ข้อมูลข่าวสารของกรมวิทยาศาสตร์บริการ
ตาม พ.ร.บ. ข้อมูลข่าวสารของราชการ พ.ศ. 2540

วศ กฟ
อว 73

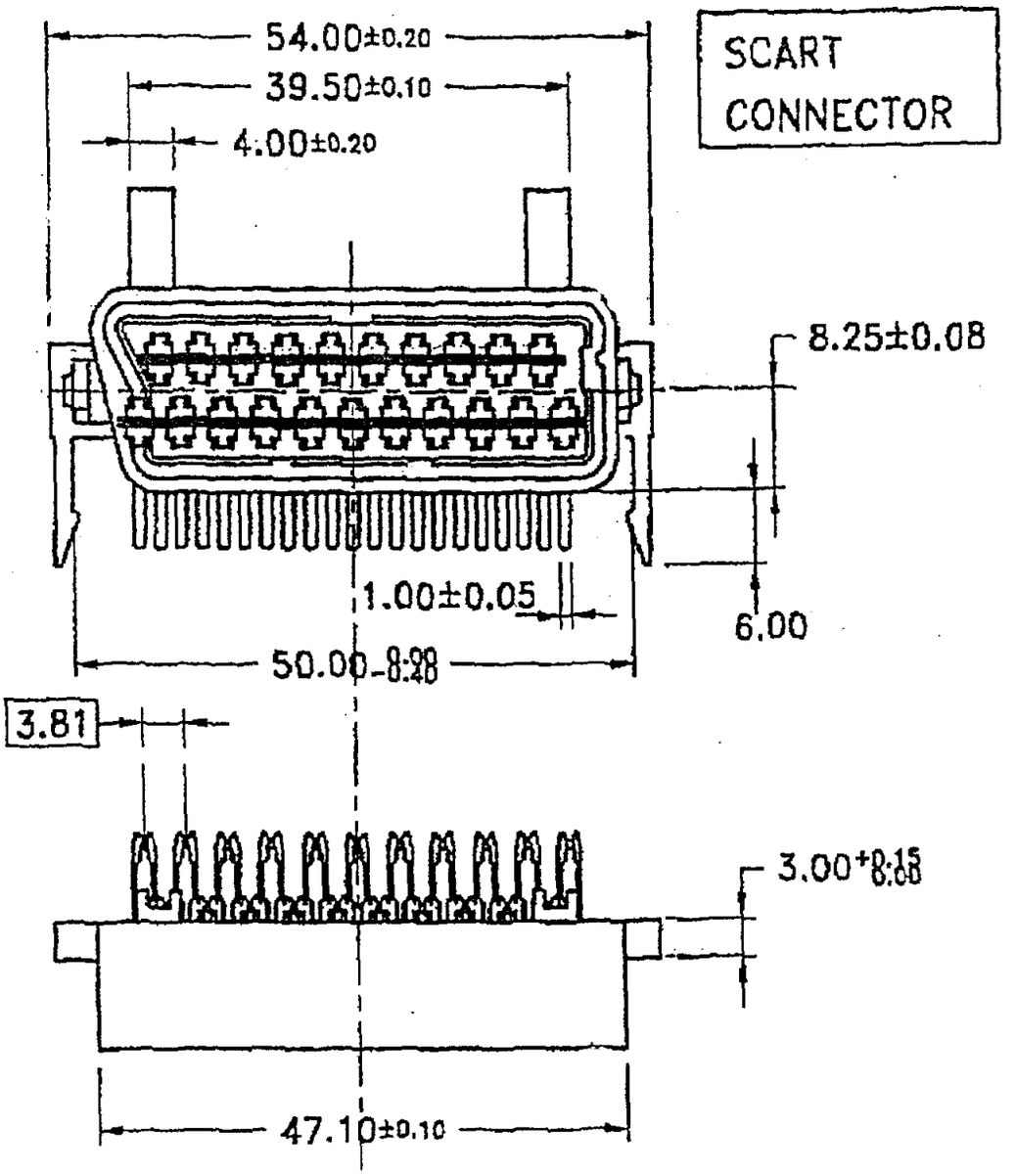
เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 7ว

การประเมินความแม่นยำของการวัดค่า Contact resistance.

โดย
นาย สุรินทร์ อรรถกิจการค้า
นักวิทยาศาสตร์ 6ว

กลุ่มงานฟิสิกส์และวิศวกรรมทั่วไป 1
กองฟิสิกส์และวิศวกรรม
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

กรมวิทยาศาสตร์บริการ


SCART
CONNECTOR
54.00±0.20
39.50±0.10
4.00±0.20
8.25±0.08
1.00±0.05
6.00
50.00-8.28
3.81
3.00+8.15
47.10±0.10

บทคัดย่อ

ค่า Contact resistance เป็นค่าความต้านทานของอุปกรณ์ขั้วต่อเครื่องใช้ไฟฟ้า และอิเล็กทรอนิกส์ ชนิดหนึ่ง ซึ่งมีค่าความต้านทานต่ำ ไม่สามารถวัดค่าโดยเครื่องวัดค่าความต้านทานธรรมดาทั่วไป จำเป็นต้องใช้เครื่องวัดมิลลิโอมห์มิเตอร์ หรือ ไมโครโอมห์มิเตอร์ ซึ่งอาจมีความไวต่อสิ่งรบกวนอื่นๆ ได้ง่าย เช่น อุณหภูมิ ความชื้น แหล่งจ่ายไฟ จึงต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม นอกจากนี้ พนักงานวัด วิธีการวัด จุดเชื่อมต่อสายวัดค่าความต้านทานก็มีผลเช่นกัน สาเหตุต่างๆ เหล่านี้ ทำให้เกิดความผันแปรต่อการวัดค่าความต้านทาน ดังนั้นจึงต้องการเกณฑ์กำหนดที่จะตัดสินได้ว่าข้อมูลของการวัดค่านั้นมีความน่าเชื่อถือได้ระดับใด และ ความคลาดเคลื่อนของการวัด มีสาเหตุมาจากปัจจัยอะไรบ้าง เพื่อจะได้ทำการแก้ไขได้อย่างถูกต้อง ในที่นี้จะใช้ การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัด โดยใช้ค่าเฉลี่ย และ ค่าพิสัยในการประเมิน ซึ่งสามารถแยกความผันแปรในระบบการวัดออกเป็นรีพีททะบิลิตี้ และ รีโปรดิวซิบิลิตี้ ทำให้สามารถวิเคาะห์ค้นหาสาเหตุ และทำการแก้ไขได้ง่ายขึ้น วิธีการวัดใช้พนักงานวัด 2 – 4 คน สุ่มชิ้นงานมาวัดประมาณ 10 ชิ้น บันทึกข้อมูลลงในแบบฟอร์มศึกษา GR&R (วิธี $\bar{X}$-R) ซึ่งเป็นตาราง Excel จะกำหนดให้ทำการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ทุกค่า สามารถทราบผลการประเมินความแม่นยำในลักษณะต่างๆได้ทันที จึงมีความสะดวกรวดเร็วในการตัดสินใจเลือกใช้ข้อมูลของการวัดนั้นได้ ถ้าผลการประเมินผ่านเกณฑ์กำหนดที่ต้องการ และ ถ้าผลการประเมินไม่ผ่านเกณฑ์กำหนด สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุแห่งความผิดพลาดนั้นได้ และสามารถปฏิบัติการแก้ไขได้ทันที จนกระทั่งได้ข้อมูลที่มีความแม่นยำสูงพอ และอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับ

จากการทดลองวิเคราะห์ผลการวัดค่าความต้านทาน Contact resistance ของตัวอย่าง Scart connector จำนวน 5 ชุด ชุดละ 10 ชิ้น โดยพนักงานวัด 2 คน สุ่มวัดชิ้นงาน ด้วยแบบฟอร์มศึกษา GR&R (วิธี $\bar{X}$-R) สามารถทราบผลความแม่นยำการวัดได้ทันที ผลการประเมินความแม่นยำการวัดทุกตัวอย่างมีค่าอยู่ในเกณฑ์กำหนดยอมรับได้ที่ <30% ทำให้มีความเชื่อมั่นในระบบการวัดสามารถออกผลรายงานได้อย่างถูกต้อง และ รวดเร็ว

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
สารบัญตาราง	ก
สารบัญรูป	ข
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ	1
1.5 ระยะเวลาในการดำเนินงาน	1
บทที่ 2 พื้นฐานความรู้	2
2.1 หลักการวัดค่าความต้านทานต่ำ	2
2.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดจากค่าเฉลี่ย และค่าพิสัย	3
บทที่ 3 เครื่องมือ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ	8
3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์	8
3.2 วิธีดำเนินการ	8
บทที่ 4 ผลการทดลอง	11
บทที่ 5 วิจารณ์ และสรุปผลการทดลอง	21
กิตติกรรมประกาศ	22
บรรณานุกรม	23
ภาคผนวก	24

เลขหมู่ วศ กพ
ดด 73
เลขทะเบียน 11593
วันที่ 16 ธ.ค. 46

ด้วยอภินันทนาการ
จาก
วศ.

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แบบฟอร์มศึกษา GR&R (วิธี $\bar{X}$-R) ของ Scart connector 1 11

ตารางที่ 2 ข้อมูลค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 1 12

ตารางที่ 3 แบบฟอร์มศึกษา GR&R (วิธี $\bar{X}$-R) ของ Scart connector 2 13

ตารางที่ 4 ข้อมูลค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 2 14

ตารางที่ 5 แบบฟอร์มศึกษา GR&R (วิธี $\bar{X}$-R) ของ Scart connector 3 15

ตารางที่ 6 ข้อมูลค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 3 16

ตารางที่ 7 แบบฟอร์มศึกษา GR&R (วิธี $\bar{X}$-R) ของ Scart connector 4 17

ตารางที่ 8 ข้อมูลค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 4 18

ตารางที่ 9 แบบฟอร์มศึกษา GR&R (วิธี $\bar{X}$-R) ของ Scart connector 5 19

ตารางที่ 10 ข้อมูลค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 5 20

ตารางที่ 11 แฟกเตอร์ปรับค่าแบบไม่เอนเอียงในการประมาณค่า σ 24

ตารางที่ 12 ค่าคงที่สำหรับแผนภูมิควบคุมแบบพันแปร 25

ตารางที่ 13 ค่า d_2^* สำหรับการประมาณค่า σ โดย $\bar{R}$ 26

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1. หลักการทำงานของ มิลลิโอมห์มิเตอร์	2
รูปที่ 2 ความผันแปรจากสมบัติความแม่นยำ	3
รูปที่ 3 ความผันแปรแบบรีพีททะบิลิตี้	4
รูปที่ 4 ความผันแปรแบบรีโปรดิวซิบิลิตี้	4
รูปที่ 5 ความผันแปรแบบรีพีททะบิลิตี้ และรีโปรดิวซิบิลิตี้	5
รูปที่ 6 แผนภูมิการวิเคราะห์ความแม่นยำของการวัด	10
รูปที่ 7 แผนภูมิควบคุมค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 1	12
รูปที่ 8 แผนภูมิควบคุมค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 2	14
รูปที่ 9 แผนภูมิควบคุมค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 3	16
รูปที่ 10 แผนภูมิควบคุมค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 4	18
รูปที่ 11 แผนภูมิควบคุมค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 5	20

บทที่1
บทนำ

1.1 ปัญหา และที่มาของปัญหา

การวัดค่าความต้านทานของ Contact resistance ซึ่งมีค่าเล็กมาก และต้องทำการวัดค่าครั้งละหลายๆตำแหน่ง มีโอกาสที่จะทำการวัดผิดพลาดได้ง่าย จึงต้องการ เกณฑ์กำหนดที่สามารถตัดสินใจได้ว่าข้อมูลจากการวัดนั้นยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ หรือ ไม่ หากมีความผิดพลาดเกิดขึ้นทำให้ข้อมูลอยู่นอกเกณฑ์ที่จะยอมรับได้นั้นมีสาเหตุจากแหล่งความผันแปรใดบ้าง เพื่อที่จะทำการแก้ไขได้ทันที ดังนั้น จึงนำวิธีการวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดโดยอาศัยค่าเฉลี่ย และค่าพิสัย มาประเมินผลความแม่นยำในระบบการวัด เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นในการทำการทดลอง โดยมีเกณฑ์กำหนดใช้ในการตัดสินใจที่น่าเชื่อถือ

1.2 วัตถุประสงค์

ประเมินความแม่นยำของระบบการวัดค่าความต้านทาน Contact resistance อยู่ในเกณฑ์กำหนดที่ยอมรับที่ <30%

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ทำการวิเคราะห์ข้อมูลการวัดโดยอาศัยค่าเฉลี่ย และค่าพิสัย ของค่าความต้านทาน Contact resistance ของ ตัวอย่าง Scart connector จำนวน 5 ตัวอย่าง ตัวอย่างละ 10 ชิ้น โดยใช้พนักงานวัด 2 คน เพื่อประเมินความแม่นยำของระบบการวัด

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ทราบความแม่นยำของระบบการวัดค่าความต้านทาน Contact resistance
2. เกิดความมั่นใจในการทำงานการวัดค่าความต้านทานที่มีค่าต่ำ ตามเกณฑ์กำหนดที่ยอมรับ
3. สามารถประเมินผลข้อมูลการวัดค่าความต้านทานได้ทันที สะดวก รวดเร็ว สรุปผลข้อมูลที่วัดได้นั้นใช้ได้ หรือไม่ ตามเกณฑ์ที่กำหนด ในที่นี้ตั้งเกณฑ์กำหนดการยอมรับความแม่นยำต่อความผันแปรที่ <30% ซึ่งใช้ในระยะเริ่มต้นของการควบคุมระบบการวัดนี้
4. สามารถพัฒนาความแม่นยำของระบบการวัดนี้ให้ดีขึ้นได้อย่างต่อเนื่องโดยวิเคราะห์หาสาเหตุของแหล่งผันแปร และ ทำการแก้ไข จนกระทั่งถึงเกณฑ์ยอมรับที่ <10% ได้
5. ใช้วิเคราะห์ความไวของระบบการวัดว่ามีความละเอียดพอต่อชิ้นงานที่ต้องการวัดหรือไม่
6. ผลการวัดที่ผิดเพี้ยนไปในการวัดค่าที่เป็นสาเหตุให้การประเมินผลความแม่นยำต่อความผันแปรมีค่าเกินเกณฑ์กำหนดที่ 30% จะสามารถวิเคราะห์ถึงสาเหตุว่ามาจากความผันแปรใดในระบบการวัดค่านั้น เพื่อทำการแก้ไขได้ตรงจุด
7. เผยแพร่แก่ผู้ที่สนใจ สามารถนำหลักการวิเคราะห์นี้ไปใช้ในงานที่คล้ายคลึงกันได้

1.5 ระยะเวลาในการดำเนินงาน

6 เดือน ธันวาคม 2544 ถึง พฤษภาคม 2545

บทที่2
พื้นฐานความรู้

2.1 หลักการวัดค่าความต้านทานต่ำ

ความต้านทานไฟฟ้า หรือที่เรียกว่า ความต้านทาน จะหมายถึง สมบัติหรือลักษณะจำเพาะของวัสดุในการต่อต้านการไหลผ่านของกระแสไฟฟ้า หน่วยการวัดความต้านทานคือ โอมห์ (Ω) ในการวัดความต้านทาน จะแบ่งระดับของค่าความต้านทานเป็น 3 ระดับ คือ

1) ความต้านทานต่ำ หมายถึง ความต้านทานที่มีค่าต่ำกว่า 1 Ω ตัวอย่างเช่น ความต้านทานของชันต์ (Shunt) ของเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า สายตัวนำ หรือความต้านทานของจุดสัมผัส (Contact Resistance)

2) ความต้านทานปานกลาง หมายถึง ความต้านทานมีค่าจาก 1 Ω ถึง 100kΩ เช่น ความต้านทานที่ใช้ในวงจรไฟฟ้าทั่วไป

3) ความต้านทานสูง หมายถึงความต้านทานที่มีค่ามากกว่า 100 kΩ มักใช้เป็นหน่วย MΩ เช่น ความต้านทานของฉนวน ความต้านทานของดิน เป็นต้น

สำหรับความต้านทานค่าต่ำ จะต้องใช้เครื่องวัดความต้านทานชนิด มิลลิโอมห์มิเตอร์ (Milliohm meter) ซึ่งมีพิสัยวัดจาก 0.1 $\mu\Omega$ ถึง 1 kΩ หลักการทำงานของมิลลิโอมห์มิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่1. คือ เครื่องวัด มีแรงเคลื่อนไฟฟ้าคงที่ E_{in} จะจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงให้ความต้านทานค่าต่ำ X ที่ต้องการวัด โดยผ่านความต้านทานชันต์ R_s คงที่และมีค่าสูงมาก และเมื่อวัดค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าคร่อมความต้านทาน X ได้ค่า E_o กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านความต้านทาน X จะเท่ากับที่ผ่านความต้านทานชันต์ $R_s + X$ ดังนี้

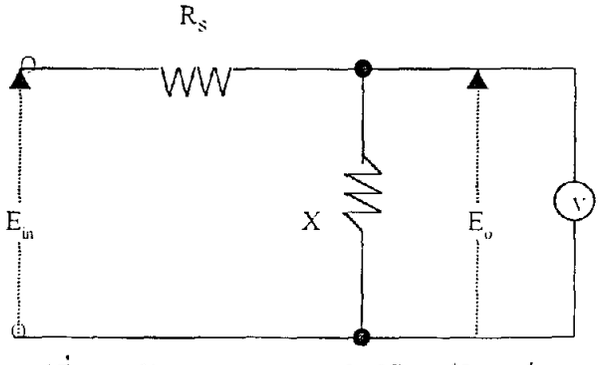
$$\frac{E_o}{X} = \frac{E_{in}}{R_s + X}$$

$$\frac{X}{R_s + X} = \frac{E_o}{E_{in}}$$

ค่า $R_s >> X$, จะได้

$$\frac{X}{R_s} = \frac{E_o}{E_{in}} \qquad \text{สมการที่ 1}$$

และ ปกติจะใช้การต่อแบบ 4 ปลาย (Terminal) เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดเนื่องจากค่าความต้านทานของสายต่อ โดยมีความถูกต้องของการวัด 2 ถึง 5%

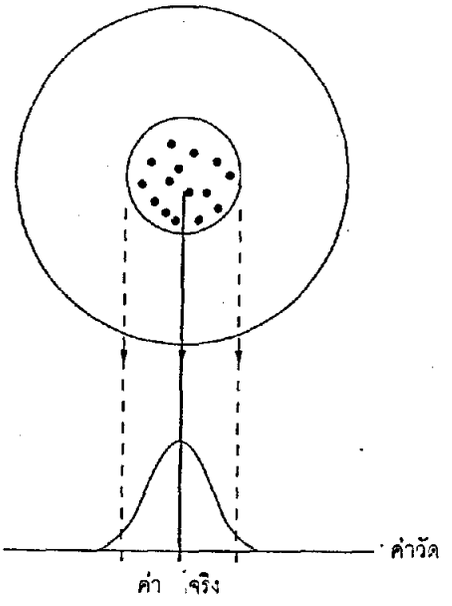


รูปที่ 1. หลักการทำงานของ มิลลิโอมห์มิเตอร์

2.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดจากค่าเฉลี่ย และค่าพิสัย

ความคลาดเคลื่อนของการวัดอันเนื่องมาจากสาเหตุแบบธรรมชาติของความผันแปร (natural cause of variation) จะแบ่งเป็นความคลาดเคลื่อนได้ 2 ชนิดคือ ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ ซึ่งเกิดจากสมบัติด้านความถูกต้องของระบบการวัด และ ความคลาดเคลื่อนแบบสุ่ม ซึ่งหมายถึงความคลาดเคลื่อนที่ข้อมูลกระจายอย่างสุ่มรอบค่าเฉลี่ยค่าหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2. และมีแหล่งของความคลาดเคลื่อนจากสาเหตุต่างๆ เช่น สาเหตุจากชิ้นงาน สาเหตุจากพนักงาน สาเหตุร่วมของชิ้นงานและพนักงาน และสาเหตุแบบสุ่มของเครื่องมือวัด

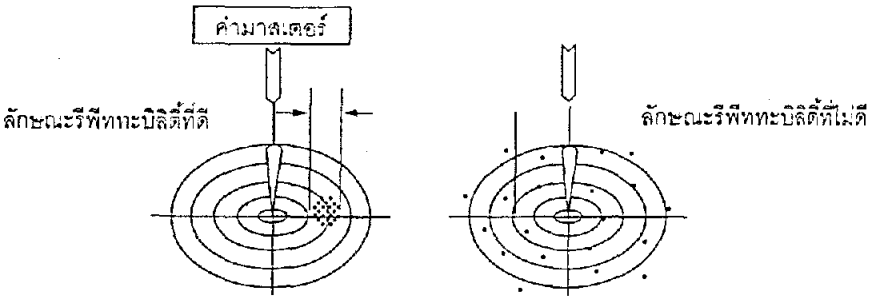
การวิเคราะห์ความแม่นยำนี้ จะมุ่งพิจารณาใน 2 ประเด็นหลัก คือ สมบัติเชิงสถิติของค่าที่วัดมีความไวต่อเทคนิคของพนักงานวัด หรือเครื่องมือวัดหรือไม่ และ ระบบการวัดที่พิจารณามีความสามารถในการตรวจจับความผันแปรของผลิตภัณฑ์ได้หรือไม่



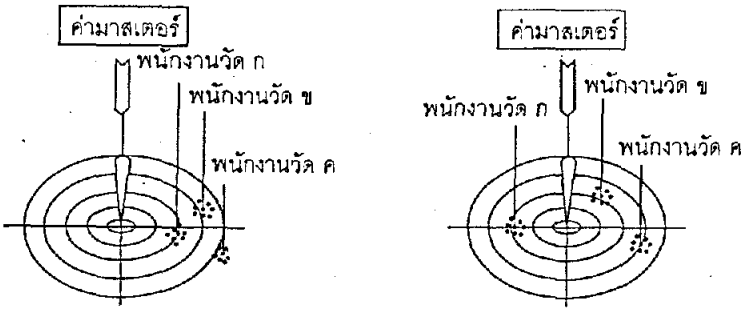
รูปที่ 2. ความผันแปรจากสมบัติความแม่นยำ

สมบัติด้านความแม่นยำนี้ ถ้าจำแนกตามช่วงเวลาที่เกิด จะแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ความสามารถในการทำซ้ำ หรือ รีพีททะบิลิตี้ (repeatability) และ ความสามารถในการทำเหมือน หรือ รีโปรดิวซิบิลิตี้ (reproducibility) โดยที่ค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัด หมายถึง ค่าความแตกต่างในการวัดอย่างต่อเนื่องของชิ้นงานเดียวกัน ด้วยเครื่องมือเดียวกัน และ ด้วยพนักงานวัดคนเดียวกัน ทำการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะสั้น (short term measurement) ดังแสดงในรูปที่ 3. ในที่นี้ ค่ารีโปรดิวซิบิลิตี้ของระบบการวัดหมายถึง ค่าความแตกต่างในค่าเฉลี่ยของการวัดของงานชิ้นเดียวกันด้วยเครื่องมือเดียวกัน แต่ต่างพนักงานกัน ทำการประมาณค่าความผันแปรของระบบการวัดในระยะยาว (long term measurement) ดังแสดงในรูปที่ 4. นอกจากนี้อาจกล่าวได้ว่า รีพีททะบิลิตี้ คือ ความผันแปรภายในเงื่อนไขการวัดเดียวกัน ในขณะที่ รีโปรดิวซิบิลิตี้ คือ ความผันแปรระหว่างเงื่อนไขของการวัด โดยเงื่อนไขนี้ อาจหมายถึง พนักงานวัด รอบการทำงาน อุปกรณ์จับยึด เช่น จิ๊ก และฟิกซ์เจอร์ และเงื่อนไขสภาวะแวดล้อม

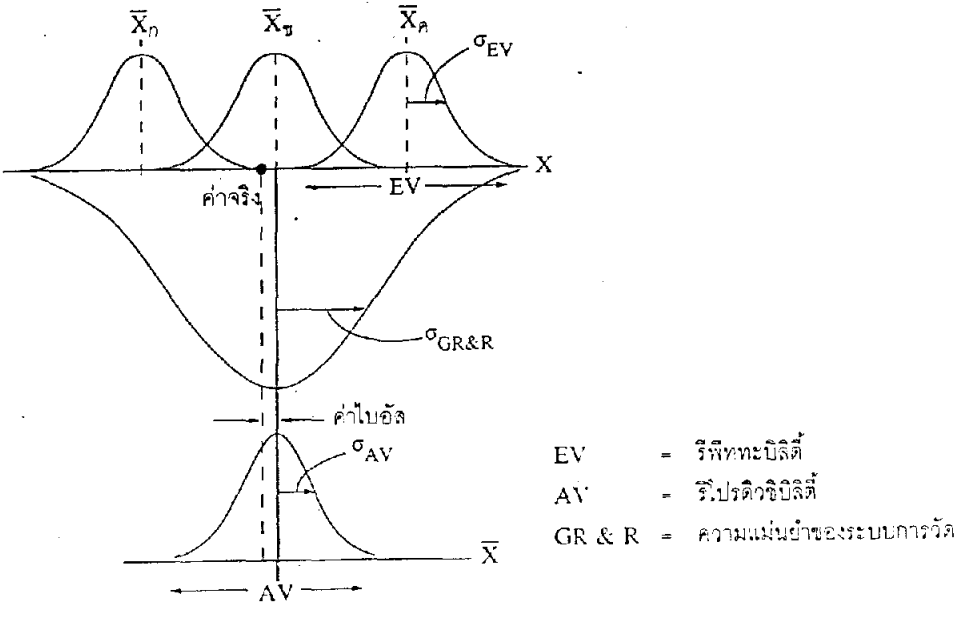
ในการประเมินความแม่นยำ หรือผลค่ารีพีททะบิลิตี้ และแบบรีโปรดิวซิบิลิตี้ หมายถึง การประเมินผลค่าผันแปรอันเนื่องมาจากการวัดค่า ของงานหนึ่งชิ้นแบบซ้ำๆ ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน แล้วมีการเปลี่ยนเงื่อนไขไปดังแสดงในรูปที่ 5.



รูปที่ 3. ความผันแปรแบบรีพีททะบิลิตี้



รูปที่ 4. ความผันแปรแบบรีโปรดิวซิบิลิตี้



รูปที่ 5. ความผันแปรจากรีพีททะบิลิตี้ และรีโปรดิวซิบิลิตี้

การวิเคราะห์ความแม่นยำของระบบการวัดจากค่าเฉลี่ยและค่าพิสัย เป็นการประมาณค่าความผันแปรในระบบการวัด และสามารถแยกความผันแปรออกเป็นรีพีททะบิลิตี้ และรีโปรดิวซิบิลิตี้ได้ ทำให้สามารถวิเคราะห์ ตัดสินใจปฏิบัติการแก้ไขสาเหตุความผันแปรได้ตรงจุดเพื่อปรับปรุงผลการวัดให้ดีขึ้น

กรณีที่รีพีททะบิลิตี้มีขนาดใหญ่กว่ารีโปรดิวซิบิลิตี้ แสดงว่าอาจมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆดังนี้

1) เครื่องมือวัดมีสภาพสึกหรอ ต้องการการบำรุงรักษา
2) เครื่องมือวัดถูกออกแบบให้มีความยืดหยุ่นมากเกินไปในการทำงาน
3) อุปกรณ์ในการยึดจับงานมีความยืดหยุ่นมากเกินไป
4) สิ่งตัวอย่างที่นำมาวัดเพื่อการวิเคราะห์มีความผันแปรภายในชิ้นงานมากเกินไป

กรณีที่รีโปรดิวซิบิลิตี้ มีขนาดใหญ่กว่ารีพีททะบิลิตี้แสดงว่าอาจมีสาเหตุจากสิ่งต่างๆดังนี้

1) พนักงานวัดใช้ทักษะส่วนตัวในการใช้เครื่องมือวัดมากเกินไป ควรมีการทบทวนวิธีการ และฝึกอบรมวิธีการใช้เครื่องมืออย่างถูกต้อง
2) การสอบเทียบเครื่องมือทำได้ไม่ดีพอ
3) การจับยึดชิ้นงานไม่ดีพอ ควรนำอุปกรณ์จับยึดมาช่วยเช่น จิ๊ก และฟิกซ์เจอร์

วิธีการทดสอบรีพีททะบิลิตี้ และรีโปรดิวซิบิลิตี้ ทำดังนี้

2.2.1 การสอบเทียบเครื่องมือวัดถือเป็นการดำเนินการที่สำคัญมาก ในการพิจารณาความถูกต้องของระบบการวัด โดยปกติจะต้องมีการสอบเทียบก่อนการศึกษา รีพีททะบิลิตี้ และรีโปรดิวซิบิลิตี้ และไม่ควรมีการสอบเทียบใหม่ระหว่างการศึกษายังไม่สิ้นสุด จะทำให้เกิดความผันแปรจากการสอบเทียบรวมเข้ามากับค่ารีพีททะบิลิตี้ของระบบการวัดด้วย

2.2.2 การกำหนดจำนวนพนักงานวัดที่เหมาะสมในแต่ละงานมีความสำคัญต่อการตัดสินใจในการศึกษาอย่างยิ่ง เช่น เครื่องวัดอัตโนมัติไม่ต้องใช้พนักงานวัดเลย ถ้ามีพนักงานวัดคนเดียวแสดงว่าความผันแปรในระบบการวัดมิได้มีผลจากสาเหตุด้านพนักงานวัด ในกรณีมีพนักงานวัดหลายคนให้สุ่มพนักงานวัดมา 2 – 4 คน โดยพนักงานวัดทุกคนที่กล่าวถึงนี้ผ่านการฝึกอบรมมาอย่างดี และปฏิบัติงานเกี่ยวกับเครื่องวัดที่ทำการศึกษาอยู่เป็นประจำ

2.2.3 จำนวนสิ่งตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาปกติจะใช้จำนวน 10 สิ่งตัวอย่าง ถ้าไม่สามารถทำได้จะต้องพยายามใช้ จำนวนสิ่งตัวอย่าง คูณ จำนวนพนักงาน ให้มีค่ามากกว่า 15 และถ้ายังทำไม่ได้ตามกรณีนี้อีก ให้เพิ่มจำนวนซ้ำของการวัดในแต่ละสิ่งตัวอย่าง และสิ่งตัวอย่างที่จะใช้ในการวัดนี้ ต้องเป็นสิ่งตัวอย่างที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ถ้าเป็นสิ่งตัวอย่างที่แตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ จะมีความหมายเท่ากับใช้สิ่งตัวอย่างเดียวด้วยจำนวนวัดซ้ำมาก ๆ) ในกรณีที่จะให้ระบบการวัดมีคุณภาพด้านความผันแปรเพียงพอต่อการตรวจจับความผันแปรของชิ้นงานในกระบวนการแล้ว จะต้องมีข้อมูลแบ่งแยกได้ไม่ต่ำกว่า 5 กลุ่ม (ชิ้น) และในกรณีตรวจสอบแบบทำลาย จะต้องกำหนดให้ ล็อต หมายถึงสิ่งตัวอย่างสำหรับการศึกษาความแม่นยำ GR&R สำหรับในการศึกษานี้จะทำการสุ่มชิ้นงานมา 10 สิ่งตัวอย่าง โดยให้ครอบคลุมช่วงผันแปรของกระบวนการวัด

2.2.4 จำนวนครั้งในการวัดซ้ำสำหรับแต่ละสิ่งตัวอย่าง ปกติจะใช้วิธีการวัดแบบ balance design ทำการวัดที่แต่ละสิ่งตัวอย่างด้วยจำนวนซ้ำเท่าๆกัน จำนวน 2 ถึง 3 ครั้งต่อชิ้นงาน โดยสุ่มพนักงานวัดมาครั้งละ 1 คน ทำการวัดและบันทึกค่าวัดจากชิ้นงานที่สุ่มมาจนครบทุกชิ้น จากนั้น สุ่มพนักงานวัดที่เหลือให้ทำเช่นนี้ต่อไปจนครบทุกคน

2.2.5 คำนวณค่าเฉลี่ย และค่าพิสัยสำหรับพนักงานวัดทุกคน

2.2.6 ทวนสอบคุณภาพของข้อมูลโดยการแยกความแตกต่างของค่าวัด และประเมินความสุ่ม แล้วพิจารณาพิสัยข้อมูลของพนักงานวัดทุกคนว่าไม่เกินค่าพิกัดควบคุมบน แต่ถ้าเกินให้ทำการแก้ไข ตัดข้อมูลนั้นทิ้ง เพราะอาจเกิดจากความผิดพลาดการยึดจับตัวอย่าง หรือ เผอเรอในการวัดซ้ำ ซึ่งเป็น สาเหตุเฉพาะ (special cause) แต่ถ้าข้อมูลทั้งหมด อยู่ภายในพิกัดควบคุมบนแล้ว แสดงว่า ผลการวัดเป็นไปตามสาเหตุธรรมชาติ (natural cause) การหาค่าพิกัดควบคุมดังต่อไปนี้

ถ้า $\bar{R}_A$, $\bar{R}_B$ = พิสัยเฉลี่ยการวัดซ้ำของพนักงานวัด A, B

พิสัยเฉลี่ยของการวัดซ้ำทั้งหมด, $\bar{\bar{R}} = \frac{1}{2}(\bar{R}_A + \bar{R}_B)$

พิกัดควบคุมบนของค่าพิสัย $UCL_R = D_4 \bar{\bar{R}}$ สมการที่ 2

ค่าคงที่ของแผนภูมิแบบผันแปร, $D_4 = 3.268$ (ตารางที่12. ภาคผนวก, n=2)

2.2.7 ประเมินผลความแม่นยำของการวัดดังนี้

ค่ารีพีททะบิลิตี้ (Equipment Variation, EV) เป็นความผันแปรของเครื่องมือวัด หาค่าจาก

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

โดย ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของ EV, $\sigma_{EV} = \frac{\bar{R}}{d_2}$

และ แฟกเตอร์ปรับค่าไม่เอนเอียง, $d_2 = 1.128$ (ตารางที่11. ภาคผนวก, n=2)

ดังนั้น $EV = K_1 \times \bar{\bar{R}}$, $K_1 = 4.56$ สมการที่ 3

ค่ารีโปรดิวซิบิลิตี้ (Reproducibility Variation, AV) เป็นความผันแปรของพนักงานวัด (Appraiser Variation) หาค่าจาก

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

โดย ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของ AV, $\sigma_{AV} = \frac{\bar{X}_{diff}}{d_2^*}$

และ แฟกเตอร์ปรับค่าเอนเอียงของ $\bar{\bar{R}}$, $d_2^* = 1.414$ (ตารางที่ 13. ภาคผนวก, n=2 กลุ่มย่อย, k=1 กลุ่มที่ใช้คำนวณ $\bar{\bar{R}}$)

ดังนั้น $AV = \sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - \frac{EV^2}{nr}}$, $K_2 = 3.65$ สมการที่ 4

n = จำนวนชิ้นงานที่ใช้วัด

r = จำนวนซ้ำที่พนักงานวัดแต่ละคนทำการวัดชิ้นงานแต่ละชิ้น

ถ้า AV มีค่าติดลบ แสดงว่า ค่ารีโปรดิวซิบิลิตี้มีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับรีพีททะบิลิตี้ จึงให้ประมาณการ AV = 0

ความแม่นยำ (Gauge Repeatability and Reproducibility, GR&R) เป็นความแม่นยำ หาค่าจาก

$$GR\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2} \qquad \text{สมการที่ 5}$$

ความผันแปรระหว่างชิ้นงาน (Part Variation, PV) ในข้อมูลการวัดที่มีคุณภาพอย่างเพียงพอต่อการประเมินความผันแปรระหว่างชิ้นงานได้จาก

$$PV = 5.15\sigma_p \qquad \text{สมการที่ 6}$$

โดย ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงาน, $\sigma_p = \frac{R_p}{d_2^*}$

ในที่นี้ $d_2^* = 3.178$ (ตารางที่ 13 ภาคผนวก, k=1, n=10)

$PV = K_3 R_p$, $K_3 = 1.62$

ความผันแปรโดยรวม (Total Variation, TV) ความผันแปรโดยรวมของกระบวนการหาค่าจาก

$$TV = \sqrt{GR\&R^2 + PV^2} \qquad \text{สมการที่ 7}$$

2.2.8 เกณฑ์เพื่อการตัดสินใจในการปฏิบัติการแก้ไข ทำได้โดยประเมินความแม่นยำเทียบกับความผันแปรที่ยอมให้ ซึ่งอาจเป็นความคลาดเคลื่อนโดยอนุโลม หรือ ความผันแปรของกระบวนการดังนี้

1) ความแม่นยำต่อความคลาดเคลื่อนโดยอนุโลม (Precision to Tolerance ratio, P/T)

$$P/T = \frac{GR\&R}{USL - LSL} \times 100\% \qquad \text{สมการที่ 8}$$

เมื่อ USL – LSL เป็นความความคลาดเคลื่อนอนุโลม (tolerance limit) ของระบบการวัด

และ การใช้ค่า ความแม่นยำต่อความความคลาดเคลื่อนอนุโลม ใช้ในการแยกแยะงานดี /งานเสีย

2) ความแม่นยำต่อความผันแปรของกระบวนการ (Precision to Total Variation, P/TV)

$$P/TV = \frac{GR\&R}{\text{ความผันแปรของกระบวนการ}} \times 100\% \qquad \text{สมการที่ 9}$$

เมื่อ ความผันแปรของกระบวนการ มักใช้ค่า = 6σ

และใช้ ความแม่นยำต่อความผันแปรของกระบวนการ ใช้ในการแยกความแตกต่างของชิ้นงานในกระบวนการวัด

3) เกณฑ์กำหนดการยอมรับความแม่นยำเทียบกับความผันแปรที่ยอมให้ เป็นดังนี้

P/T หรือ P/TV < 10% = ยอมรับความสามารถของระบบการวัด, (<1/10)

10% ≤ P/T หรือ P/TV < 30% = อาจยอมรับได้ ขึ้นอยู่กับความสำคัญของสิ่งที่ประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่าย ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ, (≥1/10 ถึง <1/3)

30% ≤ P/T หรือ P/TV = ไม่ยอมรับความสามารถของระบบการวัด จะต้องระบุถึงสาเหตุความผันแปรที่มีผลมาก แล้วทำการแก้ไข, (≥1/3)

บทที่ 3
เครื่องมือ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์

1) ตัวอย่าง Scart connector จำนวน 5 ตัวอย่าง (ตัวอย่างละ 10 ชิ้น)

2) เครื่องวัดค่าความต้านทาน Micro – ohmmeter (Keithley 580) :

Range	200	$m\Omega$
Maximum current	100	mA
Test probe	4	wires
Standard resistance	1	$m\Omega$, 100 $m\Omega$

3) เครื่องวัดอุณหภูมิ และความชื้น Thermo hygro graph

4) เครื่องคอมพิวเตอร์ (Excel)

5) ห้องทดสอบ ควบคุมอุณหภูมิ $(23\pm2)^{\circ}C$, ความชื้น (55±15)%Rh

3.2 วิธีดำเนินการ

3.2.1 เตรียมตัวอย่าง Scart connector จำนวน 5 ชุด (ชุดละ 10 ชิ้น) ในห้องทดสอบ ที่ควบคุมอุณหภูมิ $(23\pm2)^{\circ}C$ ความชื้น (55±15)%Rh

3.2.2 ให้พนักงาน 2 คน A และ B โดยให้แต่ละคน ทำการสุ่มวัดค่าความต้านทานContact resistance จำนวน 10 ชิ้นของตัวอย่าง Scart connector N0. 1 และบันทึกค่าใน แบบฟอร์มศึกษา GR&R (วิธี $\bar{X}$ - R) ตารางที่ 1

3.2.3 การคำนวณค่าความผันแปรต่างๆของข้อมูลการวัด ในส่วนบนช่อง Appraiser ของแบบฟอร์มศึกษา GR&R (วิธี $\bar{X}$ - R) ซึ่งใช้ตาราง Excel ทำการคำนวณ ค่าเฉลี่ย พิสัย และอื่นๆ

3.2.4 การทวนสอบคุณภาพของข้อมูล โดยเปรียบเทียบข้อมูลค่าพิสัย R ของพนักงานวัด A และ B ในช่อง Appraiser ตารางที่ 1 แบบฟอร์มศึกษา GR&R (วิธี $\bar{X}$ - R) เทียบกับ ค่าพิกัด UCL_R ในข้อ1. Verification ในช่อง การวิเคราะห์ระบบการวัด (%TV) ในตารางเดียวกัน ถ้าข้อมูลทุกค่าไม่เกินค่าพิกัด UCL_R (ในที่นี้ คือ 0.53) แสดงว่าข้อมูลการวัดทั้งหมดมีสาเหตุจากความผันแปรแบบธรรมชาติแล้ว เติมคำว่า OK ในช่องหลังของการทวนสอบ ดังนั้นสามารถใช้ข้อมูลชุดนี้ทำการวิเคราะห์ต่อไปได้ แต่ถ้ามีข้อมูลบางค่าเกินค่าพิกัด จะต้องทำการแก้ไขข้อมูล เช่น ทำการวัดค่าใหม่ หรือ ตัดข้อมูลนั้นทิ้ง เพราะ อาจเกิดจากความผิดพลาดหรือ เออเรอ ในการวัด และทำการทวนสอบใหม่ตามวิธีการข้างต้น

3.2.5 การหาความผันแปรของกระบวนการวัด จากข้อมูลการทดลองที่ผ่านการทวนสอบแล้ว

ในข้อที่ 1. ในส่วนการวิเคราะห์ระบบการวัด (%TV) ในแบบฟอร์มศึกษา GR&R (วิธี $\bar{X}$ - R) ตารางที่ 1 โปรแกรม excel ที่กำหนดไว้ จะทำการคำนวณค่าความผันแปรต่างๆตามสูตรการคำนวณ ในบทที่2 และ แสดงผล ค่ารีพีททะบิลิตี้ EV ในข้อที่ 2., รีโปรดิวซิบิลิตี้ AV ในข้อที่ 3., ความแม่นยำ GR&R ในข้อที่ 4., ความผันแปรชิ้นตัวอย่าง PV ในข้อที่ 5. โดยใช้ค่าพิสัยชิ้นงานทั้งหมด R_p ที่ได้จาก การเฉลี่ยออกค่ารีพีททะบิลิตี้ในการทำซ้ำ และ เฉลี่ยออกค่ารีโปรดิวซิบิลิตี้ ในการทำเหมือน เพื่อการประมาณ ค่าแท้จริงของชิ้นงาน (Part mean) ตัวอย่างแต่ละชิ้น และจึงหาพิสัยของชิ้นงานทั้งหมด R_p ในช่องขวาสุด ส่วนบนของตารางที่ 1, และ ค่าความผันแปรทั้งหมด TV ในข้อที่ 6. และ นอกจากนี้ยังแสดง ค่าเปอร์เซนต์รีพีททะบิลิตี้ %EV, ค่าเปอร์เซนต์รีโปรดิวซิบิลิตี้ %AV, ค่าเปอร์เซนต์ความแม่นยำ (%GR&R) ต่อความผันแปรของกระบวนการ P/TV และ ต่อความผันแปรโดยอนุโลม P/T, และ ค่าพิกัดควบคุมบนของค่าเฉลี่ย UCL $\bar{\bar{x}}$ และพิกัดควบคุมล่างของค่าเฉลี่ย LCL $\bar{\bar{x}}$ ซึ่ง หาค่าจากสมการดังนี้

พิกัดควบคุมบนของค่าเฉลี่ย, $UCL\ \bar{\bar{x}} = \bar{X} + A_2\bar{R}$, $A_2 = 1.88$ ที่ n =2, k = 10

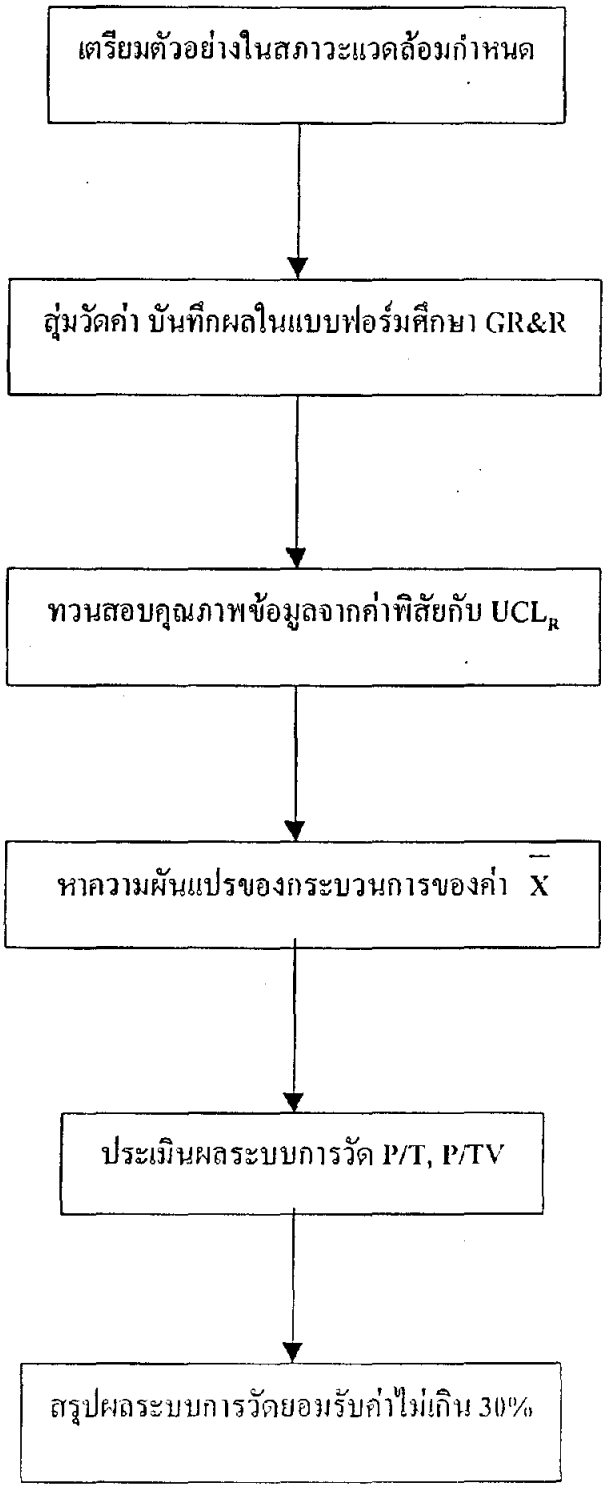
พิกัดควบคุมล่างของค่าเฉลี่ย, $LCL\ \bar{\bar{x}} = \bar{X} - A_2\bar{R}$, $A_2 = 1.88$ ที่ n =2, k = 10

3.2.6 นำข้อมูลจากตารางที่ 1 มาบันทึกในตารางที่ 2 ข้อมูลค่าเฉลี่ย $\bar{X}$ ของ Scart connector 1 และแสดงในรูปที่ 7 แผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย $\bar{X}$ ของ Scart connector 1 จากข้อมูลทั้งหมด10 ชิ้น ของพนักงานวัดแต่ละคน A และ B เทียบกับพิกัดควบคุมของค่าเฉลี่ยที่ได้จากตารางที่ 1 จะพบว่า มีข้อมูล $\bar{X}$ ออกนอกพิกัดควบคุมค่อนข้างมาก แสดงว่าระบบการวัดนี้มีความไวพอสามารถประเมินความผันแปรของกระบวนการได้ดี และค่าต่างของค่าเฉลี่ย $\bar{X}$ ของแต่ละชิ้นงานที่วัดจากพนักงาน A และ B มีค่าใกล้เคียงกัน และ ไม่เกินค่าต่างของพิกัดควบคุมค่าเฉลี่ย แสดงถึงความมีประสิทธิภาพ และความชำนาญในการวัดค่านี้ของพนักงานทั้งสอง

3.2.7 การประเมินผลระบบการวัด ในตารางที่ 1 แบบฟอร์มศึกษา GR&R (วิธี $\bar{X}$ - R) พิจารณาผลการคำนวณค่า เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำต่อความผันแปรของระบบการวัด (P/TV) และ เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำต่อความคลาดเคลื่อนอนุโลม (P/T) จากเกณฑ์การยอมรับ ถ้าค่า P/TV หรือ P/T มีค่าไม่เกินเกณฑ์กำหนด 10% แสดงว่าระบบการวัดนี้สามารถใช้ได้ดีเพื่อแยกความแตกต่างของชิ้นงาน หรือ แยกแยะงานดีงานเสียในระบบ แต่ถ้า มีค่าเกิน10% แต่ ไม่เกิน 30% แสดงว่า ระบบการวัดนี้ยังพอใช้ได้ ทั้งนี้ จะพิจารณาประกอบความสำคัญของสิ่งที่ประยุกต์ใช้ ค่าใช้จ่ายในการทดลอง ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง และ ถ้ามีค่าเกิน 30% แสดงว่าระบบการวัดนั้น ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างของข้อมูลได้ อาจต้องทำการปรับปรุง แก้ไขระบบการวัดให้ดีขึ้นมากกว่านี้ต่อไป นอกจากนี้เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำของการทำซ้ำ %EV และ เปอร์เซ็นต์ความแม่นยำของการทำเหมือน %AV เมื่อเทียบกับความผันแปรทั้งหมดมีค่าไม่เกินเกณฑ์กำหนด 30% และ %AV มีค่าน้อยกว่า %EV แสดงถึงความมีประสิทธิภาพของการทำงานวัดของพนักงานวัดทั้งสอง

3.2.8 ทำการทดลองตามข้อ 3.2.1 ถึง 3.2.7 สำหรับตัวอย่าง Scart connector ที่ 2 ถึง 5 บันทึกข้อมูลการวัดไว้ใน ตารางที่ 3 ถึง 10 และ แสดงกราฟในรูปที่ 8 ถึง 11 ตามลำดับ

รูปที่ 6. แผนภูมิการวิเคราะห์ความแม่นยำของการวัด



บทที่ 5

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 แบบฟอร์มศึกษา GR&R (วิธี $\bar{X}$-R) ของ Scart connector 1

ชื่อตัวอย่าง Scart connector 1. สมบัติที่ศึกษา Contact resistance (mΩ) ข้อกำหนดเฉพาะ ± 0.6mΩ

อุณหภูมิ $(23\pm2)^{0}$C ความชื้น (65± 15)%Rh. วัน/เดือน/ปี 20 กุมภาพันธ์ 2545

Appriser	A				B				Part
SampleNo	X_1	X_2	mean	R	X_1	X_2	mean	R	mean
1	3.32	3.21	3.27	0.11	3.13	2.94	3.04	0.19	3.15
2	3.52	3.70	3.61	0.18	3.72	3.62	3.67	0.10	3.64
3	4.42	4.44	4.43	0.02	4.39	4.35	4.37	0.04	4.40
4	4.58	4.69	4.64	0.11	4.60	4.38	4.49	0.22	4.56
5	8.46	8.86	8.66	0.40	8.36	8.57	8.47	0.21	8.56
6	8.84	8.92	8.88	0.08	8.90	8.63	8.77	0.27	8.82
7	9.27	9.41	9.34	0.14	9.40	9.28	9.34	0.12	9.34
8	9.98	10.26	10.12	0.28	10.36	10.27	10.32	0.09	10.22
9	13.16	13.08	13.12	0.08	12.74	12.85	12.80	0.11	12.96
10	13.22	13.20	13.21	0.02	12.42	12.87	12.65	0.45	12.93
sum	78.77	79.77	79.27	1.42	78.02	77.76	77.89	1.8	R_P=
mean	$\bar{X}_A$ = 7.93		$\bar{R}_A$ = 0.142		$\bar{X}_B$ = 7.79		$\bar{R}_B$ = 0.18		P_{max}-P_{min}=
$\bar{X}_{diff}$ = $\bar{X}_A$ - $\bar{X}_B$ = 0.14			$\bar{X}$ = ($\bar{X}_A$ + $\bar{X}_B$)/2		7.86	$\bar{R}$ = ($\bar{R}_A$ + $\bar{R}_B$)/2		0.16	9.81

การวิเคราะห์ระบบการวัด (%TV)

1. Verification.		พิสัยการวัดซ้ำของผลการทดลองทุกค่าเล็กกว่า UCL_R
UCL_R = D_4 x $\bar{R}$ = 0.53	D_4 = 3.27	จึงเป็นสาเหตุจาก Common cause of variation. = OK
2. Repeatability (EV)		
EV = K_1 x $\bar{R}$ = 0.73	K_1 = 4.56	%EV = 100(EV/TV) = 4.61
3. Reproducibility (AV)		
AV = $\sqrt{(X_{diff} \times K_2)^2 - EV^2/nr}$ = 0.48	K_2 = 3.65	%AV = 100(AV/TV) = 2.99
4. GR&R		P/TV
GR&R = $\sqrt{EV^2 + AV^2}$ = 0.88		%GR&R = 100(GR&R/TV) = 5.50
5. Part variation (PV)		P/T — USL-LSL=
PV = R_P x K_3 = 15.89	K_3 = 1.62	%GR&R =100(GR&R/(USL-LSL))= 24.31 — 6 x SD
6. Total variation (TV)		$UCL\bar{x}$ = $\bar{X}$+$A_2\bar{R}$ = 8.16
TV = $\sqrt{GR\&R^2 + PV^2}$ = 15.91		$LCL\bar{x}$ = $\bar{X}$-$A_2\bar{R}$ = 7.56 — A_2 = 1.88

หมายเหตุ: 1. ผลการทวนสอบค่าพิสัยการวัดซ้ำ R ทุกค่า ไม่เกินพิกัด UCL_R แสดงว่า ข้อมูลทั้งหมดมีสาเหตุความผันแปรแบบธรรมชาติ

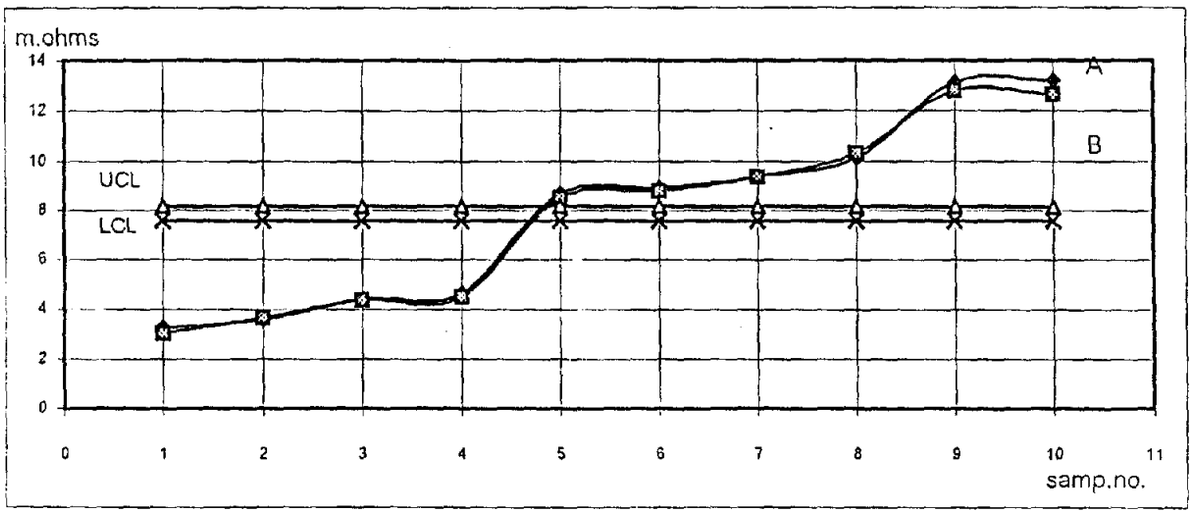
2. ความแม่นยำ %EV, %AV, และ %GR&R ของ P/TV และ P/T มีค่า <30% ยอมรับผลการวัดได้

3. ค่าความแม่นยำ %EV > %AV แสดงว่าพนักงานวัดทั้งสองมีประสิทธิภาพการวัดสูงพอในการวัด

ตารางที่ 2 ข้อมูลค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 1

No. / Appr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	3.27	3.61	4.43	4.64	8.66	8.88	9.34	10.12	13.12	13.21
B	3.04	3.67	4.37	4.49	8.47	8.77	9.34	10.32	12.8	12.65
UCL	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16	8.16
LCL	7.56	7.56	7.56	7.56	7.56	7.56	7.56	7.56	7.56	7.56

รูปที่ 7 แผนภูมิควบคุมค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 1



หมายเหตุ :

1. ค่าความต้านทานเฉลี่ยของชิ้นทดสอบส่วนมากอยู่ภายนอกพิกัดควบคุม แสดงว่าระบบการวัดนี้สามารถใช้ประเมินความผันแปรของกระบวนการวัดได้
2. ค่าความต่างของความต้านทานเฉลี่ยของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นที่วัดค่าโดยพนักงานวัด A และ B มีค่าไม่เกินค่าความต่างของพิกัดควบคุม แสดงว่าผลการวัดที่มีความผันแปรสาเหตุจากพนักงานวัดนี้ใช้ได้

ตารางที่ 3 แบบฟอร์มศึกษา GR&R (วิธี $\bar{X}$-R) ของ Scart connector 2

ชื่อตัวอย่าง Scart connector 2. สมบัติที่ศึกษา Contact resistance (mΩ) ข้อกำหนดเฉพาะ ± 0.6mΩ

อุณหภูมิ (23±2)°C ความชื้น (65± 15)%Rh. วัน/เดือน/ปี 20 กุมภาพันธ์ 2545

Appriser	A				B				Part
ampleNo	X_1	X_2	mean	R	X_1	X_2	mean	R	mean
1	2.90	3.27	3.09	0.37	3.09	3.20	3.15	0.11	3.12
2	4.05	3.77	3.91	0.28	3.81	3.67	3.74	0.14	3.83
3	4.20	4.12	4.16	0.08	4.26	4.30	4.28	0.04	4.22
4	4.58	4.99	4.79	0.41	4.77	4.70	4.74	0.07	4.76
5	8.91	8.82	8.87	0.09	8.80	8.80	8.80	0.00	8.83
6	9.12	8.54	8.83	0.58	9.25	9.06	9.16	0.19	8.99
7	9.28	9.63	9.46	0.35	9.18	9.23	9.21	0.05	9.33
8	10.44	10.35	10.40	0.09	10.37	10.63	10.50	0.26	10.45
9	12.53	12.30	12.42	0.23	12.57	13.00	12.79	0.43	12.60
10	12.17	12.32	12.25	0.15	12.01	12.56	12.29	0.55	12.27
sum	78.18	78.11	78.15	2.63	78.11	79.15	78.63	1.84	R_p=
mean	$\bar{X}_A$ = 7.81		$\bar{R}_A$ = 0.263		$\bar{X}_B$ = 7.86		$\bar{R}_B$ = 0.18		P_{max}-P_{min}=
$\bar{X}_{diff}$ = $\bar{X}_A$ - $\bar{X}_B$ = 0.05			$\bar{X}$ = ($\bar{X}_A$ + $\bar{X}_B$)/2		7.84		$\bar{R}$ = ($\bar{R}_A$ + $\bar{R}_B$)/2		0.22	9.49

การวิเคราะห์ระบบการวัด (%TV)

1. Verification.		พิสัยการวัดซ้ำของผลการทดลองทุกค่าเล็กกว่า UCL_R
UCL_R = D_4 x $\bar{R}$ = 0.73	D_4 = 3.27	จึงเป็นสาเหตุจาก Common cause of variation. = 0
2. Repeatability (EV)		
EV = K_1 x $\bar{R}$ = 1.02	K_1 = 4.56	%EV = 100(EV/TV) = 6.62
3. Reproducibility (AV)		
AV $\sqrt{(X_{diff} \times K_2)^2 - EV^2/nr}$ 0.14	K_2 = 3.65	%AV = 100(AV/TV) = 0.93
4. GR&R		P/TV
GR&R = $\sqrt{EV^2 + AV^2}$ = 1.03		%GR&R = 100(GR&R/TV) = 6.68
5. Part variation (PV)		P/T
PV = R_p x K_3 = 15.37	K_3 = 1.62	%GR&R =100(GR&R/(USL-LSL))= 28.59
6. Total variation (TV)		$UCL\bar{x} = \bar{X} + A_2\bar{R}$ = 8.26
TV = $\sqrt{GR\&R^2 + PV^2}$ = 15.40		$LCL\bar{x} = \bar{X} - A_2\bar{R}$ = 7.42

USL-LSL= 6 x SD

A_2 = 1.88

หมายเหตุ: 1. ผลการทวนสอบค่าพิสัยการวัดซ้ำ R ทุกค่า ไม่เกินพิกัด UCL_R แสดงว่า ข้อมูลทั้งหมดมีสาเหตุความผันแปรแบบธรรมชาติ

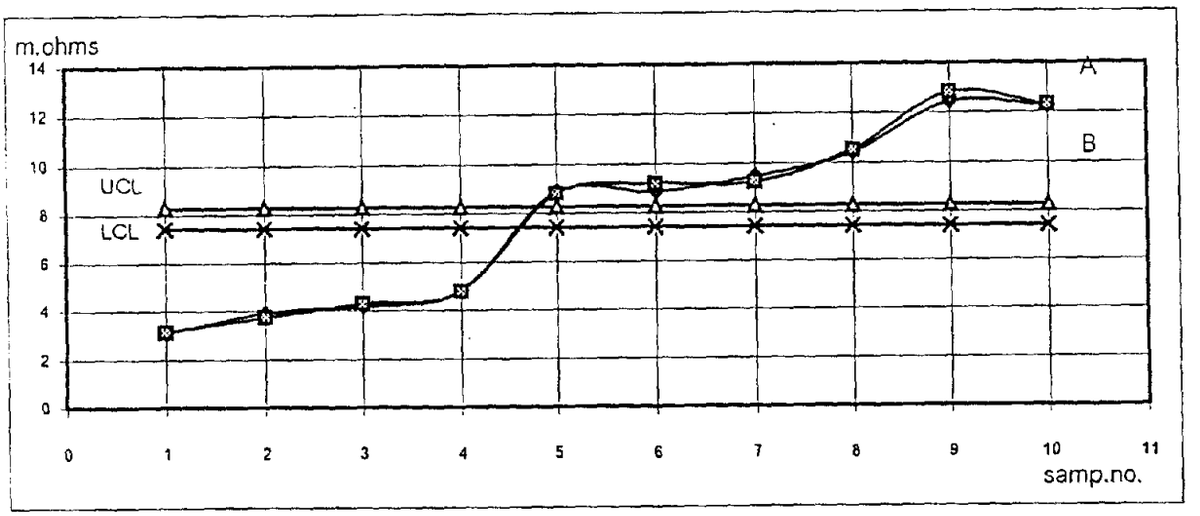
2. ความแม่นยำ %EV, %AV, และ %GR&R ของ P/TV และ P/T มีค่า <30% ยอมรับผลการวัดได้

3. ค่าความแม่นยำ %EV > %AV แสดงว่าพนักงานวัดทั้งสองมีประสิทธิภาพการวัดสูงพอในการวัด

ตารางที่ 4 ข้อมูลค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 2

No. / Appr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	3.09	3.91	4.16	4.79	8.87	8.83	9.46	10.4	12.42	12.25
B	3.15	3.74	4.28	4.78	8.8	9.16	9.21	10.5	12.79	12.29
UCL	8.26	8.26	8.26	8.26	8.26	8.26	8.26	8.26	8.26	8.26
LCL	7.42	7.42	7.42	7.42	7.42	7.42	7.42	7.42	7.42	7.42

รูปที่ 8 แผนภูมิควบคุมค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 2



หมายเหตุ :

1. ค่าความต้านทานเฉลี่ยของชิ้นทดสอบส่วนมากอยู่ภายนอกพิกัดควบคุม แสดงว่าระบบการวัดนี้สามารถใช้ประเมินความผันแปรของกระบวนการวัดได้
2. ค่าความต่างของความต้านทานเฉลี่ยของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นที่วัดค่าโดยพนักงานวัด A และ B มีค่าไม่เกินค่าความต่างของพิกัดควบคุม แสดงว่าผลการวัดที่มีความผันแปรสาเหตุจากพนักงานวัดนี้ใช้ได้

ตารางที่ 5 แบบฟอร์มศึกษา GR&R (วิธี $\bar{X}$-R) ของ Scart connector 3

ชื่อตัวอย่าง Scart connector 3. สมบัติที่ศึกษา Contact resistance (mΩ) ข้อกำหนดเฉพาะ $\pm$ 0.6mΩ

อุณหภูมิ (23$\pm$2)^{O}C ความชื้น (65$\pm$ 15)%Rh. วัน/เดือน/ปี 21 กุมภาพันธ์ 2545

Appriser	A				B				Part
SampleNo	X_1	X_2	mean	R	X_1	X_2	mean	R	mean
1	3.30	3.17	3.24	0.13	3.26	3.12	3.19	0.14	3.21
2	4.39	4.12	4.26	0.27	4.35	3.95	4.15	0.40	4.20
3	4.25	4.53	4.39	0.28	4.21	4.04	4.13	0.17	4.26
4	4.91	4.69	4.80	0.22	4.96	4.84	4.90	0.12	4.85
5	8.72	8.78	8.75	0.06	8.55	8.53	8.54	0.02	8.65
6	8.93	9.18	9.06	0.25	8.78	8.86	8.82	0.08	8.94
7	9.31	9.11	9.21	0.20	9.36	9.00	9.18	0.36	9.20
8	10.22	10.67	10.45	0.45	10.82	10.69	10.76	0.13	10.60
9	12.79	12.92	12.86	0.13	13.06	13.29	13.18	0.23	13.02
10	12.82	12.45	12.64	0.37	12.09	12.39	12.24	0.30	12.44
sum	79.64	79.62	79.63	2.36	79.44	78.71	79.08	1.95	R_p=
mean	$\bar{X}_A$ = 7.96		$\bar{R}_A$ = 0.236		$\bar{X}_B$ = 7.91		$\bar{R}_B$ = 0.20		P_{max}-P_{min}=
$\bar{X}_{diff}$ = $\bar{X}_A$ - $\bar{X}_B$ = 0.06			$\bar{X}$ = ($\bar{X}_A$ + $\bar{X}_B$)/2	7.94		$\bar{R}$ = ($\bar{R}_A$ + $\bar{R}_B$)/2	0.22		9.80

การวิเคราะห์ระบบการวัด (%TV)

1. Verification.		พิสัยการวัดซ้ำของผลการทดลองทุกค่าเล็กกว่า UCL_R
UCL_R = D_4 x $\bar{R}$ = 0.70	D_4 = 3.27	จึงเป็นสาเหตุจาก Common cause of variation. = OK
2. Repeatability (EV)		
EV = K_1 x $\bar{R}$ = 0.98	K_1 = 4.56	%EV = 100(EV/TV) = 6.18
3. Reproducibility (AV)		
AV = $\sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - EV^2/nr}$ = 0.09	K_2 = 3.65	%AV = 100(AV/TV) = 0.54
4. GR&R		P/TV
GR&R = $\sqrt{EV^2 + AV^2}$ = 0.99		%GR&R = 100(GR&R/TV) = 6.20
5. Part variation (PV)		P/T USL-LSL=
PV = R_p x K_3 = 15.88	K_3 = 1.62	%GR&R =100(GR&R/(USL-LSL))= 27.40 6 x SD
6. Total variation (TV)		$UCL\bar{x}$ = $\bar{X}$+$A_2\bar{R}$ = 8.34
TV = $\sqrt{GR\&R^2 + PV^2}$ = 15.91		$LCL\bar{x}$ = $\bar{X}$-$A_2\bar{R}$ = 7.53 A_2 = 1.88

หมายเหตุ: 1. ผลการทวนสอบค่าพิสัยการวัดซ้ำ R ทุกค่า ไม่เกินขีดจำกัด UCL_R แสดงว่า ข้อมูลทั้งหมดมีสาเหตุความผันแปรแบบธรรมชาติ

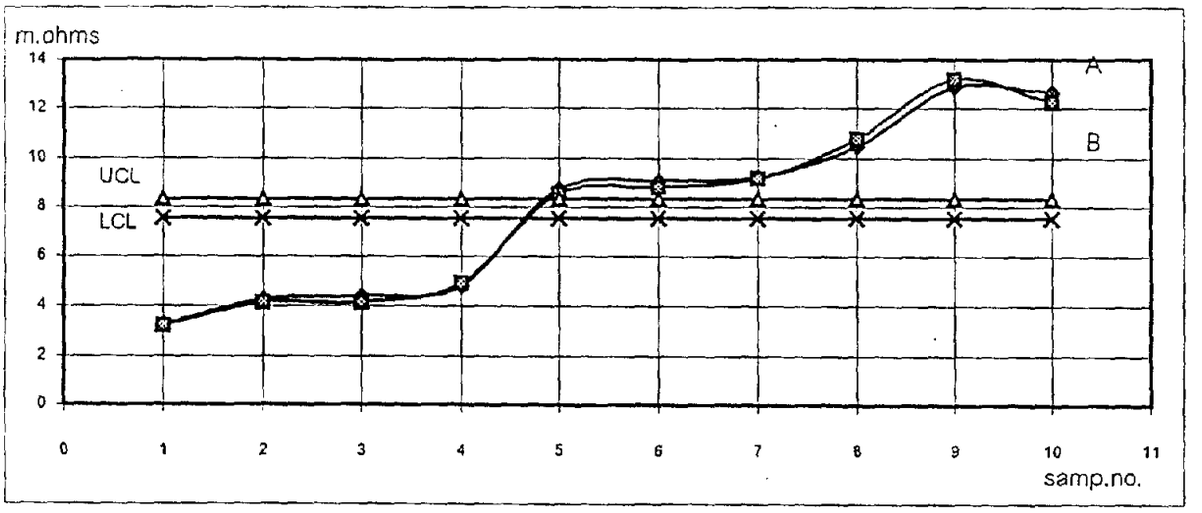
2. ความแม่นยำ %EV, %AV, และ %GR&R ของ P/TV และ P/T มีค่า <30% ยอมรับผลการวัดได้

3. ค่าความแม่นยำ %EV > %AV แสดงว่าพนักงานวัดทั้งสองมีประสิทธิภาพการวัดสูงพอในการวัด

ตารางที่ 6 ข้อมูลค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 3

No. / Appr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	3.24	4.26	4.39	4.8	8.75	9.06	9.21	10.45	12.86	12.64
B	3.19	4.15	4.13	4.9	8.54	8.82	9.18	10.76	13.18	12.24
UCL	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34	8.34
LCL	7.53	7.53	7.53	7.53	7.53	7.53	7.53	7.53	7.53	7.53

รูปที่ 9 แผนภูมิควบคุมค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 3



หมายเหตุ :

1. ค่าความต้านทานเฉลี่ยของชิ้นทดสอบส่วนมากอยู่ภายนอกพิกัดควบคุม แสดงว่าระบบการวัดนี้ สามารถใช้ประเมินความผันแปรของกระบวนการวัดได้
2. ค่าความต่างของความต้านทานเฉลี่ยของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นที่วัดค่าโดยพนักงานวัด A และ B มีค่าไม่เกินค่าความต่างของพิกัดควบคุม แสดงว่าผลการวัดที่มีความผันแปรสาเหตุจากพนักงานวัดนี้ใช้ได้

ตารางที่ 7 แบบฟอร์มศึกษา GR&R (วิธี $\bar{X}$-R) ของ Scart connector 4

ชื่อตัวอย่าง Scart connector 4. สมบัติที่ศึกษา Contact resistance (mΩ) ข้อกำหนดเฉพาะ ± 0.6mΩ

อุณหภูมิ $(23\pm2)^{O}C$ ความชื้น (65± 15)%Rh. วัน/เดือน/ปี 21 กุมภาพันธ์ 2545

Appriser	A				B				Part
ampleNo	X_1	X_2	mean	R	X_1	X_2	mean	R	mean
1	3.32	3.12	3.22	0.20	2.68	2.88	2.78	0.20	3.00
2	4.07	3.94	4.01	0.13	3.52	3.82	3.67	0.30	3.84
3	4.45	4.29	4.37	0.16	3.80	3.91	3.86	0.11	4.11
4	4.78	4.74	4.76	0.04	4.34	4.74	4.54	0.40	4.65
5	8.56	8.85	8.71	0.29	8.66	8.78	8.72	0.12	8.71
6	8.73	8.84	8.79	0.11	8.49	8.61	8.55	0.12	8.67
7	9.31	9.52	9.42	0.21	9.23	9.13	9.18	0.10	9.30
8	10.31	10.22	10.27	0.09	9.97	10.32	10.15	0.35	10.21
9	12.74	12.73	12.74	0.01	13.37	13.25	13.31	0.12	13.02
10	12.43	12.28	12.36	0.15	12.25	12.52	12.39	0.27	12.37
sum	78.7	78.53	78.62	1.39	76.31	77.96	77.14	2.09	R_p=
mean	$\bar{X}_A$ = 7.86		$\bar{R}_A$ = 0.139		$\bar{X}_B$ = 7.71		$\bar{R}_B$ = 0.21		P_{max}-P_{min}=
$\bar{X}_{diff}$ = $\bar{X}_A$ - $\bar{X}_B$ = 0.15			$\bar{\bar{X}}$ = ($\bar{X}_A$ + $\bar{X}_B$)/2	7.79	$\bar{R}$ = ($\bar{R}_A$ + $\bar{R}_B$)/2	0.17			10.02

การวิเคราะห์ระบบการวัด (%TV)

1. Verification. UCL_R = D_4 x $\bar{R}$ = 0.57	D_4 = 3.27	พิสัยการวัดซ้ำของผลการทดลองทุกค่าเล็กกว่า UCL_R จึงเป็นสาเหตุจาก Common cause of variation. = OK
2. Repeatability (EV) EV = K_1 x $\bar{R}$ = 0.79	K_1 = 4.56	%EV = 100(EV/TV) = 4.88
3. Reproducibility (AV) AV = $\sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - EV^2/nr}$ 0.51	K_2 = 3.65	%AV = 100(AV/TV) = 3.14
4. GR&R GR&R = $\sqrt{EV^2 + AV^2}$ = 0.94		P/TV %GR&R = 100(GR&R/TV) = 5.80
5. Part variation (PV) PV = R_p x K_3 = 16.24	K_3 = 1.62	P/T %GR&R =100(GR&R/(USL-LSL))= 26.20
6. Total variation (TV) TV = $\sqrt{GR\&R^2 + PV^2}$ 16.26		$UCL\bar{x}$ = $\bar{\bar{X}}$+$A_2\bar{R}$ = 8.11 $LCL\bar{x}$ = $\bar{\bar{X}}$-$A_2\bar{R}$ = 7.46

USL-LSL= 6 x SD

A_2 = 1.88

หมายเหตุ: 1. ผลการทวนสอบค่าพิสัยการวัดซ้ำ R ทุกค่า ไม่เกินพิกัด UCL_R แสดงว่า ข้อมูลทั้งหมดมีสาเหตุความผันแปรแบบธรรมชาติ

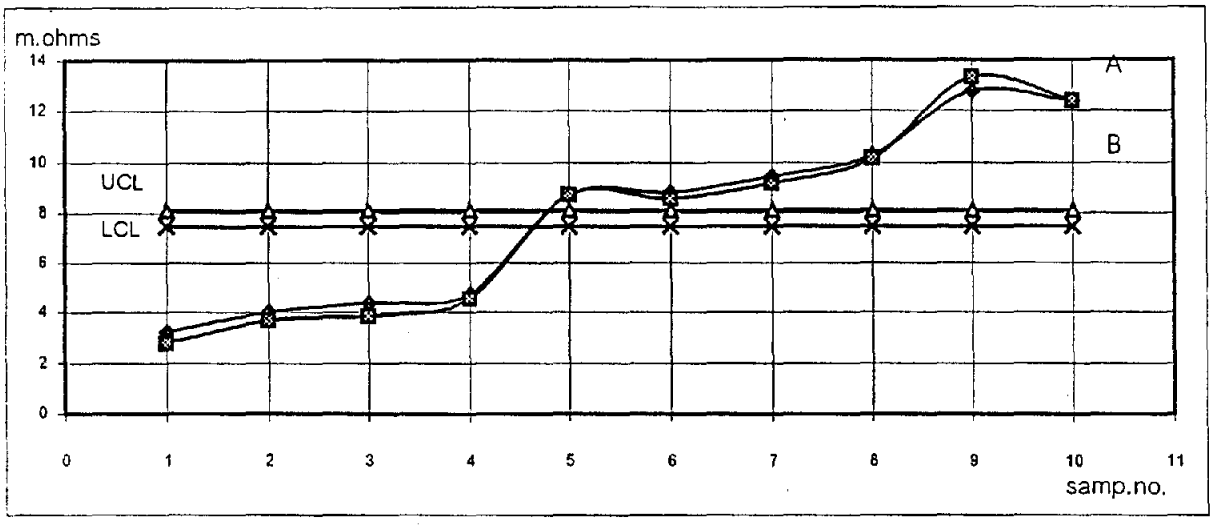
2. ความแม่นยำ %EV, %AV, และ %GR&R ของ P/TV และ P/T มีค่า <30% ยอมรับผลการวัดได้

3. ค่าความแม่นยำ %EV > %AV แสดงว่าพนักงานวัดทั้งสองมีประสิทธิภาพการวัดสูงพอในการวัด

ตารางที่ 8 ข้อมูลค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 4

No. / Appr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	3.22	4.01	4.37	4.76	8.71	8.79	9.42	10.27	12.74	12.36
B	2.78	3.67	3.86	4.54	8.72	8.55	9.18	10.15	13.32	12.39
UCL	8.11	8.11	8.11	8.11	8.11	8.11	8.11	8.11	8.11	8.11
LCL	7.46	7.46	7.46	7.46	7.46	7.46	7.46	7.46	7.46	7.46

รูปที่ 10 แผนภูมิควบคุมค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 4



หมายเหตุ :

1. ค่าความต้านทานเฉลี่ยของชิ้นทดสอบส่วนมากอยู่ภายนอกพิกัดควบคุม แสดงว่าระบบการวัดนี้สามารถใช้ประเมินความผันแปรของกระบวนการวัดได้
2. ค่าความต่างของความต้านทานเฉลี่ยของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นที่วัดค่าโดยพนักงานวัด A และ B มีค่าไม่เกินค่าความต่างของพิกัดควบคุม แสดงว่าผลการวัดที่มีความผันแปรสาเหตุจากพนักงานวัดนี้ใช้ได้

ตารางที่ 9 แบบฟอร์มศึกษา GR&R (วิธี $\bar{X}$-R) ของ Scart connector 5

ชื่อตัวอย่าง Scart connector 5. สมบัติที่ศึกษา Contact resistance (mΩ) ข้อกำหนดเฉพาะ ± 0.6mΩ

อุณหภูมิ (23±2)°C ความชื้น (65± 15)%Rh. วัน/เดือน/ปี 23 กุมภาพันธ์ 2545

Appriser	A				B				Part
ampleNo	X_1	X_2	mean	R	X_1	X_2	mean	R	mean
1	3.00	3.04	3.02	0.04	3.09	2.86	2.98	0.23	3.00
2	3.81	4.12	3.97	0.31	3.81	3.79	3.80	0.02	3.88
3	4.01	4.59	4.30	0.58	4.58	4.39	4.49	0.19	4.39
4	5.15	4.99	5.07	0.16	4.68	4.64	4.66	0.04	4.87
5	8.68	8.93	8.81	0.25	8.54	8.83	8.69	0.29	8.75
6	9.15	9.22	9.19	0.07	8.59	8.63	8.61	0.04	8.90
7	9.62	9.37	9.50	0.25	9.44	9.31	9.38	0.13	9.44
8	10.65	10.53	10.59	0.12	10.23	10.03	10.13	0.20	10.36
9	12.84	13.21	13.03	0.37	12.94	13.43	13.19	0.49	13.11
10	12.49	12.26	12.38	0.23	12.43	12.29	12.36	0.14	12.37
sum	79.4	80.26	79.83	2.38	78.33	78.2	78.27	1.77	R_p=
mean	$\bar{X}_A$ = 7.98		$\bar{R}_A$ = 0.238		$\bar{X}_B$ = 7.83		$\bar{R}_B$ = 0.18		P_{max}-P_{min}=
$\bar{X}_{diff}$ = $\bar{X}_A$ - $\bar{X}_B$ = 0.16			$\bar{X}$ = ($\bar{X}_A$ + $\bar{X}_B$)/2	7.90		$\bar{R}$ = ($\bar{R}_A$ + $\bar{R}_B$)/2		0.21	10.11

การวิเคราะห์ระบบการวัด (%TV)

1. Verification. UCL_R = D_4 x $\bar{R}$ = 0.68	D_4 = 3.27	พิสัยการวัดซ้ำของผลการทดลองทุกค่าเล็กกว่า UCL_R จึงเป็นสาเหตุจาก Common cause of variation. = OK
2. Repeatability (EV) EV = K_1 x $\bar{R}$ = 0.95	K_1 = 4.56	%EV = 100(EV/TV) = 5.77 "
3. Reproducibility (AV) AV = $\sqrt{(\bar{X}_{diff} \times K_2)^2 - EV^2/nr}$ 0.53	K_2 = 3.65	%AV = 100(AV/TV) = 3.23
4. GR&R GR&R = $\sqrt{EV^2 + AV^2}$ = 1.08		P/TV %GR&R = 100(GR&R/TV) = 6.61
5. Part variation (PV) PV = R_p x K_3 = 16.37	K_3 = 1.62	P/T %GR&R =100(GR&R/(USL-LSL))= 30.13 USL-LSL= 6 x SD
6. Total variation (TV) TV = $\sqrt{GR\&R^2 + PV^2}$ 16.41		UCL$\bar{x}$ = $\bar{X}$+$A_2\bar{R}$ = 8.29 LCL$\bar{x}$ = $\bar{X}$-$A_2\bar{R}$ = 7.51 A_2 = 1.88

หมายเหตุ: 1. ผลการทวนสอบค่าพิสัยการวัดซ้ำ R ทุกค่า ไม่เกินพิกัด UCL_R แสดงว่า ข้อมูลทั้งหมดมีสาเหตุความผันแปรแบบธรรมชาติ

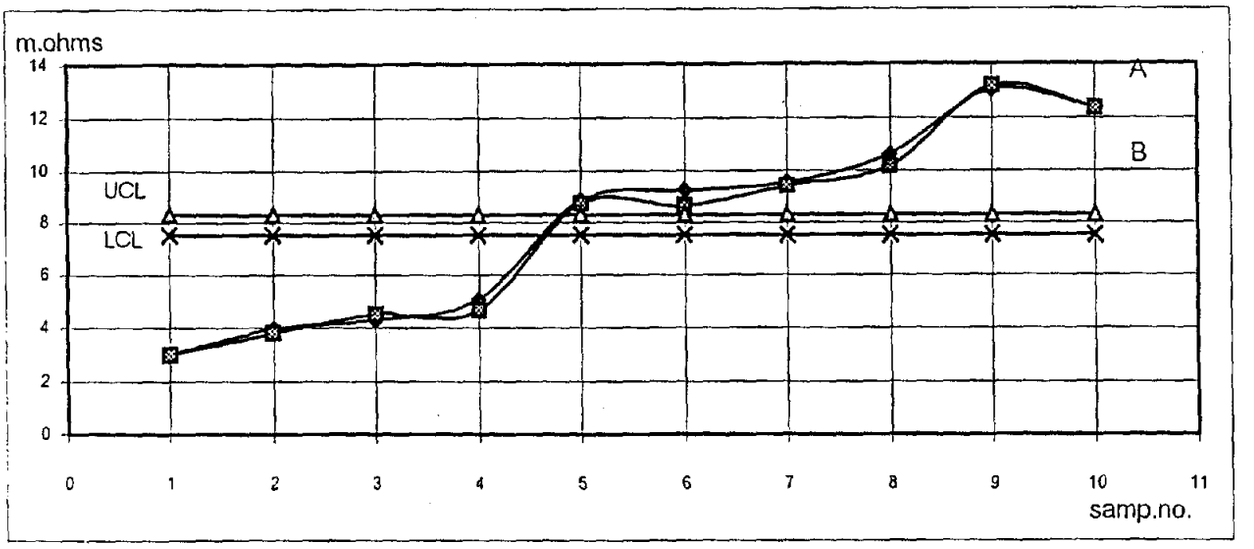
2. ความแม่นยำ %EV, %AV, และ %GR&R ของ P/TV และ P/T มีค่า <30% ยอมรับผลการวัดได้

3. ค่าความแม่นยำ %EV > %AV แสดงว่าพนักงานวัดทั้งสองมีประสิทธิภาพการวัดสูงพอในการวัด

ตารางที่ 10 ข้อมูลค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 5

No. / Appr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	3.02	3.97	4.3	5.07	8.81	9.19	9.5	10.59	13.03	12.38
B	2.98	3.8	4.49	4.66	8.69	8.61	9.38	10.13	13.19	12.36
UCL	8.29	8.29	8.29	8.29	8.29	8.29	8.29	8.29	8.29	8.29
LCL	7.51	7.51	7.51	7.51	7.51	7.51	7.51	7.51	7.51	7.51

รูปที่ 11 แผนภูมิควบคุมค่าความต้านทานเฉลี่ยของ Scart connector 5



หมายเหตุ :

1. ค่าความต้านทานเฉลี่ยของชิ้นทดสอบส่วนมากอยู่ภายนอกพิกัดควบคุม แสดงว่าระบบการวัดนี้สามารถใช้ประเมินความผันแปรของกระบวนการวัดได้
2. ค่าความต่างของความต้านทานเฉลี่ยของชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นที่วัดค่าโดยพนักงานวัด A และ B มีค่าไม่เกินค่าความต่างของพิกัดควบคุม แสดงว่าผลการวัดที่มีความผันแปรสาเหตุจากพนักงานวัดนี้ใช้ได้

บทที่ 5

วิจารณ์ และสรุปผลการทดลอง

1. การทำทวนสอบคุณภาพของข้อมูลค่าพิสัยของทั้ง 5 ตัวอย่าง จากการสุ่มวัดค่าความต้านทาน 2 ครั้งของแต่ละตัวอย่าง ด้วยจำนวนชิ้นงาน 10 ชิ้นโดยพนักงานวัด 2 คน ปรากฏว่า ค่าพิสัยการวัดของทุกตัวอย่าง ไม่เกินค่าพิกัดควบคุมบนของพิสัย UCL_R แสดงว่าข้อมูลทั้งหมดมีความผันแปรเป็นไปตามสาเหตุธรรมชาติ สามารถใช้วิเคราะห์ความแม่นยำต่อไปได้

2. ในแผนภูมิควบคุมค่าเฉลี่ย $\bar{X}$ พบว่า มีจำนวนค่าเฉลี่ย $\bar{X}$ ออกนอกพิกัดควบคุมข้อนข้างมาก แสดงว่าระบบการวัดนี้สามารถประเมินความผันแปรของกระบวนการได้

3. การทดลองหาค่าความแม่นยำของระบบการวัดได้ค่าความแม่นยำต่อความผันแปรของกระบวนการ (P/TV) มีค่าไม่เกินเกณฑ์ 10% แสดงว่า ระบบการวัดนี้มีความสามารถดีในการวัดเพื่อแยกแยะความแตกต่างของชิ้นงานในกระบวนการ

4. ส่วนความแม่นยำต่อความคลาดเคลื่อนอนุโลม (P/T) มีค่าไม่เกิน เกณฑ์ 30% แสดงว่าระบบการวัดนี้ยังสามารถแยกความแตกต่างของชิ้นงานในระบบได้ต่อการวัดเพื่อแยกแยะงานดี/เสีย ตามความคลาดเคลื่อนโดยอนุโลม (tolerance) ของระบบที่กำหนดไว้

5. ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์นี้ยังสามารถทำการศึกษาความสามารถของระบบการวัดในการตรวจจับความผันแปรของสิ่งตัวอย่าง ในรูปของ signal to noise ratio.ได้ในโอกาสต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนใคร่ขอขอบคุณคณะกรรมการฯ ผู้อำนวยการกองกองฟิสิกส์และวิศวกรรม หัวหน้างานกลุ่มฟิสิกส์และวิศวกรรม1. ที่กรุณาสละเวลาอ่าน และ ให้การสนับสนุนในการเขียนเรื่องให้สำเร็จลุล่วง

บรรณานุกรม

1. กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด (MSA). กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542
2. กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2542
3. Amitava Mitra. **Fundamental of Quality Control and Improvement.** Newyork : Maccmillan Publishing Company, 1993
4. **Contact resistance IEC 512-2.** Switzerland : International Electrotechnical Commission, 1985

ภาคผนวก

ตารางที่ 11. แฟกเตอร์ปรับค่าแบบไม่เอนเอียงในการประมาณค่า σ

ขนาดกลุ่มย่อย	d_2	c_2	c_4	ขนาดกลุ่มย่อย	d_2	c_2	c_4
2	1.128	0.5642	.7979	21	3.778	0.9638	.9876
3	1.693	0.7236	.8862	22	3.819	0.9655	.9882
4	2.059	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	.9594	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				

* *คัดจาก Wheeler (1988)*

แฟกเตอร์ปรับค่า d_2, c_2, c_4 ข้างบนนี้ ใช้สำหรับปรับค่าเพื่อไม่ให้เกิดความเอนเอียงสำหรับการประมาณค่า σ โดยใช้ตัวสถิติพิสัย รากที่สองของความเบี่ยงเบนกำลังสองโดยเฉลี่ย (RMS) และความเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยลำดับ

ตารางที่ 12. ค่าคงที่สำหรับแผนภูมิควบคุมแบบผันแปร

ขนาดกลุ่มย่อย	แผนภูมิ $\bar{X}$ - R			แผนภูมิ $\bar{X}$ - S		
n	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
สูตรคำนวน	$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$ $CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$ $LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$ $UCL_{\bar{R}} = D_4\bar{R}$ $CL_{\bar{R}} = \bar{R}$ $LCL_{\bar{R}} = D_3\bar{R}$			$UCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} + A_3\bar{S}$ $CL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}}$ $LCL_{\bar{X}} = \bar{\bar{X}} - A_3\bar{S}$ $UCL_S = B_4\bar{S}$ $CL_S = \bar{S}$ $LCL_S = B_3\bar{S}$		

ตารางที่ 13. ค่า d_2^* สำหรับการประมาณค่า σ โดย $\bar{R}$

k = จำนวนกลุ่มย่อยที่ใช้คำนวณ $\bar{R}$ ν = องศาความอิสระของ $\bar{R}$

n = ขนาดของกลุ่มย่อย d_2 = พิกัดของ d_2^*

d_2^* = ตัวปรับค่าความเอนเอียงสำหรับ $\bar{R}$

Δν = ส่วนเพิ่มขององศาความอิสระต่อกลุ่มย่อยที่เพิ่มขึ้น

	n = 2		n = 3		n = 4		n = 5		n = 6	
k	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	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	0.159	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

	n = 7		n = 8		n = 9		n = 10		n = 11	
k	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	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
Δν	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	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	d_2^*	ν	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
Δν	8.77		9.39		9.90		10.57		11.11	
d_2		3.258		3.336		3.407		3.472		3.532