

การปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์สำหรับ  
เซิร์ฟเวอร์ฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว

Improvement of The Hard Disk Balancing Process for 2.5" Server Hard Disk

มงคล ปรารังสิริสกุล<sup>1</sup>, จิตติมา วรรณกุล<sup>2</sup>, กนต์ธร ชำนิประศาสน์<sup>2</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชา แมคคาทรอนิกส์ สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำบล สุรนารี อำเภอ เมือง จังหวัด นครราชสีมา 30000

<sup>2</sup> สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ตำบล สุรนารี อำเภอ เมือง จังหวัด นครราชสีมา 30000

\*ติดต่อ: Mongkol.pra@hgst.com, 08 1305 4532

**บทคัดย่อ**

ในปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ประเภทเซิร์ฟเวอร์ขนาด 2.5 นิ้ว มีความต้องการในการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ อายุการใช้งานของฮาร์ดดิสก์และความเสถียรในการเก็บข้อมูล ซึ่งหนึ่งในสเปคที่มีผลโดยตรงและมีการกำหนดในกระบวนการผลิตคือ ความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ ซึ่งมีความสำคัญในกระบวนการผลิตที่จะต้องควบคุมให้ได้ค่าตามสเปคที่กำหนด เนื่องจากเป็นค่าที่มีความแปรผันตรงกับแรงหนีศูนย์กลาง ขณะที่สปินเดิลมอเตอร์หมุนในความเร็รรอบสูง ซึ่งในปัจจุบันมีค่ามากกว่า 10,000 รอบต่อนาที ในกระบวนการตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์นั้นเป็นสิ่งที่ยากในการควบคุมเมื่อค่าความสมดุล มีค่าต่ำกว่า 10 mg.cm ถึง 5 mg.cm และส่งผลต่อระยะเวลาในการทดสอบและแก้ไขที่เพิ่มขึ้น มากกว่า 2 ครั้งถึง 3 ครั้งตามลำดับ การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษา ทำวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการและความคุมกระบวนการเพื่อให้ลดปริมาณงานที่ไม่ผ่านการทดสอบความสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์ครั้งแรกในกระบวนการผลิตจากก่อนการปรับปรุง 27.5% ลดลงเหลือน้อยกว่า 5% หลังการปรับปรุง โดยผลที่ได้หลังจากใช้วิธีการปรับปรุงกระบวนการด้วยวิธีปรับค่าสเปคในการปรับสมดุลแผ่นดิสก์พร้อมทั้งการลดการเสียสมดุลจากการขันย้าสกรูทำให้ได้ผลตามเป้าประสงค์ ตลอดจนเป็นการเพิ่มกำลังการผลิตอีก 18.96% ให้กับบริษัทเอชจีเอสที(ประเทศไทย) จำกัด พร้อมทั้งทำให้เกิดองค์ความรู้ในการการวิเคราะห์และควบคุมกระบวนการปรับและตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์

**คำหลัก:** ฮาร์ดดิสก์, สปินเดิล มอเตอร์, แผ่นดิสก์, ความสมดุล

**Abstract**

The current 2.5-inch server hard disk have the requirement to use increases continuously. The one specifications that importance for support the life time and data storage stability is hard disk balancing. Therefore hard disk drive balancing process is very importance and must be control spec to meet the requirement within manufacturing assembly process. The unbalance value direct effect to centrifugal force when the spindle motor spin high RPM. And moreover 10,000 RPM in actual drive operation. The hard disk balancing process so difficult for controlling if static will balance spec tighten lower 10 mg\*cm. or 5 mg\*cm. That effect for testing time & balance correction increase by require more 2<sup>nd</sup> time and 3<sup>rd</sup> time. The purpose of this research is studied to analysis, improvement and also optimized the hard disk drive balancing process to reduce and control balance failure as first operation process before improve 27.5% to be less than 5% after improve by using method as balance spec optimization and also improved the top clamp screw fastening method as effectiveness. Moreover this research to supporting the productivity improvement of 18.96% for HGST (Thailand )Ltd. Finally, The project will get the knowledge how to analysis and control manufacturing process of the hard disk balancing.

**Keywords:** Hard Disk Drive, Spindle Motor, Disk, Balancing

## AMM-18

### 1. บทนำ

ฮาร์ดดิสก์เซิร์ฟเวอร์นั้น เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่บรรจุข้อมูลแบบไม่ลบเลือนที่ถูกออกแบบมาสำหรับให้ทำงานอย่างต่อเนื่องพร้อมกับประสิทธิภาพการจัดเก็บข้อมูลที่สูง โดยมีความคงทนสูงเนื่องจากฮาร์ดแวร์ที่เลือกมาเป็นส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์นั้นมีคุณภาพสูง และถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ทนทานมีการทดสอบล่วงหน้าและประเมินว่าฮาร์ดดิสก์แต่ละลูกจะสามารถใช้งานได้นานเท่าไรก่อนที่จะเสียหาย โดยแสดงเป็นค่าของ Mean Time Between Failure (MTBF) ซึ่งโดยทั่วไปมักจะมีค่าระหว่าง 1.2 ล้านชั่วโมง ถึงมากกว่า 2 ล้านชั่วโมง

ความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์เป็นสิ่งหนึ่งที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพและการทำงาน ดังนั้นในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์จึงต้องมีการควบคุมกระบวนการและเครื่องมือในการทำให้ฮาร์ดดิสก์มีความสมดุลในการประกอบแผ่นดิสก์เข้ากับแกนมอเตอร์เนื่องจากความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ที่จะเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบที่สูงขึ้น

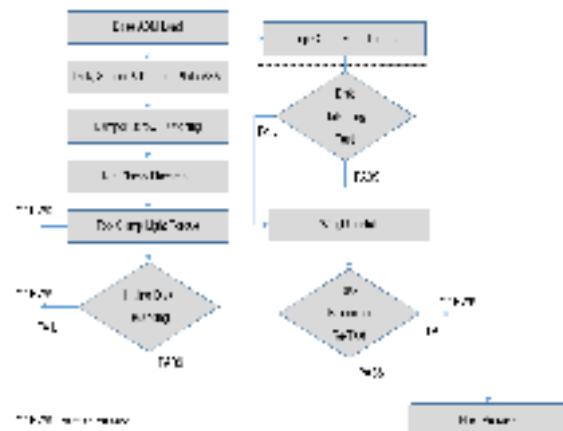
การวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาที่เกี่ยวข้องดังนี้ จิตติมา จินตนาวัน [ 2 ] การจำลองการสั่นของฮาร์ดดิสก์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาความถี่ธรรมชาติและจำแนกโหมดการสั่น Unbalanced (0,1) และ Balanced (0,1) ตามจำนวนแผ่นดิสก์, ความหนาของแผ่นดิสก์ และระยะรัศมีของแผ่นยึดแผ่นดิสก์ และ สามารถ มุ่งโตกลาง, อุณหภูมิ, โพลิสกอนและ ปัญหา สิ่งหนาม [ 1 ] การศึกษาความไม่สมดุลของแผ่นดิสก์ในฮาร์ดดิสก์อันเนื่องมาจากการขึ้นสกรูโดยใช้หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นต้น การวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่มีการศึกษาที่จะปรับปรุงเพื่อลดการเพิ่มค่าความไม่สมดุลแผ่นดิสก์ระหว่างกระบวนการปรับสมดุลแผ่นดิสก์และการขึ้นยาสกรู เพื่อให้ได้ผลของการตรวจสอบค่าความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ครั้งเดียวผ่านมากกว่า 95% เพื่อลดเวลาและค่าใช้จ่ายในกระบวนการประกอบและตรวจสอบ

บทความนี้จะศึกษาและปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ทั้งระบบโดยไม่คำนึงถึงวิธีการปรับความสมดุลด้วยการใส่ปลั๊กถ่วงน้ำหนักเนื่องจากการเพิ่มต้นทุนและเวลาในกระบวนการผลิต โดยการวิจัยนี้จะใช้วิธีการชดเชยค่าสเปคในการปรับความสมดุลแผ่นดิสก์ตามจำนวน

แผ่นดิสก์ที่ประกอบ (Disk Balanced Translation) อีกทั้งการตรวจสอบค่าความแม่นยำในการขึ้นสกรูด้วยการปรับมุมชดเชยการขึ้นสกรูเทียบกับระบบประมวลผลด้วยภาพสุดท้ายทำการทำการปรับปรุงการขึ้นสกรูแบบสองสเตปใหม่ดพร้อมสโสดาร์ทฟิงก์ชั่น

### 2. กระบวนการประกอบและตรวจสอบความสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์

กระบวนการประกอบและทดสอบความสมดุลในการหมุนเริ่มจากการเตรียม Base with Spindle Motor Assembly ซึ่งส่งมาจาก Supplier ผ่านกระบวนการล้างทำความสะอาด ( Cleaner ) จากนั้นจะทำการติด Serial Number และส่งต่อไปยังกระบวนการประกอบแผ่นดิสก์, แผ่นรอง(Spacer) และแฉกเปอร์เฟลทด้วยเครื่องจักร จากนั้นทำการประกอบแผ่นยึดดิสก์ (Top Clamp) แล้วขึ้นสกรู 6 ตัวพร้อมกันแบบค่าแรงบิดต่ำ เพื่อยึดแผ่นดิสก์และแผ่นรอง(Spacer)แบบหลวม ต่อมาจะเป็นการทดสอบและปรับความสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์ ถ้าความไม่สมดุลของชุดแผ่นดิสก์มีค่าเกินกว่าที่กำหนดจะทำการคลายสกรูและทดสอบซ้ำส่วนฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านการปรับสมดุลก็จะทำการขึ้นยาสกรูด้วยค่าแรงบิดสุดท้ายตามสเปค จากนั้นจะเป็นการทดสอบค่าความสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์ถ้าความไม่สมดุลของชุดแผ่นดิสก์มีค่าเกินกว่าที่กำหนดก็จะถูกส่งต่อไปยังกระบวนการสุดท้ายของการปรับสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์ด้วยวิธีการถ่วงสมดุลด้วยปลั๊กพลาสติกใส่เข้าไปบนรูเจาะของแผ่นยึดดิสก์ (Top Clamp) ส่วนฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านการทดสอบการค่าความสมดุลจะถูกส่งไปประกอบในกระบวนการต่อไป



รูปที่ 1 กระบวนการประกอบและตรวจสอบความสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์

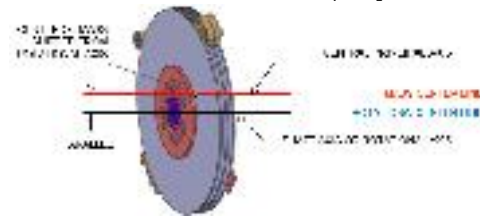
## AMM-18

เมื่อทำการวิเคราะห์กระบวนการตั้งที่กล่าวมาแล้วนั้น สิ่งที่สำคัญคือค่าความสมดุลที่ผ่านการปรับความสมดุลของแผ่นดิสก์ที่ส่งต่อไปยังกระบวนการขึ้นย้าสกรู โดยพิจารณาแรงกระทำต่าง ๆ เช่น แรงกระแทก (G-Shock) จากอุปกรณ์ที่ลำเลียงชิ้นงาน การหยิบจับชิ้นงานด้วยแขนกล เป็นต้น ตลอดจนการควบคุมแรงบิดค่าที่เท่ากันที่ขึ้นย้าสกรูที่ปลายไขควง (Driver Bit) ต้องสวมเข้าเข้าสกรู (Screw Engage) และทำการขึ้นสกรูทั้ง 6 ตัวในเวลาทีพร้อมกันหรือใกล้เคียงกันมากที่สุด

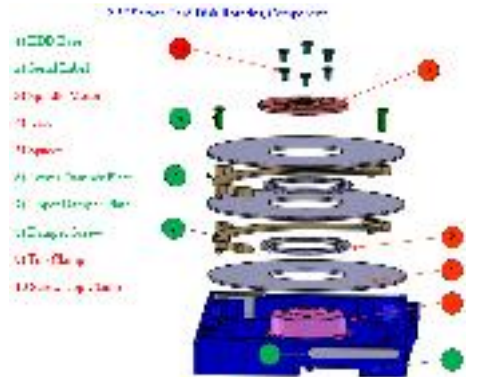
### 3. ทฤษฎีและการคำนวณที่เกี่ยวข้อง

3.1 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์และการคำนวณแรงหนีศูนย์กลางการหมุน (Centrifugal Force)

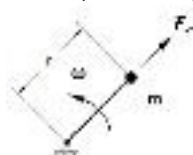
ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เมื่อประกอบแผ่นดิสก์, แผ่นรอง (Spacer) และชิ้นส่วนจับยึดในการทำงานเข้ากับแกนมอเตอร์แล้ว เมื่อ Mass center line กับ Rotational center line ไม่อยู่ในแกนเดียวกันจะทำให้เกิดความไม่สมดุลในการหมุนเกิดขึ้นโดยจะทำให้เกิดแรงหนีศูนย์กลางในการหมุนเรียกว่า Centrifugal force และจะมีค่าเพิ่มขึ้นโดยตรงกับความเร็วยรอบในการหมุนที่สูงขึ้น



รูปที่ 2 แสดงเส้นศูนย์กลางการหมุนและเส้นศูนย์กลางมวล



รูปที่ 3 ส่วนประกอบของอุปกรณ์ที่หมุนกับแกนมอเตอร์



รูปที่ 4 แรงหนีศูนย์กลาง ( Centrifugal Force )

$$F_c = m \times r \times \omega^2 \quad (1)$$

$$U = m \times r \quad (2)$$

$$F_c = U \times \omega^2 \quad (3)$$

$$F_c = U \times \frac{(2\pi n)^2}{60} \quad (4)$$

เมื่อ

$F_c$  คือ แรงหนีศูนย์กลางในหน่วยนิวตัน-เมตร

$m$  คือ มวลในหน่วยกิโลกรัม

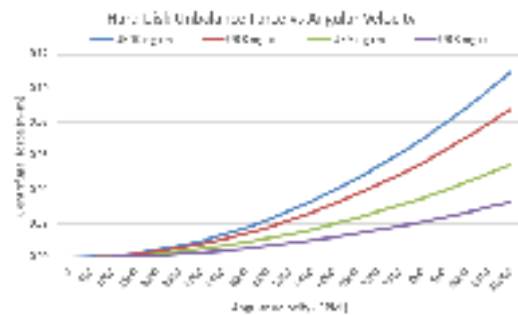
$r$  คือ รัศมีในหน่วยเมตร

$\omega$  คือ ความเร็วเชิงมุมในหน่วย Rad/sec

$U$  คือ ความไม่สมดุลมวลต่อระยะรัศมีใน

อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์นิยมใช้หน่วย g.cm. หรือ mg.cm.

$n$  คือ ความเร็วรอบในหน่วย รอบต่อนาที (RPM)



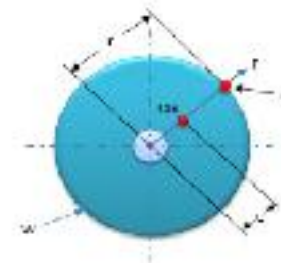
รูปที่ 5 ขนาดแรงหนีศูนย์กลางตามความเร็วยรอบที่สูงขึ้น

### 3.2 ประเภทของความไม่สมดุลมวลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk Unbalance)

#### 1. สเตติกส์อันบาลานซ์ (Static Unbalance)

คือ เส้นศูนย์กลางของแกนหมุนและเส้นศูนย์กลางมวลไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกันโดยเส้นทั้งสองนี้จะขนานกัน

โดยการไม่สมดุลจะพิจารณา Coordinate X-Y จากจุดศูนย์กลางการหมุน



รูปที่ 6 อธิบายความสมดุลแบบสเตติกส์

สมการการคำนวณที่เกี่ยวข้องสามารถอ้างอิงตามสมการที่

(1) ถึง สมการที่ (4) และเพิ่มเติมสมการที่ (5) และ (6)

## AMM-18

$$U = W \times e \quad (5)$$

$$e = \frac{U}{W} \quad (6)$$

เมื่อ

**W** คือ มวลทั้งหมด (Total Weight) มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

**e** คือ ค่าความเบี่ยงเบนจากศูนย์กลาง (eccentricity) มีหน่วยเป็นเมตร

### 2. คัปเปิลอันบาลานซ์ (Couple Unbalance)

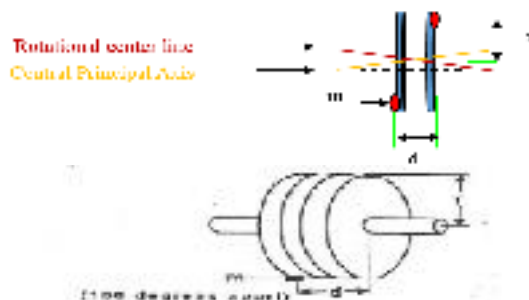
คือเส้นศูนย์กลางของแกนหมุนและเส้นศูนย์กลางมวลตกกันอยู่ในตำแหน่งเดียวกันที่จุดศูนย์กลางมวลโดยเส้นทั้งสองนี้ ไม่ขนานกัน สมการที่ใช้ในการคำนวณคือ

$$C_u = m \times r \times d \quad (7)$$

เมื่อ

**C<sub>u</sub>** คือ คัปเปิลบาลานซ์หน่วย g.cm<sup>2</sup> หรือ mg.cm<sup>2</sup>

**d** คือ ระยะห่างระหว่างแนวระนาบระหว่างแผ่นดิสก์ในหน่วยเซนติเมตร



รูปที่ 7 อธิบายความสมดุลแบบ คัปเปิลบาลานซ์

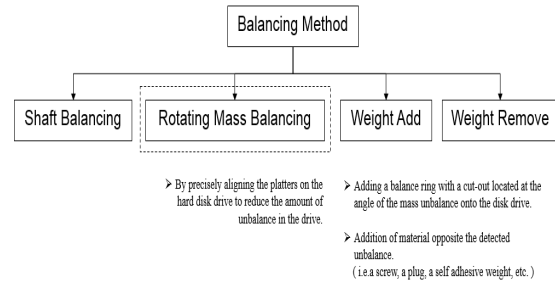
### 3. ไดนามิกส์อันบาลานซ์ (Dynamic Unbalance)

เส้นศูนย์กลางของแกนหมุนและเส้นศูนย์กลางมวล ไม่อยู่ ในตำแหน่งเดียวกัน และเส้นทั้งสองนี้ยัง ไม่ขนานกัน อีกทั้งยังไม่ตัดกันที่ตำแหน่งศูนย์กลางมวล

#### 4. คอชชีสแตติกอันบาลานซ์ (Quasi Static - Unbalance)

กรณีพิเศษที่ไดนามิก อันบาลานซ์ มีทั้งสแตติกและคัปเปิลอันบาลานซ์เวกเตอร์ที่อยู่ในระนาบเดียวกัน โดยมีศูนย์กลางแกนหลักในการหมุนตัดผ่านแกนหมุนของมอเตอร์ แต่จุดศูนย์กลางมวลยังไม่อยู่ในตำแหน่งของแกนหมุน

### 3.3 วิธีการทำให้ฮาร์ดดิสก์เกิดความสมดุลในการหมุน (Hard Disk Balancing Method)



รูปที่ 8 วิธีการทำให้ฮาร์ดดิสก์เกิดความสมดุลในการหมุน

1. การทำแกนหมุนของสปินเดิลมอเตอร์มีความสมดุล ( Shaft Balancing ) วิธีการนี้อยู่ในการบวนการประกอบและทดสอบสปินเดิลมอเตอร์

2. การทำให้ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์กลางในการหมุนที่ประกอบฮาร์ดดิสก์มีความเที่ยงตรงในการประกอบกับสปินเดิลมอเตอร์ให้อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน เพื่อให้เกิดความสมดุลในการหมุน โดยทำการขัดหรือลดมวลที่ทำให้ไม่สมดุลในฮาร์ดดิสก์

3. เพิ่มมวลถ่วงน้ำหนักในด้านตรงข้ามกับมวลที่ไม่สมดุล (Weight Add) เพื่อทำให้เกิดความสมดุลในการหมุน ซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในทางอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์

4. การนำมวลที่ทำให้เกิดความไม่สมดุลออก (Weight Remove) ในทางการผลิตไม่นิยมวิธีนี้เนื่องจากเป็นวิธีการที่ทำให้เกิดสิ่งปนเปื้อน (Contaminations) ในกระบวนการผลิต

จากวิธีการทำให้ฮาร์ดดิสก์เกิดความสมดุลในการหมุนที่กล่าวข้างต้น เอกสารการวิจัยฉบับนี้จะเจาะจงรายละเอียดและให้ความสำคัญกับวิธีการปรับความสมดุลเฉพาะในหัวข้อที่ 2 (Rotating Mass Balancing )

### 4. การวิเคราะห์กระบวนการที่ทำให้ค่าความไม่สมดุลในการหมุนเพิ่มมากขึ้น (HDD Balancing Increase)

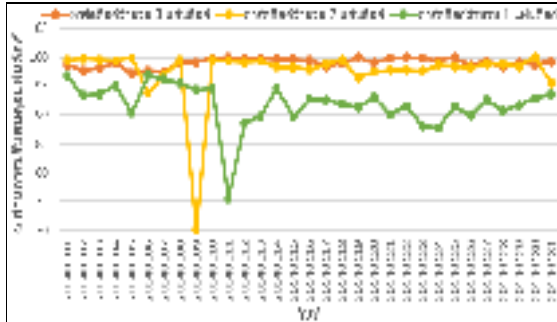
#### 4.1 ความสมดุลในการปรับแผ่นดิสก์ตามจำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบ

จากกระบวนการปรับความสมดุลแผ่นดิสก์(Hitting Disk Balancing or Pre Balance)ตามรูปที่ 1 ที่ได้อธิบายไปแล้วนั้นเมื่อค่าความสมดุลผ่านสเปคที่กำหนดคือ 50% ของ ค่าความสมดุลของเครื่องทดสอบสุดท้าย

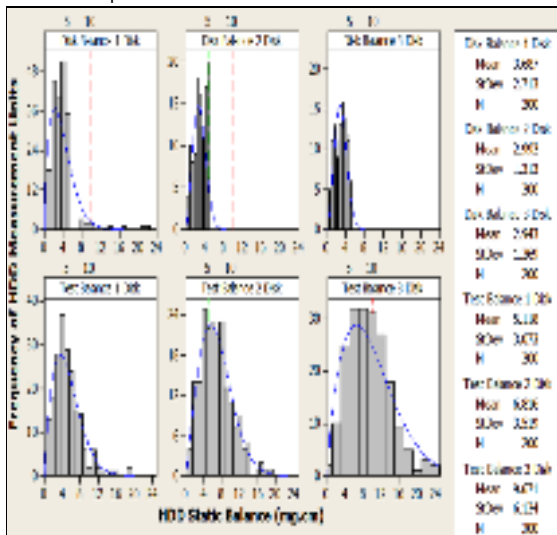
(Disk Balancing Test or Final Balance) คือ 10 mg.cm. จากกราฟที่ 1 ถึง กราฟ ที่ 4 สามารถอธิบายค่าเฉลี่ยของการปรับสมดุลแผ่นดิสและค่าความสมดุลแผ่นดิสก์มีความต่างกันตามจำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบ

## AMM-18

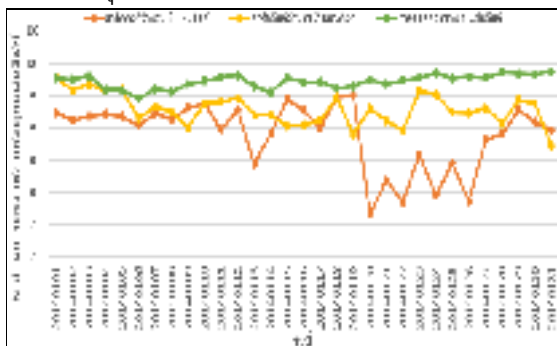
โดยข้อมูลระบุว่าความสามารถในการปรับสมดุลแผ่นดิสก์จำนวน 3 ดิสก์ดีกว่าจำนวน 1 ดิสก์ ส่วนการทดสอบความสมดุลแผ่นดิสก์หลังจากขั้นนี้เข้าสู่จะมีข้อมูลตรงข้ามกันคือ ความสามารถในการตรวจสอบสมดุลของฮาร์ดดิสก์จำนวน 1 ดิสก์ดีกว่าจำนวน 3 ดิสก์ โดยมีความสัมพันธ์อ้างอิงตามสมการที่ (8) ถึง (19)



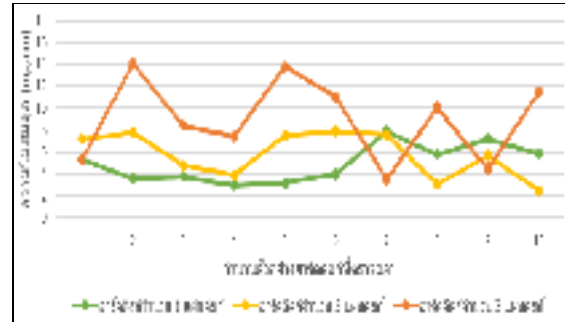
รูปที่ 9 แสดงผลการปรับสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์ก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 10 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลระหว่างเครื่องปรับสมดุลแผ่นดิสก์และเครื่องทดสอบความสมดุลก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 11 แสดงผลการตรวจสอบความสมดุลการหมุนก่อนการปรับปรุง



รูปที่ 12 แสดงผลการตรวจสอบความสมดุลการหมุนก่อนการปรับปรุง

เมื่อพิจารณาการปรับความสมดุลแผ่นดิสก์ตามจำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบมีความสามารถในการกระบวนกรที่แตกต่างกันดังนี้



รูปที่ 13 การสมดุลแผ่นดิสก์จำนวน 1 แผ่น

กำหนดให้

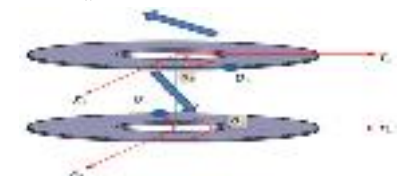
$$U_{1x} = U_1 \cos \theta_1 : \text{x factor of } U_1 \quad (8)$$

$$U_{1y} = U_1 \sin \theta_1 : \text{y factor of } U_1 \quad (9)$$

โดย

$$U_s = \sqrt{U_{1x}^2 + U_{1y}^2} \quad (10)$$

$$\theta_s = \tan^{-1} \frac{U_{1y}}{U_{1x}} \quad (11)$$



รูปที่ 14 การสมดุลแผ่นดิสก์จำนวน 2 แผ่น

กำหนดให้

$$U_{2x} = U_2 \cos \theta_2 : \text{x factor of } U_2 \quad (12)$$

$$U_{2y} = U_2 \sin \theta_2 : \text{y factor of } U_2 \quad (13)$$

โดย

$$U_s = \sqrt{(U_{1x} + U_{2x})^2 + (U_{1y} + U_{2y})^2} \quad (14)$$

$$\theta_s = \tan^{-1} \frac{(U_{1y} + U_{2y})}{(U_{1x} + U_{2x})} \quad (15)$$

## AMM-18



รูปที่ 15 การสมดุลแผ่นดิสก์จำนวน 3 แผ่น  
กำหนดให้

$$U_{3x} = U_3 \cos \theta_3 : x \text{ factor of } U_3 \quad (16)$$

$$U_{3y} = U_3 \sin \theta_3 : y \text{ factor of } U_3 \quad (17)$$

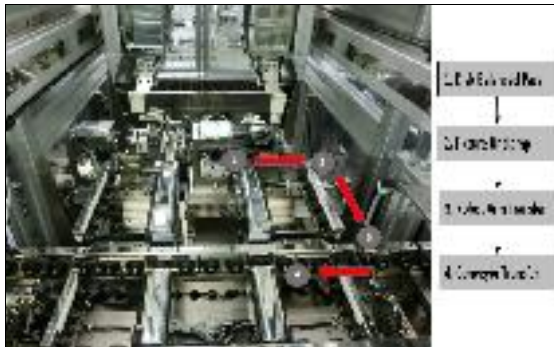
โดย

$$U_s = \sqrt{(U_{1x} + U_{2x} + U_{3x})^2 + (U_{1y} + U_{2y} + U_{3y})^2} \quad (18)$$

$$\theta_s = \tan^{-1} \frac{(U_{1y} + U_{2y} + U_{3y})}{(U_{1x} + U_{2x} + U_{3x})} \quad (19)$$

4.2 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของฮาร์ดดิสก์ใน  
กระบวนการหลังจากปรับความสมดุลแผ่นดิสก์

การเคลื่อนที่ของฮาร์ดดิสก์ระหว่างกระบวนการหลังจาก  
ปรับสมดุลแผ่นดิสก์ไปถึงกระบวนการตรวจสอบความ  
สมดุลฮาร์ดดิสก์นั้นต้องนำมาวิเคราะห์เพื่อหาการเคลื่อน  
หรือการเปลี่ยนค่าความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์



รูปที่ 16 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของฮาร์ดดิสก์ใน  
กระบวนการหลังจากปรับความสมดุลแผ่นดิสก์

หมายเหตุ ทุก ๆ การเคลื่อนที่ควบคุม G-Shock ตาม  
กำหนดที่กำหนดในกระบวนการน้อยกว่า 60 G's

โดยรูปที่ 12 แสดงการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ในตัวใน  
กระบวนการหลังจากผ่านกระบวนการปรับความสมดุล  
แผ่นดิสก์ โดยการวิเคราะห์จะสุ่มนำกลุ่มตัวอย่าง  
ฮาร์ดดิสก์จำนวน 10 ค่า ผ่านการเคลื่อนที่ในแต่ละ  
Motion และนำมาตรวจสอบซ้ำที่เครื่องตรวจสอบเครื่อง

เดิม ผลการตรวจสอบแสดงได้ตามตารางที่ 1 ซึ่งไม่พบ  
การเปลี่ยนค่าความสมดุลเกินกว่าค่าที่ยอมรับได้  
ตารางที่ 1 แสดงค่าความไม่สมดุลแผ่นดิสก์จากการ  
เคลื่อนที่ของฮาร์ดดิสก์ครั้งที่ 1 ถึง ครั้งที่ 4

| Motion No. | Sample No. | U1 (mm/s) | U2 (mm/s) | U3 (mm/s) | U (mm/s) | Pass/Fail |
|------------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| 1          | 01         | 0.1       | 0.1       | 0.1       | 0.1      | Pass      |
| 2          | 01         | 0.1       | 0.1       | 0.1       | 0.1      | Pass      |
| 3          | 01         | 0.1       | 0.1       | 0.1       | 0.1      | Pass      |
| 4          | 01         | 0.1       | 0.1       | 0.1       | 0.1      | Pass      |

4.3 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของฮาร์ดดิสก์ภายใน  
กระบวนการขึ้นยาสกรู

การตรวจสอบการเคลื่อนที่ของฮาร์ดดิสก์ภายใน  
กระบวนการขึ้นยาสกรู โดยใช้วิธีการทดสอบเหมือนเดิม  
คือการสุ่มนำกลุ่มตัวอย่างฮาร์ดดิสก์จำนวน 10 ค่า ผ่าน  
การเคลื่อนที่ในแต่ละ Motion และนำมาตรวจสอบซ้ำที่  
เครื่องตรวจสอบเครื่องเดิม



รูปที่ 17 การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของฮาร์ดดิสก์ภายใน  
กระบวนการขึ้นยาสกรู

ผลของการวิเคราะห์และตรวจสอบซ้ำแสดงตามตาราง  
ที่ 2 ซึ่งพบว่าการเคลื่อนที่ภายในกระบวนการขึ้นยาสกรูที่  
ทำให้ค่าความสมดุลแผ่นดิสก์มีการเคลื่อนตัวจากการหมุน  
ของปลายไขควงไฟฟ้าที่ทำให้สกรู Top Clamp หมุนตัว  
เพื่อขันยาสให้ได้ค่าแรงบิดสุดท้ายตามที่กำหนด

ตารางที่ 2 แสดงค่าความไม่สมดุลแผ่นดิสก์จากการ  
เคลื่อนที่ของฮาร์ดดิสก์ครั้งที่ 5 ครั้งที่ 9

| Motion No. | Sample No. | U1 (mm/s) | U2 (mm/s) | U3 (mm/s) | U (mm/s) | Pass/Fail |
|------------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------|
| 5          | 01         | 0.1       | 0.1       | 0.1       | 0.1      | Pass      |
| 6          | 01         | 0.1       | 0.1       | 0.1       | 0.1      | Pass      |
| 7          | 01         | 0.1       | 0.1       | 0.1       | 0.1      | Pass      |
| 8          | 01         | 0.1       | 0.1       | 0.1       | 0.1      | Pass      |
| 9          | 01         | 0.1       | 0.1       | 0.1       | 0.1      | Pass      |

โดยผลการทดลองมีความสอดคล้องกับงานวิจัยที่  
อ้างอิง [ 1 ] ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นคือ แรงของสกรูแต่  
ละตัวมีผลต่อจุดกึ่งกลางมวลของชุดแผ่นดิสก์ ซึ่งจุด

## AMM-18

กึ่งกลางมวลจะเคลื่อนตัวไปในทิศทางของสกรูตัวที่ได้รับแรงมากกว่าสกรูตัวอื่นๆ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดความไม่สมดุล ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและแรงสกรูอธิบายได้ตามสมการที่ (20) และ (21)

$$T_i \cong K_i F_i d \quad (20)$$

$$K_i \cong \left[ 0.50 \frac{(\mu + \tan \lambda \cos \alpha)}{\cos \alpha - \mu \tan \lambda} + 0.625 \mu_c \right] \quad (21)$$

เมื่อ

$T_i$  = Torque

$F$  = Screw force

$K_i$  = Torque coefficient

$d$  = diameter

$\lambda$  = Lead angle

$\alpha$  = Radial angle of thread

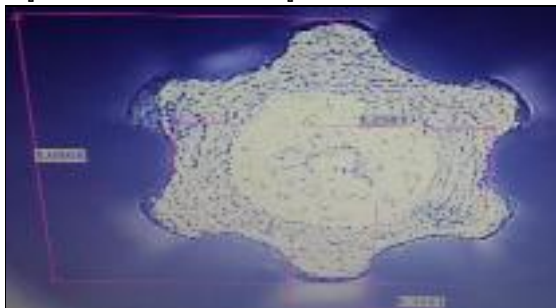
4.4 ตำแหน่งและความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในการขันยึดสกรูยึดแผ่นดิสก์ (Top Clamp)



รูปที่ 18 แสดงการขันยึดสกรูแผ่นยึดดิสก์ (Top Clamp)



รูปที่ 19 แสดงขนาดเบ้าสกรูแผ่นยึดดิสก์(Top Clamp)



รูปที่ 20 แสดงขนาดปลายไขควงไฟฟ้าเพื่อขันยึดสกรูแผ่นยึดดิสก์(Top Clamp)

ตารางที่ 3 แสดงค่าระยะช่องว่าง(Clearance)ระหว่างเบ้าสกรูและปลายไขควง (Driver Bit)

| Part Name           | Body Diameter (mm) | Tip Diameter (mm) | Tip (mm) |
|---------------------|--------------------|-------------------|----------|
| Top Clamp Screw     | 1.275              | 1.275             | 1.275    |
| Driver Bit (H1.275) | 1.275              | 1.275             | 1.275    |
| Clearance           | 0.1197 + 0.0828    | 0.0789            | 0.0789   |

Total Clearance = 0.1197+0.0828+0.0789  
= 0.2814 mm.

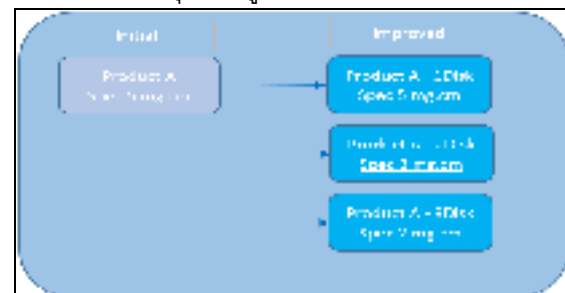
Minimum Clearance = 0.0789 mm or 79 um

นอกจากแรงในการขันยึดสกรูทั้ง 6 ตัวต้องมีค่าเท่ากันแล้ว สิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาเพิ่มเติมในงานวิจัยนี้คือตำแหน่งในการขันยึดสกรูผ่านช่องว่างระหว่างเบ้าสกรูและปลายไขควงไฟฟ้าที่ต้องมีความเที่ยงตรงและแม่นยำ โดยข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 3 พบว่าระยะช่องว่างที่น้อยที่สุด (Minimum Clearance)ที่จะทำให้ปลายไขควงสัมผัสกับขอบเบ้าสกรูคือ 79 ไมครอนเมตร

## 5. การปรับปรุงกระบวนการปรับสมดุลแผ่นดิสก์และการลดการเสียสมดุลขณะขันยึดสกรูยึดแผ่นดิสก์ (Top Clamp)

การปรับปรุงกระบวนการสามารถแบ่งออกเป็น 3 วิธี โดยแต่ละวิธีอ้างอิงตามการวิเคราะห์หัวข้อที่ 4 ดังนี้

5.1 การปรับค่าสเปคการปรับสมดุลแผ่นดิสก์แยกตามจำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบ (Disk Balancing Program Spec Each Disk Pack ASM ) ในหัวข้อที่ 4.1 ได้กล่าวถึงความสามารถในกระบวนการปรับสมดุลแผ่นดิสก์ที่ต่างกัน ดังนั้น การปรับปรุงกระบวนการโดยแยกโปรแกรมที่กำหนดสเปคในการตรวจสอบค่าความสมดุลแผ่นดิสก์สามารถเพิ่มค่าชดเชยกรณีเกิดแรงการขันสกรูที่ทำให้แผ่นดิสก์เสียสมดุลได้ดังรูปที่ 17



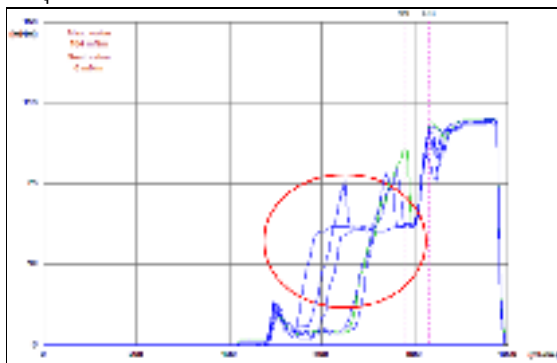
รูปที่ 21 โปรแกรมการตรวจสอบการปรับสมดุลให้สมดุลจำแนกตามจำนวนแผ่นดิสก์



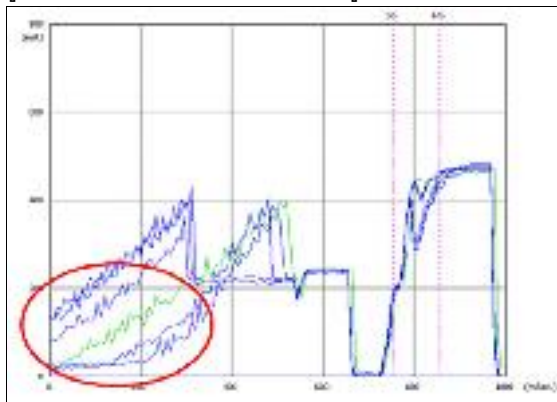
## AMM-18

### 5.3 การทำการปรับปรุงการขันสกรูแบบสองสเตป โหมดพร้อมสโลว์สตาร์ทฟังก์ชัน (Two Step Mode Clamp Screw Fasten with Slow Start Function)

จากการวิเคราะห์การเสียสมดุลของแผ่นดิสก์จากแรงของการขันย้าสกรูในหัวข้อที่ 4.3 และ ตำแหน่งความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในหัวข้อที่ 4.4 การปรับปรุงการขันสกรูเพื่อลดแรงขันสกรูที่ไม่เท่ากันโดยตำแหน่งที่ต้องมีความเที่ยงตรงและแม่นยำ(5.2) ดังนั้นผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางปรับปรุงเพิ่มเติมโดยการขันสกรูแบบสองสเตปเพื่อปรับปรุงปัญหาดังกล่าว โดยกระบวนการขันสกรูก่อนการปรับปรุงจะทำการขันย้าสกรูแบบครั้งเดียวตามสเปคที่กำหนด ซึ่งมีค่ามากกว่า 90% ของค่าแรงบิดสกรูที่ชั้นหลวมสำหรับใช้ปรับความสมดุลแผ่นดิสก์ จากกราฟที่แสดงโปรไฟล์การขันสกรูแบบครั้งเดียวจะเห็นว่าค่าแรงบิดในการขันของแต่ละสกรูทั้ง 6 ตัวขันสกรูไม่พร้อมกันภายในเวลา 0.5 วินาที ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการเสียสมดุลของแผ่นดิสก์



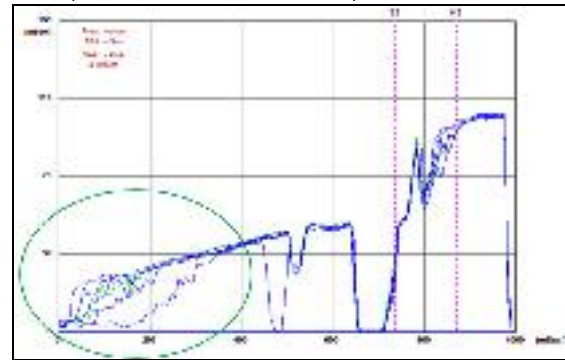
รูปที่ 28 แสดง Profile การขันย้าสกรูแบบหนึ่งสเตป(A)



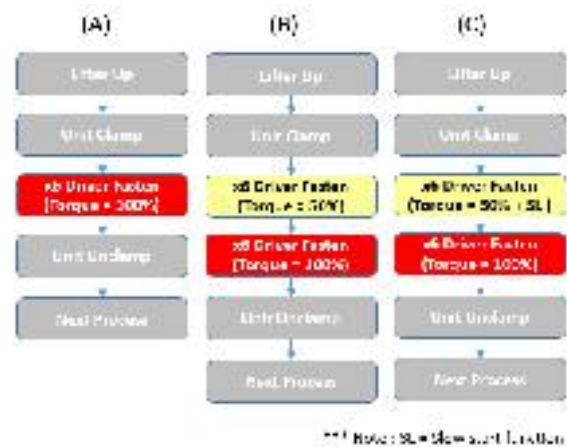
รูปที่ 29 แสดง Profile การขันย้าสกรูแบบสองสเตป(B)

จากรูปที่ 23 แสดงการขันสกรูแบบสองสเตปภายในเวลา 1 วินาที โดยสเตปแรกใช้ค่าแรงบิดเท่ากับ 50% ของแรงบิดสุดท้ายตามสเปคที่กำหนด จะเห็นว่าก่อนเริ่มการขันสกรูหรือช่วงเวลาที่ปลายไขควงไฟฟ้าเข้าเบ้าสกรู

(Bit Engagements) มีการแกว่งของค่าแรงบิดและก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้แผ่นดิสก์เสียสมดุล

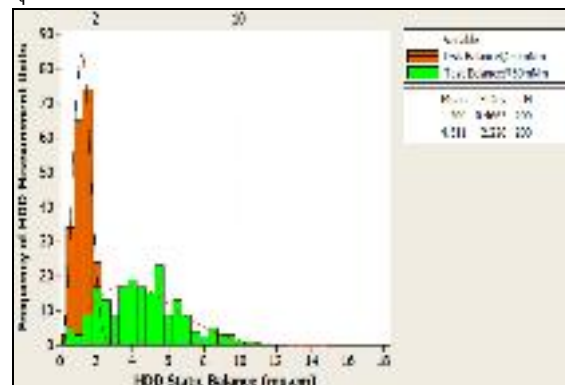


รูปที่ 30 แสดง Profile การขันย้าสกรูแบบสองสเตปพร้อมฟังก์ชัน Slow Start (C)



รูปที่ 31 อธิบายรูปแบบของการขันย้าสกรูทั้ง 3 แบบ

กรณีขันย้าสกรูแบบที่ 3 (C)เหมือนกรณีที่ 2 แต่มีการเพิ่ม Slow Start Function ก่อนเริ่มขันสกรูเพื่อให้ปลายไขควงทั้ง 6 ตัวเข้าเบ้าสกรูให้สนิทก่อนด้วยค่าแรงบิดและรอบที่ต่ำก่อนจะเริ่มขันสกรูพร้อมกันสเตปแรกคือ 50% ของแรงบิดสุดท้ายตามสเปค และขันสกรูต่อยสเตปสุดท้ายคือ 100% ของแรงบิดที่กำหนด

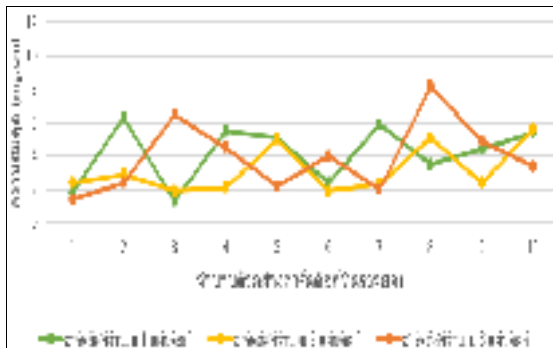


รูปที่ 32 การกระจายตัวของข้อมูลหลังจากการปรับปรุงวิธีการขันย้าสกรูยึดแผ่นยึดดิสก์ ( Top Clamp )

## AMM-18

ตารางที่ 6 แสดงผลของความสามารถในกระบวนการ  
ตรวจสอบค่าความสมดุลแผ่นดิสก์หลังจากปรับปรุงวิธีการ  
ขันยาสกรูยึดแผ่นยึดดิสก์ ( Top Clamp )

| การวัด    | จุด | การวัด | ค่าเฉลี่ย | ค่าเฉลี่ย | ค่าเฉลี่ย | ค่าเฉลี่ย | ค่าเฉลี่ย |
|-----------|-----|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| จุด       | 1   | 2      | 3         | 4         | 5         | 6         | 7         |
| ค่าเฉลี่ย | 4   | 10     | 34        | 15        | 14        | 15        | 15        |



รูปที่ 33 แสดงผลของการตรวจสอบความสมดุลการหมุน  
ฮาร์ดดิสก์กลุ่มตัวอย่างหลังการปรับปรุง

### 6. สรุป

การปรับปรุงระหว่างกระบวนการปรับสมดุล  
แผ่นดิสก์ไปถึงการตรวจสอบความสมดุลการหมุนหลังจาก  
ขันยาสกรูฮาร์ดดิสก์สำหรับเซิร์ฟเวอร์ฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5  
นิ้วโดยมีผลในการปรับปรุงเพิ่มขึ้น จาก 79.5%, 93%,  
96.5% และ 98.5% ตามลำดับ ด้วยการปรับปรุง  
กระบวนการทั้ง 3 วิธีดังต่อไปนี้คือ

6.1 การปรับลดค่าสเปคสำหรับปรับความสมดุล  
แผ่นดิสก์ให้เหมาะสมตามจำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบเพื่อ  
ชดเชยกรณีแผ่นดิสก์เสียสมดุลภายในกระบวนการผลิต

6.2 การปรับปรุงตำแหน่งการขันยาสกรูให้มีความ  
เที่ยงตรงและแม่นยำจากการปรับมุมชดเชยการขันยาสกรู  
เทียบกับระบบประมวลผลด้วยภาพ

6.3 การปรับปรุงวิธีการขันยาสกรูแบบ 2 สเตปเพื่อ  
ลดการเสียสมดุลแผ่นดิสก์จากการขันยาสกรูทั้ง 6 ตัวที่ไม่  
พร้อมกัน ด้วยแรงบิดที่ต่ำขนาด 50% สำหรับครั้งแรกของ  
การขันยาสกรูด้วยค่าความเร็วรอบต่ำเพื่อให้ปลายไขควงเข้า  
เบ้าหัวสกรู จากนั้นขันยาสกรูด้วยครั้งที่สองตามค่าแรงบิด  
สุดท้าย 100% ในการวิจัยนี้เสนอแนวทางการขันยาสกรูแบบ  
2 สเตปเพื่อปรับปรุงให้เหมาะสมกับเวลาการขันยาสกรูที่  
กำหนด การเพิ่มจำนวนครั้งในการขันยาสกรูที่เพิ่มขึ้น  
มากกว่า 2 สเตป จะส่งผลทำให้เวลาการขันยาสกรูและเวลา  
ในกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้นตาม

### 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและบทความฉบับนี้ไม่สามารถสำเร็จลงได้  
ได้หากขาดการสนับสนุนจากภาคอุตสาหกรรมโดยบริษัท  
เอชจีเอสที(ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งมีผู้ให้การแผนก  
วิศวกรรม คุณ มงคล ทองบุญ ผู้ซึ่งให้คำปรึกษาในการ  
เก็บข้อมูลและการทดลองในกระบวนการผลิตสำหรับใน  
ส่วนของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีต้องขอขอบพระ  
คุณอาจารย์ทุกท่านที่ให้การถ่ายทอดวิชาความรู้และให้  
โอกาสในการศึกษาเพิ่มเติมในช่วงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์  
โดยการสนับสนุนจาก รศ.ร.ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์

### 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Samart Mungtoklang, Unnat Pinsopon and Panya Singhnam, The study on Rotating Unbalance in Hard Disk Drive Due to Screw Tightening Using the Finite Element Method, 2009
- [2] Thitima JINTANAWAN and Jakrapan LOENGNALUEMITRACHAI, Finite Element Analysis of Disk-Spindle Vibration in Hard Disk Drives, October16, 2002.
- [3] G.H. JANG and S.H. LEE, Free Vibration Analysis of a Spinning Flexible Disk-Spindle System Supported by Ball Bearing and Flexible Shaft Using The Finite Elecment Method and Substructure Synthesis, July 26, 2001.
- [4] Hirano Toshiki (Tokyo-to, JP). Method for adjusting rotation balance of disk and device for the same.US Patent No. 5811678, December 3, 1996.
- [5] Singiresu S. Rao,2005. Mechanical Vibrations SI Edition, Singapore, Pearson Prentice Hall.
- [6] Katsuhiko Ogata, 2002. Modern Control Engineering. (4<sup>th</sup> Edition), USA, Prentice Hall.
- [7] Thomas G. Beckwith, Roy D. Marangoni and John H. Lienhard, 1993. Mechanical Measurements. (5<sup>th</sup> Edition)
- [8] W. Bolton,2003 Mechatronics Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical Engineering. (3<sup>rd</sup> Edition)