

การปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์สำหรับ  
เซิร์ฟเวอร์ฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
ปีการศึกษา 2557

**IMPROVEMENT OF THE HARD DISK BALANCING  
PROCESS FOR 2.5" SERVER HARD DISK**

**Mongkol Prangsirisakul**



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the  
Degree of Master of Engineering in Mechatronics  
Suranaree University of Technology  
Academic Year 2014**

การปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์สำหรับ  
เซิร์ฟเวอร์ฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.กীরดี สุลักษณ์)

ประธานกรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.สมศักดิ์ สีวดำรงพงศ์)

กรรมการ

(อ. ดร. โสภณา แจ่มการ)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิ้มปีจ่างค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มงคล ปรารักษ์ศิริสกุล : การปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบความสมดุลการหมุนของ  
ฮาร์ดดิสก์สำหรับเซิร์ฟเวอร์ฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว (IMPROVEMENT OF THE HARD  
DISK BALANCING PROCESS FOR 2.5" SERVER HARD DISK) อาจารย์ที่ปรึกษา :  
รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์, 104 หน้า

ในปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ประเภทเซิร์ฟเวอร์ขนาด 2.5 นิ้ว มีความต้องการในการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง สิ่งที่ต้องคำนึงถึง คือ ความเสถียรในการเก็บข้อมูลและอายุการใช้งานของฮาร์ดดิสก์ที่ทำงานต่อเนื่องมากกว่า 2 ล้านชั่วโมง ซึ่งหนึ่งในสเปคที่มีผลโดยตรงและต้องควบคุมในกระบวนการผลิตคือ ค่าความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ เนื่องจากเป็นค่าที่มีความแปรผันตรงกับแรงหนีศูนย์กลาง ขณะที่สปินเดิลมอเตอร์หมุนในความเร็วรอบสูง โดยแรงหนีศูนย์กลางนี้จะทำให้เกิดการสั่นทางกลเกิดขึ้นทำให้เกิดความเสียหายต่อฮาร์ดดิสก์ จากการเก็บข้อมูลพบว่า การตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ในกระบวนการผลิตนั้นเป็นสิ่งที่ยากในการควบคุมเมื่อค่าความสมดุล มีค่าต่ำกว่า 10 มิลลิกรัมเซนติเมตร โดยจะส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการตรวจสอบและแก้ไขที่เพิ่มขึ้นในกระบวนการผลิต มากกว่า 2 ครั้งถึง 3 ครั้งตามลำดับ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษา ทำการวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงกระบวนการและควบคุมกระบวนการเพื่อรักษาความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ในระหว่างการประกอบจนถึงการตรวจสอบให้ผ่านการวัดค่าความสมดุลการหมุนภายใน 1 ครั้ง เพิ่มขึ้นจากก่อนการปรับปรุง 72.5% เป็น 95% ด้วยวิธีการปรับลดค่าการปรับสมดุลแผ่นดิสก์ จาก 5 มิลลิกรัมเซนติเมตร เป็น 2 มิลลิกรัมเซนติเมตร พร้อมทั้งการลดการเสียดสีสมดุลจากการขันย้าสกรูยึดแผ่นฮาร์ดดิสก์ด้วยการเพิ่มขั้นตอนการขันสกรูเริ่มต้นด้วยค่าแรงบิดต่ำรอบต่ำขนาด 50% ก่อนการขันย้าสกรูด้วยค่าแรงบิดสุดท้ายตามกำหนด โดยงานวิจัยนี้ยังสามารถเพิ่มกำลังการผลิตอีก 18.96% ให้กับบริษัทเอชจีเอสที (ประเทศไทย) จำกัด พร้อมทั้งทำให้เกิดองค์ความรู้ในการการวิเคราะห์และควบคุมกระบวนการตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ที่ทำงานในความเร็วรอบสูงกว่า 10,000 รอบต่อนาที



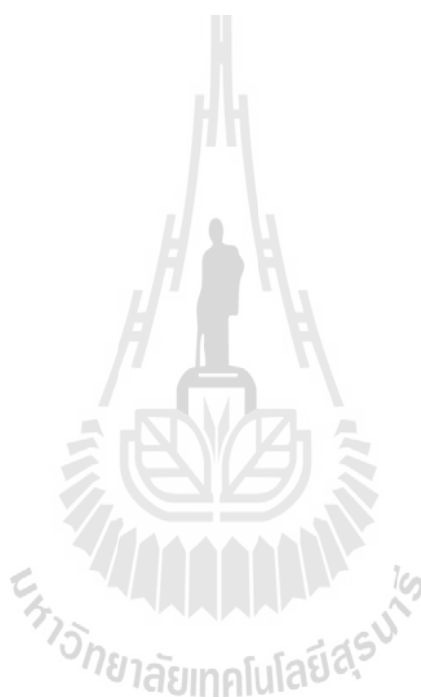
MONGKOL PRANGSIRISAKUL : IMPROVEMENT OF THE HARD  
DISK BALANCING PROCESS FOR 2.5” SERVER HARD DISK. THESIS  
ADVISOR : ASSOC. PROF. FLT. LT. KONTORN CHAMNIPRASART,  
Ph.D., 104 PP.

#### HARD DISK DRIVE/SPINDLE MOTOR/DISK/BALANCING

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 as over 2 million hour and data storage stability is hard disk balancing. Therefor 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. 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 control the hard disk drive balancing process to reduce the unbalance failure as first operation process before improve yield 72.5% to be above 95% after improve by using method as first reduce the spec pre balance adjust disk balancing from 5 mg.cm to 2 mg.cm and second improved sequence the top clamp screw fastening by use 2 step mode fasten screw start from 1<sup>st</sup> torque 50% with slow start function then apply 2<sup>nd</sup> final torque. 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.



School of Mechanical Engineering

Academic Year 2014

Student's Signature \_\_\_\_\_

Advisor's Signature \_\_\_\_\_

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลต่าง ๆ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย ควบคู่กับการทำงาน ดังนี้

รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ และคำปรึกษาแนะนำในการทำงานวิจัย อีกทั้งการให้โอกาสในการศึกษาเพิ่มเติม ในช่วงวันหยุดเสาร์-อาทิตย์ พร้อมทั้งคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย

อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงษ์ ที่ให้คำปรึกษาและชี้แนะโอกาสในการศึกษาด้วยดีเสมอมา

อาจารย์ ดร. โสทรญา แจ็งการ ที่ให้คำปรึกษาและตรวจสอบเล่มวิทยานิพนธ์

คณาจารย์ทุกท่าน ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ด้วยความเมตตากรุณา

บริษัท เอชจีเอสที (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและเครื่องจักรในการวิจัย พร้อมทั้งข้อมูลที่ใช้ในการวิจัย

คุณ มงคล ทองบุญ ผู้อำนวยการ แผนก วิศวกรรม บริษัท เอชจีเอสที (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งให้คำปรึกษาในด้านเทคนิคการใช้ระเบียบวิธีทางสถิติในการเก็บข้อมูลและการทดลองพร้อมทั้งการวิเคราะห์ผลในกระบวนการผลิต

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การเลี้ยงดูอบรม พร้อมคนในครอบครัวที่สนับสนุนด้านการศึกษาเป็นอย่างดี จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการศึกษาควบคู่ไปกับการทำงาน

มงคล ปรานค์ศิริสกุล

# สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฐ
<b>บทที่</b>	
<b>1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
<b>2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....</b>	<b>4</b>
2.1 ฮาร์ดดิสก์เซิร์ฟเวอร์คือ.....	4
2.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง เซิร์ฟเวอร์ฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว กับ 3.5 นิ้ว.....	5
2.3 ความสำคัญของค่าความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์.....	5
2.4 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในการตรวจสอบความสมดุลในการหมุน.....	6
2.5 กระบวนการประกอบและตรวจสอบความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์.....	7
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10

## สารบัญ (ต่อ)

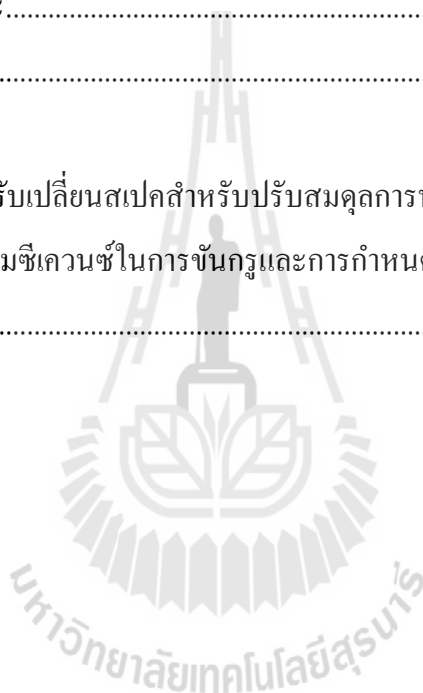
หน้า

<b>3</b>	<b>วิธีดำเนินงานวิจัย</b> .....	14
3.1	ความหมายของความสมดุล (Balanced) และ ความไม่สมดุล (Unbalanced) .....	14
3.2	ประเภทของฮาร์ดดิสก์ฮาร์ดไดรฟ์ .....	17
3.3	วิธีการทำให้เกิดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ .....	23
3.4	หลักการทำให้มวลในการหมุนเกิดการสมดุลด้วยวิธีการปรับแผ่นดิสก์.....	24
3.5	กระบวนการทดสอบความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์แบบสเตติกส์.....	26
3.6	กระบวนการทดสอบความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์แบบไดนามิกส์.....	29
3.7	หลักการถ่วงสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์และวิธีการคำนวณ .....	30
3.8	กระบวนการใส่เม็ดถ่วงน้ำหนักเพื่อถ่วงความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์.....	34
3.9	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย .....	35
3.10	การเปรียบวัดเครื่องมือตรวจสอบค่าความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์.....	40
<b>4</b>	<b>การวิเคราะห์ตัวแปรและกระบวนการทำให้เกิดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์</b> .....	42
4.1	การวิเคราะห์กระบวนการและความสามารถในการทำให้เกิดความสมดุล ในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ตามจำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบ .....	42
4.2	การวิเคราะห์กระบวนการและการวัดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ ตามจำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบหลังจากขันย้าสกรูแน่น.....	47
4.3	การวิเคราะห์หาการเคลื่อนตัวของค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ หลังจากกระบวนการปรับสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์ .....	52
<b>5</b>	<b>การทดลองและผลการทดลอง</b> .....	59
5.1	การทดลองปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคสำหรับทดสอบวัดค่าความไม่สมดุล ในการหมุนของฮาร์ดดิสก์.....	59
5.2	การทดลองปรับตำแหน่งการขันย้าสกรูให้มีความเที่ยงตรงแม่นยำ เพื่อลดการเคลื่อนตัวของค่าดิสก์บาลานซ์จากสเปค 2 มิลลิกรัม-เซนติเมตร.....	65
5.3	การทดลองลดการเคลื่อนตัวค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ จากการขันย้าสกรูด้วยการเพิ่ม Sequence ในการขันสกรู .....	71

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.4 สรุปผลการทดลอง .....	75
<b>6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>77</b>
6.1 สรุป.....	77
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	79
รายการอ้างอิง.....	80
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. การปรับเปลี่ยนสเปคสำหรับปรับสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์ .....	82
ภาคผนวก ข. การเพิ่มซีเควนซ์ในการชันกรูและการกำหนดค่าแรงบิดเริ่มต้นสำหรับชั้นสกรู 91	
ประวัติผู้เขียน .....	104



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง เซอร์ฟเวอร์ฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว กับ 3.5 นิ้ว.....5
2.2	แสดงสเปคของค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ที่ไดรฟ์ตามโปรดักส์ .....6
3.1	ระยะ Tolerance ระหว่างแผ่นดิสก์กับแกนของสปินเดิลมอเตอร์สำหรับ ฮาร์ดดิสก์เซิร์ฟเวอร์ฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว.....28
3.2	รายละเอียดอุปกรณ์สำหรับการขันสกรู .....39
3.3	แสดงผลการเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์ค่าสัทัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือปรับ สมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์และเครื่องมือตรวจสอบความสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์.....41
4.1	แสดงค่าการเคลื่อนตัวของค่าสมดุลการหมุนแบบสเตติกส์ หลังผ่านการเคลื่อนที่ในกระบวนการที่ 4.....53
4.2	แสดงค่าการเคลื่อนตัวของค่าความสมดุลแผ่นดิสก์แบบสเตติกส์ หลังผ่านการเคลื่อนที่ในกระบวนการที่ 5.....54
4.3	แสดงค่าการเคลื่อนตัวของค่าความสมดุลแผ่นดิสก์แบบสเตติกส์ หลังผ่านการเคลื่อนที่ในกระบวนการที่ 6.....54
4.4	แสดงค่าการเคลื่อนตัวของค่าความสมดุลแผ่นดิสก์แบบสเตติกส์ หลังผ่านการเคลื่อนที่ในกระบวนการที่ 7.....55
4.5	แสดงค่าการเคลื่อนตัวของค่าความสมดุลแผ่นดิสก์แบบสเตติกส์ หลังผ่านการเคลื่อนที่ในกระบวนการที่ 8.....56
4.6	แสดงค่าการเคลื่อนตัวของค่าความสมดุลแผ่นดิสก์แบบสเตติกส์ หลังผ่านการเคลื่อนที่ในกระบวนการที่ 9.....57
5.1	แสดงค่าความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ในการปรับการเคลื่อนตัว ของแผ่นดิสก์โดยใช้สเปค 5 มิลลิกรัม-เซ็นติเมตร.....59
5.2	แสดงผลการทดลองในการปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 5 มิลลิกรัม-เซ็นติเมตร .....60
5.3	แสดงค่าความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ในการปรับการเคลื่อนตัว ของแผ่นดิสก์โดยใช้สเปค 3 มิลลิกรัม-เซ็นติเมตร.....61
5.4	แสดงผลการทดลองในการปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 3 มิลลิกรัม-เซ็นติเมตร .....62

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.5 แสดงค่าความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ในการปรับการเคลื่อนตัวของแผ่นดิสก์โดยใช้สเปค 2 มิลลิกรัม-เซ็นติเมตร.....	63
5.6 แสดงผลการทดลองในการปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 2 มิลลิกรัม-เซ็นติเมตร .....	64
5.7 แสดงค่าของการวัดขนาดของปลายไขควงไฟฟ้าโดยใช้ Micro Smart Scope .....	66
5.8 แสดงค่าของการวัดขนาดของเบ้าสกรูทอปแคลมป์โดยใช้ Micro Smart Scope.....	67
5.9 แสดงการเปรียบเทียบ Clearance ระหว่างปลายไขควงไฟฟ้ากับเบ้าของสกรูทอปแคลมป์ .....	67
5.10 พิกัดความคลาดเคลื่อนพื้นฐานของแกนเพลตาและรูเจาะ.....	68
5.11 แสดงผลการทดลองในการปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 2 มิลลิกรัม-เซ็นติเมตร พร้อมกับการปรับตำแหน่งในการขันย้าสกรูให้มีความเที่ยงตรง .....	70
5.12 แสดงผลการทดลองในการปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 2 มิลลิกรัม-เซ็นติเมตร พร้อมกับการขันสกรูย้าครั้งที่ 1 = 50 mNm. + Slow Start และครั้งที่ 2 = 100 mNm.....	72
5.13 แสดงผลการทดลองในการปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 2 มิลลิกรัม-เซ็นติเมตร พร้อมกับการขันสกรูย้าครั้งที่ 1 = 60 mNm. + Slow Start และครั้งที่ 2 = 100 mNm.....	74
5.14 แสดงผลการทดลองในการปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 2 มิลลิกรัม-เซ็นติเมตร พร้อมกับการขันสกรูย้าครั้งที่ 1 = 70 mNm. + Slow Start และครั้งที่ 2 = 100 mNm.....	75



## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ที่มีผลต่อความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ ..... 7
2.2	แสดงกระบวนการวัดและทดสอบความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ ..... 7
2.3	แสดงกระบวนการขันสกรูยึดแผ่นฮาร์ดดิสก์ (Top Clamp) ด้วยแรงบิดค่าต่ำ (Light Torque)..... 8
2.4	แสดงกระบวนการขันสกรูยึดแผ่นฮาร์ดดิสก์ (Top Clamp) ให้แน่นด้วยแรงบิดสุดท้ายตามสเปค (Final Torque)..... 9
3.1	ก. Balanced ..... 14 ข. Unbalanced ..... 14
3.2	Center of mass vs Rotational Center Line ..... 15
3.3	อธิบายแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) ..... 16
3.4	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงหนีศูนย์กลางกับความเร็วยกกำลังสอง ..... 16
3.5	อธิบายความสัมพันธ์ของสเตติก อิมบาลานซ์ ( Static Unbalance ) ..... 17
3.6	การสมดุลแผ่นดิสก์จำนวน 1 แผ่น ..... 18
3.7	การสมดุลแผ่นดิสก์จำนวน 2 แผ่น ..... 18
3.8	การสมดุลแผ่นดิสก์จำนวน 3 แผ่น ..... 19
3.9	อธิบายคัปเปิล อิมบาลานซ์ กรณีที่มีการประกอบแผ่นดิสก์มากกว่า 1 แผ่น ..... 20
3.10	อธิบายตัวแปรที่ทำให้เกิด คัปเปิล อิมบาลานซ์ ..... 20
3.11	อธิบาย คัปเปิลบาลานตามสมการที่ 3.21 ..... 21
3.12	อธิบาย ไดนามิก อิมบาลานซ์ ..... 22
3.13	อธิบาย ควอซี สเตติก อิมบาลานซ์ ..... 22
3.14	อธิบายวิธีการทำให้เกิดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ ..... 23
3.15	อธิบายการปรับค่าสเตติกส์ บาลานซ์ ..... 25
3.16	อธิบายการปรับสมดุลแบบไดนามิกส์ บาลานซ์ ..... 26
3.17	แสดงแผนผังกระบวนการปรับสมดุลแผ่นดิสก์และวัดค่าความสมดุลการหมุน ..... 27
3.18	แสดงการหมุนของฮาร์ดดิสก์เพื่อวัดค่าความสมดุลการหมุนก่อนปรับสมดุล ..... 27
3.19	แสดงการปรับสมดุลแผ่นดิสก์โดยการทำให้แผ่นดิสก์เคลื่อนตัว ..... 28

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.20 แสดงระยะ Clearance ของฮาร์ดดิสก์ที่ประกอบตามจำนวนแผ่นดิสก์.....	28
3.21 เครื่องมือวัดและทดสอบค่าความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ประเภทการวัดแบบ 2 ระนาบ ( 2 Plane Balance Tester ).....	29
3.22 แสดงผลของการวัดค่าความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ทั้งแบบสเตติกส์และคัปเปิ้ล ...	30
3.23 อธิบายหลักการพื้นฐานในการปรับสมดุลการหมุนด้วยเม็ดถ่วงน้ำหนัก.....	31
3.24 อธิบาย เวกเตอร์ สำหรับใส่ น้ำหนักถ่วงสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์.....	31
3.25 อธิบายการถ่วงสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์กรณีใส่มวลถ่วงสมดุลจำนวน 1 เม็ด .....	32
3.26 อธิบายการถ่วงสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์กรณีใส่มวลถ่วงสมดุลจำนวน 2 เม็ด .....	33
3.27 แสดงกระบวนการใส่เม็ดถ่วงน้ำหนักเพื่อปรับสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์และตรวจสอบซ้ำ.....	35
3.28 แสดงรูปเครื่องมือสำหรับปรับสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์ .....	36
3.29 แสดง Transducer & Actuator ที่ใช้ในการตรวจสอบและปรับสมดุลแผ่นดิสก์ .....	37
3.30 แสดงรูปเครื่องมือสำหรับขันย้ำสกรูยึดแผ่นยึดดิสก์ (Top Clamp).....	38
3.31 แสดงรูปเครื่องมือสำหรับตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ .....	39
3.32 แสดงรูปทรานควิวเซอร์และสปริงสำหรับใช้วัดค่าความไม่สมดุลในการหมุนฮาร์ดดิสก์.....	40
3.33 แสดงค่าสหสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือปรับสมดุลการหมุนแผ่นดิสก์และเครื่องมือตรวจสอบความสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์.....	41
4.1 กระบวนการทำให้เกิดความสมดุลและวัดทดสอบค่าความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์.....	42
4.2 อธิบายอินพุตและเอาต์พุตของกระบวนการดิสก์บาลานซ์.....	43
4.3 1 - Plane Disk Balance .....	44
4.4 2 – Plane Disk Balance .....	45
4.5 3 – Plan Disk Balance .....	46
4.6 อธิบายอินพุตและเอาต์พุตของกระบวนการวัดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์หลังจากขันย้ำสกรูแน่นด้วยค่าแรงบิดสุดท้ายตามสเปคที่กำหนด .....	47
4.7 แสดงข้อมูลความสามารถในกระบวนการก่อนการปรับปรุงด้วยวิธีการทางสถิติ.....	50
4.8 แสดงการเคลื่อนที่หลังจากปรับสมดุลการหมุน ครั้งที่ 1 ถึง ครั้งที่ 4 .....	52

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 แสดงการเคลื่อนที่ในกระบวนการขันย้าสกรู ครั้งที่ 5 ถึง ครั้งที่ 9.....	53
5.1 แสดงการปรับความสมดุลของแผ่นดิสก์ด้วยสเปค 5 มิลลิกรัม-เซนติเมตร .....	60
5.2 แสดงการปรับความสมดุลของแผ่นดิสก์ด้วยสเปค 3 มิลลิกรัม-เซนติเมตร .....	62
5.3 แสดงการปรับความสมดุลของแผ่นดิสก์ด้วยสเปค 2 มิลลิกรัม-เซนติเมตร .....	64
5.4 แสดงการวัดขนาดของเบ้าสกรูที่ใช้ในการขันยึดติดทอปแคลมป์กับแผ่นดิสก์ เข้ากับสปินเดิลมอเตอร์ .....	66
5.5 แสดงการวัดขนาดของของปลายไขควงไฟฟ้าที่ใช้ในการขันย้าสกรูที่ยึดติดทอปแคลมป์ กับแผ่นดิสก์เข้ากับสปินเดิลมอเตอร์ .....	66
5.6 แสดงการตรวจเช็คและปรับตำแหน่งความร่วมมือร่วมแกนของตำแหน่งศูนย์กลาง การขันสกรูทอปแคลมป์ .....	67
5.7 แสดงตำแหน่งของปลายไขควงไฟฟ้าทั้ง 6 ตัวเทียบกับตำแหน่งของมาสเตอร์เกจ .....	67
5.8 แสดงค่า Tolerance ของแกนมาสเตอร์เกจ .....	68
5.9 แสดงค่า Tolerance ของวงแหวนที่ใช้สวมเข้ากับแกนมาสเตอร์เกจ.....	68
5.10 แสดงรูปภาพของตำแหน่งสกรูด้วยกล้องความละเอียดสูง เพื่อใช้อ้างอิงในการขันสกรู .....	69
5.11 แสดงตำแหน่งของมุมที่ใช้ขันสกรูที่ยังไม่ตรงตามมาสเตอร์เกจ .....	69
5.12 แสดงตำแหน่งของมุมที่ใช้ขันสกรูที่มีการปรับให้ตรงตามมาสเตอร์เกจ .....	69
5.13 แสดงการปรับค่าชดเชยระหว่างระบบ Vision กับ ตำแหน่งการหมุนของไขควงไฟฟ้า .....	70
5.14 แสดงสเตปการขันย้าสกรูและ โหมคเริ่มการขันสกรูแบบใช้ความเร็วรอบต่ำ (Slow Start) ....	71
ก.1 แสดง System Configurations ของระบบการปรับสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์ .....	83
ก.2 แสดงหน้าพารามิเตอร์ System ของโปรแกรมปรับสมดุลแผ่นดิสก์.....	84
ก.3 แสดงหน้าพารามิเตอร์ Station ของโปรแกรมปรับสมดุลแผ่นดิสก์ .....	85
ก.4 แสดงหน้าพารามิเตอร์ Model ของโปรแกรมปรับสมดุลแผ่นดิสก์ .....	86
ก.5 แสดงหน้าพารามิเตอร์ Measure ของโปรแกรมปรับสมดุลแผ่นดิสก์.....	87
ก.6 แสดงหน้าพารามิเตอร์ Balance ของโปรแกรมปรับสมดุลแผ่นดิสก์.....	88
ก.7 แสดงหน้าพารามิเตอร์ Hit ของโปรแกรมปรับสมดุลแผ่นดิสก์.....	90
ข.1 แสดงชุดหัวไขควงไฟฟ้าทั้ง 6 ตัวรุ่น H-6000A-U.....	92

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ข.2 แสดงชุดควบคุมการทำงานของไขควงไฟฟ้าทั้ง 6 ตัว รุ่น Technart Controller รุ่น FEDIIIfw พร้อม Synchronizer .....	92
ข.3 แสดงพอร์ตสื่อสาร RS-232C เชื่อมต่อกับ Controller Connector TM5RJ2-64 .....	93
ข.4 แสดงโปรแกรม Technart Customizer Version 7.00.04RC03 .....	93
ข.5 แสดง Flow Chart การทำงานของชุดควบคุมการขึ้นสกรู โดยมี PLC , Synchronizer และ Electric Driver Controller .....	94
ข.6 แสดง พารามิเตอร์ที่กำหนดในการขึ้นสกรู สำหรับ Electric Driver Technart Controller รุ่น FEDIIIfw .....	95
ข.7 แสดงลำดับในการขึ้นสกรูที่กำหนดเป็นค่าเริ่มต้นจากผู้ผลิต ( Screw Fastening Sequence Default from Factory ) .....	95
ข.8 แสดง Interface Signal & Input / Output Option Setting#1 .....	96
ข.9 แสดง Interface Signal & Input / Output Option Setting#2.....	96
ข.10 แสดง Interface Signal & Input / Output Option Setting.....	97
ข.11 แสดงลำดับการขึ้นสกรูและ Flow Chart การทำงาน สำหรับการขึ้นสกรูก่อนการปรับปรุงแบบหนึ่งสเตป .....	97
ข.12 แสดงลำดับการขึ้นสกรูและ Flow Chart การทำงาน สำหรับการขึ้นสกรูหลังการปรับปรุงแบบสองสเตป .....	98
ข.13 แสดงลำดับการขึ้นสกรูและ Flow Chart การทำงาน สำหรับการขึ้นสกรูหลังการปรับปรุงแบบสองสเตป .....	99
ข.14 แสดงค่าแรงบิดในการขึ้นสกรูที่เก็บค่าใน Preset#1 .....	100
ข.15 แสดงค่าแรงบิดในการขึ้นสกรูที่เก็บค่าใน Preset#2 .....	101
ข.16 อธิบายฟังก์ชัน Slow Start พร้อมกราฟแรงบิดในการขึ้นสกรู และพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในกำหนดค่าเวลาในการขึ้นสกรู .....	101
ข.17 แสดงพารามิเตอร์สำหรับขึ้นสกรูก่อนการปรับปรุงโดยไม่ได้เลือกใช้ฟังก์ชัน Slow Start....	102
ข.18 แสดงพารามิเตอร์สำหรับขึ้นสกรูหลังการปรับปรุงโดยเลือกใช้ฟังก์ชัน Slow Start ที่ B-Mode.....	103

## คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$F_c$	=	แรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) ในหน่วยนิวตัน
$m$	=	มวลในหน่วยกิโลกรัม
$r$	=	รัศมีจากจุดศูนย์กลางในหน่วยเมตร
$\omega$	=	ความเร็วเชิงมุมในหน่วย Rad/sec
$U_s$	=	สเตติก อิมบาลานซ์ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม-เมตร
$W$	=	มวลทั้งหมด (Total Weight) ที่หมุนไปกับแกนหมุน มีหน่วยเป็น กิโลกรัม
$e$	=	ค่าความเบี่ยงเบนจากศูนย์กลาง (eccentricity) มีหน่วยเป็นเมตร
$n$	=	จำนวนรอบในการหมุน ในหน่วยรอบต่อนาที (rotational speed or rpm)
$\theta_s$	=	มุมความไม่สมดุลแบบสเตติกส์
$C_u$	=	คัปเปิ้ลอิมบาลานซ์ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม-เมตร <sup>2</sup>
$U_c$	=	คัปเปิ้ลอิมบาลานซ์ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม-เมตร <sup>2</sup>
$d$	=	ระยะในแนวระนาบ มีหน่วยเป็นเมตร
$\theta_c$	=	มุมความไม่สมดุลแบบคัปเปิ้ล
$IM$	=	Imbalance
$CW$	=	Counter Weight

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

อุปกรณ์ทางกลที่มีต้นกำลังประเภทแกนมอเตอร์ทุกชนิดจะต้องมีการควบคุมการสั่นทางกลของแกนเพลลาเพื่อป้องกันการวิบัติหรือการเสียหายจากการสั่นของการหมุนที่เกิดขึ้นอีกทั้งเพื่อให้อุปกรณ์นั้น ๆ สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน ดังนั้นในทางอุตสาหกรรม การผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์และประกอบชิ้นส่วนจะต้องมีการควบคุมความสมดุลในการหมุนของแกน เช่น มอเตอร์ต่าง ๆ เป็นต้น และฮาร์ดดิสก์เป็นหนึ่งในอุปกรณ์ที่มีมอเตอร์เป็นต้นกำลังเชิงกลในการหมุนของแผ่นดิสก์ในความเร็วรอบที่มากกว่า 10,000 รอบต่อนาทีแล้วแต่รุ่นที่ผลิตเพื่อให้ตรงต่อความต้องการของลักษณะการใช้งานที่ต้องการเวลาในการอ่านเขียนข้อมูลที่มีปริมาณมาก ๆ โดยใช้เวลาน้อยมาก โดยมีหน่วยเวลาในการอ่านเขียนข้อมูลเป็น ms ,  $\mu$ s เป็นต้น

ดังนั้นในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์จึงต้องมีการควบคุมการบวมการและเครื่องมือในการทำให้ฮาร์ดดิสก์มีความสมดุลในการประกอบแผ่นดิสก์เข้ากับแกนมอเตอร์ เนื่องจากมีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยเป็นหนึ่งในสเปคของผลิตภัณฑ์ที่เป็นข้อกำหนดและสัญญาในการส่งมอบผลิตภัณฑ์ให้กับลูกค้า เนื่องจากปัจจุบันกระบวนการผลิตของบริษัทเอชจีเอสที (ประเทศไทย) จำกัด ในกลุ่มของ เซิร์ฟเวอร์ฮาร์ดดิสก์เป็นที่ต้องการของลูกค้าเป็นอย่างมากทำให้กระบวนการผลิตต้องมีการเพิ่มผลผลิตและปรับปรุงกระบวนการกำลังการผลิตต่อชิ้นงานซึ่งพบว่ากระบวนการตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ มีฮาร์ดดิสก์ที่ไม่ผ่านการตรวจสอบครั้งแรกอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการแก้ปัญหาทางด้านดังกล่าว

ผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางวิจัยที่จะวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์และควบคุมกระบวนการเพื่อลดปริมาณงานที่ไม่ผ่านการวัดค่าความสมดุลการหมุนจากก่อนการปรับปรุง 27.5% ให้เหลือน้อยกว่า 5% เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตของบริษัทเอชจีเอสที(ประเทศไทย)จำกัด 18.9% อีกทั้งยังทำให้เกิดองค์ความรู้ในการวิเคราะห์หาความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ที่ทำงานในความเร็วรอบที่สูงกว่า 10,000 รอบต่อนาที

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อเข้าใจกระบวนการประกอบและการตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ประเภทเซิร์ฟเวอร์ขนาด 2.5 นิ้วของบริษัทเอชจีเอสที( ประเทศไทย) จำกัด
2. เพื่อเข้าใจวิธีการควบคุมกระบวนการปรับและตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ของบริษัทเอชจีเอสที (ประเทศไทย) จำกัด
3. เพื่อให้ทราบวิธีการวิเคราะห์หาตัวแปรในกระบวนการที่ส่งผลถึงความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์
4. สามารถกำหนดใช้ตัวแปรที่เหมาะสมและควบคุมกระบวนการปรับความสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์เพื่อปรับปรุงต่อเนื่องไปยังกระบวนการตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ได้

## 1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. การศึกษาข้อมูลสำหรับกระบวนการตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์จะเจาะจงประเภทของเครื่องมือและกระบวนการของบริษัทเอชจีเอสที (ประเทศไทย) จำกัด ที่มีการใช้งานในปัจจุบัน ซึ่งมี 3 ประเภทคือ

- Pre Balance : Disk Balance by Bias Disk to Center
- Final Balance Type 2 Plan Balance
- Weight Install & Re Test Balance

2. การวิเคราะห์กระบวนการตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์จะเจาะจงกระบวนการผลิตของบริษัทเอชจีเอสที (ประเทศไทย) จำกัด ประเภทเซิร์ฟเวอร์ ขนาด 2.5 นิ้ว

## 1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการและเครื่องมือที่ใช้ในการประกอบและการตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ประเภทเซิร์ฟเวอร์ขนาด 2.5 นิ้วบริษัทเอชจีเอสที (ประเทศไทย) จำกัด

2. ศึกษาวิธีการควบคุมเครื่องมือและกระบวนการตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ของบริษัทเอชจีเอสที (ประเทศไทย) จำกัด

3. ทำการวิเคราะห์หาตัวแปรในกระบวนการที่ส่งผลถึงความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ โดยใช้เครื่องมือวัดค่าความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์และวิธีการทางสถิติ

4. กำหนดใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ได้ทำการทดลองในการบวกรวมการผลิตจริง ในการควบคุมกระบวนการปรับความสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์เพื่อปรับปรุงต่อเนื่องไปยังกระบวนการตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ได้

5. สรุปเอกสารการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมและวิธีการควบคุมสำหรับใช้ในกระบวนการตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

### ภาคอุตสาหกรรม

1. การปรับปรุงและควบคุมกระบวนการตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ เพื่อลดความผิดพลาดในกระบวนการจากเดิม 27.5% ให้เหลือน้อยกว่า 5 % โดยสามารถเพิ่มกำลังการผลิตฮาร์ดดิสก์มากกว่า 18.9 % จากการลดเวลาและต้นทุนในกระบวนการแก้ไขงานที่ไม่ผ่านการวัดค่าความสมดุลการหมุนในการวัดค่าครั้งแรกในกระบวนการผลิต

2. ลดสิ่งปนเปื้อน ( contaminations ) จากการแก้ไขงานในการคลายสกรูและขันซ้ำในกระบวนการ

### การศึกษาและการวิจัย

3. องค์กรความรู้ในการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ประเภทเซิร์ฟเวอร์ที่ทำงานในความเร็วรอบที่สูงกว่า 10000 รอบต่อนาที



## บทที่ 2

### ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ฮาร์ดดิสก์เซิร์ฟเวอร์คือ

ฮาร์ดดิสก์ (อังกฤษ: hard disk drive) หรือ (ศัพท์บัญญัติ) คือ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่บรรจุข้อมูลแบบไม่ลบเลือน มีลักษณะเป็นจานโลหะที่เคลือบด้วยสารแม่เหล็กซึ่งหมุนอย่างรวดเร็วเมื่อทำงาน การติดตั้งเข้ากับตัวคอมพิวเตอร์สามารถทำได้ผ่านการต่อเข้ากับแผงวงจรหลัก (motherboard) ที่มีอินเตอร์เฟซแบบขนาน (PATA) , แบบอนุกรม (SATA) และแบบเล็ก (SCSI) ทั้งยังสามารถต่อเข้าเครื่องจากภายนอกได้ผ่านทางสายยูเอสบี, สายไฟร์ไวร์ รวมไปถึงอินเตอร์เฟซอนุกรมแบบต่อนอก (eSATA) ซึ่งทำให้การใช้ฮาร์ดดิสก์ทำได้สะดวกยิ่งขึ้นเมื่อไม่มีคอมพิวเตอร์ถาวรเป็นของตนเอง ไม่ว่าจะเป็นฮาร์ดดิสก์สำหรับ Desktop ทั่ว ๆ ไป หรือเป็น Enterprise ต่างก็เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่บรรจุข้อมูลแบบไม่ลบเลือน

ฮาร์ดดิสก์เซิร์ฟเวอร์นั้น เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่บรรจุข้อมูลแบบไม่ลบเลือนที่ถูกออกแบบมาสำหรับให้ทำงานอย่างต่อเนื่องพร้อมกับประสิทธิภาพการจัดเก็บข้อมูลที่สูง โดยมีความคงทนสูงเนื่องจาก Hardware ที่เลือกมาเป็นส่วนประกอบของ Hard Disk Drive นั้นมีคุณภาพสูง และถูกออกแบบมาให้ใช้งานได้ทนทานมีการทดสอบล่วงหน้าและประเมินว่า Hard Disk แต่ละลูกจะสามารถใช้งานได้ยาวนานเท่าไรก่อนที่จะมีโอกาสพัง โดยแสดงเป็นค่าของ Mean Time Between Failure (MTBF) ซึ่งโดยทั่วไปมักจะมีค่าระหว่าง 1.2 ล้านชั่วโมง ถึง 2 ล้านชั่วโมง การใช้งานแบบ Enterprise มักจะนำ Hard Disk จำนวนหลายๆ ชุดมาใช้งานพร้อมๆ กันในลักษณะการทำ RAID เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความทนทานของการจัดเก็บข้อมูล อีกทั้งยังมีการปรับปรุงหัวอ่านให้สามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วและทนทานต่อการสั่นสะเทือนที่เกิดจาก Hard Disk ลูกอื่นๆ ที่อยู่รอบข้าง

#### ตัวอย่างประเภทของการจัดเก็บข้อมูลของ Enterprise Hard Disk / Hard Drive

- ใช้สำหรับทำ RAID
- ใช้สำหรับทำ SAN Storage, NAS Storage
- ใช้สำหรับทำ Database เช่น MySQL, MS SQL, Oracle DB
- ใช้สำหรับ Application ที่ต้องการความทนทานสูง

- ใช้สำหรับงานประมวลผลประสิทธิภาพสูง (High Performance Computing)
- ใช้สำหรับงานตัดต่อวิดีโอขนาดใหญ่ (High Performance Video Editing)
- ใช้สำหรับงานประมวลผลทางด้านภาพ (Image Processing)
- ใช้สำหรับงานจัดเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง เช่น CCTV Storage เป็นต้น

## 2.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง เซิร์ฟเวอร์ฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว กับ 3.5 นิ้ว

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง เซิร์ฟเวอร์ฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว กับ 3.5 นิ้ว

Specification	Server HDD 2.5"	Server HDD 3.5"
Capacity		✓
Fast access time	✓	
Reliability	✓	
Cost per density		✓
Power Dissipation	✓	

จากข้อมูลตามตารางที่ 2.1 จะเห็นว่าคุณสมบัติที่เด่นของเซิร์ฟเวอร์ฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้ว คือความเร็วในการอ่าน-เขียนข้อมูล, ความเสถียร และการใช้พลังงานที่น้อยกว่าเซิร์ฟเวอร์ฮาร์ดดิสก์ขนาด 3.5 นิ้ว

## 2.3 ความสำคัญของค่าความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์

ความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์เป็นสาเหตุเกิดจากความไม่สมดุลของมวลที่หมุนกับสปินเดิลมอเตอร์ของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ก่อให้เกิดการสั่นทางกลที่จะทำให้แผ่นดิสก์เลื่อน รวมทั้งยังทำให้แบริ่งของสปินเดิลมอเตอร์เกิดการหลวมคลอน อีกทั้งการสั่นที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลโดยตรงให้กับอุปกรณ์ทั้งหมดที่ประกอบเป็นฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ ซึ่งส่งผลในการทำงานของฮาร์ดดิสก์ให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านและเขียนข้อมูลไม่ตรงแทรก หัวอ่าน-เขียนสัญญาณเกิดกระแทกกับแผ่นดิสก์ ในระยะยาวนั้นการสั่นที่เกิดขึ้นจะทำให้ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เสียหายในที่สุด

ดังนั้นการควบคุม การวัดและทดสอบความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ไครฟ์จึงเป็นสิ่งสำคัญในการบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ และเป็นหนึ่งในสเปกที่ผู้บริโภครู้จักให้ความสนใจ

เพื่อให้ได้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่มีความเสถียรในการเก็บข้อมูล โดยเฉพาะฮาร์ดดิสก์ที่ใช้สำหรับเซิร์ฟเวอร์ ( Enterprise HDD ) ที่ทำงานในความเร็วรอบสูงกว่า 10000 รอบต่อนาที และมีอายุการใช้งานเมื่อทำงานอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานานกว่า 2 ล้านชั่วโมง

สเปคที่กำหนดจึงมีความสัมพันธ์กับค่าความเร็วรอบที่สูงขึ้นดังแสดงในตารางที่ 2.2

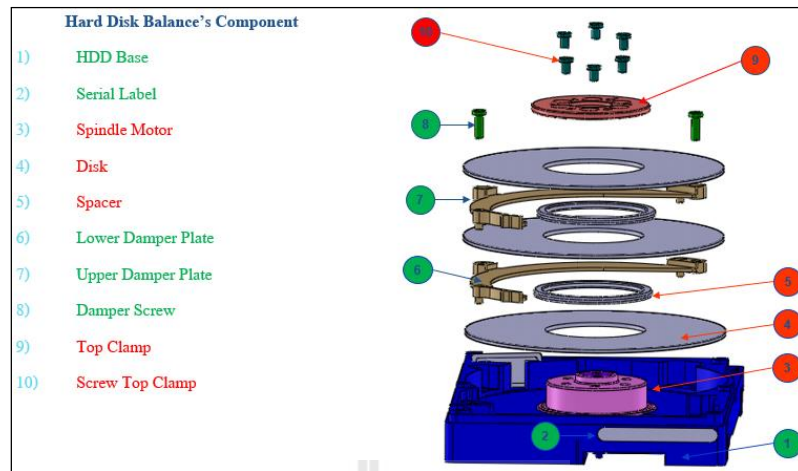
ตารางที่ 2.2 แสดงสเปคของค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตามโปรดักส์

Specifications	Product A	Product B	Product C
Revolution per minute	10,000	10,900	15,000
Static Balance Spec	10 mg.cm	9 mg.cm	5 mg.cm
Couple Balance Spec	50 mg.cm <sup>2</sup>	50 mg.cm <sup>2</sup>	50 mg.cm <sup>2</sup>

#### 2.4 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในการตรวจสอบความสมดุลในการหมุน

ฮาร์ดดิสก์ประกอบไปด้วยอุปกรณ์จำนวนมากที่ประกอบเข้าด้วยกันดังรูปที่ 2.1 แต่สำหรับชิ้นส่วนและอุปกรณ์ที่จะใช้ในการพิจารณาและการกล่าวถึงฮาร์ดดิสก์บาลานซ์นั้น จะพิจารณาเฉพาะแกนมอเตอร์ที่หมุน ( Rotor ) และชิ้นส่วนที่หมุนไปกับแกนมอเตอร์ ซึ่งเรียกโดยรวมว่า โรเตตติ้งแมส ( Rotating Mass , Kg ) ซึ่งมีชิ้นส่วนดังนี้

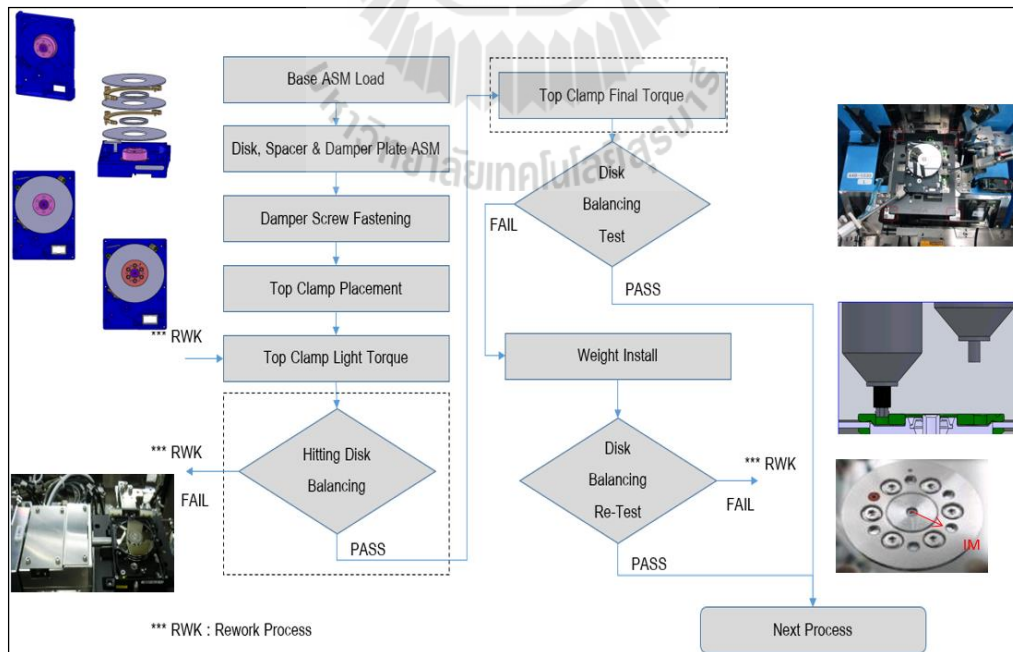
- Spindle Motor
- Disk
- Spacer
- Top Clamp
- Screw Top Clamp



รูปที่ 2.1 ชั้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ที่มีผลต่อความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์

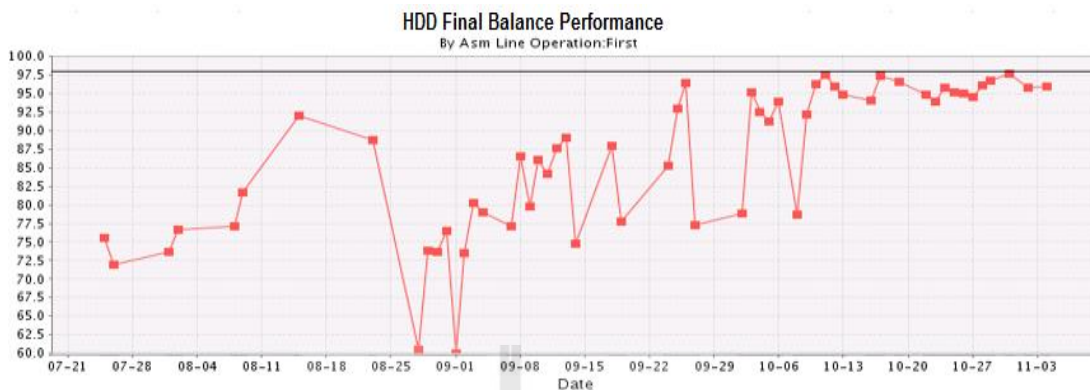
## 2.5 กระบวนการประกอบและตรวจสอบความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ในบริษัทเอชจีเอชที (ประเทศไทย) จำกัด

กระบวนการและเครื่องมือที่ใช้ในการประกอบและการบาลานซ์ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟขนาด 2.5 นิ้วที่ใช้สำหรับ เซิร์ฟเวอร์ของบริษัทเอชจีเอชที ประเทศไทย จำกัด



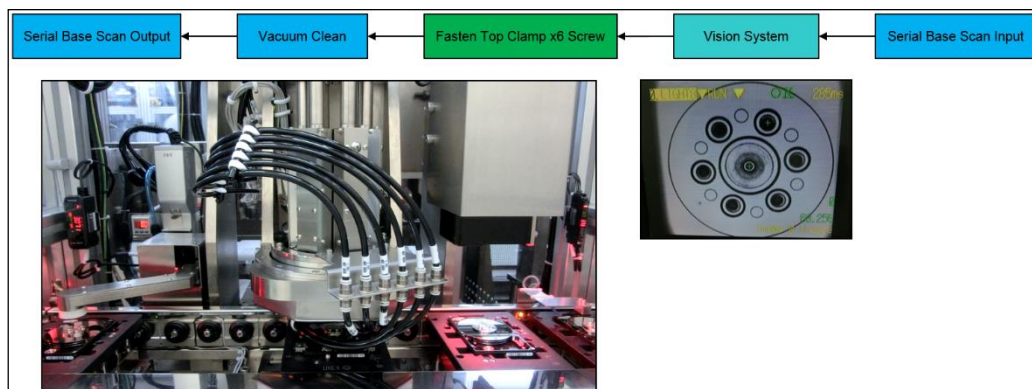
รูปที่ 2.2 แสดงกระบวนการวัดและทดสอบความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์

กราฟที่ 2.1 แสดงผลของการวัดและทดสอบความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ ครั้งแรกในกระบวนการก่อนการปรับปรุง



กระบวนการประกอบและทดสอบความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ของบริษัทเอชจีเอสที่ประเทศไทย จำกัด สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.2 ดังนี้

- 1) การเตรียม Base with Spindle Motor Assembly ซึ่งส่งมาจาก Supplier ผ่านกระบวนการล้างทำความสะอาด (Cleaner)
- 2) จากนั้นจะทำการติด Serial Number และส่งต่อไปยังกระบวนการต่อไป
- 3) กระบวนการประกอบแผ่นดิสก์, สเปเซอร์, แคมเปอร์เพลทด้วยเครื่องจักร
- 4) กระบวนการประกอบทอปแคลม ด้วยเครื่องจักร โดยเอนเฟฟเฟลคเตอร์ จะวางทอปแคลมบน Spindle Motor
- 5) กระบวนการขันสกรูทอปแคม 6 ตัวพร้อมกัน ด้วยค่าแรงบิดที่ต่ำอยู่ในช่วง 5 mNm. ถึง 25 mNm. +/- 5% ก่อนที่จะส่งไปยังกระบวนการที่ 6 ดิสก์บาลานซ์

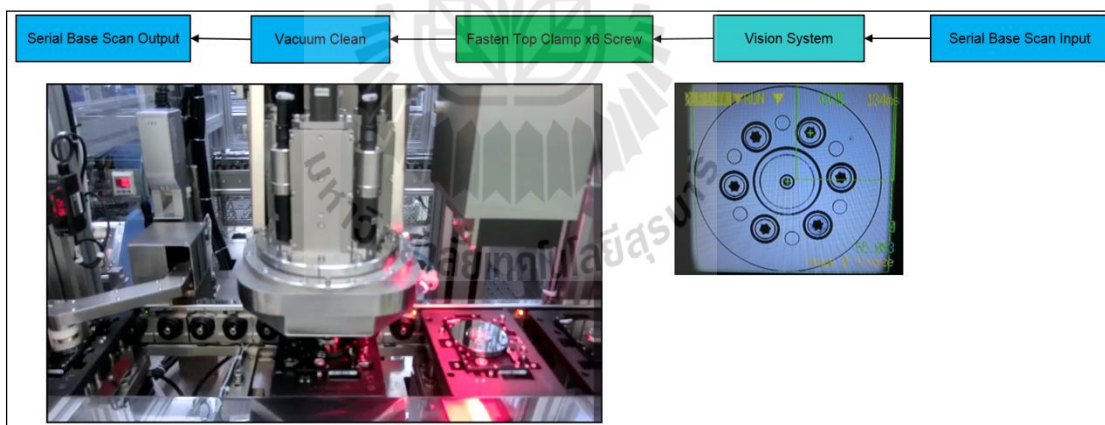


รูปที่ 2.3 แสดงกระบวนการขันสกรูยึดแผ่นฮาร์ดดิสก์ (Top Clamp) ด้วยแรงบิดค่าต่ำ (Light Torque)

กระบวนการนี้เริ่มจากการอ่านบาร์โค้ดเพื่อเช็คประวัติงานในระบบจากนั้นจะใช้ระบบวิชั่นในการตรวจจับตำแหน่งมุมก่อนส่งให้ชุดแกนไขควงไฟฟ้าทั้ง 6 แกนขันสกรูพร้อมกันด้วยค่าแรงบิดที่ต่ำ เสร็จแล้วจะมีการดูค่าความสะอาดด้วย Vacuum พร้อมกับอ่านบาร์โค้ดงานที่ผ่านกระบวนการ

6) กระบวนการทำให้แผ่นดิสก์เกิดความสมดุลพร้อมวัดและทดสอบ โดยเครื่องจะทำการวัดค่าความสมดุลเริ่มต้นเมื่อสปินเดิลมอเตอร์หมุนได้ค่าความเร็วรอบที่กำหนดคือ 5400 รอบต่อ นาที และทำการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับสเปคที่กำหนด ในกรณีที่การวัดค่าผ่าน จะส่งงานต่อไปยังกระบวนการต่อไป แต่ถ้าวัดค่าไม่ผ่านจะทำการ เคาะด้วยหัวเคาะ Piezo Electric Actuator (PZT) โดยจะทำการวัด, เปรียบเทียบค่า และเคาะ ตามลำดับ วนรอบ ตามพารามิเตอร์ที่กำหนดเป็นจำนวนสูงสุด 35 รอบ งานที่ผ่านกระบวนการนี้ก็จะส่งต่อไปยังกระบวนการต่อไป ส่วนงานที่เคาะถึง 35 ครั้งแล้วไม่ผ่านจะส่งไปยังกระบวนการแก้ไขงานในกระบวนการ ( In Line Rework )

7) กระบวนการขันย้าสกรูยึดแผ่นยึดดิสก์ (Top Clamp) ด้วยแรงบิดสุดท้าย (Final Torque) ตามสเปคที่กำหนดคือ 100 mNm. +/- 5% เมื่องานผ่านการขันสกรูแล้ว จะส่งต่อไปยังกระบวนการวัดและทดสอบความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Final Balance Test)



รูปที่ 2.4 แสดงกระบวนการขันย้าสกรูยึดแผ่นดิสก์(Top Clamp)ให้แน่นด้วยแรงบิดสุดท้ายตามสเปค (Final Torque)

กระบวนการนี้เริ่มจากการอ่านบาร์โค้ดเพื่อเช็คประวัติงานในระบบจากนั้นจะใช้ระบบวิชั่นในการตรวจจับตำแหน่งมุมก่อนส่งให้ชุดแกนไขควงไฟฟ้าทั้ง 6 แกนขันย้าสกรูพร้อมกันด้วยค่าแรงบิดตามสเปคที่กำหนดคือ 100 mNm.+/- 5% เสร็จแล้วจะมีการดูค่าความสะอาดด้วย Vacuum พร้อมกับอ่านบาร์โค้ดงานที่ผ่านกระบวนการ

8) กระบวนการวัดและทดสอบความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จะทำการวัดค่าความสมดุลทั้งสองแบบคือ สเตติกส์ บาลานซ์ (Static Balance) และ คัปเปอร์ บาลานซ์ (Couple Balance) โดยจะทำการวัดเมื่อค่าความเร็วรอบของฮาร์ดดิสก์หมุนได้รอบตามกำหนดคือ 5400 รอบต่อนาที ขณะวัดจะทำการวัดมุมอ้างอิงโดยเฉพาะค่าสเตติกส์บาลานซ์ งานที่ผ่านสเปคแรก (First Spec) จะส่งต่อไปยังกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ต่อไป ส่วนงานที่ไม่ผ่านสเปคแรก แต่ผ่านสเปคที่สอง (Second Spec) จะถูกส่งต่อไปยังกระบวนการใส่เม็ดถ่วงสมดุลและทำการวัดทดสอบค่าความสมดุลซ้ำ ซึ่งเป็นการบวนการสุดท้ายของ การวัดและทดสอบความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ของบริษัทเอชจีเอสที ประเทศไทย จำกัด

ส่วนในกรณีของ คัปเปอร์ บาลานซ์ (Couple Balance) ที่ไม่ผ่านค่าสเปคที่กำหนดนั้นจะถูกส่งต่อไปยัง กระบวนการแก้ไขงานในกระบวนการ (In Line Rework)

9) กระบวนการปรับสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์แบบการถ่วงน้ำหนัก (Weight Balance Insertion) เป็นการทำให้เกิดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ในเฉพาะกรณีของสเตติกบาลานซ์ (Static Balance) ที่มีการรับข้อมูลและมุมที่ใช้ในการอ้างอิงสำหรับการใส่เม็ดถ่วงน้ำหนัก โดยจะใส่ในมุมตรงข้ามของมุมสเตติก อัมบาลานซ์ (Opposite Static Unbalance Angle) เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักแล้ว จะทำการวัดค่าฮาร์ดดิสก์บาลานซ์เมื่อผ่านสเปคที่กำหนดจะฮาร์ดดิสก์ต่อไปยังกระบวนการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ชิ้นส่วนอื่นต่อไป แต่สำหรับงานที่ใส่เม็ดถ่วงน้ำหนักแล้ว วัดค่าไม่ผ่านสเปคที่กำหนดจะถูกส่งต่อไปยัง กระบวนการแก้ไขงานในกระบวนการ (In Line Rework)

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาความไม่สมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ที่มีเนื้อหาสอดคล้องและเกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ดังนี้

Sorawut R. et al.(2012) ได้มีการศึกษาปัจจัยการผลิตในขั้นตอนการประกอบชุดจับยึดด้านบนที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนจากการหมุนของจานบันทึกข้อมูลด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยกรณีศึกษาฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ขนาด 2.5 in. พบว่า ระยะการประกอบเยื้องศูนย์กลาง ระยะการขันสกรู (แรงบิดที่ใช้ขันสกรู) และแกนหมุนเอียง เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของจานบันทึกข้อมูล โดยเมื่อเกิดการเยื้องศูนย์กลางตั้งแต่ 0.0525 มิลลิเมตร หรือร้อยละ 75 ของระยะเว้นบวกลบสูงสุดคือ 0.070 mm. จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนเกินเกณฑ์ที่กำหนด ส่วนระยะการขันสกรูจะส่งผลกระทบต่อ การสั่นสะเทือนของจานบันทึกข้อมูลไม่มากนัก ในขณะที่แกนหมุนเอียง จะขยายค่าการสั่นสะเทือนให้เพิ่มมากขึ้นซึ่งในบางกรณีจะเกินเกณฑ์กำหนดในการถอดและประกอบใหม่ ดังนั้น การที่แกนหมุน



เอียงจึงส่งผลกระทบต่อการผลิตสูงสุด รองมาคือการประกอบชุดจับยึดด้านบนขึ้นอยู่กับสปินเดิลมอเตอร์ และที่ส่งผลน้อยที่สุดคือการเพิ่มระยะการขันสกรู

Alisantoso et al.(2012) ได้มีการศึกษาการทำให้เกิดความสมดุลในการหมุนจาก กรณีสแตติกส์อิมบาลานซ์ที่เกิดขึ้นบ่อยในฮาร์ดดิสก์ทั้ง 3 กรณีคือ

1. Disk Imbalance
2. Motor Imbalance
3. Disk Clamp Imbalance

โดยการปรับสมดุลสแตติกส์ได้มุ่งเน้นเจาะจงวิธีการปรับสมดุลด้วยการปรับแผ่นยึดดิสก์เพื่อชดเชยกรณีเสียสมดุลดังนี้

1. วัดค่าความไม่สมดุลในการหมุน
2. คำนวณค่าความ ไม่สมดุลทิศทางเพื่อปรับออฟเซตแผ่นยึดดิสก์
3. คลายสกรูยึดแผ่นยึดดิสก์ (Top Clamp)
4. ปรับแผ่นยึดดิสก์ (Top Clamp)
5. ตรวจสอบตำแหน่งแผ่นยึดดิสก์ (Top Clamp)
6. กรณีที่ตำแหน่งแผ่นยึดดิสก์ตรง ให้ทำการขันสกรูยึดแผ่นยึดดิสก์ให้แน่น ในกรณีที่ตำแหน่งแผ่นยึดดิสก์ไม่ตรง ให้แก้ไขซ้ำตามกระบวนการหัวข้อที่ 2 ถึงข้อที่ 5

Nopdanai a. et al.(2009). ได้ศึกษาพฤติกรรมการส่งผ่านการสั่นสะเทือนจากขดลวดเหนียว นำสู่ฐานมอเตอร์ภายในฮาร์ดดิสก์ขนาด 3.5 นิ้วผ่านการทดสอบ โดยการกระตุ้นทางกลกับชุดของแบบจำลองที่มีค่าการสวามอัดต่างกัน 3 ชุด โดยนำผลทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์โดยใช้หลักการ Statistical Energy Analysis(SEA) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การส่งผ่านถ่ายเทพลังงานระหว่างชิ้นส่วนทั้งสอง ผลที่ได้คือชุดทดสอบที่มีค่าการสวามอัดน้อย กำลังการสั่นสะเทือนที่ส่งผ่าน ไปยังฐานจะมีค่าน้อย

Samart et al.(2009) ได้มีการศึกษาความไม่สมดุลของแผ่นดิสก์ในฮาร์ดดิสก์อันเนื่องมาจากการขันสกรูโดยใช้หลักการไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการวิเคราะห์จากแบบจำลองและผลจากการทดลองทำให้รู้ว่า แรงบิดขันย้าสกรูยึดแผ่นดิสก์ (Top Clamp)แต่ละตัวมีผลต่อจุดกึ่งกลางมวลของชุดแผ่นดิสก์ โดยจุดกึ่งกลางมวลจะเคลื่อนตัวไปในทิศทางของสกรูที่ได้รับแรงมากกว่าสกรูตัวอื่น ๆ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดความไม่สมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์ การแก้ไขความไม่สมดุลให้ลดลงสามารถทำได้โดยการให้แรงบิดในการขันสกรูแต่ละตัวมีค่าเท่ากันหรือลดความต่างของค่าแรงบิดของสกรูแต่ละตัวให้เหลือน้อยที่สุด



Hredzak B. and Guo G.(2004) ได้มีการศึกษาการและทำการวิเคราะห์ความเป็นไปได้สำหรับการทำให้เกิดความสมดุลในการหมุนสำหรับฮาร์ดดิสก์ด้วยวิธีการ Active Balancing เพื่อลดการสั่นทางกลที่เกิดขึ้นจากแรงหนีศูนย์กลางในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ที่เกิดจากการประกอบโรเตอร์และสเตเตอร์ที่ไม่สมมาตรซึ่งมีค่าที่ต่ำขนาด ด้วยวิธีการสร้างแรงแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อไปต้านกับแรงหนีศูนย์กลางที่เกิดจากความไม่สมดุลมวล โดยการวิเคราะห์ด้วยหลักการไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถประมาณค่าแรง Magnetic unbalanced pull force ที่มากที่สุด 0.34N และ ต่ำที่สุด 0.15N จากการเพิ่มหรือลด Magnetic field

Morris et al.(2004) ได้มีการศึกษาวิธีการทำให้จุดศูนย์กลางแผ่นดิสก์ที่ประกอบเข้าด้วยกันกับแกนหมุน แบบ Self-Centering ด้วย Allow Clearance ระหว่างแผ่นดิสก์กับแกนมอเตอร์ ในการประกอบในแต่ละแผ่นดิสก์จะให้ค่าแรงบิดที่ต่ำประมาณ 5% จากค่าแรงบิดในการจับยึดแผ่นดิสก์ที่กำหนดโดยการให้แผ่นดิสก์เคลื่อนตัวเข้าสู่จุดศูนย์กลางการหมุนด้วยแรงที่กระทำในแนวรัศมีของแผ่นดิสก์ พร้อมการกำหนดค่าความเร็วรอบในการหมุนที่ต่ำระหว่าง 25% ถึง 30% ค่าความเร็วรอบในการทำงาน เมื่อมีการสมดุลแผ่นดิสก์แล้วถึงสั่งให้มอเตอร์หยุดหมุนแล้วถึงให้แรงบิดในการจับยึดดิสก์ตามค่าการประกอบ โดยในกระบวนการประกอบจะทำการควบคุมกับการเขียน Servo Track บนแผ่นดิสก์

Kim et al.(2003) ได้มีการศึกษาการประกอบแผ่นดิสก์ให้จุดศูนย์กลางของแผ่นดิสก์กับจุดศูนย์กลางการหมุนของสปินเดิลมอเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่ตรงกัน โดยการใช้จิกฟิกเจอร์ในการปรับตำแหน่งในการประกอบแผ่นดิสก์

Jang G.H. et al.(2002) ได้มีการศึกษาการสั่นทางกลแบบอิสระของระบบแกนหมุนที่ยึดหมุนตัวได้ที่ประกอบแผ่นดิสก์กับสปินเดิลมอเตอร์ที่มีแกนเพลลาหมุนจับยึดด้วยบอลแบร์ริง โดยการวิเคราะห์ด้วยหลักการไฟไนต์เอลิเมนต์ และ ทฤษฎี Hamilton ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ควบคู่กับทฤษฎีบทอื่นที่เกี่ยวข้องคือทฤษฎีของ Kirchhoff plate, von Karman non-linear strain, Rayleigh beam และ Euler beam ผลการวิเคราะห์สามารถทำนายลักษณะเฉพาะของการสั่นแบบอิสระของระบบที่ประกอบจากอุปกรณ์ที่ทำงานคล้ายกันได้อย่างแม่นยำเช่น FDD, CD, HDD และ DVD เป็นต้น ซึ่งในกรณีของระบบของ HDD นั้นการกำหนด Boundary Condition เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่จะสามารถทำให้การทำนายความถี่ธรรมชาติของโหมด  $U(0,1)$  ได้อย่างแม่นยำ

Jintanawan T. and Jakrapan L.(2002) ได้มีการศึกษาการสั่นทางกลของแผ่นดิสก์และสปินเดิลมอเตอร์ในฮาร์ดดิสก์ โดยการวิเคราะห์ด้วยหลักการไฟไนต์เอลิเมนต์ ในการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถทำนายความถี่ธรรมชาติและเปรียบเทียบผลของการทดลองมีความต่างกัน

น้อยกว่า 1 % โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาค่าความถี่ธรรมชาติ จากการเพิ่มจำนวนแผ่นดิสก์, การลดความหนาของแผ่นดิสก์และการลดระยะรัศมีตำแหน่งจับยึดแผ่นดิสก์ (Top Clamp) จะได้ค่าความถี่ธรรมชาติที่ลดลง

Jintanawan T.(2001) ได้มีได้ทำการศึกษากการสั่นสะเทือนทางกลในฮาร์ดดิสก์ซึ่งส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของหัวอ่านในการอ่าน-เขียนข้อมูล ซึ่งพบว่าการแกว่งของแกนหมุนทำให้มีการสั่นสะเทือนที่ตามแนวรัศมีของแผ่นจานแม่เหล็กส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของหัวอ่าน การสั่นในแนวระนาบของระบบ disk-spindle เกิดจากการแกว่ง และ precession ของแกนหมุน เป็นสาเหตุหลัก แนวทางในการลดการสั่นสะเทือน มีการนำเอา Fluid dynamic bearings (FDBs) มาใช้ใน hard disk drive เพื่อช่วยลดการสั่นดังกล่าว และ hard disk drive ที่ใช้ FDBs ยังมีเสียงเงียบขึ้น แต่ FDBs จะยังมีปัญหาเรื่องการรั่วไหลของของเหลวในแบร์ริง

Hirano T.(1998) ได้มีการศึกษาวิธีการปรับความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ ด้วยเครื่องมือเพื่อให้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแผ่นดิสก์กับจุดศูนย์กลางของการหมุนอยู่ตำแหน่งเดียวกันขณะทำการประกอบฮาร์ดดิสก์ โดยการเคาะขยับแผ่นดิสก์ที่มีการกำหนด Tolerance ระหว่างแผ่นดิสก์กับแกนมอเตอร์ ภายในระยะ 100 ไมครอนเมตร เนื่องฮาร์ดดิสก์ประกอบด้วยแผ่นจากแม่เหล็กเป็นวงกลมเพื่อใช้บันทึกข้อมูลประกอบกับแกนสปินเดิลมอเตอร์ซึ่งเมื่อหมุนไปรอบจุดศูนย์กลางมวลหรือจุดศูนย์กลางแกนหมุน

### บทที่ 3

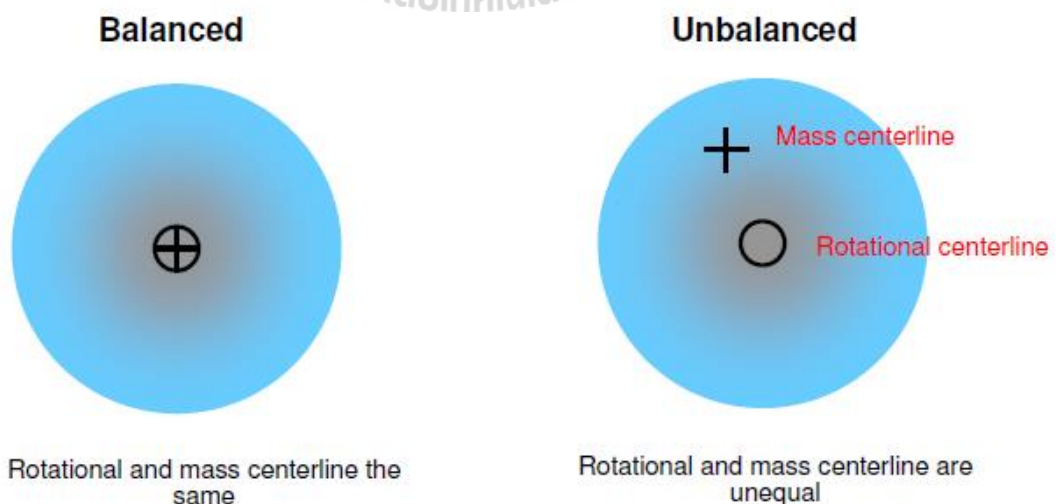
## วิธีดำเนินงานวิจัย

ฮาร์ดดิสก์เป็นอุปกรณ์ที่มีมอเตอร์เป็นต้นกำลังเชิงกลในการทำงาน สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือค่าความสมดุล (Balanced) ของแกนหมุนของมอเตอร์กับชิ้นส่วนที่หมุน (Rotating Mass) เนื่องจากฮาร์ดดิสก์ต้องหมุนในความเร็วรอบสูง ๆ และใช้งานเป็นระยะเวลานานในการเก็บข้อมูล การอ่านเขียนข้อมูล ดังนั้นสิ่งที่ต้องพิจารณาในหัวข้อการสั่นทางกล (Vibration) คือ การสั่นในแนวแกนหมุนของมอเตอร์ ที่มีผลต่อความเสถียรของการอ่าน, เขียนข้อมูล ตลอดจนการเกิดเรโซแนนซ์ (Resonance) ที่จะทำให้อุปกรณ์และอุปกรณ์ที่ประกอบเข้าด้วยกันเช่น แผ่นดิสก์ หรือหัวอ่านเขียนสัญญาณ ได้รับความเสียหาย เป็นต้น

#### 3.1 ความหมายของความสมดุล (Balanced) และ ความไม่สมดุล (Unbalanced)

(American Hofmann Corporation, 2000)

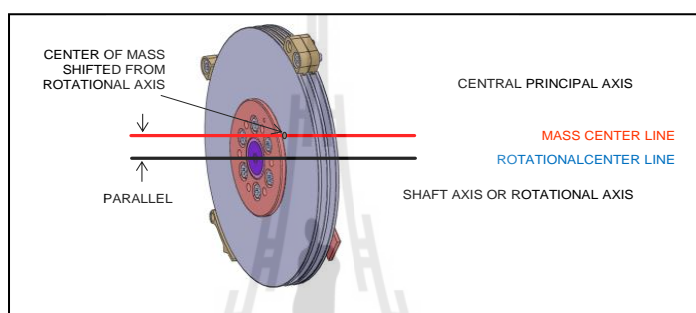
ความสมดุล (Balanced) คือ เส้นศูนย์กลางของแกนหมุนและเส้นศูนย์กลางมวลอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ก ความไม่สมดุล (Unbalanced) คือ เส้นศูนย์กลางของแกนหมุนและเส้นศูนย์กลางมวลไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 3.1 ข



รูปที่ 3.1 ก Balanced

รูปที่ 3.1 ข Unbalanced

เส้นศูนย์กลางของแกนหมุนของแกนโรเตอร์ (Rotational Center Line or Shaft Axis) :  
 (American Hofmann Corporation, 2000) เส้นศูนย์กลางของแกนหมุนของแกนโรเตอร์ ดังแสดงดังรูปที่ 3.2 คือการกำหนดเส้นศูนย์กลางของแกนหมุนจากซัพพอร์ทแบริงของมอเตอร์. โดยเส้นศูนย์กลางของแกนหมุนอาจจะมีตำแหน่งเดียวกันหรือตำแหน่งต่างกันจากจุดศูนย์กลางมวล ส่วนประกอบต่าง ๆ ที่ออกแบบและประกอบเข้าด้วยกันกับแกนโรเตอร์ จะใช้เส้นศูนย์กลางของแกนหมุนของแกนโรเตอร์เป็นเส้นเดียวกัน.



รูปที่ 3.2 Center of mass vs Rotational Center Line

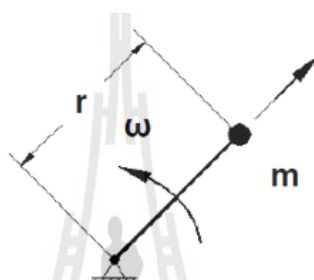
Principal axis(American Hofmann Corporation, 2000) : เส้นศูนย์กลางหลักที่รวมถึงเส้นศูนย์กลางมวล ( mass center ) ของแผ่นดิสก์. โดยการหาค่ามวลของโรเตอร์ บ่อยครั้งได้มาจากการวัดและคำนวณจากค่าของ Principal axis. โรเตอร์อินบาลานซ์จะพยายามหมุนรอบ ๆ แกน Principal axis. แต่ขณะเดียวกันก็จะหมุนซ้ำ ๆ รอบ shaft axis ด้วยการจับยึดของ Support Bearing. การสั่นทางกลพร้อมกับผลกระทบที่กระทำกับแบริง ที่เกิดจากความไม่สมดุลในแนวแกน เกิดขึ้นโดยตรงตามสัดส่วนที่ไม่ตรงกันระหว่างแกน Principle Axis และ Shaft Axis ตามรูปภาพที่ 3.2 ที่ขยายเกินความเป็นจริงเพื่อใช้ในการอธิบาย มวลของแผ่นดิสก์สามารถมีระยะที่ห่างจาก Shaft Axis ได้ อย่างไรก็ตามข้อสังเกต แผ่นดิสก์จะหมุนรอบ ๆ Shaft Axis แต่ในทางอุดมคตินั้น Principal axis จะเป็นเส้นศูนย์กลางจริงของแผ่นดิสก์ ที่จะบาลานซ์

Center of mass(American Hofmann Corporation, 2000): จุดศูนย์กลางมวลคือสิ่งที่ใช้ในการพิจารณาโดยทั่วไป ซึ่งจุดศูนย์กลางของวัตถุรูปเลขาคณิต ในความเป็นจริงแล้วจุดศูนย์กลางมวล จะไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกันกับจุดศูนย์กลางวัตถุรูปเลขาคณิตในกรณีที่ไม่สมดุล (

Unbalanced) โรเตอร์ principal axis จากมีระยะห่างจาก shaft axis. เมื่อ โรเตอร์ มีความสมดุล principal axis จะทับกันสนิทในตำแหน่งเดียวกันกับ shaft axis ดังรูปที่ 3.3

ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์เมื่อประกอบชิ้นส่วนหลักในการทำงานเข้ากับแกนมอเตอร์แล้ว เมื่อ Mass center line กับ Rotational center line ไม่อยู่ในแกนเดียวกันจะทำให้เกิดความไม่บาลานซ์เกิดขึ้น และจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยตรงกับความเร็วรอบในการหมุนที่สูงขึ้น (THE BASICS OF BALANCING, 2014)

$$F_C = m \times r \times \omega^2 \quad (3.1)$$



รูปที่ 3.3 อธิบายแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force)

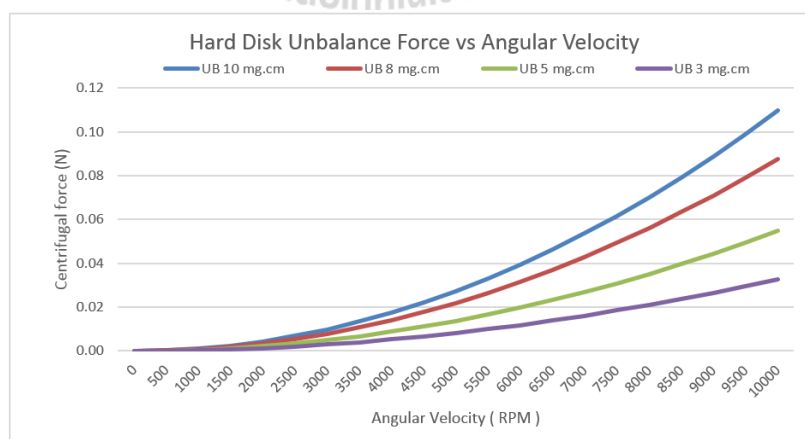
โดย

$F_C$  คือ แรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal Force) ในหน่วยนิวตัน

$m$  คือ มวลในหน่วยกิโลกรัม

$r$  คือ รัศมีจากจุดศูนย์กลางในหน่วยเมตร

$\omega$  คือ ความเร็วเชิงมุมในหน่วย Rad/sec

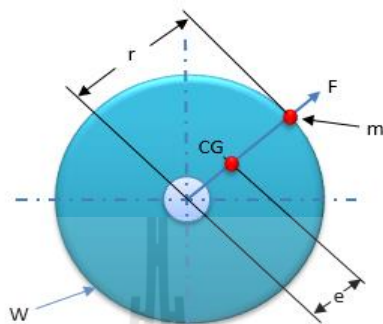


รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงหนีศูนย์กลางกับความเร็วยรอบ

### 3.2 ประเภทของฮาร์ดดิสก์อันบาลานซ์ (American Hofmann Corporation, 2000)

#### 1) สเตติก อันบาลานซ์ ( Static Unbalance )

คือ เส้นศูนย์กลางของแกนหมุนและเส้นศูนย์กลางมวล ไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน โดยเส้นทั้งสองนี้จะขนานกัน



รูปที่ 3.5 อธิบายความสัมพันธ์ของสเตติก อันบาลานซ์ ( Static Unbalance )

$$U = m \times r \quad (3.2)$$

$$U = W \times e \quad (3.3)$$

$$e = \frac{U}{W} \quad (3.4)$$

จากสมการ (3.2) สามารถเขียนสมการ Centrifugal Force (3.1) ได้ตามสมการ(3.5)

$$F_C = U \times \omega^2 \quad (3.5)$$

$$\text{หรือ} \quad F_C = U \times \left(2\pi \frac{n}{60}\right)^2 \quad (3.6)$$

โดย

U คือ อันบาลานซ์ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม-เมตร

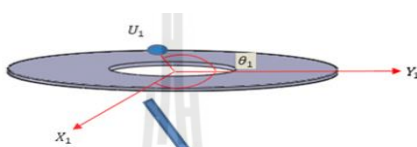
m คือ มวลอันบาลานซ์ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

W คือ มวลทั้งหมด (Total Weight) มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

$e$  คือ ค่าความเบี่ยงเบนจากศูนย์กลาง (eccentricity) มีหน่วยเป็นเมตร

$n$  = rotational speed or rpm

กรณีที่มีความไม่สมดุลในการหมุนมากกว่าหนึ่งระนาบสามารถเขียนได้ตามสมการ แบบเวกเตอร์ (BALANCING OF ROTATING MASSES, 2015) ได้ตามสมการ (3.7) ถึง (3.18) เมื่อพิจารณาการปรับความสมดุลแผ่นดิสก์ตามจำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบมีความสามารถในกระบวนการที่แตกต่างกันดังนี้



รูปที่ 3.6 การสมดุลแผ่นดิสก์จำนวน 1 แผ่น

กำหนดให้

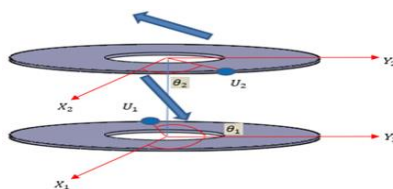
$$U_{1x} = U_1 \cos \theta_1 \quad \text{: x factor of } U_1 \quad (3.7)$$

$$U_{1y} = U_1 \sin \theta_1 \quad \text{: y factor of } U_1 \quad (3.8)$$

โดย

$$U_s = \sqrt{U_{1x}^2 + U_{1y}^2} \quad (3.9)$$

$$\theta_s = \tan^{-1} \frac{U_{1y}}{U_{1x}} \quad (3.10)$$



รูปที่ 3.7 การสมดุลแผ่นดิสก์จำนวน 2 แผ่น

กำหนดให้

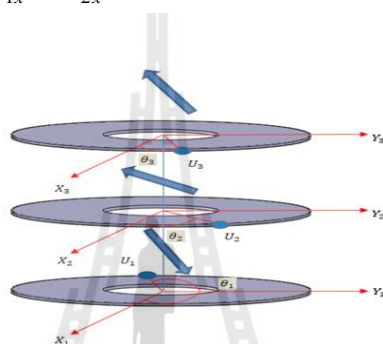
$$U_{2x} = U_2 \cos \theta_2 : x \text{ factor of } U_2 \quad (3.11)$$

$$U_{2y} = U_2 \sin \theta_2 : y \text{ factor of } U_2 \quad (3.12)$$

โดย

$$U_s = \sqrt{(U_{1x} + U_{2x})^2 + (U_{1y} + U_{2y})^2} \quad (3.13)$$

$$\theta_s = \tan^{-1} \frac{(U_{1y} + U_{2y})}{(U_{1x} + U_{2x})} \quad (3.14)$$



รูปที่ 3.8 การสมมูลแผ่นดิสก์จำนวน 3 แผ่น

กำหนดให้

$$U_{3x} = U_3 \cos \theta_3 : x \text{ factor of } U_3 \quad (3.15)$$

$$U_{3y} = U_3 \sin \theta_3 : y \text{ factor of } U_3 \quad (3.16)$$

โดย

$$U_s = \sqrt{(U_{1x} + U_{2x} + U_{3x})^2 + (U_{1y} + U_{2y} + U_{3y})^2} \quad (3.17)$$

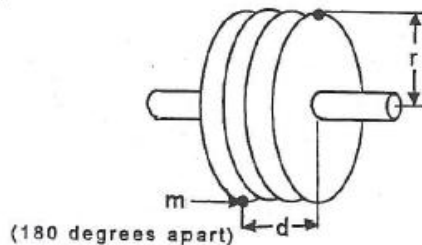
$$\theta_s = \tan^{-1} \frac{(U_{1y} + U_{2y} + U_{3y})}{(U_{1x} + U_{2x} + U_{3x})} \quad (3.18)$$

## 2) คัปเปิล อันบาลานซ์ ( Couple Unbalance )

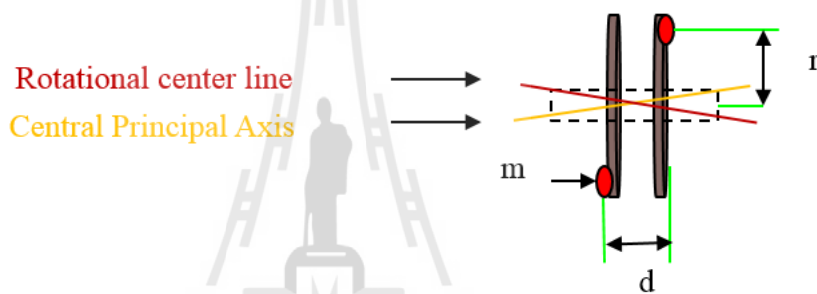
คือ เส้นศูนย์กลางของแกนหมุนและเส้นศูนย์กลางมวลตัดกันอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน ที่จุดศูนย์กลางมวลแต่เส้นทั้งสองนี้ไม่ขนานกัน ซึ่งในกรณีที่มีมวลอันบาลานซ์ในแต่ละแนวระนาบที่มีค่าเท่ากันอยู่ในด้านที่ตรงข้าม โดยจะทำมุม  $180^\circ$  ตามระยะ  $d$  โดยปกติแล้วคัปเปิลอันบาลานซ์ที่เกิดขึ้นในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เกิดจากการประกอบแผ่นดิสก์ไม่เที่ยงตรงให้อยู่ในระยะตั้งฉากกับแกน



หมุนหลัก เมื่อมอเตอร์หมุน จะเกิดการสั่นพร้อมกับทวิส โมชั่น คัปเปิลบาลานซ์ไม่สามารถที่จะทำให้เกิดความสมดุลได้ในระนาบเดียว(American Hofmann Corporation, 2000)



รูปที่ 3.9 อธิบายคัปเปิล อันบาลานซ์ กรณีที่มีการประกอบแผ่นดิสก์มากกว่า 1 แผ่น



รูปที่ 3.10 อธิบายตัวแปรที่ทำให้เกิด คัปเปิล อันบาลานซ์

$$C_u = m \times r \times d \quad (3.19)$$

โดย

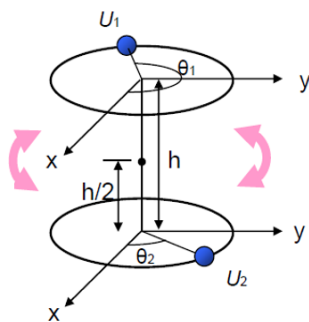
$C_u$  คือ คัปเปิลอันบาลานซ์ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม-เมตร<sup>2</sup>

$m$  คือ มวลอันบาลานซ์ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

$r$  คือ ระยะรัศมีของมวลอันบาลานซ์จากจุดศูนย์กลางการหมุน มีหน่วยเป็นเมตร

$d$  คือ ระยะในแนวระนาบ มีหน่วยเป็นเมตร

สามารถเขียนความไม่สมดุลมวลแบบคัปเปิล แบบเวกเตอร์ได้ตามสมการที่ (3.21)



รูปที่ 3.11 อธิบาย คัปเปิลบาลานตามสมการที่ 3.21

$$U_c = \sqrt{(U_{1x} - U_{2x})^2 + (U_{1y} - U_{2y})^2} \times \frac{h}{2} \quad (3.21)$$

$$\theta_c = \tan^{-1} \frac{(U_{1y} - U_{2y})}{(U_{1x} - U_{2x})} \quad (3.22)$$

โดย

$C_u$  คือ คัปเปิลอันบาลานซ์ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม-เมตร<sup>2</sup>

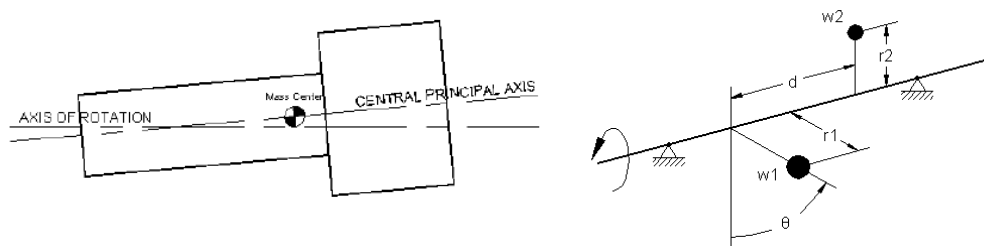
$m$  คือ มวลอันบาลานซ์ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม

$r$  คือ ระยะรัศมีของมวลอันบาลานซ์จากจุดศูนย์กลางการหมุน มีหน่วยเป็นเมตร

$h$  คือ ระยะระหว่างระนาบ  $U_1$  กับ  $U_2$

### 3) ไดนามิก อันบาลานซ์ ( Dynamic Unbalance )

คือ เส้นศูนย์กลางของแกนหมุนและเส้นศูนย์กลางมวล ไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน และเส้นทั้งสองนี้ยัง ไม่ขนานกัน อีกทั้งยังไม่ตัดกัน ในตำแหน่งศูนย์กลางมวล กล่าวคือไดนามิก อันบาลานซ์ จะรวมเอาประเภทของสแตติกอันบาลานซ์และคัปเปิลอันบาลานซ์ไว้ด้วยกัน โดยการวัดค่าจะต้องวัดขณะที่มอเตอร์หมุนซึ่งเหมือนกับกรณีของคัปเปิลอันบาลานซ์ ก็จะมีการอ้างอิงอันบาลานซ์แบบ 2 แนวระนาบ



รูปที่ 3.12 อธิบาย ไดนามิก อันบาลานซ์

## 4) ควอซี สเตติก อันบาลานซ์ (Quasi-Static Unbalance)

คือ กรณีพิเศษที่ไดนามิก อันบาลานซ์ มีทั้งสเตติกและคัปเปิลอันบาลานซ์เวกเตอร์ที่อยู่ในระนาบเดียวกัน โดยมีศูนย์กลางแกนหลักในการหมุนตัดผ่านแกนหมุนของมอเตอร์ แต่จุดศูนย์กลางมวลยังไม่อยู่ในตำแหน่งของแกนหมุน ในกรณีนี้โรเตอร์บาลานซ์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยการเพิ่มมวลถ่วงสมดุล หรือ เอามวล อันบาลานซ์ออก ในแนวระนาบหนึ่งที่มีค่าระยะห่างจากจุดศูนย์กลางมวล การบาลานซ์จากสเตติกบาลานซ์จะสามารถทำได้ง่ายกว่าคัปเปิลอันบาลานซ์ อย่างไรก็ตาม การบาลานซ์แกนหมุนกับ ควอซีสเตติกอันบาลานซ์สามารถทำให้เกิดการบาลานซ์ได้จากการแก้ไขขนาดค่าอันบาลานซ์เพียงหนึ่งค่าในแนวระนาบที่เหมาะสม



รูปที่ 3.13 อธิบาย ควอซี สเตติก อันบาลานซ์

ตัวอย่างการคำนวณ มวล 10 mg ที่รัศมี 20 mm เมื่อหมุนในความเร็วรอบ 5400 RPM สามารถคำนวณหาค่า Centrifugal force ได้ดังนี้

Sol<sup>n</sup>

$$m = 10 \text{ mg}$$

$$r = 20 \text{ mm}$$

$$n = 5400 \text{ RPM}$$

จาก สมการที่ (3.6)

$$F = U \times \left(2\pi \frac{n}{60}\right)^2$$

แทนค่าจะได้

$$F = (10 \times 10^{-6})kg \times (20 \times 10^{-3})m \times \left(2\pi \frac{5400}{60}\right)^2$$

$$F = (200 \times 10^{-9})kg \cdot m \cdot \times (565.49)^2$$

$$F = (0.2 \times 10^{-6})kg \cdot m \cdot \times 319779$$

$$F = 0.0640 N \cdot m$$

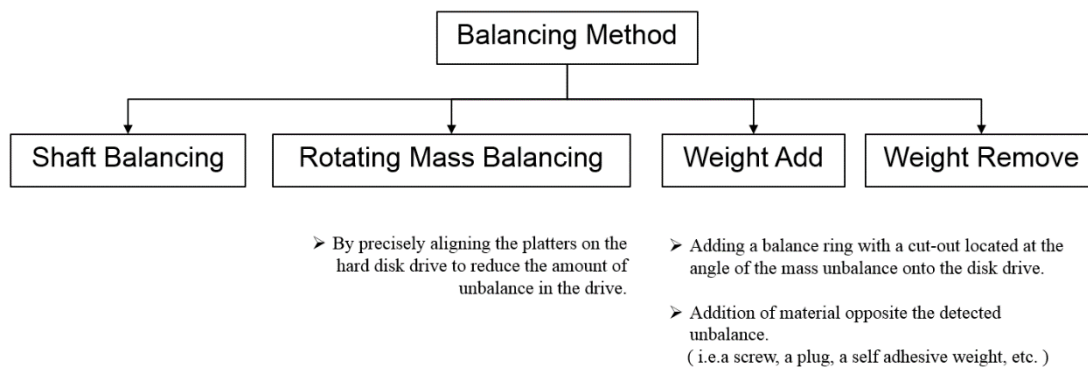
เพิ่มเติม

เมื่อ 1 N มีค่าเท่ากับ 102 กรัม

จะได้ค่ามวลหนัก  $0.0640 \times 102 = 6.523$  กรัม

### 3.3 วิธีการทำให้เกิดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์

(American Hofmann Corporation, 2000)



รูปที่ 3.14 อธิบายวิธีการทำให้เกิดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์

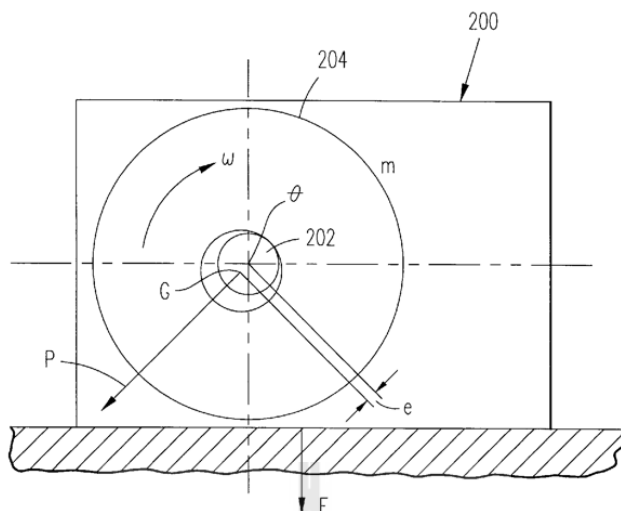
การทำให้เกิดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์สามารถทำได้ 4 วิธีการตามรูปที่ 3.13

1. การทำแกนหมุนของสปินเดิลมอเตอร์มีความสมดุล ( Shaft Balancing ) วิธีการนี้อยู่ในการบวนการประกอบและทดสอบสปินเดิลมอเตอร์
2. การทำให้ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลและจุดศูนย์กลางในการหมุนที่ประกอบฮาร์ดดิสก์มีความเที่ยงตรงในการประกอบกับสปินเดิลมอเตอร์ให้อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน เพื่อให้เกิดความสมดุลในการหมุน โดยทำการขจัดหรือลดมวลที่ทำให้ไม่สมดุลในฮาร์ดดิสก์
3. เพิ่มมวลถ่วงน้ำหนักในด้านตรงข้ามกับมวลที่ไม่สมดุล ( Weight Add ) เพื่อทำให้เกิดความสมดุลในการหมุนซึ่งเป็นวิธีการที่นิยมใช้ในทางอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์
4. การนำมวลที่ทำให้เกิดความไม่สมดุลออก ในทางการผลิตไม่นิยมวิธีนี้เนื่องจากเป็นวิธีการที่ทำให้เกิดสิ่งปนเปื้อน ( Contaminations ) ในกระบวนการผลิต

### 3.4 หลักการทำให้มวลในการหมุนเกิดการสมดุลด้วยวิธีการปรับแผ่นดิสก์เพื่อสมดุลกับแกนหมุน

Toshiki Hirano(1998) ได้มีการเผยแพร่การวิจัยและสิทธิบัตรเลขที่ US5811678 A ของบริษัท International Business Machines Corporation ( IBM ) มีการอธิบายวิธีการและเครื่องมือที่ใช้สำหรับปรับค่าความสมดุลในการหมุนของแผ่นดิสก์ ด้วยหลักการทำให้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแผ่นดิสก์กับจุดศูนย์กลางของการหมุนอยู่ตำแหน่งเดียวกันขณะทำการประกอบฮาร์ดดิสก์ เนื่องฮาร์ดดิสก์ประกอบด้วยแผ่นจากแม่เหล็กเป็นวงกลมเพื่อใช้บันทึกข้อมูลประกอบกับแกนสปินเดิลมอเตอร์ซึ่งเมื่อหมุนไปรอบจุดศูนย์กลางมวลหรือจุดศูนย์กลางแกนหมุน ข้อมูลมีการอ่านและเขียนที่พื้นผิวของแผ่นดิสก์ขณะหมุน การหมุนของแผ่นดิสก์เกิดการขับเคลื่อนแรงจากสปินเดิลมอเตอร์ให้กับแกนหมุน

กลไกการทำงานเมื่อตำแหน่งของหัวอ่าน-เขียนสัญญาณ อยู่บนแผ่นดิสก์ในตำแหน่งที่ต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูล ตำแหน่งของหัวอ่าน-เขียนสัญญาณต้องมีความถูกต้องแน่นอน ดังนั้นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างมากที่จุดศูนย์กลางของแผ่นดิสก์มีความเที่ยงตรงกับตำแหน่งจุดศูนย์กลางของสปินเดิลมอเตอร์เพื่อป้องกันการคลาดเคลื่อนของตำแหน่งแผ่นดิสก์ขณะหมุน ดังนั้นกระบวนการประกอบจึงต้องมีการทำให้ตำแหน่งจุดศูนย์กลางการหมุนมีความเที่ยงตรง แต่อย่างไรก็ตามสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือกระบวนการต้องมีการปรับตำแหน่งของแผ่นดิสก์ให้อยู่ภายในระยะ allowable error (tolerance) พร้อมกับลือคตำแหน่งจัดยึดแผ่นดิสก์กับสปินเดิลมอเตอร์ขณะทำการประกอบในกระบวนการผลิต



รูปที่ 3.15 อธิบายการปรับค่าสแตติกส์ บาลานซ์

#### การปรับค่าสแตติกส์ บาลานซ์

การปรับค่าสแตติกส์บาลานซ์อธิบายตามรูปที่ 3.14 แรงที่เกิดจากระยะห่างของจุดศูนย์กลางแผ่นดิสก์กับจุดศูนย์กลางในการหมุน โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นดิสก์มีขนาดมากกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของสปินเดิลมอเตอร์ โดยมีระยะห่างรอบ ๆ แกนที่มากที่สุด 100 ไมครอนเมตร เนื่องจากแผ่นดิสก์มีการจับยึดเข้ากับแกนสปินเดิลมอเตอร์ บ่อยครั้งที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางของสปินเดิลมอเตอร์ O ไม่ตรงกันเป็นระยะ e จากจุดศูนย์กลางมวล G ของแผ่นดิสก์ ดังนั้นบ่อยครั้งแผ่นดิสก์จึงเสียสมดุล เมื่อแผ่นดิสก์เสียสมดุลจึงทำให้เกิดแรงในการเคลื่อนที่ P ขณะแผ่นดิสก์หมุน

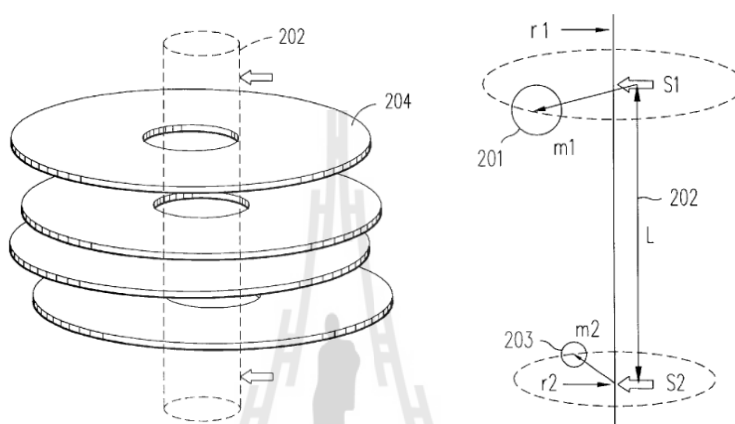
$$F = me\omega^2 \sin(\omega t) \quad (3.23)$$

การปรับค่าสแตติกส์ บาลานซ์ จึงหมายถึงการลดค่าการสั่นทางกลที่เกิดจากแรงในการเคลื่อนที่ขณะแผ่นดิสก์หมุน.

#### การปรับไดนามิกส์ บาลานซ์

การปรับค่าไดนามิกส์อธิบายตามรูปที่ 3.15 แสดงแผ่นดิสก์ที่ประกอบกับสปินเดิลมอเตอร์เป็นจำนวนที่มากกว่าหนึ่งแผ่นดิสก์ สามารถอธิบายได้แบบระบบสองแนวระนาบกำหนดให้เป็น

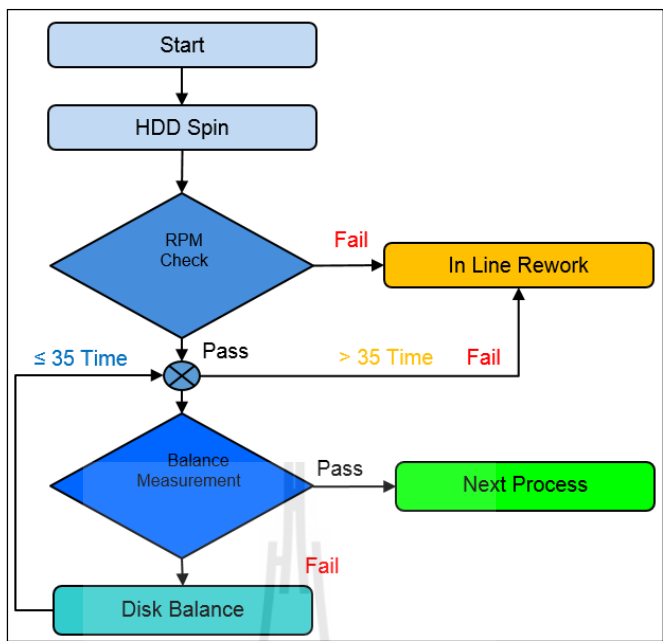
S1, S2 โดยมีมวล  $m_1$  และ  $m_2$  ตามลำดับและมีเวกเตอร์  $r_1$  และ  $r_2$ . ระนาบ S1 และ S2 คือพื้นที่ในระยะความยาว  $l$  ตามแกนสปริงเดิ้ล ระหว่างการหมุนค่าการสั่นจากอุปกรณ์จะเกิดจากการแรงบิดตามขนาดของค่าความเสี่ยสมคูล  $m_1 \cdot r_1$ ,  $m_2 \cdot r_2$  ระหว่างทั้งสองบนแนวระนาบ ดังนั้นการปรับค่าไดนามิกส์บาลานซ์คือการลดค่าของการสั่นจากแรงบิด



รูปที่ 3.16 อธิบายการปรับสมดุลแบบไดนามิกส์ บาลานซ์

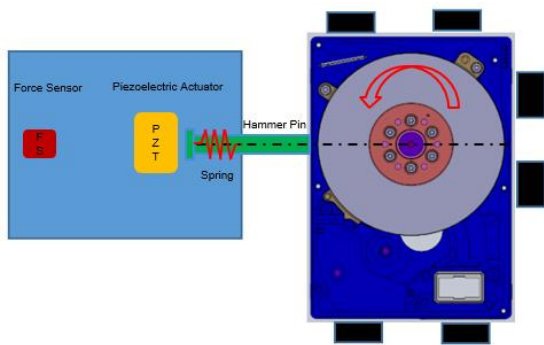
### 3.5 อธิบายกระบวนการวัดค่าความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์และทำการปรับสมดุลแผ่นดิสก์แบบสถิตย์

กระบวนการทำให้แผ่นดิสก์เกิดความสมดุลพร้อมวัดและทดสอบโดย อินพุตของกระบวนการคือ เครื่องขันสกรูทอปแคลมป์ 6 ตัวพร้อมกันที่ใช้ค่าแรงบิดที่ต่ำในช่วง 5mNm. ถึง 25mNm. ส่วนเอาต์พุตของกระบวนการคือ เครื่องขันสกรูทอปแคลมป์ 6 ตัวพร้อมกันที่ใช้ค่าแรงบิดที่สูงเท่ากับ 100mNm. +/- 10% ซึ่งจากกระบวนการปัจจุบันที่มีการกำหนดสเปคค่าความสมดุลของแผ่นดิสก์เท่ากับหรือน้อยกว่า 5 mg.cm ซึ่ง เป็น 50% ของ กระบวนการวัดและทดสอบค่าความสมดุลของฮาร์ดดิสก์คือเท่ากับหรือน้อยกว่า 10 mg.cm. โดยกระบวนการนี้เครื่องมือวัดค่าความสมดุลในการหมุนประเภท Single Plan Unbalance โดยจะสามารถวัดค่าความสมดุลได้เฉพาะสถิตย์อันบาลานซ์ ( Static Unbalance ) โดยกระบวนการนี้จะทำการวัดค่าความสมดุลในการหมุนและเกาะดังรูปที่ 3.17



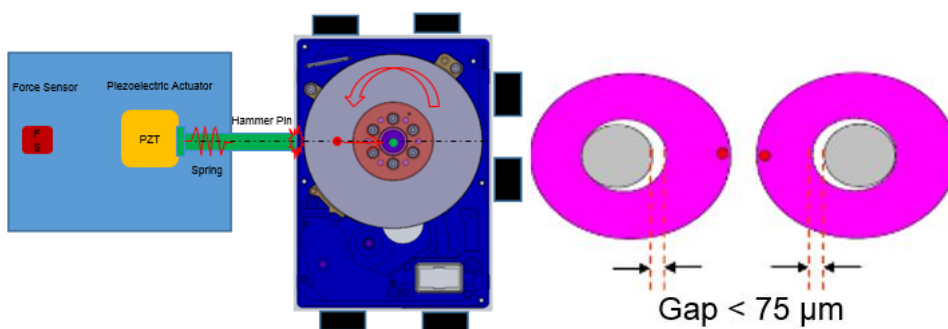
รูปที่ 3.17 แสดงแผนผังกระบวนการปรับสมดุลแผ่นดิสก์และวัดค่าความสมดุลการหมุน

โดยเริ่มต้นการทำงานเครื่องมือวัดจะทำการวัดค่าการหมุนของ Spindle Motor ให้ได้รอบที่เสถียร 5400 รอบต่อนาทีให้ได้ตามเวลาที่กำหนดคือ 3 วินาที ได้ไม่ได้รอบจะประมวลผลให้การวัดไม่ผ่านเนื่องจาก Spindle Motor ไม่หมุนหรือหมุนไม่ได้รอบตามเวลาที่กำหนด (Spindle Fail) เมื่อผ่านการวัดรอบแล้วจะทำการวัดค่าความสมดุลในการหมุนและเปรียบเทียบกับสเปคที่กำหนดถ้าได้ค่าที่มากกว่าจะทำการเคาะ เพื่อให้แผ่นดิสก์ขยับตัวเข้าสู่สมดุลแกนหมุน ซึ่งจะทำซ้ำจนค่าได้ตามสเปคหรือจำนวนรอบได้ครบ 35 ครั้ง โดยครั้งสุดท้ายถ้าไม่ได้ก็จะประมวลผลให้การวัดมีค่าที่ไม่ผ่าน (Fail Static Unbalance) ส่วนงานที่ผ่านกระบวนการทำให้แผ่นดิสก์สมดุลในแนวแกนหมุนก็จะส่งต่อไปยังกระบวนการต่อไป



รูปที่ 3.18 แสดงการหมุนของฮาร์ดดิสก์เพื่อวัดค่าความสมดุลการหมุนก่อนปรับสมดุล



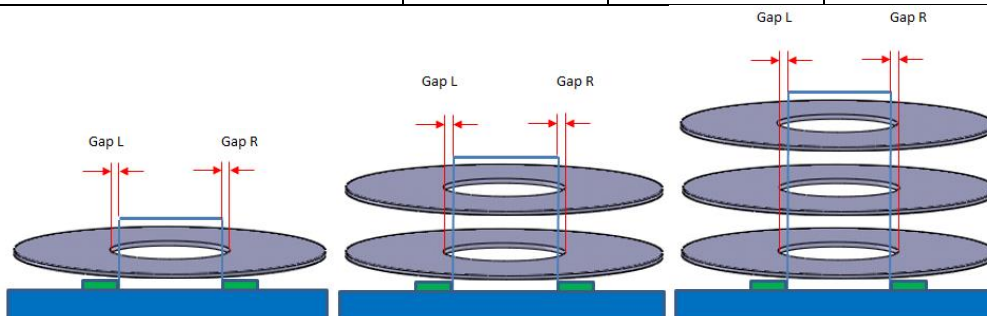


รูปที่ 3.19. แสดงการปรับสมดุลแผ่นดิสก์โดยการทำให้แผ่นดิสก์เคลื่อนตัว

ในการทำให้ดิสก์สมดุลในแนวแกนหมุนจากการเคาะนั้นจะมีระยะ Tolerance ระหว่างแผ่นดิสก์กับแกนของมอเตอร์ซึ่งสำหรับฮาร์ดดิสก์ขนาด 2.5 นิ้วที่ใช้สำหรับเซิร์ฟเวอร์ที่มีความจุตามจำนวนแผ่นดิสก์ 1 ดิสก์(1Disk), 2 ดิสก์(2Disk) และ 3 ดิสก์(3Disk) นั้นมีค่า Tolerance ที่เท่ากันดังแสดงตามตารางที่ 2.3

ตารางที่ 3.1 ระยะ Tolerance ระหว่างแผ่นดิสก์กับแกนของสปินเดิลมอเตอร์สำหรับฮาร์ดดิสก์เซิร์ฟเวอร์ฮาร์ดดิสขนาด 2.5 นิ้ว

Disk ID vs Motor Shaft OD Tolerance	HDD 1 Disk	HDD 2 Disk	HDD 3 Disk
Max Tolerance ( $\mu\text{m}$ )	75	75	75
Max Tol. / 2 ( $\mu\text{m}$ ) : Gap L = Gap R	37.5	37.5	37.5
Mean Tolerance ( $\mu\text{m}$ )	20	20	20
Mean Tol. / 2 ( $\mu\text{m}$ ) : Gap L = Gap R	10	10	10
Min Tolerance ( $\mu\text{m}$ )	15	15	15
Min Tol. / 2 ( $\mu\text{m}$ ) : Gap L = Gap R	7.5	7.5	7.5



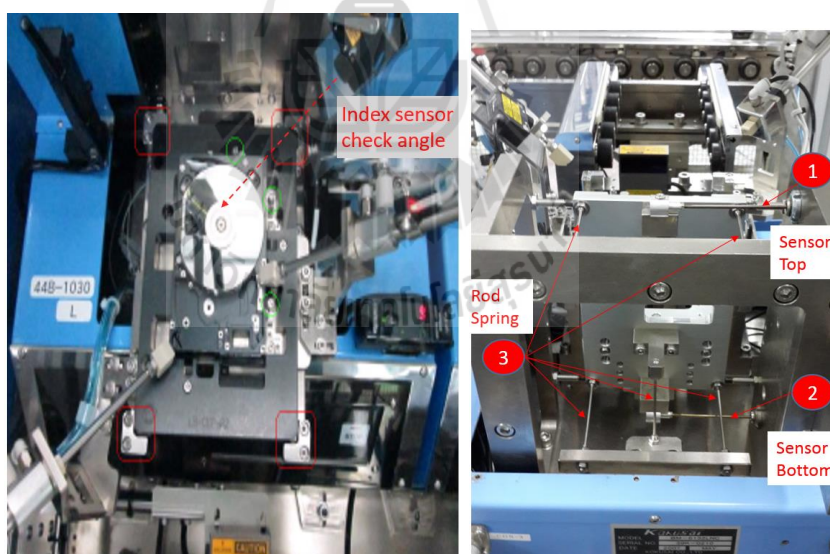
รูปที่ 3.20 แสดงระยะ Clearance ของฮาร์ดดิสก์ที่ประกอบตามจำนวนแผ่นดิสก์

โดยกระบวนการทำให้ดิสก์สมดุลในแนวแกนหมุนมีค่าความสามารถในการวัดที่ต่างกันโดยพิจารณาจากปริมาณเอาต์พุตต่ออินพุต คิดเป็นเปอร์เซ็นต์หรือที่เรียกว่า % Yield ตามจำนวนชิ้นส่วนของแผ่นดิสก์ที่ประกอบซึ่งมีผลมาจากจำนวนมวลในแนวแกนและจำนวนระนาบที่ต่างกัน

### 3.6 อธิบายกระบวนการทดสอบความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์แบบไดนามิกส์

กระบวนการวัดและทดสอบค่าความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้นมี อินพุตของกระบวนการคือ เครื่องขันสกรูทอปแคลมป์ 6 ตัวพร้อมกันที่ใช้ค่าแรงบิดเท่ากับ 100mNm. +/- 5% โดยกระบวนการนี้เครื่องมือวัดค่าความสมดุลในการหมุนจะเป็นประเภท 2 - Plan Unbalance โดยจะสามารถวัดค่าความสมดุลในการหมุนได้ทั้งสองแบบคือ

- สเตติกส์อันบาลานซ์ (Static Unbalance) โดยจะกำหนดสเปคไว้คือ  $\leq 10 \text{ mg.cm}$
- คัปเปิลอันบาลานซ์ (Couple Unbalance) โดยจะกำหนดสเปคไว้คือ  $\leq 50 \text{ mg.cm}^2$



รูปที่ 3.21 เครื่องมือวัดและทดสอบค่าความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ประเภทการวัดแบบ 2 ระนาบ ( 2 Plane Balance Tester )

REV. ( 5390 - 5410 ) 5399 min-1		REV. ( 5390 - 5410 ) 5399 min-1	
STATIC	[C]	STATIC	[C]
5.8 mgcn ( 10.1 ) 308 °	9.4 mgcn <sup>2</sup> ( 50.1 ) 176 °	17.1 mgcn ( 10.1 ) 289 °	31.3 mgcn <sup>2</sup> ( 50.1 ) 112 °
OK		NG	

รูปที่ 3.22 แสดงผลของการวัดค่าความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ทั้งแบบสเตติกส์และคัปเปิ้ล

โดยเครื่องมือวัดและทดสอบค่าความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์แบบไดนามิกส์จะมีการตรวจสอบ ที่สำคัญแบ่งออกเป็น 5 กรณีคือ

1. ค่าสเตติกบาลานซ์ (Static balance) วัดค่าไม่ผ่านตามสเปคที่กำหนดแต่อยู่ในช่วงที่สามารถใส่มวลถ่วงสมดุลย์จำนวน 1 ตัว ซึ่งจากข้อมูลในกระบวนการจะเป็น Failure rate สูงที่สุดที่จะต้องนำมาวิเคราะห์และแก้ไขเป็นอันดับแรก
2. ค่าสเตติกบาลานซ์ (Static balance) วัดค่าไม่ผ่านตามสเปคที่กำหนดแต่อยู่ในช่วงที่สามารถใส่มวลถ่วงสมดุลย์จำนวน 2 ตัว
3. ค่าสเตติกบาลานซ์ (Static balance) วัดค่าไม่ผ่านตามสเปคที่กำหนดและมีค่าไม่อยู่ในสเปคที่สามารถใส่มวลถ่วงสมดุลย์ได้
4. ค่าคัปเปิ้ลบาลานซ์ (Couple balance) วัดค่าไม่ผ่านตามสเปคที่กำหนด และไม่กำหนดให้มีการใส่มวลถ่วงสมดุลย์ เนื่องจากการปรับสมดุลไม่สามารถทำได้ในระนาบเดียว
5. สปินเคิลมอเตอร์ไม่หมุน (Spin Error) หรือหมุนไม่ได้รอบในเวลาที่กำหนด

### 3.7 หลักการถ่วงสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์และวิธีการคำนวณ

(American Hofmann Corporation, 2000)

จากหัวข้อที่ 3.2 ได้กล่าวถึงวิธีการทำให้เกิดความสมดุลแบบต่าง ๆ โดยในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์นั้นนิยมใช้การถ่วงน้ำหนักเพื่อทำให้เกิดความสมดุลในการหมุน ดังนั้นการขยายความในรายละเอียดและสมการที่เกี่ยวข้องกับการถ่วงน้ำหนักสมดุลจะอธิบายได้ในหัวข้อนี้คือ

1. Unbalance reduction ratio (URR)

$$URR = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \quad (3.24)$$

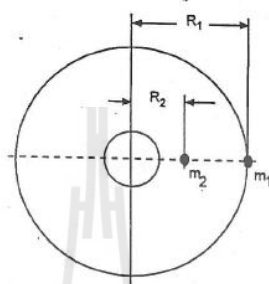
หรือ 
$$URR = 1 - \frac{U_2}{U_1} \quad (3.25)$$

โดย

$U_1$  = Amount of initial unbalance

$U_2$  = Amount of unbalance left after one correction

## 2. Determining counterweight placement on a disk drive platter



รูปที่ 3.23 อธิบายหลักการพื้นฐานในการปรับสมดุลการหมุนด้วยเม็ดเงินน้ำหนัก

$$m_2 = \frac{R_1 \times m_1}{R_2} \quad (3.26)$$

โดย

$m_1$  = Unbalance at disc radius

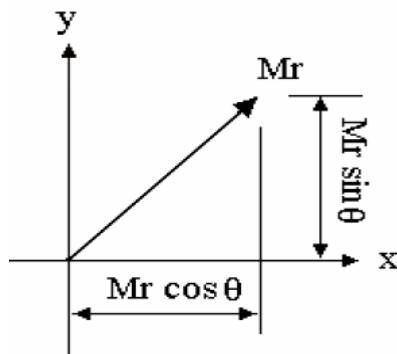
$m_2$  = Unbalance at hub radius

$R_1$  = Actual measuring radius

$R_2$  = Correction radius on hub

## 3. Vector Solution for Unbalance Correction

(BALANCING OF ROTATING MASSES, 2015)



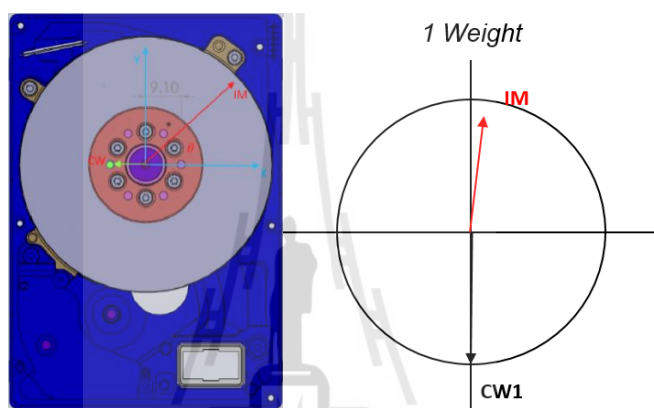
รูปที่ 3.24 อธิบาย เวกเตอร์ สำหรับใสน้ำหนักถ่วงสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์

$$Mr = \sqrt{(\sum_{i=1}^n M_i r_i \cos \theta)^2 + (\sum_{i=1}^n M_i r_i \sin \theta)^2} \quad (3.27)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{-\sum_{i=1}^n M_i r_i \sin \theta}{-\sum_{i=1}^n M_i r_i \cos \theta} \quad (3.28)$$

Unbalance due to trial weight W.

4. การถ่วงสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์กรณีใสน้ำหนักถ่วงสมดุลจำนวน 1 เม็ด



รูปที่ 3.25 อธิบายการถ่วงสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์กรณีใสน้ำหนักถ่วงสมดุลจำนวน 1 เม็ด

กำหนดให้

- IM คือ Imbalance หรือค่าการเสียสมดุลมวลจากจุดศูนย์กลางการหมุนมีหน่วยเป็น mg.cm
- มวลถ่วงสมดุลมีน้ำหนัก 10.6 mg
- ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางมวลมีค่าเท่ากับ 9.1 mm หรือ 0.91 cm
- จากสมการที่ 3.2 จะได้ CW คือ Counter Weight Imbalance Correction มวลถ่วงสมดุลตามทิศทางตรงข้ามค่าการเสียสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์เท่ากับ  $10.6 \text{ mg} \times 0.91 \text{ cm} = 9.65 \text{ mg.cm}$

พิจารณาในแนวแกน X จะได้สมการ

$$IM \times \cos \theta - CW \quad (3.29)$$

พิจารณาในแนวแกน Y จะได้สมการ

$$IM \times \sin \theta \quad (3.30)$$

กำหนดให้สเปคความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์เท่ากับ 10 mg-cm  
จะได้รับความสัมพันธ์ตามเวกเตอร์ความสมดุลในแนวแกน X-Y ตามสมการ (3.19)

$$\sqrt{([IM \times \cos \theta - CW]^2 + [IM \times \sin \theta]^2)} = 10 \quad (3.31)$$

หรือ

$$IM^2 - 2IM \times CW \cos \theta + CW^2 - 100 = 0 \quad (3.32)$$

โดยสามารถแก้สมการโดยใช้ Quadratic Equations ได้ดังนี้

กำหนดให้

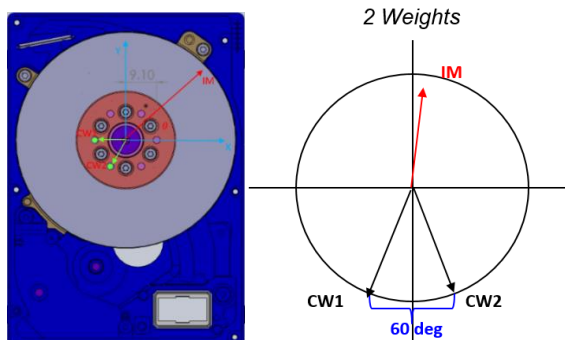
$$a = 1 \quad (3.33)$$

$$b = 2 \times (r \times W) \times \cos \theta \quad (3.34)$$

$$c = (r \times W)^2 - [Spec.]^2 \quad (3.35)$$

$$IM_{max} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (3.36)$$

5. การถ่วงสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์กรณีใช้มวลถ่วงน้ำหนักจำนวน 2 เม็ด



รูปที่ 3.26 อธิบายการถ่วงสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์กรณีใช้มวลถ่วงสมดุลจำนวน 2 เม็ด

ในกรณีจะใช้เพื่อถ่วงสมดุลมวลเมื่อความไม่สมดุลมวลมีค่ามากกว่า 10 mg-cm  
พิจารณาสมการตามแนวแกน X-Y จะได้

$$\sqrt{([IM \cos(\theta) - CW - CW \cos(60)]^2 + [IM \sin(\theta) - CW \sin(60)]^2)} = 10 \quad (3.37)$$

หรือ

$$IM^2 - IM[3CW \cos(\theta) + \sqrt{3}CW \sin(\theta)] + [3CW^2 - 100] = 0 \quad (3.38)$$

$$a = 1 \quad (3.39)$$

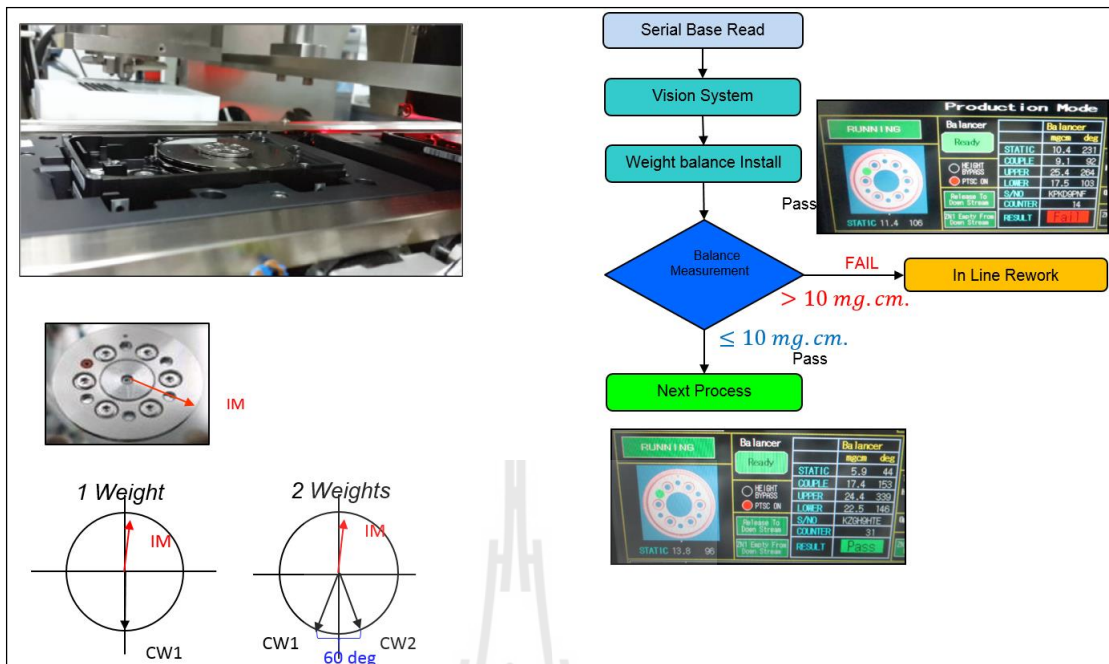
$$b = 3(R \times W) \times \cos(\theta) + \sqrt{3} \times (R \times W) \times \sin(\theta) \quad (3.40)$$

$$b = 3(R \times W) \times \cos(\theta) + \sqrt{3} \times (R \times W) \times \sin(\theta) \quad (3.41)$$

$$c = 3 \times (R \times W)^2 - [Spec.]^2 \quad (3.42)$$

$$IM_{max} = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (3.43)$$

### 3.8 อธิบายกระบวนการใส่เมล็ดถั่วหน้าเพื่อถ่วงความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ และตรวจสอบซ้ำ



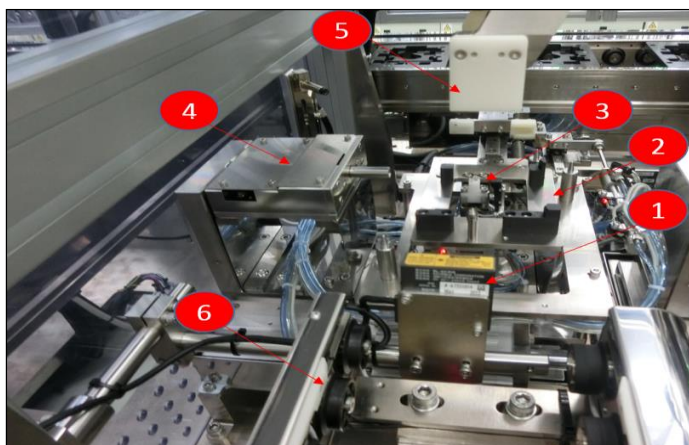
รูปที่ 3.27 แสดงกระบวนการใส่เม็ดถ่วงน้ำหนักเพื่อปรับสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์และตรวจสอบซ้ำ

กระบวนการนี้จะรับค่ามุมมองและข้อมูลในการวัดและทดสอบมาจากกระบวนการวัดค่าความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์แบบไดนามิกส์ โดยเริ่มจากการอ่านบาร์โค้ดเพื่อตรวจสอบและรับข้อมูลเมื่อได้รับข้อมูลจากระบบแล้วจะใช้กล้องความละเอียดสูงเพื่ออ่านจุดอ้างอิง ในกระบวนการตำแหน่งองศาเพื่อใส่เม็ดถ่วงน้ำหนักในมุมที่ถูกต้องด้วยเครื่องจักรจากนั้นจะทำการวัดและทดสอบซ้ำ ฮาร์ดดิสก์ที่วัดค่าความสมดุลไม่ผ่านจะส่งไปแก้ไขในกระบวนการ ส่วนฮาร์ดดิสก์ที่วัดค่าความสมดุลผ่านจะถูกส่งไปยังกระบวนการประกอบต่อไป

### 3.9 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

#### 1. เครื่องมือสำหรับปรับสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์

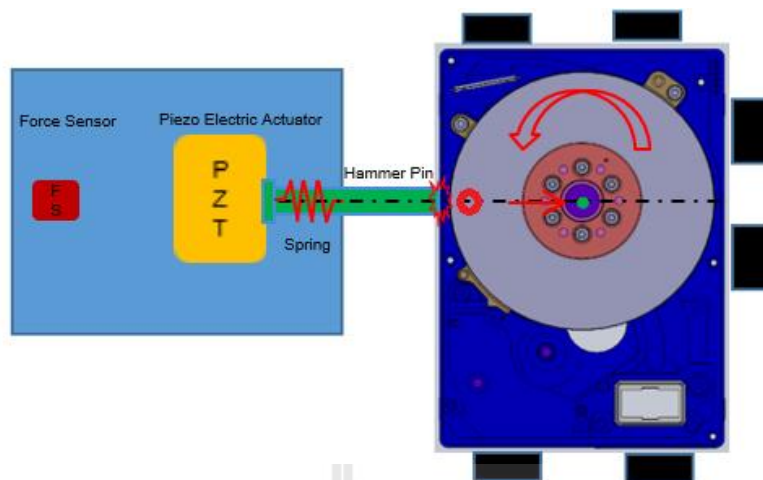




รูปที่ 3.28 แสดงรูปเครื่องมือสำหรับปรับสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์

เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับปรับสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์ รุ่น TSS-23HI5 ผลิตโดยบริษัท IMES Co., LTD ประเทศญี่ปุ่น โดยมีส่วนประกอบและหน้าที่ในการทำงานดังนี้

1. Bar code scanner เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการอ่านหมายเลขฮาร์ดดิสก์เพื่อบันทึกข้อมูลเมื่อมีการปรับความสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์
2. Fixture เป็นอุปกรณ์ที่ใช้จับยึดฮาร์ดดิสก์โดยจะมีแคลมป์ X และ Y เพื่อล็อกตัวฮาร์ดดิสก์ให้อยู่ในตำแหน่งที่กำหนด (Datum)
3. Spindle Motor Drive Connector เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ต่อสัญญาณ U,V,W เพื่อขับเคลื่อนสปินเดิลมอเตอร์ให้หมุน ตามความเร็วรอบที่กำหนดก่อนวัดค่าความสมดุลแผ่นดิสก์และทำการปรับค่าความสมดุลแผ่นดิสก์ให้ได้ตามสเปคที่กำหนด
4. Transducer & Actuator เป็นอุปกรณ์ที่วัดค่าความสมดุลการหมุนและส่งผ่านพลังงานกลเพื่อในทิศทางตรงกันข้ามของค่าความไม่สมดุลเพื่อปรับแผ่นดิสก์ให้เกิดความสมดุลในแนวแกนหมุน โดยเครื่องปรับสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์สามารถวัดค่าสัญญาณได้เฉพาะกรณีสเตติกส์บาลานซ์ได้แบบเดียว



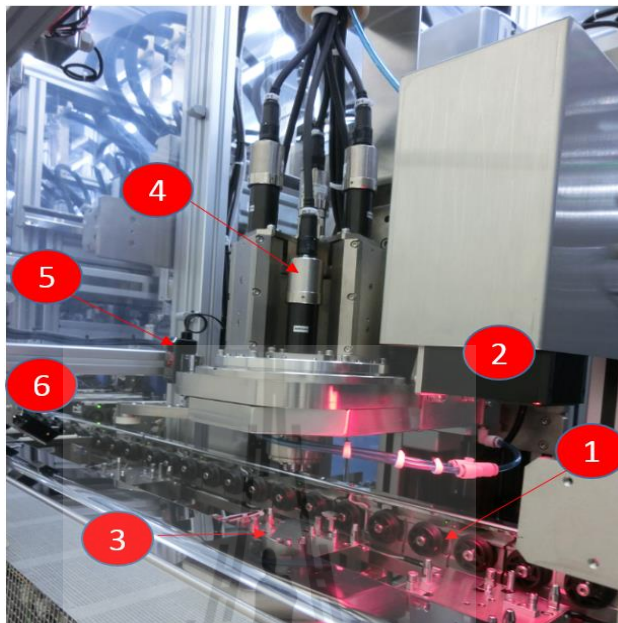
รูปที่ 3.29 แสดง Transducer & Actuator ที่ใช้ในการตรวจสอบและปรับสมดุลแผ่นดิสก์

- 4.1 Transducer ที่ใช้คือ Piezoelectric force sensor (FS) มีหน้าที่ในการทำงานคือ ตรวจจับสัญญาณการสั่นทางกลหรือการสั่นที่เกิดจากความไม่สมดุลในการหมุน ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า
- 4.2 Actuator ที่ใช้คือ Piezoelectric actuator (PZT) มีหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานทางไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล โดยการขยายตัวของ PZT และปลัดดันให้เกิดแรงเคาะไปที่ Hammer Pin

หลักการทำงานเมื่อสปริงเค็ลมอเตอร์หมุนได้ตามค่าความเร็วรอบที่กำหนดจากนั้นตัวทรานสดิวเซอร์ Piezoelectric force sensor (FS) จะทำการวัดค่าสัญญาณการสั่นทางกลหรือค่าการสั่นที่เกิดจากความไม่สมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์เพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบกับค่าสเปคที่กำหนด จากนั้นตัว แอกทูเอเตอร์ (Piezoelectric actuator) มีหน้าที่ในการเปลี่ยนพลังงานทางไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล โดยการขยายตัวของ PZT ปลัดดันให้เกิดแรงเคาะไปที่ Hammer Pin ในตำแหน่งที่ค่าความไม่สมดุลหมุนมาตรงในตำแหน่งพอดี เพื่อให้การส่งแรงปลัดดันให้เกิดการเคลื่อนตัวของแผ่นดิสก์จนทำให้เกิดความสมดุล จากนั้นเมื่อ Piezoelectric actuator หดตัวกลับมาในสภาพเดิมจากการหยุดจ่ายกระแสไฟฟ้า แรงของสปริงจะปลัดให้ Hammer Pin ถอยกลับเข้าตำแหน่งเริ่มต้น

5. Robot Arm เป็นอุปกรณ์ที่ใช้หยิบจับฮาร์ดดิสก์จากตำแหน่งรางลำเลียงชิ้นงาน (Conveyor) และ พิกเจอร์ของเครื่องปรับสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์
6. Conveyor เป็นรางลำเลียงฮาร์ดดิสก์ให้เคลื่อนที่ไปในกระบวนการผลิต

## 2. เครื่องมือสำหรับขันย้ำสกรูยึดแผ่นยึดดิสก์ (Top Clamp)



รูปที่ 3.30 แสดงรูปเครื่องมือสำหรับขันย้ำสกรูยึดแผ่นยึดดิสก์ (Top Clamp)

เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับขันย้ำสกรูยึดแผ่นยึดดิสก์ (Top Clamp) ให้แน่นด้วยค่าแรงบิดตามสเปคที่กำหนด รุ่น SN402-020 ผลิตโดยบริษัท SANKEI EAGLE SINGAPORE PTE. LTD ประเทศสิงคโปร์ โดยมีส่วนประกอบและหน้าที่ในการทำงานดังนี้

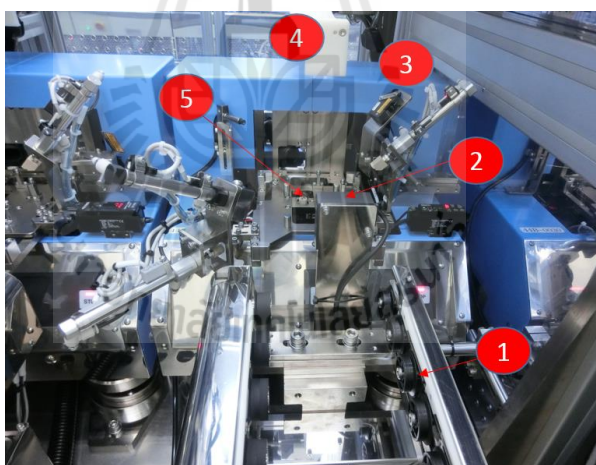
1. Conveyor เป็นรางลำเลียงฮาร์ดดิสก์ให้เคลื่อนที่ไปในกระบวนการผลิต
2. Vision System เป็นกล่องความละเอียดสูงพร้อม Lighting Source เพื่อใช้ในการประมวลผลภาพและตรวจจับตำแหน่งสกรูยึดแผ่นดิสก์ (Top Clamp)
3. Fixture & Clamp เป็นอุปกรณ์จับยึดฮาร์ดดิสก์ให้อยู่ในตำแหน่งอ้างอิง X, Y, Z (Datum)
4. Electric Driver ไบควงไฟฟ้าทั้ง 6 ตัวใช้สำหรับขันสกรูยึดแผ่นยึดดิสก์ (Top Clamp) ให้แน่น ด้วยการขันสกรูที่พร้อมกันโดยควบคุมด้วยซีแควนเซอร์คอนโทรลเลอร์ โดยมีรายละเอียดของอุปกรณ์ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดอุปกรณ์สำหรับการขึ้นสกรู

ชื่ออุปกรณ์	รุ่น / โมเดล	จำนวน
1. ไชควงไฟฟ้า (Electric Driver )	Model H-6000A-U	6 ตัว
2. คอนโทรลเลอร์ ( Electric Driver Controller )	Technart Controller Model FEDIIIfw	6 ตัว
3. Synchronizer Controller	Model MSTC-S Synchronizing	1 ตัว

5. Height Check Sensor เป็น เซ็นเซอร์ชนิด LVDT (Linear Variable Differential Transformer) เป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบความสูงของสกรูเมื่อขันย้าเสร็จแล้ว
6. Bar code scanner เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการอ่านหมายเลขบาร์คอดีส์ก์เพื่อบันทึกข้อมูลเมื่อมีการขันย้าสกรูผ่านแล้ว

### 3. เครื่องมือสำหรับตรวจสอบความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์



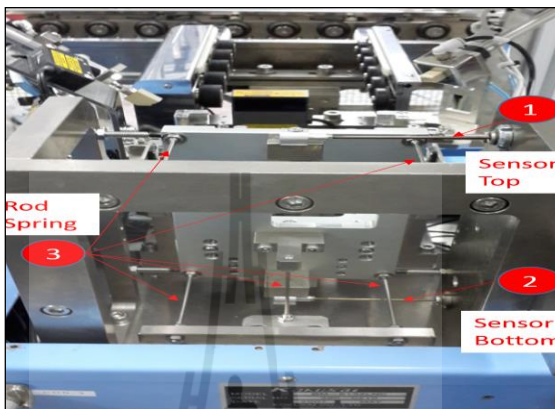
รูปที่ 3.31 แสดงรูปเครื่องมือสำหรับตรวจสอบความสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์

เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับตรวจสอบความสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์ รุ่น BM-6132CB ผลิตโดยบริษัท KOKUSAI Co., LTD ประเทศญี่ปุ่น โดยมีส่วนประกอบและหน้าที่ในการทำงาน ดังนี้

1. Conveyor เป็นรางลำเลียงฮาร์ดดิสก์ให้เคลื่อนที่ไปในกระบวนการผลิต

2. Fixture & Clamp เป็นอุปกรณ์จับยึดฮาร์ดดิสก์ให้อยู่ในตำแหน่งอ้างอิง X, Y, Z (Datum) และตัว Fixture จะต่อไปยัง Vibration Sensor 2 ตัว คือ Sensor 1 (Top Sensor) และ Sensor 2 (Bottom Sensor) และมี Rod spring 6 ตัว ต่อยึด Fixture กับ Base Plate ที่มีหน้าที่เป็น Suspension เพื่อป้องกันแรงสั่นสะเทือนจากภายนอกดังรูปที่ ก.5

3.



รูปที่ 3.32 แสดงรูปทรานดิวเซอร์และสปริงสำหรับใช้วัดค่าความไม่สมดุลในการหมุนฮาร์ดดิสก์

เครื่องมือวัดค่าความไม่สมดุลในการหมุนฮาร์ดดิสก์ประเภทนี้เรียกว่า 2-Plan Balancer Tester เนื่องจากมี Vibration Transducer 2 ตัว ซึ่งสามารถวัดค่าความไม่สมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ได้ 2 แบบ คือ

1. สเตติกส์ บาลานซ์ ( Static Balance )
2. คัปเปิ้ล บาลานซ์ ( Couple Balance )

### 3.10 การเปรียบเทียบเครื่องมือตรวจสอบค่าความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์

1. การเปรียบเทียบเครื่องมือปรับสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์  
( Disk Balancer Tester )
2. การเปรียบเทียบเครื่องมือตรวจสอบความสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์แบบ 2 ระนาบ  
( 2-Plane Balancer Tester )

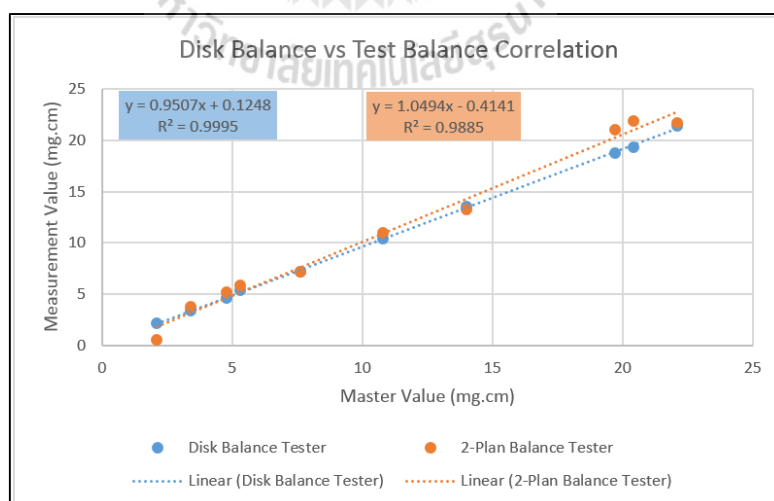
การเปรียบเทียบและวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือปรับสมดุลการหมุนแผ่นดิสก์และเครื่องมือตรวจสอบความสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์แบบ 2 ระนาบเนื่องจากเครื่องมือวัดทั้งสองรุ่นมีความสามารถในการวัดค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ได้

เหมือนกันเฉพาะกรณีการวัดค่าสัญญาณสถิติกส์อันบาลานซ์ (Static Unbalance) ดังนั้นจะพิจารณาการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ค่าของการวัดเฉพาะสถิติกส์บาลานซ์ตามตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.3 แสดงผลการเปรียบเทียบเพื่อวิเคราะห์ค่าสหสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือปรับ

สมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์และเครื่องมือตรวจสอบความสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์

Master (mg.cm)	Disk Balance Tester (mg.cm)	2-Plan Balance Tester (mg.cm)
2.1	2.1	0.5
3.4	3.3	3.8
4.8	4.6	5.2
5.3	5.4	5.9
7.6	7.1	7.2
10.8	10.4	11.0
14	13.5	13.3
19.7	18.7	21.0
20.4	19.3	21.9
22.1	21.4	21.7



รูปที่ 3.33 แสดงค่าสหสัมพันธ์ระหว่างเครื่องมือปรับสมดุลการหมุนแผ่นดิสก์และเครื่องมือตรวจสอบความสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์

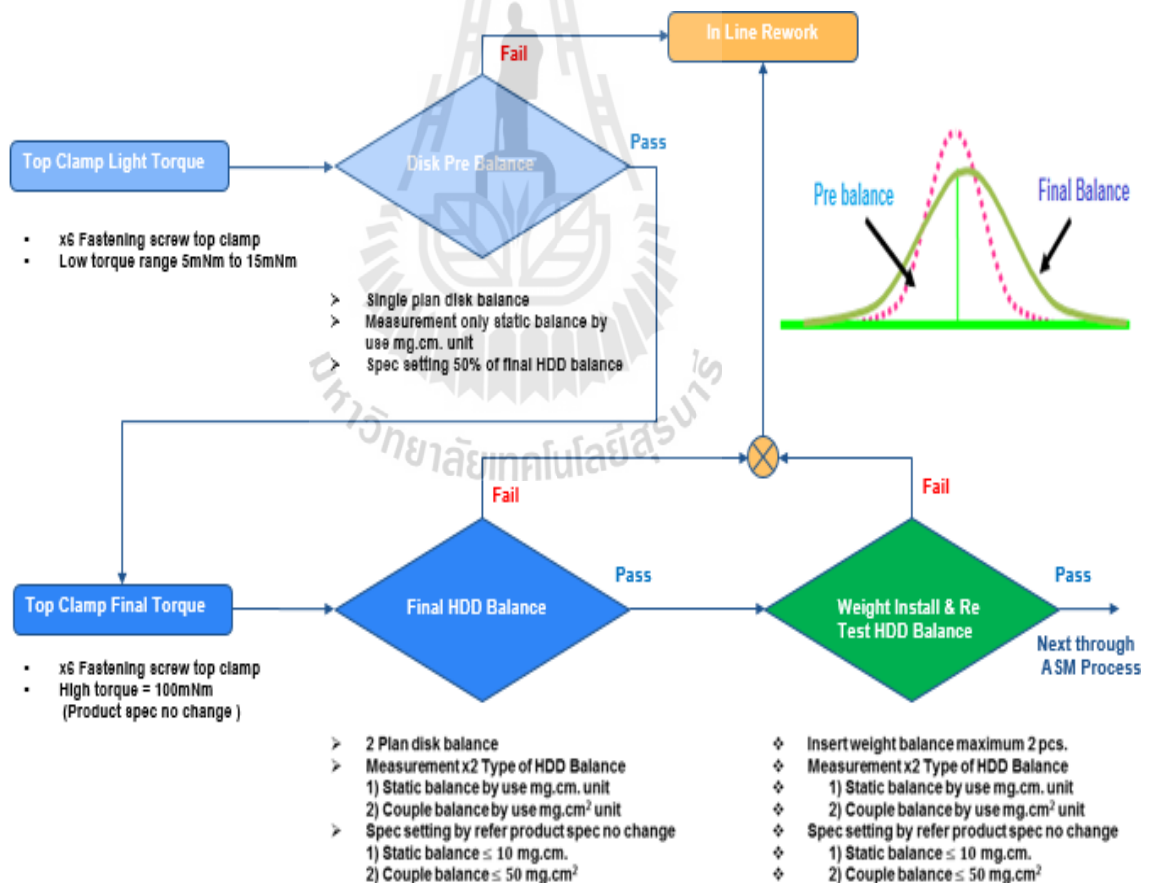


## บทที่ 4

### การวิเคราะห์ตัวแปรและกระบวนการทำให้เกิดความสมดุล ในการหมุนของฮาร์ดดิสก์

#### 4.1 การวิเคราะห์กระบวนการและความสามารถในการทำให้เกิดความสมดุลในการ หมุนของฮาร์ดดิสก์ตามจำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบ

ในกระบวนการทำให้เกิดความสมดุลพร้อมวัดทดสอบค่าความสมดุลในการหมุนของ  
บริษัทเอชจีเอสที (ประเทศไทย) จำกัด สามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กระบวนการทำให้เกิดความสมดุลและวัดทดสอบค่าความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์

จากรูปที่ 4.1 จะเป็นรายละเอียดของกระบวนการทำให้เกิดความสมดุลและวัดทดสอบค่าความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ โดยจะมีการลำเลียงชิ้นงานในกระบวนการ (Process Flow) โดยสามารถแยกกระบวนการออกเป็นสามส่วนที่สำคัญคือ

4.1.1 กระบวนการขันสกรูเพื่อยึดติดแผ่นฮาร์ดดิสก์ (Top Clamp) เข้ากับสปินเดิลมอเตอร์กับแผ่นดิสก์ ด้วยค่าแรงบิดต่ำ (Top Clamp Light Torque) หรือแบบหลวม ๆ ทำให้แผ่นดิสก์สามารถขยับตัวได้

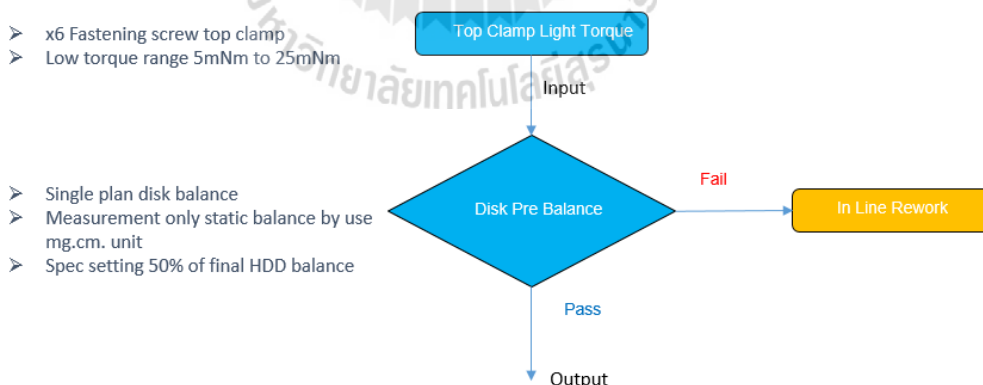
4.1.2 กระบวนการทำให้เกิดความสมดุลของแผ่นดิสก์พร้อมวัดทดสอบค่าความสมดุลแบบสเตติกส์ (Disk Pre-Balance)

4.1.3 กระบวนการขันสกรูเพื่อยึดติดแผ่นฮาร์ดดิสก์ (Top Clamp) ให้แน่นเข้ากับสปินเดิลมอเตอร์กับแผ่นดิสก์ ด้วยค่าแรงบิดครั้งสุดท้ายตามสเปคที่กำหนด (Top Clamp Final Torque)

4.1.4 กระบวนการวัดและทดสอบค่าความสมดุลแบบไดนามิกส์ (Static & Couple Balance Test)

4.1.5 กระบวนการทำให้สมดุลโดยเพิ่มมวลถ่วงน้ำหนักและวัดทดสอบค่าความสมดุลซ้ำ (Weight Install & Re Test HDD Balance)

กระบวนการที่ 4.1 เป็นอินพุตของกระบวนการที่ 4.2 ตามรูปที่ 4.2 ซึ่งมีผลโดยตรงในการเกิดความสมดุลของแผ่นดิสก์พร้อมวัดทดสอบค่าความสมดุลแบบสเตติกส์



รูปที่ 4.2 อธิบายอินพุตและเอาต์พุตของกระบวนการดิสก์บาลานซ์

โดยเมื่อกำหนดให้สเปคในกระบวนการของอินพุตมีค่าคงที่เหมือนกันทุกประเภทของฮาร์ดดิสก์ที่ประกอบ แต่พบว่าเมื่อจำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบมีจำนวนต่างกัน ส่งผลทำให้เกิดความสามารถในกระบวนการที่ต่างกันสามารถอธิบายได้ดังนี้

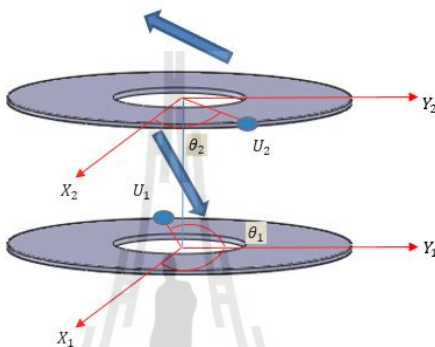




ข้างรองจากแบบ 1-Plan Disk Balance ในการทำให้แผ่นดิสก์สมดุล โดยการให้แผ่นดิสก์เคลื่อนตัวสามารถทำให้เกิดการเคลื่อนตัวเพื่อปรับสมดุลได้ 2 ค่า อันบาลานซ์ คือ  $U_1$  และ  $U_2$  โดยแบ่งได้เป็น 2 กรณีคือ

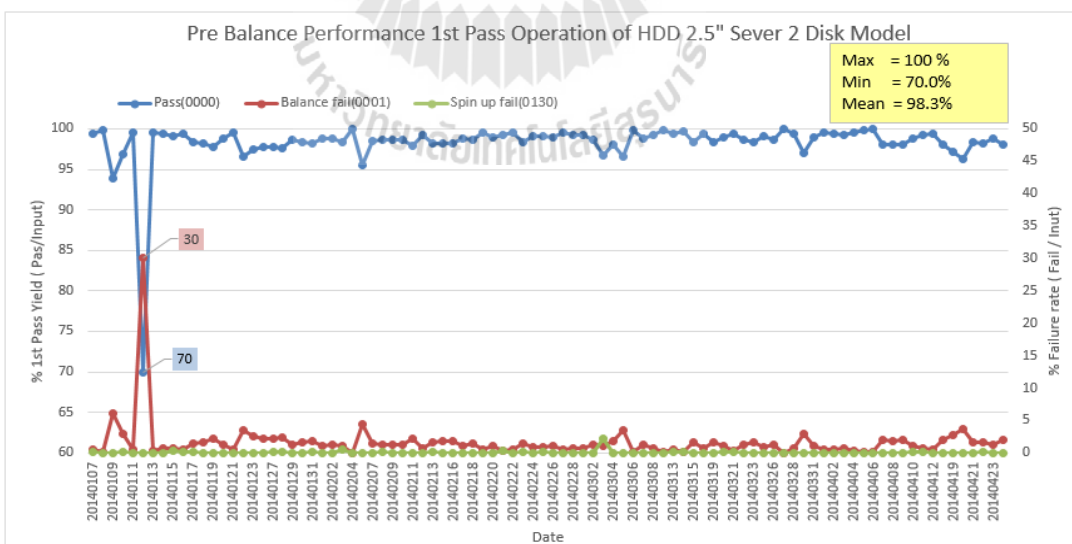
กรณีที่ 1 กรณีที่  $U_1$  มีการเคลื่อนตัว แต่  $U_2$  ไม่เคลื่อนตัวก็จะสามารถทำให้เกิดการปรับสมดุลในแนวแกน

กรณีที่ 2 กรณีที่  $U_2$  เคลื่อนตัวแต่  $U_1$  ไม่เคลื่อนตัวก็จะสามารถทำให้เกิดการปรับสมดุลในแนวแกน



รูปที่ 4.4 2 – Plane Disk Balance

กราฟที่ 4.2 แสดงความสามารถในกระบวนการปรับสมดุลแผ่นดิสก์ที่ผ่านการวัดครั้งแรกของฮาร์ดดิสก์ประเภท 2 ดิสก์



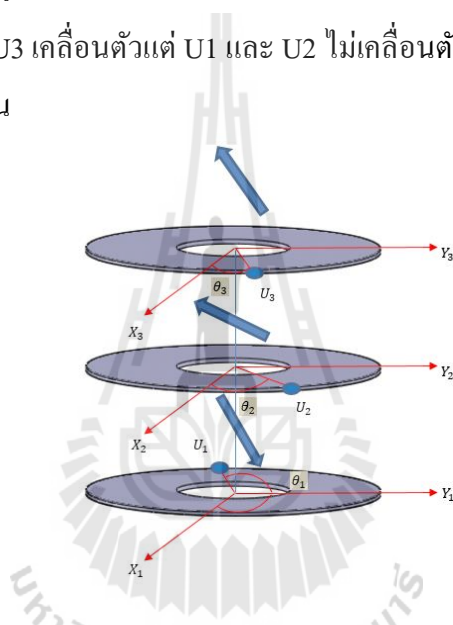
จากกราฟที่ 4.2 จะเห็นว่าความสามารถในการปรับสมดุลแผ่นดิสก์ที่ผ่านการวัดครั้งแรกของฮาร์ดดิสก์ประเภท 2 ดิสก์จะมีผลของการวัดค่าความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านเฉลี่ยสูงถึง 98% ซึ่งผ่านเกณฑ์การควบคุมที่ตั้งไว้ที่ 95% สำหรับ 1<sup>st</sup> Level และ 98% สำหรับ 2<sup>nd</sup> Level

3. 3-Plan Disk Balance ระบบจะเป็นแบบปรับสมดุลแผ่นดิสก์ 3 ระนาบเป็นระบบที่ง่ายกว่าระบบ 2-Plan Disk Balance และ ระบบ 1-Plan Disk Balance ในการทำให้แผ่นดิสก์สมดุลโดยการให้แผ่นดิสก์เคลื่อนตัว ซึ่งสามารถทำให้เกิดการเคลื่อนตัวเพื่อปรับสมดุลได้ 3 ค่า อันบาลานซ์คือ  $U_1$ ,  $U_2$  และ  $U_3$  โดยแบ่งได้เป็น 3 กรณีคือ

กรณีที่ 1 กรณีที่  $U_1$  เคลื่อนตัวแต่  $U_2$  และ  $U_3$  ไม่เคลื่อนตัวก็จะสามารถทำให้เกิดการปรับสมดุลในแนวแกน

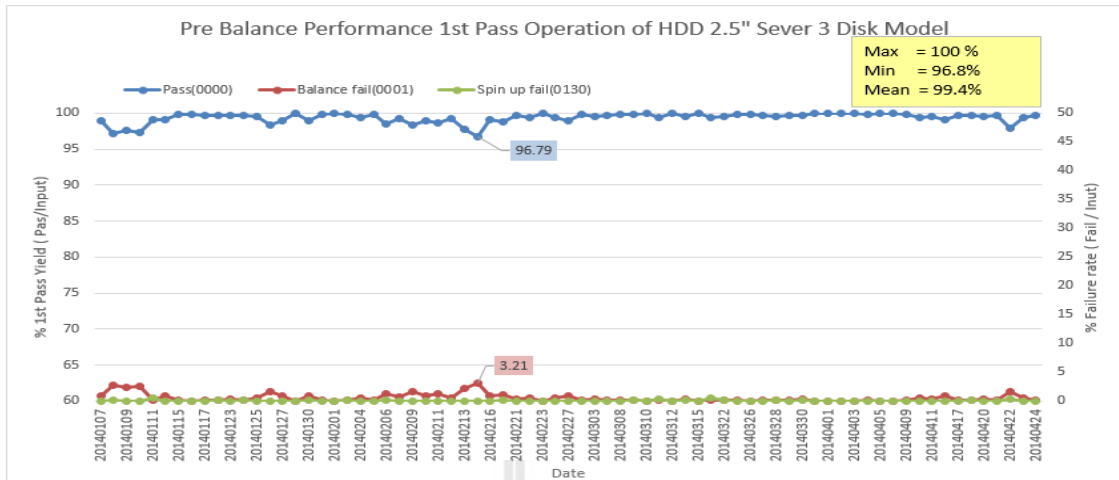
กรณีที่ 2 กรณีที่  $U_2$  เคลื่อนตัวแต่  $U_1$  และ  $U_3$  ไม่เคลื่อนตัวก็จะสามารถทำให้เกิดการปรับสมดุลในแนวแกน

กรณีที่ 3 กรณีที่  $U_3$  เคลื่อนตัวแต่  $U_1$  และ  $U_2$  ไม่เคลื่อนตัวก็จะสามารถทำให้เกิดการปรับสมดุลในแนวแกน



รูปที่ 4.5 3 – Plan Disk Balance

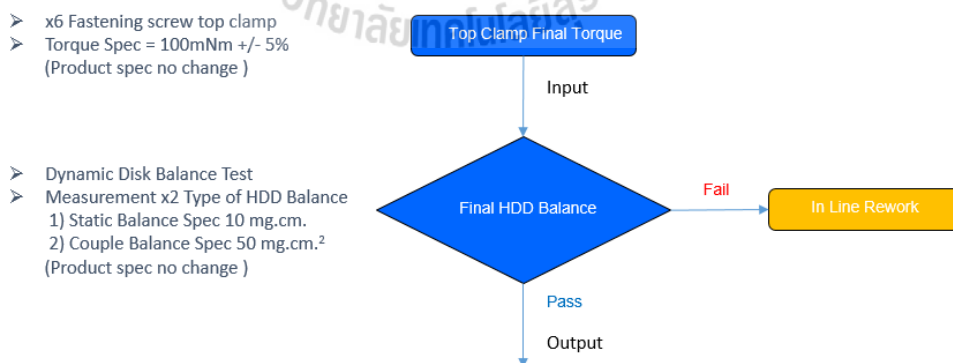
กราฟที่ 4.3 แสดงความสามารถในกระบวนการปรับสมดุลแผ่นดิสก์ที่ผ่านการวัดครั้งแรกของฮาร์ดดิสก์ประเภท 3 ดิสก์



จากกราฟที่ 4.3 จะเห็นว่าความสามารถในการปรับสมดุลแผ่นดิสก์ที่ผ่านการวัดค่าครั้งแรกของฮาร์ดดิสก์ประเภท 3 ดิสก์จะมีผลของการวัดค่าความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านเฉลี่ยสูงถึง 99.4% โดยมีค่าสูงกว่าฮาร์ดดิสก์ประเภท 2 ดิสก์และ 1 ดิสก์ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์การควบคุมที่ตั้งไว้ทั้ง 1<sup>st</sup> Level > 95% และ 2<sup>nd</sup> Level > 98%

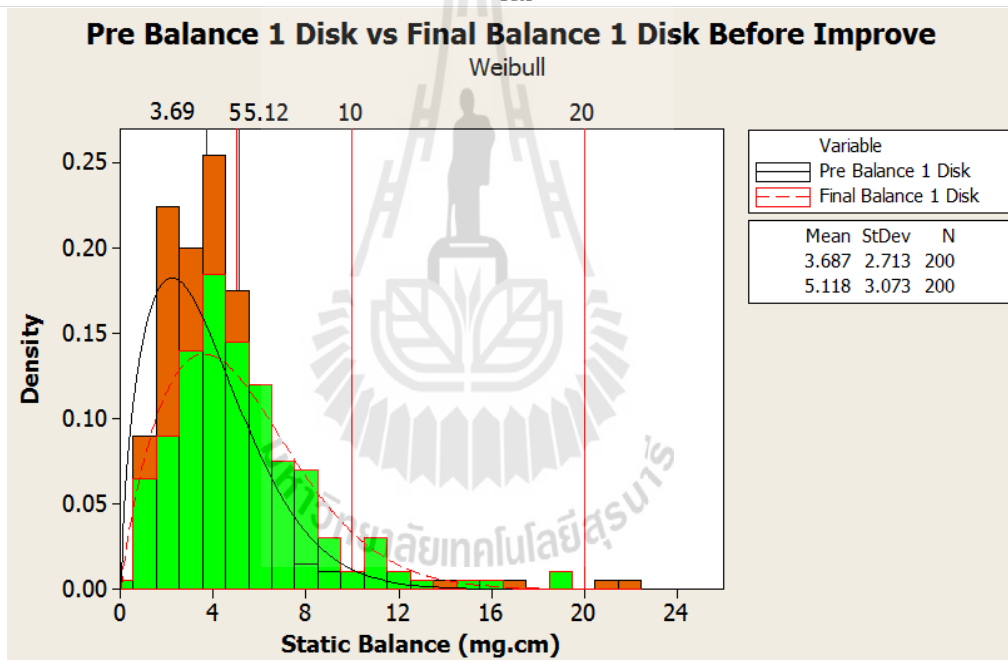
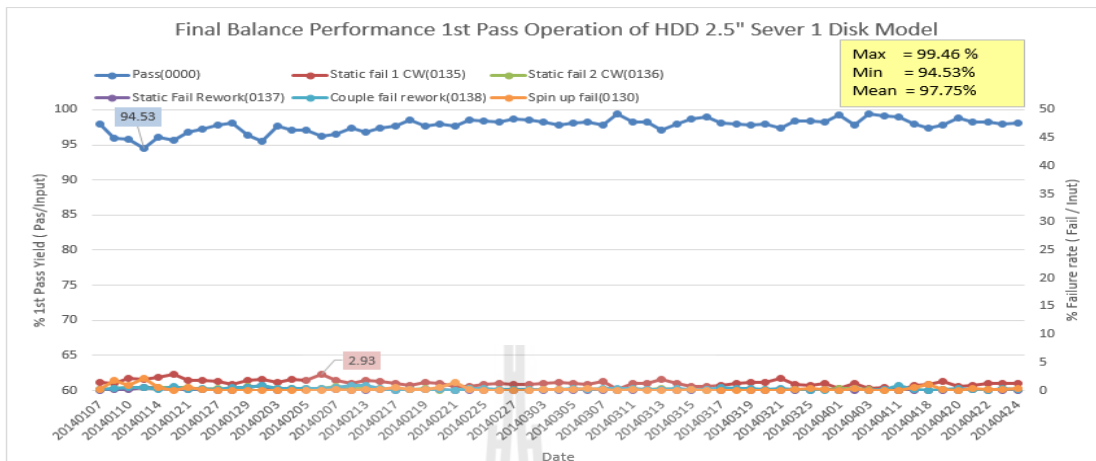
#### 4.2 การวิเคราะห์กระบวนการและการวัดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ตามจำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบหลังจากขันย้าสกรูแน่นด้วยค่าแรงบิดสุดท้าย (Top Clamp Screw Final Torque)

ตามสเปคที่กำหนด อ้างอิงกระบวนการตามรูปที่ 4.1 ซึ่งกระบวนการวัดและทดสอบความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์นั้นมีอินพุตและเอาต์พุตในกระบวนการตามรูปที่ 4.6

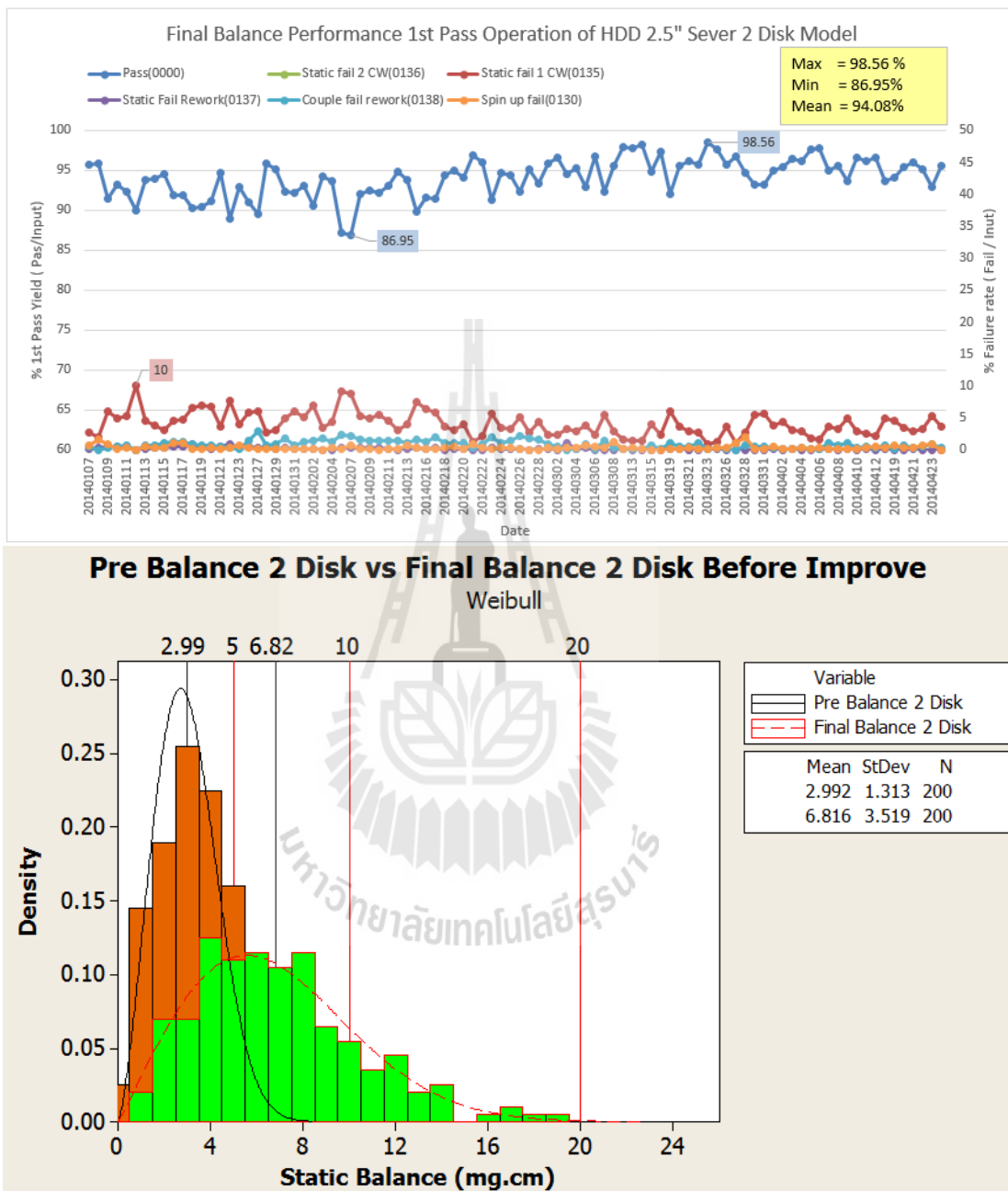


รูปที่ 4.6 อธิบายอินพุตและเอาต์พุตของกระบวนการวัดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์หลังจากขันย้าสกรูแน่นด้วยค่าแรงบิดสุดท้ายตามสเปคที่กำหนด

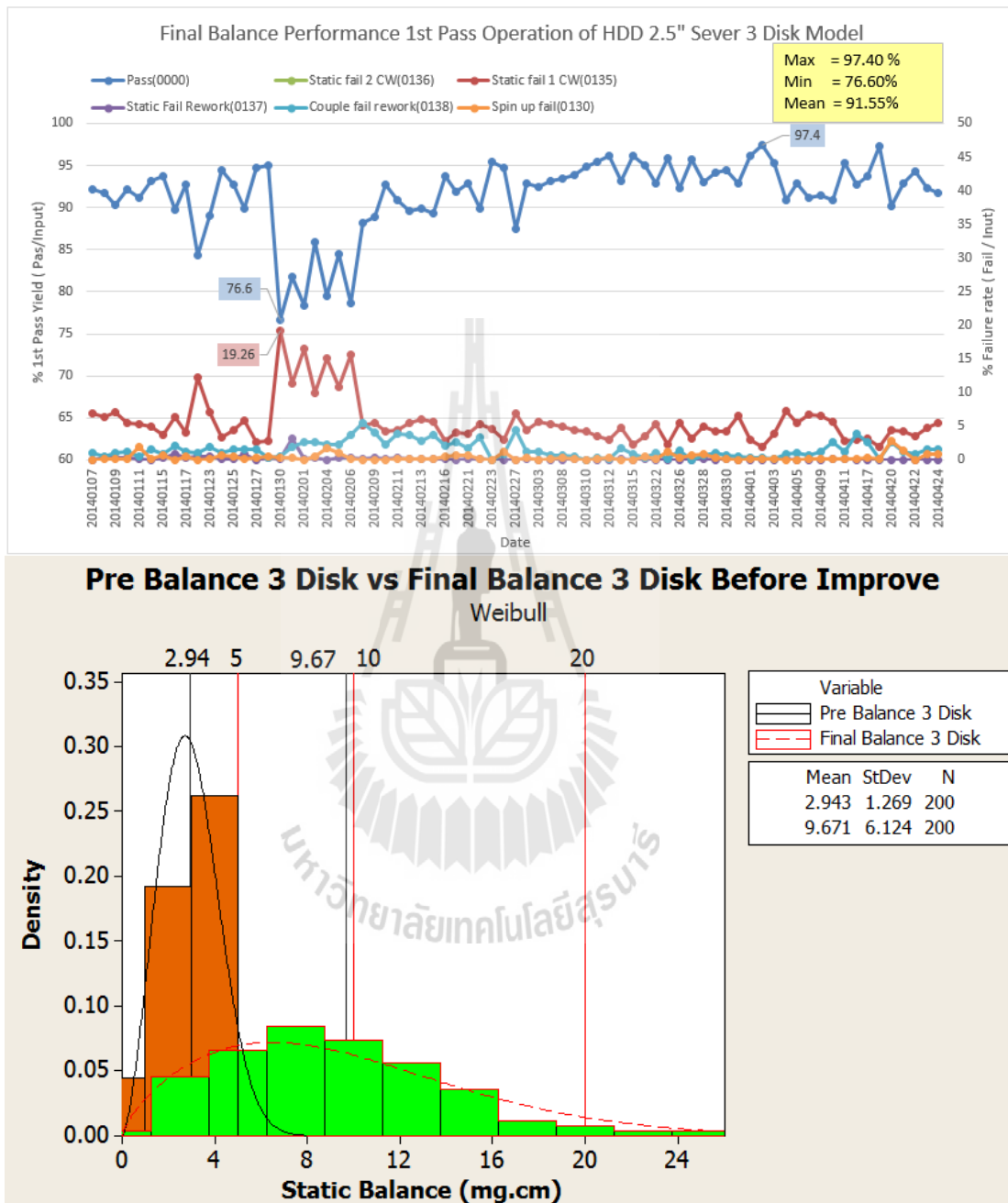
กราฟที่ 4.4 แสดงความสามารถในกระบวนการวัดค่าความสมดุลแผ่นดิสก์ที่ผ่านการวัดค่าครั้งแรก หลังจากขันย้าสกรูให้แน่นของฮาร์ดดิสก์ประเภท 1 ดิสก์



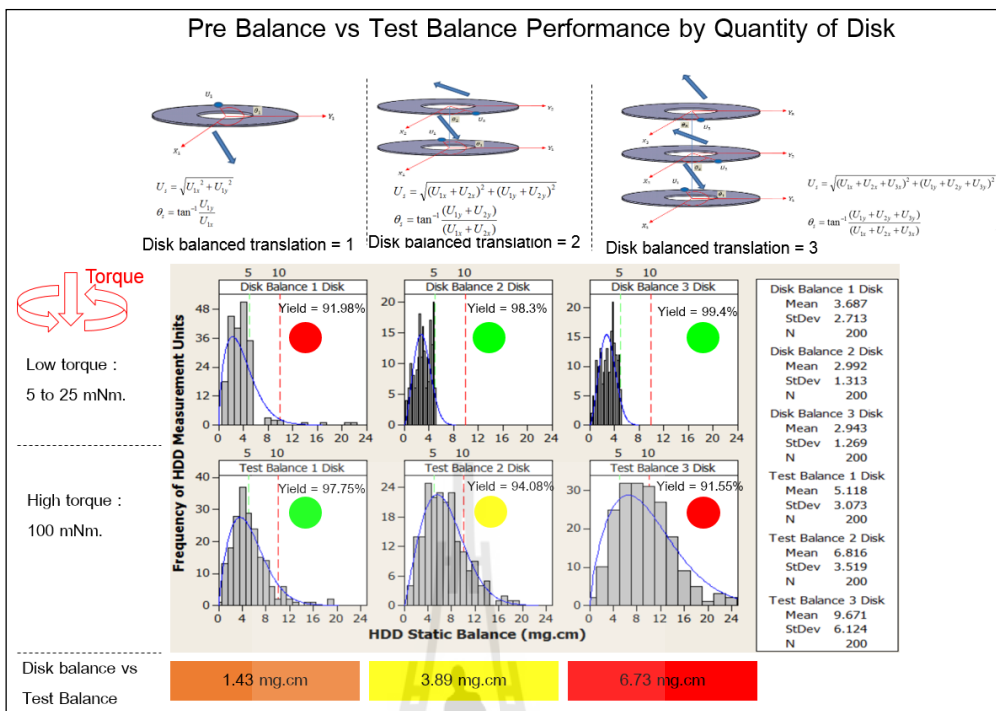
กราฟที่ 4.5 แสดงความสามารถในกระบวนการวัดค่าความสมดุลแผ่นดิสก์ที่ผ่านการวัดค่าครั้งแรกของฮาร์ดดิสก์ประเภท 2 ดิสก์



กราฟที่ 4.6 แสดงความสามารถในกระบวนการวัดค่าความสมดุลแผ่นดิสก์ที่ผ่านการวัดค่าครั้งแรกของฮาร์ดดิสก์ประเภท 3 ดิสก์



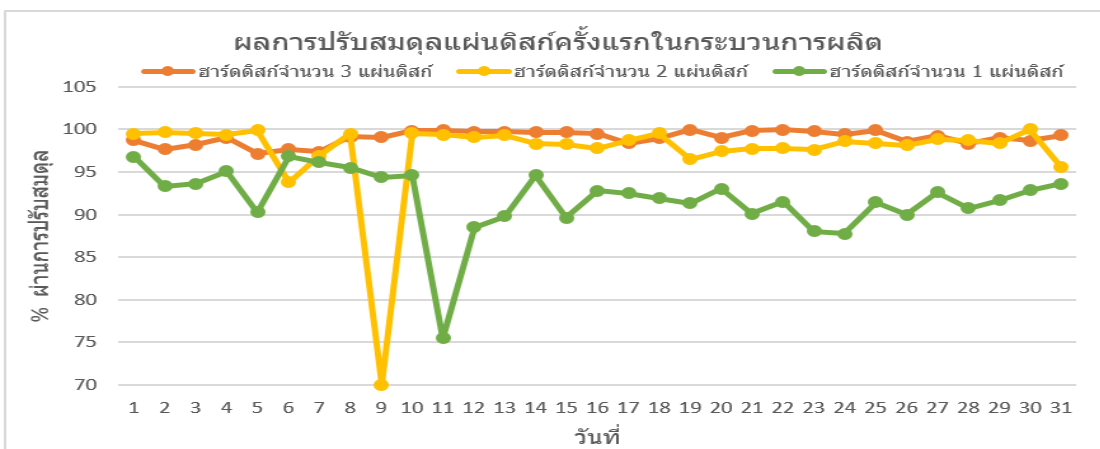
สรุปผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลการปรับสมดุลแผ่นดิสก์และการวัดค่าความสมดุลแผ่นดิสก์ซ้ำหลังจากขันย้าสกรูยึดแผ่นยึดดิสก์ (Top Clamp) ให้แน่นก่อนการปรับปรุงกระบวนการ



รูปที่ 4.7 แสดงข้อมูลความสามารถในกระบวนการปรับปรุงด้วยวิธีการทางสถิติ

- อัตราส่วนของฮาร์ดดิสก์ที่วัดค่าความสมดุลผ่านครั้งแรกต่ออินพุตในกระบวนการตามจำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบ หลังจากปรับสมดุลแผ่นดิสก์ จะเห็นว่า “ความสามารถในการปรับสมดุลแผ่นดิสก์ทำได้ดี เมื่อมีจำนวนแผ่นดิสก์ที่มากขึ้น ”

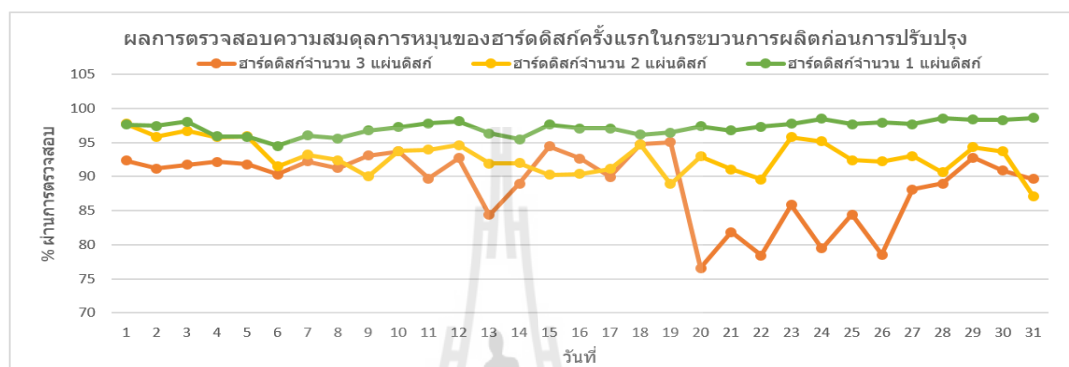
กราฟที่ 4.7 แสดงความสามารถของการบวนการปรับสมดุลแผ่นดิสก์ตามจำนวนแผ่นดิสก์





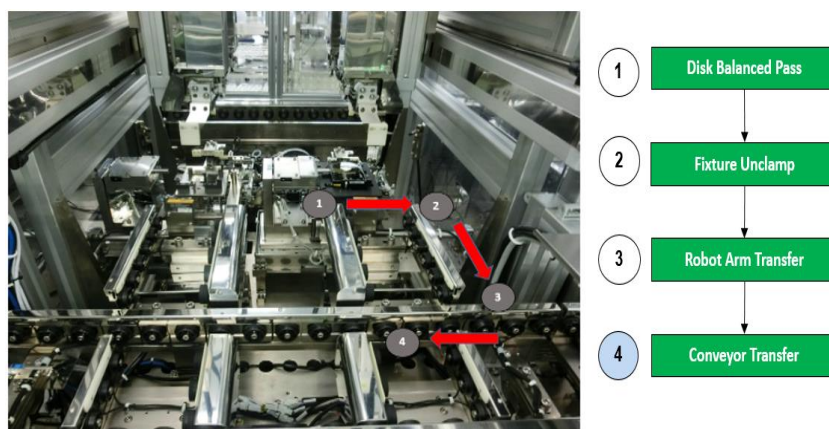
- อัตราส่วนของฮาร์ดดิสก์ที่วัดค่าความสมดุลผ่านครั้งแรกต่ออินพุตในกระบวนการตามจำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบ หลังจากขึ้นย៉าสกรูแน่น จะเห็นว่า “ จำนวนแผ่นดิสก์ที่มากจะมีแนวโน้มการเสียสมดุลได้ง่ายจากแรงการขึ้นย៉าสกรู”

กราฟที่ 4.8 แสดงความสามารถของการบวนการวัดค่าสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์ตามจำนวนแผ่นดิสก์



### 4.3 การวิเคราะห์หาการเคลื่อนที่ในกระบวนการ (Process Mapping) ที่มีผลต่อค่าสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์หลังจากกระบวนการปรับสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์

4.4.1 การวิเคราะห์หาการเคลื่อนที่ของค่าความสมดุลการหมุนแบบสเตติกส์หลังผ่านกระบวนการที่ 4 วิธีการทดสอบ นำกลุ่มตัวอย่างฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านการทำให้แผ่นดิสก์สมดุลและวัดค่าความสมดุลแบบสเตติกส์ผ่านการเคลื่อนที่ตามกระบวนการที่ 4 จากนั้นนำกลุ่มตัวอย่างงานมาวัดค่าซ้ำที่เครื่องมือวัดตัวเดียวกัน



รูปที่ 4.8 แสดงการเคลื่อนที่หลังจากปรับสมดุลการหมุน ครั้งที่ 1 ถึง ครั้งที่ 4

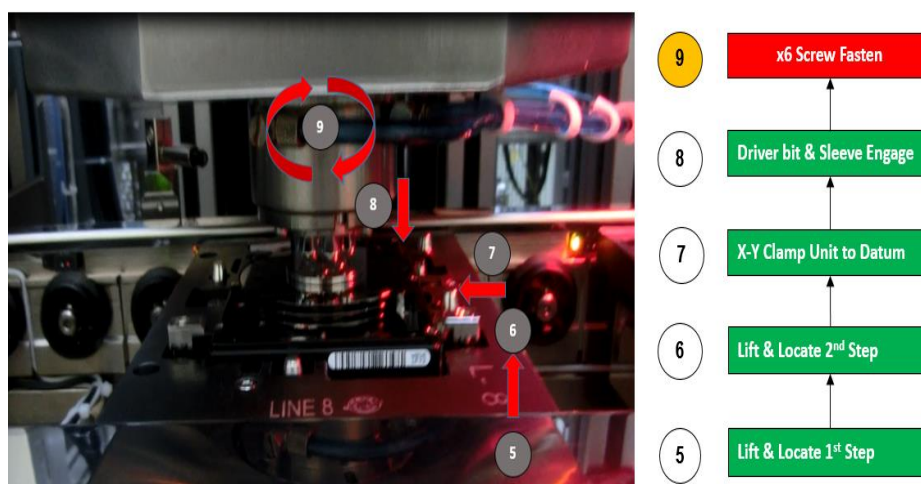
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของค่าสมดุลการหมุนแบบสถิติกส์หลังผ่านการเคลื่อนที่ใน  
กระบวนการที่ 4

Sample	Pass Disk Balance	Re-Measure	Balance Shift
(N)	( mg*cm)	(mg*cm)	(mg*cm)
1	0.9	0.8	-0.1
2	2.9	2.9	0.0
3	1.5	1.5	0.0
4	0.6	0.7	0.1
5	2.2	2.2	0.0
6	2.8	2.9	0.1
7	3.0	2.9	-0.1
8	1.3	1.2	-0.1
9	1.9	1.9	0.0
10	2.9	2.9	0.0

Max	0.1
Min	-0.1
Range	0.2

ผลการทดสอบ ตามหัวข้อ 4.4.1 มีค่าการเคลื่อนตัวของค่าสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์น้อยกว่า 5%

4.4.2 การวิเคราะห์หาการเคลื่อนตัวของค่าสถิติกส์บาลานซ์หลังผ่านกระบวนการที่ 5  
วิธีการทดสอบ นำกลุ่มตัวอย่างฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านการทำให้แผ่นดิสก์สมดุลและวัดค่าความสมดุลแบบ  
สถิติกส์ผ่านการเคลื่อนที่ตามกระบวนการที่ 5 จากนั้นนำกลุ่มตัวอย่างงานมาวัดค่าซ้ำที่เครื่องมือวัด  
ตัวเดียวกัน



รูปที่ 4.9 แสดงการเคลื่อนที่ในกระบวนการขั้นย้ายสกรู ครั้งที่ 5 ถึง ครั้งที่ 9

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของค่าความสมดุลแผ่นดิสก์แบบสเตติกส์หลังผ่านการเคลื่อนที่  
ในกระบวนการที่ 5

Sample	Pass Disk Balance	Re-Measure	Balance Shift
(N)	( mg*cm)	(mg*cm)	(mg*cm)
1	0.9	0.8	-0.1
2	2.9	2.9	0.0
3	1.5	1.5	0.0
4	0.6	0.7	0.1
5	2.2	2.2	0.0
6	2.8	2.9	0.1
7	3.0	3.0	0.0
8	1.3	1.2	-0.1
9	1.9	1.9	0.0
10	2.9	2.9	0.0

Max	0.1
Min	-0.1
Range	0.2

ผลการทดสอบ ตามหัวข้อ 4.4.2 มีค่าการเคลื่อนตัวของค่าสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์น้อยกว่า 5%

4.4.3 การวิเคราะห์หาการเคลื่อนตัวของค่าสเตติกส์บาลานซ์หลังผ่านกระบวนการที่ 6  
วิธีการทดสอบนำกลุ่มตัวอย่างฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านการทำให้แผ่นดิสก์สมดุลและวัดค่าความสมดุลแบบ  
สเตติกส์ผ่านการเคลื่อนที่ตามกระบวนการที่ 6 จากนั้นนำกลุ่มตัวอย่างงานมาวัดค่าซ้ำที่เครื่องมือวัด  
ตัวเดียวกัน

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของค่าความสมดุลแผ่นดิสก์แบบสเตติกส์หลังผ่านการเคลื่อนที่  
ในกระบวนการที่ 6

Sample	Pass Disk Balance	Re-Measure	Balance Shift
(N)	( mg*cm)	(mg*cm)	(mg*cm)
1	0.9	0.9	0.0
2	2.9	2.9	0.0
3	1.5	1.5	0.0
4	0.6	0.6	0.0
5	2.2	2.3	0.1
6	2.8	2.9	0.1
7	3.0	3.0	0.0
8	1.3	1.3	0.0
9	1.9	1.9	0.0

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของค่าความสมดุลแผ่นดิสก์แบบสเตติกส์หลังผ่านการเคลื่อนที่  
ในกระบวนการที่ 6 (ต่อ)

Sample	Pass Disk Balance	Re-Measure	Balance Shift
(N)	( mg*cm)	(mg*cm)	(mg*cm)
10	2.9	2.9	0.0

Max	0.1
Min	0.0
Range	0.1

ผลการทดสอบ ตามหัวข้อ 4.4.3 มีค่าการเคลื่อนตัวของค่าสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ตัวน้อย  
กว่า 5%

4.4.4 การวิเคราะห์หาการเคลื่อนตัวของค่าสเตติกส์บาลานซ์หลังผ่านกระบวนการที่ 7  
วิธีการทดสอบ นำกลุ่มตัวอย่างฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านการทำให้แผ่นดิสก์สมดุลและวัดค่าความสมดุลแบบ  
สเตติกส์ผ่านการเคลื่อนที่ตามกระบวนการที่ 7 จากนั้นนำกลุ่มตัวอย่างงานมาวัดค่าซ้ำที่เครื่องมือวัด  
ตัวเดียวกัน

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของค่าความสมดุลแผ่นดิสก์แบบสเตติกส์หลังผ่านการเคลื่อนที่  
ในกระบวนการที่ 7

Sample	Pass Disk Balance	Re-Measure	Balance Shift
(N)	( mg*cm)	(mg*cm)	(mg*cm)
1	0.9	0.8	-0.1
2	2.9	2.9	0.0
3	1.5	1.5	0.0
4	0.6	0.7	0.1
5	2.2	2.2	0.0
6	2.8	2.9	0.1
7	3.0	2.9	-0.1
8	1.3	1.2	-0.1
9	1.9	1.9	0.0
10	2.9	2.9	0.0

Max	0.1
Min	-0.1
Range	0.2

ผลการทดสอบ ตามหัวข้อ 4.4.4 มีค่าการเคลื่อนตัวของค่าสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์น้อยกว่า 5%

4.4.5 การวิเคราะห์หาการเคลื่อนตัวของค่าสเตติกส์บาลานซ์หลังผ่านกระบวนการที่ 8 วิธีการทดสอบ นำกลุ่มตัวอย่างฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านการทำให้แผ่นดิสก์สมดุลและวัดค่าความสมดุลแบบสเตติกส์ผ่านการเคลื่อนที่ตามกระบวนการที่ 8 จากนั้นนำกลุ่มตัวอย่างงานมาวัดค่าซ้ำที่เครื่องมือวัดตัวเดียวกัน

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของค่าความสมดุลแผ่นดิสก์แบบสเตติกส์หลังผ่านการเคลื่อนที่ในกระบวนการที่ 8

Sample	Pass Disk Balance	Re-Measure	Balance Shift
(N)	(mg*cm)	(mg*cm)	(mg*cm)
1	0.9	0.8	-0.1
2	2.9	2.9	0.0
3	1.5	1.5	0.0
4	0.6	0.7	0.1
5	2.2	2.2	0.0
6	2.8	2.8	0.0
7	3.0	3.0	0.0
8	1.3	1.3	0.0
9	1.9	1.9	0.0
10	2.9	2.9	0.0

Max	0.1
Min	-0.1
Range	0.2

ผลการทดสอบ ตามหัวข้อ 4.4.5 มีค่าการเคลื่อนตัวของค่าสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์น้อยกว่า 5%

4.4.6 การวิเคราะห์หาการเคลื่อนตัวของค่าสเตติกส์บาลานซ์หลังผ่านกระบวนการที่ 9 วิธีการทดสอบ นำกลุ่มตัวอย่างฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านการทำให้แผ่นดิสก์สมดุลและวัดค่าความสมดุลแบบสเตติกส์ผ่านการเคลื่อนที่ตามกระบวนการที่ 9 จากนั้นนำกลุ่มตัวอย่างงานมาวัดค่าซ้ำที่เครื่องมือวัดตัวเดียวกัน

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าการเคลื่อนตัวของค่าความสมดุลแผ่นดิสก์แบบสเตติกส์หลังผ่านการเคลื่อนที่  
ในกระบวนการที่ 9

Sample	Pass Disk Balance	Re-Measure	Balance Shift
(N)	( mg*cm)	(mg*cm)	(mg*cm)
1	0.9	5.3	4.4
2	2.9	5.1	2.2
3	1.5	5.2	3.7
4	0.6	1.8	1.2
5	2.2	7.7	5.5
6	2.8	9.4	6.6
7	3.0	4.2	1.2
8	1.3	2.8	1.5
9	1.9	4.8	2.9
10	2.9	4.2	1.3

Max	6.6
Min	1.2
Range	5.4

ผลการทดสอบ ตามหัวข้อ 4.4.6 มีค่าการเคลื่อนตัวของค่าสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์  
มากกว่า 185%

สรุปผลการวิเคราะห์หาการเคลื่อนตัวของค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์หลังจาก  
กระบวนการปรับสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์พบว่า

1. แผ่นดิสก์เมื่อปรับสมดุลแล้ว ในการเคลื่อนที่ของฮาร์ดดิสก์ในกระบวนการภายในเครื่อง  
ปรับสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์ การเคลื่อนที่ลำดับที่ 1 ถึง 4 ไม่ทำให้แผ่นดิสก์เคลื่อนตัว โดย  
กำหนดให้มีการควบคุมแรง Shock ที่กระทำในทุก ๆ การเคลื่อนที่น้อยกว่า 60 G

2. กระบวนการขันย้าสกรูในการเคลื่อนที่เพื่อจับยึดฮาร์ดดิสก์ลำดับที่ 5 ถึง 8 ไม่ทำให้  
แผ่นดิสก์เคลื่อนตัว โดยกำหนดให้มีการควบคุมแรง Shock ที่กระทำในทุก ๆ การเคลื่อนที่ น้อยกว่า  
60 G แต่เมื่อมีการขันย้าสกรูให้แน่นด้วยค่าแรงบิด 100 mNm. พบว่า ค่าความสมดุลของแผ่นดิสก์มี  
การเปลี่ยนแปลง มากกว่าเดิม 6.6 mg.cm.

เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดค่าและทดสอบในกระบวนการแล้วจะทำการ  
ปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดการเคลื่อนตัวของค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ระหว่าง  
กระบวนการปรับสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์ (Disk Balance Test ) กับกระบวนการวัดและ

ทดสอบค่าความสมดุลการหมุนของฮาร์ดดิสก์แบบไดนามิกส์ ( Static and Couple Balance Test )  
ตามวิธีการปรับปรุงกระบวนการจากผลการทดลองในบทที่ 5 ต่อไป



## บทที่ 5

### การทดลองและผลการทดลอง

#### 5.1 การทดลองปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคสำหรับทดสอบวัดค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์

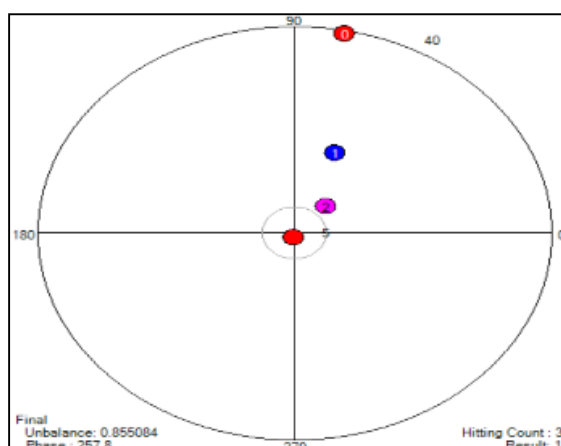
5.1.1 การทดลองปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 5 มิลลิกรัม-เซ็นติเมตร สำหรับทดสอบวัดค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์

วิธีการทดลอง ทำการปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 5 มิลลิกรัม-เซ็นติเมตร ในตัวควบคุมของเครื่องปรับความสมดุลของแผ่นดิสก์ จากนั้นทำการเก็บข้อมูลการวัดและทดสอบฮาร์ดดิสก์จำนวน 200 ชิ้นงาน

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ในการปรับการเคลื่อนตัวของแผ่นดิสก์ โดยใช้สเปค 5 มิลลิกรัม-เซ็นติเมตร

Hitting Count :	3	Unbalance Spec :	5	Result Status :	1 ( Balance success )	
Sampling Number :	90	First Unbalance :	39.357859	Final Unbalance :	0.855084	
Trigger Delay :	71	First Phase :	78.65	Final Phase :	257.75	
	STRENGTH	UB(MEAS)	PHASE(MEAS)	UB(DISTANCE)	UB(P-P)	CONTROL
1	7	16.737949	68.01	23.110781	39.560793	0
2	6	7.110760	46.94	10.428945	17.194399	0
3	5	0.855084	257.75	7.772424	7.086628	0



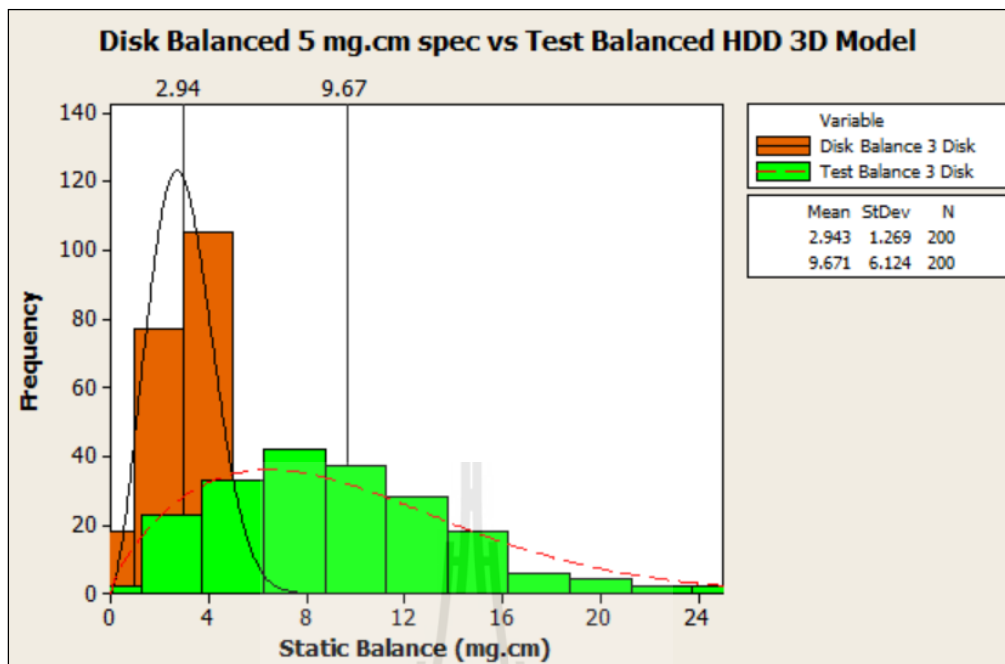


รูปที่ 5.1 แสดงการปรับความสมดุลของแผ่นดิสก์ด้วยสเปค 5 มิลลิกรัม-เซนติเมตร

ผลการทดลอง ความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 9.671 mg.cm. ซึ่งส่งผลให้มีฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านการวัดครั้งแรกอยู่ที่ 72.5% ตามตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 แสดงผลการทดลองในการปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 5 มิลลิกรัม-เซนติเมตร

Sample	Disk Balance Spec	Disk Balance Yield	Test Balance Yield	Balance Shift
(N)	( mg*cm)	(%)	(%)	( mg*cm)
200	5	99.4%	72.5%	6.728



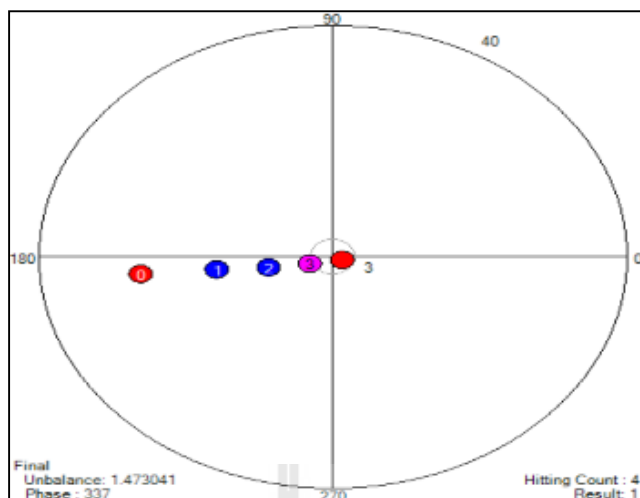
กราฟที่ 5.1 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลความสมดุลขอบแผ่นดิสก์และการวัดทดสอบด้วยสเปค 5 มิลลิกรัม-เซนติเมตร

5.1.2 การทดลองปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 3 มิลลิกรัม-เซนติเมตร สำหรับทดสอบวัดค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์

วิธีการทดลอง ทำการปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 3 มิลลิกรัม-เซนติเมตร ในตัวควบคุมของเครื่องปรับความสมดุลของแผ่นดิสก์ จากนั้นทำการเก็บข้อมูลการวัดและทดสอบฮาร์ดดิสก์จำนวน 200 ชิ้นงาน

ตารางที่ 5.3 แสดงค่าความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ในการปรับการเคลื่อนตัวของแผ่นดิสก์โดยใช้สเปค 3 มิลลิกรัม-เซนติเมตร

Hitting Count :	4	Unbalance Spec :	3	Result Status :	1 ( Balance success )	
Sampling Number :	90	First Unbalance :	26.261463	Final Unbalance :	1.473041	
Trigger Delay :	71	First Phase :	186.55	Final Phase :	336.99	
	STRENGTH	UB(MEAS)	PHASE(MEAS)	UB(DISTANCE)	UB(P-P)	CONTROL
1	7	15.901301	188.02	10.457233	26.311651	0
2	7	8.880201	192.19	7.024648	16.223842	0
3	6	3.303469	201.62	5.614177	9.211233	0
4	5	1.473041	336.99	4.480618	3.333863	0

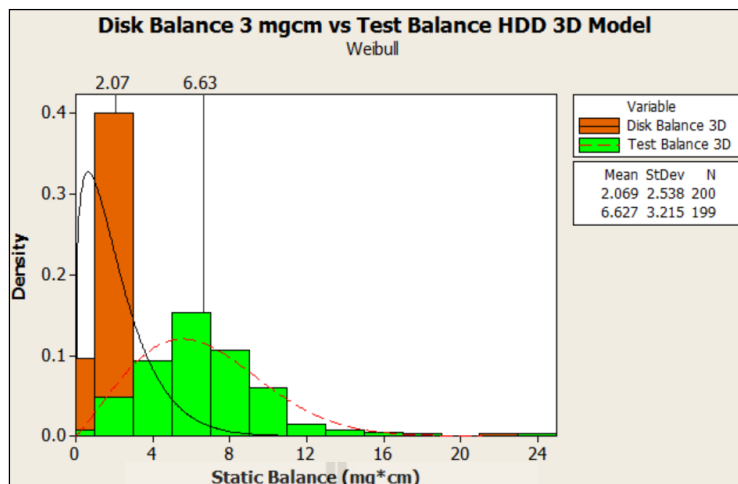


รูปที่ 5.2 แสดงการปรับความสมดุลของแผ่นดิสก์ด้วยสเปค 3 มิลลิกรัม-เซนติเมตร

ผลการทดลอง ความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 6.627 mg.cm. ซึ่งส่งผลให้มีฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านการวัดครั้งแรกอยู่ที่ 87.5% ตามตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 แสดงผลการทดลองในการปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 3 มิลลิกรัม-เซนติเมตร

Sample	Disk Balance Spec	Disk Balance Yield	Test Balance Yield	Balance Shift
(N)	( mg*cm)	(%)	(%)	( mg*cm)
200	3	98.5%	87.5%	4.558



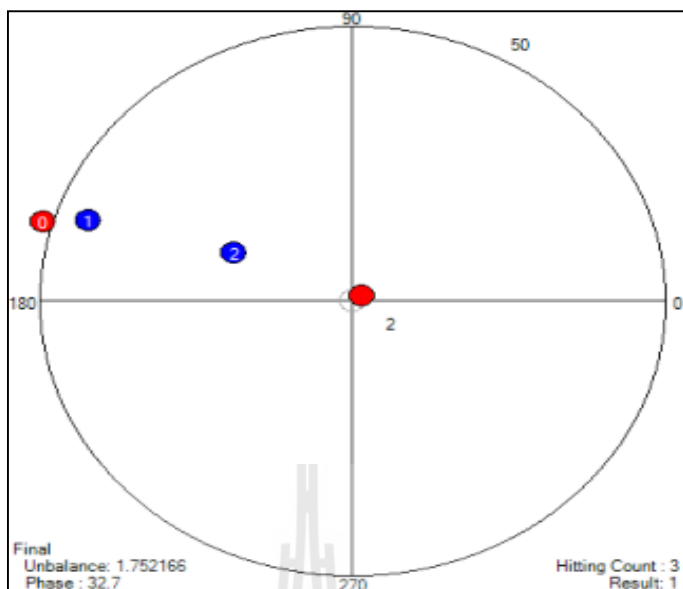
กราฟที่ 5.2 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลความสมดุลของแผ่นดิสก์และการวัดทดสอบ ด้วยสเปค 3 มิลลิกรัม-เซนติเมตร

5.1.3 การทดลองปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 2 มิลลิกรัม-เซนติเมตร สำหรับทดสอบ วัดค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์

วิธีการทดลอง ทำการปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 2 มิลลิกรัม-เซนติเมตร ในตัวควบคุมของ เครื่องปรับความสมดุลของแผ่นดิสก์ จากนั้นทำการเก็บข้อมูลการวัดและทดสอบฮาร์ดดิสก์จำนวน 200 ชิ้นงาน

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ในการปรับการเคลื่อนตัวของแผ่นดิสก์ โดยใช้สเปค 2 มิลลิกรัม-เซนติเมตร

Hitting Count :	3	Unbalance Spec:	2	Result Status:	1 ( Balance success )	
Sampling Number :	90	First Unbalance :	51.533405	Final Unbalance :	1.752166	
Trigger Delay :	71	First Phase :	163.76	Final Phase :	32.71	
STRENGTH	UB(MEAS)	PHASE(MEAS)	UB(DISTANCE)	UB(P-P)	CONTROL	
1	7	44.729119	160.88	7.308787	45.326546	0
2	7	20.918007	155.24	23.897389	44.247047	0
3	6	1.752166	32.71	21.914195	21.304593	0

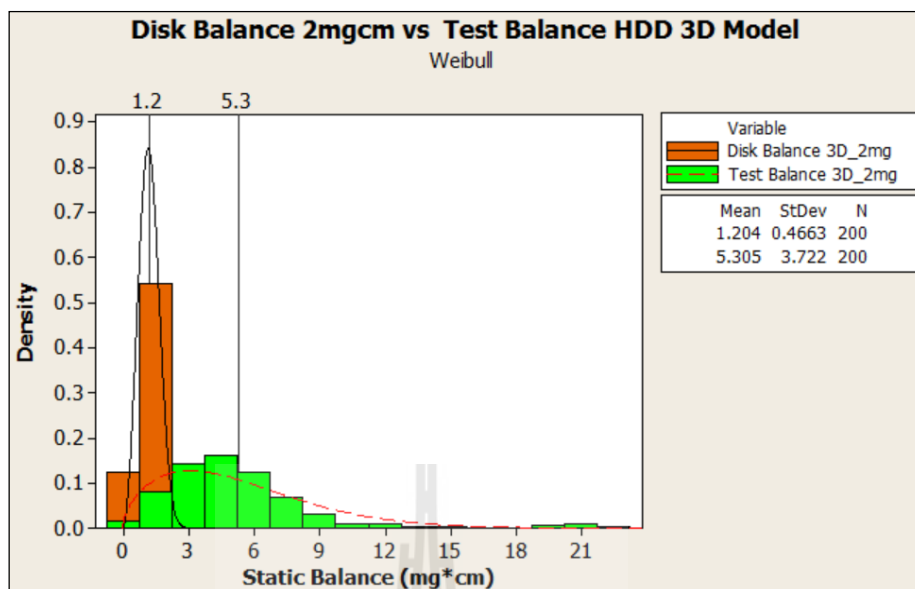


รูปที่ 5.3 แสดงการปรับความสมดุลของแผ่นดิสก์ด้วยสเปค 2 มิลลิกรัม-เซนติเมตร

ผลการทดลอง ความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.305 mg.cm. ซึ่งส่งผลให้มีฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านการวัดครั้งแรกอยู่ที่ 93.0% ตามตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 แสดงผลการทดลองในการปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 2 มิลลิกรัม-เซนติเมตร

Sample	Disk Balance Spec	Disk Balance Yield	Test Balance Yield	Balance Shift
(N)	( mg*cm)	(%)	(%)	( mg*cm)
200	2	100%	93%	4.101

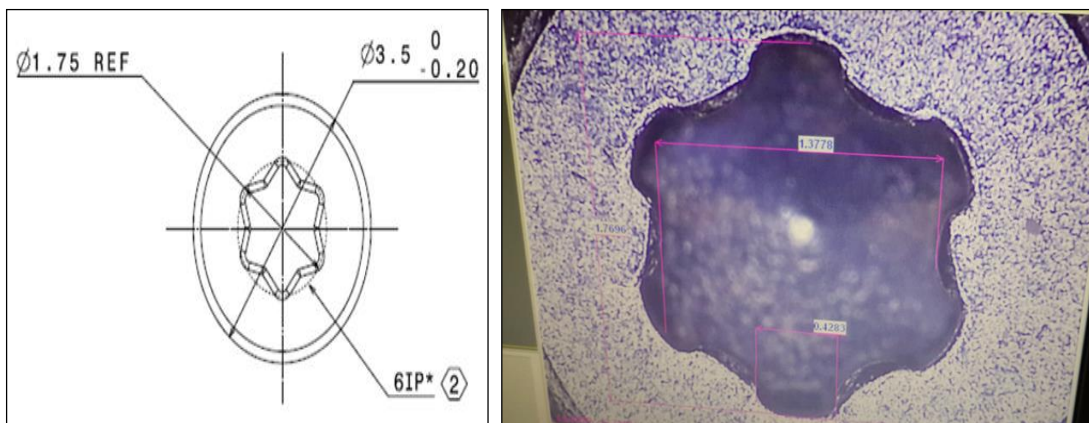


กราฟที่ 5.3 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลความสมดุลขอบแผ่นดิสก์และการวัดทดสอบ ด้วยสเปค 2 มิลลิกรัม-เซนติเมตร

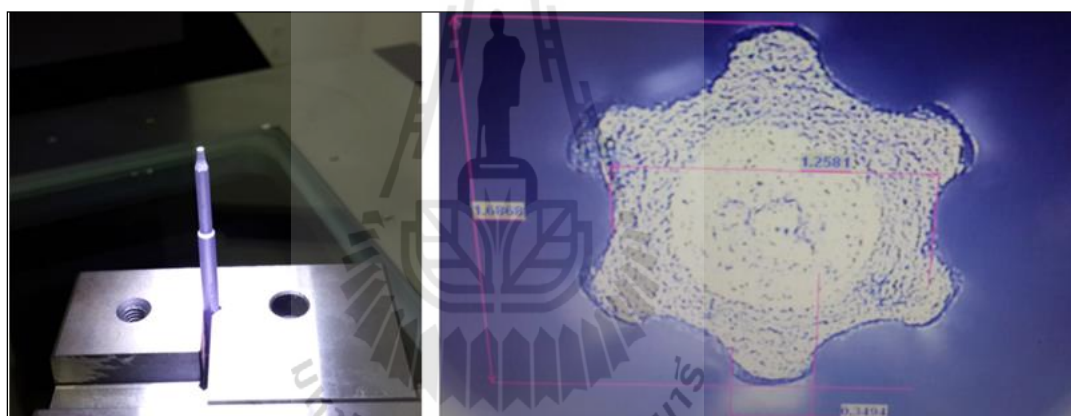
## 5.2 การทดลองปรับตำแหน่งการขันย้าสกรูให้มีความเที่ยงตรงแม่นยำ เพื่อลดการเคลื่อนตัวของค่าดิสก์บาลานซ์จากสเปค 2 มิลลิกรัม-เซนติเมตร

วิธีการทดลอง ตรวจสอบเช็คตำแหน่งการขันของสกรู

5.2.1 ความร่วมศูนย์ร่วมแกนของตำแหน่งศูนย์กลางไขควงไฟฟ้าทั้ง 6 แกนเทียบกับตำแหน่งศูนย์กลางของฮาร์ดดิสก์โดยใช้มาสเตอร์เกจ โดยระยะพิงัดความคลาดเคลื่อนควบคุมอยู่ที่ +0.005 ถึง +0.029 มิลลิเมตรตามตารางที่ 5.10



รูปที่ 5.4 แสดงการวัดขนาดของเบ้าสกรูที่ใช้ในการขันยึดติดทอปแคลมป์กับแผ่นดิสก์เข้ากับสปีนเดิลมอเตอร์



รูปที่ 5.5 แสดงการวัดขนาดของของปลายไขควงไฟฟ้าที่ใช้ในการขันย้าสกรูที่ยึดติดทอปแคลมป์กับแผ่นดิสก์เข้ากับสปีนเดิลมอเตอร์

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าของการวัดขนาดของปลายไขควงไฟฟ้าโดยใช้ Micro Smart Scope

Driver Bit	Body Diameter (A1)	Tip Diameter (B1)	Teeth (C1)
Type	(mm)	(mm)	(mm)
T6 IP WIHA GERAMANY	1.2581	1.6868	0.3494

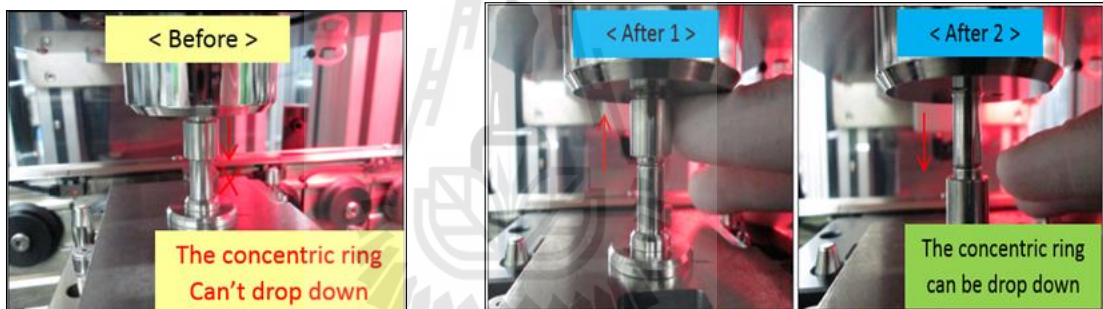
ตารางที่ 5.8 แสดงค่าของการวัดขนาดของเบ้าสกรูทอปแคลมป์โดยใช้ Micro Smart Scope

Screw	Body Diameter (A2)	Tip Diameter (B2)	Teeth (C2)
Type	(mm)	(mm)	(mm)
Top Clamp Screw	1.3778	1.7696	0.4283

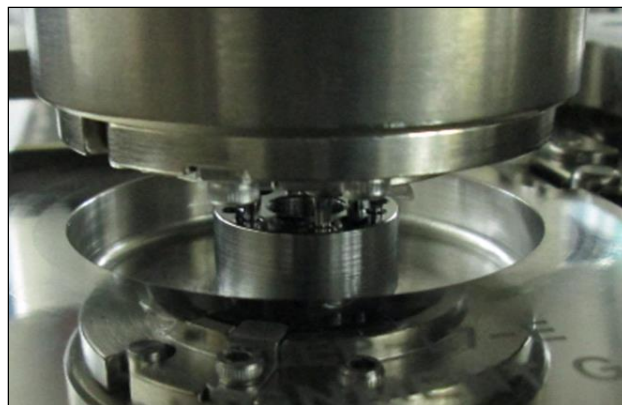
ตารางที่ 5.9 แสดงการเปรียบเทียบ Clearance ระหว่างปลายไขควงไฟฟ้ากับเบ้าของสกรูทอปแคลมป์

Clearance	Body Diameter (A2-A1)	Tip Diameter (B2-B1)	Teeth (C2-C1)
Between	(mm)	(mm)	(mm)
Screw – Driver Bit	0.1197	0.0828	0.0789

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

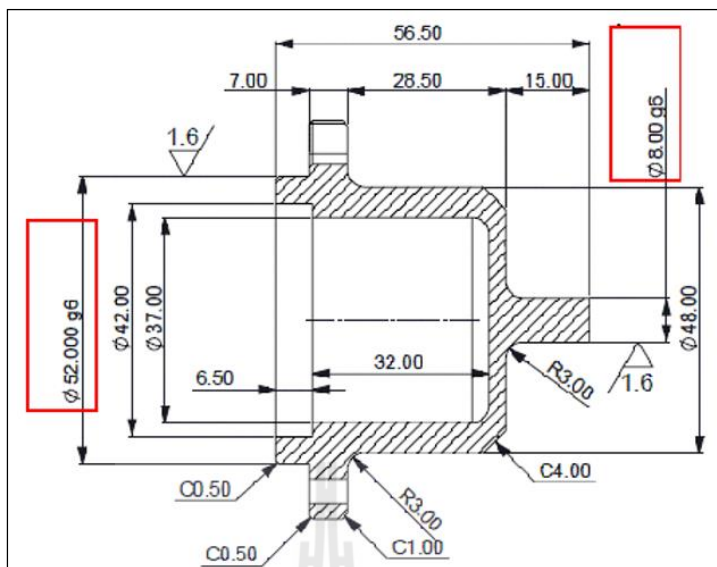


รูปที่ 5.6 แสดงการตรวจเช็คและปรับตำแหน่งความร่วมศูนย์ร่วมแกนของตำแหน่งศูนย์กลางการขันสกรูทอปแคลมป์

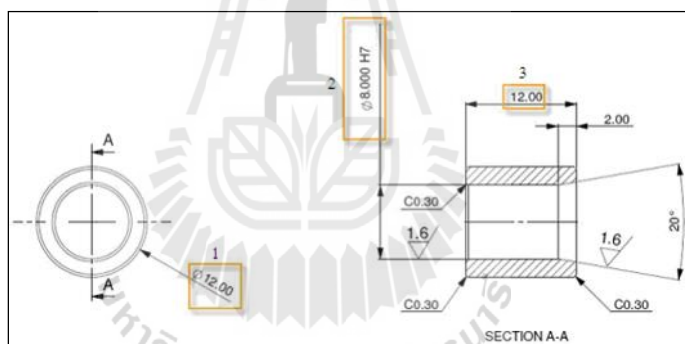


รูปที่ 5.7 แสดงตำแหน่งของปลายไขควงไฟฟ้าทั้ง 6 ตัวเทียบกับตำแหน่งของมาสเตอร์เกจ





รูปที่ 5.8 แสดงค่า Tolerance ของแกนมาสเตอร์เกจ



รูปที่ 5.9 แสดงค่า Tolerance ของวงแหวนที่ใช้สวมเข้ากับแกนมาสเตอร์เกจ

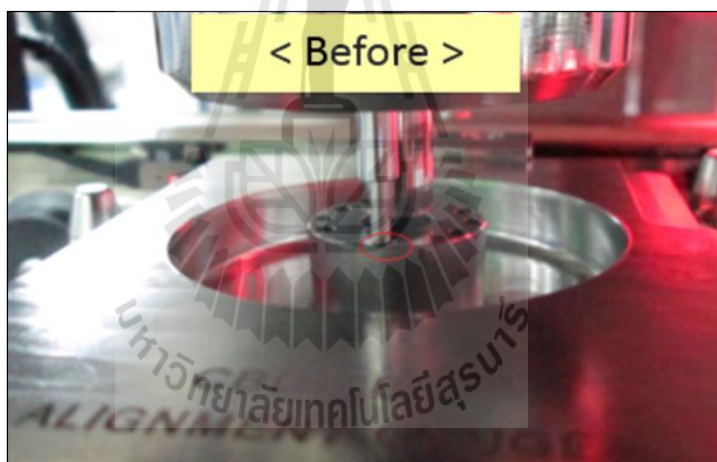
ตารางที่ 5.10 พิกัดความคลาดเคลื่อนพื้นฐานของแกนเพลลาและรูเจาะ

PREFERRED HOLE BASIS CLEARANCE FITS (ANSI B4.2)																
		LOOSE RUNNING			FREE RUNNING			CLOSE RUNNING			SLIDING			LOCATIONAL CLEARANCE		
BASIC SIZE		HOLE	SHAFT	DIFF	HOLE	SHAFT	DIFF	HOLE	SHAFT	DIFF	HOLE	SHAFT	DIFF	HOLE	SHAFT	DIFF
		H11	c11		H9	d9		H8	f7		H7	g6		H7	h6	
S7	MAX	7.090	6.920	0.260	7.036	6.960	0.112	7.022	6.987	0.050	7.015	6.995	0.029	7.015	7.000	0.024
	MIN	7.000	6.830	0.080	7.000	6.924	0.040	7.000	6.972	0.013	7.000	6.986	0.005	7.000	6.991	0.000
F8	MAX	8.090	7.920	0.260	8.036	7.960	0.112	8.022	7.987	0.050	8.015	7.995	0.029	8.015	8.000	0.024
	MIN	8.000	7.830	0.080	8.000	7.924	0.040	8.000	7.972	0.013	8.000	7.986	0.005	8.000	7.991	0.000

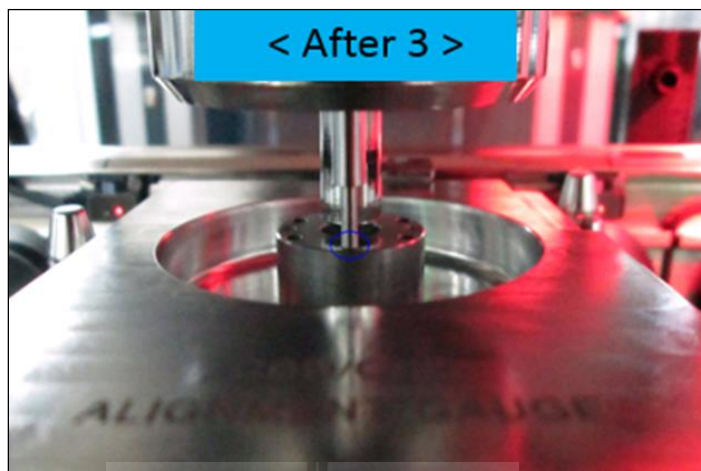
5.2.2 การปรับตำแหน่งมุมขดเซยในการขันสกรูเทียบกับระบบตรวจจับภาพ ( Vision System ) โดยใช้มาตรฐานเกจ ระยะเวลาคลาดเคลื่อน +/- 1 องศา



รูปที่ 5.10 แสดงรูปภาพของตำแหน่งสกรูด้วยกล้องความละเอียดสูง เพื่อใช้อ้างอิงในการขันสกรู



รูปที่ 5.11 แสดงตำแหน่งของมุมที่ใช้ขันสกรูที่ยังไม่ตรงตามมาตรฐานเกจ



รูปที่ 5.12 แสดงตำแหน่งของมุมที่ใช้ขันสกรูที่มีการปรับให้ตรงตามมาตรฐาน

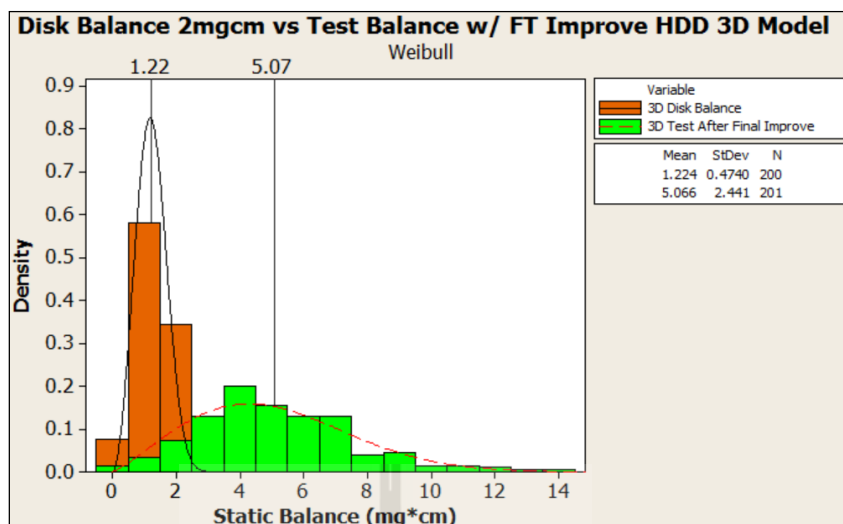


รูปที่ 5.13 แสดงการปรับค่าชดเชยระหว่างระบบ Vision กับ ตำแหน่งการหมุนของไขควงไฟฟ้า

ผลการทดลอง ความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.066 mg.cm. ซึ่งส่งผลให้มีฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านการวัดครั้งแรกอยู่ที่ 96.5% ตามตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.11 แสดงผลการทดลองในการปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 2 มิลลิกรัม-เซ็นติเมตร พร้อมกับปรับตำแหน่งในการขันย้าสกรูให้มีความเที่ยงตรง

Sample	Disk Balance Spec ( mg*cm)	Disk Balance Yield (%)	Test Balance Yield (%)	Balance Shift ( mg*cm)
(N)				
200	2	100%	96.5%	3.842



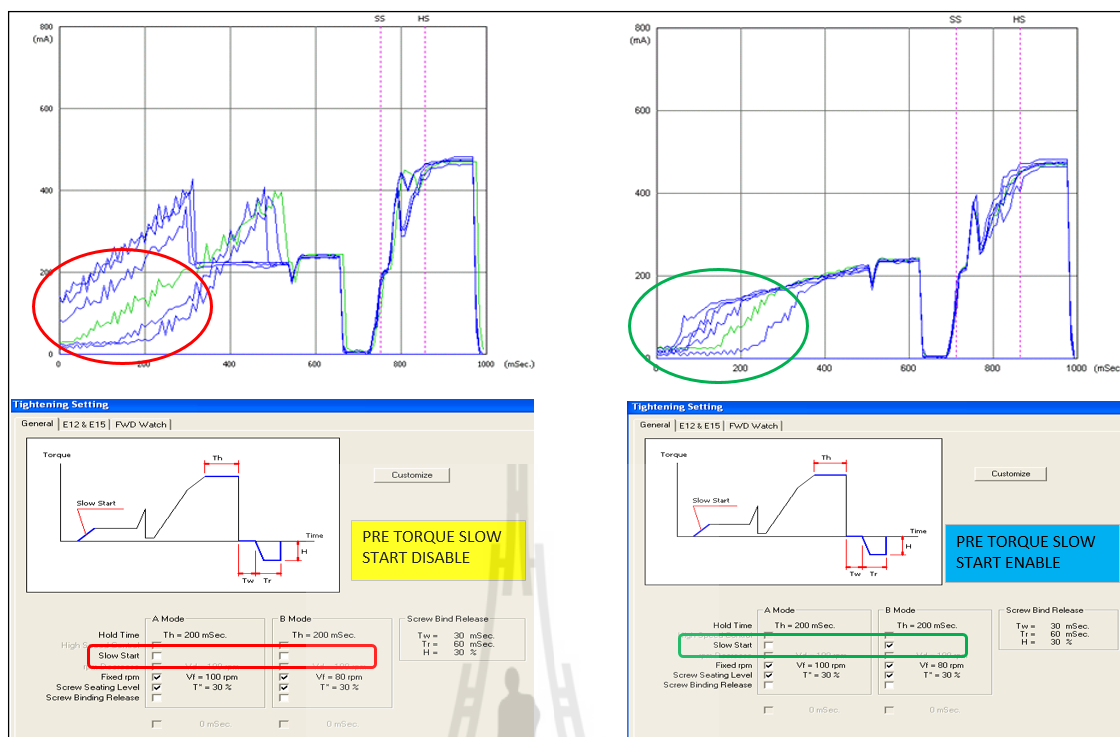
กราฟที่ 5.4 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลความสมดุลขอบแผ่นดิสก์และการวัดทดสอบด้วยสเปค 2 มิลลิกรัม-เซนติเมตร หลังมีการปรับตำแหน่งการขันย้าสกรูให้มีความเที่ยงตรง

### 5.3 การทดลองลดการเคลื่อนตัวค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ จากการขันย้าสกรูด้วยการเพิ่ม Sequence ในการขันสกรูเพื่อลดการเคลื่อนตัวของค่าดิสก์บาลานซ์จากสเปค 2 มิลลิกรัม-เซนติเมตร

5.3.1 การทดลองลดการเคลื่อนตัวค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์โดยใช้สเปคการขันครั้งแรกเท่า 50% ของค่าขันย้าสกรูตามสเปค

วิธีการทดลอง ทำการเพิ่มสเปคการขันย้าสกรูจากหนึ่งสเปค เป็นสองสเปคโดย

1. สเปคแรก ตั้งค่าแรงบิดเท่ากับ 50mNm. หรือ 50% ของค่าขันย้าตามสเปคพร้อมกับใช้โหมคการขันเริ่มต้นแบบการขันที่ใช้ค่าความเร็วรอบที่ต่ำ
2. สเปคที่สอง ตั้งค่าแรงบิดเท่ากับ 100mNm. ตามค่าขันย้าสเปค

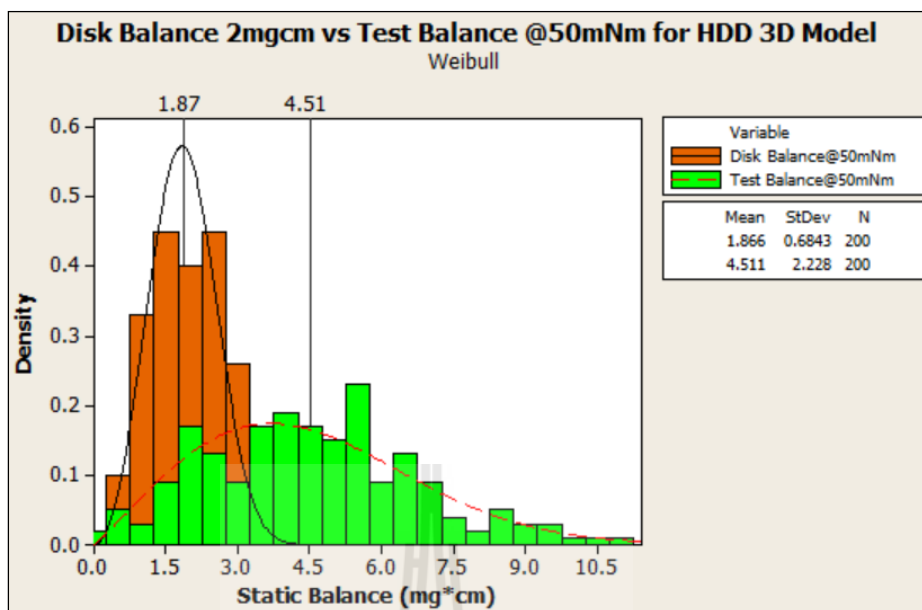


รูปที่ 5.14 แสดงสเปกการขันย้าสกรูและ โหมตเริ่มการขันสกรูแบบใช้ความเร็วรอบต่ำ(Slow Start)

ผลการทดลอง ความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.511 mg.cm. ซึ่งส่งผลให้มีฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านการวัดครั้งแรกอยู่ที่ 98.5% ตามตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 แสดงผลการทดลองในการปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 2 มิลลิกรัม-เซ็นติเมตร พร้อมกับการขันสกรูย้าครั้งที่ 1 = 50 mNm. + Slow Start และครั้งที่ 2 = 100 mNm.

Sample	Disk Balance Spec	Disk Balance Yield	Test Balance Yield	Balance Shift
(N)	( mg*cm)	(%)	(%)	( mg*cm)
200	2	100%	98.50%	2.645



กราฟที่ 5.5 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลความสมดุลขอบแผ่นดิสก์และการวัดทดสอบด้วยสเปค 2 มิลลิกรัม-เซนติเมตร และพร้อมกับการชันสกรูย้าครั้งที่ 1 = 50 mNm. + Slow Start และครั้งที่ 2 = 100 mNm.

5.3.2 การทดลองลดการเคลื่อนตัวค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์โดยใช้สเตปการชันครั้งแรกเท่า 60% ของค่าชันย้าสกรูตามสเปค

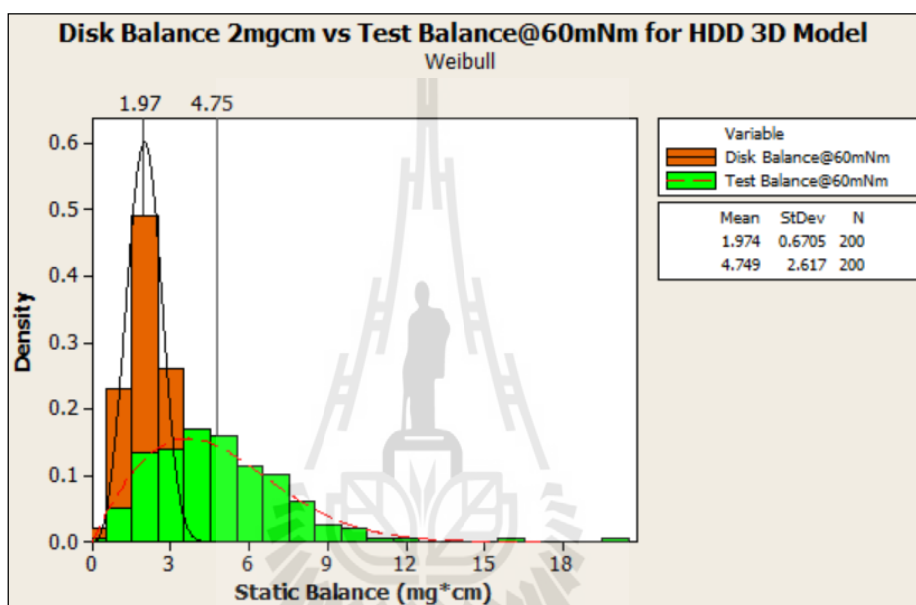
วิธีการทดลอง ทำการเพิ่มสเตปการชันย้าสกรูจากหนึ่งสเตป เป็นสองสเตปโดย

1. สเตปแรก ตั้งค่าแรงบิดเท่ากับ 60mNm. หรือ 60% ของค่าชันย้าตามสเปคพร้อมกับใช้ โหมดการชันเริ่มต้นแบบการชันที่ใช้ค่าความเร็วรอบที่ต่ำ
2. สเตปที่สอง ตั้งค่าแรงบิดเท่ากับ 100mNm. ตามค่าชันย้าสเปค

ผลการทดลอง ความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.749 mg.cm. ซึ่งส่งผลให้มีฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านการวัดครั้งแรกอยู่ที่ 97.0% ตามตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 แสดงผลการทดลองในการปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 2 มิลลิกรัม-เซนติเมตร พร้อมกับการขันสกรูย้ำครั้งที่ 1 = 60 mNm. + Slow Start และครั้งที่ 2 = 100 mNm.

Sample	Disk Balance Spec	Disk Balance Yield	Test Balance Yield	Balance Shift
(N)	( mg*cm)	(%)	(%)	( mg*cm)
200	2	100%	97.00%	2.775



กราฟที่ 5.6 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลความสมดุลขอบแผ่นดิสก์และการวัดทดสอบ ด้วยสเปค 2 มิลลิกรัม-เซนติเมตร และพร้อมกับการขันสกรูย้ำครั้งที่ 1 = 60 mNm. + Slow Start และครั้งที่ 2 = 100 mNm.

5.3.3 การทดลองลดการเคลื่อนตัวค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์โดยใช้ สเตปการขันครั้งแรกเท่า 70% ของค่าขันย้ำสกรูตามสเปค

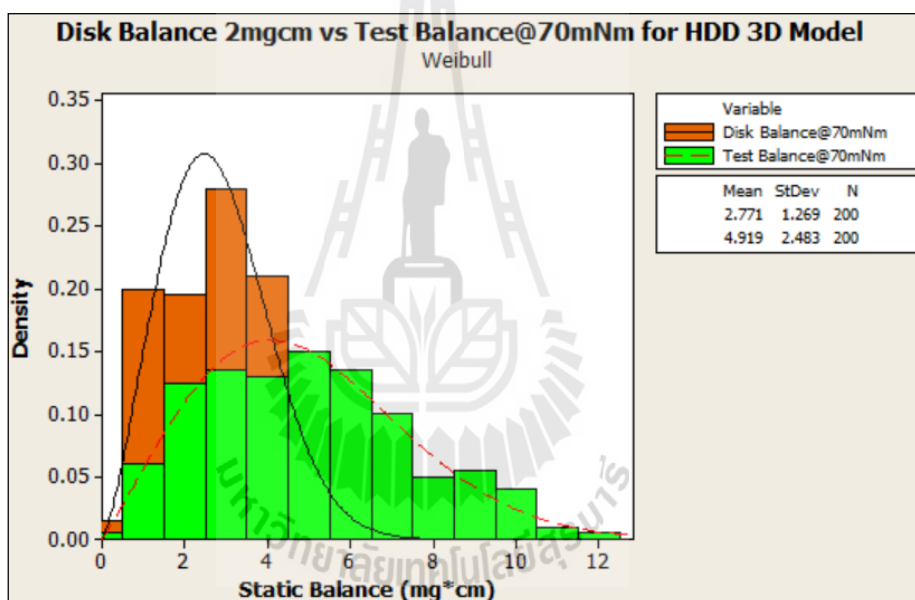
วิธีการทดลอง ทำการเพิ่มสเตปการขันย้ำสกรูจากหนึ่งสเตป เป็นสองสเตปโดย

- สเตปแรก ตั้งค่าแรงบิดเท่ากับ 70mNm. หรือ 70% ของค่าขันย้ำตามสเปคพร้อมกับใช้ โหมดการขันเริ่มต้นแบบการขันที่ใช้ค่าความเร็วรอบที่ต่ำ
- สเตปที่สอง ตั้งค่าแรงบิดเท่ากับ 100mNm. ตามค่าขันย้ำสเปค

ผลการทดลอง ความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.919 mg.cm. ซึ่งส่งผลให้มีฮาร์ดดิสก์ที่ผ่านการวัดครั้งแรกอยู่ที่ 97.0% ตามตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 แสดงผลการทดลองในการปรับค่าดิสก์บาลานซ์สเปคเท่ากับ 2 มิลลิกรัม-เซนติเมตร พร้อมกับการขันสกรูย้าครั้งที่ 1 = 70 mNm. + Slow Start และครั้งที่ 2 = 100 mNm.

Sample	Disk Balance Spec	Disk Balance Yield	Test Balance Yield	Balance Shift
(N)	( mg*cm)	(%)	(%)	( mg*cm)
200	2	100%	97.00%	2.148



กราฟที่ 5.7 แสดงการกระจายตัวของข้อมูลความสมดุลขอบแผ่นดิสก์และการวัดทดสอบด้วยสเปค 2 มิลลิกรัม-เซนติเมตร และพร้อมกับการขันสกรูย้าครั้งที่ 1 = 70 mNm. + Slow Start และครั้งที่ 2 = 100 mNm.

#### 5.4 สรุปผลการทดลอง

การปรับลดสเปคค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ ในกระบวนการดิสก์บาลานซ์จากเดิม 50% (5/10 mg\*cm) ของสเปคที่กำหนด เป็น 30% (3/10 mg\*cm) และ 20% (2/10 mg\*cm) ตามลำดับ มีผลทำให้การสามารถลดการเคลื่อนตัวค่าความไม่สมดุลในการหมุนของ



ฮาร์ดดิสก์ในส่วนของการกระบวนการทำให้แผ่นดิสก์สมดุล จาก 7.477 mg.cm. , 6.627 mg.cm., 5.305 mg.cm., 5.066 mg.cm. และ 4.511 mg.cm. ตามลำดับ

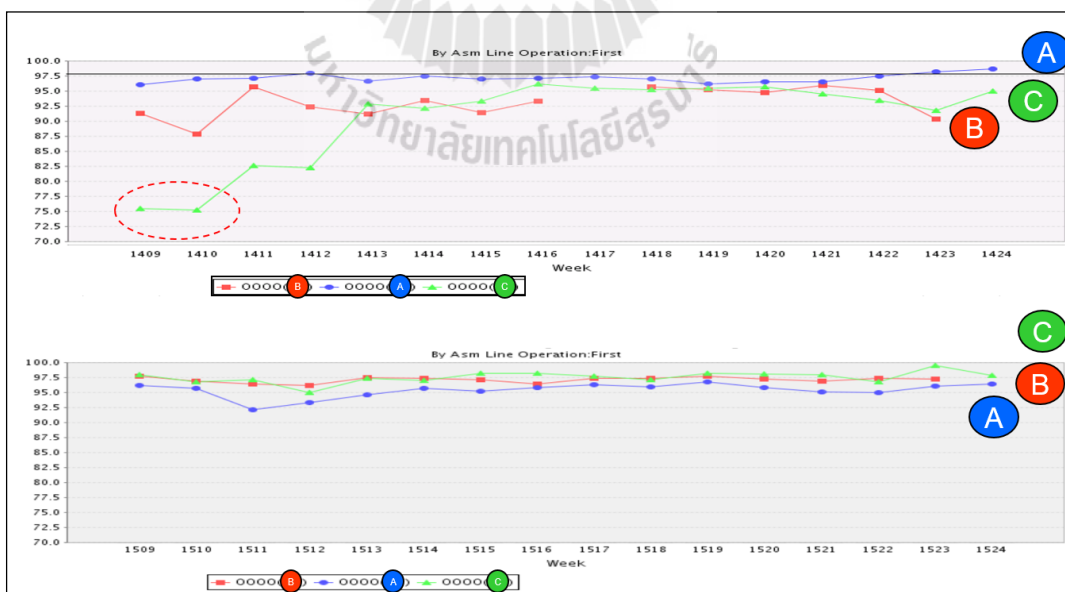
จากนั้นลดการเคลื่อนตัวของค่าความไม่สมดุลในการหมุนจากกระบวนการการขันย้าสกรู ด้วยการปรับตำแหน่งและมุมในการขันสกรูให้มีความเที่ยงตรงและแม่นยำให้อยู่ตำแหน่งที่ควบคุม น้อยกว่าค่า Tolerance 0.281 มิลลิเมตร ของตำแหน่งเบ้าสกรูกับปลายไขควงไฟฟ้า

สุดท้ายคือลดการเคลื่อนตัวค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ จากการขันย้าสกรู ด้วยการเพิ่ม Sequence ในการขันสกรูเป็นสองขั้นตอน โดยผลที่ได้จากการทดลองปรับค่าแรงบิด เริ่มต้นจะได้ค่าแรงบิดเท่ากับ 50% พร้อมโหมดการขันเริ่มต้นรอบต่ำสามารถลดการเคลื่อนตัวได้ดีที่สุด

- ขั้นตอนที่ 1 เริ่มการขันสกรูด้วยค่าแรงบิดที่ต่ำ 50 mNm+/- 5% หรือ 50% ของค่าแรงบิดขันย้าตามสเปคที่กำหนด
- ขั้นตอนที่ 2 ขันย้าสกรูตามด้วยค่าแรงบิดในสเปคที่กำหนด 100 mNm. +/- 5%

**ผลที่ได้จากการปรับปรุงกระบวนการ**

มีการปรับปรุงสัดส่วนเอาต์พุตต่ออินพุตที่ผ่านการวัดและทดสอบค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ ครั้งแรก ในกระบวนการผลิตเพิ่ม จาก 79.50%, 87.50%, 93.00%, 96.50% และ 98.50% ตามลำดับโดยอ้างอิงจากกราฟที่ 5.8



กราฟที่ 5.8 แสดงอัตราส่วนผลการวัดและทดสอบค่าความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ ครั้งแรก ในกระบวนการ ( อินพุต / เอาต์พุต )

## บทที่ 6

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุป

1. การวิเคราะห์กระบวนการและความสามารถในการทำให้เกิดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ตามจำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลและทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

1.1 การทำให้เกิดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์แปรผันตรงกับจำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบเมื่อมีการกำหนดค่าอินพุตของกระบวนการมีค่าคงที่

1.2 จำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบ 1 แผ่น สามารถทำให้เกิดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์เป็นแบบการเคลื่อนตัวของค่าความไม่สมดุลได้หนึ่งลำดับ ทำให้ยากที่สุดในการทำให้แผ่นดิสก์สมดุลกับแกนหมุน

1.3 จำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบ 2 แผ่น สามารถทำให้เกิดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์เป็นแบบการเคลื่อนตัวของค่าความไม่สมดุลได้สองลำดับ สามารถให้ได้ง่ายกว่าประเภท 1 ดิสก์ในการทำให้แผ่นดิสก์สมดุลกับแกนหมุน

1.4 จำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบ 3 แผ่น สามารถทำให้เกิดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์เป็นแบบการเคลื่อนตัวของค่าความไม่สมดุลได้สามลำดับ สามารถให้ได้ง่ายกว่าประเภท 1 ดิสก์และ 2 ดิสก์ในการทำให้แผ่นดิสก์สมดุลกับแกนหมุน

2. การวิเคราะห์กระบวนการและการวัดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ตามจำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบหลังจากขั้นย้ายสกรูให้แน่นด้วยค่าแรงบิดตามสเปคที่กำหนด ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลและทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

2.1 ค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์มีการเปลี่ยนแปลงแปรผันตรงกับจำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบเมื่อมีการกำหนดค่าอินพุตของกระบวนการมีค่าคงที่

2.2 จำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบ 1 แผ่น สามารถทำให้เกิดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์เป็นแบบการเคลื่อนตัวของค่าความไม่สมดุลได้หนึ่งลำดับ ทำให้ค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

2.3 จำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบ 2 แผ่น สามารถทำให้เกิดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์เป็นแบบการเคลื่อนตัวของค่าความไม่สมดุลได้สองลำดับ ทำให้ค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่ากรณีประกอบแผ่นดิสก์ 1 แผ่น

2.4 จำนวนแผ่นดิสก์ที่ประกอบ 3 แผ่น สามารถทำให้เกิดความสมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์เป็นแบบการเคลื่อนตัวของค่าความไม่สมดุลได้สามลำดับ ทำให้ค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่ากรณีประกอบแผ่นดิสก์ 1 แผ่นและ 2 แผ่น

3. การวิเคราะห์หาการเคลื่อนตัวของค่าเสถียรภาพที่ผ่านการทำให้แผ่นดิสก์สมดุลและวัดทดสอบค่าจากเครื่องวัดเสถียรภาพฮาร์ดดิสก์ บาลานซ์ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลและทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

3.1 ค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในทุก ๆ การเคลื่อนที่ของฮาร์ดดิสก์หลังจากผ่านกระบวนการทำให้ดิสก์สมดุล โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 5% ซึ่งสามารถยอมรับได้ในกระบวนการ

3.2 ค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์มีการเปลี่ยนแปลงในกรณีที่มีการขันย้าสกรูให้แน่นจากค่าแรงบิด 25 mNm. +/- 5% ด้วยค่าแรงบิด 100 mNm. +/- 5% โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยสูงถึง 185%

4. การปรับปรุงกระบวนการสามารถทำได้ 3 กรณี คือ

4.1 ปรับลดสเปกค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ ในกระบวนการดิสก์บาลานซ์จากเดิม 50% (5/10 mg\*cm) ของสเปกที่กำหนด เป็น 30% (3/10 mg\*cm) และ 20% (2/10 mg\*cm) ตามลำดับ

4.2 ลดการเคลื่อนตัวค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ จากการขันย้าสกรูด้วยการปรับตำแหน่งและมุมในการขันสกรูให้มีความเที่ยงตรงและแม่นยำให้อยู่ตำแหน่งที่ควบคุมน้อยกว่าค่า Tolerance 0.281 มิลลิเมตร ของตำแหน่งเบ้าสกรูกับปลายไขควงไฟฟ้า

4.3 ลดการเคลื่อนตัวค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ จากการขันย้าสกรูด้วยการเพิ่ม Sequence ในการขันสกรูคือ

- ขั้นตอนแรกในการเริ่มขันสกรูด้วยค่าแรงบิดที่ต่ำ 50 mNm +/- 5% หรือ 50% ของค่าแรงบิดขันย้าตามสเปกที่กำหนด
- ขั้นตอนที่สองขันย้าสกรูตามด้วยค่าแรงบิดในสเปกที่กำหนด 100 mNm. +/- 5%

5. ผลที่ได้จากการปรับปรุงกระบวนการ

5.1 ลดการเคลื่อนตัวของค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ จาก 7.477 mg.cm, 6.627 mg.cm, 5.305 mg.cm, 5.066 mg.cm. และ 4.511 mg.cm. ตามลำดับ

5.2 มีการปรับปรุงสัดส่วนเอาต์พุตต่ออินพุตที่ผ่านการวัดและทดสอบค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ครั้งแรกในกระบวนการผลิตเพิ่ม จาก 79.50%, 87.50%, 93.00%, 96.50% และ 98.50% ตามลำดับ

5.3 บรรลุผลในการเพิ่มผลการผลิตฮาร์ดดิสก์ไคร์ฟ 22.58% จากก่อนการปรับปรุงกระบวนการ

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นในการปรับปรุงกระบวนการวัดและทดสอบค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ซึ่งจะต้องพิจารณาระบบของการวัดที่มีความถูกต้องแม่นยำเป็นอันดับแรกก่อนที่จะวิเคราะห์การเคลื่อนตัวของค่าความไม่สมดุลในการหมุนของฮาร์ดดิสก์ในกระบวนการ โดยกำหนดให้อินพุตในกระบวนการและตัวแปรมีค่าคงที่



## รายการอ้างอิง

- Alisantoso et al.(2012), **Methods for balancing a disk drive**, US Patent No. 8683677 B2  
: pp.1-7
- American Hofmann Corporation(2000), **Applied Balancing Theory for Hard Disk Drives and Similar Applications**: American Hofmann Corporation : pp.1-38
- Jang G.H. et al.(2002).**Free Vibration Analysis of a Spinning Flexible Disk-Spindle System Supported by Ball Bearing and Flexible Shaft Using The Finite Element Method and Substructure Synthesis**. Journal of Sound and Vibration : pp.59-78
- Hirano T.(1996). **Method for adjusting rotation balance of disk and device for the same**.US Patent No. 5811678 : pp.1-28
- Hredzak B. and Guo G.(2004), **Investigation of the feasibility of active balancing of hard disk drives**. Journal of Mechatronics, ELSEVIER: pp.853-859
- Jintanawan T. (2001). **Mechanical Vibration of Computer Hard Disk Drives (HDD)**. Journal of Thai Robotics Society, Vol.1: No.1 : pp.54-60.
- Jintanawan, T.and Loengnaluemitrachai J.(2002), **Finite Element Analysis of Disk-Spindle Vibration in Hard Disk Drives**. The 16<sup>th</sup> Conference Mechanical Engineering Network of Thailand :pp.1-4
- Katsuhiko O.(2002). Modern Control Engineering. (4<sup>th</sup> Edition), USA, Prentice Hall : pp.438 - 441.
- Kim et al.(2003), **Disk assembly method for adjusting the disk balance of the hard disk drive** : pp.1-14
- Morris et al.(2004), **Auto centering of disks on a hard disk drive**. US Patent No. 6771451 B2 : pp.1-5
- Nopdanai a. et al.(2009).**Vibrational Energy Transmission from Stator Coil to Base of Spindle Motor in Hard Disk Drive using Statistical Energy Analysis**. The 23<sup>rd</sup> Conference Mechanical Engineering Network of Thailand :pp.1-7

Samart M. et al.(2009), **The study on Rotating Unbalance in Hard Disk**

**Drive Due to Screw Tightening Using the Finite Element Method.**

Chiang Mai University Journal: pp.21-27

Singiresu, S.(2005). **Mechanical Vibrations SI Edition**, Singapore, Pearson Prentice Hall :  
pp.662-673.

Sorawut R. et al.(2012). **The Study of Production Factors of Top**

**Clamp Assembly Affecting Vibration of Hard Disc Drives Using Finite Element  
Analysis.** Nakhon Phanom University Journal: pp.13-20

**THE BASICS OF BALANCING.** [Online]. Available: <http://balancetechnology.com/wp/wp-content/uploads/2014/02/Basics-of-Balancing-202.pdf>( 2014, July 21).

**BALANCING OF ROTATING MASSES.**[Online]. Available:

[http://mechanicalsk.weebly.com/uploads/3/7/8/3/3783671/ch-21\\_balancing\\_of\\_rotating\\_masses.pdf](http://mechanicalsk.weebly.com/uploads/3/7/8/3/3783671/ch-21_balancing_of_rotating_masses.pdf)( 2015, March 9).



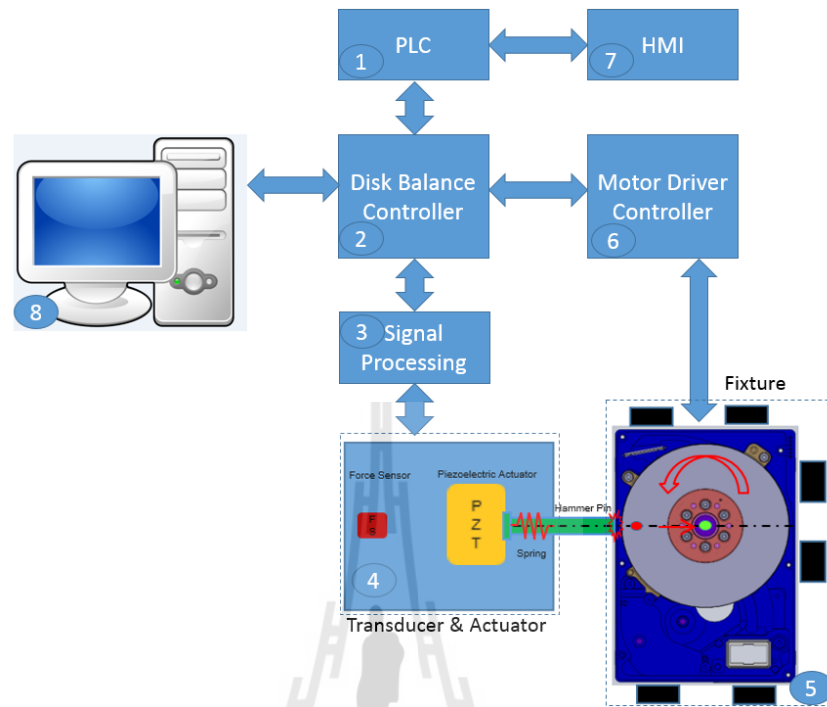


ภาคผนวก ก

การปรับเปลี่ยนสเปคสำหรับปรับสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ก.1 การปรับเปลี่ยนสเปคสำหรับปรับสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์



รูป ก.1 แสดง System Configurations ของระบบการปรับสมดุลการหมุนของแผ่นดิสก์



	Item	Description
1	Number of station	Number of the stations to be using ( 1-4)
2	Motor RPM	Number of rotation (5400RPM)
-1	Sampling time	A/D sampling time (123usec)
-2	Sampling Number	Number of sampling / one rotation (90 samplings)
3	Unbalance measurement	Number to use by the unbalance measurement.
-1	Median average number of times	Number of the unbalance measurement. ( 5 times) It calculates an unbalance by the median average.
-2	Number of standard deviation in the measure mode	Number of unbalance data to calculate STD in the Measure Mode. ( 20 data )
4	Calibration Mode	Number to use by the calibration mode
-1	Average number of times of the unbalanced meas.	Number of unbalance data to calculate the unbalance constants. ( 20 data )
-2	Range of the unbalance constant	If min. > unbalance constant or max < unbalance constant, the unbalance value is Out-of-range.
-3	Range of the trigger delay	If min. > trigger delay or max < trigger delay, a warning is displayed.

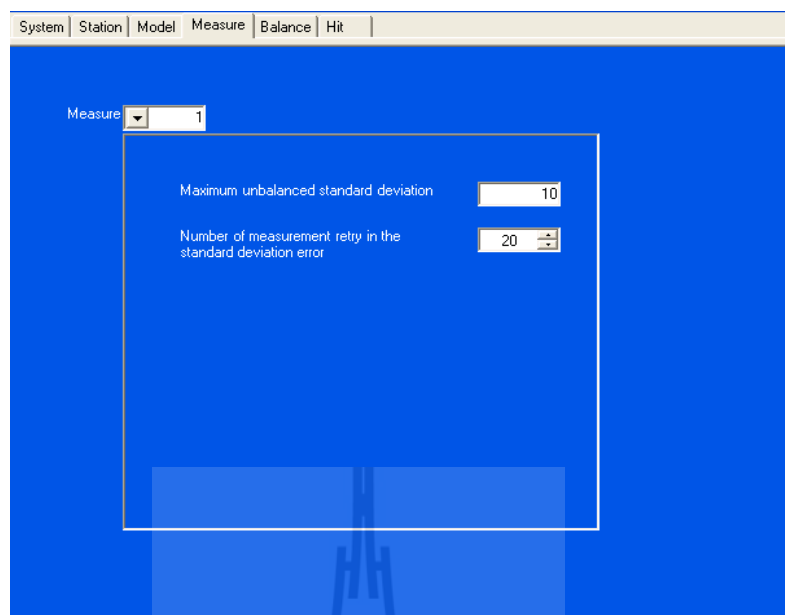
รูป ก.2 แสดงหน้าพารามิเตอร์ System ของโปรแกรมปรับสมดุลแผ่นดิสก์

	Item	Description
1	Station	Number of station parameter (1-4)
2	Station name	Cell name to a maximum of 5 characters
3	Model Parameter#	Reference number for model parameter (Model#1)
4	Zero offset value of the A/D value	Zero cross AD value. (2048)
5	Sensor Trouble Criteria	Criteria value to detect sensor trouble.
-1	Minimum unbalanced value	If min > unbalanced value, the sensor is abnormal.
-2	Sigma of the slip	If sigma > STD value in measure mode, the sensor is abnormal. (unused)
-3	Number of times ...	Number of times which the error below the following unbalance value occurred to continuously.
-4	Unbalanced spec. value * RATIO	RATIO: The error ratio to multiply by the unbalanced value.

รูป ก.3 แสดงหน้าพารามิเตอร์ Station ของโปรแกรมปรับสมดุลแผ่นดิสก์

	Item	Description
1	Model#	Number of model parameter ( 1-20)
2	Model name	Model name to a maximum of 5 characters
3	Reference parameters	It specifies the following parameter number which this model refers to.
-1	# Measure parameter	Reference number for measure parameter (1-10)
-2	# Balance parameter	Reference number for balance parameter (1-10)
-3	# Hitting parameter	Reference number for hitting parameter (1-10)

รูป ก.4 แสดงหน้าพารามิเตอร์ Model ของโปรแกรมปรับสมดุลแผ่นดิสก์



	Item	Description
1	Measure	Number of measure parameter (1-10)
2	Maximum unbalanced standard deviation	The maximum STD value which is related to the following value and system parameter 3-2.
3	Number of measurement retry in the standard deviation error.	Retry Number when bigger than above STD. If retry over, the measurement is failed.

รูป ก.5 แสดงหน้าพารามิเตอร์ Measure ของโปรแกรมปรับสมดุลแผ่นดิสก์

The screenshot shows a software window titled 'Balance' with a menu bar containing 'System', 'Station', 'Model', 'Measure', 'Balance', and 'Hit'. The main area has a blue background. At the top left, there is a dropdown menu labeled 'Balance' with the value '1' selected. Below this, there are three input fields: 'Unbalance Spec. (mg\*cm)' with the value '5', 'Measure Unbalance Spec. (mg\*cm)' with the value '5', and 'File save of the history' with a dropdown menu set to 'Yes'. Below these is a section titled 'Calibration Results' containing a table with three columns: 'Unbalance Constant', 'Trigger Delay', and 'Date'. The table has four rows, with the first two rows containing data and the last two rows being empty.

	Unbalance Constant	Trigger Delay	Date
#1	0.1005211606	71	04/04/13-21:38:57
#2	0.1001418847	71	04/04/13-21:38:49
#3			
#4			

	Item	Description
1	Balance	Number of balance parameter (1-10)
2	Unbalance Spec. (g*cm)	If unbalance spec. > unbalance data, the unbalanced measurement succeeded in Balance Mode.
3	Mesure Unbalance Spec. (g*cm)	If unbalance spec. > unbalance data, the unbalanced measurement succeeded in Measure Mode.
4	File save of the history.	It chooses whether or not to preserve a result of measurement in the file to PC-Card.
5	Calibration Results	The calibration result in each cell.
-1	Unbalance Constant	Constant to converts A/D value to unbalance
-2	Trigger Delay	Hitting timing adjusted value
-3	Date	The save date and time.

รูป ก.6 แสดงหน้าพารามิเตอร์ Balance ของโปรแกรมปรับสมดุลแผ่นดิสก์

การเปลี่ยนค่าสเปคสำหรับวัดค่าความสมดุลการหมุนและปรับค่าความสมดุลการหมุนสามารถทำการปรับเปลี่ยนได้ตามหัวข้อที่ 2 และ 3 ตามตาราง ตามรูปที่ ก. 6 จากนั้นทำการ Save ค่าลงใน Controller

Parameter	Value
Number of hits using the same strength (Hit Number)	3
Unbalance change rate to regard "slip" (Slip Criterion)	0.4
Settling time to wait between hitting and measuring (usec)	200000
Fast Hit Threshold: Unbalance Spec *	5
Magnification to the setting time in fast hit	1
Number of total hittings to give up (Max Hit Number)	35
Number of hittings by the maximum power to check non-disk-slip-fail (Fullpower Hit Max)	100
Cycle to check non-disk-slip-fail (Fail Check Cycle)	10
Minimum difference of unbalance change to regard disk is slipping (Fail Check Difference)	0.015
Fail Check Period	30
Reverse hit	
Hit times	0
Wait time (usec)	250000



	Item	Description
1	Hit	Number of hit parameter (1-10)
2	Hit Number	Number of hittings using the same strength
3	Slip Criterion	Unbalance change ratio to regard "slip"
4	Settling time	Settling time to wait between hitting and measuring. (usec)
-1	Fast Hit Threshold	The coefficient to extend settling time. (K) If unbalance spec. * K < unbalanced value, the settling time sets the following time.
-2	Magnification to the settling time in fast hit.	Setting time to extend = settling time * this magnification.
5	Max Hit Number	Number of total hitting to give up. (<=100)
6	Fullpower Hit Max	Number of hittings by the maximum power.
-1	Fail Check Cycle	Cycle to check non-disk-slip-fail.
-2	Fail Check Difference	Minimum difference of unbalance change to regard disk is slipping.
-3	Fail Check Period	Number of the unbalanced data to deal with for the check.

รูป ก.7 แสดงหน้าพารามิเตอร์ Hit ของโปรแกรมปรับสมดุลแผ่นดิสก์



ภาคผนวก ข

การเพิ่มขีดความสามารถในการชันกรูและการกำหนดค่าแรงบิดเริ่มต้นสำหรับชันกรู



## ข.1 การ Interface และการกำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นสำหรับชั้นสกรูยึดแผ่นยึดแผ่นดิสก์ (Top Clamp)



รูปที่ ข.1 แสดงชุดหัวไขควงไฟฟ้าทั้ง 6 ตัวรุ่น H-6000A-U



รูปที่ ข.2 แสดงชุดควบคุมการทำงานของไขควงไฟฟ้าทั้ง 6 ตัว รุ่น Technart Controller รุ่น FEDIIIfw พร้อม Synchronizer

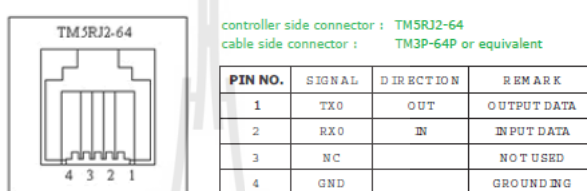
การ Interface ระหว่าง Technart Controller รุ่น FEDIIIfw ผ่านพอร์ตสื่อสาร RS-232C กับ Controller Connector TM5RJ2-64 ตามรูป ข.3 โดยใช้ Software Interface ชื่อ Technart Customizer

ที่ได้มีการพัฒนาโดยบริษัท Nippon Technart, Inc, Japan. ในกรณีนี้จะนำเสนอการใช้งานใช้กับตัวโปรแกรม Technart Customizer Version 7.00.04RC03 ตามรูปที่ ข.3

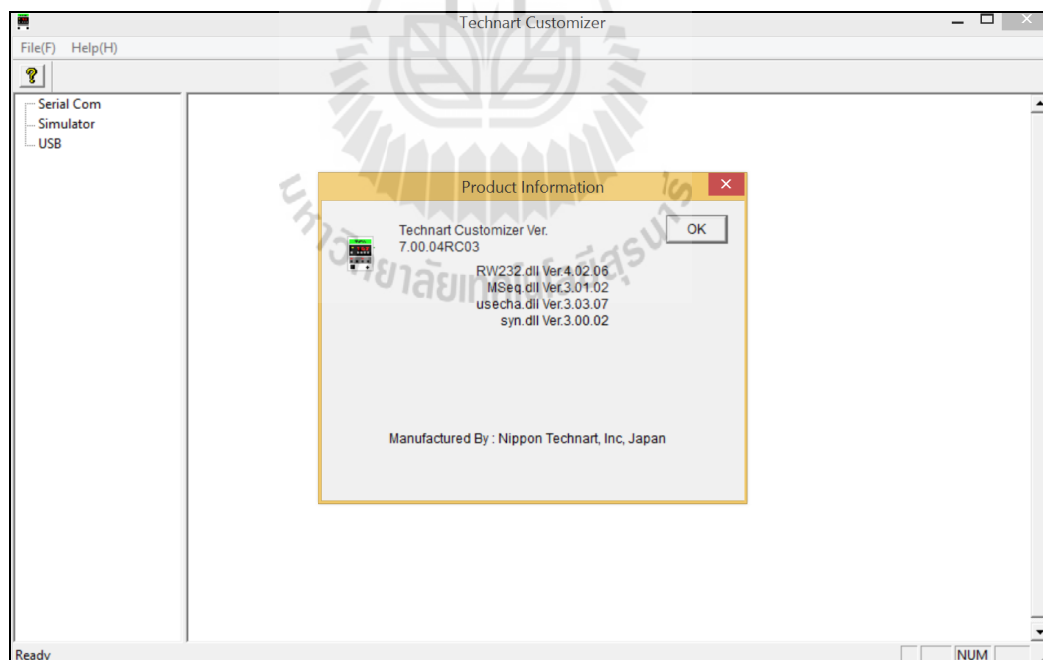
### RS-232C INTERFACE

FEDIII (FEDIII-h) controller is, in standard, equipped with a 4-pin modular jack connector as RS-232C serial interface, located at the back of the controller. The RS-232C serial interface may be used for :

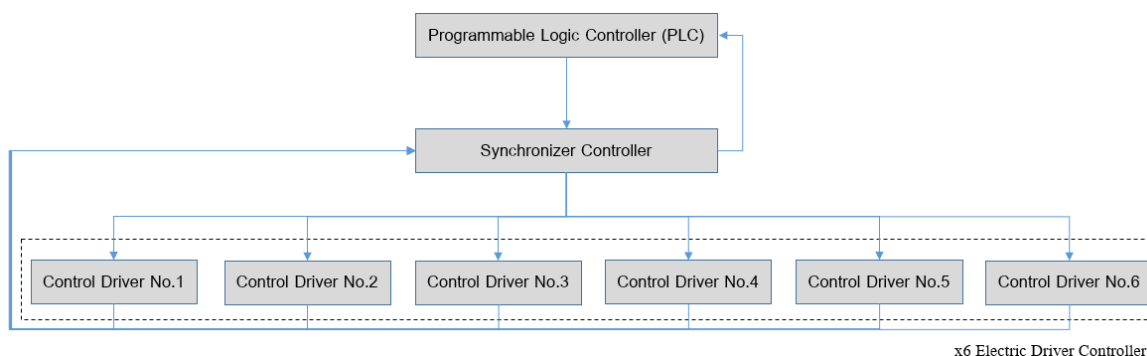
- 1) communication with Customizer software for customizing of control parameters and functions
- 2) remote control and monitoring of controller operation



รูปที่ ข.3 แสดงพอร์ตสื่อสาร RS-232C เชื่อมต่อกับ Controller Connector TM5RJ2-64



รูปที่ ข.4 แสดงโปรแกรม Technart Customizer Version 7.00.04RC03

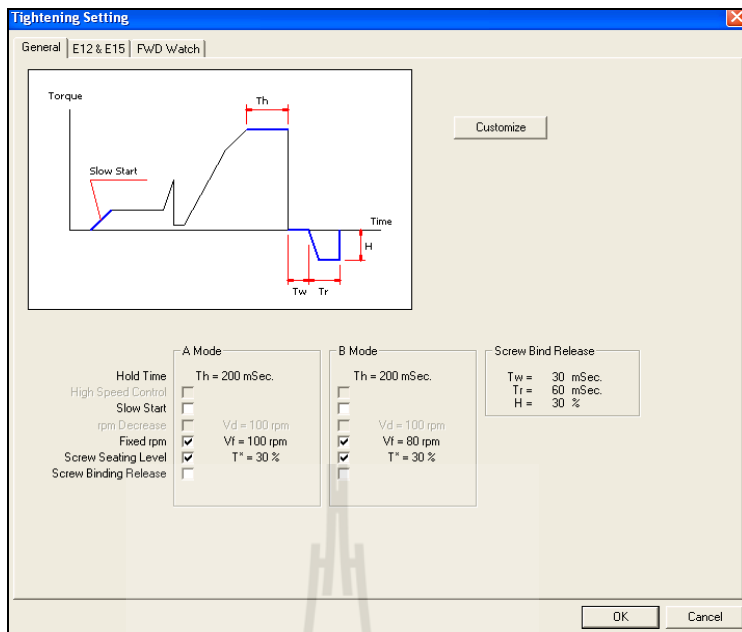


รูปที่ ข.5 แสดง Flow Chart การทำงานของชุดควบคุมการขันสกรู โดยมี PLC , Synchronizer และ Electric Driver Controller

ระบบการควบคุมการขันสกรูจะมีการสั่งงานจาก Programmable Logic Controller (PLC) ไปยัง Synchronizer เพื่อควบคุมและสั่งงาน Electric Driver Controller ทั้ง 6 ตัวเพื่อให้มีการขันสกรูพร้อมกันหรือมีเวลาขันสกรูที่ใกล้เคียงกันที่สุด ตามระยะเวลาที่กำหนด โดยใช้วิธีการ Feedback Control Signal เป็นตัวตรวจสอบ ซึ่งในกรณีที่มี Controller ตัวใดตัวหนึ่งหรือ Controller ทั้ง 6 ตัวขันสกรูเกินระยะเวลาที่กำหนดก็จะเกิด Signal Alarm ส่งกลับไปยัง PLC เพื่อส่งสัญญาณ Alarm ไปยังส่วนแสดงผล ทำให้รู้ว่ามี ความผิดปกติในการขันสกรูเกิดขึ้น

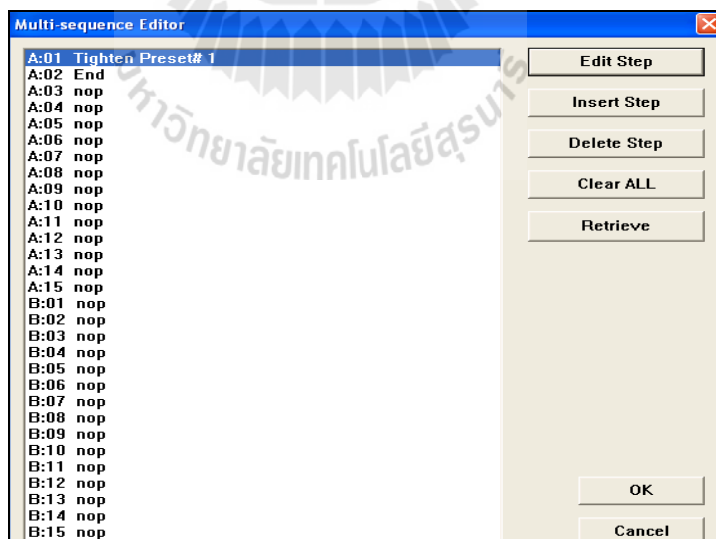
ในส่วนของ Electric Driver Controller ทั้ง 6 ตัวนั้นจะมีค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการควบคุมการขันสกรู ที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายใน Controller คือ

1. ค่าแรงบิดในการขันสกรู ในแต่ละ Chanel ที่มีการโปรแกรมไว้
2. ค่าพารามิเตอร์ในการขันสกรู
  - โหมดในการขันสกรู ( A Mode , B Mode )
  - Hold Time (Th) : ระยะเวลาที่กำหนดให้ค่าแรงบิดได้ค่าตามกำหนด
  - Slow start : ฟังก์ชันเริ่มการขันสกรูด้วยค่าแรงบิดและความเร็วรอบต่ำ เพื่อให้เกิดแรงในการขันสกรูที่ต่ำ ซึ่งจะยังช่วยให้ปลายไขควงไฟฟ้าสวมเข้าเข้ากับสกรูได้ตรงตำแหน่งในแนวแกนหมุน
  - Fixed RPM : ค่าความเร็วรอบการขันสกรูที่กำหนดเป็นค่าคงที่
  - Screw Seating Level
  - Screw Binding Release : โหมดช่วยในการคลายปลายไขควงไฟฟ้าออกจากสกรูหลังจากขันสกรูได้ค่าแรงบิดที่กำหนด เนื่องจากบางครั้งหลังจากปลายไขควงไฟฟ้าขันติดกับสกรูแน่นตามแรงบิดแล้วไม่สามารถแยกตัวออกจากสกรู



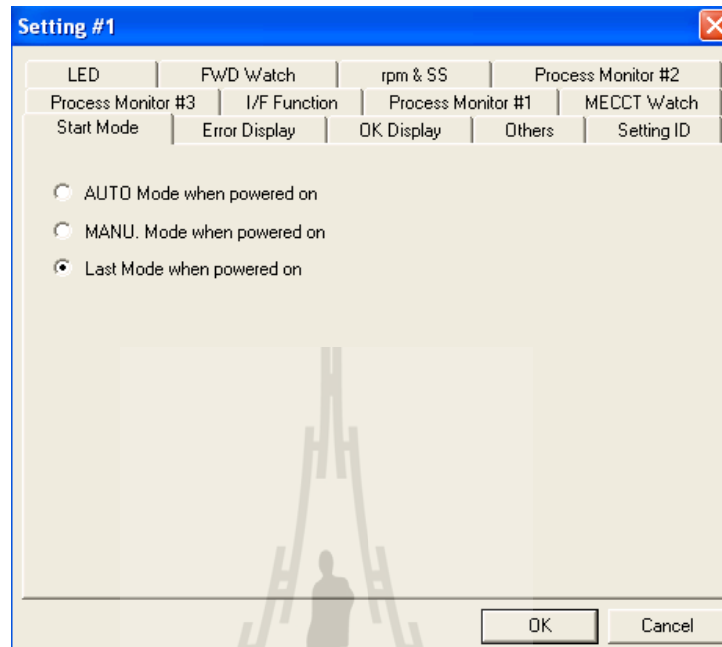
รูปที่ ข.6 แสดง พารามิเตอร์ที่กำหนดในการขันสกรู สำหรับ Electric Driver Technart Controller รุ่น FEDIIIfw

### 3. ลำดับในการขันสกรู (Screw Fastening Sequence)

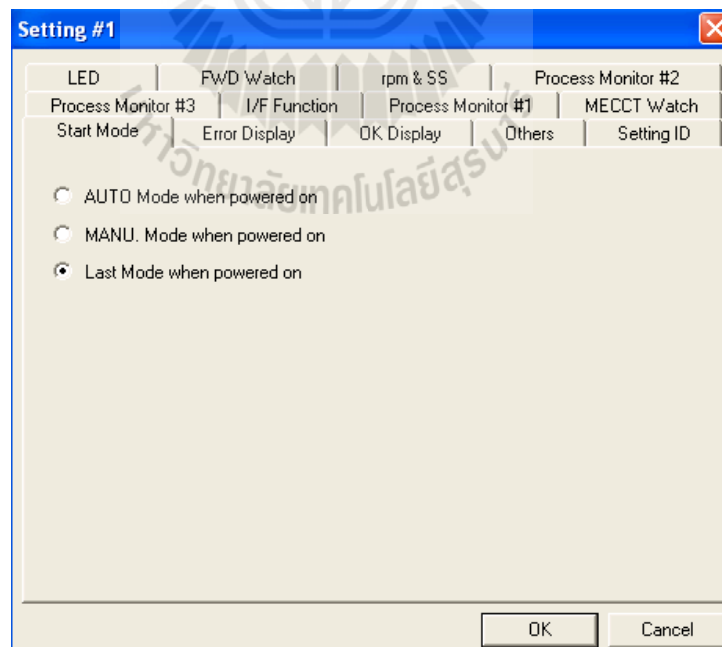


รูปที่ ข.7 แสดงลำดับในการขันสกรูที่กำหนดเป็นค่าเริ่มต้นจากผู้ผลิต (Screw Fastening Sequence Deflulat from Factory)

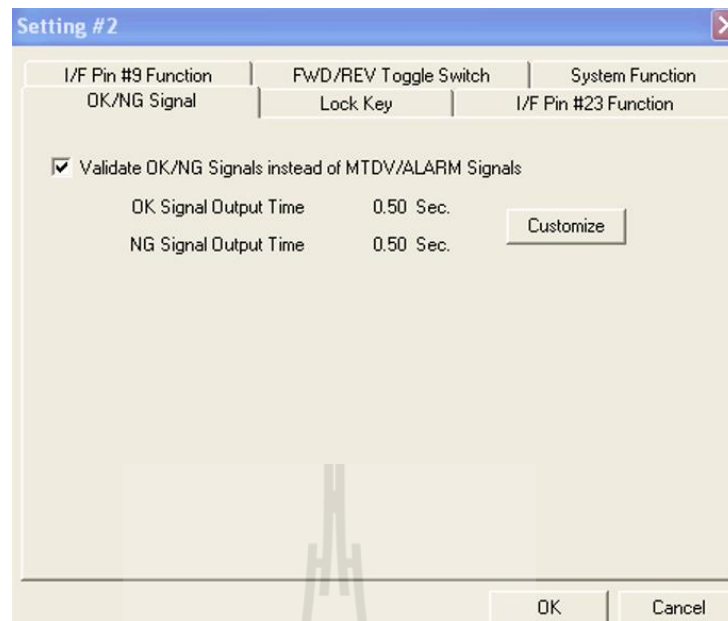
## 4. Interface Signal &amp; Input / Ouput Option Setting



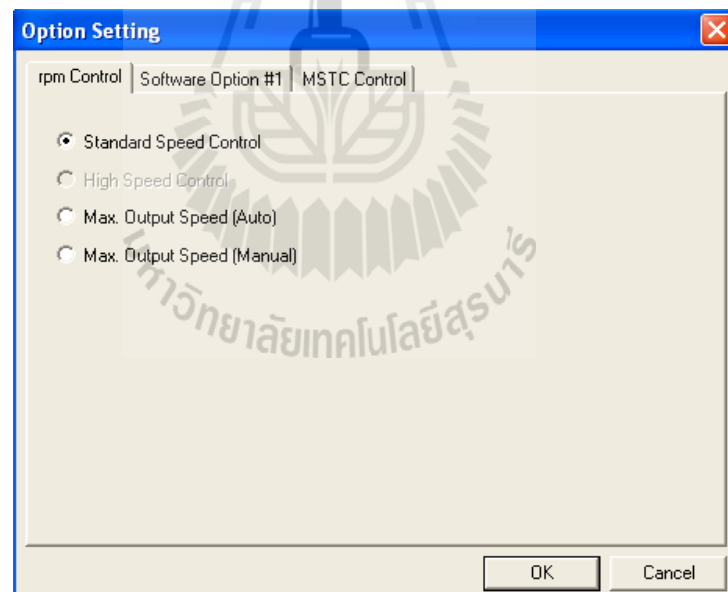
รูปที่ ข.8 แสดง Interface Signal &amp; Input / Ouput Option Setting#1



รูปที่ ข.9 แสดง Interface Signal &amp; Input / Ouput Option Setting#2



รูปที่ ข.10 แสดง Interface Signal & Input / Ouput Option Setting#2



รูปที่ ข.11 แสดง Interface Signal & Input / Ouput Option Setting

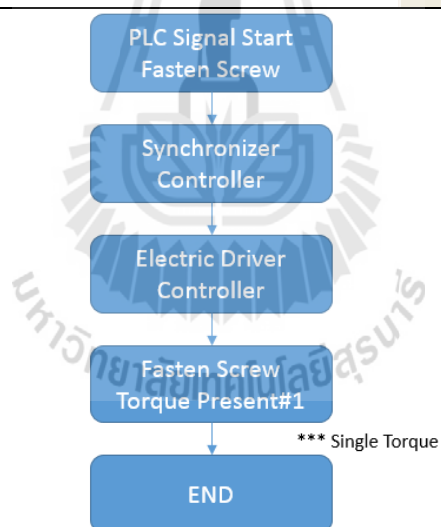
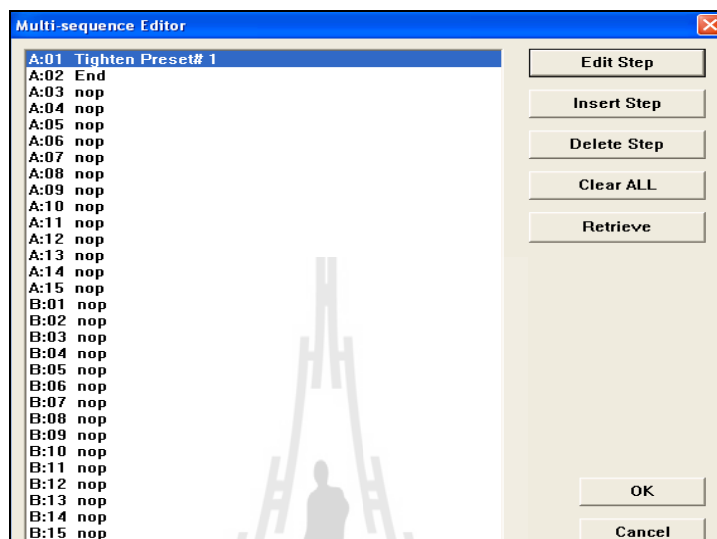
## ข.2 การเพิ่มซีเควนซ์ในการขันสกรูยึดแผ่นยึดแผ่นดิกส์ (Top Clamp)

การเพิ่มซีเควนซ์ในการขันสกรูสามารถทำได้โดยการเขียนลำดับการควบคุมในส่วนของลำดับการขันสกรู (Screw Fastening Sequence) ซึ่งทำได้โดยการเขียนลำดับการควบคุมลงไป

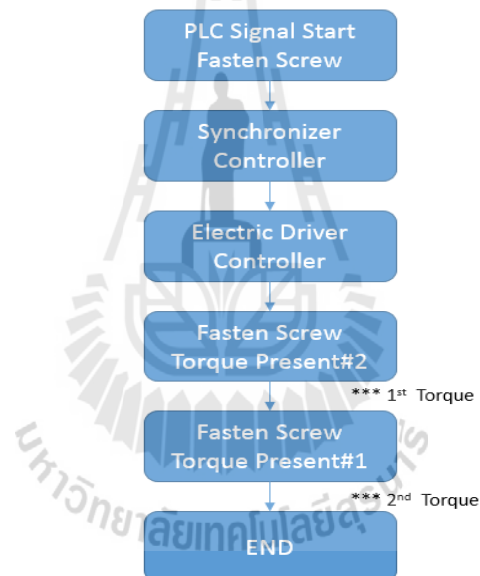
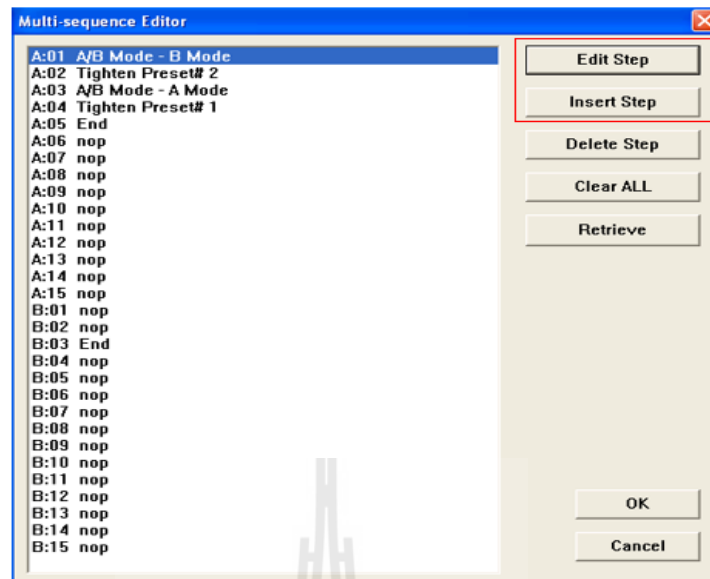
ส่วนของ Multi Sequence Editor ของ Controller แต่ละตัวโดยใช้ การ Interface โดยโปรแกรม

Technart

Customizer



รูปที่ ข.12 แสดงลำดับการขันสกรูและ Flow Chart การทำงาน  
สำหรับการขันสกรูก่อนการปรับปรุงแบบหนึ่งสเตป



รูปที่ ข.13 แสดงลำดับการขันสกรูและ Flow Chart การทำงาน  
สำหรับการขันสกรูหลังการปรับปรุงแบบสองสเตป

การเขียนซีเควนซ์การขันสกรูสามารถทำได้โดยลำดับการเขียนลำดับการควบคุมลงไปใน  
ส่วนของ Multi Sequence Editor ของ Technart Controller ดังนี้

1. ทำการ Interface ระหว่าง PC กับ Tecnart Controller ทีละตัว โดยต่อสายสัญญาณผ่าน  
Port TM5RJ2-64 ของ Synchronizer
2. ทำการเลือก Edit Step



3. Step A:01 ให้เลือกฟังก์ชันการขันสกรู โดยเปลี่ยนจาก Tighten Preset#1 เป็น A/B Mode – B Mode
4. Step A:02 ให้เลือกฟังก์ชันการขันสกรู โดยเปลี่ยนจาก END เป็น Tighten Preset#2
5. Step A:03 ให้เลือกฟังก์ชันการขันสกรู โดยเปลี่ยนจาก nop (non operation) เป็น A/B Mode – A Mode
6. Step A:04 ให้เลือกฟังก์ชันการขันสกรู โดยเปลี่ยนจาก nop (non operation) เป็น Tighten Preset#1
7. Step A:04 ให้เลือกฟังก์ชันการขันสกรู โดยเปลี่ยนจาก nop (non operation) เป็น END

ทำการโหลดซีเควนซ์ที่ได้แก้ไขเข้าไปยังคอนโทรลเลอร์ รุ่น FEDIIIfw ตัวที่หนึ่ง จากนั้นทำการแก้ไขซีเควนซ์ตามลำดับข้อ 1 ถึง ข้อ 7 ให้ครบคอนโทรลเลอร์ทั้ง 6 ตัว

### ข. 3 การกำหนดค่าแรงบิดหับขันสกรูยึดแผ่นยึดแผ่นดิกส์ (Top Clamp)

1. ค่าแรงบิดในการขันสกรูที่เก็บค่าใน Preset#1 ในคอนโทรลเลอร์ เท่ากับ 100 mNm. +/- 5% ซึ่งเป็นค่าคงที่และสเปคที่กำหนดในกระบวนการผลิต เพื่อใช้ขันสกรูยึดแผ่นยึดแผ่นดิกส์ (Top Clamp) ให้แน่น



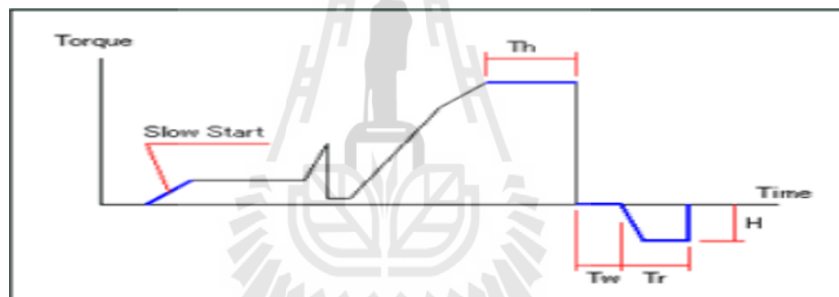
รูปที่ ข.14 แสดงค่าแรงบิดในการขันสกรูที่เก็บค่าใน Preset#1

2. ค่าแรงบิดในการขันสกรูที่เก็บค่าใน Preset#2 ในคอนโทรลเลอร์ ประมาณ 50% ของค่าที่กำหนดใน Preset#1 ซึ่งเป็นค่าแรงบิดที่ใช้สำหรับปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดการเสียหายของแผ่นดิกส์ขณะขันสกรู



รูปที่ ข.15 แสดงค่าแรงบิดในการขันสกรูที่เก็บค่าใน Preset#2

#### ค. 4 การเพิ่มฟังก์ชัน Slow Start ในการขันสกรูยึดแผ่นยึดแผ่นดิกส์ (Top Clamp) สำหรับค่าแรงบิดเริ่มต้น (1<sup>st</sup> Torque)



##### Slow Start

By putting check-mark in "enable Slow Start", Slow Start mode turns on effective. With the Slow Start mode on, driver starts rotation with low torque and slow speed for initial stage. The Slow Start may bring smaller shock to the work-piece, and also help to make sure of proper engagement of screw with screw hole and also of running the screw down in straight.

##### Holding Time

The  $T_h$  in the graph above shows holding time of target torque. In fastening process control of Technart system, after screw seating and torque-up, the target torque is furthermore applied and held for the period of  $T_h$ , to stabilize torque and to eliminate relaxation. The default setting  $T_h$  is 100 milliseconds. The 100 milliseconds is optimum holding time for most screw tightening conditions, and it is not necessary to change it usually. You may, however, want to change it to suit your unusual conditions. For instance, longer  $T_h$  may be necessary for extra soft joint conditions. Shorter  $T_h$  may be sufficient for pre-torque tightening purpose.

$T_w$  : in what milliseconds later reversing torque shall be applied after completion of screw tightening (effective range : 20 to 999 milliseconds)

$T_r$  : how long in milliseconds reversing torque shall be applied (effective range : 0 to 999 milliseconds)

$H$  : how large reversing torque shall be applied in the ratio of tightening torque setting (effective range : 10 to 90 %)

รูปที่ ข.16 อธิบายฟังก์ชัน Slow Start พร้อมกราฟแรงบิดในการขันสกรู และพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในกำหนดค่าเวลาในการขันสกรู

Slow Start เป็นฟังก์ชันเริ่มการขันสกรูด้วยค่าแรงบิดและความเร็วรอบต่ำ เพื่อให้เกิดแรงในการขันสกรูที่ต่ำ ซึ่งจะยังช่วยให้ปลายไขควงไฟฟ้าสวมเข้าเข้ากับสกรูได้ตรงตำแหน่งในแนวแกนหมุน จากรูปที่ ข. 14 จะเป็นรูปที่แสดงพารามิเตอร์สำหรับขันสกรูก่อนการปรับปรุงโดยไม่ได้เลือกใช้ฟังก์ชัน Slow Start และ รูปที่ ข.15 แสดงพารามิเตอร์สำหรับขันสกรูหลังการปรับปรุงโดยเลือกใช้ฟังก์ชัน Slow Start ที่ B-Mode โดยการทำงานจะมีความสัมพันธ์กันกับซีเควนซ์ในการขันสกรู ซึ่งได้อธิบายตามหัวข้อที่ ข.2 และรูปที่ ข.13 การทำงานสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ดังต่อไปนี้คือ

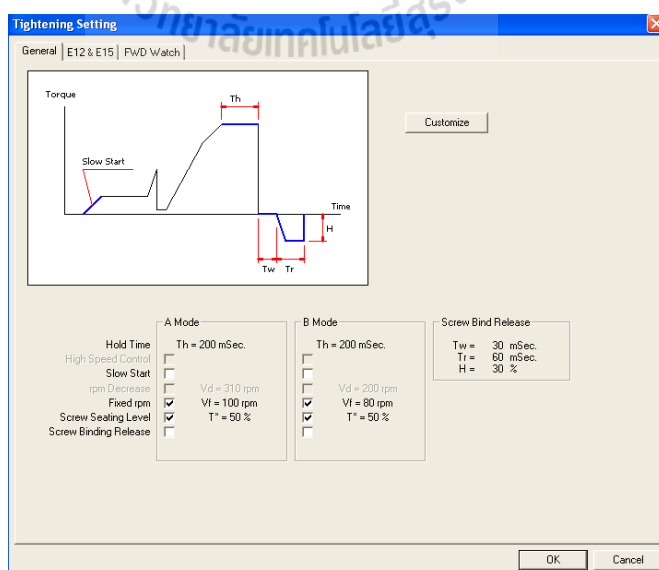
1. การขันสกรูสเตปแรก ( A:01 ) ได้กำหนดให้เลือกโหมดการขันสกรูไปที่ B-Mode ซึ่งได้กำหนดให้มีการเลือกใช้ฟังก์ชัน Slow Start
2. การขันสกรูสเตปที่สอง ( A:02 ) ได้กำหนดให้เลือกโหมดการขันสกรูไปยัง Preset#2 ซึ่งมีค่าแรงบิดที่กำหนดสำหรับขันสกรูเท่า 50% ของค่าแรงบิดสูงสุด คือ

$$100 \text{ mNm.} \times 50\% = 50 \text{ mNm.}$$

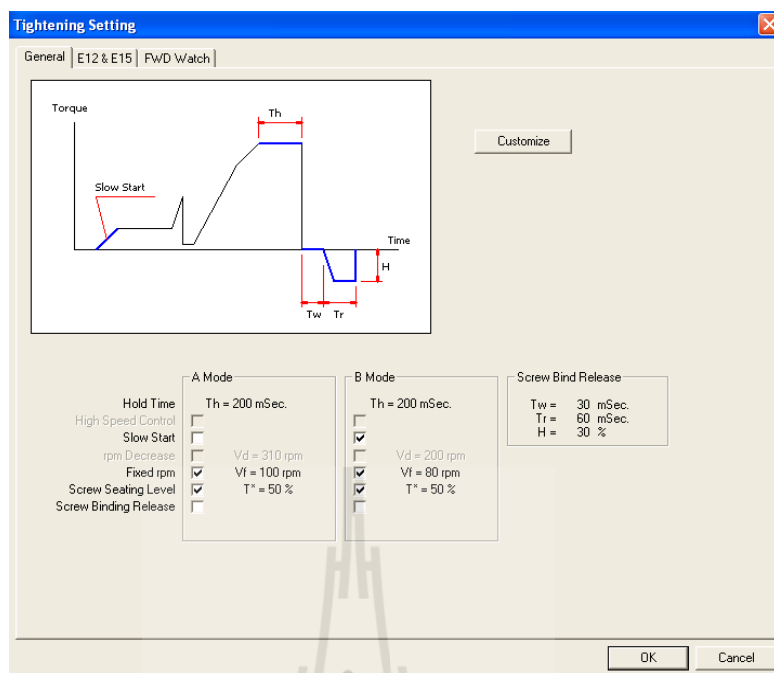
3. การขันสกรูสเตปที่สาม ( A:03 ) ได้กำหนดให้เลือกโหมดการขันสกรูไปที่ A-Mode ซึ่ง ไม่เลือกใช้ฟังก์ชัน Slow Start
4. การขันสกรูสเตปที่สี่ ( A:04 ) ได้กำหนดให้เลือกโหมดการขันสกรูไปยัง Preset#1 ซึ่งมีค่าแรงบิดที่กำหนดสำหรับขันสกรูเท่า 100% ของค่าแรงบิดสูงสุด คือ

$$100 \text{ mNm.} \times 100\% = 100 \text{ mNm.}$$

5. การขันสกรูสเตปที่ห้า ( A:05 ) END คำสั่งสิ้นสุดลำดับการขันสกรู



รูปที่ ข.17 แสดงพารามิเตอร์สำหรับขันสกรูก่อนการปรับปรุงโดยไม่ได้เลือกใช้ฟังก์ชัน Slow Start



รูปที่ ข.18 แสดงพารามิเตอร์สำหรับขั้นสกรูหลังการปรับปรุง โดยเลือกใช้ฟังก์ชัน Slow Start ที่ B-Mode



## ประวัติผู้เขียน

นายมงคล ปรารงค์ศิริสกุล เกิดเมื่อวันที่ 17 กันยายน 2522 ที่อำเภอปัว จังหวัดน่าน เริ่ม การศึกษาระดับประถมศึกษาปีที่ 1 - 6 ที่โรงเรียนวัดมวกเหล็กนอก และมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ที่ โรงเรียนมวกเหล็กวิทยาคม จากนั้นได้ศึกษาต่อระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) สาขาช่าง อิเล็กทรอนิกส์ที่วิทยาลัยเทคนิคสระบุรีและศึกษาต่อประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.)สาขาช่าง อิเล็กทรอนิกส์อุตสาหกรรม ที่วิทยาลัยเทคนิคท่าหลวงซิเมนต์ไทยอนุสรณ์ จังหวัดสระบุรี สำเร็จ การศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ.2552 โดยได้รับทุนการศึกษาจากความ ร่วมมือการพัฒนาบุคลากรในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ โดยภาคอุตสาหกรรมในขณะนั้นคือ บริษัท ฮิตาชิ โกลบอล สตอเรจ เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด และรัฐบาลโดยศูนย์เทคโนโลยี อิเล็กทรอนิกส์ และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC) ในปี พ.ศ. 2553 ได้ศึกษาต่อระดับวิศวกรรม ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเมคคาทรอนิกส์ ขณะศึกษาได้เป็นหัวหน้าวิศวกรของบริษัทเอชจีเอสที (ประเทศไทย) จำกัด แผนก Tooling & Maintenance มีหน้าที่ในการควบคุมดูแลเครื่องมือ- เครื่องจักร สำหรับผลิตฮาร์ดดิสก์ในกระบวนการ Hard Disk Enclosure มีการนำเสนอผลงาน วิชาการเรื่อง Improvement of The Hard Disk Balancing Process for 2.5” Server Hard Disk ในการ ประชุม วิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29 (ME-NETT 2015) ในวันที่ 30 มิถุนายน – 2 กรกฎาคม 2558 จังหวัดนครราชสีมา