บทที่ 6

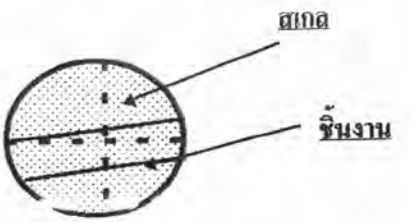
การวิเคราะห์ผลของระบบการวัดหลังการปรับปรุง

6.1 กล้องไมโครสโคป (MICROSCOPE)

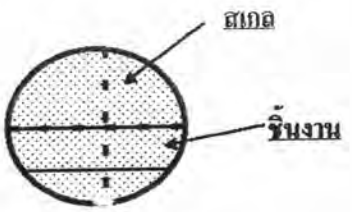
จากปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด สามารถนำมาปรับปรุงระบบการวัดได้ดังต่อไปนี้

6.1.1การปรับปรุงวิธีการวัด

1.ในขณะทำการวัดชิ้นงานโดยมองผ่านเลนส์ eye's piece พนักงานวัดจะต้องปรับสเกลของเลนส์eye's piece โดยการหมุนที่ตัวเลนส์ เพื่อให้สเกลได้อยู่ในแนวเดียวกันกับแนวชิ้นงาน(ดังภาพ)เพื่อจะได้อ่านสเกลได้ตรงกับความเป็นจริงมากที่สุด

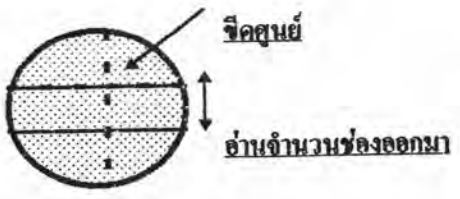


ก่อนจะทำการวัด



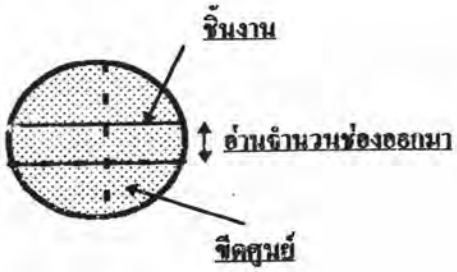
ขณะจะทำการวัด

2.ในการนำสเกลมาทาบบนชิ้นงาน เพื่อจะทำการวัด โดยวิธีที่สะดวกต่อการวัด ควรจะให้สเกลที่ขีดศูนย์ อยู่ในแนวของชิ้นงาน อาจจะเป็นด้านบนหรือด้านล่างก็ได้ แล้วจึงอ่านจำนวนช่องสเกลออกมา (ดังภาพ)



สเกลขีดศูนย์อยู่ด้านบน

หรือ

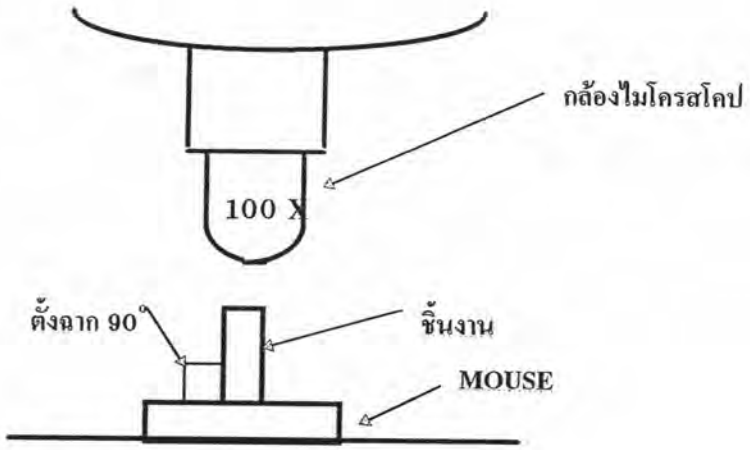


สเกลขีดศูนย์อยู่ด้านล่าง

3.ในการนำสเกลมาทาบบนชิ้นงาน เพื่อจะทำการวัด จะต้องไม่ให้เกิดช่องว่างขึ้นกล่าวคือ สเกลขีดศูนย์จะต้องทับพอดีกับแนวของชิ้นงาน อาจจะเป็นด้านบนหรือด้านล่างก็ได้ แล้วจึงทำการอ่านจำนวนช่องของสเกลออกมา (ดังรูปที่ และ)

4.การปรับระยะโฟกัสขึ้นอยู่กับสายตาของพนักงานวัดแต่ละคน แต่ควรจะได้ภาพที่ออกมาชัดเจนที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพราะจะทำให้อ่านจำนวนช่องสเกลได้ง่าย

5.การวางชิ้นงานที่จะทำการทดลองจะต้องวางให้ตรง,ให้ตั้งฉากกับ MOUSE เสมอ



6.ปรับแสงที่ผ่านเลนส์ eye's piece ให้พอดีกับสายตาคือ ไม่สว่างจนเกินไป หรือ มืดจนเกินไป

6.1.2การปรับปรุงเครื่องมือวัด

1.ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัด

2.ควบคุมสภาวะแวดล้อมในบริเวณที่วางเครื่องมือวัด

ชื่อเครื่องมือวัด กล้องไมโครสโคป (หลังการปรับปรุง ครั้งที่ 1)

ส่วนงาน : QUALITY พนักงานวัดคนที่ A:

ฝ่าย : QAE พนักงานวัดคนที่ B:

แผนก : IQC พนักงานวัดคนที่ C:

วันที่เก็บข้อมูล : 25/5/96 บันทึกโดย: สมภาพ

หน่วย: มิลลิอินช์ (milli-inch)

พนักงานวัดคนที่ / การวัดซ้ำครั้งที่	หมายเลขชิ้นงาน										ค่าเฉลี่ย (Average)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A 1	60.630	59.055	59.843	60.630	59.055	59.843	59.843	59.843	60.630	59.843		
2	60.630	59.055	59.843	59.843	59.055	59.843	59.843	59.843	59.843	59.055		
ค่าเฉลี่ย(Average)	60.630	59.055	59.843	60.237	59.055	59.843	59.843	59.843	60.237	59.449	$\bar{X}_a$ =	59.803
ผลต่าง (Range)	0.000	0.000	0.000	0.787	0.000	0.000	0.000	0.000	0.787	0.788	$\bar{R}_a$ =	0.2362
B 1	60.630	59.055	59.843	59.843	59.055	59.843	59.843	59.843	59.843	59.055		
2	60.630	59.055	59.843	60.630	59.055	60.630	59.843	60.630	60.630	59.055		
ค่าเฉลี่ย(Average)	60.630	59.055	59.843	60.237	59.055	60.237	59.843	60.237	60.237	59.055	$\bar{X}_b$ =	59.843
ผลต่าง (Range)	0.000	0.000	0.000	0.787	0.000	0.787	0.000	0.787	0.787	0.000	$\bar{R}_b$ =	0.3148
C 1	60.630	59.055	59.843	60.630	59.843	60.630	60.630	59.843	59.843	59.843		
2	60.630	59.055	59.843	60.630	59.843	60.630	60.630	59.843	60.630	59.055		
ค่าเฉลี่ย(Average)	60.630	59.055	59.843	60.630	59.843	60.630	60.630	59.843	60.237	59.449	$\bar{X}_c$ =	60.079
ผลต่าง (Range)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.787	0.788	$\bar{R}_c$ =	0.1575
Part Average ($\bar{X}_p$)	60.630	59.055	59.843	60.368	59.318	60.237	60.105	59.974	60.237	59.318	$\bar{\bar{X}}$ =	59.908
											$\bar{R}_p$ =	1.5750

$\bar{R} = (\bar{R}a+\bar{R}b+\bar{R}c)/3$	0.2362
$\bar{X}_{diff} = (\bar{X}i - \bar{X}j)$	0.2756

$\bar{X}i = \bar{X}_{max}$

$\bar{X}j = \bar{X}_{min}$

ตารางที่ 6.1 แสดงข้อมูลการวัดด้วยกล้องไมโครสโคป(1)

หมายเหตุ การกำหนดวิธีการควบคุมความแปรปรวนร่วม(Covariance) ของชิ้นงานในการทดลอง

1) กำหนดชิ้นงาน 10 ชิ้น ที่ผ่านการตรวจสอบทางด้านคุณภาพแล้ว โดยจะใช้ชิ้นงานเดิมไปตลอดช่วงการศึกษาวิจัย โดยได้ทำการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานทั้ง 10 ชิ้น ได้ดังนี้

$$\sigma_{\text{ชิ้นงาน}} = R_p / d^*_2$$
$$= 0.495$$

โดยทฤษฎี GRR กำหนดไว้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจะมีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระ(ไม่ขึ้นกับค่าความเบี่ยงเบนอื่นๆ) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลตามทฤษฎี GRR จะตั้งสมมติฐานไว้ว่า ความเบี่ยงเบนในการวัดจะเกิดจาก เครื่องมือวัดและพนักงานวัดเท่านั้น

2) กำหนดกล้องไมโครสโคป ที่จะทำการวัดโดยใช้ กล้องไมโครสโคปตัวเดิมตลอดช่วงการศึกษาวิจัย

3) กำหนดพนักงานที่ทำการวัดกลุ่มเดียว โดยคัดเลือกพนักงานวัดทั้งหมด 3 คน ซึ่งเป็นพนักงานวัดที่ใช้เครื่องมือนี้เป็นประจำอยู่แล้ว

4) กำหนดเวลาที่จะทำการศึกษา/เก็บข้อมูลให้คงที่(กะเช้า,บ่าย,ดึก)

5) ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่ทำการศึกษาวิจัย เช่น อุณหภูมิ,ความชื้น,วิธีการทำงาน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด จะมีเพียง 2 ประการหลักๆ ดังนี้

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก พนักงานวัด(วิธีการใช้เครื่องมือ,ความรู้ความสามารถ)

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก เครื่องมือวัด

ตารางที่ 6.2 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์การวัดด้วยกล้องไมโครสโคป(1)

หมายเลขชิ้นงาน: **ชื่อเครื่องมือวัด:** กล้องไมโครสโคป **วันที่วิเคราะห์:**

ลักษณะการวัด: ความหนา **หมายเลขเครื่องมือ:** **วิเคราะห์โดย:** สมภพ

Specification: 57.87 + 3 milli-inch

จากข้อมูลในตารางบันทึกข้อมูล

$\bar{R} = 0.2362$ $\bar{X}_{diff} = 0.2756$ $\bar{R}_p = 1.5750$

การวิเคราะห์ระบบการวัด			เปอร์เซนต์การผันแปรรวม(%TV)
1.Repeatability (EV)			
$EV = \bar{R} * K_1$	การวัดซ้ำ	K_1	6 %EV= 100(EV/TV)
$= 0.2362 \times 4.56$	2	4.56	= 100(1.077/2.8269)
$= 1.077$	3	3.05	= 38.10 %
2.Reproducibility (AV)			
$AV = \sqrt{[(\bar{X}_{diff} * K_2)^2 - (EV^2 / nr)]}$			7 %AV= 100(AV/TV)
$= \sqrt{(0.2756 \times 2.7)^2 - (1.077)^2 / 10x2}$			= 100(0.5671/2.8269)
$= 0.5671$			= 20.06 %
จำนวนพนักงานวัด	2	3	
K_2	3.65	2.70	8 %R&R= 100(R&R/TV)
3.Repeatability & Reproducibility (R&R)			=100(1.217/2.8269)
$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			= 43.05 %
$= \sqrt{1.077^2 + 0.5671^2}$			
$= 1.217$	จน.ชิ้นงาน	K_3	
4.Part Variation (PV)	2	3.65	9 %PV = 100(PV/TV)
$PV = \bar{R}_p * K_3$	3	2.70	=100(2.5515/2.8269)
$= 1.575 \times 1.62$	4	2.30	= 90.26 %
$= 2.5515$	5	2.08	
5.Total Variation (TV)	6	1.93	
$TV = \sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2}$	7	1.82	
$= \sqrt{1.217^2 + 2.5515^2}$	8	1.74	
$= 2.8269$	9	1.67	
	10	1.62	

ชื่อเครื่องมือวัด **กล้องไมโครสโคป (หลังการปรับปรุง ครั้งที่2)**

ส่วนงาน QUALITY พนักงานวัดคนที่ A:

ฝ่าย QAE พนักงานวัดคนที่ B:

แผนก IQC พนักงานวัดคนที่ C:

วันที่เก็บข้อมูล บันทึกโดย: สมภพ

หน่วย: มิลลิอินช์ (milli-inch)

พนักงานวัดคนที่ / การวัดซ้ำครั้งที่	หมายเลขชิ้นงาน										ค่าเฉลี่ย (Average)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A 1	60.630	59.055	59.843	59.843	59.843	60.630	59.843	60.630	60.630	59.843		
2	60.630	59.055	59.843	60.630	59.843	60.630	59.843	59.843	59.843	59.843		
ค่าเฉลี่ย(Average)	60.630	59.055	59.843	60.237	59.843	60.630	59.843	60.237	60.237	59.843	$\bar{X}_a$ =	60.040
ผลต่าง (Range)	0.000	0.000	0.000	0.787	0.000	0.000	0.000	0.787	0.787	0.000	$\bar{R}_a$ =	0.2361
B 1	60.630	59.055	59.843	60.630	60.630	59.843	59.843	59.843	59.843	59.843		
2	60.630	59.055	59.843	59.843	59.843	59.843	59.843	59.843	59.843	59.843		
ค่าเฉลี่ย(Average)	60.630	59.055	59.843	60.237	60.237	59.843	59.843	59.843	59.843	59.843	$\bar{X}_b$ =	59.922
ผลต่าง (Range)	0.000	0.000	0.000	0.787	0.787	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	$\bar{R}_b$ =	0.1574
C 1	60.630	59.055	59.843	59.843	59.843	60.630	59.843	59.843	59.843	59.843		
2	60.630	59.055	59.843	59.843	59.843	60.630	59.843	59.843	60.630	59.843		
ค่าเฉลี่ย(Average)	60.630	59.055	59.843	59.843	59.843	60.630	59.843	59.843	60.237	59.843	$\bar{X}_c$ =	59.961
ผลต่าง (Range)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.787	0.000	$\bar{R}_c$ =	0.0787
Part Average ($\bar{X}_p$)	60.630	59.055	59.843	60.105	59.974	60.368	59.843	59.974	60.105	59.843	$\bar{\bar{X}}$ =	59.974
											$\bar{R}_p$ =	1.5750

$\bar{R} = (\bar{Ra}+\bar{Rb}+\bar{Rc})/3$	0.1574
$\bar{X}_{diff} = (\bar{X}i - \bar{X}j)$	0.1180

$\bar{X}i = \bar{X}_{max}$

$\bar{X}j = \bar{X}_{min}$

ตารางที่ 6.3 แสดงข้อมูลการวัดด้วยกล้องไมโครสโคป(2)

หมายเหตุ การกำหนดวิธีการควบคุมความแปรปรวนร่วม(Covariance) ของชิ้นงานในการทดลอง

1) กำหนดชิ้นงาน 10 ชิ้น ที่ผ่านการตรวจสอบทางด้านคุณภาพแล้ว โดยจะใช้ชิ้นงานเดิมไปตลอดช่วงการศึกษาวิจัย โดยได้ทำการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานทั้ง 10 ชิ้น ได้ดังนี้

$$\sigma_{\text{ชิ้นงาน}} = R_p / d_2^* = 0.495$$

โดยทฤษฎี GRR กำหนดไว้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจะมีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระ(ไม่ขึ้นกับค่าความเบี่ยงเบนอื่นๆ) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลตามทฤษฎี GRR จะตั้งสมมติฐานไว้ว่า ความเบี่ยงเบนในการวัดจะเกิดจาก เครื่องมือวัดและพนักงานวัดเท่านั้น

2) กำหนดกล้องไมโครสโคป ที่จะทำการวัดโดยใช้ กล้องไมโครสโคปตัวเดิมตลอดช่วงการศึกษาวิจัย

3) กำหนดพนักงานที่ทำการวัดกลุ่มเดียว โดยคัดเลือกพนักงานวัดทั้งหมด 3 คน ซึ่งเป็นพนักงานวัดที่ใช้เครื่องมือนี้เป็นประจำอยู่แล้ว

4) กำหนดเวลาที่จะทำการศึกษา/เก็บข้อมูลให้คงที่(กะเช้า,บ่าย,ดึก)

5) ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่ทำการศึกษาวิจัย เช่น อุณหภูมิ,ความชื้น,วิธีการทำงาน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด จะมีเพียง 2 ประการหลักๆ ดังนี้

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก พนักงานวัด(วิธีการใช้เครื่องมือ,ความรู้ความสามารถ)

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก เครื่องมือวัด

ตารางที่ 6.4 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์การวัดด้วยกล้องไมโครสโคป(2)

หมายเลขชิ้นงาน: **ชื่อเครื่องมือวัด:** กล้องไมโครสโคป **วันที่วิเคราะห์:**

ลักษณะการวัด: ความหนา **หมายเลขเครื่องมือ:** **วิเคราะห์โดย:** สมภพ

Specification: 57.87 + 3 milli-inch

จากข้อมูลในตารางบันทึกข้อมูล

$\bar{R}$ = 0.1574 $\bar{X}_{diff}$ = 0.1180 $\bar{R}_p$ = 1.5750

การวิเคราะห์ระบบการวัด			เปอร์เซนต์การผันแปรรวม(%TV)
1.Repeatability (EV)			
$EV = \bar{R} * K_1$	การวัดซ้ำ	K_1	6 %EV= 100(EV/TV)
= 0.1574 x 4.56	2	4.56	= 100(0.718/2.6648)
= 0.718	3	3.05	= 26.93 %
2.Reproducibility (AV)			
$AV = \sqrt{[(\bar{X}_{diff} * K_2)^2 - (EV^2/nr)]}$			7 %AV= 100(AV/TV)
$= \sqrt{(0.1180 \times 2.7)^2 - (0.718)^2 / 10x2}$			= 100(0.2754/2.6648)
0.2754			= 10.33 %
จำนวนพนักงานวัด	2	3	
K_2	3.65	2.70	8 %R&R= 100(R&R/TV)
3.Repeatability & Reproducibility(R&R)			= 100(0.769/2.6648)
$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			= 28.85 %
$= \sqrt{0.718^2 + 0.2754^2}$			
= 0.769	จน.ชิ้นงาน	K_3	
4.Part Variation (PV)	2	3.65	9 %PV = 100(PV/TV)
$PV = \bar{R}_p * K_3$	3	2.70	= 100(2.5515/2.6648)
= 1.575 x 1.62	4	2.30	= 95.75 %
= 2.5515	5	2.08	
5.Total Variation (TV)	6	1.93	
$TV = \sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2}$	7	1.82	
$= \sqrt{0.769^2 + 2.5515^2}$	8	1.74	
= 2.6648	9	1.67	
	10	1.62	

ชื่อเครื่องมือวัด **กล้องไมโครสโคป (หลังการปรับปรุง ครั้งที่ 3)**

ส่วนงาน : QUALITY พนักงานวัดคนที่ A:

ฝ่าย : QAE พนักงานวัดคนที่ B:

แผนก : IQC พนักงานวัดคนที่ C:

วันที่เก็บข้อมูล บันทึกโดย: สมภพ

หน่วย: มิลลิอินช์ (milli-inch)

พนักงานวัดคนที่ / การวัดซ้ำครั้งที่	หมายเลขชิ้นงาน										ค่าเฉลี่ย (Average)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A 1	60.630	59.055	59.843	59.843	59.843	60.630	59.843	59.843	60.630	59.843		
2	60.630	59.055	59.843	59.843	59.843	60.630	59.843	59.843	59.843	59.843		
ค่าเฉลี่ย(Average)	60.630	59.055	59.843	59.843	59.843	60.630	59.843	59.843	60.237	59.843	$\bar{X}_a$ =	59.961
ผลต่าง (Range)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.787	0.000	$\bar{R}_a$ =	0.0787
B 1	60.630	59.055	59.843	60.630	59.843	59.843	59.843	59.843	59.843	59.843		
2	60.630	59.055	59.843	59.843	59.843	59.843	59.843	59.843	59.843	59.843		
ค่าเฉลี่ย(Average)	60.630	59.055	59.843	60.237	59.843	59.843	59.843	59.843	59.843	59.843	$\bar{X}_b$ =	59.882
ผลต่าง (Range)	0.000	0.000	0.000	0.787	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	$\bar{R}_b$ =	0.0787
C 1	60.630	59.055	59.843	59.843	59.843	60.630	59.843	59.843	59.843	59.843		
2	60.630	59.055	59.843	59.843	59.843	59.843	59.843	59.843	60.630	59.843		
ค่าเฉลี่ย(Average)	60.630	59.055	59.843	59.843	59.843	60.237	59.843	59.843	60.237	59.843	$\bar{X}_c$ =	59.922
ผลต่าง (Range)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.787	0.000	0.000	0.787	0.000	$\bar{R}_c$ =	0.1574
Part Average ($\bar{X}_p$)	60.630	59.055	59.843	59.974	59.843	60.237	59.843	59.843	60.105	59.843	$\bar{\bar{X}}$ =	59.922
											$\bar{R}_p$ =	1.5750

$\bar{R} = (\bar{R}a + \bar{R}b + \bar{R}c)/3$	0.1049
$\bar{X}_{diff} = (\bar{X}i - \bar{X}j)$	0.0787

$\bar{X}i = \bar{X}_{max}$

$\bar{X}j = \bar{X}_{min}$

ตารางที่ 6.5 แสดงข้อมูลการวัดด้วยกล้องไมโครสโคป (3)

หมายเหตุ การกำหนดวิธีการควบคุมความแปรปรวนร่วม(Covariance) ของชิ้นงานในการทดลอง

1) กำหนดชิ้นงาน 10 ชิ้น ที่ผ่านการตรวจสอบทางด้านคุณภาพแล้ว โดยจะใช้ชิ้นงานเดิมไปตลอดช่วงการศึกษาวิจัย โดยได้ทำการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานทั้ง 10 ชิ้น ได้ดังนี้

$$\sigma_{\text{ชิ้นงาน}} = R_p / d_2^* = 0.495$$

โดยทฤษฎี GRR กำหนดไว้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจะมีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระ(ไม่ขึ้นกับค่าความเบี่ยงเบนอื่นๆ) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลตามทฤษฎี GRR จะตั้งสมมติฐานไว้ว่า ความเบี่ยงเบนในการวัดจะเกิดจาก เครื่องมือวัดและพนักงานวัดเท่านั้น

2) กำหนดกล้องไมโครสโคป ที่จะทำการวัดโดยใช้ กล้องไมโครสโคปตัวเดิมตลอดช่วงการศึกษาวิจัย

3) กำหนดพนักงานที่ทำการวัดกลุ่มเดียว โดยคัดเลือกพนักงานวัดทั้งหมด 3 คน ซึ่งเป็นพนักงานวัดที่ใช้เครื่องมือนี้เป็นประจำอยู่แล้ว

4) กำหนดเวลาที่จะทำการศึกษา/เก็บข้อมูลให้คงที่(กะเช้า,บ่าย,ดึก)

5) ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่ทำการศึกษาวิจัย เช่น อุณหภูมิ,ความชื้น,วิธีการทำงาน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด จะมีเพียง 2 ประการหลักๆ ดังนี้

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก พนักงานวัด(วิธีการใช้เครื่องมือ,ความรู้ความสามารถ)

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก เครื่องมือวัด

ตารางที่ 6.6 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์การวัดด้วยกล้องไมโครสโคป(3)

หมายเลขชิ้นงาน: **ชื่อเครื่องมือวัด:** กล้องไมโครสโคป **วันที่วิเคราะห์:**

ลักษณะการวัด: ความหนา **หมายเลขเครื่องมือ:** **วิเคราะห์โดย:** สมภพ

Specification: 57.87 + 3 milli-inch

จากข้อมูลในตารางบันทึกข้อมูล

$\bar{R}$ = 0.1049 $\bar{X}_{diff}$ = 0.0787 $\bar{R}_p$ = 1.5750

การวิเคราะห์ระบบการวัด			เปอร์เซนต์การผันแปรรวม(%TV)
1.Repeatability (EV)			
$EV = \bar{R} * K_1$	การวัดซ้ำ	K_1	6 %EV= 100(EV/TV)
= 0.1049 x 4.56	2	4.56	= 100(0.478/2.6025)
= 0.478	3	3.05	= 18.39 %
2.Reproducibility (AV)			
$AV = \sqrt{[(\bar{X}_{diff} * K_2)^2 - (EV^2/nr)]}$			7 %AV= 100(AV/TV)
$= \sqrt{(0.0787 \times 2.7)^2 - (0.478)^2 / 10x2}$			= 100(0.1836/2.6025)
= 0.1836			= 7.05 %
จำนวนพนักงานวัด	2	3	
K_2	3.65	2.70	8 %R&R= 100(R&R/TV)
3.Repeatability & Reproducibility(R&R)			= 100(0.513/2.6025)
$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			= 19.69 %
$= \sqrt{0.478^2 + 0.1836^2}$			
= 0.513	จน.ชิ้นงาน	K_3	
4.Part Variation (PV)	2	3.65	9 %PV = 100(PV/TV)
$PV = \bar{R}_p * K_3$	3	2.70	= 100(2.5515/2.6025)
= 1.575 x 1.62	4	2.30	= 98.04 %
= 2.5515	5	2.08	
5.Total Variation (TV)	6	1.93	
$TV = \sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2}$	7	1.62	
$= \sqrt{0.513^2 + 2.5515^2}$	8	1.74	
= 2.60246	9	1.67	
	10	1.62	

6.1.3 **การวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่าง %R&R กับ ความสามารถกระบวนการ ภายหลังการปรับปรุง**

กล้องไมโครสโคป (MICROSCOPE)

การปรับปรุงครั้งที่ 1

$\sigma_{OBSERVE} = 0.59$

$Cp_{OBSERVE} = \frac{Tolerance}{6x\sigma_{OBSERVE}} = \frac{6}{6x0.59} = 1.69$

$\%R\&R = 45.53\%$

$Cp_{ACTUAL} = \frac{1}{6\sqrt{\left[\frac{1}{6Cp_{OBSRRVE}}\right]^2 - \left[\frac{\%R\&R}{5.15x100}\right]^2}}$

$= 3.81$

$\sigma_{ACTUAL} = \frac{Tolerance}{6xCp_{ACTUAL}}$

$= \frac{6}{6x3.81} = 0.26$

$\sigma_{R\&R} = \sqrt{\sigma^2_{OBSERVE} - \sigma^2_{ACTUAL}} = 0.53$

การปรับปรุงครั้งที่ 2

$\sigma_{OBSERVE}$	=	0.46	$Cp_{OBSERVE}$	=	2.17
%R&R	=	29.23%	Cp_{ACTUAL}	=	3.23
σ_{ACTUAL}	=	0.309	$\sigma_{R\&R}$	=	0.34

การปรับปรุงครั้งที่ 3

$\sigma_{OBSERVE}$	=	0.43	$Cp_{OBSERVE}$	=	2.33
%R&R	=	20.02%	Cp_{ACTUAL}	=	2.77
σ_{ACTUAL}	=	0.36	$\sigma_{R\&R}$	=	0.24

6.2เครื่องวัดความหนา (THICK-CHECK)

จากปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด สามารถนำมาปรับปรุงระบบการวัดได้ดังต่อไปนี้

6.2.1การปรับปรุงเครื่องมือวัด

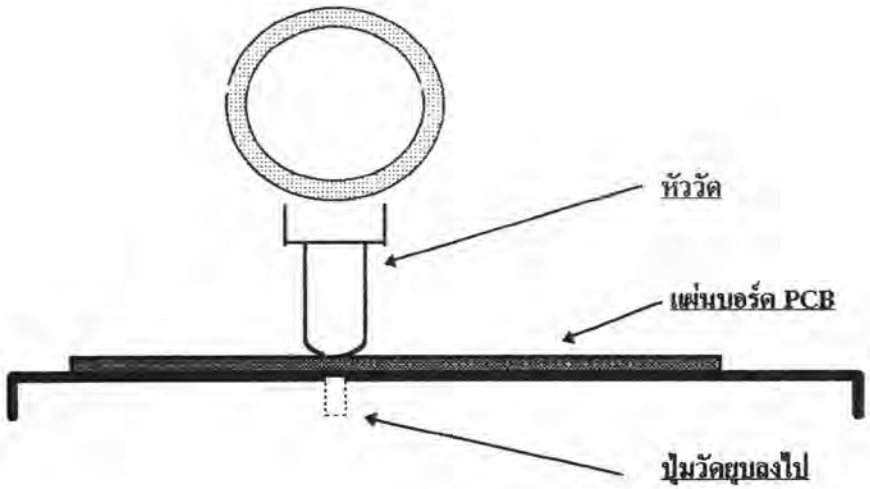
1.ปรับปรุงและแก้ไข ระบบไฟฟ้าภายในหน้าปัดของเครื่องวัด ให้สามารถ SET ZERO ได้และต้องได้ค่า 0.0000 ทุกครั้ง

2.ควบคุมสภาวะแวดล้อมในบริเวณที่วางเครื่องมือวัด

3.ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัด

6.2.2การปรับปรุงวิธีการวัด

1.ควรจะใช้แผ่นบอร์ด PCB ที่มีขนาดใหญ่เท่านั้นที่จะนำมาวัดด้วยเครื่องนี้ เพราะบอร์ดจะมีน้ำหนักกดลงไปที่ปุ่มวัดให้จมลงได้ จึงทำให้ไม่เกิดการกระดก และ จะวัดค่าออกมาได้ถูกต้อง



2.ถ้าบอร์ดมีลักษณะโก่งงอ ควรจะนำบอร์ดนั้นไปทำการดัดหรือปรับให้ตรงเสียก่อน แล้วจึงนำมาวัด หรือ ให้เลือกวัดตรงบริเวณที่อยู่ตรงจุดกึ่งกลางของบอร์ดเท่านั้น เพราะบริเวณนี้จะให้ค่าที่เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

3.ในขณะทำการวัดควรใช้ มือกดเบาๆ เพื่อให้บอร์ดแนบสนิทกับแท่นรองและไม่เลื่อนไปมา เพราะจะทำให้การวัดเป็นไปอย่างถูกต้อง และโอกาสที่เกิดความผิดพลาดมีน้อย

ชื่อเครื่องมือวัด **เครื่องวัดความหนาบอร์ดที่ผ่านการชุบทองแดง (หลังการปรับปรุง ครั้งที่ 1)**

ส่วนงาน : QUALITY พนักงานวัดคนที่ A:

ฝ่าย : QC พนักงานวัดคนที่ B:

แผนก : IPQC พนักงานวัดคนที่ C:

วันที่เก็บข้อมูล :3/7/96 บันทึกโดย: สมภพ

หน่วย: มิลลิเมตร (millimeter)

พนักงานวัดคนที่ / การวัดซ้ำครั้งที่	หมายเลขชิ้นงาน										ค่าเฉลี่ย (Average)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A 1	1.647	1.606	1.635	1.621	1.646	1.634	1.664	1.625	1.627	1.607		
2	1.647	1.604	1.635	1.621	1.646	1.636	1.662	1.625	1.626	1.608		
ค่าเฉลี่ย(Average)	1.647	1.605	1.635	1.621	1.646	1.635	1.663	1.625	1.627	1.608	$\bar{X}_a$ =	1.6311
ผลต่าง (Range)	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.001	0.001	$\bar{R}_a$ =	0.0008
B 1	1.646	1.601	1.634	1.622	1.647	1.634	1.661	1.622	1.623	1.613		
2	1.647	1.603	1.633	1.623	1.646	1.633	1.661	1.622	1.623	1.614		
ค่าเฉลี่ย(Average)	1.647	1.602	1.634	1.623	1.647	1.634	1.661	1.622	1.623	1.614	$\bar{X}_b$ =	1.6304
ผลต่าง (Range)	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	$\bar{R}_b$ =	0.0008
C 1	1.646	1.601	1.633	1.620	1.649	1.635	1.661	1.622	1.624	1.613		
2	1.645	1.602	1.632	1.621	1.650	1.637	1.662	1.622	1.623	1.613		
ค่าเฉลี่ย(Average)	1.646	1.602	1.633	1.621	1.650	1.636	1.662	1.622	1.624	1.613	$\bar{X}_c$ =	1.6306
ผลต่าง (Range)	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.000	0.001	0.000	$\bar{R}_c$ =	0.0009
Part Average ($\bar{X}_p$)	1.646	1.603	1.634	1.621	1.647	1.635	1.662	1.623	1.624	1.611	$\bar{\bar{X}}$ =	1.6307
											$\bar{R}_p$ =	0.0590

$\bar{R} = (\bar{R}a+\bar{R}b+\bar{R}c)/3$	0.0008
$\bar{X}_{diff} = (\bar{X}i - \bar{X}j)$	0.0007

$\bar{X}i = \bar{X}_{max}$

$\bar{X}j = \bar{X}_{min}$

ตารางที่ 6.7 แสดงข้อมูลการวัดด้วยเครื่องวัดความหนา(1)

หมายเหตุ การกำหนดวิธีการควบคุมความแปรปรวนร่วม(Covariance) ของชิ้นงานในการทดลอง

1) กำหนดชิ้นงาน 10 ชิ้น ที่ผ่านการตรวจสอบทางด้านคุณภาพแล้ว โดยจะใช้ชิ้นงานเดิมไปตลอดช่วงการศึกษาวิจัย โดยได้ทำการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานทั้ง 10 ชิ้น ได้ดังนี้

$$\sigma_{\text{ชิ้นงาน}} = R_p / d^*_2$$

$$= 0.018$$

โดยทฤษฎี GRR กำหนดไว้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจะมีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระ(ไม่ขึ้นกับค่าความเบี่ยงเบนอื่นๆ) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลตามทฤษฎี GRR จะตั้งสมมติฐานไว้ว่า ความเบี่ยงเบนในการวัดจะเกิดจาก เครื่องมือวัดและพนักงานวัดเท่านั้น

2) กำหนดเครื่องวัดความหนา ที่จะทำการวัดโดยใช้ เครื่องวัดความหนาตัวเดิมตลอดช่วงการศึกษาวิจัย

3) กำหนดพนักงานที่ทำการวัดกลุ่มเดียว โดยคัดเลือกพนักงานวัดทั้งหมด 3 คน ซึ่งเป็นพนักงานวัดที่ใช้เครื่องมือนี้เป็นประจำอยู่แล้ว

4) กำหนดเวลาที่จะทำการศึกษา/เก็บข้อมูลให้คงที่(กะเช้า,บ่าย,ดึก)

5) ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่ทำการศึกษาวิจัย เช่น อุณหภูมิ,ความชื้น,วิธีการทำงาน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด จะมีเพียง 2 ประการหลักๆ ดังนี้

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก พนักงานวัด(วิธีการใช้เครื่องมือ,ความรู้ความสามารถ)

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก เครื่องมือวัด

ตารางที่ 6.8 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์การวัดด้วยเครื่องวัดความหนา(1)

หมายเลขชิ้นงาน: หลายๆ P/N **ชื่อเครื่องมือวัด:** เครื่องวัดความหนา **วันที่วิเคราะห์:**

ลักษณะการวัด: ความหนา **หมายเลขเครื่องมือ:** **วิเคราะห์โดย:** สมภพ

Specification: 1.5748 + 0.2032 millimeter

จากข้อมูลในตารางบันทึกข้อมูล

R = 0.0008 X_{diff} = 0.0007 R_p = 0.0590

การวิเคราะห์ระบบการวัด			เปอร์เซนต์การผันแปรรวม(%TV)
1.Repeatability (EV)			
EV = R * K_1	การวัดซ้ำ	K_1	6 %EV= 100(EV/TV)
= 0.001 x 4.56	2	4.56	= 100(0.004/0.0957)
= 0.004	3	3.05	= 3.97 %
2.Reproducibility (AV)			
AV = $\sqrt{[(X_{diff} * K_2)^2 - (EV^2/nr)]}$			7 %AV= 100(AV/TV)
= $\sqrt{(0.0007 \times 2.7)^2 - (0.004)^2 / 10x2}$			= 100(0.0017/0.0957)
= 0.0017			= 1.76 %
จำนวนพนักงานวัด	2	3	
K_2	3.65	2.70	8 %R&R= 100(R&R/TV)
3.Repeatability & Reproducibility(R&R)			= 100(0.0042/0.0957)
R&R = $\sqrt{EV^2 + AV^2}$			= 4.35 %
= $\sqrt{0.004^2 + 0.0017^2}$			
= 0.0042	จน.ชิ้นงาน	k_3	
4.Part Variation (PV)	2	3.65	9 %PV = 100(PV/TV)
PV = R_p * K_3	3	2.70	= 100(0.0042/0.0957)
= 0.0590 x 1.62	4	2.30	= 99.91 %
= 0.09560	5	2.08	
5.Total Variation (TV)	6	1.93	
TV = $\sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2}$	7	1.82	
= $\sqrt{0.0042^2 + 0.09560^2}$	8	1.74	
= 0.09567	9	1.67	
	10	1.62	

ชื่อเครื่องมือวัด **เครื่องวัดความหนาบอร์ดที่ผ่านการชุบทองแดง (หลังการปรับปรุง ครั้งที่ 2)**

ส่วนงาน : QUALITY พนักงานวัดคนที่ A:

ฝ่าย : QC พนักงานวัดคนที่ B:

แผนก : IPQC พนักงานวัดคนที่ C:

วันที่เก็บข้อมูล : 10/7/96 บันทึกโดย: สมภพ

หน่วย: มิลลิเมตร (millimeter)

พนักงานวัดคนที่ / การวัดซ้ำครั้งที่	หมายเลขชิ้นงาน										ค่าเฉลี่ย (Average)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A 1	1.623	1.537	1.687	1.592	1.635	1.656	1.633	1.613	1.559	1.647		
2	1.623	1.536	1.685	1.593	1.636	1.656	1.632	1.613	1.559	1.646		
ค่าเฉลี่ย(Average)	1.623	1.537	1.686	1.593	1.636	1.656	1.633	1.613	1.559	1.647	$\bar{X}_a$ =	1.6181
ผลต่าง (Range)	0.000	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	$\bar{R}_a$ =	0.0007
B 1	1.619	1.537	1.683	1.589	1.635	1.651	1.631	1.612	1.558	1.644		
2	1.621	1.534	1.685	1.591	1.635	1.650	1.632	1.611	1.556	1.645		
ค่าเฉลี่ย(Average)	1.620	1.536	1.684	1.590	1.635	1.651	1.632	1.612	1.557	1.645	$\bar{X}_b$ =	1.6160
ผลต่าง (Range)	0.002	0.003	0.002	0.002	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	$\bar{R}_b$ =	0.0015
C 1	1.623	1.534	1.685	1.592	1.635	1.655	1.633	1.613	1.559	1.646		
2	1.621	1.535	1.685	1.593	1.636	1.656	1.631	1.611	1.558	1.645		
ค่าเฉลี่ย(Average)	1.622	1.535	1.685	1.593	1.636	1.656	1.632	1.612	1.559	1.646	$\bar{X}_c$ =	1.6173
ผลต่าง (Range)	0.002	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	$\bar{R}_c$ =	0.0012
Part Average ($\bar{X}_p$)	1.622	1.536	1.685	1.592	1.635	1.654	1.632	1.612	1.558	1.646	$\bar{\bar{X}}$ =	1.6171
											$\bar{R}_p$ =	0.1495

$\bar{R} = (\bar{R}a + \bar{R}b + \bar{R}c)/3$	0.0011
$\bar{X}_{diff} = (\bar{X}i - \bar{X}j)$	0.0021

$\bar{X}i = \bar{X}_{max}$

$\bar{X}j = \bar{X}_{min}$

ตารางที่ 6.9 แสดงข้อมูลการวัดด้วยเครื่องวัดความหนา(2)

หมายเหตุ **การกำหนดวิธีการควบคุมความแปรปรวนร่วม(Covariance) ของชิ้นงานในการทดลอง**

1) กำหนดชิ้นงาน 10 ชิ้น ที่ผ่านการตรวจสอบทางด้านคุณภาพแล้ว โดยจะใช้ชิ้นงานเดิมไปตลอดช่วงการศึกษาวิจัย โดยได้ทำการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานทั้ง 10 ชิ้น ได้ดังนี้

$$\sigma_{\text{ชิ้นงาน}} = R_p / d^*_2$$
$$= 0.04$$

โดยทฤษฎี GRR กำหนดไว้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจะมีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระ(ไม่ขึ้นกับค่าความเบี่ยงเบนอื่นๆ) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลตามทฤษฎี GRR จะตั้งสมมติฐานไว้ว่า ความเบี่ยงเบนในการวัดจะเกิดจาก เครื่องมือวัดและพนักงานวัดเท่านั้น

2) กำหนดเครื่องวัดความหนา ที่จะทำการวัดโดยใช้ เครื่องวัดความหนาตัวเดิมตลอดช่วงการศึกษาวิจัย

3) กำหนดพนักงานที่ทำการวัดกลุ่มเดียว โดยคัดเลือกพนักงานวัดทั้งหมด 3 คน ซึ่งเป็นพนักงานวัดที่ใช้เครื่องมือนี้เป็นประจำอยู่แล้ว

4) กำหนดเวลาที่จะทำการศึกษา/เก็บข้อมูลให้คงที่(กะเช้า,บ่าย,ดึก)

5) ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่ทำการศึกษาวิจัย เช่น อุณหภูมิ,ความชื้น,วิธีการทำงาน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด จะมีเพียง 2 ประการหลักๆ ดังนี้

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก พนักงานวัด(วิธีการใช้เครื่องมือ,ความรู้ความสามารถ)

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก เครื่องมือวัด

ตารางที่ 6.10 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์การวัดด้วยเครื่องวัดความหนา(2)

หมายเลขชิ้นงาน: หลายๆ P/N **ชื่อเครื่องมือวัด:** เครื่องวัดความหนา **วันที่วิเคราะห์:**

ลักษณะการวัด: ความหนา **หมายเลขเครื่องมือ:** **วิเคราะห์โดย:** สมภพ

Specification: 1.5748 + 0.127 millimeter

จากข้อมูลในตารางบันทึกข้อมูล

$\bar{R} = 0.0011$ $\bar{X}_{diff} = 0.0021$ $\bar{R}_p = 0.1495$

การวิเคราะห์ระบบการวัด			เปอร์เซนต์การผันแปรรวม(%TV)
1.Repeatability (EV)			
$EV = \bar{R} * K_1$	การวัดซ้ำ	K_1	6 %EV= 100(EV/TV)
= 0.0011 x 4.56	2	4.56	= 100(0.005/0.2423)
= 0.005	3	3.05	= 2.13 %
2.Reproducibility (AV)			
$AV = \sqrt{[(\bar{X}_{diff} * K_2)^2 - (EV^2/nr)]}$			7 %AV= 100(AV/TV)
$= \sqrt{(0.0021 \times 2.7)^2 - (0.005)^2 / 10x2}$			= 100(0.0056/0.2423)
= 0.0056			= 2.29 %
จำนวนพนักงานวัด	2	3	
K_2	3.65	2.70	8 %R&R= 100(R&R/TV)
3.Repeatability & Reproducibility(R&R)			:100(0.008/0.2423)
$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			: 3.13 %
$= \sqrt{0.005^2 + 0.0056^2}$			
= 0.008	จน.ชิ้นงาน	K_3	
4.Part Variation (PV)	2	3.65	9 %PV = 100(PV/TV)
$PV = \bar{R}_p * K_3$	3	2.70	=100(0.24219/0.2423)
= 0.150 x 1.62	4	2.30	= 99.95 %
= 0.24219	5	2.08	
5.Total Variation (TV)	6	1.93	
$TV = \sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2}$	7	1.82	
$= \sqrt{0.008^2 + 0.24219^2}$	8	1.74	
= 0.24231	9	1.67	
	10	1.62	

ชื่อเครื่องมือวัด **เครื่องวัดความหนาบอร์ดที่ผ่านการชุบทองแดง (หลังการปรับปรุง ครั้งที่ 3)**

ส่วนงาน QUALITY พนักงานวัดคนที่ A:

สำ... QC พนักงานวัดคนที่ B:

แผนก IPQC พนักงานวัดคนที่ C:

วันที่เก็บข้อมูล 17/7/96 บันทึกโดย: สมภพ

หน่วย: มิลลิเมตร (millimeter)

พนักงานวัดคนที่ / การวัดซ้ำครั้งที่	หมายเลขชิ้นงาน										ค่าเฉลี่ย (Average)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A 1	1.527	1.579	1.527	1.608	1.595	1.553	1.547	1.532	1.511	1.538		
2	1.526	1.577	1.527	1.608	1.594	1.553	1.548	1.533	1.513	1.538		
ค่าเฉลี่ย(Average)	1.527	1.578	1.527	1.608	1.595	1.553	1.548	1.533	1.512	1.538	$\bar{X}_a$ =	1.5517
ผลต่าง (Range)	0.001	0.002	0.000	[illegible]	[illegible]	0.000	[illegible]	[illegible]	0.002	0.000	$\bar{R}_a$ =	0.0008
B 1	1.527	1.576	1.527	1.608	1.595	1.553	1.548	1.532	1.513	1.537		
2	1.529	1.577	1.527	1.608	1.594	1.553	1.548	1.533	1.514	1.538		
ค่าเฉลี่ย(Average)	1.528	1.577	1.527	1.608	1.595	1.553	1.548	1.533	1.514	1.538	$\bar{X}_b$ =	1.5519
ผลต่าง (Range)	0.002	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	$\bar{R}_b$ =	0.0007
C 1	1.528	1.577	1.528	1.608	1.596	1.554	1.548	1.534	1.513	1.539		
2	1.528	1.577	1.529	1.609	1.594	1.554	1.548	1.533	1.514	1.538		
ค่าเฉลี่ย(Average)	1.528	1.577	1.529	1.609	1.595	1.554	1.548	1.534	1.514	1.539	$\bar{X}_c$ =	1.5525
ผลต่าง (Range)	0.000	0.000	0.001	0.001	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	$\bar{R}_c$ =	0.0007
Part Average ($\bar{X}_p$)	1.528	1.577	1.528	1.608	1.595	1.553	1.548	1.533	1.513	1.538	$\bar{\bar{X}}$ =	1.5520
											$\bar{R}_p$ =	0.0952

$\bar{R} = (\bar{R}a + \bar{R}b + \bar{R}c)/3$	0.0007
$\bar{X}_{diff} = (\bar{X}i - \bar{X}j)$	0.0007

$\bar{X}i = \bar{X}_{max}$

$\bar{X}j = \bar{X}_{min}$

ตารางที่ 6.11 แสดงข้อมูลการวัดด้วยเครื่องวัดความหนา(3)

หมายเหตุ การกำหนดวิธีการควบคุมความแปรปรวนร่วม(Covariance) ของชิ้นงานในการทดลอง

1) กำหนดชิ้นงาน 10 ชิ้น ที่ผ่านการตรวจสอบทางด้านคุณภาพแล้ว โดยจะใช้ชิ้นงานเดิมไปตลอดช่วงการศึกษาวิจัย โดยได้ทำการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานทั้ง 10 ชิ้น ได้ดังนี้

$$\sigma_{\text{ชิ้นงาน}} = R_p / \hat{d}_2$$

$$= 0.029$$

โดยทฤษฎี GRR กำหนดไว้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจะมีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระ(ไม่ขึ้นกับค่าความเบี่ยงเบนอื่นๆ) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลตามทฤษฎี GRR จะตั้งสมมติฐานไว้ว่า ความเบี่ยงเบนในการวัดจะเกิดจาก เครื่องมือวัดและพนักงานวัดเท่านั้น

2) กำหนดเครื่องวัดความหนา ที่จะทำการวัดโดยใช้ เครื่องวัดความหนาตัวเดิมตลอดช่วงการศึกษาวิจัย

3) กำหนดพนักงานที่ทำการวัดกลุ่มเดียว โดยคัดเลือกพนักงานวัดทั้งหมด 3 คน ซึ่งเป็นพนักงานวัดที่ใช้เครื่องมือนี้เป็นประจำอยู่แล้ว

4) กำหนดเวลาที่จะทำการศึกษา/เก็บข้อมูลให้คงที่(กะเช้า,บ่าย,ดึก)

5) ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่ทำการศึกษาวิจัย เช่น อุณหภูมิ,ความชื้น,วิธีการทำงาน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด จะมีเพียง 2 ประการหลักๆ ดังนี้

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก พนักงานวัด(วิธีการใช้เครื่องมือ,ความรู้ความสามารถ)

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก เครื่องมือวัด

ตารางที่ 6.12 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์การวัดด้วยเครื่องวัดความหนา(3)

หมายเลขชิ้นงาน: 706M413 **ชื่อเครื่องมือวัด:** เครื่องวัดความหนา **วันที่วิเคราะห์:**

ลักษณะการวัด: ความหนา **หมายเลขเครื่องมือ:** - **วิเคราะห์โดย:** สมภพ

Specification: 1.5748 + 0.127 millimeter

จากข้อมูลในตารางบันทึกข้อมูล

$\bar{\bar{R}} = 0.0007$ $\bar{X}_{diff} = 0.0007$ $\bar{R}_p = 0.0952$

การวิเคราะห์ระบบการวัด			เปอร์เซนต์การผันแปรรวม(%TV)
1.Repeatability (EV)			
$EV = \bar{\bar{R}} * K_1$	การวัดซ้ำ	K_1	6 %EV= 100(EV/TV)
= 0.0007 x 4.56	2	4.56	= 100(0.003/0.1542)
= 0.003	3	3.05	= 2.17 %
2.Reproducibility (AV)			
$AV = \sqrt{[(\bar{X}_{diff} * K_2)^2 - (EV^2/nr)]}$			7 %AV= 100(AV/TV)
$= \sqrt{(0.0007 \times 2.7)^2 - (0.003)^2 / 10x2}$			= 100(0.0019/0.1542)
= 0.0019			= 1.22 %
จำนวนพนักงานวัด	2	3	
K_2	3.65	2.70	8 %R&R= 100(R&R/TV)
3.Repeatability & Reproducibility(R&R)			= 100(0.004/0.1542)
$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			= 2.49 %
$= \sqrt{0.003^2 + 0.0019^2}$			
= 0.004	จน ชิ้นงาน	K_3	
4.Part Variation (PV)	2	3.65	9 %PV = 100(PV/TV)
$PV = \bar{R}_p * K_3$	3	2.70	= 100(0.15417/0.1542)
= 0.0952 x 1.62	4	2.30	= 99.97 %
= 0.15417	5	2.08	
5.Total Variation (TV)	6	1.93	
$TV = \sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2}$	7	1.82	
$= \sqrt{0.004^2 + 0.1542^2}$	8	1.74	
= 0.15422	9	1.67	
	10	1.62	

6.2.3 การวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่าง %R&R กับ ความสามารถกระบวนการ ภายหลังการปรับปรุง

เครื่องวัดความหนา (THICKCHECK)

การปรับปรุงครั้งที่ 1

$\sigma_{OBSERVE} = 0.02$

$Cp_{OBSERVE} = \frac{Tolerance}{6x\sigma_{OBSERVE}} = \frac{0.254}{6x0.02} = 2.12$

$\%R\&R = 4.25\%$

$Cp_{ACTUAL} = \frac{1}{6\sqrt{\left[\frac{1}{6Cp_{OBSRRVE}}\right]^2 - \left[\frac{\%R\&R}{5.15x100}\right]^2}}$

$= 2.13$

$\sigma_{ACTUAL} = \frac{Tolerance}{6xCp_{ACTUAL}}$

$= \frac{0.254}{6x2.13} = 0.019$

$\sigma_{R\&R} = \sqrt{\sigma^2_{OBSERVE} - \sigma^2_{ACTUAL}} = 0.006$

การปรับปรุงครั้งที่ 2

$\sigma_{OBSERVE}$	=	0.04	$Cp_{OBSERVE}$	=	1.058
%R&R	=	3.16%	Cp_{ACTUAL}	=	1.059
σ_{ACTUAL}	=	0.039	$\sigma_{R\&R}$	=	0.0014

การปรับปรุงครั้งที่ 3

$\sigma_{OBSERVE}$	=	0.03	$Cp_{OBSERVE}$	=	1.41
%R&R	=	2.53%	Cp_{ACTUAL}	=	1.41
σ_{ACTUAL}	=	0.03	$\sigma_{R\&R}$	≈	0.00

6.3 เครื่องวัดความหนาโลหะบางๆ(Coating Measurement Instrument,CMI)

จากปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด สามารถนำมาปรับปรุงระบบการวัดได้ดังต่อไปนี้

6.3.1 การปรับปรุงเครื่องมือวัด

1. ในขณะที่ทำการวัดจะต้องไม่ให้มีการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นโดยที่ พนักงานวัดไม่ควรวางแขน,มือลงบนตัวเครื่องวัดฯ
2. จากการศึกษาในคู่มือการใช้เครื่องฯ ตามทฤษฎีการวัดพบว่า

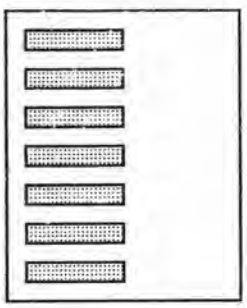
   เวลาที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือวัด CMI นี้ จะมีเวลามากเป็น 4 เท่าของเวลาที่ใช้ในการวัด กล่าวคือ ถ้าเวลาที่ใช้ในการวัด = 10 วินาที

   เวลาที่ใช้ในการสอบเทียบจะเท่ากับ 4 x 10 = 40 วินาที

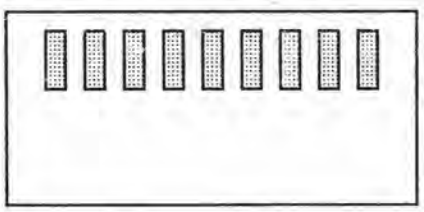
   ดังนั้นการวัดในการทดลองครั้งต่อๆไป จึงใช้วิธีการวัดความหนาทองในบริเวณขาทองอันเดียวกัน 4 ครั้ง แล้วจึงนำค่าที่วัดได้ทั้ง 4 ค่า แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย(AVERAGE) แล้วจึงนำมาบันทึกลงในตารางการบันทึกข้อมูล GRR ซึ่งจากคู่มือฯ เรียกวิธีการดังกล่าวว่า 4-POINT MEASUREMENT เพราะว่าเมื่อเครื่องวัดฯ ทำการวัด 4 ครั้งจะทำให้ค่าที่วัดได้ค่อนข้างจะคงที่ เพราะเวลาที่ใช้ในการวัดจะเท่ากับเวลาที่ใช้ในการสอบเทียบ

6.3.2 การปรับปรุงวิธีการวัด

1. **ควรจะวางชิ้นงานที่จะทำการวัด ให้เครื่องหมายกากบาท(+) ที่อยู่บริเวณกลางจอภาพให้อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของขาทองที่จะทำการวัด**
2. **การวางบอร์ด PCB จะต้องวางให้ตรงไม่เอียง และ ควรจะวางให้ขาทองอยู่ในแนวราบ (แกน X) ไม่ควรให้ขาทองอยู่ในแนวแกน Y**



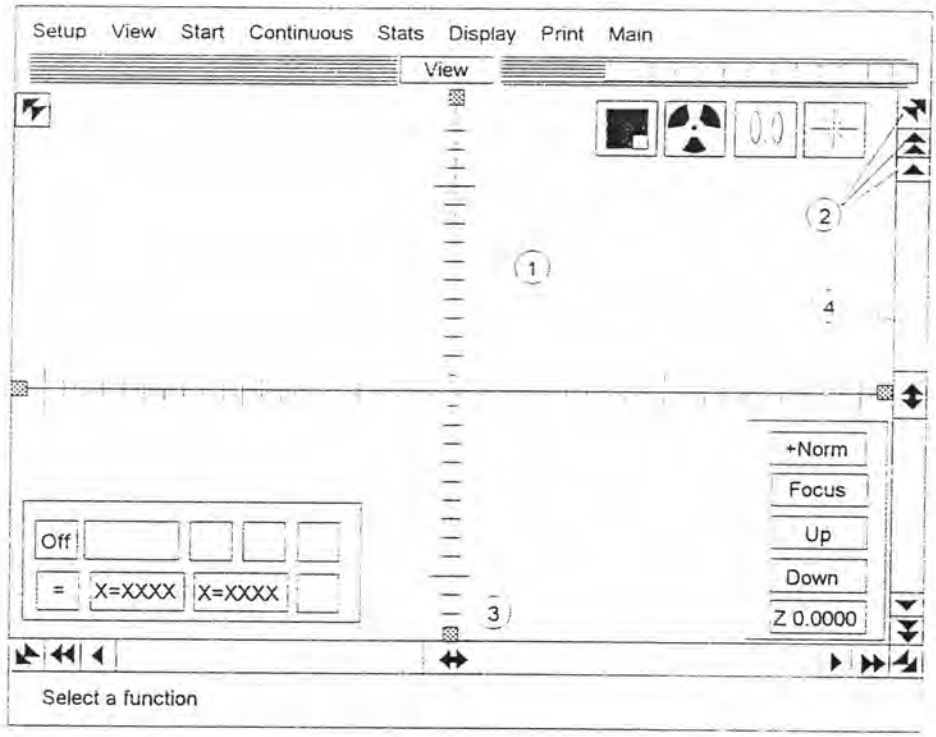
การวางบอร์ด ถูก



การวางบอร์ด ผิด

3. การปรับระยะโฟกัส(FOCUS) ควรจะปรับให้ชัดเจนที่สุด(ในระดับที่สายตาคนปกติจะมองได้) เพื่อที่จะให้ระยะความผิดพลาดเกิดขึ้นให้น้อยที่สุด
4. การเลือกขาทองที่จะทำการวัด ควรเลือกให้อยู่บริเวณกลางๆ เนื่องจากบริเวณนี้กระแสไฟฟ้าที่เป็นตัวนำในการชุบจะคงที่ ทำให้ความหนาบริเวณที่จะวัดนี้ค่อนข้างจะสม่ำเสมอ แต่ในด้านหัวกับด้านท้ายกระแสไฟฟ้าจะเกิด PEAK จึงมีผลให้ความหนาของทองในบริเวณเหล่านี้จะมีความหนาผิดปกติ ดังจะพิจารณากราฟรูปที่ 4.7 ประกอบ

รูปที่ 6.1 แสดงหน้าจอของเครื่องวัดความหนาโลหะบางๆ



ชื่อเครื่องมือวัด เครื่องวัดความหนาของโลหะบางๆ CMI(หลังการปรับปรุง 1)

ส่วนงาน : QUALITY พนักงานวัดคนที่ A:

ฝ่าย : QC พนักงานวัดคนที่ B:

แผนก : IPQC พนักงานวัดคนที่ C:

วันที่เก็บข้อมูล :25-31/5/96 บันทึกโดย: สมภพ

หน่วย: ไมครอน(micron)

พนักงานวัดคนที่ / การวัดซ้ำครั้งที่	หมายเลขชิ้นงาน										ค่าเฉลี่ย (Average)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A 1	0.936	0.845	0.956	0.862	0.938	0.946	0.926	0.934	-	-		
2	0.940	0.849	1.001	0.858	0.916	0.967	0.920	0.913	-	-		
ค่าเฉลี่ย(Average)	0.9380	0.8470	0.9785	0.8600	0.9270	0.9565	0.9230	0.9235	-	-	$\bar{X}_a$ =	0.9192
ผลต่าง (Range)	0.004	0.004	0.045	0.004	0.022	0.021	0.006	0.021	-	-	$\bar{R}_a$ =	0.0159
B 1	0.923	0.866	0.912	0.903	0.902	0.944	0.922	0.915	-	-		
2	0.977	0.892	0.917	0.849	0.914	0.935	0.916	0.923	-	-		
ค่าเฉลี่ย(Average)	0.9500	0.8790	0.9145	0.8760	0.9080	0.9395	0.9190	0.9190	-	-	$\bar{X}_b$ =	0.9131
ผลต่าง (Range)	0.054	0.026	0.005	0.054	0.012	0.009	0.006	0.008	-	-	$\bar{R}_b$ =	0.0218
C 1	0.998	0.835	0.916	0.832	0.915	0.894	0.933	0.918	-	-		
2	0.937	0.852	0.932	0.875	0.942	0.880	0.940	0.911	-	-		
ค่าเฉลี่ย(Average)	0.9675	0.8435	0.9240	0.8535	0.9285	0.8870	0.9365	0.9145	-	-	$\bar{X}_c$ =	0.9069
ผลต่าง (Range)	0.061	0.017	0.016	0.043	0.027	0.014	0.007	0.007	-	-	$\bar{R}_c$ =	0.0240
Part Average ($\bar{X}_p$)	0.9518	0.8565	0.9390	0.8632	0.9212	0.9277	0.9262	0.9190	-	-	$\bar{\bar{X}}$ =	0.9131
											$\bar{R}_p$ =	0.095

$\bar{R} = (\bar{R}a+\bar{R}b+\bar{R}c)/3$	0.0205
$\bar{X}_{diff} = (\bar{X}i - \bar{X}j)$	0.0123

$\bar{X}i = \bar{X}_{max}$

$\bar{X}j = \bar{X}_{min}$

ตารางที่ 6.13 แสดงข้อมูลการวัดด้วยเครื่องวัดความหนาของโลหะบางๆ(CMI) (1)

หมายเหตุ **การกำหนดวิธีการควบคุมความแปรปรวนร่วม(Covariance) ของชิ้นงานในการทดลอง**

1) กำหนดชิ้นงาน 10 ชิ้น ที่ผ่านการตรวจสอบทางด้านคุณภาพแล้ว โดยจะใช้ชิ้นงานเดิมไปตลอดช่วงการศึกษาวิจัย โดยได้ทำการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานทั้ง 10 ชิ้น ได้ดังนี้

$$\sigma_{\text{ชิ้นงาน}} = R_p / d^*_2$$

$$= 0.032$$

โดยทฤษฎี GRR กำหนดไว้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจะมีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระ(ไม่ขึ้นกับค่าความเบี่ยงเบนอื่นๆ) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลตามทฤษฎี GRR จะตั้งสมมติฐานไว้ว่า ความเบี่ยงเบนในการวัดจะเกิดจาก เครื่องมือวัดและพนักงานวัดเท่านั้น

2) กำหนดเครื่อง CMI ที่จะทำการวัดโดยใช้ เครื่อง CMI **เดิม** ตลอดช่วงการศึกษาวิจัย

3) กำหนดพนักงานที่ทำการวัดกลุ่มเดียว โดยคัดเลือกพนักงานวัดทั้งหมด 3 คน ซึ่งเป็นพนักงานวัดที่ใช้เครื่องมือนี้เป็นประจำอยู่แล้ว

4) กำหนดเวลาที่จะทำการศึกษา/เก็บข้อมูลให้คงที่(กะเช้า,บ่าย,ดึก)

5) ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่ทำการศึกษาวิจัย เช่น อุณหภูมิ,ความชื้น,วิธีการทำงาน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด จะมีเพียง 2 ประการหลักๆ ดังนี้

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก พนักงานวัด(วิธีการใช้เครื่องมือ,ความรู้ความสามารถ)

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก เครื่องมือวัด

ตารางที่ 6.14 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์การวัดด้วยเครื่อง CMI(1)

หมายเลขชิ้นงาน: **ชื่อเครื่องมือวัด:** CMI **วันที่วิเคราะห์:**

ลักษณะการวัด: ความหนา **หมายเลขเครื่องมือ:** **วิเคราะห์โดย:** สมภพ

Specification: ความหนาไม่ต่ำกว่า 0.76 ไมครอน

จากข้อมูลในตารางบันทึกข้อมูล

$\bar{R}$ = 0.0205 $\bar{X}_{diff}$ = 0.0123 $\bar{R}_p$ = 0.0953

การวิเคราะห์ระบบการวัด			เปอร์เซนต์การผันแปรรวม(%TV)
1.Repeatability (EV)			
$EV = \bar{R} * K_1$	การวัดซ้ำ	K_1	6 %EV= 100(EV/TV)
= 0.0205 x 4.56	2	4.56	= 100(0.094/0.192)
= 0.094	3	3.05	= 48.80 %
2.Reproducibility (AV)			
$AV = \sqrt{[(\bar{X}_{diff} * K_2)^2 - (EV^2/nr)]}$			7 %AV= 100(AV/TV)
$= \sqrt{(0.0123 \times 2.7)^2 - (0.094)^2 / 8x2}$			= 100(0.0236/0.192)
= 0.0236			= 12.29 %
จำนวนพนักงานวัด	2	3	
K_2	3.65	2.70	8 %R&R= 100(R&R/TV)
3.Repeatability & Reproducibility(R&R)			=100(0.0966/0.192)
$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			= 50.32 %
$= \sqrt{0.094^2 + 0.0236^2}$			
= 0.0966	จน.ชิ้นงาน	K_3	
4.Part Variation (PV)	2	3.65	9 %PV = 100(PV/TV)
$PV = \bar{R}_p * K_3$	3	2.70	=100(0.1659/0.192)
= 0.0953 x 1.74	4	2.30	= 86.42 %
= 0.16588	5	2.08	
5.Total Variation (TV)	6	1.93	
$TV = \sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2}$	7	1.82	
$= \sqrt{0.0966^2 + 0.1659^2}$	8	1.74	
= 0.19196	9	1.67	
	10	1.62	

ชื่อเครื่องมือวัด เครื่องวัดความหนาของโลหะบางๆ CMI(หลังการปรับปรุง 2)

ส่วนงาน : QUALITY พนักงานวัดคนที่ A:

ฝ่าย : QC พนักงานวัดคนที่ B:

แผนก : IPQC พนักงานวัดคนที่ C:

วันที่เก็บข้อมูล : บันทึกโดย: สมภพ

หน่วย: ไมครอน(micron)

พนักงานวัดคนที่ / การวัดซ้ำครั้งที่	หมายเลขชิ้นงาน										ค่าเฉลี่ย (Average)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A 1	0.898	1.254	0.867	0.921	0.734	0.815	0.827	0.925	-	-		
2	0.915	1.686	0.878	0.821	0.714	0.889	0.855	1.002	-	-		
ค่าเฉลี่ย(Average)	0.9065	1.4700	0.8725	0.8710	0.7240	0.8520	0.8410	0.9635	-	-	$\bar{X}_a$ =	0.9376
ผลต่าง (Range)	0.017	0.432	0.011	0.100	0.020	0.074	0.028	0.077	-	-	$\bar{R}_a$ =	0.0949
B 1	0.893	1.029	0.881	0.901	0.736	0.872	0.858	0.928	-	-		
2	0.941	1.068	0.865	0.899	0.756	0.846	0.856	0.988	-	-		
ค่าเฉลี่ย(Average)	0.9170	1.0485	0.8730	0.9000	0.7460	0.8590	0.8570	0.9580	-	-	$\bar{X}_b$ =	0.8948
ผลต่าง (Range)	0.048	0.039	0.016	0.002	0.020	0.026	0.002	0.060	-	-	$\bar{R}_b$ =	0.0266
C 1	0.906	1.033	0.869	0.892	0.776	0.868	0.865	0.930	-	-		
2	0.899	0.978	0.893	0.886	0.754	0.867	0.869	0.956	-	-		
ค่าเฉลี่ย(Average)	0.9025	1.0055	0.8810	0.8890	0.7650	0.8675	0.8670	0.9430	-	-	$\bar{X}_c$ =	0.8901
ผลต่าง (Range)	0.007	0.055	0.024	0.006	0.022	0.001	0.004	0.026	-	-	$\bar{R}_c$ =	0.0181
Part Average ($\bar{X}_p$)	0.9087	1.1747	0.8755	0.8867	0.7450	0.8595	0.8550	0.9548	-	-	$\bar{\bar{X}}$ =	0.9075
											$\bar{R}_p$ =	0.430

$\bar{R} = (\bar{R}a+\bar{R}b+\bar{R}c)/3$	0.0465
$\bar{X}_{diff} = (\bar{X}i - \bar{X}j)$	0.0475

$\bar{X}i = X_{max}$

$\bar{X}j = X_{min}$

ตารางที่ 6.15 แสดงข้อมูลการวัดด้วยเครื่องวัดความหนาของโลหะบางๆ(CMI) (2)

หมายเหตุ **การกำหนดวิธีการควบคุมความแปรปรวนร่วม(Covariance) ของชิ้นงานในการทดลอง**

1) กำหนดชิ้นงาน 10 ชิ้น ที่ผ่านการตรวจสอบทางด้านคุณภาพแล้ว โดยจะใช้ชิ้นงานเดิมไปตลอดช่วงการศึกษาวิจัย โดยได้ทำการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานทั้ง 10 ชิ้น ได้ดังนี้

$$\sigma_{\text{ชิ้นงาน}} = R_p / d^*_2$$

$$= 0.145$$

โดยทฤษฎี GRR กำหนดไว้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจะมีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระ(ไม่ขึ้นกับค่าความเบี่ยงเบนอื่นๆ) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลตามทฤษฎี GRR จะตั้งสมมติฐานไว้ว่า ความเบี่ยงเบนในการวัดจะเกิดจาก เครื่องมือวัดและพนักงานวัดเท่านั้น

2) กำหนดเครื่อง CMI ที่จะทำการวัดโดยใช้ เครื่อง CMI เดิม ตลอดช่วงการศึกษาวิจัย

3) กำหนดพนักงานที่ทำการวัดกลุ่มเดียว โดยคัดเลือกพนักงานวัดทั้งหมด 3 คน ซึ่งเป็นพนักงานวัดที่ใช้เครื่องมือนี้เป็นประจำอยู่แล้ว

4) กำหนดเวลาที่จะทำการศึกษา/เก็บข้อมูลให้คงที่(กะเช้า,บ่าย,ดึก)

5) ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่ทำการศึกษาวิจัย เช่น อุณหภูมิ,ความชื้น,วิธีการทำงาน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด จะมีเพียง 2 ประการหลักๆ ดังนี้

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก พนักงานวัด(วิธีการใช้เครื่องมือ,ความรู้ความสามารถ)

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก เครื่องมือวัด

ตารางที่ 6.16 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์การวัดด้วยเครื่อง CMI(2)

หมายเลขชิ้นงาน: **ชื่อเครื่องมือวัด:** CMI **วันที่วิเคราะห์:**

ลักษณะการวัด: ความหนา **หมายเลขเครื่องมือ:** **วิเคราะห์โดย:** สมภพ

Specification: ความหนาไม่ต่ำกว่า 0.76 ไมครอน

จากข้อมูลในตารางบันทึกข้อมูล

$\bar{R}$ = 0.0465 $\bar{X}_{diff}$ = 0.0475 $\bar{R}_p$ = 0.4297

การวิเคราะห์ระบบการวัด			เปอร์เซนต์การผันแปรรวม(%TV)
1.Repeatability (EV)			
$EV = \bar{R} * K_1$	การวัดซ้ำ	K_1	6 %EV= 100(EV/TV)
= 0.0465 x 4.56	2	4.56	= 100(0.212/0.786)
= 0.212	3	3.05	= 27.01 %
2.Reproducibility (AV)			
$AV = \sqrt{[(\bar{X}_{diff} * K_2)^2 - (EV^2/nr)]}$			7 %AV= 100(AV/TV)
$= \sqrt{(0.0475 \times 2.7)^2 - (0.212)^2 / 8x2}$			= 100(0.1168/0.786)
= 0.1168			= 14.86 %
จำนวนพนักงานวัด	2	3	
K_2	3.65	2.70	8 %R&R= 100(R&R/TV)
3.Repeatability & Reproducibility(R&R)			:100(0.2422/0.786)
$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			= 30.82 %
$= \sqrt{0.212^2 + 0.1168^2}$			
= 0.2422	จน.ชิ้นงาน	K_3	
4.Part Variation (PV)	2	3.65	9 %PV = 100(PV/TV)
$PV = \bar{R}_p * K_3$	3	2.70	=100(0.7476/0.786)
= 0.4297 x 1.74	4	2.30	= 95.13 %
= 0.74762	5	2.08	
5.Total Variation (TV)	6	1.93	
$TV = \sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2}$	7	1.82	
$= \sqrt{0.2422^2 + 0.74762^2}$	8	1.74	
= 0.78588	9	1.67	
	10	1.62	

ชื่อเครื่องมือวัด เครื่องวัดความหนาของโลหะบางๆ CMI(หลังการปรับปรุง 3)

ส่วนงาน : QUALITY พนักงานวัดคนที่ A:

ฝ่าย : QC พนักงานวัดคนที่ B:

แผนก : IPQC พนักงานวัดคนที่ C:

วันที่เก็บข้อมูล : บันทึกโดย: สมภพ

หน่วย: ไมครอน(micron)

พนักงานวัดคนที่ / การวัดซ้ำครั้งที่	หมายเลขชิ้นงาน										ค่าเฉลี่ย (Average)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A 1	0.909	1.577	0.866	1.061	0.769	0.852	0.889	0.926	-	-		
2	0.903	1.568	0.874	1.035	0.758	0.853	0.874	0.944	-	-		
ค่าเฉลี่ย(Average)	0.9060	1.5725	0.8700	1.0480	0.7635	0.8525	0.8815	0.9350	-	-	$\bar{X}_a$ =	0.9786
ผลต่าง (Range)	0.006	0.009	0.008	0.026	0.011	0.001	0.015	0.018	-	-	$\bar{R}_a$ =	0.0118
B 1	0.966	1.351	0.897	0.942	0.750	0.880	0.879	0.966	-	-		
2	0.954	1.353	0.875	0.949	0.749	0.869	0.861	0.954	-	-		
ค่าเฉลี่ย(Average)	0.9600	1.3520	0.8860	0.9455	0.7495	0.8745	0.8700	0.9600	-	-	$\bar{X}_b$ =	0.9497
ผลต่าง (Range)	0.012	0.002	0.022	0.007	0.001	0.011	0.018	0.012	-	-	$\bar{R}_b$ =	0.0106
C 1	0.901	1.850	0.880	1.040	0.755	0.873	0.874	0.938	-	-		
2	0.902	1.837	0.874	1.028	0.750	0.853	0.879	0.951	-	-		
ค่าเฉลี่ย(Average)	0.9015	1.8435	0.8770	1.0340	0.7525	0.8630	0.8765	0.9445	-	-	$\bar{X}_c$ =	1.0116
ผลต่าง (Range)	0.001	0.013	0.006	0.012	0.005	0.020	0.005	0.013	-	-	$\bar{R}_c$ =	0.0094
Part Average ($\bar{X}_p$)	0.9225	1.5893	0.8777	1.0092	0.7552	0.8633	0.8760	0.9465	-	-	$\bar{\bar{X}}$ =	0.9800
											$\bar{R}_p$ =	0.834

$\bar{\bar{R}} = (\bar{R}a+\bar{R}b+\bar{R}c)/3$	0.0106
$\bar{X}_{diff} = (\bar{X}i - \bar{X}j)$	0.0619

$\bar{X}i = X_{max}$

$\bar{X}j = X_{min}$

ตารางที่ 6.17 แสดงข้อมูลการวัดด้วยเครื่องวัดความหนาของโลหะบางๆ(CMI) (3)

หมายเหตุ **การกำหนดวิธีการควบคุมความแปรปรวนร่วม(Covariance) ของชิ้นงานในการทดลอง**

1) กำหนดชิ้นงาน 10 ชิ้น ที่ผ่านการตรวจสอบทางด้านคุณภาพแล้ว โดยจะใช้ชิ้นงานเดิมไปตลอดช่วงการศึกษาวิจัย โดยได้ทำการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานทั้ง 10 ชิ้น ได้ดังนี้

$$\sigma_{\text{ชิ้นงาน}} = R_p / d_2^* = 0.282$$

โดยทฤษฎี GRR กำหนดไว้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจะมีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระ(ไม่ขึ้นกับค่าความเบี่ยงเบนอื่นๆ) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลตามทฤษฎี GRR จะตั้งสมมติฐานไว้ว่า ความเบี่ยงเบนในการวัดจะเกิดจาก เครื่องมือวัดและพนักงานวัดเท่านั้น

2) กำหนดเครื่อง CMI ที่จะทำการวัดโดยใช้ เครื่อง CMI เดิมตลอดช่วงการศึกษาวิจัย

3) กำหนดพนักงานที่ทำการวัดกลุ่มเดียว โดยคัดเลือกพนักงานวัดทั้งหมด 3 คน ซึ่งเป็นพนักงานวัดที่ใช้เครื่องมือนี้เป็นประจำอยู่แล้ว

4) กำหนดเวลาที่จะทำการศึกษา/เก็บข้อมูลให้คงที่(กะเช้า,บ่าย,ดึก)

5) ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่ทำการศึกษาวิจัย เช่น อุณหภูมิ,ความชื้น,วิธีการทำงาน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด จะมีเพียง 2 ประการหลักๆ ดังนี้

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก พนักงานวัด(วิธีการใช้เครื่องมือ,ความรู้ความสามารถ)

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก เครื่องมือวัด

ตารางที่ 6.18 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์การวัดด้วยเครื่อง CMI(3)

หมายเลขชิ้นงาน: **ชื่อเครื่องมือวัด:** CMI **วันที่วิเคราะห์:**

ลักษณะการวัด: ความหนา **หมายเลขเครื่องมือ:** **วิเคราะห์โดย:** สมภพ

Specification: ความหนาไม่ต่ำกว่า 0.76 ไมครอน

จากข้อมูลในตารางบันทึกข้อมูล

$\bar{R}$ = 0.0106 $\bar{X}_{diff}$ = 0.0619 $\bar{R}_p$ = 0.8342

<table>
<tr><th colspan="4">การวิเคราะห์ระบบการวัด</th><th>เปอร์เซนต์การผันแปรรวม(%TV)</th></tr>
<tr><td colspan="4">1.Repeatability (EV)
$EV = \bar{R} * K_1$
= 0.0106 x 4.56
= 0.048</td><td>6 %EV= 100(EV/TV)
= 100(0.048/1.4618)
= 3.30 %</td></tr>
<tr><td colspan="4">2.Reproducibility (AV)
$AV = \sqrt{[(\bar{X}_{diff} * K_2)^2 - (EV^2/nr)]}$
$= \sqrt{(0.0619 \times 2.7)^2 - (0.048)^2 / 8x2}$
= 0.1666</td><td>7 %AV= 100(AV/TV)
= 100(0.1666/1.4618)
= 11.40 %</td></tr>
<tr><td colspan="4">3.Repeatability & Reproducibility(R&R)
$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$
$= \sqrt{0.212^2 + 0.1168^2}$
= 0.1735</td><td>8 %R&R= 100(R&R/TV)
=100(0.1735/1.4618)
= 11.87 %</td></tr>
<tr><td colspan="4">4.Part Variation (PV)
$PV = \bar{R}_p * K_3$
= 0.8342 x 1.74
= 1.45145</td><td>9 %PV = 100(PV/TV)
=100(1.45145/1.4618)
= 99.29 %</td></tr>
<tr><td colspan="4">5.Total Variation (TV)
$TV = \sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2}$
$= \sqrt{0.1735^2 + 1.45145^2}$
= 1.46178</td><td></td></tr>
<tr><td>จำนวนชิ้นงานวัด</td><td>2</td><td>3</td><td colspan="2" rowspan="2"></td></tr>
<tr><td>K_2</td><td>3.65</td><td>2.70</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>จน.ชิ้นงาน</td><td>K_3</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>2</td><td>3.65</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>3</td><td>2.70</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>4</td><td>2.30</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>5</td><td>2.08</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>6</td><td>1.93</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>7</td><td>1.82</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>8</td><td>1.74</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>9</td><td>1.67</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td>10</td><td>1.62</td><td></td></tr>
</table>

6.3.3 **การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง %R&R กับความสามารถกระบวนการภายหลังการปรับปรุง**

เครื่องวัดความหนาของโลหะบางๆ(CMI)

การปรับปรุงครั้งที่ 1

$\sigma_{OBSERVE}$ = 0.0383

$Cp_{OBSERVE}$ = $\frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma_{OBSERVE}} = \frac{0.9131 - 0.76}{3x0.0383}$

= 1.332

%R&R = 50.32%

Cp_{ACTUAL} = $\frac{1}{3\sqrt{\left[\frac{1}{3Cp_{OBSERVE}}\right]^2 - \left[\frac{\%R\&R}{5.15x100}\right]^2}}$

= 1.795

σ_{ACTUAL} = $\frac{\bar{X} - LSL}{3Cp_{ACTUAL}}$ = 0.0284

$\sigma_{R\&R}$ = $\sqrt{\sigma^2_{OBSERVE} - \sigma^2_{ACTUAL}}$

= 0.0257

หมายเหตุ ค่า $\bar{X}$ หามาได้จากตารางที่ 6.13

การปรับปรุงครั้งที่ 2

$\sigma_{OBSERVE}$ = 0.1472

$Cp_{OBSERVE}$ = $\frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3\sigma_{OBSERVE}}$ = $\frac{0.9075 - 0.76}{3x0.1472}$

= 0.3340

%R&R = 30.82%

Cp_{ACTUAL} = $\frac{1}{3\sqrt{\left[\frac{1}{3Cp_{OBSERVE}}\right]^2 - \left[\frac{\%R\&R}{5.15x100}\right]^2}}$

= 0.3352

σ_{ACTUAL} = $\frac{\bar{\bar{X}} - LSL}{3Cp_{ACTUAL}}$ = 0.1467

$\sigma_{R\&R}$ = $\sqrt{\sigma^2_{OBSERVE} - \sigma^2_{ACTUAL}}$

= 0.0121

หมายเหตุ ค่า $\bar{\bar{X}}$ หามาได้จากตารางที่ 6.15

การปรับปรุงครั้งที่ 3

$\sigma_{OBSERVE}$ = 0.2541

$Cp_{OBSERVE} = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma_{OBSERVE}} = \frac{0.9800 - 0.76}{3x0.2541}$

= 0.28860029

%R&R = 11.87%

$Cp_{ACTUAL} = \frac{1}{3\sqrt{\left[\frac{1}{3Cp_{OBSERVE}}\right]^2 - \left[\frac{\%R\&R}{5.15x100}\right]^2}}$

= 0.28865748

$\sigma_{ACTUAL} = \frac{\bar{X} - LSL}{3Cp_{ACTUAL}}$ = 0.25405

$\sigma_{R\&R} = \sqrt{\sigma^2_{OBSERVE} - \sigma^2_{ACTUAL}}$

= 0.00505

หมายเหตุ ค่า $\bar{X}$ หามาได้จากตารางที่ 6.17

6.4 เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ (VERNIER CALIPER)

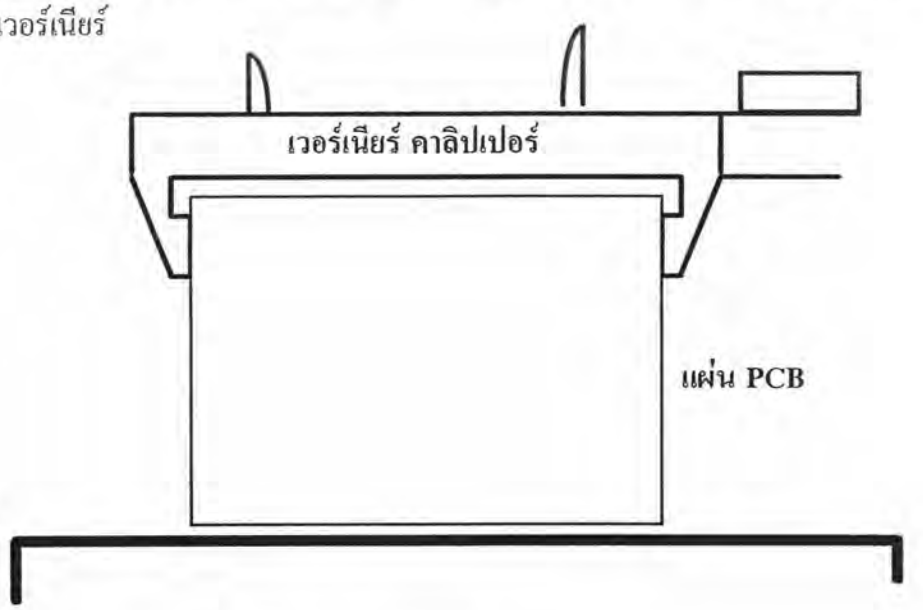
จากปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด สามารถนำมาปรับปรุงระบบการวัดได้ดังต่อไปนี้

6.4.1 การปรับปรุงพนักงานวัด

1.การฝึกอบรมพนักงานวัด ให้ใช้ เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ อย่างถูกวิธี

1.1 การจับ เวอร์เนียร์ในขณะทำการวัดชิ้นงาน ไม่ควรใช้แรงมากเกินไปเพราะเวอร์เนียร์จะไปกดชิ้นงานทำให้เวอร์เนียร์ชำรุด

1.2 ในขณะที่วัดบอร์ด PCB ต้องจับบอร์ด PCB ให้อยู่ในแนวที่ตั้งฉากกับแนวเวอร์เนียร์ถ้าหาก แผ่นPCB มีขนาดใหญ่มาก ควรที่จะวางแผ่น PCB ในแนวตั้งฉากแล้วจึงทำการวัด เพราะจะทำให้ได้ค่าที่ถูกต้อง มากกว่าวัดในขณะที่แผ่น PCB ไม่ตรงกับแนวเวอร์เนียร์



1.3 สอนวิธีการอ่านค่าอย่างถูกต้อง

1.4 เลือกใช้ เวอร์เนียร์ให้เหมาะสมกับขนาดของชิ้นงาน

ถ้าชิ้นงานมีขนาดใหญ่ ก็ควรใช้เวอร์เนียร์ที่มีขนาดใหญ่

ถ้าชิ้นงานมีขนาดเล็ก ก็ควรใช้เวอร์เนียร์ที่มีขนาดเล็ก

*ไม่ควรใช้เวอร์เนียร์ สลับกันเพราะจะทำให้ การวัด,การอ่านค่า เชื่อถือไม่ได้

6.4.2การปรับปรุงเครื่องมือวัด

1.ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัด

2.ควบคุมสภาวะแวดล้อมในบริเวณที่มีการใช้เครื่องมือวัด

ชื่อเครื่องมือวัด เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ (หลังการปรับปรุง ครั้งที่ 1)

ส่วนงาน : QUALITY พนักงานวัดคนที่ A:

ฝ่าย : QC พนักงานวัดคนที่ B:

แผนก : IPQC พนักงานวัดคนที่ C:

วันที่เก็บข้อมูล : บันทึกโดย: สมภพ

พนักงานวัดคนที่ / การวัดซ้ำครั้งที่	หมายเลขชิ้นงาน										ค่าเฉลี่ย (Average)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A 1	6.232	6.230	6.230	6.231	6.228	6.231	6.231	6.231	6.234	6.230		
2	6.232	6.230	6.230	6.231	6.228	6.234	6.230	6.230	6.234	6.230		
ค่าเฉลี่ย(Average)	6.232	6.230	6.230	6.231	6.228	6.233	6.231	6.231	6.234	6.230	$\bar{X}_a$ =	6.231
ผลต่าง (Range)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	$\bar{R}_a$ =	0.0005
B 1	6.231	6.230	6.230	6.231	6.228	6.231	6.231	6.231	6.234	6.230		
2	6.232	6.231	6.231	6.231	6.229	6.232	6.230	6.230	6.233	6.231		
ค่าเฉลี่ย(Average)	6.232	6.231	6.231	6.231	6.229	6.232	6.231	6.231	6.234	6.231	$\bar{X}_b$ =	6.231
ผลต่าง (Range)	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	$\bar{R}_b$ =	0.0009
C 1	6.231	6.230	6.230	6.231	6.228	6.231	6.231	6.231	6.234	6.230		
2	6.231	6.230	6.230	6.232	6.228	6.231	6.231	6.231	6.234	6.230		
ค่าเฉลี่ย(Average)	6.231	6.230	6.230	6.232	6.228	6.231	6.231	6.231	6.234	6.230	$\bar{X}_c$ =	6.231
ผลต่าง (Range)	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	$\bar{R}_c$ =	0.0001
Part Average ($\bar{X}_p$)	6.232	6.230	6.230	6.231	6.228	6.232	6.231	6.231	6.234	6.230	$\bar{\bar{X}}$ =	6.231
											$\bar{R}_p$ =	0.0057

$\bar{R} = (\bar{R}a+\bar{R}b+\bar{R}c)/3$	0.00050
$\bar{X}_{diff} = (\bar{X}i - \bar{X}j)$	0.00010

$\bar{X}i = \bar{X}_{max}$

$\bar{X}j = \bar{X}_{min}$

ตารางที่ 6.19 แสดงข้อมูลการวัดด้วย เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ (1)

หมายเหตุ การกำหนดวิธีการควบคุมความแปรปรวนร่วม(Covariance) ของชิ้นงานในการทดลอง

1) กำหนดชิ้นงาน 10 ชิ้น ที่ผ่านการตรวจสอบทางด้านคุณภาพแล้ว โดยจะใช้ชิ้นงานเดิมไปตลอดช่วงการศึกษาวิจัย โดยได้ทำการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานทั้ง 10 ชิ้น ได้ดังนี้

$$\sigma_{\text{ชิ้นงาน}} = R_p / d^*_2$$

$$= 0.0018$$

โดยทฤษฎี GRR กำหนดไว้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจะมีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระ(ไม่ขึ้นกับค่าความเบี่ยงเบนอื่นๆ) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลตามทฤษฎี GRR จะตั้งสมมติฐานไว้ว่า ความเบี่ยงเบนในการวัดจะเกิดจาก เครื่องมือวัดและพนักงานวัดเท่านั้น

2) กำหนดเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ ที่จะทำการวัดโดยใช้ เครื่องเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ตัวเดิมตลอดช่วงการศึกษาวิจัย

3) กำหนดพนักงานที่ทำการวัดกลุ่มเดียว โดยคัดเลือกพนักงานวัดทั้งหมด 3 คน ซึ่งเป็นพนักงานวัดที่ใช้เครื่องมือนี้เป็นประจำอยู่แล้ว

4) กำหนดเวลาที่จะทำการศึกษา/เก็บข้อมูลให้คงที่(กะเช้า,บ่าย,ดึก)

5) ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่ทำการศึกษาวิจัย เช่น อุณหภูมิ,ความชื้น,วิธีการทำงาน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด จะมีเพียง 2 ประการหลักๆ ดังนี้

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก พนักงานวัด(วิธีการใช้เครื่องมือ,ความรู้ความสามารถ)

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก เครื่องมือวัด

ตารางที่ 6.20 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์การวัดด้วยเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์(1)

หมายเลขชิ้นงาน: 274D068 **ชื่อเครื่องมือวัด:** เวอร์เนียร์ **วันที่วิเคราะห์:**

ลักษณะการวัด: ความยาว **หมายเลขเครื่องมือ:** **วิเคราะห์โดย:** สมภพ

Specification: 2.805x6.232"(+0.01")

จากข้อมูลในตารางบันทึกข้อมูล

$\bar{R}$ = 0.00050 $\bar{X}_{diff}$ = 0.0001 $\bar{R}_p$ = 0.0057

การวิเคราะห์ระบบการวัด			เปอร์เซนต์การผันแปรรวม(%TV)
1.Repeatability (EV)			
$EV = \bar{R} * K_1$	การวัดซ้ำ	K_1	6 %EV= 100(EV/TV)
= 0.007 x 4.56	2	4.56	= 100(0.002285/0.0095)
= 0.00228	3	3.05	= 24.10 %
2.Reproducibility (AV)			
$AV = \sqrt{[(\bar{X}_{diff} * K_2)^2 - (EV^2/nr)]}$			7 %AV= 100(AV/TV)
$= \sqrt{(0.0001 \times 2.7)^2 - (0.00228)^2 / 10x2}$			= 100(0.0002/0.0095)
= 0.00020			= 1.60 %
จำนวนพนักงานวัด	2	3	
K_2	3.65	2.70	8 %R&R= 100(R&R/TV)
3.Repeatability&Reproducibility (R&R)			=100(0.002285/0.0095)
$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			= 24.15 %
$= \sqrt{0.00228^2 + 0.0004^2}$			
= 0.002	จน.ชิ้นงาน	K_3	
4.Part Variation (PV)	2	3.65	9 %PV = 100(PV/TV)
$PV = \bar{R}_p * K_3$	3	2.70	= 100(0.0092/0.0095)
= 0.006 x 1.62	4	2.30	= 97.04 %
= 0.00918	5	2.08	
5.Total Variation (TV)	6	1.93	
$TV = \sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2}$	7	1.82	
$= \sqrt{0.002285^2 + 0.0092^2}$	8	1.74	
= 0.00946	9	1.67	
	10	1.62	

ชื่อเครื่องมือวัด เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ (หลังการปรับปรุง ครั้งที่ 2)

ส่วนงาน : QUALITY พนักงานวัดคนที่ A:

ฝ่าย : QC พนักงานวัดคนที่ B:

แผนก : IPQC พนักงานวัดคนที่ C:

วันที่เก็บข้อมูล : 10/7/96 บันทึกโดย: สมภพ

พนักงานวัดคนที่ / การวัดซ้ำครั้งที่	หมายเลขชิ้นงาน										ค่าเฉลี่ย (Average)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A 1	5.769	5.773	5.768	5.765	5.763	5.768	5.771	5.767	5.767	5.771		
2	5.769	5.773	5.766	5.764	5.763	5.769	5.770	5.766	5.768	5.771		
ค่าเฉลี่ย(Average)	5.769	5.773	5.767	5.765	5.763	5.769	5.771	5.767	5.768	5.771	$\bar{X}_a$ =	5.7681
ผลต่าง (Range)	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	$\bar{R}_a$ =	0.0007
B 1	5.769	5.772	5.766	5.765	5.763	5.768	5.771	5.766	5.767	5.771		
2	5.769	5.773	5.767	5.765	5.762	5.768	5.770	5.766	5.767	5.771		
ค่าเฉลี่ย(Average)	5.769	5.773	5.767	5.765	5.763	5.768	5.771	5.766	5.767	5.771	$\bar{X}_b$ =	5.7678
ผลต่าง (Range)	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	$\bar{R}_b$ =	0.0004
C 1	5.768	5.773	5.766	5.765	5.763	5.769	5.770	5.766	5.767	5.771		
2	5.769	5.773	5.766	5.764	5.763	5.768	5.770	5.766	5.767	5.771		
ค่าเฉลี่ย(Average)	5.769	5.773	5.766	5.765	5.763	5.769	5.770	5.766	5.767	5.771	$\bar{X}_c$ =	5.7678
ผลต่าง (Range)	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	$\bar{R}_c$ =	0.0003
Part Average ($\bar{X}_p$)	5.769	5.773	5.767	5.765	5.763	5.768	5.770	5.766	5.767	5.771	$\bar{\bar{X}}$ =	5.7679
											$\bar{R}_p$ =	0.0100

$\bar{R} = (\bar{R}a+\bar{R}b+\bar{R}c)/3$	0.0005
$\bar{X}_{diff} = (\bar{X}i - \bar{X}j)$	0.0003

$\bar{X}i = \bar{X}_{max}$

$\bar{X}j = \bar{X}_{min}$

ตารางที่ 6.21 แสดงข้อมูลการวัดด้วย เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์(2)

หมายเหตุ การกำหนดวิธีการควบคุมความแปรปรวนร่วม(Covariance) ของชิ้นงานในการทดลอง

1) กำหนดชิ้นงาน 10 ชิ้น ที่ผ่านการตรวจสอบทางด้านคุณภาพแล้ว โดยจะใช้ชิ้นงานเดิมไปตลอดช่วงการศึกษาวิจัย โดยได้ทำการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานทั้ง 10 ชิ้น ได้ดังนี้

$$\sigma_{\text{ชิ้นงาน}} = R_p / d_2^* = 0.0031$$

โดยทฤษฎี GRR กำหนดไว้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจะมีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระ(ไม่ขึ้นกับค่าความเบี่ยงเบนอื่นๆ) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลตามทฤษฎี GRR จะตั้งสมมติฐานไว้ว่า ความเบี่ยงเบนในการวัดจะเกิดจาก เครื่องมือวัดและพนักงานวัดเท่านั้น

2) กำหนดเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ ที่จะทำการวัดโดยใช้ เครื่องเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ตัวเดิมตลอดช่วงการศึกษาวิจัย

3) กำหนดพนักงานที่ทำการวัดกลุ่มเดียว โดยคัดเลือกพนักงานวัดทั้งหมด 3 คน ซึ่งเป็นพนักงานวัดที่ใช้เครื่องมือนี้เป็นประจำอยู่แล้ว

4) กำหนดเวลาที่จะทำการศึกษา/เก็บข้อมูลให้คงที่(กะเช้า,บ่าย,ดึก)

5) ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่ทำการศึกษาวิจัย เช่น อุณหภูมิ,ความชื้น,วิธีการทำงาน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด จะมีเพียง 2 ประการหลักๆ ดังนี้

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก พนักงานวัด(วิธีการใช้เครื่องมือ,ความรู้ความสามารถ)

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก เครื่องมือวัด

ตารางที่ 6.22 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์การวัดด้วยเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์(2)

หมายเลขชิ้นงาน: 706M413 **ชื่อเครื่องมือวัด:** เวอร์เนียร์ **วันที่วิเคราะห์:**

ลักษณะการวัด: ความกว้าง **หมายเลขเครื่องมือ:** **วิเคราะห์โดย:** สมภพ

Specification: 5.764x8.030"(+0.01")

จากข้อมูลในตารางบันทึกข้อมูล

$\bar{R} = 0.0005$ $\bar{X}_{diff} = 0.0003$ $\bar{R}_p = 0.0100$

การวิเคราะห์ระบบการวัด			เปอร์เซนต์การผันแปรรวม(%TV)
1.Repeatability (EV)			
$EV = \bar{R} * K_1$	การวัดซ้ำ	K_1	6 %EV= 100(EV/TV)
= 0.0005 x 4.56	2	4.56	= 100(0.002/0.0163)
= 0.002	3	3.05	= 13.02 %
2.Reproducibility (AV)			
$AV = \sqrt{[(\bar{X}_{diff} * K_2)^2 - (EV^2/nr)]}$			7 %AV= 100(AV/TV)
$= \sqrt{(0.0003 \times 2.7)^2 - (0.002)^2 / 10x2}$			= 100(0.00/0.0163)
= 0.0000			= 0.00 %
จำนวนพนักงานวัด	2	3	
K_2	3.65	2.70	8 %R&R= 100(R&R/TV)
3.Repeatability & Reproducibility (R&R)			=100(0.002/0.0163)
$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			= 13.02 %
$= \sqrt{0.002^2 + 0^2}$			
= 0.002	จน.ชิ้นงาน	K_3	
4.Part Variation (PV)	2	3.65	9 %PV = 100(PV/TV)
$PV = \bar{R}_p * K_3$	3	2.70	=100(0.0162/0.0163)
= 0.01 x 1.62	4	2.30	= 99.15 %
= 0.0162	5	2.08	
5.Total Variation (TV)	6	1.93	
$TV = \sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2}$	7	1.82	
$= \sqrt{0.002^2 + 0.0162^2}$	8	1.74	
= 0.0163	9	1.67	
	10	1.62	

ชื่อเครื่องมือวัด เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ (หลังการปรับปรุง ครั้งที่ 3)

ส่วนงาน : QUALITY พนักงานวัดคนที่ A:

ฝ่าย : QC พนักงานวัดคนที่ B:

แผนก : IPQC พนักงานวัดคนที่ C:

วันที่เก็บข้อมูล : 17/7/96 บันทึกโดย: สมภพ

พนักงานวัดคนที่ / การวัดซ้ำครั้งที่	หมายเลขชิ้นงาน										ค่าเฉลี่ย (Average)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A 1	2.805	2.804	2.805	2.804	2.804	2.803	2.804	2.803	2.802	2.804		
2	2.805	2.804	2.805	2.803	2.805	2.803	2.804	2.803	2.801	2.804		
ค่าเฉลี่ย(Average)	2.805	2.804	2.805	2.804	2.805	2.803	2.804	2.803	2.802	2.804	$\bar{X}_a$ =	2.8038
ผลต่าง (Range)	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	$\bar{R}_a$ =	0.0003
B 1	2.805	2.804	2.806	2.804	2.804	2.803	2.804	2.803	2.801	2.804		
2	2.805	2.804	2.805	2.805	2.805	2.803	2.804	2.802	2.801	2.804		
ค่าเฉลี่ย(Average)	2.805	2.804	2.806	2.805	2.805	2.803	2.804	2.803	2.801	2.804	$\bar{X}_b$ =	2.8038
ผลต่าง (Range)	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	$\bar{R}_b$ =	0.0004
C 1	2.805	2.804	2.805	2.804	2.804	2.804	2.804	2.803	2.801	2.805		
2	2.805	2.804	2.805	2.804	2.804	2.804	2.804	2.803	2.801	2.804		
ค่าเฉลี่ย(Average)	2.805	2.804	2.805	2.804	2.804	2.804	2.804	2.803	2.801	2.805	$\bar{X}_c$ =	2.8039
ผลต่าง (Range)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	$\bar{R}_c$ =	0.0001
Part Average ($\bar{X}_p$)	2.805	2.804	2.805	2.804	2.804	2.803	2.804	2.803	2.801	2.804	$\bar{\bar{X}}$ =	2.804
											$\bar{R}_p$ =	0.0040

$\bar{\bar{R}} = (\bar{Ra}+\bar{Rb}+\bar{Rc})/3$	0.00027
$\bar{X}_{diff} = (\bar{X}i - \bar{X}j)$	0.0001

$\bar{X}i = X_{max}$

$\bar{X}j = X_{min}$

ตารางที่ 6.23 แสดงข้อมูลการวัดด้วย เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์(3)

หมายเหตุ การกำหนดวิธีการควบคุมความแปรปรวนร่วม(Covariance) ของชิ้นงานในการทดลอง

1) กำหนดชิ้นงาน 10 ชิ้น ที่ผ่านการตรวจสอบทางด้านคุณภาพแล้ว โดยจะใช้ชิ้นงานเดิมไปตลอดช่วงการศึกษาวิจัย โดยได้ทำการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานทั้ง 10 ชิ้น ได้ดังนี้

$$\sigma_{\text{ชิ้นงาน}} = R_p / d_2^* = 0.0013$$

โดยทฤษฎี GRR กำหนดไว้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจะมีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระ(ไม่ขึ้นกับค่าความเบี่ยงเบนอื่นๆ) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลตามทฤษฎี GRR จะตั้งสมมติฐานไว้ว่า ความเบี่ยงเบนในการวัดจะเกิดจาก เครื่องมือวัดและพนักงานวัดเท่านั้น

2) กำหนดเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ ที่จะทำการวัดโดยใช้ เครื่องเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ตัวเดิมตลอดช่วงการศึกษาวิจัย

3) กำหนดพนักงานที่ทำการวัดกลุ่มเดียว โดยคัดเลือกพนักงานวัดทั้งหมด 3 คน ซึ่งเป็นพนักงานวัดที่ใช้เครื่องมือนี้เป็นประจำอยู่แล้ว

4) กำหนดเวลาที่จะทำการศึกษา/เก็บข้อมูลให้คงที่(กะเช้า,บ่าย,ดึก)

5) ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่ทำการศึกษาวิจัย เช่น อุณหภูมิ,ความชื้น,วิธีการทำงาน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด จะมีเพียง 2 ประการหลักๆ ดังนี้

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก พนักงานวัด(วิธีการใช้เครื่องมือ,ความรู้ความสามารถ)

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก เครื่องมือวัด

ตารางที่ 6.24 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์การวัดด้วยเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์(3)

หมายเลขชิ้นงาน: 274D068 **ชื่อเครื่องมือวัด:** เวอร์เนียร์ **วันที่วิเคราะห์:**

ลักษณะการวัด: ความยาว **หมายเลขเครื่องมือ:** **วิเคราะห์โดย:** สมภพ

Specification: 2.805x6.232"(+0.01")

จากข้อมูลในตารางบันทึกข้อมูล

$\bar{R} = 0.00027$ $\bar{X}_{diff} = 0.0001$ $\bar{R}_p = 0.0040$

การวิเคราะห์ระบบการวัด			เปอร์เซนต์การผันแปรรวม(%TV)
1.Repeatability (EV)			
$EV = \bar{R} * K_1$	การวัดซ้ำ	K_1	6 %EV= 100(EV/TV)
= 0.00027 x 4.56	2	4.56	= 100(0.0012/0.0066)
= 0.0012	3	3.05	= 18.44 %
2.Reproducibility (AV)			
$AV = \sqrt{[(\bar{X}_{diff} * K_2)^2 - (EV^2/nr)]}$			7 %AV= 100(AV/TV)
$= \sqrt{(0.0001 \times 2.7)^2 - (0.0012)^2 / 10x2}$			= 100(0.00/0.0066)
= 0.0000			= 0.00 %
จำนวนพนักงานวัด	2	3	
K_2	3.65	2.70	8 %R&R= 100(R&R/TV)
3.Repeatability & Reproducibility (R&R)			= 100(0.0012/0.0066)
$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			= 18.44 %
$= \sqrt{0.0012^2 + 0.00^2}$			
= 0.0012	จน.ชิ้นงาน	K_3	
4.Part Variation (PV)	2	3.65	9 %PV = 100(PV/TV)
$PV = \bar{R}_p * K_3$	3	2.70	= 100(0.0065/0.0066)
= 0.004 x 1.62	4	2.30	= 98.28 %
= 0.0065	5	2.08	
5.Total Variation (TV)	6	1.93	
$TV = \sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2}$	7	1.82	
$= \sqrt{0.0012^2 + 0.0065^2}$	8	1.74	
= 0.0066	9	1.67	
	10	1.62	

6.4.3 **การวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่าง %R&R กับ ความสามารถกระบวนการ ภายหลังการปรับปรุง**

เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ (VERNIER CALIPER)

การปรับปรุงครั้งที่ 1

$\sigma_{OBSERVE} = 0.001$

$Cp_{OBSERVE} = \frac{Tolerance}{6x\sigma_{OBSERVE}} = \frac{0.02}{6x0.001} = 3.33$

$\%R\&R = 24.15\%$

$$Cp_{ACTUAL} = \frac{1}{6\sqrt{\left[\frac{1}{6Cp_{OBSRRVE}}\right]^2 - \left[\frac{\%R\&R}{5.15x100}\right]^2}}$$

$= 9.53$

$$\sigma_{ACTUAL} = \frac{Tolerance}{6xCp_{ACTUAL}}$$

$$= \frac{0.02}{6x9.53} = 0.00035$$

$\sigma_{R\&R} = \sqrt{\sigma^2_{OBSERVE} - \sigma^2_{ACTUAL}} = 0.00094$

การปรับปรุงครั้งที่ 2

$\sigma_{OBSERVE}$	=	0.003	$Cp_{OBSERVE}$	=	1.11
%R&R	=	13.86%	Cp_{ACTUAL}	=	1.13
σ_{ACTUAL}	=	0.0029	$\sigma_{R\&R}$	=	0.00055

การปรับปรุงครั้งที่ 3

$\sigma_{OBSERVE}$	=	0.001	$Cp_{OBSERVE}$	=	3.33
%R&R	=	18.79%	Cp_{ACTUAL}	=	4.89
σ_{ACTUAL}	=	0.00068	$\sigma_{R\&R}$	≈	0.0007

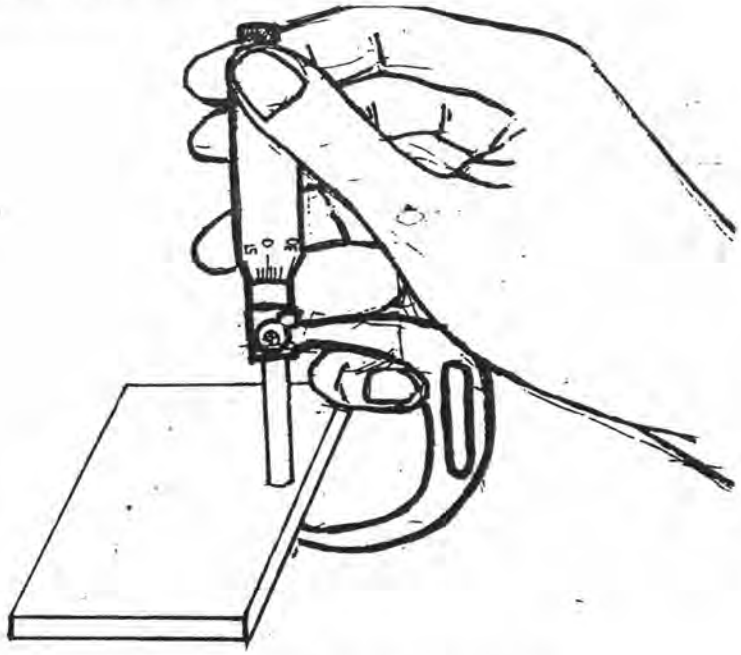
6.5 ไมโครมิเตอร์ (MICROMETER)

จากปัญหาที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด สามารถนำมาปรับปรุงระบบการวัดได้ดังต่อไปนี้

6.5.1 การปรับปรุงพนักงานวัด

1.การฝึกอบรมพนักงานวัด ให้ใช้ ไมโครมิเตอร์อย่างถูกวิธี

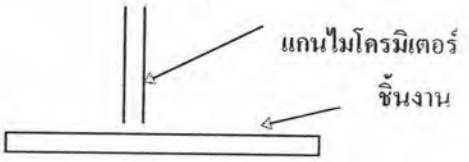
1.1 การจับไมโครมิเตอร์ จากที่แต่เดิมพนักงานวัดมักจะจับที่ตัวไมโครมิเตอร์แล้วหมุน ให้เปลี่ยนมาจับที่แกนหมุนด้านบนแทน



รูปที่ 6.2 แสดงการจับไมโครมิเตอร์อย่างถูกวิธี

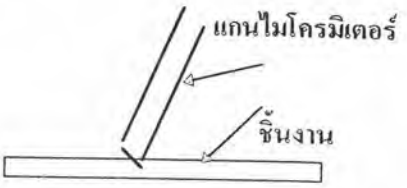
1.2 ไม่ควรใช้แรงหมุนมาก เพราะจะทำให้ไมโครมิเตอร์กดชิ้นงานมาก และไมโครมิเตอร์จะเสียหาย หากต้องการวัดให้หมุนไมโครมิเตอร์จนรู้สึกว่าแกนวัดสัมผัสกับชิ้นงาน แล้วหมุนปุ่มด้านบนไปจนกระทั่งได้ยินเสียงเข้าล็อค ซึ่งแสดงว่า สามารถ อ่านค่าได้แล้วไม่ต้องหมุนอีกต่อไป

1.3 ในขณะที่ทำการวัดแผ่น PCB จะต้องให้แกนของไมโครมิเตอร์ ตั้งได้ฉากกับชิ้นงาน



ชิ้นงานทำมุม 90^{0} กับแกนไมโครมิเตอร์

(ถูก)



แกนไมโครมิเตอร์ไม่ทำมุม 90^{0} กับชิ้นงาน

(ผิด)

1.4 ไม่ควรปัดเศษในขณะทำการวัด ให้อ่านค่าออกมาตามสเกลจริง

6.5.2การปรับปรุงเครื่องมือวัด

1.ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัด

2.ควบคุมสภาวะแวดล้อมในบริเวณที่มีการใช้เครื่องมือวัด

ชื่อเครื่องมือวัด ไมโครมิเตอร์ (หลังการปรับปรุง ครั้งที่ 1)

ส่วนงาน : QUALITY พนักงานวัดคนที่ A:

ฝ่าย : QAE พนักงานวัดคนที่ B:

แผนก : IQC พนักงานวัดคนที่ C:

วันที่เก็บข้อมูล :23/5/96 บันทึกโดย: สมภพ

หน่วย: มิลลิเมตร (millimeter)

พนักงานวัดคนที่ / การวัดซ้ำครั้งที่	หมายเลขชิ้นงาน										ค่าเฉลี่ย (Average)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A 1	1.62	1.56	1.68	1.58	1.63	1.65	1.64	1.62	1.55	1.62		
2	1.62	1.57	1.69	1.59	1.63	1.65	1.64	1.63	1.55	1.62		
ค่าเฉลี่ย(Average)	1.620	1.565	1.685	1.585	1.630	1.650	1.640	1.625	1.550	1.620	$\bar{X}_a$ =	1.617
ผลต่าง (Range)	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	$\bar{R}_a$ =	0.004
B 1	1.62	1.57	1.69	1.58	1.64	1.65	1.63	1.62	1.56	1.61		
2	1.62	1.56	1.69	1.58	1.64	1.65	1.62	1.62	1.55	1.62		
ค่าเฉลี่ย(Average)	1.620	1.565	1.690	1.580	1.640	1.650	1.625	1.620	1.555	1.615	$\bar{X}_b$ =	1.616
ผลต่าง (Range)	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	$\bar{R}_b$ =	0.004
C 1	1.61	1.56	1.69	1.59	1.63	1.65	1.63	1.61	1.55	1.62		
2	1.62	1.56	1.68	1.58	1.63	1.64	1.64	1.62	1.56	1.61		
ค่าเฉลี่ย(Average)	1.615	1.560	1.685	1.585	1.630	1.645	1.635	1.615	1.555	1.615	$\bar{X}_c$ =	1.614
ผลต่าง (Range)	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	$\bar{R}_c$ =	0.008
Part Average ($\bar{X}_p$)	1.618	1.563	1.687	1.583	1.633	1.648	1.633	1.620	1.553	1.617	$\bar{\bar{X}}$ =	1.6157
											$\bar{R}_p$ =	0.133

$\bar{R} = (\bar{R}a+\bar{R}b+\bar{R}c)/3$	0.0053
$\bar{X}_{diff} = (\bar{X}i - \bar{X}j)$	0.0030

$\bar{X}i = \bar{X}_{max}$

$\bar{X}j = \bar{X}_{min}$

ตารางที่ 6.25 แสดงข้อมูลการวัดด้วยไมโครมิเตอร์(1)

หมายเหตุ การกำหนดวิธีการควบคุมความแปรปรวนร่วม(Covariance) ของชิ้นงานในการทดลอง

1) กำหนดชิ้นงาน 10 ชิ้น ที่ผ่านการตรวจสอบทางด้านคุณภาพแล้ว โดยจะใช้ชิ้นงานเดิมไปตลอดช่วงการศึกษาวิจัย โดยได้ทำการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานทั้ง 10 ชิ้น ได้ดังนี้

$$\sigma_{\text{ชิ้นงาน}} = R_p / d_2^* = 0.042$$

โดยทฤษฎี GRR กำหนดไว้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจะมีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระ(ไม่ขึ้นกับค่าความเบี่ยงเบนอื่นๆ) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลตามทฤษฎี GRR จะตั้งสมมติฐานไว้ว่า ความเบี่ยงเบนในการวัดจะเกิดจาก เครื่องมือวัดและพนักงานวัดเท่านั้น

2) กำหนดไมโครมิเตอร์ ที่จะทำการวัดโดยใช้ เครื่องไมโครมิเตอร์ตัวเดิมตลอดช่วงการศึกษาวิจัย

3) กำหนดพนักงานที่ทำการวัดกลุ่มเดียว โดยคัดเลือกพนักงานวัดทั้งหมด 3 คน ซึ่งเป็นพนักงานวัดที่ใช้เครื่องมือนี้เป็นประจำอยู่แล้ว

4) กำหนดเวลาที่จะทำการศึกษา/เก็บข้อมูลให้คงที่(ก่อนเข้า บ่าย ดึก)

5) ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่ทำการศึกษาวิจัย เช่น อุณหภูมิ,ความชื้น,วิธีการทำงาน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด จะมีเพียง 2 ประการหลักๆ ดังนี้

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก พนักงานวัด(วิธีการใช้เครื่องมือ,ความรู้ความสามารถ)

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก เครื่องมือวัด

ตารางที่ 6.26 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์การวัดด้วยไมโครมิเตอร์(1)

หมายเลขชิ้นงาน: หลายๆ P/N **ชื่อเครื่องมือวัด:** **วันที่วิเคราะห์:**

ลักษณะการวัด: ความหนา **หมายเลขเครื่องมือ:** **วิเคราะห์โดย:** สมบูรณ์

Specification: 1.5748 ± 0.1778 millimeter

จากข้อมูลในตารางบันทึกข้อมูล

$\bar{R}$ = 0.0053 $\bar{X}_{diff}$ = 0.0030 $\bar{R}_p$ = 0.1333

การวิเคราะห์ระบบการวัด			เปอร์เซนต์การผันแปรรวม(%TV)
1.Repeatability (EV)			
$EV = \bar{R} * K_1$	การวัดซ้ำ	K_1	6 %EV= 100(EV/TV)
= 0.0053 x 4.56	2	4.56	= 100(0.024/0.2174)
= 0.024	3	3.05	= 11.18 %
2.Reproducibility (AV)			
$AV = \sqrt{[(\bar{X}_{diff} * K_2)^2 - (EV^2/nr)]}$			7 %AV= 100(AV/TV)
$= \sqrt{(0.003 \times 2.7)^2 - (0.024)^2 / 10x2}$			= 100(0.006/0.2174)
= 0.0060			= 2.76 %
จำนวนพนักงานวัด	2	3	
K_2	3.65	2.70	8 %R&R= 100(R&R/TV)
3.Repeatability & Reproducibility(R&R)			=100(0.025/0.2174)
$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			= 11.52 %
$= \sqrt{0.024^2 + 0.006^2}$			
= 0.025	จน.ชิ้นงาน	K_3	
4.Part Variation (PV)	2	3.65	9 %PV = 100(PV/TV)
$PV = \bar{R}_p * K_3$	3	2.70	=100(0.216/0.2174)
= 0.133 x 1.62	4	2.30	= 99.33 %
= 0.21600	5	2.08	
5.Total Variation (TV)	6	1.93	
$TV = \sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2}$	7	1.82	
$= \sqrt{0.025^2 + 0.216^2}$	8	1.74	
= 0.21745	9	1.67	
	10	1.62	

ชื่อเครื่องมือวัด ไมโครมิเตอร์ (หลังการปรับปรุง ครั้งที่ 2)

ส่วนงาน QUALITY พนักงานวัดคนที่ A:

ฝ่าย QAE พนักงานวัดคนที่ B:

แผนก IQC พนักงานวัดคนที่ C:

วันที่เก็บข้อมูล :2/7/96 บันทึกโดย: สมภพ

หน่วย: มิลลิเมตร (millimeter)

พนักงานวัดคนที่ / การวัดซ้ำครั้งที่	หมายเลขชิ้นงาน										ค่าเฉลี่ย (Average)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A 1	1.64	1.60	1.62	1.61	1.64	1.62	1.65	1.62	1.62	1.61		
2	1.64	1.60	1.62	1.61	1.64	1.63	1.65	1.61	1.62	1.61		
ค่าเฉลี่ย(Average)	1.640	1.600	1.620	1.610	1.640	1.625	1.650	1.615	1.620	1.610	$\bar{X}_a$ =	1.623
ผลต่าง (Range)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	$\bar{R}_a$ =	0.002
B 1	1.64	1.60	1.62	1.61	1.64	1.63	1.65	1.62	1.62	1.61		
2	1.64	1.60	1.62	1.61	1.64	1.63	1.64	1.62	1.62	1.61		
ค่าเฉลี่ย(Average)	1.640	1.600	1.620	1.610	1.640	1.630	1.645	1.620	1.620	1.610	$\bar{X}_b$ =	1.624
ผลต่าง (Range)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_b$ =	0.001
C 1	1.65	1.60	1.61	1.61	1.64	1.63	1.65	1.61	1.61	1.61		
2	1.65	1.60	1.61	1.61	1.64	1.63	1.64	1.61	1.62	1.61		
ค่าเฉลี่ย(Average)	1.650	1.600	1.610	1.610	1.640	1.630	1.645	1.610	1.615	1.610	$\bar{X}_c$ =	1.622
ผลต่าง (Range)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	$\bar{R}_c$ =	0.002
Part Average ($\bar{X}_p$)	1.643	1.600	1.617	1.610	1.640	1.628	1.647	1.615	1.618	1.610	$\bar{\bar{X}}$ =	1.6228
											$\bar{R}_p$ =	0.047

$\bar{R} = (\bar{R}a + \bar{R}b + \bar{R}c)/3$	0.0017
$\bar{X}_{diff} = (\bar{X}i - \bar{X}j)$	0.0015

$\bar{X}i = \bar{X}_{max}$

$\bar{X}j = \bar{X}_{min}$

ตารางที่ 6.27 แสดงข้อมูลการวัดด้วย ไมโครมิเตอร์(2)

ตารางที่ 6.28 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์การวัดด้วย ไมโครมิเตอร์(2)

หมายเลขชิ้นงาน: 274D068 **ชื่อเครื่องมือวัด:** **วันที่วิเคราะห์:**

ลักษณะการวัด: ความหนา **หมายเลขเครื่องมือ:** **วิเคราะห์โดย:** สมภพ

Specification: 1.5748 + 0.2032 millimeter

จากข้อมูลในตารางบันทึกข้อมูล

$\bar{R}$ = 0.0017 $\bar{X}_{diff}$ = 0.0015 $\bar{R}_p$ = 0.0467

การวิเคราะห์ระบบการวัด				เปอร์เซนต์การผันแปรรวม(%TV)
1.Repeatability (EV)				
$EV = \bar{R} * K_1$	การวัดซ้ำ	K_1		6 %EV= 100(EV/TV)
= 0.0017 x 4.56	2	4.56		= 100(0.008/0.0761)
= 0.008	3	3.05		= 9.99 %
2.Reproducibility (AV)				
$AV = \sqrt{[(\bar{X}_{diff} * K_2)^2 - (EV^2/nr)]}$				7 %AV= 100(AV/TV)
$= \sqrt{(0.0015 \times 2.7)^2 - (0.008)^2 / 10x2}$				= 100(0.0037/0.0761)
= 0.0037				= 4.83 %
จำนวนพนักงานวัด	2	3		
K_2	3.65	2.70		8 %R&R= 100(R&R/TV)
3.Repeatability & Reproducibility(R&R)				=100(0.008/0.0761)
$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$				= 11.10 %
$= \sqrt{0.008^2 + 0.0037^2}$				
= 0.008	จน.ชิ้นงาน	K_3		
4.Part Variation (PV)	2	3.65		9 %PV = 100(PV/TV)
$PV = \bar{R}_p * K_3$	3	2.70		=100(0.0756/0.0761)
= 0.0467 x 1.62	4	2.30		= 99.38 %
= 0.07560	5	2.08		
5.Total Variation (TV)	6	1.93		
$TV = \sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2}$	7	1.82		
$= \sqrt{0.008^2 + 0.0756^2}$	8	1.74		
= 0.07607	9	1.67		
	10	1.62		

หมายเหตุ การกำหนดวิธีการควบคุมความแปรปรวนร่วม(Covariance) ของชิ้นงานในการทดลอง

1) กำหนดชิ้นงาน 10 ชิ้น ที่ผ่านการตรวจสอบทางด้านคุณภาพแล้ว โดยจะใช้ชิ้นงานเดิมไปตลอดช่วงการศึกษาวิจัย โดยได้ทำการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานทั้ง 10 ชิ้น ได้ดังนี้

$$\sigma_{\text{ชิ้นงาน}} = R_p / d^*_2$$

$$= 0.015$$

โดยทฤษฎี GRR กำหนดไว้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจะมีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระ(ไม่ขึ้นกับค่าความเบี่ยงเบนอื่นๆ) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลตามทฤษฎี GRR จะตั้งสมมติฐานไว้ว่า ความเบี่ยงเบนในการวัดจะเกิดจาก เครื่องมือวัดและพนักงานวัดเท่านั้น

2) กำหนดไมโครมิเตอร์ ที่จะทำการวัดโดยใช้ เครื่องไมโครมิเตอร์ตัวเดิมตลอดช่วงการศึกษาวิจัย

3) กำหนดพนักงานที่ทำการวัดกลุ่มเดียว โดยคัดเลือกพนักงานวัดทั้งหมด 3 คน ซึ่งเป็นพนักงานวัดที่ใช้เครื่องมือนี้เป็นประจำอยู่แล้ว

4) กำหนดเวลาที่จะทำการศึกษา/เก็บข้อมูลให้คงที่(กะเช้า,บ่าย ดึก)

5) ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่ทำการศึกษาวิจัย เช่น อุณหภูมิ,ความชื้น,วิธีการทำงาน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด จะมีเพียง 2 ประการหลักๆ ดังนี้

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก พนักงานวัด(วิธีการใช้เครื่องมือ,ความรู้ความสามารถ)

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก เครื่องมือวัด

ชื่อเครื่องมือวัด ไมโครมิเตอร์ (หลังการปรับปรุง ครั้งที่ 3)

ส่วนงาน : QUALITY พนักงานวัดคนที่ A:

ฝ่าย : QAE พนักงานวัดคนที่ B:

แผนก : IQC พนักงานวัดคนที่ C:

วันที่เก็บข้อมูล 4/7/96 บันทึกโดย: สมภพ

หน่วย: มิลลิเมตร (millimeter)

พนักงานวัดคนที่ / การวัดซ้ำครั้งที่	หมายเลขชิ้นงาน										ค่าเฉลี่ย (Average)	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
A 1	1.62	1.60	1.62	1.61	1.63	1.63	1.62	1.62	1.62	1.61		
2	1.62	1.60	1.62	1.61	1.63	1.63	1.61	1.62	1.62	1.61		
ค่าเฉลี่ย(Average)	1.620	1.600	1.620	1.610	1.630	1.630	1.615	1.620	1.620	1.610	$\bar{X}_a$ =	1.618
ผลต่าง (Range)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_a$ =	0.001
B 1	1.62	1.60	1.62	1.61	1.63	1.63	1.62	1.62	1.62	1.61		
2	1.62	1.60	1.62	1.61	1.63	1.63	1.62	1.62	1.62	1.60		
ค่าเฉลี่ย(Average)	1.620	1.600	1.620	1.610	1.630	1.630	1.620	1.620	1.620	1.605	$\bar{X}_b$ =	1.618
ผลต่าง (Range)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	$\bar{R}_b$ =	0.001
C 1	1.62	1.60	1.61	1.61	1.63	1.63	1.62	1.62	1.62	1.61		
2	1.62	1.60	1.61	1.61	1.63	1.63	1.61	1.62	1.62	1.61		
ค่าเฉลี่ย(Average)	1.620	1.600	1.610	1.610	1.630	1.630	1.615	1.620	1.620	1.610	$\bar{X}_c$ =	1.617
ผลต่าง (Range)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	$\bar{R}_c$ =	0.001
Part Average ($\bar{X}_p$)	1.620	1.600	1.617	1.610	1.630	1.630	1.617	1.620	1.620	1.608	$\bar{\bar{X}}$ =	1.6172
											$\bar{R}_p$ =	0.030

$\bar{R} = (\bar{R}a+\bar{R}b+\bar{R}c)/3$	0.0010
$\bar{X}_{diff} = (\bar{X}i - \bar{X}j)$	0.0010

$\bar{X}i = \bar{X}_{max}$

$\bar{X}j = \bar{X}_{min}$

ตารางที่ 6.29 แสดงข้อมูลการวัดด้วย ไมโครมิเตอร์(3)

หมายเหตุ การกำหนดวิธีการควบคุมความแปรปรวนร่วม(Covariance) ของชิ้นงานในการทดลอง

1) กำหนดชิ้นงาน 10 ชิ้น ที่ผ่านการตรวจสอบทางด้านคุณภาพแล้ว โดยจะใช้ชิ้นงานเดิมไปตลอดช่วงการศึกษาวิจัย โดยได้ทำการคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของชิ้นงานทั้ง 10 ชิ้น ได้ดังนี้

$$\sigma_{\text{ชิ้นงาน}} = R_p / d^*_2$$

$$= 0.009$$

โดยทฤษฎี GRR กำหนดไว้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นจะมีการแจกแจงแบบปกติที่เป็นอิสระ(ไม่ขึ้นกับค่าความเบี่ยงเบนอื่นๆ) ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลตามทฤษฎี GRR จะตั้งสมมติฐานไว้ว่า ความเบี่ยงเบนในการวัดจะเกิดจาก เครื่องมือวัดและพนักงานวัดเท่านั้น

2) กำหนดไมโครมิเตอร์ ที่จะทำการวัดโดยใช้ เครื่องไมโครมิเตอร์ตัวเดิมตลอดช่วงการศึกษาวิจัย

3) กำหนดพนักงานที่ทำการวัดกลุ่มเดียว โดยคัดเลือกพนักงานวัดทั้งหมด 3 คน ซึ่งเป็นพนักงานวัดที่ใช้เครื่องมือนี้เป็นประจำอยู่แล้ว

4) กำหนดเวลาที่จะทำการศึกษา/เก็บข้อมูลให้คงที่(กะเช้า,บ่าย,ดึก)

5) ควบคุมสภาวะแวดล้อมที่ทำการศึกษาวิจัย เช่น อุณหภูมิ,ความชื้น,วิธีการทำงาน ให้เป็นไปตามมาตรฐาน

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ค่าความเบี่ยงเบนที่เกิดขึ้นในขณะทำการวัด จะมีเพียง 2 ประการหลักๆ ดังนี้

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก พนักงานวัด(วิธีการใช้เครื่องมือ,ความรู้ความสามารถ)

*ความเบี่ยงเบนอันเนื่องมาจาก เครื่องมือวัด

ตารางที่ 6.30 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์การวัดด้วย ไมโครมิเตอร์(3)

หมายเลขชิ้นงาน: 274D068 **ชื่อเครื่องมือวัด:** **วันที่วิเคราะห์:**

ลักษณะการวัด: ความหนา **หมายเลขเครื่องมือ:** **วิเคราะห์โดย:** สมภพ

Specification: 1.5748 + 0.2032 millimeter

จากข้อมูลในตารางบันทึกข้อมูล

$\bar{R}$ = 0.0010 $\bar{X}_{diff}$ = 0.0010 $\bar{R}_p$ = 0.0300

การวิเคราะห์ระบบการวัด			เปอร์เซนต์การผันแปรรวม(%TV)
1.Repeatability (EV)			
$EV = \bar{R} * K_1$	การวัดซ้ำ	K_1	6 %EV= 100(EV/TV)
= 0.001 x 4.56	2	4.56	= 100(0.005/0.0489)
= 0.005	3	3.05	= 9.33 %
2.Reproducibility (AV)			
$AV = \sqrt{[(\bar{X}_{diff} * K_2)^2 - (EV^2/nr)]}$			7 %AV= 100(AV/TV)
$= \sqrt{(0.001 \times 2.7)^2 - (0.005)^2 / 10x2}$			= 100(0.0025/0.0489)
= 0.0025			= 5.11 %
จำนวนพนักงานวัด	2	3	
K_2	3.65	2.70	8 %R&R= 100(R&R/TV) .
3.Repeatability & Reproducibility(R&R)			:100(0.0052/0.0489)
$R\&R = \sqrt{EV^2 + AV^2}$			= 10.64 %
$= \sqrt{0.005^2 + 0.0025^2}$			
= 0.0052	จน.ชิ้นงาน	K_3	
4.Part Variation (PV)	2	3.65	9 %PV = 100(PV/TV)
$PV = \bar{R}_p * K_3$	3	2.70	=100(0.0486/0.0489)
= 0.03 x 1.62	4	2.30	= 99.43 %
= 0.04860	5	2.08	
5.Total Variation (TV)	6	1.93	
$TV = \sqrt{(R\&R)^2 + (PV)^2}$	7	1.82	
$= \sqrt{0.0052^2 + 0.0486^2}$	8	1.74	
= 0.04888	9	1.67	
	10	1.62	

6.5.3 **การวิเคราะห์ ความสัมพันธ์ระหว่าง %R&R กับ ความสามารถกระบวนการ ภายหลังการปรับปรุง**

ไมโครมิเตอร์ (MICROMETER)

การปรับปรุงครั้งที่ 1

$\sigma_{OBSERVE}$ = 0.04

$Cp_{OBSERVE} = \frac{Tolerance}{6x\sigma_{OBSERVE}} = \frac{0.3556}{6x0.001} = 1.5$

%R&R = 11.73.15%

$Cp_{ACTUAL} = \frac{1}{6\sqrt{\left[\frac{1}{6Cp_{OBSRRVE}}\right]^2 - \left[\frac{\%R\&R}{5.15x100}\right]^2}}$

= 1.53

$\sigma_{ACTUAL} = \frac{Tolerance}{6xCp_{ACTUAL}}$

$= \frac{0.3556}{6x1.53} =$ 0.039

$\sigma_{R\&R} = \sqrt{\sigma^2_{OBSERVE} - \sigma^2_{ACTUAL}}$ = 0.0039

การปรับปรุงครั้งที่ 2

$\sigma_{OBSERVE}$	=	0.02	$Cp_{OBSERVE}$	=	2.96
%R&R	=	10.77%	Cp_{ACTUAL}	=	3.18
σ_{ACTUAL}	=	0.019	$\sigma_{R\&R}$	=	0.0072

การปรับปรุงครั้งที่ 3

$\sigma_{OBSERVE}$	=	0.01	$Cp_{OBSERVE}$	=	5.92
%R&R	=	10.01%	Cp_{ACTUAL}	=	8.18%
σ_{ACTUAL}	=	0.0072	$\sigma_{R\&R}$	≈	0.0069

6.6 การเปรียบเทียบผลการทดลอง GRR ของเครื่องมือวัดต่างๆก่อนการปรับปรุงและภายหลังการปรับปรุง

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของการทดลอง GRR ด้วยเครื่องมือวัดทั้ง 5 ประเภทนั้นดังที่ได้แสดงการวิเคราะห์มาแล้วในบทที่ 5 และ บทที่ 6 สามารถนำมาสรุปผลได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 6.31 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองก่อนและหลังการปรับปรุง

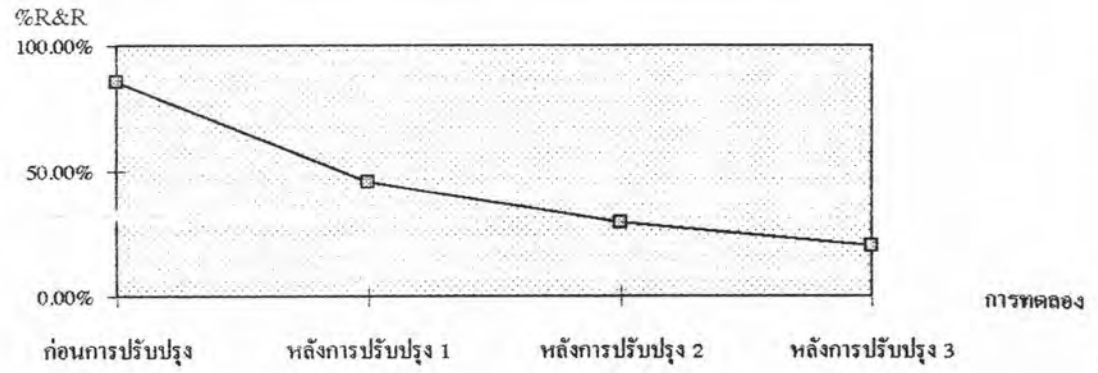
เครื่องมือวัด	ก่อนการปรับปรุง			หลังการปรับปรุง	
	%R&R	$\sigma_{R\&R}$	ครั้งที่	%R&R	$\sigma_{R\&R}$
กล้องไมโครสโคป	85.56	0.96	1	43.05	0.53
MICROSCOPE			2	28.85	0.34
			3	19.69	0.24
เครื่องวัดความหนา	8.75	0.023	1	4.35	0.006
THICK-CHECK			2	3.13	0.0014
			3	2.49	0.000
เครื่องวัดความหนา	79.73	0.0258	1	50.32	0.0257
โลหะบางๆ			2	30.82	0.0121
CMI			3	11.87	0.00505
เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์	93.23	0.00284	1	24.15	0.00094
VERNIER CALIPER			2	13.02	0.00055
			3	18.44	0.0007
ไมโครมิเตอร์	23.29	0.026	1	11.52	0.0099
MICROMETER			2	11.10	0.0072
			3	10.64	0.0069

จากตาราง 6.31 จะพบว่า %R&R ของทุกๆเครื่องมือวัดมีค่าลดลงและส่งผลให้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอันเนื่องมาจากระบบการวัด $\sigma_{R\&R}$ ก็ลดลงตามไปด้วย ดังนั้นจึงสามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ $\%R\&R \ \alpha \ \sigma_{R\&R}$

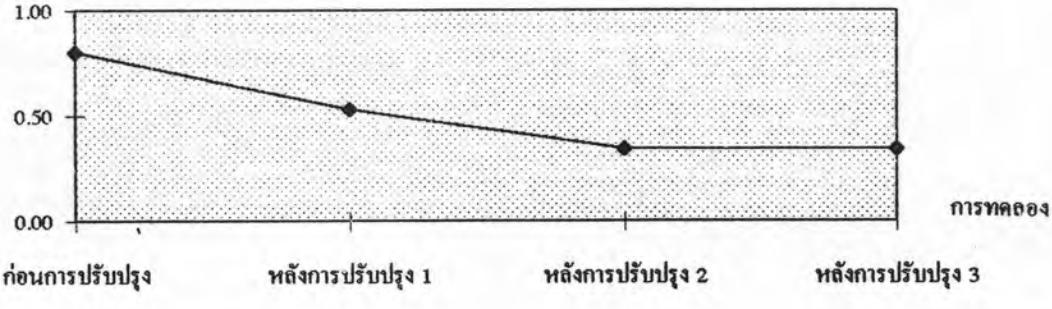
ตารางที่ 6.32 แสดงการเปรียบเทียบ %R&R และ $\sigma_{R\&R}$ ก่อนและหลังการปรับปรุง (กล้องไมโครสโคป)

การทดลอง GRR	%R&R	$\sigma_{R\&R}$
ก่อนการปรับปรุง	85.65%	0.80
หลังการปรับปรุง 1	45.53%	0.53
หลังการปรับปรุง 2	29.31%	0.34
หลังการปรับปรุง 3	20.02%	0.24

รูปที่ 6.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ %R&R ก่อนและหลังการปรับปรุง



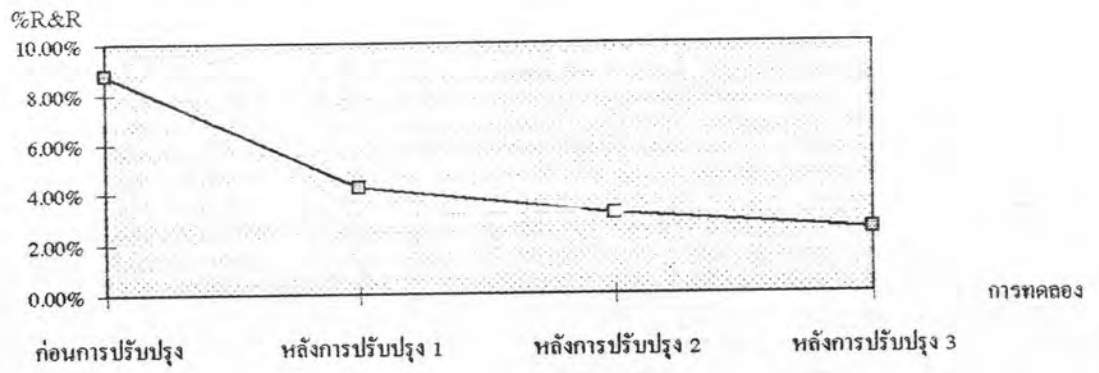
รูปที่ 6.4 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $\sigma_{R\&R}$ ก่อนและหลังการปรับปรุง



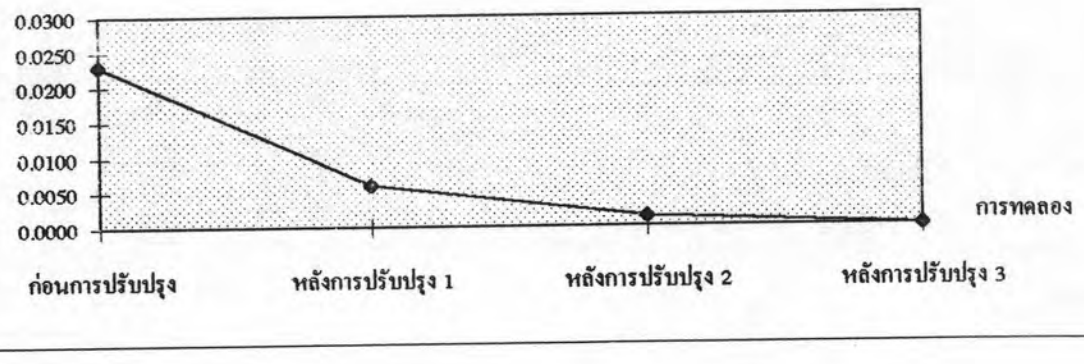
ตารางที่ 6.33 แสดงการเปรียบเทียบ %R&R และ $\sigma_{R\&R}$ ก่อนและหลังการปรับปรุง (เครื่องวัดความหนา)

การทดลอง GRR	%R&R	$\sigma_{R\&R}$
ก่อนการปรับปรุง	8.75%	0.0230
หลังการปรับปรุง 1	4.25%	0.0060
หลังการปรับปรุง 2	3.16%	0.0014
หลังการปรับปรุง 3	2.53%	0.0000

รูปที่ 6.5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ %R&R ก่อนและหลังการปรับปรุง



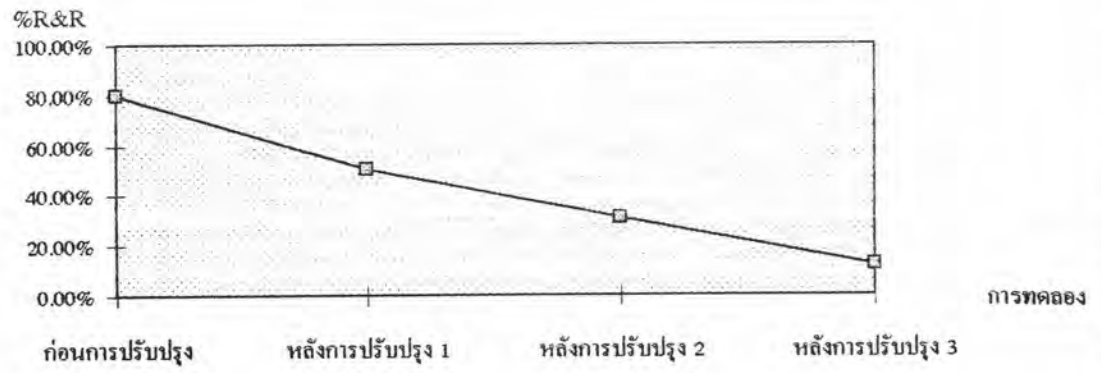
รูปที่ 6.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $\sigma_{R\&R}$ ก่อนและหลังการปรับปรุง



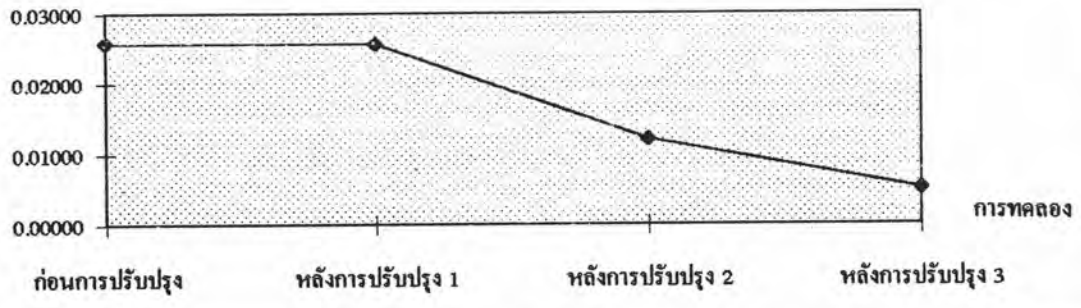
ตารางที่ 6.34 แสดงการเปรียบเทียบ %R&R และ $\sigma_{R\&R}$ ก่อนและหลังการปรับปรุง
(เครื่องวัดความหนาโลหะบางๆ)

การทดลอง GRR	%R&R	$\sigma_{R\&R}$
ก่อนการปรับปรุง	79.73%	0.02580
หลังการปรับปรุง 1	50.32%	0.02570
หลังการปรับปรุง 2	30.82%	0.01210
หลังการปรับปรุง 3	11.87%	0.00505

รูปที่ 6.7 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ %R&R ก่อนและหลังการปรับปรุง



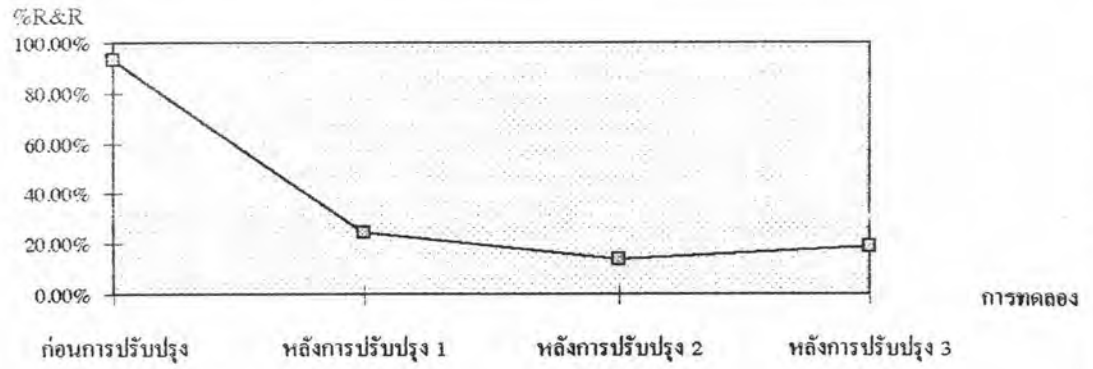
รูปที่ 6.8 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $\sigma_{R\&R}$ ก่อนและหลังการปรับปรุง



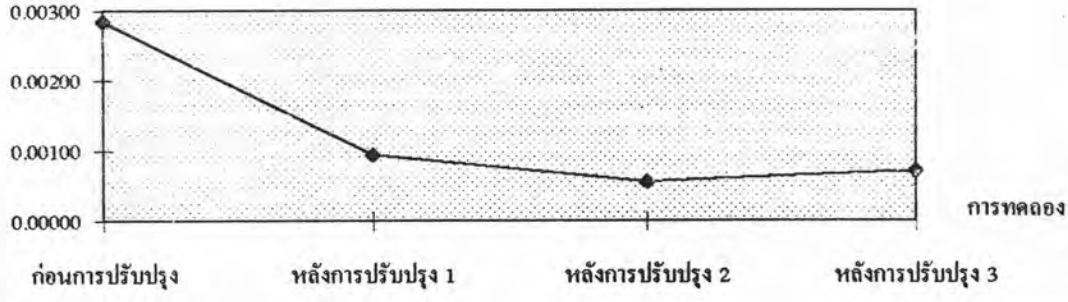
ตารางที่ 6.35 แสดงการเปรียบเทียบ %R&R และ $\sigma_{R\&R}$ ก่อนและหลังการปรับปรุง (เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์)

การทดลอง GRR	%R&R	$\sigma_{R\&R}$
ก่อนการปรับปรุง	93.28%	0.00284
หลังการปรับปรุง 1	24.15%	0.00094
หลังการปรับปรุง 2	13.86%	0.00055
หลังการปรับปรุง 3	18.79%	0.00070

รูปที่ 6.9 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ %R&R ก่อนและหลังการปรับปรุง



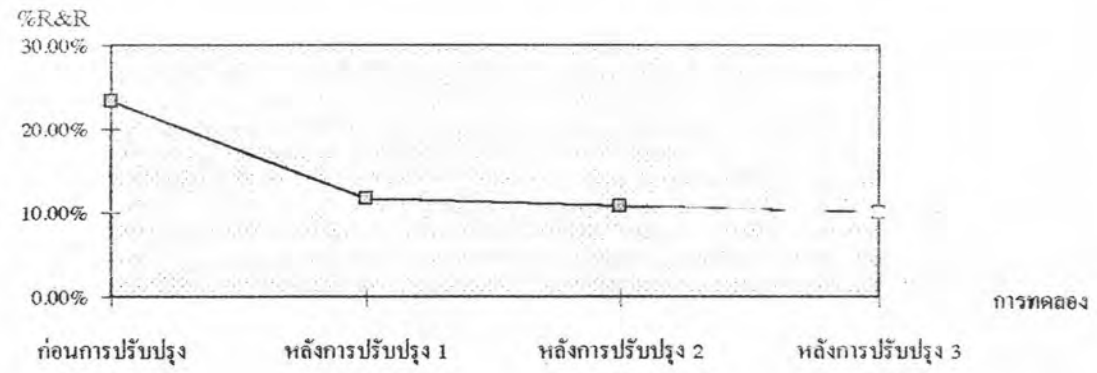
รูปที่ 6.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $\sigma_{R\&R}$ ก่อนและหลังการปรับปรุง



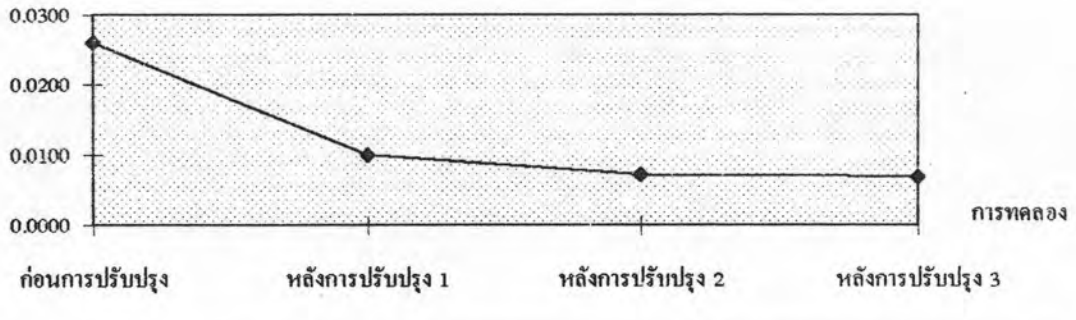
ตารางที่ 6.36 แสดงการเปรียบเทียบ %R&R และ $\sigma_{R\&R}$ ก่อนและหลังการปรับปรุง (ไมโครมิเตอร์)

การทดลอง GRR	%R&R	$\sigma_{R\&R}$
ก่อนการปรับปรุง	23.29%	0.02600
หลังการปรับปรุง 1	11.73%	0.00990
หลังการปรับปรุง 2	10.77%	0.00720
หลังการปรับปรุง 3	10.01%	0.00690

รูปที่ 6.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ %R&R ก่อนและหลังการปรับปรุง



รูปที่ 6.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ $\sigma_{R\&R}$ ก่อนและหลังการปรับปรุง



6.7 การเปรียบเทียบระหว่างการวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิคGRR กับ วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA) ก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถใช้วิเคราะห์หาค่าความผิดพลาดของระบบการวัด โดยที่วิธี ANOVA จะสามารถหาความแปรปรวนอันเนื่องมาจากสาเหตุต่างๆได้ดังนี้

1.ชิ้นงาน

2.พนักงานวัด

3.ปฏิสัมพันธ์ระหว่าง ชิ้นงานกับพนักงานวัด

4.เครื่องมือวัด

โดยที่ ค่าประมาณของความแปรปรวนของแต่ละสาเหตุ(The estimate of variance components) ดังจะหาได้จากสูตรต่อไปนี้

เครื่องมือวัด (GAGE) $\tau^2 = Ms_c$

ปฏิสัมพันธ์ (INTERACTION) $\gamma^2 = \frac{(MS_{op} - MS_e)}{r}$

พนักงานวัด (APPRAISER) $\omega^2 = \frac{(MS_o - MS_{op})}{nr}$

ชิ้นงาน (PART) $\sigma^2 = \frac{(MS_p - MS_{op})}{kr}$

วิธีการคำนวณ ANOVA

$$SS_p = \sum_{i=1}^{n} \frac{X^2_{i..}}{kr} - \frac{X^2...}{nkr} \qquad TSS = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k}\sum_{m=1}^{r} X^2_{ijm} - \frac{X^2...}{nkr}$$

$$SS_0 = \sum_{j=1}^{k} \frac{X^2_{.j.}}{nr} - \frac{X^2...}{nkr} \qquad SS_e = TSS - \left[SS_o + SS_p + SS_{op}\right]$$

$$SS_{op} = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{k} \frac{X^2_{ij.}}{r} - \sum_{i=1}^{n} \frac{X^2_{i..}}{kr} - \sum_{j=1}^{k} \frac{X^2_{.j.}}{nr} + \frac{X^2...}{nkr} \qquad I = 1,.....n \;\; J = 1,....k \;\; M = 1....r$$

n = จำนวนชิ้นงาน

k = จำนวนพนักงาน

r = จำนวนการทดลองซ้ำ

ANOVA

Source	DF	SS	MS	EMS	F
พนักงานวัด	k-1	SSo	SSo/k-1 = MSo	$\tau^2+r\gamma^2+nr\omega^2$	
ชิ้นงาน	n-1	SSp	SSp/n-1 =MSp	$\tau^2+r\gamma^2+kr\sigma^2$	
ปฏิสัมพันธ์	(n-1)(k-1)	SSop	SSop/(n-1)(k-1)=MSop	$\tau^2+r\gamma^2$	MSop
เครื่องมือวัด	nk(r-1)	SSe	SSe/nk(r-1)=MSe	τ^2	Mse
รวม	nkr-1	TSS			

Appraiser $\sim N(0,\omega^2)$

Parts $\sim N(0,\sigma^2)$

Appraisers x Part $\sim N(0,\gamma^2)$

Gage $\sim N(0,\tau^2)$

ตารางที่ 6.37 แสดงการคำนวณการวิเคราะห์ความแปรปรวน(ANOVA)

ค่าประมาณความแปรปรวน	ค่าเบี่ยงเบน(σ)มาตรฐาน	5.15(σ)	%Study Variation
Repeatability = τ^2 (เครื่องมือวัด)	τ	EV = 5.15 τ	(EV/TV)100
Operator=ω^2 (พนักงานวัด)	ω	AV =5.15 ω	(AV/TV)100
Interaction = γ^2 (ปฏิสัมพันธ์)	γ	INT = 5.15 γ	(INT/TV)100
R&R^2 = $\tau^2+\gamma^2+\omega^2$	$\sqrt{\tau^2+\gamma^2+\omega^2}$	R&R = 5.15 $\sqrt{\tau^2+\gamma^2+\omega^2}$	(R&R/TV)100
Part = σ^2 (ชิ้นงาน)	σ	PV = 5.15 σ	(PV/TV)100

หมายเหตุ $TV = \sqrt{R\&R^2 + PV^2}$

ตารางที่ 6.38 แสดงการคำนวณหา % การแปรผันของแต่ละสาเหตุ

ตารางที่ 6.39 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวิธี GRR และ ANOVA ของกล้องไมโครสโคป
(เปรียบเทียบเฉพาะหลังการปรับปรุงครั้งที่ 3)

วิธี	5.15 Std. Dev.	% Study Variation
GRR		
EV	0.4780	18.39 %
AV	0.1836	7.05 %
R&R	0.5130	19.69 %
PART	2.5515	98.04 %
ANOVA		
EV	1.0465	45.86 %
AV	0.0000	0.00 %
INTERACTION	0.4090	17.92 %
R&R	1.1236	49.24 %
PART	1.9861	87.03 %

ตารางที่ 6.40 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวิธี GRR และ ANOVA ของเครื่องวัดความหนา (เปรียบเทียบเฉพาะหลังการปรับปรุงครั้งที่ 3)

วิธี	5.15 Std. Dev.	% Study Variation
GRR		
EV	0.003	2.17 %
AV	0.0019	1.22 %
R&R	0.004	2.49 %
PART	0.15417	99.97 %
ANOVA		
EV	0.0029	1.83 %
AV	0.0024	1.49 %
INTERACTION	0.0017	1.05 %
R&R	0.00419	2.58 %
PART	0.16204	99.96 %

ตารางที่ 6.41 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวิธี GRR และ ANOVA ของเครื่อง CMI
(เปรียบเทียบเฉพาะหลังการปรับปรุงครั้งที่ 3)

วิธี	5.15 Std. Dev.	% Study Variation
GRR		
EV	0.048	3.30 %
AV	0.1666	11.40 %
R&R	0.1735	11.87 %
PART	1.45145	99.29 %
ANOVA		
EV	0.04563	3.31 %
AV	0.0000	0.00 %
INTERACTION	0.001092	17.50 %
R&R	0.002154	34.52 %
PART	0.00586	93.91 %

ตารางที่ 6.42 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวิธี GRR และ ANOVA ของเวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์ (เปรียบเทียบเฉพาะหลังการปรับปรุงครั้งที่ 3)

วิธี	5.15 Std. Dev.	% Study Variation
GRR		
EV	0.0012	18.44 %
AV	0.0000	0.00 %
R&R	0.0012	18.44 %
PART	0.0065	98.28 %
ANOVA		
EV	0.0018566	29.75 %
AV	0.0000	0.00 %
INTERACTION	0.001092	17.50 %
R&R	0.002154	34.52 %
PART	0.00586	93.91 %

ตารางที่ 6.43 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างวิธี GRR และ ANOVA ของไมโครมิเตอร์
(เปรียบเทียบเฉพาะหลังการปรับปรุงครั้งที่ 3)

วิธี	5.15 Std. Dev.	% Study Variation
GRR		
EV	0.005	9.33 %
AV	0.0025	5.11 %
R&R	0.0052	10.64 %
PART	0.0486	99.43 %
ANOVA		
EV	0.01154	23.31 %
AV	0.0000	0.00 %
INTERACTION	0.00845	17.07 %
R&R	0.0143	28.89 %
PART	0.0474	95.76 %

ตารางที่ 6.44 แสดงการเปรียบเทียบ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(Standard Deviation)ที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สูตรพื้นฐาน[$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Xi-X)^2}{n-1}}$]กับทฤษฎี GRR

เครื่องมือวัด	หลังการปรับปรุงครั้งที่	$\sigma_{OBSERVE}$	$\sigma_{R\&R}$
กล้องไมโครสโคป	1	0.59	0.53
	2	0.46	0.34
	3	0.43	0.24
เครื่องวัดความหนา	1	0.02	0.006
	2	0.04	0.0014
	3	0.03	0.000
เครื่อง CMI	1	0.0383	0.0257
	2	0.1472	0.0121
	3	0.2541	0.00505
เวอร์เนียร์ คาลิปเปอร์	1	0.001	0.00094
	2	0.003	0.00055
	3	0.001	0.0007
ไมโครมิเตอร์	1	0.04	0.0099
	2	0.02	0.0072
	3	0.01	0.0069