโดยรวมคล้ายกับตัวต้นแบบ แต่ทำการลดความสลับซับซ้อนของชิ้นงานลงเพื่อทำให้สะดวกต่อการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์อิลิเมนต์ ทั้งวัสดุกันกระแทกด้านบนและวัสดุกันกระแทกด้านล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ



รูปที่ 3.6 แบบจำลองวัสดุกันกระแทกด้านบน



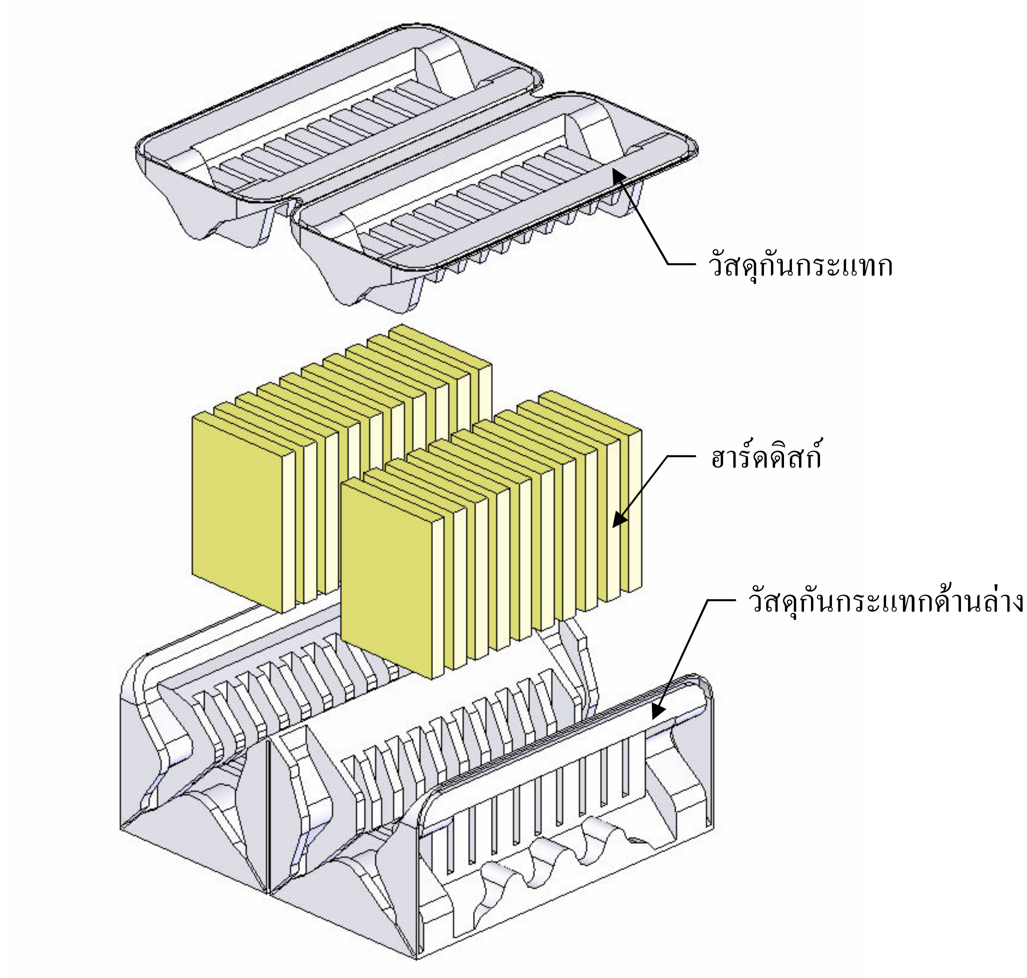
รูปที่ 3.7 แบบจำลองวัสดุกันกระแทกด้านล่าง

3.1.4 ขั้นตอนการจำลองการตกกระแทก

กระบวนการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ ในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนของการสร้างแบบจำลองรูปร่างของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ โดยใช้โปรแกรม SolidWorks2007 และส่วนการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ใช้ COSMOSWorks2007 โดยเริ่มจากการสร้างรูปแบบจำลองของฮาร์ดดิสก์ วัสดุกันกระแทกด้านบน และวัสดุกันกระแทกด้านล่าง บนสมมุติฐานที่ได้กำหนด โดยวัดขนาดของชิ้นงานจากขนาดจริง ดังรูปที่ 3.5(ข) , 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ จากชิ้นส่วนแบบจำลองที่ได้นำมาทำการประกอบ (Assembly) หลังจากขั้นตอนประกอบแบบจำลองบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์แล้ว นำแบบจำลองดังกล่าวเข้าสู่การวิเคราะห์ด้วย COSMOSWorks2007 โดยเริ่มจากการเลือกวิเคราะห์ปัญหาแบบการตกกระแทก (Drop Test) กำหนดคุณสมบัติของวัสดุทั้งสาม ตามตารางที่ 3.2 จากนั้นกำหนดลักษณะทิศทางการตกกระแทกและระดับความสูงของการตกกระแทก ดังตารางที่ 3.3 กำหนดลักษณะของการสัมผัสระหว่างผิวของแบบจำลองชิ้นส่วนประกอบทั้งหมด ทำการสร้างเมช (Mesh) ของแบบจำลองที่ใช้ทำการวิจัย ในขั้นตอนสุดท้ายทำการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ในแต่ละรูปแบบตามที่กำหนด

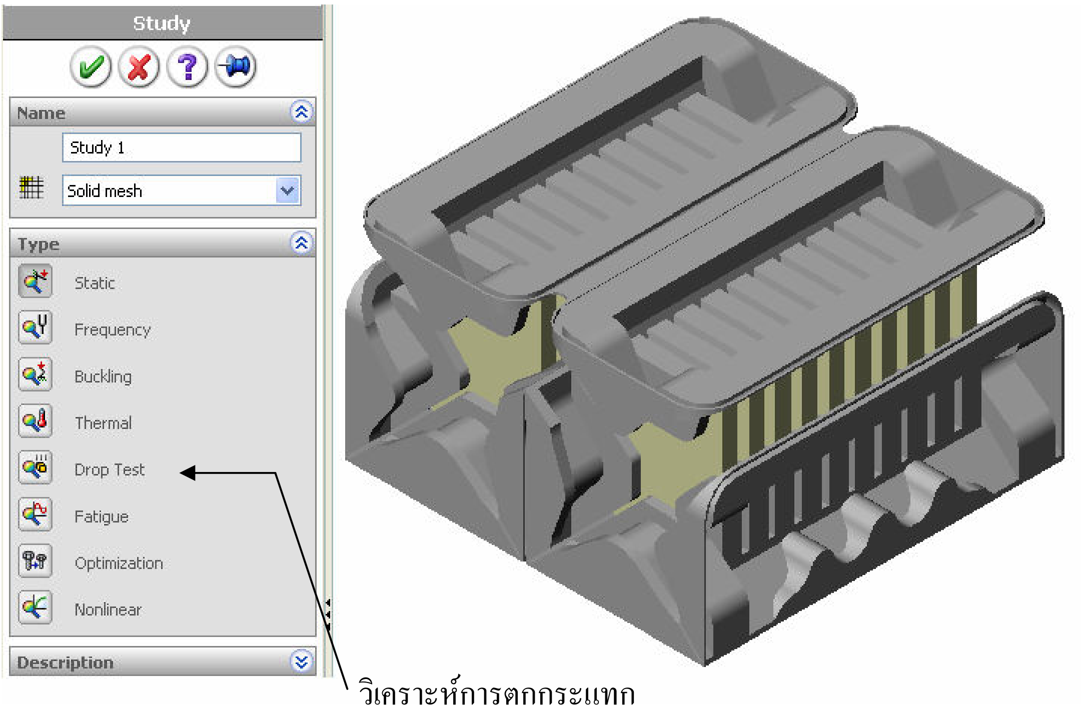
3.1.4.1 การประกอบและการเลือกวิเคราะห์แบบจำลองบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

การจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ ในงานวิจัยนี้จะไม่พิจารณากล่องกระดาษ โดยภายกล่องบรรจุภัณฑ์ประกอบไปด้วย วัสดุกันกระแทกด้านล่าง ฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว 20 อัน และวัสดุกันกระแทกด้านบน ทั้งนี้กระบวนการประกอบบรรจุภัณฑ์ทำได้โดยเริ่มจากนำชิ้นส่วนแบบจำลองวัสดุกันกระแทกด้านล่าง จากนั้นนำแบบจำลองฮาร์ดดิสก์มาประกอบกับวัสดุกันกระแทกด้านล่างจนครบ 20 อัน และนำชิ้นส่วนแบบจำลองวัสดุกันกระแทกด้านบนเข้ามาประกอบ ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การประกอบแบบจำลองบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

แบบจำลองบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ที่ได้จากขั้นตอนประกอบนี้จะนำเข้าสู่โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ COSMOSWorks2007 เพื่อทำการวิเคราะห์ ทั้งนี้ในโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ COSMOSWork2007 นั้นสามารถวิเคราะห์ปัญหาได้หลายรูปแบบ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้การวิเคราะห์ปัญหาการตกกระแทกอย่างอิสระในทิศทางและความสูงต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ทั้งนี้การวิเคราะห์ปัญหาแบบ Drop test นั้นไม่ต้องสร้างแบบจำลองของพื้นที่รองรับการตกกระแทกขึ้นมาแต่อย่างใด



รูปที่ 3.9 การเลือกวิเคราะห์การตกกระแทก (Drop Test) ของแบบจำลองบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

3.1.4.2 คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

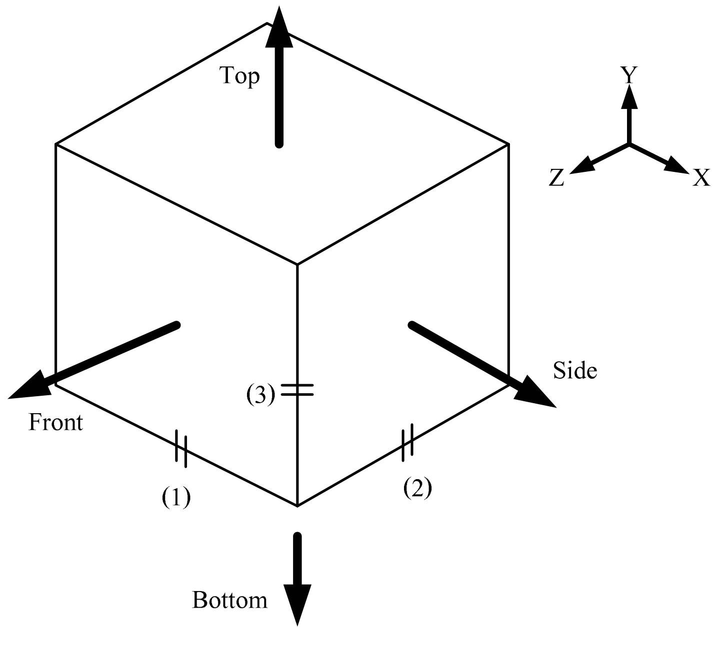
การกำหนดค่าคุณสมบัติของวัสดุนั้น เนื่องจากเป็นการศึกษาวิจัยระดับเบื้องต้น โดยมุ่งเน้นไปยังการศึกษาค่าแรงเนื่องจากความเร่งที่เกิดขึ้นกับตัวฮาร์ดดิสก์ ดังนั้นจึงได้ทำการกำหนดคุณลักษณะต่าง ๆ ในรูปแบบอย่างง่ายเพื่อให้เห็นแนวโน้มและความเป็นไปได้ในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาในลักษณะการตกอย่างอิสระ โดยกำหนดให้ฮาร์ดดิสก์นั้นเป็นวัสดุสารเนื้อเดียว ที่มีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Yong's Modulus) เท่ากับ 137.9 GPa อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio) เท่ากับ 0.3 และความหนาแน่นมวล (Mass Density) เท่ากับ 1410 kg/m^3 สำหรับวัสดุกันกระแทกทั้งด้านบนและด้านล่างนั้น เป็นโพลีเอทธีลีนความหนาแน่นสูง โดยมีค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น เท่ากับ 1.07 GPa อัตราส่วนปัวซอง เท่ากับ 0.4101 และความหนาแน่นมวล เท่ากับ 952 kg/m^3 ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ทั้งนี้ในการจำลองจะไม่พิจารณากล่องกระดาษ และไม่คิดผลกระทบจากความชื้นและอุณหภูมิ

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของวัสดุ

คุณสมบัติ	**ฮาร์ดดิสก์**	**วัสดุกันกระแทก**
Yong's Modulus	137.9 GPa	1.07 GPa
Poisson's Ratio	0.3	0.4101
Mass Density	1410 kg/m^3	952 kg/m^3

3.1.4.3 รูปแบบการจำลองการตกกระแทก

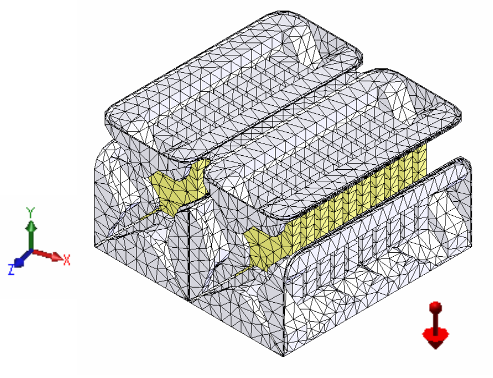
การทดสอบการตกกระแทกแบบอิสระนั้น (free fall) ตามมาตรฐานการทดสอบจะทำการทดสอบ 10 กรณี คือการตกกระแทกด้านล่าง ด้านบน ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย ด้านขวา มุม และ ขอบประกอบมุมทั้ง 3 ขอบ ในส่วนของการจำลองการตกกระแทกด้วย COSMOSWorks2007 การศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการจำลอง 8 กรณี คือการจำลองการตกกระแทกจากด้านล่าง ด้านบน ด้านหน้า ด้านขวา มุม และขอบประกอบมุมทั้ง 3 ขอบ ดังรูปที่ 3.10 เนื่องจากรูปร่างของแบบจำลองที่ใช้มีลักษณะที่เหมือนกัน 2 ทิศทาง คือ ด้านหน้าเหมือนกับด้านหลัง และด้านขวาเหมือนกับด้านซ้าย ดังนั้นในจึงตัดการตกกระแทกด้านหลังและด้านซ้ายออกไป ดังรูปที่ 3.11 และ 3.12



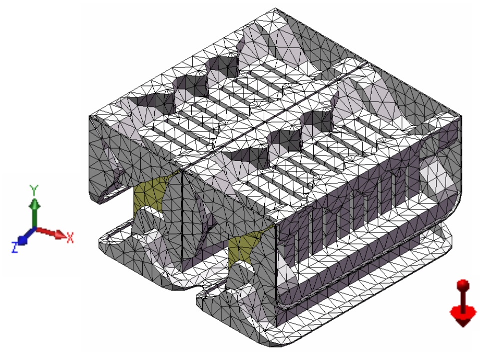
รูปที่ 3.10 การกำหนดทิศทางการตกกระแทก

ตารางที่ 3.3 รูปแบบของการตกกระแทก

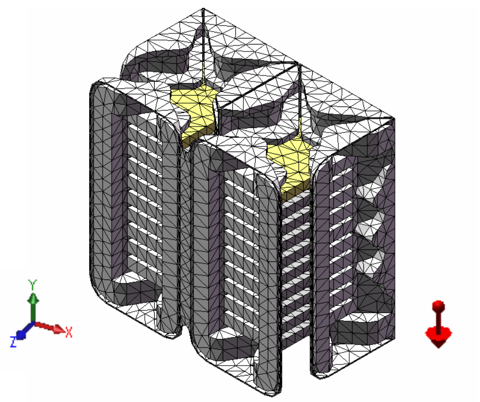
ทิศทางการตกกระแทก	**ความสูง (cm)**
ด้านล่าง	40, 50, 60, 80 ,90, 100
ด้านหน้า	40, 50, 60, 80 ,90, 100
ด้านข้าง	40, 50, 60, 80 ,90, 100
ด้านบน	40, 50, 60, 80 ,90, 100
ขอบด้านหน้า (1)	40, 50, 60, 80 ,90, 100
ขอบด้านข้าง (2)	40, 50, 60, 80 ,90, 100
ขอบแนวดิ่ง (3)	40, 50, 60, 80 ,90, 100
มุม	40, 50, 60, 80 ,90, 100



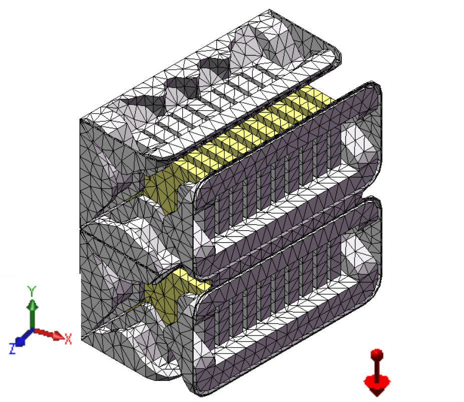
(ก) ด้านล่าง



(ข) ด้านบน

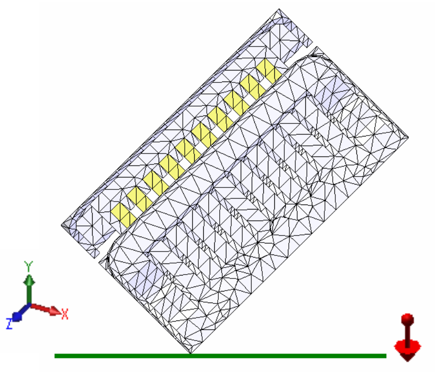


(ค) ด้านหน้า

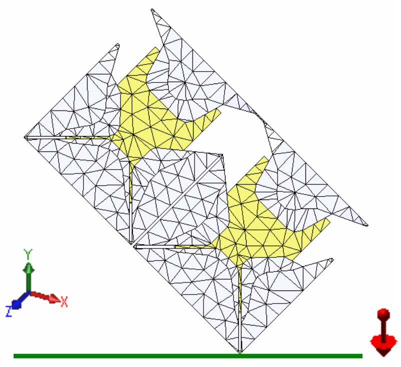


(ง) ด้านข้าง

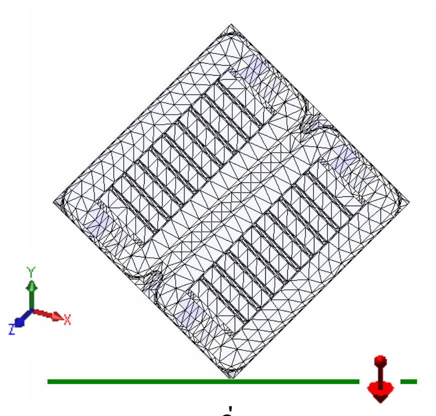
รูปที่ 3.11 แบบจำลองการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ ในลักษณะการตกกระแทกจาก (ก) ด้านล่าง (ข) ด้านบน (ค) ด้านหน้า (ง) ด้านข้าง



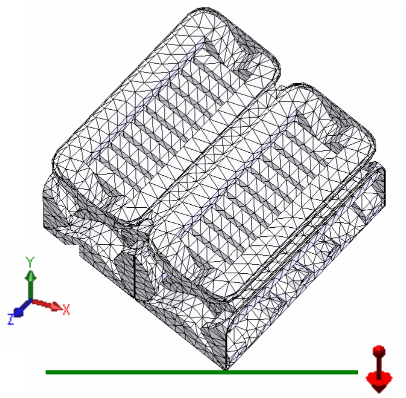
(จ) ขอบด้านหน้า



(ฉ) ขอบด้านข้าง



(ช) ขอบแนวดิ่ง

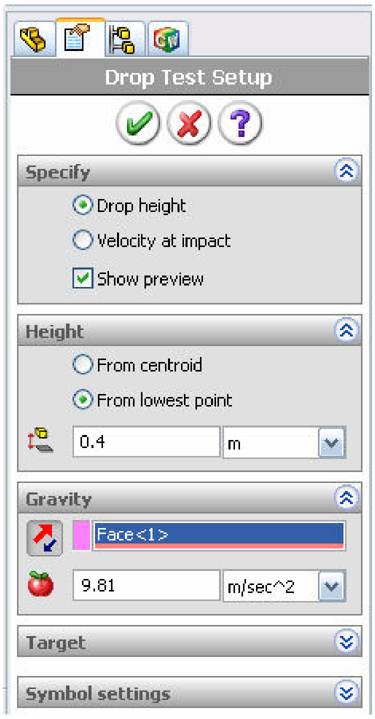


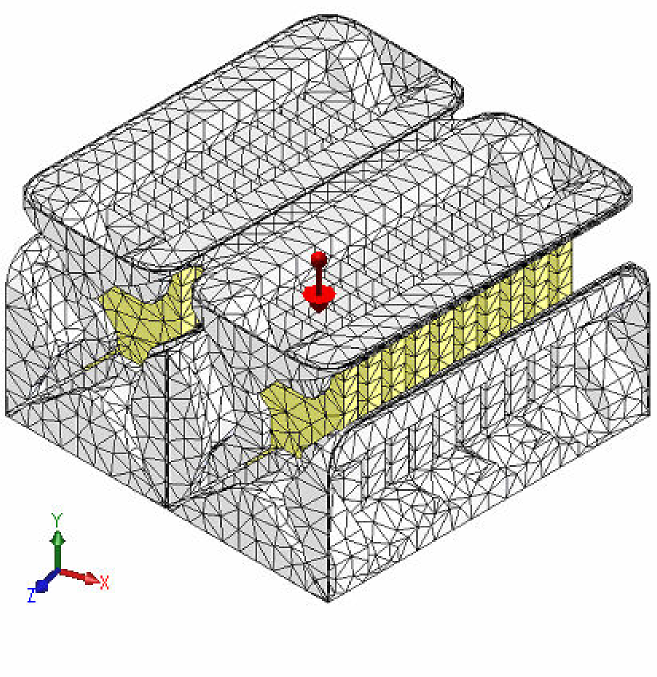
(ซ) มุม

รูปที่ 3.12 แบบจำลองการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ ในลักษณะการตกกระแทกจาก (จ) ขอบด้านหน้า (ฉ) ขอบด้านข้าง (ช) ขอบแนวดิ่ง (ซ) มุม

3.1.4.4 เงื่อนไขและข้อกำหนดในการจำลองการตกกระแทก

ลักษณะของการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ในงานวิจัยนี้เป็นการตกกระแทกแบบอิสระ (free fall) ซึ่งใน COSMOSWorks2007 นั้นสามารถกำหนดการศึกษาลักษณะการตกกระแทกได้ 2 แบบ คือกำหนดระดับความสูงของการตกกระแทก และกำหนดความเร็วในการตกกระแทก ในงานวิจัยนี้เลือกศึกษาโดยการกำหนดระดับความสูงต่าง ๆ ตามที่ได้กำหนด ในแต่ละรูปแบบของการตกกระแทกตามตารางที่ 3.2 โดยความสูงที่กำหนดนั้น คือความสูงที่วัดจากพื้นถึงผิวต่ำสุดของแบบจำลองบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ และกำหนดทิศทางของแรงโน้มถ่วง (gravity) ดังตัวอย่างรูปที่ 3.13

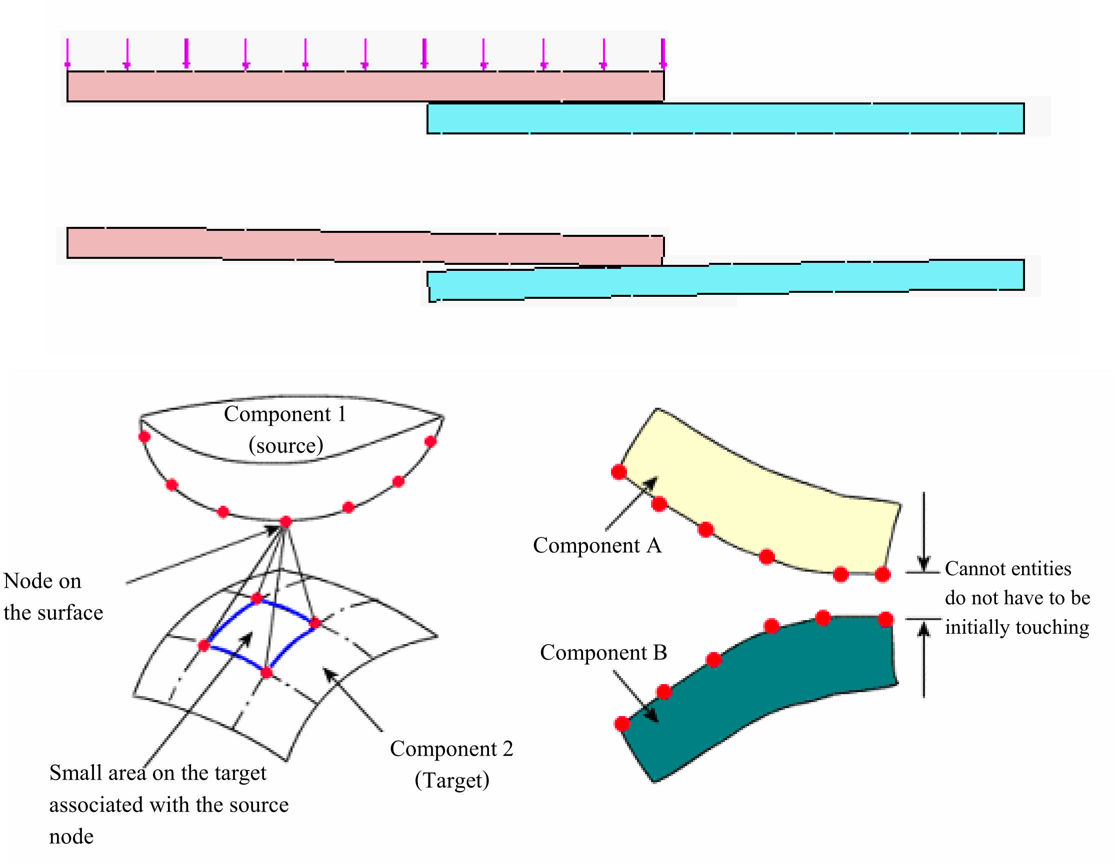




รูปที่ 3.13 ตัวอย่างการกำหนดเงื่อนไขการตกกระแทกด้านล่างที่ระดับความสูง 40 cm

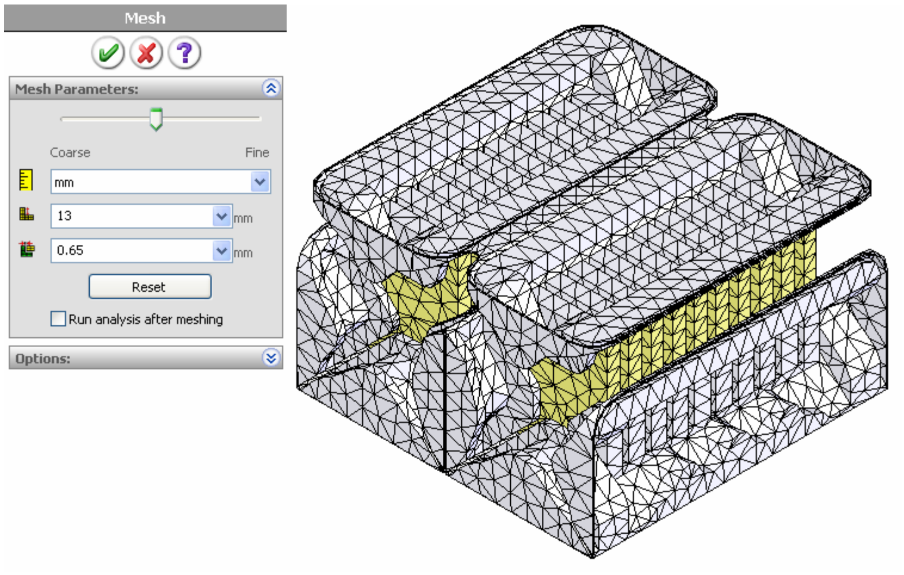
3.1.4.5 การกำหนดการสัมผัสและการสร้างอิลิเมนต์

เมื่อนำชิ้นส่วนประกอบแต่ละชิ้นส่วนมาประกอบ (Assembly) ให้เป็นแบบจำลองบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ตามที่ต้องการ จากนั้นกำหนดคุณลักษณะของการสัมผัสระหว่างผิวของชิ้นส่วนประกอบทั้งหมดโดย จำนวนของการสัมผัสระหว่างผิวทั้งหมดเท่ากับ 204 ผิวสัมผัส ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างผิวสัมผัสอยู่ในลักษณะที่ฮาร์ดดิสก์ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านผิวชิ้นงานวัสดุกันกระแทกในแต่ละอันได้ (No penetration) แบบ จุดสู่ผิว (node to surface) ดังแสดงในรูปที่ 3.14 กล่าวคือเมื่อวัตถุเกิดการตกกระแทกกับพื้นแล้ว ผิวสัมผัสสามารถเคลื่อนที่ออกจากกันได้แต่ไม่เคลื่อนที่ผ่านผิวชิ้นส่วนประกอบของกันและกัน



รูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ของผิวสัมผัสแบบ No penetration ในลักษณะ Node to Surface

หลังจากกำหนดผิวสัมผัสของแบบจำลองแล้ว จากนั้นแบ่งชิ้นส่วนประกอบทั้งหมดออกเป็นอิลิเมนต์เล็ก ๆ โดยมีจำนวนหลาย ๆ อิลิเมนต์ แต่มีจำนวนจำกัดนับได้ (finite element mesh) ซึ่งในโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ COSMOSWorks2007 จะสร้างอิลิเมนต์ทรงตันรูปทรงสี่หน้า (tetrahedral solid) โดยขนาดของอิลิเมนต์กำหนดให้มีขนาดดังแสดงในรูปที่ 3.15 โดยที่ขนาดของอิลิเมนต์ (Global Size) เท่ากับ 13 มิลลิเมตร (mm) และขนาดความเผื่อ (Tolerance) เท่ากับ 0.65 mm ซึ่งขนาดอิลิเมนต์มีค่าเทียบกับเส้นผ่านศูนย์กลางทรงกลมที่เล็กที่สุดที่บรรจุอิลิเมนต์หนึ่งอิลิเมนต์ได้



รูปที่ 3.15 ขนาดของอิลิเมนต์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2 การทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทก (Drop Tester Machine)

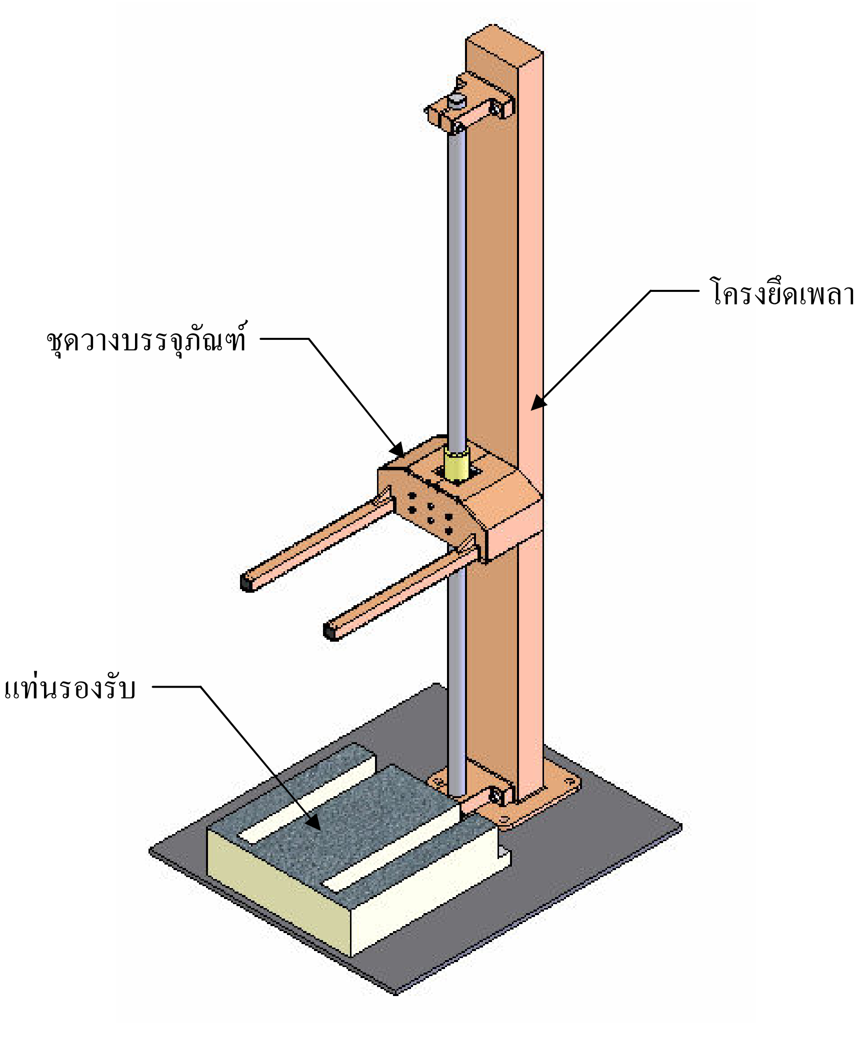
การทดสอบบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกนั้น บรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบบรรจุด้วย วัสดุกันกระแทกด้านล่าง อะคริลิก (Acrylic) 20 อัน ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้แทนฮาร์ดดิสก์ และวัสดุกันกระแทกด้านบน แล้วนำไปบรรจุลงในกล่องบรรจุภัณฑ์ จากนั้นนำไปทดสอบการตกกระแทก ที่ระดับความสูงและลักษณะของการตกกระแทกตามที่กำหนด ซึ่งเครื่องทดสอบการตกกระแทกที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเครื่องที่สร้างขึ้นมาเอง ดังนั้นในกระบวนการนี้จะพิจารณา 3 ส่วนประกอบ กล่าวคือส่วนแรกพิจารณาเครื่องทดสอบการตกกระแทก ส่วนที่สองเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการวัดค่าแรงเนื่องจากความเร่ง และส่วนสุดท้ายเป็นการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

3.2.1 เครื่องทดสอบการตกกระแทก

โดยทั่วไปแล้วเครื่องทดสอบการตกกระแทกมีหลายลักษณะขึ้นอยู่กับลักษณะการทดสอบ เช่นเครื่องทดสอบการตกกระแทกแนวราบและเอียง (horizontal and inclined impact tester) เครื่องทดสอบการตกกระแทกอย่างกะทันหันในแนวดิ่ง (vertical shock machine) เครื่องทดสอบการตกกระแทกอย่างอิสระ (free fall drop) ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์อย่างอิสระ ดังนั้นจึงสร้างเครื่องทดสอบการตกกระแทกอย่างอิสระขึ้นมาเพื่อทำการทดสอบ

3.2.1.1 การสร้างเครื่องทดสอบการตกกระแทก

เครื่องทดสอบการตกกระแทกแบบปล่อยตกอย่างอิสระที่สร้างสำหรับการทดสอบในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นโครงสร้างหลักสำหรับยึดเพลาที่ใช้เป็นแกนกลางในการเคลื่อนที่ขึ้นลงของชุดรองรับบรรจุภัณฑ์ที่ทำการทดสอบ ส่วนที่สองเป็นชุดสำหรับวางบรรจุภัณฑ์ทดสอบ โดยในส่วนนี้ประกอบด้วยแขนวางบรรจุภัณฑ์ซึ่งต่อกับชุดลูกปืนที่ใช้สำหรับเคลื่อนที่ขึ้นลงตามระดับความสูงในการทดสอบ ส่วนสุดท้ายเป็นแท่นรองรับการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ซึ่งทำจากคอนกรีตโดยมีร่องสำหรับให้แขนวางบรรจุภัณฑ์เคลื่อนที่ผ่านลงไปได้ เพื่อให้บรรจุภัณฑ์กระแทกกับแท่นรองรับโดยตรง ดังรูปที่ 3.16 และรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.16 แบบจำลองเครื่องทดสอบการตกกระแทก (Drop Tester Machine)

ในการออกแบบเครื่องทดสอบการตกกระแทก ระดับความสูงที่สามารถทดสอบได้อยู่ระหว่าง 20 cm ถึง 120 cm โดยที่ติดอุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer) กับฮาร์ดดิสก์ตรงกลาง ซึ่งอยู่ภายในกล่องบรรจุภัณฑ์ที่ทำการทดสอบ เพื่อวัดแรงเนื่องจากความเร่งระหว่างการตกกระแทกกับพื้น

รูปที่ 3.17 เครื่องทดสอบการตกกระแทก (Drop Tester Machine)

3.2.1.2 หลักการทำงานของเครื่องทดสอบการตกกระแทก

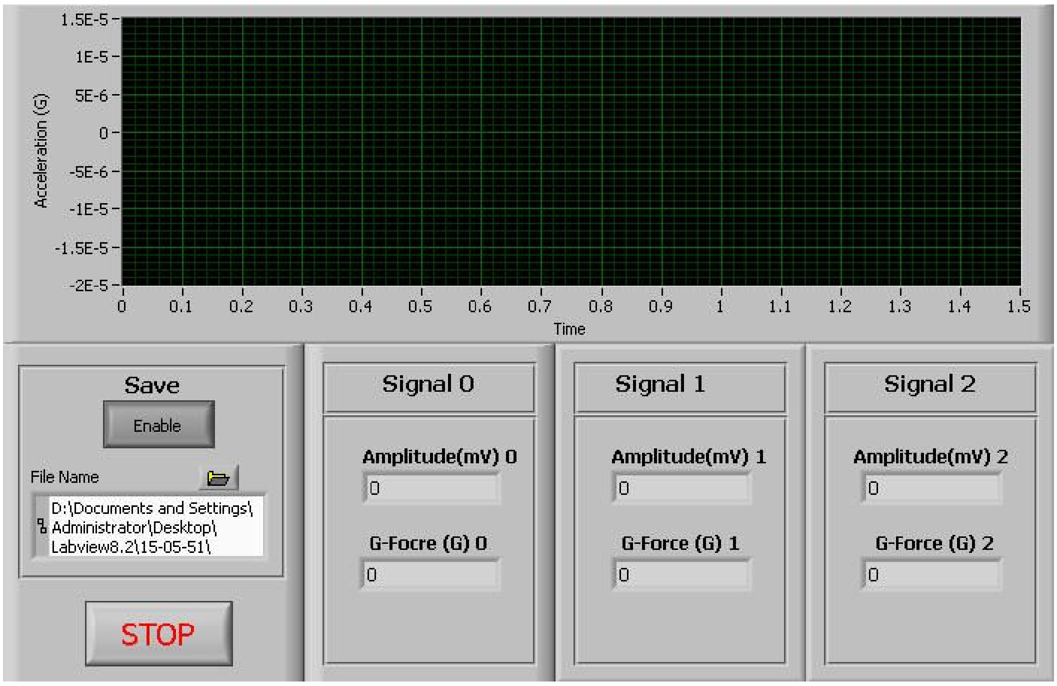
เครื่องทดสอบการตกกระแทกที่ใช้ในงานวิจัยนี้ถูกสร้างภายใต้ข้อจำกัดเรื่องค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องทดสอบ ดังนั้นจึงมุ่งเน้นให้สามารถทำงานได้ดีและถูกต้องมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องอาศัยการเคลื่อนที่ลงอย่างอิสระด้วยน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ที่ทำการทดสอบ โดยมีแนวความคิดที่ว่าน้ำหนักของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบมีน้ำหนักน้อยกว่าน้ำหนักของชุดแขนวางชิ้นงาน ซึ่งเมื่อยกชุดแขนวางชิ้นงานขึ้นไปแล้วปล่อยตก

อย่างอิสระชุดวางชิ้นงานก็จะเคลื่อนที่ลงมาด้วยความเร็วที่มากกว่าทำถึงพื้นก่อนแล้วค่อยตามด้วยบรรจุภัณฑ์ที่ทำการทดสอบ ดังนั้นบรรจุภัณฑ์จะเคลื่อนที่ตกกระแทกพื้นอย่างอิสระ ทั้งนี้ชุดของแขนวางชิ้นงานทดสอบจะเคลื่อนที่ลงไปในแผ่นคอนกรีตที่เป็นพื้นสำหรับรองรับแรงกระแทก ซึ่งได้ออกแบบเป็นช่องให้ชุดแขนวางลงไปได้ ทำให้ผิวของชุดแขนที่วางชิ้นงานทดสอบอยู่ต่ำกว่าระดับพื้นที่บรรจุภัณฑ์ตกกระทบ จึงทำให้ไม่เกิดแรงกระแทกซ้ำจากการกระเด้งกลับของชุดแขนจับชิ้นงานทดสอบ

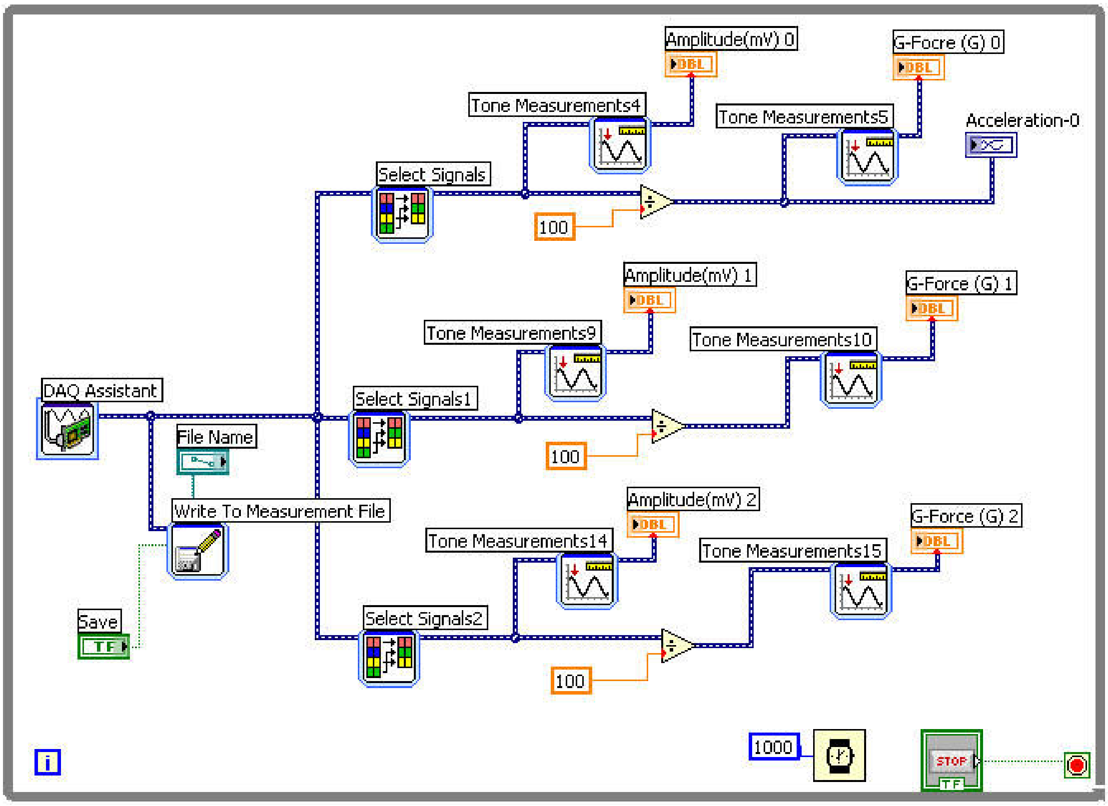
3.2.2 การทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

3.2.2.1 โปรแกรมวัดค่าในการทดสอบ

การวัดค่าแรงเนื่องจากความเร่งจากการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ในงานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer) ชนิด 3 แกน (Triaxial) ต่อกับ DAQ card เชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์แล้วทำการวัดด้วยโปรแกรม LabVIEW 8.5 โดยโปรแกรมที่ใช้ในการวัดครั้งนี้ผู้วิจัยเขียนเพื่อใช้ในงานวิจัยเอง ดังแสดงในรูปที่ 3.18 โดยการรับค่าของแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่ได้จาก Accelerometer เข้ามาและทำการเปลี่ยนค่าของแรงดันไฟฟ้าเป็นค่าแรงเนื่องจากความเร่ง โดย 1 มิลลิโวลต์ (milivoltage; mV) มีค่าเท่ากับ 100 G ดังรูปที่ 3.19



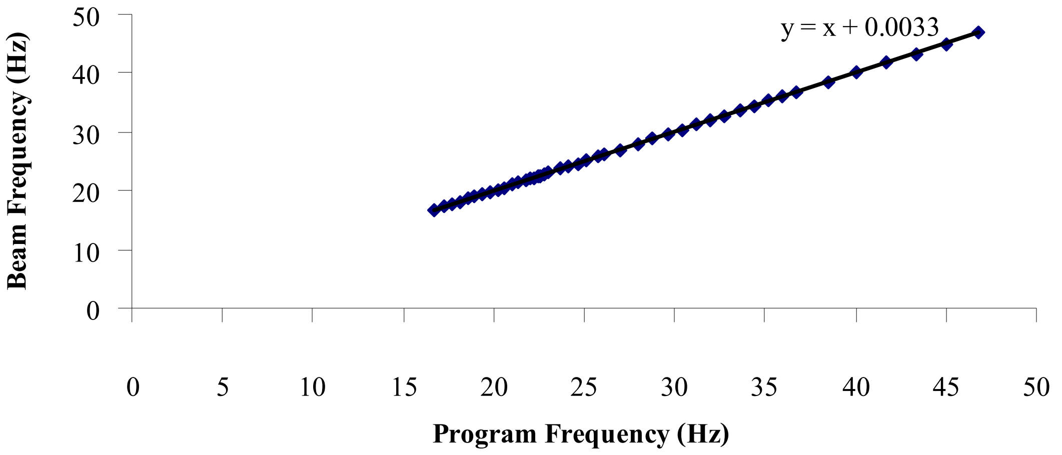
รูปที่ 3.18 หน้าต่างโปรแกรมที่ใช้ในการวัดแรงเนื่องจากความเร่ง



รูปที่ 3.19 โปรแกรมและลายวงจร (Diagram) ที่ใช้ในการวัดค่าแรงเนื่องจากความเร่ง

3.2.2.2 การตรวจสอบโปรแกรมที่ใช้ในการวัดค่า

การทดสอบโปรแกรมที่ใช้ในการวัดค่าจากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกนั้นกระทำได้โดยการนำโปรแกรมที่เขียนขึ้นไปทดสอบกับการสั่นของระบบคานเดียวเพื่อวัดค่าความถี่ในการสั่นของคานแล้วนำมาเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่ป้อนให้กับคาน ผลที่ได้แสดงให้เห็นค่าที่ใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.20 ดังนั้นจากผลการทดสอบดังกล่าวนั้นแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมและ Accelerometer ที่ใช้ในการทดสอบมีความถูกต้องสามารถนำไปใช้งานได้

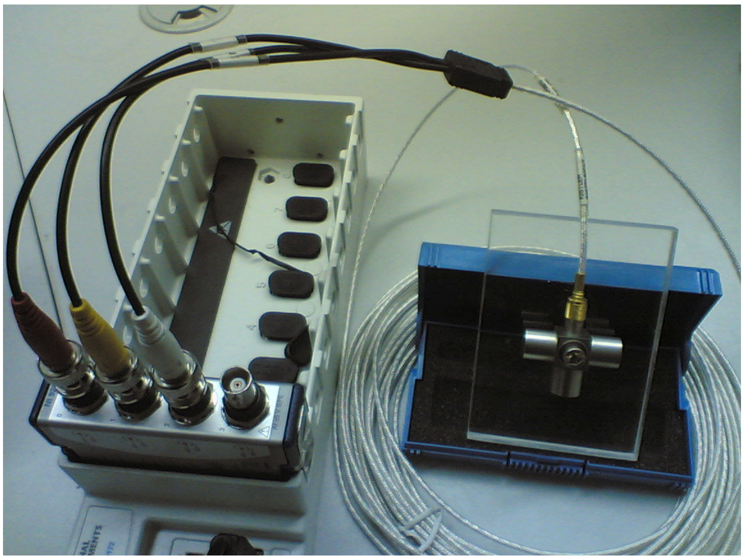


รูปที่ 3.20 เปรียบเทียบความถี่ที่ป้อนให้กับคานกับความถี่ที่ได้จากการโปรแกรม

3.2.2.3 วิธีการทดสอบ

ในการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกมีขั้นตอนและรายละเอียดในการทดสอบดังต่อไปนี้

1. ติด Accelerometer เข้ากับแผ่นอะคริลิกด้วยสกรูและอีกด้านของปลายสายวัดนำไปต่อกับ DAQ ดังรูปที่ 3.21



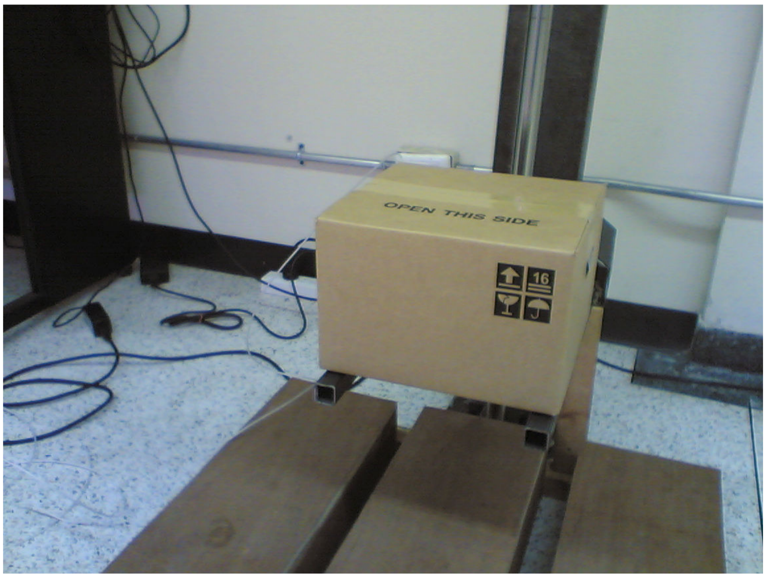
รูปที่ 3.21 การติดตั้งสายวัดกับ DAQ และ Accelerometer กับแผ่นอะคริลิก

2. นำแผ่นอะคริลิกจำนวน 20 อัน ที่ใช้เป็นแบบจำลองฮาร์ดดิสก์มาประกอบเข้ากับชิ้นวัสดุกันกระแทกโดยให้ชิ้นที่ติด Accelerometer นั้นอยู่ตรงกลางของบรรจุภัณฑ์ แล้วบรรจุลงในกล่องกระดาษและทำการปิดกล่องให้สนิท ดังรูปที่ 3.22 และ 3.23

รูปที่ 3.22 การประกอบแผ่นอะคริลิกที่ติดตั้ง Accelerometer เข้ากับวัสดุกันกระแทกแล้วนำลงกล่อง

รูปที่ 3.23 การบรรจุแผ่นอะคริลิกที่ติดตั้ง Accelerometer เข้ากับวัสดุกันกระแทกแล้วนำลงกล่องบรรจุภัณฑ์พร้อมก่อนการปิดผนึก

3. นำกล่องบรรจุภัณฑ์ที่จากขั้นตอนที่ 2 ไปทำการวางบนแขนชุดวางบรรจุภัณฑ์ทดสอบ โดยวางในรูปแบบตามที่กำหนด แล้วเลื่อนชุดวางบรรจุภัณฑ์ขึ้นไปที่ระดับความสูง ตามที่ได้กำหนดแล้วทำการปล่อยให้ตกอย่างอิสระ ดังรูปที่ 3.24



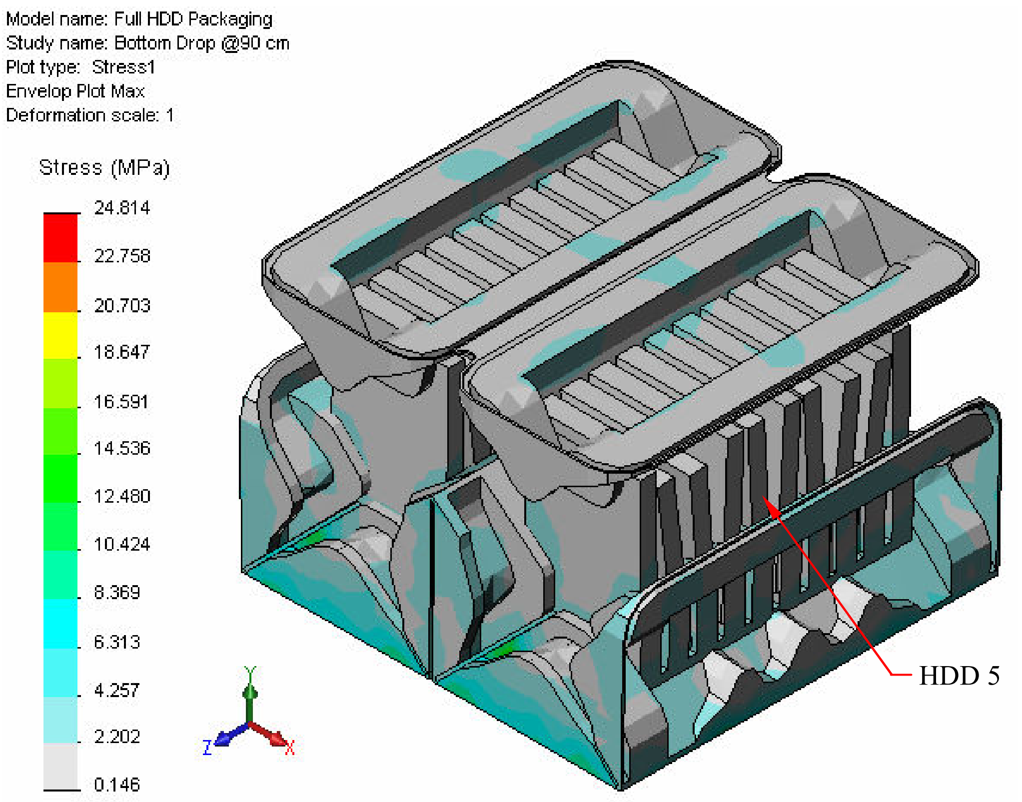
รูปที่ 3.24 บรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ที่พร้อมทำการทดสอบการตกกระแทก

4. บันทึกค่าที่ได้จากการโปรแกรมที่ใช้ในการวัด

5. ทำการทดสอบซ้ำขั้นตอนเดิมโดยเปลี่ยนรูปแบบและความสูงของการตกกระแทกให้ครบตามที่กำหนดตามตารางที่ 3.2

บทที่ 4
ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ในบทนี้เป็นการนำเสนอผลการทดสอบและการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ ดังนั้นผลที่ได้จากงานวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ผลจากการจำลองการตกกระแทกด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ระเบียบไฟไนต์อิลิเมนต์ COSMOSWorks2007 และผลจากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทก เนื่องจากบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ภายในบรรจุด้วยฮาร์ดดิสก์จำนวน 20 อัน ดังนั้นการพิจารณาผลที่เกิดขึ้นจะพิจารณาที่ฮาร์ดดิสก์ตัวที่ 5 ซึ่งเป็นฮาร์ดดิสก์ตัวที่อยู่ตรงกลาง ทั้งนี้เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นกับทั้งบรรจุภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ซึ่งเป็นการแสดงตัวอย่างของความเค้น ที่ได้จากการจำลองการตกกระแทกจากด้านล่าง (Bottom) ที่ระดับความสูง 90 cm



รูปที่ 4.1 แสดงผลความเค้นของการตกกระแทกด้านล่าง (Bottom) จากความสูง 90 cm

ตัวอย่างผลที่ได้จากการจำลองการตกกระแทกจากด้านล่าง ที่ความสูง 90 cm โดยพิจารณาความเค้น ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ตัวที่ 5 ของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ ทำนองเดียวกันในรูปแบบการตกกระแทกอื่น ๆ จะให้ผลที่ได้แตกต่างกันออกไปดังจะแสดงรายละเอียดต่อไป

4.1 ผลการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

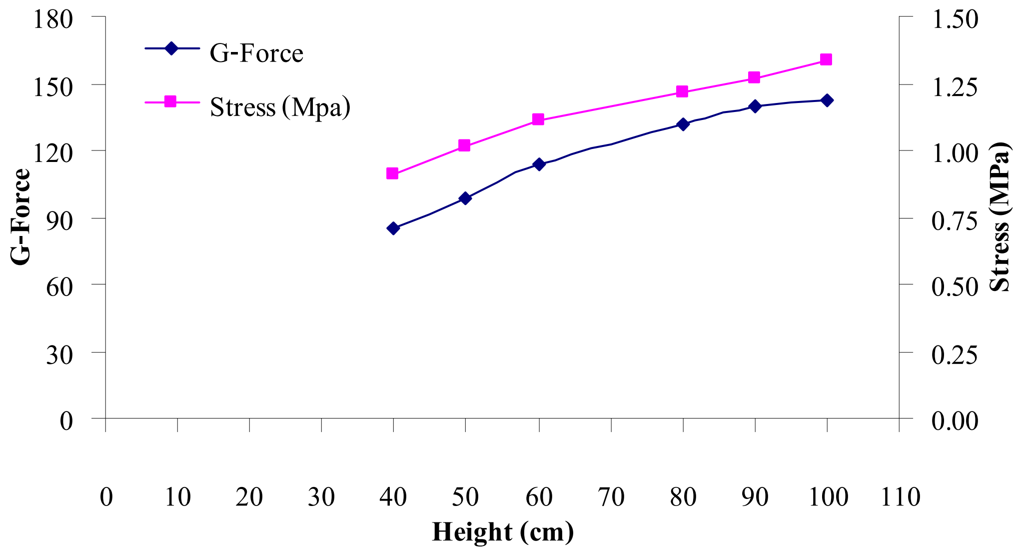
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ในทิศทาง 8 ทิศทางตกกระแทกคือ ตกกระแทกด้านล่าง ด้านหน้า ด้านข้าง ด้านบน ขอบด้านหน้า ขอบด้านข้าง ขอบแนวดิ่ง และมุม โดยในแต่ละทิศทางกำหนดให้มีการกระแทกจากระดับความสูง 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm ในทุกทิศทางการตกกระแทก รวมทั้งหมด 48 กรณีทดสอบ โดยมีผลการจำลองดังต่อไปนี้

4.1.1 ผลการจำลองการตกกระแทกด้านล่าง

การจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์โดยให้ด้านล่างของบรรจุภัณฑ์ตกกระแทกพื้น ที่ระดับความสูงวัดจากผิวด้านล่างของบรรจุภัณฑ์ถึงพื้นที่ตกกระแทกเท่ากับ 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm ผลการจำลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 แสดงผลที่มากที่สุดจากการจำลองตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกด้านล่าง

Height (cm)	**Maximum Value**	
	G-Force (G)	**Stress (MPa)**
40	85.37	0.91
50	98.66	1.01
60	114.15	1.11
80	132.08	1.22
90	140.02	1.27
100	142.55	1.34



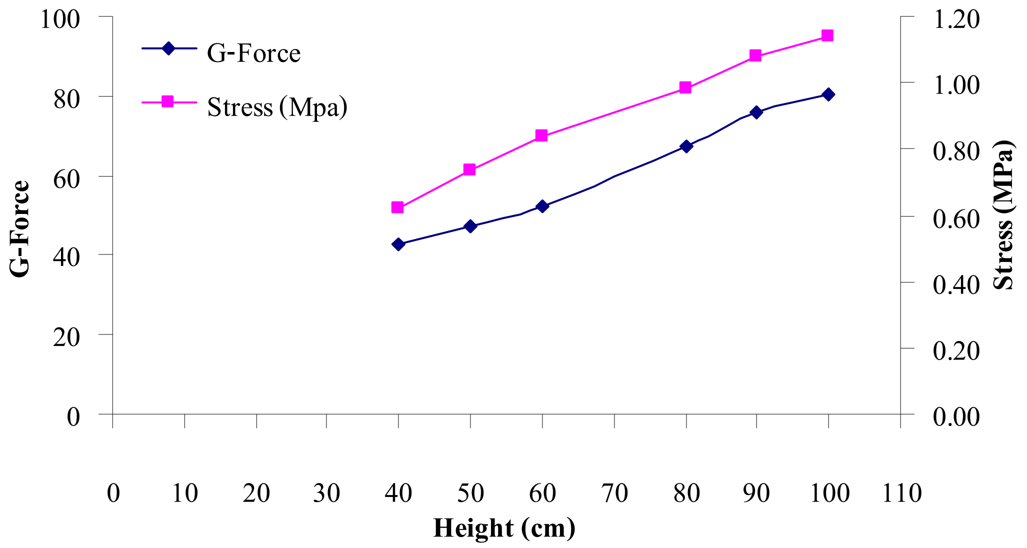
รูปที่ 4.2 ค่าความเค้น และแรงเนื่องจากความเร่ง ที่มากที่สุดของการจำลองการกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกด้านล่าง

4.1.2 ผลการจำลองการตกกระแทกด้านหน้า

การจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์โดยให้ด้านหน้าของบรรจุภัณฑ์ตกกระแทกพื้น ที่ระดับความสูงวัดจากผิวด้านหน้าของบรรจุภัณฑ์ถึงพื้นที่ตกกระแทกเท่ากับ 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm ผลการจำลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 แสดงผลที่มากที่สุดจากการจำลองตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกด้านหน้า

Height (cm)	**Maximum Value**	
	G-Force (G)	**Stress (MPa)**
40	42.86	0.62
50	47.26	0.73
60	52.19	0.83
80	67.25	0.98
90	75.72	1.07
100	80.41	1.13



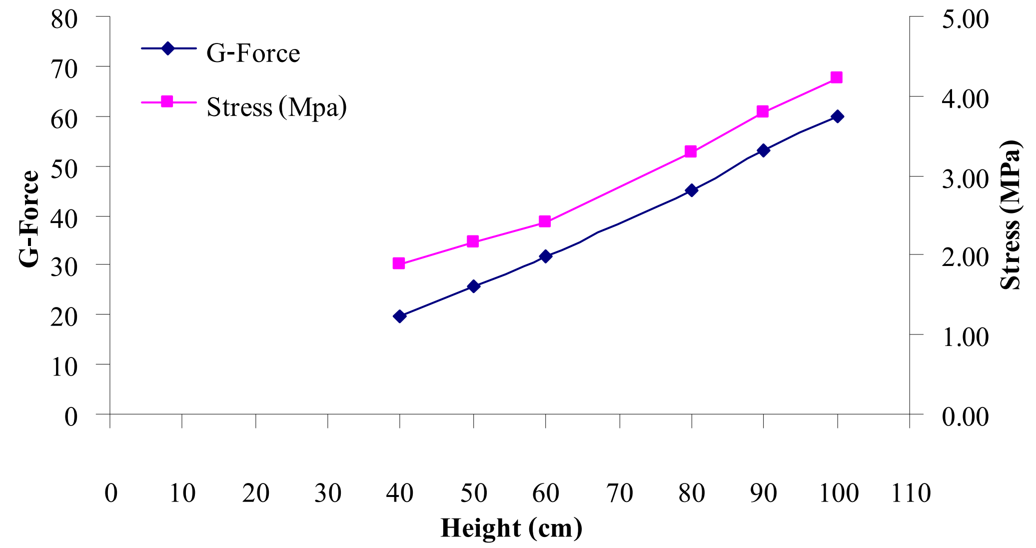
รูปที่ 4.3 ค่าความเค้น และแรงเนื่องจากความเร่ง ที่มากที่สุดของการจำลองการกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกด้านหน้า

4.1.3 ผลการจำลองการตกกระแทกด้านข้าง

การจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์โดยให้ด้านข้างของบรรจุภัณฑ์ตกกระแทกพื้น ที่ระดับความสูงวัดจากผิวด้านข้างของบรรจุภัณฑ์ถึงพื้นที่ตกกระแทกเท่ากับ 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm ผลการจำลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 แสดงผลที่มากที่สุดจากการจำลองตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกจากด้านข้าง

Height (cm)	Maximum Value	
	G-Force (G)	Stress (MPa)
40	19.54	1.89
50	25.79	2.17
60	31.71	2.40
80	45.11	3.29
90	53.12	3.80
100	59.83	4.21



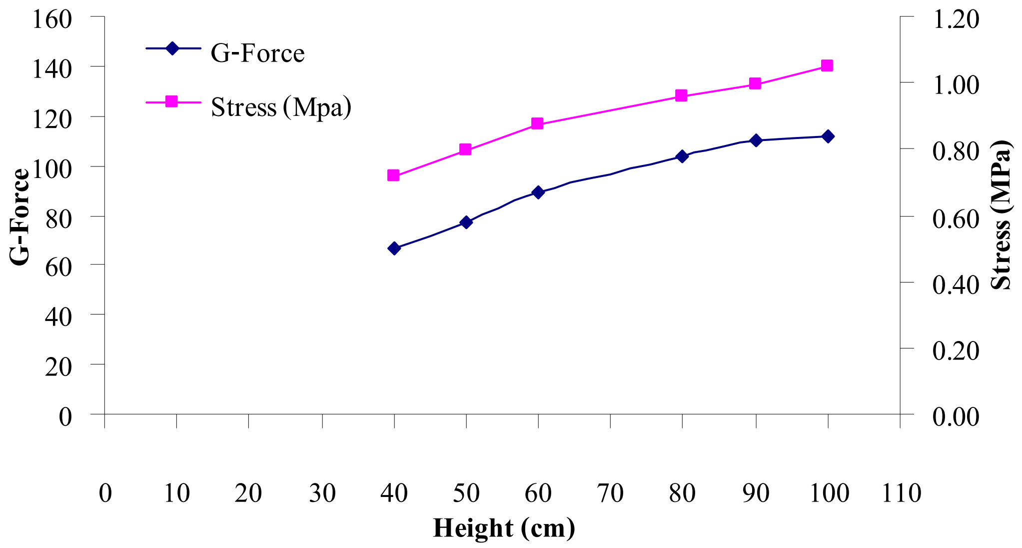
รูปที่ 4.4 ค่าความเค้น และแรงเนื่องจากความเร่ง ที่มากที่สุดของการจำลองการกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกด้านข้าง

4.1.4 ผลการจำลองการตกกระแทกด้านบน

การจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์โดยให้ด้านบนของบรรจุภัณฑ์ตกกระแทกพื้น ที่ระดับความสูงวัดจากผิวด้านบนของบรรจุภัณฑ์ถึงพื้นที่ตกกระแทกเท่ากับ 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm ผลการจำลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 แสดงผลที่มากที่สุดจากการจำลองตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกจากด้านบน

Height (cm)	**Maximum Value**	
	G-Force (G)	**Stress (MPa)**
40	67.01	0.71
50	77.45	0.80
60	89.61	0.87
80	103.69	0.96
90	109.91	1.00
100	111.90	1.05



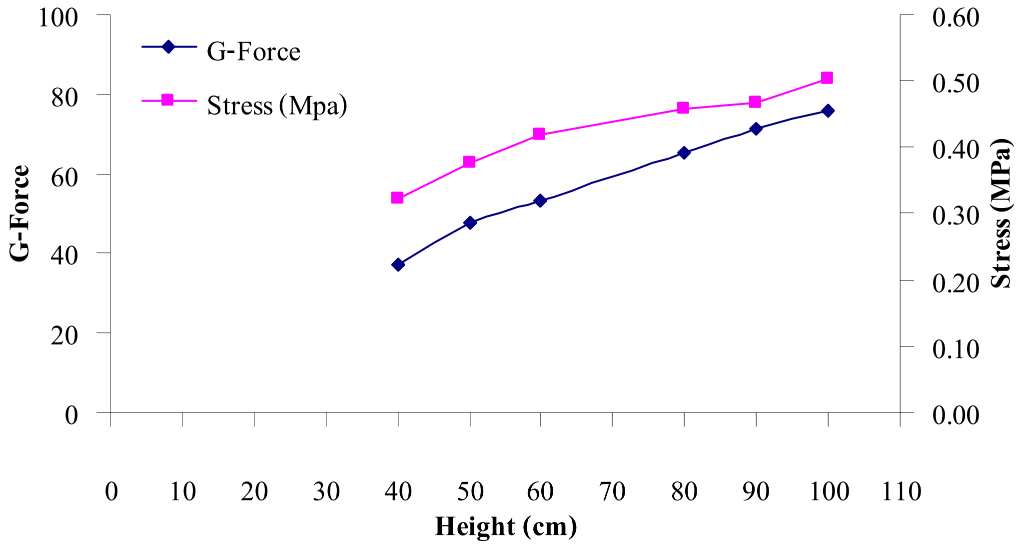
รูปที่ 4.5 ค่าความเค้น และแรงเนื่องจากความเร่ง ที่มากที่สุดของการจำลองการกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกด้านบน

4.1.5 ผลการจำลองการตกกระแทกขอบด้านหน้า

ในกรณีของการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์โดยให้ขอบด้านหน้าของบรรจุภัณฑ์ตกกระแทกพื้นนั้นมีความแตกต่างจากการจำลองการตกกระแทกในลักษณะที่ได้กล่าวมาข้างต้น กล่าวคือระดับความสูงที่วัดจากขอบด้านหน้าของบรรจุภัณฑ์ถึงพื้นที่ตกกระแทกเท่ากับ 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm และต้องกำหนดให้ผิวประกอบของขอบด้านหน้าทั้ง 2 ผิวประกอบนั้น ต่างก็ต้องทำมุม 45 องศากับแนวระดับ โดยผลของการจำลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 แสดงผลที่มากที่สุดจากการจำลองตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกจากขอบด้านหน้า

Height (cm)	Maximum Value	
	G-Force (G)	Stress (MPa)
40	37.29	0.32
50	47.51	0.38
60	53.08	0.42
80	65.46	0.46
90	71.26	0.47
100	76.09	0.50



รูปที่ 4.6 ค่าความเค้น และแรงเนื่องจากความเร่งที่มากที่สุดของการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกขอบด้านหน้า

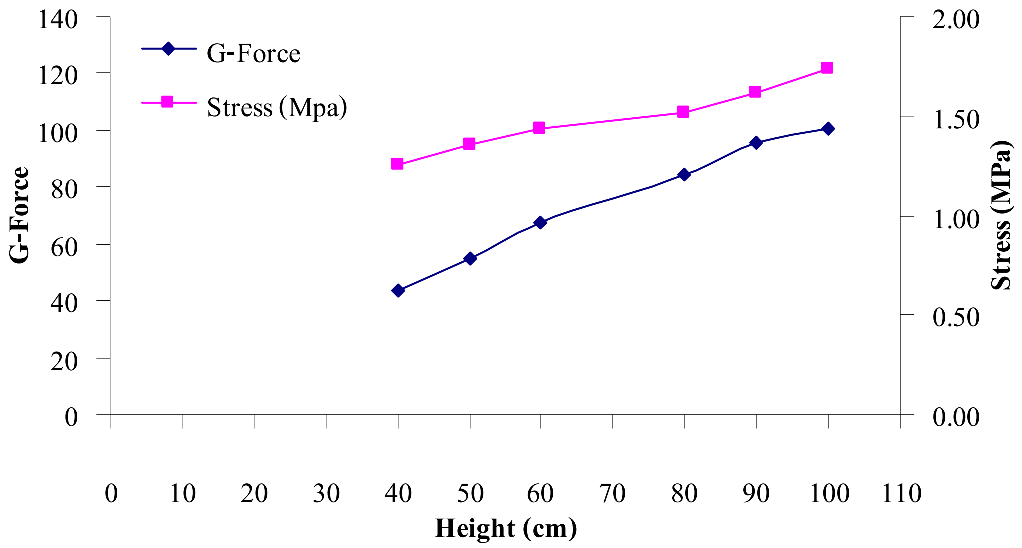
4.1.6 ผลการจำลองการตกกระแทกขอบด้านข้าง

การจำลองการตกกระแทกของขอบด้านข้างมีลักษณะคล้ายกับการจำลองการตกกระแทกขอบด้านหน้าคือ ความสูงในการจำลองการตกกระแทกวัดจากผิวขอบด้านข้างของบรรจุภัณฑ์ถึงพื้นที่ตกกระแทกเท่ากับ 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm และผิวประกอบของขอบด้านข้าง

ทั้ง 2 ผิวประกอบนั้น ต่างก็ทำมุม 45 องศากับแนวระดับ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองดังแสดงในตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 แสดงผลที่มากที่สุด จากการจำลองตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกจากขอบด้านข้าง

Height (cm)	Maximum Value	
	G-Force (G)	Stress (MPa)
40	43.76	1.26
50	54.69	1.36
60	67.36	1.44
80	84.22	1.52
90	95.34	1.61
100	100.71	1.74



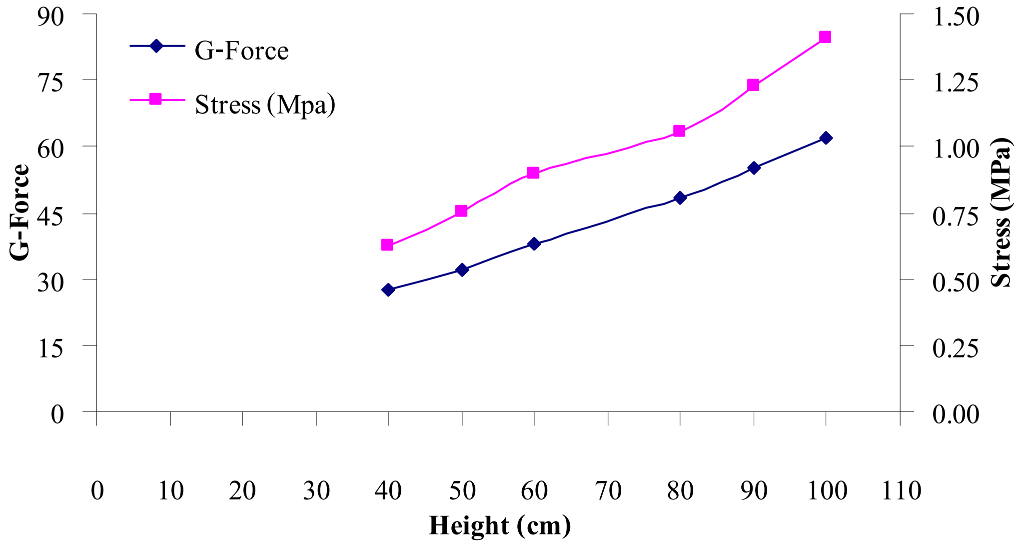
รูปที่ 4.7 ค่าความเค้น และแรงเนื่องจากความเร่งที่มากที่สุดของการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกขอบด้านข้าง

4.1.7 ผลการจำลองการตกกระแทกขอบแนวดิ่ง

การจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์โดยให้ขอบแนวดิ่งของบรรจุภัณฑ์ตกกระแทกพื้นมีลักษณะคล้ายกับการจำลองการตกกระแทกขอบด้านหน้าและขอบด้านข้าง นั้นคือความสูงวัดจากขอบแนวดิ่งของบรรจุภัณฑ์ถึงพื้นที่ตกกระแทกเท่ากับ 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm และผิวประกอบของขอบแนวดิ่งทั้ง 2 ผิวประกอบนั้นต่างก็ทำมุม 45 องศากับแนวระดับ ผลการจำลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.7 และ รูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.7 แสดงผลที่มากที่สุดจากการจำลองตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกจากขอบแนวดิ่ง

Height (cm)	Maximum Value	
	G-Force (G)	Stress (MPa)
40	27.64	0.63
50	32.33	0.76
60	37.85	0.89
80	48.36	1.06
90	55.33	1.23
100	61.99	1.41



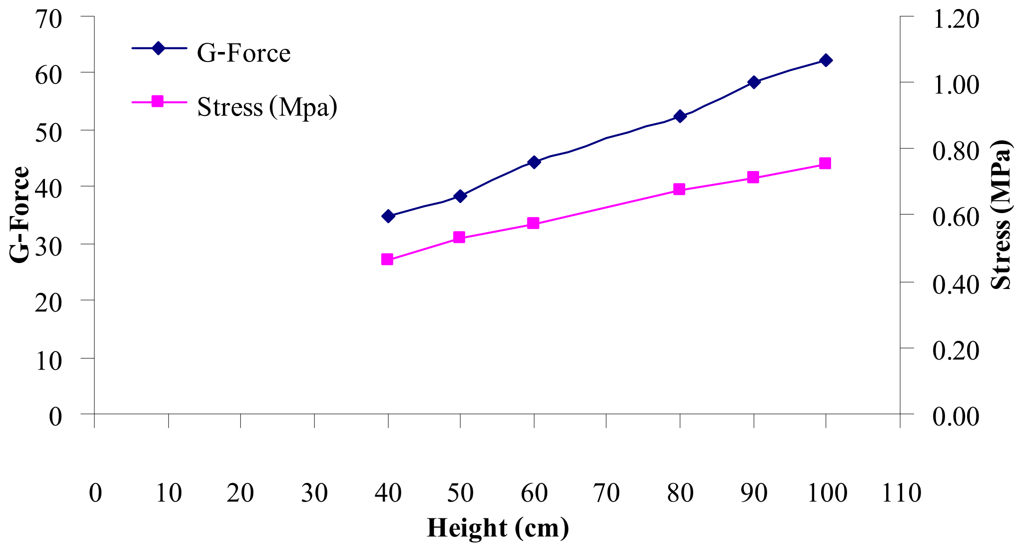
รูปที่ 4.8 ค่าความเค้น และแรงเนื่องจากความเร่งที่มากที่สุดของการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกขอบแนวดิ่ง

4.1.8 ผลการจำลองการตกกระแทกของมุม

การจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์โดยให้มุมของบรรจุภัณฑ์ตกกระแทกพื้น ที่ระดับความสูงวัดจากมุมของบรรจุภัณฑ์ถึงพื้นที่ตกกระแทกเท่ากับ 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm ผลการจำลองที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และ รูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 แสดงผลที่มากที่สุด จากการจำลองตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกจากมุม

Height (cm)	Maximum Value	
	G-Force (G)	Stress (MPa)
40	34.97	0.47
50	38.34	0.53
60	44.15	0.57
80	52.51	0.67
90	58.34	0.71
100	62.13	0.75



รูปที่ 4.9 ค่าความเค้น และแรงเนื่องจากความเร่งที่มากที่สุดของการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกมุม

4.2 ผลการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

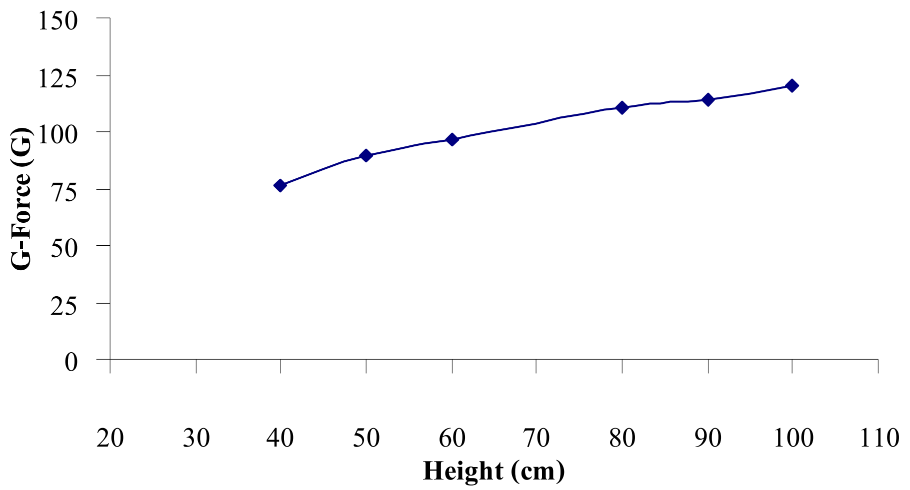
การทดสอบการตกกระแทกด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบในลักษณะเดียวกับการจำลองการตกกระแทกด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ทางไฟไนต์อิลิเมนต์ COSMOSWorks2007 กล่าวคือทดสอบในรูปแบบการตกกระแทกจากด้านล่าง ด้านหน้า ด้านข้าง ด้านบน ขอบด้านหน้า ขอบด้านข้าง ขอบแนวดิ่ง และมุม ที่ระดับความสูง 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm. ในทุกทิศทางการตกกระแทก ระดับความสูงของการทดสอบวัดจากฐานรองรับ ดังรูปที่ 3.17 ถึงผิวของกล่องกระดาษบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ด้านที่ตกกระแทกโดยผลที่ได้เป็นดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลการทดสอบการตกกระแทกด้านล่าง

จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกเพื่อวัดค่า G-Force ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ในบรรจุภัณฑ์ โดยพิจารณาค่าที่มากที่สุดที่เกิดขึ้นในการตกกระแทกจากด้านล่างที่ระดับความสูง 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm ผลการทดสอบที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และ รูปที่ 4.10

ตารางที่ 4.9 แสดงผล G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกด้านล่าง

Height (cm)	40	50	60	80	90	100
G-Force (G)	76.46	89.06	96.57	110.86	114.18	120.52



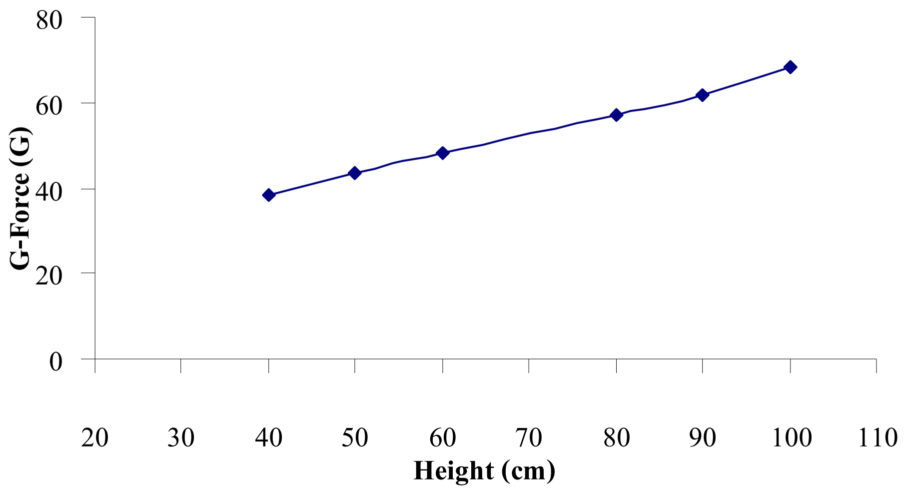
รูปที่ 4.10 ค่า G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบการตกกระแทกของด้านล่างบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

4.2.2 ผลการทดสอบการตกกระแทกด้านหน้า

จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกเพื่อวัดค่า G-Force ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ในบรรจุภัณฑ์ โดยพิจารณาค่าที่มากที่สุดที่เกิดขึ้นจากการตกกระแทกจากด้านหน้าที่ระดับความสูง 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm ผลการทดสอบที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.10 และ รูปที่ 4.11

ตารางที่ 4.10 แสดงผล G-Force (G) ที่มากที่สุดจากการทดสอบตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกด้านหน้า

Height (cm)	40	50	60	80	90	100
G-Force (G)	38.54	43.60	48.15	57.04	61.86	68.19



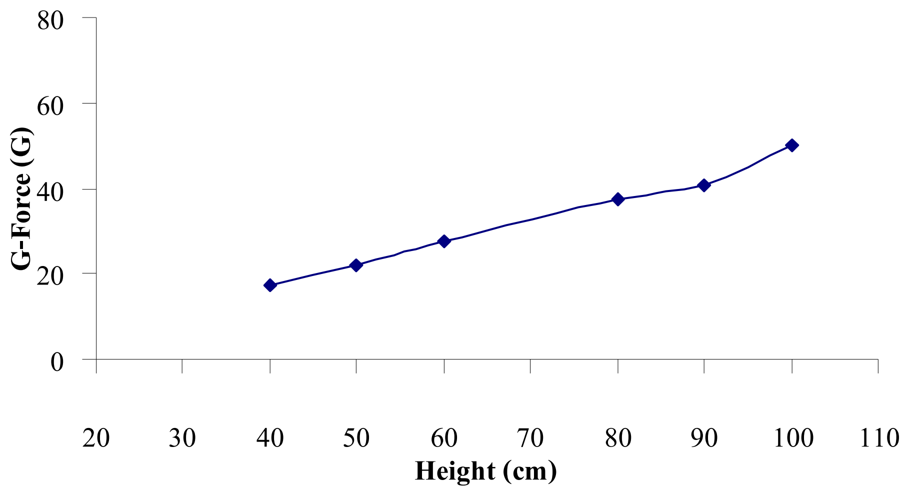
รูปที่ 4.11 ค่า G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบการตกกระแทกของด้านหน้าบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

4.2.3 ผลการทดสอบการตกกระแทกด้านข้าง

จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกเพื่อวัดค่า G-Force ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ในบรรจุภัณฑ์ โดยพิจารณาค่าที่มากที่สุดที่เกิดขึ้นจากการตกกระแทกจากด้านข้างที่ระดับความสูง 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm ผลการทดสอบที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.11 และ รูปที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 แสดงผล G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกด้านข้าง

Height (cm)	40	50	60	80	90	100
G-Force (G)	17.38	21.79	27.43	37.62	40.80	50.19



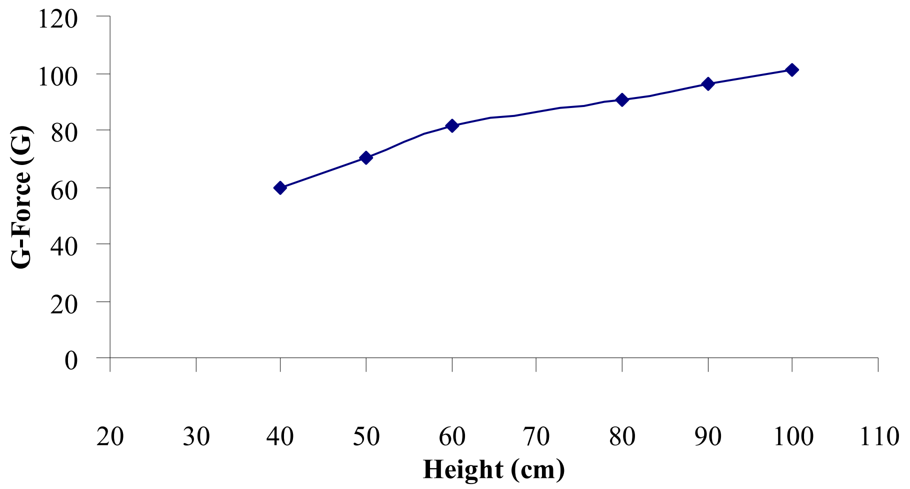
รูปที่ 4.12 ค่า G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบการตกกระแทกของด้านข้างบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

4.2.4 ผลการทดสอบการตกกระแทกด้านบน

จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกเพื่อวัดค่า G-Force ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ในบรรจุภัณฑ์ โดยพิจารณาค่าที่มากที่สุดที่เกิดขึ้นจากการตกกระแทกจากด้านบนที่ระดับความสูง 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm ผลการทดสอบที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.12 และ รูปที่ 4.13

ตารางที่ 4.12 แสดงผล G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกด้านบน

Height (cm)	40	50	60	80	90	100
G-Force (G)	59.82	70.46	81.67	90.66	96.40	101.24



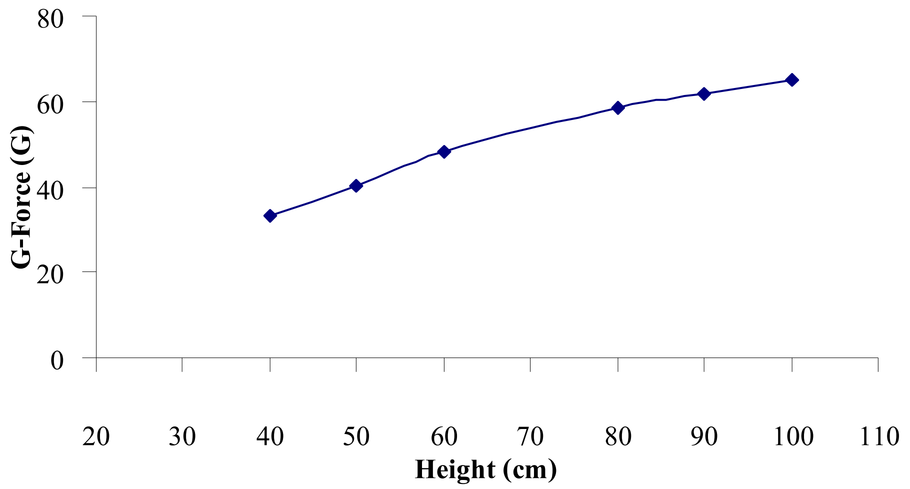
รูปที่ 4.13 ค่า G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบการตกกระแทกด้านบนของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

4.2.5 ผลการทดสอบการตกกระแทกขอบด้านหน้า

จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกเพื่อวัดค่า G-Force ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ในบรรจุภัณฑ์ โดยพิจารณาค่าที่มากที่สุดที่เกิดขึ้นจากการตกกระแทกจากขอบด้านหน้าที่ระดับความสูง 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm ผลการทดสอบที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.13 และ รูปที่ 4.14

ตารางที่ 4.13 แสดงผล G-Force ที่มากที่สุด จากการทดสอบตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกขอบด้านหน้า

Height (cm)	40	50	60	80	90	100
G-Force (G)	33.40	40.43	47.97	58.39	61.74	65.20



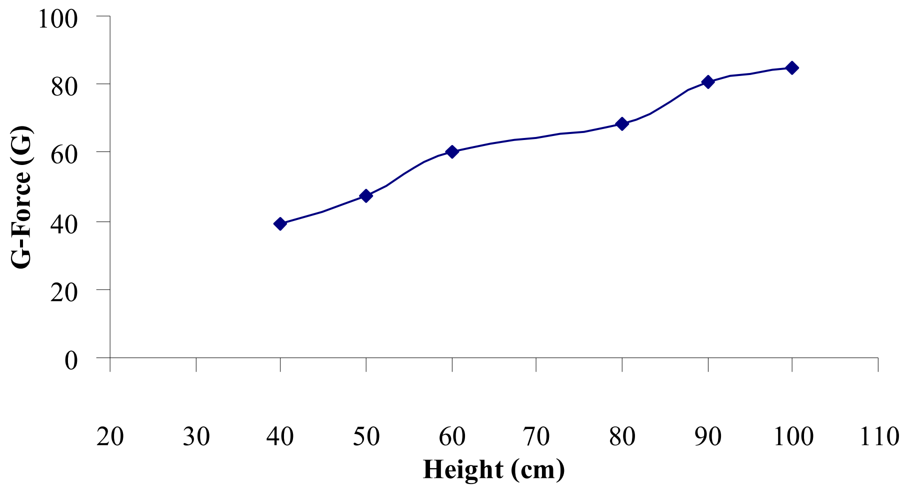
รูปที่ 4.14 ค่า G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบการตกกระแทกของขอบด้านหน้าบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

4.2.6 ผลการทดสอบการตกกระแทกจากขอบด้านข้าง

จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกเพื่อวัดค่า G-Force ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ในบรรจุภัณฑ์ โดยพิจารณาค่าที่มากที่สุดที่เกิดขึ้นจากการตกกระแทกของขอบด้านข้างที่ระดับความสูง 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm ผลการทดสอบที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.14 และ รูปที่ 4.15

ตารางที่ 4.14 แสดงผล G-Force ที่มากที่สุด จากการทดสอบตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกจากขอบด้านข้าง

Height (cm)	40	50	60	80	90	100
G-Force (G)	39.37	47.46	60.15	68.70	80.96	84.91



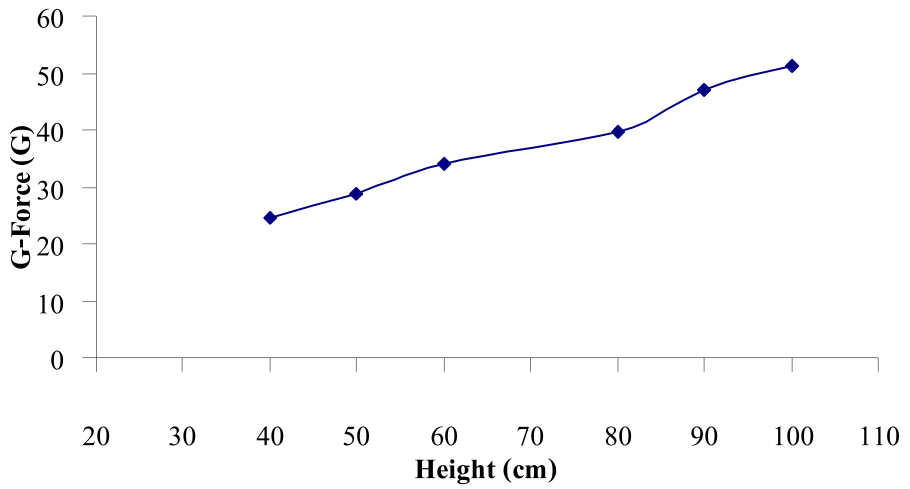
รูปที่ 4.15 ค่า G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบการตกกระแทกขอบด้านข้างของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

4.2.7 ผลการทดสอบการตกกระแทกจากขอบแนวดิ่ง

จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกเพื่อวัดค่า G-Force ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ในบรรจุภัณฑ์ โดยพิจารณาค่าที่มากที่สุดที่เกิดขึ้นจากการตกกระแทกจากขอบแนวดิ่งที่ระดับความสูง 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm ผลการทดสอบที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.15 และ รูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.15 แสดงผล G-Force ที่มากที่สุด จากการทดสอบตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกจากขอบแนวดิ่ง

Height (cm)	40	50	60	80	90	100
G-Force (G)	24.50	28.93	33.92	39.62	47.05	51.19



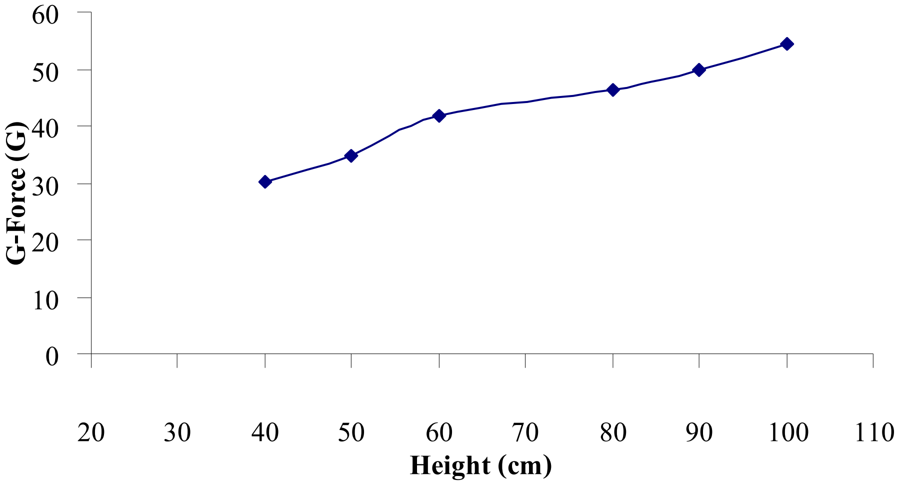
รูปที่ 4.16 ค่า G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกจากขอบแนวดิ่ง

4.2.8 ผลการทดสอบการตกกระแทกจากมุม

จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกเพื่อวัดค่า G-Force ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ในบรรจุภัณฑ์ โดยพิจารณาค่าที่มากที่สุดที่เกิดขึ้นจากการตกกระแทกจากมุม ที่ระดับความสูง 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm โดยผลการทดสอบที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.16 และ รูปที่ 4.17

ตารางที่ 4.16 แสดงผล G-Force ที่มากที่สุด จากการทดสอบตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกของมุม

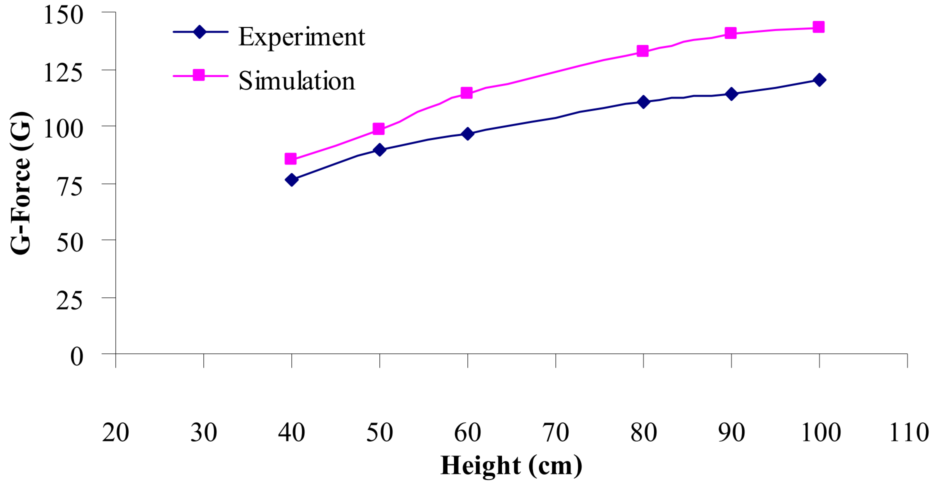
Height (cm)	40	50	60	80	90	100
G-Force (G)	30.26	34.57	41.73	46.45	49.82	54.32



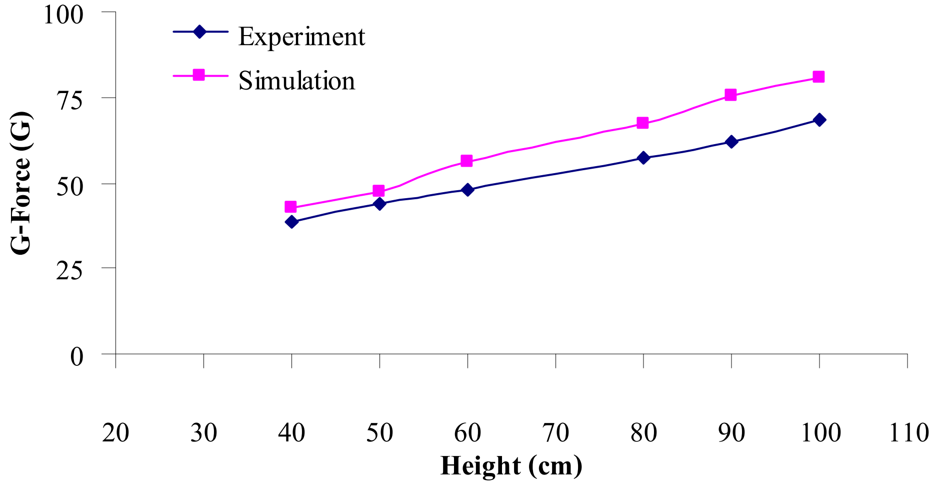
รูปที่ 4.17 ค่า G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบการตกกระแทกที่มุมบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

4.3 เปรียบเทียบผลจากการจำลองและการทดสอบ

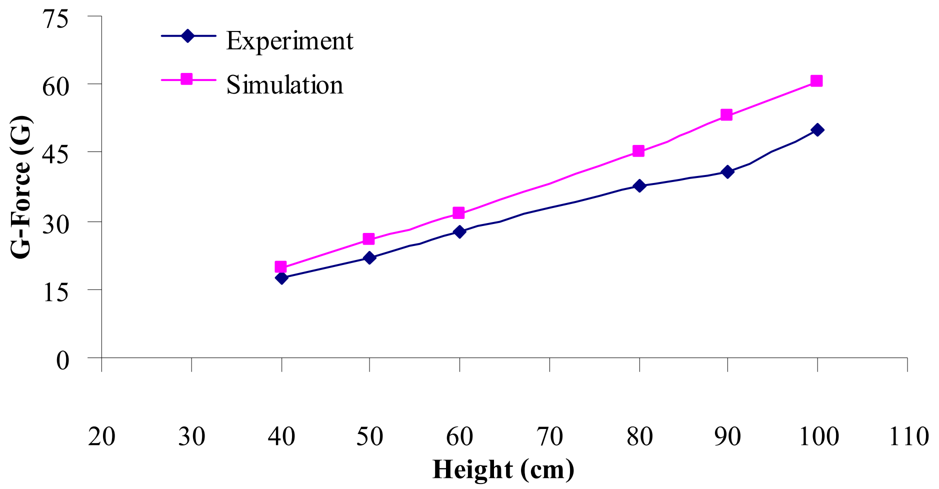
ผลที่ได้จากการจำลองการตกกระแทกด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ COSMOSWorks2007 และการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกนั้น เมื่อนำผลที่ได้จากทั้งสองวิธีดังกล่าวนั้นมาเปรียบเทียบกัน และเพื่อหาความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์ กล่าวคือจุดมุ่งหมายประการหนึ่งจากผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยนี้ คือหาวิธีการใหม่ ๆ ในการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ นั้นก็คือการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ โดยใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ เป็นเครื่องมือช่วยในการทดสอบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำค่าที่ได้จากการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ COSMOSWorks2007 มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทก โดยที่ได้งานวิจัยนี้ได้นำค่าแรงเนื่องจากความเร่งมาทำการเปรียบเทียบ โดยทำการเปรียบเทียบในทุกทิศทางและระดับความสูงต่าง ๆ ในการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.18 ถึงรูปที่ 4.25



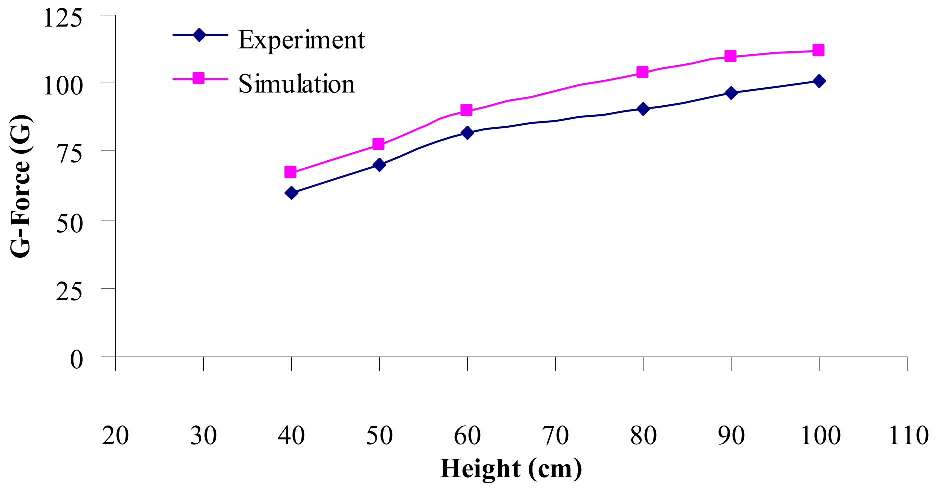
รูปที่ 4.18 เปรียบเทียบผล G-Force (G) ที่มากที่สุดจากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกจากด้านล่างของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์



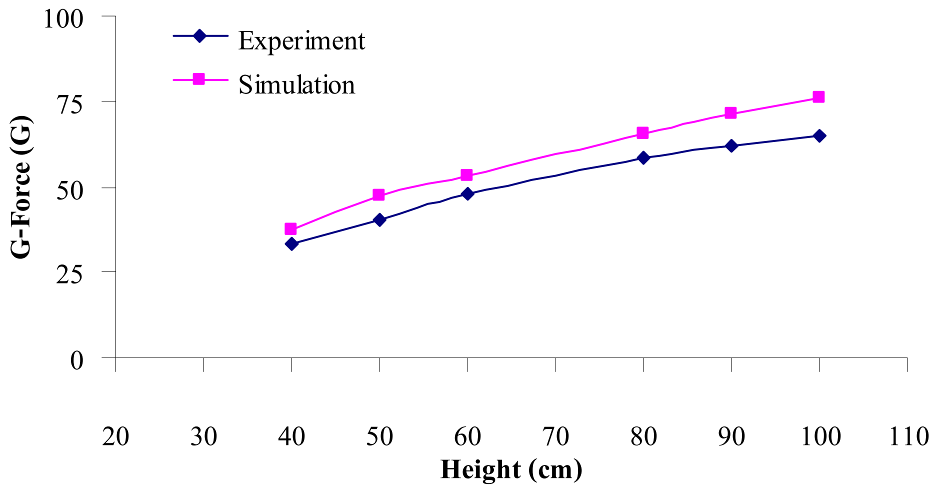
รูปที่ 4.19 เปรียบเทียบผล G-Force (G) ที่มากที่สุดจากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกจากด้านหน้าของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์



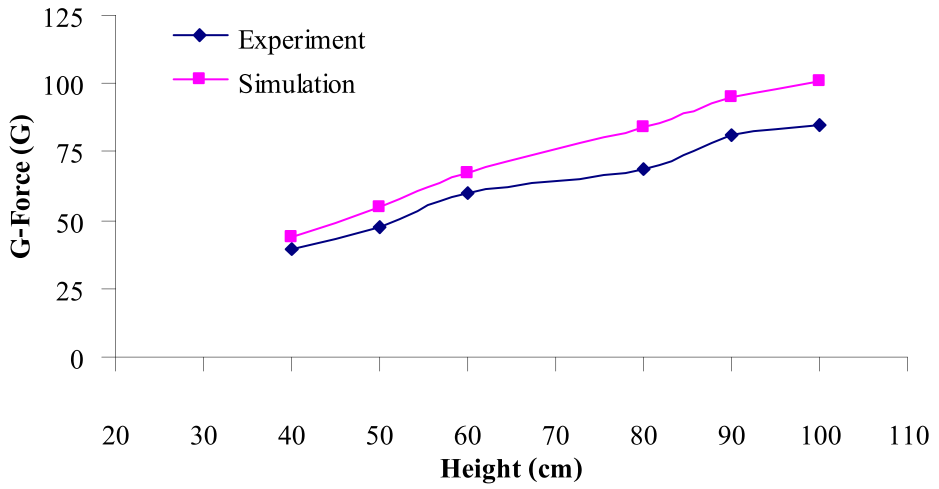
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบผล G-Force (G) ที่มากที่สุดจากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกจากด้านข้างของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์



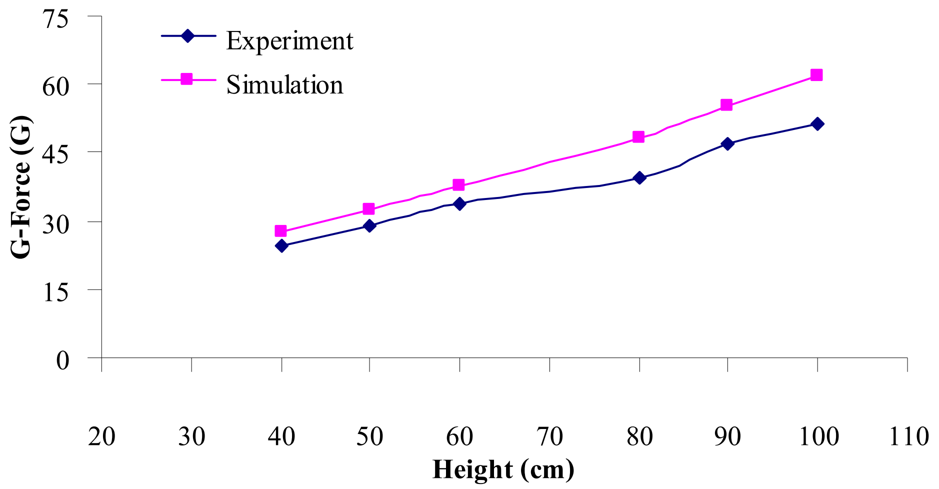
รูปที่ 4.21 เปรียบเทียบผล G-Force (G) ที่มากที่สุดจากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกจากด้านบนของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์



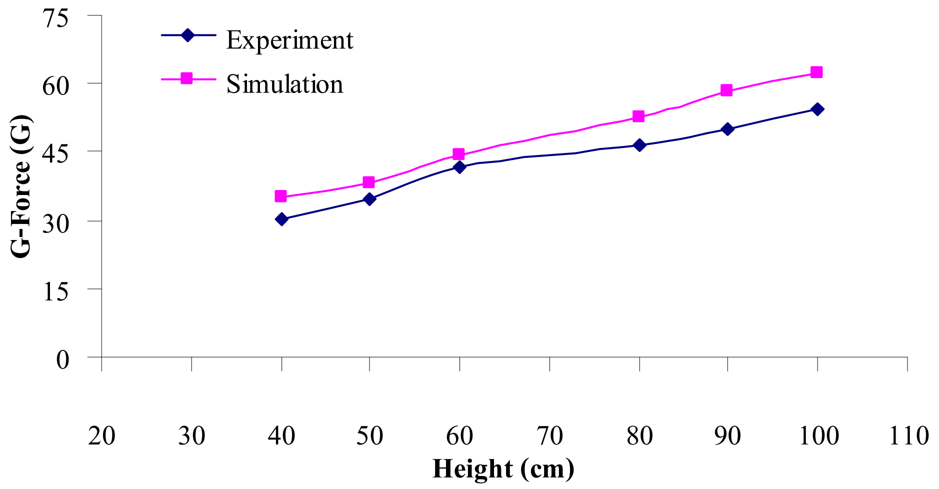
รูปที่ 4.22 เปรียบเทียบผล G-Force (G) ที่มากที่สุดจากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกจากขอบด้านหน้าของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์



รูปที่ 4.23 เปรียบเทียบผล G-Force (G) ที่มากที่สุดจากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกจากขอบด้านข้างของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์



รูปที่ 4.24 เปรียบเทียบผล G-Force (G) ที่มากที่สุดจากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกจากขอบแนวดิ่งของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์



รูปที่ 4.25 เปรียบเทียบผล G-Force (G) ที่มากที่สุดจากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกของมุมบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

จากการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ แสดงให้เห็นว่าผลที่ได้จากการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกนั้น ค่าของแรงเนื่องจากความเร่งที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์มีค่าน้อยกว่าการจำลองการตกกระแทกด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ COSMOSWorks2007 ในทุกกรณีการทดสอบ ทั้งนี้จากส่วนประกอบของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในการทดสอบด้วย

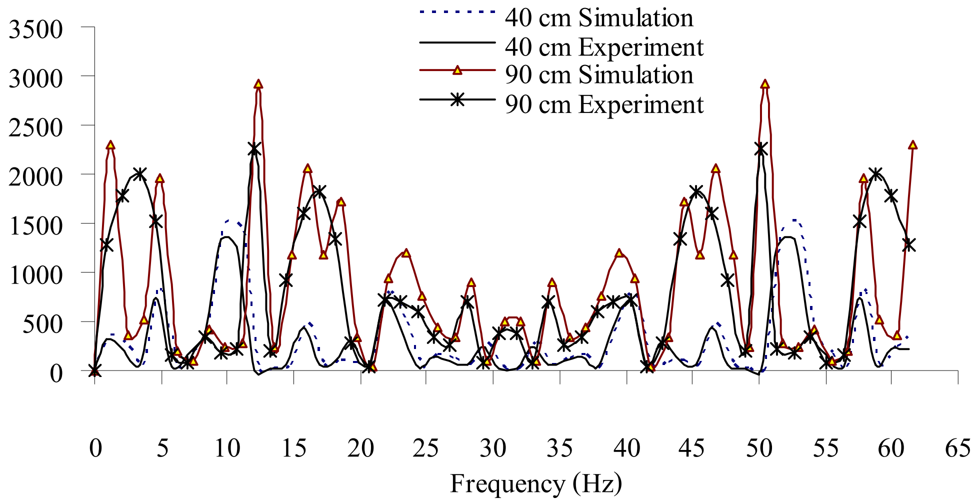
เครื่องทดสอบการตกกระแทกนั้นแตกต่างจากส่วนประกอบของการจำลอง นั้นคือในการทดสอบจะมีกล่องกระดาษเป็นส่วนประกอบด้วยในบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ ทำให้ฮาร์ดดิสก์ที่อยู่ในบรรจุภัณฑ์นั้นได้รับการดูดซับแรง (absorb) จากการกระแทกทำให้ค่าแรงเนื่องจากความเร่งนั้นมีค่าน้อยกว่าการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ COSMOSWorks2007

ตารางที่ 4.17 ค่าความคลาดเคลื่อน (% error) ของค่า G-Force จากการทดสอบและการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

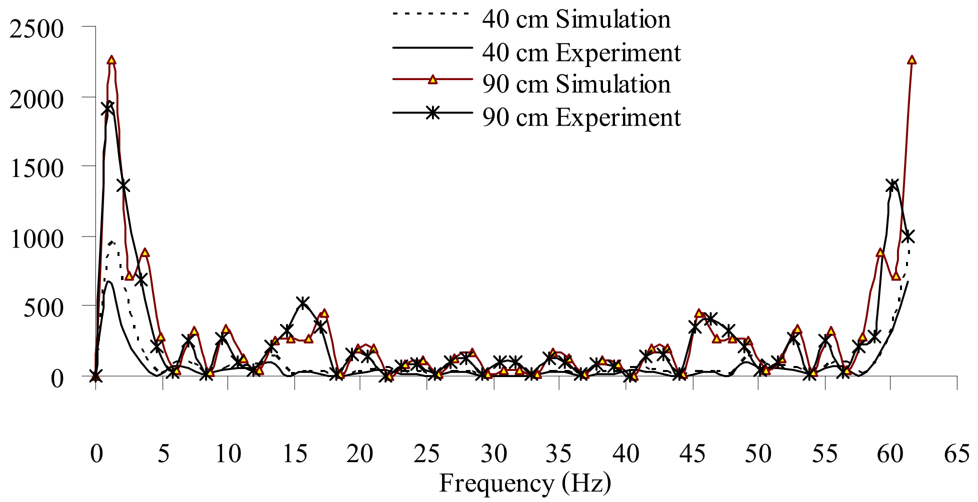
ทิศทางการตกกระแทก	**ความคลาดเคลื่อน (%) ของ G-Force จากการทดสอบและการจำลอง**					
	40 cm	**50 cm**	**60 cm**	**80 cm**	**90 cm**	**100 cm**
ด้านล่าง	11.65	10.78	16.21	19.14	22.63	18.28
ด้านหน้า	11.20	8.39	16.70	17.89	22.41	19.93
ด้านข้าง	12.46	18.34	15.62	19.91	30.19	20.37
ด้านบน	12.01	9.93	9.72	14.37	14.01	10.53
ขอบด้านหน้า	11.63	12.50	10.65	12.10	15.41	16.70
ขอบด้านข้าง	11.14	15.24	11.99	22.59	17.76	18.60
ขอบแนวดิ่ง	12.81	11.76	11.58	22.07	17.60	21.09
มุม	13.55	10.90	5.79	13.06	17.09	18.38

เมื่อพิจารณาผลที่ได้จากการจำลองและการทดสอบในแต่ละกรณีพบว่า ค่าของแรงเนื่องจากความเร่งที่ได้จากการทดสอบนั้นมีลักษณะของความแตกต่างจากการจำลองโดยในช่วงการทดสอบการตกกระแทกที่ระดับความสูง 40, 50 และ 60 cm นั้นค่าของแรงเนื่องจากความเร่งที่ได้จากทั้ง 2 วิธีนี้มีค่าความแตกต่างที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับระดับความสูงของการตกกระแทกที่ 80, 90 และ 100 cm ดังตารางที่ 4.17 จากผลที่เกิดขึ้นในลักษณะดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของระดับความสูงในการจำลองยิ่งมีระดับที่สูงมากเท่าใดก็ยิ่งทำให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนแตกต่างจากผลการทดสอบมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นในการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ COSMOSWorks2007 ไม่เหมาะสมกับการจำลองการตกกระแทกจากระดับความสูงมาก ๆ เพราะจะทำให้ผลที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนมากตามไปด้วย

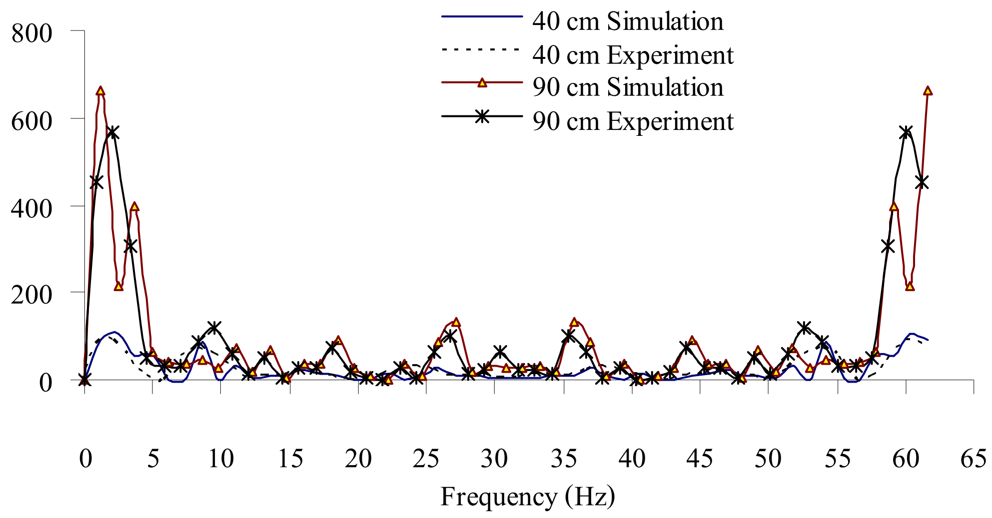
ความเสียหายของฮาร์ดดิสก์ในบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์นั้นพบว่าเกิดจากแรงเนื่องจากความเร่งที่เกิดจากการตกกระแทก แต่ในบางครั้งความเสียหายของฮาร์ดดิสก์นั้นอาจเกิดขึ้นจากความถี่ของการตกกระแทกพื้นได้ จึงได้พิจารณาความถี่ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการทดสอบการตกกระแทก โดยความถี่จากการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ในแต่ละทิศทางการตกกระแทก ผลที่เกิดขึ้นก็จะเป็นไปตามรูปที่ 4.26 ถึงรูปที่ 4.33



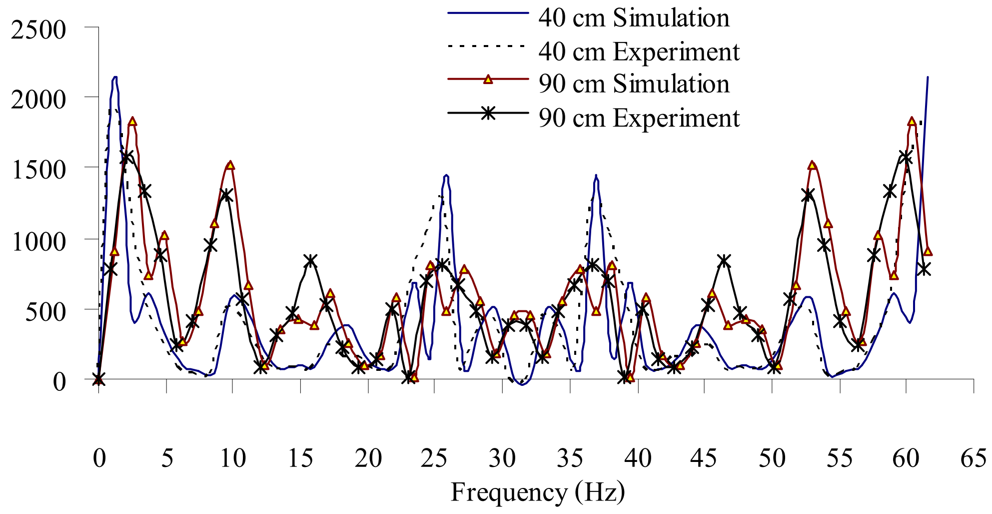
รูปที่ 4.26 ความถี่ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกด้านล่างของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์



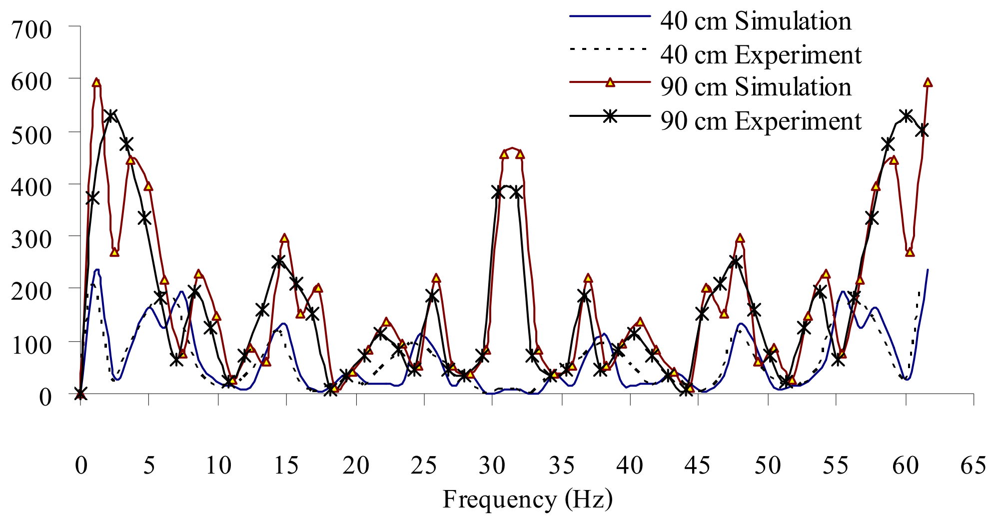
รูปที่ 4.27 ความถี่ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกด้านหน้าของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์



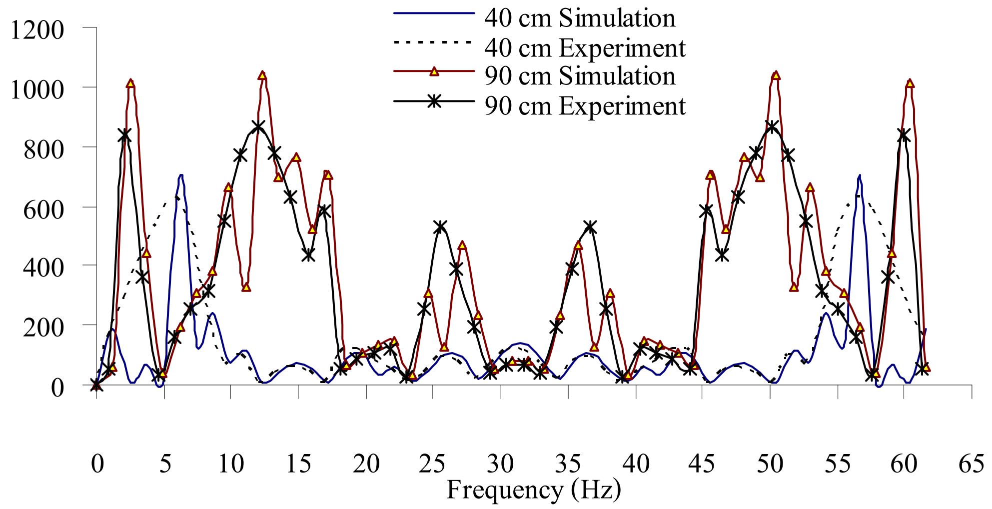
รูปที่ 4.28 ความถี่ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกด้านข้างของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์



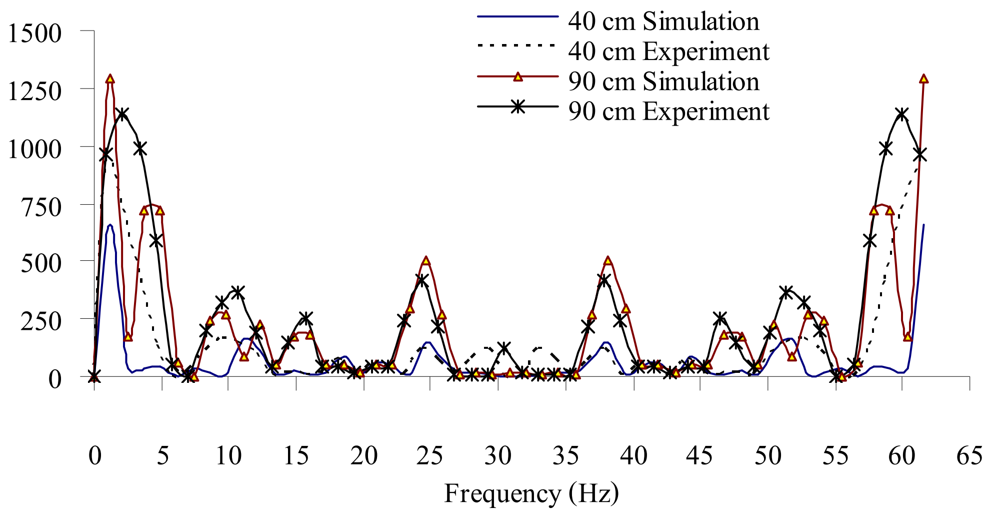
รูปที่ 4.29 ความถี่ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกด้านบนของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์



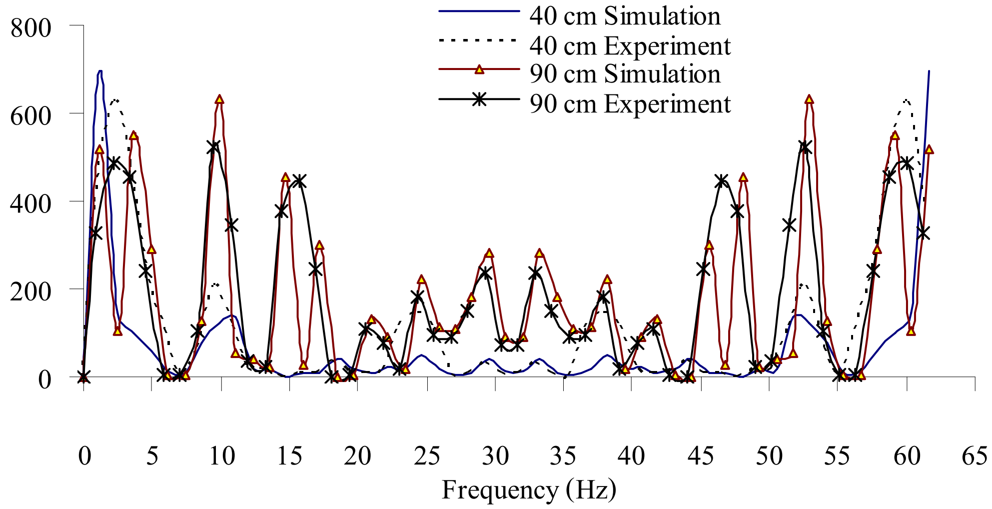
รูปที่ 4.30 ความถี่ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกขอบด้านหน้าของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์



รูปที่ 4.31 ความถี่ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกขอบด้านข้างของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์



รูปที่ 4.32 ความถี่ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกขอบแนวดิ่งของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์



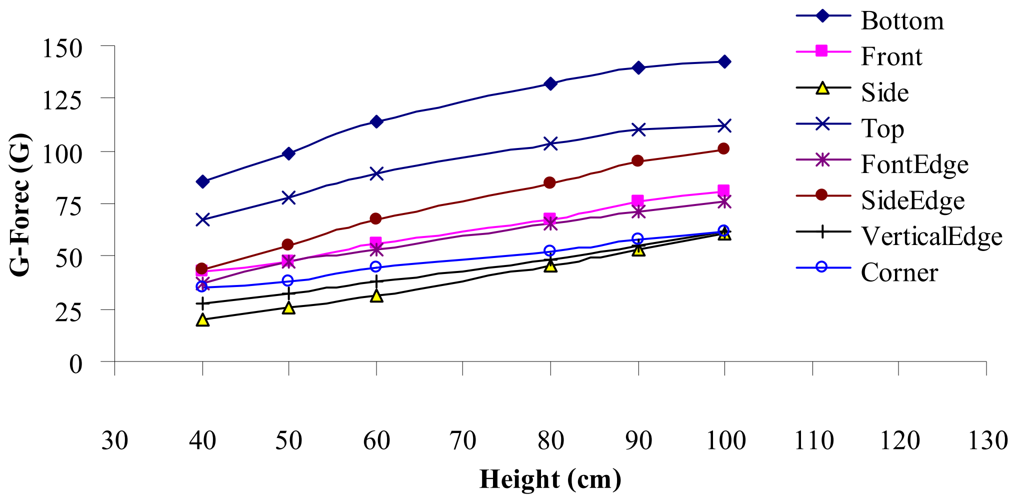
รูปที่ 4.33 ความถี่ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกมุมของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์

ผลจากการศึกษาความถี่ที่เกิดขึ้นจากการทดสอบการตกกระแทกทั้งจากการจำลองและการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทก พบว่าความถี่ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการทดสอบในงานวิจัยนี้อยู่ในช่วง 0 – 62 Hz ซึ่งพบว่าเป็นความถี่ที่ต่ำเมื่อเทียบกับค่าความถี่ของฮาร์ดดิสก์ที่ได้ทำการออกแบบมาดังข้อมูลที่ได้รับการอ้างอิงจากบริษัทผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ซึ่งค่าความถี่ของฮาร์ดดิสก์

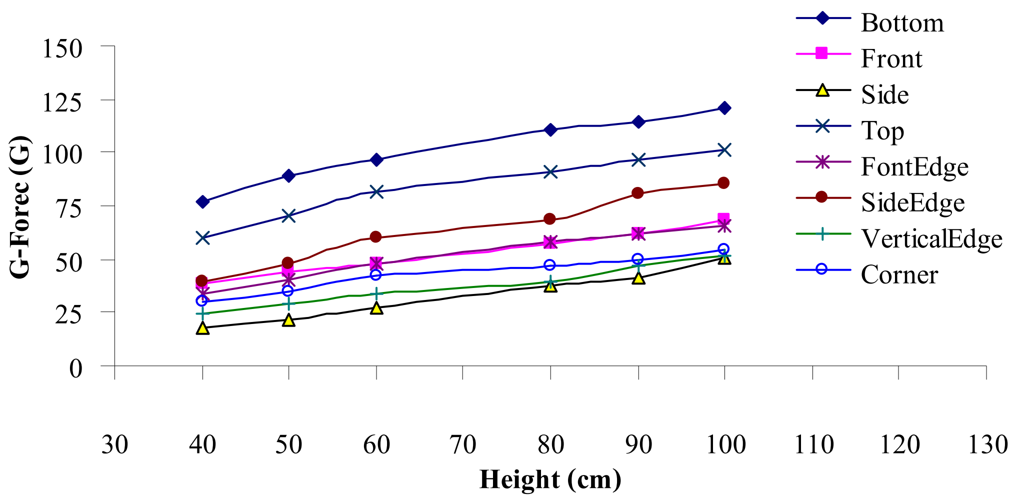
นั้นมีค่าค่อนข้างสูง จากผลของความถี่ดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นว่าการที่บรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์เกิดการตกกระแทกจากระดับความสูง 40 – 100 cm ความความเสียหายที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์เกิดขึ้นจากแรงดลที่มาจากการกระตกกระแทก ซึ่งไม่ได้เกิดจากความถี่ของการตกกระแทก

4.4 การอภิปรายผล

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่า G-Force ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ที่อยู่ในกล่องบรรจุภัณฑ์ในงานวิจัยนี้มีอยู่ 2 ปัจจัยคือ ความสูงและทิศทางของการตกกระแทก กล่าวคือเมื่อบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ตกกระแทกจากระดับความสูงยิ่งมากยิ่งทำให้เกิดแรงกระแทกมากตามไปด้วย ส่งผลให้เกิดค่า G-Force มากตามระดับความสูงของการตกกระแทก ไม่ว่าจะเป็นทิศทางของการตกกระแทกทิศทางใดก็ตาม ซึ่งแสดงให้เห็นจากผลที่ได้ทั้งจากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทก และผลจากการจำลองการตกกระแทกด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ COSMOSWorks2007 โดยค่าของแรงเนื่องจากความเร่งที่เกิดขึ้นในระดับความสูง 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm ของการจำลองการตกกระแทกนั้นอยู่ในช่วง 19.54 G – 85.37 G, 25.79 G – 98.66 G, 31.71 G – 114.15 G, 45.11 G-132.08 G, 53.12 G – 140.09 G และ 60.41 G – 142.55 G ตามลำดับ และค่าแรงเนื่องจากความเร่งจากการทดสอบการตกกระแทกจากระดับความสูง 40, 50, 60, 80, 90 และ 100 cm นั้นจะอยู่ในช่วง 17.38 G – 67.46 G, 21,76 G – 89.06 G, 27.43 G – 96.57 G, 37.62 G – 110.86 G, 40.80 G – 114.18 G และ 50.19 G – 120.52 G ตามลำดับ



รูปที่ 4.34 G-Force ที่มากที่สุดจากการจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ในทิศทางการตกกระแทกต่าง ๆ



รูปที่ 4.35 G-Force ที่มากที่สุดจากการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ในทิศทางการตกกระแทกต่าง ๆ

เมื่อพิจารณาผลของทิศทางการตกกระแทกจากงานวิจัยพบว่าค่าของแรงเนื่องจากความเร่งที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ในบรรจุภัณฑ์นั้นมีค่ามากที่สุดจากการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ทางด้านล่าง ด้านบน ด้านข้าง ด้านหน้า ขอบด้านหน้า มุม ขอบแนวดิ่ง และด้านข้าง ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาความถี่ที่เกิดขึ้นจากการจำลองและการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์นั้นไม่ก่อให้เกิดความเสียหายกับฮาร์ดดิสก์ในกล่องบรรจุภัณฑ์

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิจัยโดยสรุปและข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไปในอนาคต โดยหัวข้อ 5.1 กล่าวถึงผลสรุปของการวิจัย ได้แก่ ค่าแรงเนื่องจากความเร่งที่เกิดขึ้นจากการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ในแต่ละทิศทาง ทั้งจากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกและจากการจำลองการตกกระแทกด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ไฟไนต์อิลิเมนต์ หัวข้อ 5.2 กล่าวถึงข้อเสนอแนะในการดำเนินการทำวิจัยต่อไปเพื่อปรับปรุงและพัฒนาบรรจุภัณฑ์ให้สามารถรองรับแรงเนื่องจากความเร่งที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ จากการตกกระแทกในสภาวะแวดล้อมเดิมให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษางานวิจัยนี้ต้องการหาค่าแรงเนื่องจากความเร่งจากการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ ทั้งจากการทดสอบและการจำลองการตกกระแทก โดยคาดว่าผลที่ได้จากงานวิจัยนี้จะเป็นอีกหนึ่งแนวทางให้กับภาคอุตสาหกรรมทางด้านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ที่สามารถนำไปใช้ในการทดสอบการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ในรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ที่แตกต่างกันออกไป ทั้งนี้เพื่อเป็นการลดทรัพยากรที่ใช้ในการทดสอบทั้งทางด้านการเงินและเวลาในการทดสอบ งานวิจัยที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของข้อกำหนดต่าง ๆ ที่ไม่เหมือนกับบรรจุภัณฑ์จริงที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม ทั้งในแบบจำลองที่ไม่พิจารณากล่องกระดาษในแบบจำลองบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ และการทดลองที่ใช้แผ่นอะคริลิกแทนฮาร์ดดิสก์ในบรรจุภัณฑ์ที่ทำการทดลอง ซึ่งผลที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้สามารถสรุปได้เป็นหัวข้อไปนี้

1. ค่าแรงเนื่องจากความเร่งจากการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ มีค่ามากที่สุดเมื่อเกิดการกระแทกจาก ด้านล่าง ด้านบน ขอบด้านข้าง ด้านหน้า ขอบด้านหน้า มุม ขอบแนวดิ่งและด้านข้าง ตามลำดับ ทั้งจากการจำลองการตกกระแทกด้วย COSMOSWorks2007 และจากการทดลองด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทก

2. แรงเนื่องจากความเร่งที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกมีค่ามากกว่าจากการจำลองการตกกระแทกในทุกทิศทางและความสูง ด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ COSMOSWorks2007 ทั้งนี้เนื่องจากส่วนประกอบของบรรจุภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบ

และการจำลองแตกต่างกัน เช่น การไม่มีกล่องกระดาษลูกฟูกในแบบจำลองด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ COSMOSWorks2007 ในขณะที่การทดสอบด้วยเครื่องทดสอบมีกล่องกระดาษเป็นส่วนประกอบด้วย

3. ความถี่ที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์จากการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์นั้นไม่ส่งผลกระทบกับฮาร์ดดิสก์จนก่อให้เกิดความเสียหายได้โดยพิจารณาจากค่าความถี่ที่ได้จากการทดสอบซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 50 Hz ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าค่าที่ได้ทางผู้ผลิตได้ทำการออกแบบไว้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากการศึกษาปัญหาในครั้งนี้เป็นการศึกษาภายใต้ข้อกำหนดต่าง ๆ ดังนั้นลักษณะของปัญหาจึงเป็นปัญหาอย่างง่าย การที่ไม่พิจารณาส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์จริงในการจำลองการตกกระแทก และไม่มีการพิจารณากล่องกระดาษลูกฟูกในแบบจำลองนั้น ทำให้ผลที่ได้จึงแตกต่างจากผลการทดสอบของบริษัทผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ที่ได้ทำการทดสอบไว้ก่อนหน้านี้แล้ว

2. ในส่วนของการทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกนั้นได้ใช้แผ่นอะคริลิกแทนตัวของฮาร์ดดิสก์ และในข้อจำกัดของปริมาณกล่องบรรจุภัณฑ์ในการทดสอบทำให้ต้องนำกล่องที่ได้ทำการทดสอบมาก่อนแล้วมาทดสอบใหม่ ส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้แตกต่างจากการจำลองการตกกระแทกและการทดสอบจากผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์

3. ในการวิจัยครั้งต่อไปการวิเคราะห์ปัญหาด้วยการจำลองการตกกระแทกอาจพิจารณาส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์เหมือนกับฮาร์ดดิสก์จริง และพิจารณากล่องกระดาษเข้ามาเป็นส่วนประกอบในแบบจำลองบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ด้วย

4. ในการวิจัยครั้งต่อไปการทดลองการตกกระแทกด้วยเครื่องทดสอบการตกกระแทกนั้นจะใช้ฮาร์ดดิสก์จริง ๆในการทดสอบ และใช้กล่องกระดาษในการทดลองหนึ่งใบสำหรับการทดลองในแต่ละทิศทางและความสูงในการทดลองเท่านั้น

รายการอ้างอิง

กนต์ธร ชำนิประศาสน์ และ เรืองฤทธิ์ สารางคำ (2551). การจำลองกาตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์. **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22** มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี วันที่ 15 – 17 ตุลาคม.

พรชัย ราชตนะพันธุ์ (2550). พลศาสตร์การบรรจุ. **ภาควิชาเทคโนโลยีการบรรจุ คณะอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่**.: 175.

ศุภชัย ตระกูลทรัพย์ทวี และ สถาพรวังฉาย. SolidWorks/COSMOSWorks ขั้นพื้นฐาน. **สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น**.

Charles A. Harper. (2000). ELECTRONIC PACKAGEING AND INTERCONNECTION **HANDBOOK. Third Edition**, New York : McGraw-Hill.

G.X. Li, and F.A. Shemansky Jr. (2000). Drop test and analysis on micro-machined structures. **Sensor and Actuators.** 85: 280-286.

K.H. Low. (2003). Drop-impact cushioning effect of electronics products formed by plate. **Advance in Engineering Software.** 34: 31-50.

K.H. Low, Aiqiang Yang, K.H. Hoom, Xinwie Zhang, Judy K.T. Lim, and K.L. Lim. (2001). Initial study on the drop-impact behavior of mini Hi-Fi audio products. **Advance in Engineering Software**. 32: 683-693.

K.H. Low, Yuqi Wang, K.H. Hoon, and W.K. Wai. (2004). A virtual boundary model for a quick drop-impact analysis of electronic components in TV model. **Advance in Engineering Software.** 35: 537-551.

K.H. Low, Yuqi Wang, K.H. Hoon, and N. Vahdati**.** (2004). Initial global-local analysis for drop-impact effect study of TV products. **Advance in Engineering Software.** 35: 179-190.

Packaging Test Lab Requirement for Nectec R03. (2006). Hitachi Global Storage Technologies (Thailand) Company Limited.

R. Rajendran, K. Prem Sai, Saju Joy, K.C. Krishnamurthy, and S. Basu. (2005). Vertical impact shock response of a cask model on a rigid unyielding surface. **International Journal of Impact Engineering**. 37: 307-325.

Tong Yan Tee, Hun Shen Ng, Chwee Teck Lim, Eric Pek, and Zhaowei Zhong. (2004). Impact life prediction modeling of TFBGA packages under board level drop test. **Microelectronics Reliability**. 44: 1131–1142.

Young-Shin Lee, Chung-Hyun Ryu, Hyun-Soo Kim, and Young-Jin Choi. (2005). A Study on the free drop of a cask using commercial FEA codes. **Nuclear Engineering and Design.** 235: 2219 – 2226.

Yuqi Wang, K.H. Low, H.L.J. Pang, K.H. Hoon, F.X. Che, and Y.S. Yong. (2006). Modeling and simulation for a drop-impact analysis of multi-layered printed circuit boards. **Microelectronics Reliability.** 46: 558–573.

Y.Y. Wang, C. Lu, J. Li, X.M. Tan, and Y.C. Tse. (2005). Simulation of drop/impact reliability for electronic devices. **Finite Elements in Analysis and Design**. 41: 667-680.

Y.Y. Wang, T.Y. Lin, and Li Hua. (2003). Drop-impact simulation and experimental verification for spindle fixation of video and audio module. **Mechatronics.** 13: 427–440.

ภาคผนวก ก

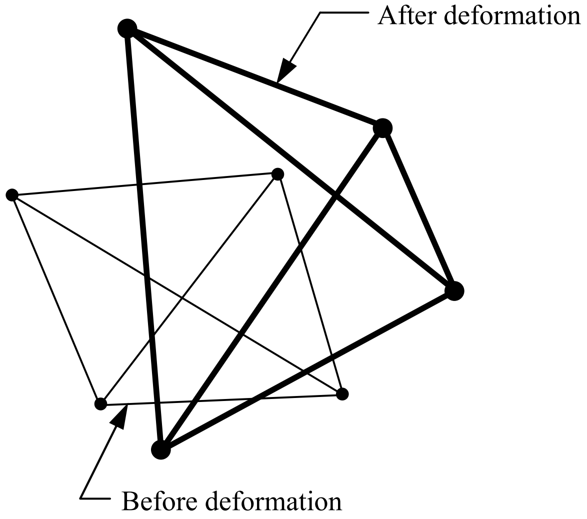
โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ COSMOSWorks2007

ก.1 กล่าวนำ

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำเร็จรูป COSMOSWorks2007 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีใช้กันอย่างกว้างขวาง และโปรแกรมได้ผ่านการทดสอบมาอย่างดีแล้วก่อนที่จะนำมาจำหน่าย ดังนั้นผู้วิจัยต้องศึกษาการใช้โปรแกรมก่อน เพื่อสร้างความมั่นใจในการใช้โปรแกรมให้เกิดประสิทธิผลมากที่สุด โดยทำการศึกษากระบวนการทำงานของโปรแกรม การกำหนดค่าคุณสมบัติวัสดุและเงื่อนไขต่าง ๆ ให้เหมาะสม โดยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์สำเร็จรูป COSMOSWorks2007 เป็นโปรแกรมวิเคราะห์ทางวิศวกรรม จุดเด่นของ COSMOSWorks2007 สามารถนำไปใช้แก้ปัญหาได้หลากหลายตั้งแต่ปัญหาง่าย ๆ จนถึงปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก ทั้งนี้ COSMOSWorks2007 นั้นสามารถวิเคราะห์ปัญหาแบบสถิต (Static) เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของแบบจำลองวัสดุต่าง ๆ การวิเคราะห์ความถี่ (Frequency) การวิเคราะห์การโก่งจากแรงกระทำในแนวแกน (Bucking) การวิเคราะห์ทางความร้อน (Thermal) การวิเคราะห์ปัญหาการปล่อยตก (Drop Test) การวิเคราะห์หาจุดที่ดีที่สุด (Optimization) และการวิเคราะห์ปัญหาแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) โดยผู้ใช้โปรแกรมควรจะมีพื้นฐานในการใช้โปรแกรม SolidWorks มาก่อน เพราะโปรแกรมทั้งสองจะเชื่อมโยงข้อมูลด้วยกัน

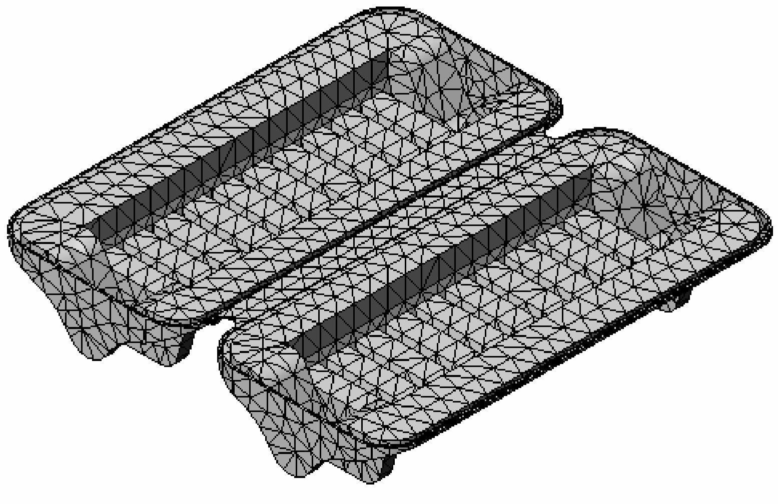
ก.2 การทำงานของโปรแกรมช่วย COSMOSWorks2007

กระบวนการทำงานเริ่มจากการสร้างชิ้นส่วนประกอบของแบบจำลองบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ตามต้องการ และนำชิ้นส่วนประกอบแต่ละชิ้นส่วนมาประกอบให้กลายเป็นแบบจำลองบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์ตามที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นแบ่งชิ้นส่วนประกอบบรรจุภัณฑ์ออกเป็นชิ้นส่วนเล็ก ๆ (Meshing) เรียกว่า อิลิเมนต์ (Element) โดยแต่ละอิลิเมนต์จะต่อเชื่อมโยงกันตลอดทั้งชิ้น ทั้งนี้โปรแกรม COSMOSWorks2007 จะสร้างเอลิเมนต์เองอัตโนมัติเป็นเอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งทรงสี่หน้า (First Order Solid Tetrahedral Element) หากต้องการเปลี่ยนรูปแบบของเอลิเมนต์ก็สามารถกำหนดรูปแบบเอลิเมนต์ได้



รูปที่ ก.1 เอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งทรงสี่หน้า

อิลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งทรงสี่หน้า เกิดจากการเชื่อมต่อของเส้นตรงในแต่ละโหนดโดยที่อิลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งทรงสี่หน้านั้นประกอบไปด้วย 4 โหนด กระจายอยู่ตามมุมของเอลิเมนต์ ทั้งนี้ในแต่ละโหนดจะมีระดับขั้นความอิสระเท่ากับ 3 (Degree of Freedom เท่ากับ 3) กล่าวคือแต่ละโหนดสามารถเคลื่อนที่ได้ 3 ทิศทาง ดังรูปที่ ก.1 ขอบของเอลิเมนต์จะตรงและแบนราบ จึงเห็นได้ว่าเหมาะสมกับชิ้นงานที่มีขอบตรงและพื้นผิวแบนราบ แต่ถ้าชิ้นงานมีหน้าตัดกลมหรือมีผิวโค้ง จะทำให้เกิดข้อผิดพลาดเนื่องจากการสร้างโมเดลเอลิเมนต์ซึ่งมีขนาดไม่เท่าของจริง ดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 โมเดลเอลิเมนต์ลำดับที่หนึ่งทรงสี่หน้า

ในกระบวนการวิเคราะห์ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ COSMOSWorks2007 ลักษณะการวิเคราะห์ปัญหาในรูปแบบของชิ้นงานประกอบจะแยกคำนวณในแต่ละชิ้นส่วน แล้วนำมาประมวลผลรวมกัน ขั้นตอนการคำนวณจะแยกตามส่วนของโปรแกรม ซึ่งจะมี 3 ขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

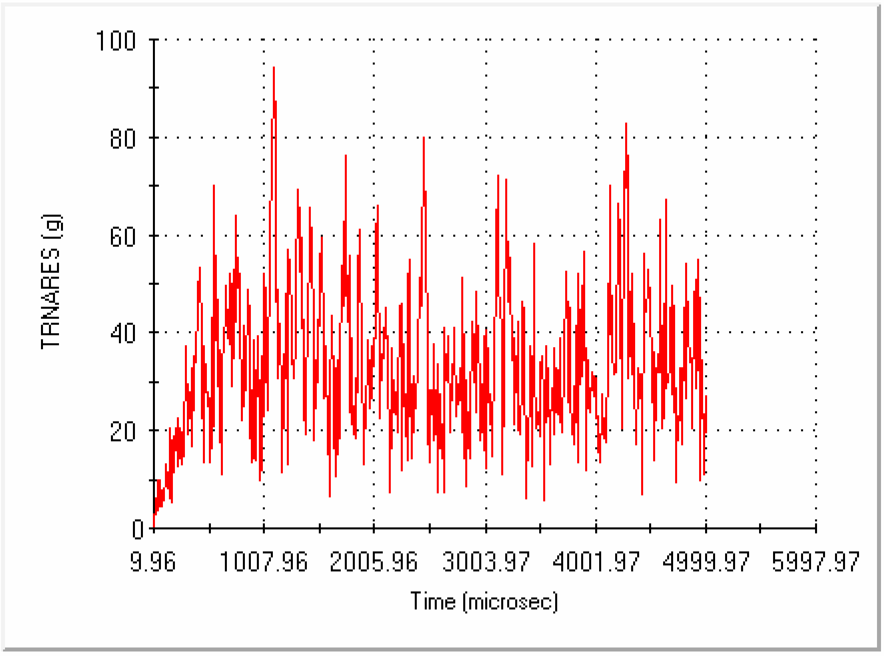
1. Preprocessing ถือว่าเป็นขั้นตอนในการเตรียมข้อมูลเพื่อการคำนวณ โดยข้อมูลมาตรฐานจะมีทั้งคุณสมบัติวัสดุ (Material Properties) รูปแบบและความสูงของการตกกระแทก และการสัมผัสระหว่างผิวของชิ้นงานประกอบ (Contact) เป็นต้น การกำหนดคุณสมบัติให้กับแบบจำลอง สามารถกำหนดได้ช่วงของการใช้โปรแกรม COSMOSWorks2007 โดยเลือกการกำหนดจากตารางคุณสมบัติที่มีอยู่ในโปรแกรม หรือจะกำหนดค่าคุณสมบัติต่าง ๆ เองก็ได้ นอกจากนี้แล้วยังสามารถกำหนดคุณสมบัติวัสดุให้กับแบบจำลองในช่วงของ SolidWorks ไว้ก่อน แล้วข้อมูลของคุณสมบัติดังกล่าวจะถูกส่งไปยัง COSMOSWorks2007 โดยอัตโนมัติ

2. Solution การคำนวณหาผลเฉลย (Solution) หรือหาคำตอบโดยในขั้นตอนนี้จะใช้เวลาในการคำนวณมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะของแบบจำลองในแต่ละปัญหา ตลอดจนความละเอียดของอิลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

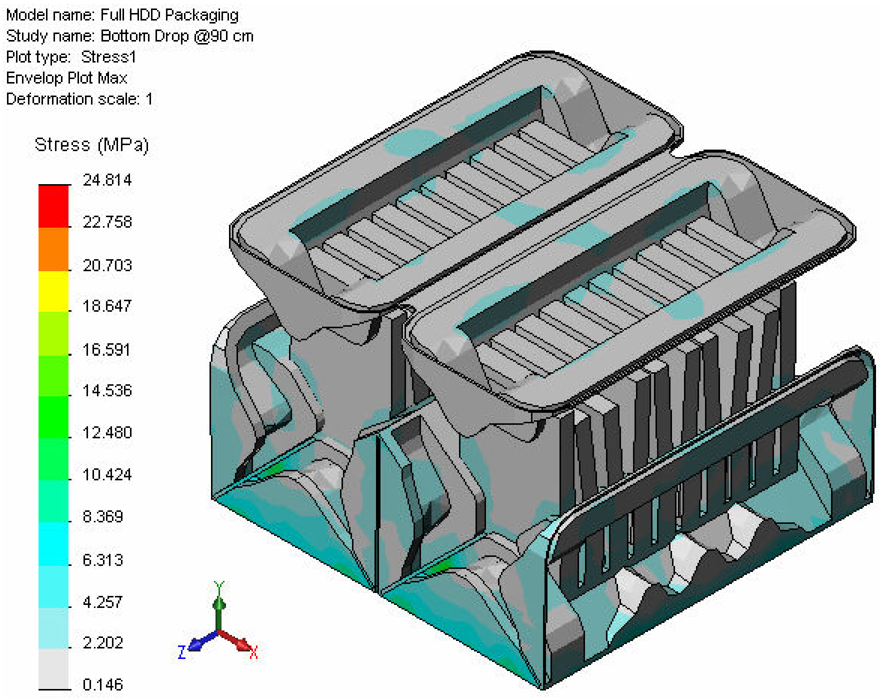
3. Postprocessing การแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณในแบบจำลองของปัญหา โดยที่ผลลัพธ์อาจอยู่ในรูปของกราฟ แบบชิ้นงานหรือกราฟ

ก.3 ตัวอย่างการแสดงผลโปรแกรม

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณโปรแกรมจะทำการแสดงและบันทึกไว้ในรูปแบบของกราฟ ซึ่งไม่สะดวกที่จะหาค่าแรงเนื่องจากความเร่งที่มากที่สุด ดังนั้นจึงได้ทำการแยกข้อมูลออกมาในรูปแบบของ Text Document เพื่อเป็นข้อมูลนำไปคำนวณหาค่าแรงเนื่องจากความเร่งที่มากที่สุด (Maximum G-Force) ในที่นี้ขอนำเสนอผลของการจำลองการตกกระแทกจากด้านล่างที่ระดับความสูง 90 cm



รูปที่ ก.3 แรงเนื่องจากความเร่งจากที่ HDD จากการตกกระแทกด้านล่างที่ความสูง 90 cm



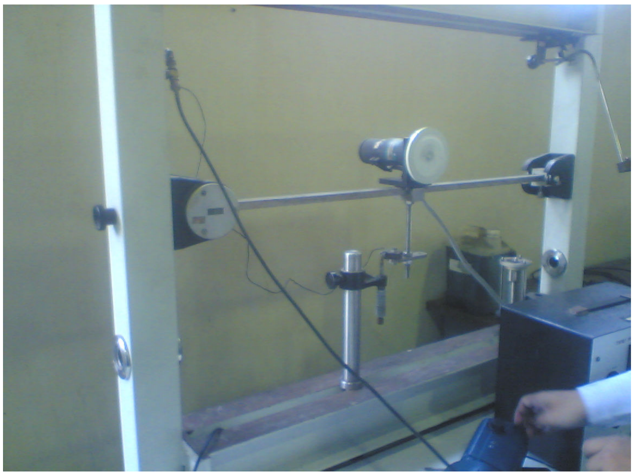
รูปที่ ก.4 ความเค้นจากการตกกระแทกด้านล่างที่ความสูง 90 cm

ภาคผนวก ข

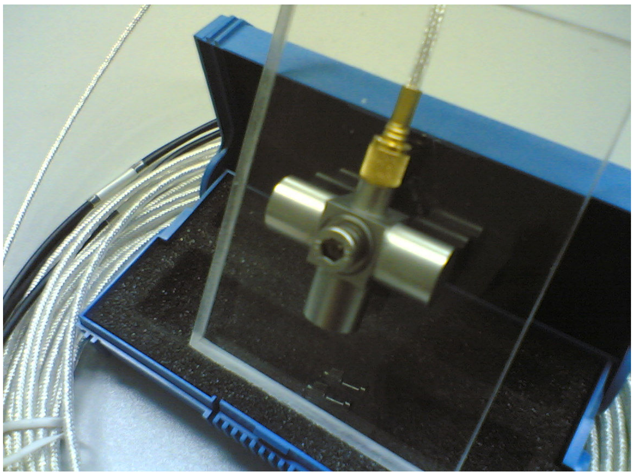
การทดสอบโปรแกรมวัดแรงเนื่องจากความเร่ง และ Accelerometer

ข.1 กล่าวนำ

โปรแกรมที่ใช้วัดค่าแรงเนื่องจากความเร่งในงานวิจัยถูกเขียนขึ้นมาเอง ดังนั้นการทดสอบโปรแกรมที่ใช้ในการวัดค่าแรงเนื่องจากความเร่ง จากการตกกระแทกนั้นกระทำได้โดยการนำไปทดสอบกับการสั่นของระบบคานเดียว ดังรูปที่ ข.1 โดยใช้ Accelerometer ดังรูปที่ ข.2 ติดกับคานเพื่อวัดค่าความถี่ในการสั่นของคานโดยค่าถี่ที่ใช้ในการทดสอบนั้นอยู่ในช่วง 1000 – 2800 Hz แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน



รูปที่ ข.1 เครื่องทดสอบการสั่นระบบคานเดียวที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม



รูปที่ ข.2 Accelerometer ที่ใช้ในการวัดค่าแรงเนื่องจากความเร่งในงานวิจัย

ข.2 ผลการทดสอบโปรแกรม

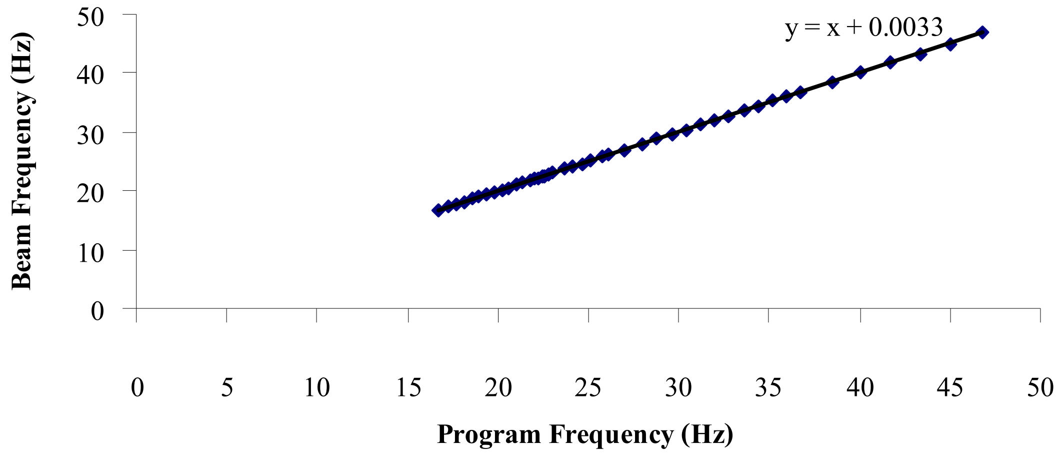
จากการทดสอบเป็นการนำค่าความถี่ที่ป้อนให้กับคานเพื่อเกิดการสั่น และใช้โปแกรมที่เขียนขึ้นมาวัดการสั่นของคานนั้น แล้วนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของโปรแกรมที่ใช้วัดค่าและ Accelerometer โดยผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ ข.1 และรูปที่ ข.3

ตารางที่ ข.1 ความถี่ที่วัดได้จากการทดสอบ โปรแกรมวัดแรงเนื่องจากความเร่ง

ความถี่ป้อน (rpm)	ความถี่ป้อน (Hz)	ความถี่ที่วัดได้ (Hz)	% Error
1000	16.6667	16.7009	0.205
1088	18.1333	18.1367	0.019
1112	18.5333	18.5422	0.048
1160	19.3333	19.3391	0.030
1185	19.7500	19.7363	0.069
1213	20.2167	20.2219	0.026
1234	20.5667	20.5214	0.220
1283	21.3833	21.3829	0.002
1310	21.8333	21.8289	0.020
1323	22.0500	22.0749	0.113
1345	22.4167	22.4119	0.021
1369	22.8167	22.8095	0.031
1383	23.0500	23.1107	0.263
1418	23.6333	23.658	0.104
1448	24.1333	24.1418	0.035
1477	24.6167	24.5979	0.076
1545	25.7500	25.7023	0.185
1564	26.0667	26.1214	0.210
1622	27.0333	27.0406	0.027
1725	28.7500	28.7657	0.055
1778	29.6333	29.6248	0.029
1823	30.3833	30.3796	0.012

ตารางที่ ข.1 ความถี่ที่วัดได้จากการทดสอบโปรแกรมวัดแรงเนื่องจากความเร่ง (ต่อ)

ความถี่ป้อน (rpm)	ความถี่ป้อน (Hz)	ความถี่ที่วัดได้ (Hz)	% Error
1918	31.9667	31.9755	0.028
1966	32.7667	32.7559	0.033
2019	33.6500	33.649	0.003
2061	34.3500	34.3759	0.075
2113	35.2167	35.2122	0.013
2158	35.9667	35.9793	0.035
2206	36.7667	36.7803	0.037
2308	38.4667	38.4454	0.055
2405	40.0833	40.0994	0.040
2503	41.7167	41.7339	0.041
2601	43.3500	43.3408	0.021
2808	46.8000	46.8073	0.016



รูปที่ ข.3 ผลการทดสอบโปรแกรมวัดค่าแรงเนื่องจากความเร่ง

จากผลการทดสอบดังกล่าวนั้นแสดงให้เห็นว่าโปรแกรมและ Accelerometer ที่ใช้ในการทดสอบมีความถูกต้องสามารถนำไปใช้งานได้

ภาคผนวก ค

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

เรืองฤทธิ์ สารางคำ และ กนต์ธร ชำนิประศาสน์. การจำลองการตกกระแทกของบรรจุภัณฑ์ฮาร์ดดิสก์. **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22**. วันที่ 15 - 17 ตุลาคม 2551., จังหวัดปทุมธานี.

ประวัติผู้เขียน

นายเรืองฤทธิ์ สารางคำ เกิดเมื่อวันที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2522 ที่ อำเภอจตุรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด เริ่มการศึกษาในระดับประถมศึกษาที่ โรงเรียนบ้านเหล่าจั่นหนองทุ่ม ระดับมัธยมศึกษาที่ โรงเรียนเมืองสรวงวิทยา ในปี พ.ศ. 2544 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี หลังจากสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี ได้เข้าทำงานในตำแหน่งผู้ช่วยสอนและวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เป็นระยะเวลา 2 ปี โดยรับผิดชอบการสอนในรายวิชาจำนวน 3 รายวิชา คือ (1)เขียนแบบทางวิศวกรรม (2)ปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล และ (3)ปฏิบัติการวิศวกรรมการผลิต จากนั้นในปี พ.ศ. 2547 ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ในสาขาวิชาเดิม มหาวิทยาลัยเดิม ในระหว่างการศึกษามีบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์จำนวน 1 บทความ ดังปรากฏในภาคผนวก ค. โดยผู้วิจัยมีความสนใจทางด้านวัสดุศาสตร์ ฮาร์ดดิสก์ และบรรจุภัณฑ์