การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับโรงงานผลิตท่อส่งน้ำมันเข้าหัวฉีดในรถยนต์

นาย ผจงกิจ โสธนะยงกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0224-6

ลิขสิทธิ์ของ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

23 ก.ค. 2546
I 20129750

MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS IN AN AUTOMOBILE FUEL INJECTION PIPE FACTORY

Mr. Phajongkit Sothanayongkul

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year2001

ISBN 974-03-0224-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับโรงงานผลิตท่อส่งน้ำมันเข้าหัวฉีดในรถยนต์

โดย นาย ผจงกิจ โสธนะยงกุล

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเวช ชาญสง่าเวช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ จรูญ มหิทธาฟองกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเวช ชาญสง่าเวช)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิตรา รู้กิจการพานิช)

ผจงกิจ โสธนะยงกุล : การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับโรงงานผลิตท่อส่งน้ำมันเข้าหัวฉีดในรถยนต์ (MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS IN AN AUTOMOBILE FUEL INJECTION PIPE FACTORY) อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร. ชูเวช ชาญสง่าเวช ; 145 หน้า , ISBN 974-03-0224-6

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ถึงความแม่นยำ (Precision) และความเที่ยงตรง (Accuracy) ของระบบการวัดเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงให้เป็นไปตามข้อกำหนดของระบบบริหารคุณภาพ QS 9000 ในส่วนของการวิเคราะห์ระบบการวัด โดยมีขอบเขตการศึกษาเฉพาะชิ้นส่วนท่อส่งน้ำมันเข้าหัวฉีดเพียงรายการเดียว โดยเกณฑ์มาตรฐานของค่าความเคลื่อนที่ได้จะเทียบกับค่าคาดเคลื่อนอนุโลมของชิ้นงาน (Tolerance) สำหรับประเภทจุดตรวจสอบของชิ้นงานนั้น จะทำการศึกษาเฉพาะความแม่นยำในการวัดสำหรับจุดตรวจสอบลักษณะสมบัติเชิงผันแปร และทั้งความแม่นยำและความเที่ยงตรงสำหรับจุดตรวจสอบลักษณะสมบัติเชิงคุณลักษณะ

สำหรับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ในขั้นตอนแรกจะทำการคัดเลือกชิ้นงานที่จะทำการวิเคราะห์ แล้วทำการศึกษาชิ้นงานนั้นอย่างละเอียด เพื่อวางแผนการทดลองการวิเคราะห์ระบบการวัด หลังจากนั้นทำการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อระบุสาเหตุของการไม่เป็นไปตามข้อกำหนด และหาวิธีการปรับปรุงแก้ไข โดยจัดทำเป็นมาตรฐานในการตรวจสอบ สุดท้ายทำการทดลองอีกครั้งหนึ่งแล้วสรุปผลงานวิจัย

สำหรับจุดตรวจสอบลักษณะสมบัติเชิงผันแปร 15 จุดตรวจสอบ ผลการวิจัยจากการทดสอบครั้งแรกพบว่า ระดับความแปรปรวนของความแม่นยำในการวัดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 124.1 % ซึ่งเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 % ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นความสามารถในการทำซ้ำ(Repeatability) ที่ระดับ 56.6% ความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) 103.8 % ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าสาเหตุที่ทำให้ความแม่นยำในการวัดมีค่ามากเกินเกณฑ์ที่กำหนด มาจากประเด็นที่หนึ่ง คือ การขาดมาตรฐานการทำงานที่ถูกต้องและชัดเจน ทำให้การวัดของพนักงานมีค่าเฉลี่ยที่ได้แตกต่างกันและมีค่าแปรปรวนสูง ส่วนในประเด็นที่สอง คือ การใช้อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเพื่อการวัดที่ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งภายหลังการดำเนินการตามมาตรการการแก้ไข และจัดทำเป็นมาตรฐานการวัดชิ้นงาน หลังจากนั้นทำการฝึกอบรมพนักงานให้เกิดความชำนาญในมาตรฐานการวัด ผลการทดลองภายหลังการปรับปรุงพบว่า ค่าความแปรปรวนของความแม่นยำในการวัดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ระดับ 21 % ซึ่งผ่านเกณฑ์ที่กำหนด โดยมีความสามารถในการทำซ้ำที่ระดับ 18.9 % และความสามารถในการทำเหมือนที่ระดับ 6.5 %

สำหรับจุดตรวจสอบลักษณะสมบัติเชิงคุณลักษณะ 6 จุดตรวจสอบซึ่งมีเกณฑ์การทดสอบอยู่ที่ระดับความเที่ยงตรงและแม่นยำที่ 100 % นั้น พบว่าผลการวิจัยในครั้งแรกพบว่า ผู้วัดสามารถระบุระดับคุณภาพได้อย่างเที่ยงตรงและ แม่นยำ 100 % ถึง 4 จุดตรวจสอบ มีเพียงจุดตรวจสอบเรื่องมุมของหัวท่อเท่านั้นที่มีปัญหาซึ่งเกิดจากวิธีการวัด ไม่สามารถชี้บ่งระดับคุณภาพได้อย่างแน่นอน ซึ่งภายหลังการดำเนินการแก้ไขโดยจัดทำมาตรฐานการวัดที่สามารถทำให้ตัดสินระดับคุณภาพได้ง่ายและถูกต้องแล้ว พนักงานสามารถระบุระดับคุณภาพได้อย่างเที่ยงตรงและแม่นยำ 100 % จากผลการทดสอบภายหลังการปรับปรุง

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2544 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4170411021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD : MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS / MEASUREMENT / QS9000

PHAJONGKIT SOTHANAYONGKUL : MEASUREMENT SYSTEM ANALYSIS IN AN AUTOMOBILE FUEL INJECTION PIPE FACTORY. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. DR. CHUVEJ CHANSA-NGAVEJ, 145 pp. ISBN 974-03-0224-6

The objective of this research is for analysis of precision and accuracy of measurement system in order to comply with QS 9000 in part of Measurement System Analysis (MSA:1994). The scope is only one sample injection-fuel pipe item. No more than 30 % is criteria standard when measurement system variance in each inspection point was compared with tolerance of it. This experiment is limited only precision of variable characteristics (15 inspection points), accuracy and precision of attribute characteristics (6 inspection points).

Research methodology was started at experiment planning, including sample detail study, after that the experiments and analysis of result are executed to find out causes of non-conforming in measurement system and counter measures. Then workmanship standard of measurement were set up, finally experiment were run again for research conclusion.

For variable characteristics, the result from first experiment showed that average variance of measurement system precision (% Gage Repeatability and Reproducibility: GR&R) was 124.1%, which exceeded the criteria of MSA 1995 (No more than 30%), came from Repeatability variance 56.6% and Reproducibility variance 103.8%. The causes of these variance came from lack of accurate and clear workmanship standard which affect the differences value of measures from each measurers and Repeatability variance, another cause was came from measurement jig that couldn't give the accurate and precise reference for measurements. After we found out the workmanship standards and implemented it, the after improvement result showed that average GR&R was only 21%, which passed the criteria at 30% level, This figure was derived from Repeatability variance 18.9% and Reproducibility variance 6.5%.

For attribute characteristics, which had the target of accuracy and precision at 100% level, had six inspection points. The research result from first experiment showed that five of them had 100% both accuracy and precision criteria. Only one inspection point, namely angle of head pipe, was found the problems in accuracy and precision figures because measurement method couldn't identify clear result between good and wrong products. After implementation of new measurement method that can clarify exactly quality of product, the after improvement result showed 100% both of accuracy and precision figures.

Department Industrial Engineering Student's signature .....

Field of Study Industrial Engineering Advisor's signature .....

Academic Year 2001 Co-advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเวช ชาญสง่าเวช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆในการวิจัยมาด้วยดีตลอด

นอกจากนี้ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ขอขอบพระคุณ คุณ สมเกียรติ บวรภารดร ที่ปรึกษาของบริษัท และพนักงานของทางบริษัทกรณีศึกษาทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและความสนับสนุนตลอดเวลาที่ได้ทำการวิจัย

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดาและมารดา ที่ให้ความเข้าใจและสนับสนุนจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดี

ผจงกิจ โสธนะยงกุล

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ฌ
สารบัญรูป.....ฎ
นิยามศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์.....ต

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมา.....1
1.2 วัตถุประสงค์.....1
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....4

บทที่ 2 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....5
2.1 ความผันแปรในระบบการวัด.....5
2.2 ความผิดพลาดของค่าวัด.....8
2.3 แนวความคิดในการวิเคราะห์ระบบการวัด.....8
2.4 แผนภูมิในการเลือกเครื่องมือในการทดสอบการวิเคราะห์ระบบการวัด.....11
2.5 การวิเคราะห์ระบบการวัดในลักษณะสมบัติเชิงปริมาณหรือเชิงผันแปร.....12
2.5.1 การวิเคราะห์ความเที่ยงตรงของระบบการวัด.....12
2.5.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด.....13
2.6 การวิเคราะห์ระบบการวัดในลักษณะสมบัติเชิงคุณลักษณะหรือเชิงคุณภาพ.....17

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....19
3.1 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย.....19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผลการวิจัย.....32
4.1 จุดตรวจสอบลักษณะสมบัติเชิงปริมาณ.....32
4.1.1 ผลการวิจัยก่อนการปรับปรุงของจุดตรวจสอบ.....32
ลักษณะสมบัติเชิงปริมาณ
4.1.2 การดำเนินการปรับปรุงระบบการวัดของจุดตรวจสอบเชิงปริมาณ.....62
4.1.3 การทดลองภายหลังการปรับปรุง.....71
4.2 จุดตรวจสอบลักษณะสมบัติเชิงคุณลักษณะ.....95

บทที่ 5 การอภิปรายและสรุปผลงานวิจัย.....106
5.1 การอภิปรายผลการวิจัย.....106
5.1.1 จุดตรวจสอบลักษณะสมบัติเชิงปริมาณ.....106
5.1.2 จุดตรวจสอบลักษณะสมบัติเชิงคุณลักษณะ.....109
5.2 การสรุปผลการวิจัย.....109
5.2.1 จุดตรวจสอบลักษณะสมบัติเชิงปริมาณ.....110
5.2.2 จุดตรวจสอบลักษณะสมบัติเชิงคุณลักษณะ.....113
5.3 ข้อจำกัดของงานวิจัย.....113
5.4 แนวทางสำหรับการวิจัยในอนาคต.....114
5.5 ประโยชน์ในทางประยุกต์ของผลวิจัยที่ได้.....114
5.6 ข้อเสนอแนะสำหรับโรงงานอื่นๆ.....115
รายการอ้างอิง.....116

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก.....117
ภาคผนวก ก.1 วิธีการคำนวณค่าความแปรปรวนของความแม่นยำของระบบการวัด.....118
โดยวิธีค่าเฉลี่ยและพิสัย
ภาคผนวก ก.2 ข้อมูลการทดสอบการวิเคราะห์ระบบการวัดของจุดตรวจสอบ.....124
ลักษณะสมบัติเชิงผันแปร (ก่อนการปรับปรุง)
ภาคผนวก ก.2 ข้อมูลการทดสอบการวิเคราะห์ระบบการวัดของจุดตรวจสอบ.....128
ลักษณะสมบัติเชิงผันแปร (หลังการปรับปรุง)
ภาคผนวก ข.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความแม่นยำของระบบการวัด.....132
ของจุดตรวจสอบลักษณะสมบัติเชิงผันแปร (ก่อนการปรับปรุง)
ภาคผนวก ข.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของความแม่นยำของระบบการวัด.....134
ของจุดตรวจสอบลักษณะสมบัติเชิงผันแปร (หลังการปรับปรุง)
ภาคผนวก ค.1 ข้อมูลการวิเคราะห์ระบบการวัดของจุดตรวจสอบลักษณะสมบัติ.....136
เชิงคุณลักษณะ

ประวัติผู้เขียน.....145

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สาเหตุแห่งความผิดพลาดจากการวัดด้วยเครื่องมือเชิงกล	7
2.2	ประเภทความผันแปรในระบบการวัด	8
3.1	ตารางแสดงจุดตรวจสอบและวิธีการตรวจสอบของชิ้นงานตัวอย่าง	23
3.2	ตารางแสดงเครื่องมือวัดลักษณะสมบัติเชิงปริมาณสำหรับชิ้นงานตัวอย่าง	24
3.3	ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดลักษณะสมบัติเชิงปริมาณที่ใช้ในการทดลอง	26
3.4	ตารางแสดงเครื่องมือวัดลักษณะสมบัติเชิงคุณลักษณะสำหรับชิ้นงานตัวอย่าง	27
3.5	ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดลักษณะสมบัติเชิงคุณลักษณะที่ใช้ในการทดลอง	
4.1	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 3 (ก่อนการปรับปรุง)	32
4.2	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 4 (ก่อนการปรับปรุง)	34
4.3	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 5 (ก่อนการปรับปรุง)	36
4.4	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 6 (ก่อนการปรับปรุง)	38
4.5	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 7 (ก่อนการปรับปรุง)	40
4.6	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 8 (ก่อนการปรับปรุง)	42
4.7	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 9 (ก่อนการปรับปรุง)	44
4.8	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 10 (ก่อนการปรับปรุง)	46
4.9	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 13 (ก่อนการปรับปรุง)	48
4.10	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 14 (ก่อนการปรับปรุง)	50
4.11	การเปรียบเทียบลักษณะการจับชิ้นงานเพื่อการวัดโดยอุปกรณ์จับยึดชิ้นงาน 2 แบบ	53-55

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.12	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 17 (ก่อนการปรับปรุง)	56
4.13	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 18 (ก่อนการปรับปรุง)	57
4.14	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 19 (ก่อนการปรับปรุง)	58
4.15	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 20 (ก่อนการปรับปรุง)	59
4.16	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 21 (ก่อนการปรับปรุง)	60
4.17	ตารางสรุปสาเหตุและมาตรการดำเนินการแก้ไขระบบการวัดของจุดตรวจสอบลักษณะสมบัติเชิงปริมาณที่ใช้เครื่องมือตรวจสอบ “ไมโครมิเตอร์”	62
4.18	มาตรฐานการวัดของจุดตรวจสอบที่ใช้เครื่องมือวัด “ไมโครมิเตอร์”	63
4.19	ตารางสรุปสาเหตุและมาตรการดำเนินการแก้ไขระบบการวัดของจุดตรวจสอบลักษณะสมบัติเชิงปริมาณที่ใช้เครื่องมือตรวจสอบ “เวอร์เนีย”	64
4.20	มาตรฐานการวัดของจุดตรวจสอบที่ใช้เครื่องมือวัด “เวอร์เนีย”	65-66
4.21	ตารางสรุปสาเหตุและมาตรการดำเนินการแก้ไขระบบการวัดของจุดตรวจสอบลักษณะสมบัติเชิงปริมาณที่ใช้เครื่องมือตรวจสอบ “ไฮเกจและอุปกรณ์จับยึด”	67
4.22	มาตรฐานการวัดของจุดตรวจสอบที่ใช้เครื่องมือวัด “ไฮเกจและอุปกรณ์จับยึด”	68-70
4.23	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 3 (หลังปรับปรุง)	72
4.24	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 4 (หลังปรับปรุง)	74
4.25	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 5 (หลังปรับปรุง)	75
4.26	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 6 (หลังปรับปรุง)	77

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.27	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 7 (หลังปรับปรุง)	78
4.28	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 8 (หลังปรับปรุง)	80
4.29	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 9 (หลังปรับปรุง)	81
4.30	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 10 (หลังปรับปรุง)	83
4.31	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 13 (หลังปรับปรุง)	84
4.32	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 14 (หลังปรับปรุง)	86
4.33	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 17 (หลังปรับปรุง)	87
4.34	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 18 (หลังปรับปรุง)	89
4.35	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 19 (หลังปรับปรุง)	90
4.36	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 20 (หลังปรับปรุง)	92
4.37	ผลการตรวจสอบการวิเคราะห์ความแม่นยำในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 21 (หลังปรับปรุง)	93
5.1	การสรุปสาเหตุและแนวทางการแก้ไขของความสามารถในการทำเหมือน	111
5.2	การสรุปสาเหตุและแนวทางการแก้ไขของความสามารถในการทำซ้ำ	112
ก.1	ใบรายงานการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดลักษณะสมบัติเชิงปริมาณ	

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	สาเหตุแห่งความผันแปรของระบบการวัด	6
2.2	แผนภูมิการเลือกวิธีการในการทดสอบการวิเคราะห์ระบบการวัด	11
2.3	ความเที่ยงตรงและความแม่นยำของระบบการวัด	12
2.4	ความแปรปรวนจากความสามารถในการทำซ้ำและความสามารถในการทำเหมือน	14
3.1	โครงสร้างองค์กรของโรงงานตัวอย่าง	20
3.2	ชิ้นงานตัวอย่างในการทดสอบ	21
3.3	จุดตรวจสอบของชิ้นงานตัวอย่าง	22
3.4	ลักษณะการติดตั้งชิ้นงานกับอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานทั้ง 2 แบบ	25
3.5	การพลิกอุปกรณ์จับยึดเพื่อวัดในจุดตรวจสอบที่ 17 18 และ19	26
3.6	การพลิกอุปกรณ์จับยึดเพื่อวัดในจุดตรวจสอบที่ 20 และ 21	26
4.1	การเปรียบเทียบลักษณะการจับชิ้นงานในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 3	31
4.2	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 3 (ก่อนการปรับปรุง)	32
4.3	การเปรียบเทียบลักษณะการจับชิ้นงานในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 4	33
4.4	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 4 (ก่อนการปรับปรุง)	34
4.5	การเปรียบเทียบลักษณะการจับชิ้นงานในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 5	35
4.6	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 5 (ก่อนการปรับปรุง)	36
4.7	การเปรียบเทียบลักษณะการจับชิ้นงานในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 6	37
4.8	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 6 (ก่อนการปรับปรุง)	38

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.9	การเปรียบเทียบลักษณะการจับชิ้นงานในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 7	40
4.10	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 7 (ก่อนการปรับปรุง)	40
4.11	การเปรียบเทียบลักษณะการจับชิ้นงานในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 8	42
4.12	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 8 (ก่อนการปรับปรุง)	42
4.13	การเปรียบเทียบลักษณะการจับชิ้นงานในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 9	44
4.14	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 9 (ก่อนการปรับปรุง)	44
4.15	การเปรียบเทียบลักษณะการจับชิ้นงานในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 10	46
4.16	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 10 (ก่อนการปรับปรุง)	46
4.17	การเปรียบเทียบลักษณะการจับชิ้นงานในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 13	48
4.18	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 13 (ก่อนการปรับปรุง)	48
4.19	การเปรียบเทียบลักษณะการจับชิ้นงานในการวัดของจุดตรวจสอบที่ 14	50
4.20	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 14 (ก่อนการปรับปรุง)	50
4.21	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 17 (ก่อนการปรับปรุง)	56
4.22	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 18 (ก่อนการปรับปรุง)	57
4.23	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 19 (ก่อนการปรับปรุง)	58
4.24	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 20 (ก่อนการปรับปรุง)	59
4.25	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 21 (ก่อนการปรับปรุง)	60

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.26	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 3 (หลังปรับปรุง)	72
4.27	ผลการเปรียบเทียบความแปรปรวนของความแม่นยำในจุดตรวจสอบที่ 3 (ก่อนและหลังปรับปรุง)	73
4.28	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 4 (หลังปรับปรุง)	74
4.29	ผลการเปรียบเทียบความแปรปรวนของความแม่นยำในจุดตรวจสอบที่ 4 (ก่อนและหลังปรับปรุง)	75
4.30	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 5 (หลังปรับปรุง)	75
4.31	ผลการเปรียบเทียบความแปรปรวนของความแม่นยำในจุดตรวจสอบที่ 5 (ก่อนและหลังปรับปรุง)	76
4.32	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 6 (หลังปรับปรุง)	77
4.33	ผลการเปรียบเทียบความแปรปรวนของความแม่นยำในจุดตรวจสอบที่ 6 (ก่อนและหลังปรับปรุง)	78
4.34	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 6 (หลังปรับปรุง)	78
4.35	ผลการเปรียบเทียบความแปรปรวนของความแม่นยำในจุดตรวจสอบที่ 6 (ก่อนและหลังปรับปรุง)	79
4.36	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 8 (หลังปรับปรุง)	80
4.37	ผลการเปรียบเทียบความแปรปรวนของความแม่นยำในจุดตรวจสอบที่ 8 (ก่อนและหลังปรับปรุง)	81
4.38	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 9 (หลังปรับปรุง)	81
4.39	ผลการเปรียบเทียบความแปรปรวนของความแม่นยำในจุดตรวจสอบที่ 9 (ก่อนและหลังปรับปรุง)	82

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.40	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 10 (หลังปรับปรุง)	83
4.41	ผลการเปรียบเทียบความแปรปรวนของความแม่นยำในจุดตรวจสอบที่ 10 (ก่อนและหลังปรับปรุง)	84
4.42	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 13 (หลังปรับปรุง)	84
4.43	ผลการเปรียบเทียบความแปรปรวนของความแม่นยำในจุดตรวจสอบที่ 13 (ก่อนและหลังปรับปรุง)	85
4.44	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 14 (หลังปรับปรุง)	86
4.45	ผลการเปรียบเทียบความแปรปรวนของความแม่นยำในจุดตรวจสอบที่ 14 (ก่อนและหลังปรับปรุง)	87
4.46	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 17 (หลังปรับปรุง)	87
4.47	ผลการเปรียบเทียบความแปรปรวนของความแม่นยำในจุดตรวจสอบที่ 17 (ก่อนและหลังปรับปรุง)	88
4.48	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 18 (หลังปรับปรุง)	89
4.49	ผลการเปรียบเทียบความแปรปรวนของความแม่นยำในจุดตรวจสอบที่ 18 (ก่อนและหลังปรับปรุง)	90
4.50	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 19 (หลังปรับปรุง)	90
4.51	ผลการเปรียบเทียบความแปรปรวนของความแม่นยำในจุดตรวจสอบที่ 19 (ก่อนและหลังปรับปรุง)	91
4.52	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 20 (หลังปรับปรุง)	92
4.53	ผลการเปรียบเทียบความแปรปรวนของความแม่นยำในจุดตรวจสอบที่ 20 (ก่อนและหลังปรับปรุง)	93

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.54	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าวัดที่ได้จากผู้วัดทั้ง 2 คน ในแต่ละชิ้นงาน จุดตรวจสอบที่ 21 (หลังปรับปรุง)	93
4.55	ผลการเปรียบเทียบความแปรปรวนของความแม่นยำในจุดตรวจสอบที่ 21 (ก่อนและหลังปรับปรุง)	94
4.56	รูปแสดงชิ้นงานที่มีมุมน้อยกว่า 58 องศาจากการเทียบแผ่นวัดมุมขนาด 58 องศา	100
4.57	รูปแสดงชิ้นงานที่มีมุมอยู่ระหว่าง 57 ถึง 58 องศาจากการเทียบแผ่นวัดมุมขนาด 57 องศา	100
4.58	รูปแสดงชิ้นงานที่มีมุมมากกว่า 58 องศา จากการเทียบแผ่นวัดมุมขนาด 58 องศา	100
4.59	รูปแสดงชิ้นงานที่มีมุมอยู่ระหว่าง 58 ถึง 59 องศาจากการเทียบแผ่นวัดมุมขนาด 59 องศา	100
5.1	การเปรียบเทียบความแปรปรวนของความแม่นยำในการวัดก่อน และหลังปรับปรุง	110

นิยามศัพท์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์

Measurement System Analysis (MSA)	หมายถึง	"การวิเคราะห์ระบบการวัด" ซึ่งสามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นทางด้านความเที่ยงตรงและความแม่นยำ
Bias	หมายถึง	"ความเอนเอียง" ผลต่างของค่าที่วัดได้จากค่าจริงของชิ้นงาน
Error	หมายถึง	"ค่าผิดพลาด"
Tolerance	หมายถึง	"ค่าคาดเคลื่อนอนุโลม"
Accuracy	หมายถึง	"ความเที่ยงตรง"
Precision	หมายถึง	"ความแม่นยำ"
Gage Repeatability & Reproducibility หรือ เทคนิค GR&R	หมายถึง	"เทคนิคความสามารถในการทำซ้ำและทำเหมือนของเครื่องมือวัด" โดยสามารถคำนวณค่าความสามารถในการทำเหมือนและทำซ้ำรวมกันเรียกว่า ค่า %GR&R ซึ่งหมายถึง "ค่าความแปรปรวนของความแม่นยำของระบบการวัดโดยรวม"
Repeatability	หมายถึง	"ความสามารถในการทำซ้ำ" ของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขการวัดเดียวกัน เช่น อุปกรณ์การวัดเดียวกัน พนักงานคนเดียวกัน ซึ่งสามารถวัดออกมาเป็นค่าโดยเรียกว่า % Equipment Variation (%EV) ซึ่งหมายถึง "ค่าความแปรปรวนของอุปกรณ์วัด"
Reproducibility	หมายถึง	"ความสามารถในการทำเหมือน" ของระบบการวัดภายใต้เงื่อนไขการวัดที่ต่างกัน เช่น พนักงานต่างกัน อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเพื่อการวัดต่างกัน ซึ่งสามารถวัดออกมาเป็นค่าโดยเรียกว่า % Appraiser Variation (%AV) ซึ่งหมายถึง "ค่าความแปรปรวนระหว่างพนักงานวัด หรือระหว่างอุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเพื่อการวัดที่ต่างกัน"
Variable Characteristic	หมายถึง	"ลักษณะสมบัติเชิงปริมาณ หรือ เชิงตัวแปร" ซึ่งหมายถึง จุดตรวจสอบที่สามารถแสดงออกมาเป็นค่าตัวเลข และสามารถบอกขนาดของความแตกต่างระหว่างระดับที่วัดได้เป็นตัวเลขได้เช่นกัน เช่น ความยาว เส้นผ่านศูนย์กลาง

Attribute Characteristic	หมายถึง	“ลักษณะสมบัติเชิงคุณลักษณะ หรือ เชิงคุณภาพ” ซึ่งหมายถึง จุดตรวจสอบที่ระบุระดับของคุณภาพได้เพียง ผ่าน หรือ ไม่ผ่าน เท่านั้น เช่น การประกอบ ซึ่งสามารถระบุระดับคุณภาพว่า ผ่าน หากสามารถประกอบกับชิ้นส่วนอื่นที่นำมาทดสอบได้ และ ไม่ผ่าน หากไม่สามารถประกอบได้
$\overline{R_i}$	หมายถึง	ค่าเฉลี่ยของพิสัยของค่าวัดจากพนักงานคนที่ i หรืออุปกรณ์จับยึดที่ i
$\overline{X_i}$	หมายถึง	ค่าเฉลี่ยของค่าวัดจากพนักงานคนที่ i หรืออุปกรณ์จับยึดที่ i