การประยุกต์ใช้สถิติวิศวกรรมกับเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม

ENGINEERING STATISTICAL ANALYSIS APPLICATION FOR INDUSTRIAL INSTRUMENTS

นายสยาม ปัญญา รหัส 50383028

นายกิตติธร ตรรกชนชูชัย รหัส 50383493

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 1590724X
เลขเรียกหนังสือ NS.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ส319 ก 2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การประยุกต์ใช้สถิติวิศวกรรมกับเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายสยาม	ปัญญา	รหัส 50383028
	นายกิตติธร	ตรรกชนชูชัย	รหัส 50383493
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.พิสุทธิ์ อภิชยกุล		
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2554		

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ดร.พิสุทธิ์ อภิชยกุล)

.....กรรมการ

(ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง)

.....กรรมการ

(รศ.ดร.กวิน สนธิเพิ่มพูน)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การประยุกต์ใช้สถิติวิศวกรรมกับเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายสยาม ปัญญา รหัส 50383028
	นายกิตติธร ตรรกชนชูชัย รหัส 50383493
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.พิสุทธิ์ อภิชยกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2554

บทคัดย่อ

โครงงานนี้เป็นการประยุกต์ใช้สถิติวิศวกรรมกับเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการวิเคราะห์ค่าความถูกต้องของเครื่องมือวัดโดยการประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติเพื่อการวิเคราะห์คำนวณหาค่าความไม่แน่นอนในการวัด ค่าความคลาดเคลื่อน ค่าความถูกต้อง ความเป็นเชิงเส้น ที่สามารถวิเคราะห์ได้ของเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม โดยการเก็บข้อมูลจากการสอบเทียบของอุปกรณ์นั้นกับอุปกรณ์มาตรฐานตามข้อกำหนดที่ได้ตั้งไว้ตามมาตรฐานใบรับรองการสอบเทียบของเครื่องมือวัด

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะมีขึ้นและสำเร็จลงไม่ได้ถ้าปราศจาก ดร.พิสุทธิ์ อภิชยกุล ผู้ที่ให้คำปรึกษาและคำชี้แนะ บิดาและมารดาที่สนับสนุนทุน ค่าใช้จ่ายและให้กำลังใจในทุกด้านตลอดเวลาในการดำเนินงาน

สุดท้ายนี้หวังว่าปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับหน่วยงานหรือบุคคลที่มีความสนใจได้ไม่มากก็น้อย และถ้ามีข้อบกพร่องหรือผิดพลาดประการใดขออภัยไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นายสยาม ปัญญา
นายกิตติธร ตรรกชนชูชัย

พฤษภาคม 2555

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ฌ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน 2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ 3
1.5 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน 3
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน 3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 3
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 5
2.1 มาตรวิทยา 5
2.2 การวัด 6
2.2.1 มาตรฐานการวัด 6
2.2.2 การวัดทางอุตสาหกรรม 7
2.2.3 สัญญาณมาตรฐาน 7
2.3 การสอบเทียบ 9
2.3.1 ความหมายของการสอบเทียบมาตรฐาน 9
2.3.2 ความจำเป็นของการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด 10
2..3.3 การสอบเทียบเครื่องมือวัดสามารถทำได้ 2 วิธี 10

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.4 การสืบทอดมาตรฐาน....11
2.3.5 องค์การมหาชนสำหรับระบบการสอบเทียบและสอบกลับ....11
2.3.6 ระยะเวลาที่ควรจะทำการสอบเทียบ....12
2.3.7 ความสำคัญของอัตราการขยายของเครื่องวัดเพื่อใช้ในการสอบเทียบ....13
2.4 คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องมือวัด....13
2.4.1 คุณสมบัติคงที่....13
2.4.2 คุณสมบัติทางพลวัต....17
2.5 ความไม่แน่นอนในการวัด....18
2.5.1 ความสำคัญของความไม่แน่นอนของการวัด....18
2.5.2 ขั้นตอนการประมาณค่าความไม่แน่นอน....19
2.5.3 การรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัด....22

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน....27
3.1 ศึกษาค้นคว้าทำความเข้าใจทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม....27
3.2 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิธีการทางสถิติ....27
3.3 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสอบเทียบเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม....27
3.4 ศึกษาข้อมูลที่ได้จากการวัดและหาแนวทางในการประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ข้อมูล....27
3.5 วิเคราะห์เครื่องมือวัดโดยการประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติ....27

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์....28
4.1 ข้อมูลทั่วไปของเครื่องมือสอบเทียบความดันแบบดิจิตอลชนิดพกพา รุ่น DP1610....29
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสอบเทียบ .30
4.2.1 ค่าเฉลี่ย....33
4.2.2 การหาค่าความคลาดเคลื่อน....35
4.2.3 การหาค่าความถูกต้องสูงสุดที่สามารถวัดได้....37
4.2.4 การหาค่าความถูกต้องของช่วงการวัด....39
4.2.5 การหาค่าความถูกต้องของตำแหน่งการอ่านค่าของเครื่องวัด....41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 การหาค่าความเป็นเชิงเส้น....43
4.4 การหาค่าความไม่แน่นอนในการวัด....49
4.4.1 การรวมค่าความไม่แน่นอนของการวัด....51
4.4.2 การรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัดของแต่ละปัจจัยให้เป็นค่าเดียว....55
4.4.3 ทำการขยายขอบเขตค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น....60

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ....65
5.1 สรุปผลการวิเคราะห์....65
5.1.1 สรุปค่าความถูกต้อง....65
5.1.2 สรุปค่าความคลาดเคลื่อน....65
5.1.3 สรุปค่าความเป็นเชิงเส้น....65
5.1.4 สรุปค่าความไม่แน่นอนในการวัด....66
5.2 ปัญหาที่พบในการดำเนินโครงงาน....68
5.3 ข้อเสนอแนะ....68

เอกสารอ้างอิง....69
ภาคผนวก....70
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน....75

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน (Gantt Chart) 4
ตารางที่ 2.1 แสดงวิธีการหาค่า ความไม่แน่นอนในการวัด ตามการกระจาย 21
ตารางที่ 2.2 ค่าของที่ของปัจจัยที่ทำให้เกิดผลที่ระดับความเชื่อมั่นต่างๆ 23
ตารางที่ 4.1 แสดงเครื่องที่ใช้เป็นมาตรฐานในการสอบเทียบของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ 28
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าที่ทำการสอบเทียบ และช่วงของการสอบเทียบ 29
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความดันที่วัดได้จากเก็จความดันที่นำมาทำการสอบเทียบ 30
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความดันที่วัดได้จากเก็จความดันที่นำมาทำการสอบเทียบ 30
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความดันที่วัดได้จากแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต 31
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าความดันที่วัดได้จากกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต 31
ตารางที่ 4.7 แสดงค่าความดันที่วัดได้จากกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต 32
ตารางที่ 4.8 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปร 33
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการหาค่าความคลาดเคลื่อน (Error) 35
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการหาค่าความถูกต้องสูงสุดที่สามารถวัดได้ 37
ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงผลของค่าความถูกต้องของช่วงการวัด 39
ตารางที่ 4.12 ตารางแสดงผลของค่าความถูกต้องของตำแหน่งการอ่านค่าของเครื่องวัด 41
ตารางที่ 4.13 แสดงผลของค่าความไม่แน่นอนในการวัด 49
ตารางที่ 4.14 แสดงค่า Type A ของเก็จวัดความดัน ที่ 0-20 บาร์ 51
ตารางที่ 4.15 แสดงค่า Type A ของเก็จวัดความดัน ที่ 0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร 52
ตารางที่ 4.16 แสดงค่าของ Type A ของแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต ที่ 0-50 โวลต์ 52
ตารางที่ 4.17 ค่าของ Type A ของกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต ที่ 0-50 มิลลิแอมป์ 53
ตารางที่ 4.18 ค่าของ Type A ของกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต ที่ 0-24 มิลลิแอมป์ 54
ตารางที่ 4.19 การรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัด ของเก็จวัดความดัน ที่ 0-20 บาร์ 55
ตารางที่ 4.20 การรวมค่าความไม่แน่นอนเก็จวัดความดันที่ 0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร 56
ตารางที่ 4.21 การรวมค่าของแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต ที่ 0-50 โวลต์ 57
ตารางที่ 4.22 การรวมค่ากระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต ที่ 0-50 มิลลิแอมป์ 58
ตารางที่ 4.23 การรวมค่ากระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต ที่ 0-24 มิลลิแอมป์ 59
ตารางที่ 4.24 การขยายขอบเขตให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น ของเก็จวัดความดัน ที่ 0-20 บาร์ 60
ตารางที่ 4.25 การขยายขอบเขตอยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น ที่ 0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร 61

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.26 แสดงการขยายขอบเขตค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น.....62
ตารางที่ 4.27 การขยายขอบเขต ของกระแสไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต ที่ 0-50 มิลลิแอมป์ 63
ตารางที่ 4.28 การขยายขอบเขต ของกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุตที่ 0-24 มิลลิแอมป์64
ตารางที่ 5.1 แสดงค่าสรุป ของเก็จวัดความดัน 66

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดและกระแสสัญญาณมาตรฐาน 8
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดและแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน 8
รูปที่ 2.3 รูปสี่เหลี่ยมการกระจายตัวแบบ Rectangular Distribution 21
รูปที่ 2.4 รูปสามเหลี่ยมการกระจายแบบ Triangular Distribution 21
รูปที่ 2.5 รูประฆังคว่ำ การกระจายตัวแบบ Normal Distribution 22
รูปที่ 2.6 ระยะห่าง 1SD และ 2SD ในพื้นที่ใต้กราฟ 24
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของ เก็จวัดความดัน ที่ 0-20 บาร์ 43
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของเก็จวัดความดัน ที่ 0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร 44
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุตที่ 0-5 โวลต์ 45
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุตที่ 0-50 โวลต์ 46
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของกระแสไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุตที่ 0-50 มิลลิแอมป์ 47
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของกระแสไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุตที่ 0-24 มิลลิแอมป์ 48

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

UKAS	=	United Kingdom Accreditation Service
cm	=	Centimeter
V	=	Voltage
UUC	=	Unit Under Calibration
STD	=	Standard Deviation
กก.	=	กิโลกรัม
^{o}c	=	องศาเซลเซียส
δ	=	ผลรวมของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
$U_c(y)$	=	Combined Uncertainty
BIPM	=	Bureau International des Poids et Mesures
Type A	=	ปัจจัย ของความไม่แน่นอนในการวัดเกิดจากการคำนวณค่าจากการทดลองซ้ำๆ
Type B	=	ปัจจัย ของความไม่แน่นอนในการวัดเกิดจากการประเมินโดยวิธีอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ทำการทดลองซ้ำๆ
Bar	=	บาร์
Kgf/cm^2	=	แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร
mA	=	มิลลิแอมแปร์
nA	=	นาโนแอมแปร์
μV	=	ไมโครโวลต์
psi	=	ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ppm	=	Part per million
RES	=	Resolution
k	=	ขอบเขตของปัจจัยที่ทำให้เกิดผลจากภายนอก

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

เครื่องมือวัดเป็นสิ่งสำคัญที่สามารถวัดค่าของสิ่งที่ต้องการทราบค่าได้อย่างถูกต้อง ปัจจุบันมีการใช้เครื่องมือวัดอย่างหลากหลาย เครื่องมือวัดกลายเป็นสิ่งหนึ่งในชีวิตประจำวัน ตัวอย่างเช่น การดูนาฬิกาว่าเป็นเวลาเท่าใด นาฬิกาก็คือเครื่องมือวัดเวลา หรือขับรถ ก็ดูเข็มวัดน้ำมันในรถว่ามีน้ำมันอยู่ปริมาณเท่าใด เข็มวัดน้ำมันก็เป็นอุปกรณ์การวัดที่ใช้ในการวัดปริมาณของน้ำมัน หากเครื่องมือวัดหรืออุปกรณ์การวัดที่กล่าวถึงขาดความถูกต้องและความน่าเชื่อถือ คงไม่สามารถประมาณการและวางแผนสิ่งต่างๆที่จะเกิดขึ้นได้ ในชีวิตประจำวันมีการวัดอยู่ในกิจกรรมต่างๆมากมาย เช่น อุตสาหกรรม ทางการทหาร ทางการแพทย์ ทางการค้า เป็นต้น กล่าวได้ว่าการวัดเข้าไปมีส่วนกับกิจกรรมต่างๆ อยู่เสมอและการวัดก็อยู่กับสังคมมนุษย์ตลอดไป ดังนั้นเครื่องมือวัดที่ใช้ต้องมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ ในการใช้งานโดยทั่วไป เครื่องมือวัดจะต้องได้รับการสอบเทียบ เพื่อให้เครื่องมือวัดมีความถูกต้อง แม่นยำ และน่าเชื่อถือ เครื่องมือวัดจะต้องทำการสอบเทียบเนื่องจาก การสอบเทียบเป็นการบอกได้ว่าเครื่องมือวัดนั้นสามารถใช้งานได้อย่างถูกต้อง และเชื่อถือได้

การสอบเทียบต้องกระทำอย่างถูกต้อง สม่ำเสมอ ถ้าต้องการควบคุมคุณภาพผลผลิต และพัฒนาคุณภาพผลผลิต การสอบเทียบเป็นการประกันว่า เครื่องมือวัดอุตสาหกรรมมีความเที่ยงตรง (ความถูกต้อง และ ความแม่นยำของเครื่องมือวัดรวมกัน) ตามต้องการในการรักษากระบวนการผลิตให้อยู่ในสภาพการควบคุมที่ประหยัด เพราะเครื่องมือวัดที่มีประสิทธิภาพทำให้เราทราบถึงผลการวัดที่ถูกต้องและน่าเชื่อถือซึ่งส่งผลให้สามารถวางแผนระบบการทำงานได้ การสอบเทียบจะต้องทำเป็นประจำทุกระยะเวลาหนึ่งๆ (ขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของเครื่องมือ) และต้องมีมาตรฐานของการสอบเทียบ ดังนั้นการสอบเทียบอาจกล่าวได้ว่าเป็นการเปรียบเทียบค่าแสดงของเครื่องมือวัดที่ใช้งาน (Unit Under Calibration : UUC) กับค่ามาตรฐานอ้างอิง การเปรียบเทียบนี้ต้องการผู้ชำนาญการมาตรฐานอ้างอิงที่ดีและหลักการปฏิบัติที่ถูกต้อง ดังนั้น จึงต้องทำการสอบเทียบเครื่องวัด ณ ห้องปฏิบัติการสอบเทียบที่ตั้งขึ้นเพื่อการนี้โดยเฉพาะจึงจะได้ผลถูกต้อง

การสอบเทียบเป็นการบ่งบอกว่าการทำงานของเครื่องมือวัดนั้น วัดได้ความเที่ยงตรง และช่วงการวัดตามคุณสมบัติเฉพาะ (Specification) ของเครื่องมือนั้นหรือไม่ ถ้าไม่เป็นไปตามคุณสมบัติจำเพาะ ก็ทำการซ่อมและปรับแต่งเครื่องมือนั้นให้วัดได้ถูกต้องตามคุณสมบัติจำเพาะ และควรจะทำการซ่อมและปรับแต่งโดยผู้ชำนาญการเท่านั้น จากนั้นจะต้องทำการสอบเทียบใหม่หลังจากการซ่อมและปรับแต่งทุกครั้ง เครื่องมือวัดที่ผลิตโดยบริษัทผู้ผลิตที่มีมาตรฐานดีพอ เครื่องมือวัดทุกเครื่องจะต้องผ่านการสอบเทียบหรือการทดสอบโดยผู้ผลิต และมีประวัติผลการสอบเทียบหรือทดสอบเก็บไว้ ซึ่งผลการสอบเทียบนี้สามารถมอบสำเนาให้ผู้ซื้อได้ ถ้าผู้ซื้อบ่งบอกความต้องการไว้ด้วย

การสอบเทียบเครื่องมือวัดมีความสำคัญกับอุตสาหกรรมเพราะโรงงานอุตสาหกรรมมีเครื่องวัดที่สำคัญต่อการผลิตซึ่งสามารถแบ่งตามความสำคัญได้ดังนี้

1. เครื่องมือวัดที่มีผลต่อความปลอดภัยในกระบวนการผลิต และต่อการควบคุมสภาวะแวดล้อมเป็นพิษ
2. เครื่องมือวัดในกระบวนการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ หรือต่อประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต
3. เครื่องมือวัดอื่นนอกเหนือจาก ข้อ 1 และ 2 ที่ชี้บอกสภาวการณ์ของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต

นอกจากนั้น ยังสามารถจัดแบ่งตามสภาพความมากน้อยของการใช้งาน ความเที่ยงตรงได้อีกด้วยสำหรับเครื่องมือวัดเพื่อการซื้อขายนั้น นอกจากการแบ่งตามวิธีการเบื้องต้นแล้วยังต้องคำนึงถึงแง่กฎหมาย (พ.ร.บ. ชั่ง ตวง วัด) อีกด้วย สำหรับเครื่องมือวัดมาตรฐานที่ไม่ได้ใช้ในกระบวนการผลิตแต่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์ หรือพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์ เครื่องมือวัดเหล่านี้จะเป็นตัวบอกข้อมูลเพื่อการตัดสินใจ ของแต่ละหน่วยงาน ดังนั้น การสอบเทียบความเที่ยงตรงของเครื่องมือเหล่านี้จะช่วยประกันข้อมูล ที่นำมาพิจารณาตัดสินใจได้อย่างมั่นใจ และถูกต้องขึ้น

ด้วยเหตุนี้โครงงาน การประยุกต์ใช้สถิติวิศวกรรมกับเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม จึงได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสอบเทียบโดยใช้วิธีการทางสถิติเพื่อทราบถึงคุณสมบัติของเครื่องมือวัดที่นำมาสอบเทียบ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม

1.2.2 เพื่อหาแนวทางในการวิเคราะห์เครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรมโดยการประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติ

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 รู้และเข้าใจถึงคุณสมบัติของเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม

1.3.2 สามารถวิเคราะห์เครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรมโดยการประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติได้

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

วิเคราะห์เครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรมโดยการประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติแล้วสามารถทราบได้ว่าเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรมนั้นมีความถูกต้อง น่าเชื่อถือและสามารถยอมรับได้มากน้อยอย่างไร

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

ศึกษาค้นคว้าหลักการทำงานของเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม วิธีการสอบเทียบและการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีการทางสถิติ โดยใช้เครื่องมือวัดตัวอย่างคือ เครื่องมือสอบเทียบความดันแบบดิจิตอลชนิดพกพา (Digital Pressure Calibrator) รุ่น DPI610

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

ห้องปฏิบัติการวิศวกรรม (Shop IE) ภายในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

สิงหาคม ปี 2553 – เมษายน ปี 2555

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงาน (Gantt Chart) ในเดือน สิงหาคม ปี 2553 – เดือน เมษายน ปี 2554

ลำดับ	การดำเนินงาน	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1	ศึกษาค้นคว้าทำความเข้าใจทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม									
2	ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิธีการทางสถิติ									
3	ศึกษาค้าคว้าเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสอบเทียบโดยการใช้วิธีการทางสถิติ									
4	ศึกษาข้อมูลที่ได้จากการวัดและหาแนวทางการสอบเทียบโดยการประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัด									
5	วิเคราะห์เครื่องมือวัดโดยการประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติ									
6	สรุปผลและจัดทำรายงาน									

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

การวิเคราะห์เครื่องวัดเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างผลการวัดของเครื่องมือที่ทำการวิเคราะห์ค่ามาตรฐาน (ที่ได้จากเครื่องมือมาตรฐาน) เพื่อใช้ในการตัดสินว่าเครื่องวัดดังกล่าวนั้นสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์หรือไม่ เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับควบคุมคุณภาพในกระบวนการผลิตหรือบริการ ดังนั้นเครื่องมือวัดจึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดและทำการสอบเทียบเป็นประจำตามกำหนด เพราะเวลาในการใช้งานค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในกระบวนการผลิต วัสดุที่นำมาใช้และสภาพแวดล้อม เป็นเหตุผลในการที่จะต้องทำการสอบเทียบเครื่องวัดเป็นประจำ ถึงแม้ว่าเครื่องวัดจะถูกสอบเทียบมาจากโรงงานแล้วก็ตาม แต่ในระหว่างการขนส่งอาจจะทำให้เครื่องวัดมีค่าผิดพลาดไปได้ ในกรณีที่ต้องเปลี่ยนเครื่องวัดใหม่จะต้องทำการสอบเทียบก่อนทุกครั้ง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่างๆสามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ ถ้าหากว่าตำแหน่งของการติดตั้งเกิดการเปลี่ยนแปลง เครื่องวัดควรจะทำการสอบเทียบ ณ ตำแหน่งที่ติดตั้ง เพื่อความถูกต้องในการทำงานของระบบการวัดและควบคุม

2.1 มาตรวิทยา

มาตรวิทยา (Metrology) คือความรู้ที่เกี่ยวกับการวัด หมายถึง วิชาที่ว่าด้วยวิทยาศาสตร์การวัดและการทดสอบค่าคุณสมบัติทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งเป็นวิทยาการที่ครอบคลุมถึงหน่วยรากฐานของการวัดที่ใช้ในการวิเคราะห์ทดสอบ รวมถึงเครื่องมือและวิธีวิเคราะห์ทดสอบ โดยความสำคัญในเรื่องความถูกต้อง แม่นยำ ของการวิเคราะห์ทดสอบ การสอบเทียบเครื่องมือและการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ทดสอบ รวมทั้งมาตรการที่เกี่ยวข้อง จึงเป็นงานที่มีทั้งงานวิจัยและพัฒนา การสร้างเครื่องมืออุปกรณ์ การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ทดสอบ การศึกษาด้านความถูกต้อง แม่นยำของการวิเคราะห์ทดสอบ การกำหนดหลักการ และวิธีการที่ใช้อ้างอิงในการวิเคราะห์ทดสอบให้เป็นระบบสากลอย่างกว้างขวาง สำหรับกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการวัด สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

- การทดสอบ (Testing) และการวิเคราะห์ (Analysis)
- การสอบเทียบ (Calibration)

มาตรวิทยาเป็นมาตรฐานการวัด (Standard of Measurement) ที่ทุกประเทศจะต้องมี เพื่อใช้อ้างอิงสำหรับกิจกรรมการวัดที่สามารถสอบกลับ (Traceability) ไปยัง International Standard of Units (SI Units) เมื่อมีการเปรียบเทียบผลการวัด ก็จะเป็นไปอย่างยุติธรรมเพราะอ้างอิงหน่วยอ้างอิงเดียวกัน แต่ถ้าอ้างอิง SI Units ไม่ได้เพราะยังไม่มี ก็อ้างอิงมาตรฐานสากลที่ทุกประเทศยอมรับและใช้ร่วมกันในการค้าขาย การคุ้มครองผู้บริโภค และการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม หรือการวิจัย

มาตรวิทยาเกี่ยวข้องกับกิจกรรมการวัด ที่ครอบคลุมการวัดทางด้านวิศวกรรม สถาปัตยกรรม อาหาร สุขภาพ สิ่งแวดล้อม และเทคโนโลยีในระดับสูง ที่ล้วนต้องการผลการวัดที่มีความแม่น (Accuracy) ความเที่ยงตรง (Precision) เป็นที่เชื่อถือของผู้ใช้ผลการวัด เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์และผลผลิตที่มีคุณภาพอย่างแท้จริง

ในแต่ละประเทศจะมีหน่วยงานที่เรียกว่าสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ (National Metrology Institute: NMI) ซึ่งกำหนดมาตรฐานการวัดของประเทศให้เป็นที่ยอมรับในระดับสากล รวมทั้งการรักษาและการสืบทอดมาตรฐานการวัดไปยังห้องปฏิบัติการกิจกรรมการวัด และเครื่องมือวัดที่มีอยู่ในประเทศ ที่กระทำโดยให้บริการสอบเทียบ (Calibration) เครื่องมือวัด การพัฒนาและการเตรียมวัสดุอ้างอิง (Reference Material : RM) เพื่อใช้ในกระบวนการสอบเทียบเครื่องมือ การให้ค่าแก่วัสดุอ้างอิง รวมทั้งการวิจัยและพัฒนาด้านมาตรฐานการวัด และการทดสอบความชำนาญ (Proficiency Testing, PT) มาตรวิทยาเป็น 1 ใน 4 องค์ประกอบที่สำคัญของโครงสร้างพื้นฐานคุณภาพ (Quality Infrastructure) ซึ่งประกอบด้วย มาตรวิทยา (Metrology) การมาตรฐาน (Standard) การทดสอบ (Testing) และการประกันคุณภาพ (Quality Assurance) ที่นิยมเรียกว่า MSTQ ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการพัฒนาประเทศเพื่อให้ได้คุณภาพชีวิต (Quality of Life) ที่ดีสำหรับทุกคน

2.2 การวัด

การวัดคือกระบวนการเพื่อให้ได้ขนาดของปริมาณหนึ่ง เช่นความยาวหรือมวล และเกี่ยวข้องกับหน่วยของการวัด คือ เมตร และกิโลกรัม ดังนั้นการวัดจึงต้องมีระบบหน่วยวัดที่ถูกต้องเชื่อถือได้ เพื่อให้เป็นสากลหน่วยวัดจึงต้องใช้ค่าเหมือนกันซึ่งจำเป็นต้องมีคำจำกัดความที่ชัดเจนเกี่ยวกับหน่อยวัดและวิธีคำนวณเปรียบเทียบกับระบบวัดซึ่งเรียกว่า มาตรฐาน

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2533).มาตรวิทยาและห้องปฏิบัติการมาตรวิทยา.2533.กรุงเทพมหานคร.2533

2.2.1 มาตรฐานการวัด

มาตรฐานการวัดเป็นปัจจัยอันสำคัญในระบบการวัด หน่วยวัดที่เป็นที่ยอมรับกันระหว่างประเทศรวมกับมาตรฐานการวัดที่เท่าเทียมกัน มีความสำคัญต่อระบบการค้าและความร่วมมือระหว่างประเทศ ระดับความเชื่อมั่นในความเท่าเทียมกันของมาตรฐานการวัดย่อมได้มาจากการทำการเปรียบเทียบระหว่างกัน (Comparison) และความสามารถของผู้ปฏิบัติการที่ทำการวิจัยอยู่ในห้องปฏิบัติการต่างๆ ซึ่งผลคือความเชื่อถือในมาตรฐานการวัดเหล่านี้สามารถถ่ายทอดมาสู่ผู้ใช้งานได้โดยผ่านลูกโซ่ของการสอบกลับได้ (Chain of Traceability) การจัดลำดับขั้นของมาตรฐานในที่นี้ได้จาก International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology (VIM) ซึ่งได้นิยามไว้ดังนี้

2.2.1.1 มาตรฐานปฐมภูมิ (Primary Standard)

มาตรฐานปฐมภูมิ หมายถึง มาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ หรือเป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางว่ามีคุณสมบัติทางมาตรวิทยาสูงสุด และมีค่าเป็นที่ยอมรับโดยปราศจากการอ้างอิงถึงมาตรฐานอื่นที่เป็นปริมาณเดียวกัน

2.2.1.2 มาตรฐานทุติยภูมิ (Secondary Standard)

มาตรฐานทุติยภูมิ หมายถึง มาตรฐานที่ได้ค่ามาจากการเปรียบเทียบกับมาตรฐานปฐมภูมิของปริมาณเดียวกัน

2.2.1.3 มาตรฐานการวัดระหว่างชาติ

มาตรฐานการวัดระหว่างชาติ คือ มาตรฐานที่เป็นที่เป็นที่ยอมรับโดยความตกลงกันระหว่างประเทศ เพื่อเป็นฐานในการกำหนดค่าของมาตรฐานอื่นของปริมาณที่เกี่ยวข้อง

2.2.1.4 มาตรฐานการวัดแห่งชาติ (National Measurement Standards)

มาตรฐานการวัดแห่งชาติ คือ มาตรฐานที่ได้รับการกำหนดโดยทางราชการในประเทศหนึ่งๆ เพื่อใช้เป็นรากฐานในการกำหนดค่าของมาตรฐานอื่นของปริมาณที่เกี่ยวข้อง

2.2.1.5 มาตรฐานถ่ายทอด (Transfer Standard)

มาตรฐานถ่ายทอด คือ มาตรฐานที่ใช้เป็นตัวกลางในการเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐานหลายๆ ตัว

2.2.1.6 มาตรฐานขั้นใช้งาน (Working Standard)

มาตรฐานขั้นใช้งาน คือ มาตรฐานที่ใช้สำหรับการสอบเทียบ หรือการตรวจสอบกับวัสดุวัด เครื่องมือวัด หรือวัสดุอ้างอิง มาตรฐานขั้นใช้งานจะสอบเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงเสมอ และมาตรฐานใช้งานนี้อาจใช้สำหรับงานประจำ เพื่อให้มั่นใจว่าการวัดที่กระทำเป็นไปอย่าง ถูกต้อง บางครั้งจึงมีการเรียกมาตรฐานขั้นใช้งานนี้ว่า มาตรฐานสำหรับตรวจสอบ (Check Standard)

2.2.2 การวัดทางอุตสาหกรรม (Industrial Measurement)

กระบวนการวัดทางอุตสาหกรรมแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การวัดขณะที่กำลังผลิต และการวัดหลังจากที่ผลิตเสร็จแล้ว

2.2.2.1 การวัดขณะที่กำลังผลิต

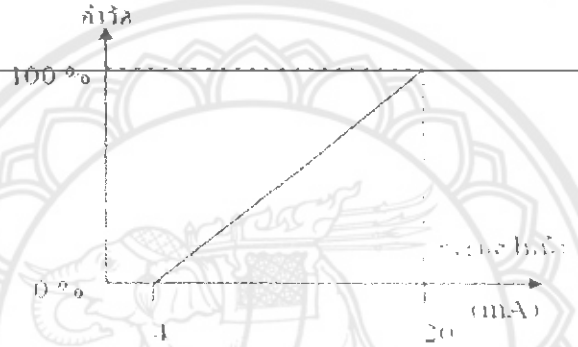
เงื่อนไขของการวัดจะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดทางวิศวกรรม ฟิสิกส์ หรือทางเคมี เช่น อุณหภูมิ ความดัน อัตราการไหล ระดับของเหลวในถัง ค่าความเป็นกรด-ด่าง

2.2.2.2 การวัดหลังที่จากผลิตเสร็จ

การวัดเพื่อตรวจสอบคุณลักษณะว่า เป็นไปตามข้อกำหนดของแต่ละผลิตภัณฑ์ เช่น คุณลักษณะทางเคมี หรือเป็นการวัดเพื่อตรวจสอบตามข้อกำหนดของการตลาดหรือลูกค้า เช่น ขนาด น้ำหนัก ปริมาตร

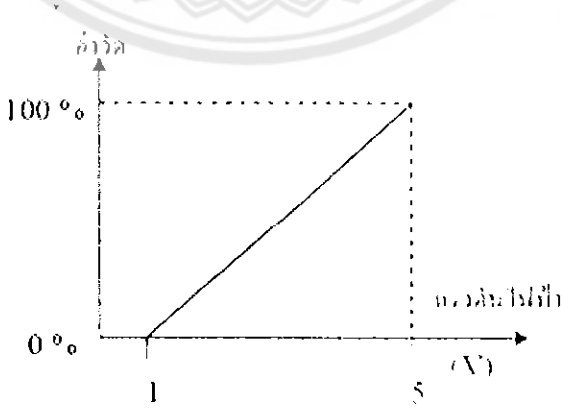
2.2.3 สัญญาณมาตรฐาน โดยทั่วไปสัญญาณมาตรฐานมี 2 ชนิด

2.2.3.1 การส่งสัญญาณกระแสตรง (DC Current) มาตรฐานที่นิยมคือ 4-20 mA หมายความว่าเมื่อค่าวัดเป็น 0% ก็จะเท่ากับกระแส 4 mA และหากวัดค่าได้ 100% จะเท่ากับกระแส 20 mA โดยค่าวัดได้จะอยู่ในช่วง 0-100% จะสัมพันธ์เชิงเส้นกับกระแส 4-20 mA



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดและกระแสสัญญาณมาตรฐาน

2.2.3.2 การส่งสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้า (DC Voltage) มาตรฐานที่นิยมคือ 1-5 V หมายความว่าเมื่อค่าวัดเป็น 0% ก็จะเท่ากับแรงดัน 1 V และหากวัดค่าได้ 100% จะเท่ากับแรงดัน 5 V โดยค่าวัดได้จะอยู่ในช่วง 0-100% จะสัมพันธ์เชิงเส้นกับแรงดัน 1-5 V



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวัดและแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน

2.3 การสอบเทียบ (Calibration)

การสอบเทียบคือ การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากเครื่องมือวัดกับค่ามาตรฐาน ที่ป้อนให้เครื่องมือนั้น ค่าที่ได้จากเครื่องมืออาจเป็นค่าแสดงผล หรือ ค่าสัญญาณที่ส่งออกจากเครื่องมือ ค่าที่ได้จากเครื่องมืออาจนำมาใช้เพื่อ กำหนดตำแหน่งของสเกล หรือค่าแสดงผลของเครื่องมือ หาค่าผิดพลาดของเครื่องมือเมื่อเทียบกับค่ามาตรฐาน ปรับแต่งเครื่องมือเพื่อให้ค่าที่ได้จากเครื่องมืออยู่ในขอบเขตของความผิดพลาดที่กำหนด ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบต้องมีความถูกต้องสูงกว่าเครื่องซึ่งนำมาสอบเทียบประมาณ 3 – 10 เท่า

การสอบเทียบเครื่องมือ จะต้องทำในสภาพแวดล้อมที่กำหนดของเครื่องมือที่เกี่ยวข้อง จะต้องทำการสอบเทียบตลอดช่วงเวลาของเครื่อง ตั้งแต่ค่าต่ำสุดถึงสูงสุดของเครื่องมือวัดและควรมีไม่น้อยกว่า 5 ค่าในช่วงดังกล่าว (ขึ้นอยู่กับชนิดของ UUC ตามมาตรฐาน DKD R 6-1)

นอกจากจะเป็นการหาค่าความถูกต้องของเครื่องมือแล้ว การสอบเทียบยังสามารถหาคุณสมบัติอื่นๆได้อีก เช่น ค่าความเป็นเชิงเส้น (Linearity) เป็นต้น และที่สำคัญจำเป็นต้องทราบค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือวัดด้วย (Uncertainty of Measurement) ซึ่งมีความสำคัญต่อการใช้เครื่องมือวัด

2.3.1 ความหมายของการสอบเทียบมาตรฐาน

การสอบเทียบมาตรฐาน หมายถึง การเปรียบระหว่างเครื่องวัดกับมาตรฐานการวัดที่รู้ค่าความถูกต้องเพื่อหาข้อผิดพลาดปรับแต่งให้ได้มาตรฐานและรายงานค่าความคลาดเคลื่อนของเครื่องวัดนั้น การสอบเทียบมาตรฐานเครื่องวัด เป็นการปฏิบัติเพื่อสร้างให้เกิดความมั่นใจในการทำงานของเครื่องมือวัดว่า เครื่องวัดนั้นๆ ยังสามารถทำงานได้ตามคุณลักษณะที่ถูกออกแบบไว้และมีความเชื่อถือได้นอกจากนั้น การสอบเทียบมาตรฐานเครื่องวัดยังก่อให้เกิดประโยชน์ในหลายทาง เช่น

- เป็นการยอมรับระหว่างกัน
- เป็นการรองรับความเจริญขึ้นของวิทยาศาสตร์
- เป็นการรองรับความต้องการทางอุตสาหกรรม
- ช่วยทำให้เกิดความเป็นธรรมในการค้าขาย
- เป็นการรองรับการวัดที่แม่นยำขึ้น เป็นต้น

เครื่องมือวัดที่ผลกระทบต่อชีวิตและทรัพย์สิน คุณภาพของงาน เครื่องวัดนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำการเทียบมาตรฐาน เพื่อเป็นการสร้างความมั่นใจว่า ผลการวัดของเครื่องมือนั้นถูกต้องและเชื่อถือได้

ข้อกำหนดของเครื่องมือมาตรฐานในการสอบเทียบ

ค่าความถูกต้องของเครื่องมือที่ใช้เป็นมาตรฐาน (Standard) ต้องดีกว่าเครื่องมือที่มารับการสอบเทียบ (Unit Under Calibration : UUC) อย่างน้อย 3 เท่า เช่น เครื่องวัดความดันที่จะนำมาทำการ

สอบเทียบมีค่าความถูกต้อง±0.1% of Full Scale ต้องใช้เครื่องมือมาตรฐานที่มีค่าความถูกต้องไม่น้อยกว่า ±0.1/3 = 0.003 % of F.S.

แนวทางการสอบเทียบมาตรฐานนานาชาติ (International Guidelines)

American National Standard, ANSI B40.1 – 1974

Instrumentation Society of America, ISA.

British Standard, BS EN 837 – 1 : 1998

Duetscher Kalibrierdienst, DKD R 6 – 1 : 2003 : March 2003 (English version)

European co-operation for Accreditation, EA – 10/17 : July 2002 rev.00

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2533).มาตรวิทยาและและห้องปฏิบัติการมาตรวิทยา.2533.กรุงเทพมหานคร.2533

2.3.2 ความจำเป็นของการสอบเทียบมาตรฐานเครื่องมือวัด

เนื่องจากประสาทสัมผัสรับรู้ปริมาณของสิ่งต่างๆรอบตัวอย่างจำกัด จึงมีการสร้างเครื่องมือวัดและนำมาใช้ เพื่อช่วยให้สามารถใช้ประสาทสัมผัสที่รับรู้ได้จำกัด สามารถบอกค่าต่างๆ ได้อย่างแน่นอนและมีความหมาย โดยที่ทุกคนสามารถเข้าใจได้ถูกต้อง เครื่องวัดที่สร้างขึ้นจึงเป็นสิ่งที่เสริมต่อประสาทสัมผัสที่จำกัดของให้สามารถกำหนดค่าต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง เราจึงต้องเชื่อผลการวัดของเครื่องวัดว่า ปริมาณที่วัดได้นั้นถูกต้อง เพราะประสาทสัมผัสไม่สามารถรับรู้ได้เหมือนกับเครื่องวัด

การที่เชื่อว่าผลการวัดที่ได้จากเครื่องมือวัดจะมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ทุกครั้งนั้นเป็นสิ่งที่ควรใช้วิจารณญาณเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้เพราะเครื่องวัดที่สร้างขึ้นนั้น ไม่สามารถคงสภาพการทำงานได้เหมือนเดิมตลอดไปตามกฎของธรรมชาติ ที่วัตถุทุกสิ่งในโลกนี้ต้องเสื่อมสภาพไปตามกาลเวลาโดยไม่มีข้อยกเว้น เครื่องวัดเองก็หนีไม่พ้นกฎของธรรมชาติ

ดังนั้นทำอย่างไรเราจึงจะสามารถสร้างความมั่นใจให้ได้ว่า ทุกครั้งที่เราทำการวัดสามารถมั่นใจผลการวัดในระดับที่พอใจ

2.3.3 การสอบเทียบเครื่องมือวัดสามารถทำได้ 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 สอบเทียบเครื่องวัดภายในบริษัท คือการปฏิบัติการสอบเทียบปรับเทียบเครื่องมือในห้องปฏิบัติการของบริษัทเอง ซึ่งในห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องวัดทั่วไป จะแบ่งเครื่องมาตรฐานเป็น 2 ระดับ คือ

ก. มาตรฐานการใช้งาน (Working Standard) ใช้สำหรับสอบเทียบเครื่องมือวัดทั่วไปที่ใช้ในโรงงานทั้งหมด ดังนั้นมาตรฐานการใช้งาน จะถูกใช้งานอยู่เป็นประจำ

ข. มาตรฐานอ้างอิง (Reference Standard) ใช้สำหรับสอบเทียบ มาตรฐานการใช้งาน ของห้องปฏิบัติการนั้น (หรือเครื่องมือซึ่งมีค่าความถูกต้องสูง) โดยเฉพาะ ดังนั้น มาตรฐาน

อ้างอิง จะต้องมีค่าความถูกต้องสูงมากพอ และมาตรฐานอ้างอิง จะถูกส่งไปสอบเทียบกับ มาตรฐานระดับชาติ (National Standard) ตามระยะเวลาที่กำหนด วิธีนี้เหมาะสำหรับโรงงานหรือบริษัทใหญ่ๆ ซึ่งมีเครื่องวัดจำนวนมาก แต่ถ้าเป็นโรงงานขนาดเล็ก ควรเลือกวิธีที่ 2 จะประหยัดกว่า

วิธีที่ 2 ส่งเครื่องวัดไปสอบเทียบที่ห้องปฏิบัติการสอบเทียบภายนอกบริษัท วิธีนี้บริษัทไม่ต้องลงทุนซื้อเครื่องมือมาตรฐาน ไม่ต้องดูแลรักษา ไม่ต้องเตรียมห้องปฏิบัติการ และบุคลากร เพียงแต่ส่งเครื่องมือวัดของตนออกไปสอบเทียบ ที่ห้องปฏิบัติการที่ได้รับรองมาตรฐานที่ตั้งขึ้น เพื่อบริการสอบเทียบ จะประหยัดค่าใช้จ่ายกว่าลงทุนเอง

ทั้ง 2 วิธีข้างต้น จะมีความถูกต้องเชื่อถือได้นั้น จะต้องมีการสืบทอดมาตรฐาน (Traceability) ที่เป็นที่ยอมรับทั้งในประเทศและระหว่างประเทศ

2.3.4 การสืบทอดมาตรฐาน (Traceability)

การสืบทอดมาตรฐาน คือ การที่เครื่องมือวัดมาตรฐาน หรือเครื่องวัดปกติที่มีอยู่ในหน่วยงานของราชการและเอกชนทั่วไปสืบทอดมาตรฐานที่ประเทศรับรองไว้ด้วยระบบอย่างไรและมีความถูกต้องเพียงใด

2.3.5 องค์การมหาชนสำหรับระบบการสอบเทียบและสอบกลับ (Public Organization for calibration and traceability systems)

2.3.5.1 ระบบสืบทอดมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา (Traceability Systems in USA)

ปัจจุบันประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่ก้าวหน้าที่สุดทางด้านนี้บริษัทเอกชนและหน่วยงานต่างๆจะรับมาตรฐานจาก NBS ไปอย่างถูกต้อง และส่วนใหญ่จะมีห้องค้นคว้าเพื่อนำมาตรฐานนี้ไปประยุกต์ใช้ในเครื่องวัดจริงๆ

2.3.5.2 ระบบสืบทอดมาตรฐานของญี่ปุ่น (Traceability Systems in Japan)

ระบบสืบทอดมาตรฐาน (Traceability Systems) ในประเทศญี่ปุ่น จะมีความแตกต่างกับของอเมริกาจากการแพร่หลายของหลักความคิดของระบบสืบทอดมาตรฐาน ทำให้บริษัทต่างๆ ทำการควบคุมความถูกต้องของเครื่องมือวัดพร้อมๆไปกับการควบคุมคุณภาพสินค้าของตนเองมากขึ้น ระบบในการสอบเทียบเครื่อง มือวัดมาตรฐานจึงค่อนข้างจะพร้อมแต่ส่วนใหญ่จะทำกันอยู่ภายในโรงงานต่างๆ เป็นเอกเทศไม่ได้มีศูนย์ค้นคว้าวิจัยหรือทำวิจัยร่วมอย่างบริษัทใหญ่ในประเทศสหรัฐอเมริกา

2.3.6 ระยะเวลาที่ควรจะทำการสอบเทียบ (Intervals of Calibration)

ช่วงระยะเวลาที่ทำการสอบเทียบ (Intervals of Calibration) การที่จะรักษาความถูกต้องของเครื่องวัดมาตรฐานและเครื่องวัดทั่วไปนั้น เครื่องวัดเหล่านี้จะต้องได้รับการสอบเทียบอย่างสม่ำเสมอ

ช่วงเวลาที่ควรทำการสอบเทียบนั้น ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของเครื่องวัด และสภาพการใช้งานของเครื่องเป็นต้น ถ้าเป็นเครื่องที่ซื้อเข้าใหม่ ตอนแรกควรจะใช้ระยะเวลาค่อนข้างสั้น แล้วดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเครื่องวัดตามเวลานั้น แล้วจึงกำหนดช่วงเวลาที่เหมาะสม ซึ่งอาจใช้ข้อเสนอ 2 ข้อนี้ประกอบการตัดสินใจเพื่อความเหมาะสม ประหยัด และมีประสิทธิภาพ

2.3.6.1 การกำหนดตามประสบการณ์

การกำหนดตามประสบการณ์ ได้แก่ การกำหนดระยะเวลาตรวจซ่อมตามความสำคัญของเครื่องวัดแต่ละชนิดจากประสบการณ์ หากเป็นเครื่องวัดชนิดที่ไม่เคยมีประสบการณ์มาก่อน ให้กำหนดจากระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องวัดอื่นๆ ทั่วไป หรือกำหนดตามโรงงานอื่น โดยให้สั้นกว่าข้อมูลที่ได้มาเล็กน้อย

2.3.6.2 กำหนดตามข้อมูลต่างๆ เช่น

ก. ความเที่ยงตรงประสงค์ (ผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ มาก กลาง น้อย)

ข. กระบวนการผลิต (ผลกระทบต่อขบวนการผลิต มาก กลาง น้อย)

ค. ความมากน้อยของการใช้งาน (ทุกเดือน เดือนละหลายครั้ง)

ง. สภาพ (เก่า กลาง ใหม่)

จ. ความแข็งแรง (น้อย ปกติ มาก)

ฉ. การบำรุงรักษา (ยาก ปกติ ง่าย)

สำหรับเครื่องวัดที่ได้รับการสอบเทียบแล้ว ควรจะเขียนป้ายที่บอก วัน เดือน ปี ที่ต้องทำการสอบเทียบในคราวต่อไปติดไว้ที่ตำแหน่งที่เห็นได้ง่าย และป้ายที่ใช้ควรแยกสีเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานยิ่งขึ้น

2.3.7 ความสำคัญของอัตราการขยายของเครื่องวัดเพื่อใช้ในการสอบเทียบ

ถึงแม้ว่าค่าความถูกต้องของเครื่องวัดจะเป็นตัวกำหนดค่าความถูกต้องของเครื่องมือมาตรฐานที่จะนำมาสอบเทียบ (ตามมาตรฐาน DKD R 6-1 คือ 3:1) เครื่องมือมาตรฐานที่จะนำมาสอบเทียบกับเครื่องวัดความดันตัวนี้ต้องมีค่าความถูกต้องมากกว่าอย่างน้อย 3เท่า และนอกเหนือจากความถูกต้องแล้วยังต้องคำนึงถึง ตัวประกอบอื่นอีกคือ "Gain" Gain คืออัตราการเปลี่ยนแปลงทางเอาต์พุตเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงทางอินพุต ซึ่งเป็นตัวประกอบที่จะใช้ในการคำนวณหาค่าเพื่อใช้ในการสอบเทียบเครื่องวัดที่ถูกต้องด้วย

$$Gain = \frac{SignalSpan}{InputSpan} \qquad (2.1)$$

กำหนดให้

Signal Span คือ ช่วงของการวัดด้านเอาต์พุต

Input Span คือ ช่วงของการวัดด้านอินพุต

2.4 คุณสมบัติทั่วไปของเครื่องมือวัด

โดยปกติ การพิจารณาคุณสมบัติของเครื่องมือวัดจะพิจารณาในสองส่วน คือ คุณสมบัติการคงที่ (Static Characteristics) และคุณสมบัติทางพลวัต (Dynamic Characteristics) เพื่อให้ทราบถึงคุณลักษณะของเครื่องมือวัดแต่ละตัว สามารถเลือกใช้งานเครื่องมือวัดได้อย่างเหมาะสม

2.4.1 คุณสมบัติคงที่ (Static Characteristics)

คุณสมบัติคงที่หมายถึง คุณสมบัติที่เกิดจากข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิตเครื่องมือวัดได้กำหนดขึ้นมา หรือคุณสมบัติที่ติดมากับเครื่องมือวัดนั้น โดยทั่วไปจะพิจารณาดังนี้

2.4.1.1 Zero Shift

การผิดพลาดที่ต้องพิจารณาเป็นอันดับแรกคือ "Zero Shift" การเกิด Zero Shift เป็นภาวการณ์ ซึ่งสัญญาณทางเอาต์พุต ของเครื่องวัดมีค่าสูงหรือต่ำอย่างใดอย่างหนึ่งขณะที่มีช่วงของการวัด (Input Span) เข้ามาตลอดเวลา ซึ่งสามารถที่จะอธิบายสภาวะดังกล่าวได้คือ เมื่อมีเอาต์พุตของเครื่องวัดเกิดขึ้นคงที่เนื่องจากมีสัญญาณอินพุตเข้ามา แต่จะเริ่มต้นที่จุดสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่ามาตรฐานของเอาต์พุต การตรวจสอบในเรื่องของ Zero Shift จึงจำเป็นต้องใช้เครื่องมือสอบเทียบมาตรฐานเข้ามาช่วย ซึ่งเครื่องมือสอบเทียบนี้จะต้องทราบค่าความถูกต้องหรือค่าความไม่แน่นอนของเครื่องมือมาตรฐานเพื่อนำมาสอบเทียบเครื่องวัดได้

2.4.1.2 ความเป็นเชิงเส้น (Linearity)

ปัญหาในการสอบเทียบอีกประการหนึ่ง คือ เรื่องของความเป็นเชิงเส้น (Linearity) ความไม่เป็นเชิงเส้น (Non - Linearity) เป็นสภาวะที่เกิดขึ้นเนื่องจากสัญญาณทางเอาต์พุตของเครื่องวัดไม่เป็นไปตามอินพุต ซึ่งสมการที่ใช้พล็อตค่าสำหรับค่าของความเป็นเชิงเส้นดังนี้

$$y = mx + b \tag{2.2}$$

$$m = \frac{n\sum(xy) - \sum x \sum y}{n\sum(x^2) - (\sum x)^2} \tag{2.3}$$

$$b = \frac{\sum y - m\sum x}{n} \tag{2.4}$$

$$R = \frac{n\sum(xy) - \sum x \sum y}{\sqrt{[n\sum(x^2) - (\sum x)^2][n\sum(y^2) - (\sum y)^2]}} \tag{2.5}$$

ในกรณีที่เครื่องวัดมีความไม่เป็นเชิงเส้น (non linearity) สามาคำนวณความไม่เป็นเชิงเส้นได้จากสูตร

$$Percentage\ of\ Nonlinearity = \frac{\max.error}{span} \times 100\% \tag{2.6}$$

เมื่อคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่เป็นเชิงเส้นได้ค่าต่ำ แสดงว่าเครื่องมือวัดนั้นมีความเที่ยงตรงมากกว่า เครื่องมือวัดที่คำนวณได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความไม่เป็นเชิงเส้นที่ได้ค่าสูง

กำหนดให้

max .eror คือ ค่าความผิดพลาดสูงสุดในช่วงของการวัด

Span คือ ช่วงของการวัด

2.4.1.3 ฮีสเตอรีซีส (Hysterysis)

คุณสมบัติของเครื่องวัด ซึ่งผลตอบสนองต่อสิ่งเร้าที่กำหนดให้ขึ้นอยู่กับลำดับของสิ่งเร้าที่มาก่อน ฮีสเตอรีซีสเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจากเครื่องวัดอีกแบบหนึ่ง บางครั้งสามารถบ่งบอกถึงค่าออฟเซตระหว่างช่วงที่สูงสุด (Upscale) กับช่วงที่ต่ำสุด (Downscale) ได้ Hysterysis ส่วนมากจะพบน้อยมากในอุปกรณ์เครื่องวัดแบบอิเล็กทรอนิกส์แต่จะพบบ่อยในเครื่องมือประเภท

แมคคานิกส์ บางครั้งการหลวมหรือแน่นเกินไปของอุปกรณ์บางส่วนก็อาจทำให้เกิดค่า Hysterysis ได้ สำหรับค่าของฮีสเตอรีซีสสามารถคำนวณได้จาก

$$Percentage\ \ of\ \ Hysterysis = \frac{\max .error(down-up)}{span} \times 100 \qquad (2.7)$$

กำหนดให้

max .eror (down) คือ ค่าความผิดพลาดสูงสุดจากการในวัดสเกลต่ำขึ้นไปสเกลสูง

max .eror (up) คือ ค่าความผิดพลาดสูงสุดจากการวัดในสเกลสูงลงมาสเกลที่ต่ำ

Span คือ ช่วงของการวัด

2.4.1.4 ค่าเฉลี่ย (Mean)

การนำข้อมูลที่ได้จากการวัดตำแหน่งเดิมซ้ำแล้วนำมารวมกันและหารด้วยจำนวนครั้งที่ทำการวัด

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \qquad (2.8)$$

กำหนดให้

X คือ ค่าที่ทำการวัดในแต่ละครั้ง

N คือ จำนวนครั้งที่ทำการวัด

2.4.1.5 ค่าความถูกต้องของเครื่องมือวัด

คือความถูกต้องใกล้เคียงกัน ระหว่างผลของการวัดกับค่าจริง การคำนวณหาค่าความถูกต้องของเครื่องมือวัดต่างๆ เราจะคำนวณอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ของช่วงการวัด (±Accuracy of Span) หรือคำนวณอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ของค่าสูงสุดของเครื่องวัด (±Accuracy of F.S.) หรือคำนวณอยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์ของตำแหน่งการอ่านค่าของเครื่องวัด (±Accuracy of Rdg.) สูตรเบื้องต้นก็คือ

$$Accuracy\ of\ F.S. = \frac{Deviation}{FullScale} \times 100\% \qquad (2.9)$$

$$Accuracy\ of\ span = \frac{Deviation}{Span} \times 100\% \qquad (2.10)$$

$$Accuracy\ of\ Rdg. = \frac{Deviation}{reading} \times 100\% \qquad (2.11)$$

กำหนดให้

Deviation คือ ค่าความเบี่ยงเบน

Full scale คือ ค่าสูงสุดที่สามารถวัดได้

Span คือ ช่วงของการวัด

Reading หรือ Rdg. คือ ตำแหน่งที่ทำการวัด

ตัวอย่าง เช่น เครื่องวัดความดัน มีย่านการวัด -1 บาร์ (bar) ถึง 2 บาร์ (bar) นำไปวัดค่าความดันมาตรฐาน 1 บาร์ (bar) อ่านค่าความดันจากเครื่องวัด 2 ครั้ง ครั้งแรกอ่านค่าได้ 1,2 บาร์ (bar) ครั้งที่สองอ่านได้ 1,1 บาร์ (bar) จะวิเคราะห์ได้ว่า ค่าสูงสุดที่สามารถวัดได้ (Full scale) = 2 บาร์ (bar) ช่วงของการวัด (Span) = ค่าสูงสุดที่วัดได้ – ค่าต่ำสุดที่วัดได้ = 2 บาร์ (bar) – (-1 บาร์ (bar)) = 3 บาร์ (bar) ตำแหน่งที่ทำการวัด = 1 บาร์ (bar) ได้ค่าเฉลี่ยจากการวัด 2 ครั้ง = $\frac{1,1+1,2}{2}$ = 1,15 บาร์ (bar) ค่าความเบี่ยงเบน (Deviation) หรือ ค่าความคลาดเคลื่อน (Error) = 1,15 บาร์ (bar) – 1 บาร์ (bar) = 0,15 บาร์ (bar) ดังนั้น

Accuracy of F.S. $= \frac{0,15bar}{2bar} \times 100\% = \pm 7,5\%$

Accuracy of Span $= \frac{0,15bar}{3bar} \times 100\% = \pm 5\%$

Accuracy of Rdg. $= \frac{0,15bar}{1bar} \times 100\% = \pm 15\%$

จากการคำนวณค่าความถูกต้องของเครื่องวัดตัวเดียวกัน ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องที่แตกต่างกัน เพราะฉะนั้น ก่อนใช้งานเครื่องมือวัดใดๆต้องตรวจสอบให้แน่ใจก่อนว่า ค่าความถูกต้องที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดมา กำหนดมาจากอะไร แต่ส่วนใหญ่จะกำหนดมาจากค่าความถูกต้องของช่วงการวัด เนื่องจากจะมองเห็นว่าเป็นตัวเลขที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดแต่ความจริงก็คือค่าเดียวกัน

2.4.1.6 ความแม่นยำของเครื่องวัด (Precision)

ความแม่นยำ เป็นตัวประกอบที่สำคัญอีกตัวหนึ่ง ที่จะบอกถึงคุณภาพของเครื่องวัดและเครื่องวัดที่มีความแม่นยำ (Precision) ดี จะผลิตสัญญาณออกมาเหมือนกันทุกๆ ครั้ง ในเมื่อรับอินพุตเข้ามาเป็นชนิดเดียวกัน ความแม่นยำก็คือค่าการทำซ้ำ (Repeatability) หรือการวัดค่าหลายๆครั้งที่ตำแหน่งเดิม ตัวส่งสัญญาณ (Transmitter) มีสัญญาณเอาต์พุตที่เหมือนกันได้ต่อเมื่อสัญญาณทางอินพุตมีความคงที่ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอินพุต กับเอาต์พุตในการสอบเทียบ

การสอบเทียบคือการที่ทราบค่าทางเอาต์พุตของเครื่องวัดว่ามีความถูกต้องเป็นไปตามค่าอินพุตที่รับเข้ามา ในการสอบเทียบเครื่องวัดอุตสาหกรรมจะต้องสังเกตค่าความผิดพลาดของเครื่องวัดให้ได้ ค่าผิดพลาดของเครื่องวัดจะตรวจพบได้จากค่าอินพุตที่เราทราบค่าซึ่งเป็นค่ามาตรฐาน แล้วป้อนให้กับเครื่องวัดแล้วเปรียบเทียบกับค่าที่แจ้งของเอาต์พุตซึ่งก็มีอยู่หลายๆ รูปแบบด้วยกันในการหาค่าความผิดพลาดของเครื่องวัด

2.4.1.7 ช่วงความผิดพลาดของเครื่องมือวัด (Span Error in Process Instruments)

การผิดพลาดของเครื่องวัดอีกรูปแบบหนึ่งก็คือ ช่วงความผิดพลาด (Span Error) โดยค่าที่อ่านได้จากเอาต์พุตของเครื่องวัดจะมีค่าไม่เท่ากับ 100 % ของ ช่วงของสัญญาณนำออก (Output Span) หรือค่า ช่วงของสัญญาณนำออก (Output Span) จะไม่เท่ากับค่าของ ช่วงของสัญญาณนำเข้า (Input Span) เมื่อเกิดกรณี ช่วงความผิดพลาด (Span Error) ขึ้น ช่วง (Span) จากค่าต่ำสุดของเอาต์พุตจนถึงค่าสูงสุด ของเอาต์พุตจะมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าระหว่างอินพุต

2.4.2 คุณสมบัติทางพลวัต (Dynamic Characteristics)

คุณสมบัติทางพลวัตหมายถึง คุณสมบัติการทำงานของเครื่องมือวัดในระบบการวัด รวมถึงการทำงานของเครื่องมือวัดกับอุปกรณ์อื่นๆในระบบการวัด เช่น

-Zero order Instrument (เมื่อใส่สัญญาณ Input เข้าไปก็จะมี Output ออกทันที)

-First Order Instrument (เมื่อป้อน Input เข้าไป Output จะค่อยๆขึ้น)

-Second Order Instrument (จะทำการสวิงมากว่าค่าจริง แต่ค่าก็จะกลับมาเหมือนเดิม)

2.5 ความไม่นอนในการวัด (Uncertainty)

ความไม่แน่นอนของการวัด คือ สิ่งที่ชี้บอกความไม่สมบูรณ์ในความรู้ของปริมาณที่ถูกวัด ความไม่แน่นอนของการวัดเกิดขึ้นทุกครั้งในการถ่ายทอดความถูกต้องของการวัด ไม่ว่าจะเป็นขั้นตอนไหนของความสามารถสอบกลับได้ ซึ่งในแต่ละระดับของการวัดจะเกิดความไม่แน่นอนของการวัดสะสมขึ้นเรื่อยๆ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถในการถ่ายทอดการวัดของแต่ละห้องปฏิบัติการ ความไม่แน่นอนอาจเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น วิธีการวัด เครื่องมือวัด ผู้ปฏิบัติการ และสภาวะแวดล้อมในการวัด เป็นต้น ความไม่แน่นอนของการวัดจะต้องคำนวณโดยวิธีที่เป็นที่ยอมรับอย่างเป็นสากล และโดยทั่วไปจะต้องรายงานที่ระดับความเชื่อมั่น 95% การคำนวณความไม่แน่นอนของการวัด ในแต่ละขั้นตอนของการถ่ายทอดความถูกต้องนั้น จะต้องจัดทำไว้เป็นเอกสารเพื่อให้สามารถทวนสอบความถูกต้องได้โดยผู้เกี่ยวข้อง

เพื่อเป็นการยืนยันความสามารถสอบกลับได้ของการวัด ค่าความไม่แน่นอนของการวัดจะถูกรายงานร่วมกับค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด ในใบรายงานผลการสอบเทียบโดยห้องปฏิบัติการสอบเทียบ และค่าที่รายงานนี้จะเป็นจริงก็เฉพาะ ณ เวลาที่ทำการสอบเทียบและภายใต้เงื่อนไขของการสอบเทียบที่ระบุเท่านั้น การใช้เครื่องมือวัดภายใต้เงื่อนไขเดียวกันกับผลการสอบเทียบ แต่ในเวลาที่ต่างออกไป หรือยิ่งกว่านั้นคือการใช้เครื่องมือวัดในเงื่อนไขที่ต่างออกไปจากผลการสอบเทียบก็จะยิ่งทำให้ค่าความคลาดเคลื่อน และความไม่แน่นอนของการวัดยิ่งมีค่ามากเกินกว่าที่ระบุไว้ในรายงานผลการสอบเทียบ ซึ่งบางครั้งอาจจะเกินกว่าที่จะยอมรับได้

ค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่ระบุไว้ในใบรายงานผลการสอบเทียบ จะได้รับการยอมรับว่ามีความสัมพันธ์กับมาตรฐานแห่งชาติได้ก็ต่อเมื่อใบรายงานผลการสอบเทียบนั้นออกให้โดยห้องปฏิบัติการที่สามารถแสดงความสามารถโดยผ่านกระบวนการรับรองความสามารถโดยองค์กรที่เป็นที่ยอมรับระหว่างประเทศ

บางครั้งใบรายงานผลการสอบเทียบจะรายงานความเป็นไปตามข้อกำหนดจำเพาะทางมาตรวิทยาของปริมาณที่ถูกวัด ในกรณีเช่นนี้ค่าที่วัดได้เมื่อรวมกับความไม่แน่นอนของการวัดจะต้องไม่ขยายเกินไปกว่าขีดจำกัดหรือเกณฑ์ยอมรับที่ระบุของปริมาณที่ถูกวัดนั้นๆ

2.5.1 ความสำคัญของความไม่แน่นอนของการวัด

ความไม่แน่นอนของการวัดคือสิ่งที่บอกถึงคุณภาพของผลการวัด ว่ามีความน่าเชื่อถือเพียงใด การรายงานความไม่แน่นอนของการวัดจะต้องรายงานพร้อมกับผลของการวัดเสมอ เพื่อที่จะให้เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดกับข้อกำหนดจำเพาะหรือมาตรฐาน หรือเกณฑ์ยอมรับสำหรับสิ่งที่ถูกวัด

เป็นที่ยอมรับกันว่าการวัดทุกครั้งมีความคลาดเคลื่อน (Error) เกิดขึ้นเสมอ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ผลการวัดมีความแตกต่างจากค่าจริงของสิ่งที่ถูกวัด (True Value) และความไม่

แน่นอนของการวัดส่วนหนึ่งได้มาจากการกระจายค่าของผลการวัดนั้นๆ เมื่อทำการวัดหลายๆ ครั้ง มีแนวคิดหลากหลายที่ใช้แสดงความน่าเชื่อถือได้ของผลการวัด อย่างไรก็ตามก็มีความยากลำบากในการใช้วิธีประเมินความน่าเชื่อถือได้ที่ต่างๆ กันเหล่านั้น ในปี ค.ศ.1990 องค์การมาตรฐานระหว่างประเทศ (International Standardisation Organisation, ISO) ร่วมกับ สำนักงาน ชั่ง ตวง วัดระหว่างประเทศ (BIPM) ได้แนะนำให้ใช้ความไม่แน่นอนของการวัดเป็นมาตรการในการบอกความน่าเชื่อถือของผลการวัดและได้เสนอแนวทางในการประเมินความไม่แน่นอนของการวัด (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)) ซึ่งมีแนวคิด ดังนี้

ปริมาณที่ถูกวัด "Y" ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการวัดจะขึ้นอยู่กับปริมาณอินพุตที่เกี่ยวข้องในกระบวนการวัด $X_1, X_2, X_3, ..., X_n$ คือ $Y = f(X_1, X_2, X_3, ..., X_n)$

ในทางปฏิบัติไม่สามารถทราบค่าที่แท้จริงของปริมาณอินพุตเหล่านั้นได้ปริมาณอินพุตที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการวัดจะมีความไม่แน่นอนติดมาด้วยเสมอ ดังนั้นผลการวัด "Y" จึงเป็นเพียงค่าประมาณ "y" พร้อมกับความไม่แน่นอนของการวัดที่เกิดจากปริมาณอินพุตเหล่านั้นด้วย ในการรายงานผล ปริมาณที่ถูกวัดจะอยู่ในรูป $Y = y \pm U$

โดยความไม่แน่นอน "U" ได้มาจากการประเมินองค์ประกอบรวมทั้งหมดของความไม่แน่นอนในรูปแบบที่เป็น Type A และ Type B การประเมิน Type A เป็นผลมาจากการประเมินทางสถิติที่อยู่ในรูปของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการประเมิน Type B จะใช้วิธีอื่นๆ ที่มิใช่การประเมิณทางสถิติ ซึ่งอยู่ในรูปของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้มาจากใบรับรองการสอบเทียบ หรือข้อกำหนดจำเพาะของเครื่องมือ เป็นต้น

2.5.2 ขั้นตอนการประมาณค่าความไม่แน่นอน

ขั้นตอนการประเมินค่าความไม่แน่นอนประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักดังนี้

2.5.2.1 ข้อกำหนดเฉพาะของการวัด (Specify Measuring)

ระบุให้ชัดเจนว่าต้องการวัดอะไร เช่น ต้องการหาความเข้มข้นของสาร หรือ การหาความชื้นของสารสกัดสมุนไพร

2.5.2.2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนในการวัด (Identify Uncertainty Sources)

ทำการหาแหล่งที่มาหรือขั้นตอนที่ทำให้เกิดค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty) ขึ้นมาให้ละเอียดครบถ้วนทุกปัจจัย เช่น เครื่องมือที่ใช้วัด วิธีการ นักวิเคราะห์ หรือสิ่งแวดล้อมที่อาจส่งผลกระทบต่อการวัดหรือการวิเคราะห์นั้นได้ ในขั้นนี้ต้องพยายามเรียบเรียงปัจจัยต่างๆ ให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ในการหาปัจจัยที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty Source) นั้น ต้องอาศัยความรู้ที่จะประเมินหาตัวแปรเสริมต่างๆ อย่างเหมาะสมอาจต้องมีการรวบรวมความคิดจากนักวิเคราะห์หลายๆ คน เพื่อที่จะได้ปัจจัยที่สมบูรณ์ที่สุด

2.5.2.3 จำนวนปัจจัยที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนในการวัด (Quantify Uncertainty Compounds)

คำนวณหรือประมาณค่าของความไม่แน่นอนในการวัด ของแต่ละปัจจัย จะพบว่าปัจจัยบางปัจจัยมีผลกระทบต่อการวัดค่อนข้างมาก ค่าที่ออกมาเป็นตัวเลขจะมีค่าสูง ส่วนบางปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบน้อยมาก ดังนั้นจึงทำการตัดปัจจัยที่มีผลกระทบน้อยออกจากการคำนวณได้ วิธีการประมาณค่าออกมาได้มีด้วยกัน หลายวิธี ได้แก่

ก. จากการทดลอง เช่นการทำการทดลองซ้ำ (Repeatability)

ข. จากข้อมูลที่มีอยู่เดิม เช่น ค่ามาตรฐานการสอบเทียบ(Calibration certificate) ของเครื่องแก้ว/เครื่องชั่ง ฯลฯ

ค. จากการประมาณของนักวิเคราะห์โดยใช้ประสบการณ์และยึดหลักทฤษฎีในการตัดสินใจก่อนที่จะประมาณค่า ความไม่แน่นอนในการวัด ของแต่ละปัจจัย ต้องพิจารณา 2 ข้อ ดังนี้

ค.1 ปัจจัย (Source) ของความไม่แน่นอนในการวัด นั้นจัดเป็น Type A หรือ Type B

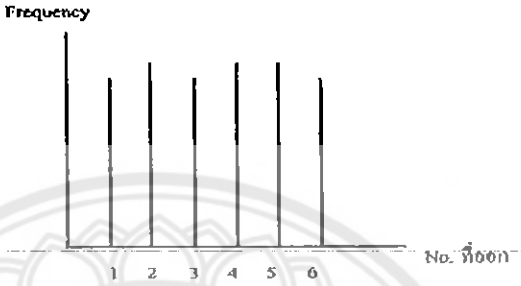
- Type A : เกิดจากการคำนวณค่าจากการทดลองซ้ำๆ (Repeated Observation) หรืออาจเรียก อีกอย่างว่าเป็นการทำ Repeatability

- Type B : เป็นการประเมินโดยวิธีอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ทำการทดลองซ้ำๆ (Repeated) เช่น การใช้ข้อมูลจากค่ามาตรฐานการสอบเทียบ (Calibration certificate) การนำการแก้ปัญหาของเครื่องมือมาใช้ และปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม ที่เกี่ยวข้องในการทดลอง

ค.2. การกระจายตัวของค่าที่วัดจัดเป็นการกระจายแบบใด รูปแบบการกระจายตัวที่เป็นไปได้มีดังนี้

- การกระจายตัวแบบรูปสี่เหลี่ยม (Rectangular Distribution)

ตัวอย่าง การโยนลูกเต๋า 1 ลูก โอกาสที่จะออกหน้าแต่ละหน้ามีเท่า ๆ กัน และเมื่อมีการโยนหลาย ๆ ครั้ง แล้วนำมา Plot Distribution จะได้ดังภาพ

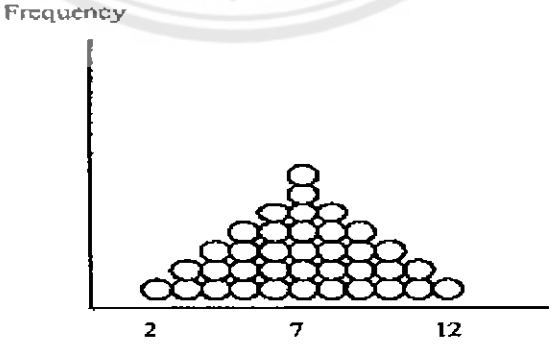


รูปที่ 2.3 รูปสี่เหลี่ยมการกระจายตัวแบบ Rectangular Distribution

ที่มา : UKAS, The Expression of Un-certainty in Testing. (ref: LAB12),1st ed, 2000.

-การกระจายตัวแบบรูปสามเหลี่ยม (Triangular distribution)

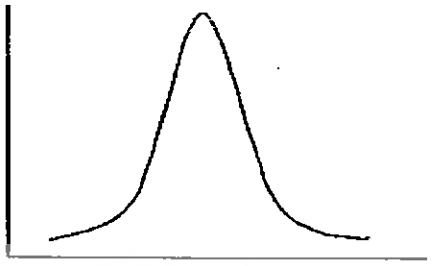
ตัวอย่างได้แก่ การโยนลูกเต๋า 2 ลูก ซึ่งโอกาสที่แต้มที่จะเป็นไปได้จะอยู่ระหว่าง 2-12 แต่จะมีบางค่าที่ในการออกจะมากกว่าค่าอื่น เช่น 7 เป็นต้น ดังนั้นรูปแบบการกระจายจึงคล้ายสามเหลี่ยม ดังภาพ



รูปที่ 2.4 รูปสามเหลี่ยมการกระจายแบบ Triangular Distribution

ที่มา : UKAS, The Expression of Un-certainty in Testing. (ref: LAB12),1st ed, 2000.)

- การกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) หรือ Gaussian Distribution เป็นรูปแบบการกระจายตัวแบบปกติ โดยเฉพาะจะวัดในประชากรที่มีขนาดใหญ่ โดยที่ค่าส่วนใหญ่จะกระจายอยู่ในช่วงค่าเฉลี่ยค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงเป็นลักษณะของรูประฆังคว่ำ



รูปที่ 2.5 รูประฆังคว่ำ การกระจายตัวแบบ Normal Distribution

ที่มา : UKAS, The Expression of Un-certainty in Testing. (ref: LAB12), 1st ed, 2000.

หลักในการจำแนกชนิดของการกระจายมีดังนี้

- ถ้าปัจจัยของความไม่แน่นอนในการวัด นั้นได้มาจากค่าการสอบเทียบมาตรฐาน (Calibrate Certificate) หรือได้มาจากการทำการทดลองซ้ำ (Repeatability) ถือว่าการกระจายตัวนั้นเป็นแบบปกติ หรือเรียกว่า "Normal Distribution"
- สำหรับ Type B ถ้าไม่ระบุว่าเป็นการกระจายแบบใดให้ถือว่าการกระจายตัวเป็นแบบรูปสี่เหลี่ยม หรือเรียกกันว่า "Rectangular Distribution"

2.5.3 การรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Calculate Combined)

หลังจากที่ได้ทราบค่าความไม่แน่นอนในการวัด ของแต่ละปัจจัยแล้ว จะต้องทำการรวมปัจจัยดังกล่าวเข้าด้วยกัน ให้เป็นค่าเพียงค่าเดียว โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

2.5.3.1 Type A การที่รายงานค่าที่ได้จากการทำการทดลองซ้ำ (Repeatability) จะรายงานเป็นค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation of Mean) หรือ S(q)

$$\bar{S(q)} = \frac{S(q_j)}{\sqrt{n}} \qquad (2.12)$$

$$\text{โดยที่ } S(q_j) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(q_j - \bar{q})^2}{n-1}} \qquad (2.13)$$

S(q) = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย

$S(q_j)$ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูล

n = จำนวนครั้งที่ทำการทดลอง

q_j = ข้อมูลแต่ละชุด j = 1,2...n

q = ค่าเฉลี่ยของข้อมูล

สามารถหาค่า ความไม่แน่นอนในการวัด ได้จากตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงวิธีการหาค่า ความไม่แน่นอนในการวัด ตามการกระจาย

การกระจาย	สมการหาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐาน
รูปสี่เหลี่ยม	$U(X_i) = \frac{a_i}{\sqrt{3}}$
รูปตัว U	$U(X_i) = \frac{a_i}{\sqrt{2}}$
รูปสามเหลี่ยม	$U(X_i) = \frac{a_i}{\sqrt{6}}$
แบบปกติ (จากการประเมินค่าการทำการทดลองซ้ำๆ)	$U(X_i) = S(\bar{q})$
แบบปกติ (จากค่าการสอบเทียบมาตรฐาน)	$U(X_i) = \frac{U}{K}$
แบบปกติ (จากข้อกำหนดที่ใช้ในโรงงาน)	$U(X_i) = \frac{Tolerance\ \lim it}{K}$

ที่มา : UKAS, The Expression of Un-certainty in Testing. (ref: LAB12), 1st ed, 2000.

กำหนดให้

$U(X_i)$ คือ ค่าความไม่แน่นอนในการวัด

a_i คือ ช่วงของการวัด

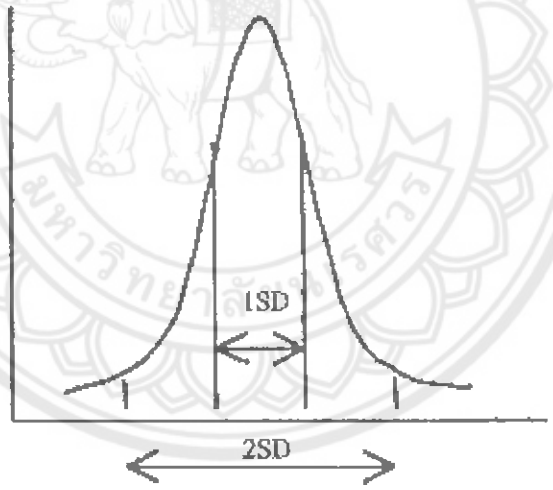
$S(\bar{q})$ คือ ค่าเฉลี่ยเบี่ยงเบนมาตรฐาน

K คือ ค่าคงที่ของความเชื่อมั่น

Tolerance limit คือ ข้อกำหนดพิกัดความเผื่อ

-Type B นำค่าจากใบสอบเทียบมาใช้หรืออาจประมาณจากข้อมูลหรือประสบการณ์จากเครื่องมือ หรือการวิเคราะห์ เช่น ประมาณค่าแก้ปัญหาของเครื่องชั่งไว้ = $\pm$ 0.5 gm

2.5.3.2 ทำการแปลงค่าที่ประมาณของแต่ละปัจจัยให้อยู่ในช่วง 1 SD (One Standard Deviation) ซึ่งโดยปกติ 1SD พื้นที่ใต้กราฟจะอยู่ในช่วง 68 %, $\pm$ 2 SD พื้นที่ใต้กราฟจะอยู่ในช่วง 95 %



รูปที่ 2.6 ระยะห่าง 1SD และ 2SD ในพื้นที่ใต้กราฟ

ที่มา : UKAS, The Expression of Un-certainty in Testing. (ref: LAB12), 1st ed, 2000.

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ในการแปลงค่า ให้นำค่าปัจจัยภายนอก (Relevant Factor) ไปหาร ค่าที่ทำการประมาณค่าของแต่ละปัจจัย ค่าที่ได้ใช้สัญลักษณ์ U(xi) โดยยึดหลัก ดังนี้

ปัจจัยภายนอก (Relevant Factor)

: กรณีที่ปัจจัยเป็นการกระจายตัวแบบปกติ

-Type A (จากการทำการทดลองซ้ำ) = 1

-จากใบมาตรฐานการสอบเทียบ = 2

: กรณีที่ปัจจัยเป็นการกระจายตัวแบบรูปสี่เหลี่ยม = 3

: กรณีที่ปัจจัยเป็นการกระจายตัวแบบรูปสามเหลี่ยม = 6

2.5.3.3 ทำการรวมความไม่แน่นอนในการวัดของแต่ละปัจจัยให้เป็นค่าเดียว (Combined Individual Uncertainty) โดยใช้สูตร ดังนี้

$$U_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} C_i^2 U^2 (X_i)} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} U_i^2 (y)} \qquad (2.14)$$

กำหนดให้

$U_c(y)$ = การรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัด

C_i = ค่าคงที่ของการตอบสนองซึ่งมักได้มาจากการทดลอง แต่โดยทั่วไปใช้ค่า = 1

$U(_i)$ = ค่าเฉพาะเจาะจงความไม่แน่นอนในการวัด จาก ขั้นที่ 2

$U_i(y)$ = ค่าเฉพาะเจาะจงความไม่แน่นอนในการวัด ที่คูณกับ ค่าเฉพาะเจาะจงความไม่แน่นอนในการวัด ซึ่ง = $C_iU(x_i)$ ในที่นี้ C_i = 1

2.5.3.4 ทำการขยายขอบเขตค่าความไม่แน่นอนในการวัด ที่ทำการรวมเป็นค่าเดียวในสมการที่ 2.13 ให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น (Expanded Uncertainty)

คือ ให้มีระดับความเชื่อมั่นที่ 95.45 % นั่นคือ จะต้องทำการคูณด้วยขอบเขตของปัจจัยที่ทำให้เกิดผล (Coverage Factor (k)) ด้วย "2" ซึ่งค่า k = 2 มักใช้ในกรณีที่เป็นการทดลองทั่วๆไป ในกรณีที่ต้องการระดับความเชื่อมั่นที่ 99.73 % จะใช้ค่า k = 3

$$\text{Expanded Uncertainty} = kU_c(y) \qquad (2.15)$$

1590724X
ว/ร
ส319ก
2554

ตารางที่ 2.2 ค่าของที่ของปัจจัยที่ทำให้เกิดผลที่ระดับความเชื่อมั่นต่างๆ

Coverage Probability (%)	Coverage Factor (k)
90	1.64
95	1.69
95.45	2.00
99	2.58
99.73	3.00

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2533).มาตรวิทยาและและห้องปฏิบัติการมาตรวิทยา.2533.กรุงเทพมหานคร.2533

-ในการหาค่า Type A ความไม่แน่นอนในการวัด ต้องทำการวัดมากกว่า 3 ครั้งขึ้นไป (จำนวนครั้งของการวัด)

-ค่า Type A ความไม่แน่นอนในการวัดมีค่าน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของค่า Uc(y)

การที่จะหาค่า kp ได้นั้นจะต้องได้มาจากการใช้ตาราง t-distribution ด้วย ค่า (Effective Degree of Freedom (Veff)) ซึ่งได้มาจากการคำนวณโดยใช้สมการ

$$\nu_{eff} = \frac{U_4^2(y)}{\sum_{i=1}^{N} \frac{U_i^4(y)}{\nu_i}} \qquad (2.16)$$

Veff = ค่าระดับประสิทธิผลของตัวแปรอิสระ

Vi = ค่าระดับประสิทธิผลของตัวแปรอิสระเฉพาะความไม่แน่นอนในการวัด (Ui(y))

แต่ค่าระดับประสิทธิผลของตัวแปรอิสระเฉพาะความไม่แน่นอนในการวัด สามารถแบ่งจำแนกได้ตาม Type ของค่าความไม่แน่นอนของการวัด ดังนี้

Type A : ค่า Vi = n-1 (โดยที่ n = จำนวนของการวัดสำหรับการทำการทดลองซ้ำๆ)

Type B: ค่า Vi = ค่าอนันต์ (Infinity)

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

3.1 ศึกษาค้นคว้าทำความเข้าใจทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม

ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม ย่านวัด ช่วงของการวัด รวมถึงคุณสมบัติโดยทั่วไปของเครื่องมือสอบเทียบความดันแบบดิจิตอลชนิดพกพา (Digital Pressure Calibrator) รุ่น DPI610

3.2 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิธีการทางสถิติ

ศึกษาหลักการทางสถิติที่สามารถจะนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์เครื่องมือวัด คือ การหาค่าความคลาดเคลื่อน (Error) การหาความเป็นเชิงเส้น (Linearity) การหาความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty) และค่าความถูกต้องของเครื่องมือวัด (Accuracy)

3.3 ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสอบเทียบโดยการใช้วิธีการทางสถิติ

ศึกษาความสำคัญของการสอบเทียบเครื่องมือวัด มาตรฐานของการสอบเทียบเครื่องมือวัด การประเมินความคลาดเคลื่อน ความไม่แน่นอน ความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัด

3.4 ศึกษาข้อมูลที่ได้จากการวัดและหาแนวทางการสอบเทียบโดยการประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติเพื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัด

ศึกษาว่าข้อมูลที่มีอยู่สามารถเลือกใช้หลักการทางสถิติใดมาวิเคราะห์ข้อมูลจากการวัดเพื่อที่จะวิเคราะห์ข้อมูลแล้วสามารถบอกถึงความถูกต้อง และความน่าเชื่อของเครื่องมือวัดนั้นได้

3.5 วิเคราะห์เครื่องมือวัดโดยการประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้จากการวัดมาวิเคราะห์โดยการประยุกต์ใช้วิธีการการทางสถิติ

3.6 สรุปผลและจัดทำรายงาน

สรุปผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการวัดโดยการประยุกต์ใช้วิธีการทางสถิติ แล้วสามารถบอกได้ว่าเครื่องมือสอบเทียบความดันแบบดิจิตอลชนิดพกพา (Digital Pressure Calibrator) รุ่น DPI610 มีความถูกต้อง น่าเชื่อถือและสามารถยอมรับได้หรือไม่

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลองและการวิเคราะห์ในโครงงานคือ เครื่องมือสอบเทียบความดันแบบดิจิตอลชนิดพกพา (Digital Pressure Calibrator) รุ่น DPI610 สร้างโดยบริษัท GE Druck โดยมีความสามารถในการทำงานด้านต่างๆ ดังนี้ สามารถสอบเทียบ เครื่องส่งระดับความดัน(Pressure Transmitter) สามารถทดสอบสวิตช์ความดัน (Pressure Switch) รวมถึงทดสอบการรั่วไหล สามารถทดสอบแบบวนลูปและหาข้อผิดพลาดของระบบ และสามารถสร้างเอกสารเกี่ยวกับการสอบเทียบให้เป็นไปตามมาตรฐาน ยกตัวอย่างเช่น ISO9000 เครื่องมือดังกล่าวมีคุณสมบัติพื้นฐานที่บริษัทผู้ผลิตกำหนดดังนี้

- ช่วงการวัดมีค่าเท่ากับ -14.7 ถึง 10, 000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi)
- ทุกช่วงการวัดมีค่าความแม่นยำเท่ากับ 0.025 %
- ค่าสัญญาณมาตรฐานอยู่ระหว่าง 4 ถึง 20 มิลลิแอมป์
- ลูปสัญญาณที่ใช้ทดสอบ คือ สัญญาณแบบเปลี่ยนแปลงทันทีทันใดอัตโนมัติ (Auto Step) และสัญญาณแบบลาดเอียง (Ramp)

ตารางที่ 4.1 แสดงเครื่องที่ใช้เป็นมาตรฐานในการสอบเทียบของสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

Reference Standards		
Description	Maker // Serial no.	Calibrated by // Certificate no.
Reference Multimeter	Fluke // 930553892	NIMT // EL-0309/08
Dead Weight Pressure Tester	Pressurements // 13043-0	NIMT //MP-0025/06

ที่มา : กรมวิทยาศาสตร์บริการ และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. (2533).มาตรวิทยาและและห้องปฏิบัติการมาตรวิทยา.2533.กรุงเทพมหานคร.2533

4.1 ข้อมูลทั่วไปของเครื่องมือสอบเทียบความดันแบบดิจิตอลชนิดพกพา (Digital Pressure Calibrator) รุ่น DPI610

การสอบเทียบเครื่องมือวัดชนิด รุ่น DPI610 ภายใต้สภาพแวดล้อมที่ควบคุมได้ โดยควบคุมให้อุณหภูมิมีค่าเท่ากับ 23 ±2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50±15% การสอบเทียบสามารถทำการทดสอบค่าต่างๆ ได้ดังนี้ เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge), กระแสไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Current (Input)), แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)), กระแสไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต (DC Current (Output)) โดยการทดสอบค่าข้างต้นสามารถทำได้ตามช่วงการทำงานดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าที่ทำการสอบเทียบ และช่วงของการสอบเทียบ

ค่าที่ทำการสอบเทียบ	ช่วงของการสอบเทียบ
เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge)	0-20 บาร์ (bar)
	0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (Kgf/cm^2)
แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input))	0 - 5 โวลต์ (V)
	0 - 50 โวลต์ (V)
กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Current (Input))	0 - 50 มิลลิแอมป์ (mA)
กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต (DC Current (Output))	0 - 24 มิลลิแอมป์ (mA)

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสอบเทียบ

จากการทำการสอบเทียบเครื่องมือสอบเทียบความดันแบบดิจิตอลชนิดพกพา (Digital Pressure Calibrator) รุ่น DPI610 ได้ค่าการสอบเทียบของสัญญาณแต่ละชนิดดังนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความดันที่วัดได้จากเก็จความดันที่นำมาทำการสอบเทียบ

ค่ามาตรฐานของเก็จวัดความดัน (bar)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 1 (bar)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 2 (bar)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 3 (bar)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 4 (bar)
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5.000	5.001	5.000	5.000	5.001
10.000	10.002	10.002	10.001	10.001
15.000	15.003	15.002	15.003	15.002
20.000	20.004	20.003	20.003	20.003

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าความดันที่วัดได้จากเก็จความดันที่นำมาทำการสอบเทียบ

ค่ามาตรฐานของเก็จวัดความดัน (Kgf/cm^2)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 1 (Kgf/cm^2)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 2 (Kgf/cm^2)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 3 (Kgf/cm^2)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 4 (Kgf/cm^2)
0.000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5.000	5.0000	5.0000	5.0000	5.0000
10.000	10.001	10.001	10.001	10.001
15.000	15.002	15.002	15.002	15.002
20.000	20.003	20.003	20.003	20.003

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความดันที่วัดได้จากแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต

ค่ามาตรฐานของแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (v)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 1 (v)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 2 (v)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 3 (v)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 4 (v)
1.000	0.9990	0.9990	0.9990	0.9990
2.000	1.9980	1.9980	1.9980	1.9980
3.000	2.9970	2.9970	2.9970	2.9970
4.000	3.9960	3.9960	3.9960	3.9960
5.000	4.9950	4.9950	4.9950	4.9950
10.000	9.990	9.990	9.990	9.990
20.000	19.980	19.980	19.980	19.980
30.000	29.970	29.970	29.970	29.970
40.000	39.960	39.960	39.960	39.960
50.000	49.950	49.950	49.950	49.950

ตารางที่ 4.6 ค่าความดันที่วัดได้จากกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุตที่นำมาทำการสอบเทียบ

ค่ามาตรฐานของเก็จวัดความดัน (mA)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 1 (mA)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 2 (mA)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 3 (mA)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 4 (mA)
4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
10.000	10.002	10.002	10.002	10.002
20.000	20.002	20.002	20.002	20.002
30.000	30.003	30.003	30.003	30.003
40.000	40.003	40.003	40.003	40.003
50.000	50.004	50.004	50.004	50.004

ตารางที่ 4.7 ค่าความดันกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต ที่นำมาทำการสอบเทียบ

ค่ามาตรฐานของเก็จวัดความดัน (mA)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 1 (mA)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 2 (mA)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 3 (mA)	ค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาทำการสอบเทียบ ครั้งที่ 4 (mA)
4.000	4.0013	4.0012	4.0013	4.0013
8.000	8.0013	8.0013	8.0014	8.0012
12.000	12.0012	12.0013	12.0012	12.0013
16.000	16.0012	16.0011	16.0012	16.0013
20.000	20.0011	20.0010	20.0011	20.0010
24.000	20.0007	20.0008	20.0009	20.0007

ในการวิเคราะห์เครื่องมือวัดโดยใช้วิธีการทางสถิติ จะทำการวิเคราะห์เครื่องมือวัดในด้านต่างๆ ดังนี้

4.2.1 ค่าเฉลี่ย (Mean)

คือการนำข้อมูลที่ได้จากการวัดตำแหน่งเดิมซ้ำแล้วนำมารวมกันและหารด้วยจำนวนครั้งที่ทำการวัด โดยค่าเฉลี่ยที่ได้จากการสอบเทียบค่าต่างๆ คำนวณได้ดังนี้ เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge), แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input), กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Current (Input)), กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต (DC Current (Output)) ค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ที่ทำการสอบเทียบ สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.8 ผลการสอบเทียบแสดงไว้ดัง ตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงถึงค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปร

เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 บาร์	ค่ามาตรฐาน (bar)	ค่าเฉลี่ยของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (bar)
	0.0000	0.0000
	5.0000	5.0005
	10.0000	10.0015
	15.0000	15.0025
	20.0000	20.0033
เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (Kgf/cm^2)	ค่ามาตรฐาน (kgf/cm^2)	ค่าเฉลี่ยของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (kgf/cm^2)
	0.0000	0.000
	5.0000	5.000
	10.0000	10.001
	15.0000	15.002
	20.0000	20.003

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) แสดงถึงค่าเฉลี่ยของแต่ละตัวแปร

แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรงด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ที่ 0 - 50 โวลต์ (V)	ค่ามาตรฐาน (V)	ค่าเฉลี่ยของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (V)
	1.00000	0.9990
	2.00000	1.9980
	3.00000	2.9970
	4.00000	3.9960
	5.00000	4.9950
	10.0000	9.990
	20.0000	19.980
	30.0000	29.970
	40.0000	39.960
	50.0000	49.950
กระแสของไฟฟ้ากระแสตรงด้านอินพุต (DC Current (Input)) ที่ 0 - 50 มิลลิแอมป์ (mA)	ค่ามาตรฐาน (mA)	ค่าเฉลี่ยของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (mA)
	4.000	4.000
	10.000	10.002
	20.000	20.002
	30.000	30.003
	40.000	40.003
	50.000	50.004
กระแสของไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุต (DC Current (Output)) ที่ 0 - 24 มิลลิแอมป์ (mA)	ค่ามาตรฐาน (mA)	ค่าเฉลี่ยของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (mA)
	4.000	4.0013
	8.000	8.0013
	12.000	12.0013
	16.000	16.0012
	20.000	20.0011
	24.000	20.0008

4.2.2 การหาค่าความคลาดเคลื่อน (Error)

คือความถูกต้องใกล้เคียงกัน ระหว่างผลของการวัดกับค่าจริง การคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน โดยที่ได้จากการทดสอบค่าต่างๆดังนี้ เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge), แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)), กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Current (Input)), กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต (DC Current (Output)) ค่าความคลาดเคลื่อน (Error) ของตัวแปรต่างๆ ที่ทำการทดสอบ สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.9 ผลการทดสอบแสดงไว้ดัง ตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการหาค่าความคลาดเคลื่อน (Error)

เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 บาร์	ค่ามาตรฐาน (bar)	ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (bar)
	0.0000	0.0000
	5.0000	+ 0.0005
	10.0000	+ 0.0015
	15.0000	+ 0.0025
	20.0000	+ 0.0033
เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (Kgf/cm^2)	ค่ามาตรฐาน (kgf/cm^2)	ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (kgf/cm^2)
	0.0000	0.000
	5.0000	0.000
	10.0000	+0.001
	15.0000	+0.002
	20.0000	+0.003
แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ที่ 0 - 5 โวลต์ (V)	ค่ามาตรฐาน (V)	ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (V)
	1.00000	-0.001
	2.00000	-0.002
	3.00000	-0.003
	4.00000	-0.004
	5.00000	-0.005

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) แสดงผลการหาค่าความคลาดเคลื่อน (Error)

แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรงด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ที่ 10 - 50 โวลต์ (V)	ค่ามาตรฐาน (V)	ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (V)
	10.0000	-0.01
	20.0000	-0.02
	30.0000	-0.03
	40.0000	-0.04
	50.0000	-0.05
กระแสของไฟฟ้ากระแสตรงด้านอินพุต (DC Current (Input)) ที่ 0 - 50 มิลลิแอมป์ (mA)	ค่ามาตรฐาน (mA)	ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (mA)
	4.000	0.000
	10.000	+0.002
	20.000	+0.002
	30.000	+0.003
	40.000	+0.003
	50.000	+0.004
กระแสของไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุต (DC Current (Output)) ที่ 0 - 24 มิลลิแอมป์ (mA)	ค่ามาตรฐาน(mA)	ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (mA)
	4.000	+0.001275
	8.000	+0.0013
	12.000	+0.00125
	16.000	+0.0012
	20.000	+0.00105
	24.000	+0.000775

4.2.3 การหาค่าความถูกต้องสูงสุดที่สามารถวัดได้ (Accuracy of Full Scale)

คือค่าสูงสุดเครื่องวัดที่ทำการวัดได้ โดยที่ได้จากการทดสอบค่าต่างๆดังนี้ เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge), แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input), กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Current (Input)), กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต ความถูกต้องสูงสุดที่สามารถวัดได้ (Accuracy of Full Scale) ของตัวแปรต่างๆ ที่ทำการสอบเทียบ สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.9 ผลการทดสอบแสดงไว้ดัง ตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการหาค่าความถูกต้องสูงสุดที่สามารถวัดได้ (Accuracy of Full Scale)

เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 บาร์	ค่ามาตรฐาน (bar)	ค่าความถูกต้องสูงสุดของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (bar)
	0.0000	0.0000
	5.0000	+0.00025
	10.0000	+0.0075
	15.0000	+0.0125
	20.0000	+0.01625
เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (Kgf/cm^2)	ค่ามาตรฐาน (kgf/cm^2)	ค่าความถูกต้องสูงสุดของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (kgf/cm^2)
	0.0000	0.000
	5.0000	0.000
	10.0000	+0.005
	15.0000	+0.010
	20.0000	+0.015
แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ที่ 0 - 5 โวลต์ (V)	ค่ามาตรฐาน (V)	ค่าความถูกต้องสูงสุดของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (V)
	1.00000	-0.02
	2.00000	-0.04
	3.00000	-0.06
	4.00000	-0.08
	5.00000	-0.1

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) แสดงผลการหาค่าความถูกต้องสูงสุดที่สามารถวัดได้ (Accuracy of Full Scale)

แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรงด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ที่ 10 - 50 โวลต์ (V)	ค่ามาตรฐาน (V)	ค่าความถูกต้องสูงสุดของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ(V)
	10.0000	-0.01
	20.0000	-0.02
	30.0000	-0.03
	40.0000	-0.04
	50.0000	-0.05
กระแสของไฟฟ้ากระแสตรงด้านอินพุต (DC Current (Input)) ที่ 0 - 50 มิลลิแอมป์ (mA)	ค่ามาตรฐาน (mA)	ค่าความถูกต้องสูงสุดของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (mA)
	4.000	0.000
	10.000	+0.004
	20.000	+0.004
	30.000	+0.006
	40.000	+0.006
	50.000	+0.008
กระแสของไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุต (DC Current (Output)) ที่ 0 - 24 มิลลิแอมป์ (mA)	ค่ามาตรฐาน (mA)	ค่าความถูกต้องสูงสุดของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (mA)
	4.000	+0.0053125
	8.000	+0.005416667
	12.000	+0.005208333
	16.000	+0.005
	20.000	+0.004375
	24.000	+0.003229167

4.2.4 การหาค่าความถูกต้องของช่วงการวัด (Accuracy of Span)

โดยที่ได้จากการทดสอบค่าต่างๆดังนี้ เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge), แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)), กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Current (Input)) กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต ค่าความถูกต้องของช่วงการวัดของตัวแปรต่างๆ ที่ทำการทดสอบสามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2.10 ผลการทดสอบแสดงไว้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงผลของค่าความถูกต้องของช่วงการวัด (Accuracy of Span)

เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 บาร์	ค่ามาตรฐาน (bar)	ค่าความถูกต้องของช่วงการวัดของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (bar)
	0.0000	0.0000
	5.0000	+0.00025
	10.0000	+0.0075
	15.0000	+0.0125
	20.0000	+0.01625
เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (Kgf/cm^2)	ค่ามาตรฐาน (kgf/cm^2)	ค่าความถูกต้องของช่วงการวัดของค่าอ่านได้ (kgf/cm^2)
	0.0000	0.000
	5.0000	0.000
	10.0000	+0.005
	15.0000	+0.010
	20.0000	+0.015
แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ที่ 0 5 โวลต์ (V)	ค่ามาตรฐาน (V)	ค่าความถูกต้องของช่วงการวัดของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (V)
	1.00000	-0.02
	2.00000	-0.04
	3.00000	-0.06
	4.00000	-0.08
	5.00000	-0.1

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) ตารางแสดงผลของค่าความถูกต้องของช่วงการวัด (Accuracy of Span)

แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรงด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ที่ 10 - 50 โวลต์ (V)	ค่ามาตรฐาน (V)	ค่าความถูกต้องของช่วงการวัดของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (V)
	10.0000	-0.02
	20.0000	-0.04
	30.0000	-0.06
	40.0000	-0.08
	50.0000	-0.1
กระแสของไฟฟ้ากระแสตรงด้านอินพุต (DC Current (Input)) ที่ 0 - 50 มิลลิแอมป์ (mA)	ค่ามาตรฐาน (mA)	ค่าความถูกต้องของช่วงการวัดของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (mA)
	4.000	0.000
	10.000	+0.004
	20.000	+0.004
	30.000	+0.006
	40.000	+0.006
	50.000	+0.008
กระแสของไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุต (DC Current (Output)) ที่ 0 - 24 มิลลิแอมป์ (mA)	ค่ามาตรฐาน (mA)	ค่าความถูกต้องของช่วงการวัดของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (mA)
	4.000	+0.0053125
	8.000	+0.005416667
	12.000	+0.005208333
	16.000	+0.005
	20.000	+0.004375
	24.000	+0.003229167

4.2.5 การหาค่าความถูกต้องของตำแหน่งการอ่านค่าของเครื่องวัด (Accuracy of Rdg.)

โดยที่ได้จากการทดสอบค่าต่างๆดังนี้ เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge), แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)), กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Current (Input)), กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต (DC Current (Output)), ค่าความถูกต้องของตำแหน่งการอ่านค่าของเครื่องวัด ของตัวแปรต่างๆ ที่ทำการทดสอบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.11 ผลการทดสอบแสดงไว้ดัง ตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลของค่าความถูกต้องตำแหน่งการอ่านค่าของเครื่องวัด (Accuracy of Rdg.)

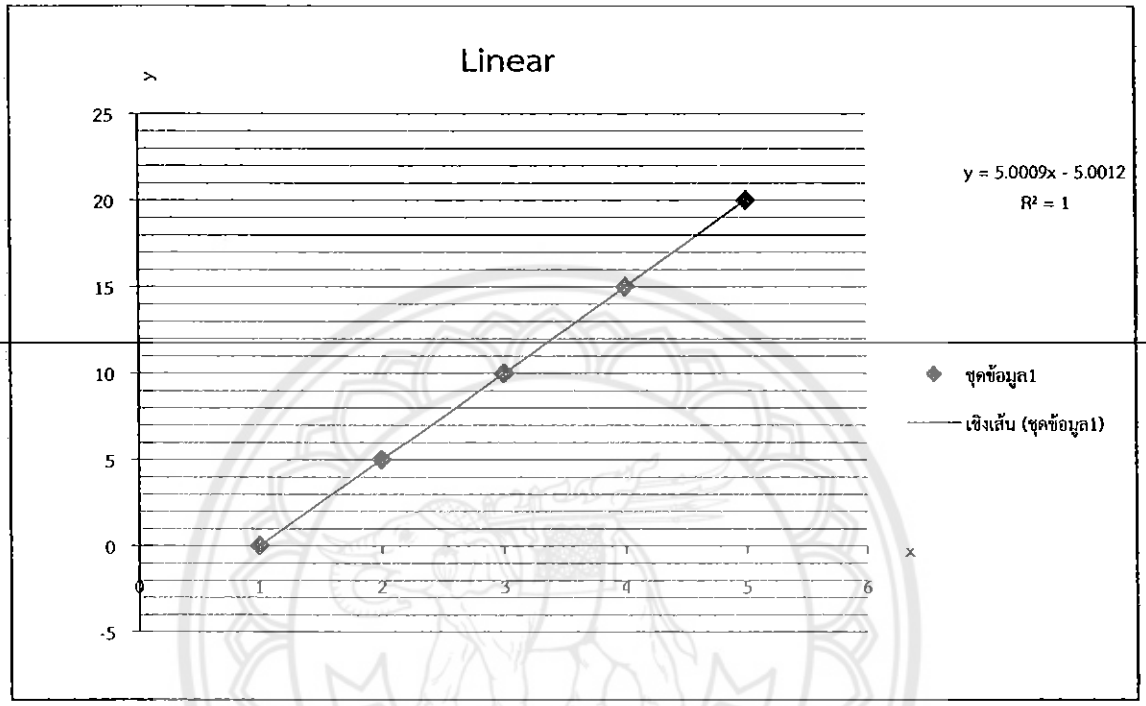
เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 บาร์	ค่ามาตรฐาน (bar)	ค่าความถูกต้องของตำแหน่งการอ่านค่าของเครื่องวัด (bar)
	0.0000	ไม่สามารถหาค่าได้
	5.0000	+0.001
	10.0000	+0.015
	15.0000	+0.016666667
	20.0000	+0.01625
เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (Kgf/cm^2)	ค่ามาตรฐาน (kgf/cm^2)	ความถูกต้องของตำแหน่งการอ่านค่าของเครื่องวัด (kgf/cm^2)
	0.0000	ไม่สามารถหาค่าได้
	5.0000	0.000
	10.0000	+0.010
	15.0000	+0.0133
	20.0000	+0.015
แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ที่ 0 - 5 โวลต์ (V)	ค่ามาตรฐาน (V)	ความถูกต้องของตำแหน่งการอ่านค่าของเครื่องวัด (V)
	1.00000	-0.1
	2.00000	-0.1
	3.00000	-0.1
	4.00000	-0.1
	5.00000	-0.1

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) ผลของค่าความถูกต้องที่ตำแหน่งการอ่านค่าของเครื่องวัด (Accuracy of Rdg.)

แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรงด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ที่ 10 - 50 โวลต์ (V)	ค่ามาตรฐาน (V)	ความถูกต้องของตำแหน่งการอ่านค่าของเครื่องวัด (V)
	10.0000	-0.1
	20.0000	-0.1
	30.0000	-0.1
	40.0000	-0.1
	50.0000	-0.1
กระแสของไฟฟ้ากระแสตรงด้านอินพุต (DC Current (Input)) ที่ 0 - 50 มิลลิแอมป์ (mA)	ค่ามาตรฐาน (mA)	ความถูกต้องของตำแหน่งการอ่านค่าของเครื่องวัด (mA)
	4.000	0.000
	10.000	+0.02
	20.000	+0.01
	30.000	+0.01
	40.000	+0.0075
	50.000	+0.008
กระแสของไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุต (DC Current (Output)) ที่ 0 - 24 มิลลิแอมป์ (mA)	ค่ามาตรฐาน (mA)	ความถูกต้องของตำแหน่งการอ่านค่าของเครื่องวัด (mA)
	4.000	+0.0053125
	8.000	+0.005416667
	12.000	+0.005208333
	16.000	+0.005
	20.000	+0.004375
	24.000	+0.003229167

4.3 การหาค่าของความเป็นเชิงเส้น (Linearity)

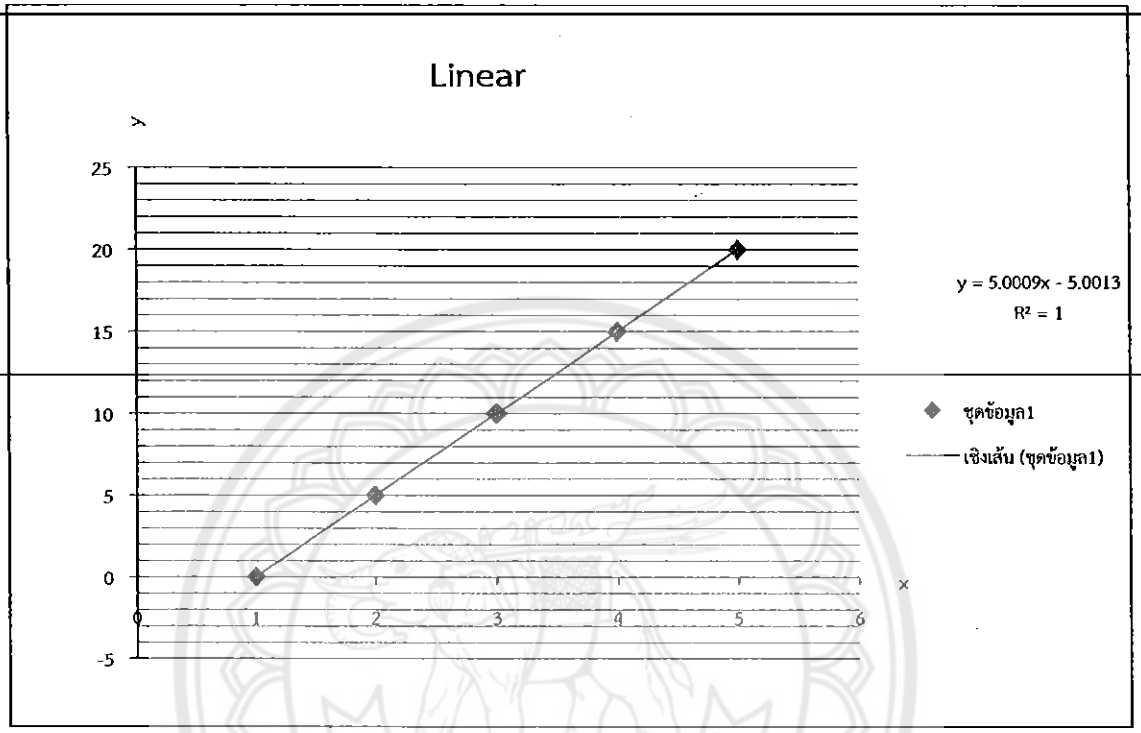
จากข้อมูลผลการสอบเทียบของเก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ช่วง 0-20 บาร์ ในตารางที่ 4.2 สามารถสร้างกราฟความเป็นเชิงเส้น โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) ได้กราฟ ดังรูปที่ 4.1 และได้ค่าความชัน (Slop) ดังนี้



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของ เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 บาร์ (bar)

ค่าความชัน(Slop) m = 5.000895
ค่า y-int, b = -5.001225
ค่า r = 0.999999999

จากข้อมูลผลการสอบเทียบของเก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (Kgf/cm^2) ในตารางที่ 4.3 สามารถสร้างกราฟความเป็นเชิงเส้น โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล(Microsoft Excel) ได้กราฟ ดังรูปที่ 4.5 และได้ค่าความชัน (Slop) ดังนี้



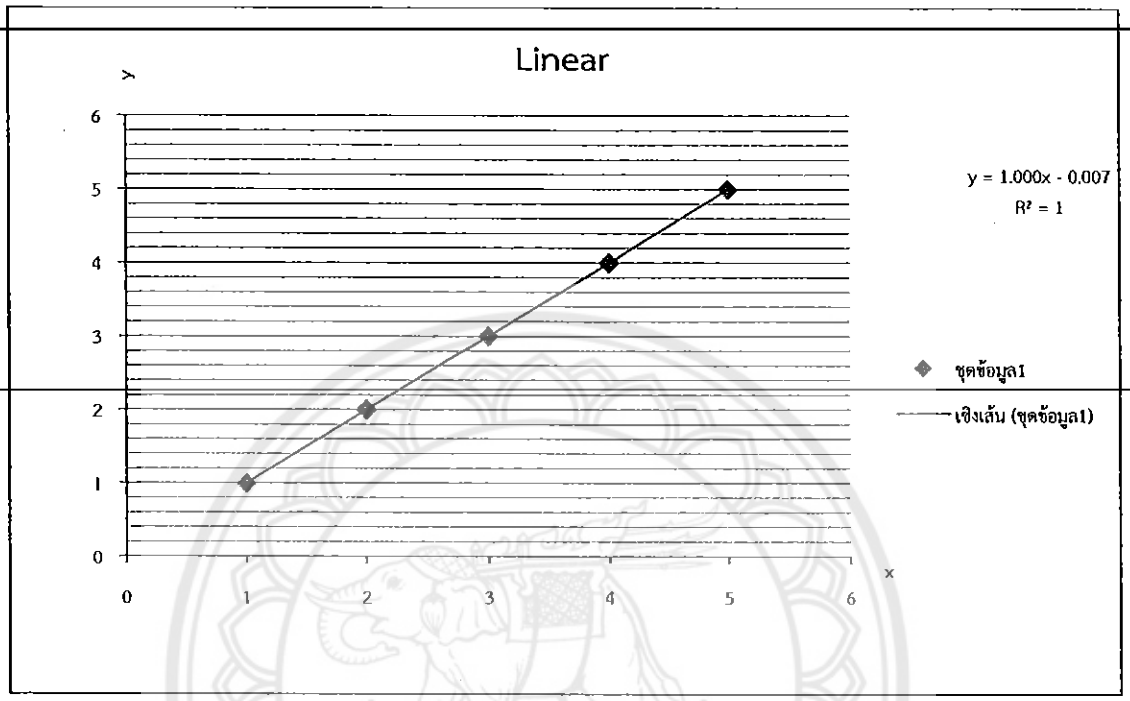
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของ เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge)ที่ 0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (Kgf/cm^2)

ค่าความชัน(Slop) m = 5.00085

ค่า y-int, b = -5.0013

ค่า r = 0.999999999

จากข้อมูลผลการทดสอบของแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)), ช่วง 0- 5 โวลต์ ในตารางที่ 4.4 สามารถสร้างกราฟความเป็นเชิงเส้น โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) ได้กราฟ ดังรูปที่ 4.6 และได้ค่าความชัน (Slop) ดังนี้



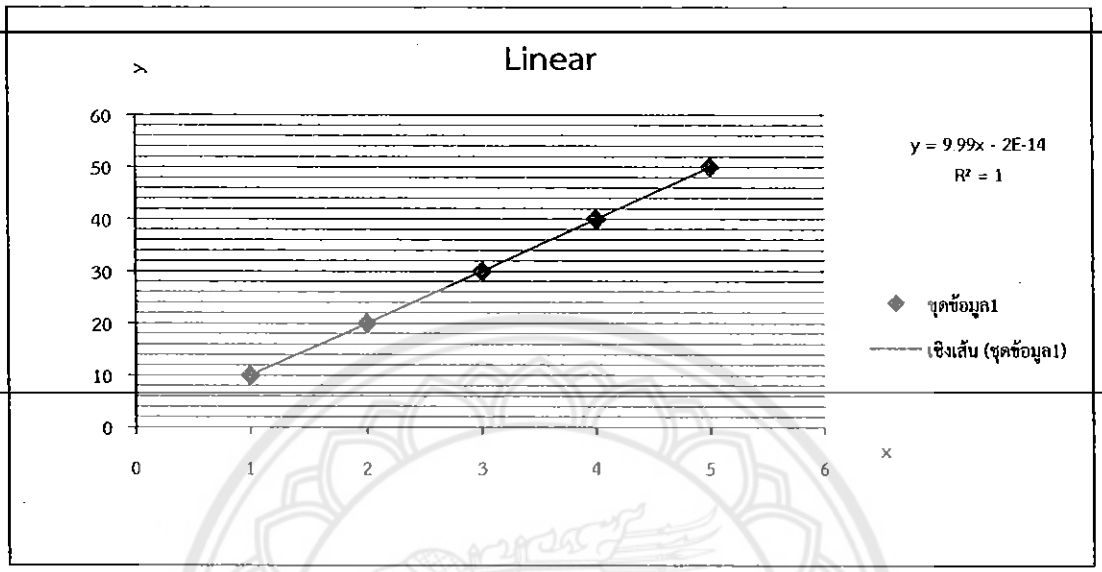
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของ แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ที่ 0-5 โวลต์

ค่าความชัน (Slop) m = 1.0008

ค่า y-int, b = -0.0072

ค่า r = 0.999998383

จากข้อมูลผลการทดสอบของแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ช่วง 0- 50 โวลต์ ในตารางที่ 4.4 สามารถสร้างกราฟความเป็นเชิงเส้น โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซล (Microsoft Excel) ได้กราฟ ดังรูปที่ 4.7 และได้ค่าความชัน (Slop) ดังนี้



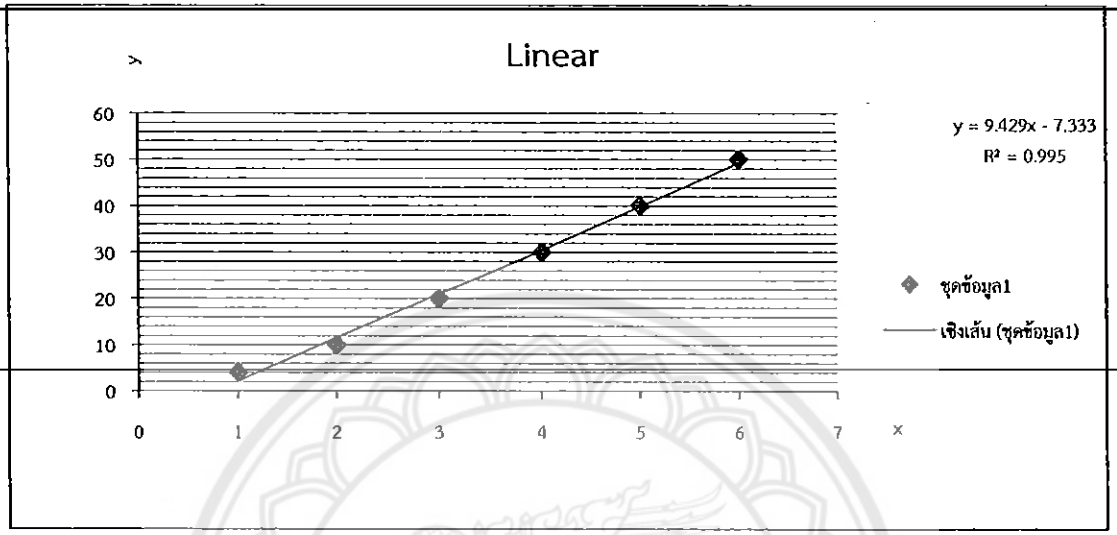
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของ แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ที่ 0- 50 โวลต์

ค่าความชัน (Slop) m = 9.99

ค่า y-int, b = ไม่สามารถหาค่าได้

ค่า r = 1

จากข้อมูลผลการสอบเทียบของกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Current (Input)) ช่วงระหว่าง 0-50 มิลลิแอมป์ ในตารางที่ 4.5 สามารถสร้างกราฟความเป็นเชิงเส้น โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) ได้กราฟ ดังรูปที่ 4.8 และได้ค่าความชัน (Slop) ดังนี้



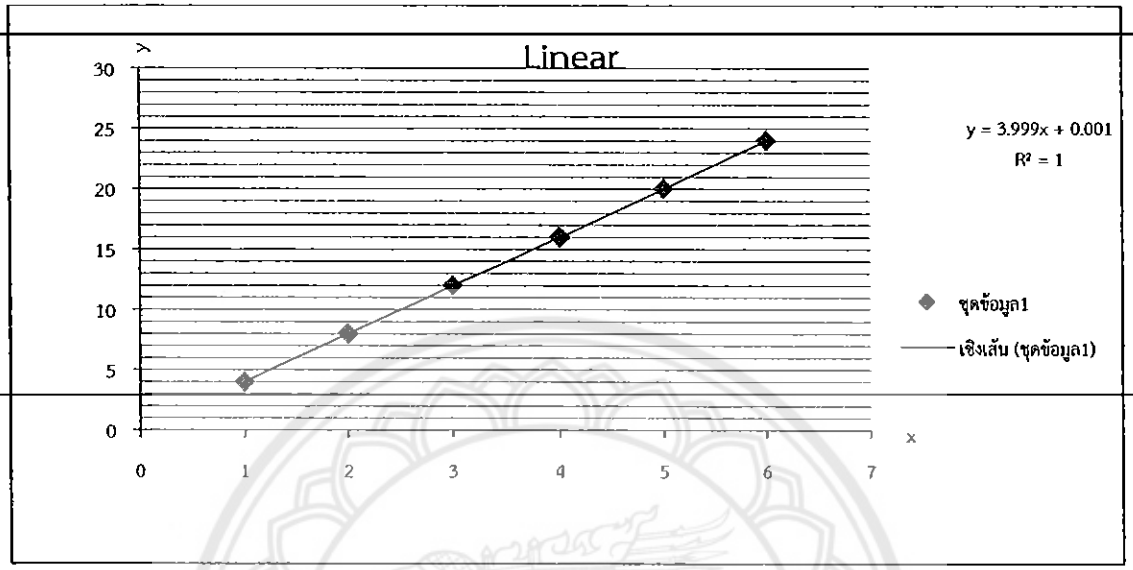
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของ กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Current (Input)) ที่ 0-50 มิลลิแอมป์

ค่าความชัน (Slop) m = 9.429257143

ค่า y-int, b = -7.3334

ค่า r = 0.997562161

จากข้อมูลผลการทดสอบของกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต (DC Current (Output)) ที่ 0-24 มิลลิแอมป์ ในตารางที่ 4.6 สามารถสร้างกราฟความเป็นเชิงเส้น โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) ได้กราฟ ดังรูปที่ 4.9 และได้ค่าความชัน (Slop) ดังนี้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความเป็นเชิงเส้นของ กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต (DC Current (Output)) ที่ 0-24 มิลลิแอมป์

ค่าความชัน (Slop) m = 3.999905714

การหาค่า y-int, b = 0.001471667

การหาค่า r = 1

4.4 การหาค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty)

ความไม่แน่นอนของการวัดคือสิ่งที่บอกถึงคุณภาพของผลการวัด ว่ามีความน่าเชื่อถือเพียงใด ความไม่แน่นอนของการวัดจะต้องคำนวณโดยวิธีที่เป็นที่ยอมรับอย่างเป็นสากล และโดยทั่วไปจะต้องรายงานที่ระดับความเชื่อมั่น 95.45%

ตารางที่ 4.13 แสดงผลของค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty)

เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 บาร์	ที่ (bar)	ความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty) (bar)
	0.0000	0.00058
	5.0000	0.0012
	10.0000	0.0016
	15.0000	0.0020
	20.0000	0.0024
เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (Kgf/cm^2)	ที่ (kgf/cm^2)	ความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty) (kgf/cm^2)
	0.0000	0.00058
	5.0000	0.0010
	10.0000	0.0014
	15.0000	0.0018
	20.0000	0.0022
แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรงด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ที่ 0 - 5 โวลต์ (V)	ที่ (V)	ความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty) (V)
	1.00000	0.18
	2.00000	0.24
	3.00000	0.30
	4.00000	0.36
	5.00000	0.42

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) แสดงผลของค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty)

แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ที่ 0 - 50 โวลต์ (V)	10.0000	1.2
	20.0000	1.8
	30.0000	2.4
	40.0000	3.5
	50.0000	4.1
กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Current (Input)) ที่ 0 - 50 มิลลิแอมป์ (mA)	ที่ (mA)	ความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty) (mA)
	4.000	2.9
	10.000	3.9
	20.000	5.9
	30.000	7.9
	40.000	9.9
	50.000	12
กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต (DC Current (Output)) ที่ 0 - 24 มิลลิแอมป์ (mA)	ที่ (mA)	ความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty) (mA)
	4.000	2.0
	8.000	2.5
	12.000	3.0
	16.000	3.5
	20.000	4.0
	24.000	4.4

4.4.1 การรวมค่าความไม่แน่นอนของการวัด (Calculate Combined Uncertainty)

โดยที่ได้จากการทดสอบค่าต่างๆดังนี้ เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge), แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)), กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Current (Input)), กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต (DC Current (Output)), ค่าความถูกต้องของตำแหน่งการอ่านค่าของเครื่องวัด ของตัวแปรต่างๆ ที่ทำการทดสอบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.13

จากข้อมูลผลการสอบเทียบของเก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ช่วง 0-20 บาร์ ในตารางที่ 4.2 สามารถวิเคราะห์หาค่า Type A จากสมการที่ 2.13 โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) คำนวณได้ค่า ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 แสดงค่า Type A ของเก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 บาร์ (bar)

ฟังก์ชัน	ช่วงการวัด	ค่ามาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมารตฐาน	ค่าพิสัย	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย
เก็จวัดความดัน	0-20 บาร์	0.0000	0.000	0.000	0	0.0000000
		5.0000	5.001	0.001	0.000577	0.0002887
		10.000	10.002	0.001	0.000577	0.0002887
		15.000	15.003	0.001	0.000577	0.0002887
		20.000	20.003	0.001	0.0005	0.0002500

จากข้อมูลผลการสอบเทียบของเก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ช่วง 0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (Kgf/cm^2) ในตารางที่ 4.3 สามารถวิเคราะห์หาค่า Type A จากสมการที่ 2.13 โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) คำนวณได้ค่า ดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 แสดงค่า Type A ของเก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (Kgf/cm^2)

ฟังก์ชัน	ช่วงการวัด	ค่ามาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมารตฐาน	ค่าพิสัย	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย
เก็จวัดความดัน	0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร	0.0000	0.000	0.000	0	0.0000000
		5.0000	5.000	0.000	0	0.0000000
		10.000	10.001	0.000	0	0.0000000
		15.000	15.003	0.000	0	0.0000000
		20.000	20.003	0.000	0	0.0000000

จากข้อมูลผลการทดสอบของแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ช่วง 0- 50 โวลต์ ในตารางที่ 4.4 สามารถวิเคราะห์หาค่า Type A จากสมการที่ 2.13 โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) คำนวณได้ค่า ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าของ Type A ของแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ที่ 0-50 โวลต์

ฟังก์ชัน	ช่วงการวัด	ค่ามาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมารตฐาน	ค่าพิสัย	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย
แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรงด้านอินพุต	0-5 โวลต์	1.0000	0.999	0.000	0.000	0.000
		2.0000	1.998	0.000	0.000	0.000
		3.0000	2.997	0.000	0.000	0.000
		4.0000	3.996	0.000	0.000	0.000
		5.0000	4.995	0.000	0.000	0.000

ตารางที่ 4.16 (ต่อ) แสดงค่าของ Type A ของแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ที่ 0-50 โวลต์

ฟังก์ชัน	ช่วงการวัด	ค่า มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน	ค่าพิสัย	ค่าเบี่ยงเบน เฉลี่ย
แรงดัน ของไฟฟ้า กระแสตรง ด้านอินพุต	0-50 โวลต์	10.0000	9.990	0.000	0.000	0.000
		20.0000	19.980	0.000	0.000	0.000
		30.0000	29.970	0.000	0.000	0.000
		40.0000	39.960	0.000	0.000	0.000
		50.0000	49.950	0.000	0.000	0.000

จากข้อมูลผลการทดสอบของกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Current (Input)) ช่วงระหว่าง 0-50 มิลลิแอมป์ ในตารางที่ 4.5 สามารถวิเคราะห์หาค่า Type จากสมการที่ 2.13 โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) คำนวณได้ค่า ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าของ Type A ของกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Current (Input)) ช่วงระหว่าง 0-50 มิลลิแอมป์

ฟังก์ชัน	ช่วงการวัด	ค่า มาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่า เบี่ยงเบน มารตฐาน	ค่าพิสัย	ค่าเบี่ยงเบน เฉลี่ย
แรงดัน ของไฟฟ้า กระแสตรง ด้านอินพุต	0-50 มิลลิแอมป์	4.000	4.000	0.000	0.000	0.000
		10.000	10.002	0.000	0.000	0.000
		20.000	20.002	0.000	0.000	0.000
		30.000	30.003	0.000	0.000	0.000
		40.000	40.003	0.000	0.000	0.000
		50.000	50.004	0.000	0.000	0.000

จากข้อมูลผลการทดสอบของกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต (DC Current (Output)) ช่วงระหว่าง 0-24 มิลลิแอมป์ ในตารางที่ 4.6 สามารถวิเคราะห์หาค่า Type A จากสมการที่ 2.13 โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) คำนวณได้ค่า ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 แสดงค่าของ Type A ของกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต (DC Current (Output)) ช่วงระหว่าง 0-24 มิลลิแอมป์

ฟังก์ชัน	ช่วงการวัด	ค่ามาตรฐาน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมารตฐาน	ค่าพิสัย	ค่าเบี่ยงเบนเฉลี่ย
แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรงด้านเอาต์พุต	0-24 มิลลิแอมป์	4.0000	4.0013	5E-05	5E-05	2.5E-05
		8.0000	8.0013	8E-05	8.16E-05	4.08E-05
		12.0000	12.0013	6E-05	5.77E-05	2.89E-05
		16.0000	16.0012	8E-05	8.16E-05	4.08E-05
		20.0000	20.0011	6E-05	5.77E-05	2.89E-05
		24.0000	24.0008	1E-04	9057E-05	4.79E-05

4.4.2 การรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัดของแต่ละปัจจัยให้เป็นค่าเดียว (Combined Individual Uncertainty)

โดยที่ได้จากการทดสอบค่าต่างๆดังนี้ เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge), แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)), กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Current (Input)), กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต (DC Current (Output)) ค่าความถูกต้องของตำแหน่งการอ่านค่าของเครื่องวัด ของตัวแปรต่างๆ ที่ทำการทดสอบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.14

จากข้อมูลผลการสอบเทียบของเก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ช่วง 0-20 บาร์ ในตารางที่ 4.2 สามารถทำการรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้เป็นค่าเดียวได้ จากสมการที่ 2.14 โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) คำนวณได้ค่า ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 แสดงการรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัด ของเก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 บาร์ (bar)

ค่าเฉลี่ยที่ทำการสอบเทียบ	ปัจจัยที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนในการวัด						การรวมข้อมูลของค่าความไม่แน่นอนในการวัด	
	Type A	Cal uncer	Spec	Temp eff	Air head	§Pres		
	Abs	Rela	Rela	Rela	Rela	Abs	Rela	Abs
bar	bar	ppm	ppm	ppm	ppm	bar	ppm	bar
0.000	0.0000000	50	50	21	5	0.001	40.17047	0.0002887
5.001	0.0002887	50	50	21	5	0.001	40.17047	0.0002887
10.002	0.0002887	50	50	21	5	0.001	40.17047	0.0002887
15.003	0.0002887	50	50	21	5	0.001	40.17047	0.0002887
20.003	0.00025	50	50	21	5	0.001	40.17047	0.0002887

จากข้อมูลผลการสอบเทียบของเก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ช่วง 0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (Kgf/cm^2) ในตารางที่ 4.3 สามารถทำการรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้เป็นค่าเดียวได้ จากสมการที่ 2.14 โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) คำนวณได้ค่า ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 แสดงการรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัด ของเก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (Kgf/cm^2)

ค่าเฉลี่ยที่ทำการสอบเทียบ	ปัจจัยที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนในการวัด						การรวมข้อมูลของค่าความไม่แน่นอนในการวัด	
	Type A	Cal uncer	Spec	Temp eff	Air head	§Pres		
	Abs	Rela	Rela	Rela	Rela	Abs	Rela	Abs
Kgf/cm^2	Kgf/cm^2	ppm	ppm	ppm	ppm	Kgf/cm^2	ppm	Kgf/cm^2
0.000	0	50	50	21	5	0.001	40.17047	0.0002887
5.000	0	50	50	21	5	0.001	40.17047	0.0002887
10.001	0	50	50	21	5	0.001	40.17047	0.0002887
15.002	0	50	50	21	5	0.001	40.17047	0.0002887
20.003	0	50	50	21	5	0.001	40.17047	0.0002887

จากข้อมูลผลการทดสอบของแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ช่วง 0- 50 โวลต์ ในตารางที่ 4.4 สามารถทำการรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัด จากสมการที่ 2.14 โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) คำนวณได้ค่า ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 แสดงการรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัดของแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ที่ 0-50 โวลต์

ค่าเฉลี่ยที่ทำการสอบเทียบ	ปัจจัยที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนในการวัด							การรวมข้อมูลของค่าความไม่แน่นอนในการวัด	
	Type A	δV cal		δV Spec		δV emf	§Pres		
	Abs	Rela	Abs	Rela	Rela	Rela	Abs	Rela	Abs
V	µV	ppm	µV	ppm	µV	µV	µV	ppm	µV
0.9990	0	15	80	50	50	0.3	100	29.82588	57.15502
1.9980	0	15	80	50	50	0.3	100	29.82588	57.15502
2.9970	0	15	80	50	50	0.3	100	29.82588	57.15502
3.9960	0	15	80	50	50	0.3	100	29.82588	57.15502
4.9950	0	15	80	50	50	0.3	100	29.82588	57.15502
9.990	0	15	80	50	50	0.3	1000	29.82588	292.8595
19.980	0	15	80	50	50	0.3	1000	29.82588	292.8595
29.970	0	15	80	50	50	0.3	1000	29.82588	292.8595
39.960	0	15	80	55	500	0	1000	32.62795	410.2032
49.950	0	15	80	55	500	0	1000	32.62795	410.2032

จากข้อมูลผลการทดสอบของกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Current (Input)) ช่วงระหว่าง 0-50 มิลลิแอมป์ ในตารางที่ 4.5 สามารถทำการรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัด จากสมการที่ 2.14 โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) คำนวณได้ค่า ดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 แสดงการรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัด ของกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Current (Input)) ช่วงระหว่าง 0-50 มิลลิแอมป์

ค่าเฉลี่ยที่ทำการสอบเทียบ	ปัจจัยที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนในการวัด						การรวมข้อมูลของค่าความไม่แน่นอนในการวัด	
	TYPE A	Ical	Ispec		δI STDRES	δI UUCRES		
	Abs	Abs	Rela	Abs	Abs	Abs	Rela	Abs
mA	nA	nA	ppm	nA	nA	nA	ppm	nA
4.000	0	2300	100	250	100	1000	57.735027	1194.4315
10.002	0	2300	100	250	100	1000	57.735027	1194.4315
20.002	0	2300	100	250	100	1000	57.735027	1194.4315
30.003	0	2300	100	250	100	1000	57.735027	1194.4315
40.003	0	2300	100	250	100	1000	57.735027	1194.4315
50.004	0	2300	100	250	100	1000	57.735027	1194.4315

จากข้อมูลผลการทดสอบของกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต (DC Current (Output)) ช่วงระหว่าง 0-24 มิลลิแอมป์ ในตารางที่ 4.6 สามารถทำการรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัด จากสมการที่ 2.14 โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) คำนวณได้ค่าดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 แสดงการรวมค่าความไม่แน่นอนในการวัด ของกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต(DC Current (Output)) ช่วงระหว่าง 0-24 มิลลิแอมป์

ค่าเฉลี่ยที่ทำการสอบเทียบ	ปัจจัยที่ทำให้เกิดความไม่แน่นอนในการวัด							การรวมข้อมูลของค่าความไม่แน่นอนในการวัด	
	Type A	δV cal		δV Spec		δV emf	§Pres		
	Abs	Rela	Abs	Rela	Abs	Abs	Rela	Rela	Abs
mA	nA	ppm	nA	ppm	nA	nA	ppm	ppm	nA
4.0013	25.00000	20	200	100	1000	1000	10	59.44185	653.6755
8.0013	40.82483	20	200	100	1000	1000	10	59.44185	654.4718
12.0013	28.86751	20	200	100	1000	1000	10	59.44185	653.8348
16.0012	40.82483	20	200	100	1000	1000	10	59.44185	654.4718
20.0011	28.86751	20	200	100	1000	1000	10	59.44185	653.8348
24.0008	47.87136	20	200	100	1000	1000	10	59.44185	654.9491

4.4.3 ทำการขยายขอบเขตค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น (Expanded Uncertainty)

โดยที่ได้จากการทดสอบค่าต่างๆดังนี้ เก็จวัดความดัน (Pressure Gauge), แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)), กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Current (Input)), กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต (DC Current (Output)) ค่าความถูกต้องของตำแหน่งการอ่านค่าของเครื่องวัด ของตัวแปรต่างๆ ที่ทำการทดสอบสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.15

จากข้อมูลผลการสอบเทียบของเก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ช่วง 0-20 บาร์ ในตารางที่ 4.2 สามารถทำการขอบเขตค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น จากสมการที่ 2.15 โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) คำนวณได้ค่า ดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ตารางแสดงการขยายขอบเขตค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น ของเก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 บาร์

ค่าเฉลี่ยที่ทำการสอบเทียบ	การรวมข้อมูลของค่าความไม่แน่นอนในการวัด		เฟคเตอร์ K	การขยายขอบเขตค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น		
	Rela	Abs		Rela	Abs	Total
bar	ppm	bar		ppm	bar	bar
0	40.17047	0.0002887	2.00	80.34094	0.0005774	0.00058
5.001	40.17047	0.0002887	2.00	80.34094	0.0008165	0.00122
10.002	40.17047	0.0002887	2.00	80.34094	0.0008165	0.00163
15.003	40.17047	0.0002887	2.00	80.34094	0.0008165	0.00203
20.003	40.17047	0.0002887	2.00	80.34094	0.0007638	0.00238

จากข้อมูลผลการสอบเทียบของเก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ช่วง 0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (Kgf/cm^2) ในตารางที่ 4.3 สามารถทำการขอบเขตค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น จากสมการที่ 2.15 โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) คำนวณได้ค่า ดังตารางที่ 4.25

ตารางที่ 4.25 ตารางแสดงการขยายขอบเขตค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น ของเก็จวัดความดัน (Pressure Gauge) ที่ 0-20 แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร

ค่าเฉลี่ยที่ทำการสอบเทียบ	การรวมข้อมูลของค่าความไม่แน่นอนในการวัด		เฟคเตอร์ K	การขยายขอบเขตค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น		
	Rela	Abs		Rela	Abs	Total
Kgf/cm^2	ppm	Kgf/cm^2		ppm	Kgf/cm^2	Kgf/cm^2
0	40.17047	0.0002887	2.00	80.34094	0.0005774	0.00058
5	40.17047	0.0002887	2.00	80.34094	0.0005774	0.00098
10.001	40.17047	0.0002887	2.00	80.34094	0.0005774	0.00139
15.002	40.17047	0.0002887	2.00	80.34094	0.0005774	0.00179
20.003	40.17047	0.0002887	2.00	80.34094	0.0005774	0.00219

จากข้อมูลผลการทดสอบของแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ช่วง 0- 50 โวลต์ ในตารางที่ 4.4 สามารถทำการขอบเขตค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น จากสมการที่ 2.15 โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) คำนวณได้ค่าดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 แสดงการขยายขอบเขตค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น ของแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Voltage (Input)) ที่ 0-50 โวลต์

ค่าเฉลี่ยที่ทำการสอบเทียบ	การรวมข้อมูลของค่าความไม่แน่นอนในการวัด		เฟคเตอร์ K	การขยายขอบเขตค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น		
	Rela	Abs		Rela	Abs	Total
V	ppm	μV		ppm	μV	μV
0.9990	29.82588	57.15502	2.00	59.65177	114.31	174
1.9980	29.82588	57.15502	2.00	59.65177	114.31	234
2.9970	29.82588	57.15502	2.00	59.65177	114.31	294
3.9960	29.82588	57.15502	2.00	59.65177	114.31	353
4.9950	29.82588	57.15502	2.00	59.65177	114.31	413
9.990	29.82588	292.8595	2.00	59.65177	585.719	1182
19.980	29.82588	292.8595	2.00	59.65177	585.719	1778
29.970	29.82588	292.8595	2.00	59.65177	585.719	2374
39.960	32.62795	410.2032	2.00	65.25591	820.4064	3429
49.950	32.62795	410.2032	2.00	65.25591	820.4064	4080.00000

จากข้อมูลผลการทดสอบของกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Current (Input)) ช่วงระหว่าง 0-50 มิลลิแอมป์ ในตารางที่ 4.5 สามารถทำการขอบเขตค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น จากสมการที่ 2.15 โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล(Microsoft Excel) คำนวณได้ค่า ดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 การขยายขอบเขตค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น ของกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต (DC Current (Input)) ช่วงระหว่าง 0-50 มิลลิแอมป์

ค่าเฉลี่ยที่ทำการสอบเทียบ	การรวมข้อมูลของค่าความไม่แน่นอนในการวัด		เฟคเตอร์ K	การขยายขอบเขตค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น		
	Rela	Abs		Rela	Abs	Total
mA	ppm	nA		ppm	nA	nA
4.000	57.735027	1194.4315	2.00	115.47005	2388.863	2851
10.002	57.735027	1194.4315	2.00	115.47005	2388.863	3544
20.002	57.735027	1194.4315	2.00	115.47005	2388.863	4699
30.003	57.735027	1194.4315	2.00	115.47005	2388.863	5854
40.003	57.735027	1194.4315	2.00	115.47005	2388.863	7009
50.004	57.735027	1194.4315	2.00	115.47005	2388.863	8163

จากข้อมูลผลการทดสอบของกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต (DC Current (Output)) ช่วงระหว่าง 0-24 มิลลิแอมป์ ในตารางที่ 4.6 สามารถทำการขอบเขตค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) คำนวณได้ค่า ดังตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 การขยายขอบเขตค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น ของกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต(DC Current (Output)) ช่วงระหว่าง 0-24 มิลลิแอมป์

ค่าเฉลี่ยที่ทำการสอบเทียบ	การรวมข้อมูลของค่าความไม่แน่นอนในการวัด		เฟคเตอร์ K	การขยายขอบเขตค่าความไม่แน่นอนในการวัดให้อยู่ในช่วงที่กว้างขึ้น		
	Rela	Abs		Rela	Abs	Total
mA	ppm	nA		ppm	nA	nA
4.0013	59.44185	653.6755	2.00	118.8837	1307.351	1784
8.0013	59.44185	654.4718	2.00	118.8837	1308.944	2261
12.0013	59.44185	653.8348	2.00	118.8837	1307.670	2735
16.0012	59.44185	654.4718	2.00	118.8837	1308.944	3212
20.0011	59.44185	653.8348	2.00	118.8837	1307.670	3686
24.0008	59.44185	654.9491	2.00	118.8837	1309.898	4164

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

เครื่องมือทั้งหมดที่ใช้ในการสอบเทียบ เพื่อนำข้อมูลจากการวัดมาวิเคราะห์ หรือการสอบเทียบรวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้สนับสนุนการวัด ที่มีผลกระทบอย่างสำคัญต่อค่าความแม่นยำในการทดสอบ ต้องได้รับการรับการสอบเทียบก่อนนำไปใช้งาน และผลของการสอบเทียบต้องมีการรายงานอย่างถูกต้อง

5.1 สรุปผลการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์ข้อมูลของเครื่องมือวัดโดยใช้วิธีการทางสถิตินั้น มีการวิเคราะห์ค่าต่างๆ คือ ค่าความถูกต้องสูงสุดที่สามารถวัดได้ ค่าความถูกต้องของช่วงการวัด ค่าความถูกต้องของตำแหน่งการอ่านค่าของเครื่องวัด ค่าความคลาดเคลื่อน ค่าความเป็นเชิงเส้น ค่าความไม่แน่นอนในการวัด ผลจากการวิเคราะห์ค่าทางสถิติต่างๆ ข้างต้นจะถูกนำมาทำรายงานสรุปผลการสอบเทียบของเครื่องมือวัดนั้นๆ เพื่อเป็นข้อมูลให้กับผู้ใช้งานเครื่องมือวัดนั้น ว่าตัวเครื่องมือวัดมีความถูกต้อง แน่นอนมากน้อยเพียงใด จากการทำการวิเคราะห์เครื่องมือสอบเทียบความดันแบบดิจิตอลชนิดพกพา (Digital Pressure Calibrator) รุ่น DPI610 สร้างโดยบริษัท GE Druck สามารถสรุปค่าต่างๆ ได้ดังนี้

5.1.1 สรุปค่าความถูกต้อง (Accuracy)

จากผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.10 ถึง ตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่าค่าความถูกต้องลดลงเมื่อทำการวัดในสเกลที่สูงขึ้นของแต่ละช่วงการวัด

5.1.2 สรุปค่าความคลาดเคลื่อน (Error)

จากผลการวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นเมื่อทำการสอบเทียบในสเกลที่สูงขึ้นของแต่ละช่วงการวัด

5.1.3 สรุปค่าความเป็นเชิงเส้น (Linearity)

จากผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.1 ถึง รูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นว่าทุกช่วงของการวัดมีความเป็นเชิงเส้น ซึ่งบอกได้ว่าเครื่องมือวัดมีความเที่ยงตรง

5.1.4 สรุปค่าความไม่แน่นอนในการวัด (Uncertainty)

จากผลการวิเคราะห์ค่าความไม่แน่นอนดังตารางที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัดนี้มีความน่าเชื่อถือเป็นที่ยอมรับได้ในระดับความเชื่อมั่น 95.45% ซึ่งได้รับการรับรองการสอบเทียบโดยเครื่องมือสอบเทียบมาตรฐานจาก สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

ตารางที่ 5.1 แสดงค่าสรุปของค่ามาตรฐาน ค่าเฉลี่ยของค่าอ่านได้จากเครื่องมือ ค่าความคลาดเคลื่อน ค่าความไม่แน่นอนในการวัด ของเก็จวัดความดัน

ค่าที่ทำการสอบเทียบ	ช่วงของการสอบเทียบ บาร์ (bar)	ค่ามาตรฐาน (bar)	ค่าเฉลี่ยของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (bar)	ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (bar)	ค่าความไม่แน่นอนในการวัด (bar)
เก็จวัดความดัน	0-20	0.0000	0.0000	0.0000	0.00058
		5.0000	5.0005	+ 0.0005	0.0012
		10.0000	10.0015	+ 0.0015	0.0016
		15.0000	15.0025	+ 0.0025	0.0020
		20.0000	20.0033	+ 0.0033	0.0024
	แรงกิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร (kgf/cm^2)	(kgf/cm^2)	(kgf/cm^2)	(kgf/cm^2)	(kgf/cm^2)
	0-20	0.0000	0.000	0.000	0.00058
		5.0000	5.000	0.000	0.0010
		10.0000	10.001	+0.001	0.0014
		15.0000	15.002	+0.002	0.0018
		20.0000	20.003	+0.003	0.0022

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) แสดงค่าสรุปของค่ามาตรฐาน ค่าเฉลี่ยของค่าอ่านได้จากเครื่องมือ ค่าความคลาดเคลื่อน ค่าความไม่แน่นอนในการวัด ของแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต และกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต

ค่าที่ทำการสอบเทียบ	ช่วงของการสอบเทียบ	ค่ามาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ	ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ	ค่าความไม่แน่นอนในการวัด
แรงดันของไฟฟ้ากระแสตรงด้านอินพุต	0 - 5 โวลต์ (V)	(V)	(V)	(V)	(±mV)
		1.00000	0.9990	-0.001	0.18
		2.00000	1.9980	-0.002	0.24
		3.00000	2.9970	-0.003	0.30
		4.00000	3.9960	-0.004	0.36
		5.00000	4.9950	-0.005	0.42
	0 - 50 โวลต์ (V)	10.0000	9.990	-0.01	1.2
		20.0000	19.980	-0.02	1.8
		30.0000	29.970	-0.03	2.4
		40.0000	39.960	-0.04	3.5
		50.0000	49.950	-0.05	4.1
กระแสของไฟฟ้ากระแสตรงด้านอินพุต	0 50 มิลลิแอมป์ (mA)	(mA)	(mA)	(mA)	(±μA)
		4.000	4.000	0.000	2.9
		10.000	10.002	+0.002	3.9
		20.000	20.002	+0.002	5.9
		30.000	30.003	+0.003	7.9
		40.000	40.003	+0.003	9.9
		50.000	50.004	+0.004	12

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) แสดงค่าสรุปของค่ามาตรฐาน ค่าเฉลี่ยของค่าอ่านได้จากเครื่องมือ ค่าความคลาดเคลื่อน ค่าความไม่แน่นอนในการวัด ของแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต และกระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านอินพุต

ค่าที่ทำการสอบเทียบ	ช่วงของการสอบเทียบ	ค่ามาตรฐาน	ค่าเฉลี่ยของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ	ค่าความคลาดเคลื่อนของค่าอ่านได้จากเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ	ค่าความไม่แน่นอนในการวัด
กระแสของไฟฟ้ากระแสตรง ด้านเอาต์พุต	0 - 24 มิลลิแอมป์ (mA)	4.000	4.0013	-0.0013	2.0
		8.000	8.0013	-0.0013	2.5
		12.000	12.0013	-0.0013	3.0
		16.000	16.0012	-0.0012	3.5
		20.000	20.0011	-0.0011	4.0
		24.000	20.0008	-0.0008	4.4

5.2 ปัญหาที่พบในการดำเนินโครงงาน

5.2.1 ไม่สามารถทำการทดลองจริงได้กับเครื่องมือวัดที่มีอยู่ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ เนื่องจากขาดเครื่องมือมาตราฐานที่ต้องใช้ในการสอบเทียบและสถานที่ที่ต้องมีการจำกัดเงื่อนไขทางสภาพแวดล้อม

5.2.2 เนื่องจากไม่สามารถเก็บข้อมูลเองได้ จึงไม่ทราบค่าชนิดของข้อมูลว่าเป็นแบบใด จึงทำให้เสียเวลานานในการวิเคราะห์ข้อมูล

5.3 ข้อเสนอแนะ

ควรทำทดลองและเก็บข้อมูลจริงจากการทดลอง เพื่อให้ได้ทราบถึงกระบวนการการสอบเทียบรายละเอียดของการสอบเทียบ รวมถึงสภาพแวดล้อมที่แท้จริงในขณะที่ทำการสอบเทียบ เพื่อให้มีความรู้ความเข้าใจและทักษะการทำการสอบเทียบเครื่องมือวัด

เอกสารอ้างอิง

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. การวิเคราะห์ระบบการวัด. พิมพ์ครั้งที่ 2. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี-(ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพมหานคร. 2543.

กระทรวงอุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. นิยามศัพท์มาตราวิทยา. มอก. 235. เล่ม14 2531. กรุงเทพมหานคร. 2531.

กรมวิทยาศาสตร์การบริการ และสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. มาตรา-วิทยาและห้องปฏิบัติการมาตราวิทยาแห่งชาติ. 2550.

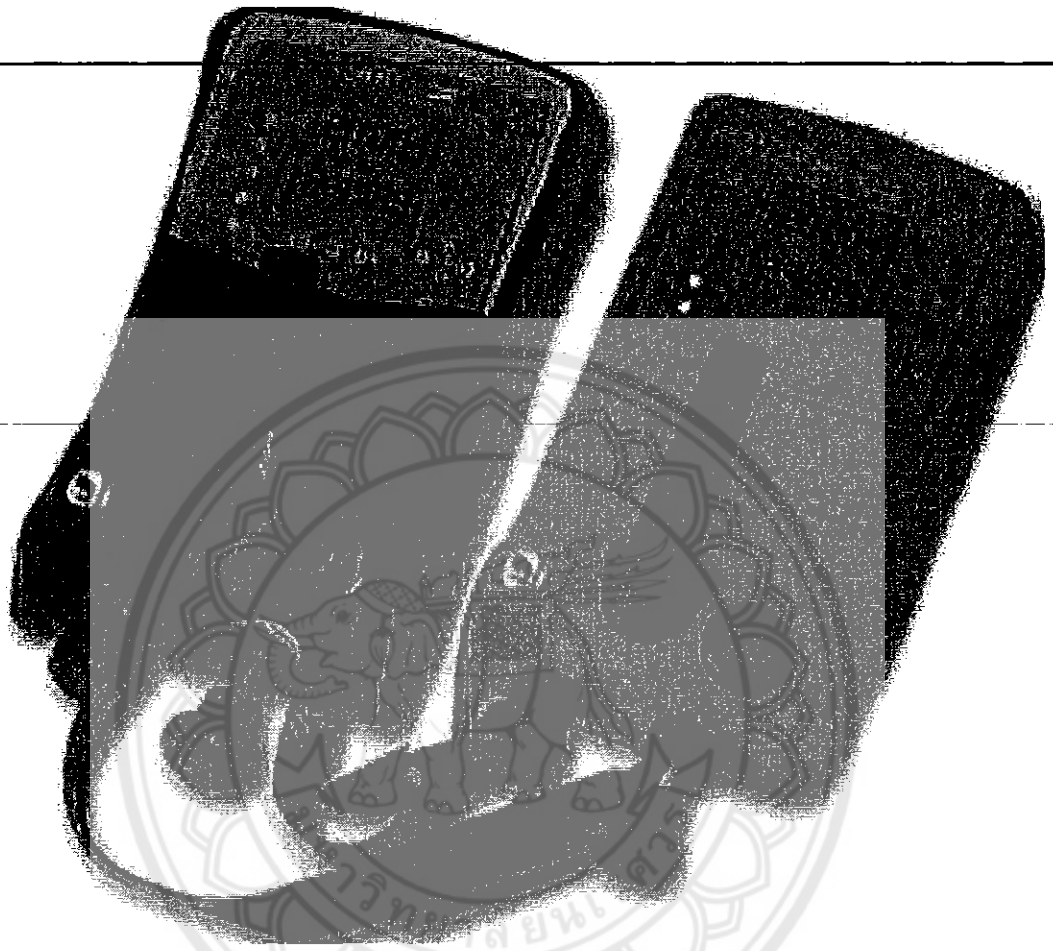
อุไรวรรณ ธรรมคุณ. มาตราวิทยาเบื้องต้น (Introduction to Elementary Metrology PH 274). มหาวิทยาลัยรามคำแหง. กรุงเทพมหานคร.2544.

ชัชวาล พรพัฒน์กุล. เครื่องมือวัดความดันและการสอบเทียบ (Pressure Measurement and-Calibration).

Dally, James W. Instrumentation for *engineering* measurements. 2nd ed. USA. : Published simultaneously, 1993.

ภาคผนวก ก

ข้อมูลการสอบเทียบของเครื่องมือสอบเทียบความดันแบบดิจิตอลชนิดพกพา (Digital Pressure Calibrator) รุ่น DPI610 ที่ทำการสอบเทียบโดยบริษัท Yokogawa (Thailand) Ltd.



รูปที่ 1ก รูปเครื่องมือสอบเทียบความดันแบบดิจิตอลชนิดพกพา (Digital Pressure Calibrator) รุ่น DPI610 สร้างโดยบริษัท GE Druck

ตารางที่ ก1 ใบรับรองการสอบเทียบและข้อมูลของบริษัทผู้ทำการสอบเทียบ

CALIBRATION CERTIFICATE : Yokogawa (Thailand) Ltd.	
Certificate No	SCL-10H-0855
Date of Issue	08-Sep-10
Reference Job No	QRBO0H0056-0I
Customer	YOKOGAWA (THAILAND) LTD./RBO.
Address	267/67-70 SUKHUMVIT RD.,MAPTAPUT MUANG, RAYONG 21150.
Instrument type	DIGITAL PRESSURE CALIBRATOR
Model//Marker	DPI610//DRUCK
Serial No	18588
ID No	INSRBO001RBO
Date Receipt	26-Aug-10
Date Calibration	08-Sep-10

ตารางที่ ก2 ตารางสรุปผลของการสอบเทียบ

The described instrument was calibrated under the environment conditions standards as specified. Ambient temperature : 23± 2 °C Relative humidity : 50± 15%

FUNCTION	RANGE (bar)	STANDARD (bar)	UUC (bar)	ERROR (bar)	Uncertainty (bar)
Pressure Gauge	0-20	0.0000	0.0000	0.0000	0.00058
		5.0000	5.0005	+ 0.0005	0.0012
		10.0000	10.0015	+ 0.0015	0.0016
		15.0000	15.0025	+ 0.0025	0.0020
		20.0000	20.0033	+ 0.0033	0.0024
	(kgf/cm²)	(kgf/cm²)	(kgf/cm²)	(kgf/cm²)	(kgf/cm²)
	0-20	0.0000	0.000	0.000	0.00058
		5.0000	5.000	0.000	0.0010
		10.0000	10.001	+0.001	0.0014
		15.0000	15.002	+0.002	0.0018
		20.0000	20.003	+0.003	0.0022
DC CURRENT (Input)	(mA)	(mA)	(mA)	(mA)	(mA)
	0 - 24 (mA)	4.000	4.0013	-0.0013	2.0
		8.000	8.0013	-0.0013	2.5
		12.000	12.0013	-0.0013	3.0
		16.000	16.0012	-0.0012	3.5
		20.000	20.0011	-0.0011	4.0
		24.000	20.0008	-0.0008	4.4

ตารางที่ ก2 (ต่อ) ตารางสรุปผลของการสอบเทียบ

The described instrument was calibrated under the environment conditions standards as specified. Ambient temperature : 23± 2 °C Relative humidity : 50± 15%					
FUNCTION	RANGE (V)	STANDARD (V)	UUC (V)	ERROR (V)	Uncertainty (±mV)
DC VOLTAGE (Input)	0 - 5 V	1.00000	0.9990	-0.001	0.18
		2.00000	1.9980	-0.002	0.24
		3.00000	2.9970	-0.003	0.30
		4.00000	3.9960	-0.004	0.36
		5.00000	4.9950	-0.005	0.42
	0-50 V	10.0000	9.990	-0.01	1.2
		20.0000	19.980	-0.02	1.8
		30.0000	29.970	-0.03	2.4
		40.0000	39.960	-0.04	3.5
		50.0000	49.950	-0.05	4.1
	(mA)	(mA)	(mA)	(mA)	(±μA)
	0-50 mA	4.000	4.000	0.000	2.9
		10.000	10.002	+0.002	3.9
		20.000	20.002	+0.002	5.9
		30.000	30.003	+0.003	7.9
		40.000	40.003	+0.003	9.9
		50.000	50.004	+0.004	12

Note : 1. The reported uncertainty is based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor k = 2, providing a coverage probability of approximately 95 %.

2. UUC means Unit Under Calibration.

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นายสยาม ปัญญา

ภูมิลำเนา 64 หมู่ ตำบลบุญเกิด อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา 56120

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนดอกคำใต้วิทยาคม อำเภอดอกคำใต้ จังหวัดพะเยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 5 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: slpjljsiam@hotmail.com

ชื่อ นายกิตติธร ตรรกชนชูชัย

ภูมิลำเนา 88 หมู่ที่ 4 ตำบลโมโกร อำเภออุ้มผาง จังหวัดตาก 63170

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนมงคลวิทยา อำเภอเมือง จังหวัดระยอง
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 5 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: jomyootkiv@hotmail.com