

การออกแบบและสร้างต้นแบบชุดวัดระยะเพื่อตั้งค่าเครื่องจักร
ในกระบวนการประกอบแผ่นดิสก์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาแมคคาทรอนิกส์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2557

**DESIGN AND PROTOTYPING OF GAP GAUGE FOR
MACHINE SETTING IN DISK INSTALLATION
PROCESSES**

Panya Inthongchai



**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**

การออกแบบและสร้างต้นแบบชุดวัฏระยะเพื่อตั้งค่าเครื่องจักรในกระบวนการ
ประกอบแผ่นดิสก์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติใ้ให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.กীরติ สุกฤษณ์)

ประธานกรรมการ

(อ. ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.กัญชลา สุกดาชาติ)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ปัญญา อินทร์ธงชัย : การออกแบบและสร้างต้นแบบชุดวัดระยะเพื่อตั้งค่าเครื่องจักรใน
กระบวนการประกอบแผ่นดิสก์ (DESIGN AND PROTOTYPING OF GAP GAUGE
FOR MACHINE SETTING IN DISK INSTALLATION PROCESSES) อาจารย์ที่ปรึกษา
: อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ สีวดำรงพงศ์, 97 หน้า

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ได้มีการขยายตัวสูงขึ้น เพื่อตอบสนองความ
ต้องการของตลาด ดังนั้นเครื่องจักรอัตโนมัติจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญต่อกระบวนการประกอบ
ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อให้ได้ความรวดเร็วและเที่ยงตรงมากขึ้น กระบวนการประกอบแผ่นดิสก์เป็น
กระบวนการหนึ่งที่สำคัญ แต่ยังคงต้องใช้ประสบการณ์ในการตั้งค่าความหนาแน่นระหว่างแผ่นดิสก์
กับเครื่องจักรจากผู้ควบคุมเครื่องจักร โดยอาศัยอุปกรณ์สอบเทียบและการตัดสินใจจากผู้ควบคุม
เครื่องจักร ซึ่งพบว่าในบางครั้งยังคงมีความผิดพลาด นำไปสู่การสูญเสียประสิทธิภาพการใช้งานของ
เครื่องจักร วัตถุประสงค์ บุคลากร เวลา และเงินเป็นจำนวนมาก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและ
พัฒนาอุปกรณ์สอบเทียบเครื่องจักร เพื่อตั้งค่าความหนาแน่นระหว่าง ชุดหีบจับแผ่นดิสก์กับถาด
บรรจุแผ่นดิสก์ ซึ่งชุดหีบจับต้องขนานกับแผ่นดิสก์ซึ่งอยู่ในถาดบรรจุที่ค่อนข้างแคบและยอมรับ
ความเอียงของแผ่นดิสก์มากที่สุดไม่เกิน 0.26 องศา โดยชุดต้นแบบจะประกอบด้วยชุดอุปกรณ์การ
วัด ชุดคำนวณค่าความเอียงและค่าชดเชยเพื่อให้ความหนาแน่นที่ต้องการ โดยใช้โปรแกรมควบคุมและ
ทำหน้าที่ตัดสินใจแทนผู้ควบคุมเครื่องจักร จากการทดลองต้นแบบชุดอุปกรณ์นั้น สามารถบอก
องศาที่ความคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้เพียงพอต่อการใช้งาน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสามารถ
นำไปพัฒนาเพื่อนำไปใช้กับเครื่องจักรอื่นๆต่อไป

PANYA INTHONGCHAI : DESIGN AND PROTOTYPING OF GAP
GAUGE FOR MACHINE SETTING IN DISK INSTALLATION
PROCESSES. THESIS ADVISOR : SOMSAK SIWADAMRONGPONG,
Ph.D., 97 PP.

HARD DISK DRIVE ASSEMBLY/MACHINE ENGINEER/PARALLEL SETTING
GAUGE

Recently, the hard disk drive industry has growth continuously of market needs in both quantity and quality sides. The machine automation is became an importance role in assembly processes to reach faster and more accurate production. Disk Installation is one of an importance processes. The installation machine still requires experienced technician for parallel setting between disk and machine using gauge and decision skill. The setting step sometimes has error and lead to loss in machine, material, labor, time and monetary efficiencies. The purpose of this research is to study and develop the device for parallel setting between disk end effector and disk box. The end effector must stay in parallel with the disk in relatively narrow disk slot in limited tilt 0.26 degree. The prototype will consisted of gauge equipment, tilt calculation and compensation modules for desired parallel instead of technician skill. From testing of the prototype, calculated tilt degree was accurate within an acceptable error compare to the current work. Therefore, this research can be developed and expanded to use in other like-machines.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2014

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ตามวัตถุประสงค์ทุกประการ ทั้งนี้ผู้ทำโครงการวิจัย ขอขอบพระคุณบุคคล และหน่วยงานต่างๆที่ได้ให้โอกาส ให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง และให้ความช่วยเหลือ อย่างดียิ่งเสมอมา ดังนี้

บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด คุณ ปรีชัช ภูมิศรี และ คุณ ชลอ เอ็มเปริย หัวหน้างาน ที่ให้คำแนะนำและสนับสนุนเรื่องเวลาในระหว่างทำวิจัย คุณ ชนพล แก้วอริญญิก ที่คอยให้คำแนะนำด้านซอฟต์แวร์ และบุคลากรของบริษัททุกท่าน ที่ได้ให้การสนับสนุนผู้ทำโครงการวิจัย ในการสร้างผลงานวิจัยชิ้นนี้ขึ้นมาเป็นผลสำเร็จ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ได้ให้โอกาส ผู้ทำโครงการวิจัย ได้เข้ามาศึกษาหาความรู้ และได้สร้างบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถ ในด้านต่างๆหลากหลายสาขาอาชีพ

รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล ที่ให้คำแนะนำทางด้านวิชาการ แนวทางในการดำเนินการวิจัยที่เป็นประโยชน์ ในการดำเนินงานวิจัย

อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ อบรมสั่งสอน ให้คำปรึกษา ชี้แนะข้อมูลต่างๆที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัย และแนวทางการแก้ปัญหาต่าง ๆ ด้วยความเมตตา กรุณา เสมอมา

เจ้าหน้าที่ประจำสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่คอยช่วยเหลือ ประสานงานและอำนวยความสะดวกในด้านธุรการต่าง ๆ

ขอขอบคุณ นางสาว ธัญธร ล้นขุดทด และ นาย วรภาคย์ อินทร์ธงชัย ที่คอยให้กำลังใจ เสมอมา

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสุชัย อินทร์ธงชัย คุณแม่ณงนุช อินทร์ธงชัย ที่ได้ให้ชีวิต อบรมเลี้ยงดู สนับสนุนด้านการศึกษา และคอยเป็นกำลังใจให้ตลอดเวลา จนทำให้ผู้ทำโครงการวิจัยประสบความสำเร็จได้ในวันนี้

ปัญญา อินทร์ธงชัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฅ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.4 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	4
1.4.1 ระเบียบวิธีวิจัย.....	4
1.4.2 สถานที่ทำการวิจัย.....	5
1.4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
2 ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 อุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไอร์แลนด์.....	6
2.1.1 กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไอร์แลนด์.....	7
2.1.2 ขั้นตอนในการประกอบฮาร์ดดิสก์ไอร์แลนด์.....	8
2.1.3 กระบวนการถอดเพื่อแก้ไขฮาร์ดดิสก์ไอร์แลนด์.....	9
2.2 เครื่องจักรอัตโนมัติ.....	10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3	เซ็นเซอร์วัดระยะด้วยเลเซอร์	11
2.4	ระบบควบคุม	12
2.5	ทฤษฎี ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ (Math model)	14
2.6	กระบวนการสอบเทียบของเครื่อง Disc Install ในปัจจุบัน	16
2.6.1	การสอบเทียบความขนานชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ออกจากตลับบรรจุใน ปัจจุบัน	16
2.6.2	การสอบเทียบและควบคุมชุดขับเคลื่อนตลับบรรจุแผ่นดิสก์ในปัจจุบัน	18
2.7	ช่องว่างระหว่างแผ่นดิสก์กับตลับบรรจุแผ่นดิสก์	19
3	การดำเนินงานวิจัย	21
3.1	แนวทางการปรับปรุงการสอบเทียบ	21
3.1.1	การปรับปรุงการสอบเทียบความขนานระหว่าง ชุดหยิบจับกับแผ่นดิสก์ในตลับบรรจุ	21
3.1.1.1	การออกแบบชุดวัดค่าความขนานระหว่าง ชุดหยิบจับกับแผ่นดิสก์ในตลับบรรจุ	22
3.1.1.2	การออกแบบระบบควบคุมการตั้งค่าขนาน ระหว่างชุดหยิบจับกับแผ่นดิสก์ในตลับบรรจุ	24
3.1.2	การปรับปรุงการสอบเทียบและการควบคุมชุดขับเคลื่อน ตลับบรรจุแผ่นดิสก์	25
3.2	ส่วนประกอบที่ใช้ในชุดอุปกรณ์ต้นแบบ	29
3.2.1	เซ็นเซอร์วัดระยะ	29
3.2.2	อุปกรณ์รับค่าแบบอนาล็อกและส่งค่าแบบดิจิทัล	30
3.2.3	แหล่งจ่ายไฟ	31
3.3	การหาความคลาดเคลื่อนยินยอมจากการปรับตั้งความขนานที่ยอมรับได้	31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.1 การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดมุม	32
3.2.2 การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดระยะ	32
4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	34
4.1 ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์	34
4.2 การแปลงค่าที่รับได้จากเซ็นเซอร์วัดระยะรุ่น ZX1-LD050A61 จากบริษัท OMRON	44
4.3 การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์สอบเทียบ	45
4.3.1 การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดมุม	45
4.3.2 การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดระยะ	49
4.4 การคำนวณเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ	52
4.5 ผลการดำเนินงานของชุดอุปกรณ์ต้นแบบ	55
4.5.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการสอบเทียบ	55
4.5.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการเข้าหยิบจับของชุดหยิบจับแผ่น ดิสก์ออกจากถาดบรรจุ	56
4.5.3 จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นหลังการสอบเทียบที่ได้ออกแบบ	56
5 สรุปและข้อเสนอแนะ	57
5.1 สรุปผลการวิจัย	57
5.2 ข้อเสนอแนะ	57
รายการอ้างอิง	59
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. รายละเอียดชิ้นส่วนอุปกรณ์สอบเทียบต้นแบบและ การเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า	60
ภาคผนวก ข. โปรแกรมควบคุมชุดการสอบเทียบชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ออกจากถาดบรรจุ	66
ประวัติผู้เขียน	97

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการทดลองการหาค่าความผิดพลาดของการวัดมุม	47
4.2 ผลการทดลองการหาค่าความผิดพลาดของการวัดระยะ	51
4.3 ระยะเวลาในการสอบเทียบเครื่องจักร	55
4.4 ระยะเวลาในการทำงานของเครื่องจักร	56



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 แสดงกระบวนการทำงานของเครื่อง Disk Installer	1
1.2 รอยขีดขีดบนแผ่นดิสก์ (Scratch) ยาวประมาณ 4-10 มิลลิเมตร	2
1.3 แสดงขนาดของชุดหีบจับแผ่นดิสก์ออกจากดรัมบรรจุ	2
1.4 แสดงชุดหีบจับที่ไม่ขนานเมื่อกระทำต่อแผ่นดิสก์	3
2.1 แสดงขั้นตอนในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์	6
2.2 แสดงตัวรับแสง แบบ PSD และ CCD/	11
2.3 แสดงเซ็นเซอร์วัดระยะด้วยเลเซอร์แบบทฤษฎีสามเหลี่ยม	12
2.4 ส่วนประกอบของระบบควบคุม	12
2.5 ระบบควบคุมแบบวงรอบเปิด	13
2.6 ระบบควบคุมแบบวงรอบปิด	13
2.7 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	14
2.8 อุปกรณ์สอบเทียบความขนานชุดหีบจับแผ่นดิสก์ และระยะการเคลื่อนที่ชุดขับเคลื่อนดรัมบรรจุแผ่นดิสก์ในปัจจุบัน	16
2.9 แสดงขั้นตอนการสอบเทียบความขนานชุดหีบจับแผ่นดิสก์กับดรัมบรรจุในปัจจุบัน	17
2.10 แสดงการปรับตั้งความขนานของชุดหีบจับในปัจจุบัน	17
2.11 ขั้นตอนการสอบเทียบชุดขับเคลื่อนดรัมบรรจุแผ่นดิสก์ในปัจจุบัน	18
2.12 แผ่นดิสก์เมื่ออยู่ในดรัมบรรจุ	19
2.13 ขนาดของช่องบรรจุแผ่นดิสก์	20
2.14 แสดงช่องว่างระหว่างแผ่นดิสก์กับดรัมบรรจุ	20
3.1 ชุดอุปกรณ์สอบเทียบความขนานต้นแบบที่ได้ทำการออกแบบ ด้วยโปรแกรม Solid Work 2014	22
3.2 การสอบเทียบและปรับตั้งค่าความขนานชุดหีบจับแผ่นดิสก์ออกจากดรัมบรรจุ	23
3.3 Flow Chart แสดงการสอบเทียบความขนานของชุดหีบจับแผ่นดิสก์ที่ได้ทำการออกแบบ	24
3.4 หน้าต่างการตั้งการค่าและสื่อสารกับผู้ควบคุมเครื่องจักร	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.5 ชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ซึ่งได้ทำการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดระดับที่ได้ทำการออกแบบ	26
3.6 Flow Chart แสดงการเคลื่อนที่ชุดขับเคลื่อนดรัมบรรจุแผ่นดิสก์ แบบวงจรถัดที่ได้ทำการออกแบบ	28
3.7 เซ็นเซอร์วัดระยะแบบ CMOS Laser Sensor รุ่น ZX1-LD050A61 จากบริษัท OMRON	29
3.8 เซ็นเซอร์วัดระยะแบบ CCD Laser Sensor รุ่น LK-H152 และคอนโทรลเลอร์ รุ่น LK-G5001V จากบริษัท KEYENCE	30
3.9 อุปกรณ์รับและส่งค่า แบบสื่อสารด้วย TCP-IP รุ่น ADAM-6017 จากบริษัท ADVANTECH	30
3.10 แหล่งจ่ายไฟแบบ Switching Adapter รุ่น GS900A24-P1M จากบริษัท MEAN WELL	31
3.11 แสดงวิธีการทดสอบเซ็นเซอร์เพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดมุม	32
3.12 แสดงวิธีการทดสอบเซ็นเซอร์เพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดระยะ	33
4.1 รูปแบบอย่างง่ายของชุดอุปกรณ์สอบเทียบความขนาน	35
4.2 แนวคิดการหามุมของระนาบที่เอียงเมื่อกระทำต่อแกนที่สนใจ	36
4.3 แบบจำลองอย่างง่าย ซึ่งได้นำค่าต่างๆกำหนดลงไป เมื่อมองจากด้านบน	37
4.4 การพิจารณาหา Z_{12}	38
4.5 การพิจารณาหา Z_{32}	39
4.6 การพิจารณาหา Z_{13}	40
4.7 การพิจารณาหา Z_{22}	41
4.8 การพิจารณาหาค่ามุมเอียง θ_x	42
4.9 การพิจารณาหาค่ามุมเอียง θ_y	43
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Output เซ็นเซอร์วัดระยะ รุ่น ZX1-LD050A61 จากบริษัท OMRON กับระยะที่วัดได้	45
4.11 การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดมุม	46
4.12 โปรแกรมแสดงค่ามุมที่วัดได้	46

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 กราฟผลการทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดมุมแบบที่ 1 (ปรับมุม ในแกน X คงที่มุมในแกน Y).....	48
4.14 กราฟผลการทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดมุมแบบที่ 2 (คงที่มุมในแกน X ปรับมุมในแกน Y).....	48
4.15 กราฟผลการทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดมุมแบบที่ 3 (ปรับมุมในแกน X และ Y).....	49
4.16 การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดระยะ.....	50
4.17 โปรแกรมแสดงระยะทางที่วัดได้	50
4.18 กราฟผลการทดลองการหาค่าความผิดพลาดของการวัดระยะ	52
4.19 แสดงมุมเอียงของแผ่นดิสก์เมื่ออยู่ในคลັບบรรจุที่ขอมรับได้	53
4.20 Flow Chart แสดงการสอบเทียบชุดหีบจับแผ่นดิสก์กับคลັບบรรจุ	54
4.21 อุปกรณ์สอบเทียบต้นแบบที่ได้สร้างขึ้น	55

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

HDD	=	Hard Disk Drive
HDA	=	Hard Disk Assembly
MBA	=	Motor Base Assembly
PCBA	=	Printed Circuit Board Assembly
HGA	=	Head Gimbals
FPC	=	Flexible Printed Circuit
VCMA	=	Voice Coil Motor Assembly
HSA	=	Head Stack Assembly
IC	=	Integrated Circuit
PSD	=	Position sensitive detector
CCD	=	Charge Coupled Device
CMOS	=	Complementary Metal Oxide Semiconductor
TCP-IP	=	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
AC	=	Alternating Current
DC	=	Direct Current
θ_x	=	มุมที่กระทำต่อแกน X
θ_y	=	มุมที่กระทำต่อแกน Y

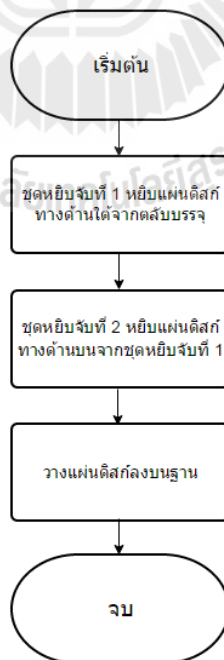
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

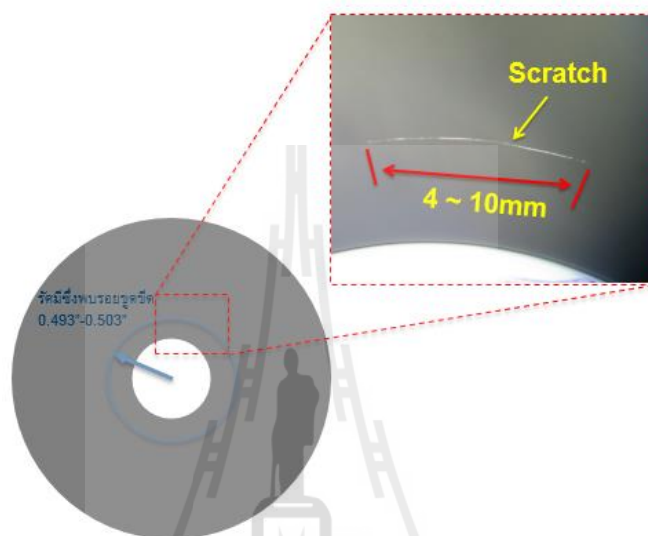
ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Head Disk Drive, HDD) มีการขยายตัวสูงขึ้น บริษัทผู้ผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์จึงต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตให้สูงขึ้นตาม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและแข่งขันได้ในตลาด ดังนั้นเครื่องจักรอัตโนมัติจึงได้เข้ามามีบทบาทในการบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในหลายๆส่วน เนื่องจากมีความแม่นยำและรวดเร็ว

ในกระบวนการนำแผ่นดิสก์ (Disk) สวมเข้ากับมอเตอร์ (Motor) ซึ่งจะประกอบอยู่กัฐาน (Motor Base Assembly, MBA) ก็เป็นกระบวนการหนึ่งที่ได้นำเครื่องจักรอัตโนมัติเข้ามาใช้งาน โดยเครื่องจักรนี้มีชื่อว่า Disk Install โดยการที่บริษัทตัดสินใจนำเครื่องจักรมาใช้แทนมนุษย์ในกระบวนการนี้ เนื่องจากแผ่นดิสก์มีความเปราะบางและเกิดรอยได้ง่าย ดังนั้นในการหยิบแผ่นดิสก์จึงต้องใช้ความระมัดระวังเป็นอย่างมาก



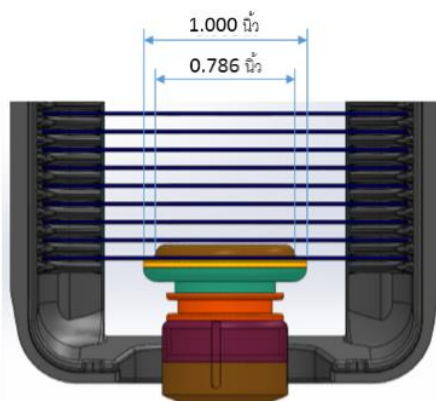
รูปที่ 1.1 แสดงกระบวนการทำงานของเครื่อง Disk Install

เมื่อประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เสร็จและนำไปทดสอบกลับพบว่าไม่สามารถทำงานได้ จึงนำกลับมาถอดแยกชิ้นส่วน เพื่อหาสาเหตุที่ทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ ซึ่งหนึ่งในนั้นคือการพิจารณาแผ่นดิสก์ ข้อมูลจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง หากส่องกล้องไปบนแผ่นดิสก์จะพบแผ่นดิสก์ที่มีความเสียหายเป็นรอยขีดข่วน (Scratch) ยาวประมาณ 4-10 มิลลิเมตร มีลักษณะเป็นแนวรัศมี 0.493-0.503 นิ้ว ดังรูปที่ 1.2 เป็นจำนวนมากถึง 33 % ของแผ่นดิสก์ที่มีการเสียทั้งหมด



รูปที่ 1.2 รอยขีดข่วนบนแผ่นดิสก์ (Scratch) ยาวประมาณ 4-10 มิลลิเมตร

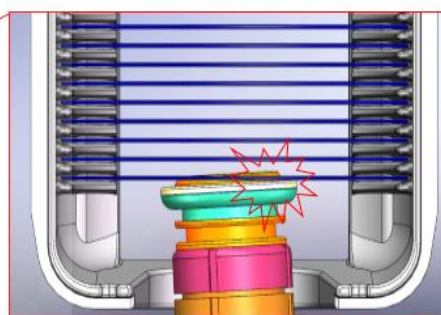
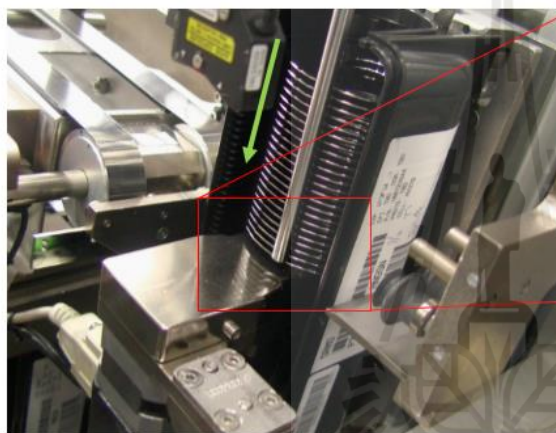
เมื่อพิจารณาพบว่ารัศมีซึ่งปรากฏรอยขีดข่วนเป็นรัศมีซึ่งใกล้เคียงกับรัศมีของชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ออกจากถาดบรรจุแผ่นดิสก์ของเครื่อง Disk Install ซึ่งมีลักษณะเป็นวงกลมมีจุดสัมผัสกับแผ่นดิสก์ออกจากศูนย์กลางแผ่นเป็นแนวรัศมี ซึ่งรัศมีด้านในเท่ากับ 0.393 นิ้วและรัศมีด้านนอกเท่ากับ 0.5 นิ้ว ดังรูปที่ 1.3 และเป็นเครื่องจักรเดียวที่สัมผัสแผ่นดิสก์บริเวณนี้



รูปที่ 1.3 แสดงขนาดของชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ออกจากถาดบรรจุ

จากการวิเคราะห์พบปัญหาที่เกิดมาจากการตั้งค่าชุดหีบจับแผ่นดิสก์ ซึ่งไม่ขนานกับตัวชิ้นงานและการควบคุมตำแหน่งการเคลื่อนที่ลงของดรัมบรรจุแผ่นดิสก์ เมื่อเข้าหีบเป็นลักษณะการกำหนดตำแหน่งไว้ล่วงหน้าโดยผู้ควบคุมเครื่อง ดังรูปที่ 1.4 ทำให้มีความคลาดเคลื่อนเป็นอย่างมาก งานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีการการควบคุมชุดเคลื่อนที่แบบวงจรปิด เพื่อการเข้าหีบจับแผ่นดิสก์ที่แม่นยำ และวิธีการตั้งค่าโดยไม่มีพึ่งการตัดสินใจของผู้ควบคุมเครื่อง โดยมีต้นทุนต่ำและยังคงเพียงพอต่อการใช้งาน

ทิศทางในการเคลื่อนที่ลงของดรัมบรรจุแผ่นดิสก์ เพื่อให้รูตรงกลางแผ่นดิสก์สวมเข้ากับชุดหีบ



ชุดหีบแผ่นดิสก์ที่ไม่ขนานกับแผ่นดิสก์ในดรัมบรรจุ ซึ่งสามารถปรับตั้งค่าความขนานได้โดยผู้ควบคุมเครื่อง

รูปที่ 1.4 แสดงชุดหีบจับที่ไม่ขนานเมื่อกระทำต่อแผ่นดิสก์

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์หลักคือ การพัฒนาประสิทธิภาพการตั้งค่าโดยมนุษย์ ของเครื่อง Disk Install โดยการใช้ทฤษฎีการตั้งค่าวัตถุสองชิ้นให้ขนานกัน และ ทฤษฎีการควบคุม โดยแบ่งเป็นวัตถุประสงค์ย่อยดังนี้

- 1) เพื่อออกแบบระบบควบคุมการตัดสินใจของผู้ปฏิบัติงานในการตั้งค่าความขนาน
- 2) เพื่อออกแบบระบบควบคุมแบบวงจรปิดของชุดขับเคลื่อนดรัมบรรจุแผ่นดิสก์
- 3) เพื่อออกแบบและสร้างต้นแบบชุดวัดระยะ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ออกแบบและสร้างต้นแบบชุดวัดระยะเพื่อใช้กับเครื่อง Disk Install สำหรับฮาร์ดดิสก์ไคลฟ์ 2.5 นิ้ว
- 2) ออกแบบระบบควบคุมการตัดสินใจของผู้ปฏิบัติงาน โดยแสดงผลทางหน้าจอของเครื่อง Disk Install
- 3) ปรับปรุงการทำงาน โดยความเร็วและประสิทธิภาพของกระบวนการไม่ลดลง
- 4) ออกแบบระบบควบคุมแบบวงจรปิดของชุดขับเคลื่อนตลับบรรจุแผ่นดิสก์สำหรับฮาร์ดดิสก์ไคลฟ์ 2.5 นิ้ว
- 5) อุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบต้องเป็นแบบต้นทุนต่ำแต่ยังคงประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการใช้งาน

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยในส่วนของงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ระเบียบวิธีวิจัย สถานที่ทำการวิจัย และเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.4.1 ระเบียบวิธีวิจัย

ระเบียบวิธีวิจัย จะแบ่งเป็นลำดับขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษากระบวนการตั้งค่าของเครื่อง Disc Install ในส่วนของชุดหีบจับแผ่นดิสก์ออกจากตลับบรรจุโดยมนุษย์อย่างละเอียด
2. ศึกษาระบบ-ระเบียบวิธีการตั้งค่าที่เหมาะสมในการตั้งค่าของเครื่อง Disc Install ในส่วนของชุดหีบจับแผ่นดิสก์ออกจากตลับบรรจุออกแบบเครื่องจักรกลและกลไกต่างๆ
3. ออกแบบกลไกเพื่อช่วยในการตั้งค่า
4. ออกแบบระบบตัดสินใจ โดยแสดงผลต่อผู้ตั้งค่าโดยง่าย
5. จัดสร้างชิ้นงานต้นแบบ
6. การทดสอบและปรับแก้การทำงานของชิ้นงานต้นแบบ
7. สรุปผลการทดลอง

1.4.2 สถานที่ทำการวิจัย

บริษัทซีเกทเทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด เลขที่ 40 ม.15 ต.สูงเนิน อ.สูงเนิน จ.
นครราชสีมา 30170

1.4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วย

1. คอมพิวเตอร์
2. โปรแกรม Solidwork 2014
3. โปรแกรม Visual Studio 2010
4. อุปกรณ์และฮาร์ดแวร์ต่างๆจากบริษัทซีเกทเทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ต้นแบบชุดวัดระยะซึ่งลดความผิดพลาดจากการตั้งค่าโดยมนุษย์
2. ลดของเสียซึ่งเกิดจากการตั้งค่าที่ผิดพลาดของมนุษย์
3. สามารถนำความรู้ที่ได้จากการปรับปรุงประสิทธิภาพของชุดวัดระยะไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้นจากตั้งค่าที่ผิดพลาด
4. สามารถนำความรู้ที่ได้จากการปรับปรุงประสิทธิภาพของการควบคุมแบบวงจรมืดไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในโรงงานอุตสาหกรรม

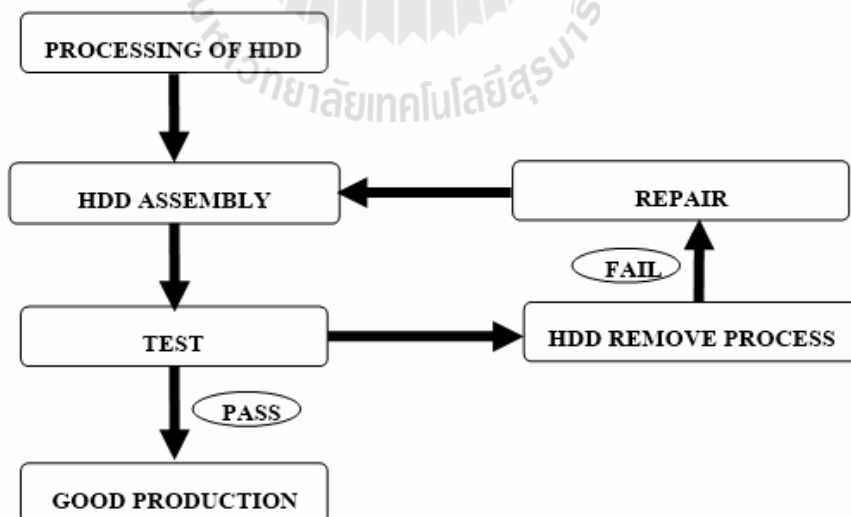
บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ของภาคอุตสาหกรรมในปัจจุบัน กระบวนการผลิตต่างๆ จะเป็นการผลิตด้วยเครื่องจักรอัตโนมัติ เนื่องจากการใช้เครื่องจักรอัตโนมัติเข้ามาช่วยในกระบวนการผลิต ทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถลดต้นทุนและเวลาในการผลิตจากเดิม ซึ่งใช้มนุษย์ในการผลิตได้

2.1 อุตสาหกรรมการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

ในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์เมื่อกระบวนการประกอบเสร็จสิ้น จนกระทั่งได้ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ที่พร้อมใช้งานนั้น ก่อนที่จะนำส่งไปให้ผู้บริโภค ทางบริษัทผู้ผลิตจะต้องทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งถ้าพบว่าคุณสมบัติต่างๆผ่านตามมาตรฐานที่กำหนดก็จะนำไปบรรจุและส่งต่อไปยังผู้บริโภค แต่ถ้าคุณสมบัติต่างๆไม่ผ่านตามมาตรฐานที่กำหนดก็จะต้องนำกลับไปถอดประกอบเพื่อทำการตรวจหาสาเหตุ (พชรารักษ์ แก้วคำไสย์, 2552)



รูปที่ 2.1 แสดงขั้นตอนในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (พชรารักษ์ แก้วคำไสย์, 2552)

2.1.1 กระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

การผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์มีกระบวนการที่สำคัญ 2 อย่าง คือกระบวนการประกอบหัวอ่านเข้ากับชิ้นส่วนจับยึดหัวอ่านกับแชน (Head Disk Assembly, HDA) และกระบวนการประกอบอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board Assembly, PCBA) ซึ่งส่วนแรกจะเป็นส่วนการประกอบชุดหัวอ่านและเขียน, งานเก็บข้อมูล และส่วนประกอบที่เป็นทางด้านชิ้นส่วนทางกล ในขณะที่ส่วนที่สองจะเป็นการประกอบชิ้นส่วนทางด้านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เช่น คอมพิวเตอร์ เป็นต้น โดยสามารถแบ่งขั้นตอนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ออกเป็น 3 ส่วนด้วยกัน คือ การผลิตชิ้นส่วนพื้นฐาน (Component Fabrication), การประกอบชิ้นส่วนย่อย (Subassembly), การประกอบสุดท้าย (Final assembly) โดยกระบวนการ HDA มีขั้นตอนดังนี้

1) การผลิตชิ้นส่วนพื้นฐานต่างๆ จะเป็นการเริ่มกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ โดยกระบวนการแรกจะอยู่ในส่วนของการผลิตชิ้นส่วนของหัวอ่าน (Head fabrication) จะเริ่มจากการผลิตแผ่นหัวอ่าน (Wafer) เพื่อที่จะทำหัวอ่านและเขียนข้อมูล (Slider) ขั้นตอนต่อมาคือการผลิตแผ่นเก็บข้อมูล (Media) ซึ่งในที่นี้คือแผ่นดิสก์ (Hard Disk Platter or Disk) ซึ่งผลิตจากแก้วที่ต้องทำเป็นพิเศษเคลือบด้วยสารแม่เหล็ก รวมไปถึงชิ้นส่วนในการประกอบมอเตอร์ที่ใช้ในการหมุนแผ่นดิสก์ (Spindle Motor) นอกจากนี้ยังมีการผลิตฐาน (Base) และชิ้นส่วนอื่นๆ ในการผลิตชิ้นส่วนจับยึดหัวอ่านกับแชน (Suspension)

2) การประกอบชิ้นส่วนย่อยในส่วนของหัวอ่านนั้นจะมีการเชื่อมหัวอ่านและเขียนข้อมูล และชิ้นส่วนจับยึดหัวอ่านกับแชนเข้าด้วยกันในกระบวนการของ Head Gimbals Assembly (HGA) และนำ HGA หลายอันมาวางซ้อนกันและเชื่อมต่อกับแชน (Arm) หรือชุดขดลวดมอเตอร์สำหรับการหมุนหัวอ่าน (Coil Assembly) และ Flexible Printed Circuit (FPC) เพื่อประกอบเป็นระบบของหัวอ่านที่ซ้อนกันเป็นชั้นๆ ที่สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ ในกระบวนการของการประกอบชุดหัวอ่าน (Head Stack Assembly, ชุดหัวอ่าน) ในส่วนของการประกอบชุดขดลวดมอเตอร์ลวดของแชนหัวอ่าน (Actuator Coil Assembly) และ FPC นั้นในบางทีก็เรียกว่า Voice Coil Motor Assembly (VCMA) นอกจากนี้ยังมีการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ของ ชุดแกนหมุนแผ่นข้อมูล (Spindle Motor) อีกด้วย

3) การประกอบสุดท้ายภายหลังจากที่ได้ ชุดหัวอ่าน (Head Stack Assembly, HSA), Spindle Motor, ฐานฝาครอบบน (Top Cover) และแผ่นดิสก์จะมีการประกอบชิ้นส่วนเหล่านี้เข้าด้วยกันเป็นชุดหัวอ่านเข้ากับชิ้นส่วนจับยึดหัวอ่านกับแชน เพื่อรอการประกอบกับส่วนของชุดอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นวงจรพิมพ์

กระบวนการ PCBA สามารถแบ่งขั้นตอนในการผลิตได้ดังนี้

- 1) การผลิตชิ้นส่วน (Component Fabrication) โดยเริ่มผลิตแผ่นหัวอ่าน เพื่อที่จะทำวงจรรวม (Integrated Circuit, IC) และมีการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Board, PCB)
- 2) การประกอบชิ้นส่วนย่อย เป็นการนำ IC และชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ไปประกอบเข้ากับแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า กระบวนการประกอบอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นวงจรพิมพ์
- 3) เมื่อได้ทั้งชิ้นส่วนจับยึดหัวอ่านกับแกนและชุดอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์บนแผ่นวงจรพิมพ์แล้ว จะมีการประกอบเข้าด้วยกันเป็นฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ในขั้นตอนของ การประกอบสุดท้าย ในการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์นั้นยังมีกลุ่มวัสดุอื่นๆ (Other materials) และกลุ่มวัสดุทางอ้อม (Indirect materials) ที่ใช้อยู่ในทุกขั้นตอนของการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ตั้งแต่ การผลิตชิ้นส่วนพื้นฐานไปจนถึงการประกอบสุดท้าย กลุ่มวัสดุอื่นๆ จะเป็นชิ้นส่วนที่ไม่ได้เป็นส่วนประกอบหลัก เช่น สกรู ชิ้นส่วนโลหะอื่นๆ หรือชิ้นส่วนที่ไม่สามารถบอกได้ว่าถูกใช้เป็นส่วนประกอบในกระบวนการผลิตได้อย่างแน่ชัด ในขณะที่กลุ่มวัสดุทางอ้อมจะเป็นสิ่งที่ใช้ร่วมในการผลิต แต่ไม่ได้เป็นชิ้นส่วนในการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์โดยตรง เช่น วัสดุที่เกี่ยวข้องกับห้องสะอาดต่างๆ ได้แก่ ตัวกรองฝุ่น, ถุงมือ, ชุดทำงาน, หน้ากาก, รองเท้า และวัสดุที่เกี่ยวข้องกับการลดประจุไฟฟ้า เช่น แผ่นรองพื้น วัสดุที่ใช้ในการบรรจุ และบรรจุภัณฑ์ต่างๆ รวมถึงระบบเครื่องจักรกลอัตโนมัติ และการสร้างชุดจับยึดชิ้นงาน (Jig/fixture) ที่จะช่วยสนับสนุนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ต่างๆ

2.1.2 ขั้นตอนในการประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

- 1) Unit Setting คือ นำฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์วางลงในชุดจับยึดชิ้นงาน เพื่อเป็นฐานในการประกอบชุดแผ่นข้อมูล คือ ประกอบแผ่นเก็บข้อมูล, แหวนรองระหว่างแผ่นข้อมูลกับฐาน (Spacer Ring) และแผ่นเก็บข้อมูลแผ่นที่สองลงบนฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
- 2) Top Clamp Mount & Screw Fastening คือ ประกอบแผ่นครอบแกนหมุนกับแผ่นข้อมูลหลุด (Top Clamp) เพื่อยึดแผ่นเก็บข้อมูล และยึด Top Clamp กับฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
- 3) Balance Check คือ ตรวจสอบแผ่นเก็บข้อมูลว่ามีการเอียงของแผ่นเก็บข้อมูลเกิดขึ้นหรือไม่
- 4) Ramp Mount & Screw คือ ประกอบอุปกรณ์พักหัวอ่าน (Ramp) และใช้สกรูยึดติดกับฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ และนำไปคูคฝุ่นจากการขันสกรู

- 5) HSA/VCM Mount คือ ประกอบชุดหัวอ่าน (Head Stack Assembly, HSA) ตามด้วย Voice Coil Motor (VCM) และขันสกรูยึดชุด HSA กับฐาน และนำไปดูฝุ่นจากการขันสกรู
- 6) VCM Screw Fastening คือ ขันสกรูยึดเฉพาะ VCM และดูฝุ่นจากการขันสกรู
- 7) Flex Screw Fastening คือ ขันสกรูยึด Flex Cable ที่ติดมากับชุดหัวอ่าน ยึดกับฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์และนำไปดูฝุ่นจากการขันสกรู
- 8) Outer Crash Stop Mount คือ ประกอบอุปกรณ์ป้องกันไม่ให้ HSA ตกจาก Ramp ทั้งสองด้าน ในขณะที่แผ่นข้อมูลหยุดหมุนและป้องกันไม่ให้ HSA เข้าไปชนกับ Spacer Ring และ Top Clamp ในขณะที่แผ่นข้อมูลหมุน ที่เรียกว่า Clash Stop ลงไปใน VCM และถอด Head Clip ออกมา
- 9) Latch / Long Mount คือ ประกอบสลัก (Short Latch) และ Long Lever ลงในฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เพื่อป้องกันไม่ให้ HSA ตกจาก Ramp มาสัมผัสกับแผ่นข้อมูล ในขณะที่แผ่นข้อมูลหยุดหมุน
- 10) Auto Gang Vacuum คือ ทำความสะอาดจากการขันสกรูด้วยการดูดอีกครั้ง
- 11) QC Gate คือ ทำการตรวจสอบอุปกรณ์ภายในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ว่ามีครบหรือไม่ และนำฝาครอบบนมาปิดฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
- 12) Top Cover Screw Fastening คือ ขันสกรูยึดฝาครอบบนกับฐานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

2.1.3 กระบวนการถอดเพื่อแก้ไขฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์

- 1) Top cover screw remove คือ ทำการขันสกรูที่บริเวณฝาครอบบน
- 2) Latch & Long lever remove คือ การถอดประกอบ Short Latch และ Long Lever
- 3) Flex & VCM screw remove คือ ทำการขันสกรูที่ยึด Flex และ VCM ออก
- 4) HSA/VCM remove คือ การขันสกรูที่ยึดชุดหัวอ่านกับฐานออกเพื่อที่จะทำการแยกชุดหัวอ่าน และชุดการเคลื่อนที่ VCM
- 5) Top clamp remove คือ ทำการถอด Top Clamp ที่ยึดแผ่นเก็บข้อมูล
- 6) แผ่นข้อมูล / Spacer ring remove คือ การถอดประกอบส่วนของแผ่นข้อมูลและแหวนรองระหว่างแผ่นข้อมูลกับฐาน
- 7) Serial number removal คือ การนำป้ายที่บ่งชี้หมายเลขฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ออก

2.2 เครื่องจักรอัตโนมัติ

อุตสาหกรรมการผลิตในอดีตใช้แรงงานมนุษย์ สัตว์ รวมทั้งพลังงานจากธรรมชาติ ในกระบวนการผลิต เมื่อเริ่มมีการปฏิวัติอุตสาหกรรม จึงเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงวิธีการ และระบบการผลิตมาเป็นการใช้เครื่องมือและเครื่องจักรกลแบบง่ายๆ จนถึงแบบสลับซับซ้อน ปัจจุบันได้มีการนำระบบการทำงานแบบอัตโนมัติมาใช้ในชีวิตประจำวันมาก และภาคอุตสาหกรรมมากขึ้น ทุกๆ วันนี้ระบบการทำงานที่เป็นระบบอัตโนมัติจะถูกคิดค้นเพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มความสะดวกให้กับมนุษย์ และเมื่อเราพิจารณาถึงสิ่งที่ได้รับจากการนำเครื่องจักรแบบอัตโนมัติมาใช้ในภาคอุตสาหกรรม จะพบว่ามีการทำงานที่สะดวกและง่ายมากขึ้น ทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพ และรวดเร็วขึ้น อีกทั้งสินค้าก็จะมีมาตรฐานที่ดี การใช้เครื่องจักรอัตโนมัติในการทำงานยังสามารถช่วยลดความเสียหายที่เกิดจากการทำงานของมนุษย์ลงไปได้ (พชรารัตน์ แก้วคำไสย์, 2552)

เครื่องจักรอัตโนมัติ (Automation) คือ เครื่องจักรที่มีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการทำงาน ทำให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้เอง โดยอาจเป็นเพียงส่วนหนึ่งของขั้นตอนการผลิตเท่านั้น หรือเป็นการผลิตแบบอัตโนมัติทั้งระบบเลยก็ได้ มนุษย์จะมีหน้าที่ในการออกคำสั่งและดูแลเครื่องจักรเท่านั้น

ประเภทของเครื่องจักรอัตโนมัติ แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

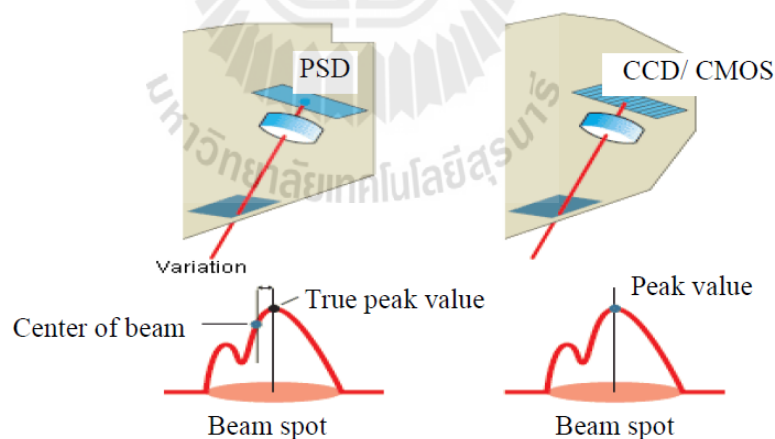
1) ระบบเครื่องจักรกึ่งอัตโนมัติ ได้แก่ เครื่องจักรที่นำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการควบคุมหรือการทำงานในบางขั้นตอน ทั้งนี้ เพื่อให้มนุษย์สามารถควบคุมการทำงานบางประเภท เช่น การทำงานที่มีอันตรายสูง การทำงานที่ต้องอาศัยความละเอียดแม่นยำ เป็นต้น โดยขั้นตอนอื่นๆที่เหลือจะยังคงเป็นการทำงานที่อาศัยมนุษย์เป็นหลัก

2) ระบบเครื่องจักรอัตโนมัติ ได้แก่ เครื่องจักรที่นำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยควบคุมหรือทำงานในทุกขั้นตอน โดยจะให้มนุษย์มีหน้าที่ออกคำสั่ง ดูแล รักษาระบบเครื่องเท่านั้น การทำงานโดยใช้เครื่องจักรอัตโนมัติทุกขั้นตอนจะเหมาะกับงานที่ต้องการการควบคุมอย่างเต็มที่ ไม่ว่าจะเป็นด้านคุณภาพหรือความสะอาด อีกทั้งยังใช้ในงานที่ไม่สามารถใ้มนุษย์ทำได้ เช่น งานที่ต้องใช้อุณหภูมิสูงๆเกินกว่าที่คนเราจะสามารถทนได้ เช่น เป็นร้อย เป็นพันองศาเซลเซียส เป็นต้น

2.3 เซ็นเซอร์วัดระยะด้วยเลเซอร์

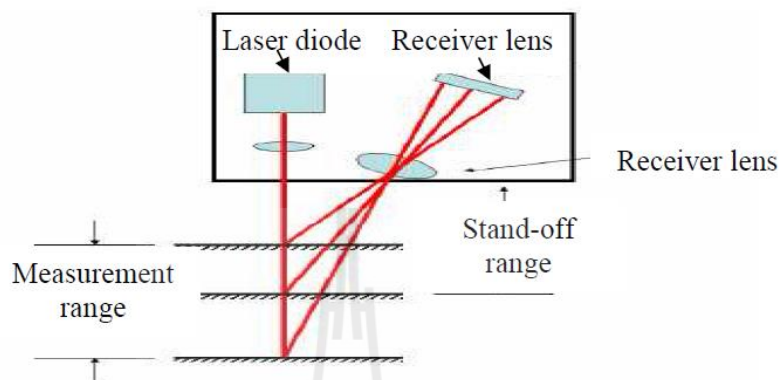
เลเซอร์เป็นอุปกรณ์ปล่อยรังสีของความยาวคลื่นหนึ่งที่เฉพาะเจาะจง เนื่องจากธรรมชาติ การมีสีเดียวและสม่ำเสมอของลำแสงเลเซอร์ และสามารถทำให้มีพลังสูงได้ เลเซอร์จึงถูกนำมาใช้ อย่างกว้างขวางในวงการวิทยาศาสตร์ การทหาร และการแพทย์

เลเซอร์เซ็นเซอร์ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักสองส่วน ตัวปล่อยแสง และตัวรับแสง ลำแสงจากตัวส่งชนเป้าหมาย สะท้อนและถูกรวมบนตัวรับผ่านทางเลนส์ของตัวรับ เลเซอร์แบบ ดั้งเดิม ใช้ตัวตรวจจับตำแหน่ง (PSD) เป็นตัวรับแสง ตัวรับแบบ PSD ระบุตำแหน่งเป้าหมายเป็นจุด ศูนย์กลางของเลเซอร์ เพราะว่าสเปกตรัมของแสงจากเป้าหมายจะเปลี่ยนแปลง เนื่องจากสภาพ พื้นผิว ค่าจากการวัดก็จะเปลี่ยนแปลง อีกทั้งค่าของแสงที่อยู่นอกกลุ่มที่ปรากฏขึ้นแบบสุ่ม ตัวรับ แบบฟิโอสดีมีแนวโน้มที่จะคำนวณตำแหน่งของเป้าหมายผิดพลาด เพื่อเอาชนะข้อด้อยของตัวรับ แบบฟิโอสดี ตัวรับแบบ อุปกรณ์เก็บประจุ (CCD) หรือ ทรานซิสเตอร์ (CMOS) อาจเอามาใช้ในงาน ที่ความคงที่ของค่าจากการวัดเป็นสิ่งที่จำเป็นบนสภาพพื้นผิวที่มีการเปลี่ยนแปลง ตัวรับเหล่านี้ คำนวณตำแหน่งเป้าหมายโดยการระบุตำแหน่งสูงสุดของสเปกตรัมแสงจากเป้าหมาย ดังที่แสดงใน รูปที่ 2.2 การวัดจึงไม่ได้ขึ้นอยู่กับ การกระจายของแสง ทำให้เกิดความเที่ยงตรงและความคงที่สูงใน การวัดระยะ (Prachi Kanabar, 2008)



รูปที่ 2.2 แสดงตัวรับแสง แบบ PSD และ CCD/CMOS (Prachi Kanabar, 2008)

หลักการหนึ่งของการทำงานของเลเซอร์เซ็นเซอร์แบบวัดระยะ คือ ทฤษฎีสามเหลี่ยม ตัวกำเนิดเลเซอร์ วัตถุเป้าหมาย และตัวรับ ก่อขึ้นเป็นลักษณะสามเหลี่ยม แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.3 เลเซอร์จากตัวส่งตกกระทบพื้นผิวของเป้าหมาย สะท้อนกลับ และชนกับตัวรับ เมื่อวัตถุเคลื่อนที่ จุดที่ลำแสงสะท้อนตกกระทบตัวรับก็เปลี่ยนแปลง

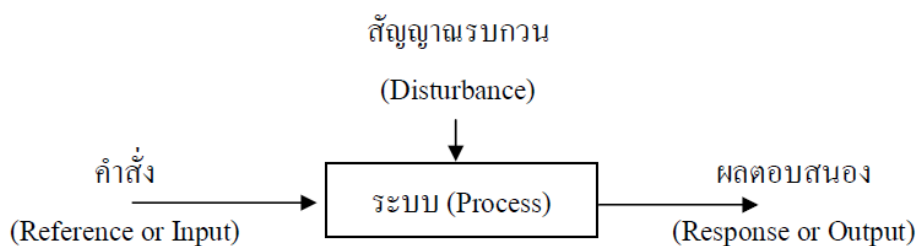


รูปที่ 2.3 แสดงเซ็นเซอร์วัดระยะด้วยเลเซอร์แบบทฤษฎีสามเหลี่ยม (Prachi Kanabar, 2008)

2.4 ระบบควบคุม

ระบบควบคุมได้ถูกนำมาใช้งานตั้งแต่ยุคก่อนประวัติศาสตร์ ที่พอจะมีหลักฐานปรากฏให้เห็นก็คือระบบชลประทานที่มีการควบคุมระดับน้ำที่แจกจ่ายไปในพื้นที่เกษตรกรรม การวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุม โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ถูกนำมาใช้เป็นครั้งแรกในปี ค.ศ.1760 โดย เจมส์ วัตต์ โดยเขาได้นำมาใช้ในการออกแบบและควบคุมเครื่องจักรไอน้ำ และในงานอื่นๆที่เขาได้พัฒนาขึ้นในภายหลัง พัฒนาการของระบบควบคุมเริ่มเข้มข้นและจริงจังมากขึ้นในช่วงสมัย สงครามโลกครั้งที่สอง เพื่อพัฒนาอาวุธยุทธโธปกรณ์ต่างๆให้ก้าวหน้ากว่าประเทศคู่แข่ง

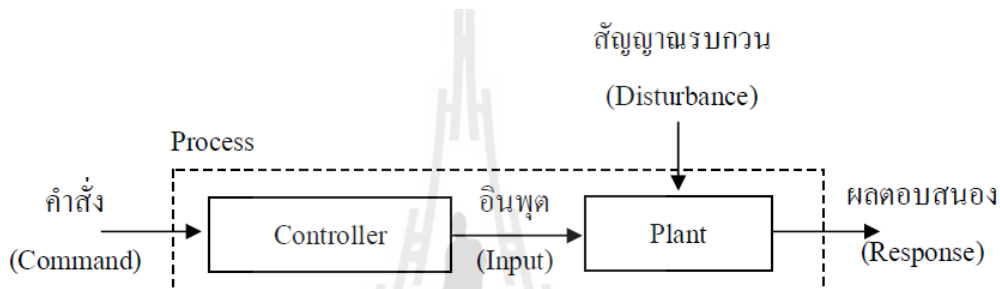
ระบบควบคุม(Control Systems) หมายถึง ส่วนหรือหน่วยที่ได้รวบรวมสิ่งต่างๆเข้าด้วยกัน เพื่อใช้บังคับหรือสั่งการ เพื่อให้สิ่งใดสิ่งหนึ่งเป็นไปตามความต้องการ



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของระบบควบคุม (สุชาติ จันทรจักรมานิตย์,2555)

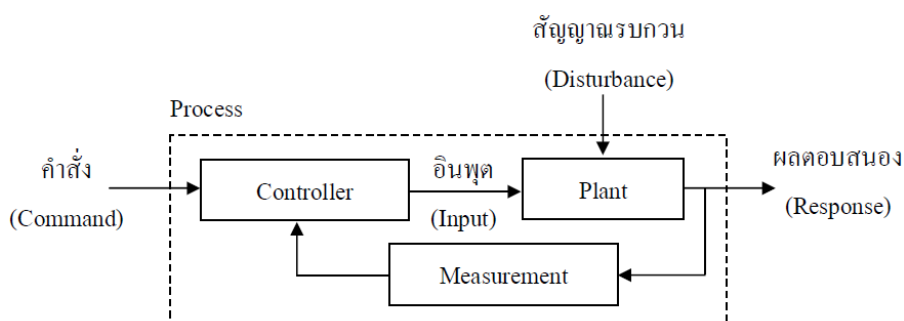
รูปแบบของการควบคุม จะมีอยู่ด้วยกัน 2 แบบคือ

ระบบควบคุมแบบวงรอบเปิด (Open Loop Control) ลักษณะทั่วไปของระบบควบคุมแบบวงรอบเปิดจะเป็นไปตามรูปที่ 2.5 ในการควบคุมแบบวงรอบเปิด ตัวควบคุมจะส่งสัญญาณป้อนให้กับสิ่งที่ต้องการควบคุมตามคำสั่งหรือสัญญาณอ้างอิงที่รับมา โดยที่ตัวควบคุมจะอนุมานว่าเมื่อสิ่งที่ต้องการควบคุมได้รับสัญญาณป้อนแล้วนั้น ก็จะผลิตเอาต์พุตหรือผลตอบสนองให้ได้ตามที่คาดหมายไว้โดยไม่ต้องทำการตรวจสอบสัญญาณเอาต์พุตจริงว่าเป็นไปตามคำสั่งหรือไม่



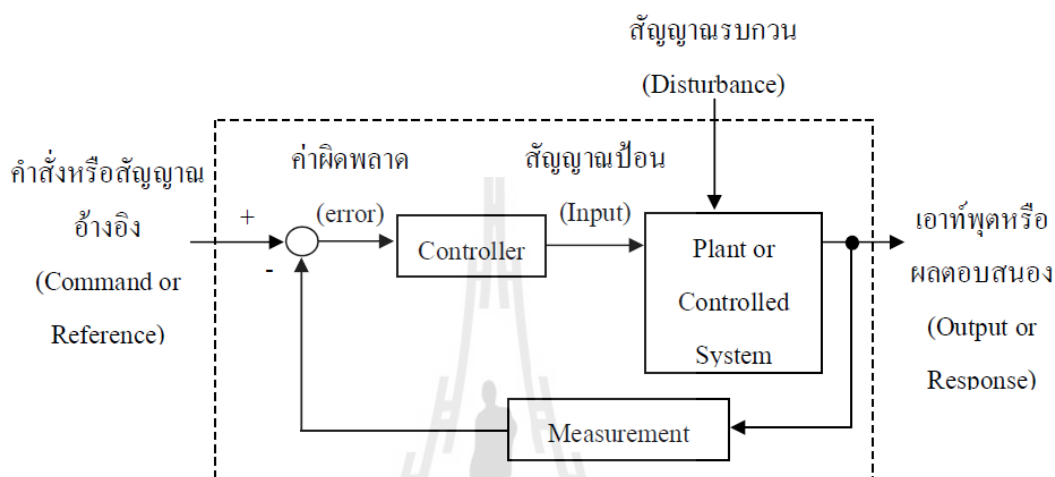
รูปที่ 2.5 ระบบควบคุมแบบวงรอบเปิด (สุชาติ จันทร์จรมานิตย์,2555)

ระบบควบคุมแบบวงรอบปิด (Closed Loop Control)ลักษณะทั่วไปของระบบควบคุมแบบวงรอบปิดจะเป็นไปตามรูปที่ 2.6 ในการควบคุมแบบวงรอบปิด ตัวควบคุมจะทำการเปรียบเทียบสัญญาณอ้างอิงหรือคำสั่งกับสัญญาณเอาต์พุตหรือผลตอบสนองที่ป้อนกลับมาโดยตัวตรวจจับแล้วนำไปสร้างสัญญาณป้อนหรืออินพุตให้กับสิ่งที่ต้องการควบคุมเพื่อที่จะให้ผลิตเอาต์พุตหรือผลตอบสนองให้เป็นไปตามสัญญาณอ้างอิงที่ต้องการ



รูปที่ 2.6 ระบบควบคุมแบบวงรอบปิด (สุชาติ จันทร์จรมานิตย์,2555)

การระบบควบคุมแบบวงรอบปิดอาจจะเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า ระบบควบคุมแบบป้อนกลับตามรูปที่ 2.7 ระบบนี้เป็นระบบควบคุมที่พยายามรักษาเอาต์พุตให้ได้ตามต้องการ โดยการนำเอาสัญญาณเอาต์พุตมาเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงที่ต้องการ แล้วนำค่าความแตกต่างไปใช้ในการควบคุมสัญญาณป้อนให้กับสิ่งที่ต้องการควบคุม



รูปที่ 2.7 ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (สุชาติ จันทรจรมานิตย์,2555)

2.5 ทฤษฎี ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ (Math model)

ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์เป็นคณิตศาสตร์ประยุกต์แขนงหนึ่งที่นำคณิตศาสตร์สาขาต่างๆ ไปประยุกต์ เพื่อช่วยในการแก้ปัญหา การวางแผนงาน หรือการคาดคะเนเหตุการณ์ต่างๆ ในอนาคต คำตอบของตัวแบบจะเชื่อถือได้หรือถูกต้องตามความเป็นจริงมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับ ข้อมูลเบื้องต้นที่เก็บรวบรวมได้ ข้อสมมุติฐานที่กำหนด การสร้างต้นแบบที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง การตรวจสอบแบบ

การสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์จัดว่าเป็นการจำลองสิ่งที่อยู่ในโลกแห่งความเป็นจริง ให้เป็นตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ที่อยู่ในรูปนามธรรม และใช้กฎเกณฑ์ทางคณิตศาสตร์หาคำตอบของตัวแบบเพื่อนำผลกลับไปประยุกต์กับโลกแห่งความเป็นจริง ซึ่งสามารถสรุปได้ 6 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้ (ธีรวัฒน์ นาคะบุตร,2546)

1. ทำความเข้าใจปัญหา (Identify the real problem)

การทำตามเข้าใจปัญหาเป็นขั้นตอนแรกในการสร้างตัวแบบ ต้องวิเคราะห์ให้ทราบว่าปัญหาคืออะไร มีอะไรเกี่ยวข้องกับปัญหา มีคำถามมากมายที่ต้องทำความเข้าใจ โจทย์ปัญหาในสถานการณ์จริง

2. สร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ (Formulate a mathematical model)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการสร้างตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ จากปัญหาที่ได้วิเคราะห์ หรือทำให้ชัดเจนแล้วในขั้นที่ 1 ทดลองสร้างตัวแบบที่ซับซ้อนน้อยที่สุดก่อน เขียนแผนภาพตามความเหมาะสม เขียนรายการปัจจัยที่เกี่ยวข้อง รวบรวมข้อมูลและทดสอบเนื้อหารายละเอียดอธิบายพฤติกรรมของตัวแปร รวบรวมข้อมูลเพิ่มเติมถ้าจำเป็น แสดงตัวแปรแต่ละตัวด้วยสัญลักษณ์ที่เหมาะสมพร้อมทั้งกำหนดหน่วย กำหนดข้อสมมุติที่ต้องการสร้าง เขียนความสัมพันธ์และสมการของตัวแปรโจทย์ โดยใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์

3. หาผลลัพธ์ของตัวแบบ (Solve the mathematical model)

การหาคำตอบทางคณิตศาสตร์ของตัวแบบ อาจจะใช้วิธีเกี่ยวกับพีชคณิตหรือใช้วิธีเชิงตัวเลข ใช้แคลคูลัสและกราฟ เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หรือใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่เหมาะสม หาค่าตัวแปรที่ต้องการ อาจจะเป็นรูปแบบตารางหรือรูปภาพ

4. แปลความหมายของผลลัพธ์ (Interpret the mathematical solution)

ขั้นตอนนี้เป็นการแปลความหมาย และตรวจสอบผลลัพธ์ที่หาได้ จากวิธีการเชิงคณิตศาสตร์ เช่น พิจารณาค่าของตัวแปรที่หาได้ ว่ามีเครื่องหมาย และขนาดถูกต้องหรือไม่ มีค่าเพิ่มหรือลดตามที่ควรจะเป็นหรือไม่ พิจารณาค่ามากและค่าน้อยของตัวแปรเพื่อตรวจสอบพฤติกรรมความไวต่อสิ่งกระตุ้น ได้คำตอบที่ดีที่สุดตามที่คาดไว้หรือไม่ หรือต้องเปลี่ยนเงื่อนไขเริ่มต้น

5. ตรวจสอบผลลัพธ์กับข้อมูลจริง (Compare with reality)

ผลลัพธ์ที่ได้สามารถตรวจสอบกับข้อมูลจริงได้หรือไม่ คำตอบเชิงคณิตศาสตร์มีความหมายหรือไม่ การทำนายสอดคล้องกับข้อมูลจริงหรือไม่ ประเมินตัวแบบที่สร้างขึ้นว่าได้ครบตามวัตถุประสงค์หรือไม่ ตัวแบบสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้อีกหรือไม่ ผลลัพธ์ที่ได้ก่อนหน้านี้ชี้ให้เห็นว่าต้องคำนวณหาค่าตัวแปรจากตัวแบบที่ปรับปรุงใหม่เพื่อความแม่นยำที่ดีกว่าหรือไม่ ถ้าต้องการทำใหม่ก็ต้องกลับไปเริ่มที่ 1 หรือถ้าไม่ต้องก็ให้ไปที่ขั้นที่ 6 ขั้นตอนนี้สำคัญมาก เพราะมีบ่อยครั้งที่ต้องสร้างแบบหลายๆรอบก่อนที่ได้ผลที่เป็นที่น่าพอใจ

6. เขียนรายงาน (Write a report)

การเขียนรายงานต้องทราบว่าจะเขียนเพื่อใคร ผู้อ่านต้องการทราบอะไร ต้องการรายละเอียดในรายงานมากน้อยเพียงใด จะสร้างรายงานอย่างไร จึงจะทำให้ลักษณะที่สำคัญชัดเจน และผลที่ต้องการทราบปรากฏอยู่ ขั้นตอนนี้อาจจะไม่ต้องทำ ถ้าไม่ทราบว่าเขียนให้ใครอ่าน

2.6 กระบวนการสอบเทียบของเครื่อง Disc Install ในปัจจุบัน

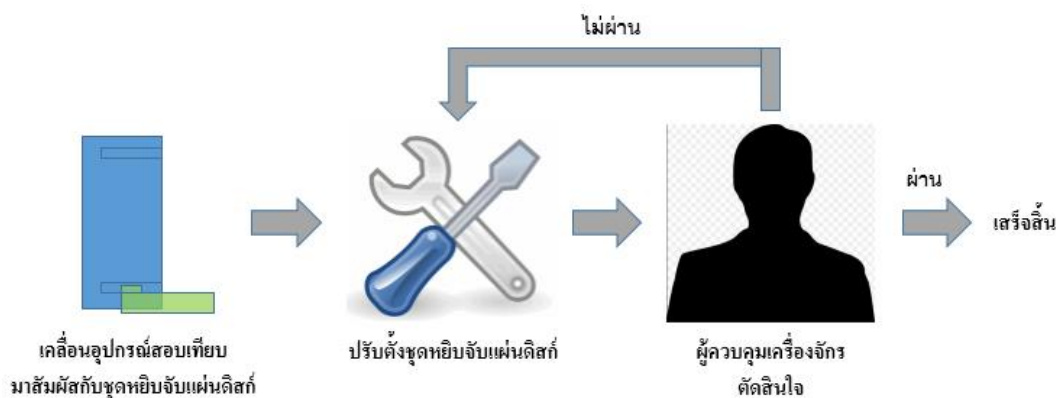
ในส่วนนี้จะเป็นการศึกษาในส่วนการสอบเทียบของเครื่อง Disc install ในปัจจุบัน ซึ่งในส่วนนี้จะกล่าวถึงนั้นจะเป็นส่วนที่จะทำการปรับปรุง นั่นคือส่วนการสอบเทียบความขนานของชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ออกจากถาดบรรจุ และในส่วนของการสอบเทียบและควบคุมชุดขับเคลื่อนถาดบรรจุแผ่นดิสก์ปัจจุบัน

2.6.1 การสอบเทียบความขนานชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ออกจากถาดบรรจุในปัจจุบัน

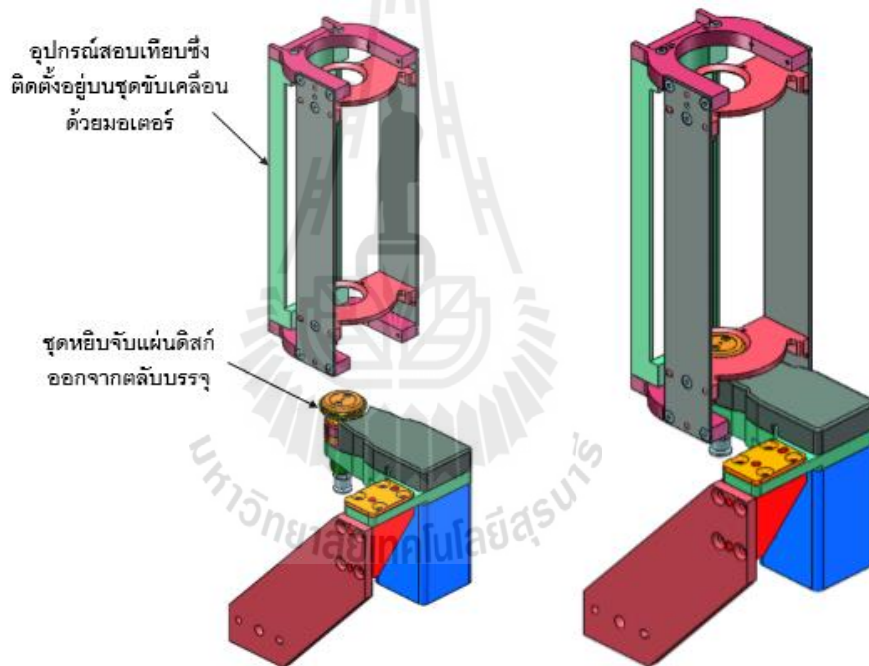
การสอบเทียบในปัจจุบันอาศัยอุปกรณ์สอบเทียบดังแสดงในรูป 2.8 โดยจะทำการติดตั้งอุปกรณ์สอบเทียบบนชุดขับเคลื่อนถาดบรรจุ หลังจากนั้นทำการเคลื่อนที่ไปสัมผัสกับชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ โดยให้ผิวสัมผัสแนบสนิทกัน ดังแสดงดังรูปที่ 2.10 โดยใช้ในการตัดสินใจว่าผิวสัมผัสดีแล้วหรือไม่โดยผู้ควบคุมเครื่องจักร ซึ่งการตัดสินใจผิดพลาดเป็นไปได้สูง เนื่องจากใช้สายตาในการตัดสินใจ



รูปที่ 2.8 อุปกรณ์สอบเทียบความขนานชุดหยิบจับแผ่นดิสก์และระยะการเคลื่อนที่ชุดขับเคลื่อนถาดบรรจุแผ่นดิสก์ในปัจจุบัน



รูปที่ 2.9 แสดงขั้นตอนการสอบเทียบความขนานชุดหยิบจับแผ่นดิสก์กับคลัมป์บรรจุในปัจจุบัน

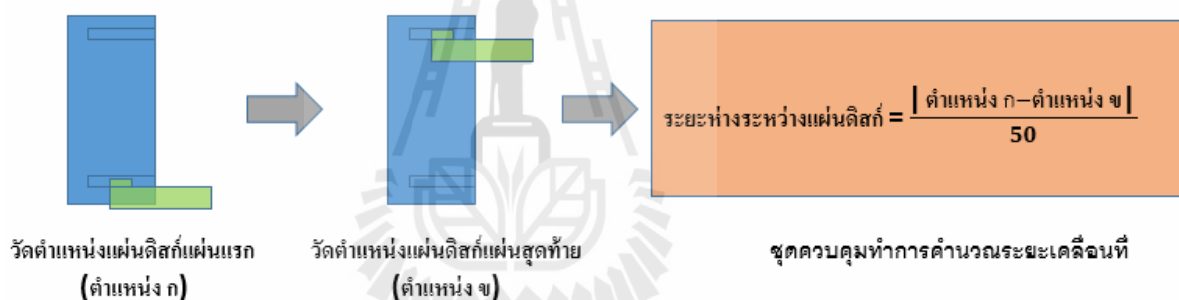


รูปที่ 2.10 แสดงการปรับตั้งความขนานชุดหยิบจับในปัจจุบัน

จากการศึกษาขั้นตอนการสอบเทียบความขนานของชุดหยิบจับแผ่นดิสก์กับคลัมป์บรรจุในปัจจุบันพบว่าผู้ควบคุมเครื่องจักรทำการสอบเทียบได้โดยยาก คือ 1.จะต้องใช้ความชำนาญในการมองด้วยสายตาว่าชุดหยิบจับขนานกับอุปกรณ์สอบเทียบหรือไม่ 2.เนื่องจากอุปกรณ์สอบเทียบติดตั้งอยู่บนชุดขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ ดังนั้นอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อชุดหยิบจับขึ้นได้ เมื่อสั่งให้เคลื่อนที่ เพื่อให้ชุดหยิบจับสัมผัสกับอุปกรณ์สอบเทียบ

2.6.2 การสอบเทียบและควบคุมขนาดเคลื่อนที่ของตลับบรรจุแผ่นดิสก์ในปัจจุบัน

จากการศึกษาพบว่าปัจจุบันการเคลื่อนที่ของชุดขับเคลื่อนตลับบรรจุแผ่นดิสก์นั้น เป็นแบบการกำหนดค่าไว้ล่วงหน้า โดยผู้ควบคุมเครื่องจักรจะใช้อุปกรณ์สอบเทียบ ซึ่งทำขึ้นจากวัสดุขึ้นรูปด้วยเครื่องจักร โดยจะมีขนาดเท่ากับตลับบรรจุดังรูปที่ 2.8 โดยจะทำการติดตั้งอุปกรณ์สอบเทียบดังกล่าวบนชุดขับเคลื่อน หลังจากนั้นทำการเคลื่อนที่จนกระทั่งอุปกรณ์สอบเทียบสัมผัสกับชุดหีบจับแผ่นดิสก์ในตำแหน่ง ก และตำแหน่ง ข ตามลำดับ เพื่อบันทึกค่าลงยังโปรแกรมควบคุม ซึ่งตำแหน่งที่ทำการบันทึกคือตำแหน่งของแผ่นดิสก์แผ่นแรก(ล่าง)และแผ่นสุดท้าย(บน)ของตลับบรรจุ ตลับบรรจุแผ่นดิสก์จะมีช่องสำหรับใส่แผ่นดิสก์ทั้งหมด 50 ช่อง เมื่อใส่แผ่นดิสก์แล้วจะมีระยะห่างระหว่างแผ่นดิสก์กับแผ่นดิสก์ ในแต่ละช่องเท่าๆกัน ดังนั้นโปรแกรมจะสามารถคำนวณได้ว่าจะต้องเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่าไร ดังแสดงวิธีการในรูปที่ 2.11

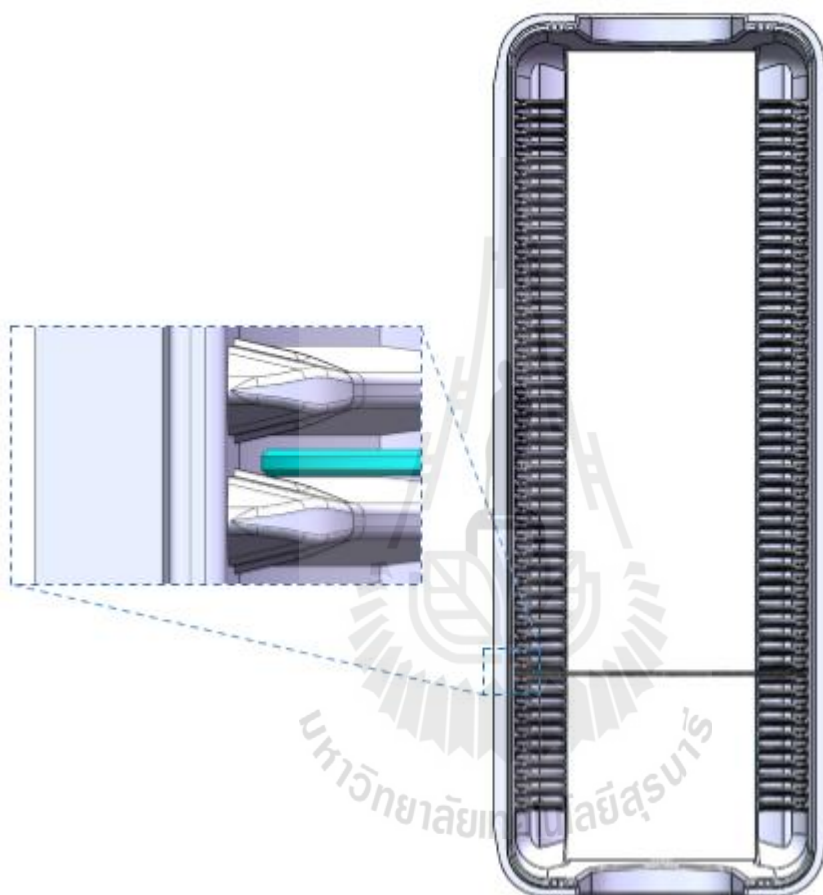


รูปที่ 2.11 ขั้นตอนการสอบเทียบชุดขับเคลื่อนตลับบรรจุแผ่นดิสก์ในปัจจุบัน

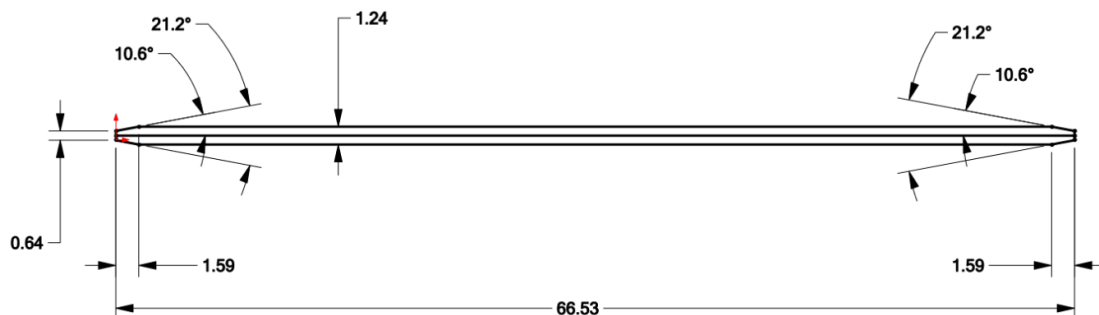
จากการศึกษาการสอบเทียบชุดขับเคลื่อนตลับบรรจุแผ่นดิสก์ในปัจจุบัน พบว่าเมื่อทำการสอบเทียบในบางครั้งหากผู้ควบคุมเครื่องจักรทำการสอบเทียบตำแหน่งของแผ่นดิสก์แผ่นแรกและแผ่นสุดท้ายไม่ดี ก็จะทำให้ระยะการเคลื่อนที่ของตลับบรรจุ เกิดความผิดพลาด ซึ่งส่งผลให้ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของตลับบรรจุแผ่นดิสก์หยุดไม่ตรงตำแหน่งที่ชุดหีบจับจะต้องเข้าหีบจับแผ่นดิสก์ แผ่นดิสก์จึงเกิดการเสียหาย ซึ่งมาจากความผิดพลาดของผู้ควบคุมเครื่องจักรในการสอบเทียบ เนื่องด้วยการตัดสินใจว่าอุปกรณ์สอบเทียบนั้นสัมผัสกับกับชุดหีบจับหรือไม่ ต้องอาศัยการมองด้วยสายตา ซึ่งมีความยากและจำเป็นต้องอาศัยความชำนาญของผู้ควบคุมเครื่องจักรเป็นหลัก

2.7 ช่องว่างระหว่างแผ่นดิสก์กับตลับบรรจุแผ่นดิสก์

ในหัวข้อนี้จะเป็นการแสดงถึงช่องว่างของแผ่นดิสก์เมื่ออยู่ในตลับบรรจุ ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างมากในการคำนวณเพื่อหาค่าความผิดพลาดที่ยอมรับได้ของอุปกรณ์สอบเทียบที่ทำการออกแบบ เพื่อให้มีสอดคล้องกับช่องว่างที่เหลืออยู่ระหว่างแผ่นดิสก์กับตลับบรรจุ

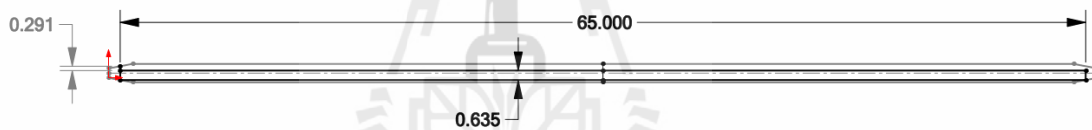


รูปที่ 2.12 แผ่นดิสก์เมื่ออยู่ในตลับบรรจุ



รูปที่ 2.13 ขนาดของช่องบรรจุแผ่นดิสก์

เมื่อทำการบรรจุแผ่นดิสก์ ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดที่ 65 mm. และมีความหนาสูงสุดที่ 0.635 mm. เข้าไปยังช่องบรรจุ จะเหลือพื้นที่ระหว่างช่องบรรจุกับแผ่นดิสก์เท่ากับ 0.291 mm เท่านั้น แสดงดังรูป 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงช่องว่างระหว่างแผ่นดิสก์กับตลับบรรจุ

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาและวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดรอยขีดข่วนบนแผ่นดิสก์นั้น เกิดจากความไม่ขนานของชุดหีบจับแผ่นดิสก์ออกจากตลับบรรจุและการเคลื่อนที่ของตลับบรรจุ แผ่นดิสก์ซึ่งอยู่บนชุดขับเคลื่อนที่ไม่สัมพันธ์กับตำแหน่งที่ชุดหีบจับเข้าหีบจับแผ่นดิสก์ออกจากตลับบรรจุ ดังนั้นสิ่งที่ต้องได้รับการปรับปรุงจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่หนึ่ง การปรับปรุงกระบวนการสอบเทียบความขนานระหว่างชุดหีบจับแผ่นดิสก์กับแผ่นดิสก์ในตลับบรรจุ และส่วนที่สอง การปรับปรุงกระบวนการสอบเทียบชุดขับเคลื่อนตลับบรรจุแผ่นดิสก์ เพื่อให้ระยะการเคลื่อนที่ของตลับบรรจุสัมพันธ์กับตำแหน่งที่ชุดหีบจับต้องหีบจับแผ่นดิสก์ออกจากตลับบรรจุ โดยจะทำการศึกษากลกระบวนการสอบเทียบในปัจจุบันของทั้งสองส่วนอย่างละเอียด เพื่อนำมาปรับปรุงให้ดีขึ้น

3.1 แนวทางการปรับปรุงการสอบเทียบ

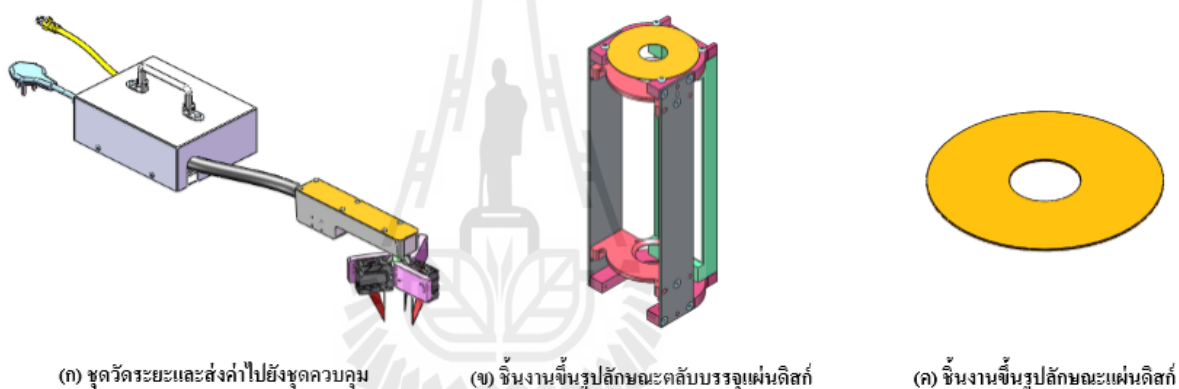
จากการศึกษาการสอบเทียบความขนานระหว่างชุดหีบจับกับแผ่นดิสก์ในตลับบรรจุ และการสอบเทียบตำแหน่งการเคลื่อนที่ของชุดขับเคลื่อนตลับบรรจุในปัจจุบัน จะเห็นได้ว่าปัญหาหลักเกิดจากความผิดพลาดของผู้สอบเทียบ ดังนั้นจึงต้องตัดขั้นตอนซึ่งต้องอาศัยผู้สอบเทียบในการตัดสินใจ เพื่อลดความผิดพลาดและยังต้องทำให้ผู้สอบเทียบทำงานได้โดยง่าย

3.1.1 การปรับปรุงการสอบเทียบความขนานระหว่างชุดหีบจับกับแผ่นดิสก์ในตลับบรรจุ

กระบวนการสอบเทียบความขนานจะประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ 1. ชุดวัดค่าความขนานระหว่างชุดหีบจับกับแผ่นดิสก์ในตลับบรรจุ 2. ระบบควบคุมการตั้งค่าความขนานระหว่างชุดหีบจับกับแผ่นดิสก์ในตลับบรรจุที่สามารถยอมรับได้

3.1.1.1 การออกแบบชุดวัดค่าความขนานระหว่างชุดหยิบจับกับแผ่นดิสก์ในตลับบรรจุ

จุดประสงค์ของการวัดค่าความขนานคือต้องการวัดว่าชุดหยิบจับมีความขนานกับแผ่นดิสก์ในตลับบรรจุหรือไม่ ดังนั้นแผ่นดิสก์ซึ่งอยู่ในตลับบรรจุจะเป็นระนาบอ้างอิง และชุดหยิบจับเป็นระนาบที่ต้องการปรับตั้ง โดยชุดอุปกรณ์จะประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ชุดวัดความขนาน อุปกรณ์เสมือนตลับบรรจุแผ่นดิสก์ทำจากวัสดุขึ้นรูป และอุปกรณ์เสมือนแผ่นดิสก์ทำจากวัสดุขึ้นรูป ดังรูปที่ 3.5 เหตุผลที่ตลับบรรจุและแผ่นดิสก์ต้องทำขึ้นจากวัสดุขึ้นรูป เนื่องจากเซ็นเซอร์ที่นำมาใช้วัดค่าความขนานเป็นเซ็นเซอร์ซึ่งมีราคาสูง และความสามารถไม่เพียงพอต่อการวัดแผ่นดิสก์ซึ่งมีความมันวาวได้ ทั้งนี้เพื่อลดต้นทุนของชุดอุปกรณ์ แต่อย่างไรก็ตามยังคงเพียงพอต่อการสอบเทียบความขนาน



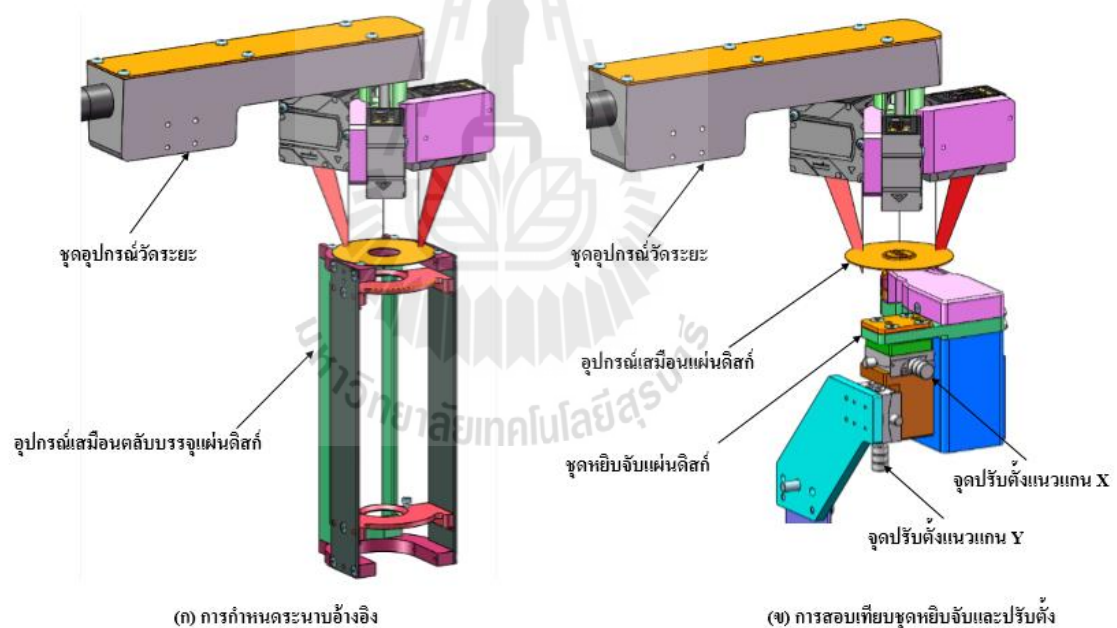
รูปที่ 3.1 ชุดอุปกรณ์สอบเทียบความขนานต้นแบบที่ได้ทำการออกแบบด้วยโปรแกรม Solid Work 2014

ในส่วนของชุดวัดระยะจะประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดระยะจำนวน 3 ตัว ซึ่งเซ็นเซอร์ที่เลือกใช้คือ เซ็นเซอร์จากบริษัท OMRON รุ่น ZX1-LD050A61 ซึ่งเป็นเซ็นเซอร์ราคาสูง มีความเสถียรและความละเอียดเพียงพอต่อการใช้งาน เหตุผลที่ใช้ เซ็นเซอร์จำนวนเพียง 3 ตัว เนื่องจากเป็นประหยัดต้นทุน และเซ็นเซอร์เพียง 3 ตัวก็เพียงพอต่อการหามุมเอียงของชุดหยิบจับ โดยการออกแบบนั้น จะต้องมีความสัมพันธ์กับวิธีการหาค่ามุมเอียงของชุดหยิบจับ ส่วนของอุปกรณ์ติดต่อกับชุดควบคุม ผู้วิจัยได้เลือกอุปกรณ์ของบริษัท ADVANTECH รุ่น ADAM-6017 ซึ่งเป็นการติดต่อสื่อสารผ่านสาย TCP-IP ซึ่งชุดควบคุมนั้นคือคอมพิวเตอร์ของเครื่องจักรซึ่งรองรับสาย TCP-IP อยู่แล้ว

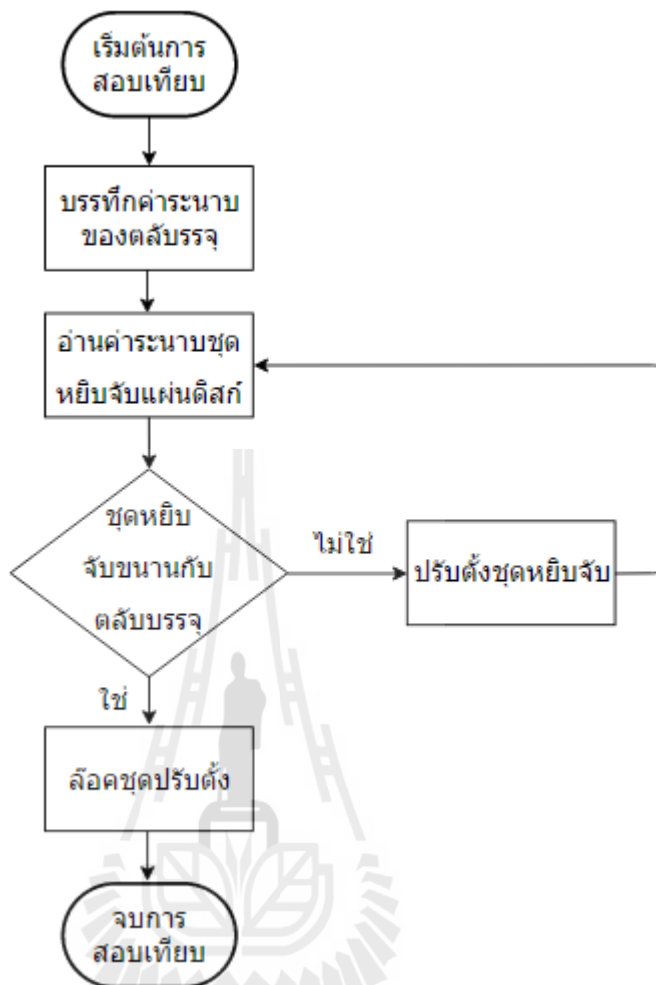
โดยขั้นตอนการสอบเทียบคือ

1. ติดตั้ง อุปกรณ์เสมือนตลับบรรจุแผ่นดิสก์เข้ากับชุดขับเคลื่อน
2. ติดตั้งชุดวัดระยะเพื่อทำการส่งค่าเข้ายังชุดควบคุม
3. ทำการบันทึกระนาบของตลับบรรจุเป็นระนาบอ้างอิง
4. วัดค่าความขนานชุดหยิบจับแผ่นดิสก์
5. ปรับตั้งค่าชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ หากเกิดความไม่ขนาน หรือข้ามไปยังข้อ 6 หากชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ขนานกับตลับบรรจุแล้ว
6. ถอดชุดสอบเทียบความขนานออกจากเครื่องจักร

ดังแสดงขั้นตอนการสอบเทียบดังรูปที่ 3.2 และ Flow Chart ดังรูปที่ 3.3



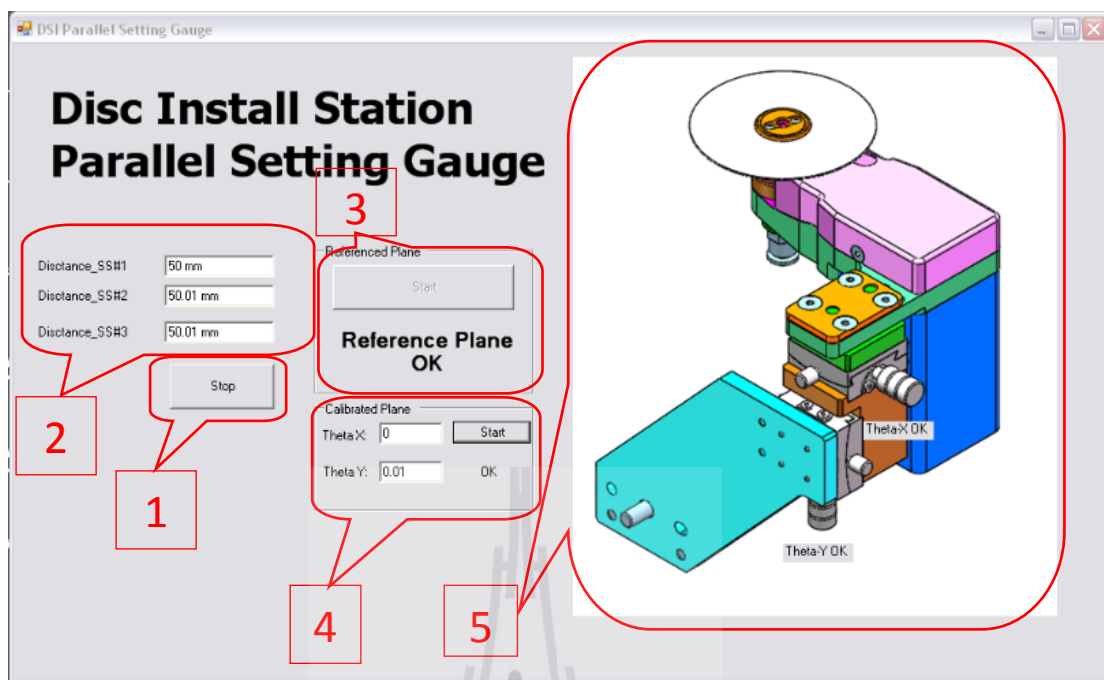
รูปที่ 3.2 การสอบเทียบและปรับตั้งค่าความขนานชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ออกจากตลับบรรจุ



รูปที่ 3.3 Flow Chart แสดงการสอบเทียบความขนานของชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ที่ได้ทำการออกแบบ

3.1.1.2 การออกแบบระบบควบคุมการตั้งค่าขนานระหว่างชุดหยิบจับกับแผ่นดิสก์ในตลับบรรจุ

จุดประสงค์หลักของโปรแกรมที่ทำการพัฒนาคือเพื่อตัดสินใจแทนผู้ควบคุมเครื่องจักร และต้องบอกมุมที่ต้องปรับรวมทั้งทิศทางในการปรับ เพื่อให้เกิดความสะดวกและรวดเร็วในการตั้งค่าชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ โดยผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม Visual Studio 2010 เขียนด้วยภาษา C# เหตุผลที่เลือกใช้ภาษานี้ในการทำวิจัยเพราะเป็นภาษาที่ทันสมัย มีโครงสร้างที่สามารถเข้าใจได้ง่าย และสามารถทำงานได้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งมีใช้อยู่ในสายการผลิตอยู่แล้ว ซึ่งในส่วนของโปรแกรมและภาษานั้นถูกพัฒนาขึ้นโดยบริษัท ไมโครซอฟท์



รูปที่ 3.4 หน้าต่างการตั้งค่าและสื่อสารกับผู้ควบคุมเครื่องจักร

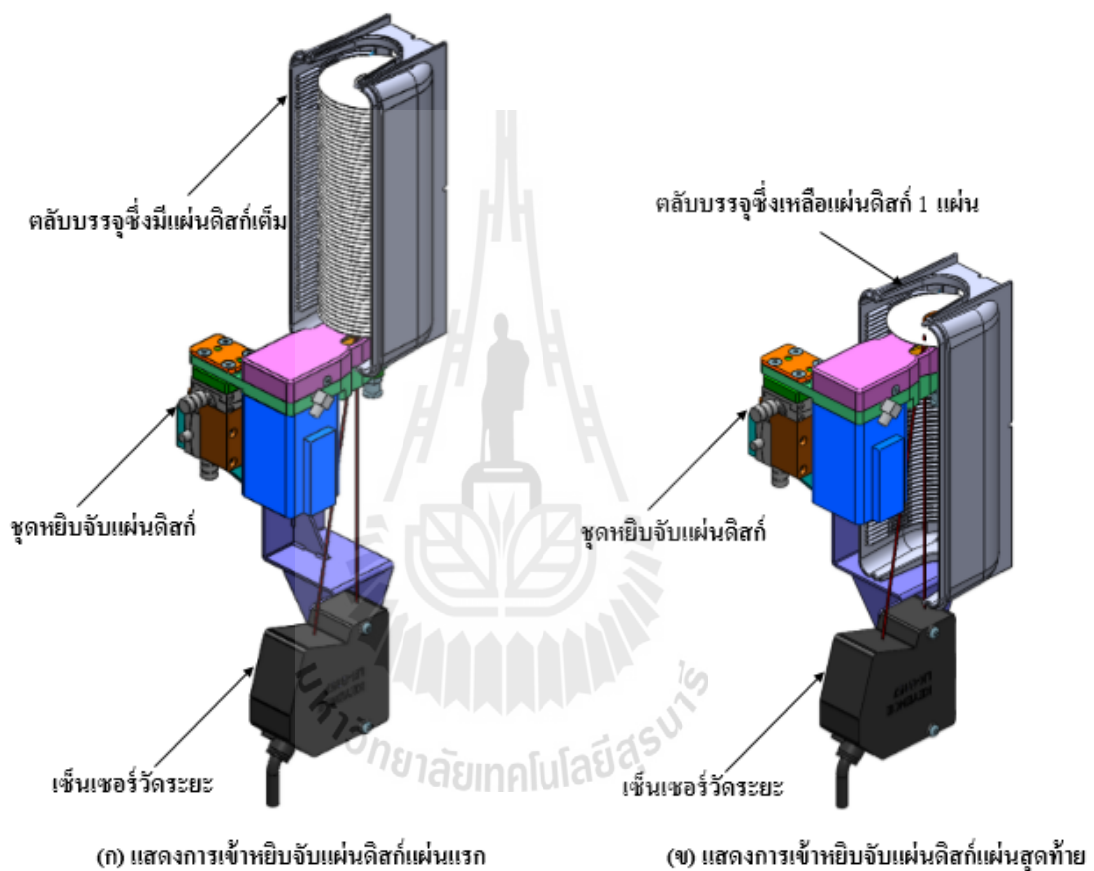
จากหน้าต่างการตั้งค่าและสื่อสารกับผู้ควบคุมเครื่องจักร อธิบายส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

1. ปุ่ม เริ่มต้นการทำงาน หรือหยุดเพื่อให้เริ่มต้นทำงานใหม่
2. หน้าต่างแสดงระยะที่วัดได้จาก Sensor แต่ละตัว
3. ปุ่มกดเพื่อทำการบันทึกระนาบอ้างอิง
4. ในส่วนนี้จะประกอบไปด้วย ปุ่มเริ่มต้นการสอบเทียบระนาบ และ บอกสถานะมุมที่ต่างกันของระนาบที่สอบเทียบและระนาบอ้างอิง
5. ส่วนแสดงผลเพื่อสื่อสารกับผู้ควบคุมเครื่องจักร ซึ่งสามารถบอกได้ว่าแกนไหนต้องทำการปรับ และปรับไปในทิศทางใด เมื่อปรับเข้าสู่ตำแหน่งที่ถูกต้องแล้ว หน้าจอจะแสดงผลบอกผู้ควบคุมว่าเป็นตำแหน่งที่ถูกต้องแล้ว

3.1.2 การปรับปรุงการสอบเทียบและการควบคุมชุดขับเคลื่อนตลับบรรจุแผ่นดิสก์

ในส่วนนี้แต่เดิมเป็นการกำหนดการเคลื่อนที่ของชุดขับเคลื่อนตลับบรรจุแผ่นดิสก์ไว้ล่วงหน้า เปลี่ยนเป็นการวัดตำแหน่งแผ่นดิสก์ในช่องบรรจุทุกๆ แผ่น โดยไม่พึ่งพาผู้ควบคุมเครื่องจักรในการตัดสินใจ ให้คงไว้ในส่วนของการใช้โปรแกรมเป็นตัวกำหนดตำแหน่งการเคลื่อนที่ โดยทำการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดระยะเพื่อให้เครื่องจักรสามารถรู้ว่าปัจจุบันแผ่นดิสก์ซึ่งอยู่ใน

คลัตช์บรรจุอยู่ห่างจากชุดหยิบจับเท่าไร และจะต้องเคลื่อนที่เท่าไร จึงจะพอดีต่อการเข้าหยิบจับ โดยเซ็นเซอร์ที่ทำการเลือกใช้ในส่วนนี้คือ เซ็นเซอร์ของบริษัท KEYENCE รุ่น LK-H152 ซึ่งมีความแม่นยำและยังมีคุณสมบัติในการตรวจจับชิ้นงานที่มีความมันวาว จึงเหมาะสมต่อการนำว่าตรวจวัดแผ่นดิสก์ในคลัตช์บรรจุ การออกแบบจะทำการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดระยะไว้ทางด้านล่างของชุดหยิบจับ ดังแสดงดังรูปที่ 3.5

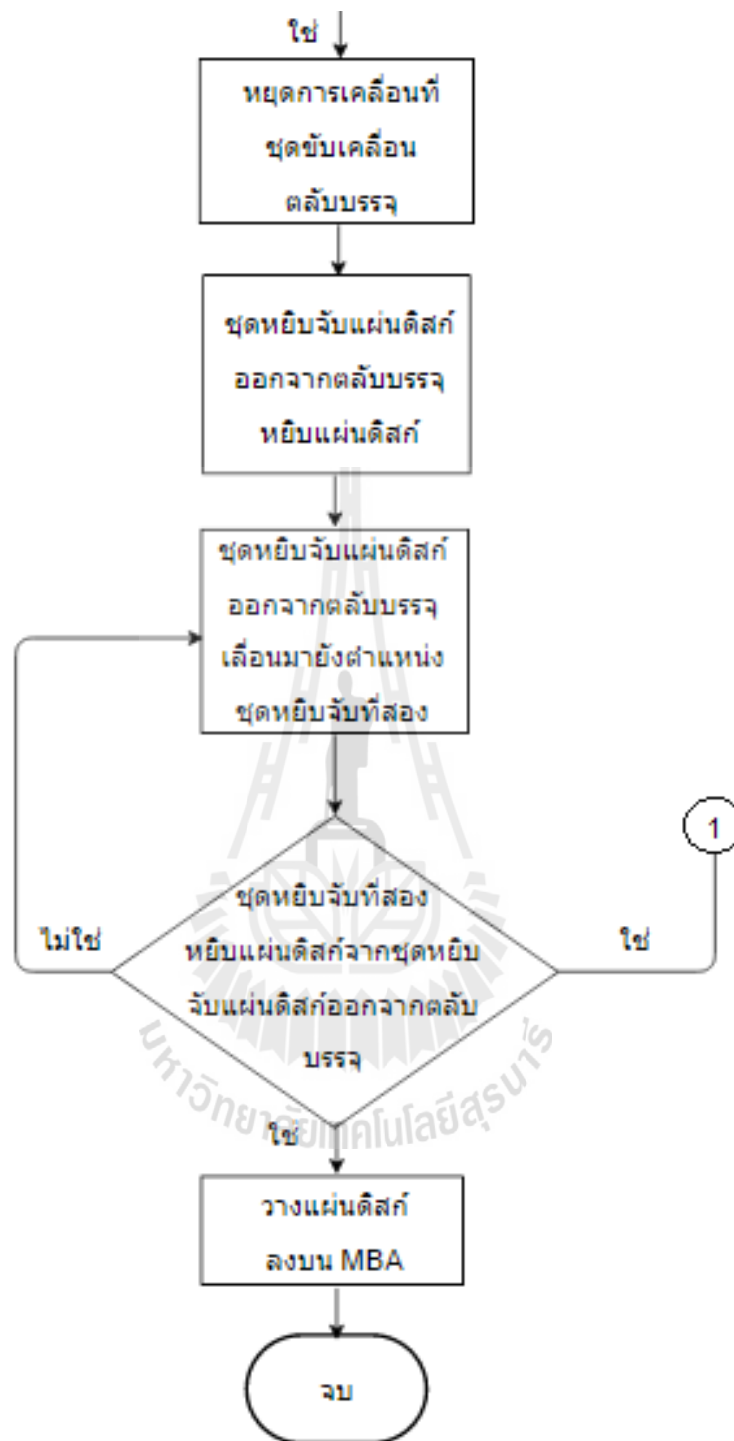


รูปที่ 3.5 ชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ซึ่งได้ทำการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดระยะที่ได้ทำการออกแบบ

โดยขั้นตอนการสอบเทียบคือ

1. วางแผ่นดิสก์ลงบนชุดหยิบจับ
2. บันทึกลงจุดอ้างอิงที่ชุดหยิบจับจะต้องสัมผัสกับแผ่นดิสก์
3. นำแผ่นดิสก์ออกจากชุดหยิบจับ





รูปที่ 3.6 Flow Chart แสดงการเคลื่อนที่ชุดขับเคลื่อนดิสก์บรรจุแผ่นดิสก์
แบบวงจรมัดที่ทำการออกแบบ

3.2 ส่วนประกอบที่ใช้ในชุดอุปกรณ์ต้นแบบ

3.2.1 เซ็นเซอร์วัดระยะ

เซ็นเซอร์วัดระยะที่ผู้วิจัยนำมาใช้งานมาจาก 2 บริษัทด้วยกัน ด้วยเหตุผลด้านราคาและความสามารถในการตรวจจับ โดยเซ็นเซอร์ที่นำมาใช้วัดระยะในการสอบเทียบค่าความขนานคือ เซ็นเซอร์จากบริษัท OMRON รุ่น ZX1-LD050A61 ซึ่งเป็นแบบ CMOS Laser Sensor มีความละเอียดในการตรวจวัดที่ $2\ \mu\text{m}$. และระยะการทำงานที่ 40 – 60 mm. แต่จะไม่มีความสามารถในการตรวจจับวัตถุที่มีความมันวาว



รูปที่ 3.7 เซ็นเซอร์วัดระยะแบบ CMOS Laser Sensor รุ่น ZX1-LD050A61 จากบริษัท OMRON

เซ็นเซอร์วัดระยะที่นำมาใช้วัดระยะเพื่อการควบคุมชุดขับเคลื่อนตลับปรจุแผ่นดิสก์ คือ เซ็นเซอร์จากบริษัท KEYENCE รุ่น LK-H152 ซึ่งเป็นแบบ CCD Laser Sensor มีความละเอียดในการตรวจวัดที่ $0.25\ \mu\text{m}$. และระยะการทำงานที่ 110 – 190 mm โดยคุณสมบัติพิเศษของเซ็นเซอร์ชนิดนี้คือมีความสามารถในการตรวจจับวัตถุที่มีความมันวาว จึงเหมาะสมต่อการตรวจวัดแผ่นดิสก์ ซึ่งต้องใช้ร่วมกับคอนโทรลเลอร์ รุ่น LK-G5001V



รูปที่ 3.8 เซ็นเซอร์วัดระยะแบบ CCD Laser Sensor รุ่น LK-H152 และคอนโทรลเลอร์ รุ่น LK-G5001V จากบริษัท KEYENCE

3.2.2 อุปกรณ์รับค่าแบบอนาล็อกและส่งค่าแบบดิจิทัล

อุปกรณ์รับและส่งค่าที่เลือกใช้จะเป็นแบบรับค่าสัญญาณอนาล็อก 4-20 mA จำนวน 8 ช่อง และส่งค่าแบบดิจิทัล 0-30 V จำนวน 2 ช่อง จากบริษัท ADVANTECH รุ่น ADAM-6017 ซึ่งเป็นการติดต่อสื่อสารผ่านสาย TCP-IP ซึ่งจะถูกใช้ในรับและส่งค่าจากชุดควบคุมไปยังเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบความหนาของชุดหีบจับแผ่นดิสก์



รูปที่ 3.9 อุปกรณ์รับและส่งค่า แบบสื่อสารด้วย TCP-IP รุ่น ADAM-6017 จากบริษัท ADVANTECH

3.2.3 แหล่งจ่ายไฟ

เนื่องจากอุปกรณ์ทั้งหมดเป็นแบบไฟฟ้า DC ดังนั้นเราจึงต้องมีแหล่งจ่ายไฟแบบ DC เพื่อใช้ในส่วนของคุณสมบัติความหนาแน่นซึ่งไม่ได้ติดตั้งแบบถาวรกับเครื่องจักร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้า AC ที่มีปลั๊กไฟในสายการผลิต ซึ่งเป็นแบบ 220VAC แหล่งจ่ายไฟที่นำมาใช้งานคือ แหล่งจ่ายไฟรุ่น GS900A24-P1M จากบริษัท MEAN WELL ซึ่งเป็น Switching Adapter มีน้ำหนักเบา สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก



รูปที่ 3.10 แหล่งจ่ายไฟแบบ Switching Adapter รุ่น GS900A24-P1M จากบริษัท MEAN WELL

3.3 การหาความคลาดเคลื่อนยินยอมจากการปรับตั้งความหนาแน่นที่ยอมรับได้

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมจากการตั้งค่าชุดหีบจับแผ่นดิสก์ออกจากตลับบรรจุ โดยค่าที่ได้นี้จะนำไปใส่ไว้ในตัวโปรแกรม เพื่อใช้ในการตัดสินใจความหนาแน่นของชุดหีบจับ ขณะผู้ควบคุมเครื่องจักรทำการสอบเทียบ จากสูตรทางด้านล่าง

ความคลาดเคลื่อนยินยอม = ความคลาดเคลื่อนยินยอมของแผ่นดิสก์กับตลับบรรจุ – ความคลาดเคลื่อนจากอุปกรณ์สอบเทียบ

โดยที่ มุมระหว่างแผ่นดิสก์กับตลับบรรจุ จะต้องเป็นมุมเอียงที่ไม่ทำให้แผ่นดิสก์เกิดความเสียหาย โดยที่

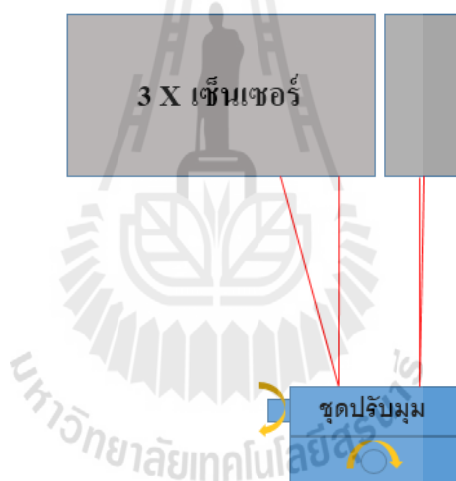
ความคลาดเคลื่อนจากอุปกรณ์สอบเทียบ = ความคลาดเคลื่อนการวัดมุม + ความคลาดเคลื่อนการวัดระยะ

ดังนั้นจึงต้องออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของตัวอุปกรณ์สอบเทียบ โดยจะมีทั้งสิ้น 2 การทดลองคือ 1.การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดมุม 2.การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดระยะ

3.3.1 การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดมุม

การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดมุม จะเป็นการทดลองอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบความขนานของชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ออกจากดรัมบรรจุ

การทดลองจะเป็นการติดตั้งเซ็นเซอร์เหนือจุดวัด นั่นคือชุดปรับมุมมาตรฐาน GPWG70-70 จากบริษัท MISUMI ซึ่งการหมุนเกลียวปรับจำนวน 1 รอบ จะทำให้ชุดปรับมุมเอียง 0.25 องศา โดยการเริ่มต้นการทดลอง จะทำการปรับค่าให้เป็น 0 องศา ทั้งชุดเซ็นเซอร์และชุดปรับมุม จากนั้นปรับชุดปรับมุม อ่านค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ที่ส่งมายังชุดควบคุม (คอมพิวเตอร์)

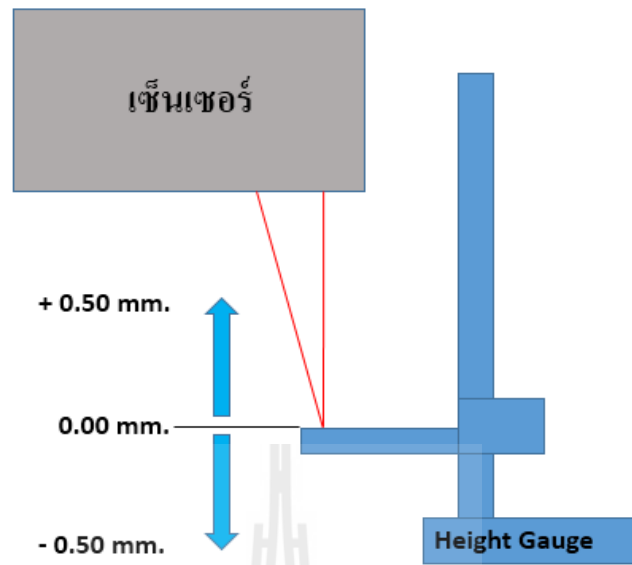


รูปที่ 3.11 แสดงวิธีการทดสอบเซ็นเซอร์เพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดมุม

3.3.2 การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดระยะ

การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดระยะ จะเป็นการทดสอบเซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจจับระยะการเข้าหยิบจับแผ่นดิสก์ของชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ออกจากดรัมบรรจุ

การทดลองจะเป็นการติดตั้งเซ็นเซอร์เหนือจุดวัด นั่นคือปลายของแขนวัด Height Gauge หลังจากนั้นตั้งค่าของเซ็นเซอร์ และ Height Gauge ให้เป็น 0.00 mm ปรับเลื่อน Height Gauge ไปยังค่าที่กำหนด อ่านค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ที่ส่งมายังชุดควบคุม (คอมพิวเตอร์)



รูปที่ 3.12 แสดงวิธีการทดสอบเซ็นเซอร์เพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดระยะ

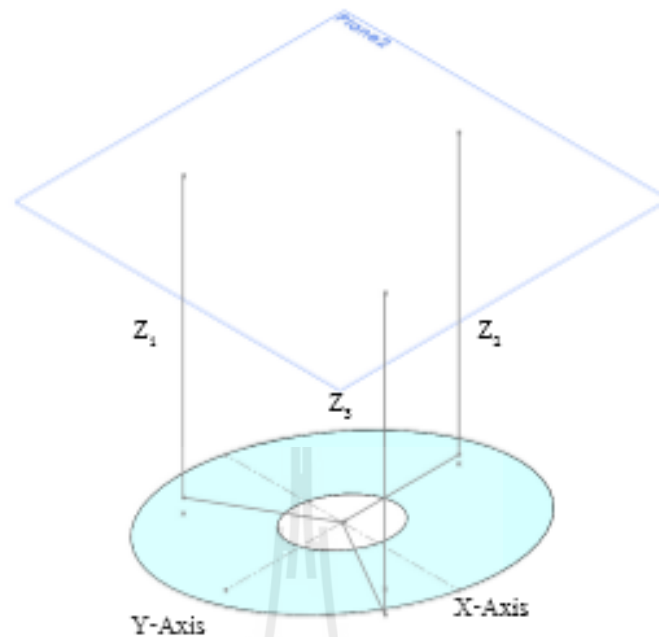
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

สำหรับบทนี้ จะนำเสนอผลการดำเนินงานการสร้างชุดอุปกรณ์ต้นแบบ การใช้ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์คำนวณเพื่อหามุมเอียง การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์สอบเทียบ การคำนวณเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ การทดลองประสิทธิภาพของชุดสอบเทียบต้นแบบ

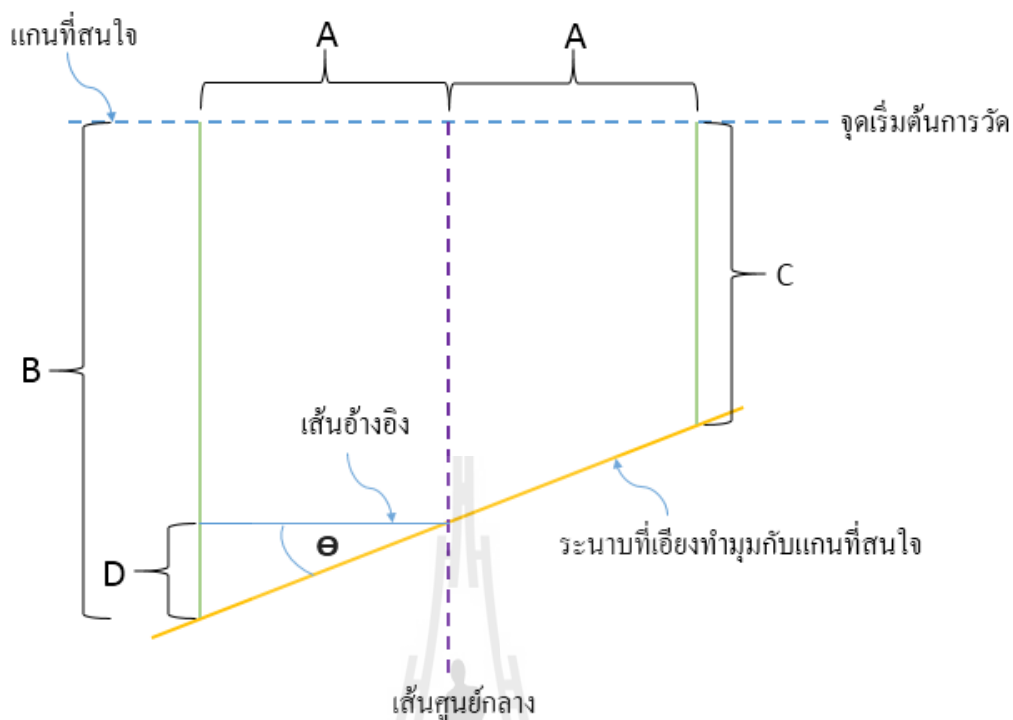
4.1 ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์

จากจุดประสงค์หลักเพื่อปรับชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ให้มีความขนานกับแผ่นดิสก์ในดรัมบรรจุ และเมื่อเกิดความไม่ขนานของชุดหยิบจับ ผู้ควบคุมเครื่องจักรจะต้องปรับได้โดยง่ายและใช้เวลาอันสั้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ใช้ทฤษฎีตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการหามุมเอียง โดยอันดับแรกได้ทำการเขียนแบบจำลองอย่างง่ายของชุดวัดค่าความขนานซึ่งใช้เซนเซอร์วัดระยะเพียง 3 จุด ทำการกำหนดหมายเลขของเซนเซอร์แต่ละตัว และแกนเพื่ออำนวยความสะดวกในการเข้าใจ เนื่องจากชุดหยิบจับแผ่นดิสก์สามารถปรับได้สองแกน จึงได้ทำการกำหนดให้เป็นแกน X และแกน Y โดยการตั้งแกน จะใช้การอ้างอิงแกนจากชุดปรับตั้งอุปกรณ์หยิบจับแผ่นดิสก์และจุดที่ชุดวัดระยะตกกระทบ เซนเซอร์จะถูกติดตั้งที่ระนาบเดียวกัน โดยมีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางเท่าๆกัน และทำมุมห่างเท่าๆกันที่ 120 องศา ดังแสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 รูปแบบอย่างง่ายของชุดอุปกรณ์สอบเทียบความขนาน

แนวคิดในหามุมของระนาบที่กระทำต่อแกนที่สนใจคือ นำค่าความต่างระหว่างระยะทางที่วัดได้จากจุดสองจุด เมื่อจุดที่วัดทั้งสองจุดมีระยะทางห่างจากจุดศูนย์กลางเท่าๆกันบนแกน X หรือ แกน Y มาใช้ในการหามุมเอียงที่กระทำต่อแกน X หรือ แกน Y โดยใช้ทฤษฎีสามเหลี่ยมมุมฉาก เพื่ออำนวยความสะดวกในการทำความเข้าใจ จึงแสดงดังรูปที่ 4.2 ในรูปแบบสองมิติ ซึ่งชุดหีบจับแผ่นดิสก์จะขนานกับแผ่นดิสก์ในตลับบรรจุได้ก็ต่อเมื่อชุดหีบจับทำมุมกับแผ่นดิสก์ในตลับบรรจุที่ 0 องศาในแกน X และที่ 0 องศาในแกน Y



รูปที่ 4.2 แนวคิดการหามุมของระนาบที่เอียงเมื่อกระทำต่อแกนที่สนใจ

ดังนั้น มุม θ คือมุมของระนาบที่กระทำต่อแกนที่สนใจ โดยเราสามารถหาค่า θ ได้จากกฎสามเหลี่ยมมุมฉาก ดังนี้

$$\tan\theta = \frac{D}{A}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{D}{A} \quad (4.1)$$

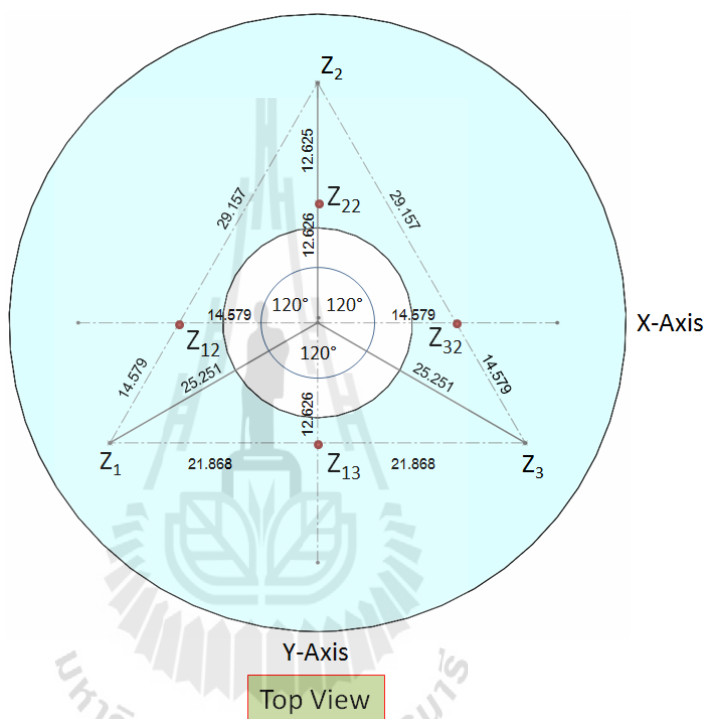
เมื่อ

$$D = \frac{B-C}{2} \quad (4.2)$$

โดยผลลัพธ์ที่ได้

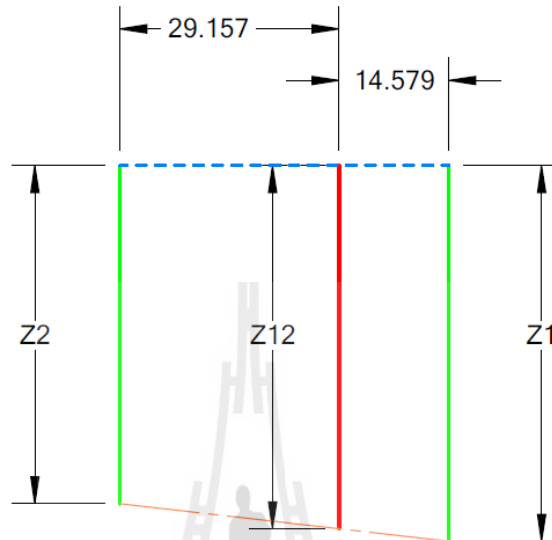
- ถ้าค่าของมุม θ ที่ได้มีค่าเป็นบวก นั่นคือระนาบทำมุมเอียงต่ำลงทางด้านซ้าย
- ถ้าค่าของมุม θ ที่ได้มีค่าเป็นลบ นั่นคือระนาบทำมุมเอียงต่ำลงทางด้านขวา

แต่จากการออกแบบที่ใช้เซ็นเซอร์เพียง 3 ตัว ดังนั้นจะมีเซนเซอร์อยู่สองตัว ซึ่งไม่ได้วัดที่จุดบนแนวแกน X และแกน Y นั่นคือ เซนเซอร์ 1 (Z_1) และเซนเซอร์ 2 (Z_2) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการหาค่าระยะทางจากเซนเซอร์ถึงจุดที่ต้องการซึ่งอยู่บนแกน X แกน Y โดยกำหนดค่าให้เป็นระยะ Z_{12} , Z_{32} , และ Z_{13} และค่าที่ตำแหน่ง Z_{22} ด้วยเพื่อใช้ในการหามุมเอียงของระนาบที่สนใจต่อไป โดยนำค่าต่างๆ ที่ได้จากการออกแบบชุดวัดระยะกำหนดลงไปบนแบบจำลองอย่างง่ายด้วย ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แบบจำลองอย่างง่าย ซึ่งได้นำค่าต่างๆกำหนดลงไป เมื่อมองจากด้านบน

ทำการหาค่าระยะ Z_{12} , Z_{32} , Z_{13} , Z_{22} โดยใช้ ทฤษฎี Linear Interpolation Formula
 - หาระยะทางจากระนาบที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ถึงระนาบที่ต้องการวัดที่ตำแหน่ง Z_{12}



รูปที่ 4.4 การพิจารณาหา Z_{12}

$$\frac{Z_{12}-Z_2}{29.157-0} = \frac{Z_1-Z_2}{43.736-0}$$

$$Z_{12} = \left[\left(\frac{Z_1-Z_2}{43.736} \right) (29.157) \right] + Z_2$$

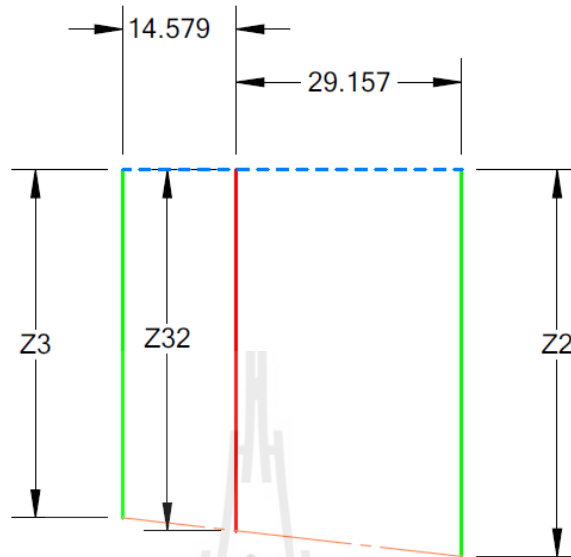
$$Z_{12} = [(0.667)(Z_1 - Z_2)]$$

$$Z_{12} = 0.667Z_1 - 0.667Z_2 + Z_2$$

$$Z_{12} = 0.667Z_1 + 0.333Z_2$$

(4.3)

- หาระยะทางจากระนาบที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ถึงระนาบที่ต้องการวัดที่ตำแหน่ง Z_{32}



รูปที่ 4.5 การพิจารณาหา Z_{32}

$$\frac{Z_{32}-Z_3}{14.579-0} = \frac{Z_2-Z_3}{43.736-0}$$

$$Z_{32} = \left[\left(\frac{Z_2-Z_3}{43.736} \right) (14.579) \right] + Z_3$$

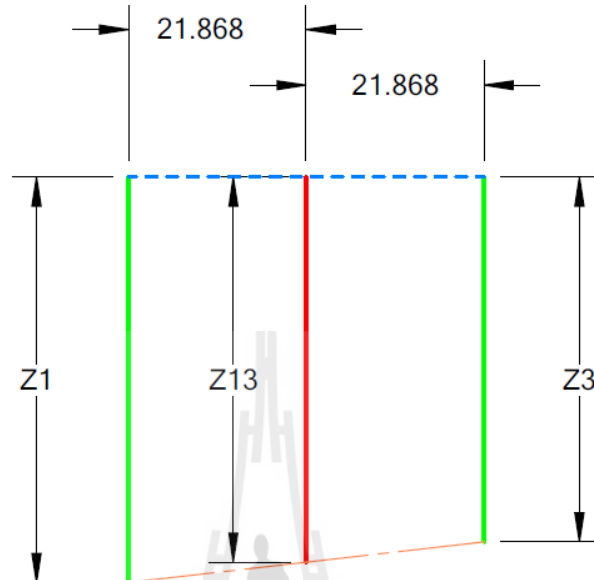
$$Z_{32} = [(0.333)(Z_2 - Z_3)] + Z_3$$

$$Z_{32} = 0.333Z_2 - 0.333Z_3 + Z_3$$

$$Z_{32} = 0.333Z_2 + 0.667Z_3$$

(4.4)

- หาระยะทางจากระนาบที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ถึงระนาบที่ต้องการวัดที่ตำแหน่ง Z_{13}



รูปที่ 4.6 การพิจารณาหา Z_{13}

$$\frac{Z_{13}-Z_1}{21.868-0} = \frac{Z_3-Z_1}{43.736-0}$$

$$Z_{13} = \left[\left(\frac{Z_3-Z_1}{43.736} \right) (21.868) \right] + Z_1$$

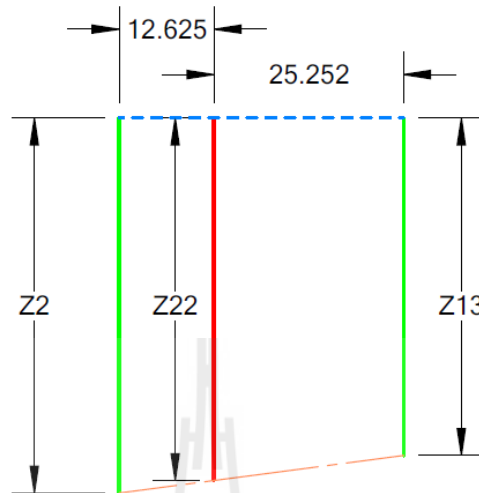
$$Z_{13} = [(0.5)(Z_3 - Z_1)] + Z_1$$

$$Z_{13} = 0.5Z_3 - 0.5Z_1 + Z_1$$

$$Z_{13} = 0.5Z_1 + 0.5Z_3$$

(4.5)

- หาระยะทางจากระนาบที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ถึงระนาบที่ต้องการวัดที่ตำแหน่ง Z_{22}



รูปที่ 4.7 การพิจารณาหา Z_{22}

$$\frac{Z_{22}-Z_2}{12.626-0} = \frac{Z_{13}-Z_2}{37.877-0}$$

$$Z_{22} = \left[\left(\frac{Z_{13}-Z_2}{37.877} \right) 12.626 \right] + Z_2$$

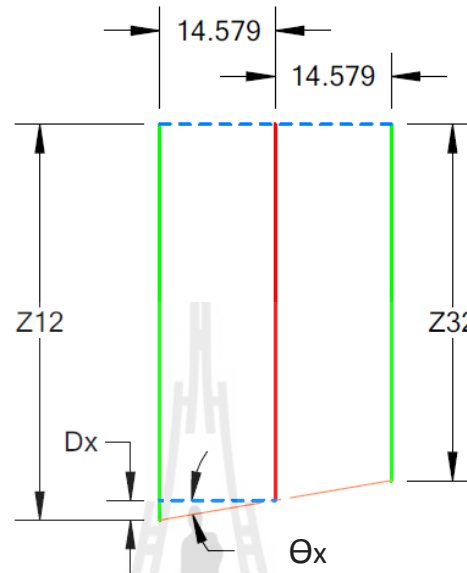
$$Z_{22} = [(0.333)(Z_{13} - Z_2)] + Z_2$$

$$Z_{22} = 0.333Z_{13} - 0.333Z_2 + Z_2$$

$$Z_{22} = 0.333Z_{13} + 0.667Z_2$$

(4.6)

- หามุมเอียงของระนาบต้องการวัดเมื่อเทียบกับระนาบที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ในแกน X



รูปที่ 4.8 การพิจารณาค่ามุมเอียง θ_x

จากสมการที่ 2

$$D_x = \frac{Z_{12} - Z_{32}}{2} \quad (4.7)$$

หา θ_x จากสมการที่ 1

$$\tan \theta_x = \frac{D_x}{12.626}$$

$$\theta_x = \tan^{-1} \frac{D_x}{14.579} \quad (4.8)$$

แทนค่าในสมการที่ (8) ด้วยสมการที่ (7)

$$\theta_x = \tan^{-1} \left[\left(\frac{Z_{12} - Z_{32}}{2} \right) / 14.579 \right] \quad (4.9)$$

แทนค่าในสมการที่ (9) ด้วยสมการที่ (3) และสมการที่ (4)

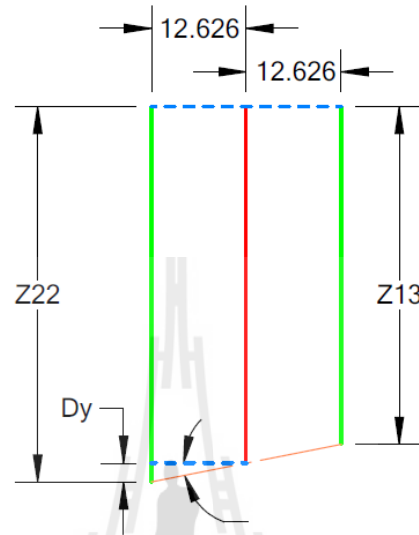
$$\theta_x = \tan^{-1} [0.0343 [(0.667 Z_1 + 0.333 Z_2) - (0.333 Z_2 + 0.667 Z_3)]]$$

$$\theta_x = \tan^{-1} [0.0343 [0.667 Z_1 + 0.333 Z_2 - 0.333 Z_2 - 0.667 Z_3]]$$

$$\theta_x = \tan^{-1} [0.0343 [0.667 Z_1 - 0.667 Z_3]]$$

$$\theta_x = \tan^{-1}[0.0229Z_1 - 0.0229Z_3] \quad (4.10)$$

- หามุมเอียงของระนาบต้องการวัดเมื่อเทียบกับระนาบที่ติดตั้งเซ็นเซอร์ในแกน Y



รูปที่ 4.9 การพิจารณาค่ามุมเอียง θ_y

จากสมการที่ 2

$$D_y = \frac{Z_{22} - Z_{13}}{2} \quad (4.11)$$

หา θ_y จากสมการที่ 1

$$\tan\theta_y = \frac{D_y}{12.626}$$

$$\theta_y = \tan^{-1} \frac{D_y}{12.626} \quad (4.12)$$

แทนค่าในสมการที่ (12) ด้วยสมการที่ (11)

$$\theta_y = \tan^{-1} \left[\left(\frac{Z_{22} - Z_{13}}{2} \right) / 12.626 \right] \quad (4.13)$$

แทนค่าในสมการที่ (13) ด้วยสมการที่ (5) และสมการที่ (6)

$$\theta_y = \tan^{-1}[0.0396(Z_{22} - Z_{13})]$$

$$\theta_y = \tan^{-1} [0.0396[(0.333Z13 + 0.667Z2) - (0.5Z1 + 0.5Z3)]]$$

$$\theta_y = \tan^{-1} [0.0396[0.333Z13 + 0.667Z2 - 0.5Z1 - 0.5Z3]] \quad (4.14)$$

แทนค่าในสมการที่ (14) ด้วยสมการที่ (5)

$$\theta_y = \tan^{-1} [0.0396[0.333(0.5Z1+0.5Z3) + 0.667Z2 - 0.5Z1 - 0.5Z3]]$$

$$\theta_y = \tan^{-1} [0.0396[0.1665Z1+0.1665Z3 + 0.667Z2 - 0.5Z1 - 0.5Z3]]$$

$$\theta_y = \tan^{-1} [0.0396[-0.3335Z1+ 0.667Z2 - 0.3335Z3]]$$

$$\theta_y = \tan^{-1} [-0.0132Z1+ 0.0264Z2 - 0.0132Z3] \quad (4.15)$$

นั่นคือสามารถหาได้ว่าระนาบที่ต้องการตรวจวัดทำมุมในแกน x เมื่อเทียบกับระนาบอ้างอิง ได้จากสมการที่ (10)

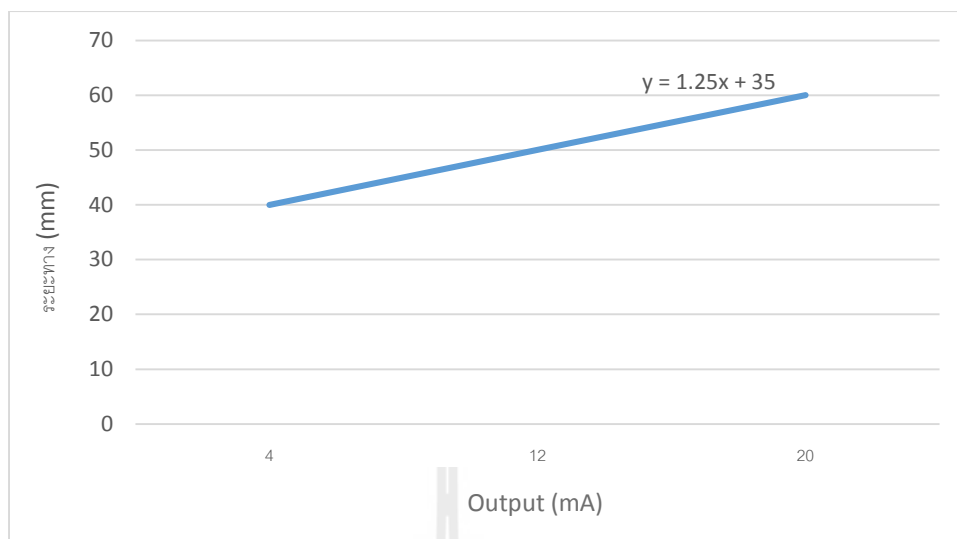
$$\theta_x = \tan^{-1}[0.0229Z1 - 0.0229Z3]$$

และสามารถหาได้ว่าระนาบที่ต้องการตรวจวัดทำมุมในแกน y เมื่อเทียบกับระนาบอ้างอิง ได้จากสมการที่ (15)

$$\theta_y = \tan^{-1} [-0.0132Z1+ 0.0264Z2 - 0.0132Z3]$$

4.2 การแปลงค่าที่รับได้จากเซ็นเซอร์วัดระยะรุ่น ZX1-LD050A61 จากบริษัท OMRON

เนื่องจากเซ็นเซอร์วัดระยะรุ่น ZX1-LD050A61 จากบริษัท OMRON จะส่งสัญญาณ output ในรูปแบบของสัญญาณ 4-20 mA ดังนั้นเราจะต้องแปลงสัญญาณดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบของของระยะทาง ซึ่งเมื่อเทียบกับระยะทำงานของ Sensor รุ่น ZX1-LD050A61 ซึ่งมีระยะทำงานอยู่ที่ 40 - 60 mm. จึงสามารถแปลงสัญญาณได้จากการพล็อตกราฟและหาสมการเส้นตรงได้ดังนี้



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Output เซ็นเซอร์วัดระยะรุ่น ZX1-LD050A61 จากบริษัท OMRON กับระยะที่วัดได้

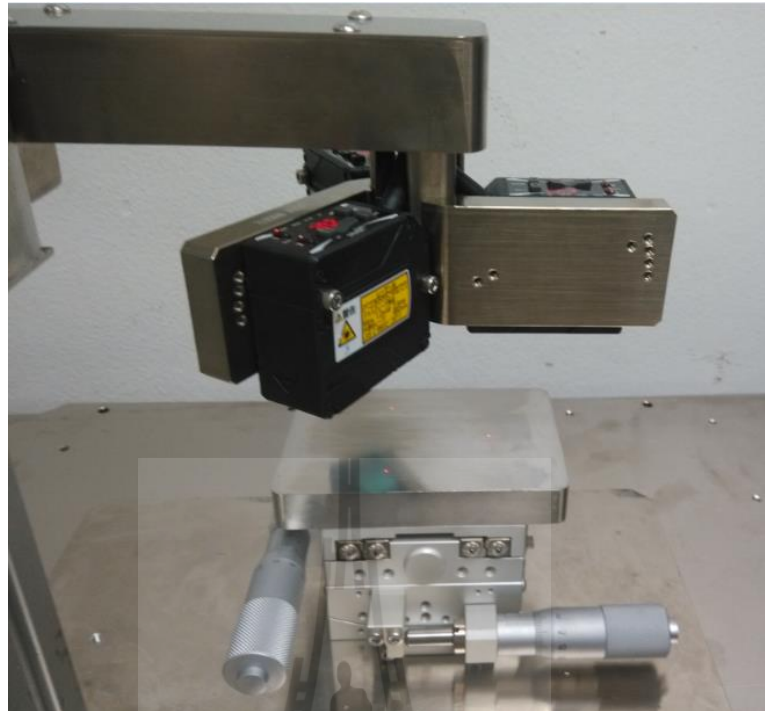
4.3 การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของอุปกรณ์สอบเทียบ

4.3.1 การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดมุม

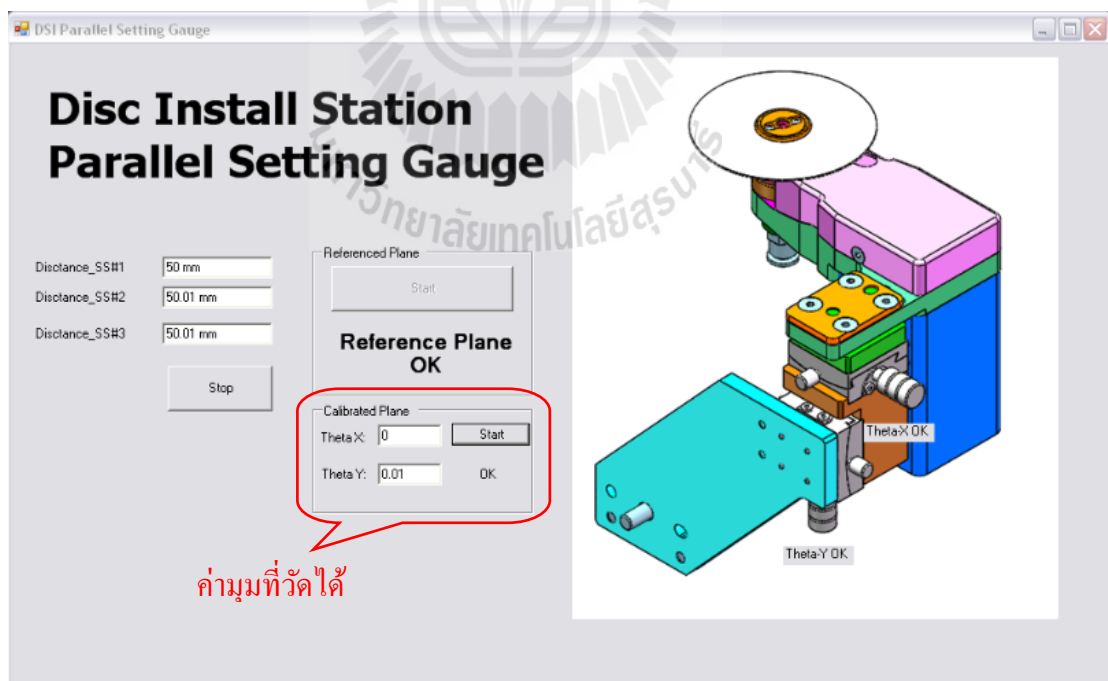
การทดลองในส่วนนี้จะเป็นการทดลองอุปกรณ์สอบเทียบความขนาน โดยจะอ่านค่ามุมที่เปลี่ยนแปลงเทียบกับมุมจากชุดปรับมุมมาตรฐาน โดยจะทำการทดลองด้วยกัน 3 แบบคือ 1. ปรับมุม ในแกน X คงที่มุมในแกน Y 2. คงที่มุมในแกน X ปรับมุมในแกน Y 3. ปรับมุมในแกน X และ Y

ขั้นตอนการทดลองมีดังต่อไปนี้

1. ปรับชุดปรับมุมมาตรฐานที่มุม 0 องศา
2. ตั้งค่าชุดสอบเทียบกับชุดปรับมุมมาตรฐาน ที่ตำแหน่งนี้เป็นระนาบอ้างอิง
3. ปรับมุมที่ชุดปรับมุมมาตรฐาน
4. อ่านค่าที่ได้จากการโปรแกรม



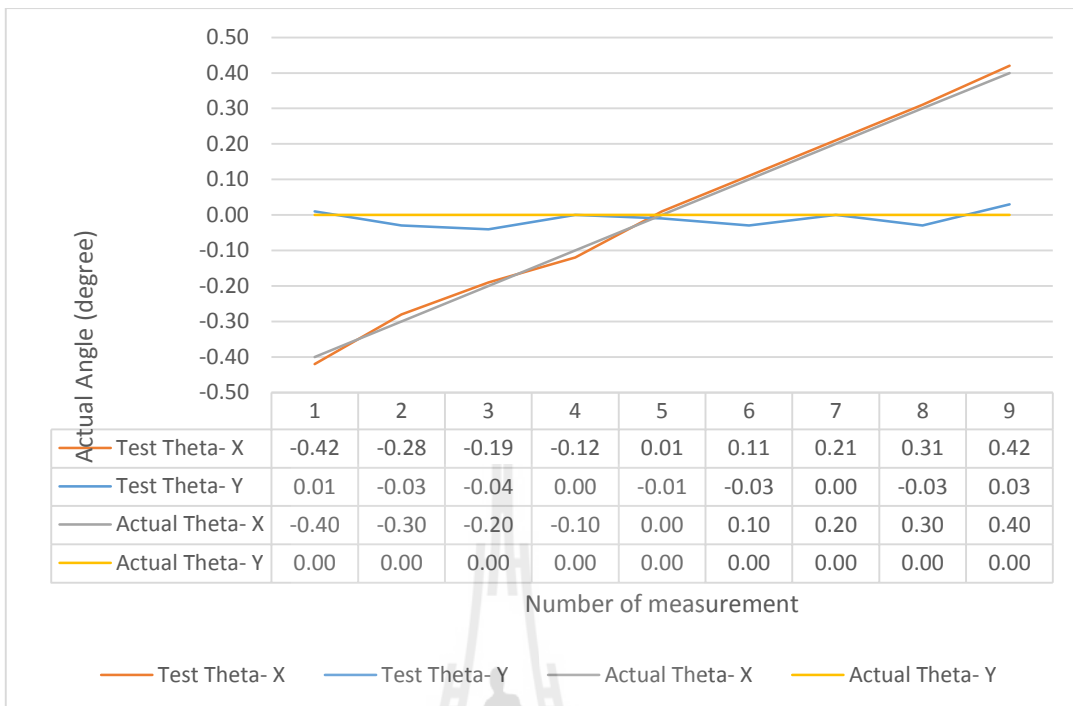
รูปที่ 4.11 การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดมุม



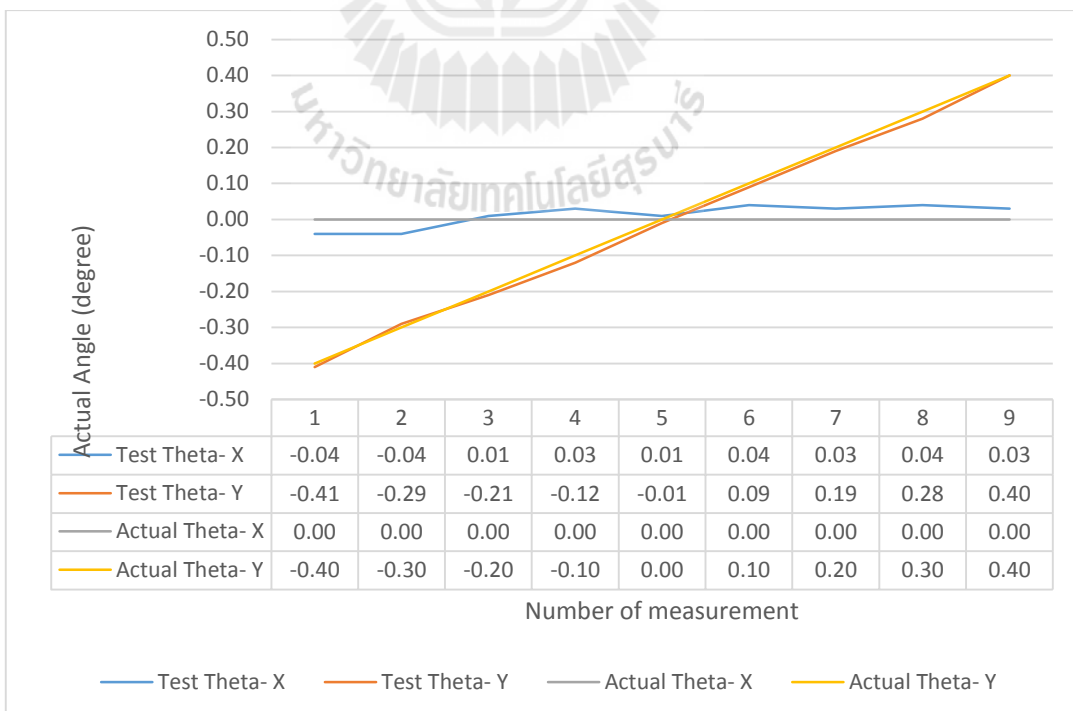
รูปที่ 4.12 โปรแกรมแสดงค่ามุมที่วัดได้

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการหาค่าความผิดพลาดของการวัดมุม

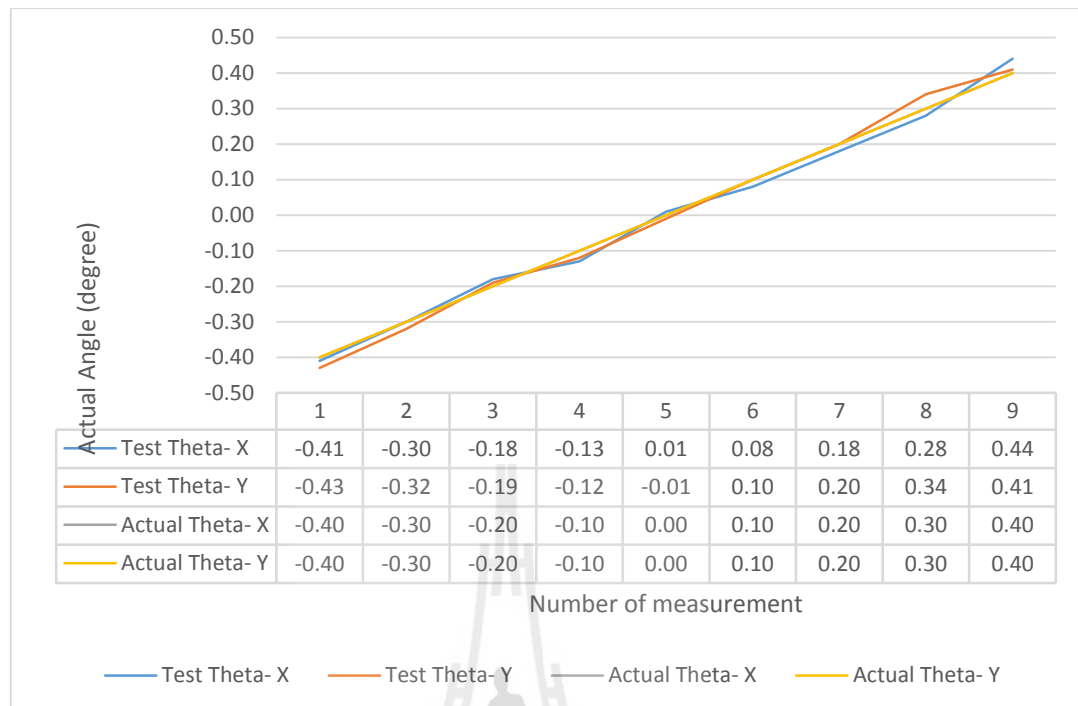
Test Theta (Program)		Actual Theta		Error		
Test Theta- X	Test Theta- Y	Actual Theta- X	Actual Theta- Y	Theta- X	Theta- Y	
-0.42	0.01	-0.40	0.00	0.020	0.010	X- Change Only
-0.28	-0.03	-0.30	0.00	0.020	0.030	
-0.19	-0.04	-0.20	0.00	0.010	0.040	
-0.12	0.00	-0.10	0.00	0.020	0.000	
0.01	-0.01	0.00	0.00	0.010	0.010	
0.11	-0.03	0.10	0.00	0.010	0.030	
0.21	0.00	0.20	0.00	0.010	0.000	
0.31	-0.03	0.30	0.00	0.010	0.030	
0.42	0.03	0.40	0.00	0.020	0.030	
-0.04	-0.41	0.00	-0.40	0.040	0.010	Y- Change Only
-0.04	-0.29	0.00	-0.30	0.040	0.010	
0.01	-0.21	0.00	-0.20	0.010	0.010	
0.03	-0.12	0.00	-0.10	0.030	0.020	
0.01	-0.01	0.00	0.00	0.010	0.010	
0.04	0.09	0.00	0.10	0.040	0.010	
0.03	0.19	0.00	0.20	0.030	0.010	
0.04	0.28	0.00	0.30	0.040	0.020	
0.03	0.40	0.00	0.40	0.030	0.000	
-0.41	-0.43	-0.40	-0.40	0.010	0.030	X&Y - Change
-0.30	-0.32	-0.30	-0.30	0.000	0.020	
-0.18	-0.19	-0.20	-0.20	0.020	0.010	
-0.13	-0.12	-0.10	-0.10	0.030	0.020	
0.01	-0.01	0.00	0.00	0.010	0.010	
0.08	0.10	0.10	0.10	0.020	0.000	
0.18	0.20	0.20	0.20	0.020	0.000	
0.28	0.34	0.30	0.30	0.020	0.040	
0.44	0.41	0.40	0.40	0.040	0.010	
				Error Max	0.040	0.040
				Error Min	0.000	0.000



รูปที่ 4.13 กราฟผลการทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดมุมแบบที่ 1 (ปรับมุม ในแกน X คงที่มุมในแกน Y)



รูปที่ 4.14 กราฟผลการทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดมุมแบบที่ 2 (คงที่มุมในแกน X ปรับมุมในแกน Y)

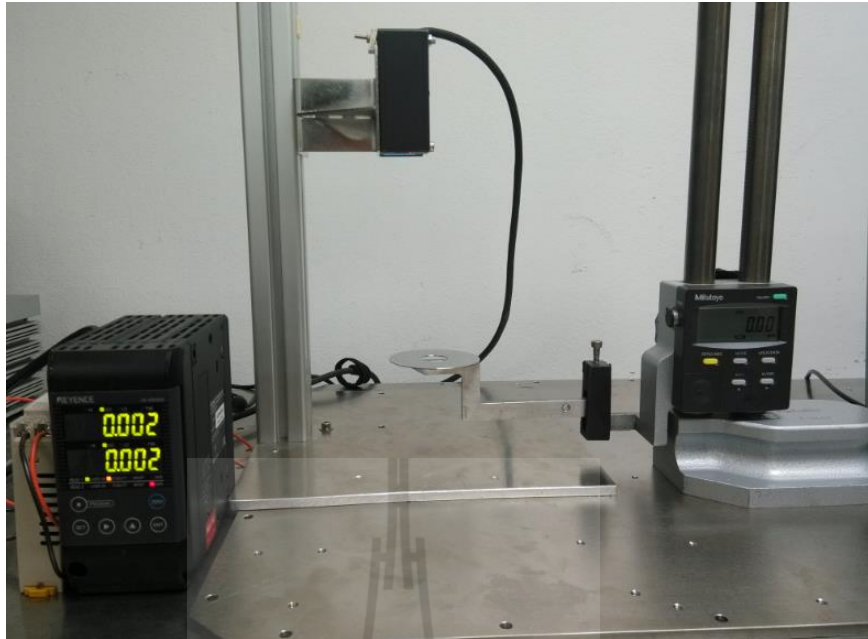


รูปที่ 4.15 กราฟผลการทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดมุมแบบที่ 3
(ปรับมุมในแกน X และ Y)

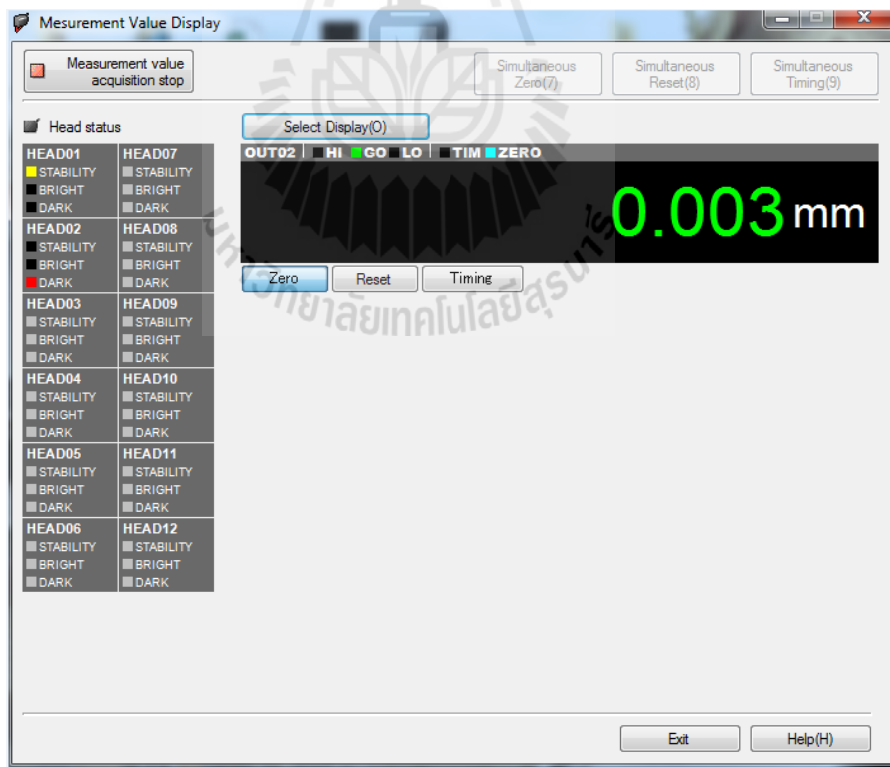
จากการทดลองจะแสดงให้เห็นว่ามุมที่วัดได้เมื่อเทียบกับมุมของชุดปรับมุมมาตรฐาน มีค่าความคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริง 0.04 องศา ซึ่งความผิดพลาดพลาดนั้น มีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงไปจากค่าจริง ดังนั้นจึงสามารถสรุปการทดลองนี้ได้ว่า ชุดตั้งค่าความขนานต้นแบบมีค่าความผิดพลาดในการวัดอยู่ที่ ± 0.04 องศา

4.3.2 การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดระยะ

การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของวัดระยะจากเซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจจับระยะ การเข้าหีบแผ่นดิสก์ของชุดหีบจับแผ่นดิสก์ออกจากตลับบรรจุ การทดลองจะเป็นการอ่านค่าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์ที่ส่งมายังชุดควบคุม (คอมพิวเตอร์)



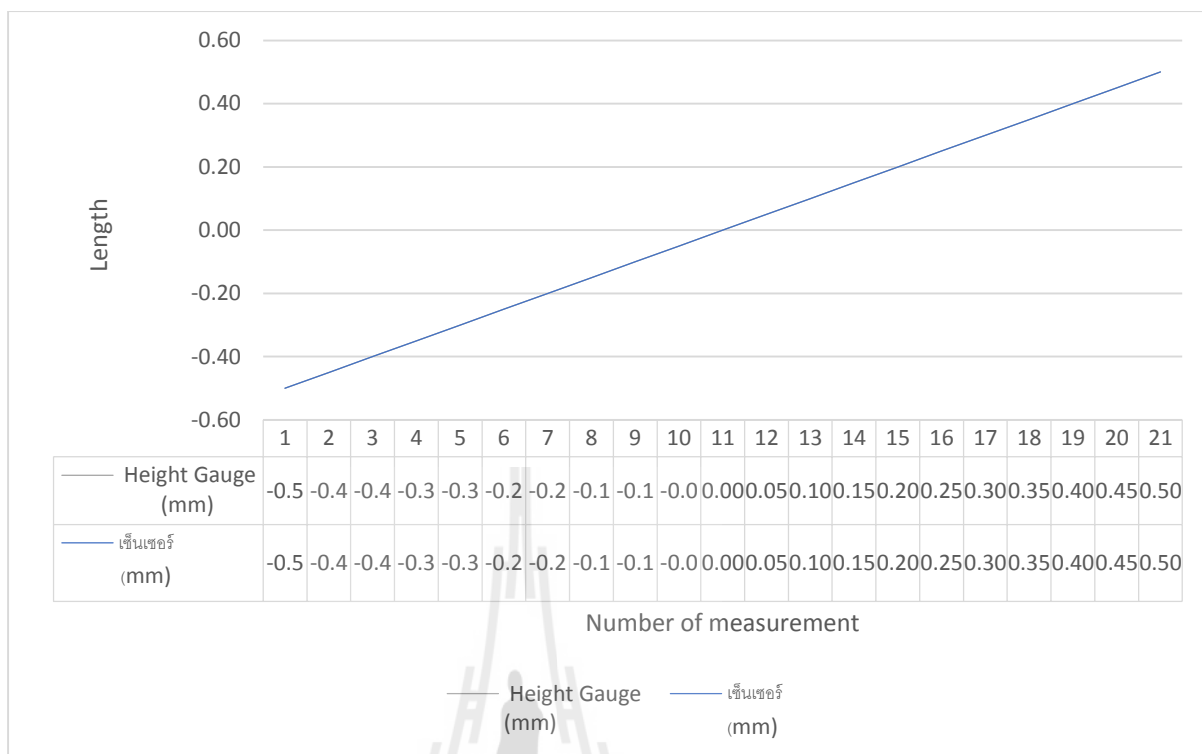
รูปที่ 4.16 การทดลองเพื่อหาค่าความผิดพลาดของการวัดระยะ



รูปที่ 4.17 โปรแกรมแสดงระยะทางที่วัดได้

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการหาค่าความผิดพลาดของการวัดระยะ

Height Gauge (mm)	เซ็นเซอร์ (mm)	Error (mm)
-0.50	-0.50	0.00
-0.45	-0.45	0.00
-0.40	-0.40	0.00
-0.35	-0.35	0.00
-0.30	-0.30	0.00
-0.25	-0.25	0.00
-0.20	-0.20	0.00
-0.15	-0.15	0.00
-0.10	-0.10	0.00
-0.05	-0.05	0.00
0.00	0.00	0.00
0.05	0.05	0.00
0.10	0.10	0.00
0.15	0.15	0.00
0.20	0.20	0.00
0.25	0.25	0.00
0.30	0.30	0.00
0.35	0.35	0.00
0.40	0.40	0.00
0.45	0.45	0.00
0.50	0.50	0.00
	Error Max	0.00
	Error Min	0.00

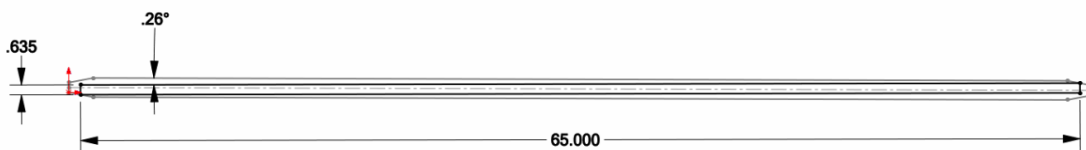


รูปที่ 4.18 กราฟผลการทดลองการหาค่าความผิดพลาดของการวัดระยะ

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าเซ็นเซอร์สามารถบอกค่าระยะทางเมื่อเทียบกับ Height Gauge นั้นมีความแม่นยำมาก สามารถบอกค่าได้ตรงตาม Height Gauge ซึ่งเป็นการบอกความแม่นยำในทศนิยมหลักที่สองของหน่วย mm เท่านั้น

4.4 การคำนวณเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ

จากข้อมูลเบื้องต้นจากบทที่ 2 เราจะพบว่าเมื่อแผ่นดิสก์อยู่ในตลับบรรจุ จะเหลือช่องว่างอยู่ที่ 0.291 ดังนั้นจะต้องหาว่า เมื่อเปลี่ยนเป็นมุมเอียงนั้นจะสามารถยอมรับมุมเอียงได้ที่เท่าใด โดยใช้การหามุมเอียงที่ยอมรับได้จากการใช้โปรแกรม Solidworks 2014 เพื่อช่วยในการหามุม จะได้ว่าแผ่นดิสก์สามารถทำมุมเอียงได้ในตลับบรรจุ โดยที่ไม่ทำให้แผ่นดิสก์เสียหายอยู่ที่ $\pm 0.26^\circ$



รูปที่ 4.19 แสดงมุมเอียงของแผ่นดิสก์เมื่ออยู่ในตลับบรรจุที่ยอมรับได้

จากการทดลองที่ได้ทำการทดลองแล้วนั้น จึงนำมาเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม เพื่อกำหนดลงยังโปรแกรม ตามสมการคือ

ความคลาดเคลื่อนจากอุปกรณ์สอบเทียบ = ความคลาดเคลื่อนการวัดมุม + ความคลาดเคลื่อนการวัดระยะ

แทนค่าที่ได้จากการทดลอง

$$\text{ความคลาดเคลื่อนจากอุปกรณ์สอบเทียบ} = 0.04^\circ + 0^\circ$$

$$\text{ความคลาดเคลื่อนจากอุปกรณ์สอบเทียบ} = 0.04^\circ$$

จากนั้นจึงนำไปคำนวณเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนยินยอมจากสมการ

ความคลาดเคลื่อนยินยอม = ความคลาดเคลื่อนยินยอมของแผ่นดิสก์กับตลับบรรจุ - ความคลาดเคลื่อนจากอุปกรณ์สอบเทียบ

แทนค่า ความผิดพลาดจากอุปกรณ์

$$\text{ความคลาดเคลื่อนยินยอม} = 0.26^\circ - 0.04^\circ$$

$$\text{ความคลาดเคลื่อนยินยอม} = 0.22^\circ$$

เพื่อเป็นการลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทดลองดังนั้นจึงใส่ค่า **safety factor = 2** ดังนั้น

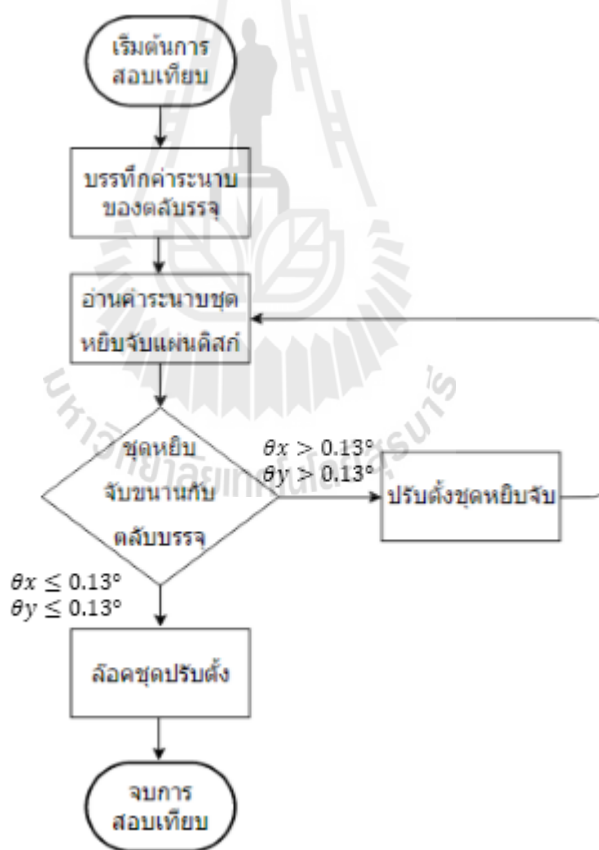
$$\text{ความคลาดเคลื่อนยินยอม} = \frac{0.22^\circ}{2}$$

$$\text{ความคลาดเคลื่อนยินยอม} = 0.11^\circ$$

หลังจากดำเนินการหาค่าความคลาดเคลื่อนยินยอม จึงนำมากำหนดลงยังโปรแกรมเพื่อตัดสินใจแทนผู้ควบคุมเครื่องจักร ว่าควรยอมรับความขนานระหว่างชุดหีบจับและตลับบรรจุหรือไม่ โดยที่ค่ามุมเอียงที่ชุดหีบจับกระทำต่อตลับบรรจุที่ดีที่สุดเพื่อให้ขนานต่อกันคือ 0 องศาของมุมในแกน X และ แกน Y ดังนั้น สามารถเขียนเป็นสมการ เพื่อให้ใส่ลงยังแกรมได้ดังนี้

$$\text{ค่ามุมที่วัดได้} \leq 0.13^\circ$$

ดังนั้นจึงสามารถเขียนเป็น Flow Chart ได้ดังนี้



รูปที่ 4.20 Flow Chart แสดงการสอบเทียบชุดหีบจับแผ่นดิสก์กับตลับบรรจุ

4.5 ผลการดำเนินงานของชุดอุปกรณ์ต้นแบบ



รูปที่ 4.21 อุปกรณ์สอบเทียบต้นแบบที่ได้สร้างขึ้น

4.5.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการสอบเทียบ

หลังจากสร้างอุปกรณ์ต้นแบบจึงได้ทำการทดลองสอบเทียบความขนานชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ออกจากตลับบรรจุและสอบเทียบระยะเข้าหยิบจับของชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ออกจากตลับบรรจุกับเครื่องจักรในห้องทดลอง จึงสามารถสรุปเวลาการสอบเทียบได้ว่า

ตารางที่ 4.3 ระยะเวลาในการสอบเทียบเครื่องจักร

ขั้นตอน	อุปกรณ์สอบเทียบเดิม	อุปกรณ์สอบเทียบจากการออกแบบ
การสอบเทียบความขนานชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ออกจากตลับบรรจุ	60 นาที	30 นาที
การสอบเทียบระยะเข้าหยิบจับของชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ออกจากตลับบรรจุ	20 นาที	5 นาที
ใช้เวลาทั้งสิ้น	80 นาที	35 นาที

ในการสอบเทียบเดิมอาจต้องทำหลายรอบ เนื่องจากเมื่อชุดหยิบจับไม่ขนานกับตลับบรรจุ เมื่อทำการเข้าหยิบจับจะทำให้แผ่นดิสก์ร่วงหล่น ซึ่งก็ต้องทำการสอบเทียบใหม่

4.5.2 ระยะเวลาที่ใช้ในการเข้าหยิบจับของชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ออกจากตลับบรรจุ

จากการจับเวลาการเข้าหยิบจับของชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ที่ได้ทำการออกแบบ กับ ฮาร์ดดิสก์ไทร์ฟขนาด 2.5 นิ้ว มีจำนวนแผ่นดิสก์จำนวน 1 แผ่น พบว่าใช้เวลาเฉลี่ย 0.985 วินาที ต่อการหยิบจับ 1 แผ่น จากเดิมใช้เวลาเฉลี่ยต่อ 1 แผ่น 0.935 วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่เพิ่มขึ้น 0.050 วินาที ดังนั้นจะทำให้เวลาการทำงานของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นจาก 2.60 วินาที เป็น 2.65 วินาที แต่เนื่องจากเวลาของสายการผลิตมีความต้องการต่อหนึ่งชิ้นงานในแต่ละสถานีห้ามมากกว่า 8.40 วินาที ทำให้เวลารวมของเครื่องจักรยังสามารถรองรับการผลิตได้เป็นปกติ โดยไม่มีผลกระทบต่อจำนวนชิ้นงานที่ออกจากสายการผลิต

ตารางที่ 4.4 ระยะเวลาในการทำงานของเครื่องจักร

ขั้นตอน	ปัจจุบัน	หลังการปรับปรุง
เวลาการทำงานของเครื่องจักร	2.60 วินาที	2.65 วินาที
สายการผลิตมีความต้องการต่อหนึ่งชิ้นงานในแต่ละสถานี	8.40 วินาที	8.40 วินาที
กระทบต่อสายการผลิต	-	ไม่กระทบ

4.5.3 จำนวนของเสียที่เกิดขึ้นหลังการสอบเทียบที่ได้ออกแบบ

การทดลองเพื่อดูจำนวนของเสียหลังจากสอบเทียบความขนานชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ออกจากตลับบรรจุและสอบเทียบระยะเข้าหยิบจับของชุดหยิบจับแผ่นดิสก์ออกจากตลับบรรจุที่ได้ออกแบบ โดยทำการทดลองในห้องทดลอง ด้วยจำนวนชิ้นงาน 2 ตลับบรรจุ ใน 1 ตลับจะบรรจุแผ่นดิสก์จำนวน 50 แผ่น รวมทั้งสิ้น 100 แผ่น โดยหลังการทดสอบได้นำแผ่นดิสก์ทั้งหมดไปตรวจด้วยวิธีการส่องกล้อง ไม่พบแผ่นดิสก์ที่เป็นรอยขีดข่วนทั้ง 100 แผ่น

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างต้นแบบชุดวัดระยะเพื่อตั้งค่าเครื่องจักรในกระบวนการประกอบแผ่นดิสก์ โดยหลังจากการศึกษากระบวนการหยิบแผ่นดิสก์ออกจากถาดบรรจุ ซึ่งเป็นกระบวนการที่เกิดความผิดพลาด จนนำไปสู่ความเสียหายต่อแผ่นดิสก์ พบรอยขีดข่วนไม่สามารถใช้งานได้ หลังจากวิเคราะห์ข้อมูล พบการสอบเทียบซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่อยู่ 2 การสอบเทียบคือ 1. การสอบเทียบความขนานของชุดหยิบจับแผ่นดิสก์กับถาดบรรจุแผ่นดิสก์ 2. การสอบเทียบการเคลื่อนที่ของถาดบรรจุ ซึ่งทั้งสองการสอบเทียบพบปัญหาหลักคือ การสอบเทียบยังคงต้องใช้ความชำนาญและการตัดสินใจโดยผู้ควบคุมเครื่องจักร ผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบชุดอุปกรณ์สอบเทียบต้นแบบ โดยการตัดการใช้ความชำนาญและการตัดสินใจของผู้ควบคุมเครื่องจักรออก และใช้ระบบควบคุมด้วยโปรแกรมในการตัดสินใจแทนผู้ควบคุมเครื่องจักร

จากการทำการทดสอบการทำงานของเครื่องจักรต้นแบบ จะเห็นได้ว่าชุดอุปกรณ์สอบเทียบต้นแบบใช้เวลาในการสอบเทียบทั้งหมดเท่ากับ 35.00 นาที ซึ่งสามารถลดเวลาได้ประมาณร้อยละ 60 จากกระบวนการสอบเทียบเดิม และจากการทดลองกระบวนการหยิบจับแผ่นดิสก์ออกจากถาดบรรจุกับเครื่องจักรในห้องทดลอง เพื่อตรวจสอบของเสียหลังการสอบเทียบ ซึ่งทดสอบหยิบจับแผ่นดิสก์จำนวน 100 แผ่นออกจากถาดบรรจุ ไม่พบแผ่นดิสก์เกิดรอยขีดข่วนจากกระบวนการหยิบจับแผ่นดิสก์ออกจากถาดบรรจุ แต่หลังจากทดลองพบเวลาที่ใช้ในการหยิบจับเพิ่มขึ้นจากเดิมโดยเฉลี่ย 0.050 วินาที ซึ่งจะมีผลทำให้เวลาการทำงานรวมของเครื่องจักรเพิ่มขึ้นเป็น 2.65 นาที จากเดิมที่ 2.60 นาที แต่เนื่องจากเวลาของสายการผลิตมีความต้องการต่อหนึ่งชิ้นงานในแต่ละสถานีห้ามมากกว่า 8.40 นาที ทำให้เวลารวมของเครื่องจักรยังสามารถรองรับการผลิตได้เป็นปกติ โดยไม่มีผลกระทบต่อจำนวนชิ้นงานที่ออกจากสายการผลิต

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบและสร้างต้นแบบชุดสอบเทียบ และสามารถทำให้ของเสียจากกระบวนการผลิตได้ จึงได้นำเสนอโรงงาน เพื่อนำไปใช้ปรับปรุงกระบวนการผลิตของเครื่อง Disc

install ต่อไป ผู้วิจัยจึงได้เสนอต่อผู้มีส่วนเกี่ยวข้อง เพื่อนำไปปรับใช้กับเครื่องจักรในสายการผลิต ซึ่งมีลักษณะทำงานคล้ายกันเพื่อประโยชน์ในการลดของเสีย

อุปกรณ์สอบเทียบในสายการผลิตปัจจุบัน ยังคงต้องใช้ความชำนาญของผู้ควบคุมเครื่องจักร เนื่องจากยังคงต้องใช้การตัดสินใจของผู้ควบคุมเครื่องจักรเป็นหลัก แต่เนื่องผู้ควบคุมเครื่องจักรที่มีความชำนาญมีความคลาดเคลื่อนอย่างมากในปัจจุบัน เพราะเมื่อทำงานจนมีความชำนาญ จะทำการย้ายบริษัทเพื่อปรับเพิ่มเงินเดือน ดังนั้นเมื่อทำการออกแบบการสอบเทียบ ควรตัดการใช้ความชำนาญและการตัดสินใจจากผู้ควบคุมเครื่องจักรออก เพราะเมื่อเปลี่ยนผู้ควบคุมเครื่องจักร ก็จะยังคงได้การสอบเทียบที่ดีในทุกๆ ครั้ง

การออกแบบเครื่องจักรที่ดีนั้น ควรมีระบบการสอบเทียบด้วยตนเอง โดยการติดตั้งเซ็นเซอร์หรือกล้อง เข้าไปเพื่อบอกสถานะตนเองว่าอุปกรณ์ดังกล่าวอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานหรือไม่ และติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการปรับตั้งแบบอัตโนมัติ เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับตัวอุปกรณ์และชิ้นงาน ซึ่งในบางครั้งเมื่ออุปกรณ์เสียหาย อาจต้องทำให้ สายการผลิตหยุดการผลิตเพื่อทำการสอบเทียบ ในบางการสอบเทียบอาจต้องใช้เวลาานาน เป็นผลให้กำลังการผลิตลดลง อาจทำให้ไม่สามารถส่งมอบผลิตภัณฑ์ได้ทันเวลา ซึ่งถือเป็นสิ่งสำคัญมาก แต่อย่างไรก็ตามการเพิ่มอุปกรณ์เข้าไปยังเครื่องจักรยังคงต้องใช้เงินและกำลังคน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องคิดหาจุดคุ้มทุน ซึ่งในบางเครื่องจักรอาจแค่ปรับปรุงกระบวนการสอบเทียบก็เพียงพอ

รายการอ้างอิง

พชรารัตน์ แก้วคำไสย์ (2552), การพัฒนาเครื่องมือในการถอดประกอบ HAS/VCM อัตโนมัติ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Prachi Kanabar (2008), **Three Dimensional Modeling of Hard Connective Tissues Using a Laser Displacement Sensor**, The Graduate Faculty of The University of Akron

A C Majarena, J Santolaria, D Samper and J J Aguilar (2011), **Modelling and calibration of parallel mechanisms using linear optical sensors and a coordinate measuring machine**, Department of Design and Manufacturing Engineering, Universidad de Zaragoza

สุชาติ จันทร์จรมานิตย์ (2555), ระบบควบคุม (Control Systems), สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ธีรวัฒน์ นาคะบุตร (2546), ตัวแบบเชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Modelling), คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏนครปฐม

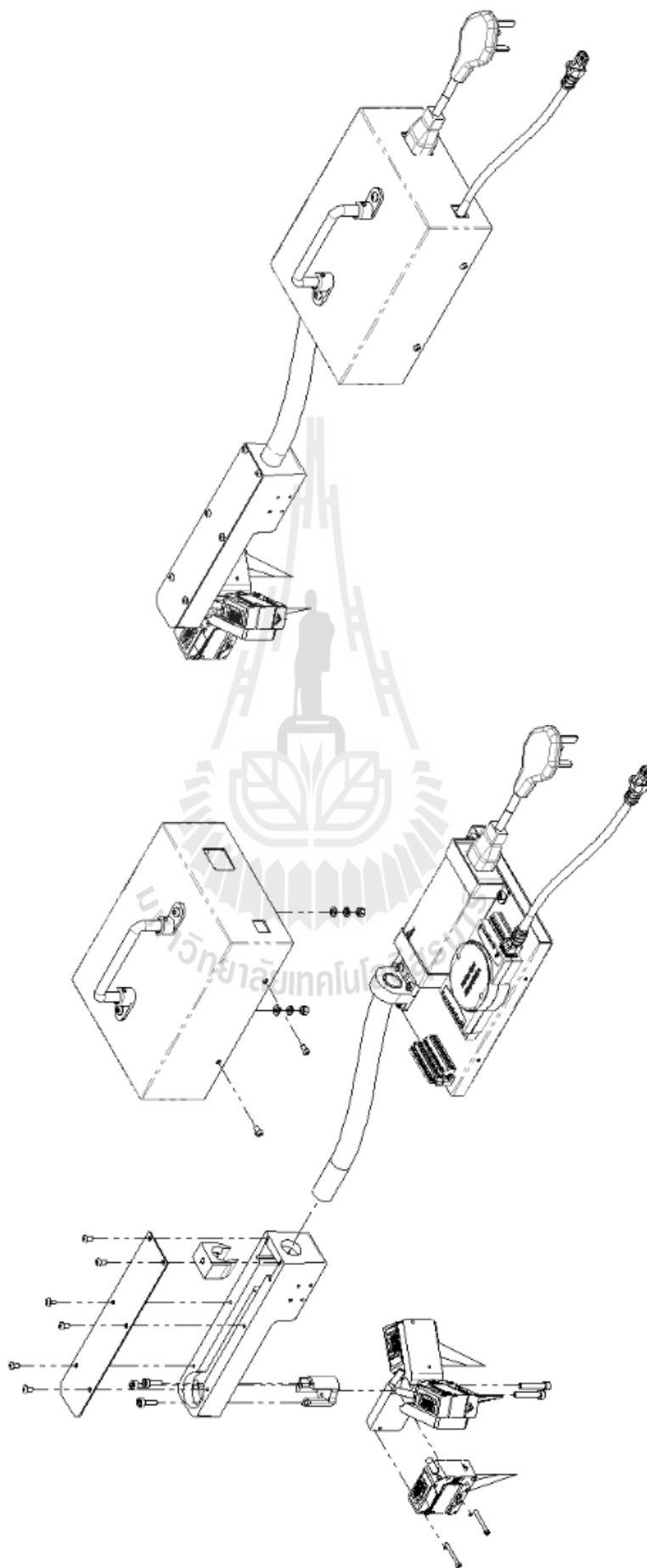
W. Bolton (2003), **Mechatronics electronic control system in mechanical and electrical engineering Third Edition**, Pearson Education Limited, England

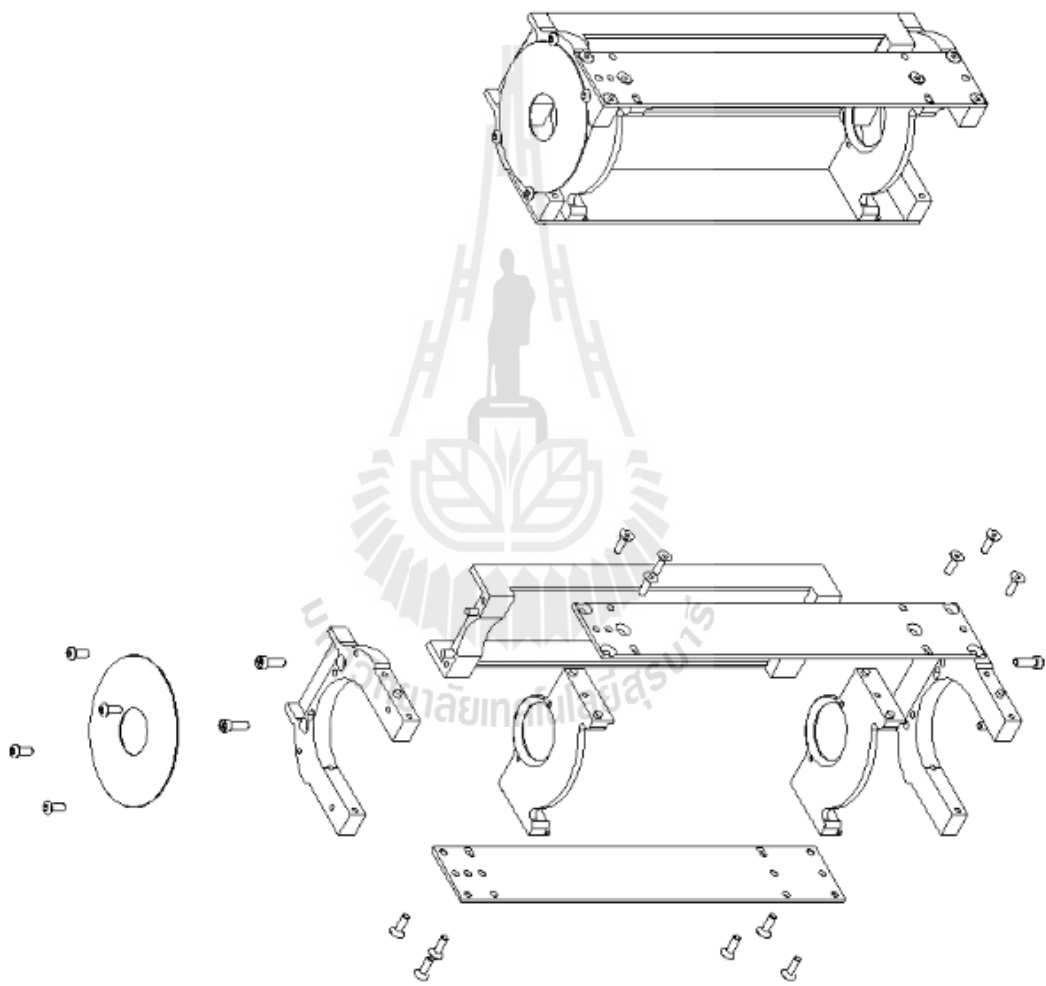
นิรันดร์ ประวิทย์ธนา (2553), เก่ง C# ให้ครบสูตร ฉบับ OOP, บริษัท Witty Group จำกัด
SolidWorks Corp. SolidWorks Flow Essentials 2011 Training.

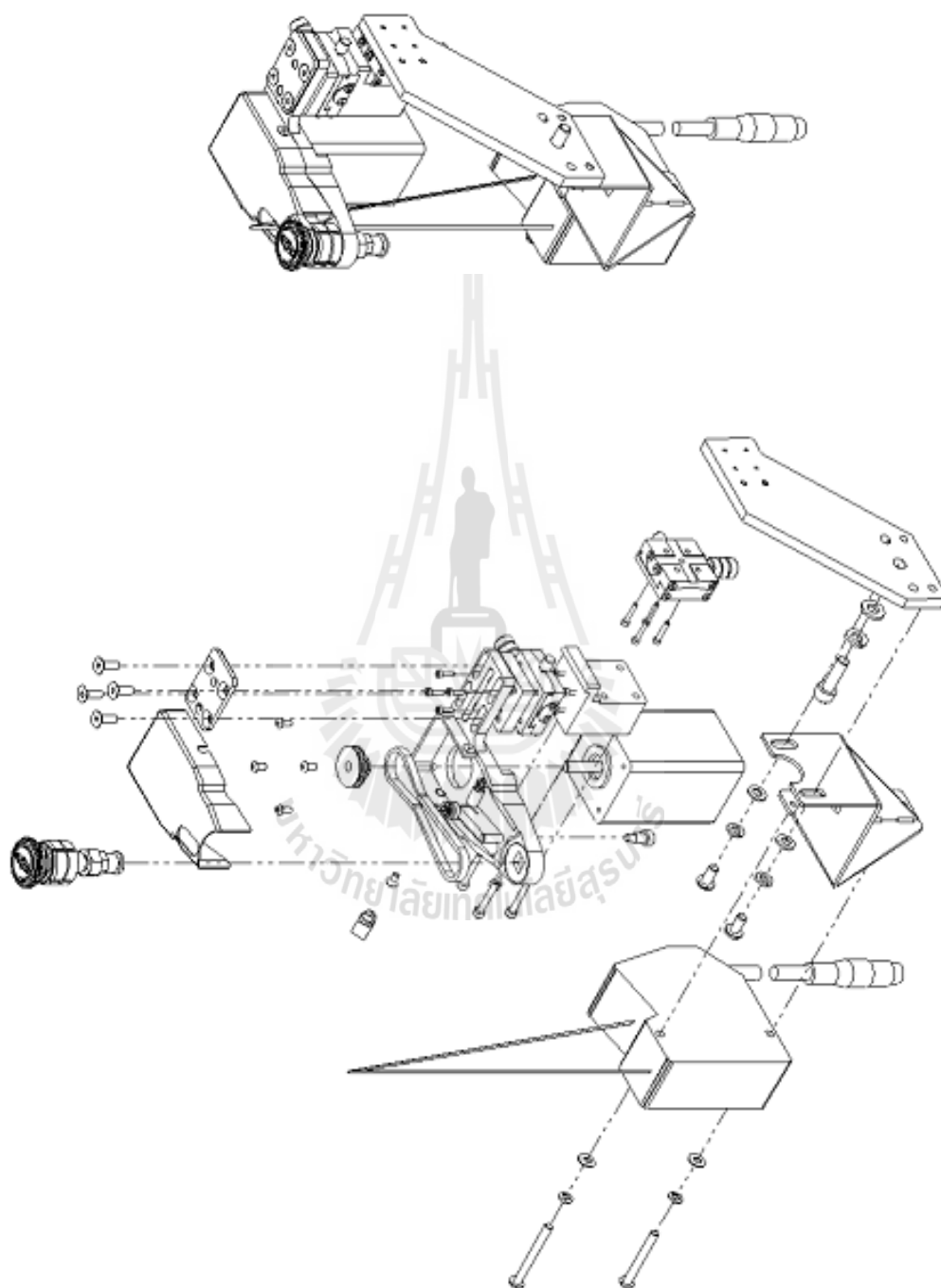


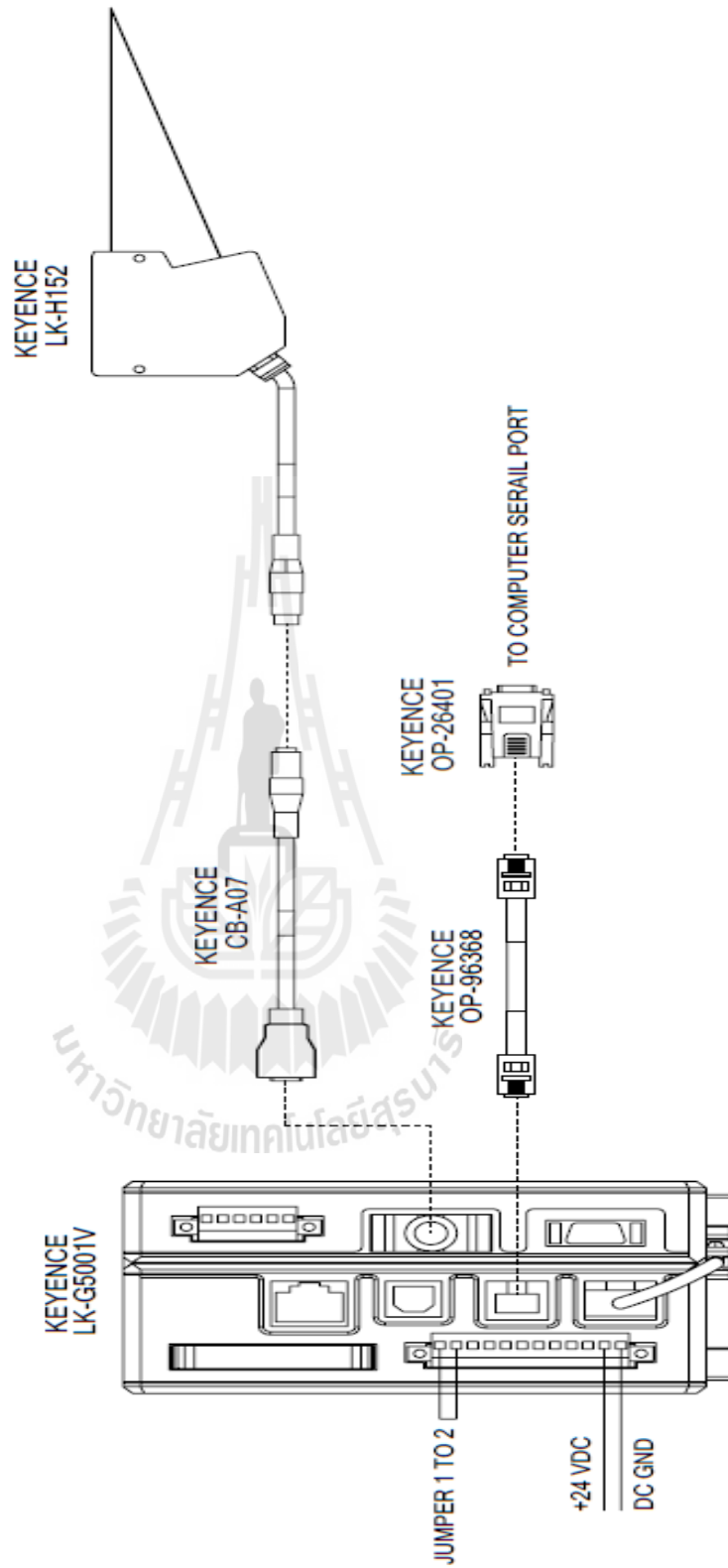
ภาคผนวก ก

รายละเอียดชิ้นส่วนอุปกรณ์สอบเทียบต้นแบบ
และการเชื่อมต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า









ภาคผนวก ข

โปรแกรมควบคุมชุดการสอบเทียบชุดหีบจับแผ่นดิสก์ออกจากตลับบรรจุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี


```
using System;
using System.Drawing;
using System.Collections;
using System.ComponentModel;
using System.Windows.Forms;
using System.Data;
using Advantech.Adam;
using Advantech.Common;
using System.Net.Sockets;

namespace Adam6015_17_18
{
    /// <summary>
    /// Summary description for Form1.
    /// </summary>
    public class Form1 : System.Windows.Forms.Form
    {
        private System.Windows.Forms.Timer timer1;
        private System.Windows.Forms.Button buttonStart;
        private System.ComponentModel.IContainer components;

        private bool m_bStart;
        private AdamSocket adamModbus;
        private Adam6000Type m_Adam6000Type;
        private string m_szIP;
        private int m_iPort;
        private int m_iCount;
        private int m_iAiTotal, m_iDoTotal;
```

```
private bool[] m_bChEnabled;
private Label lblSS1;
private TextBox tbSS1;
private TextBox tbSS2;
private Label lblSS2;
private TextBox tbSS3;
private Label lblSS3;
private GroupBox groupBox1;
private Label lblSetRefResult;
private Button btnSetRefPlane;
private GroupBox groupBox2;
private Label lblMeasureResult;
private TextBox tbThetaY;
private TextBox tbThetaX;
private Button btnMeasure;
private byte[] m_byRange;
private float z1, z2, z3;
private PictureBox pictureBox1;
private Label lblVerLeft;
private Label lblVerRight;
private Label lblHorRight;
private Label lblHorLeft;
private bool startMeasure;
private float _thetaX;
private Label lblHorOK;
private Label lblVerOK;
private Label label1;
private Label label2;
private TextBox txtAIValue5;
private TextBox txtAIValue6;
```

```
private TextBox txtAIValue4;
private CheckBox chkboxCh4;
private CheckBox chkboxCh5;
private CheckBox chkboxCh6;
private Button btnCh1;
private Panel panelDO;
private Label label4;
private Label label3;
private float _thetaY;
public Form1()
{
    //this.Arrow1.BackColor = Color.Transparent;

    //
    // Required for Windows Form Designer support
    //
    InitializeComponent();
    //
    // TODO: Add any constructor code after InitializeComponent call
    //

    m_bStart = false;           // the action stops at the beginning
    m_szIP = "192.168.1.101";    // modbus slave IP address
    m_iPort = 502;              // modbus TCP port is 502
    adamModbus = new AdamSocket();
    adamModbus.SetTimeout(1000, 1000, 1000); // set timeout for TCP

    //m_Adam6000Type = Adam6000Type.Adam6015; // the sample is for ADAM-6015
    m_Adam6000Type = Adam6000Type.Adam6017; // the sample is for ADAM-6017
    //m_Adam6000Type = Adam6000Type.Adam6018; // the sample is for ADAM-6018
```

```
m_iAiTotal = AnalogInput.GetChannelTotal(m_Adam6000Type);
m_iDoTotal = DigitalOutput.GetChannelTotal(m_Adam6000Type);

//txtModule.Text = m_Adam6000Type.ToString();
m_bChEnabled = new bool[m_iAiTotal];
m_byRange = new byte[m_iAiTotal];

// arrange channel text box

if (m_Adam6000Type == Adam6000Type.Adam6015)
{

}
else if (m_Adam6000Type == Adam6000Type.Adam6017)
{

}
else //Adam6018
{

}

lblVerLeft.Visible = false;
lblVerRight.Visible = false;
lblHorLeft.Visible = false;
lblHorRight.Visible = false;
lblHorOK.Visible = false;
lblVerOK.Visible = false;
}
/// <summary>
```

```
/// Clean up any resources being used.
/// </summary>
protected override void Dispose(bool disposing)
{
    if (disposing)
    {
        if (components != null)
        {
            components.Dispose();
        }
    }
    base.Dispose(disposing);
}

#region Windows Form Designer generated code
/// <summary>
/// Required method for Designer support - do not modify
/// the contents of this method with the code editor.
/// </summary>
private void InitializeComponent()
{
    this.components = new System.ComponentModel.Container();
    this.timer1 = new System.Windows.Forms.Timer(this.components);
    this.buttonStart = new System.Windows.Forms.Button();
    this.lblSS1 = new System.Windows.Forms.Label();
    this.tbSS1 = new System.Windows.Forms.TextBox();
    this.tbSS2 = new System.Windows.Forms.TextBox();
    this.lblSS2 = new System.Windows.Forms.Label();
    this.tbSS3 = new System.Windows.Forms.TextBox();
    this.lblSS3 = new System.Windows.Forms.Label();
}
```

```
this.groupBox1 = new System.Windows.Forms.GroupBox();
this.lblSetRefResult = new System.Windows.Forms.Label();
this.btnSetRefPlane = new System.Windows.Forms.Button();
this.groupBox2 = new System.Windows.Forms.GroupBox();
this.label4 = new System.Windows.Forms.Label();
this.label3 = new System.Windows.Forms.Label();
this.btnMeasure = new System.Windows.Forms.Button();
this.lblMeasureResult = new System.Windows.Forms.Label();
this.tbThetaY = new System.Windows.Forms.TextBox();
this.tbThetaX = new System.Windows.Forms.TextBox();
this.lblVerLeft = new System.Windows.Forms.Label();
this.lblVerRight = new System.Windows.Forms.Label();
this.lblHorRight = new System.Windows.Forms.Label();
this.lblHorLeft = new System.Windows.Forms.Label();
this.lblHorOK = new System.Windows.Forms.Label();
this.lblVerOK = new System.Windows.Forms.Label();
this.pictureBox1 = new System.Windows.Forms.PictureBox();
this.label11 = new System.Windows.Forms.Label();
this.label2 = new System.Windows.Forms.Label();
this.txtAIValue5 = new System.Windows.Forms.TextBox();
this.txtAIValue6 = new System.Windows.Forms.TextBox();
this.txtAIValue4 = new System.Windows.Forms.TextBox();
this.chkboxCh4 = new System.Windows.Forms.CheckBox();
this.chkboxCh5 = new System.Windows.Forms.CheckBox();
this.chkboxCh6 = new System.Windows.Forms.CheckBox();
this.btnCh1 = new System.Windows.Forms.Button();
this.panelDO = new System.Windows.Forms.Panel();
this.groupBox1.SuspendLayout();
this.groupBox2.SuspendLayout();
((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox1)).BeginInit();
```

```
this.panelDO.SuspendLayout();
this.SuspendLayout();
//
// timer1
//
this.timer1.Interval = 500;
this.timer1.Tick += new System.EventHandler(this.timer1_Tick);
//
// buttonStart
//
this.buttonStart.Location = new System.Drawing.Point(142, 291);
this.buttonStart.Name = "buttonStart";
this.buttonStart.Size = new System.Drawing.Size(95, 41);
this.buttonStart.TabIndex = 42;
this.buttonStart.Text = "Start";
this.buttonStart.Click += new System.EventHandler(this.buttonStart_Click);
//
// lblSS1
//
this.lblSS1.AutoSize = true;
this.lblSS1.Location = new System.Drawing.Point(20, 195);
this.lblSS1.Name = "lblSS1";
this.lblSS1.Size = new System.Drawing.Size(88, 13);
this.lblSS1.TabIndex = 44;
this.lblSS1.Text = "Disctance_SS#1";
//
// tbSS1
//
this.tbSS1.Location = new System.Drawing.Point(137, 192);
this.tbSS1.Name = "tbSS1";
```

```
this.tbSS1.Size = new System.Drawing.Size(100, 20);
this.tbSS1.TabIndex = 45;
//
// tbSS2
//
this.tbSS2.Location = new System.Drawing.Point(137, 219);
this.tbSS2.Name = "tbSS2";
this.tbSS2.Size = new System.Drawing.Size(100, 20);
this.tbSS2.TabIndex = 47;
//
// lblSS2
//
this.lblSS2.AutoSize = true;
this.lblSS2.Location = new System.Drawing.Point(20, 222);
this.lblSS2.Name = "lblSS2";
this.lblSS2.Size = new System.Drawing.Size(88, 13);
this.lblSS2.TabIndex = 46;
this.lblSS2.Text = "Disctance_SS#2";
//
// tbSS3
//
this.tbSS3.Location = new System.Drawing.Point(137, 252);
this.tbSS3.Name = "tbSS3";
this.tbSS3.Size = new System.Drawing.Size(100, 20);
this.tbSS3.TabIndex = 49;
//
// lblSS3
//
this.lblSS3.AutoSize = true;
this.lblSS3.Location = new System.Drawing.Point(20, 255);
```



```
this.lblSS3.Name = "lblSS3";  
  
this.lblSS3.Size = new System.Drawing.Size(88, 13);  
  
this.lblSS3.TabIndex = 48;  
  
this.lblSS3.Text = "Disctance_SS#3";  
  
//  
  
// groupBox1  
  
//  
  
this.groupBox1.Controls.Add(this.lblSetRefResult);  
this.groupBox1.Controls.Add(this.btnSetRefPlane);  
  
this.groupBox1.Location = new System.Drawing.Point(273, 182);  
  
this.groupBox1.Name = "groupBox1";  
  
this.groupBox1.Size = new System.Drawing.Size(200, 137);  
  
this.groupBox1.TabIndex = 50;  
  
this.groupBox1.TabStop = false;  
  
this.groupBox1.Text = "Referenced Plane";  
  
//  
  
// lblSetRefResult  
  
//  
  
this.lblSetRefResult.Font = new System.Drawing.Font("Microsoft Sans Serif", 14.25F,  
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)0));  
  
this.lblSetRefResult.Location = new System.Drawing.Point(24, 77);  
  
this.lblSetRefResult.Name = "lblSetRefResult";  
  
this.lblSetRefResult.Size = new System.Drawing.Size(158, 42);  
  
this.lblSetRefResult.TabIndex = 52;  
  
this.lblSetRefResult.TextAlign = System.Drawing.ContentAlignment.MiddleCenter;  
  
//  
  
// btnSetRefPlane  
  
//  
  
this.btnSetRefPlane.Location = new System.Drawing.Point(17, 19);  
  
this.btnSetRefPlane.Name = "btnSetRefPlane";
```

```
this.btnSetRefPlane.Size = new System.Drawing.Size(165, 41);  
this.btnSetRefPlane.TabIndex = 52;  
this.btnSetRefPlane.Text = "Start";  
this.btnSetRefPlane.Click += new System.EventHandler(this.btnSetRefPlane_Click);  
//  
// groupBox2  
//  
this.groupBox2.Controls.Add(this.label4);  
this.groupBox2.Controls.Add(this.label3);  
this.groupBox2.Controls.Add(this.btnMeasure);  
this.groupBox2.Controls.Add(this.lblMeasureResult);  
this.groupBox2.Controls.Add(this.tbThetaY);  
this.groupBox2.Controls.Add(this.tbThetaX);  
this.groupBox2.Location = new System.Drawing.Point(273, 325);  
this.groupBox2.Name = "groupBox2";  
this.groupBox2.Size = new System.Drawing.Size(200, 100);  
this.groupBox2.TabIndex = 51;  
this.groupBox2.TabStop = false;  
this.groupBox2.Text = "Calibrated Plane";  
//  
// label4  
//  
this.label4.AutoSize = true;  
this.label4.Location = new System.Drawing.Point(6, 57);  
this.label4.Name = "label4";  
this.label4.Size = new System.Drawing.Size(48, 13);  
this.label4.TabIndex = 56;  
this.label4.Text = "Theta Y:";  
//  
// label3
```

```
//  
this.label3.AutoSize = true;  
this.label3.Location = new System.Drawing.Point(5, 24);  
this.label3.Name = "label3";  
this.label3.Size = new System.Drawing.Size(48, 13);  
this.label3.TabIndex = 55;  
this.label3.Text = "Theta X:";  
  
//  
// btnMeasure  
//  
this.btnMeasure.Location = new System.Drawing.Point(126, 18);  
this.btnMeasure.Name = "btnMeasure";  
this.btnMeasure.Size = new System.Drawing.Size(71, 20);  
this.btnMeasure.TabIndex = 53;  
this.btnMeasure.Text = "Start";  
this.btnMeasure.Click += new System.EventHandler(this.btnMeasure_Click);  
  
//  
// lblMeasureResult  
//  
this.lblMeasureResult.Location = new System.Drawing.Point(123, 54);  
this.lblMeasureResult.Name = "lblMeasureResult";  
this.lblMeasureResult.Size = new System.Drawing.Size(71, 20);  
this.lblMeasureResult.TabIndex = 54;  
this.lblMeasureResult.Text = "OK";  
this.lblMeasureResult.TextAlign = System.Drawing.ContentAlignment.MiddleCenter;  
  
//  
// tbThetaY  
//  
this.tbThetaY.Location = new System.Drawing.Point(59, 54);  
this.tbThetaY.Name = "tbThetaY";
```

```
this.tbThetaY.Size = new System.Drawing.Size(58, 20);
this.tbThetaY.TabIndex = 53;
this.tbThetaY.TextChanged += new System.EventHandler(this.textBox2_TextChanged);
//
// tbThetaX
//
this.tbThetaX.Location = new System.Drawing.Point(59, 19);
this.tbThetaX.Name = "tbThetaX";
this.tbThetaX.Size = new System.Drawing.Size(58, 20);
this.tbThetaX.TabIndex = 52;
//
// lblVerLeft
//
this.lblVerLeft.AutoSize = true;
this.lblVerLeft.Location = new System.Drawing.Point(633, 454);
this.lblVerLeft.Name = "lblVerLeft";
this.lblVerLeft.Size = new System.Drawing.Size(91, 13);
this.lblVerLeft.TabIndex = 53;
this.lblVerLeft.Text = "Theta-Y Turn Left";
//
// lblVerRight
//
this.lblVerRight.AutoSize = true;
this.lblVerRight.Location = new System.Drawing.Point(730, 454);
this.lblVerRight.Name = "lblVerRight";
this.lblVerRight.Size = new System.Drawing.Size(98, 13);
this.lblVerRight.TabIndex = 54;
this.lblVerRight.Text = "Theta-Y Turn Right";
//
// lblHorRight
```

```
//  
this.lblHorRight.AutoSize = true;  
this.lblHorRight.Location = new System.Drawing.Point(812, 343);  
this.lblHorRight.Name = "lblHorRight";  
this.lblHorRight.Size = new System.Drawing.Size(98, 13);  
this.lblHorRight.TabIndex = 56;  
this.lblHorRight.Text = "Theta-X Turn Right";  
  
//  
// lblHorLeft  
  
//  
this.lblHorLeft.AutoSize = true;  
this.lblHorLeft.Location = new System.Drawing.Point(700, 343);  
this.lblHorLeft.Name = "lblHorLeft";  
this.lblHorLeft.Size = new System.Drawing.Size(91, 13);  
this.lblHorLeft.TabIndex = 55;  
this.lblHorLeft.Text = "Theta-X Turn Left";  
  
//  
// lblHorOK  
  
//  
this.lblHorOK.AutoSize = true;  
this.lblHorOK.Location = new System.Drawing.Point(772, 343);  
this.lblHorOK.Name = "lblHorOK";  
this.lblHorOK.Size = new System.Drawing.Size(63, 13);  
this.lblHorOK.TabIndex = 57;  
this.lblHorOK.Text = "Theta-X OK";  
  
//  
// lblVerOK  
  
//  
this.lblVerOK.AutoSize = true;  
this.lblVerOK.Location = new System.Drawing.Point(699, 454);
```

```
this.lblVerOK.Name = "lblVerOK";

this.lblVerOK.Size = new System.Drawing.Size(63, 13);

this.lblVerOK.TabIndex = 58;

this.lblVerOK.Text = "Theta-Y OK";

this.lblVerOK.Click += new System.EventHandler(this.lblVerOK_Click);

//

// pictureBox1

//

this.pictureBox1.Image = global::Adam6015_17_18.Properties.Resources._45545;

this.pictureBox1.ImageLocation = "";

this.pictureBox1.Location = new System.Drawing.Point(508, 12);

this.pictureBox1.Name = "pictureBox1";

this.pictureBox1.Size = new System.Drawing.Size(444, 554);

this.pictureBox1.TabIndex = 52;

this.pictureBox1.TabStop = false;

//

// label1

//

this.label1.AutoSize = true;

this.label1.Font = new System.Drawing.Font("Tahoma", 30F,

System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)0));

this.label1.Location = new System.Drawing.Point(26, 33);

this.label1.Name = "label1";

this.label1.Size = new System.Drawing.Size(405, 48);

this.label1.TabIndex = 59;

this.label1.Text = "Disc Install Station";

this.label1.Click += new System.EventHandler(this.label1_Click_1);

//

// label2

//
```

```
this.label2.AutoSize = true;

this.label2.Font = new System.Drawing.Font("Tahoma", 30F,
System.Drawing.FontStyle.Bold, System.Drawing.GraphicsUnit.Point, ((byte)0));

this.label2.Location = new System.Drawing.Point(26, 81);

this.label2.Name = "label2";

this.label2.Size = new System.Drawing.Size(470, 48);

this.label2.TabIndex = 60;

this.label2.Text = "Parallel Setting Gauge";

//

// txtAIValue5

//

this.txtAIValue5.Location = new System.Drawing.Point(241, 520);

this.txtAIValue5.Name = "txtAIValue5";

this.txtAIValue5.Size = new System.Drawing.Size(43, 20);

this.txtAIValue5.TabIndex = 37;

this.txtAIValue5.Visible = false;

//

// txtAIValue6

//

this.txtAIValue6.Location = new System.Drawing.Point(241, 548);

this.txtAIValue6.Name = "txtAIValue6";

this.txtAIValue6.Size = new System.Drawing.Size(43, 20);

this.txtAIValue6.TabIndex = 36;

this.txtAIValue6.Visible = false;

//

// txtAIValue4

//

this.txtAIValue4.Location = new System.Drawing.Point(241, 492);

this.txtAIValue4.Name = "txtAIValue4";

this.txtAIValue4.Size = new System.Drawing.Size(43, 20);
```

```
this.txtAIValue4.TabIndex = 30;
this.txtAIValue4.Visible = false;
//
// checkboxCh4
//
this.checkboxCh4.Enabled = false;
this.checkboxCh4.Location = new System.Drawing.Point(85, 492);
this.checkboxCh4.Name = "checkboxCh4";
this.checkboxCh4.Size = new System.Drawing.Size(136, 17);
this.checkboxCh4.TabIndex = 25;
this.checkboxCh4.Text = "AI-4 value:";
this.checkboxCh4.Visible = false;
//
// checkboxCh5
//
this.checkboxCh5.Enabled = false;
this.checkboxCh5.Location = new System.Drawing.Point(85, 520);
this.checkboxCh5.Name = "checkboxCh5";
this.checkboxCh5.Size = new System.Drawing.Size(136, 17);
this.checkboxCh5.TabIndex = 24;
this.checkboxCh5.Text = "AI-5 value:";
this.checkboxCh5.Visible = false;
//
// checkboxCh6
//
this.checkboxCh6.Enabled = false;
this.checkboxCh6.Location = new System.Drawing.Point(85, 548);
this.checkboxCh6.Name = "checkboxCh6";
this.checkboxCh6.Size = new System.Drawing.Size(136, 17);
this.checkboxCh6.TabIndex = 23;
```



```
this.chkboxCh6.Text = "AI-6 value:";
this.chkboxCh6.Visible = false;
//
// btnCh1
//
this.btnCh1.BackColor = System.Drawing.Color.BlanchedAlmond;
this.btnCh1.Location = new System.Drawing.Point(3, 3);
this.btnCh1.Name = "btnCh1";
this.btnCh1.Size = new System.Drawing.Size(48, 20);
this.btnCh1.TabIndex = 7;
this.btnCh1.Text = "DO 1";
this.btnCh1.UseVisualStyleBackColor = false;
//
// panelDO
//
this.panelDO.BackColor = System.Drawing.Color.SkyBlue;
this.panelDO.Controls.Add(this.btnCh1);
this.panelDO.Enabled = false;
this.panelDO.Location = new System.Drawing.Point(8, 495);
this.panelDO.Name = "panelDO";
this.panelDO.Size = new System.Drawing.Size(68, 31);
this.panelDO.TabIndex = 22;
this.panelDO.Visible = false;
//
// Form1
//
this.AutoScaleBaseSize = new System.Drawing.Size(5, 13);
this.ClientSize = new System.Drawing.Size(994, 578);
this.Controls.Add(this.label2);
this.Controls.Add(this.label1);
```

```
this.Controls.Add(this.lblVerOK);
this.Controls.Add(this.lblHorOK);
this.Controls.Add(this.lblHorRight);
this.Controls.Add(this.lblHorLeft);
this.Controls.Add(this.lblVerRight);
this.Controls.Add(this.lblVerLeft);
this.Controls.Add(this.pictureBox1);
this.Controls.Add(this.groupBox2);
this.Controls.Add(this.groupBox1);
this.Controls.Add(this.tbSS3);
this.Controls.Add(this.lblSS3);
this.Controls.Add(this.tbSS2);
this.Controls.Add(this.lblSS2);
this.Controls.Add(this.tbSS1);
this.Controls.Add(this.lblSS1);
this.Controls.Add(this.chkboxCh6);
this.Controls.Add(this.chkboxCh5);
this.Controls.Add(this.chkboxCh4);
this.Controls.Add(this.txtAIValue4);
this.Controls.Add(this.txtAIValue6);
this.Controls.Add(this.txtAIValue5);
this.Controls.Add(this.buttonStart);
this.Controls.Add(this.panelDO);
this.Name = "Form1";
this.Text = "DSI Parallel Setting Gauge";
this.groupBox1.ResumeLayout(false);
this.groupBox2.ResumeLayout(false);
this.groupBox2.PerformLayout();
((System.ComponentModel.ISupportInitialize)(this.pictureBox1)).EndInit();
this.panelDO.ResumeLayout(false);
```

```
        this.ResumeLayout(false);

        this.PerformLayout();

    }

#endregion

/// <summary>
/// The main entry point for the application.
/// </summary>
[STAThread]
static void Main()
{
    Application.Run(new Form1());
}

private void Form1_Closing(object sender, System.ComponentModel.CancelEventArgs e)
{
    if (m_bStart)
    {
        timer1.Enabled = false;
        adamModbus.Disconnect(); // disconnect slave
    }
}

private void RefreshChannelRange(int i_iChannel)
{
    byte byRange;
    if (adamModbus.AnalogInput().GetInputRange(i_iChannel, out byRange))
        m_byRange[i_iChannel] = byRange;
}
```

```
}

private void RefreshChannelEnabled()
{
    bool[] bEnabled;

    if (adamModbus.AnalogInput().GetChannelEnabled(m_iAiTotal, out bEnabled))
    {
        Array.Copy(bEnabled, 0, m_bChEnabled, 0, m_iAiTotal);
    }
}

private void buttonStart_Click(object sender, System.EventArgs e)
{
    //clear ref plane
    lblSetRefResult.Text = "No Reference Plane";
    //--

    btnSetRefPlane.Enabled = true;
    if (m_bStart) // was started
    {
        //panelDO.Enabled = false;
        m_bStart = false;           // starting flag
        timer1.Enabled = false; // disable timer
        adamModbus.Disconnect(); // disconnect slave
        buttonStart.Text = "Start";
    }
    else // was stoped
```

```
{

    if (adamModbus.Connect(m_szIP, ProtocolType.Tcp, m_iPort))
    {
        //panelDO.Enabled = true;
        m_iCount = 0; // reset the reading counter
        timer1.Enabled = true; // enable timer
        buttonStart.Text = "Stop";
        m_bStart = true; // starting flag

        if (m_Adam6000Type == Adam6000Type.Adam6017 ||
            m_Adam6000Type == Adam6000Type.Adam6018)
            RefreshChannelRange(7);
        RefreshChannelRange(6);
        RefreshChannelRange(5);
        RefreshChannelRange(4);
        RefreshChannelRange(3);
        RefreshChannelRange(2);
        RefreshChannelRange(1);
        RefreshChannelRange(0);

        RefreshChannelEnabled();
    }
    else
        MessageBox.Show("Connect to " + m_szIP + " failed", "Error");
}

private void timer1_Tick(object sender, System.EventArgs e)
```

```

{
    timer1.Enabled = false;

    m_iCount++; // increment the reading counter
    //txtReadCount.Text = "Read coil " + m_iCount.ToString() + " times...";
    RefreshChannelValue();

    z1 = CalDistance((float)Convert.ToSingle(txtAIValue4.Text.Substring(0,
txtAIValue4.Text.Length - 2)));
    z2 = CalDistance((float)Convert.ToSingle(txtAIValue5.Text.Substring(0,
txtAIValue5.Text.Length - 2)));
    z3 = CalDistance((float)Convert.ToSingle(txtAIValue6.Text.Substring(0,
txtAIValue6.Text.Length - 2)));

    tbSS1.Text = string.Format("{0:0.##}", z1) + " mm";
    tbSS2.Text = string.Format("{0:0.##}", z2) + " mm";
    tbSS3.Text = string.Format("{0:0.##}", z3) + " mm";
    if (startMeasure)
    {
        _thetaY = thetaY(this.z1, this.z2, this.z3);
        _thetaX = thetaX(this.z1, this.z3);
        tbThetaX.Text = string.Format("{0:0.##}", _thetaX);
        tbThetaY.Text = string.Format("{0:0.##}", _thetaY);

        //update GUI
        //Theta-X
        if (_thetaX < -0.13)
        {
            lblHorLeft.Visible = false;
            lblHorOK.Visible = false;

```

```
        lblHorRight.Visible = true;
    }
    else if (_thetaX > 0.13)
    {
        lblHorLeft.Visible = true;
        lblHorOK.Visible = false;
        lblHorRight.Visible = false;
    }
    else if ((-0.13 <= _thetaX) && (_thetaX <= 0.13))
    {
        lblHorLeft.Visible = false;
        lblHorOK.Visible = true;
        lblHorRight.Visible = false;
    }
    else;

//Theta-Y
if (_thetaY < -0.13)
{
    lblVerLeft.Visible = true;
    lblVerOK.Visible = false;
    lblVerRight.Visible = false;
}
else if (_thetaY > 0.13)
{
    lblVerLeft.Visible = false;
    lblVerOK.Visible = false;
    lblVerRight.Visible = true;
}
else if ((-0.13 <= _thetaY) && (_thetaY <= 0.13))
```

```
{
    lblVerLeft.Visible = false;
    lblVerOK.Visible = true;
    lblVerRight.Visible = false;
}
else ;
}

RefreshDOO();

timer1.Enabled = true;
}
private void RefreshDOO()
{
    //Implement here
}

private void RefreshSingleChannel(int i_iIndex, ref TextBox txtCh, float fValue)
{
    string szFormat;

    if (m_bChEnabled[i_iIndex])
    {
        szFormat = AnalogInput.GetFloatFormat(m_Adam6000Type, m_byRange[i_iIndex]);
        txtCh.Text = fValue.ToString(szFormat) + " " +
AnalogInput.GetUnitName(m_Adam6000Type, m_byRange[i_iIndex]);
    }
}
```



```

private void RefreshSingleChannelBurn(int i_iIndex, ref TextBox i_txtCh, float i_fValue,
bool i_bBurn)
{
    string szFormat;

    if (m_bChEnabled[i_iIndex])
    {
        if (i_bBurn)
            i_txtCh.Text = "Burn out";
        else
        {
            szFormat = AnalogInput.GetFloatFormat(m_Adam6000Type,
m_byRange[i_iIndex]);
            i_txtCh.Text = i_fValue.ToString(szFormat) + " " +
AnalogInput.GetUnitName(m_Adam6000Type, m_byRange[i_iIndex]);
        }
    }
}

private void RefreshChannelValue()
{
    int iStart = 1, iBurnStart = 121;
    int iIdx;
    int[] iData;
    float[] fValue = new float[m_iAiTotal];
    bool[] bBurn = new bool[m_iAiTotal];

    if (adamModbus.Modbus().ReadInputRegs(iStart, m_iAiTotal, out iData))
    {
        for (iIdx = 0; iIdx < m_iAiTotal; iIdx++)

```

```
fValue[iIdx] = AnalogInput.GetScaledValue(m_Adam6000Type, m_byRange[iIdx],
iData[iIdx]);

//
if (m_Adam6000Type == Adam6000Type.Adam6015)
{
    if (adamModbus.Modbus().ReadCoilStatus(iBurnStart, m_iAiTotal, out bBurn)) //
read burn out flag
    {

        RefreshSingleChannelBurn(4, ref txtAIValue4, fValue[4], bBurn[4]);
        RefreshSingleChannelBurn(5, ref txtAIValue5, fValue[5], bBurn[5]);
        RefreshSingleChannelBurn(6, ref txtAIValue6, fValue[6], bBurn[6]);

    }
}
else
{

    RefreshSingleChannel(4, ref txtAIValue4, fValue[4]);
    RefreshSingleChannel(5, ref txtAIValue5, fValue[5]);
    RefreshSingleChannel(6, ref txtAIValue6, fValue[6]);

}

}

}

private void btnCh_Click(int i_iCh, TextBox txtBox)
{

    int iOnOff, iStart = 17 + i_iCh;
```

```
timer1.Enabled = false;
if (textBox.Text == "True") // was ON, now set to OFF
{
    iOnOff = 0;
}
else
{
    iOnOff = 1;
}
if (adamModbus.Modbus().ForceSingleCoil(iStart, iOnOff))
    RefreshDO();
else
    MessageBox.Show("Set digital output failed!", "Error");
timer1.Enabled = true;
}

///  

///region Calculate Distance from Raw Analogue Value
private float CalDistance(float rawAmp)
{
    return ((rawAmp * Convert.ToSingle(1.25) + Convert.ToSingle(35.0)));
}

private void textBox2_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
}

private void btnSetRefPlane_Click(object sender, EventArgs e)
```

```
{
    btnSetRef_Click(1, lblSetRefResult);
}

private void btnSetRef_Click(int i_iCh, Label lblResult)
{
    int iOnOff = 0, iStart = 17 + i_iCh;
    bool errFlag = false;

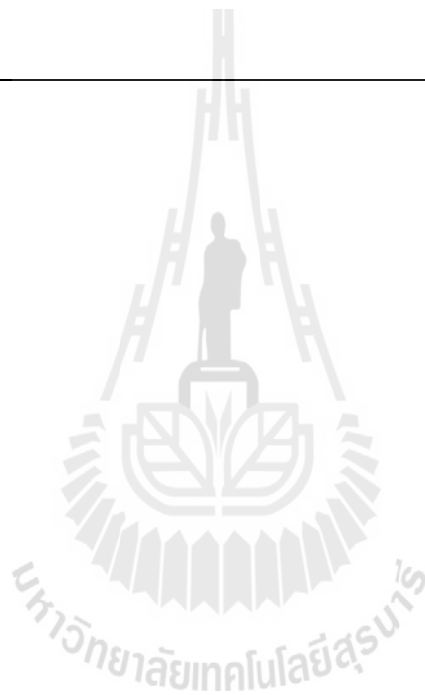
    lblResult.Text = "";

    for (int i = 0; i < 3; i++)
    {
        if (i > 0)
        {
            if (iOnOff == 0) iOnOff = 1;
            else iOnOff = 0;
        }

        if (adamModbus.Modbus().ForceSingleCoil(iStart, iOnOff))
            RefreshDO();
        else
        {
            MessageBox.Show("Set digital output failed!", "Error");
            errFlag = true;
        }
        System.Threading.Thread.Sleep(500);
    }
}
```

```
lblResult.Text = !errFlag ? "Reference Plane OK" : "Reference Plane Error!!!";  
if (!errFlag)  
{  
    btnSetRefPlane.Enabled = false;  
    //clear Calibrated value here  
}  
  
timer1.Enabled = true;  
}  
  
private float thetaY(float z1, float z2, float z3)  
{  
    return (float)(Math.Atan(Convert.ToDouble((-0.0132 * z1) + (0.0264 * z2) - (0.0132 *  
z3))) * 180 / Math.PI);  
}  
  
private float thetaX(float z1, float z3)  
{  
    return (float)(Math.Atan(Convert.ToDouble((0.0229 * z1) - (0.0229 * z3))) *  
180/Math.PI);  
}  
  
private void btnMeasure_Click(object sender, EventArgs e)  
{  
    startMeasure = true;  
}  
  
private void lblVerOK_Click(object sender, EventArgs e)  
{
```

```
}  
  
private void label1_Click_1(object sender, EventArgs e)  
{  
  
}  
//#endregion  
}  
}
```



ประวัติผู้เขียน

นาย ปัญญา อินทร์ธงชัย เกิดเมื่อวันที่ 28 เมษายน 2530 ที่ตำบลบางปะกง อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา เริ่มการศึกษาตั้งแต่ระดับประถมศึกษาปีที่ 1 ถึง 6 ที่โรงเรียนวัดบน (ประจวบอนุสรณ์) จังหวัดฉะเชิงเทรา มัธยมศึกษาปีที่ 1 ถึง 3 ที่โรงเรียนบางปะกงบวรวิทยายน จังหวัดฉะเชิงเทรา จากนั้นได้ทำการศึกษาต่อในสายอาชีพระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ที่วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์และได้ศึกษาต่อในระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคฉะเชิงเทรา สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต หลักสูตรแมคคาทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2553 หลังจากสำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรีได้เข้าทำงานที่ บริษัท โคราชพีริซันแอนด์คอนสตรัคชั่น เอ็นจิเนียริง 1995 จำกัด ในตำแหน่งงาน Automation Design Engineer แผนก Design & Production จากนั้นในปี 2555 ได้ย้ายเข้าทำงานที่ บริษัท เป็นเทคพีริซันแอนด์เทคคิง จำกัด ในตำแหน่งงาน Project Engineer แผนก Automation Design และในปี 2556 ได้ย้ายเข้าทำงานที่ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ในตำแหน่งงาน Mechanical Design Engineer แผนก Equipment Design Engineering จนถึงปัจจุบัน ขณะทำงานได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท (บัณฑิตศึกษาทุนผู้ช่วยวิจัย) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ (หลักสูตรวิชาแมคคาทรอนิกส์) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จากประสบการณ์และความรู้ที่สร้างสมจากการทำงาน จึงช่วยให้ผู้วิจัยสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยได้เป็นอย่างดี