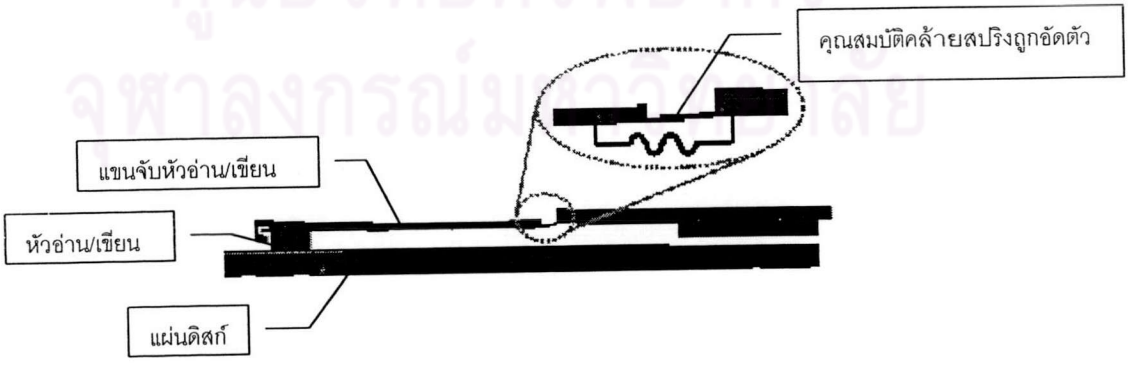
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

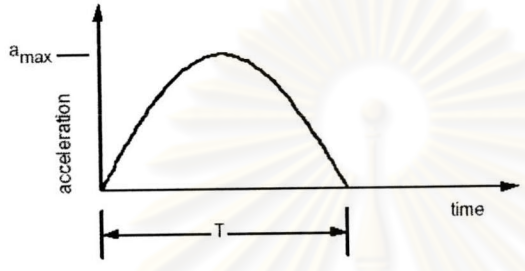
ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Hard Disk Drive) เป็นอุปกรณ์ส่วนสำคัญในคอมพิวเตอร์เป็นหน่วยความจำเก็บข้อมูลต่างๆ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เมื่อถูกบันทึกแล้วจะสามารถเรียกกลับมาใช้งานต่อได้ตลอดเวลา คุณสมบัติที่สำคัญของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟประการหนึ่ง คือ ต้องมีความสามารถต้านทานต่อชอร์กได้สูง ซึ่งชอร์กนั้นเกิดจากมีแรงกระทำกับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟอย่างทันทีทันใด เช่น ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟตกหรือถูกกระแทก เป็นต้น ถ้าฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟมีความสามารถต้านทานชอร์กได้สูง โอกาสที่จะเกิดความเสียหายข้อมูลอ่าน/เขียนผิดพลาดเมื่อเกิดสภาวะชอร์กรุนแรงก็น้อยลง

ฮาร์ดดิสไดร์ฟมีความสามารถต้านทานต่อชอร์กได้สูงหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับแขนจับหัวอ่าน/เขียน (Suspension) เป็นหลัก ซึ่งเป็นชิ้นส่วนประกอบชิ้นหนึ่งในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ แขนจับหัวอ่าน/เขียนจะมีคุณลักษณะเหมือนคานปลายอิสระข้างเดียวและมีคุณสมบัติคล้ายสปริงในตัวเอง ที่ปลายจะติดกับหัวอ่าน/เขียนและมีแรงกดกระทำกับแผ่นดิสก์ ดังรูปที่ 1.1 แขนจับหัวอ่าน/เขียนจะเป็นตัวพาหัวอ่าน/เขียนไปอ่าน/เขียนข้อมูลบนแผ่นดิสก์ ณ.ตำแหน่งที่ระบบควบคุมสั่ง ความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นในขณะที่ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟอยู่ในสภาวะชอร์กรุนแรงก็คือชอร์กที่กระทำสามารถเอาชนะแรงกดที่หัวอ่าน/เขียนกระทำกับแผ่นดิสก์ได้ทำให้หัวอ่าน/เขียนลอยตัวขึ้นและเคลื่อนที่กลับตีลงบนแผ่นดิสก์อีกครั้งซึ่งอาจส่งผลให้แผ่นดิสก์เกิดรอยจิก และ/หรือหัวอ่าน/เขียนบิ่นเสียหาย และ/หรือแขนจับหัวอ่าน/เขียนเองเสียรูปทรงไป ถ้านำฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟนี้ไปใช้งานก็อาจจะใช้ไม่ได้เลยหรือมีความผิดพลาดในการอ่าน/เขียนข้อมูล ความเสียหายที่เกิดขึ้นจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับความรุนแรงของสภาวะชอร์กที่กระทำประการหนึ่งและความสามารถของแขนจับหัวอ่าน/เขียนที่จะต้านทานต่อชอร์กได้ขนาดไหนอีกประการหนึ่ง



รูปที่ 1.1 แสดงแขนจับหัวอ่าน/เขียน หัวอ่าน/เขียน กระทำอยู่บนแผ่นดิสก์

ความรุนแรงของสภาวะชอร์กสามารถอ้างอิงได้จากรูป Half sine wave ของความสัมพันธ์ระหว่างความเร่ง (Acceleration) กับ เวลา (Time) ดังรูปที่ 1.2 ซึ่งความเร่งนั้นจะบอกในรูปของจำนวนเท่าของแรงโน้มถ่วงโลก(G's) ค่าแอมพลิจูดมากขึ้นแสดงถึงชอร์กรุนแรงขึ้นและความกว้างของเส้นโค้งจะหมายถึงช่วงเวลาที่ชอร์กกระทำ(Shock Pulse Duration หรือ T) หรือกล่าวอีกนัยคือลักษณะการเกิดชอร์กต่อฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ เช่น ถ้า T = 0.5 ms อาจเป็นชอร์กที่เกิดจากการฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟตกบนพื้นซีเมนต์ ถ้า T=2.0 ms อาจเป็นชอร์กที่เกิดจากฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟตกบนพื้นพรม เป็นต้น ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟก็ต่างกันไป



รูปที่ 1. 2 ลักษณะของชอร์กขาเข้า

ความสามารถต้านทานชอร์กของแขนจับหัวอ่าน/เขียนสามารถพิจารณาได้ 2 ช่วงระดับคือ ช่วงแรกเป็นช่วงที่แขนจับหัวอ่าน/เขียนสามารถต้านทานต่อแรงชอร์กที่กระทำได้ หัวอ่าน/เขียนยังคงอยู่นิ่งบนแผ่นดิสก์ เมื่อค่าแรงชอร์กที่กระทำเกินจุดวิกฤตที่เรียกว่า "G-to-Lift off" หัวอ่าน/เขียนจะถูกยกตัวลอยออกจากแผ่นดิสก์ แขนจับหัวอ่าน/เขียนที่มีค่า G-to-Lift off สูงแสดงว่าแขนจับหัวอ่าน/เขียนนั้นมีความสามารถต้านทานชอร์กสูง (High Shock Performance) ช่วงที่สองเป็นช่วงที่สภาวะชอร์กที่กระทำเกินค่า G-to-Lift off ทำให้หัวอ่าน/เขียนถูกยกตัวลอยออกจากแผ่นดิสก์และตีกระทบแผ่นดิสก์อีกครั้งจนกระทั่งหยุดนิ่งพฤติกรรมนี้เรียกว่า "Head Slap" แขนจับหัวอ่าน/เขียนที่มีความสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของหัวอ่าน/เขียนในขณะตกกระทบแผ่นดิสก์ให้มีความเร็วตกกระทบต่ำ โอกาสที่จะเกิดความเสียหายกับหัวอ่าน/เขียนและ/หรือแผ่นดิสก์ก็น้อยลง

การออกแบบแขนจับหัวอ่าน/เขียนให้มีความสามารถต้านทานชอร์กได้สูงจึงมุ่งไปที่ค่า G-to-Lift off เป็นอันดับแรกเพราะเมื่อแขนจับหัวอ่าน/เขียนมีค่า G-to-Lift off สูงแล้วโอกาสที่หัวอ่าน/เขียนจะเกิด Head Slap ก็น้อยลง แขนจับหัวอ่าน/เขียนแต่ละรุ่นจะมีค่า G-to-Lift off ต่างกันไปขึ้นอยู่กับการออกแบบรูปร่างและน้ำหนักของตัวผลิตภัณฑ์ และปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงควบคู่กันไปในการออกแบบก็คือค่าความถี่ธรรมชาติที่จะเกิดกำทอน (Resonance Frequency) โดยเฉพาะในโหมดสเวย์ซึ่งเป็นโหมดที่สร้างความเสียหายมากที่สุดถ้าเกิดกำทอนขึ้น การปรับค่าของปัจจัยเพื่อให้แขนจับหัวอ่าน/เขียนมีค่า G-to-Lift off สูงนั้นจะส่งผลให้ค่าความถี่ธรรมชาติที่จะเกิดกำทอนเปลี่ยนแปลงไปด้วย แขนจับหัวอ่าน/เขียนที่มีคุณภาพสูงจะต้องมีค่าความถี่ธรรมชาติสูงเนื่องจากการค้นหาตำแหน่ง

ของ ข้อมูล (Seek) เพื่ออ่าน/เขียนของฮาร์ดดิสก์ไดว์ฟจะทำให้แขนจับหัวอ่าน/เขียนสั่นด้วยความถี่สูง ถ้าแขนจับหัวอ่าน/เขียนมีค่าความถี่ธรรมชาติต่ำโอกาสที่ความถี่ขณะปฏิบัติงานจะตรงกับความถี่ธรรมชาติและเกิดกำทอนก็มีมากขึ้นและเมื่อเกิดกำทอนการอ่าน/เขียนข้อมูลก็จะผิดพลาดได้ ดังนั้น การออกแบบแขนจับหัวอ่าน/เขียนให้มีคุณภาพสูงจะต้องคำนึงถึงค่า G to-Lift off และความถี่ธรรมชาติที่จะเกิดกำทอน (Resonance Frequency) ให้มีค่าสูงเท่าที่เป็นไปได้ทั้งคู่ควบคู่กันไป

บริษัทตัวอย่างที่นำมาศึกษาเป็นบริษัทผู้ผลิตแขนจับหัวอ่าน/เขียน ซึ่งปัจจุบันมีบริษัทคู่แข่งอีก 3 บริษัทใหญ่ เป็นผลให้บริษัทตัวอย่างได้รับการคัดเลือกให้เป็นผู้ผลิตในผลิตภัณฑ์บางรุ่นเท่านั้นทำให้บางครั้งเกิดการขาดช่วงระหว่างผลิตภัณฑ์รุ่นใหม่ที่จะเข้าแทนผลิตภัณฑ์รุ่นเก่าที่จะตกรุ่นไป ดังนั้น เพื่อความอยู่รอดในธุรกิจอุตสาหกรรมแขนจับหัวอ่าน/เขียนนี้ บริษัทตัวอย่างจึงมีนโยบายทำการออกแบบแขนจับหัวอ่าน/เขียนเองนำเสนอลูกค้าให้ลูกค้าคัดเลือกอีกทางหนึ่งเพื่อให้เกิดการซื้ออย่างต่อเนื่อง หลังจากที่บริษัทตัวอย่างนี้เดิมเป็นเพียงแค่ผู้ผลิตผลิตภัณฑ์ตามรูปแบบที่ลูกค้าสั่งเท่านั้นมานาน 14 ปีนับตั้งแต่ตั้งบริษัท ปัญหาประการแรกของบริษัทตัวอย่างคือมีความรู้ในการออกแบบแขนจับหัวอ่าน/เขียนไม่เพียงพอซึ่งการศึกษาทำความเข้าใจเกี่ยวกับการออกแบบแขนจับหัวอ่าน/เขียนตั้งแต่ระดับขั้นพื้นฐานจึงเป็นสิ่งจำเป็น และความสามารถของผลิตภัณฑ์ที่จะต้านทานสภาวะชอร์กได้สูงก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่จะต้องศึกษา

บริษัทตัวอย่างมีโปรแกรมการคำนวณทางคณิตศาสตร์ขั้นสูง (Finite Element Model) สำหรับ ศึกษาอิทธิพลการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆของแขนจับหัวอ่าน/เขียนต่อผลตอบใดๆที่สนใจทั้งในสภาวะสถิตย์ (Static) และพลศาสตร์ (Dynamic) เพื่อพยากรณ์แนวทางการแก้ไขปัญหาด้านคุณภาพในการผลิตและการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ และ G-to-Lift off ก็เป็นหนึ่งผลตอบที่โปรแกรมสามารถคำนวณได้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาผลหลัก (Main effect) และอันตรกิริยา (Interaction) ของปัจจัยของแขนจับหัวอ่าน/เขียนต่อค่า G-to-Lift off และต่อความถี่ธรรมชาติที่จะเกิดกำทอนในโหมดสเวย์ (Sway Frequency)

1.2.2 ศึกษาแนวโน้มการออกแบบของแต่ละปัจจัยเมื่อคำนึงถึงค่า G-to-Lift off ทั้ง 2 สภาวะ และความถี่ธรรมชาติที่จะเกิดกำทอนในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) ของแขนจับหัวอ่าน/เขียนเพื่อให้ได้ค่ามากที่ดีที่สุดในทุกผลตอบ (Maximize All Responses)

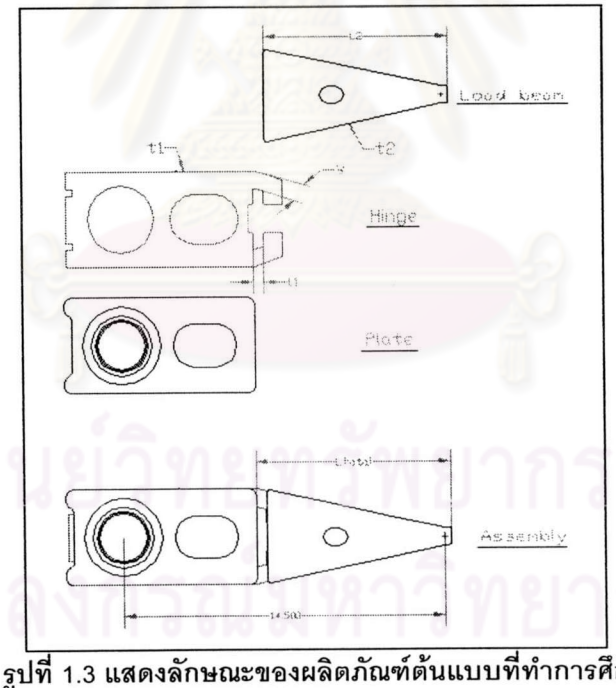
1.2.3 ศึกษาความสามารถต้านทานชอร์กของแขนจับหัวอ่าน/เขียนเมื่ออยู่ในสภาวะชอร์กเกินค่า G-to-Lift off โดยพิจารณาความเร็วตกกระทบของหัวอ่าน/เขียนเป็นหลักว่ามีความสัมพันธ์เชิงสถิติกับค่า G-to-Lift off ของแขนจับหัวอ่าน/เขียนนั้นๆอย่างไร

1.2.4 ศึกษาความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยไฟไนอีลีเมนต์ (Finite Element) โดยการเปรียบเทียบผลกับการทดสอบผลิตภัณฑ์จริง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

งานวิจัยฉบับนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของปัจจัยของแขนจับหัวอ่าน/เขียนประเภทเบสเพลตในรุ่นความยาว 14.5 มม. ซึ่งมี 4 ชิ้นส่วนประกอบแต่จะศึกษาเฉพาะ Load beam และ Hinge แสดงดังรูปที่ 1.3 ต่อคุณสมบัติการต้านทานชอร์กในขณะที่หัวอ่าน/เขียนยังคงอยู่นิ่งบนแผ่นดิสก์ (G-to-Lift off) และความถี่ธรรมชาติที่จะเกิดกำทอนในโหมดสเวย์ (Sway Frequency) และศึกษาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างความเร็วของหัวอ่าน/เขียนขณะตกกระทบบนแผ่นดิสก์กับค่า G-to-Lift off ของแขนจับหัวอ่าน/เขียนนั้นเมื่ออยู่ในสภาวะชอร์กระดับเกินค่า G-to-Lift off โดยผลิตภัณฑ์ต้นแบบจะไม่เชื่อมประกอบกับ Trace Laminated Gimbal ซึ่งเป็นชิ้นส่วนประกอบหนึ่งของแขนจับหัวอ่าน/เขียนและจะไม่มีผลต่อการเปรียบเทียบความต้านทานชอร์กและความถี่ธรรมชาติในโหมดที่ศึกษาของการทดลองเนื่องจากเป็นเสมือนการหักมวลออกจากผลิตภัณฑ์เท่านั้น



รูปที่ 1.3 แสดงลักษณะของผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ทำการศึกษา

1.3.2 สภาวะชอร์กที่ทำการศึกษา

1) ที่สภาวะ Shock Pulse Duration 0.1 ms
2) ที่สภาวะ Shock Pulse Duration 0.35 ms

1.3.3 **ปัจจัยที่ทำการศึกษา** มีทั้งหมด 4 ปัจจัย นั่นคือ

1) ความหนาของ Hinge (t_1) มี 2 ระดับ

2) ความกว้างของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง (W) มี 2 ระดับ

3) ความหนาของ Load beam (t_2) มี 2 ระดับ

4) อัตราส่วนของ L_1/L_{total} เมื่อ L_1 : ความยาวของ Hinge บริเวณที่มีคุณสมบัติคล้ายสปริง และ L_{total} : ความยาวทั้งหมด (L_1+L_2 = 8.73 มม. เมื่อ L_2 : ความยาวของ Load beam) มี 2 ระดับ

เหตุผลที่ศึกษาปัจจัยที่เลือกมา คือ

จากงานวิจัยของ Sung Jin Lee., Soon Kyo Hong, และ Jang Moo Lee ในปี ค.ศ.2000 ระบุว่าความหนาและความยาวของแขนจับหัวอ่าน/เขียน(รุ่นความยาว 18 ม.ม.) มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการต้านทานซอร์กมากที่สุด และงานวิจัยของ Haruhide Takahashi , Shindo , Shozo Saegusa , Shigeo Nakamara and Yasuhiro Matsuda ในปี ค.ศ.2000 ระบุว่าความหนาของ Load beam (แขนจับหัวอ่าน/เขียนประเภทยูนิเม้าเพลต) มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติการต้านทานซอร์กมากที่สุด และงานวิจัยของคุณกัมพล สิทธิพงษ์พาณิช และคณะฝ่ายวิเคราะห์และพัฒนาคุณลักษณะของแขนจับหัวอ่าน/เขียนของบริษัทตัวอย่าง ใน ค.ศ.2003 ระบุว่า Load beam ที่มีมวลน้อยจะทำให้แขนจับหัวอ่าน/เขียนมีค่า G-to-Lift off สูงซึ่งถ้าความยาวของ Load beam สั้นลงก็ทำให้มวลของ Load beam น้อยลงเช่นกัน จากงานวิจัยทั้งสามนี้ไม่มีงานวิจัยใดศึกษาถึงอิทธิพลของปัจจัย L_1,W และ t_1 ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณสมบัติคล้ายสปริงของแขนจับหัวอ่าน/เขียนทำให้เกิดแรงกดที่หัวอ่าน/เขียนลงบนแผ่นดิสก์ดังรูปที่ 1.1 ซึ่งน่าจะมีผลต่อค่า G-to-Lift off ของแขนจับหัวอ่าน/เขียน และงานวิจัยนี้ได้นำความยาวกับความหนาของ Load beam (L_2,t_2) มาศึกษาร่วมด้วยเพื่อวิเคราะห์อิทธิพลของอันตรกิริยา (Interaction)

เหตุผลที่ไม่ศึกษาปัจจัยอื่น คือ

1) ไม่ศึกษาปัจจัยของ Plate เพราะว่า Plate เป็นชิ้นส่วนหนึ่งที่สั่งซื้อจากต่างประเทศถ้านำมาศึกษาด้วยจะเสียค่าใช้จ่ายสูงและใช้เวลานาน

2) ไม่ศึกษาความกว้างทั้งสองด้านของ Load beam เนื่องจาก

2.1) ความกว้างของ Load beam ด้านเชื่อมติด Hinge

จากงานวิจัยของ Sung Jin Lee., Soon Kyo Hong, และ Jang Moo Lee ในปี ค.ศ.2000 สรุปว่าปัจจัยนี้มีผลกระทบน้อยต่อค่าความต้านทานซอร์กของแขนจับหัวอ่าน/เขียน และอีกเหตุผลคืองานวิจัยนี้ไม่เปลี่ยนแปลงขนาดของ Plate จึงกำหนดความกว้างของ Load beam ไว้เท่าเดิมตามขนาดของความกว้าง Plate

2.2) ความกว้างด้านปลายอิสระของ Load beam

จากงานวิจัยของคุณกัมพล สิทธิพงษ์พาณิช และคณะฝ่ายวิเคราะห์และพัฒนาคุณลักษณะของแขนจับหัวอ่าน/เขียนของบริษัทตัวอย่าง ในปี ค.ศ.2003 สรุปว่าปัจจัยนี้ยิ่งแคบค่า G-to-Lift off ยิ่งสูงขึ้นและจากขนาดของผลิตภัณฑ์ต้นแบบปัจจุบันก็เป็นขนาดที่แคบที่สุดที่เป็นไปได้แล้ว (ถ้าแคบกว่านี้จะส่งผลกระทบกับปัจจัยอื่น ๆ)

1.3.4 ผลตอบที่ทำการศึกษา (Response)

1.3.4.1 ศึกษาในรูปแบบของการออกแบบการทดลอง (DOE)

1) G-to-Lift off เมื่อทดสอบด้วย Shock Pulse Duration 2 สภาวะ

2) ความถี่ธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ในโหมดสเวย์ซึ่งเป็นโหมดที่หัวอ่าน/เขียนมีพฤติกรรมแกว่งรุนแรงที่สุด (Resonance Sway Frequency)

1.3.4.2 ศึกษาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างความเร็วของหัวอ่าน/เขียนขณะตกกระทบบนแผ่นดิสก์กับค่า G-to-Lift off

1.3.4 หลักการและโปรแกรมสำเร็จที่ใช้ในการวิเคราะห์

1) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เพื่อวิเคราะห์หาอิทธิพลของแต่ละปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบโดยประยุกต์ใช้ Minitab ในการประมวลผล

2) Response Optimization เพื่อหาจุดสมดุลของแต่ละปัจจัยที่ทำให้ผลตอบมากกว่า 1 ผลตอบมีค่าสูงที่ดีที่สุด (Maximize All Response) โดยประยุกต์ใช้ Minitab ในการประมวลผล

3) Regression เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างตัวแปรเชิงปริมาณ 2 ตัวแปรโดยประยุกต์ใช้ Minitab ในการประมวลผล

4) Two-Sample T-Test เพื่อทดสอบสมมติฐานความเท่ากันของผลเฉลี่ยของประชากร 2 กลุ่มโดยประยุกต์ใช้ Minitab ในการประมวลผล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ผลลัพธ์และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัยนี้

1.4.1.1 ผลหลัก(Main effect) และ อันตรกิริยา(Interaction) ของแต่ละปัจจัยของ Load beam และ Hinge ซึ่งเป็นส่วนประกอบของแขนจับหัวอ่าน/เขียน ที่ส่งผลต่อค่า G-to-Lift off ในแต่ละสภาวะ Shock Pulse Duration และความต่าง/เหมือนของอิทธิพลของแต่ละปัจจัยเมื่อแขนจับหัวอ่าน/เขียนอยู่ในสภาวะ Shock Pulse Duration ต่างกัน

1.4.1.2 ผลหลัก(Main effect) และ อันตรกิริยา(Interaction) ของแต่ละปัจจัยของ Load beam และ Hinge ซึ่งเป็นส่วนประกอบของแขนจับหัวอ่าน/เขียน ที่ส่งผลต่อความถี่ธรรมชาติที่เกิดกำทอนในโหมดสเวย์

1.4.1.3 แนวทางการออกแบบ Load beam และ Hinge ซึ่งเป็นส่วนประกอบของแขนจับหัวอ่าน/เขียนเพื่อให้สามารถต้านทานชอร์กได้ระดับสูงและมีความถี่ธรรมชาติสูงด้วย

1.4.1.4 ความสัมพันธ์เชิงสถิติระหว่างความเร็วของหัวอ่าน/เขียนขณะตกกระทบบนแผ่นดิสก์กับค่า G-to-Lift off เมื่อแขนจับหัวอ่าน/เขียนอยู่ในสภาวะชอร์กระดับเกินค่า G-to-Lift off

1.4.1.5 ความน่าเชื่อถือของไฟไนอีลีเมนต์โมเดล

1.4.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.2.1 เป็นฐานข้อมูลของบริษัทตัวอย่างที่ใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์แขนจับหัวอ่าน/เขียนเพื่อให้มีคุณสมบัติไม่ทำความเสียหายให้กับหัวอ่าน/เขียนหรือแผ่นดิสก์ขณะอยู่ในสภาวะชอร์กสูง

1.4.2.2 เป็นฐานข้อมูลของบริษัทตัวอย่างเพื่อใช้ในการตัดสินใจปรับเปลี่ยนแก้ไขรูปแบบของแขนจับหัวอ่าน/เขียนรุ่นที่กำลังผลิตและประสบปัญหาด้านคุณภาพเกี่ยวกับความสามารถต้านทานชอร์ก

1.4.2.3 ถ้าไฟไนอีลีเมนต์มีผลสรุปคล้ายคลึงกับการทดลองจริงก็สามารถเชื่อมั่นต่อผลการวิเคราะห์ของไฟไนอีลีเมนต์ได้ในอนาคต ซึ่งอาจไม่ต้องผลิตผลิตภัณฑ์ตัวอย่างจริงเพื่อทำการทดลองก็สามารถลดได้ทั้งเวลาและค่าใช้จ่าย แต่ถ้าไฟไนอีลีเมนต์มีผลแตกต่างจากการทดลองจริงอย่างมากจะได้หาทางปรับปรุงแก้ไขต่อไป

1.4.2.4 ปรับปรุงความเชื่อมั่นของลูกค้าในผลิตภัณฑ์ที่บริษัทตัวอย่างส่งมอบให้

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

1.5.2 ศึกษาทำความเข้าใจกับปัญหาเรื่องซอร์กในฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

1.5.3 ออกแบบรูปแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่จะนำมาศึกษา

1.5.4 วิเคราะห์เลือกปัจจัยที่จะนำมาศึกษา

1.5.5 ออกแบบการทดลอง (เลือกแบบการทดลอง กำหนดระดับของแต่ละปัจจัย กำหนดขนาดตัวอย่างและวิธีการเก็บข้อมูล) ซึ่งคาดว่าจะใช้แบบ 2^k

1.5.6 ดำเนินการผลิตและทดสอบคุณสมบัติความสามารถต้านทานซอร์กและความถี่ธรรมชาติที่เกิดกำทอนในโหมดสเวย์

1.5.7 วิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5.8 วิเคราะห์ผลโดยไฟไนอีลีเมนต์โมเดล

1.5.9 วิเคราะห์เปรียบเทียบผลระหว่างไฟไนอีลีเมนต์โมเดลกับการทดลองจริง

1.5.10 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.5.11 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ และนำเสนอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย