

การออกแบบและการสร้างต้นแบบอุปกรณ์วัดความราบโดยใช้หุ่นยนต์ 2 แกน



ว่าที่ร้อยตรี เมธาวิ จันทวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2559

**DESIGN AND PROTOTYPING FLATNESS MEASURING
DEVICE USING 2-AXIS ROBOT**

Acting Sub Lt. Maytarwee Jantwong



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechatronics Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2016

การออกแบบและการสร้างต้นแบบอุปกรณ์วัดความราบโดยใช้หุ่นยนต์ 2 แกน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักศึกษานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(อ. ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์)

ประธานกรรมการ



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



(อ. ดร.โสภณา แจ็งการ)

กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรมการ



(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

เมธาวิ จันทวงศ์ : การออกแบบและการสร้างต้นแบบอุปกรณ์วัดความราบโดยใช้หุ่นยนต์
2 แกน (DESIGN AND PROTOTYPING FLATNESS MEASURING DEVICE USING
2-AXIS ROBOT) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร
ชำนาญประศาสน์, 103 หน้า

เนื่องจากในปัจจุบัน สายการผลิตภาคอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มีความต้องการ
เทคโนโลยีที่ทันสมัย เพื่อประสิทธิภาพสูงสุดของกระบวนการผลิต ลดความเสียหายของชิ้นงาน
ประหยัดเวลา และต้นทุนในการผลิต รวมถึงสามารถตอบสนองความต้องการอันหลากหลายของ
ลูกค้า และสามารถแข่งขันกับคู่แข่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเครื่องมือการผลิตที่ทันสมัยนั้นต้อง
มีการใช้เทคโนโลยีในการตรวจสอบ หรือการวัดผลที่มีความแม่นยำสูงในระดับไมโครเมตร เพื่อ
รองรับเทคโนโลยีที่สอดคล้องกับภาคอุตสาหกรรม

เครื่องวัดค่าความราบของโลหะ เป็นการวัดค่าความราบของโลหะด้วยเลเซอร์ ซึ่งใน
ปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อย่างแพร่หลาย และในบางอุตสาหกรรม
จำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดที่มีค่าความละเอียดสูงระดับไมโครเมตร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำเข้า
เครื่องมือวัดจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูง

ปัจจุบันการวัดความราบของชิ้นงาน ยังคงใช้วิธีการวัดโดยใช้มือ (Manual) โดยลากเครื่องมือ
วัดเพื่อช่วยวัดงาน ทำให้ข้อมูลที่ได้รับจากการวัดมีความคลาดเคลื่อนตลอดเวลา เมื่อทำการทดสอบ
แบบ Gage R&R โดยใช้พนักงานวัด 3 คน ชิ้นงานทดสอบ 10 ชิ้นและให้แต่ละคนทำซ้ำ 10 ครั้งต่อ
1 ชิ้นงาน

- กิตติศักดิ์ (2546) ผลปรากฏว่าค่า %GR&R ได้ 40.53 % เกินกว่า 30% จากเกณฑ์ที่กำหนด
 - AIAG (2002) เมื่อพิจารณาจากข้อมูลพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด (Equipment Variation : EV) เท่ากับ 36.74% และ จากตัวพนักงานวัด (Appraiser Variation : AV) เท่ากับ 17.12 % สาเหตุที่ทำให้ความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดสูง พบว่า แรงที่ใช้กับเครื่องมือวัดไม่เท่ากัน
- Gage R&R เป็นวิธีการ กระบวนการวัด หรือเครื่องมือ (Tool) อย่างหนึ่งที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์
การวัด (Measurement System Analysis : MSA) ซึ่งเป็นมาตรฐานของกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิต
รถยนต์ของอเมริกาเหนือ ที่เรียกว่า บริษัทอโตเมทีฟ อินดัสทรี แอคชั่น กรุป (Automotive
Industry Action Group : AIAG) ใช้เป็นมาตรฐานในการวัดเครื่องมือวัด
- AIAG (2002) การวิจัย นี้ โดยการสร้างชุดเครื่องมือวัดความราบของชิ้นงานแบบโรบอท 2 แกน
ขึ้นมาแทนวิธีการวัดแบบ Manual โดยการประยุกต์ใช้วิธีการเขียนการควบคุมโปรแกรมเมเบิล
ลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC) เพื่อไปควบคุมชุดเครื่องมือวัดเลเซอร์ (Laser displacement) จึงได้จัดทำ

เครื่องตรวจเช็คค่าความราบโดยหุ่นยนต์ 2 แกน ควบคุมด้วยพีแอลซี ในการตรวจจับความผิดพลาดของชิ้นงาน เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพ และลดจำนวนของเสียลง ดังนั้นจึงพัฒนาชุดเครื่องมือวัดความราบของชิ้นงาน เพื่อลดความคลื่อนคลาดของข้อมูลในกระบวนการวัด และสร้างความเชื่อมั่นในข้อมูลด้วย ในระบบงานจะต้องมีการวัดเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ ดังนั้นจะต้องมีการวิเคราะห์ระบบการวัดว่า มีความน่าเชื่อถือเพียงใดเหมาะสมในการนำไปใช้งานหรือไม่ ส่วนใหญ่จะวิเคราะห์การวัดที่ต้องการทำซ้ำๆ ปัจจัยหลักของความคลาดเคลื่อนมักจะอยู่ที่เครื่องมือและคน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีกที่การวิเคราะห์การวัดสามารถวิเคราะห์ออกมาได้ สามารถดูรายละเอียดจากคู่มืออ้างอิง MSA ครั้งที่ 3 ของ AIAG

-AIAG (2002) เมื่อปี 1996 กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ของอเมริกาเหนือ ชื่อว่า บริษัทอโตเมทิฟ อินดัสตรี แอคชั่น กรุ๊ป (Automotive Industry Action Group : AIAG) ได้ทำการกำหนดมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพของเครื่องมือต่างๆ เพื่อเป็นมาตรฐานในการผลิตรถยนต์ ซึ่งมีสมาชิกมาจากบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ค่ายต่างๆ เช่น DaimlerChrysler, Ford Motor Company, General Motor Corporation และเป็นผู้รวบรวมเนื้อหาวิธีการวัดแบบ MSA ด้วย

สำหรับคู่มือ MSA ของ AIAG ที่นำมาใช้ในโครงการนี้ ได้รับแก้ไขเป็นครั้งที่ 3 แล้ว โดยได้เอาเนื้อหาเรื่อง Gage R&R (Gage Repeatability and Reproducibility) มาใช้ เพราะวิธีการ Gage R&R นี้จะเป็นวิธีการวิเคราะห์หาความแม่นยำของเครื่องมือวัด ที่สามารถวิเคราะห์แยกความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือ และความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากคนได้ ดังนั้นจึงนำช่วยในการวิเคราะห์เครื่องมือวัดชิ้นงานแม่แบบที่จะสร้างขึ้นมา เพื่อเชื่อมั่นว่าสามารถนำเครื่องมือที่สร้างขึ้นนี้ไปใช้งานได้ดี อย่างมีประสิทธิภาพในการทำงาน



สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนักศึกษา เบญจวีร์ จันทวงศ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา กมลทิพย์ คุ้มภัย

MAYTARWEE JANTWONG : DESIGN AND PROTOTYPING

FLATNESS MEASURING DEVICE USING 2-AXIS ROBOT.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. FLT. LT. KONTORN

CHAMNIPRASART, Ph.D., 103 PP.

FLATNESS MEASUREMENT/CARTESIAN ROBOT/PLC

In the manufacturing of electrical devices, the flatness of the metal sheet which is a component of the devices is strictly controlled in the production line. Generally, the flatness of the metal sheet can be measured using dial gauge, a human needs to hold and move the gauge to the measuring position on the sheet. The probe of the dial gauge needs to touch the sheet surface, causing scratches on the surface. This paper presents the design and prototyping a flatness measuring device using two-axis robot. This device mainly consists of a touch screen user interface, programmable logic controller (PLC), a two-axis Cartesian robot, and a laser probe for the flatness measurement. The prototype system starts to work by receiving the start command from the user via the touch screen. The PLC executes the program based on a logic control and transmit the output signal to drive and control a servo motor of the robot. Then, the robot arms move to 280 specified positions, and the laser probe that attaches at the end of robot arm scans and measures the height of the metal sheet at each positions. The flatness is expressed as the subtraction of the minimum height from the maximum height. This prototype was tested by measuring the flatness of ten standard metal sheets. The flatness measured using the prototype was also compared with that measured using dial gauge. As the results of the experiment, the prototype measures

the flatness without touching the sheet surface. Using the arithmetic tolerance stack up analysis and the measurement system analysis, the error of flatness measurement of the prototype is 0.04153 mm which is within the control limit of 0.2 mm. Moreover, the prototype can reduce the measurement error about 16.58% compared with the dial gauge measurement.



School of Mechanical Engineering

Academic Year 2016

Student's Signature เกรียงศักดิ์ จันทมนต์

Advisor's Signature Kant Chyt

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลต่าง ๆ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนการศึกษาสำหรับผู้มีศักยภาพเข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

รองศาสตราจารย์ ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้ ความรู้ และคำปรึกษาในการทำงานวิจัย รวมทั้งให้คำแนะนำในการดำเนินชีวิตด้วยความเมตตา เสมอ ตลอดจนเป็นแบบอย่างที่ดีแก่ผู้วิจัย ในด้านการดำเนินชีวิต และการอุทิศตนต่อคนรุ่นหลังโดย ไม่เห็นแก่ความเหน็ดเหนื่อยส่วนตน ซึ่งผู้วิจัยจะจดจำช่วงเวลาดังกล่าวไว้เป็นคติสอนใจที่ดั่งงาม ตลอดไป

คณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้ทำวิจัยด้วยความเมตตากรุณาทั้ง ในอดีตจนถึงปัจจุบัน

วิศวกรและเจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ ตลอดจนให้คำปรึกษาที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

คุณสุนทร โอบอุษาม ซึ่งเป็นพี่น้องบัณฑิตที่คอยให้คำปรึกษาในส่วนวิชาความรู้เกี่ยวกับ งานวิจัย และการดำเนินชีวิต

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อมันัส จันทวงศ์ และคุณแม่พัชรา จันทวงศ์ รวมถึง ครอบครัวที่ให้การอบรมเลี้ยงดู และให้โอกาสทางด้านการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอดจนทำให้ ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา

เมธาวิ จันทวงศ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฌ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฐ
บทที่	
1 บทนำ 1	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 วิธีดำเนินการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2 ทัศนวิสัยการเคลื่อนที่และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ระบบควบคุมที่ประกอบด้วยระบบไฟฟ้าคอนโทรล	3
2.2 ชนิดของ Servo	4
2.2.1 การควบคุมตำแหน่ง (Position control)	5
2.2.2 การควบคุมความเร็ว (Speed control)	5
2.2.3 การควบคุมแรงบิด (Torque control)	5
2.2.4 การควบคุมการเคลื่อนที่ (Motion control)	5
2.3 Controller เป็นตัวส่งสัญญาณควบคุม (signal command)	5
2.4 The Cartesian Robot	5
2.5 การหา DH Parameters	6

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6	ส่วนประกอบของแกนกล	8
2.7	หลักการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์	9
2.8	ปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	9
2.9	สรุป	10
3 การดำเนินงานวิจัย		
3.1	การวัดความราบของพนักงาน	12
3.2	การออกแบบเครื่องจักรและระบบกลไก	12
3.2.1	แนวความคิดการออกแบบเครื่องจักร	12
3.2.2	ชุดส่วนประกอบหลักและอุปกรณ์ที่ใช้ในเครื่องจักรต้นแบบ	13
	1. Controller	13
	2. เซอร์โวมอเตอร์ (Servo motor)	14
	3. Linear Guide	17
	4. TOUCH SCREEN	18
	5. โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC)	19
	6. Laser displacement	21
3.3	แผนผังการทำงานของเครื่องจักรต้นแบบ	23
3.4	การทดสอบหาค่าระบบการวัด	27
3.5	สรุป	31
4 ผลการทดลอง		
4.1	ขั้นตอนการทำงานของพนักงาน	32
4.2	การทดสอบหาค่าระบบการวัด(ก่อนการทดลอง)	33
4.3	สรุปปัญหาหลักที่เกิดขึ้นในกระบวนการวัด	41
4.4	การวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนสะสมเชิงตัวเลข (Arithmetic Tolerance Stack Up Analysis)	41
4.5	การวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนสะสมเชิงตัวเลข	42
4.6	สรุปการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนสะสมเชิงตัวเลข (Arithmetic Stack)	43

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7 การวัดชิ้นงาน.....	44
4.8 การทดสอบของระบบการวัด.....	45
4.9 สรุปผลจากการทดสอบเครื่องวัดความราบ.....	56
4.10 การทดสอบหาค่าระบบการวัด โดยใช้เครื่องวัดความราบ(หลังการทดลอง).....	56
4.11 สรุป.....	63
5 สรุปและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุป.....	64
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	65
รายการอ้างอิง.....	66
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. รายละเอียดขนาดชิ้นส่วนของเครื่องจักรต้นแบบ.....	68
ภาคผนวก ข. รายละเอียดวงจรไฟฟ้าของเครื่องจักรต้นแบบ.....	75
ภาคผนวก ค. การใช้งาน DOP Soft Touch Screen.....	81
ภาคผนวก ง. ติดตั้ง และ การใช้งาน PLC CX-Programmer.....	84
ภาคผนวก จ. รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	94
ประวัติผู้เขียน.....	103

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	ข้อมูลปัญหาที่เกิดจาก การวัดที่ได้ค่าที่ไม่เท่ากันของพนักงาน 3 คน 12
3.2	ลักษณะของ Servo Driver Linear แกน X 15
3.3	ลักษณะของ Servo Driver Linear 120 mm. 16
3.4	ลักษณะของ Servo Driver Linear แกน Y 16
3.5	ลักษณะของ Servo Driver Linear 130 mm. 17
3.6	ลักษณะของ TOUCH SCREEN 19
3.7	ลักษณะของ โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC) 21
3.8	ลักษณะของ โป้ Laser displacement 22
3.9	ค่าจากตาราง K1 สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ 28
3.10	ค่าจากตาราง K3 สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ 30
4.1	คนที่ 1 วัด 10 ชิ้น 1 ครั้ง และส่งให้คนที่ 2 ทำแบบนี้ 3 รอบ 33
4.2	หาค่า Average และค่า Range ของพนักงาน 3 คน 33
4.3	ค่าจากตาราง K1 สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ 59
4.4	ค่าจากตาราง K3 สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ 38
4.5	สรุปสูตรในการคำนวณ (ก่อนการทดลอง) 42
4.6	ค่า Tolerance ของเครื่องจักรต้นแบบ 56
4.7	วัดค่าโดยใช้เครื่องวัดความราบของพนักงาน 3 คน 58
4.8	ค่าจากตาราง K1 สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ 59
4.9	ค่าจากตาราง K3 สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ 60
4.10	สรุปสูตรในการคำนวณ 62
4.11	เปรียบเทียบค่าการทดลองของการคำนวณ 63

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	เครื่อง Ball screw 3
2.2	เครื่อง Timing Belt 4
2.3	Rack and Pinion 4
2.4	The Cartesian Robot 6
2.5	The Cartesian Robot 6
2.6	ทรานฟอร์มเมชันเมตริกซ์ 7
2.7	เมตริกซ์การหมุน และเวกเตอร์การเคลื่อนที่ 8
2.8	PLC เซอร์โวมอเตอร์ Position controller 8
3.1	เครื่อง วัดความราบ Laser Displacement Manual 11
3.3	ลักษณะของ Controller Motor Servo Driver 13
3.4	ลักษณะของ Servo Driver Linear 14
3.5	ลักษณะของ Linear Guide 17
3.6	ลักษณะของ Linear Guide Assembled State 18
3.7	TOUCH SCREEN รุ่น DOP-B05S111 19
3.8	โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC) 20
3.9	Laser displacement 21
3.10	แผนผังการทำงานของเครื่องจักร 23
4.1	เครื่องวัดความราบ Laser Displacement Manual 32
4.2	ช่วงที่พนักงานวัดงาน 10 ค่า ที่มีความคลาดเคลื่อนรวมของแต่ละคน 39
4.3	Average of parts ที่มีความคลาดเคลื่อนของแต่ละคน 39
4.4	Range of parts ที่มีความคลาดเคลื่อนของแต่ละคน 40
4.5	Range of parts ที่มีความคลาดเคลื่อนของแต่ละคน 40
4.6	Range of parts ที่มีความคลาดเคลื่อนของแต่ละคน 40
4.7	Font view เครื่อง วัดความราบ Laser Displacement 41
4.8	Right view เครื่อง วัดความราบ Laser Displacement 41
4.9	ค่าพิสัยของชิ้นงานและตำแหน่งมอเตอร์ตามแนวแกนของเครื่องจักรต้นแบบ 44

สารบัญรูป (ต่อ)

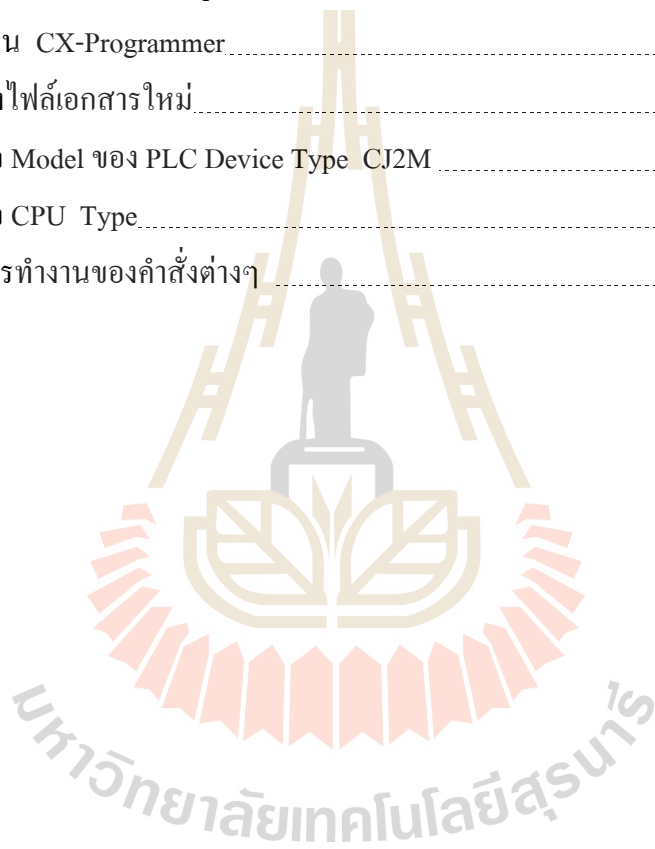
รูปที่	หน้า
4.10	45
4.11	45
4.12	46
4.13	46
4.14	47
4.15	47
4.16	48
4.17	48
4.18	49
4.19	49
4.20	50
4.21	50
4.22	51
4.23	51
4.24	52
4.25	52
4.26	53
4.27	53
4.28	54
4.29	54
4.30	55
4.31	55
4.32	57
4.33	57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ก.1	รายละเอียดขนาดของ T slot yy robot	69
ก.2	รายละเอียดขนาดของ T slot yy	69
ก.3	รายละเอียดขนาดของ T slot	70
ก.4	รายละเอียดขนาดของ Motor servo	70
ก.5	รายละเอียดขนาดของ Robot slot xx	71
ก.6	รายละเอียดขนาดของ Base part 1	71
ก.7	รายละเอียดขนาดของ Base part 3	72
ก.8	รายละเอียดขนาดของ Base part 2	72
ก.9	รายละเอียดขนาดของ T Axis XX	73
ก.10	รายละเอียดขนาดของ Arm laser	73
ก.11	รายละเอียดขนาดของ Laser displacement	74
ก.12	รายละเอียดขนาดของ Part assembly	74
ข.1	ข้อมูลทางเทคนิคของ PLC I/O terminals in put	76
ข.2	ข้อมูลทางเทคนิคของ PLC I/O terminals out put	77
ข.3	ข้อมูลทางเทคนิคของ LK-G5000 Series	78
ข.4	ข้อมูลทางเทคนิคของ PLC CJ2M CPU Unit Pulse I/O Module	79
ข.5	ข้อมูลทางเทคนิคของ PLC Output Specifications	79
ข.6	ข้อมูลทางเทคนิคของ Wiring Connector Pin Allocation	80
ค.1	การ Setting หน้าจอ Touch Screen	82
ค.2	การ Setting หน้าจอ Touch Screen	82
ค.3	การ Setting หน้าจอ Touch Screen	83
ค.4	การ Setting หน้าจอ Touch Screen	83
ง.1	Choose Setup Language	85
ง.2	การลง CX-Programmer	85
ง.3	License Agreement	86
ง.4	User information	86
ง.5	Choose Destination Location	87

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง.6 Setup Type.....	87
ง.7 Select Features.....	88
ง.8 Ready to Install the Program.....	88
ง.9 Install Shield Wizard Complete.....	89
ง.10 การใช้งาน CX-Programmer.....	89
ง.11 การสร้างไฟล์เอกสารใหม่.....	90
ง.12 การเลือก Model ของ PLC Device Type CJ2M.....	91
ง.13 การเลือก CPU Type.....	91
ง.14 หัวข้อการทำงานของคำสั่งต่างๆ.....	92



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

\bar{R}	ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่าง
\bar{R}_A	ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่างที่ A
\bar{R}_B	ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่างที่ B
\bar{R}_C	ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่างที่ C
N	จำนวนทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง
R_p	ค่าพิสัย
n	จำนวนทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง
r	จำนวนการทำซ้ำในกลุ่มตัวอย่าง
K1	เป็นค่าจากตาราง สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์
K2	เป็นค่าจากตาราง สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์
K3	เป็นค่าจากตาราง สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์
EV	ความแปรผันของอุปกรณ์การวัด
AV	ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล
PV	ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล
TV	ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล
PV	ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล
GRR	การทำซ้ำและการวัดซ้ำ
\bar{X}_{DIFF}	ผลต่างของค่าเฉลี่ย
$\bar{X}_{APP Max}$	ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่างที่ค่ามากที่สุด
$\bar{X}_{APP Min}$	ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าน้อยที่สุด
$\bar{X}_{Part Max}$	ค่าเฉลี่ยรวมของชิ้นงานที่ค่ามากที่สุด
$\bar{X}_{Part Min}$	ค่าเฉลี่ยรวมของชิ้นงานที่ค่าน้อยที่สุด

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในสายการผลิตภาคอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันมีความต้องการเทคโนโลยี ที่ทันสมัย สามารถแข่งขันกับคู่แข่ง หรือตอบสนองความต้องการของลูกค้า เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มากและมีกำไร จึงจำเป็นต้องมีการใช้ เทคโนโลยี ในการตรวจสอบ หรือวัดค่าที่มีความแม่นยำสูงระดับไมโครเมตร เทคโนโลยี ที่สอดคล้องกับภาคอุตสาหกรรม จึงได้จัดทำเครื่องเช็คค่าความราบโดยหุ่นยนต์ 2 แกน ควบคุมโดยพีแอลซี เพื่อให้ได้งานที่มีคุณภาพในการผลิตและลง จำนวนของเสียลงโดยใช้เครื่องเช็คค่าความราบโดยหุ่นยนต์ 2 แกน ตรวจสอบความผิดปกติของชิ้นงาน

เครื่องวัดค่าความราบของโลหะเป็นเครื่องที่ใช้ โดยใช้ เลเซอร์เป็นที่นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์อย่างแพร่หลาย ซึ่งในบางอุตสาหกรรมใช้เครื่องมือวัดที่มีค่าความละเอียดสูงระดับไมโครเมตร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำเข้าเครื่องมือวัดจากต่างประเทศ ซึ่งมีราคาสูง

งานวิจัยนี้นำเสนอการเปลี่ยนตำแหน่งของการวัดบนชิ้นงานแผ่นราบที่มีขนาด 0.25 มิลลิเมตรให้สามารถวัดตามที่กำหนดจุดตามแบบที่ตั้งไว้และสามารถปรับความเร็วในการให้สอดคล้องกับเวลาเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการวัดชิ้นงานสูงสุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ออกแบบระบบควบคุม PLC ด้วย Ladder diagram เพื่อควบคุม Servo motor ได้
2. ปรับแต่ง PLC ให้สามารถทำงานตามที่กำหนดจุดเช็คได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ออกแบบโครงสร้างหลักของตัวขับเคลื่อนโดยใช้โปรแกรม Solidwork
2. ออกแบบ การทำงานของมอเตอร์ควบคุมการเดินของหัววัด Laser Displacement Sensor ทั้ง 2 แกน

3. ออกแบบตัวควบคุมของระบบคอนโทรล PLC ร่วมกับหน้าจอ Touch Screen สั่งการให้ Controller Robot เพื่อให้ Laser เคลื่อนที่ โดยเดินตามแกน X แกน Y และเก็บค่า เฉลี่ยทั้งตัวงานนำมาแสดงผลที่หน้าจอ Touch screen

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยในส่วนของงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ระเบียบวิธีการวิจัย สถานที่ทำการวิจัย และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.4.1 ระเบียบวิธีการวิจัย แบ่งเป็นลำดับขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษากระบวนการวัดงานของ Laser Displacement โดยมนุษย์อย่างละเอียด
2. ศึกษาวิธีการควบคุมอัตโนมัติของ PLC ที่จะมาทำการควบคุมระบบ
3. ออกแบบเครื่องจักรกลและการวางตำแหน่งของ Laser Displacement
4. ออกแบบระบบควบคุมอัตโนมัติ
5. ออกแบบกลไกเพื่อให้เครื่องจักรทำงานได้
6. สร้างเครื่องต้นแบบ
7. ทดสอบและปรับแก้การทำงานของเครื่องจักร

1.4.2 สถานที่ทำการวิจัย

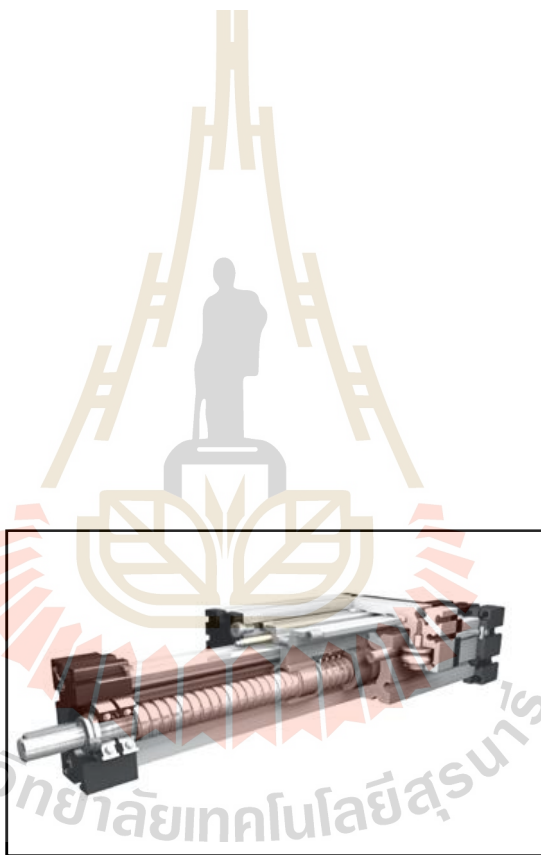
ใช้สถานที่ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 และ มินิแบร์ไทย จำกัด

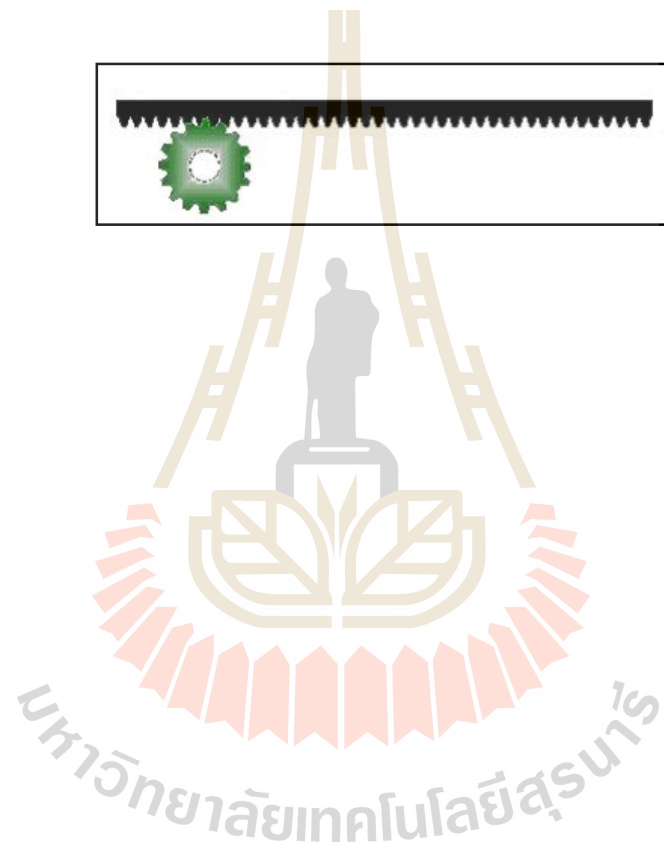
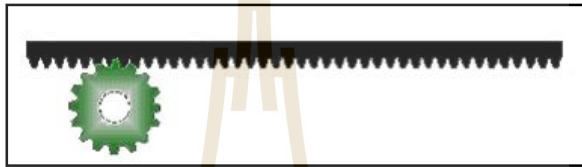
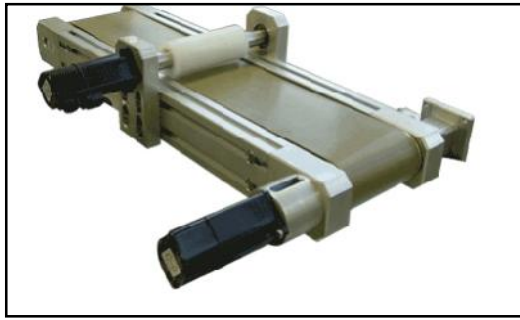
1.4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. คอมพิวเตอร์
2. โปรแกรม Solidwork
3. อุปกรณ์ และฮาร์ดแวร์ต่างๆ จากบริษัท มินิแบร์ไทย จำกัด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เครื่องเช็คค่าความราบโดยหุ่นยนต์ 2 แกน สามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์
2. มีเสถียรภาพในการควบคุมของระบบอัตโนมัติโดยใช้ระบบคอนโทรล PLC ร่วมกับหน้าจอ Touch screen สั่งการให้ Controller Robot เพื่อให้ Laser เคลื่อนที่ โดยเดินตามแกน X แกน Y และเก็บค่า เฉลี่ยทั้งตัวงานนำมาแสดงผลที่หน้าจอ touch screen
3. ลดการนำเข้าเครื่องจักรจากต่างประเทศ





2.1 Synchronous servo motor

2.2 Induction servo motor

3. Stepping motor ในปัจจุบันจะนิยมใช้ AC Servo ที่เป็นแบบ Synchronous servo motor กันมากที่สุด เพราะว่าใช้ งานและการบำรุงรักษาทำได้ง่าย ขนาดของมอเตอร์ มีตั้งแต่ 30 W. จนถึง 5.5 kW.

Driver เป็นอุปกรณ์ส่งพลังงานไฟฟ้าไปให้ motor เพื่อเปลี่ยนเป็นพลังงานกล ตัว Driver จะแบ่งออกตามประเภทการใช้งาน Pulse train input driver และ Analog input driver ซึ่งการใช้งาน ก็จะแตกต่างกันไปตามความต้องการของระบบซึ่งแบ่ง Parameter ที่ต้องควบคุมได้ดังนี้

2.2.1 การควบคุมตำแหน่ง (Position control)

2.2.2 การควบคุมความเร็ว (Speed control)

2.2.3 การควบคุมแรงบิด (Torque control)

2.2.4 การควบคุมการเคลื่อนที่ (Motion control)

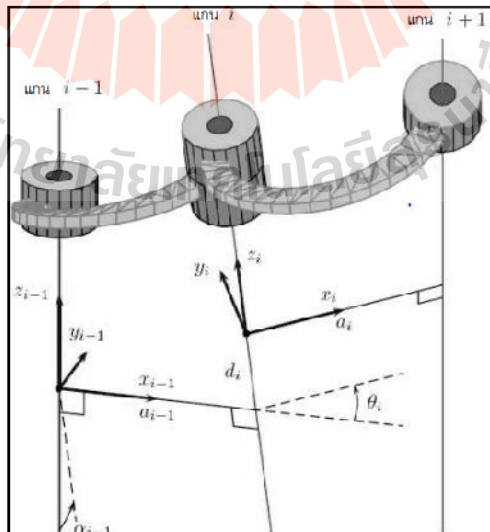
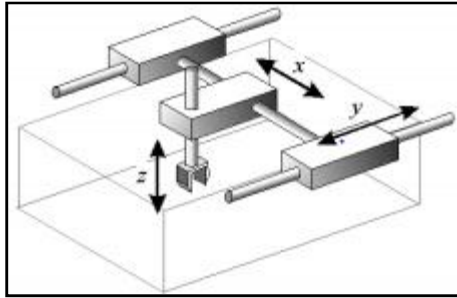
ในการใช้งานเราต้องรู้ว่างานของเราเป็นแบบใดและต้องการควบคุม Parameter ตัวไหนและต้อง เลือกระบบ ให้ถูกต้องตรงกับความต้องการ

2.3 Controller

เป็นตัวส่งสัญญาณควบคุม (signal command) ไปยังตัว Driver ตัว Driver จะทำหน้าที่ ขยายสัญญาณและส่งผ่านสัญญาณไปที่ Motor ทำให้ Motor หมุนด้วยความเร็วและไปยังตำแหน่งที่ ต้องการ ตามคำสั่งที่มาจาก Controller ซึ่งสัญญาณควบคุม (Signal command) แบ่งออกตาม ประเภทของ Driver คือ - Pluse train signal command - Analog signal command ในการเลือกใช้ งานจะขึ้นอยู่กับ Driver และ Application ของงานนั้นๆ ส่วนการเขียน Program เพื่อให้ controller ส่งสัญญาณควบคุม (Signal command) ไปยัง Driver จะขึ้นกับตัวประมวลผลของ CPU ของ controller อาจเป็น Ladder diagram, G code, block diagram

2.4 The Cartesian Robot [1]

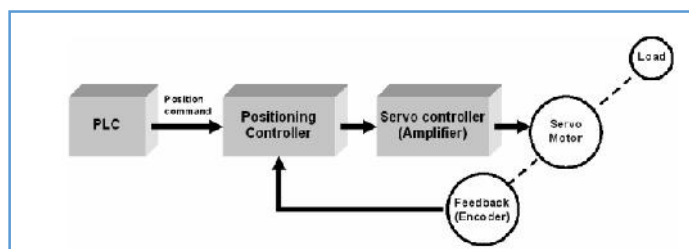
เป็นหุ่นยนต์ที่มีการเคลื่อนที่เป็นแบบเชิงเส้นทั้ง 3 แกน มีลักษณะการทำงานที่ไม่ซับซ้อน สามารถทำความเข้าใจได้ง่ายแต่หุ่นยนต์ชนิดนี้มีขีดจำกัดเรื่องของพื้นที่ที่สามารถทำงานได้ เพราะ อาณาเขตการเคลื่อนที่เป็นแบบกล่องสี่เหลี่ยม ส่วนมากหุ่นยนต์ประเภทนี้จะนำไปใช้ในลักษณะ เคลื่อนย้ายของหนัก ซึ่งหุ่นยนต์ประเภทนี้ จะมีลักษณะดังภาพประกอบ



$$T_{i-1}^i = \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cos\alpha_i & \sin\theta_i \sin\alpha_i & a_i \cos\theta_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cos\alpha_i & -\cos\theta_i \sin\alpha_i & a_i \sin\theta_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

$$\begin{aligned} \text{เมตริกซ์การหมุน} &= \begin{bmatrix} \cos\theta_i & -\sin\theta_i \cos\alpha_i & \sin\theta_i \sin\alpha_i \\ \sin\theta_i & \cos\theta_i \cos\alpha_i & -\cos\theta_i \sin\alpha_i \\ 0 & \sin\alpha_i & \cos\alpha_i \end{bmatrix} \\ \text{เวกเตอร์การเคลื่อนที่} &= \begin{bmatrix} a_i \cos\theta_i \\ a_i \sin\theta_i \\ d_i \end{bmatrix} \end{aligned}$$



2.7 หลักการควบคุมเซอร์โวมอเตอร์[2]

การทำงานจะเริ่มโดย PLC ส่ง Position command ซึ่งเป็นสัญญาณพัลส์หรืออนาลอกให้กับ Position controller ที่อยู่ในเซอร์โวไดรฟ์เวอร์ จากนั้น Position controller จะสั่งให้ Amplifier จ่ายกระแสไฟให้กับมอเตอร์เพื่อทำให้มอเตอร์หมุนให้ได้ความเร็วและระยะตามคำสั่ง เอ็นโคเดอร์ที่ติดอยู่กับมอเตอร์จะทำหน้าที่ป้อนกลับข้อมูลระยะและความเร็วในการหมุนกลับไปให้ Position controller ซึ่งมันจะมี Counter ทำหน้าที่เปรียบเทียบกับคำสั่งที่ได้รับจาก PLC ถ้ายังมีความแตกต่างกันมันส่งสัญญาณไปที่ Amplifier เพื่อสั่งให้มอเตอร์หมุนให้ได้ระยะและความเร็วตามต้องการ

2.8 ปรัชญ่วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการทำงานจะมีตัวควบคุมซึ่งทำหน้าที่ในการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงให้ทำตามคำสั่งตามที่ต้องการ ตัวควบคุมที่ใช้มีหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน และความเหมาะสม ตัวควบคุมที่ใช้บางประเภทต้องการค่าของตัวแปรสถานะเพื่อที่จะทำการควบคุมระบบให้ทำงานได้อย่างถูกต้อง และการที่ต้องการค่าของตัวแปรสถานะจึงเป็นที่มาของการนำเอาตัวสังเกตมาใช้งานในการประมาณค่าเนื่องจากช่วยลดค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ตรวจวัดที่มีราคาแพง และลดความซับซ้อนในการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด ขณะทำงานมักจะมีแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงจากภายนอกมาเกี่ยวข้องเข้ามารบกวนการทำงานของระบบแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะทำให้ระบบตัวสังเกตเกิดความผิดพลาดและประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมลดลงจึงเป็นที่มาของการนำเอาระบบการปรับตัวเอามาใช้เพื่อชดเชยค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลง และสามารถประมาณค่าแรงบิดที่เปลี่ยนแปลงได้

(ว่าที่ร้อยตรี ณัฐพล) [1] ได้นำเสนอการพัฒนาเครื่องจักรเพื่อติดตั้งชุดสายสัญญาณแบบอัตโนมัติ เพื่อศึกษาออกแบบระบบควบคุมการทำงานของเครื่องต้นแบบโดยอัตโนมัติควบคุมการทำงานของระบบ ด้วย PLC

(สราวุฒิ สิริเกษมสุข) [3] การออกแบบมือจับชิ้นงานเพื่อให้ใช้แรงที่เหมาะสมที่สุดในการยกชิ้นงานหาค่า DH Parameter ของแขนกลงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม Lab view เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน

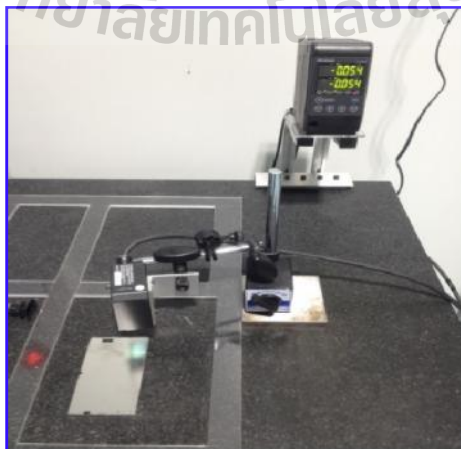
(ดร.มุกิตา สงฆ์จันทร์) [4] การควบคุมหุ่นยนต์แขนกลโดยใช้วิธีการเรียนรู้แบบทำซ้ำชนิดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในนำระบบการควบคุมด้วยภาพ (Visual Servo Control) และระบบการควบคุมด้วยภาพแบบตำแหน่ง (Position Based Visual Servo)

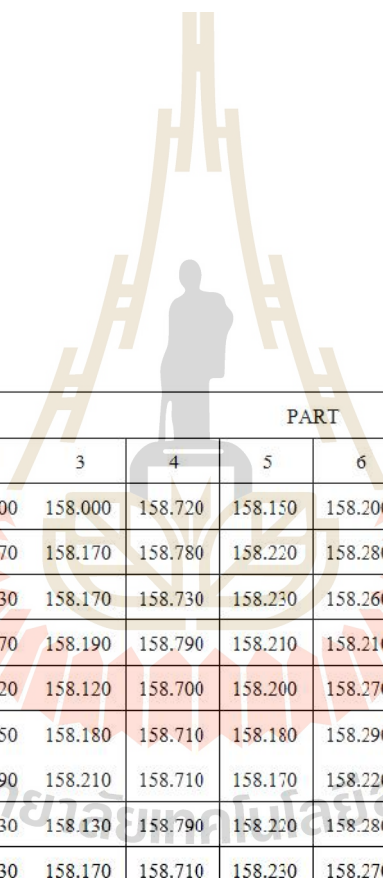
(ชวลิต นฤมิตรบรรณกุล) [5] การออกแบบระบบควบคุมแบบคงทนสำหรับหุ่นยนต์ศกรรา โดยใช้ทฤษฎีป้อนกลับเชิงปริมาณ เพื่อศึกษาออกแบบตัวควบคุมของแกนที่ X และแกนที่ Y ของหุ่นยนต์ศกรรา หาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแขนหุ่นยนต์ให้มีความถูกต้องและแม่นยำ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบควบคุมนี้ด้วยผลการจำลองการควบคุมตำแหน่ง

(นายธนกฤต ภัทรเกษวิทย์) [7] การควบคุมการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมแบบพีไอดีสำหรับแขนกลควบคุมแขนกลให้มีการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมโดยอาศัยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้รับพัฒนาใหม่ซึ่งทำให้มีการเคลื่อนที่อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นทำการวิธีการควบคุมโดยใช้เวลาน้อยที่สุด (Time-Optimal Control Algorithm) ได้ใช้โปรแกรม Lab view เข้ามาในการควบคุมทางด้าน Control

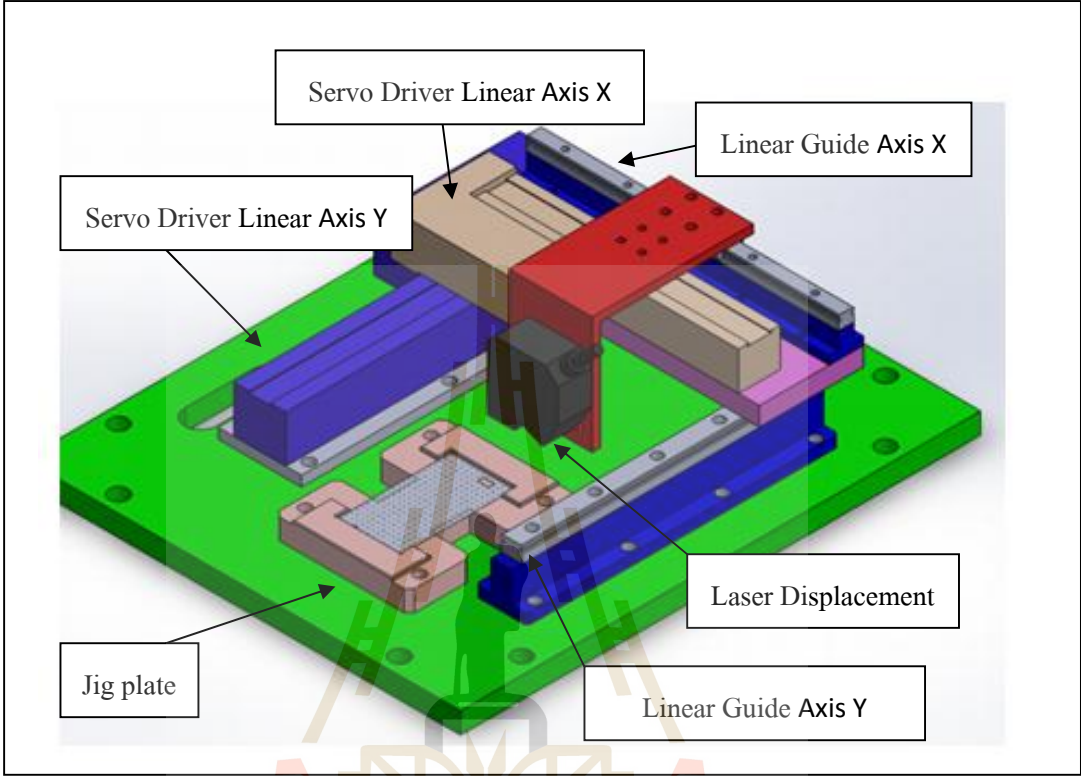
2.9 สรุป

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมานั้นการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบที่ต้องการจะควบคุมจะมีประโยชน์อย่างมาก โดยเฉพาะแบบจำลองของ Servo motor มาใช้ประโยชน์ต่องานวิจัยนี้ Servo motor เป็นมอเตอร์ที่มีการควบคุมการเคลื่อนที่ไม่ว่าจะเป็นระยะ ความเร็ว มุมการหมุน โดยใช้การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control) การควบคุมแบบป้อนกลับเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้มอเตอร์ตัวนั้นๆ เรียกว่า Servo โดย Servo motor ต้องการสัญญาณป้อนกลับเพื่อใช้ในการประเมินตำแหน่ง หรือ ความเร็ว หรือ State อื่นๆ เพื่อไปประมวลผลการเคลื่อนไหวที่เหมาะสม

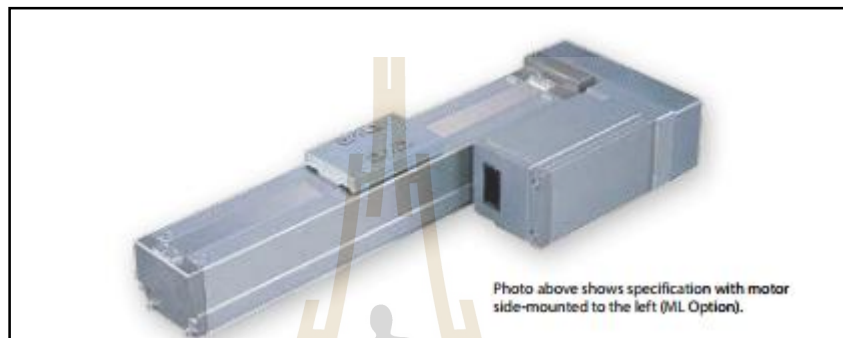




Appraiser		PART									
/ Trial #		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	1	158.190	158.100	158.000	158.720	158.150	158.200	158.120	158.180	158.240	158.190
	2	158.170	158.170	158.170	158.780	158.220	158.280	158.140	158.120	158.210	158.170
	3	158.100	158.130	158.170	158.730	158.230	158.260	158.170	158.130	158.270	158.140
B	1	158.180	158.170	158.190	158.790	158.210	158.210	158.150	158.190	158.260	158.150
	2	158.100	158.120	158.120	158.700	158.200	158.270	158.140	158.180	158.280	158.170
	3	158.130	158.150	158.180	158.710	158.180	158.290	158.180	158.110	158.210	158.110
C	1	158.110	158.090	158.210	158.710	158.170	158.220	158.130	158.110	158.250	158.170
	2	158.170	158.130	158.130	158.790	158.220	158.280	158.140	158.150	158.290	158.140
	3	158.190	158.130	158.170	158.710	158.230	158.270	158.170	158.190	158.240	158.110







RCP3-SA4R-I-35P-5-150-P3-P-MR

Model Series	RCP3
Type	SA4R
Encoder Type	Incremental
Motor type	35P
Lead	5:5 mm.
Stroke	150 mm.
Applicable controller	PCON –CA
Cable length	1m.
Options	Right-mounthed motor

ตารางที่ 3.3 ลักษณะของ Servo Driver Linear 120 mm.

Item	Description
Drive System	Ball screw, $\varnothing 8\text{mm}$, rolled C10
Positioning repeatability	$\pm 0.02\text{mm}$
Lost Motion	0.1mm or less
Base	Material: Aluminum, special alumite treated
Allowable static moment	Ma: 6.8 N·m, Mb: 9.7 N·m, Mc: 13.3 N·m
Allowable dynamic moment (*)	Ma: 3.04 N·m, Mb: 4.31 N·m, Mc: 5.00 N·m
Allowable overhang	120mm or less in Ma, Mb and Mc directions
Ambient operating temperature, humidity	0 to 40°C, 85% RH or less (Non-condensing)

การเคลื่อนที่ในแนว แกน Y ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้ Servo Driver Linear ของ บริษัท IAI เนื่องจากมีความเที่ยงตรงเป็นอย่างมาก คือ มีรายละเอียดดังนี้

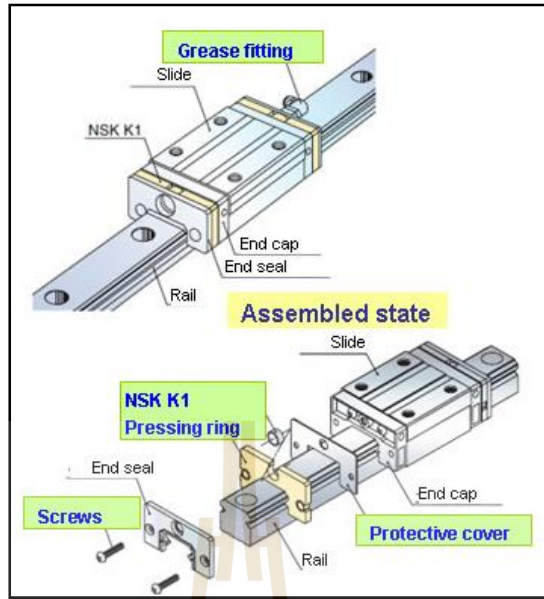
Actuator Specifications

ตารางที่ 3.4 ลักษณะของ Servo Driver Linear แกน Y

RCP3-SA5R-I-42P-6-200-P3-P-MR	
Model Series	RCP3
Type	SA5R
Encoder Type	Incremental
Motor type	42 Pulse motor
Lead	6 mm.
Stroke	200 mm.
Applicable controller	PCON –CA
Cable length	1m.
Options	Right-mounthed motor

Item	Description
Drive System	Ball screw Ø10mm C10 grade
Positioning repeatability	±0.02mm
Lost Motion	0.1mm or less
Base	Material: Aluminum (special alumite treated)
Allowable static moment	Ma: 10.2N·m Mb: 14.6N·m Mc: 8.53N·m
Allowable dynamic moment	Ma: 3.92N·m Mb: 5.58N·m Mc: 8.53N·m
Allowable overhang	130mm or less
Ambient operating temperature, humidity	0to40°C, 85% RH or less (non-condensing)







รูปที่ 3.7 TOUCH SCREEN รุ่น DOP-B05S111

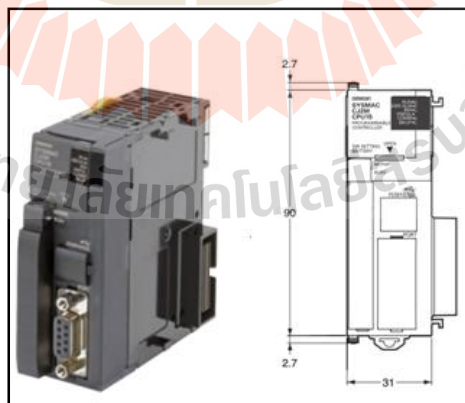
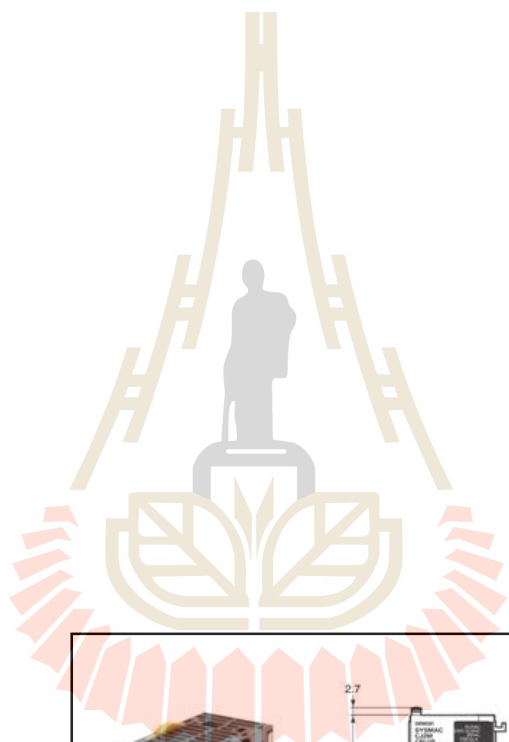
คุณสมบัติ TOUCH SCREEN

ตารางที่ 3.6 ลักษณะของ TOUCH SCREEN

Brand Name	DELTA
Display Size	5.6 inch
Model Number	DOP-B05S111
Resolution	320 x 234
ROM	128 MB
Operating System	Delta Real Time OS
Power consumption	3.0 W
Operation Voltage	DC + 24 V
Backup Battery	3 V

5. โปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้(PLC)การควบคุมโปรแกรมเมเบิลลอจิกคอนโทรลเลอร์ (PLC) ระบบการควบคุมแต่เดิมจะประกอบด้วยอุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) เช่น รีเลย์ (Relay) ตัวตั้งเวลา (Time) ตัวนับเวลา (Counter) และอื่นๆ การทำงานของระบบควบคุมจะมีอยู่ด้วยกัน อยู่ 2 สถานะ คือ สภาวะเปิด กับ สภาวะปิด หรือแบบ ON และ OFF

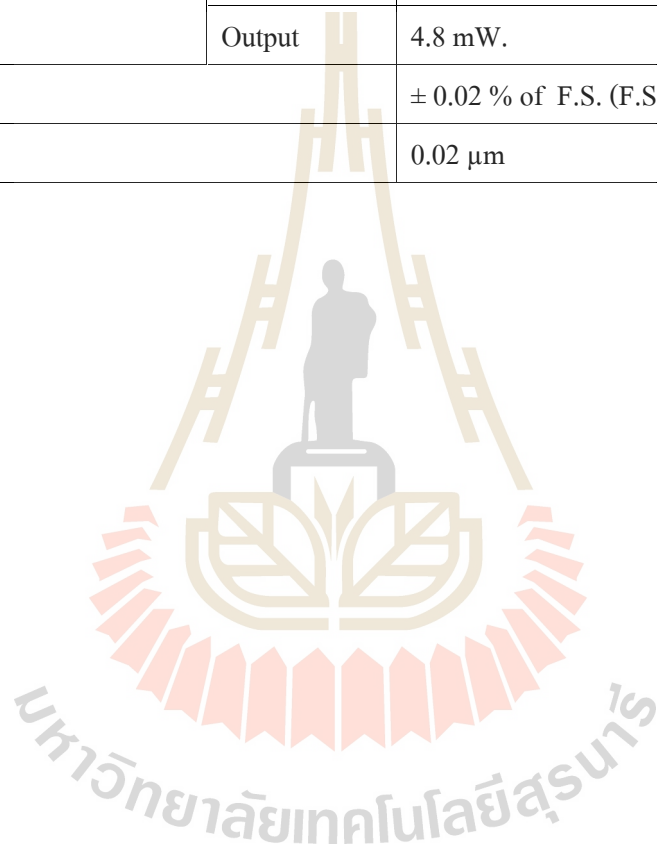


Product name	CJ2M CPU Units
Model	CJ2M-CPU15
I/O capacity/ Mountable Units (Expansion Racks)	2,560 points/ 40 Units (3 Expansion Racks max.)
Program capacity	60K steps
Data memory capacity	160K words DM: 32K words, EM: 32K Words 4 banks)
LD instruction execution time	0.04 μ s.
Current consumption (A) 5 V	0.5

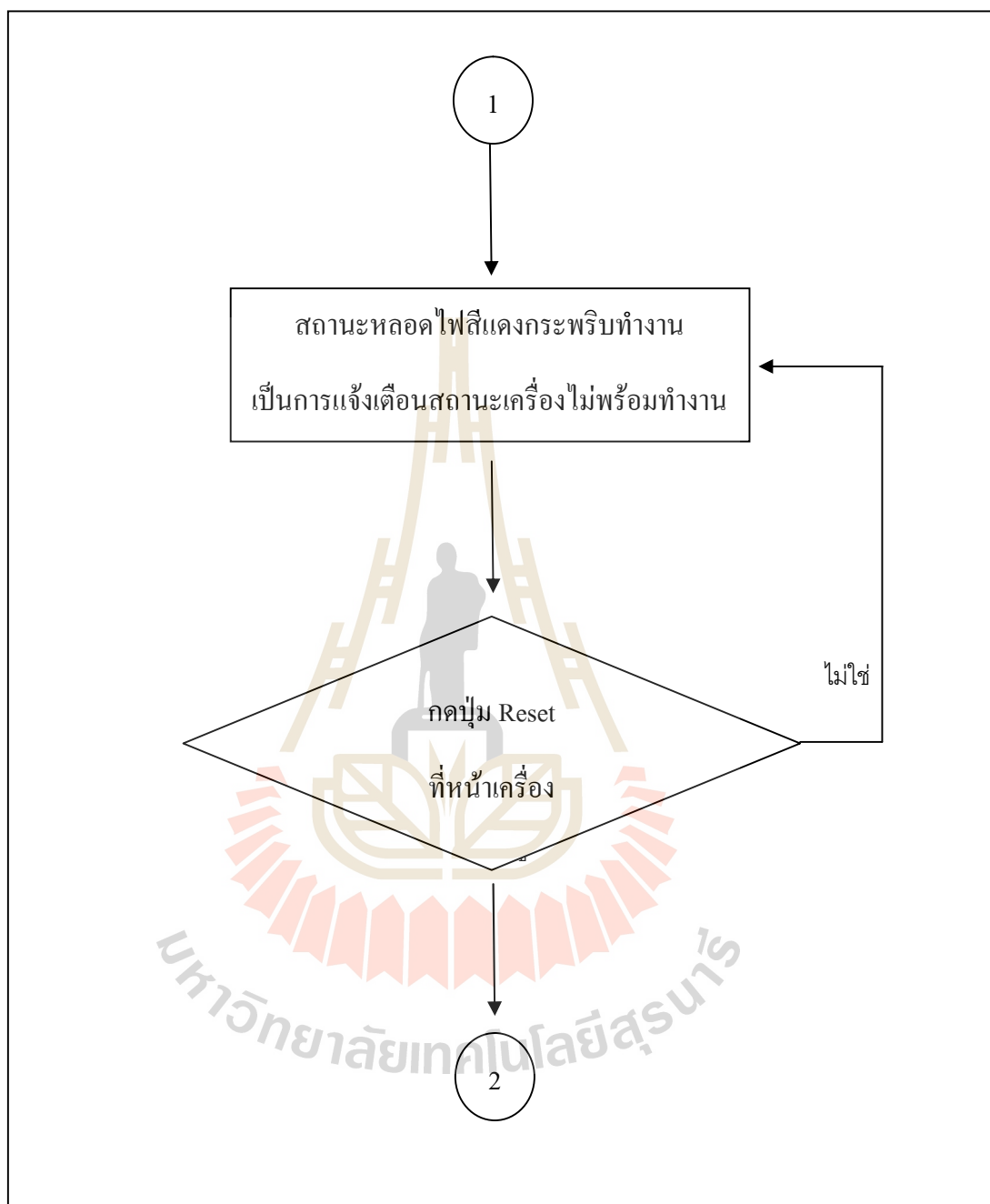


ตารางที่ 3.8 ลักษณะของโป Laser displacement

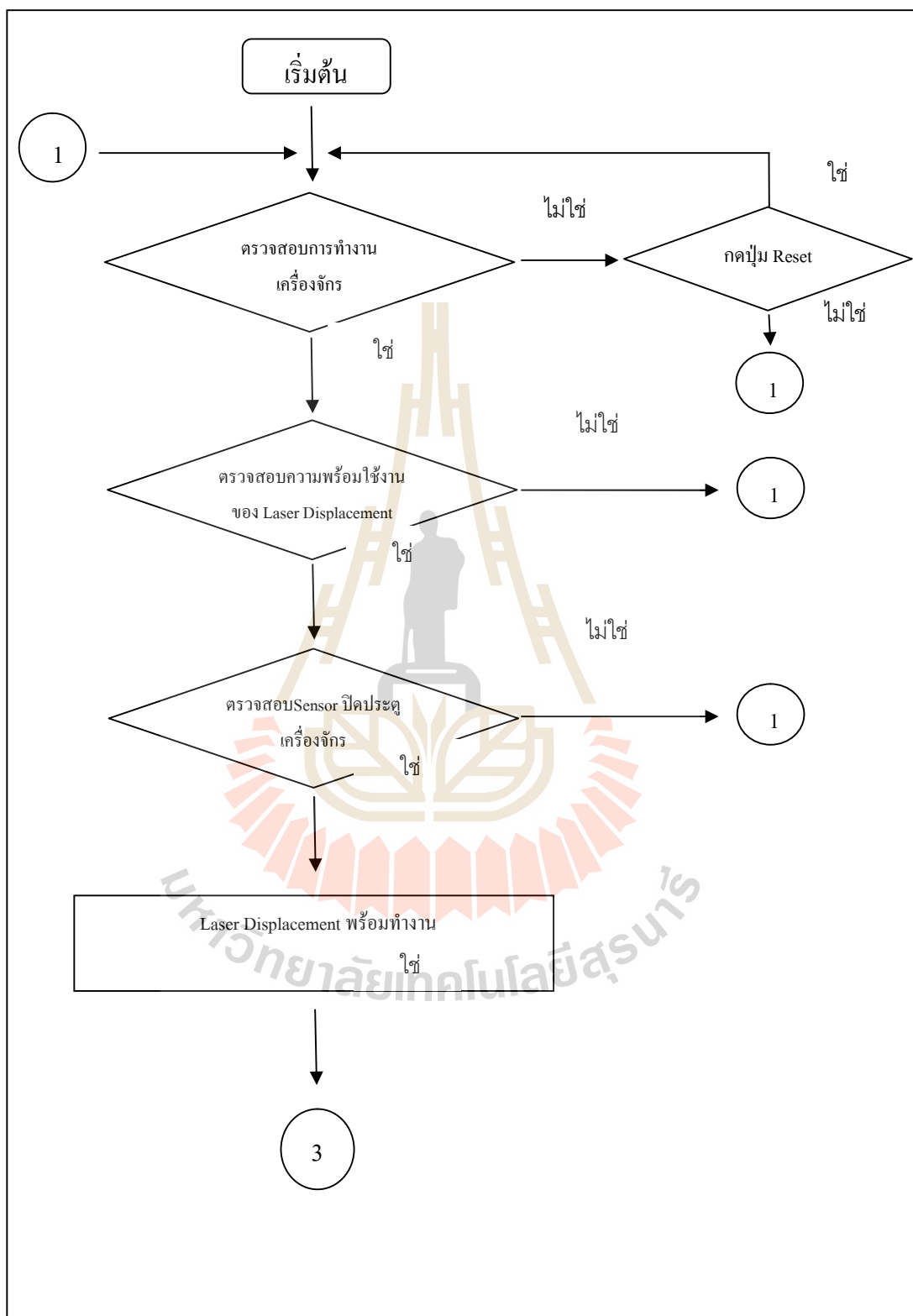
Model		LK-H025
Mounting mode		Diffuse reflection
Reference distance		20 mm.
Measurement range		±3 mm.
Light source	Type	Red semiconductor laser
	Wave length	655 nm.
	Output	4.8 mW.
Linearity		± 0.02 % of F.S. (F.S.=6 mm.)
Repeatability		0.02 μm



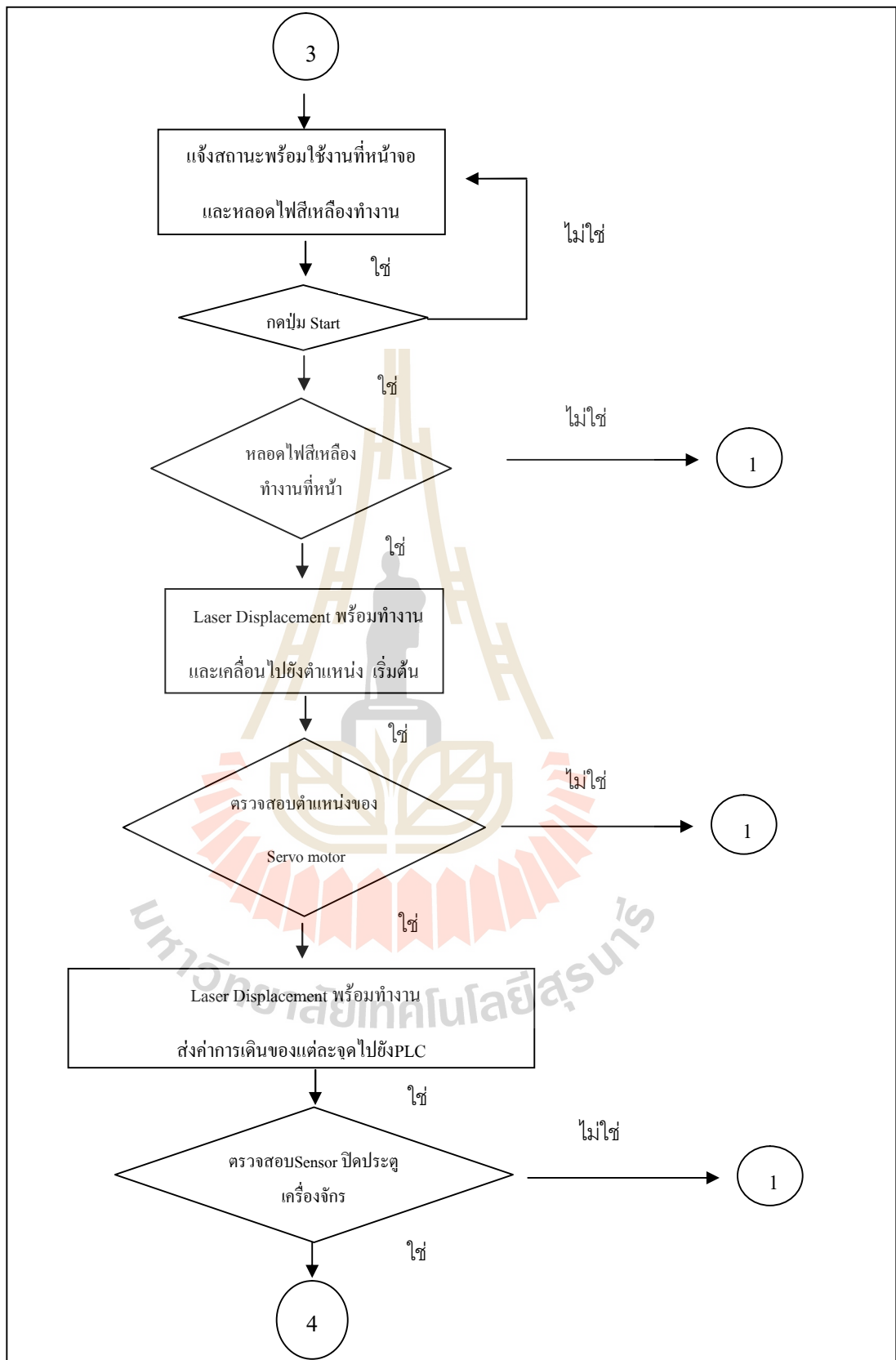
3.3 แผนผังของการทำงานของเครื่องจักรต้นแบบ



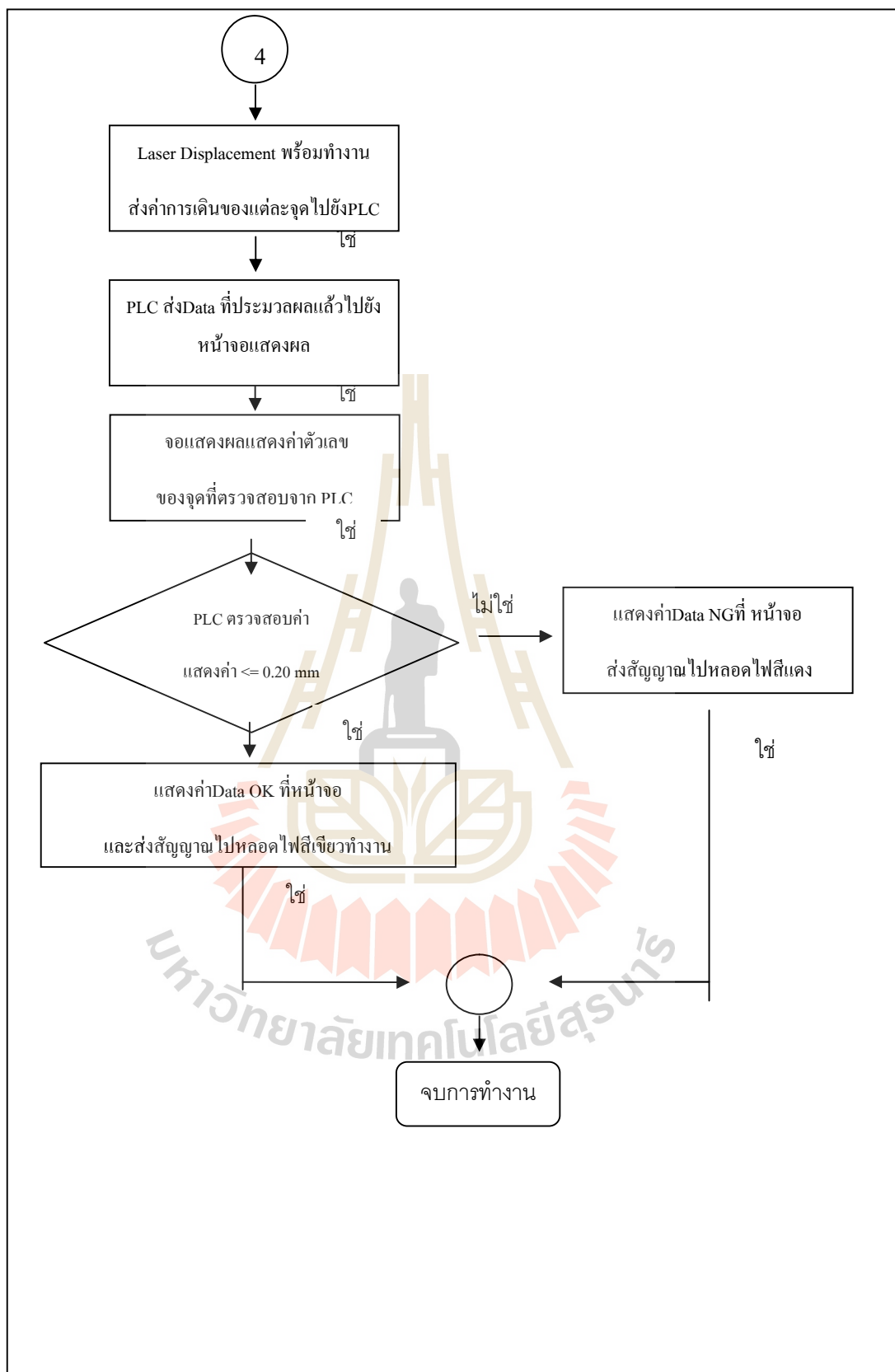
รูปที่ 3.10 แผนผังการทำงานของเครื่องจักร



รูปที่ 3.11 แผนผังการทำงานของเครื่องจักร (ต่อ)



รูปที่ 3.12 แผนผังการทำงานของเครื่องจักร (ต่อ)



รูปที่ 3.13 แผนผังการทำงานของเครื่องจักร (ต่อ)

3.4 การทดสอบค่าระบบการวัด

เนื่องจากงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis ; MSA) จุดประสงค์สำคัญของการวิเคราะห์ระบบการวัดคือการวิเคราะห์ ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด ตามทฤษฎีที่ได้นำเสนอในบทก่อนหน้า สามารถวิเคราะห์ระบบการวัดได้ตามสมการที่ (3.1)

$$\bar{R} = \frac{\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C}{N} \quad (3.1)$$

โดยที่ \bar{R} คือ ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่าง
 \bar{R}_A คือ ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่างที่ A
 \bar{R}_B คือ ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่างที่ B
 \bar{R}_C คือ ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่างที่ C
 N คือ จำนวนทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง

$$\bar{X}_{DIFF} = \bar{X}_{APP MAX} - \bar{X}_{APP Min} \quad (3.2)$$

โดยที่ \bar{X}_{DIFF} คือ ผลต่างของค่าเฉลี่ย
 $\bar{X}_{APP MAX}$ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่างที่ค่ามากที่สุด
 $\bar{X}_{APP Min}$ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าน้อยที่สุด

$$R_p = \bar{X}_{PartMax} - \bar{X}_{PartMin} \quad (3.3)$$

โดยที่ R_p คือ ค่าพิสัย
 $\bar{X}_{PartMax}$ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของชิ้นงานที่ค่ามากที่สุด
 $\bar{X}_{PartMin}$ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของชิ้นงานที่ค่าน้อยที่สุด

การวิเคราะห์ระบบการวัดจะต้องมี 5 หัวข้อในการคำนวณของระบบการวัด คือ

- Equipment variation (EV)
- Appraiser variation (AV)
- Repeatability and reproducibility (GRR)

- Part variation (PV)
- Total variation (TV)

ความแปรผันของอุปกรณ์การวัด Equipment variation (EV)

เป็นมาตรการรูปแบบหนึ่งที่ ผู้ประเมิน เมื่อวัดชิ้นงานชิ้นเดียวกัน (และลักษณะเดียวกัน) โดยใช้ Gage เดียวกันมากกว่าหนึ่งครั้ง

$$EV = K_1 \bar{R} \quad (3.4)$$

โดยที่ EV คือ ความแปรผันของอุปกรณ์การวัด

K_1 คือ เป็นค่าจากตาราง สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์

\bar{R} คือ ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่าง

ที่ K_1 เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับจำนวนของการทดลอง

ตารางที่ 3.9 ค่าจากตาราง K_1 สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์

Trials	K_1
2	0.8862
3	0.5908

ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล Appraiser variation (AV)

เป็นการประเมินที่มีค่าเฉลี่ยของการวัดที่แตกต่างกัน เมื่อบุคคลวัดงานลักษณะเดียวกันใน ส่วนเดียวกัน

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} K_2)^2 - \frac{EV^2}{nr}} \quad (3.5)$$

- โดยที่ AV คือ ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล
 \bar{X}_{DIFF} คือ ผลต่างของค่าเฉลี่ย
 EV คือ ความแปรผันของอุปกรณ์การวัด
 $K2$ คือ เป็นค่าจากตาราง สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์
 n คือ จำนวนทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง
 r คือ จำนวนการทำซ้ำกลุ่มตัวอย่าง

การทำซ้ำและการวัดซ้ำ Repeatability and reproducibility (GRR)

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} \quad (3.6)$$

- โดยที่ GRR คือ การทำซ้ำและการวัดซ้ำ
 EV คือ ความแปรผันของอุปกรณ์การวัด
 AV คือ ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล

การเปลี่ยนแปลงของชิ้นงาน Part variation (PV)

รูปแบบส่วนหนึ่งจะถูกกำหนดโดยการคูณช่วงของค่าเฉลี่ยส่วน (R_p) โดย $K3$ คงที่

ขึ้นอยู่กับจำนวนของชิ้นงาน

$$PV = (R_p) (K_3) \quad (3.7)$$

- โดยที่ P คือ ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล
 R_p คือ ค่าพิสัย
 $K3$ คือ เป็นค่าจากตาราง สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์

ตารางที่ 3.10 ค่าจากตาราง K3 สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์

Parts	K3
2	0.7071
3	0.5231
4	0.4467
5	0.4030
6	0.3742
7	0.3534
8	0.3375
9	0.3249
10	0.3146

ผลรวมการแปรผันของกระบวนการ Total variation (TV)

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} \quad (3.8)$$

โดยที่ TV คือ ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล

GRR คือ การทำซ้ำและการวัดซ้ำ

PV คือ ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล

เปอร์เซ็นต์รวมการแปรผันของกระบวนการ % Total variation (TV)

เปอร์เซ็นต์ความแปรผันของอุปกรณ์การวัด

$$\%EV = 100(EV/TV) \quad (3.9)$$

เปอร์เซ็นต์ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล

$$\% AV = 100(AV/TV) \quad (3.10)$$

เปอร์เซ็นต์การทำซ้ำและการวัดซ้ำ

$$\%GRR = 100(GRR/TV) \quad (3.11)$$

เปอร์เซ็นต์ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล

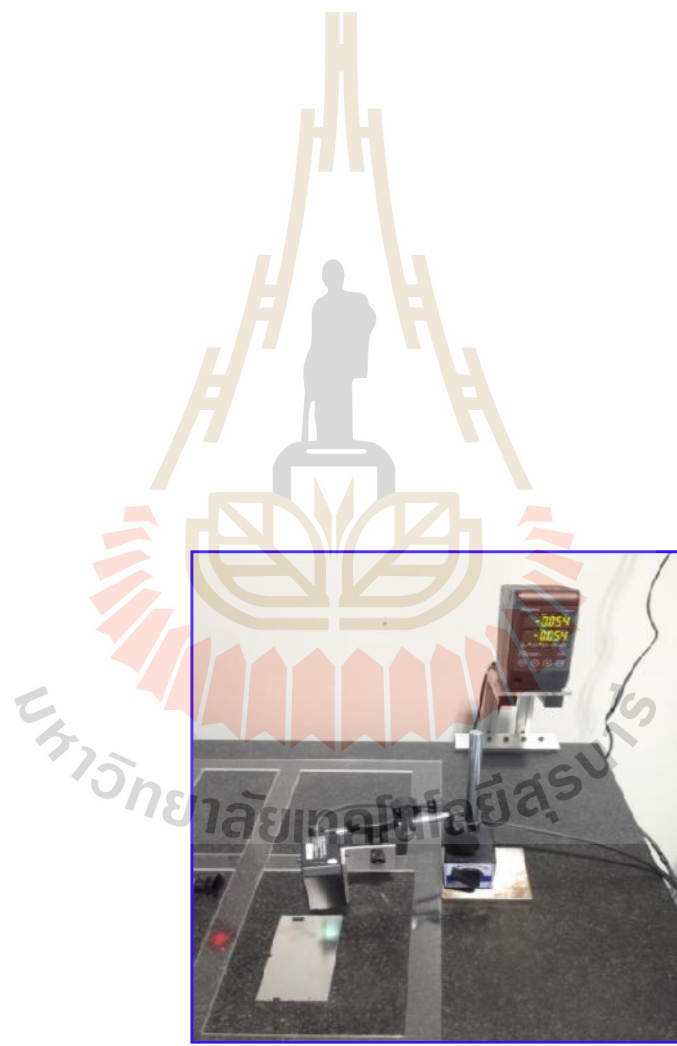
$$\%PV = 100(PV/TV) \quad (3.12)$$

เปอร์เซ็นต์ความสามารถแยกแยะความแตกต่างของชิ้นงาน

$$NDC = 1.41 (PV / GRR) \quad (3.13)$$

3.5 สรุป

จากสมการด้านบนสามารถหาค่าการแปรผันของกระบวนการและค่าเปอร์เซ็นต์การทำซ้ำและการวัดซ้ำของกระบวนการการวัดความราบ เพื่อสนับสนุนความถูกต้อง ของเครื่องวัดความราบ ในงานวิจัยจึงได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการวัดค่าที่ได้จากเครื่องต้นแบบเพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด และตรวจสอบผลการทดลองที่ได้ว่าตรงกับทฤษฎีมีความเหมาะสมจริงหรือไม่พร้อมทั้งเปรียบเทียบค่าความแม่นยำของมนุษย์กับเครื่องมือว่ามีความแม่นยำและมีความน่าเชื่อถือมากที่สุด



Appraiser / Trial #	Part										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	1	158.900	158.100	158.300	158.720	158.150	158.300	158.120	158.180	158.240	158.190
	2	158.770	158.400	158.170	158.680	158.520	158.280	158.240	158.120	158.210	158.170
	3	158.600	158.130	158.170	158.730	158.230	158.260	158.170	158.130	158.270	158.140
B	1	158.480	158.170	158.190	158.790	158.210	158.210	158.150	158.190	158.260	158.150
	2	158.500	158.500	158.120	158.800	158.200	158.270	158.240	158.200	158.280	158.170
	3	158.780	158.150	158.180	158.710	158.180	158.290	158.180	158.110	158.300	158.200
C	1	158.300	158.090	158.210	158.710	158.170	158.300	158.130	158.110	158.250	158.170
	2	158.470	158.130	158.130	158.590	158.320	158.280	158.170	158.150	158.290	158.140
	3	158.200	158.130	158.170	158.710	158.230	158.270	158.190	158.190	158.240	158.110

Appraiser / Trial #	Part										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
A	Average	158.757	158.210	158.213	158.710	158.300	158.280	158.177	158.143	158.240	158.167
	Range	0.300	0.300	0.130	0.050	0.370	0.040	0.120	0.060	0.060	0.050
B	Average	158.587	158.273	158.163	158.767	158.197	158.257	158.190	158.167	158.280	158.173
	Range	0.300	0.350	0.070	0.090	0.030	0.080	0.090	0.090	0.040	0.050
C	Average	158.323	158.117	158.170	158.670	158.240	158.283	158.163	158.150	158.260	158.140
	Range	0.270	0.040	0.060	0.120	0.150	0.030	0.060	0.060	0.050	0.060
Part Average		158.558	158.200	158.182	158.716	158.248	158.273	158.177	158.153	158.260	158.160

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

$$\bar{R} = \frac{\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C}{N}$$

\bar{R}_A
 \bar{R}_B
 \bar{R}_C
 N

\bar{R} คือ ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่าง เท่ากับ 0.1203 มิลลิเมตร

$$\bar{R} = \frac{0.148+0.119+0.094}{3} = 0.1203 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\bar{X}_{DIFF} = \bar{X}_{APP MAX} - \bar{X}_{APP Min} \quad (4.2)$$

โดยที่

$\bar{X}_{APP MAX}$ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่างที่ค่ามากที่สุดเท่ากับ

158.3197 มิลลิเมตร

$\bar{X}_{APP Min}$ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ

158.2517 มิลลิเมตร

\bar{X}_{DIFF} คือ ผลต่างของค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0680 มิลลิเมตร

$$\bar{X}_{DIFF} = 158.319 - 158.2517 = 0.0680 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$R_p = \bar{X}_{PartMax} - \bar{X}_{PartMin} \quad (4.3)$$

โดยที่

R_p คือ ค่าพิสัยเท่ากับ 0.5622 มิลลิเมตร

$\bar{X}_{PartMax}$ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของชิ้นงานที่ค่ามากที่สุดเท่ากับ 158.716 มิลลิเมตร

$\bar{X}_{PartMin}$ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของชิ้นงานที่ค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 158.132 มิลลิเมตร

$$R_p = 158.716 - 158.153 = 0.5622 \text{ มิลลิเมตร}$$

ความแปรผันของอุปกรณ์การวัด Equipment variation (EV)

เป็นมาตรการรูปแบบหนึ่งที่ ผู้ประเมิน เมื่อวัดชิ้นงานชิ้นเดียวกัน (และลักษณะเดียวกัน) โดยใช้ Gage เดียวกันมากกว่าหนึ่งครั้ง

$$EV = \bar{R} K_1 \quad (4.4)$$

โดยที่

EV คือ ความแปรผันของอุปกรณ์การวัด เท่ากับ 0.0711 มิลลิเมตร

K_1 คือ เป็นค่าจากตาราง สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.5908 มิลลิเมตร

\bar{R} คือ ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 0.120 มิลลิเมตร

ที่ K1 เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับจำนวนของการทดลอง

ตารางที่ 4.3 ค่าจากตาราง K1 สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์

Trials	K1
2	0.8862
3	0.5908

$$EV = 0.120 \times 0.5908 = 0.0711 \text{ มิลลิเมตร}$$

ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล Appraiser variation (AV)

เป็นการประเมินที่มีค่าเฉลี่ยของการวัดที่แตกต่างกัน เมื่อบุคคลวัดงานลักษณะเดียวกันใน ส่วนเดียวกัน

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} K_2)^2 - \frac{EV^2}{nr}} \quad (4.5)$$

โดยที่

AV คือ ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล เท่ากับ 0.0331 มิลลิเมตร

\bar{X}_{DIFF} คือ ผลต่างของค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.068 มิลลิเมตร

EV คือ ความแปรผันของอุปกรณ์การวัด เท่ากับ 0.0711 มิลลิเมตร

K2 คือ เป็นค่าจากตาราง สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.5231

n คือ จำนวนทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง เท่ากับ 10

r คือ จำนวนการทำซ้ำกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 3

$$AV = \sqrt{(0.068 \times 0.5231)^2 - \frac{0.0711^2}{10 \times 3}} = 0.0331$$

การทำซ้ำและการวัดซ้ำ Repeatability and reproducibility (GRR)

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} \quad (4.6)$$

โดยที่

- GRR คือ การทำซ้ำและการวัดซ้ำ เท่ากับ 0.0784 มิลลิเมตร
 EV คือ ความแปรผันของอุปกรณ์การวัด เท่ากับ 0.0711 มิลลิเมตร
 AV คือ ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคลเท่ากับ 0.0331 มิลลิเมตร
 $GRR = \sqrt{0.0711^2 + 0.0331^2} = 0.0784$ มิลลิเมตร

การเปลี่ยนแปลงของชิ้นงาน Part variation (PV)

รูปแบบส่วนหนึ่งจะถูกกำหนดโดยการคูณช่วงของค่าเฉลี่ยส่วน (R_p) โดย K_3 คงที่

ขึ้นอยู่กับจำนวนของชิ้นงาน

$$PV = (R_p) (K_3) \quad (4.7)$$

- โดยที่ PV คือ ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคลเท่ากับ 0.1769 มิลลิเมตร
 R_p คือ ค่าพิสัยเท่ากับ 0.562 มิลลิเมตร
 K_3 คือ เป็นค่าจากตาราง สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.3146 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.4 ค่าจากตาราง K_3 สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์

Parts	K_3
2	0.7071
3	0.5231
4	0.4467
5	0.4030
6	0.3742
7	0.3534
8	0.3375
9	0.3249
10	0.3146

$$PV = (0.562)(0.3146) = 0.1769$$

ผลรวมการแปรผันของกระบวนการ Total variation (TV)

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} \quad (4.8)$$

โดยที่

TV คือ ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคลเท่ากับ 0.1935 มิลลิเมตร

GRR คือ การทำซ้ำและการวัดซ้ำ เท่ากับ 0.0784 มิลลิเมตร

PV คือ ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคลเท่ากับ 0.1769 มิลลิเมตร

เปอร์เซ็นต์รวมการแปรผันของกระบวนการ % Total variation (TV)

$$TV = \sqrt{0.0784^2 + 0.1769^2} = 0.1935 \text{ มิลลิเมตร}$$

เปอร์เซ็นต์ความแปรผันของอุปกรณ์การวัด

$$\%EV = 100 (EV/TV) \quad (4.9)$$

$$\%EV = 100 (0.0711 / 0.1935) = 36.74\%$$

เปอร์เซ็นต์ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล

$$\%AV = 100 (AV/TV) \quad (4.10)$$

$$\%AV = 100 (0.0331 / 0.1935) = 17.12\%$$

เปอร์เซ็นต์การทำซ้ำและการวัดซ้ำ

$$\%GRR = 100 (GRR/TV) \quad (4.11)$$

$$\%GRR = 100 (0.0784 / 0.1935) = 40.53\%$$

เปอร์เซ็นต์ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล

$$\%PV = 100 (PV/TV) \quad (4.12)$$

$$100 (0.1769 / 0.1935) = 91.42\%$$

เปอร์เซ็นต์ความสามารถแยกแยะความแตกต่างของชิ้นงาน (Number of district categories)

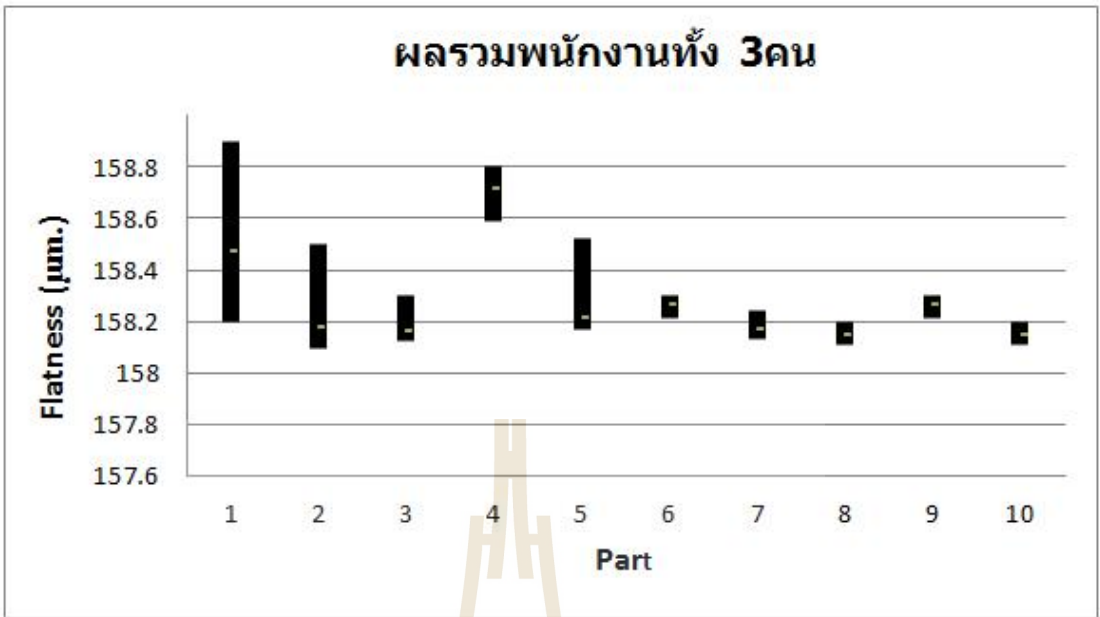
$$NDC = 1.41 (PV / GRR) \quad (4.13)$$

$$NDC = 1.41 (0.177 / 0.0784) = 3.18$$

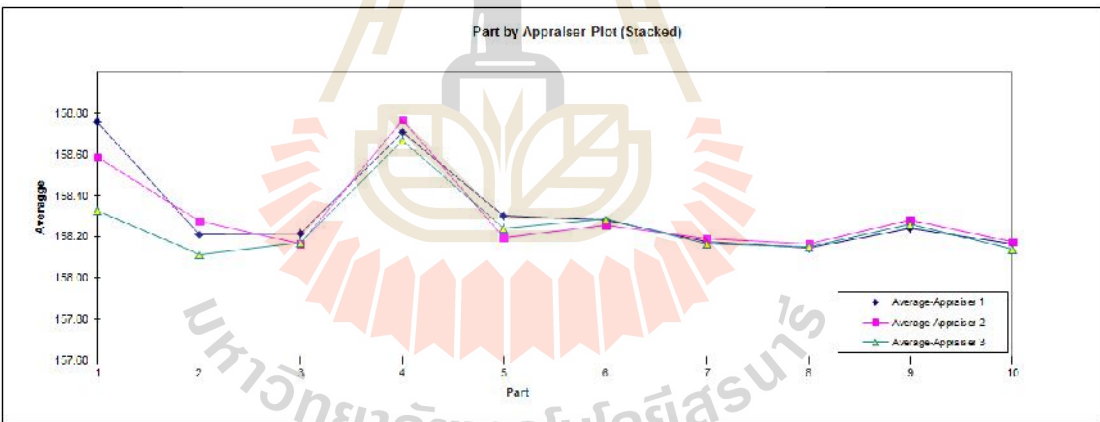
ตารางที่ 4.5 สรุปสูตรในการคำนวณ (ก่อนการทดลอง)

	สรุปสูตรในการคำนวณ	ผลที่ได้จากการคำนวณ
1.	$\bar{R} = \frac{\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C}{N}$	$\frac{0.148 + 0.119 + 0.094}{3} = 0.1203$
2.	$\bar{X}_{DIFF} = \bar{X}_{APP MAX} - \bar{X}_{APP MIN}$	$158.3197 - 158.2517 = 0.0680$
3.	$\bar{R}_p = \bar{X}_{PartMax} - \bar{X}_{PartMin}$	$158.716 - 158.153 = 0.5622$
4.	$EV = \bar{R}_p K_1$	$0.1203 \times 908 = 0.0711$
5.	$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} K_2)^2 - \frac{EV^2}{n}}$	$\sqrt{(0.068 \times 0.5 \times 231)^2 - \frac{0.0711^2}{10 \times 3}} = 0.0331$
6.	$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$	$\sqrt{0.0711^2 + 0.0331^2} = 0.0784$
7.	$PV = (R_p) (K_3)$	$(0.562) (0.3146) = 0.1769$
8.	$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$	$\sqrt{0.0784^2 + 0.1769^2} = 0.1935$
9.	$\%EV = 100(EV/TV)$	$100 (0.0711 / 0.1935) = 36.74\%$
10.	$\%AV = 100(AV/TV)$	$100 (0.0331 / 0.1935) = 17.12\%$
11.	$\%GRR = 100(GRR/TV)$	$100 (0.0784 / 0.1935) = 40.53\%$
12.	$\%PV = 100(PV/TV)$	$100 (0.1769 / 0.1935) = 91.42\%$
13.	$NDC = 1.41 (PV / GRR)$	$1.41 (0.177 / 0.0784) = 3.18$

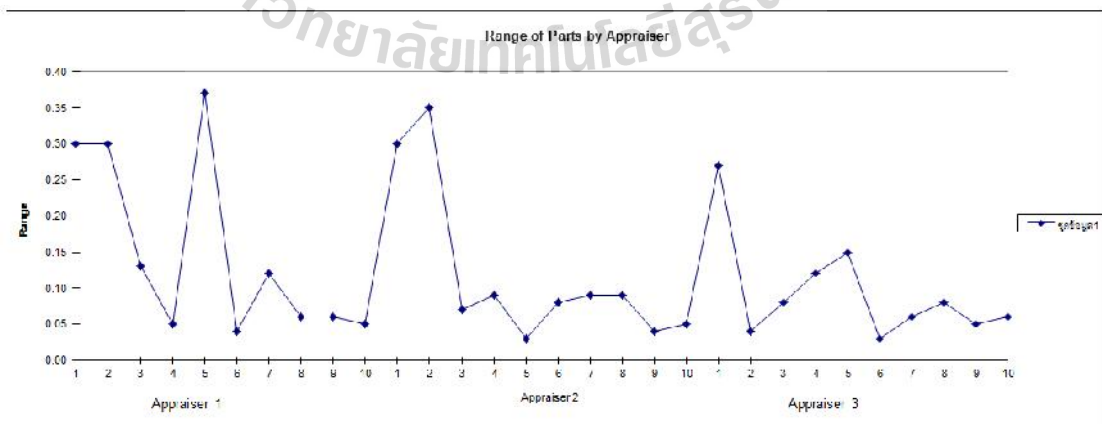
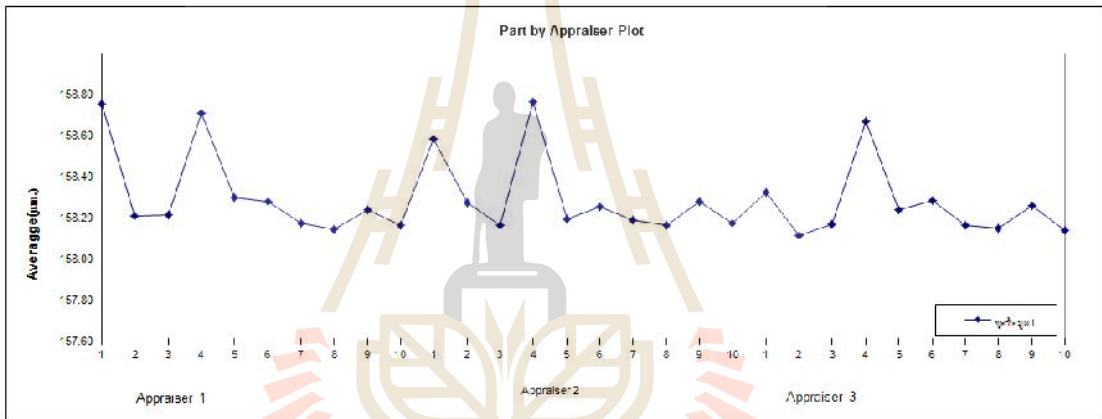
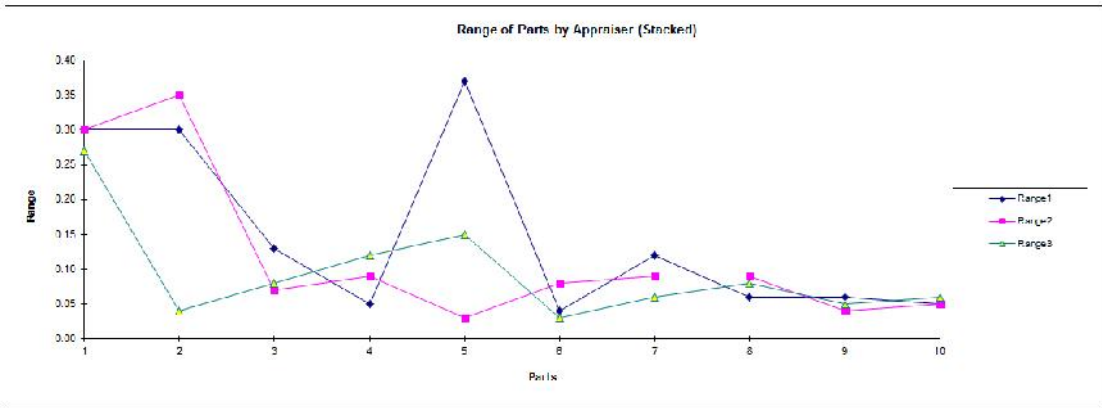
ผลรวมพนักงานทั้ง 3 คน

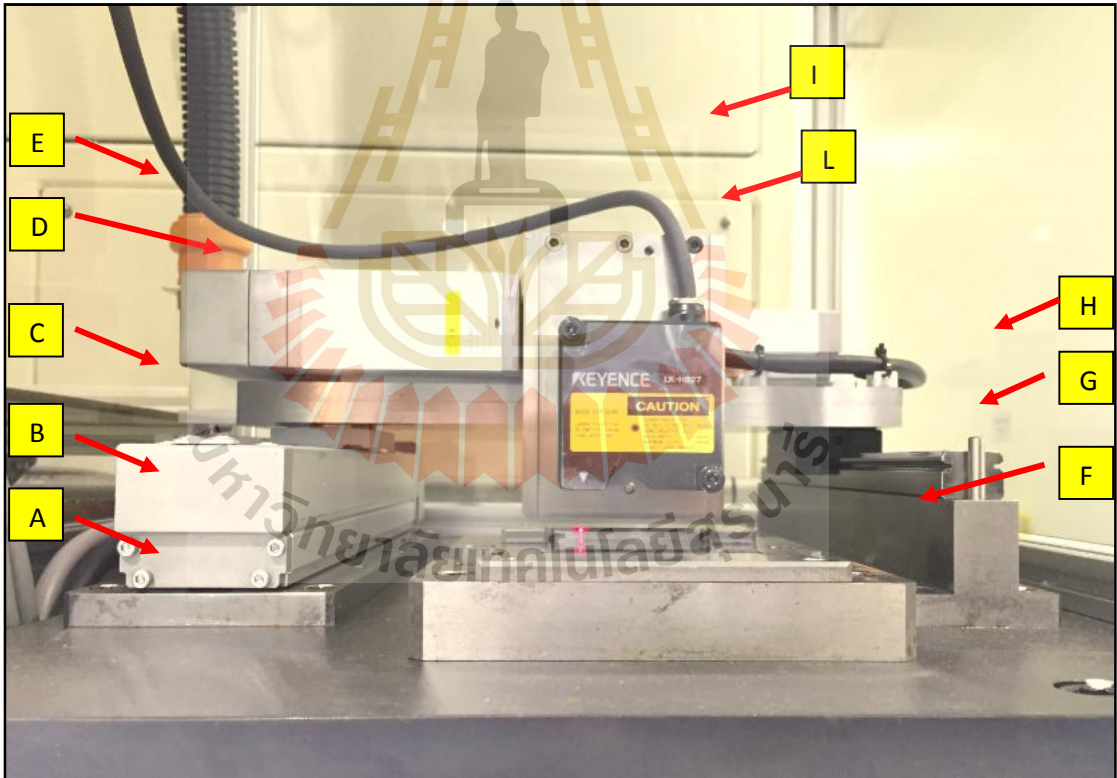


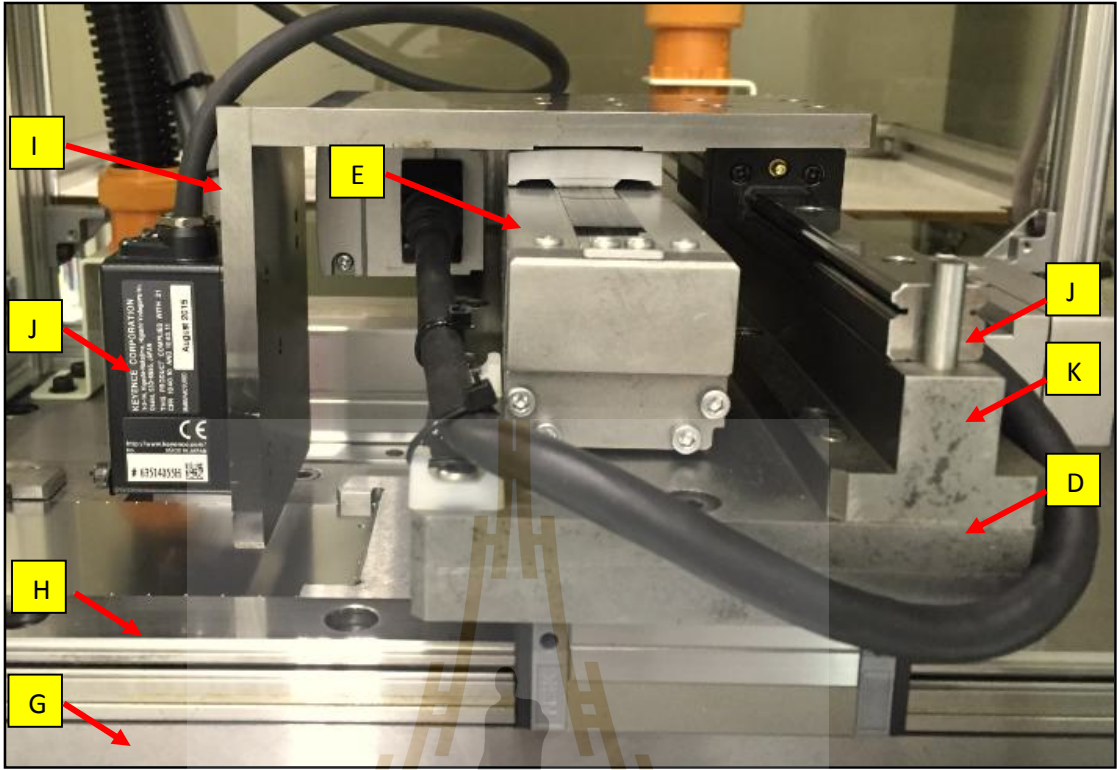
Part by Appraiser Plot (Stacked)



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี







No.	Description	Mean	Tolerance (mm.)
1	A	20	± 0.010
2	B	10	± 0.010
3	C	57	± 0.020

ตารางที่ 4.6 ค่า Tolerance ของเครื่องจักรต้นแบบ (ต่อ)

No.	Description	Mean	Tolerance (mm.)
4	D	18	± 0.010
5	E	48	± 0.020
6	F	20	± 0.010
7	G	39	± 0.010
8	H	28	± 0.010
9	I	8	± 0.010
10	J	24	± 0.010
11	K	24	± 0.010
12	L	-	± 0.005
Total		296	± 0.135
$RSS = \sqrt{T_1^2 + \frac{T_{Total}^2}{T^2} + \dots + T_n^2}$			0.04153

Equation RSS formula

$$RSS = \sqrt{T_1^2 + T_2^2 + \dots + T_n^2} \quad (4.14)$$

$$RSS = \sqrt{\frac{0.01^2 + 0.01^2 + 0.02^2 + 0.01^2 + 0.02^2 + 0.01^2 + 0.01^2 + 0.01^2 + 0.01^2 + 0.01^2 + 0.01^2 + 0.005^2}{0.01^2 + 0.01^2 + 0.01^2 + 0.01^2 + 0.01^2 + 0.005^2}}$$

$$RSS = \sqrt{\frac{0.0001 + 0.0001 + 0.0004 + 0.0001 + 0.0004 + 0.0001 + 0.0001 + 0.0001 + 0.0001 + 0.0001 + 0.0001 + 0.000025}{+0.0001 + 0.0001 + 0.0001 + 0.0001 + 0.0001 + 0.000025}}$$

$$RSS = 0.04153 \text{ mm.}$$

4.6 สรุปการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนสะสมเชิงตัวเลข (Arithmetic Stack)

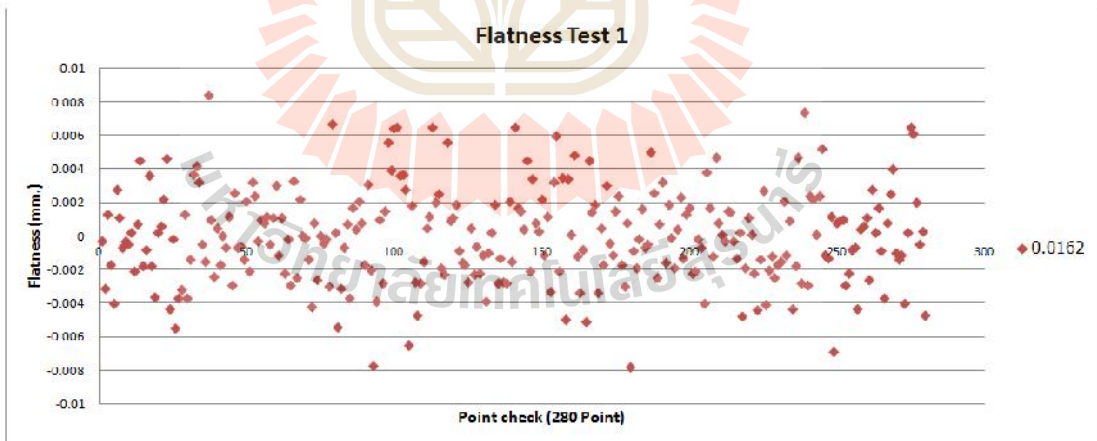
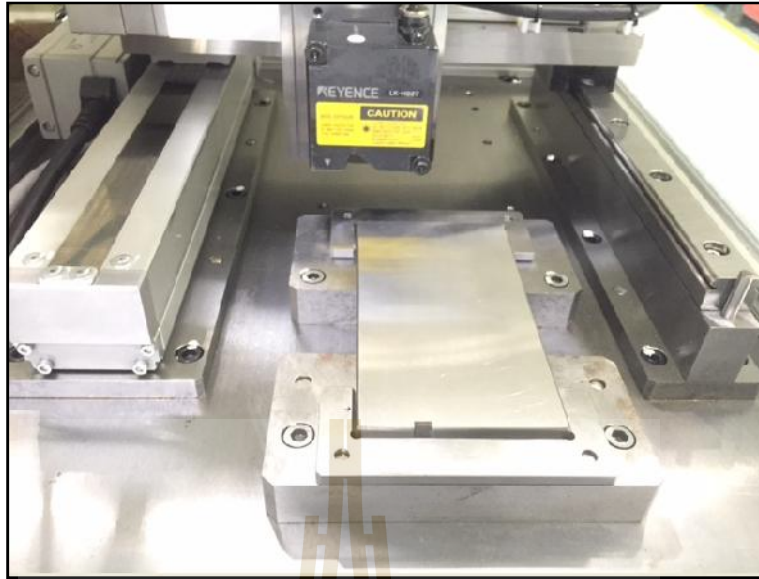
เมื่อวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนสะสมเชิงตัวเลข (Arithmetic Stack) จะคำนวณได้ 0.04153 mm. ดังนั้นขนาดความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดความราบรวมหลังจากการประกอบจะอยู่ระหว่าง 295.95847 ถึง 296.0415 mm. จึงสรุปได้ว่าค่า Tolerance ของเครื่องจักรต้นแบบมีค่าเท่ากับ 0.04153 mm.

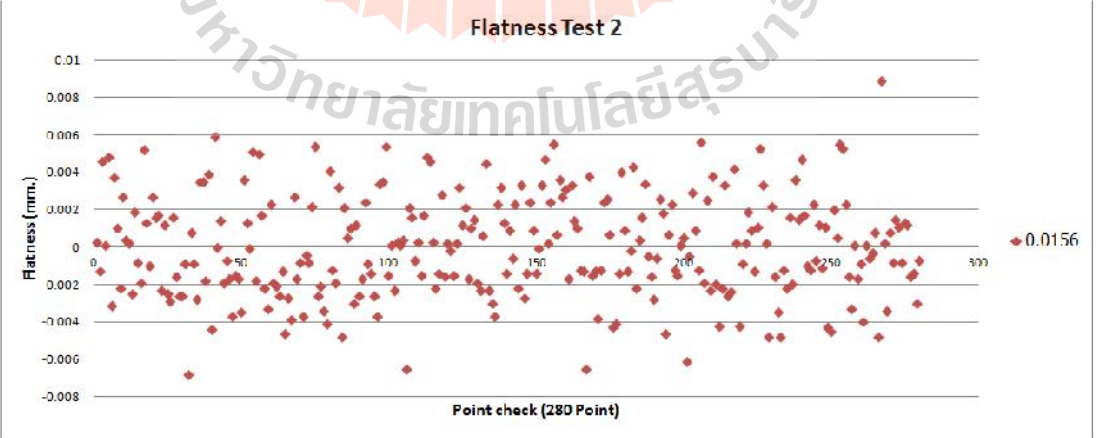
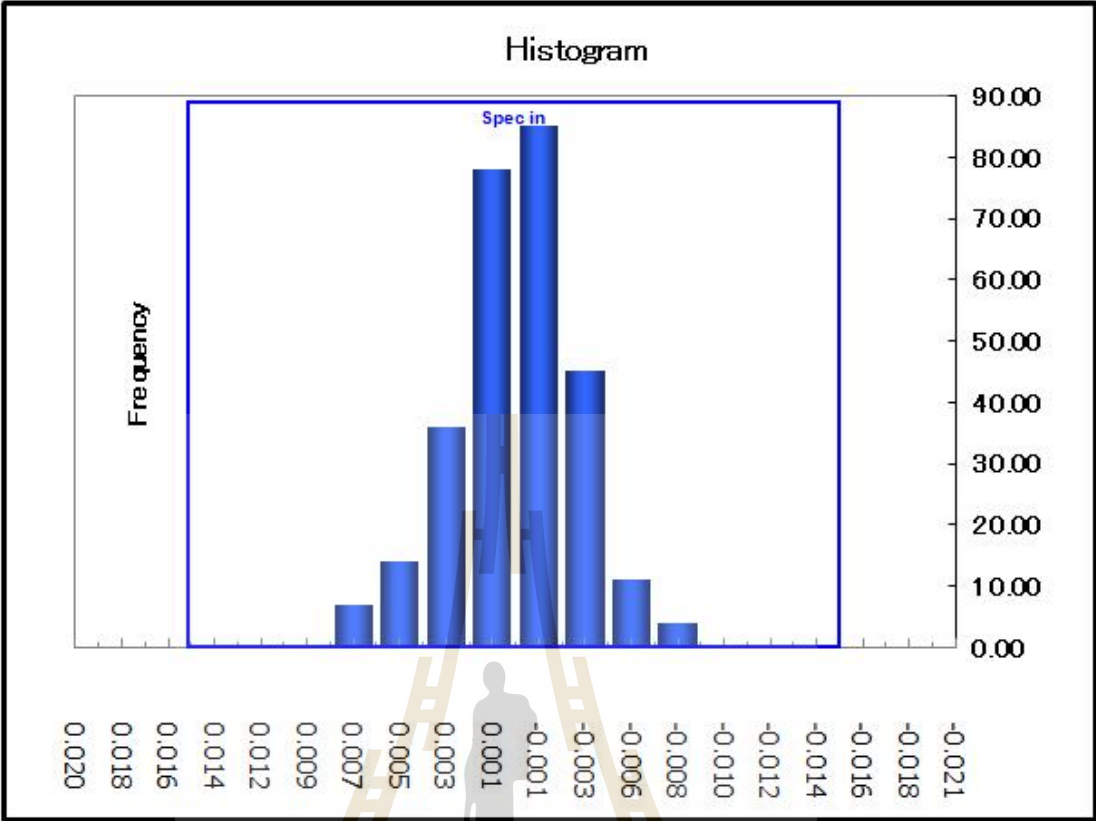
4.7 การวัดชิ้นงาน

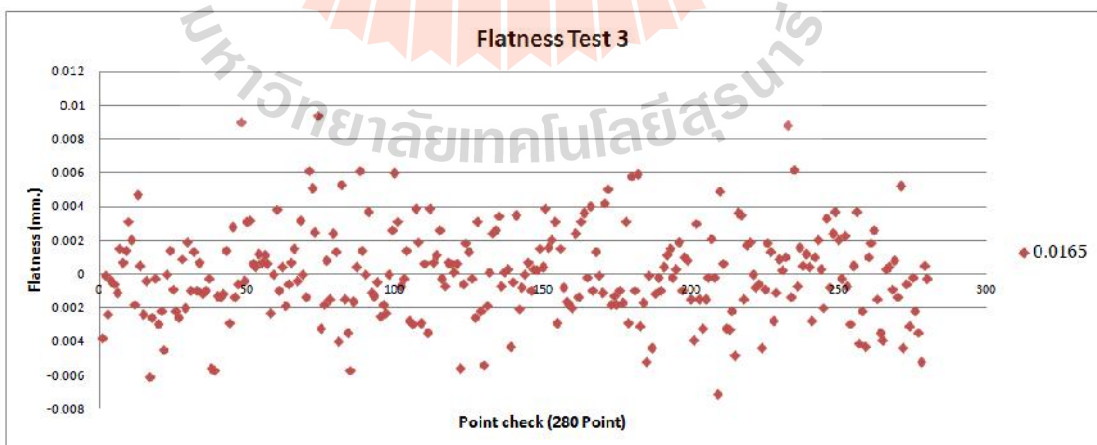
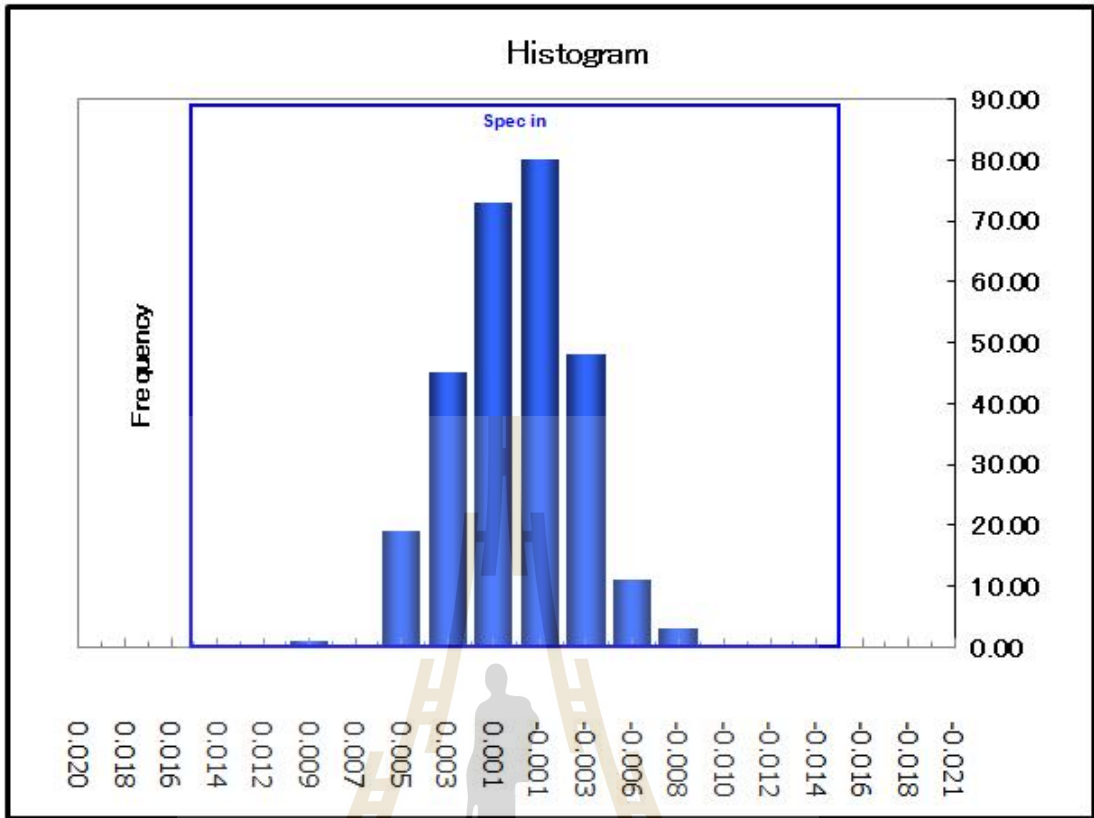
เครื่องวัดชิ้นงานมีพิทักแกน X ทั้งหมด 12 จุด มีพิทักแกน Y ทั้งหมด 24 จุด รวมทั้งชิ้นงาน 280 จุด โดยในการตรวจวัดชิ้นงานนั้นต้องมีชิ้นงาน Master หรือชิ้นงานอ้างอิง ฉะนั้นในการวัดซ้ำๆจะต้องมีชิ้นงานที่มีค่ามาตรฐานที่เชื่อถือได้ ในการทดลองนี้ใช้ Master 8 ± 0 มิลลิเมตร การทดลองนี้จะทำซ้ำ 10 รอบ เพื่อหาค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดและจะได้มาเปรียบเทียบกับระหว่างเครื่องจักรต้นแบบกับการวัดชิ้นงาน โดยมนุษย์ ว่าแบบใดที่มีความถูกต้องและแม่นยำที่สุด ผลการทดลองจะนำข้อมูลมานำเสนอในรูปแบบกราฟจุดเพื่อจะหากลุ่มของข้อมูลที่รวมกลุ่มและข้อมูลที่ออกนอกกลุ่มข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ เพื่อเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องจักร

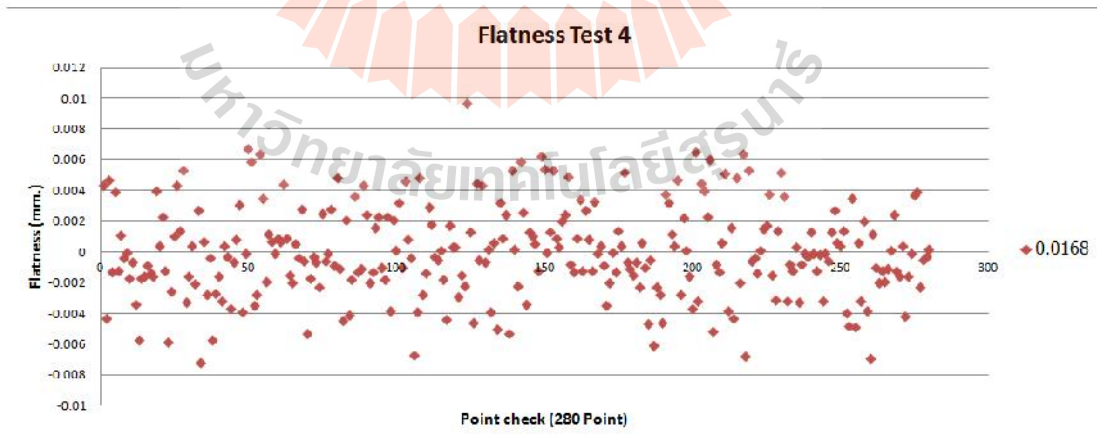
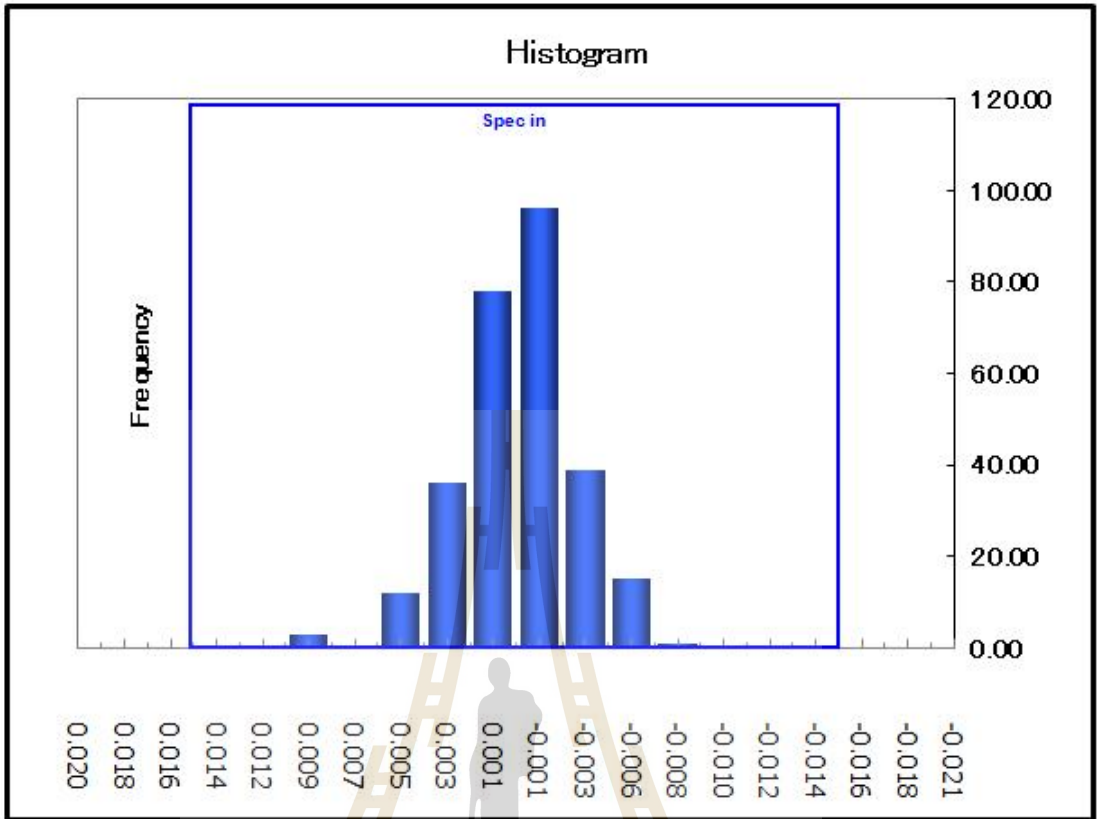
Position motor Axis - X (mm.)													Position motor Axis - Y (mm.)
60.50	55.46	50.42	45.38	40.34	35.29	30.25	25.21	20.17	15.13	10.08	5.04		
280	235	234	187	186	139	138	91	90	45	44	1	4.58	
279	236	233	188	185	140	137	92	89	46	43	2	9.17	
278	237	232	189	184	141	136	93	88	47	42	3	13.75	
277	238	231	190	183	142	135	94	87	48	41	4	18.33	
276	239	230	191	182	143	134	95	86	49	40	5	22.92	
275	240	229	192	181	144	133	96	85	50	39	6	27.50	
274	241	228	193	180	145	132	97	84	51	38	7	32.08	
273	242	227	194	179	146	131	98	83	52	37	8	36.66	
272	243	226	195	178	147	130	99	82	53	36	9	41.25	
271	244	225	196	177	148	129	100	81	54	35	10	45.83	
	245	224	197	176	149	128	101	80	55	34	11	50.41	
	246	223	198	175	150	127	102	79	56	33	12	55.00	
270	247	222	199	174	151	126	103	78	57	32	13	59.58	
269	248	221	200	173	152	125	104	77	58	31	14	64.16	
268	249	220	201	172	153	124	105	76	59	30	15	68.75	
267	250	219	202	171	154	123	106	75	60	29	16	73.33	
266	251	218	203	170	155	122	107	74	61	28	17	77.91	
265	252	217	204	169	156	121	108	73	62	27	18	82.49	
264	253	216	205	168	157	120	109	72	63	26	19	87.08	
263	254	215	206	167	158	119	110	71	64	25	20	91.66	
262	255	214	207	166	159	118	111	70	65	24	21	96.24	
261	256	213	208	165	160	117	112	69				100.83	
260	257	212	209	164	161	116	113	68				105.41	
259	258	211	210	163	162	115	114	67	66	23	22	109.99	

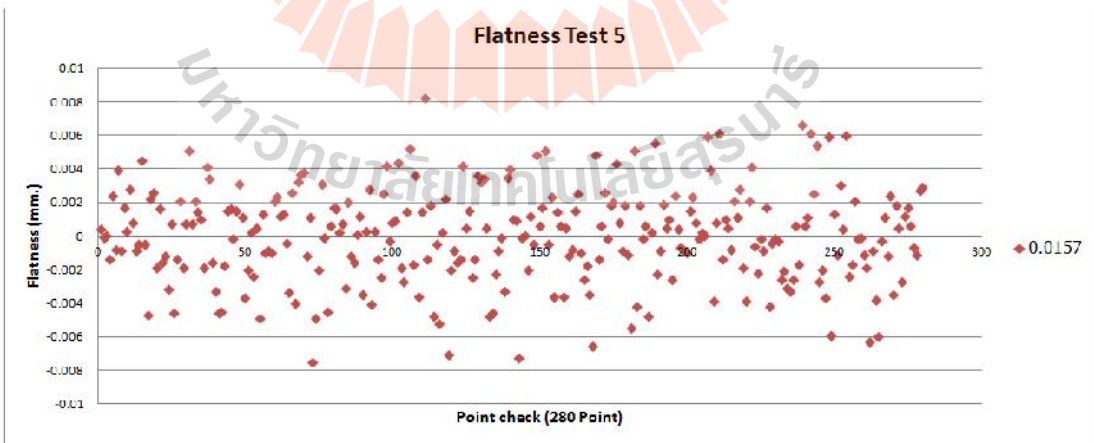
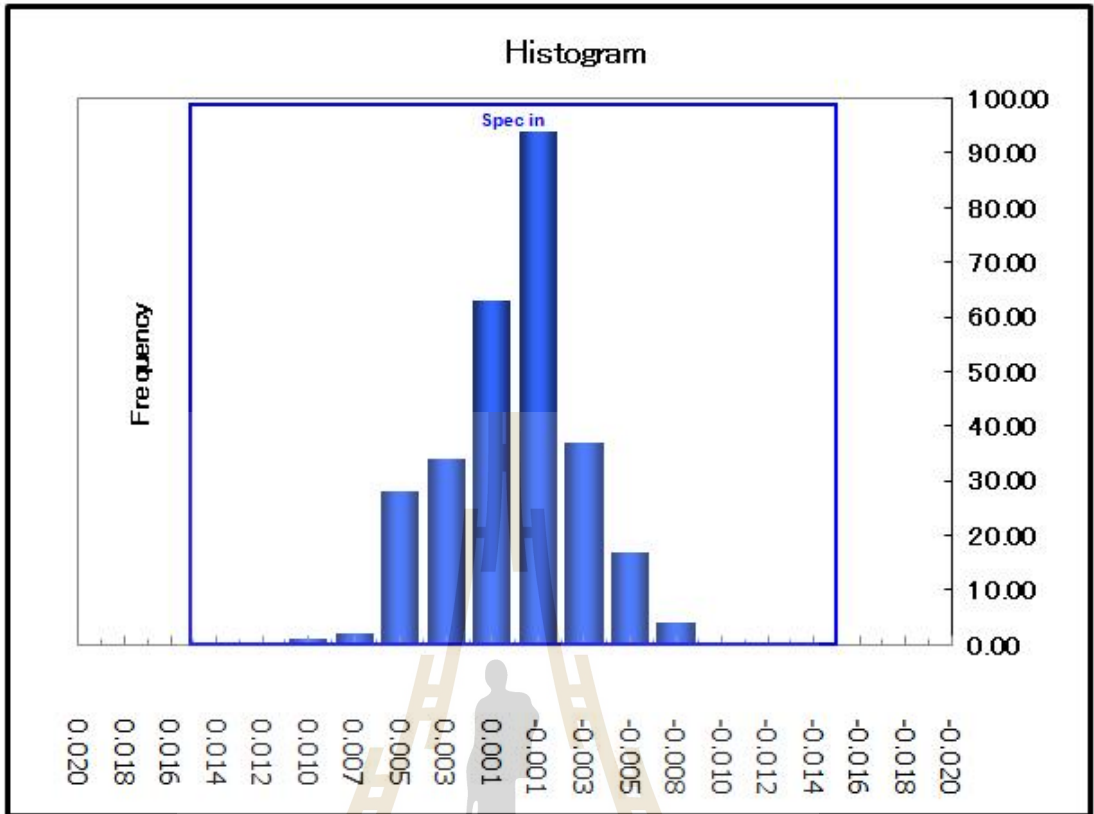
รูปที่ 4.9 ค่าพิทักของชิ้นงานและตำแหน่งมอเตอร์ตามแนวแกนของเครื่องจักรต้นแบบ

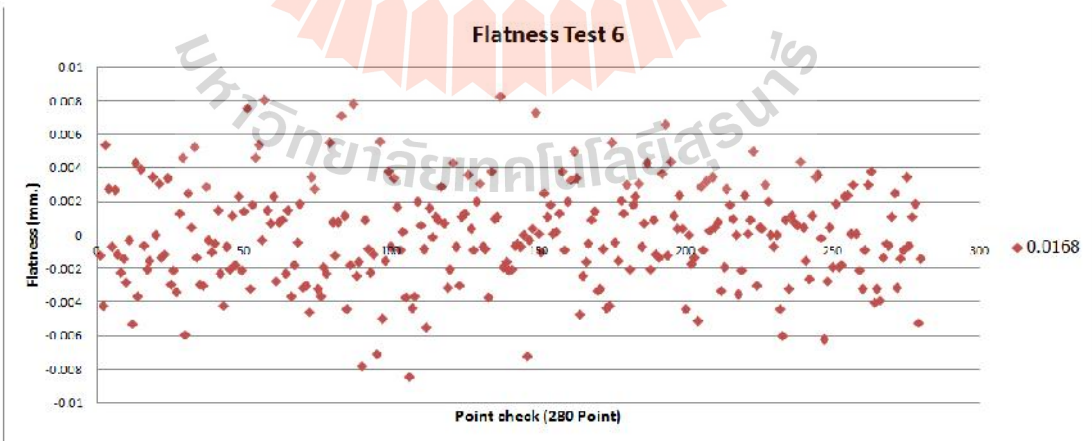
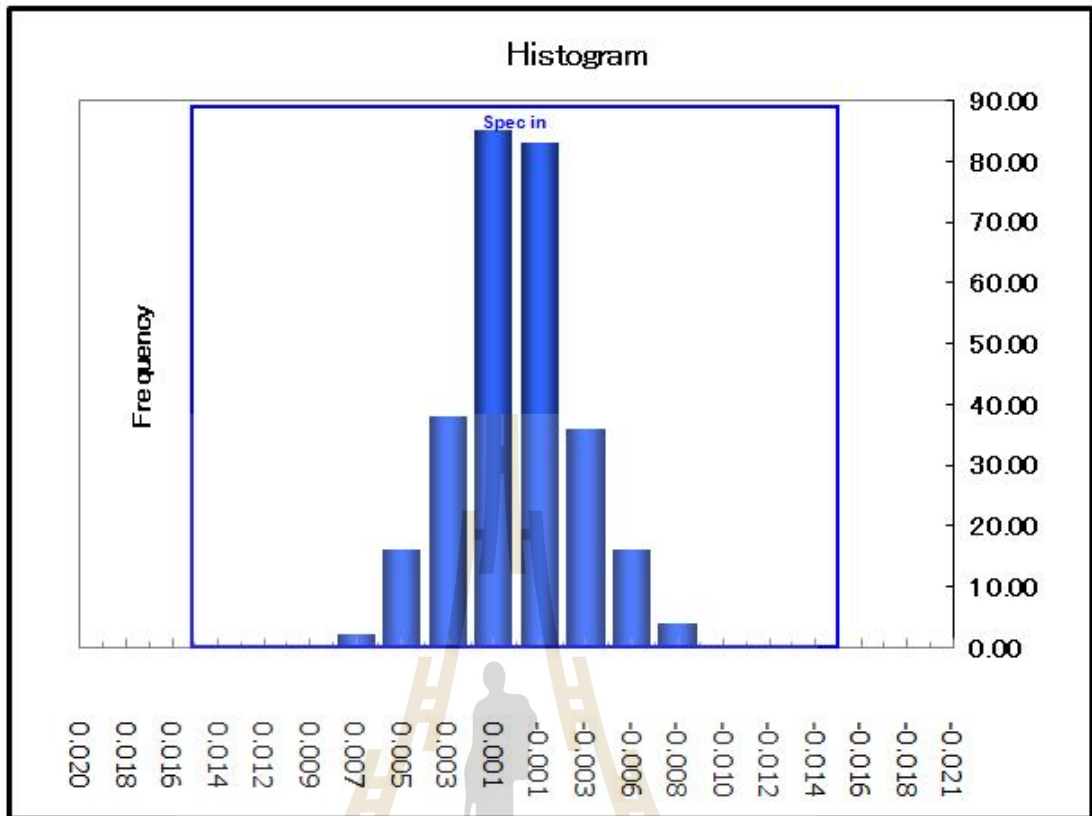


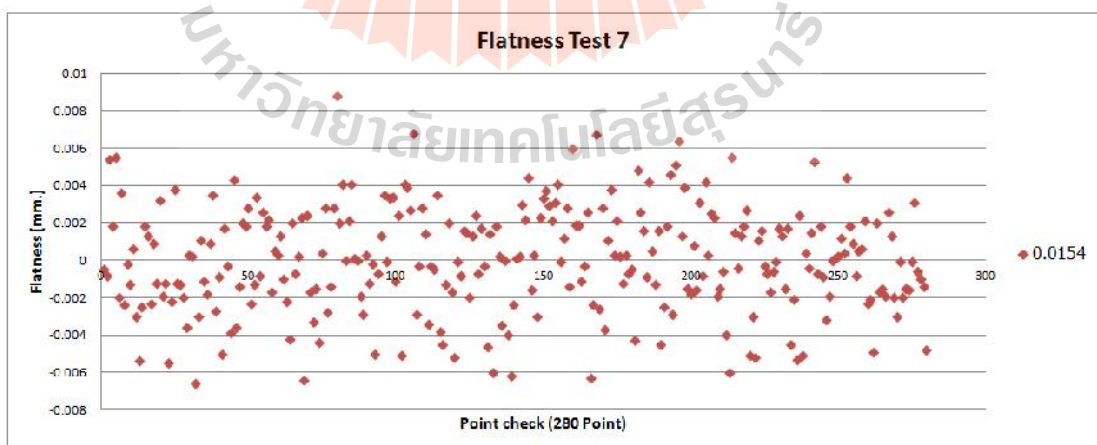
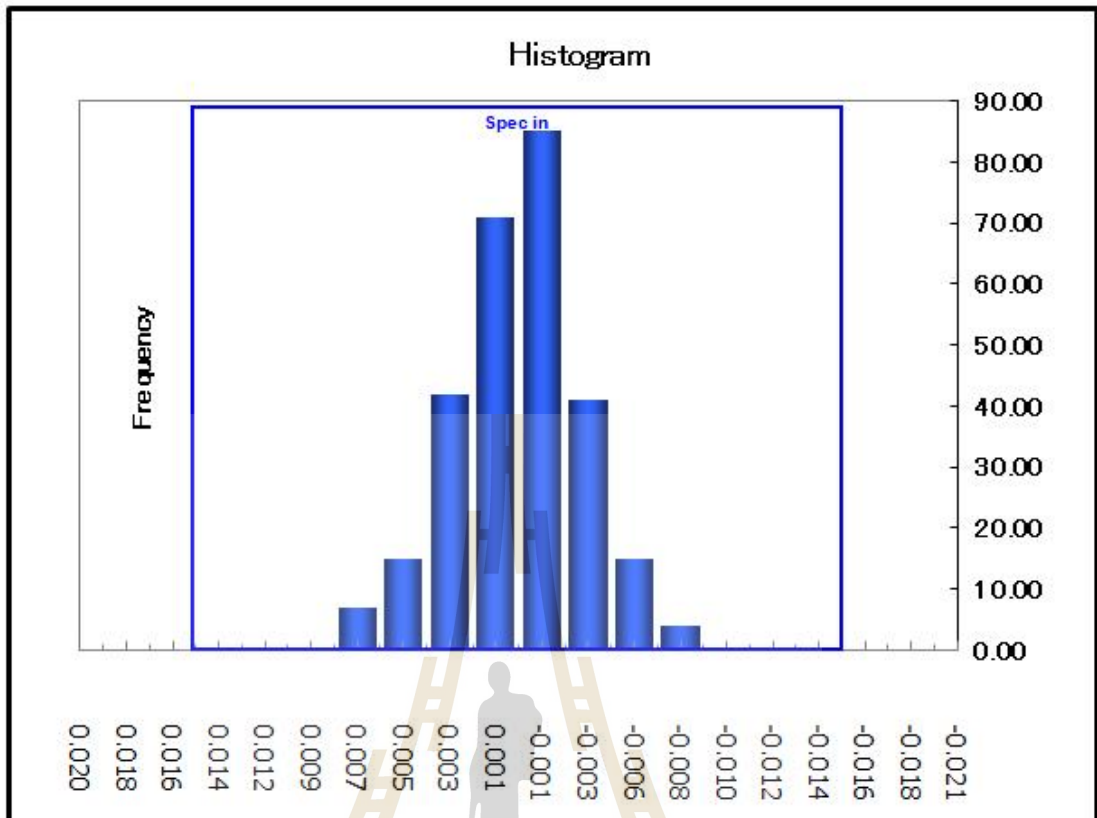


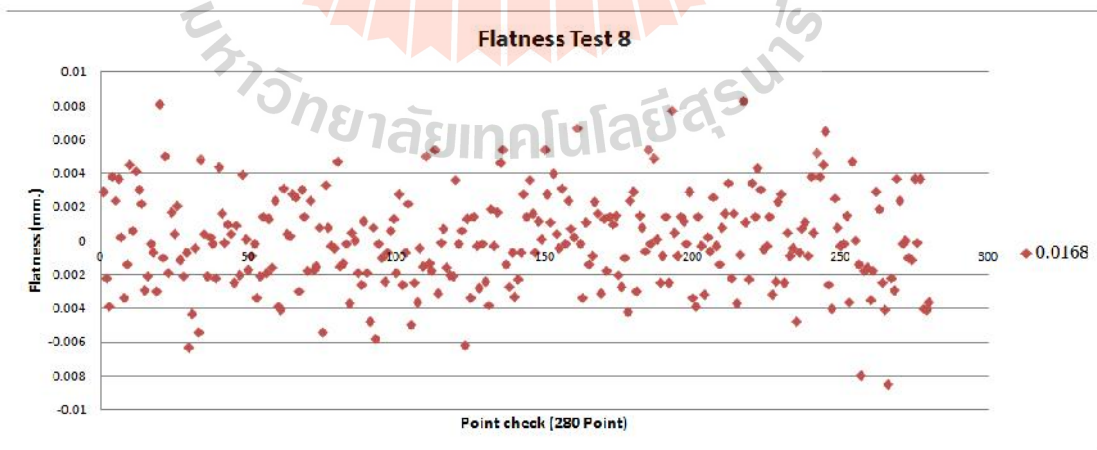
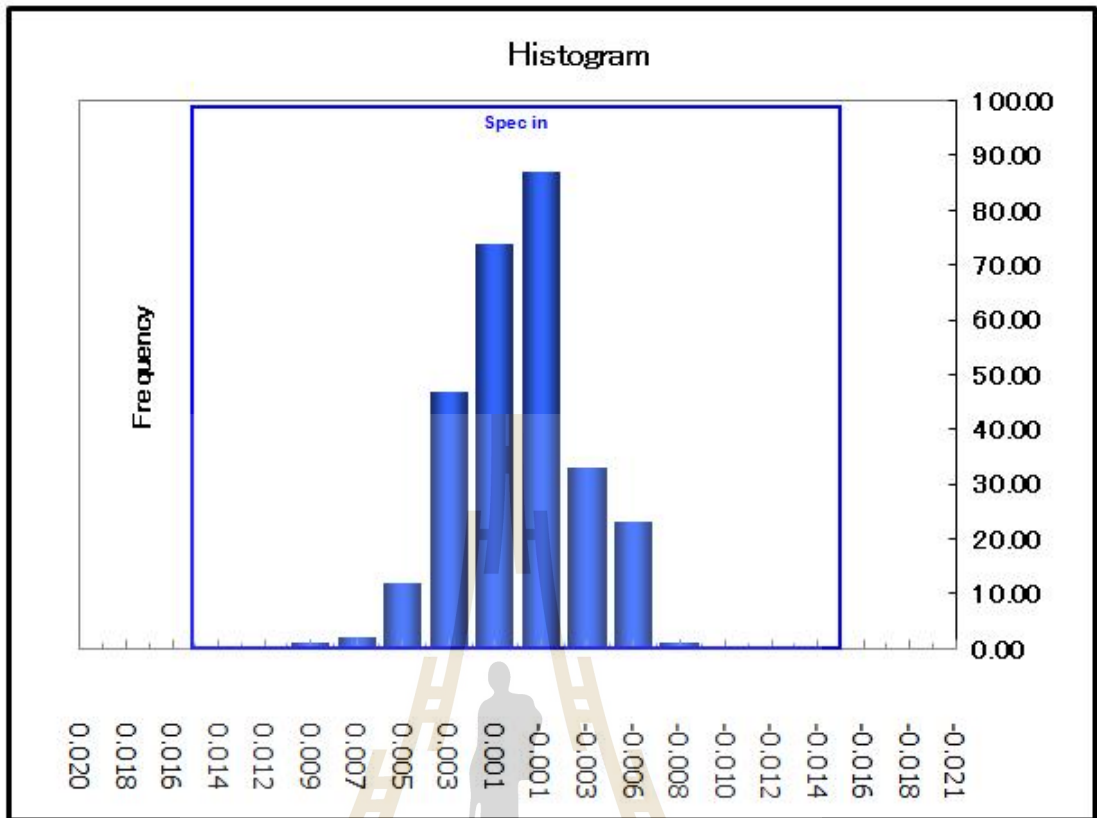


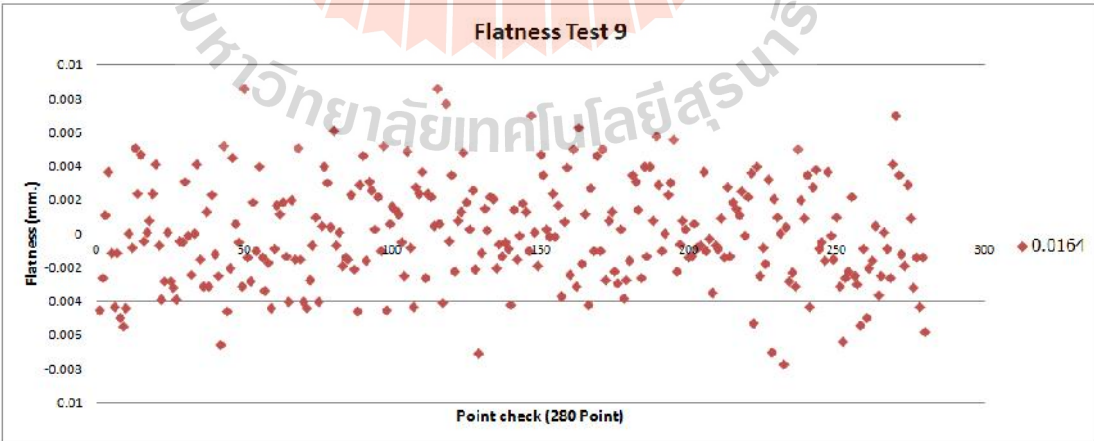
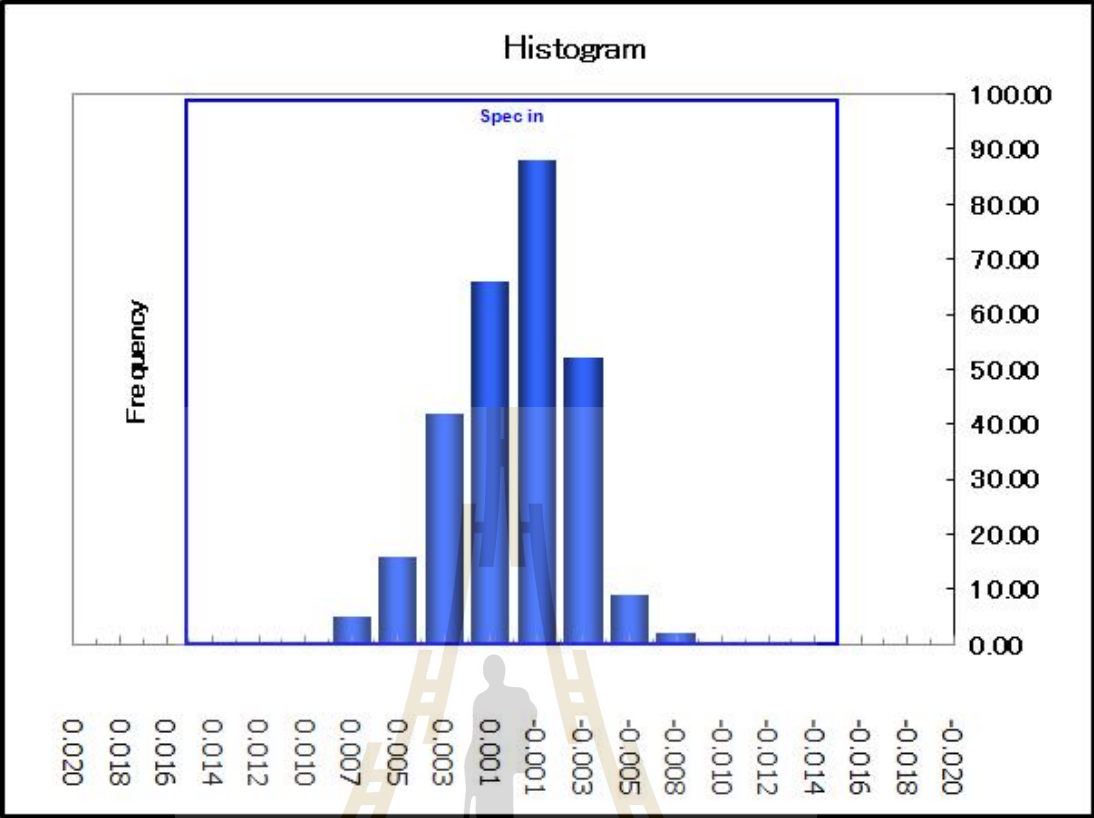


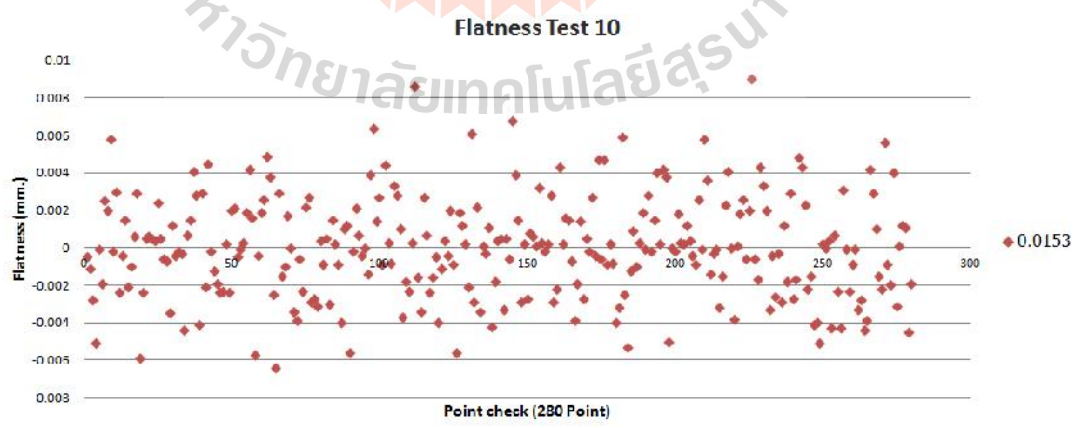
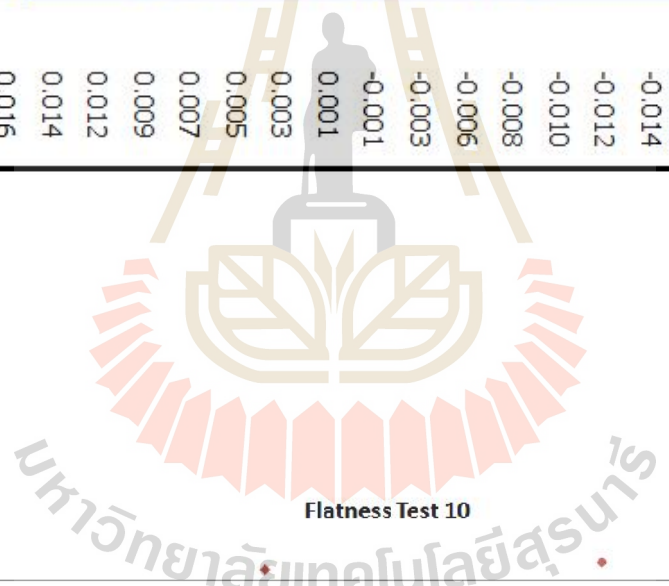
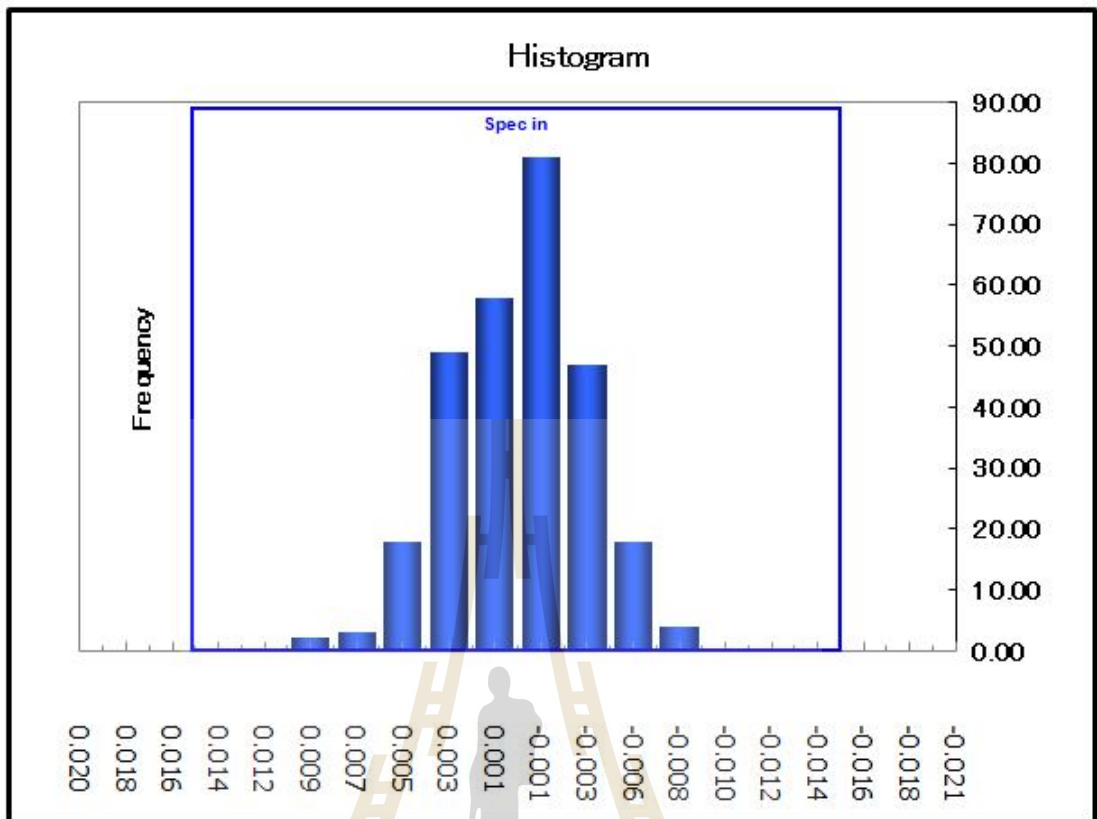


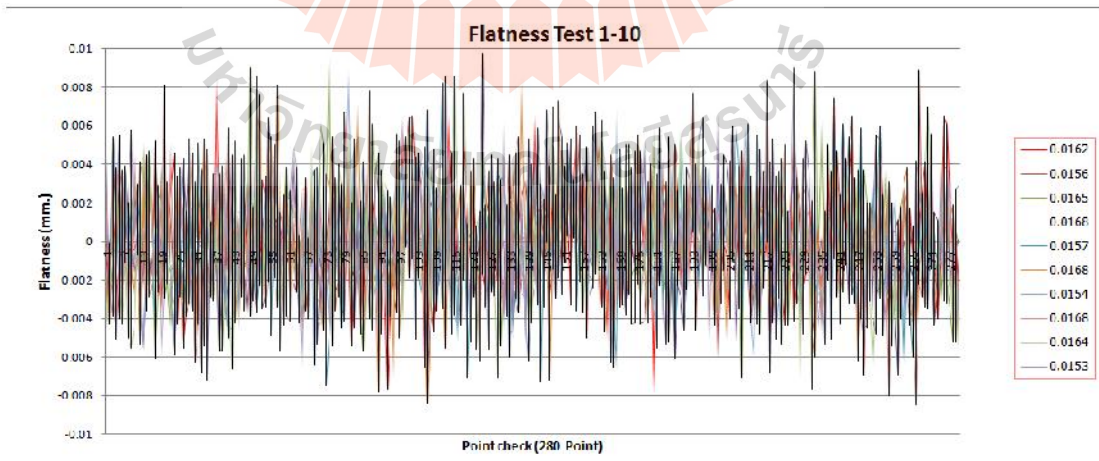
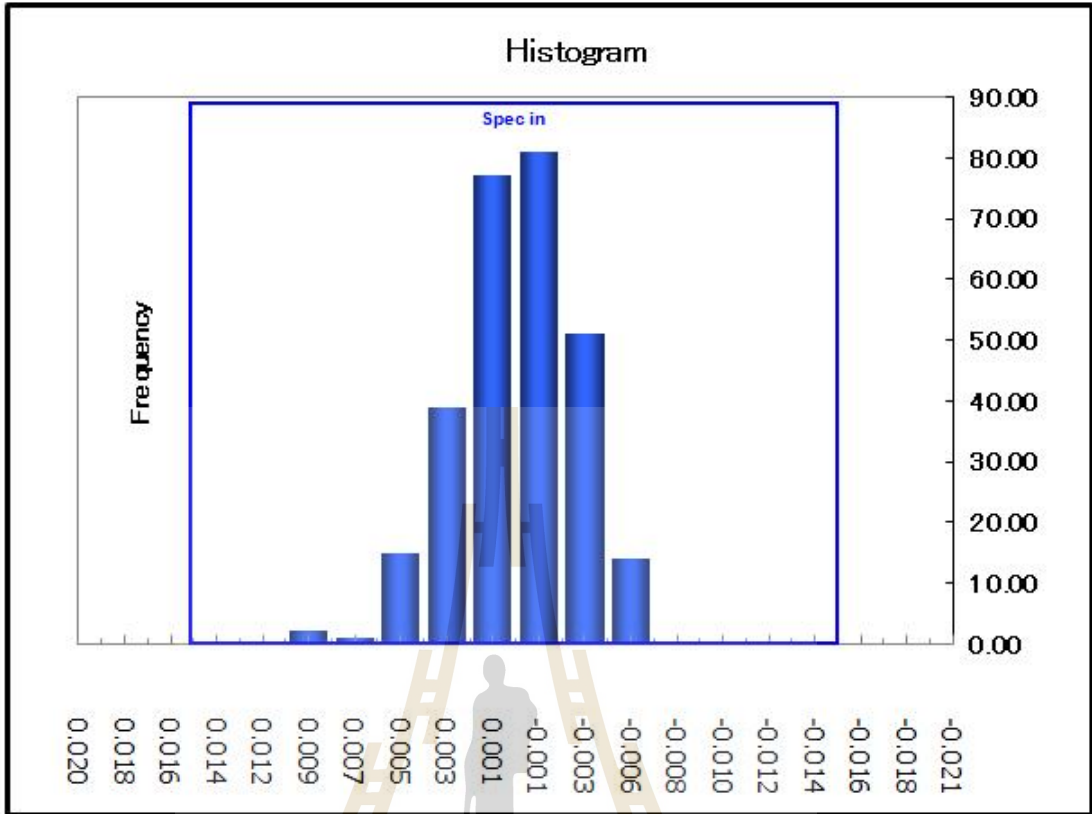






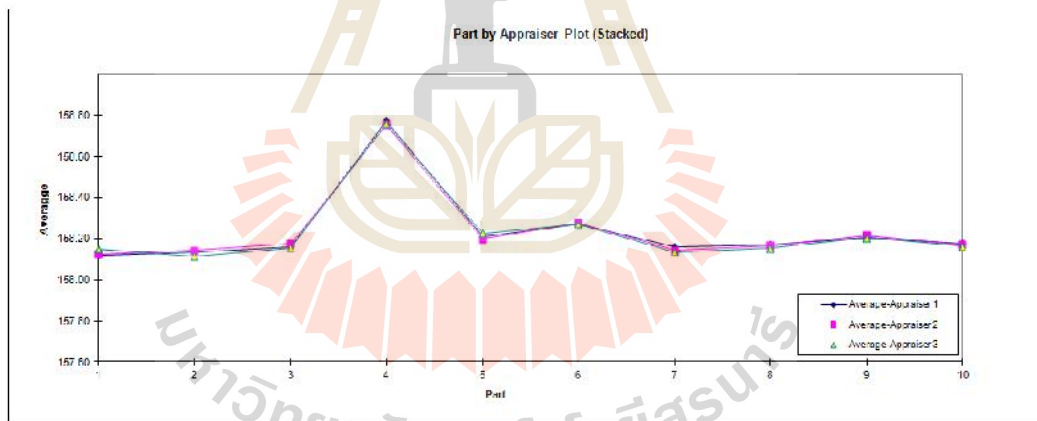
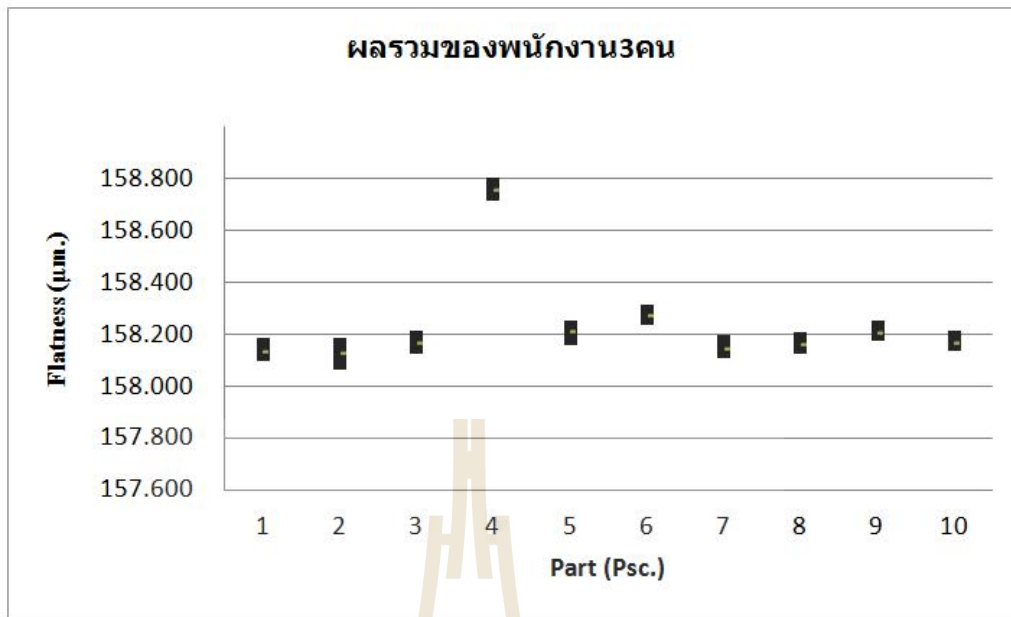






Appraiser		Part									
/ Trial #		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	1	158.110	158.150	158.140	158.780	158.190	158.280	158.170	158.180	158.210	158.190
	2	158.130	158.130	158.170	158.780	158.220	158.280	158.140	158.160	158.210	158.170
	3	158.120	158.130	158.170	158.760	158.220	158.260	158.170	158.170	158.200	158.170
B :	1	158.130	158.160	158.190	158.760	158.210	158.270	158.150	158.170	158.230	158.170
	2	158.120	158.120	158.160	158.760	158.210	158.270	158.140	158.180	158.210	158.170
	3	158.130	158.150	158.180	158.740	158.180	158.290	158.140	158.150	158.210	158.170
C	1	158.130	158.090	158.150	158.780	158.230	158.270	158.130	158.150	158.200	158.160
	2	158.160	158.130	158.150	158.750	158.220	158.280	158.140	158.150	158.210	158.170
	3	158.160	158.130	158.170	158.750	158.230	158.270	158.140	158.160	158.200	158.160

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



Average of parts ที่มีความ

$$\bar{\bar{R}} = \frac{\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C}{N}$$

\bar{R}_A
 \bar{R}_B
 \bar{R}_C

N คือ จำนวนทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง เท่ากับ 3 ตัวอย่าง
 \bar{R} คือ ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่าง เท่ากับ 0.0203 มิลลิเมตร

$$\bar{R} = \frac{0.0220+0.0210+0.0180}{3} = 0.0203 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$\bar{X}_{DIFF} = \bar{X}_{APP MAX} - \bar{X}_{APP Min} \quad (4.2)$$

โดยที่

$\bar{X}_{APP MAX}$ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่างที่ค่ามากที่สุดเท่ากับ
 158.2387 มิลลิเมตร

$\bar{X}_{APP Min}$ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ
 158.2340 มิลลิเมตร

\bar{X}_{DIFF} คือ ผลต่างของค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.0047 มิลลิเมตร

$$\bar{X}_{DIFF} = 158.2387 - 158.2340 = 0.0047 \text{ มิลลิเมตร}$$

$$R_p = \bar{X}_{PartMax} - \bar{X}_{PartMin} \quad (4.3)$$

โดยที่

R_p คือ ค่าพิสัยเท่ากับ 0.630 มิลลิเมตร

$\bar{X}_{PartMax}$ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของชิ้นงานที่ค่ามากที่สุดเท่ากับ 158.762 มิลลิเมตร

$\bar{X}_{PartMin}$ คือ ค่าเฉลี่ยรวมของชิ้นงานที่ค่าน้อยที่สุด เท่ากับ 158.132 มิลลิเมตร

$$R_p = 158.762 - 158.132 = 0.630 \text{ มิลลิเมตร}$$

ความแปรผันของอุปกรณ์การวัด Equipment variation (EV)

เป็นมาตรการรูปแบบหนึ่งที่ ผู้ประเมิน เมื่อวัดชิ้นงานชิ้นเดียวกัน (และลักษณะเดียวกัน) โดยใช้ Gage เดียวกันมากกว่าหนึ่งครั้ง

$$EV = \bar{R} K_1 \quad (4.4)$$

โดยที่

EV	คือ ความแปรผันของอุปกรณ์การวัด เท่ากับ 0.0120 มิลลิเมตร
$K1$	คือ เป็นค่าจากตาราง สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.5908 มิลลิเมตร
\bar{K}	คือ ค่าเฉลี่ยรวมของกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 0.020 มิลลิเมตร

ที่ $K1$ เป็นค่าคงที่ขึ้นอยู่กับจำนวนของการทดลอง

ตารางที่ 4.8 ค่าจากตาราง $K1$ สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์

Trials	$K1$
2	0.8862
3	0.5908

$$EV = 0.020 \times 0.5908 = 0.0120 \text{ มิลลิเมตร}$$

ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล Appraiser variation (AV)

เป็นการประเมินที่มีค่าเฉลี่ยของการวัดที่แตกต่างกัน เมื่อบุคคลวัดงานลักษณะเดียวกันใน ส่วนเดียวกัน

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} K_2)^2 - \frac{EV^2}{nr}} \quad (4.5)$$

โดยที่

AV	คือ ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล เท่ากับ 0.0011 มิลลิเมตร
\bar{X}_{DIFF}	คือ ผลต่างของค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.005 มิลลิเมตร
EV	คือ ความแปรผันของอุปกรณ์การวัด เท่ากับ 0.0120 มิลลิเมตร
$K2$	คือ เป็นค่าจากตาราง สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.5231
n	คือ จำนวนทั้งหมดของกลุ่มตัวอย่าง เท่ากับ 10
r	คือ จำนวนการทำซ้ำกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 3

$$AV = \sqrt{(0.005 \times 0.5231)^2 - \frac{0.0120^2}{10 \times 3}} = 0.0011 \text{ มิลลิเมตร}$$

การทำซ้ำและการวัดซ้ำ Repeatability and reproducibility (GRR)

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} \quad (4.6)$$

โดยที่

- GRR* คือ การทำซ้ำและการวัดซ้ำ เท่ากับ 0.00121 มิลลิเมตร
EV คือ ความแปรผันของอุปกรณ์การวัด เท่ากับ 0.0120 มิลลิเมตร
AV คือ ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคลเท่ากับ 0.0011 มิลลิเมตร

$$GRR = \sqrt{0.0120^2 + 0.0011^2} = 0.0121 \text{ มิลลิเมตร}$$

การเปลี่ยนแปลงของชิ้นงาน Part variation (PV)

รูปแบบส่วนหนึ่งจะถูกกำหนดโดยการคูณช่วงของค่าเฉลี่ยส่วน (R_p) โดย K3 คงที่

ขึ้นอยู่กับจำนวนของชิ้นงาน

$$PV = (R_p) (K_3) \quad (4.7)$$

- โดยที่ *PV* คือ ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคลเท่ากับ 0.1982 มิลลิเมตร
R_p คือ ค่าพิสัยเท่ากับ 0.630 มิลลิเมตร
K₃ คือ เป็นค่าจากตาราง สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.3146 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.9 ค่าจากตาราง K3 สัมประสิทธิ์ สหสัมพันธ์

Parts	K3
2	0.7071
3	0.5231
4	0.4467
5	0.4030
6	0.3742
7	0.3534
8	0.3375
9	0.3249
10	0.3146

$$PV = (0.630)(0.3146) = 0.1982$$

ผลรวมการแปรผันของกระบวนการ Total variation (TV)

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} \quad (4.8)$$

โดยที่	<i>TV</i>	คือ ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคลเท่ากับ 0.1986 มิลลิเมตร
	<i>GRR</i>	คือ การทำซ้ำและการวัดซ้ำ เท่ากับ 0.0121 มิลลิเมตร
	<i>PV</i>	คือ ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคลเท่ากับ 0.1982 มิลลิเมตร

เปอร์เซ็นต์รวมการแปรผันของกระบวนการ % Total variation (TV)

$$TV = \sqrt{0.0121^2 + 0.1982^2} = 0.1986 \text{ มิลลิเมตร}$$

เปอร์เซ็นต์ความแปรผันของอุปกรณ์การวัด

$$\%EV = 100(EV/TV) \quad (4.9)$$

$$\%EV = 100 (0.0120 / 0.1986) = 6.05 \%$$

เปอร์เซ็นต์ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล

$$\%AV = 100(AV/TV) \quad (4.10)$$

$$\%AV = 100 (0.0011 / 0.1986) = 0.54 \%$$

เปอร์เซ็นต์การทำซ้ำและการวัดซ้ำ

$$\%GRR = 100(GRR/TV) \quad (4.11)$$

$$\%GRR = 100 (0.0121 / 0.1986) = 6.07 \%$$

เปอร์เซ็นต์ประเมินการเปลี่ยนแปลงของบุคคล

$$\%PV = 100(PV/TV) \quad (4.12)$$

$$\%PV = 100 (0.1982 / 0.1986) = 99.82 \%$$

เปอร์เซ็นต์ความสามารถแยกแยะความแตกต่างของชิ้นงาน (Number of district categories)

$$NDC = 1.41 (PV / GRR) \quad (4.13)$$

$$NDC = 1.41 (0.198 / 0.0121) = 23.17$$

ตารางที่ 4.10 สรุปสูตรในการคำนวณ

	สรุปสูตรในการคำนวณ	ผลที่ได้จากการคำนวณ
1.	$\bar{R} = \frac{\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C}{N}$	$\frac{0.0220 + 0.0210 + 0.0180}{3} = 0.0203$
2.	$\bar{X}_{DIFF} = \bar{X}_{APP MAX} - \bar{X}_{APP Min}$	$158.2387 - 158.2340 = 0.0047$
3.	$\bar{R}_p = \bar{X}_{PartMax} - \bar{X}_{PartMin}$	$158.762 - 158.132 = 0.630$
4.	$EV = \bar{R}_p \cdot K_1$	$0.020 \times 0.5908 = 0.0120$
5.	$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} \cdot K_2)^2 - \frac{EV^2}{nr}}$	$\sqrt{(0.005 \times 0.5 \times 231)^2 - \frac{0.0120^2}{10 \times 3}} = 0.0011$
6.	$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2}$	$\sqrt{0.0120^2 + 0.0011^2} = 0.0121$
7.	$PV = \frac{GRR}{(R_p) \cdot K_3}$	$(0.630) \cdot (0.3146) = 0.1982$
8.	$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2}$	$\sqrt{0.0121^2 + 0.1982^2} = 0.1986$
9.	$\%EV = 100(EV/TV)$	$100 (0.0120 / 0.1986) = 6.05 \%$
10.	$\%AV = 100(AV/TV)$	$100 (0.0011 / 0.1986) = 0.54 \%$
11.	$\%GRR = 100(GRR/TV)$	$100 (0.0121 / 0.1986) = 6.07 \%$
12.	$\%PV = 100(PV/TV)$	$100 (0.1982 / 0.1986) = 99.82 \%$
13.	$NDC = 1.41 (PV / GRR)$	$1.41 (0.198 / 0.0121) = 23.17$

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบค่าการทดลองของการคำนวณ

สูตรในการคำนวณ	ผลที่ได้จากการคำนวณ (ก่อน)	ผลที่ได้จากการคำนวณ (หลัง)
$\bar{R} = \frac{\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C}{N}$	$\frac{0.148 + 0.119 + 0.094}{3} = 0.1203$	$\frac{0.0220 + 0.0210 + 0.0180}{3} = 0.0203$
$\bar{X}_{DIFF} = \bar{X}_{APP MAX} - \bar{X}_{APP Min}$	$158.3197 - 158.2517 = 0.0680$	$158.2387 - 158.2340 = 0.0047$
$\bar{X}_{DIFF} = \bar{X}_{APP MAX} - \bar{X}_{APP Min}$ 158.3 $\bar{R}_p = \bar{X}_{PartMax} - \bar{X}_{PartMin}$ 158.7	$158.716 - 158.153 = 0.5622$	$158.762 - 158.132 = 0.630$
$EV = \frac{R \cdot TV}{K1}$	$0.120 \cdot \frac{197}{16} = 0.0711$	$0.020 \cdot 0.5908 = 0.0120$
$EV = \frac{R \cdot TV}{K1}$	$0.1 \cdot \frac{.5908}{.5} = 0.11816$	$0.0 \cdot \frac{.5908}{.5} = 0.011816$
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} / K2)^2 - \frac{EV^2}{TV}}$	$\sqrt{(0.068 / 0.5)^2 - \frac{0.0711^2}{10 \cdot 3}} = 0.0331$	$\sqrt{(0.005 / 0.5)^2 - \frac{0.011816^2}{10 \cdot 3}} = 0.0011$
$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} / K2)^2 - \frac{EV^2}{TV}}$	$\sqrt{0.0711^2 + 0.0331^2} = 0.0784$	$\sqrt{0.0120^2 + 0.0011^2} = 0.0121$
$GRR = \sqrt{\frac{EV^2}{TV} + AV^2}$	$(0.562) (0.3146) = 0.1769$	$(0.630) (0.3146) = 0.1982$
$PV = \frac{EV}{(R \cdot K3)}$ $= \sqrt{G^2 + AV^2}$	$\sqrt{0.0784^2 + 0.1769^2} = 0.1935$	$\sqrt{0.0121^2 + 0.1982^2} = 0.1986$
%EV = 100(EV/TV)	$100 (0.0711 / 0.1935) = 36.74\%$	$100 (0.0120 / 0.1986) = 6.05 \%$
% AV = 100(AV/TV)	$100 (0.0331 / 0.1935) = 17.12\%$	$100 (0.0011 / 0.1986) = 0.54 \%$
%GRR = 100(GRR/TV)	$100 (0.0784 / 0.1935) = 40.53\%$	$100 (0.0121 / 0.1986) = 6.07 \%$
%PV = 100(PV/TV)	$100 (0.1769 / 0.1935) = 91.42\%$	$100 (0.1982 / 0.1986) = 99.82 \%$
NDC = 1.41 (PV / GRR)	$1.41 (0.177 / 0.0784) = 3.18$	$1.41 (0.198 / 0.0121) = 23.17$

4.11 สรุป

การทำงานของเครื่องวัดความราบในภาคทฤษฎีได้คำนวณ ค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.04153 มิลลิเมตรแต่ในทางปฏิบัติวัดผลการทดลองที่เฉลี่ย ออกมานั้นมีค่าอยู่ที่ 0.0323 มิลลิเมตร ซึ่งผลที่ออกมานั้น น้อยกว่าค่าที่คำนวณไว้อยู่ที่ 9.23 ไมโครเมตร จากการคำนวณเพื่อเปรียบเทียบกัน ระหว่างชิ้นงานที่ถูกวัดค่าด้วยมนุษย์และเครื่องวัดความราบของชิ้นงานจึงได้ข้อสรุปว่า เปอร์เซ็นการตรวจวัดซ้ำของเครื่องจักรนั้นมีค่าที่ยอมรับได้ที่น้อยกว่า 10% ค่าอยู่ที่ 6.07% ในขณะที่มนุษย์นั้นมีค่าอยู่ที่ 40.53% ซึ่งค่าที่ได้ไม่ได้ค่าตามมาตรฐานของการวัดซ้ำ จึงถือได้ว่าเครื่องวัดความราบ นี้ เชื่อถือได้และสามารถวัดความราบของชิ้นงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ การตอบสนองการทำงานที่รวดเร็วต่อการทำงานของระบบ

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

งานวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอ การออกแบบและการสร้างต้นแบบอุปกรณ์วัดความราบโดยใช้หุ่นยนต์ 2 แกน เพื่อออกแบบตัวควบคุมของระบบคอนโทรล PLC ร่วมกับหน้าจอ Touch Screen สั่งการให้ Controller Robot เพื่อให้ Laser เคลื่อนที่ โดยเดินตามแกน X แกน Y และเก็บค่าเฉลี่ยทั้งตัวงานนำมาแสดงผลที่หน้าจอ Touch screen ซึ่งค่าการวัดความเรียบที่ได้จากการทดลองนั้นสามารถวัดงานได้อย่างแม่นยำโดยใช้ระบบปรับแต่ง PLC ให้สามารถเชื่อมงานตามที่กำหนดจุดเช็คได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อควบคุม Servo motor ได้ทั้งนี้สามารถสรุปผลงานวิจัยแต่ละขั้นตอนการศึกษาได้ดังนี้

1. ทำการศึกษาและออกแบบโครงสร้างหลักของตัวขับเคลื่อนโดยใช้โปรแกรม Solidwork เพื่อจะได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดของขั้นตอนการประกอบโดยใช้การวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนสะสมเชิงตัวเลข (Arithmetic Tolerance Stack Up Analysis) จะได้ผลลัพธ์ของขนาดและค่าความคลาดเคลื่อนเป็นขอบเขตที่ถูกต้อง 100% โดยมีการใช้วิธีการของการหาค่า Root of Sum of Square (RSS)

2. นำกระบวนการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis; MSA) จุดประสงค์สำคัญของการวิเคราะห์ระบบการวัดคือการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัดออกเป็นแหล่งๆต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. ออกแบบตัวควบคุมเพื่อควบคุมระบบของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง โดยเลือกใช้ตัวควบคุมระบบ PLC ด้วย Ladder diagram เพื่อควบคุม Servo motor ให้การทำงานของมอเตอร์ ความคุมการเดินของหัววัด Laser Displacement Sensor ทั้ง 2 แกน

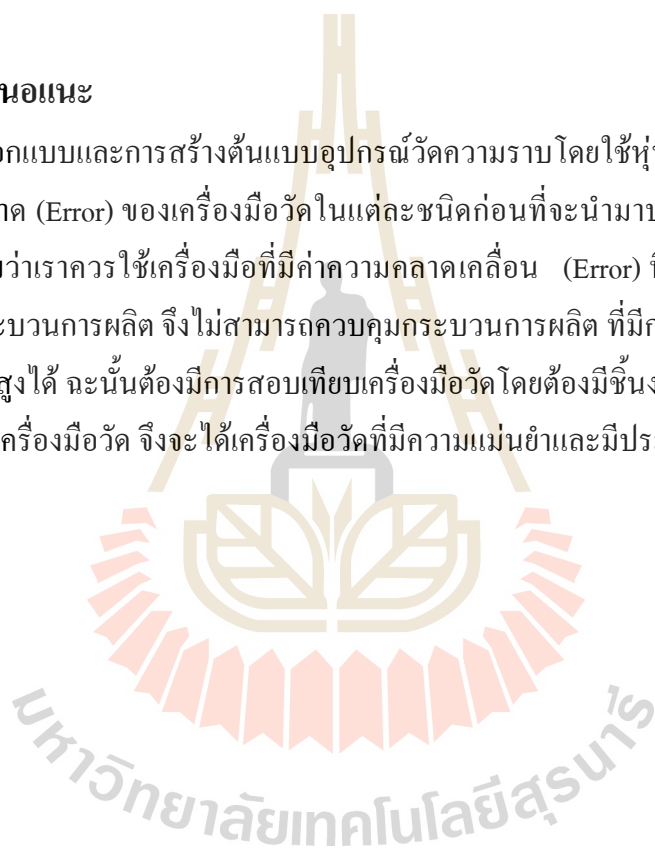
4. ทำการทดลองเพื่อมาเปรียบเทียบความสามารถระหว่างการวัดค่าความราบของมนุษย์กับเครื่องจักรต้นแบบที่ใช้วัดความราบได้ผลดังนี้คือ เครื่องจักรมีความสามารถวัดงานที่มีความละเอียดสูงกว่ามนุษย์หลายเท่าโดยการคำนวณเป็นไปในแนวทางที่คำนวณค่าไว้

ผลการทดสอบจึงทำให้เห็นว่าการออกแบบและการสร้างต้นแบบอุปกรณ์วัดความราบโดยใช้หุ่นยนต์ 2 แกนได้สามารถวัดค่าความราบ โดยมี นำกระบวนการวิเคราะห์ระบบการวัด

(Measurement System Analysis; MSA) จุดประสงค์สำคัญของการวิเคราะห์ระบบการวัดคือการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัดออกเป็นแหล่งๆต่างๆ ได้อย่ามีประสิทธิภาพ อีกทั้งสามารถวัดงานโดยมี ระบบคอนโทรล PLC ควบคุมร่วมกับหน้าจอ Touch Screen ตั้งการให้Controller Robot เพื่อให้Robotเคลื่อนที่โดยเดินตามแกนXแกนYโดยใช้หัว Laser Displacement และเก็บค่าเฉลี่ยทั้งตัวงานนำมาแสดงผลที่หน้าจอ Touchscreen ได้อย่ามีประสิทธิภาพงาน วิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอวิธีการดังกล่าวเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาเครื่องวัดความราบต่อไป ในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

การออกแบบและการสร้างต้นแบบอุปกรณ์วัดความราบโดยใช้หุ่นยนต์ 2 แกน นั้นต้องหาค่าความผิดพลาด (Error) ของเครื่องมือวัดในแต่ละชนิดก่อนที่จะนำมาประกอบการใช้งานก่อน เพื่อจะได้ทราบว่าเราควรใช้เครื่องมือที่มีค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ที่เหมาะสมกับระดับการควบคุมของกระบวนการผลิต จึงไม่สามารถควบคุมกระบวนการผลิต ที่มีการควบคุมคุณภาพงานที่มีความละเอียดสูงได้ ฉะนั้นต้องมีการสอบเทียบเครื่องมือวัด โดยต้องมีชิ้นงานที่เป็น(Master)ในการตรวจสอบของเครื่องมือวัด จึงจะได้เครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำและมีประสิทธิภาพในการวัดงาน สูงสุด



รายการอ้างอิง

กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ กรกฎาคม 2553 (ปรับปรุงครั้งที่ 2) สำนักพิมพ์.สสท.

ISBN : 9789744434180

Ogata, K (2010). **Modern Control Engineering**, 5th edition, ISBN: 10: 0-13-713337-5, Pearson, New Jersey.

สถาพร ลักษณะเจริญ. วิศวกรรมหุ่นยนต์ Robotics Engineering. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น); 2548

Assembly Automation. Retrieved October 17, 2007, from <http://www.pe.tut.fi/akp/robotit.html>.

Parallel Robot Kinematics. Retrieved October 17, 2007, from <http://www.vandorendesigns.com/ParallelKin.html>

C. Kozakiewicz, T. Ogiso, N. Miyake. November 1991. **“Partitioned neural network architecture for inverse kinematic calculation of a 6DOF robot manipulator”**. IEEE International Joint Conference on Neural Network. vol.3. 18-21. PP. 2001 – 2006.

C.C. Cheah, C. Liu, H.C. Liaw. September 2004. **”Stability of Inverse Jacobian Control for Robot Manipulator”**. IEEE International Conference on Control Applications, Vol.1. PP.321 – 326.

D.C. Bentivegna, A. Ude, C.G. Atkeson, G. Cheng. 2002. **“Humanoid Robot Learning And Game Playing Using PC-Based Vision”**. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. pp. 2449 – 2454.

D-H Parameters Models[On-line]. Available: <http://www.cimspaper.com/other/images2/other614.jpg>.

Ford Motor Company, General Motors Corporation ISBN#: 978-1-60-534211-5

First Edition, October 1990 • Second Edition, February 1995; Second Printing, June 1998 Third Edition, March 2002; Second Printing, May 2003; Fourth Edition, June 2010 Copyright © 1990, © 1995, © 2002, © 2010 Chrysler Group LLC,

AIAG., **Measurement Systems Analysis**. Third Edition. Vol.3, General Motors Corporation, PP.100-150, 2002.

P, Kitisak., **Measurement System Analysis : MSA**. Vol.3 Bangkok : PP.31-38, 2006

P, Adisak., **Quality Control**. Vol. 1. : Bangkok, PP.55-95, 1997

Ogata, K., **Modern Control Engineering**, 5th edition , Pearson, New Jersey. PP.321-384, 2010

Karl J. Åström and Björn Wittenmark **Adaptive Control**, 2nd edition, Addison Wesley, USA. PP.289-321, 1995

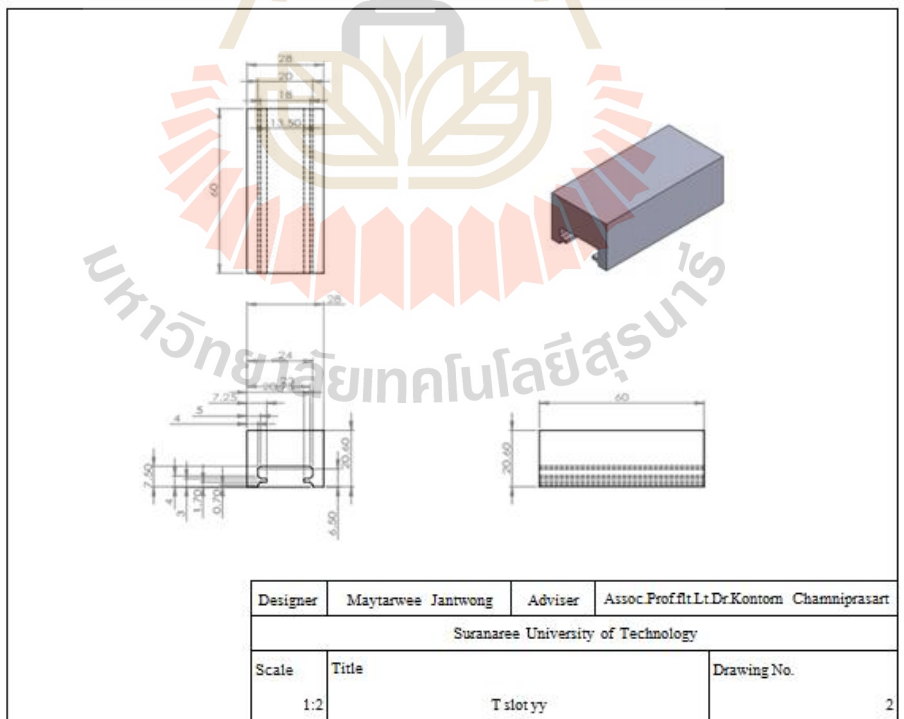
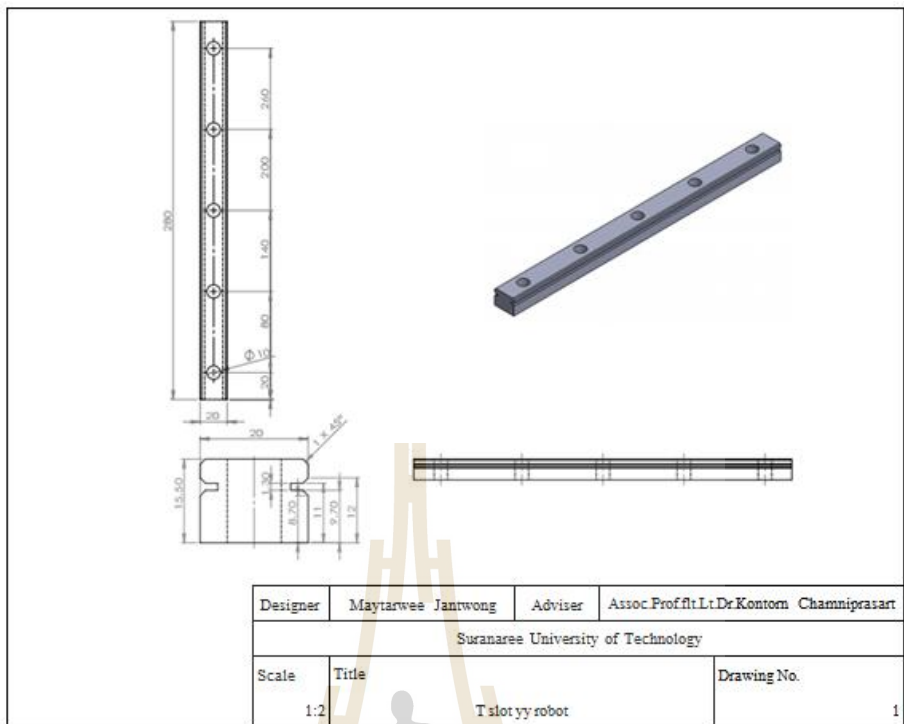


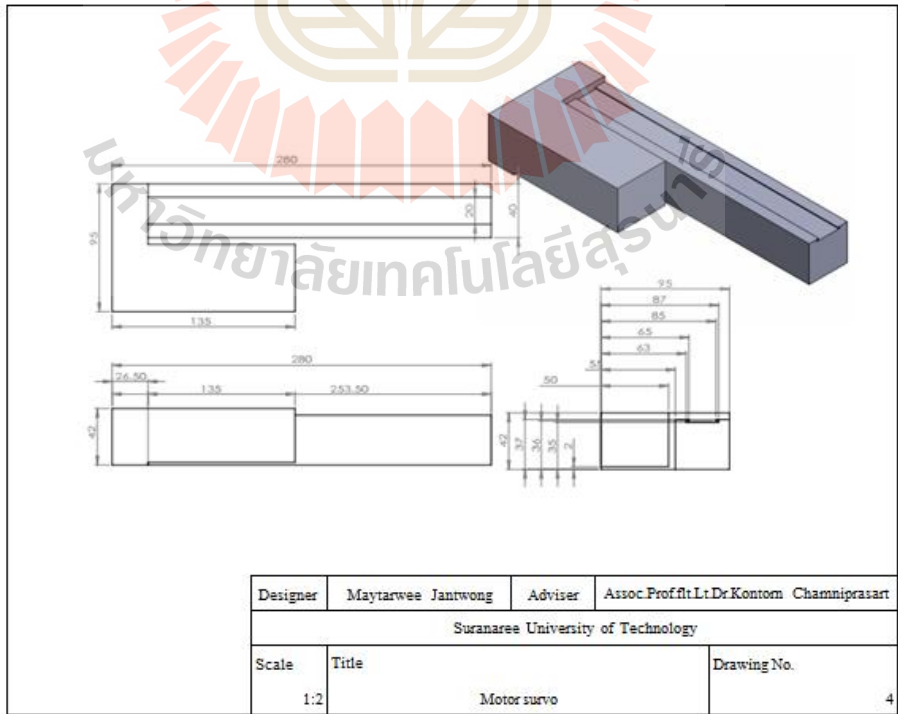
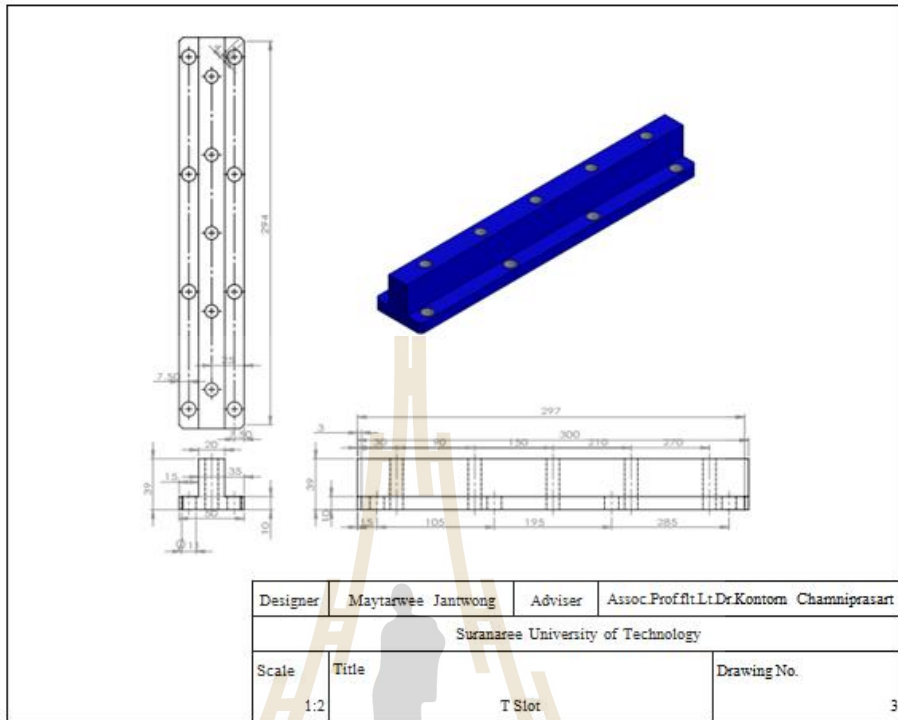


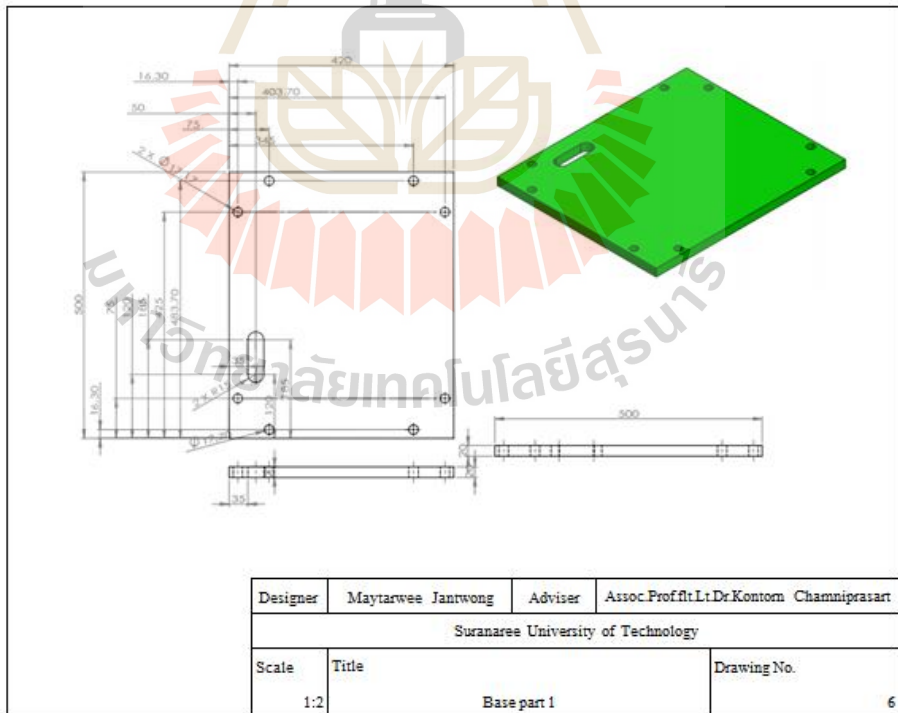
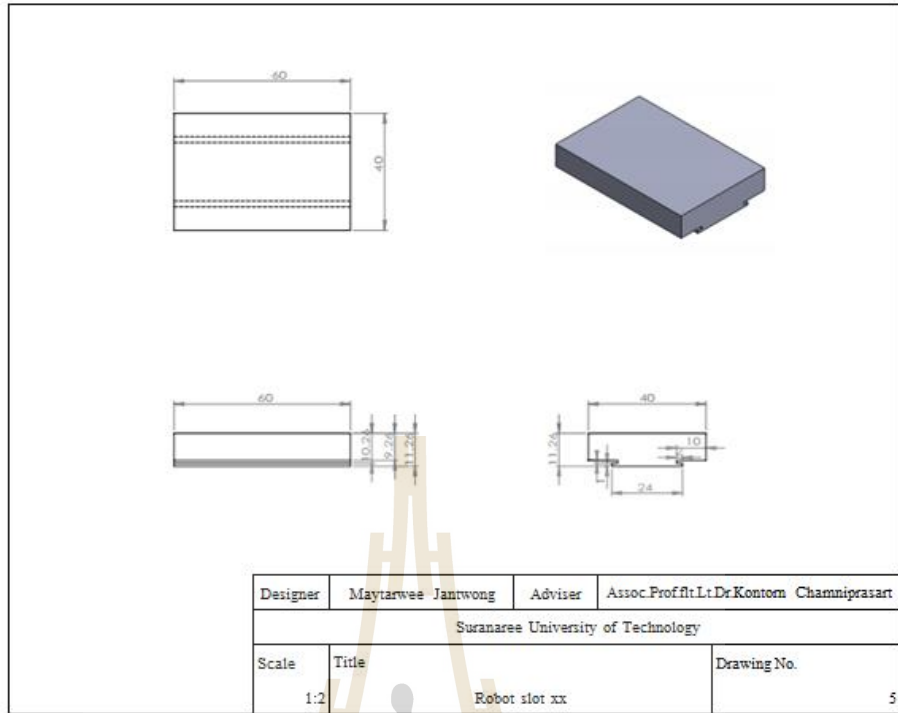
ภาคผนวก ก

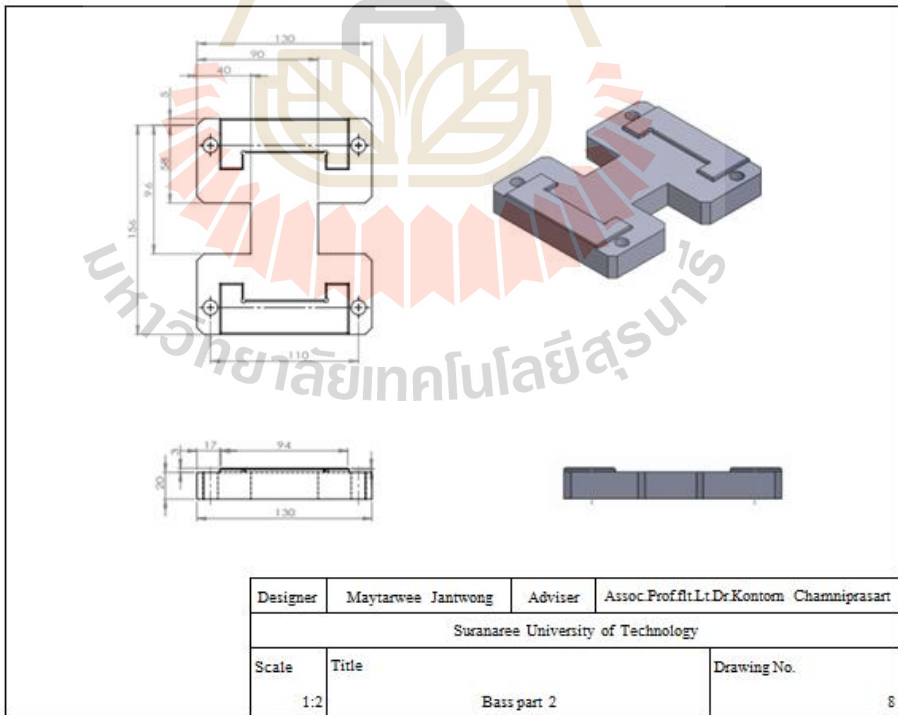
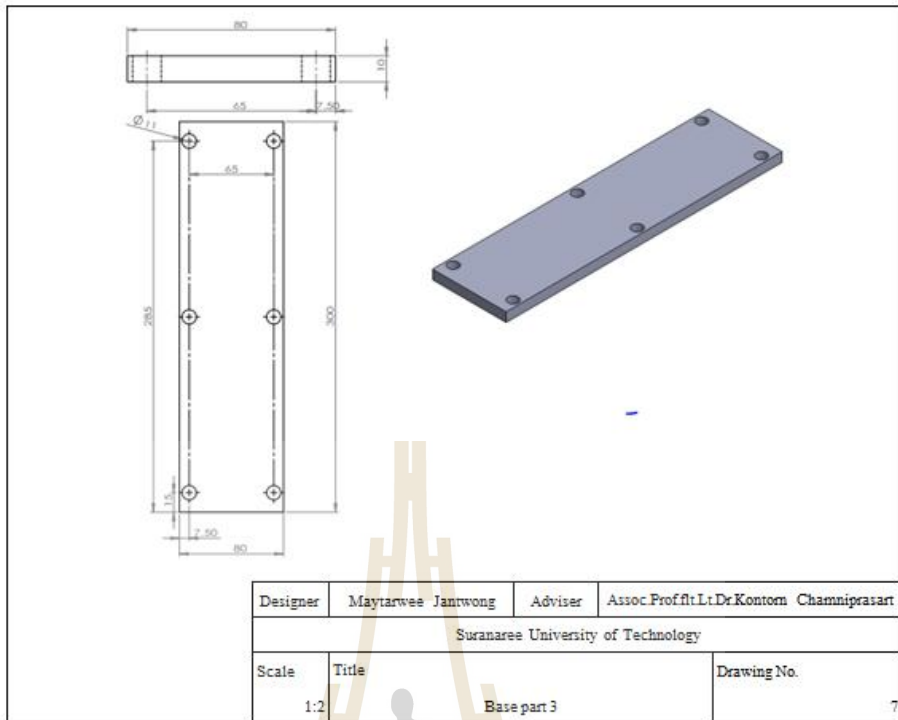
รายละเอียดขนาดชิ้นส่วนของเครื่องจักรต้นแบบ

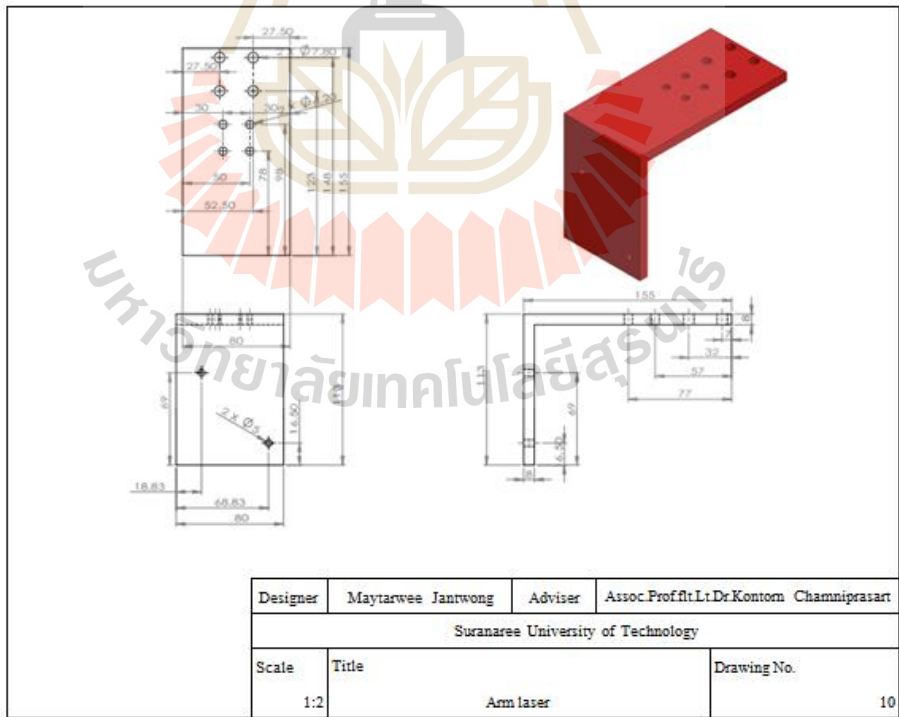
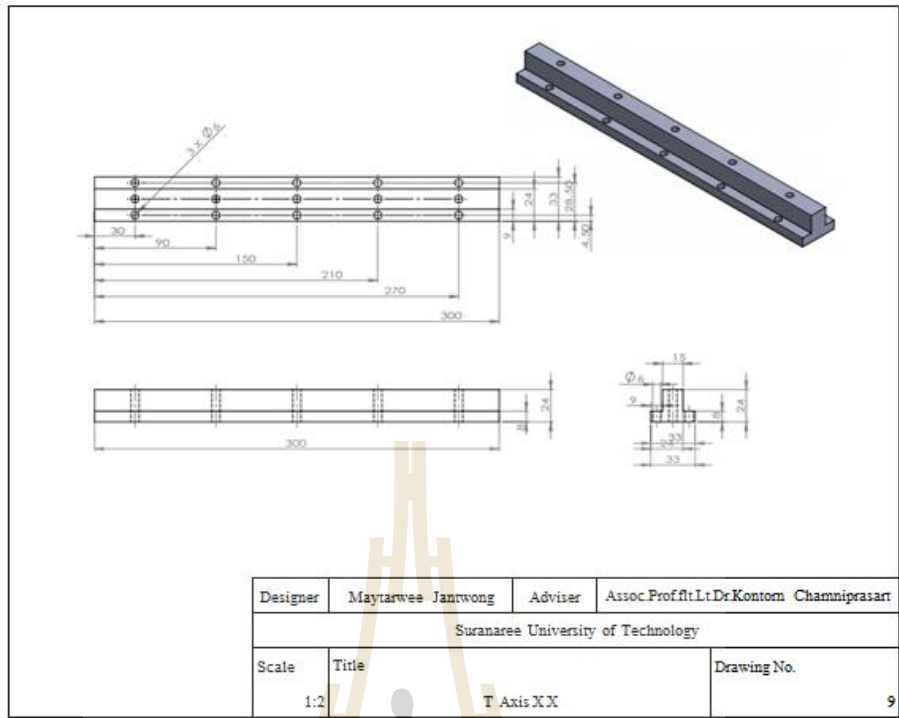
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

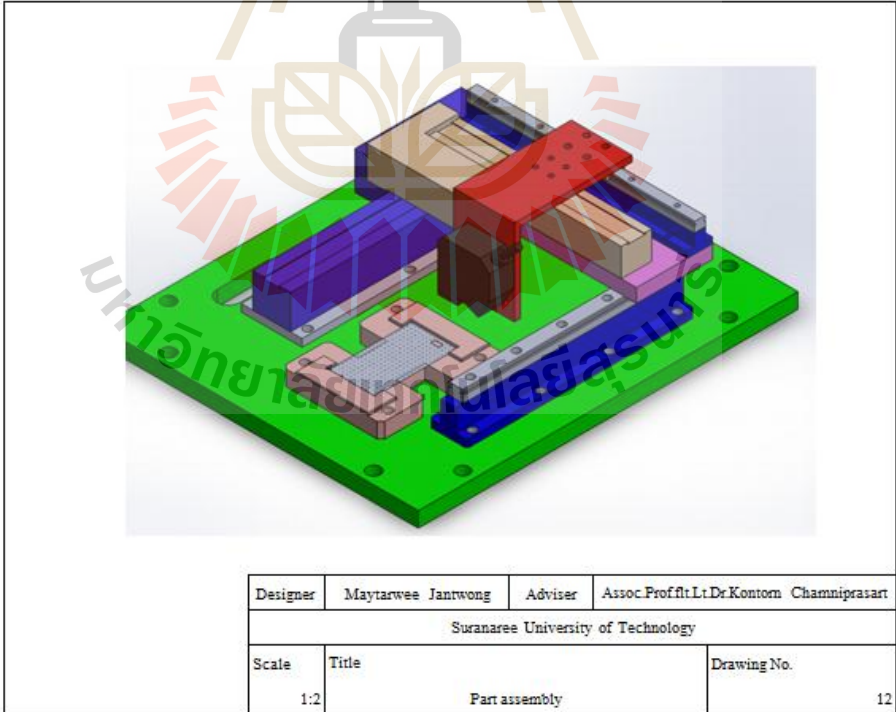
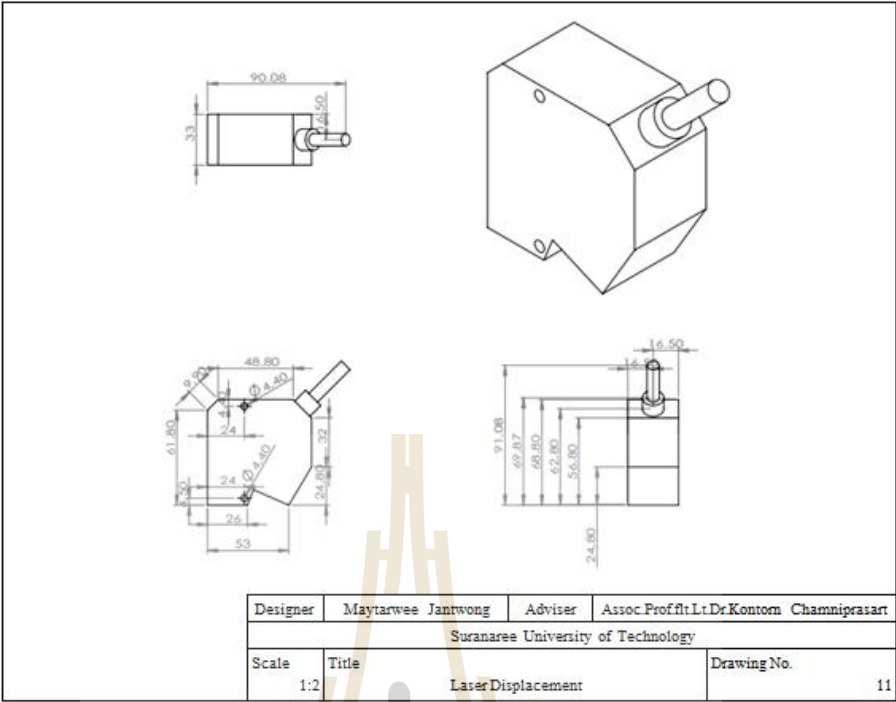












ภาคผนวก ข

รายละเอียดวงจรไฟฟ้าของเครื่องจักรต้นแบบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Terminal No.	Signal name	Description			
1	in put	*000.00	●	●	BTN START
2	in put	*000.01	●	●	BTN STOP
3	in put	*000.02	●	●	BTN RESET
4	in put	*000.03	●	●	BTNEMG
5	in put	*000.04	●	●	SES DOOR
6	in put	*000.05	●	●	SPARE
7	in put	*000.06	●	●	SPARE
8	in put	*000.07	●	●	SPARE
9	in put	*000.08	●	●	SPARE
10	in put	*000.09	●	●	SPARE
11	in put	*000.10	●	●	SPARE
12	in put	*000.11	●	●	SPARE
13	in put	*000.12	●	●	SPARE
14	in put	*000.13	●	●	SPARE
15	in put	*000.14	●	●	SPARE
16	in put	*000.15	●	●	SPARE
Designer	Maytarwee Jantwong		Adviser	Assoc.Prof.ftt.Lt.Dr.Kontorn Chamniprasart	
Suranaree University of Technology					
Scale	Title			Drawing No.	
NTS	PLC I/O terminals in put			1	

รูปที่ ข.1 ข้อมูลทางเทคนิคของ PLC I/O terminals in put

PLC I/O terminals in put	Terminal No.	Signal name	Description			
	1	out put	*100.00	●	●	BTL START
	2	out put	*100.01	●	●	BTL STOP
	3	out put	*100.02	●	●	BTL RESET
	4	out put	*100.03	●	●	BTL EMG
	5	out put	*100.04	●	●	PL CHECK
	6	out put	*100.05	●	●	PL OK
	7	out put	*100.06	●	●	PL NG
	8	out put	*100.07	●	●	SPARE
	9	out put	*100.08	●	●	BUZZER
	10	out put	*100.09	●	●	LK TIM
	11	out put	*100.10	●	●	LK RESET
	12	out put	*100.11	●	●	SPARE
	13	out put	*100.12	●	●	SPARE
	14	out put	*100.13	●	●	SPARE
	15	out put	*100.14	●	●	SPARE
	16	out put	*100.15	●	●	SPARE
Designer	Maytarwee Jantwong		Adviser	Assoc.Prof.flt.Lt.Dr.Kontorn Chamniprasart		
Suranaree University of Technology						
Scale	NTS	Title	PLC I/O terminals out put		Drawing No. 2	

รูปที่ ข.2 ข้อมูลทางเทคนิคของ PLC I/O terminals out put

LK-G5000 Series	Terminal No.	Signal name	Description			
	1	COM	COM for input	●	●	JUMP
	2	RMT	Laser remote interlock input	●	●	JUMP
	3	ZERO 1	Auto-zero (synchronous) input	●	●	LK ZERO 1
	4	RST1	Reset (synchronous) input	●	●	LK RST1
	5	TIM1	TIMING (synchronous) input	●	●	LK TIM1
	6	COM 0	COM for output	●	●	LK COM 0
	7	GO	General comparator output	●	●	LK GO
	8	ALR	System alarm or measured value alarm	●	●	LK ALR
	9	LSR1	1 Laser control input 1	●	●	LK LSR1
	10	LSR2	1 Laser control input 2	●	●	LK LSR2
	11	DC24 +	24 VDC input for power supply	●	●	DC24+
	12	DC24 -	0 V input for power supply	●	●	DC24-
Designer		Maytarwee Jantwong		Adviser	Assoc.Prof.ft.Lt.Dr.Kontorn Chamniprasart	
Suranaree University of Technology						
Scale	Title				Drawing	
NTS	LK-G5000 Series				No. 2	

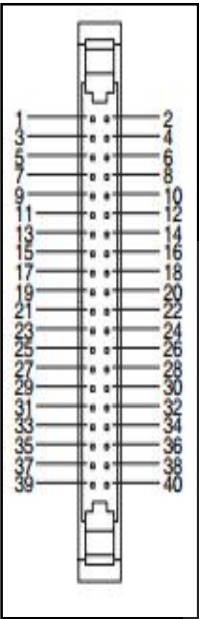
รูปที่ ข.3 ข้อมูลทางเทคนิคของ LK-G5000 Series

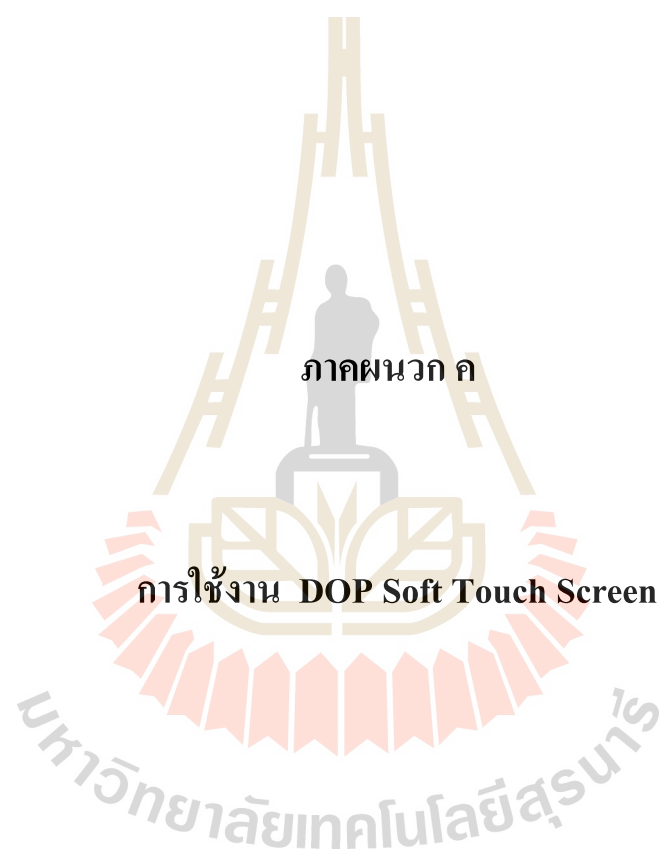
Inputs	IN00 to IN05 and IN10 to IN15	IN00 to IN05 and IN10 to IN15	IN00 to IN05 and IN10 to IN15	IN00 to IN05 and IN10 to IN15
Input form	24-VDC input		Line driver inputs	
Input current	6.0mA typical	5.5mA typical	13 mA typical	10mA typical
Input Voltage range	24 VDC +10%/-15%		RS-422A line Ddriver AM26LS31 or equivalent	
Input impedance	3.6k Ω	4.0k Ω	-	-
Number of circuit	1 common , 1 Circuit			
On Voltage	17.4 VDC min , 3mA Min		-	
Off Voltage	1 mA max .at 5 VDC max		-	
On response	8 ms max.(The in put time constant can be set to 0,0.5,1,2,4,8,16,or32ms.)			
Off response	8 ms max.(The in put time constant can be set to 0,0.5,1,2,4,8,16,or32ms.)			

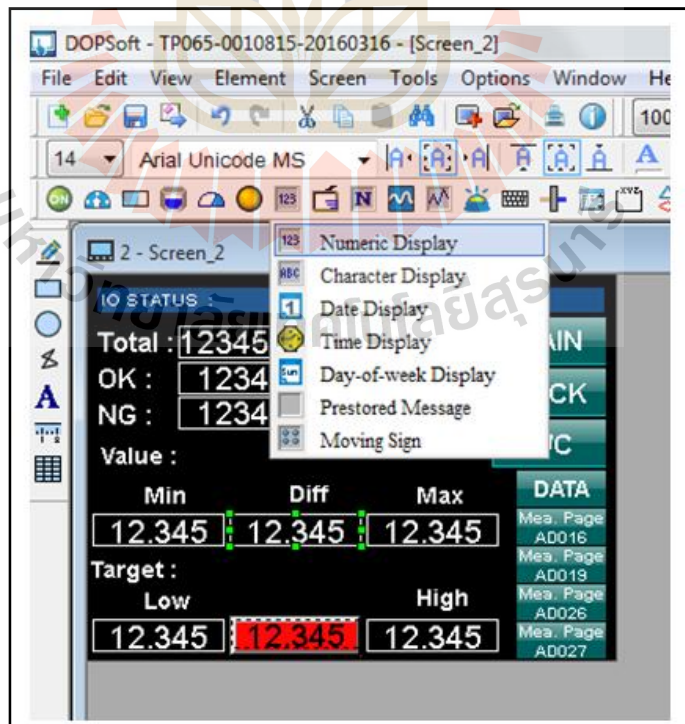
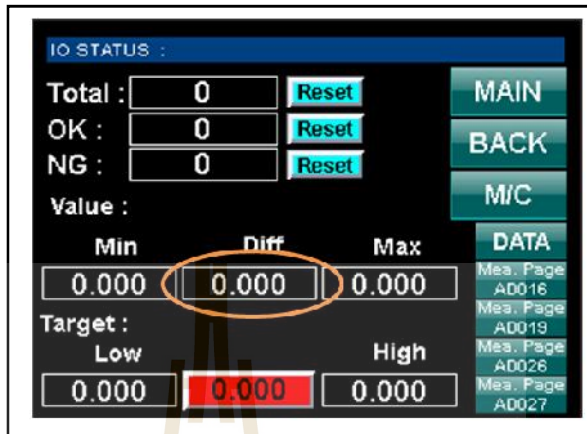
รูปที่ ข.4 ข้อมูลทางเทคนิคของ PLC CJ2M CPU Unit Pulse I/O Module

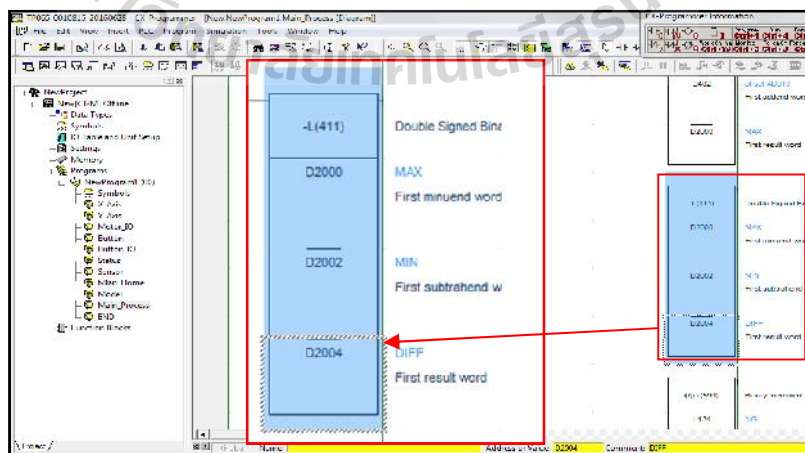
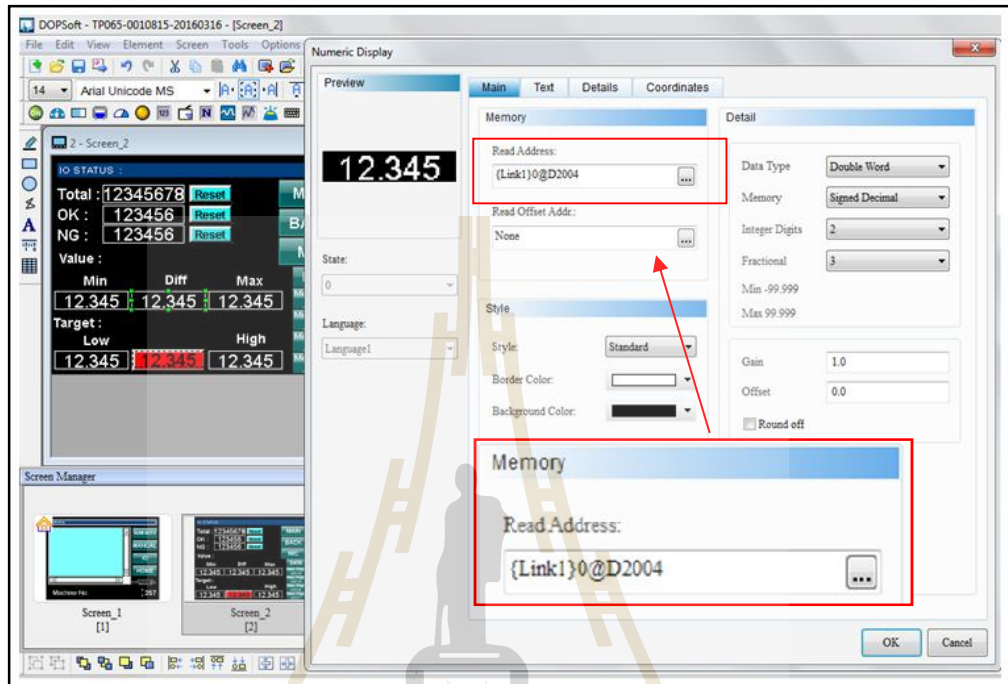
Output	Specifications
Rated voltage	5 to 24 VDC
Allowable voltage range	4.75 to 26.4 VDC
Maximum switching current	0.3A/outputs;1.8 A/Unit
Number of circuits	6 outputs(6outputs/common)
Maximum inrush current	3.0A/output, 10 ms max.
Leakage current	0.1mA max
Residual voltage	0.6 V max
ON response time	0.1ms max
OFF response time	0.1ms max
Fuse	None
External power supply	10.2 to 26.4 VDC 20 mA min

รูปที่ ข.5 ข้อมูลทางเทคนิคของ PLC Output Specifications

Pin layout	Terminal symbol	Input signal type	pin	*	Terminal symbol	Input signal type	Pin	*
		24 VDC	1	A1		24 VDC	2	B1
	IN00/IN10	LD+	3	A2	IN01/IN11	LD+	4	B2
		0V/LD-	5	A3		0V/LD-	6	B3
		24 VDC	7	A4		24 VDC	8	B4
	IN02/IN12	LD+	9	A5	IN01/IN13	LD+	10	B5
		0V/LD-	11	A6		0V/LD-	12	B6
		24 VDC	13	A7		24 VDC	14	B7
	IN04/IN14	LD+	15	A8	IN01/IN15	LD+	16	B8
		0V/LD-	17	A9		0V/LD-	18	B9
		24 VDC	19	A10		24 VDC	20	B10
	IN06/IN16	LD+	21	A11	IN01/IN17	LD+	22	B11
		0V/LD-	23	A12		0V/LD-	24	B12
		24 VDC	25	A13		24 VDC	26	B13
	IN06/IN18	LD+	27	A14	IN01/IN19	LD+	28	B14
		0V/LD-	29	A15		0V/LD-	30	B15
	OUT00/OUT10	-	31	A16	OUT01/OUT11	-	32	B16
	OUT00/OUT12	-	33	A17	OUT03/OUT13	-	34	B17
	OUT00/OUT14	-	35	A18	OUT05/OUT15	-	36	B18
	POWER SUPPLY	-	37	A19	POWER SUPPLY	-	38	B19
	INPUT +VFOR	-			INPUT +VFOR	-		
OUTPUTS	-			OUTPUTS	-			
COM	-		39	A20	COM	-	40	B20





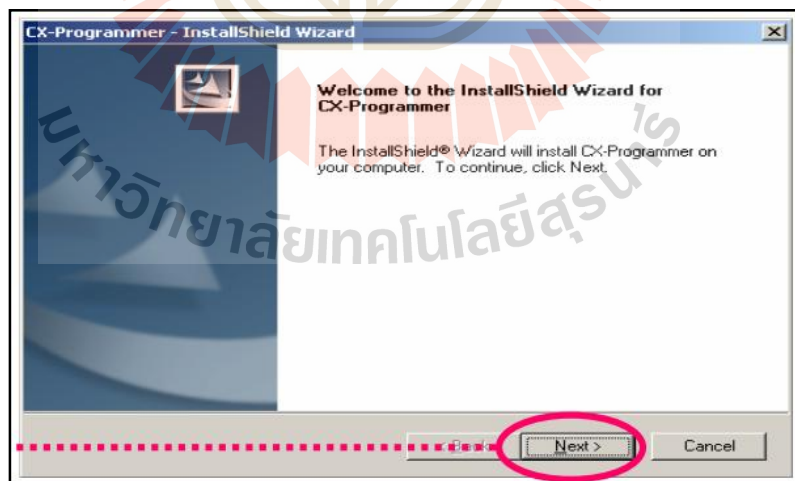


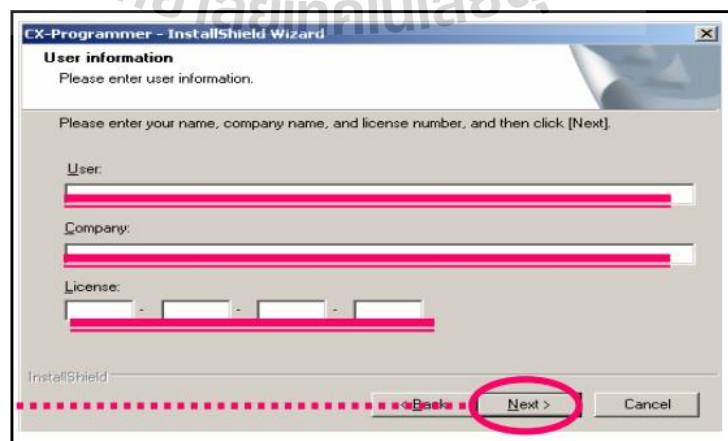


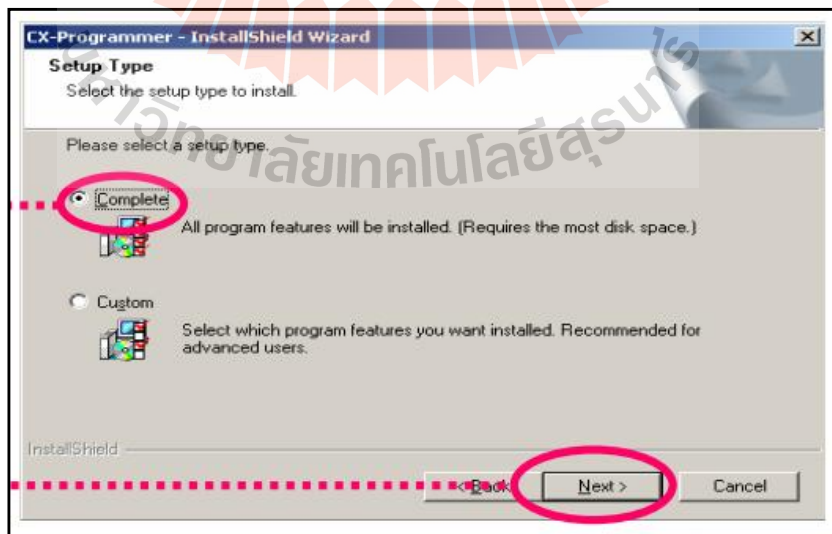
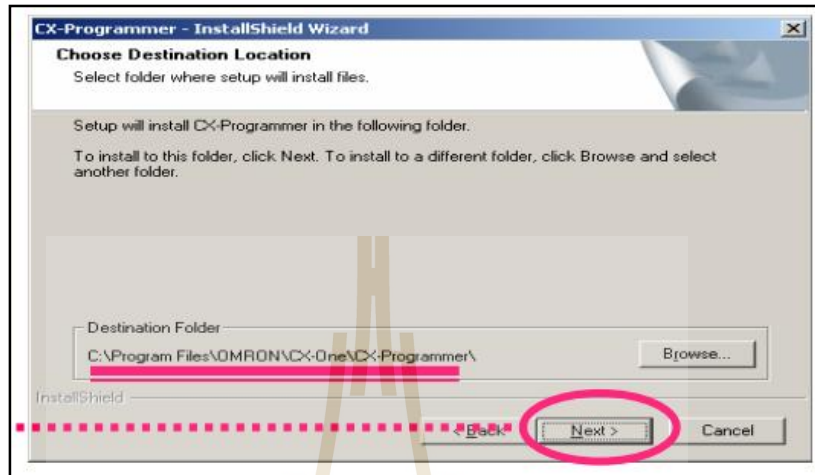
ภาคผนวก ง

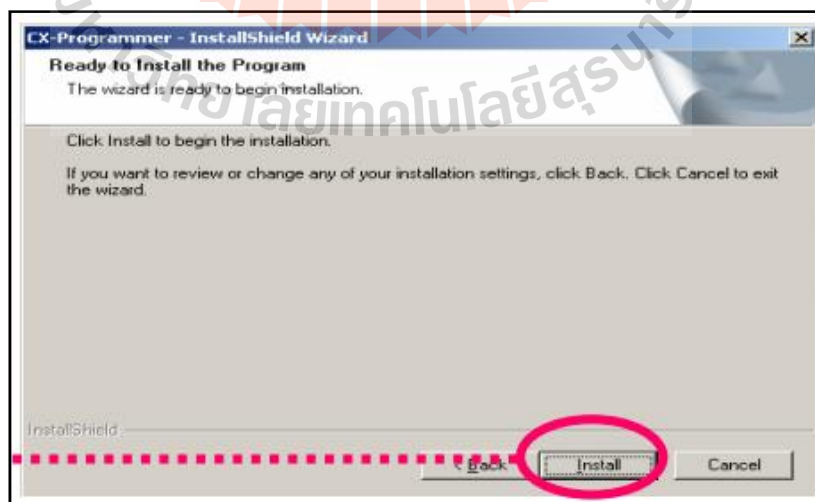
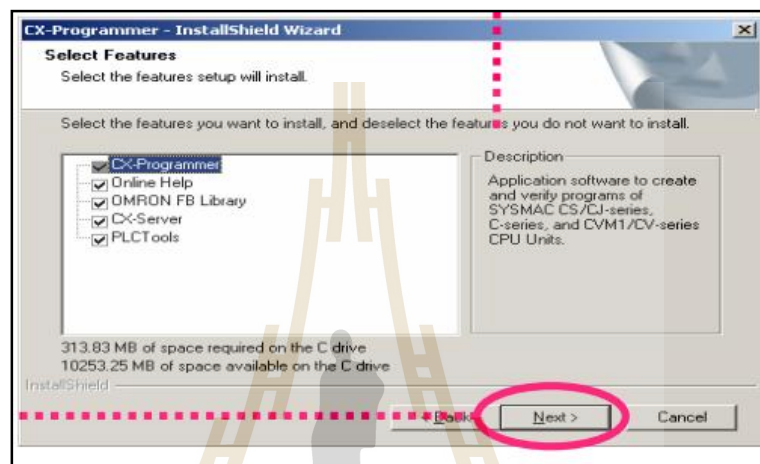
ติดตั้ง และ การใช้งาน PLC CX-Programmer

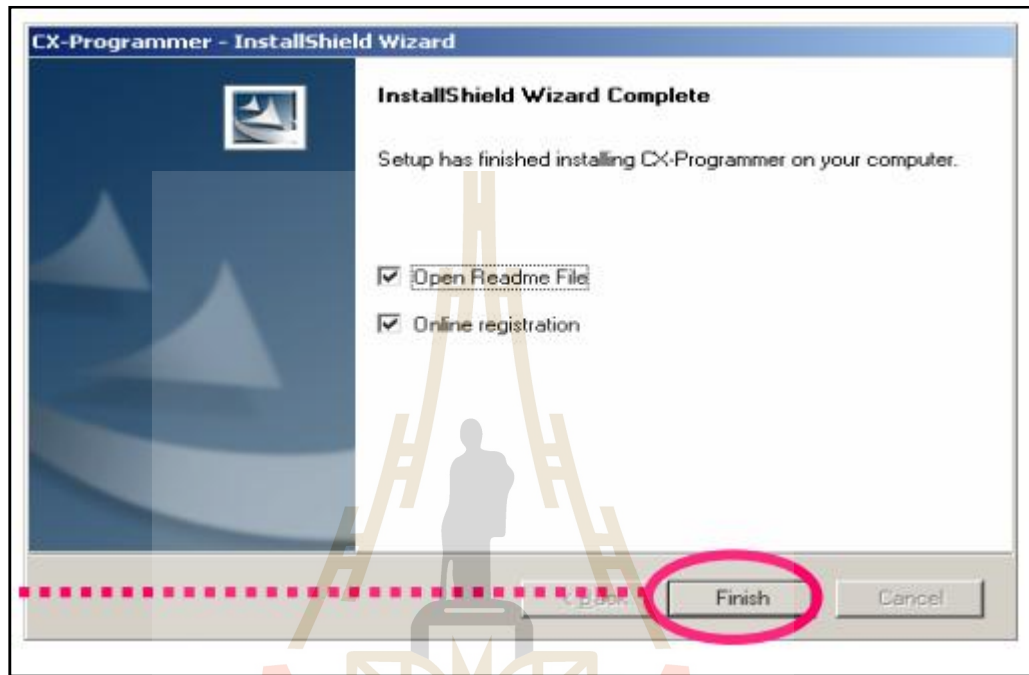
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

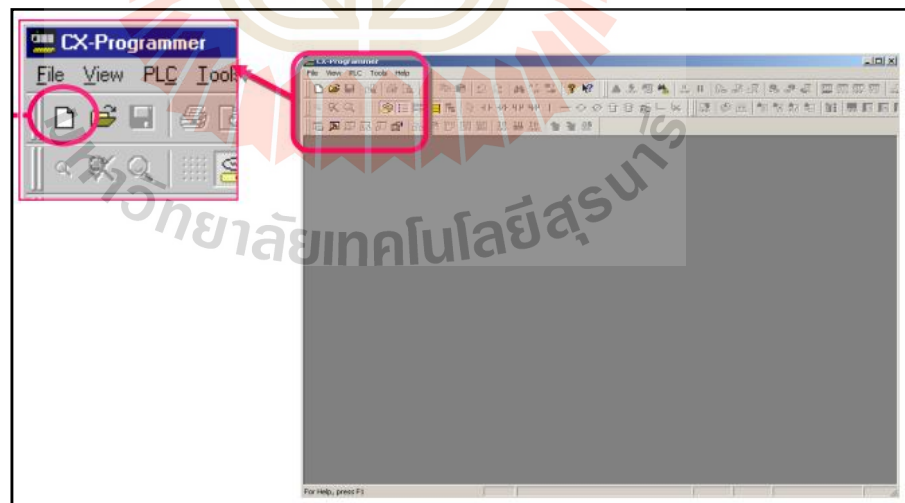
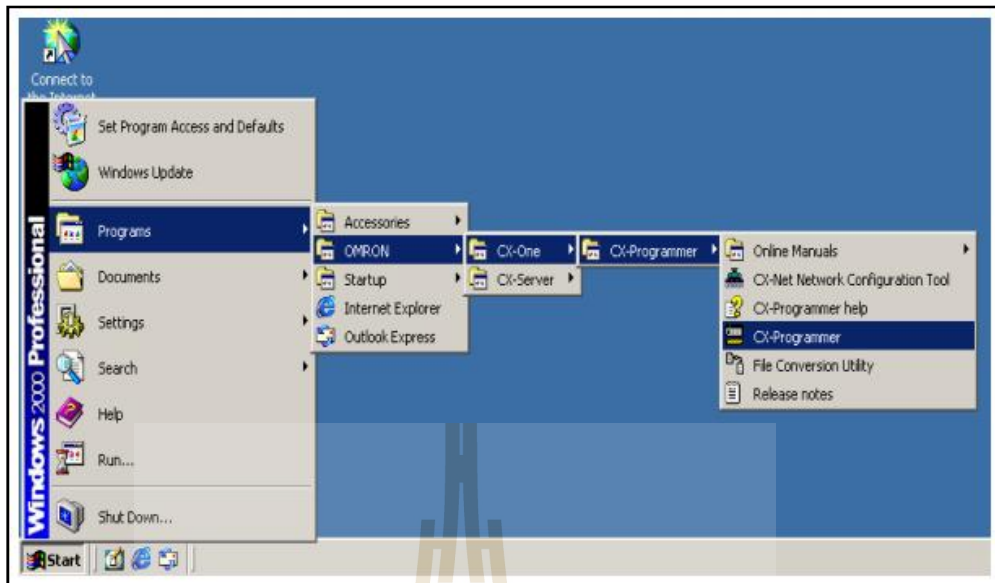


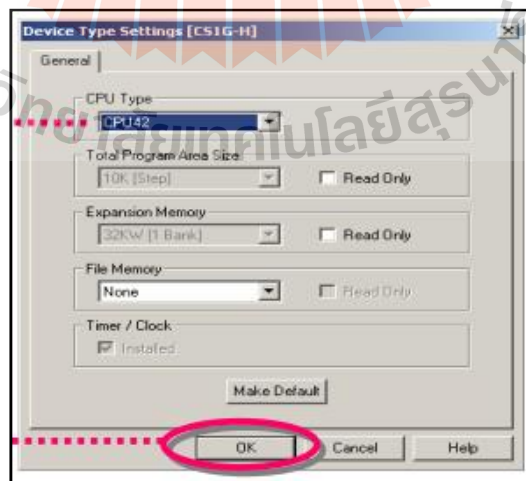
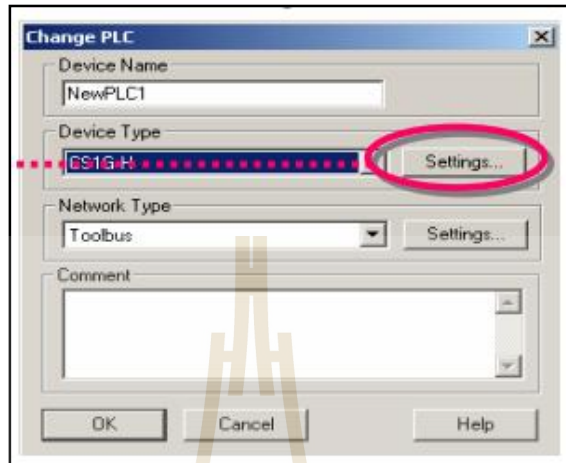


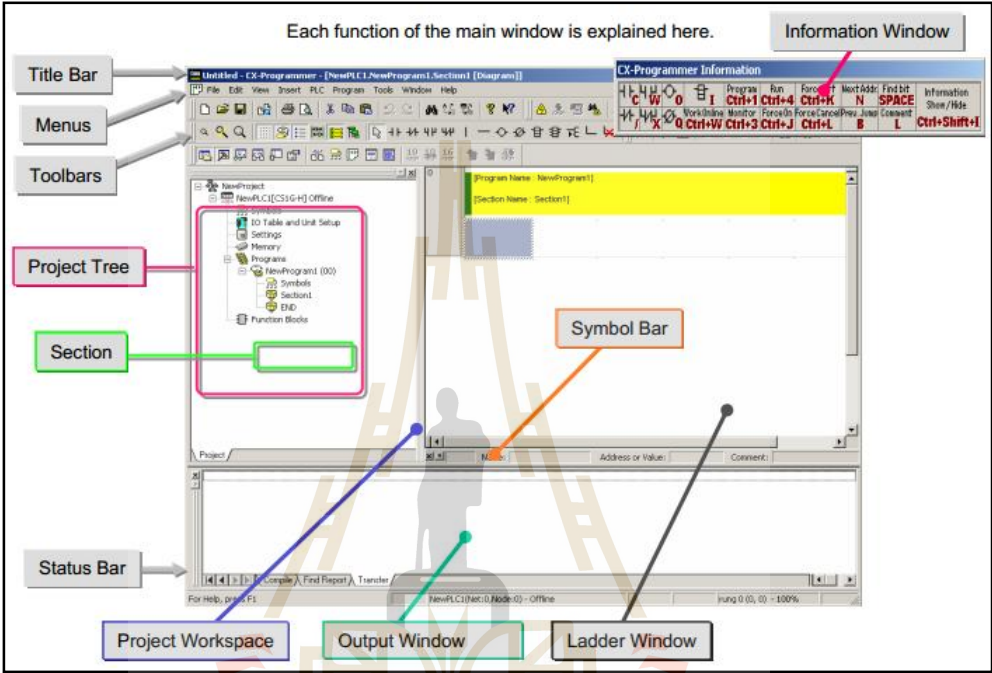












ภาคผนวก จ

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

ว่าที่ร้อยตรีเมธาวี จันทวงศ์ และ รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์.

(2559). **“DESIGN AND PROTOTYPING FLATNESS MEASURING DEVICE USING 2-AXIS ROBOT”** At 11th SEATUC Symposium 2017 **“SOUTH EAST ASIAN TECHNICAL UNIVERSITY CONSORTIUM SYMPOSIUM”** (OS05-15) 8 หน้า 13-14 มีนาคม 2560 ณ นครโฮจิมินห์ ประเทศสาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม



DESIGN AND PROTOTYPING FLATNESS MEASURING DEVICE USING 2-AXIS ROBOT

Maytarwee Jantwong⁽¹⁾, Pichitra Uangpairoj⁽¹⁾, Kontorn Chamniprasart⁽¹⁾

⁽¹⁾School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering,
Suranaree University of Technology, Thailand

Email: kontorn@sut.ac.th

ABSTRACT

In the manufacturing of electrical devices, the flatness of the metal sheet which is a component of the devices is strictly controlled in the production line. Generally, the flatness of the metal sheet can be measured using dial gauge, a human needs to hold and move the gauge to the measuring position on the sheet. The probe of the dial gauge needs to touch the sheet surface, causing scratches on the surface. This paper presents the design and prototyping a flatness measuring device using two-axis robot. This device mainly consists of a touch screen user interface, programmable logic controller (PLC), a two-axis Cartesian robot, and a laser probe for the flatness measurement. The prototype system starts to work by receiving the start command from the user via the touch screen. The PLC executes the program based on a logic control and transmit the output signal to drive and control a servo motor of the robot. Then, the robot arms move to 280 specified positions, and the laser probe that attaches at the end of robot arm scans and measures the height of the metal sheet at each positions. The flatness is expressed as the subtraction of the minimum height from the maximum height. This prototype was tested by measuring the flatness of ten standard metal sheets. The flatness measured using the prototype was also compared with that measured using dial gauge. As the results of the experiment, the prototype measures the flatness without touching the sheet surface. Using the arithmetic tolerance stack up analysis and the measurement system analysis, the error of flatness measurement of the prototype is 0.04153 mm which is within the control limit of 0.2 mm. Moreover, the prototype can reduce the measurement error about 16.58% compared with the dial gauge measurement.

KEYWORDS: flatness measurement, Cartesian robot, PLC.

1. INTRODUCTION

Currently, measuring flatness of the workpiece is manually conducted by dragging tools to measure performance. Data obtained from the measurements are inaccurate at times. When testing a Gage R & R employees are using a third specimen 10 pieces and each repeated 10 times per one piece. Kitisak (2005) showed that 40.53%, the percentage of GR & R has more than 30% of the criteria. Accuracy of measurement tools (Equipment Variation: EV) is equal to 36.74% of the employees and measure (Appraiser Variation: AV) was 17.12%, causing the error of measuring the high voltage is applied to the instrument without equal, AIAG (2002). Gage R & R is the measurement process or tool (Tool) like the one used for the analysis of measurement (Measurement System Analysis: MSA), the standards of the automobile industry of the North American company called automata Active Industries. Tree Action Group (Automotive Industry Action Group: AIAG) is used as a standard of measurement instrumentation, AIAG (2002).

Moreover, the level of the metal is also commonly measured using a laser probe in the electronics industry. The measuring system with laser technology is very promising for high-accuracy tasks. However, the price of the measuring system is very expensive because the system and machine are imported from abroad.

This research by creating a set of tools to measure the level of work with robots. Two cores instead a way of measuring the Manual by applying the write control programmable logic controller (PLC) to control the meter series laser (Laser displacement) has prepared a check-up. The two-axis robot infantry controlled by PLC. To detect faulty parts. To get a quality job. And reduce the number of broken down So we developed a set of tools to measure the level of work. To reduce deviate of the measurement process. And build confidence in the data. The system will need to be measured for various purposes. So it must be analyzed whether measurement systems. Any credible Proper

implementation or not. Most analysts are looking to replicate it. The main factors of error is often the tools and people. There are also other factors. Another analysis of the measurements can be analyzed out. Details of the three MSA reference manual of AIAG (2002) in 1996, a group of North American automobile industry automation company called Tiffany Jewelry Industry Action Group (Automotive Industry Action Group: AIAG) has set the standard for measuring the performance of the engine. various A standard production car. Whose members come from auto manufacturers such as DaimlerChrysler, Ford Motor Company, General Motor Corporation and a content aggregator to measure the MSA.

For the AIAG MSA manual used in this project has been amended three times, then took the contents of Gage R & R (Gage Repeatability and Reproducibility) used because the Gage R & R, this is a way to analyze the accuracy of the measurement. The analysis tool measurement templates are created. To be convinced that this tool is built to work well.

2. EXPERIMENT

This research presents a check to the flat by two robot axis control with PLC. Measured on a flat piece of sheet that measures 0.25 mm to change the position of the measuring points are determined by a preset and adjustable speed 280 points. In accordance with the time to make the most efficient in the measurement. A series of laser measurement Will make the measurement only. By the laser beam through the specimen holder until Jig. Which is controlled by a servo motor (Servo motor) 2 determines maintain walking along the X, Y, scroll to gauge the level of a job as a preset point given 280 points and programmable logic. Controllers (PLC) to keep the flatness of the workpiece. By making contact with the screen touch screen is the communication between people and machines. Will display in the Graphic Panel can be connected to the PLC and can also display Replies other. On the touch screen to command it. The control method and procedure of measuring tools will help to measure the level of convenience and faster.

2.1 Measurement Flatness by hand

The azimuth is measured using the dial gauge mounted on Stand magnet on the table. Measuring plane Employees, specimens were put on the table measurement. And put to work in the field to measure the azimuth towed by a dial gauge in parallel to each other. Reset the machine Dial gauges to measure. The value has to be measured at the level of dial gauges with the highest and the lowest, according to Figure 1 meter flat Dial Gauge Stand magnet (Dial Gauge) is applied, the difference is equal. a flat piece of work Then save the

plane down in a notebook measuring the current level of the target. The staff is three people specimen 10 pieces and each repeated 10 times per one piece from point 1 to point 2 and point 9 record results based on Figure 2 shows how to measure dial gauges with. measurement of 1-9 points (Dial gauge).



Fig 1 meter flat Dial Gauge Stand magnet (Dial Gauge).

Dial gauges to measure the housing collapse on the bed (Horizontal) pins at the end of a job. To measure the distance of no more than 0.14 mm, 0.001 mm, and the resolution accuracy ± 0.003 mm when using a dial gauge must be equipped with a gripping tie.

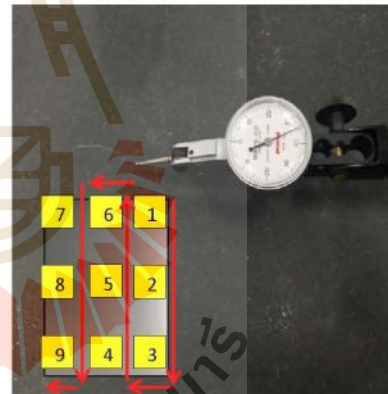


Fig 2 shows how to measure the dial gauge to the measurement of 1-9 points (Dial Gauge).

2.2 Measurement Flatness with 2-axis robot.

The idea is to design machines. To install the Axis Robot Y-axis is the axis that moves up and down, Robot X-axis is the axis that moves left and right, each working separately to each. In order to control the meter series laser (Laser displacement) Model Model LK-H025 series, the Keyence makes laser measurement. Will make the measurement only. By the laser beam through the specimen holder until Fig. Which is controlled by a servo motor (Servo motor) Model Model Series RCP3 brand LAI 2 determines maintain walking along the X, Y, scroll to gauge the level of a job as a preset point given 280 points and applications. Preble memory Logic controller (PLC) model model CJ2M-CPU15 Omron brand value of a flat piece of work. By calculating the difference between the value of measuring the level of Laser displacement Most minus the value of measuring the level of Laser displacement at least 280 points to calculate and display the screen touch screen touch screen measurement method. the level of staff Place the pieces and press Start, robot parts, according to Figure 4, employees start by press START to start at the end of the unheated parts used to display the screen touch screen store employees. record Measuring the level of work. Staff were measured using three test pieces to 10 pieces, and each repeated 10 times per one piece with the flat of a meter. Based on a five-point check point using a 280 meter flat with robots.



Fig 4 employees Start by pressing START.



Fig 3 how to put the pieces of the plane was a robot.

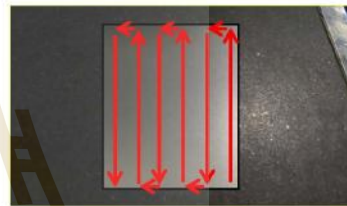


Fig 5 checkpoint 280 meter point on the plane with the robot.

The design and components of robots, two axes have the following components: Component A is Servo Drive Linear Axis X has driven in the X-direction component B is Servo Drive Linear Axis Y has driven in the Y-axis piece C is, Laser Displacement is responsible for measuring the level of the work piece material D is E is part of a stationary clamping piece F is the pedestal of a meter flat.

2.3 Analysis of the Temple (Measurement System Analysis: MSA).

Calculate Gage R & R (Gage Repeatability and Reproducibility) analyzes the variation in measurement system that is newsworthy. The ability to accept variations that occur or not. Under the terms of the measurement process itself. Or it may be called. The test for the accuracy of the measurement. The result can diagnose errors that occur. The instrumentation or by order of the equation, Kitisak (2005), AIAG (2002).

2.3.1. Calculate the control limits of the range. (UCL_R)

$$(UCL_R) = (\bar{R}x D_4) \tag{1}$$

(\bar{R}) Instead, the average range of the m sub-groups. D_4 The multiplier R for border control in distributed measurement chart. The unknown σ . This procedure describes the information received that is greater than the scope of the control range. (UCL_R) Or by using the Range \bar{R} . Each group will have the same value. (\bar{R}) Then multiply by the small group size. The opening to the table D_4 by the (UCL_R). The limits on control (Upper Control Limit), which is part of the chart image to the average spread (Control Chart for for Measures of Dispersion) control method to calculate the extent of the spread \bar{R} with the following equation. The extent of the control limits on the formula, Adisak (1997)

$$D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2} \quad \text{and} \quad D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2} \tag{2}$$

2.3.2 calculate the variation of the equipment (Equipment Variation) or repeatability of the instrument (Repeatability) using a range of values multiplied by the total variation of the device. The formula is as follows, Adisak (1997)

$$EV = K_1 \bar{R} \tag{3}$$

The EV is the variability of the measurement device is K_1 . A square of the correlation coefficient \bar{R} is the average of the samples K_1 is a constant that depends on the number of trials. $Tara K_1$ from the correlation values according to Table 1 of Schedule K1 correlation coefficient.

Table 1 of the Schedule K1 correlation coefficient.

Trials	K1
2	0.8862
3	0.5908

Table 2 of the textbook K3 correlation.

Parts	K3
8	0.3375
9	0.3249
10	0.3146

Table 3 the Gage R & R

Gage R&R	The definition of acceptable
P/TV < 10%	The measurement system can be established.
10% ≤ P/T or P/TV < 30%	May be acceptable, depending on the importance of the application. The cost of the measure As well as other factors
P/T, P/TV > 30%	Can not accept the system can be measured. It is necessary to identify the causes of variability, and reduced or eliminate

2.3.3 calculate the variability of measurements (Appraiser Variation) or the like. (Reproducibility) from the following formula, Kitisak (2005).

$$AV = \sqrt{(\bar{X}_{DIFF} K_2)^2 - \frac{EV^2}{nr}} \tag{4}$$

The AV is the rate of change is \bar{X}_{DIFF} . The EV is the result of the measurement device K_2 is varied. A square of the correlation coefficient n subconsciously. All of the r is not. The number of replicate samples, Kitisak (2005).

2.3.4 repeated and repeated. Repeatability and reproducibility (GRR)

$$GRR = \sqrt{EV^2 + AV^2} \tag{5}$$

The GRR is repeated and repeated EV is. The variation of the measurement device AV is the rate of change, Kitisak (2005)

2.3.5 Changes of the workpiece Part variation (PV) forms part will be. Determined by multiplying the average of the (Rp) K3 with fixed depending on the number of pieces.

$$PV = (R_p) (K_3) \tag{6}$$

Where P is the rate of change is R_p , K_3 is the Range As the table Correlation Table 2, according to the textbook from K3 correlation, Kitisak (2005).

2.3.6 Total translations of conjugation process Total variation (TV)

$$TV = \sqrt{GRR^2 + PV^2} \tag{7}$$

The TV is a rate of change of the GRR is repeated and repeated. PV is the rate of change of the party, Kitisak (2005).

2.3.7. Calculate the percentage of the total variable using the following formula, Kitisak (2005)

$$\% \text{Equipment Variation } \%EV = 100(EV/TV) \tag{8}$$

$$\% \text{Appraiser Variation } \%AV = 100(AV/TV) \tag{9}$$

$$\% \text{Gage R\&R} \quad \%GRR = 100(GRR/TV) \tag{10}$$

$$\% \text{Part Variation} \quad \%PV = 100(PV/TV) \tag{11}$$

2.3.8. Determining the type of information to distinguish it (Number of district categories) using the following formula: Number of district categories to distinguish the percentage of specimens, Kitisak (2005).

$$NDC = 1.41 (PV / GRR) \tag{12}$$

Generally accepted criteria to define the repeater pan Mobility and Marine Produce City Mobility. With the grace of the specified tolerances (Precision to Tolerance Ratio: P / T) and the variation of the procedure include (Precision to Total Variation: P / TV) mounting

with the following formula, Kitisak (2005) and AIAG (2002).

Process analysis of variability in the measurement system that is better able to accept such variations as they occur or not. Can find variations of the procedure by different methods under assumptions. (Assumptions) and conditions below.

1. The study sample consisted of temples and temple staff only.
2. In a collaboration between the workpiece and the staff is not well.
3. The work has to be the same as the parameter.
4. To test the measure must be nondestructive.
5. Control measurement repeatability. Must be not too much I can not study the variation between specimens and employees be measured.

2.4 Calibration Master, size 10 mm. Used to compare the ability of a device that can be used or should calibrate the device by experiment 10 times and collected 280 point inspection, according to Figure 5 checkpoint. 280 meter point on the plane with the robot.

3. ANALYSIS

3.1 In the process of measuring the Manual employees are all done manually. This causes problems Many more The researchers went into the study and found that the main problem of the measurement process.

Table 4 shows the calculated square meter flat in the Manual.

The formula	results
Equipment variation (EV)	0.0711
Appraiser variation (AV)	0.0331
Repeatability reproducibility (GRR)	0.0784
Part variation (PV)	0.1769
Total variation (TV)	0.1935
%EV	36.74%
%AV	17.12%
%GRR	40.53%
%PV	91.42%
NDC (Number of district categories)	3.18

Measuring the level of each employee. Measurement is the anniversary of the workpiece. May cross the measurement is complete. The cause of the discrepancy is a problem in both cases, the researchers conducted a second employee retention.

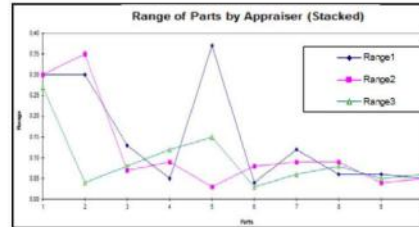


Fig 6 error Measuring the level of the Manual.

It can be seen that the main problem that occurs in the measurement of 3 percent repeatability and measurement repeatability value at 40.53, as the basis for judging the results of the analysis GRR if% GRR less than 10% acceptable if 10%. less than% GRR up to 30% may be acceptable depending on priority, cost, etc. If the% GRR over 30% admitted not need to be updated NDC over five process GRR must be less than 10% to be admitted. have I want to measure with high precision measuring instruments, Kitisak (2005) and AIAG (2002)

3.2 In the process of measuring gauge flat and two-axis robot. To test the system, measured using a measuring plane (after the trial), the measurement of the workpiece with a staff of three people and a sample of 10 specimens by measuring the level of design in the above order measure the level of work that has to live by the values in table 6 square meter flat and a two-axis robot.

Table 5 shows the calculated measure of a flat 2-axis robot

The formula	results
Equipment variation (EV)	0.0120
Appraiser variation (AV)	0.0011
Repeatability and reproducibility (GRR)	0.0121
Part variation (PV)	0.1982
Total variation (TV)	0.1986
%EV	6.05 %
%AV	0.54 %
%GRR	6.07 %
%PV	99.82 %
NDC (Number of district categories)	23.17

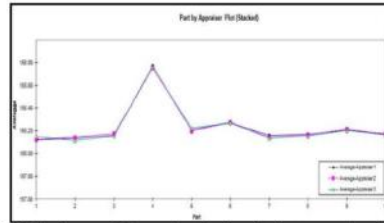


Fig 7 Tolerance Measuring the level of a two-axis robot.

Measuring the level of a robot made to measure flatness of the workpiece. Test by measurement Gage R & R, with the acceptance criteria% GR & R has not exceeded 30%, the results show that the% GR & R was 6.07% during the instrumentation it. But it should be very good does not exceed 10% , Kitisak (2005), AIAG (2002)

3.3 cumulative numerical analysis tolerances. (Arithmetic Tolerance Stack Up Analysis) is the result of the measures. But the extent to which it is bound to be the most valuable. If you can accept the waste in the production process or part of a statistical process control (Statistical Control) statistical analysis, tolerances (Statistical Tolerance Stack Up Analysis) method is preferable. The calculation of cumulative tolerances to use this method of determining the Root of Sum of Square (RSS) value of individual tolerances of the parts that affect the cumulative tolerances.

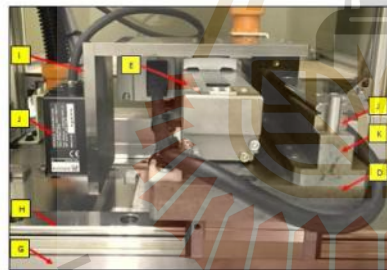


Fig 8 Front view meter flat Laser Displacement.

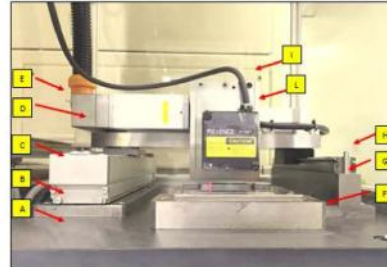


Fig 9 Right view meter flat Laser Displacement.

Table 6 Tolerance value of the underlying.

No.	Description	Mean	Tolerance (mm.)
1	A	20	± 0.010
2	B	10	± 0.010
3	C	57	± 0.020
4	D	18	± 0.010
5	E	48	± 0.020
6	F	20	± 0.010
7	G	39	± 0.010
8	H	28	± 0.010
9	I	8	± 0.010
10	J	24	± 0.010
11	K	24	± 0.010
12	L	-	± 0.005
Total		296	± 0.135
$RSS = \sqrt{T1^2 + T2^2 + \dots + T1n^2}$			± 0.04153

The cumulative numerical analysis, tolerances (Arithmetic. Stack) analysis, tolerances cumulative numerical (Arithmetic Stack) is calculated ± 0.04153 mm. Therefore, the error of measurement of flat, after the assembly is between 295.95847 to 296.0415 mm. It was concluded that the Tolerance of. the prototype is equal ± 0.04153 mm.

3.4 Calibration Master, size 10 mm. Used to compare the ability of a device that can be used or should calibrate the device by experiment 10 times and collected 280 point inspection.



Fig 10 Calibration Master, size 10 mm

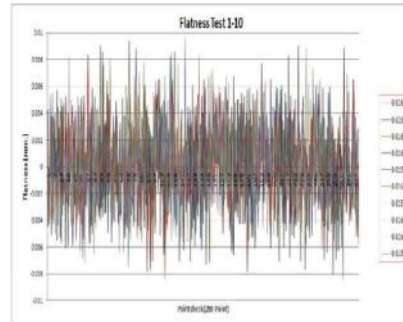


Fig 13 shows the graph of a flat piece of Master 10 times.

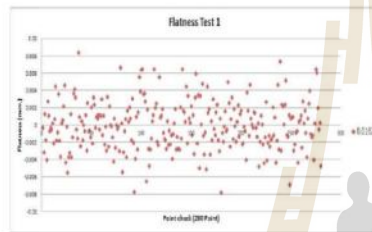


Fig 11 The first test of the relationship between the test and the flat ± 0.0162 mm .

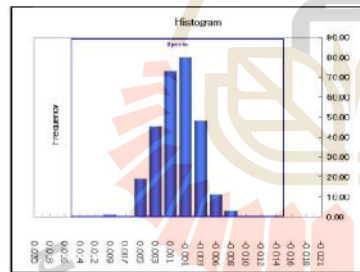


Fig 12 The relationship between the frequency of tests and the data first.

Calibration Master, size 10 mm. Used to compare the ability of the experiment 10 times and collected 280 point inspection results show that the information collected in the 10 th. The result is ± 0.01615 mm. The meter flat with robots, two-axis by graph 5 graph shows the flatness of the workpiece Master Number 10 times the maximum 0.095 mm. And lows. the graph -0.008mm. The fourth graph of the relationship between the frequency of the first test and found that the distribution of the data obtained from the measurement of the level of Master specimen size 10 mm. Is credible. Tools that measure the level of the test results is that the error is 0.01615 mm , Kitisak (2005), and AIAG ((2002.

4. CONCLUSIONS

The machine measures the level in the theoretical calculations. The discrepancy is 0.04153 mm, but in practice the average measurement experiments. Out that the value is 0.0323 mm, which results came out. Less than the calculated values are. 9.23 micrometer Calculated for comparison between the workpiece and a man is measured by measuring the level of work we have concluded that. The percentage redundant measurement (% GR & R) equipment that is acceptable at less than 10% at 6.07%, while the man is at 40.53%, which is a value that has not up to the standards of the. repeated measures It held that the measure of infantry. This reliable and can measure the level of work efficiency. The quick response to the operation of the system.

REFERENCES

AIAG., Measurement Systems Analysis. Third Edition. Vol.3, General Motors Corporation,PP.100-150, 2002.
P, Kitisak.,Measurement System Analysis : MSA. Vol.3 Bangkok : PP.31-38, 2006
P,Adisak.,Quality Control. Vol. 1. : Bangkok, PP.55-95, 1997
Ogata, K Modern Control Engineering. 5th edition , Pearson, New Jersey. PP.321-384, 2010
Karl J. Åström and Björn Wittenmark Adaptive Control, 2nd edition, Addison Wesley, USA. PP.289-321, 1995

PHOTOS AND INFORMATION

	Maytarvee Jantwong B.E. (2004), degrees in mechanical engineering from suranaree university of technology
	Pichitra Uangpairoj B.S. (2007) in Food Technology, M.E. (2010) in Mechanical Engineering from Suranaree University of Technology, and Ph.D. (2013) in Functional Control System from Shibaura Institute of Technology. She is a lecturer in the, department of Mechanical Engineering, Suranaree university of technology.
	Kontorn Chamruprasart Ph.D.(Mechanical Engineering) Univ. of Pittsburgh,U.S.A. 1992, M.S.(Mechanical Engineering)Univ. of Pittsburgh,U.S.A. 1989, B.S. (Engineering) Air Naval Academy in 1987. He is a Professor, Department of Mechanical Engineering, Suranaree university of technology

ประวัติผู้เขียน

ว่าที่ร้อยตรี เมธาวิ จันทวงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 26 มิถุนายน พ.ศ. 2531 ที่อำเภอเมือง จังหวัด นครราชสีมา เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาชั้นปีที่ 1-6 ระดับมัธยมชั้นปีที่ 1-3 ที่โรงเรียนรุ่งอรุณ วิทยา จังหวัดนครราชสีมา ระดับมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 4-6 ที่โรงเรียนอัสสัมชัญนครราชสีมา จังหวัด นครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาด้านวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์ สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2555 และได้ ประกอบวิชาชีพระดับวิศวกรรมที่บริษัท เอ็นเอ็มบี-มินิแบ ไทย จำกัด ตำแหน่ง Production staff จากนั้นเข้าศึกษาต่อในระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (หลักสูตรวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ณ สถาบันการศึกษาเดิม

และได้นำเสนอผลงานทางวิชาการเรื่อง **“DESIGN AND PROTOTYPING FLATNESS MEASURING DEVICE USING 2-AXIS ROBOT”** ในการประชุมวิชาการ At 11th SEATUC Symposium 2017 **“SOUTH EAST ASIAN TECHNICAL UNIVERSITY CONSORTIUM SYMPOSIUM”** (OS05-15) ระหว่างวันที่ 13-14 มีนาคม 2560 ณ นครโฮจิมินห์ประเทศ สาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนาม มีรายละเอียดปรากฏในภาคผนวก จ.