การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22
15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

# การศึกษาปัจจัยจากค่าระยะเผื่อที่มีผลต่อค่ากรัมโหลดในชิ้นส่วนหัวอ่านคอมพิวเตอร์

# Study the factor from tolerance with the result to Gram load of Head Stack Assembly

ไพรสัณฑ์ ศักดิ์ชัชวาลย์[1], เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต[2*]
[1]นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002
โทร 08-3664-7166 โทรสาร 0-4320-2849

[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น 40002
โทร 0-4320-2845 ต่อ 151 โทรสาร 0-4320-2849 E-mail: kiatfa@kku.ac.th

**บทคัดย่อ**

จากสภาวการณ์ในปัจจุบัน การแข่งขันในทางอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (Hard disk drives) มีอัตราการแข่งขันสูงขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นภายในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟนั้น จึงมีความต้องการที่จะลดต้นทุนการผลิต และต้องการใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือต่างๆ ที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อก่อให้เกิดผลผลิตทางอุตสาหกรรมที่สูงขึ้น ซึ่งปัจจุบันมีปัญหาในกระบวนการผลิตในเรื่องของหัวอ่านเขียนข้อมูล (Slider) ที่ไม่สามารถอ่านได้ ซึ่งปัญหาที่เกิดสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากค่าแรงกรัมโหลด (Gram Load) ที่เกิดขึ้นจากค่าคงที่ของสปริงที่ตัวหัวอ่านและเขียนข้อมูล (Slider) โดยค่าแรงกรัมโหลดที่เกิดขึ้นจากค่าคงที่ของสปริง ซึ่งมีไว้ช่วยทำให้สมดุลในการที่จากบินเหนือแผ่นมีเดียในขณะที่ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟกำลังทำงาน ที่ตัวหัวอ่านเขียนข้อมูลมีค่ามากเกินไปหรือน้อยเกินไป จะทำให้หัวอ่านเขียนข้อมูลไม่สามารถอ่านข้อมูลบนแผ่นมีเดียได้ ซึ่งสาเหตุที่ทำให้หัวอ่านเขียนข้อมูลมีระยะห่างในช่วงที่บินนั้นมากหรือต่ำเกินไปนั้น เนื่องจากขนาดของแต่ละชิ้นส่วนนั้นมีขนาดมากหรือน้อยเกินไปทำให้ระยะห่างในช่วงที่บินอยู่นั้น มีระยะห่างที่ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน ดังนั้น จึงต้องศึกษาปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อค่าแรงกรัมโหลด ที่เกิดขึ้นจากค่าคงที่ของสปริง ซึ่งปัจจัยต่างๆนี้ จะเกิดขึ้นในขบวนการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านคอมพิวเตอร์ (Head Stack Assembly) เพื่อนำไปหาสาเหตุและแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการสร้างสมการคณิตศาสตร์ เพื่อที่จะหาความเหมาะสมของขนาดและระยะเผื่อในการนำไปใช้งาน และสามารถนำไปใช้ในการแก้ไขชิ้นส่วนหัวอ่านคอมพิวเตอร์ที่ไม่สามารถอ่านข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

**Abstract**

Nowadays, Hard Disk Drive industry is increasing with research and development effort, which focus on a cost reduction and an increase of process performance. Main problem that occurs in the assembly process is the inappropriate tolerances, which cause to Gram Load value. Gram load value is force that calculated from the vertical spring rate and the vertical distance which make equilibrium fly height while hard disk drive is working. Fly height is the gap between slider and media which is high or low cause to slider can't read and write because of size of each assemblies are inappropriate size. This research studies the dimension and tolerance that relate to Gram Load value. The tolerances are generated in the Head Stack Assembly process. In addition, the mathematical model is generated to explain the relationship of each parameters and it could be used for control and decrease the error of the assembly process and calculate the suitability of the size and tolerance.

**ความเป็นมา**

ปัจจุบันประเทศไทยนั้น เป็นฐานการผลิตอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ และมีการแข่งขันในระดับประเทศเพื่อที่จะนำอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเข้ามาให้ประเทศของตนเป็นฐานการผลิต ซึ่งทำให้มีรายได้เข้าสู่ประเทศ ดังนั้น จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟให้สามารถนำไปแข่งขันระดับประเทศ เพื่อลดต้นทุนในการผลิต และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค จากการพัฒนาฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน ผลจากการพัฒนาที่เน้นไปที่ความเร็วในการอ่านข้อมูลและความจุของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ดังนั้น ขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ จึงต้องมีความแม่นยำมากขึ้น ทำให้ขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ ถูกนำมาวิเคราะห์โดยละเอียดมากขึ้น

จากปัญหาที่เกิดขึ้นจากการอ่านและเขียนข้อมูลจากหัวอ่านเขียนข้อมูล จึงมีการแก้ไขและป้องกันปัญหาที่มีสาเหตุมาจากการที่หัวอ่านเขียนข้อมูลอ่านหรือเขียนข้อมูลไม่ได้ เนื่องจากระยะห่างในช่วงที่บินอยู่นั้น การแก้ไขนั้นสามารถวิเคราะห์ออกมาเป็นสมการ โดยพิจารณาค่ากรัมโหลด ค่ากรัมโหลดมีความสำคัญมากในการอ่านและเขียนข้อมูล เนื่องจากในขณะที่ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟทำงานอยู่นั้น หัวอ่านเขียนข้อมูลจะ

บินอยู่เหนือแผ่นมีเดีย ซึ่งการลอยตัวของหัวอ่านเขียนข้อมูลนั้นจำเป็นต้องมีน้ำหนักกด เพื่อให้หัวอ่านเขียนข้อมูลบินอยู่ในระยะที่เหมาะสมซึ่งน้ำหนักที่กดนั้นก็คือ ค่ากรัมโหลด ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อค่ากรัมโหลดนั้นเกิดขึ้นมาจากขนาดของแต่ละชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นชิ้นส่วนหัวอ่านคอมพิวเตอร์ต้องมาค่าที่อยู่ในระยะที่เหมาะสม ซึ่งสามารถใช้การวิเคราะห์จากค่าระยะเผื่อ (tolerance analysis) [1]-[6], [10]-[17] ซึ่งการที่จะวิเคราะห์ระยะเผื่อได้นั้น เราจำเป็นต้องอ่านแบบโดยใช้ความรู้ทางด้านขนาดรูปทรงเรขาคณิตและระยะเผื่อ (geometric dimensioning and tolerancing) ซึ่งจะทำให้การออกแบบมีคุณภาพที่ดีขึ้น และค่าระยะเผื่อสำหรับการผลิตเพิ่มมากขึ้น ซึ่งคือมีค่าความเผื่อเสริม (bonus tolerance) ทำให้ลดต้นทุนในการผลิตได้ [9]

การวิเคราะห์ค่าระยะเผื่อสามารถวิเคราะห์ได้ทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ ในการวิเคราะห์แบบ 2 มิตินั้น สามารถวิเคราะห์ได้จากวิธีวิเคราะห์ระยะเผื่อที่ซ้อนกัน (tolerance stack-up analysis) การวิเคราะห์แบบนี้นั้นสามารถวิเคราะห์ได้ถึงกรณีที่ดีที่สุดและแย่ที่สุด โดยการใช้วิธีวิเคราะห์แบบลูบ (loop analysis) และการวิเคราะห์ขนาดและรูปทรงเรขาคณิตและระยะเผื่อ [7] การใช้วิธีคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์โครงสร้างของช่วงระยะเผื่อ (tolerance zone) สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้ 1. วิธีออฟเซ็ต (offset method) เป็นวิธีทางคณิตศาสตร์ โดยการสร้างตัวแปรไร้มิติ (non-parametrically) เพื่อกำหนดพื้นที่ 2. สร้างแบบจำลอง (parametric space model) เป็นการสร้างแบบจำลองในแบบที่สมบูรณ์และไม่สมบูรณ์ที่ได้จากระยะเผื่อ 3. วิธีแอลเจอบราอิก (algabraic method) 4. วิธีการเปลี่ยนรูปเมตริกซ์ (homogenous transformation metric method) 5. การกำหนดพื้นที่ระยะเผื่อ โดยใช้เส้นโค้ง (user-defined tolerance zone using parametric curves) [5] แต่ในการวิเคราะห์ระยะเผื่อแบบ 3 มิตินั้น จะมีความซับซ้อนกว่าแบบ 2 มิติ ซึ่งมีทั้งใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์ ในการใช้โปรแกรมนั้นมีลำดับขั้นตอน คือ ต้องรู้ข้อมูลในการวิเคราะห์ทั้งหมด นำไปสร้างแบบจำลองระยะเผื่อในการชิมมูเลชั่นและสุดท้ายนำไปชิมมูเลชั่น เพื่อหาการออกแบบที่ดีที่สุด [2, 3] ในการวิเคราะห์ค่าระยะเผื่อทั้ง 2 มิติ และ 3 มิติ จำเป็นต้องใช้ข้อมูลทางสถิติ (statistic tolerance) มาวิเคราะห์ด้วย [1, 2, 3, 6] เพื่อความแม่นยำมากขึ้น ในขณะที่หัวอ่านเขียนข้อมูลกำลังบินอยู่บนแผ่นมีเดีย ถ้าหัวอ่านเขียนข้อมูลบินสูงหรือต่ำเกินไป เมื่อประกอบชิ้นส่วนหัวอ่านคอมพิวเตอร์ เรียบร้อยแล้วในการแก้ไขนั้น ได้มีเครื่องยิงเลเซอร์เพื่อแก้ไขให้หัวอ่านเขียนข้อมูลบินอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมและสามารถอ่านข้อมูลได้ วิธีการทำงาน คือ เครื่องจะยิงเลเซอร์ไปที่ซัสเพนชั่น (suspension) โดยลดและเพิ่มแสงตามที่ต้องการจะเปลี่ยนระยะของหัวอ่านเขียนข้อมูล ซึ่งการเพิ่มและลดแสงนั้นจะทำให้ความเค้นลดลงเพื่อให้ได้ระยะที่เหมาะสม และการวัดค่ากรัมโหลด วัดโดยใช้แท่งเซนเซอร์คอยรับน้ำหนักของซัสเพนชั่นแล้วอ่านค่าออกมา [8]

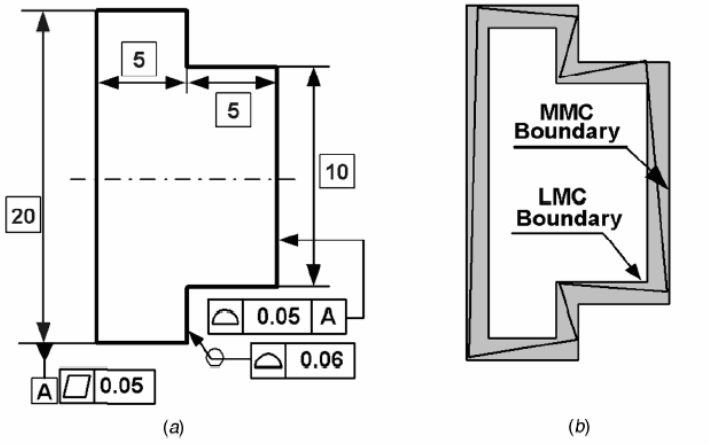
แนวทางการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นนั้น จำเป็นต้องให้ระยะช่องว่างระหว่างหัวอ่านขียนข้อมูลอยู่ในระยะที่เหมาะสม โดยการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อนำไปหาสาเหตุและแก้ไขได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**การวิเคราะห์ขนาดจากระยะเผื่อ**

การวิเคราะห์ขนาดรูปทรงเรขาคณิตและระยะเผื่อ (GD&T) เปรียบเสมือนการก่อสร้างอาคาร ซึ่งสิ่งที่คาดหวังก็คือ อาคารที่แข็งแรงและมั่นคง แต่จะเป็นเช่นนั้นได้จะต้องทำการวางรากฐานไว้อย่างมั่นคงเสียก่อน ซึ่งก็เช่นเดียวกับการศึกษาเรื่องขนาดรูปทรงเรขาคณิตและระยะเผื่อต้องเข้าใจไว้อย่างมั่นคง ในแบบงานทางวิศวกรรมจะมีการกำหนดขนาดรูปร่างของชิ้นงานได้สามวิธี คือ

- การกำหนดขนาดด้วยค่าตัวเลข
- การกำหนดขนาดโดยการเขียนบรรยาย
- การกำหนดขนาดด้วยสัญลักษณ์

ซึ่งขนาดรูปทรงเรขาคณิตและระยะเผื่อ เป็นการกำหนดขนาดด้วยสัญลักษณ์ ในการกำหนดขนาดทั้งหมดที่กล่าวมา ต่างก็มีวัตถุประสงค์เช่นกันคือ ประการแรก เป็นการกำหนดรูปร่างของชิ้นส่วน (Part Feature) และเป็นการกำหนดค่าความเผื่อ (Tolerance) โดยการกำหนดรูปแบบการเขียนสัญลักษณ์มาตรฐาน ประการที่สอง เป็นการระบุถึงปรัชญาการทำงาน (Philosophy of defining a part) ของชิ้นส่วนนั้นๆ สามารถระบุได้ว่าผู้ออกแบบต้องการให้ชิ้นส่วนนั้นทำงาน




รูปที่ 2 แสดงกรณีต่างๆที่เกิดจากการออกค่าระยะเผื่อของขนาดรูปทรงเรขาคณิตและระยะเผื่อ

อย่างไร สัญลักษณ์ขนาดรูปทรงเรขาคณิตและระยะเผื่อ มีด้วยกันทั้งหมด 14 สัญลักษณ์ ซึ่งแสดงไว้ดังรูปที่ 1 เรียกสั้นๆว่า Characteristic Symbol

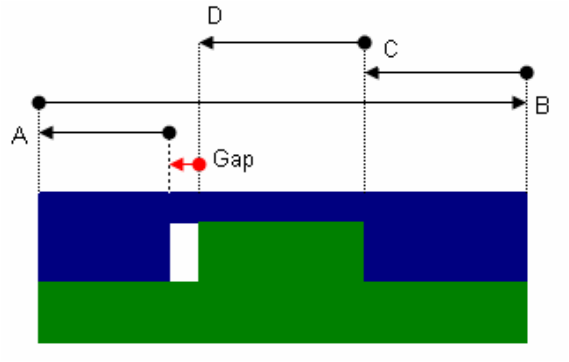
| CATEGORY | CHARACTERISTIC | SYMBOL |
|---|---|---|
| FORM | FLATNESS | |
| | STRAIGHTNESS | |
| | CIRCULARITY | |
| | CYLINDRICITY | |
| ORIENTATION | PERPENDICULARITY | |
| | ANGULARITY | |
| | PARALLELISM | |
| LOCATION | POSITION | |
| | CONCENTRICITY | |
| RUNOUT | CIRCULAR RUNOUT | |
| | TOTAL RUNOUT | |
| PROFILE | PROFILE OF A LINE | |
| | PROFILE OF A SURFACE | |

รูปที่ 1 Geometric characteristic Symbols

แต่ละโดยสัญลักษณ์จะพิจารณาที่ชิ้นส่วนที่ลักษณะเดียวกับสัญลักษณ์ เช่น ทรงกระบอก, ทรงกลม, กรวย, รู (Slot) และสิ่งที่คล้ายๆกัน โดยพิจารณาที่ 2 มิติ จากรูปที่ 2 แสดงตัวอย่างขอบเขตของชิ้นส่วนหนึ่ง ที่มีการจำกัดระยะเผื่อ จะเห็นได้ว่า เราสามารถพิจารณาสิ่งที่เกิดขึ้นได้ในกรณีต่างๆกัน เช่น กรณีที่ชิ้นส่วนออกมาเล็กที่สุด ใหญ่ที่สุด หรือออกมาแบบเอียง เป็นต้น

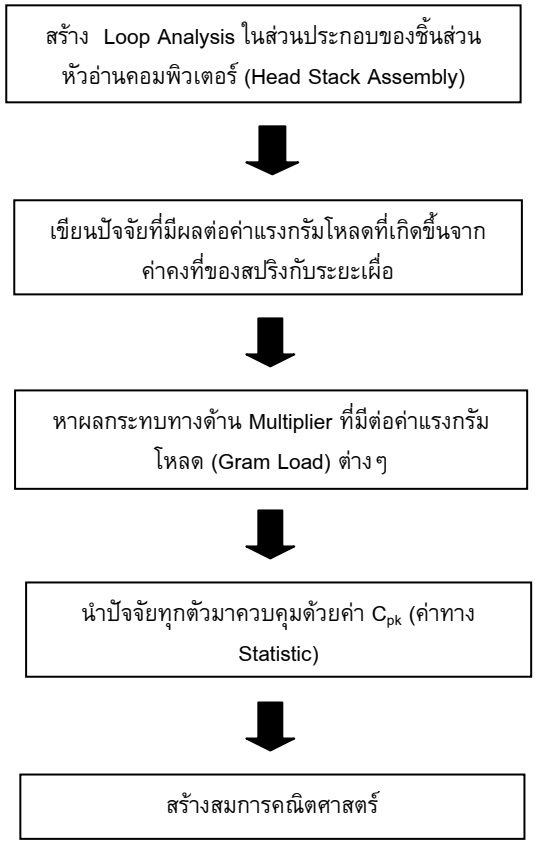
การวิเคราะห์ระยะเผื่อที่ซ้อนกัน (Tolerance Stack-up Analysis) เป็นการวิเคราะห์ในอีกแบบหนึ่ง ซึ่งไม่คล้ายกับการวิเคราะห์ขนาดรูปทรงเรขาคณิตและระยะเผื่อ เนื่องจากการวิเคราะห์ระยะเผื่อที่ซ้อนกัน จะวิเคราะห์เฉพาะกรณีที่ออกมาแย่ที่สุด รวมไปถึงชิ้นส่วน และส่วนที่จะนำไปประกอบจะวิเคราะห์กรณีที่แย่ที่สุดออกมา แต่ในการวิเคราะห์ระยะเผื่อที่ซ้อนกันจะกำหนดให้ชิ้นส่วนและส่วนประกอบมีความพอเหมาะกัน ซึ่งในการวิเคราะห์ระยะเผื่อที่ซ้อนกันนี้ ทำให้เราสามารถออกแบบชิ้นส่วนต่างๆได้ โดยไม่ว่าจะเป็นกรณีใดๆ ก็สามารถสวมกันได้หรือประกอบกันได้อย่างพอดี

ระยะเผื่อที่ซ้อนกันเป็นการวิเคราะห์โดยการสร้างลูป (Loop Analysis) ขึ้นมา เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในกรณีที่แย่ที่สุด ทำให้ออกแบบชิ้นส่วนได้อย่างสะดวกยิ่งขึ้น ดังรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่า ให้การออกแบบวัตถุสองชนิดนำมาสวมประกอบกันนั้น ในออกแบบต้องใส่ค่าระยะเผื่อในขนาดของแต่ละชิ้นส่วน ซึ่งในการผลิตออกมานั้น ชิ้นส่วนที่ได้ออกแบบไว้จะมีขนาดไม่เกินค่าระยะเผื่อที่ได้กำหนดไว้ แต่เมื่อนำมาสวมประกอบกัน อาจเกิดช่องว่างหรือไม่สามารถสวมประกอบกันได้ เนื่องจากให้ค่าระยะเผื่อที่มากเกินไปหรือน้อยเกินไป ซึ่งในการผลิต




รูปที่ 3 วิเคราะห์โดยใช้ Loop Analysis

ชิ้นส่วนนั้น ไม่สามารถทำการผลิตได้ออกมาสมบูรณ์แบบ (ideal) ดังนั้นในการวิเคราะห์เช่นนี้มีประโยชน์ต่อการวิเคราะห์เป็นอย่างมาก ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ชิ้นส่วนหัวอ่านคอมพิวเตอร์โดยการพิจารณาชิ้นส่วนที่นำมาประกอบเป็นชิ้นส่วนหัวอ่านคอมพิวเตอร์ว่ามีชิ้นส่วนไหนมีผลต่อค่ากรัมโหลด แล้วนำการวิเคราะห์แบบลูปมาประยุกต์กับงาน โดยการนำขนาดและระยะเผื่อของแต่ละชิ้นส่วนมาพิจารณา ในการศึกษาเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้ทำขั้นตอน ไว้ดังรูปที่ 4




รูปที่ 4 Flow Chart ในการวิเคราะห์ทางทฤษฎี

จากการศึกษาทฤษฎีต่างๆ ข้างต้นนั้นสามารถระบุตัวแปรที่มีผลต่อค่ากรัมโหลด (Gram load) ออกมาได้ทั้งหมด 6 ตัว ดังต่อไปนี้

- Slider to Hinge
- Hinge Thickness
- Base Plate Thickness
- Actuator Arm : Height
- Pivot – Height
- Pivot : Perpendicularity of Hole ACA

**การปรับปรุงค่าระยะเผื่อ (Multiplier)**

ผลกระทบทาง Multiplier ที่มีต่อค่าแรงกรัมโหลดนั่นมีอยู่ 3 แบบด้วยกัน คือ

1. *การปรับปรุงค่าระยะเผื่อทางรูปร่าง (Geometric multiplier)* คือ ตัวคูณเพื่อเพิ่มหรือลดค่าระยะเผื่อ เมื่อค่าระยะเผื่อมีการเปลี่ยนแล้วทำให้รูปร่างเปลี่ยนแปลงไปด้วย

2. *การปรับปรุงค่าระยะเผื่อทางความน่าจะเป็น (Probability multiplier)* คือ ตัวที่ไว้ใช้แก้ไขในการปรับปรุงค่าระยะเผื่อ เมื่อชิ้นส่วนมีการควบคุมทางรูปร่าง โดยในส่วนของงานฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจะใช้ในการควบคุมรูปร่างแบบขนาน (parallelism) และลาดเอียงหรือตั้งฉาก (perpendicularity)

3. *การปรับปรุงค่าระยะเผื่อทางสถิติ (Statistical Multiplier)* ใช้เมื่อต้องการควบคุมการแจกแจงค่าระยะเผื่อให้อยู่ในขอบเขตที่ต้องการ

ในการวิเคราะห์การควบคุมทางสถิติ (Statistical Multiplier) จะใช้การแจกแจงในการวิเคราะห์งานวิจัยนี้อยู่ทั้งหมด 3 แบบ คือ

1. *การแจกแจงแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution)* เป็นวิธีที่ทำให้มีความไม่แน่นอนสูง ซึ่งจะให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานที่สูง ในการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะยึดหลักสมมุติฐานจุดสิ้นสุดการควบคุม (end-point) ± a ของการแจกแจง ซึ่งทำให้สามารถหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ และยิ่งไปกว่านั้นการรวมสมมุติฐานค่าผลกระทบทั้งหมด จะอยู่ในระหว่าง -a ถึง +a อย่างเท่าเทียมกัน ดังรูปที่ 6 (a)

2. *การแจกแจงสามเหลี่ยม (Triangular Distribution)* เป็นวิธีที่ทำให้มีความไม่แน่นอนน้อย ซึ่งจะให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าการแจกแจงแบบสม่ำเสมอ ในการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะยึดหลักสมมุติฐานจุดสิ้นสุดการควบคุม ± a ของการแจกแจง ซึ่งทำให้สามารถหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานได้ และที่จุดสิ้นสุดต้องมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังรูปที่ 6 (b)

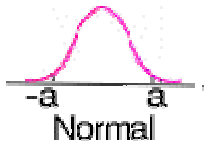
3. *การแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution)* เป็นวิธีที่ทำให้มีความไม่แน่นอนน้อยที่สุด ซึ่งจะให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุดเช่นกัน ในการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจะยึดหลักสมมุติฐานจุดสิ้นสุดการควบคุม ± a โดยค่า a มีค่าเท่ากับ 99.7 ของการแจกแจง ดังรูปที่ 6 (c)

$$s_{source} = \frac{1}{\sqrt{3}}a$$

(a)

$$s_{source} = \frac{1}{\sqrt{6}}a$$

(b)



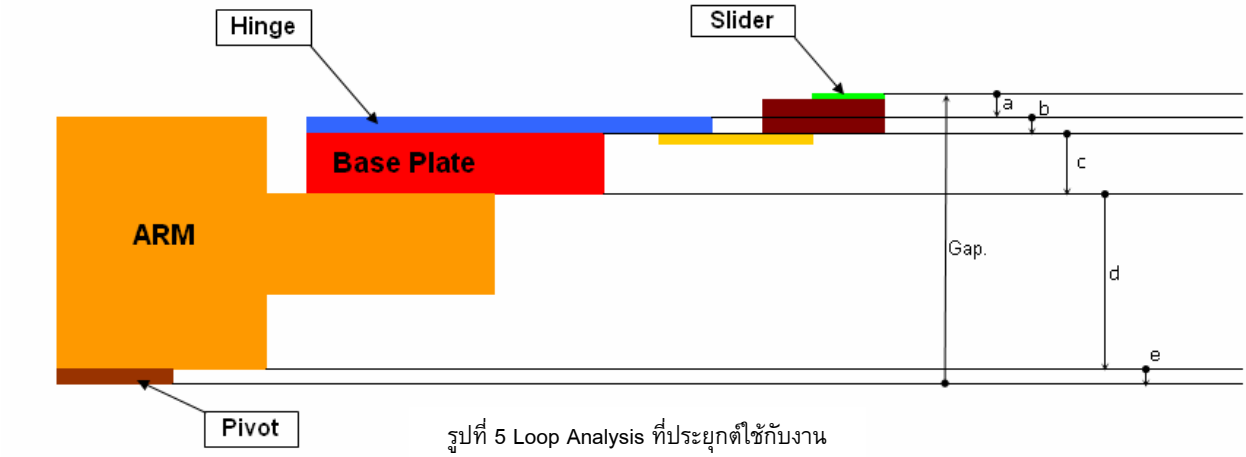

$$s_{source} = \frac{1}{3}a$$

(c)

รูปที่ 6 (a) การแจกแจงแบบสม่ำเสมอ (b) การแจกแจงแบบสามเหลี่ยม (c) สามเหลี่ยมการแจกแจงปกติ

**การสร้างสมการคณิตศาสตร์**

การสร้างสมการนั้นจะพิจารณาค่ากรัมโหลดเป็นหลัก ซึ่งค่ากรัมโหลดเป็นแรงที่เกิดจากค่าสัมประสิทธิ์ของสปริงกับระยะความสูงของหัวอ่านเขียนข้อมูล ซึ่งระยะความสูงนั้นประกอบไปด้วยตัวแปรทั้ง 6 ตัวที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยการนำเอาขนาดและระยะเผื่อมาสร้างสมการ สมการที่สร้างขึ้นมานั้น จะนำไปประยุกต์ใช้งาน โดยสมการนั้นสามารถวิเคราะห์เพื่อหาข้อผิดพลาดทางด้านขนาด เมื่อได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์ระยะเผื่อที่ซ้อนกัน (Tolerance Stack-up Analysis) สามารถนำประยุกต์ใช้ในการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์จากรูปที่ 5 เป็นวิธีการลูบ (Loop Analysis) ของชิ้นส่วนหัวอ่านคอมพิวเตอร์ (Head Stack Assembly) โดยเริ่มต้นจากหัวอ่านและเขียนข้อมูล (Slider) ไปจนถึง Hinge ให้เป็นสัญลักษณ์ a และ




รูปที่ 5 Loop Analysis ที่ประยุกต์ใช้กับงาน

สัญลักษณ์ b, c นั้นคือ ความหนาของ Hinge และ Base Plate ตามลำดับ ความสูงของแขนชิ้นส่วนหัวอ่านคอมพิวเตอร์ (Actuator Arm) เป็นสัญลักษณ์ d ส่วนสัญลักษณ์ e คือ ความสูงของ pivot bearing เมื่อประกอบกับชิ้นส่วนหัวอ่านคอมพิวเตอร์ ซึ่งเริ่มตั้งแต่ฐานของแขนชิ้นส่วนหัวอ่านคอมพิวเตอร์ถึงฐานของ pivot bearing และสัญลักษณ์ f เป็นการควบคุมระยะเผื่อแบบตั้งฉาก (perpendicularity) ที่ pivot bearing เมื่อสวมกับชิ้นส่วนหัวอ่านคอมพิวเตอร์แล้ว โดยตัวแปรและขนาดของแต่ละชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับงาน ได้แสดงให้เห็นดังตารางที่ 1

| No. | Parameters | Nominal |
|---|---|---|
| a | Slider to Hinge | 0.0453 |
| b | Hinge Thickness | 0.0254 |
| c | Base Plate Thickness | 0.1620 |
| d | Actuator Arm - Height | 0.9650 |
| e | Pivot - Height | 0.3100 |
| f | Pivot : Perpendicularity of hole Actuator Arm | 0.0000 |

ตารางที่ 1 ตัวแปรและขนาดของแต่ละชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องกับงาน

จากการวิเคราะห์แบบวิธีการลูบ ดังรูปที่ 9 สิ่งที่เราสนใจในการใช้วิธีนี้คือ Gap โดย Gap ที่ได้นั้นจะเป็นสมการที่ติดตัวแปร เมื่อนำมาคูณกับค่าสปริงของ Head Gimble Assembly (HGA) เราจะได้ค่ากรัมโหลด (Gram load) ซึ่งเมื่อนำซัสเพนชั่น (suspension) มาประกอบกับหัวอ่านและเขียนข้อมูล จะถูกเรียกว่า Head Gimble Assembly ดังนั้นเราสามารถสร้างสมการ โดยการสร้างตารางเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละตัว ดังตารางที่ 2 ซึ่งตารางได้แสดงตัวแปรแต่ละตัว, ค่าระยะเผื่อและค่าปรับปรุงระยะเผื่อ จะเห็นได้ว่า ตัวแปร c, d และ e มีการปรับปรุงหรือควบคุมทางสถิติ นั้นก็คือ ตัวแปรทั้ง 3 มีการควบคุมการแจกแจงปกติ ในการควบคุมทางสถิตินั้นขึ้นอยู่กับผู้ผลิตว่าต้องการควบคุมมากน้อยเพียงใด ในที่นี้เราควบคุมค่า $C_{pk}$ ที่ 1.33 เมื่อนำมาแทนในรูปที่ 3(c) จะได้

$$s = \frac{1}{3}a$$

a = 3s = 3(1.33)

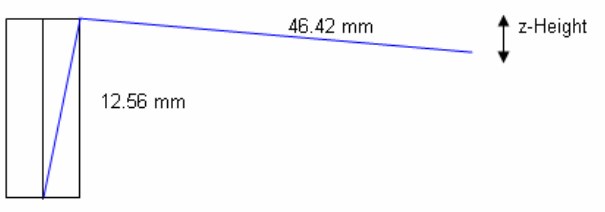
a = 4 sigma

เมื่อรู้ว่ามีการควบคุม $C_{pk}$ = 1.33 = 4 sigma เราสามารถคำนวณค่าปรับปรุงระยะเผื่อได้ คือ

$$\frac{3sigma(normal)}{4sigma} = 0.75$$

เมื่อเราควบคุมค่า $C_{pk}$ ที่ 1.33 เราจะได้ค่าปรับปรุงทางสถิติ เท่ากับ 0.75 จากตัวแปร f คือ Pivot: Perpendicularity of Hole ACA มีการปรับปรุงค่าระยะเผื่อทาง Geometric multiplier และ Probability multiplier ในการปรับปรุงทาง Geometric multiplier จะแสดงในรูปที่ 4

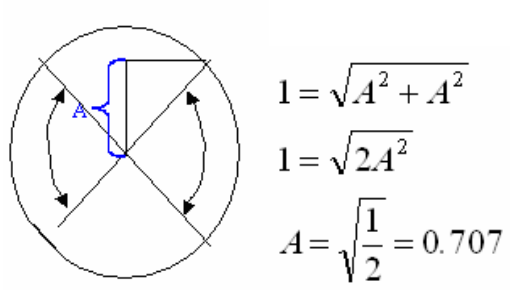
$$GeoMult = \frac{46.42}{12.56} = 3.70$$




รูปที่ 4 Geometry Multiplier ของ Pivot: Perpendicularity of Hole

จากรูปที่ 4 เราสามารถหาค่า Geometric multiplier ได้จากอัตราส่วนระหว่างความสูงกับความยาว ซึ่งอัตราส่วนนี้คือ สัมประสิทธิ์เพื่อนำไปปรับปรุงระยะเผื่อทางด้านรูปร่าง

การปรับปรุงทาง Probability multiplier นั้น จะมีการปรับปรุงที่ Pivot: Perpendicularity of Hole ACA โดยคิดในสภาวะโอกาสความคลาดเคลื่อน +/- 45 องศา ซึ่งจากรูปที่ 5 นั้น การหาระยะ A นั้น เราจะพิจารณาวงกลม 1 หน่วย จากนั้นใช้ตรีโกณมิติในการหาค่า A




รูปที่ 5 Probability Multiplier ของ Perpendicularity

| No. | Nominal | Tol. (+/-) | Geo mult | Prop mult | Stat mult | Direction | Vector | Eff. Tolerance | Assumption Distribution |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| a | 0.4530 | 0.0000 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | -1.00 | -0.4530 | 0.0000 | |
| b | 0.0254 | 0.0025 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | -1.00 | -0.0254 | 0.0025 | Uniform |
| c | 0.1620 | 0.0200 | 1.000 | 1.000 | 0.750 | -1.00 | -0.1620 | 0.0150 | Normal |
| d | 0.9650 | 0.0250 | 1.000 | 1.000 | 0.750 | -1.00 | -0.9650 | 0.0188 | Normal |
| e | 0.3100 | 0.0200 | 1.000 | 1.000 | 0.750 | -1.00 | -0.3100 | 0.0150 | Normal |
| f | 0.0000 | 0.0130 | 3.700 | 0.707 | 1.000 | 1.00 | 0.0000 | 0.0340 | Triangle |
| | | | | | | Gap | 1.9154 | 0.0853 | WOW |
| | | | | | | | | 0.0443 | RSS |

ตารางที่ 2 ตารางเพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรแต่ละตัว

ดังนั้น Probability multiplier มีค่าเท่ากับ 0.707 จากตารางที่ 2 ได้ใส่ทิศทางตามการวิเคราะห์แบบลูบ ให้ทิศทางลงเป็นลบ (-) และทิศทางขึ้นเป็นบวก (+) โดยเครื่องหมายของทิศทางนั้น จะนำมาคิดที่ขนาดของตัวแปร จากนั้น นำค่าปรับปรุงมาคูณกับระยะเผื่อจะได้เป็นระยะเผื่อสามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งจากตารางก็คือ Eff. Tolerance ซึ่งเมื่อรวมค่าระยะเผื่อทั้งหมดแล้ว งานที่แย่ที่สุด (Worst of Work) ที่สามารถยอมรับได้ คือ ค่าระยะเผื่อต้องไม่เกิน +/- 0.0853 มิลลิเมตร แต่ในการคิดแบบ root sum squares (RSS) งานที่แย่ที่สุดที่สามารถยอมรับได้ คือ ค่าระยะเผื่อต้องไม่เกิน +/- 0.0443 มิลลิเมตร ซึ่งวิธีการแบบ root sum squares เป็นวิธีที่ยอมรับมากกว่า เนื่องจากจะทำให้มีงานเสียน้อยกว่าแบบ Worse of Work

จากตารางที่ 2 สามารถสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ แสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Gap = (1*1*1)a + (1*1*1)b + 0.162 + (1*1*0.75)(c - 0.162) + 0.965 + (1*1*0.75)(d - 0.965) + 0.31 + (1*1*0.75)(e - 0.31) + (3.70*0.707*1)f$$

$$Gap = 0.81225 + b + 0.75c + 0.75d + 0.75e + 2.616f$$

เพราะฉะนั้น จาก

$$GramLoad = k * Gap.$$

$$GramLoad = k(0.81225 + b + 0.75c + 0.75d + 0.75e + 2.616f)$$

โดยที่ k คือ ค่าสปริงของ Head Gimble Assembly ซึ่งค่าสปริงนี้จะมีค่าไม่คงที่ โดยค่าสปริงจะขึ้นอยู่กับการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

สมการที่ได้มานั้นเป็นสมการที่สามารถใส่ขนาดของตัวแปรแต่ละตัว ซึ่งทำให้รู้ค่ากรัมโหลดได้จากสมการ ซึ่งสมการสามารถนำไปใช้เพื่อหาข้อผิดพลาดทางด้านขนาด และพัฒนาเพื่อให้ได้มีขนาดที่เหมาะสมที่สุด

**สรุปและข้อเสนอแนะ**

งานวิจัยนี้ได้กล่าวถึงการนำเอาวิธีวิเคราะห์ค่าระยะเผื่อ (tolerance analysis) มาประยุกต์ใช้ในชิ้นส่วนหัวอ่านคอมพิวเตอร์ ซึ่งวิธีวิเคราะห์ค่าระยะเผื่อจะช่วยแสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่างๆ และการวิเคราะห์ระยะเผื่อที่ซ้อนกัน (tolerance Stack-up Analysis) เป็นเทคนิคการปรับปรุงความคลาดเคลื่อนหรือระยะเผื่อของตัวแปรแต่ละตัว ซึ่งได้พิจารณาที่ชิ้นส่วนหัวอ่านคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ตัวงานมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งทางหนึ่งที่สามารถปรับปรุงระยะเผื่อได้ คือ การสร้างสมการคณิตศาสตร์ ดังสมการข้างต้น ซึ่งสมการนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งสมการจะช่วยในการออกแบบควบคุม และลดความผิดพลาดของขนาดของชิ้นส่วนต่างๆในการผลิตชิ้นส่วนหัวอ่านคอมพิวเตอร์ โดยการใส่ขนาดของแต่ละชิ้นส่วน เพื่อดูค่ากรัมโหลดอยู่ในระยะที่สามารถยอมรับได้หรือเปล่า

**กิตติกรรมประกาศ**

ขอขอบคุณบริษัท เวสเทิร์น ดิจิตอล (ประเทศไทย) จำกัด และคุณเทิดไท เทียนทอง ที่ให้การสนับสนุนด้านอุปกรณ์และข้อมูลทางเทคนิคในการทำวิจัย รวมถึงศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ (I/UCRC in HDD Component EN KKU) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ช่วยประสานงานทางด้านทุนในการทำวิจัย และขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิคส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ที่ให้การสนับสนุนทุนการศึกษาในการทำวิจัยครั้งนี้ภายใต้โครงการพัฒนาทรัพยากรบุคคลในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

**เอกสารอ้างอิง**

[1] K. L. Deckert, “Computer-aided design of slider ,bearings in magnetic disk files”. sep 1990.

[2] B. Schlatter, “Computer aided 3D tolerance analysis of disk drives”. sep 1996.

[3] S.Katsumaru, K.Yagezawa, T.Yatabe, K.Fuji, T.Ohhashi and K.Mori. “Practical tolerance analysis simulation”. Technical review 2005.

[4] F.Gao and K.Ang. “Mechanical Component Dimension Tolerance and Damping Effect on Controller”. IEEE 2006

[5] K.Pasapathy, E.Morse and R.Wilhelm. “A Survey of Mathematical Methods for the Construction of Geometric Tolerance Zones”. Center for Precision Metrology, Department of Mechanical Engineering and Engineering Science, The University of North Carolina at Charlotte

[6] R.Atkinson, T.Miller and F.Scholz. “Statistical tolerancing”. Sep 1999.

[7] J.Meadows. “Tolerance stack-up analysis”.

[8] G.Singh, W.Kozlosky, X.Wu and B.Brown. “Laser Gram Load Adjust for Improved Disk Drive Performance”. IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 37, NO. 2, MARCH 2001

[9] The American Society of Mechanical engineering, Engineering Drawing Dimensioning and Tolerancing

[10] Colin Milberg, Iris D. Tommelein, and Thais Alves. “Improving Design Fitness Through Tolerance Analysis and Tolerance Allocation”. 3rd INTERNATIONAL CONFERENCE ON CONCURRENT ENGINEERING IN CONSTRUCTION, University of California, Berkeley.

[11] Robert Upton. “Tolerance Analysis for Nasmyth Focus”. Advanced Technology Solar Telescope, August 2006.

[12] Karl G. Merkley. ”TOLERANCE ANALYSIS OF COMPLIANT ASSEMBLIES”. Department of Mechanical Engineering Brigham Young University, April 1998

[13] K. G. Merkley, K. W. Chase, E. Perry. “An Introduction to Tolerance Analysis of Flexible Assemblies”. Brigham Young University Provo, UT.

[14] John Roger Smith. “Improved Kick Tolerance Analysis”. Shiniti Ohara, Shell Brazil E&P Fernando Flores-Avira, PEMEX.

[15] Paul R Hearn. “Damage Tolerance Analysis with Boundary Elements”. Hamilton Sundstrand, a United Technologies Company.

[16] Steven M. Sandler. “A Comparison of Tolerance Analysis Methods”. AEi Systems, LLC.

[17] Dariusz J. Ceglarek, Jianjun Shi. “Tolerance Analysis for Sheet Metal Assembly Using a Beam-Based Model”. S.M. Wu Manufacturing Research Center, The University of Michigan.