

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา  
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

การปรับปรุงความถูกต้องของระบบการวัดสำหรับเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือน

ประมวล มลาร์ตัน

TH0019837

- 4 ต.ค. 2556

327307

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

ตุลาคม 2554

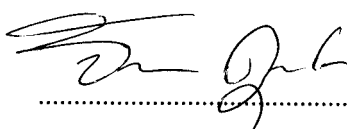
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

สิ่งบบริการ

26 พ.ย. 2556

อาจารย์ผู้ควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบปากเปล่างานนิพนธ์ ได้พิจารณา  
งานนิพนธ์ของ ประมวล มาลารัตน์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

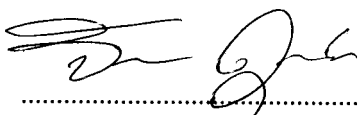
อาจารย์ผู้ควบคุมงานนิพนธ์



..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(ดร. จักรवाल คุณะติลล)

คณะกรรมการสอบปากเปล่างานนิพนธ์

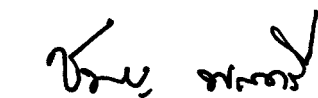


..... ประธาน

(ดร. จักรवाल คุณะติลล)

..... กรรมการ

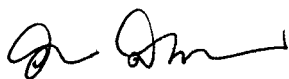
(ดร. ฤกษ์วัลย์ จันทร์สา)



..... กรรมการ

(อาจารย์ชาญชัย พลตรี)

คณะวิศวกรรมศาสตร์อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม  
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ของมหาวิทยาลัยบูรพา



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ดร. อาณัติ ดีพัฒนา)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ 2554

## ประกาศคุณูปการ

งานนิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ดร. จักรวาล คุณะดิลก และอาจารย์ชาญชัย พลตรี อาจารย์ที่ปรึกษางานนิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางที่ถูกต้อง ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำหลักสูตรของวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาทุกท่าน ที่กรุณาให้การอบรม สั่งสอน ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้ประสบการณ์ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่ง แก่ผู้วิจัยตลอดจนให้ความเมตตากรุณา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา ผู้วิจัยขอจารึกไว้ตลอดไป

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่จากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และบุคลากรของมหาวิทยาลัยบูรพา ตลอดจนผู้มีส่วนสำเร็จต่องานนิพนธ์นี้ทุกท่าน

ขอขอบคุณเพื่อนนิสิตทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ และแนะนำในการทำงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างดี

ท้ายที่สุดนี้ คุณค่าและประโยชน์อันจะเกิดจากงานนิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีการศึกษา และประสบความสำเร็จมาจนตราบนานเท่านานนี้

ประมวล มลารัตน์

52920461: สาขาวิชา: วิศวกรรมอุตสาหการ; วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ)

คำสำคัญ: เครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือน / ความถูกต้องของระบบ / การวิเคราะห์ระบบการวัด  
ประมวล มลารัตน์: การปรับปรุงความถูกต้องของระบบการวัดค่าสำหรับเครื่องวัดค่า  
ความสั่นสะเทือน (AN IMPROVEMENT OF MEASUREMENT SYSTEM ACCURACY OF A  
VIBRATION MEASURING DEVICE.) อาจารย์ผู้ควบคุมงานนิพนธ์: ดร. จักรวาล คุณะดิลก,  
จำนวน 90 หน้า. ปี พ.ศ. 2554.

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงความสามารถในระบบการวัดของเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนและสร้างมาตรการตรวจสอบความพร้อมของเครื่องก่อนนำเครื่องไปใช้งาน งานวิจัยได้ประยุกต์ใช้หลักการวิเคราะห์ระบบการวัดในการประเมินค่าไบอัส ของความผันแปรจากความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ และประเมินค่าสัดส่วนความแม่นยำต่อพิสัยความถี่ (P/T) ของความผันแปรจากความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม ผลการวิจัยพบว่า การวัดค่าความสั่นสะเทือนจากเครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือนมีความผันแปรจากค่ามาตรฐาน กล่าวคือมีค่าไบอัส 9.49% ไม่เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ 5% ถึง 10% และมีค่า P/T 69.69% เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือ 10% ถึง 30% จากการวิเคราะห์ปัญหาด้วยแผนผังก้างปลา และเทคนิคการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA) พบว่าสาเหตุที่ทำให้ค่า P/T มีค่ามากเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเกิดจากสายวัดสัญญาณค่าความสั่นสะเทือนชำรุด และเกิดจากอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าความสั่นสะเทือนไม่ได้รับการตรวจสอบก่อนนำไปใช้งาน หลังจากดำเนินการแก้ไขปัญหาดังกล่าวทำให้ผลการประเมินค่าความถูกต้องของเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือน (P/T) ที่ 23.39% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ หลังจากนั้นได้ทำการกำหนดมาตรการประเมินความแม่นยำของเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนก่อนนำไปใช้งานเพื่อให้มั่นใจว่าเครื่องสามารถวัดค่าได้ถูกต้องตามมาตรฐาน

50925570: MAJOR: INDUSTRIAL ENGINEERING; M. ENG.

KEY WORK: VIBRATION MEASURING DEVICE / SYSTEM ACCURACY /  
MEASUREMENT SYSTEMS ANALYSIS.

PRAMUAN MALARAT: AN IMPROVEMENT OF MEASUREMENT SYSTEM  
ACCURACY OF A VIBRATION MEASURING DEVICE. ADVISOR: JAKRAWARN  
KUNADILOK, Ph.D., 90 P. 2011.

The objectives of this research were to improve the capability of measurement system of the vibration measuring device and to develop the standard procedures to check readiness of the device before use. The research applied the Measurement System Analysis (MSA) to evaluate bias due to deviation of systematic error, and precision-to-tolerance (P/T) ratio due to deviation of random error. Results from the research showed that vibration value measured by the measuring device was deviated from standard value. It was found that the bias was 9.49%, which was within the standard at 5% to 10%. For the P/T value, it was 69.69%, which was higher than standard at 10% to 30%. From problem analysis using Fishbone Diagram and Failure and Effect Mode Analysis (FMEA) technique, it showed that main causes of the problems were from the breakdown of connector signal wire for measuring the vibration and the lack of device inspection before use. After broken down device was fixed, P/T value was reduced to 23.39%, which was within the standard. Then the standard procedure of measuring device operation before use was developed to evaluate its accuracy to conform the standard.

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการวิจัย.....	2
2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
บทบาทของระบบการวัดต่อการควบคุมกระบวนการและผลิตภัณฑ์.....	3
ความผันแปรในระบบการวัด.....	4
ความคลาดเคลื่อนของค่าวัด.....	6
แนวคิดในการวิเคราะห์ระบบการวัด.....	7
ค่าความผันแปรจากค่าวัด.....	10
การประเมินคุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด.....	11
การประเมินผลคุณสมบัติความแม่นยำของระบบการวัด (Gage R&R).....	13
อุปกรณ์การวัดและวิเคราะห์การสันสะท้อน.....	15
เครื่องจำลองสัญญาณการสันสะท้อนแบบแม่เหล็ก.....	23
แผนผังก้างปลา.....	24
การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ.....	25
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	34
ศึกษาระบบการวัดค่าความสันสะท้อนของหน่วยงาน.....	35
การบ่งชี้ปัญหาความไม่แน่นอนของระบบการวัดค่าความสันสะท้อน.....	43

## สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
การประเมินความถูกต้องของเครื่องมือวัดค่าความสิ้นสะอาด.....	44
4 ผลการวิจัย .....	58
การวิเคราะห์ปัญหาความไม่แน่นอนของระบบการวัดค่าความสิ้นสะอาด.....	58
การแก้ไขปัญหาคำเครื่องวัดค่าความสิ้นสะอาด.....	63
การประเมินความถูกต้องเครื่องมือวัดค่าความสิ้นสะอาด หลังการแก้ไขปัญหา.....	65
การกำหนดมาตรการประเมินความถูกต้องเครื่องมือวัดค่าความสิ้นสะอาด เพื่อปรับปรุงระบบการวัด.....	70
5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	79
สรุปผลการวิจัย.....	79
ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	80
บรรณานุกรม .....	81
ภาคผนวก.....	82
ประวัติย่อของผู้วิจัย .....	90

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1	เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบ..... 27
2-2	เกณฑ์การประเมิน โอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง..... 28
2-3	เกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับ..... 28
3-1	ขั้นตอนของการดำเนินการวิจัย..... 34
3-2	ตารางเก็บข้อมูลค่าความสั่นสะเทือนสำหรับประเมินคุณสมบัติด้าน ไบอัส..... 45
3-3	เกณฑ์การยอมรับสำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติด้าน ไบอัสของเครื่องมือวัด..... 46
3-4	ตารางเก็บข้อมูลค่าความสั่นสะเทือนสำหรับการประเมินคุณสมบัติความแม่นยำ..... 47
3-5	เกณฑ์การยอมรับสำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำของ เครื่องมือวัด..... 48
3-6	ผลการเก็บค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนสำหรับการประเมินคุณสมบัติด้าน ไบอัส..... 50
3-7	ผลการเก็บค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนสำหรับการประเมินคุณสมบัติด้าน ความแม่นยำ..... 54
4-1	ผลการวิเคราะห์ของระบบการวัดค่าความสั่นสะเทือนของหน่วยงานด้วย FMEA..... 61
4-2	ผลการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าสัญญาณสั่นสะเทือน..... 64
4-3	ผลค่าความสั่นสะเทือนสำหรับประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำหลังการ แก้ไขปัญหา..... 66
4-4	ใบตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือน..... 72
4-5	ใบเก็บข้อมูลค่าความสั่นสะเทือนสำหรับการประเมินคุณสมบัติด้าน ไบอัส..... 73
4-6	ใบเก็บข้อมูลค่าความสั่นสะเทือนสำหรับการประเมินคุณสมบัติความแม่นยำ..... 75
4-7	ใบสรุปผลการประเมินความถูกต้องเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือน..... 77
4-8	ใบสาเหตุและการแก้ไขของเครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือน..... 78



## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	บทบาทของการวัดต่อการควบคุมกระบวนการและผลิตภัณฑ์.....	3
2-2	ความผันแปรในระบบการวัด.....	4
2-3	ประเภทของความผันแปรจากระบบการวัด.....	4
2-4	ความแตกต่างระหว่างไบอัสและความแม่นยำ.....	7
2-5	การจำแนกความคลาดเคลื่อนจากการวัดออกเป็นแหล่งต่าง ๆ.....	8
2-6	โครงสร้างของการสอบกลับได้สำหรับมาตรฐานการสอบเทียบ.....	8
2-7	แนวความคิดในการประเมินความผันแปร.....	10
2-8	ความหมายของคุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด.....	12
2-9	ส่วนประกอบของหัววัดการสั่นสะเทือนแบบระยะทาง.....	16
2-10	หัววัดการสั่นสะเทือนแบบพรีอิกซิมิตีการเคลื่อนที่ของเพลลาในเครื่องจักร.....	16
2-11	หัววัดการสั่นสะเทือนแบบความเร็วที่ใช้หลักการขดลวดเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก.....	17
2-12	ค่าความไว (Sensitivity) ของหัววัดการสั่นสะเทือนแบบความเร็ว.....	18
2-13	หัววัดการสั่นสะเทือนแบบความเร่งโดยทั่วไปและภาพตัดของหัววัดความเร่ง.....	19
2-14	มิเตอร์วัดความสั่นสะเทือน (Vibration Meter).....	20
2-15	เครื่องมือเก็บข้อมูลและวิเคราะห์แบบ FFT (Fast Fourier Transfer).....	21
2-16	เครื่องมือเก็บข้อมูลและวิเคราะห์แบบ FFT พร้อมชุดปรับสมดุล (Balancing).....	21
2-17	การติดตั้งระบบ On-line กับเครื่องจักร.....	22
2-18	การเก็บข้อมูลด้วยระบบ On-line โดยเครื่องมือ Data Acquisition.....	22
2-19	ส่วนประกอบสำหรับการวัดและวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน.....	23
2-20	เครื่องจำลองสัญญาณการสั่นสะเทือนแบบแม่เหล็ก.....	24
2-21	แสดงแผนผังกำลังปลา.....	24
2-22	ขั้นตอนการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ.....	26
3-1	เครื่องวัดค่าสัญญาณสั่นสะเทือนเครื่องจักรของหน่วยงาน.....	35
3-2	ระบบการวัดค่าความสั่นสะเทือนเครื่องจักรด้วยเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนของหน่วยงาน.....	36

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-3 การ โหลดข้อมูลเครื่องจักรของ โรงงานอุตสาหกรรมเข้าไปเก็บไว้ที่เครื่องวัด ค่าความสั่นสะเทือน.....	37
3-4 การชาร์จแบตเตอรี่ของเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือน.....	38
3-5 ตัวอย่างของการวัดค่าความสั่นสะเทือนพร้อมบันทึกค่าไว้ที่เครื่องวัดค่า ความสั่นสะเทือน.....	39
3-6 การ โอนถ่ายข้อมูลค่าความสั่นสะเทือน ไปเก็บไว้ที่เครื่องคอมพิวเตอร์.....	39
3-7 ตัวอย่างแนวโน้มความรุนแรงของค่าความสั่นสะเทือนและรูปแบบของ เครื่องจักร.....	40
3-8 ตัวอย่างมาตรฐาน ISO 10816 สำหรับเปรียบเทียบระดับการสั่นสะเทือน.....	41
3-9 ตัวอย่างแผนภาพของรูปแบบการสั่นสะเทือน.....	41
3-10 ตัวอย่างรายงานผลการวิเคราะห์ความเสียหายของเครื่องจักรจากค่า ความสั่นสะเทือน.....	42
3-11 ขั้นตอนการประเมินความถูกต้องเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน.....	44
3-12 เครื่องจำลองสัญญาณการสั่นสะเทือน.....	49
3-13 ประกอบชุดเครื่องมือวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนเข้ากับเครื่องจำลองสัญญาณ สั่นสะเทือน.....	49
3-14 กราฟ R chart ของการประเมินคุณสมบัติด้าน ไบอัสของเครื่องมือวัด.....	51
3-15 กราฟ Xbar chart ของการประเมินคุณสมบัติด้าน ไบอัสของเครื่องมือวัด.....	52
3-16 กราฟ R chart ของการประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำของเครื่องมือวัด.....	55
3-17 กราฟ Xbar chart ของการประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำของเครื่องมือวัด.....	56
4-1 การวิเคราะห์สาเหตุความไม่แน่นอนด้วยแผนภูมิแกงปลาของระบบการวัด ค่าความสั่นสะเทือน.....	59
4-2 กราฟ R chart ของการประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัด หลังการปรับปรุง.....	67
4-3 กราฟ Xbar chart ของการประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัด หลังการปรับปรุง.....	68

## สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4-4	มาตรการประเมินความถูกต้องสำหรับคุณสมบัติด้าน ไปอัสเครื่องวัดค่า ความสั้นสะเทือน.....	70
4-5	มาตรการประเมินความถูกต้องสำหรับคุณสมบัติด้านความแม่นยำ เครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือน.....	71

# บทที่ 1

## บทนำ

### ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ส่วนใหญ่จำเป็นต้องมีการซ่อมบำรุงเพื่อให้เครื่องจักรสามารถดำเนินการผลิตได้ตามปกติ โดยกลยุทธ์การซ่อมบำรุงเครื่องจักรสามารถทำได้หลายกลยุทธ์ และกลยุทธ์ที่สามารถรู้ได้ว่าเครื่องจักรสามารถทำงานได้ตามปกติหรือไม่นั้น คือกลยุทธ์การซ่อมบำรุงตามเงื่อนไข ซึ่งเป็นกลยุทธ์ที่สามารถช่วยลดต้นทุนในส่วนของการซ่อมบำรุงได้อย่างดี

สำหรับวิธีการวิเคราะห์ค่าสันสะเทือนก็เป็นหนึ่งในเครื่องมือของกลยุทธ์การซ่อมบำรุงตามเงื่อนไข สามารถทำได้ โดยการนำเครื่องวัดค่าความสันสะเทือนไปทำการเก็บค่าสัญญาณสันสะเทือนของเครื่องจักร จากนั้นนำค่าสัญญาณสันสะเทือนที่ได้มาทำการวิเคราะห์ความผิดปกติของเครื่องจักร ซึ่งผลของการวิเคราะห์ถูกต้องหรือไม่นั้น ขึ้นอยู่กับความถูกต้องของค่าสัญญาณสันสะเทือนที่ได้จากเครื่องวัดค่าความสันสะเทือนนั้นต้องเป็นค่าที่ถูกต้อง บ่อยครั้งผู้ที่ทำการเก็บค่าสัญญาณสันสะเทือนของเครื่องจักรไม่ทราบว่าค่าสัญญาณสันสะเทือนที่วัดได้มาจากเครื่องวัดค่าความสันสะเทือนมีความถูกต้องหรือไม่ และเมื่อนำเครื่องวัดค่าความสันสะเทือนไปเก็บค่าสัญญาณสันสะเทือนของเครื่องจักรทำให้ผลของค่าสัญญาณสันสะเทือนเกิดความผิดพลาดตามมาด้วย ดังนั้นการที่สามารถตรวจสอบค่าความถูกต้องของเครื่องวัดค่าความสันสะเทือนก่อนที่นำไปวัดค่าสัญญาณสันสะเทือนของเครื่องจักร สามารถป้องกันความผิดพลาดที่จะส่งผลให้การวิเคราะห์ค่าสัญญาณสันสะเทือนของเครื่องจักรมีความถูกต้อง

การศึกษาและการจัดทำโครงการวิจัย ผู้วิจัยมุ่งศึกษาการหาค่าความถูกต้องของเครื่องวัดค่าความสันสะเทือน โดยการวิเคราะห์ค่าทางสถิติ เพื่อป้องกันค่าที่ผิดพลาดและเพิ่มความน่าเชื่อถือสำหรับการวิเคราะห์ค่าสัญญาณสันสะเทือนของเครื่องจักร

### วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาปัญหาและปรับปรุงความสามารถของระบบการวัดค่าความสันสะเทือนให้มีความถูกต้องแม่นยำสูงขึ้น
2. เพื่อสร้างมาตรการตรวจสอบเครื่องมือวัดค่าความสันสะเทือนก่อนนำไปใช้งาน

### **ขอบเขตของงานวิจัย**

1. ทำการประเมินผลเครื่องวัดความสั่นสะเทือนภายในหน่วยงานเป็นกรณีศึกษาเท่านั้น
2. การประเมินผลของเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนด้วยวิธีการประเมินผลระบบการวัด

### **ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย**

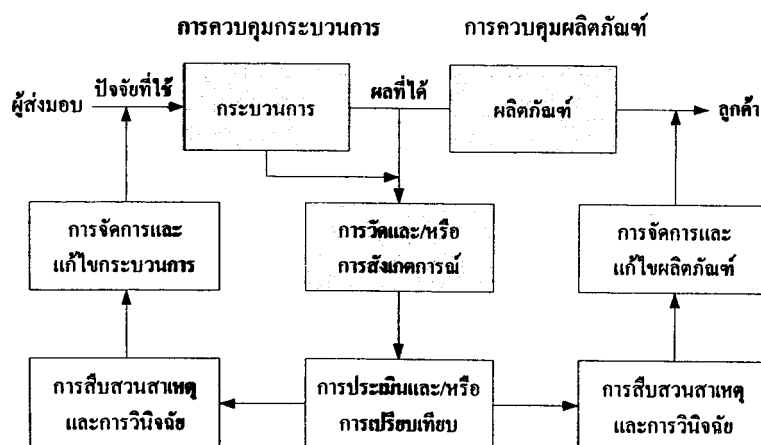
1. ทำให้ได้วิธีการประเมินความถูกต้องของเครื่องวัดความสั่นสะเทือนภายในหน่วยงาน
2. ทำให้เครื่องมือวัดได้รับการตรวจสอบความพร้อมก่อนการนำไปใช้งาน
3. ทำให้เพิ่มความน่าเชื่อถือกับระบบการวัดความสั่นสะเทือนของหน่วยงาน

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### บทบาทของระบบการวัดต่อการควบคุมกระบวนการและผลิตภัณฑ์

ในการตัดสินใจเพื่อคาดการณ์ผลจากกระบวนการที่คาดว่าจะเกิดขึ้นในอนาคตแล้วหาทางป้องกันแต่เริ่มแรกนี้จะขึ้นอยู่กับสารสนเทศที่ประเมินได้จากการวัดหรือสังเกตผลจากกระบวนการและจะดำเนินการตัดสินใจเพื่อการประกันคุณภาพใน 2 ประเด็น คือ การควบคุมผลิตภัณฑ์ (Product Control) เป็นการดึงสารสนเทศที่ได้จากการวัดผลจากกระบวนการแล้วประเมินเพื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะหรือสเปคเพื่อชี้บ่งถึงข้อบกพร่องแล้วดำเนินการจัดการกับผลิตภัณฑ์ที่บกพร่องตามความเหมาะสม อาทิ การนำกลับมาผลิตใหม่ การทำลายทิ้ง การจัดเกรดให้ต่ำลง เป็นต้น แล้วดำเนินการวิเคราะห์สาเหตุของข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์เนื่องจากกระบวนการและดำเนินการแก้ไข (Corrective action) กับสาเหตุที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องเพื่อป้องกันการเกิดซ้ำ รวมถึงการดำเนินการปฏิบัติการป้องกัน (Preventive Action) เพื่อป้องกันการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง สำหรับการควบคุมกระบวนการ (Process Control) จะเป็นการวิเคราะห์สาเหตุของข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการแล้วดำเนินการปฏิบัติการแก้ไข กับสาเหตุที่ก่อให้เกิดข้อบกพร่องรวมถึงการดำเนินการปฏิบัติการป้องกัน กับสาเหตุที่มีแนวโน้มก่อให้เกิดข้อบกพร่อง ด้วยการกำหนดให้อยู่ในรูปแบบแผนการแก้ไขป้องกันเมื่อเกิดภาวะออกนอกการควบคุม (Out of Control Corrective Action Plan; OCAP) ดังแสดงในภาพที่ 2-1



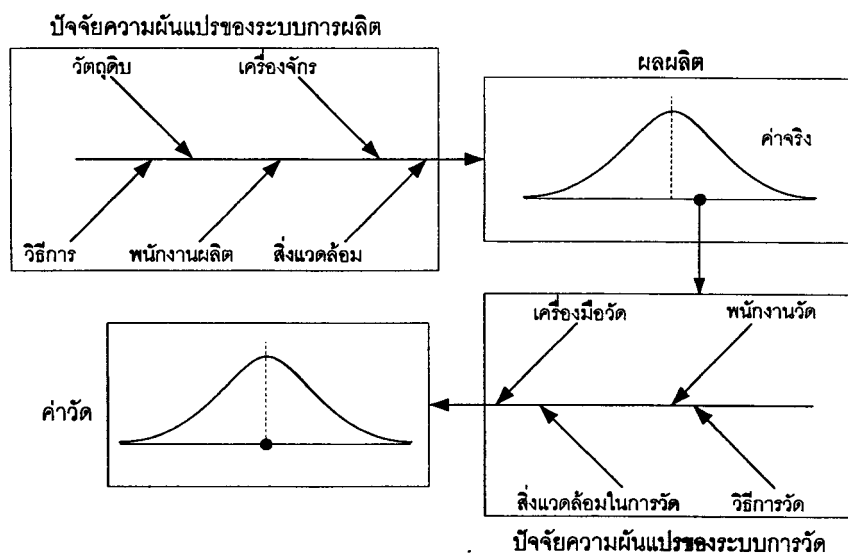
ภาพที่ 2-1 บทบาทของการวัดต่อการควบคุมกระบวนการและผลิตภัณฑ์

การควบคุมกระบวนการและการควบคุมผลิตภัณฑ์ต้องอาศัยการตัดสินใจจากข้อมูลที่วัดนี้เองจะมีผลทำให้เกิดการตัดสินใจผิดพลาดจากความคลาดเคลื่อน (error) ของระบบการวัดได้

## ความผันแปรในระบบการวัด

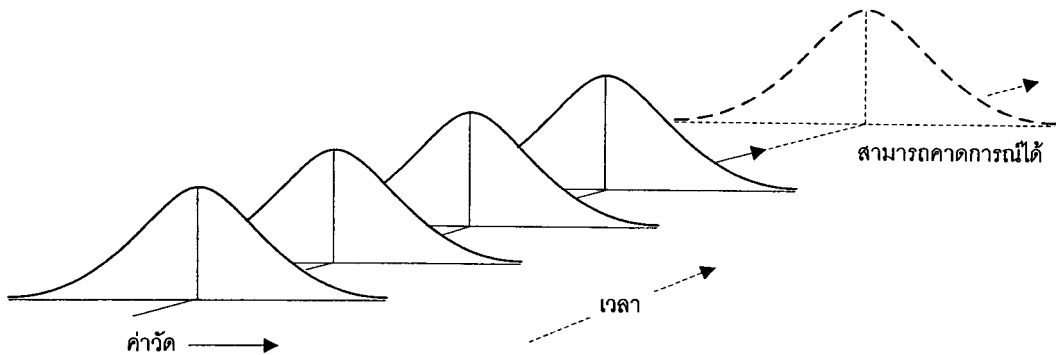
มาตรฐาน ISO 10012-1 ได้นิยามความหมายของ การวัด หมายถึง ชุดของการปฏิบัติการที่มีจุดประสงค์เพื่อพิจารณาค่าของปริมาณอันหนึ่ง และจะเรียกปริมาณใด ๆ ที่ได้รับการนำมาวัดนี้ว่า “สิ่งที่ได้รับการวัด (Measurand)”

จากนิยามดังกล่าว จะพบว่ามีความที่ใช้ในระบบการวัดที่สำคัญคือ ค่าคงที่ของสิ่งที่ได้รับการวัด ซึ่งถือเป็นค่าคงที่ไม่ทราบค่าและมีจุดประสงค์ที่จะกำหนดค่าให้ ในทางทฤษฎีจะเรียกค่าคงที่ที่ไม่ทราบค่านี้ว่า “ค่าจริง (True Value)” หรือค่าที่ได้รับการยอมรับโดยทั่วไป (General Accepted Value) หรือ ค่ามาสเตอร์ (Master value) นอกจากนี้ระบบการวัดยังหมายถึง ชุดการปฏิบัติการในการมอบหมายค่าตัวเลข ซึ่งหมายถึงกระบวนการวัด หรือระบบการวัด โดยมีองค์ประกอบหลัก ๆ คือ เครื่องมือวัด พนักงานวัด วิธีการวัด สิ่งที่ได้รับการวัด และสิ่งแวดล้อมในการวัด และเนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้จะมีความไม่เท่ากัน จึงส่งผลให้เกิดความแปรผันในระบบการวัดเสมอ ดังภาพที่ 2-2

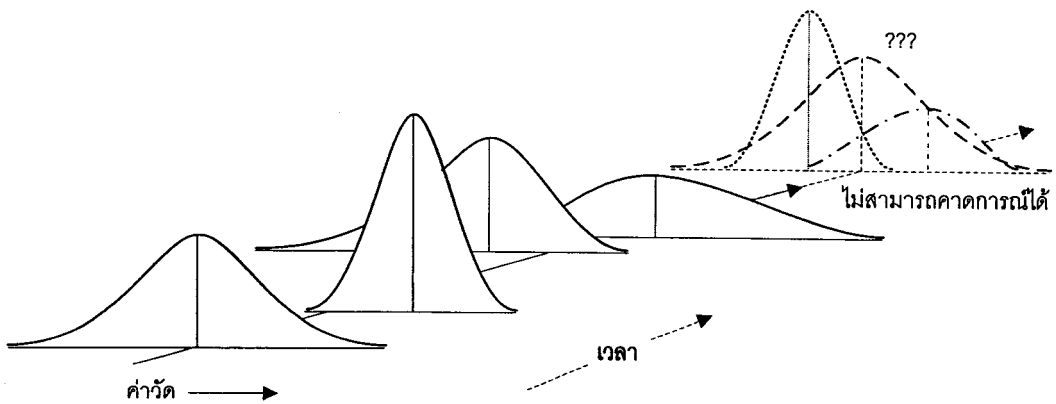


ภาพที่ 2-2 ความผันแปรในระบบการวัด

ความแปรผันในระบบการวัด ถ้าหากเป็นไปด้วยสาเหตุธรรมดา (Chance Cause or Common Cause of Variation) แล้วค่าความแปรผันจะอยู่ในลักษณะเสถียรภาพที่สามารถทำนายได้ ดังภาพที่ 2-3 (ก) แต่ถ้าหากความแปรผันที่เกิดจากสาเหตุความผิดพลาดอันเนื่องมาจากปัจจัยภายนอก (Assignable Cause or Special Cause of Variation) โดยค่าความแปรผันนี้จะไม่เสถียรและไม่สามารถทำนายได้ ดังภาพที่ 2-3 (ข) และอาจจะเรียกสาเหตุชนิดนี้ว่า สาเหตุแห่งความผิดพลาด ดังนั้นในการวัดเพื่อประกันคุณภาพจะดำเนินการตรวจจับสาเหตุแห่งความผิดพลาด (Special Cause) แล้วทำการกำจัดทิ้ง ควบคู่ไปกับการพยายามลดสาเหตุธรรมดา (Common Cause) แห่งความผันแปรอย่างต่อเนื่อง



(ก) กระบวนการวัดที่เสถียรภาพ



(ข) กระบวนการวัดที่ไม่เสถียรภาพ

ภาพที่ 2-3 ประเภทของความผันแปรจากระบบการวัด



## ความคลาดเคลื่อนของค่าวัด

จากสาเหตุด้านความผันแปรของระบบการวัดมีผลทำให้ค่าที่วัดได้เบี่ยงเบนไปจากค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัดเสมอ ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการความเบี่ยงเบนนี้ได้ ถ้าให้  $X_i$  เป็น ค่าวัดที่ได้ และ  $\mu$  หมายถึงค่าของสิ่งที่ได้รับการวัด แล้ว จะได้ว่า

$$X_i = \mu + \varepsilon_i \quad (2-1)$$

โดยที่  $\varepsilon_i$  คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด (Measurement Error)

ดังนั้น ในการบริหารระบบการวัดเพื่อการประกันคุณภาพ จึงมีความพยายามที่จะทำให้ความคลาดเคลื่อนของค่าวัดมีค่าต่ำที่สุด เพื่อจะให้ค่าวัดมีค่าใกล้เคียงกับค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัดมากที่สุด

โดยทั่วไปแล้วประเภทความคลาดเคลื่อนของระบบการวัดออกได้เป็น 3 ประเภท คือ

### 1. ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาด (Gross Error)

เป็นความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสาเหตุ ความผิดพลาดของระบบการวัด (Special Cause) ส่วนมากเกิดจากการขาดความรู้ ความเข้าใจ เกี่ยวกับเครื่องมือวัด และวิธีการวัดของพนักงานที่ทำหน้าที่วัด โดยลักษณะความคลาดเคลื่อนอาจจะมาจาก การเลือกใช้เครื่องมือวัดที่ผิดพลาด หรือ มาจากการอ่านค่าที่ผิดพลาด โดยความคลาดเคลื่อนในลักษณะเช่นนี้ไม่สามารถคาดการณ์ได้ แต่สามารถกำจัดได้เบื้องต้นด้วยการทำระบบการวัดให้ได้มาตรฐาน คือการกำหนดขั้นตอนและวิธีการวัดที่แน่นอน การฝึกอบรมพนักงานวัด การทำมาตรฐานของสิ่งที่ได้รับการวัด และการบำรุงรักษาเครื่องมือวัดอย่างถูกต้อง แล้วทำการประเมินโดยอาศัยแผนภูมิควบคุม (Control Chart)

### 2. ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Error)

หมายถึงความเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าไบอัส (Bias) โดยที่นิยามค่าไบอัสว่า ความคลาดเคลื่อนที่ค่าที่ควรจะเป็น (Expected Value) จากค่าวัดเบี่ยงเบนไปจากค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัด โดยค่าที่ควรจะเป็นนี้ได้มาจากการเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของค่าวัด กล่าวคือ

$$\text{ค่าไบอัส} = \bar{X}_i - \text{ค่าจริง} \quad (2-2)$$

### 3. ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม (Random Error)

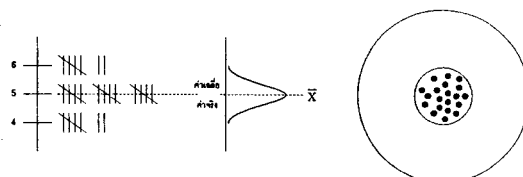
หมายถึงความเบี่ยงเบนของค่าวัดจากค่าที่ควรจะเป็นของค่าวัด ซึ่งจะมีลักษณะเป็นตัวแปรสุ่ม โดยความคลาดเคลื่อนนี้จะมาจากสาเหตุโดยธรรมชาติ (Common cause) ของระบบการวัด และไม่สามารถกำจัดทิ้งได้ แต่สามารถปรับค่าให้ลดลงได้ด้วยการดำเนินการแก้ไขระบบการวัด อาทิ ปรับวิธีการวัดใหม่ ใช้อุปกรณ์พวกจิกสและฟิกเจอร์ในการจับชิ้นงานที่จะวัด เป็นต้น

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม} = X_i - \bar{X} \quad (2-3)$$

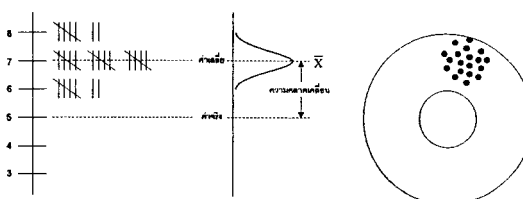
โดยที่  $X_i$  = ค่าที่วัด

$\bar{X}$  = ค่าเฉลี่ยของค่าที่วัด

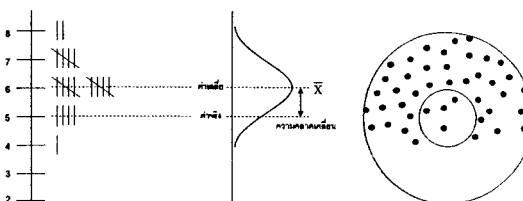
ภาพที่ 2-4 แสดงถึงความแตกต่างกันระหว่างความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มหรือความแม่นยำ (Precision) กับความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ หรือค่า ไบอัส โดยคุณสมบัติที่ต้องการของระบบการวัด คือจะต้องมีความไม่เอนเอียงและมีความแม่นยำ



(ก) ระบบการวัดที่ไม่เอนเอียงจากค่าจริงและมีความแม่นยำ



(ข) ระบบการวัดที่เอนเอียงจากค่าจริงแต่มีความแม่นยำ

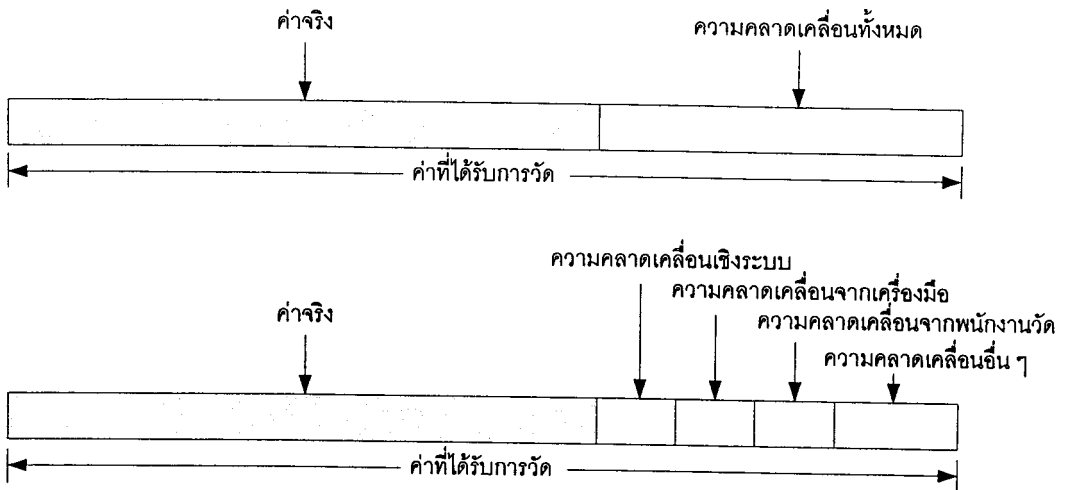


(ค) ระบบการวัดที่เอนเอียงจากค่าจริงและไม่มีมีความแม่นยำ

ภาพที่ 2-4 ความแตกต่างระหว่าง ไบอัสและความแม่นยำ

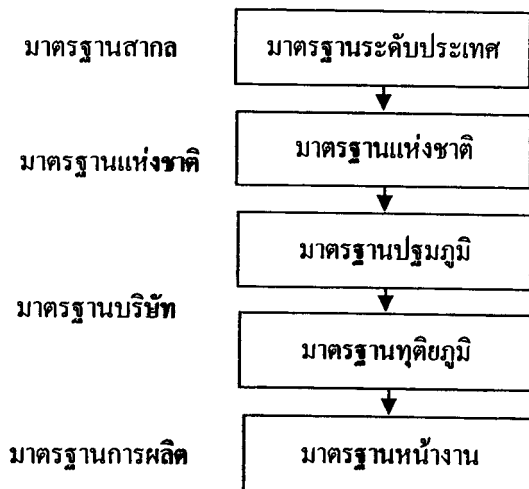
### แนวคิดในการวิเคราะห์ระบบการวัด

การวิเคราะห์ระบบการวัด เป็นการวิเคราะห์ถึงแหล่งของความคลาดเคลื่อนในระบบการวัด ด้วยการจำแนกสาเหตุออกดังภาพที่ 2-5 (จาก Farnum N.R. 1994) และเนื่องจากความคลาดเคลื่อนของค่าวัดมีทั้งปริมาณที่สามารถกำจัดได้และกำจัดไม่ได้ จึงมีความจำเป็นต้องดำเนินการกำจัดปริมาณที่สามารถควบคุมได้ก่อน อันได้แก่ ความคลาดเคลื่อนจากความผิดพลาดจากพนักงานวัด ซึ่งจะทำให้ระบบการวัดเป็นมาตรฐาน



ภาพที่ 2-5 การจำแนกความคลาดเคลื่อนจากการวัดออกเป็นแหล่งต่าง ๆ

เมื่อทำการลดความคลาดเคลื่อนเนื่องจากความผิดพลาดลงได้แล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการสอบเทียบเครื่องมือ เพื่อการกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ โดยการสอบเทียบนี้หมายถึงกระบวนการวิธีถ่ายค่ามาตรฐานของค่าวัดจากมาตรฐานที่สูงกว่าสู่มาตรฐานที่ต่ำกว่า โดยระบบการสอบเทียบดังกล่าวนี้ต้องสามารถสอบกลับได้ (Traceability) ดังแสดงในภาพที่ 2-6 โดยการสอบกลับได้ จะมีความหมายถึง ความสามารถต่อการกำหนดความสัมพันธ์ของค่าวัดแต่ละค่ากับมาตรฐานแห่งชาติหรือมาตรฐานระหว่างประเทศที่ได้รับการยอมรับ โดยระบบมีความต่อเนื่อง



ภาพที่ 2-6 โครงสร้างของการสอบกลับได้สำหรับมาตรฐานการสอบเทียบ

ในการสอบเทียบเพื่อลดและกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบนี้ มีความจำเป็นต้องทำการพิจารณาใน 3 ประเด็นหลัก คือ

- 1) ขนาดความไม่แน่นอนของค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่ผ่านการสอบเทียบแล้ว
- 2) ประเภทของข้อมูลที่ใช้ในการประเมินความไม่แน่นอน
- 3) วิธีการประเมินค่าความไม่แน่นอนที่ได้

ซึ่งโดยปกติแล้วในการประเมินความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบจะแสดงในรูปของความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์ (Absolute Error) และความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ (Relative Error) โดยที่

$$\text{ค่าความคลาดเคลื่อนสมบูรณ์} = X - \mu \quad (2-4)$$

$$\text{และ ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์} = \frac{X - \mu}{\mu} \times 100\% \quad (2-5)$$

หลังจากกำจัดความคลาดเคลื่อนเชิงระบบแล้ว จะมีการลดความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มด้วยการประเมินถึงแหล่งความผันแปรต่าง ๆ ทั้งจากเครื่องมือวัด พนักงานวัด ตลอดจนสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อค่าวัด

ซึ่งถ้าหากพิจารณาถึงองค์ประกอบของค่าวัดแต่ละค่าแล้ว จะได้ว่า

$$X_{ij} = \mu + b + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ij} \quad (2-6)$$

โดยที่

$$X_{ij} = \text{ค่าวัด}$$

$$\mu = \text{ค่าจริงของงาน}$$

$$b = \text{ค่าไบอัส}$$

$$\alpha_i = \text{ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุด้านชิ้นงาน}$$

$$\beta_j = \text{ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุด้านพนักงาน}$$

$$(\alpha\beta)_{ij} = \text{ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุร่วมของชิ้นงานกับพนักงาน}$$

$$\varepsilon_{ij} = \text{ความแตกต่างเนื่องจากสาเหตุแบบสุ่ม}$$

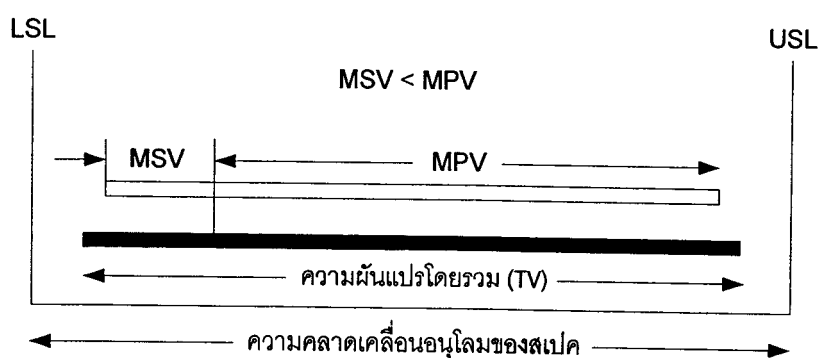
และจะ **ได้**ความผันแปรของค่าวัด (Measurement variation) ว่า

$$\sigma_X^2 = \sigma_\alpha^2 + \sigma_\beta^2 + \sigma_{\alpha\beta}^2 + \sigma^2 \quad (2-7)$$

ดังนั้นในการวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis; MSA) จะเป็นการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงสถิติของระบบการวัดจากค่าวัดที่ได้เพื่อแยกแหล่งความผันแปรออกเป็น ชิ้นงาน (Part to Part Variation; PV) พนักงานวัด (Appraiser Variation; AV) ความผันแปรร่วม (Interaction Variation; IV) และแหล่งผันแปรอื่น ๆ ที่ไม่สามารถควบคุมได้โดยธรรมชาติ ซึ่งโดยปกติจะมีแหล่งความผันแปรหลัก ๆ มาจากอุปกรณ์วัด (Equipment Variation; EV) ทั้งนี้

การวิเคราะห์ระบบการวัดนี้จะอยู่ภายใต้ค่าที่ได้จากการประเมินผลระบบการวัด (Measurement System Evaluation; MSE)

เมื่อมีการวิเคราะห์ถึงความผันแปรจากระบบการวัด จะทำการประเมินเทียบกับข้อกำหนดเฉพาะ (Specification) หรือความผันแปรจากระบวนการผลิต (Manufacturing Process Variation-MPV) ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ต้องพยายามทำให้ความผันแปรจากระบบการวัดน้อยกว่าข้อกำหนดเฉพาะ และความผันแปรจากระบวนการผลิต ดังภาพที่ 2-7 หรืออธิบายอีกนัยหนึ่งก็คือ ความสามารถของเครื่องมือวัดจะต้องดีกว่าความสามารถของกระบวนการที่จะถูกวัด ดังนั้นค่าความผันแปรของเครื่องมือวัดจะต้องน้อยกว่าค่าความผันแปรของเครื่องมือหรือกระบวนการที่จะทำการวัดนั่นเอง



ภาพที่ 2-7 แนวความคิดในการประเมินความผันแปร

### ค่าความผันแปรจากค่าวัด

ค่าความผันแปรมีความสำคัญมากในการวิเคราะห์ระบบการวัด คือ ค่าความผันแปรของค่าวัดจากระบบการวัด ซึ่งในทางสถิติมีตัวประเมินค่าหลายตัวด้วยกัน แต่ที่ได้รับความนิยมกันมากจะเป็นตัววัดอยู่บนแนวความคิด 2 ประการ คือแนวคิดด้านความแตกต่างมากที่สุดของค่าวัด หรือพิสัย (Range) และ แนวความคิดของความเบี่ยงเบนรอบค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัด (Deviation)

#### 1. ค่าพิสัย (Range)

ในการประเมินค่าความผันแปรจากค่าวัดด้วยแนวความคิดด้านความแตกต่างที่มากที่สุดของค่าวัด จะนิยามในรูปของ พิสัย โดยที่

$$\text{พิสัย (R)} = \text{ค่าวัดที่มีค่ามากที่สุด} - \text{ค่าวัดที่มีค่าน้อยที่สุด} \quad (2-8)$$

ด้วยแนวความคิดของพิสัยนี้ จะถือว่าค่าวัดแต่ละค่าจะมีค่าความผันแปรจากสาเหตุโดยธรรมชาติเสมอ ดังนั้นความผันแปรทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากสาเหตุ โดยธรรมชาติในข้อมูลวัด จึงนิยามได้จากค่าความแตกต่างของค่าวัดที่มีค่ามากที่สุดกับค่าวัดที่มีค่าน้อยที่สุดนี้

โดยปกติ ความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติมักจะมีรูปทรงแบบปกติหรือระฆังคว่ำ ดังนั้น การประมาณค่าความผันแปรจากค่าพิสัย จะกระทำเมื่อข้อมูลยังไม่ได้ฟอร์มรูปร่างแบบปกติ กล่าวคือ มีลักษณะแบบยูนิฟอร์ม (Uniform) ซึ่งได้มาจากการที่ข้อมูลมีจำนวนไม่มากนัก (ไม่เกิน 10 ตัว)

## 2. ค่าความเบี่ยงเบน (Deviation)

เนื่องจากความผันแปรของค่าวัดในระบบการวัด จะเป็นความผันแปรรอบค่าจริง ดังนั้น ค่าความผันแปรของค่าวัดอาจจะได้รับการประเมินผ่านความแตกต่างของค่าวัดจากค่าประมาณของค่าจริง ซึ่งเรียกว่า ค่าความเบี่ยงเบน กล่าวคือ

$$\text{ค่าความเบี่ยงเบน (S)} = \text{ค่าวัด (X}_i\text{)} - \text{ค่าประมาณค่าจริง (\bar{X})} \quad (2-9)$$

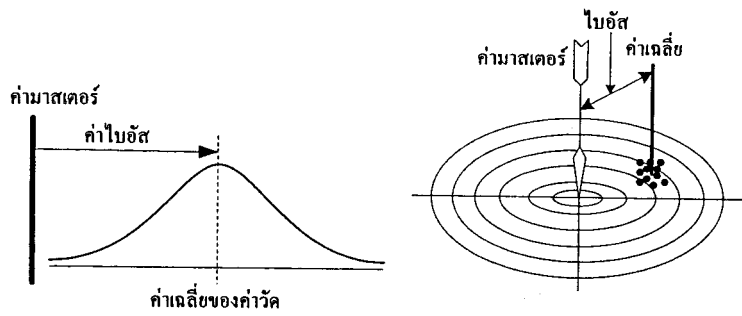
เนื่องจากสาเหตุโดยธรรมชาติของค่าวัดทำให้ความเบี่ยงเบนของค่าวัดรอบค่าจริงที่ค่าบวกและลบทำให้ผลรวมหักล้างกัน จึงจำเป็นต้องคำนวณในเทอมผลรวมกำลังสอง (Sum of Square)

ค่าผลรวมกำลังสองของความเบี่ยงเบนตามที่คำนวณได้ จะมีค่าขึ้นกับจำนวนข้อมูลที่หมายถึงจำนวนครั้งในการวัด จึงมีความจำเป็นต้องเทียบต่อหน่วยของข้อมูล และจะเรียกค่าดังกล่าวว่า กรณที่ที่สองของมัธมิมกำลังสองของความเบี่ยงเบน (Root Mean Square Deviation;  $S_n$ ) ดังนั้น

$$S_n = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (2-10)$$

## การประเมินคุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด

ค่าไบอัส หมายถึง ความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าที่ได้รับการวัดจากค่าอ้างอิง หรือค่ามาตรฐาน (โดยที่ค่ามาตรฐานจะหมายถึง ค่าเฉลี่ยที่ได้มาจากการวัดซ้ำด้วยเครื่องมือวัดที่มีความแม่นยำสูงภายใต้สภาวะควบคุม หรือห้องปฏิบัติการสอบเทียบ และต้องสามารถสอบกลับได้) และค่าไบอัสนี้จะเป็นค่าประเมินคุณสมบัติด้านความถูกต้องของระบบการวัด ดังแสดงในภาพที่



ภาพที่ 2-8 ความหมายของคุณสมบัติด้าน ไบอัสของระบบการวัด

ในการประเมินค่าไบอัสของระบบการวัด สามารถทำได้โดยการใช้แผนภูมิควบคุม

$\bar{X} - R$

แผนภูมิควบคุม  $\bar{X} - R$  เป็นแผนภูมิที่ใช้แยกความผันแปรจากสาเหตุพิเศษ (Special Cause) ออกจากสาเหตุธรรมดา (Common Cause) ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากต่อการวิเคราะห์ความมีเสถียรภาพ (Stability) และจากแผนภูมิดังกล่าว จะสามารถใช้ประโยชน์ในการประเมินค่าไบอัสของระบบการวัดได้ด้วย โดยมีขั้นตอนดำเนินการดังนี้

1. เลือกงานมาตรฐานการวัดเข้ามาชิ้นหนึ่ง ที่สามารถสอบกลับไปยังมาตรฐานที่สูงกว่าได้ และในกรณีที่ไม่สามารถหางานมาตรฐานดังกล่าวได้ ให้ทำการเลือกงานชิ้นหนึ่งจากสายการผลิตที่อยู่ช่วงกลางของการผลิตแล้วกำหนดให้เป็นงานมาตรฐาน โดยให้ทำการวัดงานมาตรฐานนี้ 10 ครั้งภายใต้สภาวะควบคุมแล้วทำการเฉลี่ยค่าความผันแปรในการวัดออก และกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของค่าวัดดังกล่าวเป็น “ค่าที่ได้รับการวัด (Measured value)”

2. ภายใต้ช่วงระยะเวลาที่เหมาะสม (รายวันหรือรายสัปดาห์) ให้ทำการวัดค่าที่ได้รับการวัดดังกล่าว 3 - 5 ครั้ง จนได้ข้อมูลประมาณ 20 - 25 กลุ่ม

3. ให้พล็อตกราฟในแผนภูมิ  $\bar{X} - R$

4. คำนวณพิกัดควบคุม

$$\left. \begin{array}{l} \text{แผนภูมิ } \bar{X} \\ \text{UCL} = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} \\ \text{CL} = \bar{\bar{X}} \\ \text{LCL} = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} \end{array} \right\} (2-11)$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{แผนภูมิ } R \\ \text{UCL} = D_4 \bar{R} \\ \text{CL} = \bar{R} \\ \text{LCL} = D_3 \bar{R} \end{array} \right\} (2-12)$$

5. พิจารณาความผันแปรว่าเป็นสาเหตุโดยธรรมชาติหรือไม่ ถ้าหากไม่ใช่ความผันแปรจากสาเหตุโดยธรรมชาติ ให้ทำการหาสาเหตุที่ผิดปกติแล้วทำการแก้ไขให้ถูกต้อง มิฉะนั้นให้ทำการคำนวณค่าเฉลี่ยทั้งหมด

6. ทำการประเมินค่าไบอัสโดยพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิง  
ค่าไบอัส =  $\bar{X}$  - ค่าอ้างอิง (2-13)

นำค่าไบอัสคำนวณ % ไบอัส ตามสมการ 2-14 หรือ 2-15

$$\% \text{ ไบอัสของความคลาดเคลื่อนอนุโลม} = \frac{\text{Bias}}{USL - LSL} \times 100\% \quad (2-14)$$

$$\% \text{ ไบอัสของกระบวนการ} = \frac{\text{ไบอัส}}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\% \quad (2-15)$$

จากผลการคำนวณ % ไบอัสตามสมการ 2-14 หรือ 2-15 ให้ทำการประเมินผลค่า % ไบอัสของระบบการวัด โดยเปรียบเทียบกับเกณฑ์ % ไบอัสดังนี้

% ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้โดยไม่ต้องแก้ไข

5% ≤ % ไบอัส < 10% อาจจะยอมรับได้

% ไบอัส ≥ 10% ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข

### การประเมินผลคุณสมบัติความแม่นยำของระบบการวัด (Gage<sub>R&R</sub>)

การประเมินผลระบบการวัดทางด้าน ไบอัสเป็นการประเมินด้านความผันแปรของตำแหน่ง ซึ่งหมายถึงความผันแปรจากความคลาดเคลื่อนเชิงระบบของระบบการวัด ในขณะที่การประเมินผลคุณสมบัติความแม่นยำเป็นการประเมินทางด้านความกว้างของระบบการวัด ซึ่งหมายถึงความผันแปรจากความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัด หรือที่เรียกว่าความแม่นยำ (Precision) ของระบบการวัด โดยจะแบ่งความผันแปรออกเป็นรีพีทาทิบิลิตี้ (Repeatability) เป็นความผันแปรภายในเงื่อนไขเดียวกันของระบบการวัด และสาเหตุความผันแปรแบบรีโพรดิวซิเบิล (Reproducibility) เป็นความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของระบบการวัด ซึ่งการประเมินผลคุณสมบัติความแม่นยำของระบบการวัดสามารถทำได้โดยใช้วิธีหาค่าเฉลี่ยและพิสัย (Average and Range Method)

การประเมินผลระบบการวัดโดยวิธีหาค่าเฉลี่ยและพิสัย นี้จะสามารถแยกความผันแปรในระบบการวัดออกเป็น Repeatability และ Reproducibility ได้ ซึ่งทำให้ผู้วิเคราะห์ตัดสินใจเกี่ยวกับสาเหตุของความผันแปร และปฏิบัติการแก้ไขได้ดียิ่งขึ้น



วิธีการทดสอบมีดังนี้

1. เลือกพนักงานวัด ที่ใช้ในการประเมินผลระบบการวัด
2. สุ่มชิ้นงานมา 10 ชิ้น โดยให้ครอบคลุมช่วงความผันแปรของกระบวนการแล้ว กำหนดเลขบ่งชี้ 1 ถึง 10 โดยไม่ให้พนักงานรับทราบ
3. ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่ใช้ในการประเมินผล
4. ให้สุ่มพนักงานวัด 1 คน แล้วทำการสุ่มชิ้นงานให้พนักงานดังกล่าววัดแล้วบันทึกค่าลงในแบบฟอร์ม โดยดำเนินการไปจนครบทุกชิ้น ทุกครั้ง
5. กำหนดค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยสำหรับพนักงานวัดทุกคน และการวิเคราะห์ที่มีความจำเป็นต้องวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลก่อน จากนั้นให้ทำการวิเคราะห์หาค่า Repeatability (Equipment Variation; EV)

$$EV = 5.15\sigma_{EV} \quad (2-16)$$

$$\sigma_{EV} = \frac{\bar{R}(X)}{d_2} \quad (2-17)$$

6. ทำการวิเคราะห์หาค่า Reproducibility (Appraiser Variation; AV)

$$\sigma_{AV} = \frac{R(\bar{X})}{d_2^*} \quad (2-18)$$

$$AV = \sqrt{(5.15\sigma_{AV})^2 - \frac{EV^2}{nr}} \quad (2-19)$$

โดยที่  $n$  = จำนวนชิ้นงานที่พนักงานวัดแต่ละคนทำการวัด

$r$  = จำนวนซ้ำที่พนักงานแต่ละคนวัดชิ้นงานแต่ละชิ้น

กรณีที่พจน์  $(5.15\sigma_{AV})^2 - \frac{EV^2}{nr}$  มีค่าติดลบ แสดงว่า Reproducibility มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับ Repeatability จึงให้ประมาณค่า  $AV = 0$

7. เมื่อได้ค่าความผันแปรทั้ง EV และ AV แล้ว จะทำการคำนวณ GR&R ได้จากผลรวมของความผันแปรทั้งสอง คือ

$$G_{R\&R} = \sqrt{EV^2 + AV^2} \quad (2-20)$$

8. ในกรณีที่ระบบการวัดมีคุณภาพอย่างเพียงพอต่อการประเมินความผันแปรระหว่างชิ้นงานได้ จะทำการประเมินความผันแปรของกระบวนการได้จากค่า TV โดย

$$\begin{aligned} TV &= \text{ความผันแปรโดยรวม (Total Variation)} \\ &= \sqrt{G_{R\&R}^2 + PV^2} \end{aligned} \quad (2-21)$$

โดยที่  $PV = 5.15\sigma_p$

เมื่อ 
$$\sigma_p = \frac{R_p}{d_2^*} \text{ หรือ } \frac{R(\bar{X})}{d_2^*}$$

9. ทำการคำนวณ P/T เพื่อการตัดสินใจและปฏิบัติการแก้ไขต่อไป

$$P/T = \frac{GR \& R}{USL - LSL} \times 100\% \quad (2-22)$$

จากผลการคำนวณค่า P/T ตามสมการ 2.22 ให้ทำการประเมินผลคุณสมบัติความแม่นยำของระบบการวัด โดยเทียบกับเกณฑ์ P/T ดังนี้

P/T < 10% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

10% ≤ P/T < 30% อาจจะยอมรับได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับความสำคัญในสิ่งที่ประยุกต์ใช้

ค่าใช้จ่ายในการวัด ตลอดจนปัจจัยอื่น ๆ

P/T ≥ 30% ไม่สามารถยอมรับได้ ต้องค้นหาสาเหตุแล้วทำการแก้ไข ลด หรือกำจัดทิ้ง

## อุปกรณ์การวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

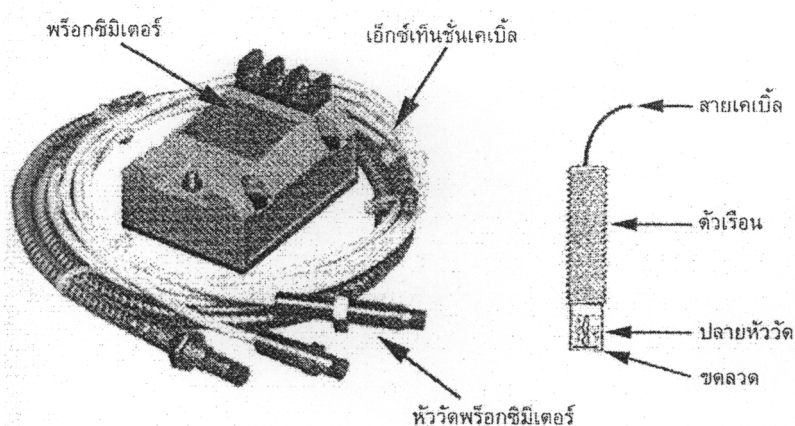
ในระบบการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในเครื่องจักรกลมีส่วนประกอบที่สำคัญดังต่อไปนี้

### 1. หัววัดสัญญาณการสั่นสะเทือน

หัววัดสัญญาณการสั่นสะเทือน (Vibration Transducer) เป็นอุปกรณ์ขนาดเล็กซึ่งมีหลักการทำงานคือ เปลี่ยนการเปลี่ยนแปลงทางกลให้เป็นการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า เพื่อที่จะส่งสัญญาณทางไฟฟ้านั้นผ่านสายตัวนำสัญญาณไปสู่เครื่องมือวัดและบันทึกเก็บค่าและแปลงกลับมาแสดงผลในทางกลต่อไป หัววัดการสั่นสะเทือนที่มีใช้ในปัจุบันสามารถแบ่งแยกตามการทำงานได้เป็น 3 ประเภทคือ

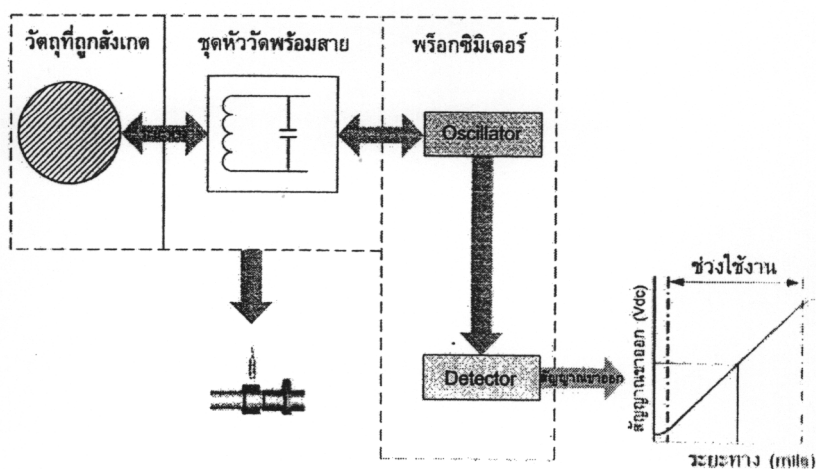
#### 1.1 หัววัดการสั่นสะเทือนแบบระยะทาง

หัววัดการสั่นสะเทือนแบบระยะทาง (Displacement Transducer) หรือเรียกอีกแบบว่า หัววัดการสั่นสะเทือนแบบกระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy-current) หัววัดการสั่นสะเทือนแบบนี้ใช้สำหรับวัดระยะห่างระหว่างหัววัดการสั่นสะเทือนกับผิวของตัวนำ เช่น วัดระยะทางระหว่างผิวเพลลาที่หมุนกับปลายของหัววัดการสั่นสะเทือน ซึ่งส่วนประกอบที่สำคัญของหัววัดการสั่นสะเทือนแบบระยะทางประกอบด้วย หัววัดระยะทาง เอ็กซ์เทินชันคันเดเบิล และพรีอ็อกซิมิเตอร์ แสดงดังภาพที่ 2-9



ภาพที่ 2-9 ส่วนประกอบของหัววัดการสั่นสะเทือนแบบระยะทาง

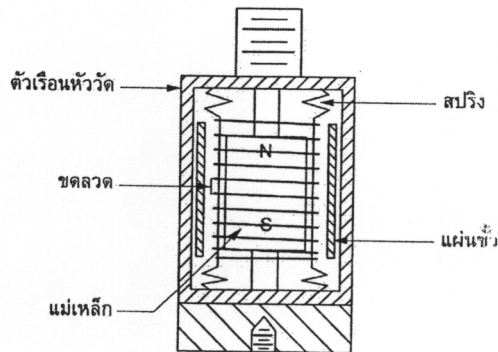
หลักการการทำงานของหัววัดการสั่นสะเทือนแบบระยะทางคือการเหนี่ยวนำเกิดกระแสไฟฟ้า โดยหัววัดระยะทางเป็นตัวสร้างสนามแม่เหล็ก และสนามแม่เหล็กจะถูกตัดโดยวัตถุที่ต้องการวัด เช่น เพลาหมุน ซึ่งหัววัดระยะทางเป็นตัวทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก โดยค่ากระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะแปรตามระยะห่างระหว่างผิวหัววัดการสั่นสะเทือนแบบระยะทางกับผิวของวัตถุ เช่น ค่ากระแสที่วัดกลับมากจะต่ำลงเมื่อระยะห่างระหว่างผิวหัววัดกับผิวของวัตถุน้อยลง เนื่องจากวัตถุจะไปขวางไม่ให้กระแสไฟฟ้าไหลกลับได้สะดวก และค่ากระแสจะสูงขึ้นเมื่อระยะห่างเพิ่มขึ้น ดังกราฟในภาพที่ 2-10 และค่าความไว (Sensitivity) ของหัววัดระยะทางจะมีหน่วยเป็น โวลต์ต่อระยะห่างระหว่างผิวหัววัดกับวัตถุ และขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ผลิตหัววัดระยะทางนั้นด้วย



ภาพที่ 2-10 หัววัดการสั่นสะเทือนแบบพรีอักษิเตอร์วัดการเคลื่อนที่ของเพลาในเครื่องจักร

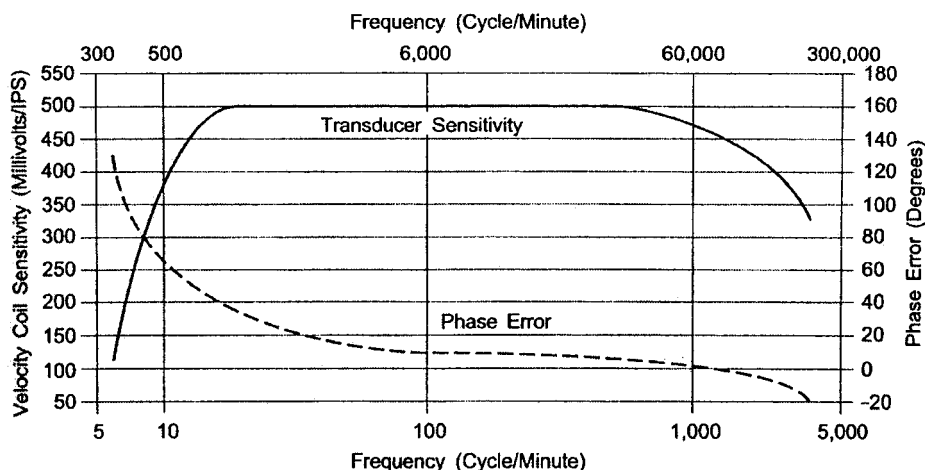
## 1.2 หัววัดการสั่นสะเทือนแบบความเร็ว

หัววัดการสั่นสะเทือนแบบความเร็ว (Velocity Transducer) เป็นหัววัดความเร็วในการเคลื่อนที่สำหรับชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหวหรือเกิดการสั่นสะเทือน ในที่นี้จะใช้สำหรับวัดค่าความเร็วในการสั่นสะเทือนของจักรกล โดยอาศัยหลักการพื้นฐานการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้า ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ตัดกันของแม่เหล็กกับขดลวด ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าขึ้น จากภาพที่ 2-11 แสดงรูปร่างภายนอก (ด้านซ้าย) และภาพตัดภายใน (ด้านขวา) ของหัววัดการสั่นสะเทือนแบบความเร็ว โดยอาศัยก้อนแม่เหล็กเคลื่อนที่ผ่านขดลวด ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ ตัวเรือนหัววัด สปริง และแม่เหล็ก



ภาพที่ 2-11 หัววัดการสั่นสะเทือนแบบความเร็วที่ใช้หลักการขดลวดเคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก

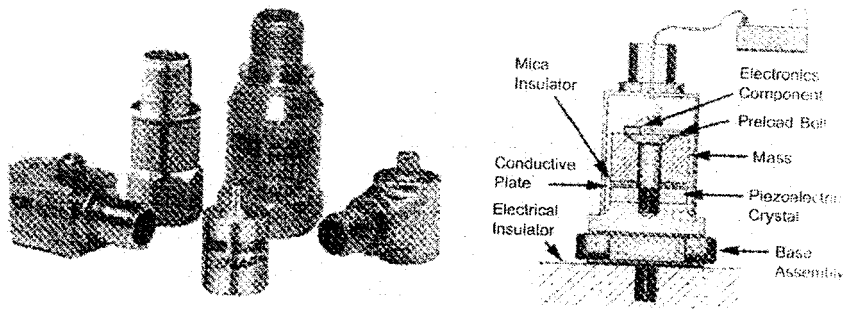
หลักการทำงานของหัววัดการสั่นสะเทือนแบบความเร็วคือ เมื่อนำหัววัดการสั่นสะเทือนแบบความเร็วไปติดกับวัตถุที่มีการสั่นสะเทือน หัววัดการสั่นสะเทือนแบบความเร็วก็จะมี การเคลื่อนที่ไปกับวัตถุ (สั่นตามวัตถุ) เมื่อหัววัดเกิดการเคลื่อนที่ ก้อนแม่เหล็กก้อนแม่เหล็กที่อยู่ ภายในก็จะเกิดการเคลื่อนที่ตัดกับขดลวดและก่อให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่ขดลวด ซึ่งเมื่อมีการเคลื่อนที่ ของวัตถุมาก (สั่นมาก) ก็จะได้กระแสไฟฟ้าสูงส่งออกมา เมื่อนำมาเขียนกราฟจะได้ดังภาพที่ 2-12 และคุณสมบัติอีกอย่างของหัววัดการสั่นสะเทือนแบบความเร็วจะขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของสปริง ด้วย คือถ้าสปริงมีความแข็งแรงสูง ก็จะสามารถวัดค่าที่ความถี่สูงได้ดี ส่วนถ้าสปริงมีความแข็งแรง ต่ำ ก็จะสามารถวัดค่าที่ความถี่ต่ำได้ดีเช่นกัน



ภาพที่ 2-12 ค่าความไว (Sensitivity) ของหัววัดการสั่นสะเทือนแบบความเร็ว

### 1.3 หัววัดการสั่นสะเทือนแบบความเร่ง

หัววัดการสั่นสะเทือนแบบความเร่ง (Acceleration Transducer) จะมีลักษณะการทำงานคล้ายกันกับหัววัดการสั่นสะเทือนแบบความเร็ว (Velocity Transducer) คือเป็นหัววัดสำหรับวัดการเคลื่อนที่เทียบกับเวลาสำหรับชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหวหรือเกิดการสั่นสะเทือน ซึ่งสามารถวัดในรูปแบบของความเร่งหรือแปลงค่าวัดในรูปแบบของความเร็วก็ได้ โดยการแปลงการเคลื่อนที่ทางกลมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งอาศัยหลักการของผลึกเพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Crystal) และก้อนน้ำหนักรวมอยู่ในหัววัดการสั่นสะเทือน พร้อมทั้งวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ภายใน หลักการทำงานของหัววัดการสั่นสะเทือนแบบความเร่งจะอาศัยคุณสมบัติของผลึกเพียโซ ซึ่งเพียโซนี้จะมีคุณสมบัติไวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก เมื่อผลึกเพียโซถูกแรงกระทำที่มีลักษณะเป็นแรงกดหรือแรงเฉือนแล้ว ผลึกเพียโซจะสามารถจ่ายเป็นพลังงานในรูปแบบของแรงดันไฟฟ้าออกมา แรงดันไฟฟ้าจะมากหรือน้อยก็จะขึ้นอยู่กับแรงที่กระทำต่อผลึกเพียโซ สำหรับส่วนประกอบที่สำคัญของหัววัดการสั่นสะเทือนแบบความเร่งคือ ตัวเรือนหัววัด ก้อนน้ำหนัก ผลึกเพียโซ และวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 2-13



ภาพที่ 2-13 หัววัดการสั่นสะเทือนแบบความแรงโดยทั่วไปและภาพตัดของหัววัดความแรง

หลักการทำงานของหัววัดการสั่นสะเทือนแบบความแรงคือ เมื่อนำหัววัดไปติดกับเครื่องจักรกลที่มีการสั่นสะเทือน หัววัดก็สั่นสะเทือนตามเครื่องจักรกลด้วย เมื่อหัววัดเกิดการสั่นสะเทือนก็จะทำให้ก้อนน้ำหนัภายในหัววัดเกิดการเคลื่อนที่แล้วไปกดทับกับผลึกเพียโซ ซึ่งผลึกเพียโซก็จะคายประจุออกมาในรูปของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งแรงดันไฟฟ้าที่ออกมานั้นจะสูงหรือต่ำก็ขึ้นอยู่กับลักษณะการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ถ้าเครื่องจักรเกิดการสั่นสะเทือนมาก ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาก็จะสูงตาม แล้วนำค่าแรงดันไฟฟ้าที่ได้ไปประมวลผลตามค่าความไว (Sensitivity) ของหัววัด

## 2. สายนำสัญญาณการสั่นสะเทือน

สายนำสัญญาณการสั่นสะเทือน (Vibration Cable) เป็นชิ้นส่วนที่ทำหน้าที่เชื่อมระหว่างหัววัดการสั่นสะเทือนกับเครื่องวัดการสั่นสะเทือน โดยจะทำหน้าที่นำสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าไปสู่เครื่องมือวัดและบันทึกผลต่อไป

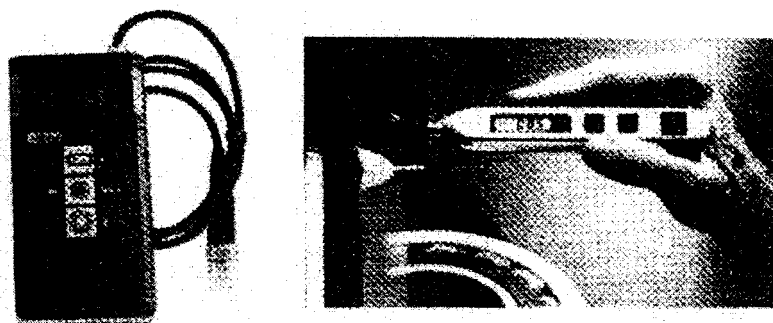
## 3. เครื่องมือวัดและบันทึกผลการสั่นสะเทือน

เครื่องมือวัดและบันทึกผลการสั่นสะเทือน (Vibration Recorder) หรือเรียกอีกชื่อว่า Data Collector หรือ Analyzer เป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่อ่านค่าและบันทึกผลจากการวัดการสั่นสะเทือน ซึ่งสัญญาณที่ได้มาอาจจะเป็นสัญญาณในรูปแบบดิจิทัลหรือสัญญาณในรูปแบบอนาล็อก แล้วแต่คุณสมบัติของเครื่องมือวัด สำหรับแบบของเครื่องมือวัดและบันทึกผลการสั่นสะเทือนมีอยู่ 3 แบบคือ

### 3.1 มิเตอร์วัดการสั่นสะเทือน

มิเตอร์วัดการสั่นสะเทือน (Vibration Meter) เป็นเครื่องมือขนาดเล็กที่สามารถเคลื่อนย้ายไปมาได้สะดวก ทำการวัดค่าการสั่นสะเทือนโดยรวม (Overall Vibration) และยังสามารถเลือกผลการวัดเป็นระยะทาง ความเร็ว และความเร่ง ที่เป็นค่าการวัดแบบ rms และมักจะใช้

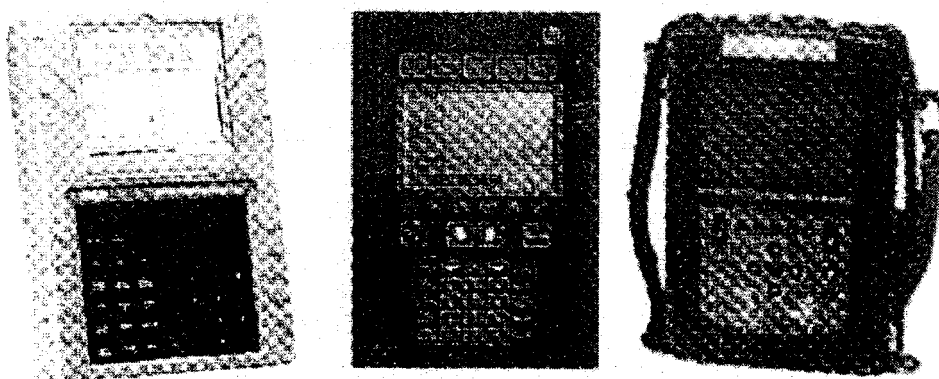
เป็นเครื่องมือวัดค่าเบื้องต้น เพราะไม่สามารถนำข้อมูลไปวิเคราะห์หาข้อบกพร่องของเครื่องจักรได้ แต่เราอาจจะนำค่าที่วัดได้ในแต่ละช่วงเวลามาทำเป็นกราฟแนวโน้มได้ (Trend Plot) ตัวอย่างเครื่องมือแสดงดังภาพที่ 2-14



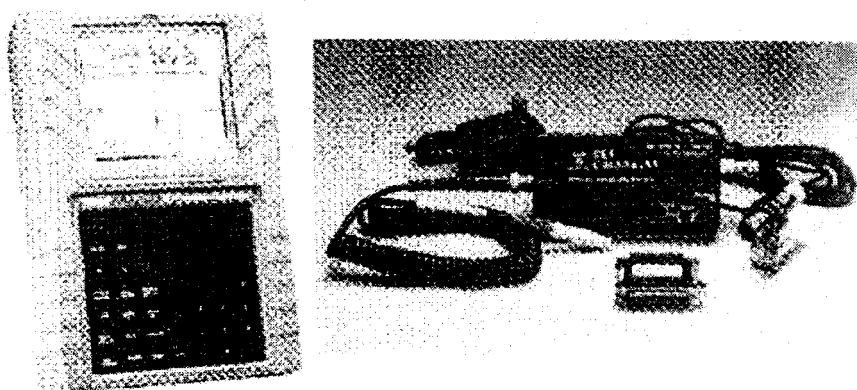
ภาพที่ 2-14 มิเตอร์วัดการสั่นสะเทือน (Vibration Meter)

### 3.2 เครื่องมือเก็บข้อมูลและวิเคราะห์แบบ FFT

เครื่องมือเก็บข้อมูลและวิเคราะห์แบบ FFT (Fast Fourier Transfer) เป็นเครื่องมือที่มีความสามารถสูงกว่ามิเตอร์วัดการสั่นสะเทือน เครื่องมือแบบนี้จะเป็นตัวเก็บข้อมูลที่วัดได้ทั้งในรูปแบบของโดเมนความถี่ (Frequency Domain) โดเมนของเวลา (Time Domain) หรือเครื่องมือนี้สามารถแปลงรูปร่างกราฟที่แสดงผลจากเวลาเป็นรูปร่างกราฟที่แสดงผลแบบกราฟความถี่ได้ โดยที่เครื่องมือชนิดนี้มีความสามารถเก็บข้อมูลและทำการประมวลผลได้ เช่น กระบวนการกรองสัญญาณ การขยายสัญญาณ การแสดงผลในรูปแบบกราฟต่าง ๆ เป็นต้น เครื่องมือชนิดนี้ปัจจุบันมีความนิยมกันอย่างแพร่หลาย เมื่อเปรียบเทียบเครื่องมือวัดแบบมิเตอร์วัดการสั่นสะเทือนกับเครื่องมือวัดแบบ FFT แล้วจะพบว่าเครื่องแบบ FFT จะมีราคาแพงกว่า แต่มีความคุ้มค่ามากกว่า เนื่องจากมีความสามารถหลากหลายในการใช้งาน เช่น สามารถประยุกต์ในการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรหมุน โดยการปรับคุณภาพภาคสนามและเก็บข้อมูลได้จำนวนมาก สามารถถ่ายข้อมูลที่เก็บมาเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาของเครื่องจักรได้ เครื่องมือชนิดนี้ในปัจจุบันทางผู้ผลิตจะออกแบบมาเพื่อให้ง่ายในการเคลื่อนย้ายได้สะดวกหรือหิ้วไปมาได้ ดังแสดงในภาพที่ 2-15 และภาพที่ 2-16



ภาพที่ 2-15 เครื่องมือเก็บข้อมูลและวิเคราะห์แบบ FFT (Fast Fourier Transfer)

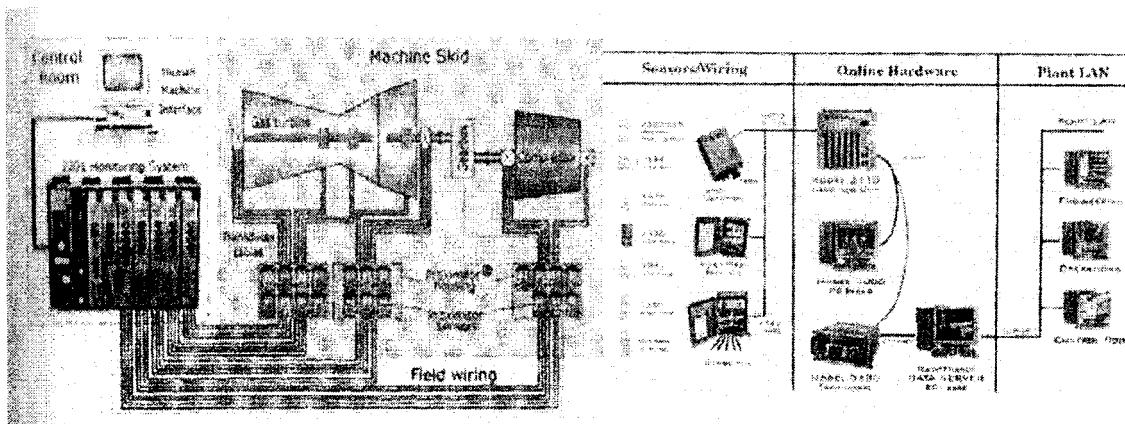


ภาพที่ 2-16 เครื่องมือเก็บข้อมูลและวิเคราะห์แบบ FFT พร้อมชุดปรับสมดุล (Balancing)

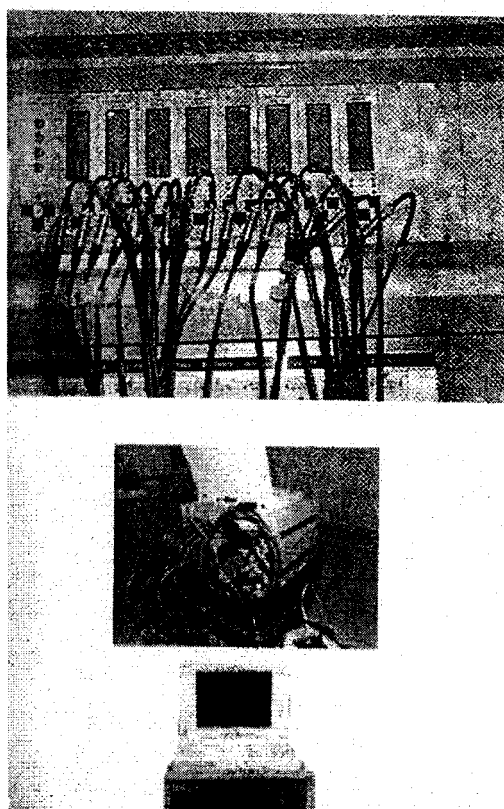
### 3.3 เครื่องมือวิเคราะห์แบบเวลาจริง

เครื่องมือวิเคราะห์แบบเวลาจริง (Real Time Analyzer หรือ On-line Monitoring) จะเป็นระบบที่ใช้ในการติดตามสภาพของเครื่องจักรที่มีความสำคัญต่อระบบมาก (Critical Machine) และส่วนใหญ่จะเป็นเครื่องจักรที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งหากเครื่องจักรมีข้อบกพร่องหรือมีชิ้นส่วนที่ชำรุดเสียหาย จะทำให้เกิดวิกฤตต่อระบบการผลิต ซึ่งจะทำให้องค์กรขาดรายได้เป็นจำนวนมาก ดังนั้นเพื่อความมั่นคงของระบบการผลิต จึงมีการติดตั้งระบบการวัดการสั่นสะเทือนที่เครื่องจักรดังกล่าว เช่น การติดตั้งระบบ On-line กับระบบกังหันแก๊ส (Gas Turbine) ระบบกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังแสดงในภาพที่ 2-17 และภาพที่ 2-18





ภาพที่ 2-17 การติดตั้งระบบ On-line กับเครื่องจักร



ภาพที่ 2-18 การเก็บข้อมูลด้วยระบบ On-line โดยเครื่องมือ Data Acquisition

#### 4. คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์

คอมพิวเตอร์และซอฟต์แวร์ (Computer and Software) จะทำหน้าที่รับข้อมูลจากเครื่องมือวัดและบันทึกผล เมื่อผู้ที่ทำหน้าที่ในการดำเนินการวัดเก็บค่าการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรกลแล้ว ก็จะนำข้อมูลที่ได้อ่านเข้าสู่คอมพิวเตอร์ที่มีซอฟต์แวร์รองรับสำหรับเครื่องมือชนิดนั้น ซอฟต์แวร์สำหรับการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนนี้สามารถแสดงผลออกมาในรูปของกราฟแบบต่าง ๆ หรือรูปแบบตาราง แล้วแต่ความสามารถของซอฟต์แวร์นั้น ซึ่งในปัจจุบันได้มีบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์และซอฟต์แวร์สำหรับวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในเครื่องจักรกลเป็นจำนวนมาก และซอฟต์แวร์บางชนิดสามารถทำการวิเคราะห์ความบกพร่องของเครื่องจักรเองได้ด้วย แต่ก็มีราคาสูงกว่าซอฟต์แวร์ที่ใช้โดยทั่วไป ซึ่งส่วนมากซอฟต์แวร์ที่ใช้ก็จะใช้ควบคู่กับเครื่องมือวัดและบันทึกผลที่เป็นยี่ห้อเดียวกัน เพื่อความสะดวกต่อการถ่ายโอนข้อมูล ซึ่งส่วนประกอบสำหรับการวัดและวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนแสดงดังภาพที่ 2-19

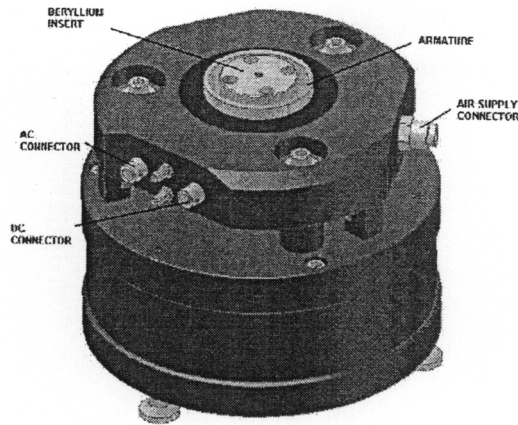


ภาพที่ 2-19 ส่วนประกอบสำหรับการวัดและวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน

#### เครื่องจำลองสัญญาณการสั่นสะเทือนแบบแม่เหล็ก

เครื่องจำลองสัญญาณการสั่นสะเทือนแบบแม่เหล็ก (Vibration Shaker Simulation by Electromagnetic) เป็นเครื่องสำหรับสร้างสัญญาณการสั่นสะเทือนที่สามารถควบคุมได้ โดยหลักการการทำงานของเครื่องจำลองการสั่นสะเทือนแบบนี้จะใช้กระแสไฟฟ้าผ่านขดลวดตัดสนามแม่เหล็กทำให้เกิดสัญญาณการสั่นสะเทือนขึ้น ซึ่งสัญญาณการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นนี้จะนำไปใช้ในการทดสอบอุปกรณ์เครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือน, หรือผลิตภัณฑ์บางผลิตภัณฑ์ที่ต้องการทดสอบค่าความสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ในปัจจุบันเครื่องจำลองสัญญาณการสั่นสะเทือนแบบแม่เหล็กมีอยู่หลายแบบหลายขนาดขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน เช่นถ้าเป็นการทดสอบหัววัดค่าความสั่นสะเทือนก็จะมีขนาดเล็ก แต่ถ้าเป็นผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่เช่นเบาะรถยนต์เครื่องจำลองสัญญาณการสั่นสะเทือนก็จะมีขนาดใหญ่ตามไปด้วย แสดงดังภาพที่ 2-20

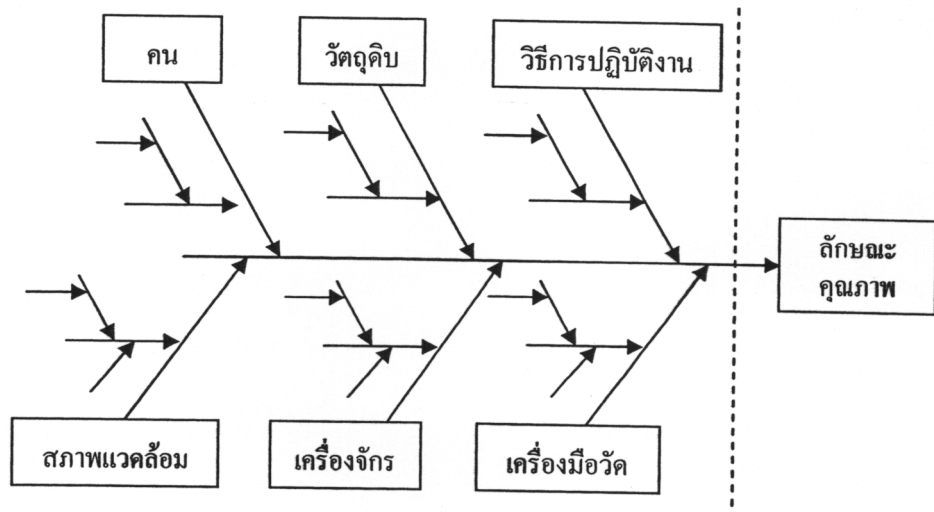
327307



ภาพที่ 2-20 เครื่องจำลองสัญญาณการสันสะเทือนแบบแม่เหล็ก

### แผนผังก้างปลา

แผนผังก้างปลา (Fish-bone Diagram) หรือเรียกว่าแผนผังอิซิกาวา (Isikawa Diagram) หรือแผนผังแสดงเหตุและผล (Cause-and-Effect Diagram) แผนผังก้างปลาเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูล โดยพิจารณาสาเหตุ (Cause) ที่มีเหตุผล (Effect) โดยตรงกับลักษณะคุณภาพ (Quality Characteristic) ของปัญหาที่สนใจ ดังแสดงดังภาพที่ 2-21



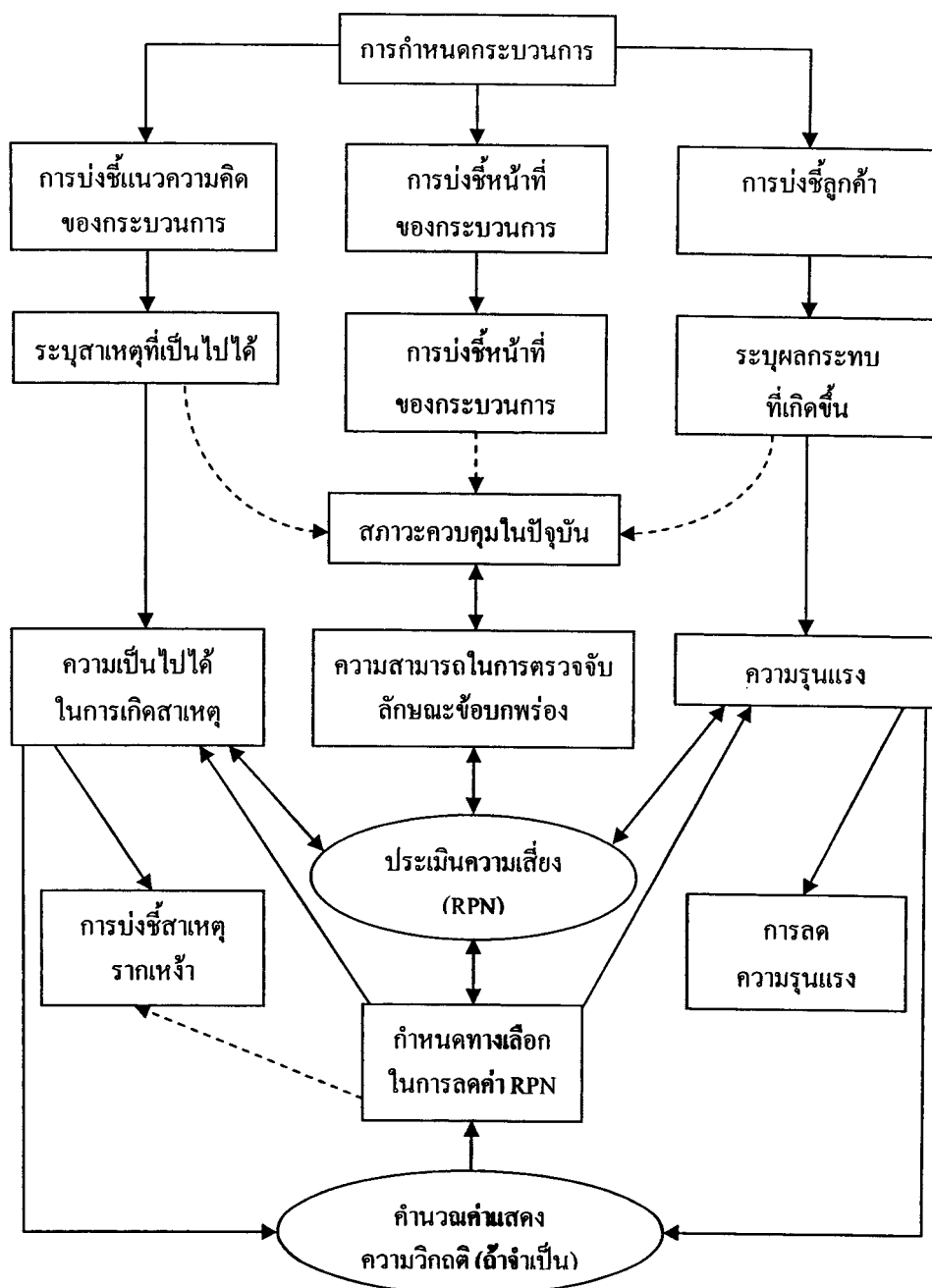
ภาพที่ 2-21 แสดงแผนผังก้างปลา

จากภาพที่ 2-21 แผนผังก้างปลาที่แสดงถึงลักษณะคุณภาพที่ต้องการปรับปรุงอยู่ทางด้านขวา และสาเหตุที่ก่อให้เกิดลักษณะคุณภาพอยู่ทางด้านซ้าย สาเหตุหลัก (Major Cause) ที่นิยมวิเคราะห์คือ คน (Man หรือ People), เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ (Machine or Equipment), วิธีการปฏิบัติงาน (Work Method), วัสดุดิบ (Material) และสภาพแวดล้อม (Environment) บางครั้งสาเหตุหลักอาจวิเคราะห์ถึงการบำรุงรักษา (Maintenance) และเครื่องมือวัด (Measurement) โดยที่ในแต่ละสาเหต้อาจแบ่งเป็นสาเหตุย่อย (Minor Cause) เช่น ถ้าพิจารณาสาเหตุที่เกี่ยวกับวิธีการทำงาน แล้วสาเหตุย่อยที่ต้องพิจารณาจึงต้องเกี่ยวข้องกับการฝึกงาน ประสบการณ์ ความสามารถ และลักษณะทางกายภาพเป็นต้น

เนื่องจากผลคือ ลักษณะคุณภาพที่ต้องการปรับปรุง ดังนั้นแผนผังก้างปลาคือ แผนผังที่ใช้สำหรับการตรวจสอบว่าถ้าลักษณะคุณภาพไม่ดีแล้ว สาเหตุใดที่ต้องถูกจำกัด เพื่อให้ลักษณะคุณภาพที่สนใจออกมาดี หรือถ้าลักษณะคุณภาพดีแล้วสาเหตุใดที่ส่งผลให้ลักษณะคุณภาพดี ซึ่งต้องเรียนรู้เพื่อรักษาสาเหตุนั้นไว้ แผนผังก้างปลา (เส้นและสัญลักษณ์ซึ่งมีรูปร่างคล้ายปลา) แทนความสัมพันธ์อย่างมีนัยระหว่างสาเหตุและลักษณะคุณภาพ จะประกอบด้วยกระดูกสันหลัง (Back Bone) เป็นเส้นตามแกนนอนที่เชื่อมต่อระหว่างสาเหตุหลักและลักษณะคุณภาพ ก้างปลาหลัก (Big Bone) เป็นเส้นที่มีความชันที่เชื่อมต่อกับกระดูกสันหลังกับสาเหตุหลัก และก้างปลาย่อย (Small Bone) เป็นเส้นที่เชื่อมต่อสาเหตุหลักและสาเหตุย่อย

### การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ

การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ (FMEA หรือ Failure Mode and Effect Analysis) คือ การวิเคราะห์หน้าที่ของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ โดยเริ่มจากการกำหนดกระบวนการที่ต้องการศึกษา แล้วทำการบ่งชี้ถึงหน้าที่ (Function) ของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ โดยให้วิเคราะห์ว่ามีอะไรที่จะทำหน้าที่ของผลิตภัณฑ์และกระบวนการดังกล่าวไม่ได้รับการตอบสนอง ซึ่งผลดังกล่าวจะหมายถึงข้อบกพร่อง (Failure) ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น และจะเรียกลักษณะของข้อบกพร่องนี้ว่า “ลักษณะของข้อบกพร่อง (Failure Mode)” ของผลิตภัณฑ์และกระบวนการ นอกจากนี้จะต้องพิจารณาถึงแนวคิดในการทำงานของกระบวนการ (Process Concept) เพื่อการกำหนดถึงสาเหตุที่มีความเป็นไปได้ที่ทำให้เกิดลักษณะของข้อบกพร่อง รวมถึงการบ่งชี้ถึงลูกค้ำของกระบวนการ โดยลูกค้ำในที่นี้จะหมายถึงกระบวนการทำน้า (Downstream Process) จนถึงผู้ใช้รายสุดท้าย และจากลูกค้ำที่กำหนดนี้เองจะทำให้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นแก่ลูกค้ำเนื่องจากลักษณะของข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 2-22 ขั้นตอนการวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ

เมื่อทำการวิเคราะห์หน้าที่ของผลิตภัณฑ์และกระบวนการเพื่อกำหนดลักษณะข้อบกพร่อง และได้กำหนดถึงสาเหตุของลักษณะข้อบกพร่อง ตลอดจนผลกระทบที่เกิดขึ้นแล้ว ผู้วิเคราะห์จะต้องทำการประเมินค่าความเสี่ยง (Risk) โดยอาศัยตัวเลขประเมินลำดับก่อนหลัง ความเสี่ยง (Risk Priority Number; RPN) คือ

$$RPN = S \times O \times D$$

(2-23)

โดย S = ความรุนแรง (Severity) ที่พิจารณาผลกระทบของลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นแก่ลูกค้า ด้วยเกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบตารางที่ 2-1

O = โอกาสที่เกิดขึ้น (Occurrence) ของลักษณะข้อบกพร่องที่พิจารณาจากความเป็นไปได้ (Likelihood) ในการเกิดสาเหตุของข้อบกพร่อง ด้วยเกณฑ์การประเมินโอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่องตารางที่ 2-2

และ D = ความสามารถในการตรวจจับ (Detection) ที่พิจารณาได้จากคุณสมบัติด้านความสามารถของระบบการควบคุมที่ใช้ในปัจจุบันด้วยเกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-1 เกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบ

ลำดับ	ผลกระทบจากข้อบกพร่อง	ความรุนแรงของผลกระทบ	คะแนน
1	เกิดอันตรายโดยไม่มีอาการเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้และ/หรือ ชัดต่อกฎหมายโดยไม่มีอาการเตือนล่วงหน้า	10
2	เกิดอันตรายโดยมีอาการเตือน	มีผลกระทบต่อความปลอดภัยของผู้ใช้และ/หรือ ชัดต่อกฎหมายโดยมีอาการเตือนล่วงหน้า	9
3	ผลกระทบสูงมาก	ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถใช้งานได้ (เนื่องจากความสูญเสียหน้าที่หลัก)	8
4	ผลกระทบสูง	ผลิตภัณฑ์สามารถใช้งานได้ แต่ระดับของความสามารถจะลดลงจนทำให้ลูกค้าไม่พอใจมาก	7
5	ผลกระทบปานกลาง	ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถใช้งานได้ แต่จะขาดความสะดวกสบายจนทำให้ลูกค้ามีความไม่พอใจ	6
6	ผลกระทบต่ำ	ผลิตภัณฑ์ไม่สามารถใช้งานได้ด้วยความสะดวกสบาย แต่ระดับของสมรรถนะจะลดลงจนอาจจะทำให้ลูกค้าไม่พอใจ	5
8	ผลกระทบต่ำมาก	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก อาจจะมีเสียงดังอยู่บ้าง ลูกค้าส่วนใหญ่ (มากกว่า 75 %) สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	4
8	ผลกระทบเล็กน้อย	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก อาจจะมีเสียงดังอยู่บ้าง ลูกค้าประมาณครึ่งหนึ่ง สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	3
9	เกือบไม่มีผลกระทบ	ความเรียบร้อยของผลิตภัณฑ์ไม่ดีนัก อาจจะมีเสียงดังอยู่บ้าง ลูกค้าส่วนน้อย (ต่ำกว่า 25 %) สามารถสังเกตเห็นข้อบกพร่องได้	2
10	ไม่มีผลกระทบ	ไม่มีผลกระทบที่สังเกตเห็นได้	1

ตารางที่ 2-2 เกณฑ์การประเมินโอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง

ลำดับ	โอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง	อัตราข้อบกพร่องที่เป็นไปได้ (ppm/รายการ)	คะแนน
1	สูงมาก: เกิดข้อบกพร่องเป็นประจำ	$\geq 100,000$	10
2		50,000	9
3	สูง: เกิดข้อบกพร่องน้อย	20,000	8
4		10,000	7
5	ปานกลาง: เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้ง คราว	5,000	6
6		2,000	5
7		1,000	4
8	ต่ำ: เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	500	3
9		100	2
10	ต่ำ: เกือบไม่มีโอกาสจะเกิด ข้อบกพร่อง	$\leq 10$	1

ตารางที่ 2-3 เกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับ

ลำดับ	การตรวจจับ	ความเป็นไปได้ของการตรวจจับ	คะแนน
1	มีความไม่แน่นอน เกือบจะทั้งหมด	ระบบการควบคุมการออกแบบจะไม่ และ/หรือ ไม่สามารถ ตรวจจับสาเหตุ/กลไก ตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้เลย (หรืออาจกล่าวได้ว่า ไม่มีระบบการควบคุมการออกแบบเลย)	10
2	ห่างไกลมาก	มีโอกาสน้อยมาก ๆ ที่ระบบควบคุมการออกแบบจะตรวจจับ สาเหตุ/กลไก ตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	9
3	ห่างไกล	มีโอกาสน้อยมากที่ระบบควบคุมการออกแบบจะตรวจจับ สาเหตุ/กลไก ตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	8
4	ต่ำมาก ๆ	มีโอกาสต่ำมาก ๆ ที่ระบบควบคุมการออกแบบจะตรวจจับ สาเหตุ/กลไก ตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	7
5	ต่ำ	มีโอกาสต่ำที่ระบบควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ/ กลไก ตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	6

ตารางที่ 2-3 เกณฑ์การประเมินผลการตรวจจับ (ต่อ)

ลำดับ	การตรวจจับ	ความเป็นไปได้ของการตรวจจับ	คะแนน
6	ปานกลาง	มีโอกาสปานกลางที่ระบบควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ/กลไก ตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	5
7	ค่อนข้างสูง	มีโอกาสค่อนข้างสูงที่ระบบควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ/กลไก ตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	4
8	สูง	มีโอกาสสูงที่ระบบควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ/กลไก ตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	3
9	สูงมาก	มีโอกาสสูงที่ระบบควบคุมการออกแบบจะตรวจจับสาเหตุ/กลไก ตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	2
10	เกือบจะมีความแน่นอน	ระบบควบคุมการสามารถตรวจจับได้ค่อนข้างแน่นอนถึงสาเหตุ/กลไก ตลอดจนลักษณะของข้อบกพร่องได้	1

หลังจากการวิเคราะห์ความเสี่ยง RPN ของลักษณะข้อบกพร่องแต่ละตัวแล้วจะพิจารณาว่าลักษณะข้อบกพร่องใดที่มีค่าความเสี่ยงมาก ๆ ซึ่งมีจำนวนไม่มากนัก (Vital Few Failure Mode) มาทำการกำหนดโครงการแก้ไขเพื่อลดค่าความเสี่ยงต่อไป

ในการพิจารณาเพื่อเลือกลักษณะข้อบกพร่องมาทำการแก้ไขนี้ จะเริ่มจากการพิจารณาถึงลักษณะข้อบกพร่องที่รุนแรงมาก (คือ 10 หรือ 9) โดยไม่สนใจค่า RPN ว่าจะมีค่ามากน้อยเพียงไร ซึ่งค่าความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่องนี้ทำให้ผู้วิเคราะห์ต้องให้ความสนใจต่อการแก้ไขและการป้องกันกระบวนการที่พิจารณาใหม่รวมถึงการลดความรุนแรงลง จากนั้นจึงพิจารณาถึงลักษณะข้อบกพร่องที่มีค่า RPN สูงเพื่อนำมาแก้ไข และในกรณีที่ลักษณะข้อบกพร่องที่คะแนน RPN และ S เท่ากัน ให้พิจารณาเลือกลักษณะข้อบกพร่องที่มีความเป็นไปได้ในการเกิดสาเหตุข้อบกพร่องมากกว่าดำเนินการวิเคราะห์เพื่อแก้ไขต่อไป

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผจงกิจ โสธนะขงกุล, (2544) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ “การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับโรงงานผลิตท่อส่งน้ำมันเข้าหัวฉีดในรถยนต์” งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ถึงความแม่นยำ (Precision) และความเที่ยงตรง (Accuracy) ของระบบการวัดเพื่อนำไปสู่การปรับปรุงให้เป็นไปตามข้อกำหนดของระบบบริหารคุณภาพ QS 9000 ในส่วนของการวิเคราะห์ระบบการวัด โดยมีขอบเขตการศึกษาเฉพาะชิ้นส่วนท่อส่งน้ำมันเข้าหัวฉีดเพียงรายการเดียว โดยเกณฑ์มาตรฐาน



ของค่าความเคลื่อนที่ได้จะเทียบกับค่าคาดเคลื่อนอนุ โลมของชิ้นงาน (Tolerance) สำหรับประเภท จุดตรวจสอบของชิ้นงานนั้น จะทำการศึกษาเฉพาะความแม่นยำในการวัดสำหรับจุดตรวจสอบ ลักษณะสมบัติเชิงผันแปร และทั้งความแม่นยำและความเที่ยงตรงสำหรับจุดตรวจสอบลักษณะ สมบัติเชิงคุณลักษณะ สำหรับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ในขั้นตอนแรกจะทำการคัดเลือกชิ้นงานที่จะทำการวิเคราะห์ แล้วทำการศึกษาชิ้นงานนั้นอย่างละเอียด เพื่อวางแผนการทดลองการวิเคราะห์ ระบบการวัด หลังจากนั้นทำการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง เพื่อระบุสาเหตุของการไม่เป็นไปตามข้อกำหนด และหาวิธีการปรับปรุงแก้ไข โดยจัดทำเป็นมาตรฐานในการ ตรวจสอบสุดท้ายทำการทดลองอีกครั้งหนึ่งแล้วสรุปผลงานวิจัย สำหรับจุดตรวจสอบลักษณะ สมบัติเชิงผันแปร 15 จุดตรวจสอบ ผลการวิจัยจากการทดสอบครั้งแรกพบว่า ระดับ ความแปรปรวนของความแม่นยำในการวัดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 124.1% ซึ่งเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 30% ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability) ที่ ระดับ 56.6% ความสามารถในการทำเหมือน (Reproducibility) 103.8% ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า สาเหตุที่ทำให้ความแม่นยำในการวัดมีค่ามากเกินเกณฑ์ที่กำหนด มาจากประเด็นที่หนึ่ง คือ การขาด มาตรฐานการทำงานที่ถูกต้องและชัดเจน ทำให้การวัดของพนักงานมีค่าเฉลี่ยที่ได้แตกต่างกันและมี ค่าแปรปรวนสูง ส่วนในประเด็นที่สอง คือ การใช้อุปกรณ์จับยึดชิ้นงานเพื่อการวัดที่ไม่ได้มาตรฐาน ซึ่งภายหลังการดำเนินการตามมาตรการการแก้ไข และจัดทำเป็นมาตรฐานการวัดชิ้นงานหลังจาก นั้นทำการฝึกอบรมพนักงานให้เกิดความชำนาญในมาตรฐานการวัด

ชัชวาล พรพัฒน์กุล, (2544) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ “การวิเคราะห์ระบบการวัด: กรณีศึกษา โรงงานผลิตเครื่องเพชรพลอยและเครื่องประดับ” การศึกษาวิจัยครั้งนี้วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบ การวัดของเครื่องชั่งน้ำหนักเครื่องวัดอุณหภูมิเตาอบแม่พิมพ์ เครื่องวัดอุณหภูมิเตาหล่อ เครื่องวัด ความดัน และกระบอกวัดไซค์ แล้วทำการวิเคราะห์ระบบการวัดแบบต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต อย่างละเอียดเพื่อจะได้ทราบถึงแหล่งความผันแปรของระบบการวัด และทำการเสนอแนะเพื่อลด และกำจัดความผันแปรนั้น โดยการศึกษาจะแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ

1) การวิเคราะห์ความถูกต้องของระบบการวัด เนื่องจากพบว่าค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัด ที่ทำการศึกษา มีค่าเอนเอียงไปจากค่าจริงแต่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ ได้ จึงจำเป็นต้องวิเคราะห์ คุณสมบัติอื่น ๆ ของเครื่องมือวัดคือ ค่าไบอัส ค่าเสถียรภาพของระบบการวัดและค่าคุณสมบัติ เชิงเส้นตรง ผลจากการวิเคราะห์พบว่าเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์เครื่องวัดอุณหภูมิ เครื่องวัด ความดัน จะมีค่าการวิเคราะห์ความถูกต้อง ไม่เกิน 5% แต่พบว่าเครื่องชั่ง 1200 กรัม 3100 กรัม และ เครื่องวัดความดันเครื่องที่ 2 มีค่าการวิเคราะห์ความถูกต้องใกล้เคียง 5% เนื่องมาจากอายุการใช้งาน ขาดการบำรุงรักษาและขาดการสอบเทียบจากเครื่องมือมาตรฐาน จึงได้ดำเนินการปรับเทียบ

จากเครื่องมือมาตรฐาน ทำให้ค่าวิเคราะห์ความถูกต้องหลังการปรับเทียบไม่เกิน 5% ส่วนกระบอกไซค์โดยเฉพาะแผนกแต่งตัวเรือนมีค่าความถูกต้องเกิน 5%

2) การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด ผลการวิเคราะห์พบว่าเครื่องมือวัดมีการวิเคราะห์ความแม่นยำ (%GR&R) น้อยกว่า 10% และได้พบสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดความผันแปรที่เกิดจากพนักงานวัด (Appraiser Variation) ขึ้นได้แก่พนักงานที่ทำการวัดไม่วางชิ้นงานบริเวณกลางงานของเครื่องชั่ง และไม่ได้ปรับตั้งศูนย์ (Zero Adjust) ก่อนทำการชั่งชิ้นงาน และได้ทำการลดความผันแปรจากเครื่องมือวัด (Equipment Variation) โดยทำการสอบเทียบ เครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 5 เครื่อง เครื่องมือวัดอุณหภูมิเดคาบแม่พิมพ์ 3 เครื่อง เครื่องมือวัดอุณหภูมิเดคาบ 2 เครื่อง เครื่องมือวัดความดัน 2 เครื่อง และกระบอกวัดไซค์ 27 อัน ตามมาตรฐาน NIS6 จากผลการวิเคราะห์ทั้งหมดทำให้ทราบถึงแหล่งความผันแปร โดยได้ทำการแก้ไขเพื่อลดความผันแปร และได้จัดทำข้อเสนอแนะให้โรงงานตัวอย่างทำการบำรุงรักษาเครื่องชั่ง 320 กรัม 1200 กรัม 3100 กรัม และเครื่องมือวัดความดันเครื่องที่ 2 ส่วนกระบอกไซค์ในแผนกแต่งตัวเรือนมีค่าความผันแปรเกิน 5% หลังจากใช้งานไป 6 เดือน จึงได้เสนอแนะให้ลดช่วงเวลาการสอบเทียบเหลือเพียง 2-3 เดือน และเลือกใช้วัสดุของกระบอกวัดไซค์ ที่มีคุณภาพมากกว่าเดิม ส่วนการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ เครื่องวัดอุณหภูมิและเครื่องวัดความดัน ควรสอบเทียบทุก 1 ปี แล้วทำการคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนในการวัด นอกจากนั้นยังได้จัดทำคู่มือมาตรฐาน และขั้นตอนการสอบเทียบเครื่องมือวัดอย่างละเอียด เพื่อให้โรงงานอุตสาหกรรมอื่น ๆ สามารถนำไปใช้ได้ เช่น การใช้งานและการสอบเทียบเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ การใช้งานและการสอบเทียบเครื่องมือวัดอุณหภูมิ การใช้งานและการสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน การใช้งานและการสอบเทียบกระบอกวัดไซค์ด้วยเวอร์เนียร์คาลิเปอร์ และจัดฝึกอบรมให้กับพนักงานของโรงงานตัวอย่าง

จักษ์กฤต ปฏิเวชรธรรม, (2543) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ “การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับสายการผลิตชิ้นส่วนนักร้อง” การศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่ก่อให้เกิดความแปรผันในระบบการวัด โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า การวิเคราะห์ระบบการวัด (Measurement System Analysis) จากการศึกษาพบว่า ความผันแปรในระบบการวัดมีผลทำให้ค่าวัดที่วัดได้เบี่ยงเบนไปจากค่าจริงของสิ่งที่ได้รับการวัดเสมอ ดังสมการ  $X = \mu + \epsilon$  (ค่าที่วัดได้ = ค่าจริง + ค่าความคลาดเคลื่อน) และค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ของระบบการวัดส่วนมากเกิดจากการขาดความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือวัดและวิธีการวัดของพนักงานที่ทำหน้าที่วัด โดยในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวิจัยเครื่องมือวัดที่อยู่ในสายการผลิตนักร้อง จำนวน 20 รายการ แบบ

Variable Characteristic = 8 รายการ และแบบ Attribute Characteristic = 12 รายการ โดยที่  
การวิเคราะห์ระบบการวัดจะพิจารณาถึง

1. ความถูกต้อง ซึ่งจะพิจารณาในคุณสมบัติ ค่าไบอัสและค่าเสถียรภาพของระบบการวัด
2. ความแม่นยำของระบบการวัด โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน
3. ความสามารถของกระบวนการวัดแบบข้อมูลนับ (Attribute)

จากผลการวิจัยพบว่า ความผันแปรที่เกิดขึ้นกับเครื่องมือวัดแบบ Variable Characteristic มาจากการขาดความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือวัด และเครื่องมือวัด จึงได้ทำการปรับปรุงและให้ความรู้เกี่ยวกับเครื่องมือวัด และนำเครื่องมือวัดมาทำการสอบเทียบใหม่ทั้งหมด ส่วนเครื่องมือวัดแบบ Attribute Characteristic นั้นความผันแปรที่เกิดขึ้นจะมาจากเครื่องมือวัดที่สึกหรอ และความเข้าใจเกี่ยวกับเครื่องมือวัด จึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไขเครื่องมือวัดและฝึกรวมวิธีการวัดที่ถูกต้องให้กับพนักงาน จากการปรับปรุงดังกล่าวทำให้ค่าความผันแปรในระบบการวัดของแต่ละเครื่องมือวัดมีเปอร์เซ็นต์ลดลงและอยู่ในเกณฑ์การยอมรับตามระบบมาตรฐาน QS-9000.

ชินวุธ สติระวุฒิพงศ์, (2543) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ “การประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับเครื่องมือที่ใช้ในอุตสาหกรรมประกอบชิ้นส่วนรถยนต์” งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาชนิดและขนาดของความผันแปรในระบบการวัด ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เป็นอยู่และทำการลดและควบคุมความผันแปรเพื่อปรับปรุงระบบการวัด โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ การวิเคราะห์ความถูกต้อง (Accuracy) และ การวิเคราะห์ความแม่นยำ (Precision) โดยเลือกเครื่องมือที่การประเมินจำนวน 22 เครื่องมือ แบ่งเป็นเครื่องมือวัดแบบข้อมูลวัดจำนวน 12 เครื่องมือ และเครื่องมือวัดแบบข้อมูลนับจำนวน 10 เครื่องมือ ส่วนที่ 1 การวิเคราะห์ความถูกต้อง ประกอบด้วย การวิเคราะห์ความเอนเอียงเพื่อประเมินความถูกต้องในสภาวะปัจจุบัน พบว่าเครื่องมือวัดทุกเครื่องมือมีค่า %เอนเอียง < 10 % ซึ่งอยู่ภายใต้เกณฑ์การยอมรับตามมาตรฐาน QS - 9000 การประเมินคุณสมบัติเชิงเส้นตรง เป็นการศึกษาเพื่อทำการหาขนาดของเครื่องมือวัดที่มีความถูกต้องและเที่ยงตรงที่สุด จากผลการประเมินพบว่าเครื่องมือวัดทั้งหมดไม่สามารถใช้งานได้ตลอดย่านวัดที่ระบุบนเครื่องมือ จึงได้ทำการกำหนดเป็นมาตรฐานการใช้งาน และการประเมินความมีเสถียรภาพโดยใช้วิธีแผนภูมิควบคุมเป็นการทดลองเพื่อหาระยะเวลาที่เครื่องมือเสื่อมสภาพ จำเป็นต้องได้รับการสอบเทียบใหม่ โดยผลจากการประเมินพบว่าเครื่องมือวัดส่วนใหญ่มีอายุการใช้งานนานกว่าระยะเวลาการสอบเทียบครั้งต่อไป ส่วนที่ 2 การวิเคราะห์ความแม่นยำแบ่งออกเป็นเครื่องมือวัดแบบข้อมูลวัด และเครื่องมือวัดแบบข้อมูลนับ ผลการประเมินพบว่าเครื่องมือวัดแบบข้อมูลวัดที่ใช้ในการประเมิน 12 เครื่องมือ มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำ (% GR&R) เกินกว่า

มาตรฐานกำหนดทั้งสิ้น โดยมีสาเหตุส่วนใหญ่มาจากพนักงานวัดเป็นหลักจึงได้ดำเนินปรับปรุงแก้ไขตามสาเหตุที่ได้วิเคราะห์ พร้อมจัดทำคู่มือและมาตรฐานการใช้งาน จนระบบการวัดมีที่ค่าความแม่นยำ < 10% ส่วนการประเมินความแม่นยำของเครื่องมือวัดแบบข้อมูลนับประกอบด้วยเครื่องมือ 10 เครื่องมือ พบว่าการใช้เครื่องมือวัดส่วนใหญ่มีปัญหาด้านความถูกต้องและความสามารถในการวัดซ้ำของพนักงาน จึงได้ทำการปรับปรุงแก้ไขและจัดคู่มือทำมาตรฐานการตรวจสอบชิ้นงานจนระบบวัดดังกล่าวมีค่าความสามารถในการวัดซ้ำอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ

### บทที่ 3

## วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีการดำเนินการวิจัยจะเป็นการดำเนินการตามแนวทางทฤษฎีการวิเคราะห์ระบบการวัด โดยการศึกษาวิธีการวัดค่าความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร เพื่อทำการสร้างวิธีการประเมินค่าความถูกต้องของเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนของหน่วยงาน สำหรับการดำเนินการวิจัยมีขั้นตอนแสดง ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 ขั้นตอนของการดำเนินการวิจัย

ลำดับ	บทที่	หัวข้อ	วัตถุประสงค์	เครื่องมือที่ใช้
1	3	3.1 การศึกษาระบบการวัดค่าความสั่นสะเทือนเครื่องจักรของหน่วยงาน	เพื่อให้ทราบถึงระบบการวัดค่าความสั่นสะเทือนในปัจจุบัน	-
2	3	3.2 การบ่งชี้ปัญหาความไม่แน่นอนของระบบการวัดค่าความสั่นสะเทือนหน่วยงาน	เพื่อต้องการทราบปัญหาความไม่แน่นอนของระบบการวัดค่าความสั่นสะเทือน	-
3	3	3.3 การประเมินค่าความถูกต้องเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือน	เพื่อต้องการทราบปัญหาความไม่แน่นอนที่ควรแก้ไขก่อนเป็นอันดับแรก	MSA Bias MSA GR&R
4	4	4.1 การวิเคราะห์ปัญหาความไม่แน่นอนของระบบการวัดค่าความสั่นสะเทือนของหน่วยงาน	เพื่อต้องการทราบค่าความถูกต้องของเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนในปัจจุบัน	FBD FMEA
5	4	4.2 การแก้ไขปัญหาเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือน	เพื่อต้องการให้เครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนมีค่าความถูกต้องมากขึ้น	Ohm Meter
6	4	4.3 การประเมินค่าความถูกต้องเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนหลังการแก้ไขปัญหา	เพื่อต้องการทราบค่าความถูกต้องของเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนหลังแก้ไขปัญหา	MSA Bias MSA GR&R
7	4	4.4 การกำหนดมาตรการการใช้เครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือน	เพื่อให้ระบบการวัดมีวิธีการประเมินความถูกต้องของเครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือน	Check Sheet
8	5	5.1 สรุปผลงานวิจัย	เพื่อสรุปผลการวิจัย	-

## การศึกษากระบวนการวัดค่าความสั่นสะเทือนด้วยเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนของ หน่วยงาน

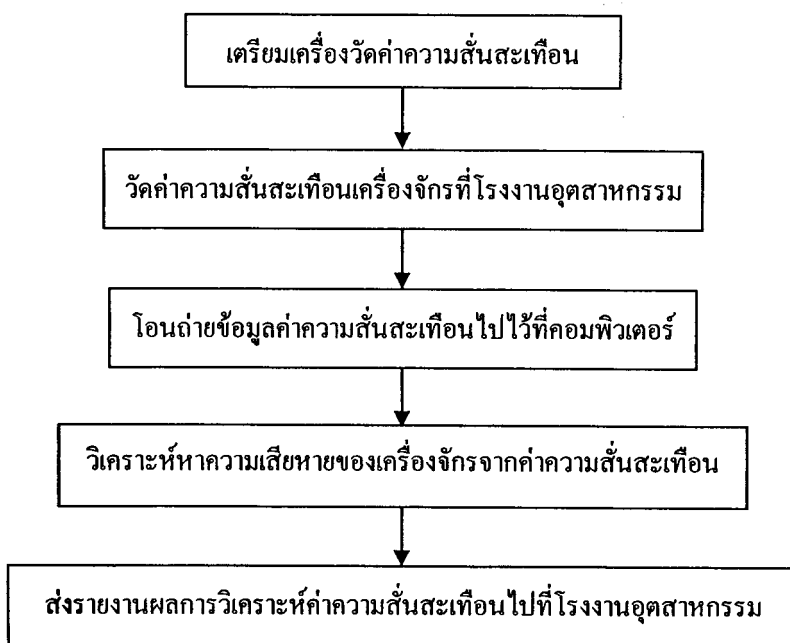
เครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนของหน่วยงานที่ผู้วิจัยได้ทำงานอยู่นั้นเป็นเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือน ที่สามารถพกพาไปวัดค่าความสั่นสะเทือนและสามารถบันทึกค่าความสั่นสะเทือนที่วัดได้ แสดงดังภาพที่ 3-1 ซึ่งค่าความสั่นสะเทือนจากการวัดได้ถูกบันทึกไว้ที่เครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนนี้ และนำไปถ่ายโอนข้อมูลลงไปที่คอมพิวเตอร์เพื่อที่จะทำการวิเคราะห์หาความเสียหายของเครื่องจักร โดยละเอียดอีกครั้ง หลังจากเก็บค่าความสั่นสะเทือนเสร็จแล้ว



ภาพที่ 3-1 เครื่องวัดค่าสัญญาณสั่นสะเทือนเครื่องจักรของหน่วยงาน

ระบบการวัดค่าความสั่นสะเทือนเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมของหน่วยงานนั้นทำได้โดยการนำเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนของหน่วยงานไปทำการเก็บค่าความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมที่อยู่ในประเทศไทยที่ต้องการทราบผลความเสียหายของเครื่องจักรจากค่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากเครื่องจักร ตัวอย่างของโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการทราบผลความเสียหายของเครื่องจักรจากค่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจากเครื่องจักรที่ทางหน่วยงานได้ไปทำการวัดค่าความสั่นสะเทือน เช่น บริษัทสยาม โด โยต้า, ทีพีเอส, ทีพีซีซี ฯลฯ ซึ่งหลังจากที่ทางหน่วยงานได้วัดค่าความสั่นสะเทือนจากเครื่องจักรแล้วก็จะทำการวิเคราะห์หา

ความเสียหายของเครื่องจักรจากค่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นและส่งผลรายงานความเสียหายกลับไปที่โรงงานอุตสาหกรรมเพื่อที่ทางโรงงานอุตสาหกรรมจะได้ทำการกำหนดแผนการซ่อมบำรุง (กรณีที่ระดับความเสียหายรุนแรงเกินกว่าค่ามาตรฐาน) ก่อนที่เครื่องจักรจะเสียหายถึงขั้นหยุดเครื่องจักร โดยขั้นตอนของระบบการวัดค่าความสั่นสะเทือนเครื่องจักรด้วยเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนของหน่วยงานแสดงดังภาพที่ 3-2



ภาพที่ 3-2 ระบบการวัดค่าความสั่นสะเทือนเครื่องจักรด้วยเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนของหน่วยงาน

โดยรายละเอียดของระบบการวัดค่าความสั่นสะเทือนเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมด้วยเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนของหน่วยงานจากภาพที่ 3-2 สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

#### 1. การเตรียมเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือน

การเตรียมเครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือนทำได้โดยผู้ที่เป็นหัวหน้าโครงการของโรงงานอุตสาหกรรมที่รับผิดชอบอยู่นั้นจะต้องทำการกำหนดแผนเข้าไปทำการวัดค่าความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรให้กับโรงงาน อุตสาหกรรม ซึ่งโดยปกติแผนการวัดค่าความสั่นสะเทือนจะขึ้นอยู่กับข้อตกลงระหว่างหน่วยงานกับโรงงานอุตสาหกรรมเช่น เดือนละครั้ง, สองเดือนครั้ง, สามเดือนครั้ง ฯลฯ แล้วแต่ว่าทางโรงงานอุตสาหกรรมต้องการสร้างความน่าเชื่อถือ

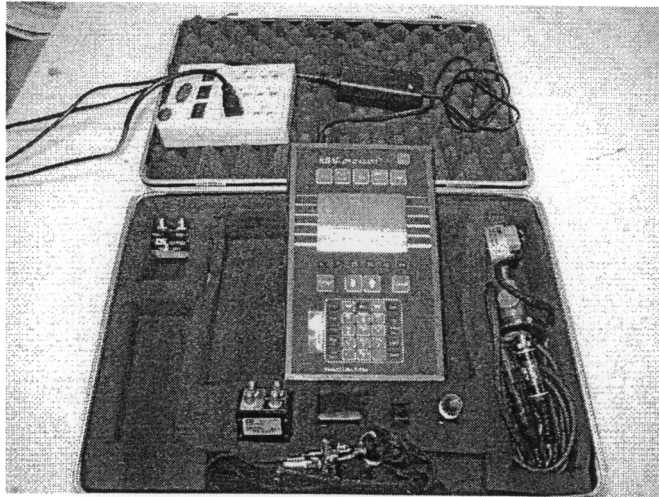
ให้กับเครื่องจักรมากหรือน้อย หลังจากที่ทำหน้าโครงการกำหนดแผนการเก็บค่าความสิ้นสะท้อน  
ได้แล้วก็จะทำการเตรียมเครื่องวัดค่าความสะท้อนก่อนที่จะถึงกำหนดการวัดค่าความสะท้อนหนึ่ง  
วัน โดยการเตรียมเครื่องวัดค่าความสะท้อนนี้หัวหน้าโครงการจะนำเครื่องวัดค่าความสะท้อน  
ทั้งหมดไปโหลดข้อมูลเครื่องจักรของโรงงานอุตสาหกรรมเข้าไปเก็บไว้ที่เครื่องวัดค่า  
ความสิ้นสะท้อนแสดงดังภาพที่ 3-3 เพื่อต้องการให้ผู้ทำการเก็บค่าความสะท้อนมีฐานข้อมูลของ  
เครื่องจักรในการเก็บค่าความสะท้อน



ภาพที่ 3-3 การโหลดข้อมูลเครื่องจักรของโรงงานอุตสาหกรรมเข้าไปเก็บไว้ที่เครื่องวัดค่า  
ความสิ้นสะท้อน

หลังจากที่โหลดข้อมูลของเครื่องจักรไปที่เครื่องวัดค่าความสิ้นสะท้อนเสร็จ จำเป็นต้อง  
ทำการชาร์จแบตเตอรี่ของเครื่องวัดค่าความสิ้นสะท้อนประมาณ 5 ชั่วโมง เพื่อเป็นพลังงานไฟฟ้า  
สำหรับเครื่องวัดค่าความสะท้อนที่ใช้ในช่วงเวลาของการเก็บค่าความสิ้นสะท้อนเครื่องจักร แสดง  
ดังภาพที่ 3-4





ภาพที่ 3-4 การชาร์จแบตเตอรี่ของเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือน

## 2. การวัดค่าความสั่นสะเทือนเครื่องจักรที่โรงงานอุตสาหกรรม

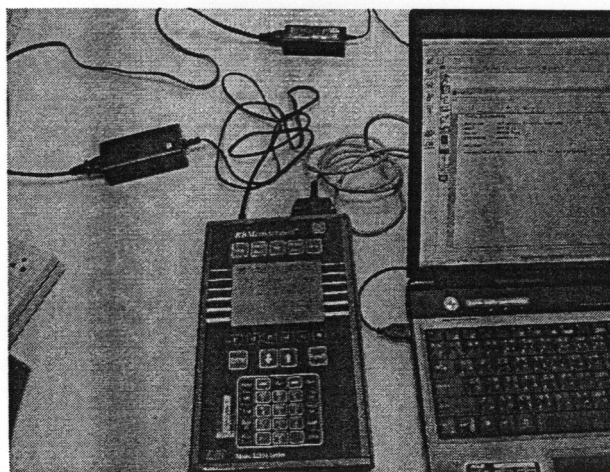
หลังจากที่ได้เตรียมเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนเรียบร้อยแล้วผู้ที่ทำหน้าที่เป็นหัวหน้าโครงการก็จะนำทีมไปวัดค่าความสั่นสะเทือนเครื่องจักรที่โรงงานอุตสาหกรรมตามแผนที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งข้อมูลสำหรับการวัดค่าความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรจะมีอยู่ที่เครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนเรียบร้อย โดยวิธีการวัดค่าที่เครื่องจักรนี้ผู้ที่ทำการวัดจะต้องดูข้อมูลที่เป็นรหัสที่บ้านที่ก้อยู่ในเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนให้ตรงกับรหัสของเครื่องจักร เมื่อผู้วัดค่าตรวจสอบรหัสตรงกันแล้วก็จะทำการวัดค่าความสั่นสะเทือนพร้อมบันทึกค่าไว้ที่เครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนแสดงตัวอย่างดังภาพที่ 3-5 ซึ่งจุดที่วัดค่าความสั่นสะเทือนจะเป็นจุดที่รองรับส่วนหมุนของเครื่องจักรที่จะเริ่มจากด้านที่เป็นต้นกำลังจนถึงปลายกำลังของเครื่องจักร เนื่องจากในการวัดค่าความสั่นสะเทือนที่โรงงานอุตสาหกรรมจะมีเครื่องจักรอยู่หลายเครื่องทำให้ผู้ที่ทำการวัดค่าความสั่นสะเทือนจะต้องรู้ตำแหน่งของเครื่องจักรด้วย หลังจากที่ทำกรวัดค่าความสั่นสะเทือนและบันทึกค่าวัดค่าความสั่นสะเทือนเสร็จแล้วก็นำไปโอนถ่ายข้อมูลค่าความสั่นสะเทือนไปไว้ที่คอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์ค่าความสั่นสะเทือนต่อไป



ภาพที่ 3-5 ตัวอย่างของการวัดค่าความสั่นสะเทือนพร้อมบันทึกค่าไว้ที่เครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือน

### 3. การโอนถ่ายข้อมูลค่าความสั่นสะเทือนไปเก็บไว้ที่คอมพิวเตอร์

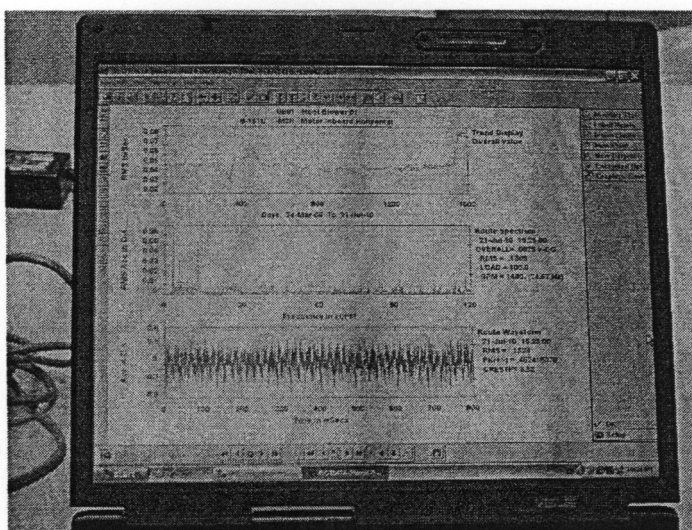
ข้อมูลค่าความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรที่เก็บมาจาก โรงงานอุตสาหกรรมจะถูก โอนถ่ายไปเก็บไว้ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ได้ทำการโหลดข้อมูลในขั้นตอนของการเตรียมเครื่องมือวัดซึ่งแสดงดังภาพที่ 3-6 หลังจากที่โอนถ่ายข้อมูลเสร็จแล้วก็จะนำข้อมูลที่โอนถ่ายเสร็จแล้วไปเก็บไว้ที่คอมพิวเตอร์ส่วนกลางของหน่วยงานแล้วผู้ที่ป็นหัวหน้าโครงการจะแจ้งให้ผู้ที่ทำหน้าที่วิเคราะห์ทราบเพื่อที่จะให้ผู้ที่มีหน้าที่ทำการวิเคราะห์นำข้อมูลค่าความสั่นสะเทือนไปทำการวิเคราะห์หาความเสียหายของเครื่องจักรต่อไป



ภาพที่ 3-6 การโอนถ่ายข้อมูลค่าความสั่นสะเทือนไปเก็บไว้ที่เครื่องคอมพิวเตอร์

#### 4. การวิเคราะห์หาความเสียหายของเครื่องจักรจากค่าความสั่นสะเทือน

หลังจากผู้ที่เป็นหัวหน้าโครงการแจ้งให้ผู้ที่ทำการวิเคราะห์ทราบแล้วผู้ที่ทำการวิเคราะห์ จะทำการนำข้อมูลค่าความสั่นสะเทือนที่เก็บไว้ที่คอมพิวเตอร์ส่วนกลางของหน่วยงานไปใช้ในการวิเคราะห์หาความเสียหายของเครื่องจักร สำหรับวิธีการวิเคราะห์ดูแนวโน้มความรุนแรงของค่าความสั่นสะเทือนและรูปแบบของการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร ซึ่งแสดงตัวอย่างดังภาพที่ 3-7 โดยค่าความรุนแรงของการสั่นสะเทือนจะเปรียบเทียบกับมาตรฐานระดับการสั่นสะเทือนคือ ISO 10816 ดังตัวอย่างภาพที่ 3-8 และรูปแบบของการสั่นสะเทือนจะเปรียบเทียบกับแผนภาพรูปแบบการสั่นสะเทือนของเครื่องจักรแสดงดังตัวอย่างภาพที่ 3-9 และเมื่อผู้ที่ทำการวิเคราะห์ที่ได้ทำการหาความเสียหายของเครื่องจักรจากค่าความสั่นสะเทือนเสร็จเรียบร้อยแล้วก็จะทำการสร้างรายงานผลค่าความเสียหายของเครื่องจักรส่งให้กับโรงงานอุตสาหกรรม

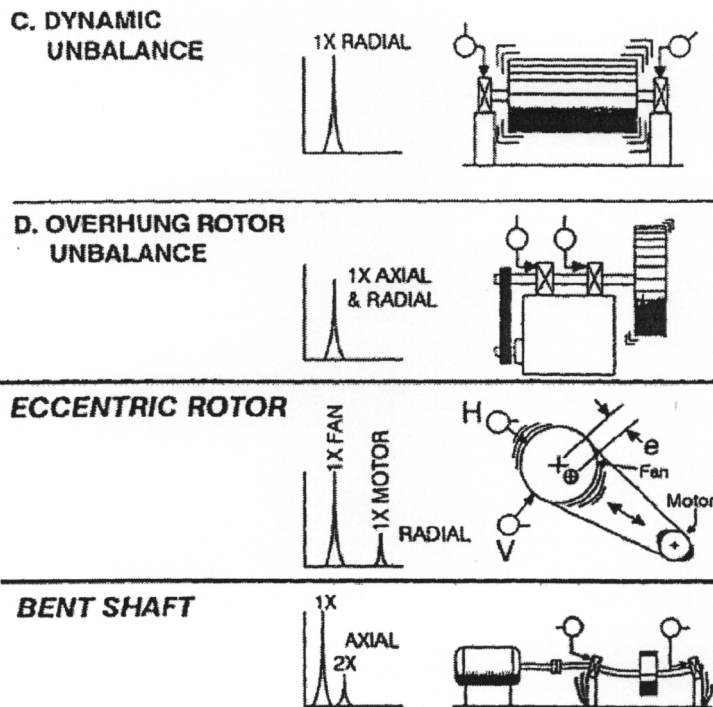


ภาพที่ 3-7 ตัวอย่างแนวโน้มความรุนแรงของค่าความสั่นสะเทือนและรูปแบบของการสั่นสะเทือนของเครื่องจักร

# ISO 10816-1

R.M.S Vibration Velocity RMS	Class I	Class II	Class III	Class IV
0.28	A	A	A	A
0.45				
0.71				
1.12	B	B	B	B
1.8				
2.8	C	C	C	C
4.5				
7.1	D	D	D	D
11.2				
18				
28				
45				

ภาพที่ 3-8 ตัวอย่างมาตรฐาน ISO 10816 สำหรับเปรียบเทียบระดับการสั่นสะเทือน



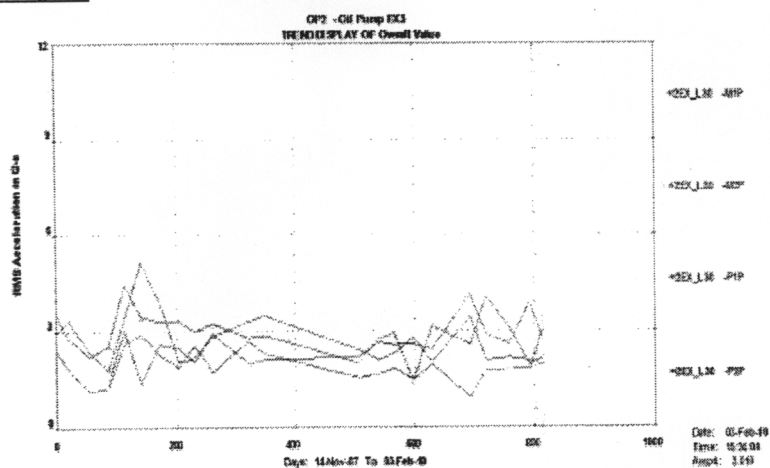
ภาพที่ 3-9 ตัวอย่างแผนภาพของรูปแบบการสั่นสะเทือน

### 5. การส่งรายงานผลการวิเคราะห์ค่าความสั่นสะเทือนไปที่โรงงานอุตสาหกรรม

สำหรับรายงานผลการวิเคราะห์ความเสียหายของเครื่องจักรจากค่าความสั่นสะเทือนนั้น ผู้ที่ทำการวิเคราะห์จะบอกถึงผลของระดับความรุนแรงการสั่นสะเทือน, แนวโน้มการสั่นสะเทือน, ปัญหาของการสั่นสะเทือน และคำแนะนำสำหรับการแก้ปัญหา แสดงตัวอย่างดังภาพที่ 3-10 โดยผลรายงานการวิเคราะห์ค่าความสั่นสะเทือนจะแบ่งส่งให้กับ โรงงานอุตสาหกรรมออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกรายงานค่าความสั่นสะเทือนสำหรับเครื่องจักรที่มีค่าความสั่นสะเทือนสูงขึ้น อย่างผิดปกติ ซึ่งจะส่งให้กับ โรงงานอุตสาหกรรมหลังจากการวัดค่าความสั่นสะเทือนเสร็จแล้ว ภายในระยะเวลาไม่เกินสามวัน และส่วนที่สองจะส่งให้กับ โรงงานอุตสาหกรรมหลังจากการวัดค่าความสั่นสะเทือนเสร็จแล้วภายในระยะเวลาไม่เกินสัปดาห์วัน สุดท้ายเมื่อโรงงานอุตสาหกรรมได้รับ รายงานผลการวิเคราะห์ความเสียหายของเครื่องจักรแล้วก็จะพิจารณารายงาน เพื่อที่จะวางแผน การซ่อมบำรุงรักษาต่อไปเพื่อป้องกันการหยุดเครื่องจักรนอกแผนการซ่อมบำรุง

<b>AREA: TPCC Plant 2</b>		<b>MACHINE: Oil pump for Extruder 2EX- L30</b>	
Machine Set No. 2EX-L30		Last Status:	Status:
Date of measurement: 3 Feb 10		Stage 3	Stage 3
Reference Job: 25 <sup>th</sup> Measurement/4277			
Condition: Motor and Pump shows looseness of rotating elements and high impact on about 12 orders decreasing to the last measure. Possible is misalignment and machine instation problem become resonance problem. By maximum impact is 13.3 mm/sec RMS still in stage 3 narrow to higher stage. This impact is occurring on motor and increase also. Pump bearings spectrum show sign of loose and impact on about 6 orders possible numbers of vane baldes with impact in stage 2.			

Diagram: See Machine Diagram  
Referent RPM: 1467  
Modification: none  
Trending Data: 22<sup>nd</sup> Measurement



Comment: The machine should be monitored very closely and checking the integrity of the structure.

ภาพที่ 3-10 ตัวอย่างรายงานผลการวิเคราะห์ความเสียหายของเครื่องจักรจากค่าความสั่นสะเทือน

## การบ่งชี้ปัญหาความไม่แน่นอนของระบบการวัดค่าความสั่นสะเทือน

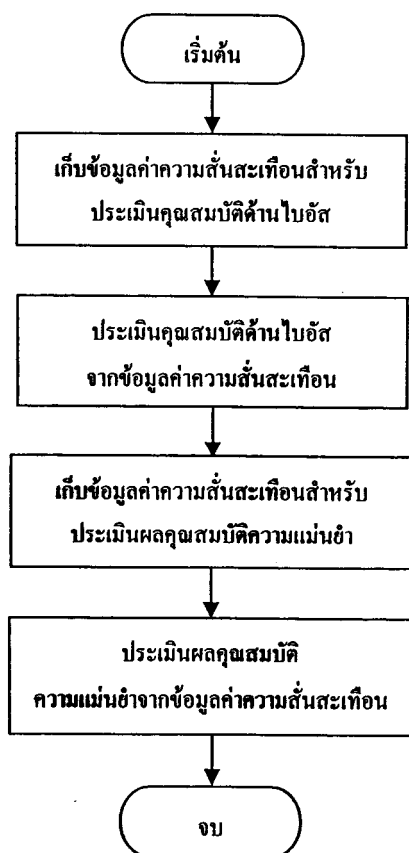
จากระบบการวัดค่าความสั่นสะเทือนเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมด้วยเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนของหน่วยนั้นจะเห็นได้ว่าทุกขั้นตอนของระบบการวัดค่าความสั่นสะเทือนมีความสำคัญ แต่สิ่งสำคัญที่สุดของระบบการวัดค่าความสั่นสะเทือนคือค่าความสั่นสะเทือนที่วัดได้ด้วยเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนจะต้องตรงกับค่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นจริงจากเครื่องจักรที่วัด ซึ่งถ้ามีค่าตรงกันถือว่าเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนมีค่าความแน่นอนและถ้าไม่ตรงกันถือว่าเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนมีค่าความไม่แน่นอนเกิดขึ้น ซึ่งค่าความไม่แน่นอนในที่นี้หมายถึงค่าความผันแปรจากค่าวัด

เนื่องจากว่าค่าความสั่นสะเทือนที่วัดจากเครื่องจักรจะต้องเป็นข้อมูลที่จะต้องนำไปทำการวิเคราะห์หาความเสียหายของเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมและผลรายงานการวิเคราะห์นี้จะต้องถูกส่งกลับไปที่โรงงานอุตสาหกรรมเพื่อวางแผนการซ่อมบำรุงได้อย่างถูกต้อง โดยเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนของหน่วยงานได้มีการใช้งานมาประมาณ 5 ปีมาแล้ว สำหรับการให้บริการวัดค่าความสั่นสะเทือนเครื่องจักรของโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อที่จะสร้างความน่าเชื่อถือให้กับเครื่องจักรของโรงงานอุตสาหกรรมที่มาใช้บริการของหน่วยงาน ฉะนั้นเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนของหน่วยงานควรมีค่าความไม่แน่นอนจากการวัดค่าความสั่นสะเทือนควรอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ตามทฤษฎีของระบบการวัด แต่เนื่องจากเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนของหน่วยงานมีการนำไปใช้ให้บริการวัดค่าความสั่นสะเทือนให้กับโรงงานอุตสาหกรรมอย่างน้อยสัปดาห์ละสองครั้ง

จากการสำรวจข้อมูลจากบุคคลที่เกี่ยวข้องในหน่วยงานที่ทำงานเกินกว่า 5 ปีพบว่าเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนของหน่วยงานไม่เคยได้รับการสอบเทียบ เพราะเนื่องจากการส่งไปสอบเทียบจะต้องส่งไปสอบเทียบต่างประเทศที่เป็นบริษัทผู้ผลิตและการสอบเทียบแต่ละครั้งจะต้องใช้เวลาส่งไปสอบเทียบอย่างน้อยสองเดือน ซึ่งเป็นผลทำให้ไม่ทันต่อการนำไปใช้การให้บริการวัดค่าความสั่นสะเทือนเครื่องจักรของโรงงานอุตสาหกรรม ฉะนั้นจากสาเหตุดังกล่าวสามารถบอกได้ว่าเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนของหน่วยงานมีค่าความไม่แน่นอนจากการใช้งานเกิดขึ้นอย่างแน่นอน แต่ไม่สามารถระบุได้ว่าเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนของหน่วยงานเกิดค่าความไม่แน่นอนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้หรือไม่ เนื่องจากยังไม่เคยมีการประเมินค่าความถูกต้องเพื่อหาความผันแปรของเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนของหน่วยงาน

## การประเมินความถูกต้องของเครื่องมือวัดค่าความสั้นสะเทือน

จากเครื่องมือวัดค่าความสั้นสะเทือนของหน่วยงานมีค่าความไม่แน่นอนจากการใช้งานนั้น จะต้องทำการประเมินความถูกต้องเครื่องมือวัดค่าความสั้นสะเทือน เพื่อต้องการคุณภาพปัจจุบันของเครื่องมือวัดค่าความสั้นสะเทือนของหน่วยงาน โดยวิธีการประเมินความถูกต้องเครื่องมือวัดค่าความสั้นสะเทือนของหน่วยงานที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็นไปตามแนวทางของการวิเคราะห์ระบบการวัด สามารถประเมินค่าความไม่แน่นอนของการวัดค่าความสั้นสะเทือนที่เกิดจากความผันแปรของข้อมูลว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้หรือไม่ก่อนการนำไปใช้จริง โดยจากการศึกษาวิธีการประเมินระบบการวัดตามแนวทางการวิเคราะห์ระบบการวัดของผู้วิจัยได้พบว่าเครื่องมือวัดค่าความสั้นสะเทือนของหน่วยงานมีวิธีการประเมินความถูกต้องเครื่องมือวัดค่าความสั้นสะเทือนก่อนนำไปใช้งานจริงในภาคสนามจริงมีอยู่ 2 แบบคือ การประเมินคุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด (Bias) และการประเมินคุณสมบัติความแม่นยำของระบบการวัด (Gage R&R) โดยขั้นตอนการประเมินค่าความถูกต้องของเครื่องมือวัดค่าความสั้นสะเทือนได้มาจากการประยุกต์ใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์ระบบการวัด ซึ่งสามารถแสดงดังภาพที่ 3-11



ภาพที่ 3-11 ขั้นตอนการประเมินความถูกต้องเครื่องมือวัดค่าความสั้นสะเทือน

จากขั้นตอนของวิธีการประเมินความถูกต้องเครื่องมือวัดความสั้นสะเทือนสำหรับประเมินความถูกต้องของเครื่องมือวัดค่าความสั้นสะเทือนมีรายละเอียดแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

**1. เก็บข้อมูลค่าความสั้นสะเทือนสำหรับประเมินคุณสมบัติด้านไบอัส**

การเก็บข้อมูลสำหรับประเมินคุณสมบัติด้าน ไบอัสเพื่อประเมินความถูกต้องของเครื่องมือวัดเป็นไปตามขั้นตอนของการประเมินคุณสมบัติด้าน ไบอัสแบบการใช้แผนภูมิควบคุม  $\bar{X}-R$  ทำได้โดยการเก็บข้อมูลค่าความสั้นสะเทือนด้วยเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือนของหน่วยงานจากเครื่องสร้างแรงสั้นสะเทือนที่ได้รับการสอบเทียบแล้วจากบริษัทผู้ผลิตและมีค่าแรงสั้นสะเทือนคงที่อยู่ที่ 1 G ที่เป็นค่ามาตรฐานภายใต้ภาวะควบคุม จำนวน 3 รอบๆละ 20 ครั้ง ค่าความสั้นสะเทือนที่วัดได้จะบันทึกลงในตารางสำหรับประเมินคุณสมบัติด้าน ไบอัส ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 ตารางเก็บข้อมูลค่าความสั้นสะเทือนสำหรับการประเมินคุณสมบัติด้าน ไบอัส

ชื่อของเครื่องวัด: .....						วัน เดือน ปี: .....					
ชนิดของหัววัด: .....						ผู้บันทึก: .....					
ค่าความถี่: .....						ตำแหน่ง: .....					
ค่ามาตรฐาน: .....											
รอบที่		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ครั้งที่	1										
	2										
	3										
รอบที่		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ครั้งที่	1										
	2										
	3										

**2. ประเมินคุณสมบัติด้านไบอัสจากข้อมูลค่าความสั้นสะเทือน**

การประเมินคุณสมบัติด้านไบอัสจะต้องทำการพล็อตกราฟแผนภูมิ  $\bar{X}-R$  ซึ่งจะต้องทำการคำนวณพิกัดควบคุมสำหรับแผนภูมิ  $\bar{X}$  ด้วยสูตรคำนวณที่ 2.11 และแผนภูมิ R ด้วยสูตรคำนวณที่ 2-12



หลังจากการพรีดกราฟแผนภูมิ  $\bar{X} - R$  แล้วให้พิจารณาความผันแปรว่าเป็นสาเหตุโดยธรรมชาติหรือไม่ซึ่งถ้าหากไม่ใช่ความผันแปรจากสาเหตุโดยธรรมชาติให้ทำการหาสาเหตุที่ผิดปกติแล้วทำการแก้ไขให้ถูกต้อง สำหรับกรณีที่เป็นสาเหตุธรรมชาติให้ทำการคำนวณค่าไบอัสโดยพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิงแล้วทำการคำนวณ % ไบอัสของความคลาดเคลื่อนอนุโลมและ % ไบอัสของกระบวนการ ด้วยสูตรคำนวณที่ 2-13, 2-14 และ 2-15 จากผลการคำนวณ % ไบอัสตามสมการ 2-14 หรือ 2-15 ให้ทำการประเมินผลค่า % ไบอัสของเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือน โดยมีเกณฑ์เปรียบเทียบ % ไบอัสโดยใช้ตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 เกณฑ์การยอมรับสำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติด้าน ไบอัสของเครื่องมือวัด

% ไบอัส	ความหมาย
% ไบอัส < 5%	% ไบอัสของเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
5% ≤ % ไบอัส < 10%	% ไบอัสของเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือนอาจจะยอมรับได้
% ไบอัส ≥ 10%	% ไบอัสของเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือนไม่สามารถยอมรับได้

### 3. เก็บข้อมูลค่าความสั้นสะเทือนสำหรับประเมินผลคุณสมบัติความแม่นยำ

การเก็บข้อมูลสำหรับประเมินคุณสมบัติความแม่นยำเพื่อประเมินความถูกต้องของเครื่องมือวัดจะเป็นไปตามขั้นตอนของการประเมินคุณสมบัติความแม่นยำแบบวิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและค่าพิสัย ทำได้โดยการเก็บข้อมูลค่าความสั้นสะเทือนด้วยเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือนของหน่วยงานจากเครื่องสร้างแรงสั้นสะเทือนที่ได้รับการสอบเทียบแล้วจากบริษัทผู้ผลิตและมีค่าแรงสั้นสะเทือนคงที่อยู่ที่ 1 G ที่เป็นค่ามาตรฐานภายใต้ภาวะควบคุม ด้วยพนักงานที่เป็นผู้ที่ใช้งานเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือน 2 คน โดยพนักงานแต่ละคนจะเก็บข้อมูล จำนวน 2 รอบ ๆ ละ 10 ครั้ง ค่าความสั้นสะเทือนที่วัดได้จะบันทึกลงในตารางสำหรับประเมินคุณสมบัติความแม่นยำ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3-4

ตารางที่ 3-4 ตารางเก็บข้อมูลค่าความสั้นสะเทือนสำหรับการประเมินคุณสมบัติความแม่นยำ

ชื่อของเครื่องวัด:		วัน เดือน ปี:									
ชนิดของหัววัด:		ผู้บันทึก:									
ค่าความถี่:		ตำแหน่ง:									
ค่ามาตรฐาน:											
ครั้งที่		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
พนักงาน A	1										
	2										
พนักงาน B	1										
	2										

#### 4. ประเมินคุณสมบัติความแม่นยำจากข้อมูลค่าความสั้นสะเทือน

การประเมินคุณสมบัติความแม่นยำนั้นจะต้องเริ่มทำจากการคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าพิสัยสำหรับพนักงานวัดทุกคนที่ทำการวัดค่าความสั้นสะเทือนเพื่อวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลก่อน หลังจากนั้นให้ทำการคำนวณดังต่อไปนี้

4.1 ทำการคำนวณหาค่า Repeatability (Equipment Variation; EV) ด้วยสูตรที่ 2-16 และสูตรที่ 2-17

4.2 ทำการคำนวณค่า Reproducibility (Appraiser Variation; AV) ด้วยสูตรที่ 2-18 และสูตรที่ 2-19

4.3 ทำการคำนวณค่า GR&R ด้วยสูตรที่ 2.20

4.4 ทำการคำนวณค่าความผันแปรของกระบวนการ TV (Total Variation) ด้วยสูตรที่ 2-21

4.5 ทำการคำนวณค่า P/T (Precision – to – Tolerance Ratio) ด้วยสูตรที่ 2-22

จากผลการคำนวณค่า P/T ตามด้วยสูตรที่ 2-22 ให้ทำการประเมินผลคุณสมบัติความแม่นยำของเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือน โดยเกณฑ์การเปรียบเทียบ P/T โดยใช้ตารางที่ 3-5

ตารางที่ 3-5 เกณฑ์การยอมรับสำหรับการวิเคราะห์คุณสมบัติด้านความแม่นยำของเครื่องมือวัด

P/T	ความหมาย
$P/T < 10\%$	P/T ของเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
$10\% \leq P/T < 30\%$	P/T ของเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือนอาจจะยอมรับได้
$P/T \geq 30\%$	P/T ของเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือนไม่สามารถยอมรับได้

จากขั้นตอนการประเมินค่าความถูกต้องของเครื่องมือวัดความสั้นสะเทือนที่เป็นไปตามแนวทางการประเมินระบบการวัด กระทำในห้องปฏิบัติการของหน่วยงานที่ผู้วิจัยได้ปฏิบัติงานอยู่ ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการทดลองนี้ประกอบไปด้วย

1. เครื่องสร้างสัญญาณสั้นสะเทือนขนาด 1 G จำนวน 1 เครื่อง
2. หัววัดการสั้นสะเทือนแบบความเร่ง จำนวน 1 หัว
3. ชุดสายวัดสัญญาณการสั้นสะเทือน จำนวน 1 เส้น
4. เครื่องวัดสัญญาณการสั้นสะเทือน จำนวน 1 เครื่อง

สำหรับการประเมินมีขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1: ปรับตั้งเครื่องจำลองสัญญาณสั้นสะเทือนให้มีขนาด 1 G.

ขั้นตอนที่ 2: ประกอบชุดเครื่องวัดการสั้นสะเทือนเข้ากับเครื่องสร้างสัญญาณ

สั้นสะเทือน

ขั้นตอนที่ 3: ทำการเก็บค่าสัญญาณการสั้นสะเทือนจากเครื่องสร้างสัญญาณสั้นสะเทือน

สำหรับประเมินคุณสมบัติด้านไบอัส

ขั้นตอนที่ 4: ทำการประเมินคุณสมบัติด้าน ไบอัสจากข้อมูลค่าความสั้นสะเทือน

ขั้นตอนที่ 5: ทำการเก็บค่าสัญญาณการสั้นสะเทือนจากเครื่องสร้างสัญญาณสั้นสะเทือน

สำหรับประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำ

ขั้นตอนที่ 6: ทำการประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำจากข้อมูลค่าความสั้นสะเทือน

ขั้นตอนที่ 7: ทำการสรุปผลการประเมินความถูกต้องของเครื่องมือวัด

ขั้นตอนที่ 8: ทำการหาสาเหตุและแก้ไขสำหรับกรณีที่ผลประเมินไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ขั้นตอนที่ 9: ทำการเก็บค่าและประเมินสำหรับคุณสมบัติด้านที่ยังไม่ผ่านเกณฑ์

มาตรฐาน

## 5. ปรับตั้งเครื่องจำลองสัญญาณสั่นสะเทือน

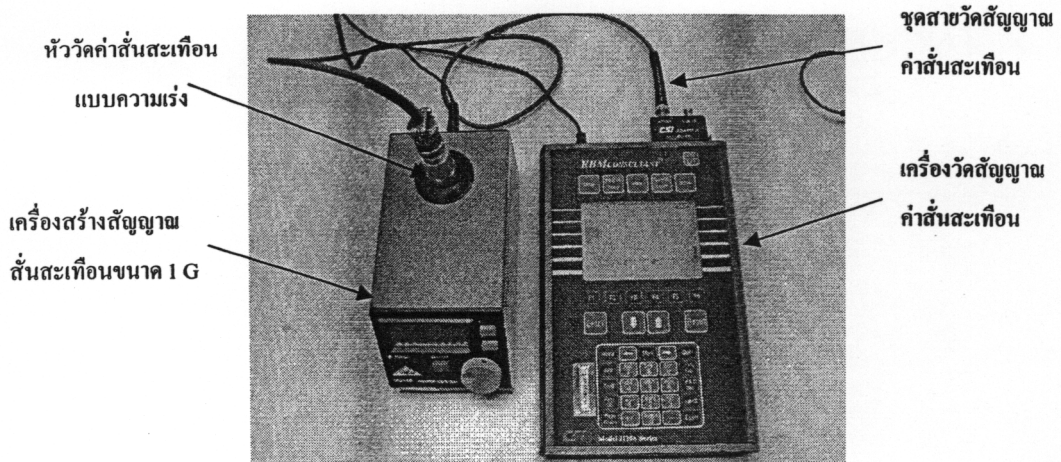
เครื่องจำลองสัญญาณสั่นสะเทือนจะใช้ของยี่ห้อ MMF รุ่น VC110 ที่สามารถสร้างสัญญาณการสั่นสะเทือนขนาด 1 G และสามารถปรับความถี่ได้ตั้งแต่ 70 เฮิรท์ ถึง 2000 เฮิรท์ ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้ความถี่ 70 เฮิรท์ เพราะเป็นความถี่ปกติที่ใช้งานอยู่ ดังภาพที่ 3-12



ภาพที่ 3-12 เครื่องจำลองสัญญาณการสั่นสะเทือน

## 6. ประกอบชุดเครื่องวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนเข้ากับเครื่องจำลองสัญญาณสั่นสะเทือน

การประกอบชุดเครื่องวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนทำได้โดยประกอบหัววัดสัญญาณการสั่นสะเทือนเข้ากับชุดสายวัดสัญญาณการสั่นสะเทือน เมื่อประกอบเสร็จก็ให้ทำการต่อเข้ากับเครื่องจำลองสัญญาณการสั่นสะเทือนเสร็จที่ได้ทำการปรับตั้งเสร็จแล้วดังภาพที่ 3-13



ภาพที่ 3-13 ประกอบชุดเครื่องวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนเข้ากับเครื่องจำลองสัญญาณสั่นสะเทือน

## 7. การเก็บค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนสำหรับการประเมินคุณสมบัติด้านไบอัส

การเก็บค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนจะใช้เครื่องวัดความสั่นสะเทือน ที่ใช้หัววัดชนิดความเร่งที่มีค่าความไวที่ 100 mV/G +/- 10% และค่าการสั่นสะเทือนที่สร้างมาจากเครื่องจักรจำลองการสั่นสะเทือนที่มีขนาด 1 G ฉะนั้นหมายความว่ามีความมาตรฐานอยู่ที่ 90 mV/G (LSL: ขอบเขตล่าง) ถึง 110 mV/G (USL: ขอบเขตบน) โดยการเก็บค่าความสั่นสะเทือนจะเก็บจำนวน 20 รอบ และรอบละ 3 ครั้ง ตามแนวทางประเมินคุณสมบัติด้านไบอัสแบบ  $\bar{X}-R$  และการเก็บค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนด้วยเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนนี้ได้ผลดังตารางที่ 3-6 ซึ่งผลที่ได้นำไปใช้ในการประเมินคุณสมบัติด้านไบอัสของเครื่องมือวัด

ตารางที่ 3-6 ผลการเก็บค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนสำหรับการประเมินคุณสมบัติด้านไบอัส

ชื่อของเครื่องวัด: CSI รุ่น 2120						วัน เดือน ปี: 19 มีนาคม 2553					
ชนิดของหัววัด: Acceleration รุ่น AC102-1A						ผู้บันทึก: ประมวล มลารัตน์					
ค่าความไวหัววัด: 100 mV/G +/- 10%						ตำแหน่ง: วิศวกร					
ค่าความถี่: 70 Hz											
ค่ามาตรฐาน: USL= 110 mV, LSL= 90 mV											
รอบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
ครั้งที่	1	101	104	98	97	103	96	104	96	104	102
	2	105	103	100	105	99	103	102	102	98	99
	3	104	98	105	100	105	97	104	99	101	103
รอบที่	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
ครั้งที่	1	96	105	99	97	103	103	102	95	101	96
	2	99	97	101	95	102	98	98	103	105	97
	3	101	96	98	104	100	100	97	102	96	96

## 8. ประเมินคุณสมบัติด้านไบอัส

จากผลเก็บค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนด้วยเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนจากตารางที่ 3-6 ซึ่งนำผลของข้อมูลไปทำการหาค่าไบอัสตามแนวทางการประเมินคุณสมบัติด้านไบอัสของระบบการวัด เพื่อเป็นการประเมินคุณสมบัติด้านความถูกต้องของระบบการวัด โดยผลที่ได้เป็นการแยกความผันแปรจากสาเหตุพิเศษออกจากความผันแปรจากสาเหตุธรรมชาติ ซึ่งการประเมินได้ผลดังต่อไปนี้

คำนวณค่าพิสัยโดยเฉลี่ย

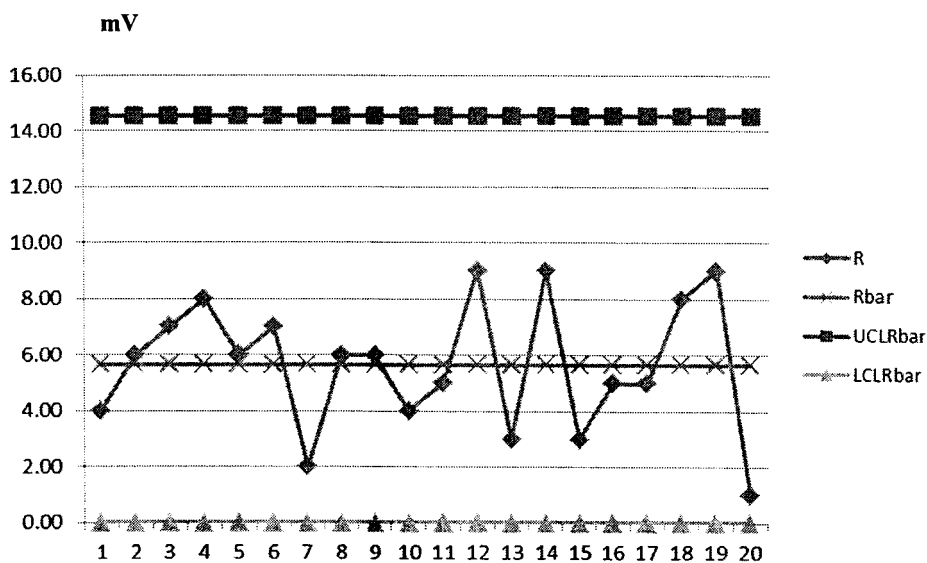
$$\bar{R} = \sum \frac{R}{k} = \frac{113}{20} = 5.65$$

คำนวณพิสัยควบคุมสำหรับค่าพิสัย

$$UCL = D_4 \bar{R} = 2.575 \times 5.65 = 14.55$$

$$CL = \bar{R} = 5.65$$

$$LCL = D_3 \bar{R} = 0 \times 5.65 = 0$$



ภาพที่ 3-14 กราฟ R chart ของการประเมินคุณสมบัติด้านไบอัสของเครื่องมือวัด

จากการคำนวณค่าพิสัยควบคุมบนมีค่า 14.55 mV, ค่าพิสัยควบคุมล่างมีค่า 0 mV และมีค่าเฉลี่ยของค่าพิสัยประมาณ 6 mV จากกราฟ R chart ในภาพที่ 3-14 ค่าเฉลี่ยของค่าพิสัยจากการวัด 20 รอบ ๆ ละ 3 ครั้ง มีค่าแกว่งอยู่ในช่วงระหว่าง 1 mV ถึง 9 mV แสดงว่าค่าพิสัยของคุณสมบัติด้านไบอัสเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือนยังอยู่ในพิสัยควบคุม

คำนวณค่าเฉลี่ยทั้งหมด

$$\bar{\bar{X}} = \sum \frac{\bar{X}}{k} = \frac{2006.33}{20} = 100.32$$

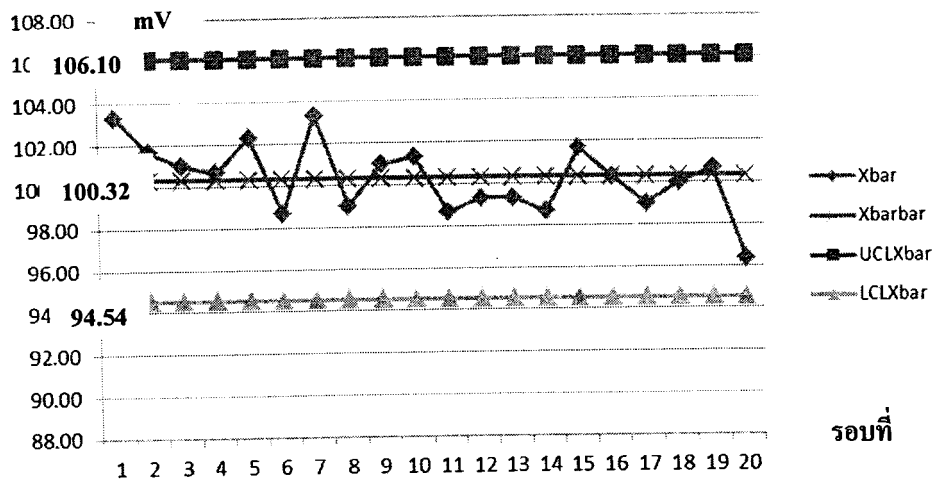
คำนวณพิสัยควบคุมสำหรับค่าเฉลี่ย

แผนภูมิ  $\bar{X}$

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 100.32 + 1.023 \times 5.65 = 106.10$$

$$CL = \bar{\bar{X}} = 100.32$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 100.32 - 1.023 \times 5.65 = 94.54$$



ภาพที่ 3-15 กราฟ Xbar chart ของการประเมินคุณสมบัติด้าน ไบอัสของเครื่องมือวัด

จากการคำนวณค่าพิสัยควบคุมบนมีค่า 106.1 mV, ค่าพิสัยควบคุมล่างมีค่า 94.54 mV และมีค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ย 100 mV จากกราฟ Xbar chart ในภาพที่ 3-15 ค่าเฉลี่ยจากการวัด 20 รอบ ๆ ละ 3 ครั้ง มีค่าแกว่งอยู่ในช่วงระหว่าง 96 mV ถึง 103 mV แสดงว่าค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติด้าน ไบอัสเครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือนยังอยู่ในพิสัยควบคุม

คำนวณค่าไบอัส

$$\begin{aligned} \text{Bias} &= \bar{\bar{X}} - \text{ค่าอ้างอิง} \\ &= 100.32 - 100.00 \\ &= 0.32 \end{aligned}$$

คำนวณค่า % ไบอัสของความคลาดเคลื่อนอนุโลม

$$\begin{aligned} \% \text{ ไบอัสของความคลาดเคลื่อนอนุโลม} &= \left| \frac{\text{Bias}}{USL - LSL} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{0.32}{110 - 90} \right| \times 100\% \\ &= 1.58\% \end{aligned}$$

คำนวณค่าความผันแปรของกระบวนการ

$$\hat{\sigma} = \frac{\bar{R}}{d_2} = \frac{5.65}{1.693} = 3.34$$

คำนวณค่า % ไบอัสของกระบวนการ

$$\begin{aligned} \% \text{ ไบอัสของกระบวนการ} &= \frac{Bias}{\hat{\sigma}} \times 100\% \\ &= \frac{0.32}{3.34} \times 100\% \\ &= 9.49\% \end{aligned}$$

จากผลค่า % ไบอัสของความคลาดเคลื่อนอนุโลม มีค่าเท่ากับ 1.58% โดยเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์การยอมรับจากตารางที่ 3-3 พบว่า % ไบอัสอยู่ในช่วง % ไบอัส < 5% หมายถึง % ไบอัสของเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนยอมรับได้ และ % ไบอัสของกระบวนการมีค่าเท่ากับ 9.49% โดยเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์การยอมรับจากตารางที่ 3-3 พบว่า % ไบอัสอยู่ในช่วง 5% ≤ % ไบอัส < 10% หมายถึง % ไบอัสของเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนอาจจะยอมรับได้

#### 9. การเก็บค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนสำหรับการประเมินผลคุณสมบัติความแม่นยำ

การเก็บค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนจะใช้เครื่องวัดความสั่นสะเทือนที่ใช้หัววัดชนิดความเร่ง มีค่าความไวที่ 100 mV/G +/- 10% และค่าการสั่นสะเทือนที่สร้างมาจากเครื่องการจำลองการสั่นสะเทือนที่มีขนาด 1 G ฉะนั้นหมายความว่ามีความมาตรฐานอยู่ที่ 90 mV/G (LSL: ขอบเขตล่าง) ถึง 110 mV/G (USL: ขอบเขตบน) โดยการเก็บข้อมูลค่าความสั่นสะเทือนจะใช้พนักงานที่ใช้งานเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนจริง 2 คน และคนละ 10 ครั้ง ตามแนวทางประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำแบบ  $\bar{X}-R$  และการเก็บค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนด้วยเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนนี้ได้ผลดังตารางที่ 3-7 ซึ่งผลที่ได้นำไปใช้ในการประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำของเครื่องมือวัด



ตารางที่ 3-7 ผลการเก็บค่าสัญญาณความสั่นสะเทือนสำหรับการประเมินคุณสมบัติด้าน  
ความแม่นยำ

ชื่อของเครื่องวัด: CSI รุ่น 2120					วัน เดือน ปี: 19 มีนาคม 2553						
ชนิดของหัววัด: Acceleration รุ่น AC102-1A					ผู้บันทึก: ประมวล						
ค่าความไวหัววัด: 100 mV/G +/- 10%					ตำแหน่ง: วิศวกร						
ค่าความถี่: 70 Hz											
ค่ามาตรฐาน: USL= 110 mV, LSL= 90 mV											
ครั้งที่		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
พนักงาน A	1	102	103	98	100	98	101	98	101	104	104
	2	97	103	104	104	99	98	102	103	104	100
พนักงาน B	1	99	96	104	104	102	103	96	97	99	98
	2	102	101	101	104	97	101	97	101	96	103

#### 10. ประเมินผลคุณสมบัติความแม่นยำ

จากผลเก็บค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนด้วยเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนจากตารางที่ 3-7 ซึ่งนำผลข้อมูลไปทำการหาค่าความแม่นยำตามแนวทางการประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำของเครื่องมือวัด เพื่อเป็นการประเมินคุณสมบัติด้านความถูกต้องของเครื่องมือวัด โดยผลที่ได้เป็นการประเมินทางด้านความกว้างของเครื่องมือวัด โดยเป็นการแยกความผันแปรในเครื่องมือวัด ออกเป็น Repeatability และ Reproducibility ซึ่งการประเมินได้ผลดังนี้

คำนวณค่าพิสัยโดยเฉลี่ย

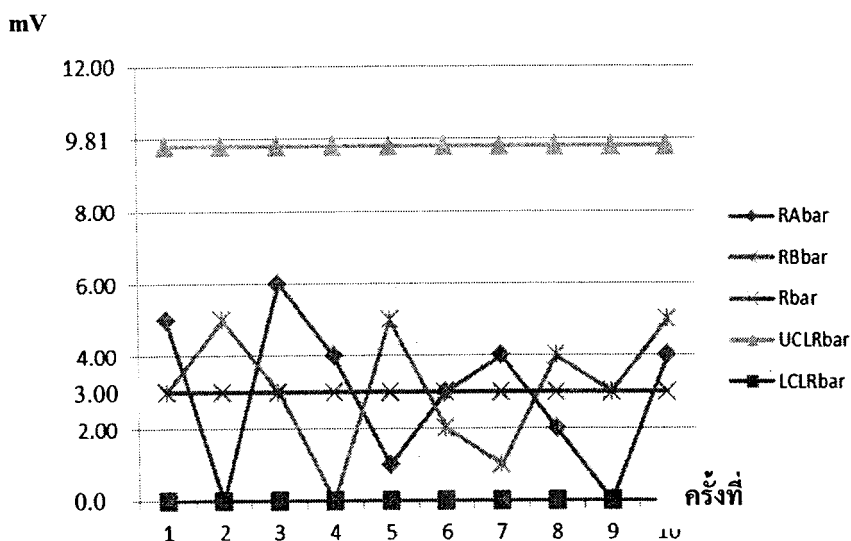
$$\bar{R} = \sum \frac{R}{k} = \frac{60}{20} = 3.00$$

คำนวณพิสัยควบคุมสำหรับค่าพิสัย

$$UCL = D_4 \bar{R} = 3.267 \times 3 = 9.81$$

$$CL = \bar{R} = 3.00$$

$$LCL = D_3 \bar{R} = 0 \times 3 = 0.00$$



ภาพที่ 3-16 กราฟ R chart ของการประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำของเครื่องมือวัด

จากการคำนวณค่าพิสัยควบคุมขอบเขตบนมีค่า 9.81 mV, ค่าพิสัยควบคุมขอบเขตล่างมีค่า 0 mV และมีค่าเฉลี่ยของพิสัย 3 mV จากกราฟ R chart ภาพที่ 3-16 ค่าเฉลี่ยพิสัยจากการวัดของพนักงาน A จำนวน 10 รอบ ๆ ละ 2 ครั้งมีค่าแกว่งอยู่ในช่วง 0 mV ถึง 6 mV และมีค่าเฉลี่ยพิสัยจากการวัดของพนักงาน B จำนวน 10 รอบ ๆ ละ 2 ครั้งมีค่าแกว่งอยู่ในช่วง 0 mV ถึง 5 mV แสดงว่าค่าพิสัยของคุณสมบัติด้านความแม่นยำเครื่องวัดค่าความสั้นสะท้อนยังอยู่ในพิสัยควบคุม

คำนวณค่าเฉลี่ยทั้งหมด

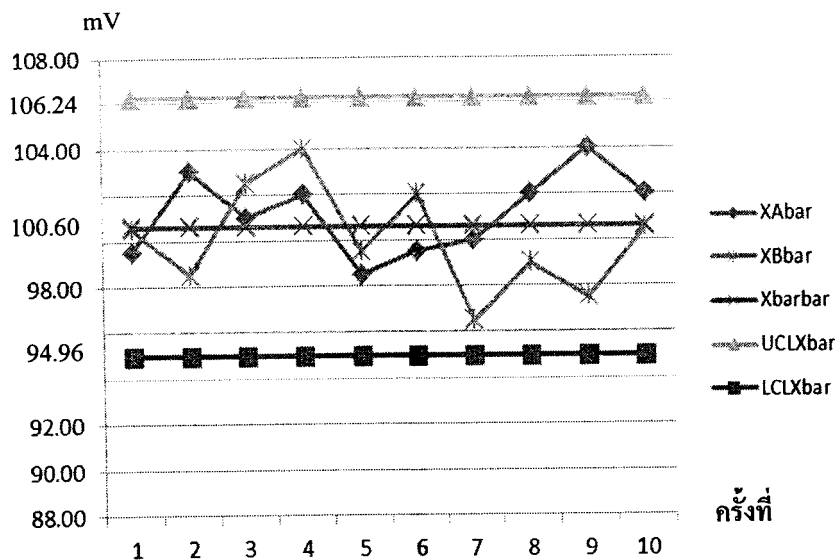
$$\bar{\bar{X}} = \sum \frac{\bar{X}}{k} = \frac{1006}{10} = 100.60$$

คำนวณพิสัยควบคุมสำหรับค่าเฉลี่ย

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 100.6 + 1.880 \times 3 = 106.24$$

$$CL = \bar{\bar{X}} = 100.60$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 100.6 - 1.880 \times 3 = 94.96$$



ภาพที่ 3-17 กราฟ Xbar chart ของการประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำของเครื่องมือวัด

จากการคำนวณค่าพิสัยควบคุมขอบเขตบนมีค่า 106.24 mV, ค่าพิสัยควบคุมขอบเขตล่างมีค่า 94.96 mV และมีค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ยประมาณ 100.6 mV จากกราฟ Xbar chart ภาพที่ 3-17 ค่าเฉลี่ยจากการวัดของพนักงาน A จำนวน 10 รอบ ๆ ละ 2 ครั้งมีค่าแกว่งอยู่ในช่วง 98 mV ถึง 104 mV และมีค่าเฉลี่ยจากการวัดของพนักงาน B จำนวน 10 รอบ ๆ ละ 2 ครั้งมีค่าแกว่งอยู่ในช่วง 96 mV ถึง 106 mV แสดงว่าค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติด้านความแม่นยำเครื่องวัดค่าความสั้นสะท้อนยังอยู่ในพิสัยควบคุม

คำนวณค่า Repeatability (Equipment Variation; EV)

$$EV = 5.15\sigma_{EV}$$

โดยที่

$$\sigma_{EV} = \frac{\bar{R}(X)}{d_2}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} EV &= 5.15 \frac{\bar{R}(X)}{d_2} \\ &= 5.15 \times \frac{3}{1.128} = 13.70 \end{aligned}$$

คำนวณค่า Reproducibility (Appraiser Variation; AV)

$$AV = \sqrt{(5.15\sigma_{AV})^2 - \frac{EV^2}{nr}}$$

โดยที่

$$n = 10 \text{ (จำนวนชิ้นงานที่พนักงานวัดแต่ละคนทำการวัด)}$$

$$r = 2 \text{ (จำนวนซ้ำที่พนักงานแต่ละคนวัดชิ้นงานแต่ละชิ้น)}$$

$$\sigma_{AV} = \frac{R(\bar{X})}{d_2^*} = \frac{1.10}{1.414} = 0.78$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} AV &= \sqrt{(5.15 \times 4.01)^2 - \frac{13.7^2}{10 \times 2}} \\ &= 2.58 \end{aligned}$$

คำนวณค่า GR&R

$$\begin{aligned} G_{R\&R} &= \sqrt{EV^2 + AV^2} \\ &= \sqrt{13.7^2 + 2.58^2} \\ &= 13.94 \end{aligned}$$

คำนวณค่าความผันแปรของกระบวนการ TV (Total Variation)

$$TV = \sqrt{G_{R\&R}^2 + PV^2}$$

โดยที่

$$\begin{aligned} PV &= 5.15 \frac{R_p}{d_2^*}; (R_p = \bar{X}_{\max} - \bar{X}_{\min}) \\ &= 5.15 \frac{4.75}{3.178} = 7.70 \end{aligned}$$

ฉะนั้น

$$\begin{aligned} TV &= \sqrt{13.94^2 + 7.70^2} \\ &= 15.92 \end{aligned}$$

คำนวณค่า P/T (Precision – to – Tolerance Ratio) ด้วยสูตร

$$\begin{aligned} P/T &= \frac{GR \& R}{USL - LSL} \times 100\% \\ &= \frac{13.94}{110 - 90} \times 100\% \\ &= 69.69\% \end{aligned}$$

จากผลค่า P/T ของความคลาดเคลื่อนอนุโลม มีค่าเท่ากับ 69.69% โดยเมื่อนำไปเทียบกับเกณฑ์การยอมรับจากรางที่ 3-5 พบว่า P/T อยู่ในช่วง  $P/T \geq 30\%$  หมายถึง P/T ของเครื่องวัดค่าความสั้นสะท้อนไม่สามารถยอมรับได้

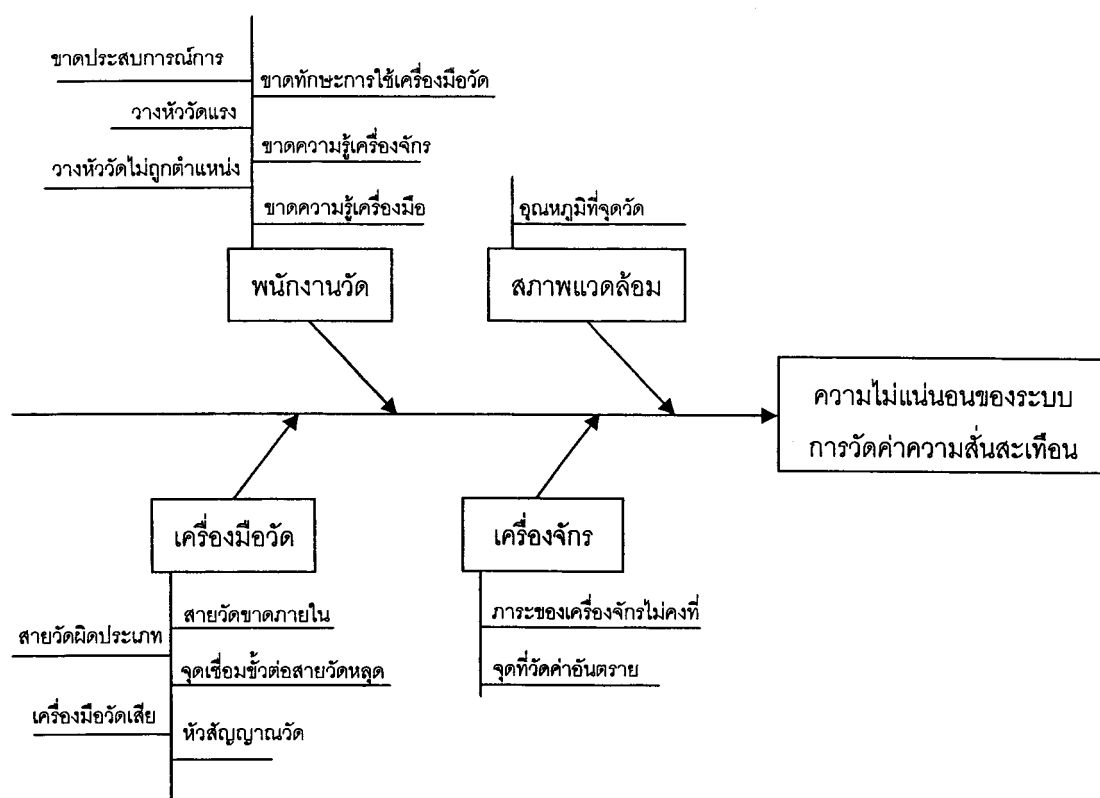
## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

ผลการประเมินคุณสมบัติด้านไบอัสและคุณสมบัติความแม่นยำ จากบทที่ 3 หัวข้อ 3.3 เป็นผลการวิเคราะห์การประเมินความถูกต้องคุณสมบัติด้านไบอัสของเครื่องมือวัด ที่ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่สามารถยอมรับได้ และคุณสมบัติความแม่นยำของเครื่องมือวัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ไม่สามารถยอมรับ ซึ่งมีผลต่อการนำเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนไปใช้งาน เพราะถ้านำเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนไปวัดค่าความสั่นสะเทือนเครื่องจักรจะมีผลทำให้ข้อมูลค่าความสั่นสะเทือนที่ได้มามีค่าความคลาดเคลื่อนและส่งผลให้การนำค่าความสั่นสะเทือนไปวิเคราะห์หาความเสียหายมีความคลาดเคลื่อนตามมาด้วย

#### การวิเคราะห์ปัญหาความไม่แน่นอนของระบบการวัดค่าความสั่นสะเทือน

จากการประเมินความถูกต้องเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนผลของคุณสมบัติความแม่นยำของเครื่องมือวัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ไม่สามารถยอมรับ ทำให้มีความจำเป็นจะต้องมีการวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนของระบบวัดค่าความสั่นสะเทือนของหน่วยงานพร้อมกับการหาวิธีการแก้ไขปัญหา เพื่อลดความไม่แน่นอนของการวัดค่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น สำหรับการวิเคราะห์หาสาเหตุค่าความไม่แน่นอนใช้แผนภูมิแก๊งปลา (FBD: Fish Bone Diagram) เป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์หาสาเหตุ โดยการวิเคราะห์หาสาเหตุของการเกิดความไม่แน่นอนของระบบการวัดค่าความสั่นสะเทือนเครื่องจักรของหน่วยงานนั้น ต้องทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่สำคัญคือ พนักงานวัด, สภาพแวดล้อม, เครื่องมือวัด และเครื่องจักร ผลการวิเคราะห์สาเหตุความไม่แน่นอนของระบบการวัดค่าความสั่นสะเทือนแสดงดังภาพที่ 4-1



ภาพที่ 4-1 การวิเคราะห์สาเหตุความไม่แน่นอนด้วยแผนภูมิแก๊งปลาของระบบการวัดค่าความสิ้นสะเทือน

จากการวิเคราะห์สาเหตุความไม่แน่นอนด้วยแผนภูมิแก๊งปลาของระบบการวัดค่าความสิ้นสะเทือนของหน่วยงาน พบว่าหลายสาเหตุอาจเป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนในระบบการวัด ซึ่งแต่ละสาเหตุจะต้องดำเนินการวิเคราะห์เพื่อให้รู้ว่าสาเหตุใดที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนของระบบการวัดค่าความสิ้นสะเทือนที่ต้องได้รับการแก้ไขเป็นอันดับแรก เพื่อให้เกณฑ์อยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้ตามทฤษฎีของระบบการวัด โดยการวิเคราะห์หาสาเหตุที่เป็นต้นเหตุที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนในระบบการวัดนั้นสามารถวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์คุณลักษณะของความเสียหายและผลกระทบด้วยหลักการ FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) เพื่อที่จะดูว่าแต่ละสาเหตุของการเกิดคุณลักษณะของความเสียหายใดที่มีระดับคะแนน RPN (Risk Priority Number) สูงที่สุด สาเหตุนั้นจะต้องได้รับการแก้ไขเป็นอันดับแรก ส่วนสาเหตุใดที่ได้ค่า RPN รองลงมาจะต้องได้รับการแก้ไขในลำดับถัดไป สำหรับการวิเคราะห์ด้วยหลักการ FMEA จะใช้คะแนนของเกณฑ์การประเมินความรุนแรงของผลกระทบ (S) ดังตารางที่ 2-1 คูณกับเกณฑ์การประเมิน โอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง (O) ดังตารางที่ 2-2 คูณกับเกณฑ์

การประเมินผลการตรวจจับ (D) ดังตารางที่ 2-3 ซึ่งผลของการวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของระบบ การวัดค่าความสิ้นเปลืองของหน่วยงานหลังจากการคำนวณผลคูณจากผลประเมินความรุนแรง ของผลกระทบ, ผลประเมินโอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง, และผลประเมินผลการตรวจจับ ได้ผลดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์ของระบบการวัดค่าความถี่ของระบบการวัดค่าความถี่ของหน่วยงานด้วย FMEA

ลำดับ	หัวข้อสาเหตุ	ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบจากข้อบกพร่อง	S	โอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง	O	การตรวจจับ	D	RPN	
1	พนักงานวัดขาดความรู้เครื่องวัด	วัดค่าต้นสะเทือนไม่ถูกต้อง	ผลกระทบสูง	7	ต่ำ: เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	2	สูงมาก	2	28	
	พนักงานวัดขาดความรู้เครื่องจักร	วัดค่าต้นสะเทือนผิดตำแหน่ง	ผลกระทบปานกลาง	6	ต่ำ: เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	2	สูง	3	36	
	พนักงานวัดขาดทักษะการใช้เครื่องวัด	ค่าต้นสะเทือนไม่ตรงกันกับค่าจริง	ผลกระทบต่ำ	5	ต่ำ: เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	2	สูงมาก	2	20	
	พนักงานวัดขาดประสบการณ์การวัดค่าต้นสะเทือน	ใช้เวลาวัดค่าต้นสะเทือนนาน	ผลกระทบต่ำมาก	4	ต่ำ: เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	2	สูง	3	24	
	พนักงานวัดวางหัววัดแรงเกินไป	ค่าต้นสะเทือนสูงเกินจริง	ผลกระทบต่ำ	5	ต่ำ: เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	3	สูงมาก	2	30	
	พนักงานวัดวางหัววัดไม่ถูกต้องตำแหน่ง	ค่าต้นสะเทือนต่ำกว่าค่าจริง	ผลกระทบต่ำ	5	วางหัววัดห่างจากจุดที่วัดค่าต้นสะเทือน	3	สูงมาก	2	30	
	2	สภาพแวดล้อมมีอุณหภูมิที่จุดวัดสูง	ค่าต้นสะเทือนสูงกว่าค่าจริง	ผลกระทบต่ำ	5	ต่ำ: เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	3	สูง	3	45

หมายเหตุ: หัวข้อสาเหตุของเครื่องวัดในลำดับที่ 3 จะต้องได้รับการพิจารณาแนวทางการแก้ไขปัญหาเป็นอันดับแรกของระบบการวัดค่า

ความถี่ต้นสะเทือน



ตารางที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์ของระบบการวัดค่าความสั้นสะเทือนของหน่วยงานด้วย FMEA (ต่อ)

ลำดับ	หัวข้อสาเหตุ	ลักษณะข้อบกพร่อง	ผลกระทบจากข้อบกพร่อง	S	โอกาสการเกิดขึ้นของข้อบกพร่อง	O	การตรวจจับ	D	RPN
3	เครื่องมือวัดมีสายวัดขาด	วัดค่าสั้นสะเทือนไม่ได้	ผลกระทบสูงมาก	8	ปานกลาง: เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้งคราว	4	ปานกลาง	5	160
	เครื่องมือวัดมีจุดเชื่อมขั้วต่อสายวัดขาด	วัดค่าสั้นสะเทือนไม่ได้	ผลกระทบสูงมาก	8	ปานกลาง: เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้งคราว	4	ปานกลาง	5	160
	เครื่องมือวัดมีใช้สายเชื่อมต่อ	ค่าสั้นสะเทือนได้ไม่เท่ากับค่าจริง	ผลกระทบต่ำ	5	ต่ำ: เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	2	สูง	3	30
	เครื่องมือวัดผิดปกติประเภท	วัดค่าสั้นสะเทือนไม่ถูกต้อง	ผลกระทบสูงมาก	8	ปานกลาง: เกิดข้อบกพร่องเป็นครั้งคราว	4	ปานกลาง	5	160
	เครื่องมือวัดเสีย	วัดค่าสั้นสะเทือนไม่ถูกต้อง	ผลกระทบสูงมาก	8	ต่ำ: เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	2	ปานกลาง	5	80
4	เครื่องจักรมีภาระไม่คงที่	ค่าสั้นสะเทือนที่วัดได้ไม่คงที่	ผลกระทบต่ำ	5	ต่ำ: เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	2	สูง	3	30
	เครื่องจักรมีจุดที่วัดค่าอันตราย	ค่าสั้นสะเทือนต่ำกว่าค่าจริง	ผลกระทบต่ำ	5	ต่ำ: เกิดข้อบกพร่องค่อนข้างน้อย	2	สูง	3	30

หมายเหตุ: หัวข้อสาเหตุของเครื่องมือวัดในลำดับที่ 3 จะต้องได้รับการพิจารณาหาแนวทางแก้ไขปัญหาค่าเป็นอันดับแรกจากระบบการวัดค่า

ความสั้นสะเทือน

จากตารางที่ 4-1 ทำให้ได้ผลคะแนนของ RPN จากการประเมินลักษณะข้อบกพร่องของ หัวข้อพนักงานวัด, สภาพแวดล้อม, เครื่องมือวัด และเครื่องจักร โดยผลค่าคะแนนของ RPN ที่มีค่าน้อยแสดงถึงลักษณะข้อบกพร่องที่มีผลกระทบที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนในระบบการวัดค่าความสั้นสะเทือนของหน่วยงานน้อย ในทางกลับกันผลค่าคะแนนของ RPN ที่มีค่ามากแสดงถึงลักษณะข้อบกพร่องที่มีผลกระทบที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนในระบบการวัดค่าความสั้นสะเทือนของหน่วยงานมาก ฉะนั้นจากลักษณะข้อบกพร่องที่มีผลค่าคะแนนของ RPN มาก หมายถึง เครื่องมือวัดมีผลกระทบต่อความไม่แน่นอนของระบบการวัดค่าความสั้นสะเทือนของหน่วยงาน ที่จะต้องได้รับการแก้ไขเป็นอันดับแรก

### การแก้ไขปัญหาเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือน

จากผลการประเมินความถูกต้องวิเคราะห์คุณสมบัติความแม่นยำของเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือนที่ยังไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่สามารถยอมรับได้นั้น ต้องทำการหาสาเหตุของความคลาดเคลื่อนและดำเนินการแก้ไข เพื่อให้ผลของ P/T ของเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สำหรับสาเหตุสามารถทำได้โดยการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าสัญญาณการสั้นสะเทือน ซึ่งผลการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าสัญญาณการสั้นสะเทือนได้ดังตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ผลการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าสัญญาณต้นสะท้อน

ลำดับ	อุปกรณ์	การตรวจสอบ	ผลการตรวจสอบ	หมายเหตุ
1	หัววัดสัญญาณต้นสะท้อน	ปรับเทียบหัววัดที่ค่าความถี่ต้นสะท้อน 1G	มีค่าเท่ากับ 0.99 G (ค่าปกติ $1 \pm 0.1g$ )	มีค่าอยู่ในช่วง 0.9-1.1 G สามารถนำไปใช้ได้
2	สายวัดสัญญาณต้นสะท้อน	ตรวจสอบความต้านทานโดยเปรียบเทียบกับของใหม่	มีค่าต้านทาน 0.0 โอห์ม (ค่าปกติ $0.3 \pm 0.1$ โอห์ม)	มีค่าไม่อยู่ในช่วง 0.2-0.4 โอห์ม ไม่สามารถนำไปใช้ได้
3	ตัวแปลงสัญญาณต้นสะท้อน	ตรวจสอบความต้านทานโดยเปรียบเทียบกับของใหม่	มีค่าต้านทาน 0.2 ถึง 0.3 โอห์ม (ค่าปกติ $0.3 \pm 0.1$ โอห์ม)	มีค่าอยู่ในช่วง 0.2-0.4 โอห์ม สามารถนำไปใช้ได้
4	เครื่องวัดสัญญาณต้นสะท้อน	ตรวจสอบสภาพภายนอกโดยเปรียบเทียบกับของใหม่	สภาพภายนอกพร้อมใช้งาน (สภาพพร้อมใช้งาน)	มีสภาพที่สามารถนำไปใช้งานได้

จากตารางที่ 4-2 เป็นผลการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดค่าสัญญาณสั่นสะเทือน ทำให้พบว่าสายวัดสัญญาณที่ใช้นำค่าสัญญาณสั่นสะเทือนนั้นมีค่าของความต้านทานอยู่ที่ 0.0 โอห์ม โดยปกติจะต้องค่าอยู่ในช่วง 0.2 ถึง 0.4 โอห์ม ทำให้ต้องทำการตรวจสอบสายวัดสัญญาณอย่างละเอียดอีกครั้ง

การตรวจสอบสายวัดสัญญาณสั่นสะเทือนอย่างละเอียด ทำให้พบว่าผลของสาเหตุที่ค่าความต้านทานที่มีค่า 0.0 โอห์ม ปรากฏขึ้นในการตรวจสอบสายวัดสัญญาณ ลำดับที่ 2 ในตารางที่ 4-2 นั้นเกิดจากจุดเชื่อมต่อของสายสัญญาณกับขั้วต่อสายชำรุด โดยการแก้ไขนั้นสามารถทำได้โดยตัดส่วนที่ชำรุดของสายสัญญาณออกแล้วทำการเชื่อมต่อของสายสัญญาณกับขั้วต่อสายเข้ากันใหม่ และทำการตรวจสอบความต้านทานของสายวัดสัญญาณสั่นสะเทือนใหม่อีกครั้ง ซึ่งผลการตรวจสอบค่าความต้านทานของสายวัดสัญญาณสั่นสะเทือนหลังการแก้ไขมีค่าอยู่ที่ 0.3 โอห์ม ฉะนั้นแสดงว่าสายวัดสัญญาณสั่นสะเทือนมีค่าความต้านทานอยู่ในช่วงปกติ

### การประเมินความถูกต้องเครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือนหลังการแก้ไขปัญหา

หลังจากการหาสาเหตุและดำเนินการแก้ไขเรียบร้อยแล้ว ในขั้นตอนสุดท้ายจะต้องทำการเก็บค่าสัญญาณสั่นสะเทือนอีกครั้ง โดยการเก็บค่าจะทำการเก็บค่าสำหรับประเมินผลคุณสมบัติความแม่นยำเท่านั้น เนื่องจากผลวิเคราะห์การประเมินยังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งวิธีการเก็บค่าสัญญาณสั่นสะเทือนจะเก็บเหมือนกับการประเมินผลคุณสมบัติความแม่นยำก่อนหน้านี้ คือ ใช้เครื่องวัดความสั่นสะเทือน ที่ใช้หัววัดชนิดความเร่งมีค่าความไวที่ 100 mV/G +/- 10% และค่าการสั่นสะเทือนที่สร้างมาจากเครื่องจำลองการสั่นสะเทือนที่มีขนาด 1 G ฉะนั้นหมายความว่า มีค่ามาตรฐานอยู่ที่ 90 mV/G (LSL: ขอบเขตล่าง) ถึง 110 mV/G (USL: ขอบเขตบน) โดยการเก็บข้อมูลค่าความสั่นสะเทือนจะเลือกพนักงานที่ใช้งานเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนจริง 2 คน และคนละ 10 ครั้ง ตามแนวทางประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำแบบ  $\bar{X}-R$  และการเก็บค่าสัญญาณการสั่นสะเทือนด้วยเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนซึ่งได้ผลดังตารางที่ 4-3 ที่จะนำไปใช้ในการประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำของเครื่องมือวัด

ตารางที่ 4-3 ผลค่าความสั้นสะเทือนสำหรับการประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำหลังการแก้ไข  
ปัญหา

ชื่อของเครื่องวัด : CSI รุ่น 2120					วัน เดือน ปี : 29 มีนาคม 2553						
ชนิดของหัววัด : Acceleration รุ่น AC102-1A					ผู้บันทึก : ประมวล						
ค่าความไวหัววัด : 100 mV/G +/- 10%					ตำแหน่ง : วิศวกร						
ค่าความถี่ : 70 Hz											
ค่ามาตรฐาน : USL= 110 mV, LSL= 90 mV											
ครั้งที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
พนักงาน A	1	99	99	102	101	102	101	100	100	101	99
	2	101	102	101	101	100	99	100	100	102	100
พนักงาน B	1	100	101	99	101	99	101	99	100	101	101
	2	99	99	99	100	99	99	100	100	101	101

จากผลเก็บค่าสัญญาณการสั้นสะเทือนด้วยเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือนที่ได้รับ  
การแก้ไขแล้วได้ผลดังตารางที่ 4-3 ซึ่งจะนำผลข้อมูลไปทำการหาค่าความแม่นยำตามแนวทาง  
การประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำของเครื่องมือวัด เพื่อเป็นการประเมินคุณสมบัติด้าน  
ความถูกต้องของเครื่องมือวัดหลังการแก้ไข โดยผลที่ได้จะเป็นการประเมินทางด้านความกว้าง  
ของเครื่องมือวัด โดยเป็นการแยกความผันแปรในเครื่องมือวัดออกเป็น Repeatability และ  
Reproducibility ซึ่งการประเมินได้ผลดังนี้

คำนวณค่าพิสัยโดยเฉลี่ย

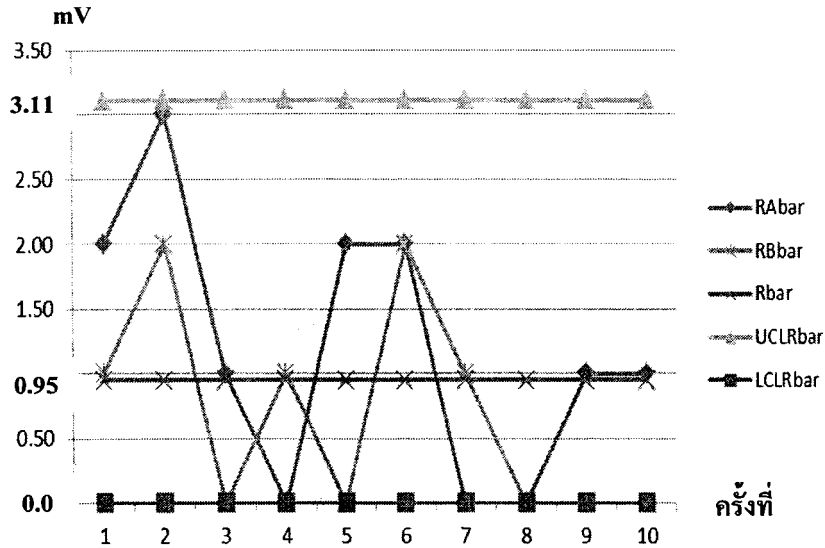
$$\bar{R} = \sum \frac{R}{k} = \frac{19}{20} = 0.95$$

คำนวณพิสัยควบคุมสำหรับค่าพิสัย

$$UCL = D_4 \bar{R} = 3.267 \times 0.95 = 3.11$$

$$CL = \bar{R} = 0.95$$

$$LCL = D_3 \bar{R} = 0 \times 0.95 = 0.0$$



ภาพที่ 4-2 กราฟ R chart ของการประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัด หลังการปรับปรุง

จากการคำนวณค่าพิสัยควบคุมขอบเขตบนมีค่า 9.81 mV, ค่าพิสัยควบคุมขอบเขตล่างมีค่า 0 mV และมีค่าเฉลี่ยของพิสัย 3.11 mV จากกราฟ R chart รูปที่ 4-2 ค่าเฉลี่ยพิสัยจากการวัดของพนักงาน A จำนวน 10 รอบ ๆ ละ 2 ครั้งมีค่าแกว่งอยู่ในช่วง 0 mV ถึง 3 mV และมีค่าเฉลี่ยพิสัยจากการวัดของพนักงาน B จำนวน 10 รอบ ๆ ละ 2 ครั้งอยู่มีค่าแกว่งในช่วง 0 mV ถึง 2 mV แสดงว่าค่าพิสัยของคุณสมบัติด้านความแม่นยำเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือนยังอยู่ในพิสัยควบคุม

คำนวณค่าเฉลี่ยทั้งหมด

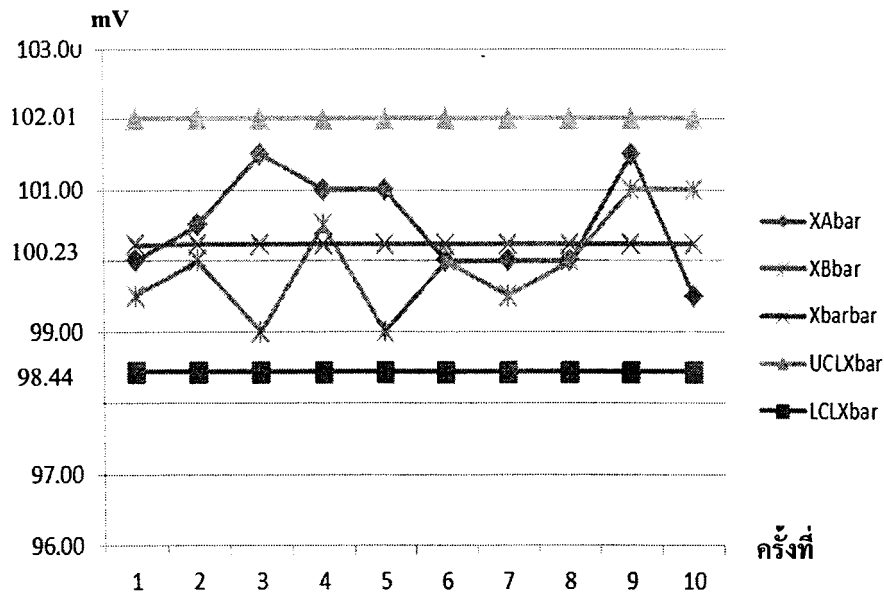
$$\bar{\bar{X}} = \sum \frac{\bar{X}}{k} = \frac{1002.25}{10} = 100.23$$

คำนวณพิสัยควบคุมสำหรับค่าเฉลี่ย

$$UCL = \bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R} = 100.23 + 1.880 \times 0.95 = 102.01$$

$$CL = \bar{\bar{X}} = 100.23$$

$$LCL = \bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R} = 100.23 - 1.880 \times 0.95 = 98.44$$



ภาพที่ 4-3 กราฟ Xbar chart ของการประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำของระบบการวัด หลังการปรับปรุง

จากการคำนวณค่าพิสัยควบคุมของขอบเขตบนมีค่า 102.01 mV, ขอบเขตล่างมีค่าประมาณ 98.44 mV และมีค่าเฉลี่ยของค่าเฉลี่ย 100.23 mV จากกราฟ Xbar chart ภาพที่ 4-3 ค่าเฉลี่ยจากการวัดของพนักงาน A จำนวน 10 รอบ ๆ ละ 2 ครั้งมีค่าแกว่งในช่วง 99.5 mV ถึง 101.5 mV และมีค่าเฉลี่ยจากการวัดของพนักงาน B จำนวน 10 รอบ ๆ ละ 2 ครั้งอยู่มีค่าแกว่งในช่วง 99 mV ถึง 101 mV แสดงว่าค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติด้านความแม่นยำเครื่องวัดค่าความสั้นสะท้อนยังอยู่ในพิสัยควบคุม

คำนวณค่า Repeatability (Equipment Variation; EV)

$$EV = 5.15\sigma_{EV}$$

โดยที่ 
$$\sigma_{EV} = \frac{\bar{R}(X)}{d_2}$$

ดังนั้น 
$$EV = 5.15 \frac{\bar{R}(X)}{d_2}$$

$$= 5.15 \times \frac{0.95}{1.128} = 4.34$$

คำนวณค่า Reproducibility (Appraiser Variation; AV)

$$AV = \sqrt{(5.15\sigma_{AV})^2 - \frac{EV^2}{nr}}$$

โดยที่  $n = 10$  (จำนวนชิ้นงานที่พนักงานวัดแต่ละคนทำการวัด)

$r = 2$  (จำนวนซ้ำที่พนักงานแต่ละคนวัดชิ้นงานแต่ละชิ้น)

$$\sigma_{AV} = \frac{R(\bar{X})}{d_2^*} = \frac{0.55}{1.414} = 0.39$$

ดังนั้น  $AV = \sqrt{(5.15 \times 2.0)^2 - \frac{4.34^2}{10 \times 2}}$   
 $= 1.75$

คำนวณค่า GR&R

$$G_{R\&R} = \sqrt{EV^2 + AV^2}$$

$$= \sqrt{4.34^2 + 1.75^2}$$

$$= 4.68$$

คำนวณค่าความผันแปรของกระบวนการ TV (Total Variation)

$$TV = \sqrt{G_{R\&R}^2 + PV^2}$$

โดยที่  $PV = 5.15 \frac{R_p}{d_2^*}$  ; ( $R_p = \bar{X}_{max} - \bar{X}_{min}$ )

$$= 5.15 \frac{1.50}{3.178} = 2.43$$

ฉะนั้น  $TV = \sqrt{4.68^2 + 2.43^2}$   
 $= 5.27$

คำนวณค่า P/T (Precision – to – Tolerance Ratio) ด้วยสูตร

$$P/T = \frac{GR\&R}{USL - LSL} \times 100\%$$

$$= \frac{4.68}{110 - 90} \times 100\%$$

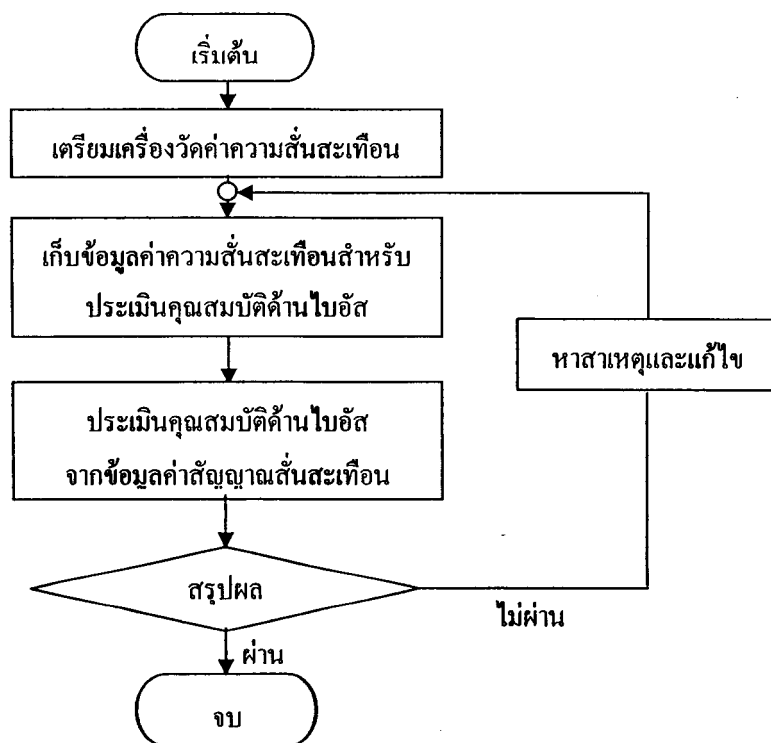
$$= 23.39\%$$

จากการประเมินคุณสมบัติด้านความแม่นยำหลังการแก้ไข ทำให้ได้ผลค่า P/T ของความคลาดเคลื่อนอนุโลม มีค่าเท่ากับ 23.39% โดยเมื่อนำไปเทียบกับเกณฑ์การยอมรับจากตารางที่ 3-5 พบว่า P/T อยู่ในช่วง  $10\% \leq P/T < 30\%$  หมายถึง P/T ของเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือนอาจจะสามารถยอมรับได้ ฉะนั้นสรุปได้ว่าคุณสมบัติความแม่นยำของเครื่องมือวัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่สามารถยอมรับ ซึ่งมีผลต่อคิการนำเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือนไปใช้งาน เพราะว่าเมื่อนำเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือนไปวัดค่าความสั้นสะเทือนเครื่องจักรส่งผลทำให้ข้อมูลค่าความสั้นสะเทือนที่ได้มามีค่าความคลาดเคลื่อนที่สามารถยอมรับได้ และส่งผลให้การนำค่าความสั้นสะเทือนไปวิเคราะห์หาความเสียหายมีความถูกต้องตามมาด้วย

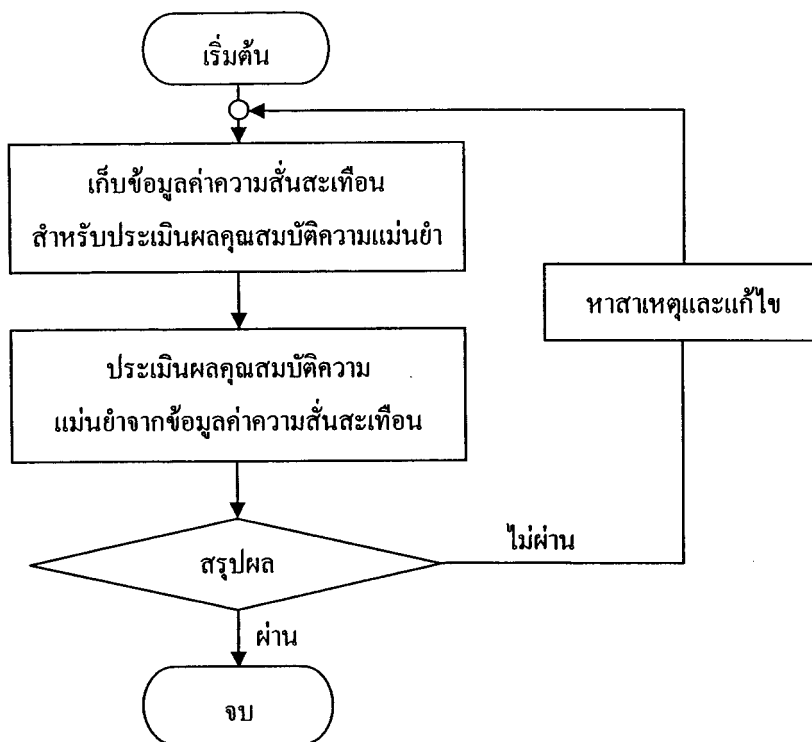


## การกำหนดมาตรการประเมินความถูกต้องเครื่องมือวัดค่าความสั้นสะเทือนเพื่อปรับปรุงระบบการวัด

จากผลการทดลองของการประเมินความถูกต้องของคุณสมบัติด้านไบอัสและคุณสมบัติด้านความแม่นยำของเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือน ทำให้ผู้วิจัยสามารถกำหนดมาตรการประเมินความถูกต้องสำหรับคุณสมบัติด้านไบอัสก่อนที่จะนำไปใช้งานวัดค่าความสั้นสะเทือน เพื่อเป็นการหาความผันแปรจากความคลาดเคลื่อนเชิงระบบของระบบการวัด แสดงขึ้นตอนดังภาพที่ 4-4 และกำหนดมาตรการประเมินความถูกต้องสำหรับคุณสมบัติด้านความแม่นยำเดือนละ 2 ครั้ง เพื่อเป็นการหาความผันแปรจากความคลาดเคลื่อนแบบสุ่มของระบบการวัด แสดงขึ้นตอนดังภาพที่ 4-5 สำหรับเพื่อปรับปรุงความสามารถและเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบการวัดค่าความสั้นสะเทือนของหน่วยงาน



ภาพที่ 4-4 มาตรการประเมินความถูกต้องสำหรับคุณสมบัติด้านไบอัสเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือน



ภาพที่ 4-5 มาตรการประเมินความถูกต้องสำหรับคุณสมบัติด้านความแม่นยำเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือน

จากภาพที่ 4-4 และภาพที่ 4-5 เป็นมาตรการประเมินความถูกต้องสำหรับคุณสมบัติด้านไบอัสและคุณสมบัติด้านความแม่นยำของเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือน มีรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนดังต่อไปนี้

#### 1. การเตรียมเครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือน

การเตรียมเครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือนต้องตรวจสอบอุปกรณ์ทั้งหมดให้ครบ โดยการใช้ใบตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือน ดังตารางที่ 4-4 ซึ่งใบตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือน สามารถช่วยให้ผู้ที่ทำการเตรียมเครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือนได้ตรวจสอบความพร้อมและจำนวนของอุปกรณ์เครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือนทั้งหมดได้ครบ

ตารางที่ 4-4 ใบตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือน

ใบตรวจสอบอุปกรณ์เครื่องมือวัด					
ผู้ตรวจ.....		วันที่.....		เวลา.....	
เบอร์เครื่องมือวัด.....		ยี่ห้อ.....	รุ่น.....	สถานที่.....	
รายการ	ผ่าน	ปรับปรุง	ซ่อม	เปลี่ยน	หมายเหตุ
1. เครื่องวัด					
2. สายวัดหลัก					
3. อเค็ปเตอร์					
4. หัววัด					
5. สายข้อมูล					
6. สายสะพาน					

## 2. การเก็บข้อมูลค่าความสั้นสะเทือนสำหรับประเมินคุณสมบัติด้านไบอัส

การเก็บข้อมูลสำหรับประเมินคุณสมบัติด้าน ไบอัสทำได้โดยใช้ใบเก็บข้อมูลค่าความสั้นสะเทือนสำหรับการประเมินคุณสมบัติด้าน ไบอัสแบบแผนภูมิควบคุม  $\bar{X} - R$  ดังตารางที่ 4-5 ซึ่งการเก็บข้อมูลต้องทำการเก็บ จำนวน 3 รอบ ๆ ละ 20 ครั้ง จากเครื่องสร้างแรงสั้นสะเทือนที่เป็นค่ามาตรฐาน ด้วยเครื่องมือวัดค่าความสั้นสะเทือนที่ได้ผ่านขั้นตอนการเตรียมเครื่องมือวัดเสร็จแล้ว

ตารางที่ 4-5 ใบเก็บข้อมูลค่าความผันสะเทือนสำหรับการประเมินคุณสมบัติด้าน ไบอัส

ใบเก็บข้อมูลค่าความผันสะเทือนสำหรับการประเมินคุณสมบัติด้านไบอัส											สำหรับได้
ผู้เก็บค่า..... ตำแหน่ง..... วันที่..... เวลา.....											รายละเอียดของ เครื่องวัดค่าความ
เบอร์เครื่องมือวัด.....			ชื่อ.....		รุ่น.....		สถานที่.....				
ชนิดของหัววัด.....			ชื่อ.....		รุ่น.....		ค่าความไวหัววัด.....				
รอบที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	สำหรับบันทึกผล การวัดค่าความ ผันสะเทือน
ครั้งที่	1										
	2										
	3										
รอบที่	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
ครั้งที่	1										
	2										
	3										
<b>กราฟ R-Chart</b> 											แสดงกราฟ R- Chart ของผลการ ประเมินคุณสมบัติ ด้านไบอัส
<b>กราฟ Xbar-Chart</b> 											แสดงกราฟ Xbar- Chart ของผล การประเมิน คุณสมบัติด้าน ไบอัส
<b>ผลการคำนวณ :</b> ความผันแปรของกระบวนการ : 0.00 ค่าไบอัส : -100.00 % ไบอัสของความคลาดเคลื่อนอนุโลม : -500.00 % ไบอัสของกระบวนการ : #DIV/0!											แสดงผลการ คำนวณคุณสมบัติ ด้านไบอัส

### 3. การประเมินคุณสมบัติด้านไบอัสจากผลการเก็บข้อมูลค่าสัญญาณผันสะเทือน

การประเมินคุณสมบัติด้านไบอัสจะต้องทำการพล็อตกราฟแผนภูมิ  $\bar{X}-R$  ซึ่งจะต้องทำการคำนวณพิสัยควบคุมสำหรับแผนภูมิ  $\bar{X}$  ด้วยสูตรคำนวณที่ 2.11 และแผนภูมิ R ด้วยสูตรคำนวณที่ 2-12

หลังจากการพรีอทกราฟแผนภูมิ  $\bar{X} - R$  แล้วให้พิจารณาความผันแปรว่าเป็นสาเหตุโดยธรรมชาติหรือไม่ซึ่งถ้าหากไม่ใช่ความผันแปรจากสาเหตุโดยธรรมชาติให้ทำการหาสาเหตุที่ผิดปกติแล้วทำการแก้ไขให้ถูกต้อง สำหรับกรณีที่เป็นสาเหตุธรรมชาติให้ทำการคำนวณค่าไบอัส โดยพิจารณาถึงความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ได้จากค่าอ้างอิงแล้วทำการคำนวณ % ไบอัสของความคลาดเคลื่อนอนุโลมและ % ไบอัสของกระบวนการ ด้วยสูตรคำนวณที่ 2-13, 2-14 และ 2-15 จากผลการคำนวณ % ไบอัสตามสมการ 2-14 หรือ 2-15 ให้ทำการประเมินผลค่า % ไบอัสของเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือน โดยมีเกณฑ์เปรียบเทียบ % ไบอัสโดยใช้ตารางที่ 3-3

#### 4. การเก็บข้อมูลค่าสัญญาณสั้นสะเทือนสำหรับประเมินผลคุณสมบัติความแม่นยำ

การเก็บข้อมูลสำหรับประเมินคุณสมบัติความแม่นยำ ทำได้โดยใช้ใบเก็บข้อมูลค่าความสั้นสะเทือนสำหรับการประเมินคุณสมบัติความแม่นยำแบบวิธีอาศัยค่าเฉลี่ยและค่าพิสัย ดังตารางที่ 4-6 ซึ่งการเก็บข้อมูลต้องทำการเก็บด้วยพนักงาน 2 คน และพนักงานแต่ละคนจะเก็บข้อมูล จำนวน 2 รอบ ๆ ละ 10 ครั้ง จากเครื่องสร้างแรงสั้นสะเทือนที่เป็นค่ามาสเตอร์ ด้วยเครื่องมือวัดค่าความสั้นสะเทือนที่ได้ผ่านขั้นตอนการประเมินคุณสมบัติด้านไบอัสเสร็จแล้ว

ตารางที่ 4-6 ใบเก็บข้อมูลค่าความสั้นสะเทือนสำหรับการประเมินคุณสมบัติความแม่นยำ

ใบเก็บข้อมูลค่าความสั้นสะเทือนสำหรับการประเมินคุณสมบัติความแม่นยำ											รายละเอียดของ เครื่องวัดค่าความ สั้นสะเทือน
ผู้เก็บค่า.....		ตำแหน่ง.....		วันที่.....		เวลา.....					
เบอร์เครื่องมือวัด.....		ชื่อ.....		รุ่น.....		สถานที่.....					
ชนิดของหัววัด.....		ชื่อ.....		รุ่น.....		ค่าความไวหัววัด.....					
ครั้งที่		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
พนักงานวัดคนที่ 1	1										
	2										
พนักงานวัดคนที่ 2	1										
	2										
<b>กราฟ R-Chart:</b>											แสดงกราฟ R-Chart ของผลการประเมินคุณสมบัติความแม่นยำ
<b>กราฟ XBar-Chart:</b>											
<b>ผลการคำนวณ:</b> ค่าความแปรปรวนของกระบวนการ (PV):                      0.00                      ค่าความผันแปรโดยรวม (TV):                      0.00 % P/T ของความกลายก่อนอนุโลม:                      0.00											แสดงผลการ คำนวณ คุณสมบัติความ แม่นยำ

## 5. การประเมินผลคุณสมบัติความแม่นยำจากข้อมูลค่าความผันสะเทือน

การประเมินคุณสมบัติความแม่นยำนั้นจะต้องเริ่มทำจากการคำนวณค่าเฉลี่ยและค่าพิสัย สำหรับพนักงานวัดทุกคนที่ทำการวัดค่าความผันสะเทือนเพื่อวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูลก่อน หลังจากนั้นให้ทำการคำนวณดังต่อไปนี้

5.1 ทำการคำนวณหาค่า Repeatability (Equipment Variation; EV) ด้วยสูตรที่ 2-16 และ สูตรที่ 2-17

5.2 ทำการคำนวณค่า Reproducibility (Appraiser Variation; AV) ด้วยสูตรที่ 2-18 และ สูตรที่ 2-19

5.3 ทำการคำนวณค่า GR&R ด้วยสูตรที่ 2-20

5.4 ทำการคำนวณค่าความผันแปรของกระบวนการ TV (Total Variation) ด้วยสูตรที่ 2-21

5.5 ทำการคำนวณค่า P/T (Precision – to – Tolerance Ratio) ด้วยสูตรที่ 2-22

จากผลการคำนวณค่า P/T ตามด้วยสูตรที่ 2-22 ให้ทำการประเมินผลคุณสมบัติความแม่นยำของเครื่องวัดค่าความผันสะเทือน โดยเกณฑ์การเปรียบเทียบ P/T โดยใช้ตารางที่ 3-5

## 6. การสรุปผล

การสรุปผลการประเมินต้องนำผลการประเมินค่าไบอัสและการประเมินคุณสมบัติความแม่นยำใส่ไว้ที่ใบสรุปผลการประเมินความถูกต้องเครื่องวัดค่าความผันสะเทือน ดังตารางที่ 4-7 ซึ่งผลการประเมินค่าไบอัสของเครื่องมือวัดต้องมีค่าน้อยกว่า 10% จึงจะสามารถยอมรับได้ และผลการประเมินคุณสมบัติความแม่นยำของเครื่องมือวัดต้องมีค่าน้อยกว่า 30% จึงจะสามารถยอมรับได้

ตารางที่ 4-7 ใบสรุปผลการประเมินความถูกต้องเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือน

ใบสรุปผลการประเมินความถูกต้องเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือน		
ผู้ประเมิน.....	วันที่.....	เวลา.....
ผลประเมินค่าไบอัส..... .....	เกณฑ์การยอมรับเพื่อตัดสินใจ % ไบอัส < 5% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ 5% ≤ % ไบอัส < 10% อาจจะยอมรับได้ % ไบอัส ≥ 10% ไม่สามารถยอมรับได้	
ผลการประเมินคุณสมบัติความแม่นยำ..... .....	เกณฑ์การยอมรับเพื่อตัดสินใจ P/T < 10% อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ 10% ≤ P/T < 30% อาจจะยอมรับได้ P/T ≥ 30% ไม่สามารถยอมรับได้	
สรุปผลการประเมิน ..... .....		

สำหรับกรณีที่ผลการประเมินค่าไบอัสของระบบการวัดและผลการประเมินคุณสมบัติความแม่นยำของเครื่องวัดไม่สามารถยอมรับได้จะต้องทำการหาสาเหตุและทำการแก้ไขในขั้นตอนต่อไปเพื่อให้ผลการประเมินเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

#### 7. การหาสาเหตุและการแก้ไข

จากผลการประเมินค่าความถูกต้องของเครื่องวัดไม่สามารถยอมรับได้ ต้องทำการหาสาเหตุและการแก้ไข โดยการหาสาเหตุและการแก้ไขต้องมีการบันทึกผลของสาเหตุและการแก้ไขลงในใบสาเหตุและการแก้ไขของเครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือน ดังตารางที่ 4-8 ซึ่งเมื่อทำการแก้ไขเสร็จแล้วต้องทำการประเมินผลค่าความถูกต้องสำหรับเกณฑ์ที่ยังไม่สามารถยอมรับได้



ตารางที่ 4-8 ใบสาเหตุและการแก้ไขของเครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือน

ใบสาเหตุและการแก้ไขของเครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือน		
ผู้หาสาเหตุ.....	ผู้แก้ไข.....	วันที่.....เวลา.....
สาเหตุผลประเมินค่าไบอัสไม่สามารถยอมรับได้ ..... ..... ..... .....	การแก้ไข ..... ..... ..... .....	
สาเหตุผลการประเมินคุณสมบัติความแม่นยำไม่สามารถยอมรับได้ ..... ..... ..... .....	การแก้ไข ..... ..... ..... .....	

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยเรื่องการประเมินความถูกต้องเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือนของหน่วยงานเพื่อศึกษาปรับปรุงความสามารถระบบการวัดค่าความสั้นสะเทือนและเพื่อสร้างมาตรฐานตรวจสอบความพร้อมก่อนนำเครื่องมือวัดค่าความสั้นสะเทือนไปใช้งาน ซึ่งมีขอบเขตเฉพาะเครื่องวัดค่าความสั้นสะเทือนภายในหน่วยงานเท่านั้น โดยทำการศึกษาเฉพาะค่าไบอัส สำหรับประเมินคุณสมบัติความผันแปรจากความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ และค่าความแม่นยำ สำหรับประเมินคุณสมบัติความผันแปรจากความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม

สำหรับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ในขั้นตอนแรกต้องทำการศึกษาระบบการวัดค่าความสั้นสะเทือนของหน่วยงาน เพื่อค้นหาปัญหาความไม่แน่นอนของระบบการวัดค่าความสั้นสะเทือนหน่วยงาน และเมื่อพบสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนของระบบการวัดค่าความสั้นสะเทือน ต้องดำเนินการแก้ไขสาเหตุของปัญหาเพื่อปรับปรุงระบบการวัดค่าความสั้นสะเทือน

สำหรับผลการวิจัยครั้งแรกพบว่า มีความไม่แน่นอนของระบบการวัดค่าความสั้นสะเทือนของหน่วยงานมีสาเหตุของปัญหามาจากเครื่องมือวัดค่าความสั้นสะเทือน ได้ทำการวิเคราะห์สภาพปัจจุบันของเครื่องมือวัดค่าความสั้นสะเทือน โดยประเมินค่าความถูกต้องเครื่องมือวัดค่าความสั้นสะเทือนด้วยคุณสมบัติด้านไบอัส ผลที่ได้พบว่าค่า %ไบอัสอยู่ที่ 9.49% ซึ่งไม่เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ 5% ถึง 10% และประเมินค่าความถูกต้องเครื่องมือวัดค่าความสั้นสะเทือนด้วยคุณสมบัติด้านความแม่นยำ ผลที่ได้พบว่าค่า P/T อยู่ที่ 69.69% ซึ่งเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ 10% ถึง 30%

จากการค้นหาสาเหตุที่ทำให้ค่า P/T มีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่กำหนด มาจากสาเหตุจากอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าความสั้นสะเทือนชำรุด เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าความสั้นสะเทือนไม่ได้รับการตรวจสอบก่อนนำไปใช้งาน ภายหลังจากการดำเนินการแก้ไขปัญหาอุปกรณ์ที่ชำรุด และได้ทำการประเมินค่าความถูกต้องเครื่องมือวัดค่าความสั้นสะเทือนด้วยคุณสมบัติด้านความแม่นยำ ผลที่ได้พบว่าค่า P/T อยู่ที่ 23.39% ซึ่งไม่เกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่ 10% ถึง 30%

จากผลดังที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยได้ทำการกำหนดมาตรการประเมินความถูกต้อง เครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนเพื่อปรับปรุงความสามารถของระบบการวัดค่าความสั่นสะเทือน และ สำหรับเป็นมาตรการตรวจสอบเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนก่อนนำไปใช้งาน

## ปัญหาและข้อเสนอแนะ

### 1. ปัญหา

1.1 เครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนไม่มีการบันทึกวันที่เริ่มการใช้งานทำให้ไม่สามารถระบุอายุของเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนที่แน่นอนได้

1.2 เครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนไม่มีการบันทึกประวัติการซ่อมบำรุงทำให้ไม่สามารถได้ประวัติการซ่อมบำรุงของเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนที่สำคัญได้

### 2. ข้อเสนอแนะ

2.1 ผู้ที่จะทำการประเมินค่าความถูกต้องของเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนจะต้องมีพื้นฐานความรู้ในเรื่องของสถิติและหลักการทำงานของเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือน

2.2 ในการประเมินค่าความถูกต้องของเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนนั้น ควรมีการพัฒนาโปรแกรมสำหรับประเมินค่าความถูกต้องของเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนสำหรับหน่วยงาน เพื่อความสะดวกรวดเร็วและการจัดเก็บเป็นฐานข้อมูล

2.3 จากผลค่าเปอร์เซ็นต์ไบอัส และผลค่าเปอร์เซ็นต์ P/T ควรมีการหาแนวทางปรับปรุงเครื่องวัดค่าความสั่นสะเทือนต่อไป เพื่อให้ผลเปอร์เซ็นต์ลดลงจนอยู่ในช่วงเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้

## บรรณานุกรม

- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2546). การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA) (ประมวลผลด้วย MINITAB). พิมพ์ครั้งที่ 6 (ฉบับปรับปรุง), กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- กิตติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2546). การวิเคราะห์ห่อการขัดข้องและผลกระทบ. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- จักษ์กฤต ปฏิเวธธรรม. (2543). การประยุกต์ใช้เทคนิคการวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับสายการผลิตชิ้นส่วนนักเกิด. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชัชวาล พรพัฒน์กุล. (2544). การวิเคราะห์ระบบการวัด: กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องเพชรพลอยและเครื่องประดับ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชินวุธ สติรูถพิพงศ์. (2543). การประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับเครื่องมือที่ใช้ในอุตสาหกรรมประกอบชิ้นส่วนรถยนต์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประดิษฐ์ หมู่เมืองสอง และ สุขฉาน ทรรัชสุข. (2550). การวิเคราะห์การสั้นสะเทือน. พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น
- ผจงกิจ โสธนะขงกุล. (2544). การวิเคราะห์ระบบการวัดสำหรับโรงงานผลิตท่อส่งน้ำมันเข้าหัวฉีดในรถยนต์. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Farnum N.R. (1994). Modern Statistical Quality Control and Improvement, Duxbury Press, California, USA, Chapter 10

ภาคผนวก

**ภาคผนวก ก**  
**ตารางสำหรับการคำนวณ**

ตารางภาคผนวก ก-1 ค่า  $d_2^*$  สำหรับการประมาณค่า  $\sigma$  โดย  $\bar{R}$

		n = 2		n = 3		n = 4		n = 5		n = 6	
k	v	$d_2^*$	v	$d_2^*$	v	$d_2^*$	v	$d_2^*$	v	$d_2^*$	
1	1.0	1.414	2.0	1.906	2.9	2.237	3.8	2.477	4.7	2.669	
2	1.9	1.276	3.8	1.806	5.7	2.149	7.5	2.404	9.2	2.603	
3	2.9	1.227	5.7	1.767	8.4	2.120	11.1	2.378	13.6	2.580	
4	3.7	1.206	7.5	1.749	11.2	2.105	14.7	2.365	18.1	2.569	
5	4.6	1.189	9.3	1.738	13.9	2.096	18.4	2.358	22.6	2.562	
6	5.5	1.179	11.1	1.731	16.6	2.090	22.0	2.352	27.1	2.557	
7	6.4	1.172	12.9	1.726	19.4	2.086	25.6	2.349	31.5	2.554	
8	7.2	1.167	14.8	1.722	22.1	2.082	29.3	2.346	36.0	2.552	
9	8.1	1.163	16.6	1.718	24.8	2.080	32.9	2.344	40.5	2.550	
10	9.0	1.159	18.4	1.716	27.6	2.078	36.5	2.342	44.9	2.548	
11	9.9	1.157	20.2	1.714	30.3	2.076	40.1	2.341	49.4	2.547	
12	10.8	1.154	22.1	1.712	33.0	2.075	43.7	2.339	53.8	2.546	
13	11.6	1.152	23.9	1.711	35.8	2.073	47.4	2.338	58.4	2.545	
14	12.5	1.151	25.7	1.709	38.5	2.072	51.0	2.337	62.8	2.544	
15	13.4	1.149	27.5	1.708	41.3	2.071	54.6	2.337	67.3	2.543	
16	14.2	1.148	29.3	1.707	44.0	2.071	58.2	2.336	71.7	2.543	
17	15.1	1.147	31.1	1.707	46.8	2.070	61.8	2.335	76.2	2.542	
18	16.0	1.145	33.0	1.706	49.5	2.069	65.5	2.335	80.6	2.542	
19	16.9	1.145	34.8	1.705	52.3	2.069	69.1	2.334	85.1	2.541	
20	17.7	1.144	36.6	1.705	55.0	2.068	72.7	2.334	89.6	2.541	
21	18.6	1.143	38.4	1.704	57.7	2.068	76.3	2.333	94.0	2.541	
22	19.5	1.143	40.2	1.704	60.5	2.068	80.0	2.333	98.5	2.540	
23	20.4	1.142	42.1	1.703	63.2	2.067	83.6	2.333	103.0	2.540	
24	21.2	1.141	43.9	1.703	65.9	2.067	87.2	2.333	107.4	2.540	
25	22.1	1.141	45.7	1.702	68.7	2.066	90.8	2.332	111.9	2.540	
$\Delta v$	0.88		1.82		2.74		3.62		4.47		
$d_2$		1.128		1.693		2.059		2.326		2.534	

k = จำนวนกลุ่มย่อยที่ใช้คำนวณ  $\bar{R}$       v = องศาอิสระของ  $\bar{R}$   
n = ขนาดของกลุ่มย่อย       $d_2$  = พิกัดของ  $d_2^*$   
 $d_2^*$  = ตัวปรับค่าความเอนเอียงสำหรับ  $\bar{R}$   
 $\Delta v$  = ส่วนเพิ่มขององศาอิสระต่อกลุ่มย่อยที่เพิ่มขึ้น

ตารางภาคผนวก ก-1 ค่า  $d_2^*$  สำหรับการประมาณค่า  $\sigma$  โดย  $\bar{R}$  (ต่อ)

n = 7		n = 8		n = 9		n = 10		n = 11		
k	V	$d_2^*$	V	$d_2^*$	V	$d_2^*$	V	$d_2^*$	V	$d_2^*$
1	5.5	2.827	6.3	2.961	7.0	3.076	7.7	3.178	8.4	3.268
2	10.8	2.767	12.3	2.905	13.8	3.024	15.2	3.129	16.5	3.221
3	16.1	2.746	18.3	2.886	20.5	3.006	22.6	3.112	24.6	3.205
4	21.3	2.736	24.4	2.876	27.3	2.997	30.1	3.104	32.7	3.197
5	26.6	2.729	30.4	2.870	34.0	2.992	37.5	3.098	40.9	3.192
$\Delta V$	5.26		6.03		6.75		7.46		8.13	
$d_2$		2.704		2.847		2.970		3.078		3.173
n = 12		n = 13		n = 14		n = 15		n = 16		
k	V	$d_2^*$	V	$d_2^*$	V	$d_2^*$	V	$d_2^*$	V	$d_2^*$
1	9.0	3.348	9.6	3.423	10.2	3.490	10.8	3.552	11.4	3.610
2	17.8	3.304	19.0	3.380	20.2	3.449	21.3	3.513	22.5	3.571
3	26.6	3.289	28.4	3.365	30.2	3.435	31.9	3.499	33.6	3.558
4	35.3	3.281	37.8	3.358	40.2	3.428	42.4	3.492	44.7	3.552
5	44.1	3.276	47.2	3.354	50.2	3.424	52.9	3.488	55.8	3.548
$\Delta V$	8.77		9.39		9.90		10.57		11.11	
$d_2$		3.258		3.336		3.407		3.472		3.532
n = 17		n = 18		n = 19		n = 20		n = 21		
k	V	$d_2^*$	V	$d_2^*$	V	$d_2^*$	V	$d_2^*$	V	$d_2^*$
1	11.9	3.663	12.4	3.713	12.9	3.760	13.4	3.805	13.9	3.846
2	23.6	3.626	24.6	3.677	25.6	3.725	26.5	3.770	27.5	3.812
3	35.2	3.613	36.8	3.665	38.2	3.713	39.6	3.759	41.1	3.801
4	46.9	3.607	48.9	3.659	50.9	3.707	52.7	3.753	54.7	3.795
5	58.5	3.603	61.1	3.655	63.6	3.704	65.9	3.749	68.4	3.792
$\Delta V$	11.66		12.17		12.66		13.12		13.62	
$d_2$		3.588		3.640		3.689		3.735		3.788
n = 22		n = 23		n = 24		n = 25		n = 30		
k	V	$d_2^*$	V	$d_2^*$	V	$d_2^*$	V	$d_2^*$	V	$d_2^*$
1	14.3	3.886	14.8	3.923	15.2	3.959	15.6	3.994	16.9	4.147
2	28.4	3.853	29.3	3.891	30.2	3.927	31.0	3.963	33.5	4.116
3	42.5	3.841	43.8	3.880	45.1	3.917	46.3	3.952	50.1	4.106
4	56.5	3.836	58.3	3.875	60.1	3.911	61.7	3.947	66.7	4.101
5	70.6	3.833	72.6	3.871	75.1	3.908	77.1	3.944	83.3	4.098
$\Delta V$	14.07		14.51		14.96		15.36		16.6	
$d_2$		3.819		3.858		3.895		3.931		4.086



ตารางภาคผนวก ก-2 แฟกเตอร์ปรับค่าแบบไม่เอนเอียงในการประมาณค่า  $\sigma$

ขนาด กลุ่มย่อย	$d_2$	$c_2$	$c_4$	ขนาด กลุ่มย่อย	$d_2$	$c_2$	$c_4$
2	1.128	0.5642	.7970	21	3.778	0.9638	.9876
3	1.693	0.7236	.8862	22	3.819	0.9655	.9882
4	2.058	0.7979	.9213	23	3.858	0.9670	.9887
5	2.326	0.8407	.9400	24	3.895	0.9684	.9892
6	2.534	0.8686	.9515	25	3.931	0.9695	.9896
7	2.704	0.8882	.9591	30	4.086	0.9748	.9915
8	2.847	0.9027	.9650	35	4.213	0.9784	.9927
9	2.970	0.9139	.9693	40	4.322	0.9811	.9936
10	3.078	0.9227	.9727	45	4.415	0.9832	.9943
11	3.173	0.9300	.9754	50	4.498	0.9849	.9949
12	3.258	0.9359	.9776	60	4.639	0.9874	.9957
13	3.336	0.9410	.9794	70	4.755	0.9892	.9963
14	3.407	0.9453	.9810	80	4.854	0.9906	.9968
15	3.472	0.9490	.9823	90	4.939	0.9916	.9972
16	3.532	0.9523	.9835	100	5.015	0.9925	.9975
17	3.588	0.9551	.9845				
18	3.640	0.9576	.9854				
19	3.689	0.9599	.9862				
20	3.735	0.9619	.9869				

ตารางภาคผนวก ก-3 ค่าคงที่สำหรับแผนภูมิควบคุมแบบผันแปร

ขนาดกลุ่มย่อย n	แผนภูมิ $\bar{X} - R$			แผนภูมิ $\bar{X} - S$		
	$A_2$	$D_3$	$D_4$	$A_3$	$B_3$	$B_4$
2	1.880	-	3.267	2.659	-	3.267
3	1.023	-	2.574	1.954	-	2.568
4	0.729	-	2.282	1.628	-	2.266
5	0.577	-	2.114	1.427	-	2.089
6	0.483	-	2.004	1.287	0.030	1.970
7	0.419	0.076	1.924	1.182	0.118	1.882
8	0.373	0.136	1.864	1.099	0.185	1.815
9	0.337	0.184	1.816	1.032	0.239	1.761
10	0.308	0.223	1.777	0.975	0.284	1.716
11	0.285	0.256	1.744	0.927	0.321	1.679
12	0.266	0.284	1.716	0.886	0.354	1.646
13	0.249	0.308	1.692	0.850	0.382	1.618
14	0.235	0.329	1.671	0.817	0.406	1.594
15	0.223	0.348	1.652	0.789	0.428	1.572
16	0.212	0.364	1.636	0.763	0.448	1.552
17	0.203	0.379	1.621	0.739	0.466	1.534
18	0.194	0.392	1.608	0.718	0.482	1.518
19	0.187	0.404	1.596	0.698	0.497	1.503
20	0.180	0.414	1.586	0.680	0.510	1.490
21	0.173	0.425	1.575	0.663	0.523	1.477
22	0.167	0.434	1.566	0.647	0.534	1.466
23	0.162	0.443	1.557	0.633	0.545	1.455
24	0.157	0.452	1.548	0.619	0.555	1.445
25	0.153	0.459	1.541	0.606	0.565	1.435
สูตรคำนวณ	$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$ $CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$ $LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$ $UCL_{\bar{R}} = D_4\bar{R}$ $CL_{\bar{R}} = \bar{R}$ $LCL_{\bar{R}} = D_3\bar{R}$			$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S}$ $CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$ $LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S}$ $UCL_S = B_4\bar{S}$ $CL_S = \bar{S}$ $LCL_S = B_3\bar{S}$		

ภาคผนวก ข  
ใบรับรองผลเปรียบเทียบ

ตารางภาคผนวก ข-1 ใบรับรองผลเปรียบเทียบเครื่องจำลองสัญญาณสั่นสะเทือน

## Certificate of Traceable Calibration

Model: VC110  
 Description: Vibration Calibrating System  
 Serial number: 090523  
 Calibration date: 14.09.09  
 Calib. due date: 14.09.09

### Accuracy:

Metra hereby certifies that above instrument meets or exceeds given specifications (unless otherwise noted) and has been calibrated using standards traceable to a PTB certified reference standard.

T = (23±5) °C; m = (1.400) g

Signal conditioner:	70 Hz - 10.000 Hz / Input: U, ICP, Q	± 0,4 %
Shaker acceleration:	80 Hz, 160 Hz, 320 Hz, 630 Hz	± 2 %
	1 kHz, 2,5 kHz, 4 kHz, 10 kHz	± 5 %

### Calibration procedure:

VC110.701-C5/6: Calibration of signal conditioner  
 VC110.701-C6: Calibration of charge input  
 VC110.701-E4: Calibration of shaker amplitude

### Calibration equipment used:

Type	Type / serial number	Calibration certificate
Digital voltmeter	Keintey 2000 / 0770418	Helbig: 12747/1421 / 03/2007
Transfer standard:	Accelerometer ser. no. 13228 and charge amplifier ser. no. 00127	PTB: 1055-2009 / 03/2009
Charge standard	Reference capacity ser.no. 650119MS	ESZ: 08080816 / 08/2006

Radebeul, 14.09.09

signature: 

327307

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล

นายประมวล มalarัตน์

วัน เดือน ปี เกิด

9 มกราคม 2518

สถานที่เกิด

อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

79/ 693 หมู่บ้านมณีแก้ว ซอย 6 (ขวามือ)

ตำบลแสนสุข อำเภอเมือง จังหวัดชลบุรี 20130

ตำแหน่งและประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2542 – 2543

วิศวกรการผลิต

บริษัท เอ็กเซคทีฟ ฟริคชั่น แมททีเรียล จำกัด

พ.ศ. 2543 – 2547

วิศวกรการผลิต

บริษัท มิทซูบิช เอลเลเวเตอร์ เอเชีย จำกัด

พ.ศ. 2547 – ปัจจุบัน

วิศวกรที่ปรึกษา

สถาบันไทย-เยอรมัน

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2539-2541

เทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

พ.ศ. 2550-2554

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม)

มหาวิทยาลัยบูรพา