รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การสอบเทียบไดอัลเกจตามมาตรฐาน JIS B7503 ด้วยวิธีส่งสัญญาณแบบไร้สาย

Dial gauge calibration according to JIS B7503 using wirelesssignal

นางสาวศศธร เลี้ยงสุพงศ์

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

T148593

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การสอบเทียบไดอัลเกจตามมาตรฐาน JIS B7503 ด้วยวิธีส่งสัญญาณแบบไร้สาย

Dial gauge calibration according to JIS B7503 using wireless signal

นางสาวศศธร เลี้ยงสุพงศ์

สาขาหมู่.....
เลขทะเบียน 148593
รับ.เดือน.ปี 6 พ.ย. 2560

.b.1287222
.i.....

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

Dial gauge calibration according to JIS B7503 using wireless signal

Sasatorn Liangsupong

BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LARDKRABANG

ACADEMIC YEAR 2016

ชื่อโครงงานสหกิจศึกษา การสอบเทียบไดอัลเกจตามมาตรฐาน JIS B7503 ด้วยวิธีส่งสัญญาณแบบไร้สาย

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นางสาวศศธร เลี้ยงสุพงศ์ **รหัสนักศึกษา** 56011193

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ **สาขาวิชา** วิศวกรรมการวัดคุม

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ รศ.ดร.เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายภาคภูมิ บุญศักดิ์นิมิต

ชื่อสถานประกอบการ บริษัท สุมิพล คอร์ปอเรชั่น จำกัด

บทคัดย่อ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้นำเสนอระบบการถ่ายโอนข้อมูลการสอบเทียบไดอัลเกจชนิดดิจิตอล พิสัย 0 mm - 10 mm ความละเอียด 0.01 mm ด้วยวิธีการส่งสัญญาณแบบไร้สายผ่านโปรแกรม Visual Basic for Application และ Microsoft Excel โดยมีจุดประสงค์เพื่อลดความผิดพลาดระหว่างการถ่ายโอนข้อมูลจากการจดบันทึกข้อมูลด้วยมือ เพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน และลดระยะเวลาที่ใช้ในการสอบเทียบ จากผลการทดสอบระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยการทดสอบความสามารถในการส่งสัญญาณ และการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างโปรแกรม พบว่าค่าที่ได้จากการบันทึกข้อมูลผ่านอุปกรณ์แบบไร้สายให้ข้อมูลที่ตรงกันกับค่าที่ได้จากการจดบันทึกข้อมูลด้วยมือ อีกทั้งยังให้ระยะเวลาในการสอบเทียบที่น้อยกว่าเครื่อง i-Checker 8 นาที แสดงให้เห็นว่าระบบที่ถูกพัฒนาขึ้นนี้มีความถูกต้องแม่นยำ และสามารถลดระยะเวลาการทำงานการสอบเทียบได้จริง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องมือชนิดอื่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสอบเทียบ

คำสำคัญ : ไดอัลเกจเทสเตอร์, กึ่งอัตโนมัติ, การส่งสัญญาณแบบไร้สาย

Cooperative Title: Dial Gauge Calibration According to JIS B7503 using Wireless Signal

Student Intern Name: Miss Sasatorn Liangsupong

Faculty: Engineering **Department:** Instrumentation and Control Engineering

Advisor Name: Assoc.Prof.Dr.Kaset Sirisantisamrid

Mentor Name: Mr.Parkpoom Boonsaknimit

Company: Sumipol Corporation Limited

ABSTRACT

This cooperative educational report presents a data transfer system for digital dial gauge calibration in range 0 mm – 10 mm, 0.01 mm resolution using wireless signal transmission with Visual Basic for Application and Microsoft Excel program. The purpose of education is to reducing error from data records by hand written, increasing of working efficiency and reducing calibration time. The results of developed system in transmission ability and transmission between programs found that the data recoded by wireless device system and that from hand written are correspondence. Furthermore, the calibration time of wireless device system was less than i-Checker's calibration for 8 minutes that means the developed system was accurate, precise and save the calibration time. Thereby, it can be applied with other tools for increasing calibration efficiency.

Keywords: dial gauge tester, semi-automatic, wireless signal transmission

กิตติกรรมประกาศ

รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้ลุล่วงได้ดีเนื่องด้วยความอนุเคราะห์จากบริษัท สุมิพล คอร์ปอเรชั่น จำกัด ที่ให้โอกาสสำหรับโครงการสหกิจศึกษา อีกทั้งนายภาคภูมิ บุญศักดิ์นิมิต ผู้นิเทศงานและพนักงานบริษัททุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้ประสบการณ์ในการทำงานตลอดระยะเวลาสี่เดือน

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ ที่ได้ให้ความเมตตาและคำแนะนำแก่ผู้จัดทำตลอดมา ขอขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลืออันเป็นประโยชน์ต่อการทำรายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากรายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์ฉบับนี้ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

นางสาวศศธร เลี้ยงสุพงศ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง IX

สารบัญภาพ X

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

1.5 วิธีดำเนินงาน 2

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดด้านมิติ 3

2.1 หลักการทำงานของไมโครมิเตอร์ 3

2.1.1 หลักการอ่านค่าบนไมโครมิเตอร์ 4

2.1.2 ตัวอย่างการอ่านค่าไมโครมิเตอร์ 4

2.1.2.1 วิธีการอ่านสเกลไมโครมิเตอร์ความละเอียด 0.01 มม. 4

2.1.2.2 ไมโครมิเตอร์ชนิดที่มีสเกลเวอร์เนียร์ความละเอียด 0.001 มม. 5

2.1.3 ก้านจับยึด 6

2.1.4 ผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์ 6

2.2 ไดอัลเกจ (Dial Gauge) 7

2.2.1 ไดอัลเกจ 7

2.2.2 ส่วนประกอบและหน้าที่ของนาฬิกาวัด 7

2.2.3 หลักการทำงานของไดอัลเกจชนิดมาตรฐาน 8

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.4 ลักษณะการวัดและใช้งานของเกจหน้าปัด 9

2.2.5 เทคนิคและข้อควรระวังในการใช้นาฬิกาวัด 11

2.2.5.1 การบำรุงรักษานาฬิกาวัด 11

2.3 วิธีการสอบเทียบไดอัลเกจตามมาตรฐาน JIS B 7503 12

2.3.1 การสอบเทียบ 12

2.3.2 ความสามารถสอบกลับได้ 12

2.3.3 ความไม่แน่นอนของการวัด 12

2.4 U-WAVE 13

2.4.1 คุณสมบัติของ U-WAVE 14

2.5 อุปกรณ์เข้ารหัส (Encoder) 16

2.6 ZigBee 18

2.6.1 IEEE 802.15.4 18

2.6.2 ZigBee Device Types 20

2.7 โปรแกรม Microsoft Excel 21

2.7.1 พื้นฐานที่เกี่ยวกับ Microsoft Excel 21

2.7.2 การอ้างอิง 21

2.7.2.1 การอ้างอิงตำแหน่งเซลล์แบบสัมพันธ์ (Relative Referencing) 21

2.7.2.2 การอ้างอิงแบบสมบูรณ์ (Absolute Referencing) 22

2.7.2.3 การอ้างอิงแบบผสม (Mixed Referencing) 23

2.7.3 ฟังก์ชันพื้นฐานที่ช่วยในการคำนวณ 24

2.8 โปรแกรม วิชชัว เบสิค (Visual Basic (VB)) 24

2.8.1 Visual Basic for Application (VBA) 24

2.8.1.1 โครงสร้างชุดคำสั่ง VBA 24

2.8.1.2 เครื่องมือในโปรแกรม VBA IDE 25

2.8.1.2.1 เมนูบาร์ (Menu Bar) 25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.8.1.2.2 ทูลบาร์ (Toolbar) 26

2.8.1.2.3 Project Explorer 26

2.8.1.2.4 หน้าต่าง Code Editor 27

2.8.1.3 ตัวแปร และชนิดข้อมูลใน VBA 27

บทที่ 3 การวิเคราะห์และทดลอง

3.1 บทนำ 28

3.1.1 ไดอัลเกจเทสเตอร์ 28

3.1.2 เครื่องต้นแบบไดอัลเกจเทสเตอร์ 28

3.1.3 เครื่อง i-Checker 29

3.2 การออกแบบโปรแกรม 30

3.2.1 การกำหนดส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน 30

3.2.2 การวิเคราะห์ปัญหาและการออกแบบโปรแกรม 30

3.3 การทำงานของโปรแกรม 31

3.4 การสอบเทียบไดอัลเกจด้วยไดอัลเกจเทสเตอร์ 35

3.4.1 การเตรียมไดอัลเกจ 35

3.4.2 ตรวจสอบลักษณะโดยทั่วไป 35

3.4.3 การเตรียมโปรแกรมบันทึกผลการสอบเทียบ 35

3.4.4 การเตรียมไดอัลเกจเทสเตอร์ 36

3.5 การสอบเทียบไดอัลเกจ 36

3.5.1 การสอบเทียบไดอัลเกจ 36

3.5.2 ตรวจสอบความสามารถในการทำซ้ำ 37

3.6 วิธีการสอบเทียบไดอัลเกจด้วยไดอัลเกจเทสเตอร์ 41

3.6.1 ติดตั้งไดอัลเกจเข้ากับไดอัลเกจเทสเตอร์ 41

3.6.2 การคำนวณหาค่าเฉลี่ย 44

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6.3 การคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) 45

3.6.4 การคำนวณหาค่าความผิดพลาด (Error; Ex) 45

3.7 การสอบเทียบไดอัลเกจโดยใช้เครื่อง i-Checker 46

3.8 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบไดอัลเกจ 53

3.8.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A, $u(lx)$ 56

3.8.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอน Type B 56

3.8.3 การคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนของไดอัลเกจเทสเตอร์; u (ls) 56

3.8.4 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเลื่อนค่าของตัวมาตรฐาน; $u(\delta l_{ds})$ 56

3.8.5 ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดของเครื่องมือมาตรฐาน; $u(\delta l_{is})$ 56

3.8.6 ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดของไดอัลเกจ; $u(\delta_{ix})$ 57

3.8.7 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ; $u(\overline{\alpha} \times \Delta t)$ 57

3.8.8 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความไม่เรียบของผิวหน้าสัมผัสของ Dial Gage Tester; $u(\delta_{fs})$ 58

3.8.9 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการติดตั้งของ Dial Indicator; $u(\delta l_{mx})$ 58

3.8.10 ค่าความไม่แน่นอนรวม; uc 59

3.8.11 การคำนวณหาค่าตัวประกอบ (Coverage factor; k) การคำนวณหาค่าตัวประกอบร่วม k 59

3.8.12 ค่าความไม่แน่นอนขยาย $(U_{95\%})$ 60

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 การทดสอบความสามารถในการส่งสัญญาณของชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อแบบไร้สาย 61

4.2 การทดสอบความสามารถในการโอนถ่ายข้อมูลระหว่างโปรแกรม 63

4.3 เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการสอบเทียบไดอัลเกจ 73

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผล ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป 75

5.2 ปัญหา 75

5.3 แนวทางแก้ไข 75

5.4 ข้อเสนอแนะ 75

ภาคผนวก 76

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบและหน้าที่ของนาฬิกาวัดชนิดมาตรฐาน 8
ตารางที่ 2.2 ตารางค่าความจริง 17
ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบเทคโนโลยีไร้สาย 18
ตารางที่ 2.4 ตัวแปร และชนิดข้อมูลใน VBA 28
ตารางที่ 3.1 (ตัวอย่าง) ตารางบันทึกผลการตรวจสอบความสามารถในการทำซ้ำของไดอัลเกจ 42
ตารางที่ 3.2 (ตัวอย่าง) บันทึกผลการสอบเทียบและการคำนวณหาค่าความผิดพลาด (Error, Ex) ของ Dial Indicator พิสัย 0 mm -10 mm 44
ตารางที่ 3.3 (ตัวอย่าง) บันทึกผลการสอบเทียบและการคำนวณหาค่าความผิดพลาด (Error, Ex) ของ ไดอัลเกจ พิสัย 0mm -80 mm 52
ตารางที่ 3.4 แสดงค่า Factors k สำหรับการหาค่าของ ν_{eff} 61
ตารางที่ 3.5 แสดงตัวอย่าง Budget Uncertainty ของ Dial Indicator พิสัย 0 mm - 10 mm 61
ตารางที่ 4.1 ค่าที่ได้จากการประมวลผลจากโปรแกรมที่พัฒนา 65
ตารางที่ 4.2 เวลาที่ใช้ในการสอบเทียบด้วย i-Checker และ เครื่องไดอัลเกจเทสเตอร์ชนิดดิจิตอลวิธีการส่งสัญญาณแบบไร้สาย 67

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของไมโครมิเตอร์ 3
ภาพที่ 2.2 ไมโครมิเตอร์แบบสเกลมาตรฐาน 4
ภาพที่ 2.3 การอ่านค่าไมโครมิเตอร์ 5
ภาพที่ 2.4 ไมโครมิเตอร์แบบสเกลเวอร์เนียร์ 5
ภาพที่ 2.5 ก้านจับยึด 6
ภาพที่ 2.6 ผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์ 6
ภาพที่ 2.7 ไดอัลเกจ 7
ภาพที่ 2.8 ส่วนประกอบของนาฬิกาวัดชนิดมาตรฐาน 7
ภาพที่ 2.9 แสดงกลไกการทำงานของนาฬิกาวัดชนิดมาตรฐาน 8
ภาพที่ 2.10 ส่วนประกอบในการอ่านค่าการวัด 9
ภาพที่ 2.11 ระยะการเคลื่อนที่ของเข็มในทิศทางตามเข็มนาฬิกา 10
ภาพที่ 2.12 ระยะการเคลื่อนที่ของเข็มในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา 10
ภาพที่ 2.13 การวัดผิวงานที่มักเกิดขึ้น 11
ภาพที่ 2.14 U-WAVE-R 13
ภาพที่ 2.15 U-WAVE-T 13
ภาพที่ 2.16 U-WAVE กับการใช้งาน Excel 14
ภาพที่ 2.17 IP67 Model 14
ภาพที่ 2.18 LEDs บน U-WAVW 14
ภาพที่ 2.19 ระบบเชื่อมต่อของ U-WAVE 15
ภาพที่ 2.20 ระยะการรับสัญญาณของ U-WAVE 15
ภาพที่ 2.21 ลักษณะรูปร่างของ Increment Encoder 16
ภาพที่ 2.22 ตัวอย่างการสร้างเครือข่ายของอุปกรณ์ Zigbee 20
ภาพที่ 2.23 การอ้างอิงตำแหน่งเซลล์แบบสัมพันธ์ 22
ภาพที่ 2.24 การอ้างอิงแบบสมบูรณ์ 23
ภาพที่ 2.25 การอ้างอิงแบบผสม 23
ภาพที่ 2.26 Menu Bar 25
ภาพที่ 2.27 Toolbar 26
ภาพที่ 2.28 Project Explorer 26
ภาพที่ 2.29 Properties Window 27

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

ภาพที่ 2.30 Code Editor 27
ภาพที่ 3.1 Dial gauge tester 29
ภาพที่ 3.2 เครื่องต้นแบบไดอัลเกจเทสเตอร์ 30
ภาพที่ 3.3 เครื่อง i-Checker 31
ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา 32
ภาพที่ 3.5 การทำงานของโปรแกรมหน้าที่ 1 33
ภาพที่ 3.6 การทำงานของโปรแกรมหน้าที่ 2 34
ภาพที่ 3.7 การทำงานของโปรแกรมหน้าที่ 3 ส่วนบน 35
ภาพที่ 3.8 การทำงานของโปรแกรมหน้าที่ 3 ส่วนล่าง 35
ภาพที่ 3.9 อุปกรณ์ทำความสะอาดไดอัลเกจเทสเตอร์ 36
ภาพที่ 3.10 ไดอัลเกจเทสเตอร์, U-Wave-T และ U-Wave-R 37
ภาพที่ 3.11 การตรวจสอบความสามารถในการทำซ้ำของไดอัลเกจ 38
ภาพที่ 3.12 ติดตั้งไดอัลเกจเข้ากับไดอัลเกจเทสเตอร์ 38
ภาพที่ 3.13 การวอร์มไดอัลเกจ 39
ภาพที่ 3.14 เลื่อนแกนเลื่อนของไดอัลเกจขึ้นประมาณ 20% ของหน้าปัดสเกลอย่างช้า ๆ 39
ภาพที่ 3.15 เลื่อนแกนเลื่อนของไดอัลเกจขึ้น ประมาณ 80% หน้าปัดสเกลอย่างช้า ๆ 40
ภาพที่ 3.16 เลื่อนแกนเลื่อนของไดอัลเกจประมาณ 20% ของหน้าปัดสเกลอย่างรวดเร็ว 40
ภาพที่ 3.17 เลื่อนแกนเลื่อนของไดอัลเกจประมาณ 80% ของหน้าปัดสเกลอย่างรวดเร็ว 41
ภาพที่ 3.18 ติดตั้งไดอัลเกจเข้ากับไดอัลเกจเทสเตอร์ 42
ภาพที่ 3.19 ปรับตั้งศูนย์ที่ไดอัลเกจเทสเตอร์ 43
ภาพที่ 3.20 หมุนไมโครมิเตอร์เฮดของไดอัลเกจเทสเตอร์ขึ้น 43
ภาพที่ 3.21 หมุนไมโครมิเตอร์เฮดของไดอัลเกจเทสเตอร์ลง 44
ภาพที่ 3.22 แสดงการติดตั้งไดอัลเกจกับ Stand ของเครื่อง i-Checker 46
ภาพที่ 3.23 การวอร์มหัววัดของเครื่อง i-Checker 47
ภาพที่ 3.24 โปรแกรม i-Pak 48
ภาพที่ 3.25 หน้าต่าง General Information on Inspection 48
ภาพที่ 3.26 หน้าต่าง Inspection of Function and Appearance 48
ภาพที่ 3.27 หน้าต่าง Inspection of Measuring Force 49
ภาพที่ 3.28 หน้าต่าง Setting of Reference Point 49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

ภาพที่ 3.29 หน้าต่างแสดงเมื่อเสร็จขั้นตอนการวัด 49
ภาพที่ 3.30 หน้าต่าง Setting of Reference Point 50
ภาพที่ 3.31 หน้าต่าง Conformation of Inspection 50
ภาพที่ 3.32 แสดงสาเหตุของความไม่แน่นอนของการสอบเทียบ Dial Indicator 55
ภาพที่ 3.33 แสดงการแบ่งสเกลในการอ่านสเกลของไดอัลเกจ 58
ภาพที่ 4.1 บันทึกข้อมูลโดยการกรอกข้อมูลจากหน้าจอแสดงผล 63
ภาพที่ 4.2 ค่าที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อช่วงบน 63
ภาพที่ 4.3 ค่าที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อช่วงล่าง 64

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

บริษัท สุมิพล คอร์ปอเรชั่น จำกัด ตั้งอยู่ที่ ถนนอ่อนนุช แขวงประเวศ เขตประเวศ จังหวัดกรุงเทพฯ ประกอบด้วยบุคลากร 180 คน ใน 13 แผนก เป็นศูนย์รวมเครื่องมืออุตสาหกรรมที่จำหน่ายเครื่องมือตัดแต่งขึ้นรูปโลหะ เครื่องมือวัดละเอียด และเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับซ่อมบำรุง หนึ่งในงานที่ทางบริษัท สุมิพล คอร์ปอเรชั่น จำกัด ให้บริการ คือการสอบเทียบเครื่องมือวัดละเอียดด้านมิติ โดยได้รับการรับรองความสามารถห้องปฏิบัติการสอบเทียบเครื่องมือวัดด้านมิติ ISO17025:2005 จากสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การสอบเทียบเครื่องมือของบริษัท สุมิพล คอร์ปอเรชั่น จำกัด ปัจจุบันดำเนินการโดยการกรอกข้อมูลด้วยมือลงในใบบันทึกข้อมูลเพื่อทำการบันทึกข้อมูล จากนั้นถ่ายโอนข้อมูลทั้งหมดเข้าสู่คอมพิวเตอร์เพื่อทำการวิเคราะห์และประมวลผลการสอบเทียบ และนำข้อมูลที่ได้รายงานลงในใบรับรองผลการสอบเทียบเพื่อนำส่งให้ลูกค้า เนื่องจากกลุ่มลูกค้าคือโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เครื่องมือวัดละเอียดด้านมิติในการควบคุมกระบวนการผลิตและประกันคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การวัดและสอบเทียบเครื่องมือที่มีความถูกต้องแม่นยำจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งการบันทึกข้อมูลด้วยมือมีโอกาสสร้างความผิดพลาดระหว่างการถ่ายโอนข้อมูลในขั้นตอนของการอ่านค่าและจดบันทึกผลของผู้สอบเทียบ และการถ่ายโอนข้อมูลลงสู่คอมพิวเตอร์ ผู้จัดทำจึงได้รับมอบหมายให้พัฒนาระบบการถ่ายโอนข้อมูลโดยอัตโนมัติเพื่อลดความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น โดยทำการศึกษาการถ่ายโอนข้อมูลโดยใช้สัญญาณวิทยุ เพื่อพัฒนาระบบการถ่ายโอนข้อมูลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น สามารถลดเวลาและความผิดพลาดที่จะเกิดขึ้นในกรณีที่มีการถ่ายโอนข้อมูลจำนวนมาก อีกทั้งยังเพิ่มศักยภาพการทำงานให้มีความรวดเร็ว เพื่อให้การปฏิบัติงานของ บริษัท สุมิพล คอร์ปอเรชั่น จำกัด ยังคงเป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO/IEC 17025 ในด้านความถูกต้องและความเที่ยงตรงสำหรับการสอบเทียบเครื่องมือวัดละเอียดด้านมิติ ซึ่งในอนาคตโครงงานนี้สามารถนำไปต่อยอดเพื่อพัฒนาระบบการถ่ายโอนข้อมูลที่มีการใช้งานที่ง่าย สะดวก และรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาและพัฒนาระบบการจัดเก็บข้อมูลของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ บริษัท สุมิพล คอร์ปอเรชั่น จำกัด
2. ศึกษาและพัฒนาขั้นตอนการรายงานและบันทึกผลการสอบเทียบไดอัลเกจ
3. เพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการสอบเทียบโดยลดความผิดพลาดจากมนุษย์

1.3 ขอบเขตโครงการ

1. สอบเทียบไดอัลเกจ พิสัย (Range) 0 มม. - 10 มม. ความละเอียด (Graduation : สเกล) 0.01 มม. โดยอ้างอิงมาตรฐานการสอบเทียบไดอัลเกจ JIS B7503
2. ออกแบบโปรแกรมเพื่อบันทึกข้อมูลและการประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบไดอัลเกจด้วยเครื่องไดอัลเกจเทสเตอร์ (Dial Gauge Tester)
3. พัฒนาไดอัลเกจเทสเตอร์ (Dial Gauge Tester) ให้สามารถเชื่อมต่อระบบแบบไร้สายได้

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้เรียนรู้ระบบการจัดการตามข้อกำหนดมาตรฐาน ISO/IEC17025
2. ได้เรียนรู้วิธีการสอบเทียบไดอัลเกจ (Dial Gauge) ตามมาตรฐาน JIS B7503
3. ได้เรียนรู้ขั้นตอน การวิเคราะห์ผลการสอบเทียบ และการรายงานผลการสอบเทียบไดอัลเกจ
4. สามารถเชื่อมโยงข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ผลการสอบเทียบ และการคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนขยายให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
5. ได้อุปกรณ์ที่มีความสะดวกมากกว่าที่ใช้งานปัจจุบันในด้านการโอนถ่ายข้อมูล
6. ลดระยะเวลาในการทำงานโดยใช้ระบบเชื่อมต่อแบบไร้สายมาประยุกต์ใช้
7. สามารถนำโปรแกรมไปปรับปรุงและประยุกต์กับเครื่องมือประเภทอื่นได้
8. สามารถลดความผิดพลาดในการพิมพ์ข้อมูลจากมนุษย์

1.5 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาลักษณะเฉพาะของ Micrometer Head
2. ศึกษาคุณสมบัติของสาย U-wave และ Wireless
3. ศึกษาวิธีการสอบเทียบไดอัลเกจตามมาตรฐาน JIS B7503
4. ศึกษาวิธีการรายงานผลการสอบเทียบตามมาตรฐาน ISO/IEC 17025
5. ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ผลการวัดตามมาตรฐาน JIS B7503
6. ศึกษาการใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic
7. ออกแบบโปรแกรมเพื่อบันทึกและวิเคราะห์ผลข้อมูลที่ได้จากการสอบเทียบ
8. เตรียมอุปกรณ์และทำการทดลอง
9. ทบทวนและปรับปรุงแก้ไข
10. จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับเครื่องมือวัดด้านมิติ

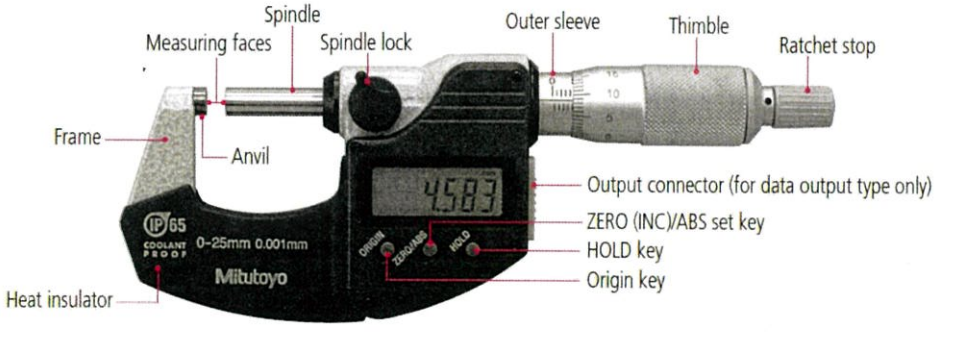
ในโรงงานอุตสาหกรรมทุกประเภทมักจะมีเครื่องมือวัดที่มีค่าความละเอียดอยู่เป็นจำนวนมาก อย่างไรก็ตามเครื่องมือวัดจำเป็นต้องมีความถูกต้องและมีค่าความเที่ยงตรงในการวัด และเครื่องมือวัดต้องผ่านการตรวจสอบและสอบเทียบ เพื่อให้ทราบว่าเครื่องมือวัดนั้นยังสามารถใช้งานได้อยู่หรือไม่ ทั้งนี้ก็เพื่อให้สามารถใช้งานในการผลิตชิ้นงานหรือสินค้าในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นๆได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดและมีอายุการใช้งานยาวนานที่สุด

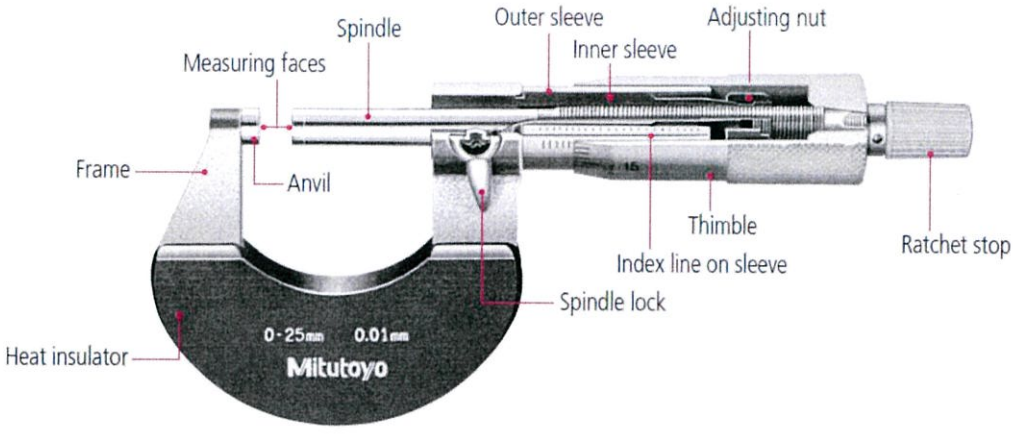
2.1 หลักการทำงานของไมโครมิเตอร์

ไมโครมิเตอร์คาลิปเปอร์ เรียกสั้นๆว่า "ไมโครมิเตอร์" เป็นเครื่องมือวัดละเอียดประเภทหนึ่ง ซึ่งให้ความละเอียด และความแน่นอนในการวัดมากกว่าเวอร์เนียคาลิปเปอร์ ทั้งนี้เพราะไมโครมิเตอร์ใช้หลักการเคลื่อนที่ของเกลียวโดยให้หมุนรอบแกนมาทำหน้าที่วัดและบอกขนาด กล่าวคือเกลียวเมื่อถูกหมุนไปแต่ละรอบ มันจะเคลื่อนที่ไปในแนวแกนของเกลียวเท่ากับระยะที่สันเกลียวพันไปครบ 1 รอบ ก็จะเคลื่อนที่ได้ระยะทางเท่ากับระยะห่างระหว่างสันเกลียวหนึ่งไปยังอีกสันเกลียวหนึ่ง

ส่วนประกอบภายนอกของไมโครมิเตอร์ (Outside Micrometer Caliper)

1. แกนรับ
2. แกนวัด
3. ปลอกหมุนวัด
4. เกลียว
5. ปลอกหมุนกระทบเลื่อน
6. กลไกล็อคแกนวัด
7. ก้านสเกล
8. ขีดสเกล 0.01 มม.
9. โครง
10. ขนาดวัด
11. แหวนเกลียว
12. ขีดสเกล 1 มม.
13. ขีดสเกล 0.5 มม.





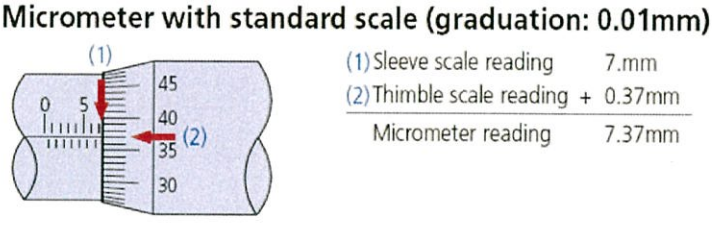
ภาพที่ 2.1 ส่วนประกอบของไมโครมิเตอร์

2.1.1 หลักการอ่านค่าบนไมโครมิเตอร์

1. อ่านค่าสเกลหลัก (Main Scale) บนปลอกใน โดยดูที่ขอบของปลอกหมุนว่าเลยขีดที่มีค่าเท่าใดของสเกลหลักไป
2. อ่านค่าไมโครสเกล (Micro Scale) บนปลอกหมุนโดยดูว่าขีดสเกลที่เท่าไรของปลอกหมุนตรงกันเส้นแนวนอนบนปลอกใน เอาขีดสเกลที่ตรงไปคูณกับระยะความยาวของขีดหนึ่งขีดของไมโครสเกลนั้น
3. นำค่าสเกลหลักและไมโครสเกลที่ได้บวกกันจะเป็นค่าของไมโครมิเตอร์ที่อ่านได้ขณะนั้น
4. ถ้าเป็นไมโครมิเตอร์ชนิดที่มีเวอร์เนียสเกล ให้อ่านค่าบนเวอร์เนียสเกลด้วย โดยใช้หลักการอ่านเช่นเดียวกับเวอร์เนีย คาลิปเปอร์
5. เอาค่าที่อ่านได้จากเวอร์เนียสเกลไปรวมกับค่าที่อ่านได้จากสเกลหลักและไมโครสเกลจะเป็นค่าของไมโครมิเตอร์ที่อ่านได้ในขณะนั้น

2.1.2 ตัวอย่างการอ่านค่าไมโครมิเตอร์

2.1.2.1 วิธีการอ่านสเกลไมโครมิเตอร์ความละเอียด 0.01 มม.



ภาพที่ 2.2 ไมโครมิเตอร์แบบสเกลมาตรฐาน

1. การอ่านค่าสเกลหลักได้	7	มม.
2. การอ่านค่าไมโครสเกลได้	+ 0.37	มม.
ดังนั้น ค่าของไมโครมิเตอร์ที่อ่านได้คือ	7.37	มม.

การอ่านสเกลของไมโครมิเตอร์ สามารถอ่านได้โดยตรงจากสเกลละเอียด 0.01 มม. แต่ถ้าต้องการอ่านสเกลให้ละเอียดขึ้นประมาณ 0.001 มม. ผู้อ่านจะต้องระวังเรื่องการแบ่งความหนาของสเกล ซึ่งมีค่าประมาณ 1 ใน 5 ส่วนของระยะห่างระหว่างสเกล

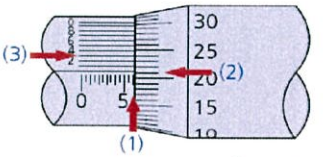
ภาพที่ 2.3 การอ่านค่าไมโครมิเตอร์

2.1.2.2 ไมโครมิเตอร์ชนิดที่มีสเกลเวอร์เนียร์ความละเอียด 0.001 มม.

สเกลเวอร์เนียร์ที่ติดอยู่บนปลอกของไมโครมิเตอร์ ส่งผลให้ไมโครมิเตอร์สามารถอ่านค่าได้ 0.001 มม.

Micrometer with vernier scale (graduation: 0.001mm)

The vernier scale provided above the sleeve index line enables direct readings to be made to within 0.001mm.

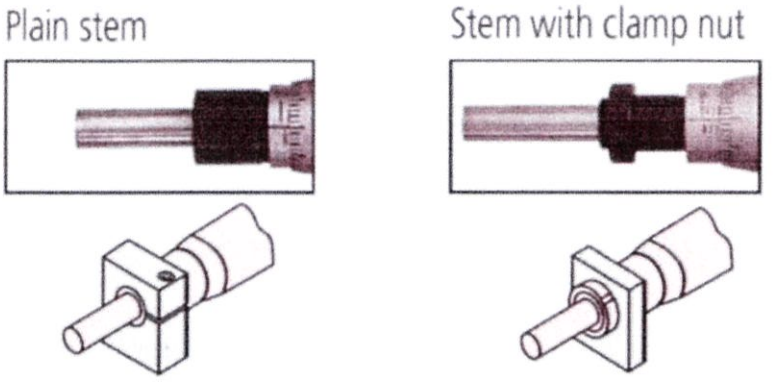


(1) Sleeve scale reading	6.mm
(2) Thimble scale reading	.21mm
(3) Reading from the vernier scale marking and thimble graduation line	+ .003mm
Micrometer reading	6.213mm

ภาพที่ 2.4 ไมโครมิเตอร์แบบสเกลเวอร์เนียร์

1. การอ่านค่าสเกลหลักได้	6	มม.
2. การอ่านค่าไมโครสเกลได้	.21	มม.
3. การอ่านค่าเวอร์เนียสเกลได้	+ .003	มม.
ดังนั้น ค่าของไมโครมิเตอร์ที่อ่านได้คือ	6.213	มม.

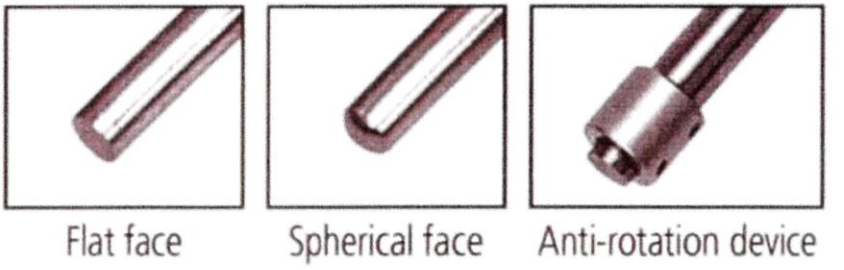
2.1.3 ก้านจับยึด



ภาพที่ 2.5 ก้านจับยึด

ก้านจับยึดมีหน้าที่ในการจับยึดหัวไมโครมิเตอร์แบบดั้งเดิมซึ่งลักษณะเป็นแบบแผ่นระนาบ หรือเป็นชนิดที่ใช้สกรูในการจับยึด แสดงดังภาพที่ 2.5 เส้นผ่านศูนย์กลางของก้านจับยึดมีขนาด 6h เป็นหน่วยมิลลิเมตร (Metric) หรือนิ้ว (Imperial) โดยเป็นค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยบริษัทผู้ผลิต ก้านจับยึดที่มีน็อตเป็นอุปกรณ์ที่ใช้การจับยึดหัวแบบแผ่นจะขึ้นอยู่กับความกว้างและลักษณะการปรับตั้งของตำแหน่ง ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับอุปกรณ์สำหรับการจับยึด

2.1.4 ผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์



ภาพที่ 2.6 ผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์

ผิวหน้าสัมผัสของไมโครมิเตอร์ชนิดผิวหน้าเรียบเป็นการใช้งานสำหรับวัดทั่วๆไป เมื่อหัวไมโครมิเตอร์ที่ใช้ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ขับเคลื่อน ผิวหน้าสัมผัสแบบกลมจะช่วยลดค่าความผิดพลาดของการติดตั้ง (Misalignment) ให้เหลือน้อยที่สุด

2.2 ไดอัลเกจ (Dial Gauge)

2.2.1 ไดอัลเกจ (Dial Gauge) เป็นเครื่องมือวัดที่อ่านค่าระยะทางการเคลื่อนที่ของแกนวัดหรือเป็นการวัดแบบเปรียบเทียบด้วยเข็มซึ่งติดอยู่กับหน้าปัทม์โดยอ่านค่าความแตกต่างที่ได้จากการอ้างอิงค่ามาตรฐานใด ๆ ใช้วัดระดับความเป็นระนาบ ความขนาน ระยะเยื้องศูนย์ เช่นวัดเพื่อหาศูนย์ในงานกลึงได้ละเอียดมาก

ภาพที่ 2.7 ไดอัลเกจ

ค่าความละเอียดของนาฬิกาวัดชนิดนี้ มีทั้งแบบ 0.01 มม. และ 0.001 มม. เมื่อหัวสัมผัสถูกดันขึ้น เข็มยาวของหน้าปัทม์จะหมุนตามเข็มนาฬิกา เมื่อเข็มยาวหมุนครบ 1 รอบ เข็มสั้นจะหมุนไป 1 ช่องสเกล เมื่อมองดูที่หน้าปัทม์ของเข็มสั้นจะทราบทันทีว่าเข็มยาวหมุนไปกี่รอบ

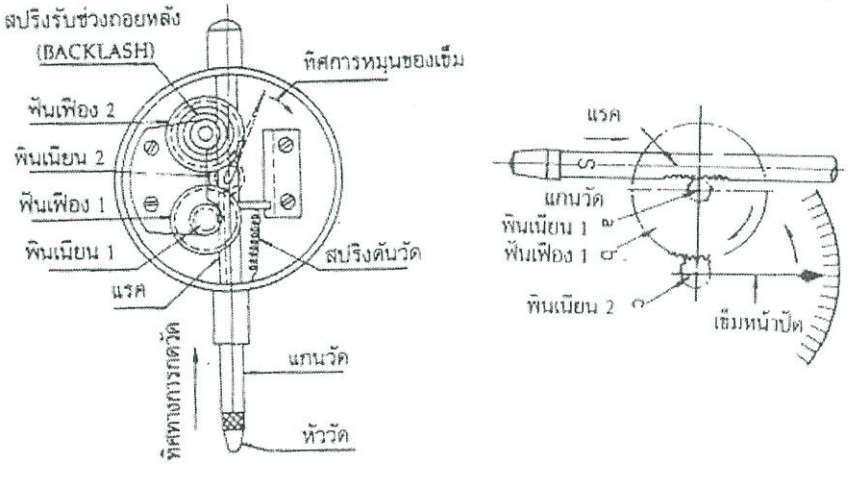
2.2.2 ส่วนประกอบและหน้าที่ของนาฬิกาวัด

ภาพที่ 2.8 ส่วนประกอบของนาฬิกาวัดชนิดมาตรฐาน

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบและหน้าที่ของนาฬิกาวัดชนิดมาตรฐาน

ชื่อส่วนประกอบ	หน้าที่
1. หัววัด	เป็นตัวสัมผัสวัด หรือตรวจสอบชิ้นงานโดยตรง
2. แกนเลื่อน	เป็นตัวจับยึดหัววัด เมื่อหัววัดถูกดัน โดยผิวชิ้นงาน แกนเลื่อนขึ้น – ลง
3. เข็มยาว	บอกค่าความคลาดเคลื่อนของชิ้นงาน ภายหลังการสัมผัสชิ้นงานของหัววัด
4. เข็มวัดรอบ	บอกจำนวนรอบของเข็มว่าเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทางเท่าไร (มม.)
5. เข็มสเกล	บอกค่าความละเอียด โดยแบ่งออกเป็น 100 ช่องเท่า ๆ กัน เมื่อเข็มยาวหมุนไป 1 รอบ จะอ่านค่าได้ 1 มม.
6. กรอบนอก	หมุนปรับให้จุดศูนย์ (ขีด 0) ของแผ่นสเกลตรงกับเข็มยาวพอดีเพื่อที่จะกำหนดจุดเริ่มต้นในการอ่านค่า หรือตรวจสอบชิ้นงานในขั้นตอนต่อไป
7. ขีดพิกัด	กำหนดค่าของพิกัดที่ยอมรับ หรือคลาดเคลื่อนจากค่าที่กำหนด
8. สกรูล๊อค	ล็อคตำแหน่งสเกลของหน้าปัทม์
9. กระจกหน้าปัทม์	ป้องกันฝุ่นหรือสิ่งแปลกปลอมเข้าไปทำความเสียหายให้อุปกรณ์ หรือส่วนประกอบอื่น ๆ
10. ตัวเรือน	ป้องกันหรือครอบอุปกรณ์ (กลไกภายใน) ไม่ให้เกิดความเสียหาย
11. ก้าน	สำหรับจับยึดอุปกรณ์ (ขาตั้ง) ใช้ในการตรวจสอบ หรือวัดงาน

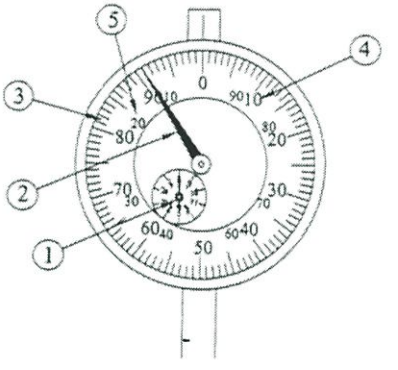
2.2.3 หลักการทำงานของไดอัลเกจชนิดมาตรฐาน



ภาพที่ 2.9 แสดงกลไกการทำงานของนาฬิกาวัดชนิดมาตรฐาน

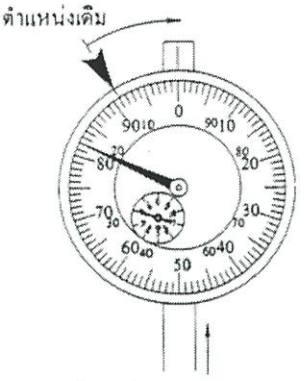
การส่งผ่านการเคลื่อนที่ จากหัววัดไปยังเข็มยาว จะใช้กลไกของเฟืองเป็นตัวส่ง จากภาพที่ 2.9 เมื่อแกน S เคลื่อนที่ขึ้นลง เฟืองแรค (เฟืองสะพาน) ที่แกนจะดันให้เฟืองพิเนียนหมายเลข 1a นั้นหมุน เฟือง 1a จะมีแกนร่วมกับเฟืองหมายเลข 1b เฟือง 1b จะขบอยู่กับเฟืองพิเนียนหมายเลข 2c ซึ่งติดอยู่กับเข็มยาว หรือหน้าปัทม์ ระยะทางการเคลื่อนที่ของแกน และการเคลื่อนที่ของเข็ม สามารถกำหนดเป็นค่าคงที่ ที่ถูกต้องด้วย สัดส่วนจำนวนเฟือง และช่วงฟันของแรค (เฟืองสะพาน) ตัวอย่างเช่น เมื่อ S เคลื่อนที่ไป 1 มม. เข็มยาวจะหมุนไป 1 รอบ แล้วแบ่งสเกลออกเป็น 100 ช่องเท่ากันจะได้ความกว้างของช่องสเกลเป็น 0.01 มม. นอกจากนี้เข็มสั้นจะติดอยู่กับฟันเฟือง 1b ดังนั้นเมื่อเข็มยาวหมุนไป 1 รอบ เข็มสั้นจะหมุนไป 1 ช่อง (1/10 รอบ) ถ้ากำหนดให้สัดส่วนจำนวนฟันระหว่างฟันเฟือง 1b และพิเนียนหมายเลข 2c เป็น 10:1 เพื่อป้องกันการถอยหลัง (Back Lash) ของฟันเฟือง เนื่องจากเฟืองแรค และพิเนียนนั้นจะมีช่วงถอยหลัง (การคลอนตัว) อยู่ จึงมีฟันเฟืองซึ่งมีขนาดและจำนวนฟันเฟืองเท่ากับฟันเฟืองหมายเลข 1 เรียกว่าฟันเฟืองหมายเลข 2 ขอบยู่กับพิเนียน c แล้วมีสปริงก้นหอยติดอยู่เพื่อยันรับช่วงถอยหลังของฟันเฟืองทั้งหมดทำให้หน้าฟันเฟืองทุกตัวสัมผัสกันเพียงด้านเดียวตลอดเวลา

2.2.4 ลักษณะการวัดและใช้งานของเกจหน้าปัด



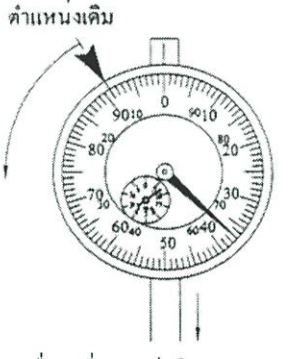
ภาพที่ 2.10 ส่วนประกอบในการอ่านค่าการวัด

การอ่านค่าบนหน้าปัทม์ของไดอัลเกจ จากภาพที่ 2.10 ให้อ่านจำนวนมิลลิเมตรด้วยเข็มวัด (1) รอบแล้วอ่านจำนวนความละเอียด 0.01 มม. ด้วยเข็มยาว (2) โดยแผ่นสเกล (3) เมื่อแกนวัดเคลื่อนที่ขึ้นให้อ่านค่าจากตัวเลขด้านนอก (4) ในทิศทางตามเข็มนาฬิกา แต่ถ้าแกนวัดเลื่อนเคลื่อนที่ลงให้ใช้ตัวเลขด้านใน (5) ของหน้าปัทม์อ่านค่าในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา



ภาพที่ 2.11 ระยะการเคลื่อนที่ของเข็มในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

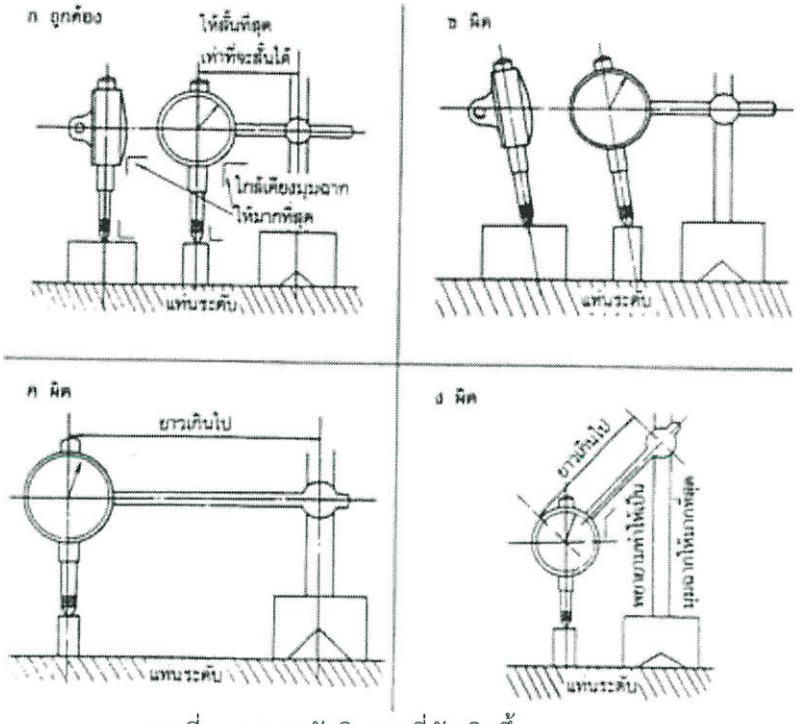
แกนวัดเคลื่อนที่ขึ้น อ่านค่าได้ในทิศทางบวกเมื่อเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง จากภาพที่ 2.11 เข็มวัดรอบอ่านค่าได้ 1.00 มม. ที่เข็มวัดละเอียด 0.01 มม. อ่านค่าได้ 0.91 มม. ค่ารวม 1.91 มม.



ภาพที่ 2.12 ระยะการเคลื่อนที่ของเข็มในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

แกนวัดเคลื่อนที่ลง อ่านค่าได้ในทิศทางลบเมื่อเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง จากภาพเข็มวัดรอบอ่านค่าได้ –1.00 มม. ที่เข็มวัดละเอียดอ่านค่าได้ –0.54 มม. ค่ารวม –1.54 มม.

2.2.5 เทคนิคและข้อควรระวังในการใช้นาฬิกาวัด



ภาพที่ 2.13 การวัดผิวงานที่มักเกิดขึ้น

จากภาพที่ 2.13 ก ไม่ว่าจะมองจากด้านหน้า หรือด้านข้างนั้น จะอยู่ในแนวตั้งฉากเทียบกับผิวที่วัด และช่วงระหว่างขาตั้งกับนาฬิกาวัด จะต้องสั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้ จากภาพที่ 2.13 ข แกนที่อยู่ในแนวเอียงทำให้ไม่สามารถเคลื่อนที่ในแนวแกนได้ตรง แต่จะเอียงไปตามด้านข้างทำให้ได้ค่าวัดที่ไม่ถูกต้อง แม้แกนวัดจะอยู่ในแนวตั้งฉากกับผิวที่วัด แต่ขาที่ยื่นออกมาของแท่นตั้ง (ขาตั้ง) ยาวเกินไปดังภาพที่ 2.13 ค จะทำให้นาฬิกาวัดสั่นสะเทือนได้ง่าย เป็นเหตุให้เกิดความผิดพลาดจากการวัดได้

2.2.5.1 การบำรุงรักษานาฬิกาวัด

1. วางหรือเก็บนาฬิกาวัดแยกออกจากเครื่องมือชนิดอื่น และวางบนวัสดุอ่อนนุ่ม
2. จับยึดนาฬิกาวัดให้มั่นคงเพื่อป้องกันการหล่นกระแทก
3. นาฬิกาวัดที่ไม่ใช้งานแล้วจะต้องรีบเก็บเข้าสู่สภาพเดิมทันที เพราะถ้าไม่เก็บเข้าที่แล้วหากหล่นหรือมีของแข็งมากระทบเข้าจะทำให้เกิดการชำรุดหรือเสียหายได้

2.3 วิธีการสอบเทียบไดอัลเกจตามมาตรฐาน JIS B 7503

การสอบเทียบ คือ ชุดของการดำเนินการเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ชี้บ่งบอกโดยเครื่องมือวัด หรือค่าที่แสดงโดยเครื่องวัดที่เป็นวัสดุกับค่าสมนัยที่รู้ของปริมาณที่วัดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดไว้

2.3.1 การสอบเทียบ

การสอบเทียบ หมายถึง การตัดสิน และการทำเอกสารแสดงความบ่ายเบี่ยงของค่าชี้บ่งบอกของเครื่องมือวัด หรือค่าที่ระบุของวัสดุวัดจากค่าจริงที่ยอมรับร่วมกัน (Conventional True Value) ของปริมาณที่ถูกวัดค่าจริงที่ยอมรับร่วมกันคือค่าที่ไม่มีความแน่นอนของการวัดที่เหมาะสมกับการใช้งานซึ่งในที่นี้คือค่ามาตรฐานที่สามารถสอบกลับได้สู่มาตรฐานแห่งชาติ หรือมาตรฐานระหว่างประเทศ การสอบเทียบ ประกอบด้วยกิจกรรมหลักดังต่อไปนี้

- การตัดสินความสัมพันธ์ระหว่างค่าชี้บอกของเครื่องมือวัดกับมาตรฐานภายใต้สภาวะที่กำหนดและ ณ วันเวลาที่ระบุ
- การออกแบบใบรายงานผลการสอบเทียบที่รายงานทั้งค่าความเบี่ยงเบนหรือแก้ค่าพร้อมกับความไม่แน่นอนของการวัด

2.3.2 ความสามารถสอบกลับได้

ผลการวัดจะไม่มีความหมายถ้าไม่สามารถโยงหรืออ้างอิงสู่มาตรฐานแห่งชาติคุณสมบัติดังกล่าวของการวัด เรียกว่า “ความสามารถสอบกลับได้” ได้รับการนิยามไว้ว่า “สมบัติของผลการวัดที่สามารถโยงไปกับมาตรฐานแห่งชาติเป็นที่ยอมรับโดยการเปรียบเทียบกันอย่างไม่ขาดช่วงเป็นลูกโซ่ และจะต้องรายงานค่าความไม่แน่นอนของการวัดไว้ด้วย” ดังนั้นความสามารถสอบกลับได้ของผลการวัดจึงได้รับการถ่ายทอดผ่านห้องปฏิบัติการสอบเทียบหลายระดับจนกว่าถึงผู้ใช้งาน ซึ่งพิจารณาจากความหมายของความสามารถสอบกลับได้ จะเห็นว่ามีปัจจัยหลายอย่างด้วยกันที่จะทำให้เกิดห่วงโซ่ของการเปรียบเทียบโดยไม่ขาดตอนได้

2.3.3 ความไม่แน่นอนของการวัด

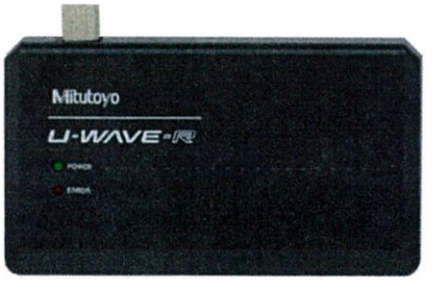
ความไม่แน่นอนของการวัด หมายถึง พารามิเตอร์ที่ร่วมมากับผลของการวัดที่บอกลักษณะการกระจายของค่า ซึ่งสามารถอ้างได้อย่างสมเหตุสมผลว่าเป็นของปริมาณที่ถูกวัดนั้นจากนิยามข้างต้นสามารถให้ความหมายของความไม่แน่นอนของการวัดได้ว่า ความไม่แน่นอนของการวัด คือ สิ่งที่ชี้บอกความไม่สมบูรณ์ในความรู้ของปริมาณที่ถูกวัด ความไม่แน่นอนของการวัดเกิดขึ้นทุกครั้งในการถ่ายทอดความถูกต้องของการวัด ไม่ว่าจะเป็นขั้นตอนไหนของความสามารถสอบกลับได้ซึ่งในแต่ละระดับของการวัดจะเกิดความไม่แน่นอนของการวัดสะสมขึ้นเรื่อยๆ จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถในการถ่ายทอดการวัดของแต่ละห้องปฏิบัติการ ความไม่แน่นอนอาจเกิดขึ้นจากหลายสาเหตุ เช่น วิธีการวัด เครื่องมือวัดผู้ปฏิบัติการ และสภาวะแวดล้อมในการวัด เป็นต้น ความไม่แน่นอนของการวัดจะต้องคำนวณโดยวิธีที่เป็นที่ยอมรับอย่างเป็นสากล และโดยทั่วไปจะต้องรายงานระดับความเชื่อมั่น 95 % การคำนวณความไม่แน่นอนของการวัด ในแต่ละขั้นตอนของการถ่ายทอดความถูกต้องนั้น จะต้องจัดทำไว้เป็นเอกสารเพื่อให้สามารถทวนสอบความถูกต้องได้โดยผู้เกี่ยวข้อง

เพื่อเป็นการยืนยันความสามารถสอบกลับได้ของการวัด ค่าความไม่แน่นอนของการวัดจะถูกรายงานกับค่าความคลาดเคลื่อนของการวัด ในใบรายงานผลของการสอบเทียบโดยห้องปฏิบัติการสอบ

เทียบ และค่าที่รายงานนี้จะเป็นจริงก็เฉพาะ ณ เวลาที่ทำการสอบเทียบและภายใต้เงื่อนไขของการสอบเทียบที่ระบุเท่านั้น การใช้เครื่องมือวัดภายใต้เงื่อนไขของการสอบเทียบที่ระบุเท่านั้น การใช้เครื่องมือวัดภายใต้เงื่อนไขเดียวกันกับผลการสอบเทียบ แต่ในเวลาที่ต่างออกไป หรือยิ่งกว่านั้นคือการใช้เครื่องมือวัดในเงื่อนไขเดียวกันกับผลของการสอบเทียบที่ระบุเท่านั้น การใช้เครื่องมือวัดภายใต้เงื่อนไขเดียวกันกับผลการสอบเทียบ แต่ในเวลาที่ต่างกันออกไป หรือยิ่งกว่านั้นคือการใช้เครื่องมือวัดในเงื่อนไขที่แตกต่างออกไปจากผลการสอบเทียบก็ยิ่งจะทำให้ความคลาดเคลื่อน และความไม่แน่นอนของการวัดยิ่งมีค่ามากเกินกว่าที่จะระบุไว้ในรายงานผลการสอบเทียบ ซึ่งบางครั้งอาจจะเกินกว่าที่จะยอมรับได้ ค่าความไม่แน่นอนของการวัดที่ระบุไว้ในใบรายงานของผลการสอบเทียบ จะได้มีการยอมรับว่ามีความสัมพันธ์กับมาตรฐานแห่งชาติได้ก็ต่อเมื่อใบรายงานผลการสอบเทียบนั้นออกให้โดยห้องปฏิบัติการที่สามารถโดยผ่านกระบวนการรับรองความสามารถโดยองค์กรที่เป็นที่ยอมรับระหว่างประเทศ บางครั้งใบรายงานผลการสอบจะรายงานความเป็นไปตามข้อกำหนดจำเพาะทางมาตรวิทยาของปริมาณที่ถูกวัด ในกรณีนี้เช่นค่าที่วัดได้เมื่อรวมกับความไม่แน่นอนของการวัดจะต้องไม่ขยายไปเกินกว่าขีดจำกัดหรือเกณฑ์ยอมรับที่ระบุของปริมาณที่ถูกวัดนั้นๆ

2.4 U-WAVE

U-WAVE เป็นระบบที่ใช้ในการถ่ายโอนข้อมูลแบบไร้สายจากเครื่องมือวัดสู่คอมพิวเตอร์โดยใช้คลื่นวิทยุ ความสามารถในการวัดมีประสิทธิภาพมากขึ้นจากการกำจัดระยะทางของข้อมูลผ่านระบบสายที่ยาวและยุ่งยาก และด้วยการใช้งานที่ง่ายทำให้สามารถโหลดข้อมูลใส่ลงในซอฟท์แวร์ที่สามารถป้อนข้อมูลเข้าผ่านคีย์บอร์ด (keyboard) เช่น Excel หรือ Notepad

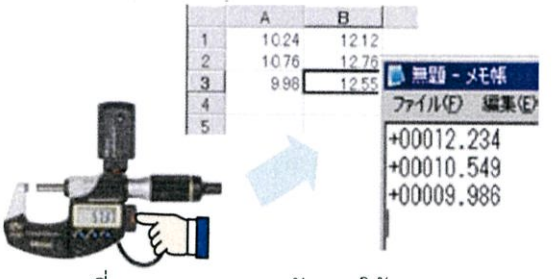


ภาพที่ 2.14 U-WAVE-R

ภาพที่ 2.15 U-WAVE-T

2.4.1 คุณสมบัติของ U-WAVE

1. ใช้งานกับ Excel ได้ง่าย



ภาพที่ 2.16 U-WAVE กับการใช้งาน Excel

U-WAVEPAK, U-WAVE-R มีฟังก์ชันรองรับคีย์บอร์ด ทำให้สามารถถ่ายโอนข้อมูลจากเครื่องมือวัดสู่คอมพิวเตอร์ได้โดยง่ายในโปรแกรม Excel, Notepad หรืออื่นๆ ที่รองรับการป้อนตัวเลขผ่านคีย์บอร์ด

2. สามารถถ่ายโอนข้อมูลได้ถึง 40,000 ข้อมูล ด้วยแบตเตอรี่ CR2032 ลิเทียม ทำให้สามารถถ่ายโอนข้อมูลได้ถึง 40,000 ข้อมูล

3. ป้องกันฝุ่นและน้ำด้วย IP67 Model (Ingress Protection Ratings)

ภาพที่ 2.17 IP67 Model

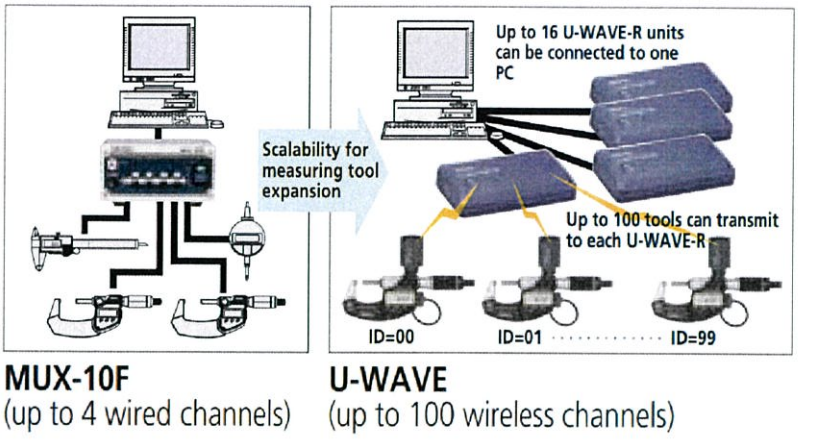
IP67-type U-WAVE-T มีฟังก์ชัน IP67-level Dust/water-proof ซึ่ง Model นี้ สามารถใช้ร่วมกับ Coolant-proof Caliper, Micrometer หรือ Indicator ได้

4. รายงานการรับข้อมูลด้วย LEDs และ Beep Sound

ภาพที่ 2.18 LEDs บน U-WAVE

U-WAVE-T มี LEDs จำนวน 2 ตัว และ Buzzer (เสียง Beep ด้วย Buzzer) เพื่อใช้ตรวจสอบว่าข้อมูลได้รับสมบูรณ์

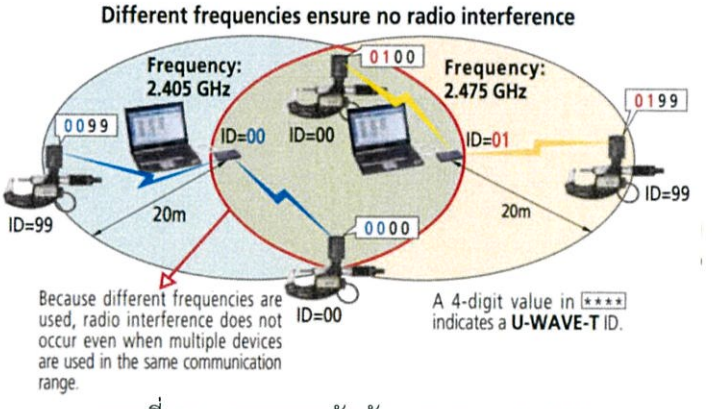
5. เครื่องมือวัดมากกว่า 100 ตัว สามารถเชื่อมต่อกับ U-WAVE ตัวเดียว



ภาพที่ 2.19 ระบบเชื่อมต่อของ U-WAVE

U-WAVE-T มากกว่า 100 ตัว สามารถเชื่อมต่อเข้ากับ U-WAVE-R หนึ่งตัว และ U-WAVE- R มากกว่า 16 ตัว สามารถเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์หนึ่งตัว

6. ระยะการรับสัญญาณไกลถึง 20 เมตร



ภาพที่ 2.20 ระยะการรับสัญญาณของ U-WAVE

สามารถรับสัญญาณได้ไกลถึง 20 เมตร แม้ใช้ U-WAVE-R หลายตัว โดยไม่มีสิ่งรบกวนเกิดขึ้นใน U-WAVE-R แต่ละตัว และสามารถหลีกเลี่ยงสิ่งรบกวนจากคลื่นวิทยุโดยกำหนดความถี่ที่แตกต่างกัน

7. การทำงานแบบไร้สายเคเบิลช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน

เนื่องจากจุดที่ทำการวัดและเครื่องคอมพิวเตอร์ไม่จำเป็นต้องอยู่ใกล้กัน จึงช่วยให้สามารถออกแบบผังของสถานที่ในการทำงานได้อย่างมีอิสระมากขึ้น ยิ่งไปกว่านั้น เนื่องจาก U-Wave ไม่มีข้อจำกัดของการใช้สายเคเบิลเพื่อเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ผู้ใช้จึงสามารถทำการวัดชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่และยาวได้โดยสะดวก

2.5 อุปกรณ์เข้ารหัส (Encoder)

อุปกรณ์เข้ารหัสจัดเป็นอุปกรณ์เซนเซอร์เชิงกลที่สามารถให้ผลของสัญญาณไฟฟ้าทางด้านเอาต์พุต ในรูปของไบนารี่ ดิจิตอล และอะนาลอก โดยใช้งานร่วมกับอุปกรณ์เซนเซอร์ทางแสง การได้มาซึ่งสัญญาณด้านเอาต์พุตนั้นอาศัยหลักการตัดต่อลำแสงระหว่างตัวรับและตัวส่งแสงจากแถบทึบแสงของอุปกรณ์เข้ารหัส ซึ่งสามารถแบ่งประเภทของ Encoder ออกเป็น 2 ชนิด คือ

(ก) อุปกรณ์เข้ารหัสแบบเพิ่มค่า (Increment Encoder)

(ข) อุปกรณ์เข้ารหัสแบบสัมบูรณ์ (Absolute Encoder)

(ก) (ข)

ภาพที่ 2.21 ลักษณะรูปร่างของ Increment Encoder
(ก) Increment Encoder ชนิดเชิงเส้น
(ข) Increment Encoder ชนิดเชิงมุม

นอกจากการแบ่งประเภทของอุปกรณ์เข้ารหัสแล้วยังสามารถแบ่งลักษณะการใช้งานออกตามตำแหน่งและการเคลื่อนที่ได้เป็น 2 ลักษณะคือ การวัดการเคลื่อนที่แบบเชิงเส้นและแบบเชิงมุม ซึ่งจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์เข้ารหัส ที่ติดตั้งและยึดติดกับแกนในกรณีที่เป็นลักษณะเชิงเส้นหรือยึดติดกับเพลาหมุนในกรณีที่เป็นลักษณะเชิงมุม ในตำแหน่งระหว่างตัวรับและตัวส่งของ Photo Sensor แบบลำแสงผ่านตลอดเพื่อให้แถบทึบแสงของ Encoderตัดต่อลำแสงในขณะที่มีการเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนตำแหน่ง

โดยปกติแล้ว Absolute Encoder จะมีรูปร่างและลักษณะของรหัสที่หลากหลาย ยกตัวอย่างเช่น BCD Code, Binary Code และ Gray Code ซึ่งการเลือกใช้งานนั้นจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายๆอย่าง เช่น ความสามารถในการคำนวณของวงจร ลักษณะของจอแสดงผล จำนวนค่ารวมของการนับตลอดจนระดับของความน่าเชื่อถือ เป็นต้น แต่สำหรับรหัสที่มีความกระชับและเป็นที่นิยมใช้กันมากจะเป็นลักษณะของรหัส Binary Code Decimal (BCD Code) ชนิด BCD คือเมื่อเปรียบเทียบกับเลขฐานสิบแล้ว เลขฐานสิบ 1 หลัก (Digit) จะเท่ากับเลขฐานสอง 4 บิต เช่น $8527)_{10}$ = $1000\ 0101\ 0010\ 0111)_{BCD8421}$

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเซนเซอร์ตำแหน่งการเคลื่อนที่ของแกนที่มีระยะเป็นบวก(+) และลบ(-) หรือการเซนเซอร์การหมุนของเพลาเพื่อหาตำแหน่งองศาหรือทิศทางการหมุนตามเข็มและทวนเข็มนาฬิกาเพื่อส่งสัญญาณที่ได้จากการเซนเซอร์ให้กับวงจรจัดระดับเงื่อนไขของสัญญาณทำการปรับแต่งสัญญาณให้เหมาะสมเช่น ชนิดดิจิตอล ได้แก่วงจรนับ (Counter) สำหรับ Increment Encoder วงจรถอดรหัส (Decoder) และวงจรแปลงรหัส (Gray / Binary /BCD-Display) สำหรับ Absolute Encoder หรือชนิดอนาลอก ได้แก่ วงจรรวมและขยายสัญญาณ (Summing Amplifier) สำหรับ Absolute Encoder เป็นต้น โดยสามารถพิจารณาถึงลักษณะโครงสร้างและความสัมพันธ์เปรียบเทียบกันระหว่าง Absolute Encoder แต่ละชนิดได้จากตารางความจริง (Truth Table) ในตารางที่ 2.2

	Binary (Natural)					Gray (Binary)					Binary Coded Decimal (BCD)							
	Digital Number	Code Pattern				Digital Number	Code Pattern				Digital Number		Code Pattern					
Arabic Number											Tens	Units	Tens	Units				
	8 4 2 1	2^3	2^2	2^1	2^0		G_3	G_2	G_1	G_0	8 4 2 1	8 4 2 1	2^0	2^0	2^3	2^2	2^1	2^0
0	0 0 0 0					0 0 0 0					0 0 0 0	0 0 0 0						
1	0 0 0 1					0 0 0 1						0 0 0 1						
2	0 0 1 0					0 0 1 1						0 0 1 0						
3	0 0 1 1					0 0 1 0						0 0 1 1						
4	0 1 0 0					0 1 1 0						0 1 0 0						
5	0 1 0 1					0 1 1 1						0 1 0 1						
6	0 1 1 0					0 1 0 1						0 1 1 0						
7	0 1 1 1					0 1 0 0						0 1 1 1						
8	1 0 0 0					1 1 0 0						1 0 0 0						
9	1 0 0 1					1 1 0 1					0 0 0 0	1 0 0 1						
10	1 0 1 0					1 1 1 1					0 0 0 1	0 0 0 0						

ตารางที่ 2.2 ตารางค่าความจริง

148593

2.6 ZigBee

ZigBee เป็นมาตรฐานโปรโตคอลการสื่อสารไร้สายสำหรับเครือข่ายไม่ต้องการอัตราการรับส่งข้อมูลสูง กำหนดโดยองค์กร ZigBee Alliance ซึ่งออกแบบขึ้นสำหรับการสื่อสารในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network) โดย ZigBee ได้อ้างอิงตามมาตรฐานของ IEE 802.15.4 ที่เน้นการสื่อสารแบบประหยัดพลังงาน มีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำ ส่วนชื่อของ ZigBee นั้นได้มาจากพฤติกรรมสื่อสารของผึ้ง โดยผึ้งจะบินแบบซิกแซ็ก เพื่อจะให้ข้อมูลข่าวสารระหว่างผึ้งด้วยกันเกี่ยวกับทิศทางและระยะทางของอาหารที่พวกมันกำลังหาอยู่

ZigBee กำหนด ย่านความถี่ใช้งานตามมาตรฐานไว้ 3 ย่านความถี่ คือ ย่าน 2.4 GHz, ย่าน 915 MHz และย่าน 868 MHz โดยแต่ละย่านจะมีช่องสัญญาณ 16 ช่อง, 10 ช่อง และ 1 ช่องตามลำดับส่วนอัตรารับส่งข้อมูลจะอยู่ที่ 250 Kbps, 40 Kbps, 20 Kbps ตามลำดับเช่นกัน โดยความถี่ย่าน 868 MHz จะใช้ในทวีปยุโรป ความถี่ย่าน 915 MHz ใช้ได้ในประเทศสหรัฐอเมริกาและออสเตรีย และความถี่ 2.4 GHz สามารถใช้ได้ทั่วโลกรวมถึงประเทศไทยตามกฎกระทรวง เรื่องกำหนดให้เครื่องวิทยุคมนาคมและสถานีวิทยุคมนาคมบางประเภทได้รับยกเว้นไม่ต้องได้รับใบอนุญาต พ.ศ. 2547

2.6.1 IEEE 802.15.4

มาตรฐาน IEEE 802.15.4 เป็นมาตรฐานสำหรับเครือข่ายแบบไร้สายระยะใกล้ความเร็วต่ำ โดยมีอัตราการรับส่งข้อมูลต่ำกว่าหรือเท่ากับ 250 Kbps ใช้กำลังไฟน้อย ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้มาตรฐานนี้ในปัจจุบันคือ ZigBee และเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายที่ถูกพัฒนาให้มีจุดเด่นกว่าเทคโนโลยีไร้สายแบบอื่นๆ ในเรื่องราคาต่ำ ใช้พลังงานน้อย สามารถติดตั้งไว้ได้นาน และสามารถสร้างเครือข่ายได้ ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานด้วยเซนเซอร์ไร้สายสำหรับตรวจสอบตำแหน่งของวัตถุ ตรวจสภาพแวดล้อม ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบเทคโนโลยีไร้สายแบบต่างๆ ทำให้เห็นข้อดีข้อเสียอย่างเช่น GSM/CDMA นั้นสามารถส่งข้อมูลได้มากกว่า ZigBee และระยะทางในการส่งไกลกว่า แต่ข้อเสียคือ Battery นั้นมีอายุการใช้งานต่ำ และต้นทุนสูง ดังนั้น มาตรฐาน ZigBee จึงเป็นทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่ต้องการต้นทุนต่ำและเชื่อถือได้

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบเทคโนโลยีไร้สาย

	ZigBee และ 802.15.4	Bluetooth	Wi-Fi 802.11	GSM/CDMA
Application Focus	Monitoring & Control	Cable Replacement	Web, Video, E-mail	WAN, Voice/DATA
System Resource	4KB-32KB	250KB+	1MB	16MB+
Battery Life (Days)	1 ปี	1 สัปดาห์	1 สัปดาห์	1 สัปดาห์

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบเทคโนโลยีไร้สาย (ต่อ)

	ZigBee และ 802.15.4	Bluetooth	Wi-Fi 802.11	GSM/CDMA
Node Per Network	255/65k+	7	30	1,000
Bandwidth	250 Kbps	720 Kbps	Up to 54 Mbps	Up to 2 Mbps
Range	100+ เมตร	10-100 เมตร	50-100 เมตร	หลายกิโลเมตร
Key Attributes	Reliable Low Power Cost Efficient	Cost, Convenience	Speed, Flexibility	Reach, Quality

โดยมาตรฐานนี้กำหนดขึ้นสำหรับการรับส่งข้อมูลเบื้องต้น ในวงจรเครื่องรับส่งวิทยุ (Physical Layer) และการควบคุมการรับส่ง (Link Layer) ใช้การผสมสัญญาณ (Modulation) แบบ Offset Quadrature Phase Shift Keying (Offset-QPSK) และใช้การแก้ปัญหาสัญญาณรบกวนแบบ Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) ที่มีอัตราการสเปรดดิ่ง 2 ล้าน Chip/sec ซึ่งจะควบคุมการรับส่งข้อมูล โดยใช้โปรโตคอลแบบ Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA)

ตามมาตรฐานของ IEEE 802.15.4 ได้กำหนดคุณสมบัติของเครือข่ายไร้สายส่วนบุคคลแบบอัตรารับส่งต่ำ LR-WPAN (Low Rate Wireless Personal Area Network) ไว้ 2 ชั้น คือ ชั้นกายภาพ (Physical Layer) และชั้นรองของแมค (Medium Access Control Sub Layers) มีการกำหนดส่วนสนับสนุน ของอุปกรณ์แบบง่าย 2 ชนิด คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ได้เต็มที่ FFD (Full Function Device) และอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ได้บางส่วน RFD (Reduced Function Device) ตามมาตรฐาน อุปกรณ์แบบ FFD จะสนับสนุนการทำงานพื้นฐานทางกายภาพ รวม 49 อย่าง แต่อุปกรณ์แบบ RFD จะสนับสนุนแค่ 38 อย่าง การติดต่อสื่อสารของอุปกรณ์ FFD จะติดต่อกับอุปกรณ์ FFD ตัวอื่นๆ และอุปกรณ์ RFD ได้โดยอุปกรณ์ FFD จะทำงานได้ 3 ลักษณะ คือ

1) ตัวประสานงานเครือข่ายส่วนบุคคล (PAN Coordinator)

2) ตัวประสานงาน (Coordinator)

3) อุปกรณ์ (Device)

การเคลื่อนย้ายข้อมูลระหว่างโหนดมี 3 ลักษณะ คือ

1) จากอุปกรณ์ไปยังตัวประสานงาน (Device to a Coordinator)

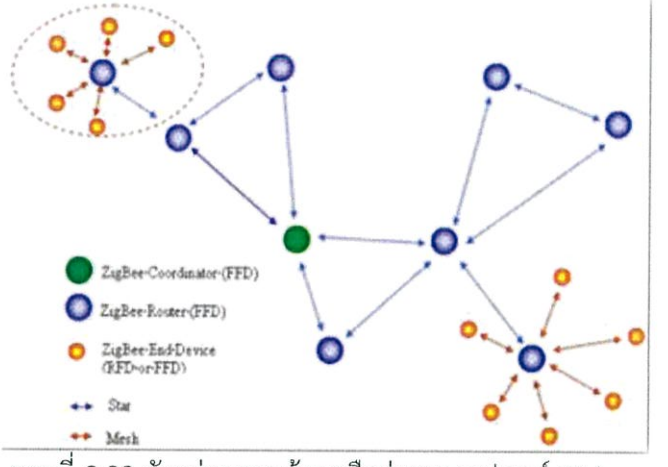
2) จากตัวประสานงานไปอุปกรณ์ (Coordinator to Device)

3) ระหว่างอุปกรณ์ที่อยู่ในระดับเดียวกัน (Peer to Peer)

เทคโนโลยีของเครือข่าย LR-WPAN (Low Rate Wireless Personal Area Network) มี 2 ลักษณะ คือ

1) แบบดาว (Star Topology) และแบบระดับเดียวกัน (Peer to Peer Topology) ในรูปแบบดาวจะมีการติดต่อสื่อสารระหว่าง PAN Coordinator กับอุปกรณ์ ซึ่งอุปกรณ์ทั้งหมดในเครือข่ายจะมีตำแหน่งแบบขยาย (Extended Address) และสามารถเปลี่ยนตำแหน่งเป็นแบบสั้น (Short Address) โดย PAN Coordinator ในขณะที่ทำการเชื่อมโยงความสัมพันธ์กันระหว่างอุปกรณ์ (Device Associate)

2) แบบ Peer to Peer มี PAN Coordinator เหมือนแบบที่ 1 แต่อุปกรณ์แต่ละตัวสามารถติดต่อระหว่างกันได้ ในระยะการติดต่อของแต่ละอุปกรณ์ โทโปโลยีนี้สามารถนำมาสร้างเป็นเครือข่ายที่มีความซับซ้อนมากขึ้นได้



ภาพที่ 2.22 ตัวอย่างการสร้างเครือข่ายของอุปกรณ์ Zigbee

2.6.2 ZigBee Device Types

อุปกรณ์ในเครือข่ายไร้สายของ ZigBee สามารถทำงานได้ 3 แบบ คือ Coordinator End Device และ Router ซึ่งแต่ละแบบมีการทำงานดังนี้

1. Coordinator เป็นอุปกรณ์ประเภท FFD (Full Function Device) มีหน้าที่สร้างการสื่อสาร เชื่อมโยงเครือข่ายระหว่าง End Device กับ Router หรือ Coordinator กับ Coordinator ด้วยกัน หรือ Coordinator กับ Router กำหนด Address ให้กับ Device ที่อยู่ในวงเครือข่าย ไม่ให้ซ้ำกัน ดูแลจัดการเรื่องการ Routing เส้นทาง

2. End Device เป็นอุปกรณ์ประเภท FFD (Full Function Device) หรือ RFD (Reduced Function Device) เป็นอุปกรณ์ปลายทางสุด ซึ่งจะใช้รับสัญญาณจากเซ็นเซอร์ที่ปลายทางและควบคุมการทำงานต่างๆ

3. Router เป็นอุปกรณ์ประเภท FFD (Full Function Device) มีหน้าที่รับส่งข้อมูลในเส้นทางต่างๆ เพิ่มระยะทาง สามารถตรวจสอบและควบคุมการทำงานต่างๆ ได้เหมือนกับ End Device

2.7 โปรแกรม Microsoft Excel

โปรแกรม Microsoft Excel เป็นโปรแกรมหนึ่งที่อยู่ในชุด Microsoft Office มีจุดเด่นในด้านการคำนวณเกี่ยวกับตัวเลข โดยการทำงานของโปรแกรมจะใช้ตารางตามแนวนอน (Row) และแนวตั้ง (Column) เป็นหลัก ซึ่งเรียกโปรแกรมในลักษณะนี้ว่าตารางทำการ (Spread Sheet) ไฟล์ของ Excel เปรียบเสมือนเอกสารหนังสือ 1 เล่ม ที่ประกอบไปด้วยหน้าหลายๆหน้า เรียกว่าสมุดงาน (Workbook) โดยในแต่ละหน้าเรียกว่า แผ่นงาน (Worksheet) ในแต่ละแผ่นงานจะแบ่งออกเป็นตาราง ซึ่งประกอบไปด้วยช่องตารางซึ่งเป็นส่วนที่ตัดกันของแถวและคอลัมน์เรียกว่า เซลล์ (Cell) ในแผ่นงานหนึ่งๆจะมีแถวทั้งหมด 1,048,576 แถว และ 16,384 คอลัมน์ โดยใช้ชื่อคอลัมน์เป็นตัวอักษรภาษาอังกฤษ ตั้งแต่ A จนถึง Z และต่อด้วย AA จนถึง AZ, BA จนถึง BZ ไปจนถึง XFD

2.7.1 พื้นฐานที่เกี่ยวกับ Microsoft Excel

1. แถว (Row) หมายถึงแถวแนวนอนเริ่มต้นจำนวนแถวจาก 1 ถึง 1,048,576
2. คอลัมน์ (Column) หมายถึงแถวแนวตั้งจะเริ่มต้นจาก A จนถึง Z และต่อด้วย AA ถึง AZ, BA ถึง BZ ถึง XFD
3. เซลล์ (Cell) เป็นจุดตัดระหว่างแถวกับคอลัมน์ (เพื่อใช้เรียกตำแหน่งของข้อมูล) เช่น A1, A2, B1 เป็นต้น
4. มีความสามารถในการรวมเซลล์หลายๆ เซลล์เข้าด้วยกัน
5. หลังการตั้งชื่อเซลล์หลายๆ เซลล์สามารถนำชื่อนั้นไปคำนวณได้ด้วย
6. การคำนวณสามารถใช้ชื่อเซลล์เป็นตัวแปรในการสั่งคำนวณได้

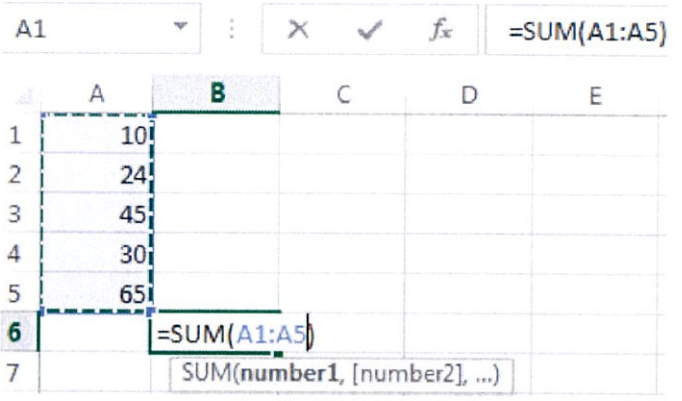
2.7.2 การอ้างอิง

การอ้างอิงตำแหน่งของเซลล์ ร่วมกับการใช้ฟังก์ชันในการคำนวณ การอ้างถึงตำแหน่งของ Excel สำหรับนำข้อมูลมาคำนวณ แบ่งออกเป็น 3 แบบดังนี้

1. การอ้างอิงแบบสัมพันธ์ (Relative Referencing)
2. การอ้างอิงแบบสมบูรณ์ (Absolute Referencing)
3. การอ้างอิงแบบผสม (Mixed Referencing)

2.7.2.1 การอ้างอิงตำแหน่งเซลล์แบบสัมพันธ์ (Relative Referencing)

การอ้างอิงตำแหน่งข้อมูลโดยตำแหน่งของข้อมูลเมื่อทำการสำเนาไปให้เซลล์อื่นแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งไปด้วยโดยที่สูตรไม่มีการเปลี่ยนแปลง เช่น เซลล์ต้นฉบับที่มีสูตรสมการที่ต้องการทำสำเนาอยู่ที่ตำแหน่ง B6 ภายในเซลล์มีสูตรการรวมกันของข้อมูลที่ติดกัน 5 เซลล์ คือ ช่วง A1:A5 จะได้สูตร คือ =Sum(A1:A5)



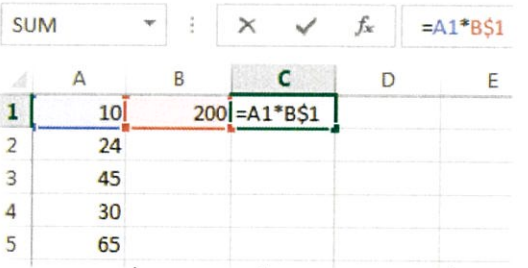
ภาพที่ 2.23 การอ้างอิงตำแหน่งเซลล์แบบสัมพันธ์

2.7.2.2 การอ้างอิงแบบสมบูรณ์ (Absolute Referencing)

การอ้างอิงแบบสมบูรณ์ (Absolute Referencing) เป็นการอ้างอิงตำแหน่งโดยที่ต้องการกำหนดให้ตำแหน่งที่ต้องการอ้างถึงในสูตรไม่มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งไปเป็นตำแหน่งอื่นเมื่อทำการสำเนาไปวางยังตำแหน่งใดใน Work Sheet ก็จะยังคงอ้างถึงตำแหน่งเดิมเสมอ ซึ่งการอ้างอิงตำแหน่งแบบ Absolute นี้จะต้องมีการใช้เครื่องหมาย $ มากำหนดให้สำหรับบอกให้ Excel ทราบว่า เมื่อใดที่มีเครื่องหมาย $ วางไว้หน้าตำแหน่งแถว (Row) หรือ วางไว้หน้าตำแหน่งคอลัมน์ (Column) แล้ว แสดงว่าแถวหรือคอลัมน์นั้นจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง เช่น ต้องการกำหนดให้ ตำแหน่งของเซลล์เป็นคอลัมน์ A เสมอไม่ว่าจะสำเนาไปวางยังเซลล์ใดๆ แต่แถวสามารถเปลี่ยนแปลงได้ สามารถกำหนดได้ คือ $A1 ต้องการกำหนดให้ตำแหน่งของเซลล์เป็นคอลัมน์ใดๆ ก็ได้แต่แถวต้องการกำหนดให้เป็นแถวที่ 2 เสมอ ไม่ว่าจะสำเนาไปวางยังเซลล์ใดๆ สามารถกำหนดได้ คือ A$2

ต้องการกำหนดให้ตำแหน่งของเซลล์เป็นคอลัมน์ A และแถวต้องการกำหนดให้เป็นแถวที่ 1 เสมอ ไม่ว่าจะสำเนาไปวางยังเซลล์ใดๆ สามารถกำหนดได้คือ A1

ประโยชน์ของการอ้างอิงตำแหน่งแบบ Absolute เช่น ต้องการคูณค่าคงที่ที่อยู่ในตำแหน่ง B1 ให้กับเซลล์ C1 ดังนั้นจะได้สูตรคือ =SUM(A1*B$1) เมื่อทำสำเนาไปสูตรของเซลล์ C1 ไปยังเซลล์ C2 สูตรที่ได้ในตำแหน่ง C2 คือ =SUM(A2*B$1) สังเกตในสูตรตำแหน่งที่ไม่มีการใส่เครื่องหมาย $ กำกับหน้าตำแหน่งคอลัมน์หรือแถวจะมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งไป แต่ที่ตำแหน่ง B1 ที่อ้างอิงเป็นแบบ Absolute ก็ยังคงเป็นตำแหน่งเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง



ภาพที่ 2.24 การอ้างอิงแบบสมบูรณ์

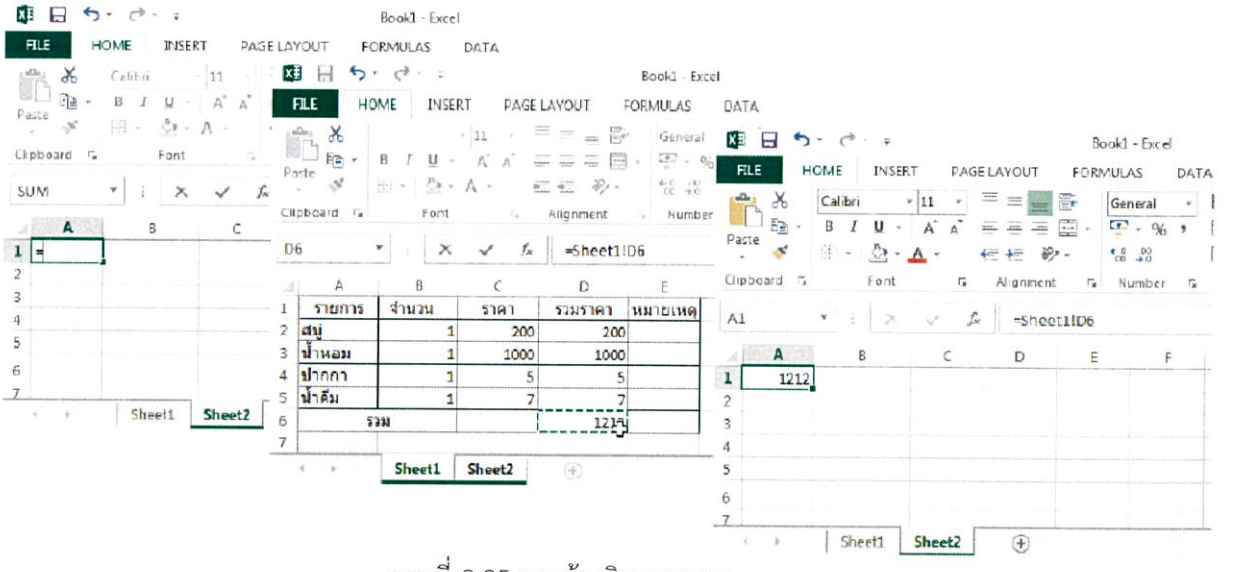
2.7.2.3 การอ้างอิงแบบผสม (Mixed Referencing)

การคำนวณต่าง Work Sheet จะมีลักษณะที่ต่างจากการคำนวณภายใน Work Sheet อยู่ส่วนหนึ่งเท่านั้น เมื่อต้องการอ้างข้อมูลที่อยู่ใน Work Sheet ไหน ก็จะต้องมีการอ้างถึงชื่อ Work Sheet ที่จะนำข้อมูลมาคำนวณ โดยจะมีรูปแบบในการอ้าง Work Sheet ดังนี้

ชื่อ Work Sheet ที่อ้างถึง ! Range ของข้อมูลใน Sheet ที่อ้างถึงเพื่อนำมาคำนวณ

ตัวอย่าง ต้องการอ้างอิงข้อมูลผลรวมในช่องเซลล์ D6 ของ Sheet1 ไปแสดงที่ช่องเซลล์ A1 ของ Sheet2

1. คลิกเมาส์ที่ชื่อ Sheet2 ให้ Active
2. คลิกที่เซลล์ A1 ของ Sheet2 เพื่อป้อนสูตร โดยพิมพ์สูตร =Sheet1!D6
3. กดปุ่ม Enter เพื่อจบการป้อนสูตร ก็จะได้ผลลัพธ์แสดงที่ช่อง A1 ของ Sheet1 หรือคลิกที่เซลล์ A1 ของ Sheet2 พิมพ์ = ลงในช่องเซลล์ A1 ของ Sheet2 จากนั้นให้นำเมาส์ไปคลิก Sheet 1 และนำไปคลิก เซลล์ D6 เสร็จแล้วกดปุ่ม Enter จะปรากฏข้อมูลตัวเดียวกันระหว่าง D6 Sheet1 กับ A1 Sheet2 ถ้ามีการเปลี่ยนข้อมูลใน D6 Sheet1 ข้อมูล A1 Sheet2 ก็จะเปลี่ยนตาม



ภาพที่ 2.25 การอ้างอิงแบบผสม

2.7.3 ฟังก์ชันพื้นฐานที่ช่วยในการคำนวณ

=SUM(... :...) ใช้หาผลรวมในช่วงของข้อมูล เช่น =SUM(A1 : A20)

=COUNT(... :...) ใช้นับจำนวนข้อมูลในช่วงของข้อมูลที่กำหนด เช่น =COUNT(B125 : B304)

=AVERAGE(... : ...) ใช้หาค่าเฉลี่ยในช่วงของข้อมูลที่กำหนด เช่น =AVERAGE(A2 : A50)

=MAX(... :...) ใช้หาค่าสูงที่สุดในช่วงข้อมูลที่กำหนด เช่น =MAX(A1 : A50)

=MIN(... :...) ใช้หาค่าน้อยที่สุดในช่วงข้อมูลที่กำหนด เช่น =MIN(A1 : A50)

=STDEV(... :...) ใช้หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มตัวอย่าง เช่น =STDEV(A1 : A50)

=STDEVP(... :...) ใช้หาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของกลุ่มประชากร เช่น =STDEVP(A1 : A50)

2.8 โปรแกรม วิชชัว เบสิค (Visual Basic (VB))

เป็นโปรแกรมสำหรับพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ที่กำลังเป็นที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน โปรแกรม Visual Basic เป็นโปรแกรมที่ได้เปลี่ยนรูปแบบการเขียนโปรแกรมใหม่ โดยมีชุดคำสั่งมาสนับสนุนการทำงาน มีเครื่องมือต่าง ๆ ที่เรียกกันว่า คอนโทรล (Controls) ไว้สำหรับช่วยในการออกแบบโปรแกรม โดยเน้นการออกแบบหน้าจอแบบกราฟิก หรือที่เรียกว่า Graphic User Interface (GUI) ทำให้การจัดรูปแบบหน้าจอเป็นไปได้ง่าย และในการเขียนโปรแกรมนั้นจะเขียนแบบ Event - Driven Programming คือ โปรแกรมจะทำงานก็ต่อเมื่อเหตุการณ์ (Event) เกิดขึ้น ตัวอย่างของเหตุการณ์ได้แก่ ผู้ใช้เลื่อนเมาส์ ผู้ใช้กดปุ่มบนคีย์บอร์ด ผู้ใช้กดปุ่มเมาส์ เป็นต้น

2.8.1 Visual Basic for Application (VBA)

เป็นการเขียนคำสั่งด้วยภาษา Visual Basic เพื่อสั่งงานให้โปรแกรม Microsoft Office ทำงานตามต้องการแบบอัตโนมัติ ซึ่งช่วยทำให้ผู้ใช้งานลดงานที่ซ้ำซ้อนลงได้ อีกทั้งงานที่ประมวลผลด้วย VBA จะรวดเร็วและถูกต้องมากกว่าการทำงานด้วยคน

2.8.1.1 โครงสร้างชุดคำสั่งVBA

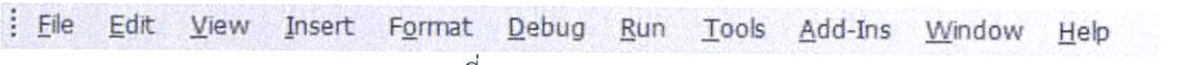
ชุดคำสั่งหรือชุดรหัส VBA มาจากคำว่า Procedure ซึ่งชุดคำสั่งแต่ละชุดประกอบด้วยคำสั่งหลายบรรทัด แต่ละบรรทัดมีรหัส VBA เพื่อสั่งให้ Excel ทำงานทีละขั้น โดยทั่วไปเราควรแยกให้ชุดคำสั่งหนึ่งๆ ให้ใช้ควบคุมการทำงานที่เกี่ยวข้องกันชัดเจน ชุดคำสั่ง VBA มี 2 ประเภท คือ

1. Sub Procedure เป็นชุดคำสั่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทั่วไปของ Excel
2. Function Procedure เป็นชุดคำสั่งทำหน้าที่คำนวณคืนค่าผลลัพธ์ และใช้สำหรับสร้างสูตรใหม่มาใช้กับงานเฉพาะด้าน นอกเหนือจากสูตรสำเร็จรูปที่ Excel จัดเตรียมไว้ให้

ลักษณะโดยทั่วไปของชุดคำสั่งแต่ละชุด ถ้าเป็น Sub Procedure จะอยู่ในช่วงรหัสตั้งแต่ว่า Sub จนถึงคำว่า End Sub ส่วน Function Procedure ชุดหนึ่งๆ จะอยู่ในช่วงรหัสตั้งแต่ว่า Function จนถึงคำว่า End Function (ซึ่งชุดคำสั่งที่ Macro Recorder สร้างขึ้น จะเป็นชุดคำสั่งแบบ Sub Procedure เท่านั้น)

2.8.1.2 เครื่องมือในโปรแกรม VBA IDE

2.8.1.2.1 เมนูบาร์ (Menu Bar)



ภาพที่ 2.26 Menu Bar

1. File กลุ่มคำสั่งเกี่ยวกับการสร้าง Project ใหม่ เปิด Project บันทึก ปิด Project
2. Edit กลุ่มคำสั่งที่ช่วยสร้างและแก้ไขการทำงานของ Project ให้ง่ายขึ้น เช่น Copy, Paste และ Undo
3. View กลุ่มคำสั่งเกี่ยวกับการแสดงหน้าต่างต่าง ๆ ของ VBA IDE
4. Insert กลุ่มคำสั่งเกี่ยวกับการเพิ่มออบเจ็กต์ Excel เข้ามาใน Project
5. Format กลุ่มคำสั่งเกี่ยวกับการจัดรูปแบบการแสดงผลของ Form
6. Debug กลุ่มคำสั่งเกี่ยวกับการหาข้อผิดพลาดของโปรเจ็กต์
7. Run กลุ่มคำสั่งเกี่ยวกับการสั่งให้โปรเจ็กต์ทำงานหรือหยุดทำงาน
8. Tools กลุ่มคำสั่งเกี่ยวกับการจัดการเครื่องมือต่างๆ
9. Add-Ins กลุ่มคำสั่งเกี่ยวกับการเพิ่มเข้า ลบออกคำสั่งด้วยตัวผู้ใช้
10. Window กลุ่มคำสั่งเกี่ยวกับรูปแบบการแสดงผลของ Form ต่างๆ
11. Help คำสั่งให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับ VBA

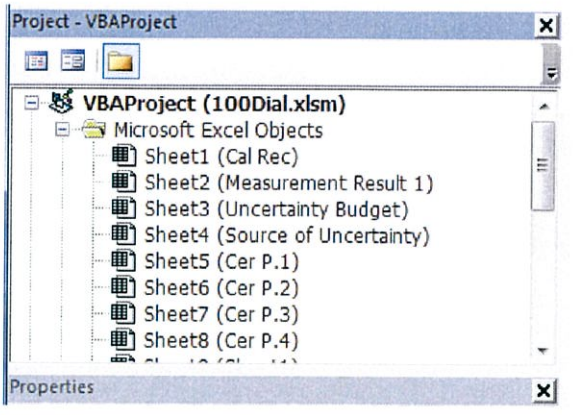
2.8.1.2.2 ทูลบาร์ (Toolbar)

ภาพที่ 2.27 Toolbar

1. กลุ่มคำสั่งเรียกโปรแกรม Excel เพิ่มออบเจ็กต์ Excel และบันทึกโปรเจ็กต์
2. กลุ่มคำสั่งในเมนู Edit เป็นการตัด (Cut), การก็อบปี้ (Copy), การวาง (Paste) และค้นหาคำหรือข้อความ
3. กลุ่มคำสั่ง Undo (ยกเลิกคำสั่งล่าสุด) และ Redo (ทำซ้ำคำสั่งที่ยกเลิกไป)
4. กลุ่มคำสั่งเกี่ยวกับการสั่งให้โปรแกรมทำงานและหยุดทำงาน
5. กลุ่มคำสั่งในเมนู View เป็นคำสั่งแสดงหน้าต่าง ต่าง ๆ ของ VBA IDE
6. คำสั่งให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับ VBA
7. คำสั่งเกี่ยวกับการจัดการคำสั่งต่าง ๆ ใน Toolbar

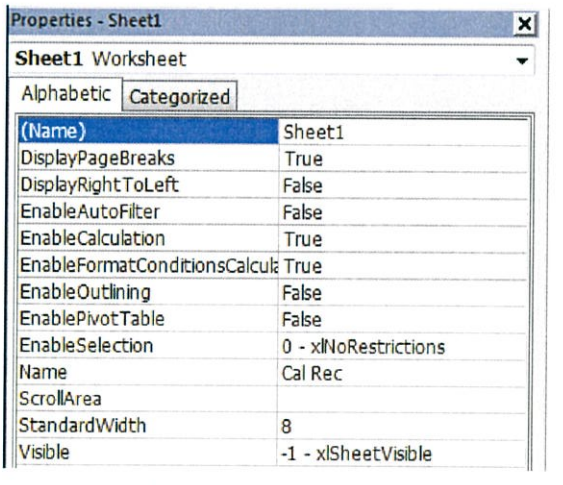
2.8.1.2.3 Project Explorer

เป็นหน้าต่างแสดงรายการของไอเท็ม (Item) ที่มีอยู่ในโปรเจ็กต์ทั้งหมด เช่น Worksheet, Module และ Class เป็นต้น



ภาพที่ 2.28 Project Explorer

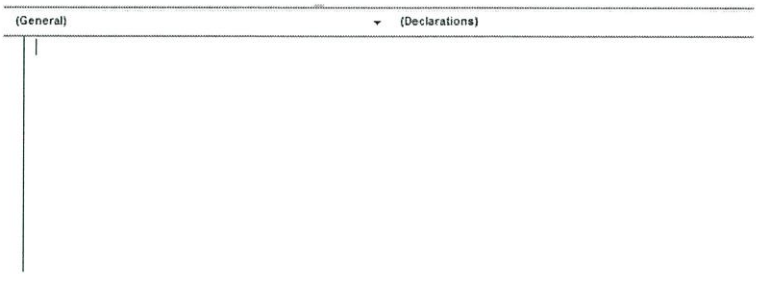
Properties Window เป็นหน้าต่างแสดงและกำหนดคุณบัติหรือลักษณะเบื้องต้นของคอนโทรลและออบเจ็กต์ เช่น กำหนดชื่อ, สี และขนาด เป็นต้น หรือสามารถกำหนดโดยการเขียนโค๊ดเพิ่มเติมภายหลังก็ได้



ภาพที่ 2.29 Properties Window

2.8.1.2.4 หน้าต่าง Code Editor

Code Editor เป็นหน้าต่างที่ใช้สำหรับเขียนโค๊ดควบคุมการทำงานของโปรแกรมตามที่เราต้องการหลังจากที่ได้ออกแบบหน้าตาแอพพลิเคชัน และกำหนดคุณสมบัติหรือลักษณะเบื้องต้นของคอนโทรลต่างๆ แล้ว



ภาพที่ 2.30 Code Editor

2.8.1.3 ตัวแปร และชนิดข้อมูลใน VBA

ตัวแปร คือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลชนิดต่าง ๆ โดยใช้สัญลักษณ์เป็นตัวอักษรตามที่กำหนดขึ้น เช่น X, Y, Price, Sales, cost การเขียนโค๊ด VBA ใน Excel ต้องมีการส่งค่าไปยังเซลล์ต่าง ๆ ในเวิร์กชีต หรือการนำค่าจากเซลในเวิร์กชีตมาคำนวณหรือประมวลผล วิธีการเก็บค่าจากเซลก่อนนำไปคำนวณหรือส่งไปยังเซลล์ ควรจะพักเก็บในตัวแปร จะทำให้โค้ด VBA ที่สร้างขึ้นมีความยืดหยุ่นและสะดวกในการเรียกใช้งานมากขึ้น

ตารางที่ 2.4 ตัวแปร และชนิดข้อมูลใน VBA

ประเภท	ชนิดข้อมูล	ขอบเขต	หน่วยความจำที่ใช้
ตัวเลข	Byte	จำนวนเต็ม 0 ถึง 255	1 byte
	Integer	จำนวนเต็ม -32,768 ถึง 32,767	2 byte
	Long	จำนวนเต็ม -2,1347,483,648 ถึง -2,1347,483,648	4 byte
	Double	ทศนิยม ช่วงค่าน้อยกว่า 0 ทศนิยม ช่วงค่ามากกว่า 0	8 byte
ตรรกะ	Boolean	True หรือ False ใช้สำหรับตรวจสอบค่าจริงหรือเท็จ	2 byte
ข้อความ	String	ชนิดจำนวนตัวอักษรไม่แน่นอน	10 byte+ความยาวตัวอักษร
วันที่เวลา	Date	1 January 0100 ถึง 31 December 9999 และเวลา 00.00.00 ถึง 23:59:59	8 byte

บทที่ 3
การวิเคราะห์และทดลอง

3.1 บทนำ

เครื่องสอบเทียบไดอัลเกจที่สามารถสอบเทียบไดอัลเกจในพิสัย (Range) 0 mm. – 10 mm. ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบของบริษัท สุมิพล คอร์ปอเรชั่น จำกัด มี 3 ชนิด คือ ไดอัลเกจเทสเตอร์ (Dial Gauge Tester) เครื่องต้นแบบไดอัลเกจเทสเตอร์ และเครื่อง i-Checker โครงงานนี้ทำเพื่อศึกษาและพัฒนาระบบการจัดเก็บข้อมูลในการบันทึกผลการสอบเทียบไดอัลเกจด้วยวิธีส่งสัญญาณแบบไร้สาย โดยเขียนโปรแกรมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องต้นแบบไดอัลเกจเทสเตอร์ให้มีสามารถสอบเทียบไดอัลเกจได้แบบกึ่งอัตโนมัติ (Semi-automatic)

3.1.1 ไดอัลเกจเทสเตอร์

การใช้ไมโครมิเตอร์เฮด (Micrometer Head) แบบสเกลยึดติดกับแท่นยึดเป็นตัวสอบเทียบ หรือเรียกชื่อเฉพาะว่าเครื่องไดอัลเกจเทสเตอร์

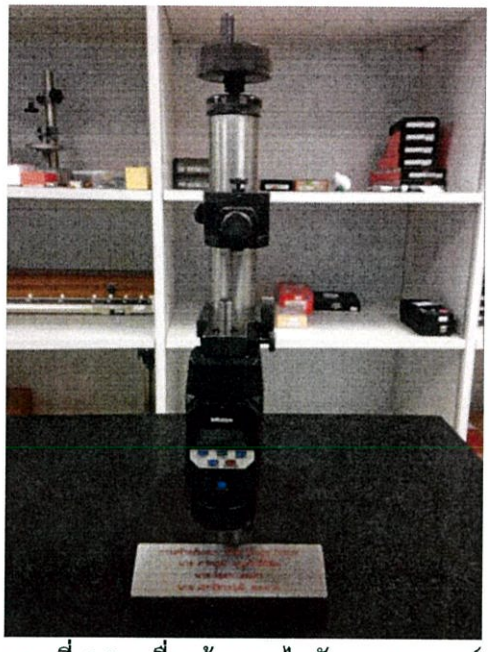
การอ่านค่าที่วัดได้จากสเกลของไมโครมิเตอร์ ซึ่งความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการอ่านค่าย่อมมีโอกาสเกิดขึ้นสูง ต้องใช้ผู้มีประสบการณ์และมีความชำนาญเป็นอย่างมากในการอ่านค่าได้ถูกต้องและแม่นยำ ขั้นตอนการวัดมีค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อน และการติดตั้งไดอัลเกจเข้ากับตัวเครื่องก็มีโอกาสที่จะผิดพลาดจากการไม่ร่วมศูนย์กันระหว่างไมโครมิเตอร์และไดอัลเกจสูง

ภาพที่ 3.1 Dial gauge tester

3.1.2 เครื่องต้นแบบไดอัลเกจเทสเตอร์

การออกแบบเครื่องต้นแบบไดอัลเกจเทสเตอร์ได้นำหลักการการทำงานของเครื่องสอบเทียบไดอัลเกจแบบเดิมมาใช้ เนื่องจากชุดอุปกรณ์สอบเทียบดังกล่าวมีการพัฒนาเปลี่ยนจากการใช้สเกลแบบเดิมเป็นแบบดิจิตอลแทน และทำให้วิธีการติดตั้งไดอัลเกจง่ายขึ้น ซึ่งเครื่องต้นแบบไดอัล

เกจเทสเตอร์มีลักษณะการอ่านเป็นแบบดิจิตอล (Digital) มีพิสัย 0-25 mm มีความละเอียด 0.001 mm จากใบ Certificate No. DGT 14-A0940 มีค่าความไม่แน่นอนเท่ากับ ± 0.002 mm ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %



ภาพที่ 3.2 เครื่องต้นแบบไดอัลเกจเทสเตอร์

3.1.3 เครื่อง i-Checker

เครื่อง i-Checker ถูกออกแบบเพื่อใช้สอบเทียบไดอัลเกจ ไดอัลเทสอินดิเคเตอร์และบอร์เกจ บริษัทผู้ผลิตกำหนดค่าความถูกต้อง (Accuracy) อยู่ที่ $\pm$(0.2+L/100) μm มีแกนเคลื่อนที่ขึ้นลงที่ระยะ 100 mm รวมทั้งยังสามารถปรับตำแหน่งในการวัดได้ง่าย เนื่องจากมีการทำงานแบบ semi -automatic นอกจากนี้ ยังสามารถสร้างและพิมพ์ใบรับรองการสอบเทียบ และบันทึกผลการสอบเทียบออกมาในรูปแบบ CSV File เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ร่วมกับ Software

ภาพที่ 3.3 เครื่อง i-Checker

3.2 การออกแบบโปรแกรม

3.2.1 การกำหนดส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน

การกำหนดส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานนี้ได้ศึกษาจากกลุ่มพนักงานในแผนกศูนย์บริการซ่อมและสอบเทียบของบริษัท สุมิพล คอร์ปอเรชั่น จำกัด พบว่าการทำงานของพนักงานจะประมวลผลการวัดด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) เนื่องด้วยโปรแกรม Microsoft Excel เป็นโปรแกรมที่มีความสามารถในเรื่องของการจัดการและวิเคราะห์ผลข้อมูลได้เป็นอย่างดี แต่เนื่องจากมีข้อมูลเป็นจำนวนมากซึ่งอาจถูกเก็บไว้ในเงื่อนไขที่แตกต่างกันหรือข้อมูลต้องอาศัยความชำนาญเฉพาะทางในการวิเคราะห์ จึงทำให้การใช้งานนั้นมีความยุ่งยากและใช้เวลามาก แต่หากใช้ความสามารถของโปรแกรม VBA (Visual Basic for Application) ซึ่งทำงานร่วมกับโปรแกรม Microsoft Excel ได้เป็นอย่างดีและไม่ต้องลงโปรแกรมอื่นเพิ่มนั้นก็จะช่วยให้การใช้งานในการวิเคราะห์และประมวลผลสะดวกยิ่งขึ้น

ในการเขียนโปรแกรม VBA นี้จะเป็นการช่วยให้การเข้าถึงโปรแกรม Microsoft Excel ง่ายขึ้น โดยการแสดงหน้าต่างในการกรอกข้อมูลและค่าต่างๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ค่าความไม่แน่นอนจากการสอบเทียบได้อัตโนมัติ

3.2.2 การวิเคราะห์ปัญหาและการออกแบบโปรแกรม

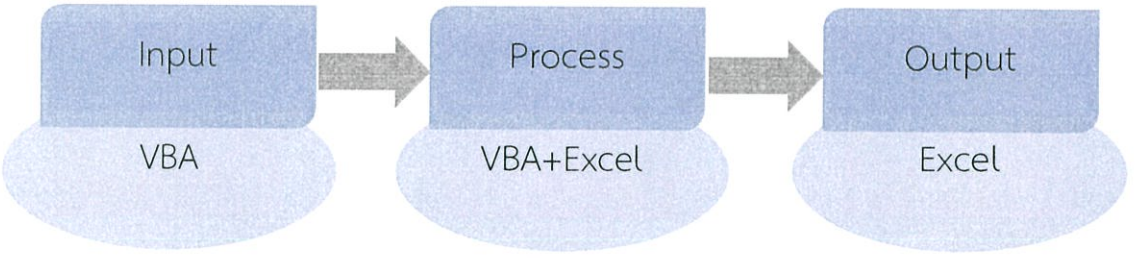
ขั้นตอนแรกสุดที่จะต้องทำก่อนที่จะลงมือเขียนโปรแกรมนั้นคือ การวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นและวางแผนหาวิธีแก้ไข โดยหาว่าปัญหานั้นคืออะไร มีวิธีแก้ไขปัญหาอย่างไร เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ตรงตามความต้องการ ซึ่งการวิเคราะห์ปัญหานี้จะต้องคำนึงถึงปัจจัย ดังนี้

การระบุข้อมูลเข้า (Input Specification) กำหนดว่ามีข้อมูลใดบ้างที่ต้องใส่ค่าลงในโปรแกรม เพื่อให้โปรแกรมประมวลผลและแสดงค่าออกมาเป็นผลลัพธ์

การระบุข้อมูลออก (Output Specification) กำหนดว่างานที่ต้องทำมีเป้าหมายใดและผลลัพธ์มีลักษณะอย่างไร โดยในส่วนนี้จะต้องคำนึงถึงผู้ใช้งานโปรแกรมเป็นหลัก

การกำหนดวิธีการประมวลผล (Process Specification) กำหนดวิธีการประมวลผลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ

- ข้อมูลทั่วไปของไดอัลเกจ
- การตรวจสอบสภาพทั่วไป
- ผลการวัดจาก U-Wave
- เวลาและความชื้นสัมพัทธ์
- ชื่อผู้ทำการสอบเทียบ
- คำนวณค่าความสามารถในการวัดซ้ำ
- ตารางแสดงการคำนวณค่าความไม่แน่นอนขยาย
- คำนวณค่าความผิดพลาดที่ได้จากการวัด
- ใบรับรองผลการสอบเทียบ
- กราฟแสดงการเบี่ยงเบนของค่าความผิดพลาด

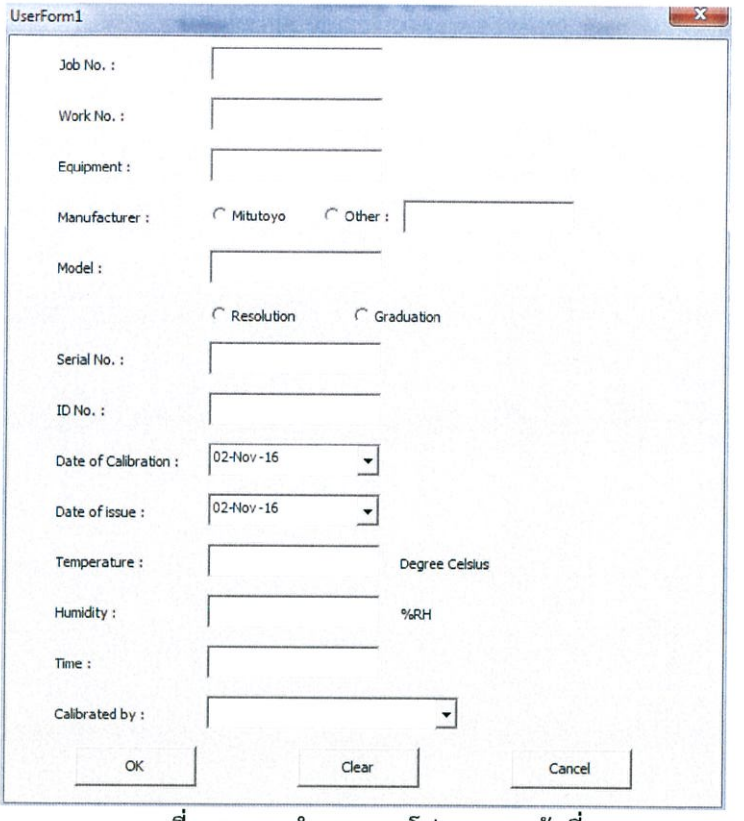


ภาพที่ 3.4 ขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหา

3.3 การทำงานของโปรแกรม

เมื่อเปิดใช้โปรแกรมบันทึกและประมวลการสอบเทียบไดอัลเกจขึ้นมา ในหน้าที่ 1 นั้นจะเป็นการกรอกข้อมูลเบื้องต้นของไดอัลเกจที่ต้องการสอบเทียบ ได้แก่

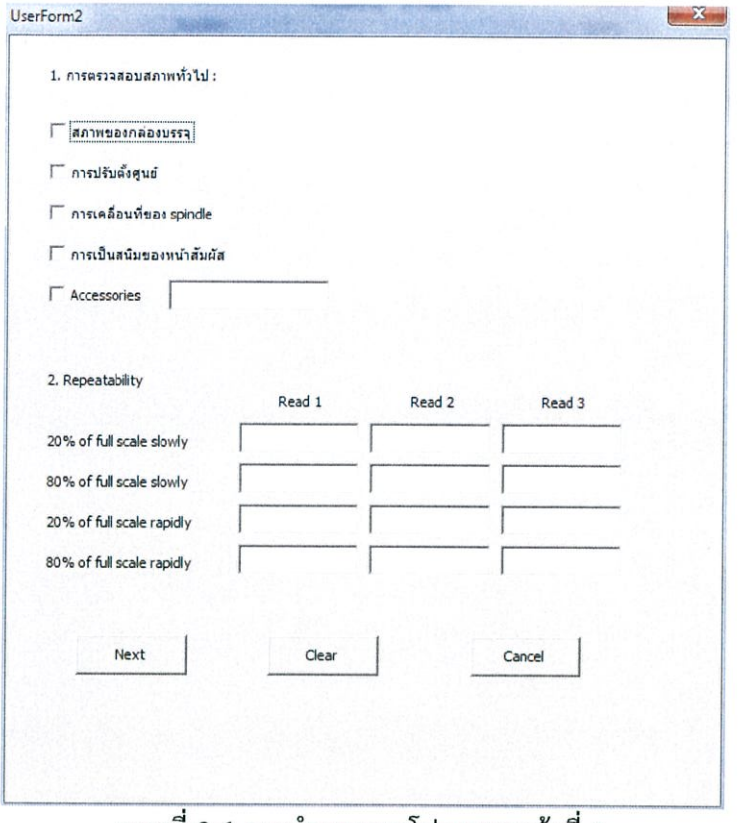
Job No.	หมายเลขระบุการรับงานจากภายนอก
Work No.	หมายเลขระบุการปฏิบัติงาน
Equipment	เครื่องมือจะทำการสอบเทียบ
Brand	ยี่ห้อ โดยทางบริษัท สุมิพล คอร์ปอเรชั่น จำกัด จะรับเครื่องมือสอบยี่ห้อมิตูโตโย (Mitutoyo) เป็นหลัก ทั้งนี้ผู้ใช้งานสามารถเลือกยี่ห้อ Mitutoyo หรือหากไม่ใช่ยี่ห้อนี้ให้เลือกที่ Other และกรอกยี่ห้อนั้นๆ
Type / model	รุ่น
Serial No.	หมายเลขระบุตัวเครื่องมือ
ID No.	หมายเลขอ้างอิงเครื่องมือภายในของลูกค้า
Date of calibration	วันที่ทำการสอบเทียบ
Date of Issue	วันที่รับงาน
Temperature	อุณหภูมิในห้องสอบเทียบ ณ เวลานั้นๆ
Humidity	ความชื้นสัมพันธ์ในห้องสอบเทียบ ณ เวลานั้นๆ
Time	เวลาที่กำลังทำการสอบเทียบ
Calibrated by	ผู้ที่ทำการสอบเทียบ ซึ่งต้องเลือกจากรายชื่อพนักงานที่สามารถสอบเทียบไดอัลเกจได้



ภาพที่ 3.5 การทำงานของโปรแกรมหน้าที่ 1

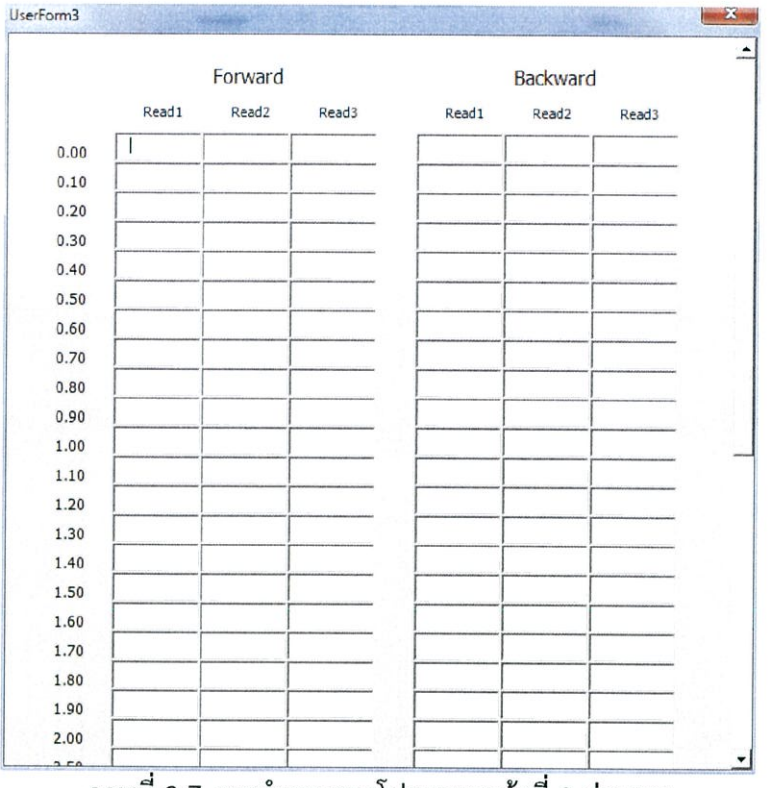
หากกรอกข้อมูลในหน้าที่ 1 ครบถ้วนแล้วให้คลิกปุ่ม OK เพื่อบันทึกข้อมูลที่กรอกนั้นลงใน Excel Sheet

เมื่อเข้าสู่หน้าที่ 2 ของโปรแกรมนั้นจะพบกับ 2 เมนู เมนูแรกจะเป็นการตรวจสอบสภาพทั่วไปของไดอัลเกจ ได้แก่ การตรวจสอบสภาพของกล่องบรรจุ การปรับตั้งศูนย์ การเคลื่อนที่ของแกนวัด การเป็นสนิมของหน้าสัมผัส และอุปกรณ์เสริมต่างๆ ในเมนูถัดมาจะเป็นช่องบันทึกผลการวัดซ้ำ โดยวัดความสามารถในการทำซ้ำประมาณ 20% ของพิสัยการวัดมากที่สุดของการเคลื่อนที่แบบช้า (Slow) และแบบเร็ว (Rapidly) ของไดอัลเกจ และประมาณ 80% แบบช้าและเร็ว ตามลำดับ

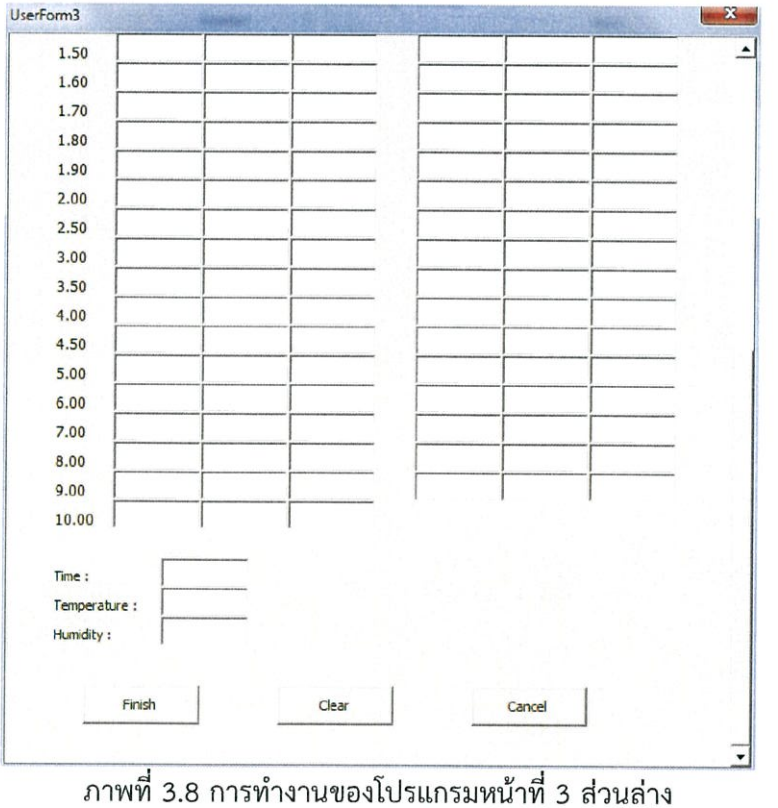


ภาพที่ 3.6 การทำงานของโปรแกรมหน้าที่ 2

เมื่อเข้าสู่หน้าที่ 3 ของโปรแกรมจะพบกับจุดวัดทั้ง 32 จุดวัดของการสอบเทียบไดอัลเกจ พิสัย (Range) 0 mm - 10 mm. ซึ่งเป็นการสอบเทียบความถูกต้องของสเกลของไดอัลเกจ โดยจะสอบเทียบตามจุดวัดที่กำหนดไว้ตามมาตรฐาน JIS B7503 หลังจากสอบเทียบเสร็จแล้วให้กรอกเวลา อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์



ภาพที่ 3.7 การทำงานของโปรแกรมหน้าที่ 3 ส่วนบน



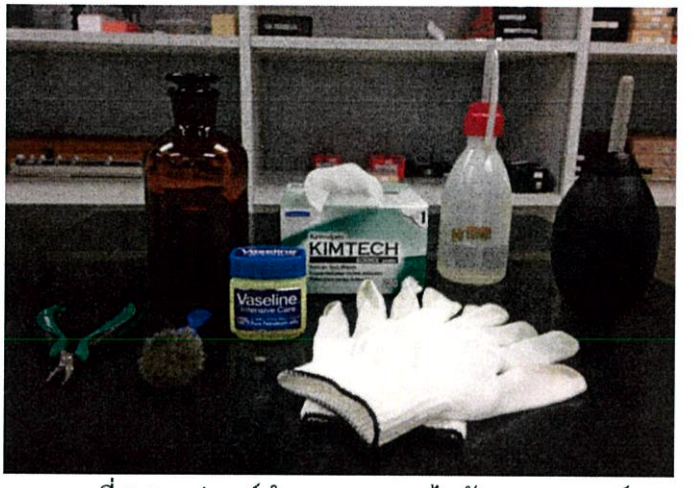
ภาพที่ 3.8 การทำงานของโปรแกรมหน้าที่ 3 ส่วนล่าง

3.4 การสอบเทียบไดอัลเกจด้วยไดอัลเกจเทสเตอร์

3.4.1 การเตรียมไดอัลเกจ

1. ทำความสะอาดไดอัลเกจด้วยแอลกอฮอล์, กระดาษ และหนังชามัวร์

หมายเหตุ : ถุงมือพลาสติก, ถุงมือผ้า ใช้ในขั้นตอนการทำความสะอาด



ภาพที่ 3.9 อุปกรณ์ทำความสะอาดไดอัลเกจเทสเตอร์

3.4.2 ตรวจสอบลักษณะโดยทั่วไป

1. ตรวจสอบบริเวณจุดสัมผัสมีรอยแตกร้าวหรือไม่
2. ขีดของหน้าปัดต้องชัดเจนไม่ถูกลบหรือมีรอยขีดข่วน

3.4.3 การเตรียมโปรแกรมบันทึกผลการสอบเทียบ

1. เลือกแบบฟอร์มบันทึกผลการสอบเทียบไดอัลเกจ

3.4.4 การเตรียมไดอัลเกจเทสเตอร์

ภาพที่ 3.10 ไดอัลเกจเทสเตอร์, U-Wave-T และ U-Wave-R

1. ตรวจสอบวันหมดอายุ (Due date) ของไดอัลเกจเทสเตอร์
2. ทำความสะอาดไดอัลเกจเทสเตอร์ด้วยแอลกอฮอล์, กระดาษ และหนังชามัวร์

หมายเหตุ: ถุงมือพลาสติก, ถุงมือผ้า ใช้ในขั้นตอนการทำความสะอาด

3. บันทึกรายละเอียดของไดอัลเกจเทสเตอร์ลงในแบบฟอร์ม
4. หลังการใช้งาน และ/หรือ การสอบเทียบ จะต้องทำความสะอาดไดอัลเกจเทสเตอร์ด้วยแอลกอฮอล์ กระดาษ และเคลือบด้วยน้ำมัน แล้วควรเก็บในกล่องหรือในที่ที่เหมาะสม

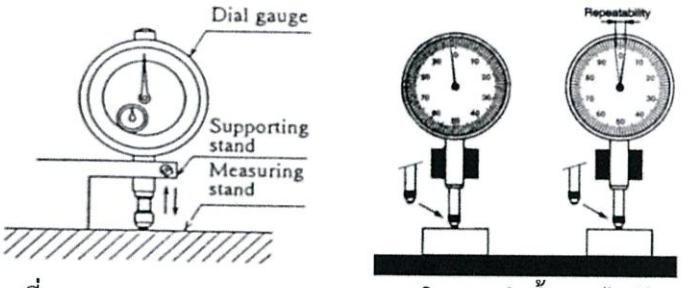
3.5 การสอบเทียบไดอัลเกจ

3.5.1 การสอบเทียบไดอัลเกจ

การสอบเทียบไดอัลเกจโดยใช้ไดอัลเกจเทสเตอร์ แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ

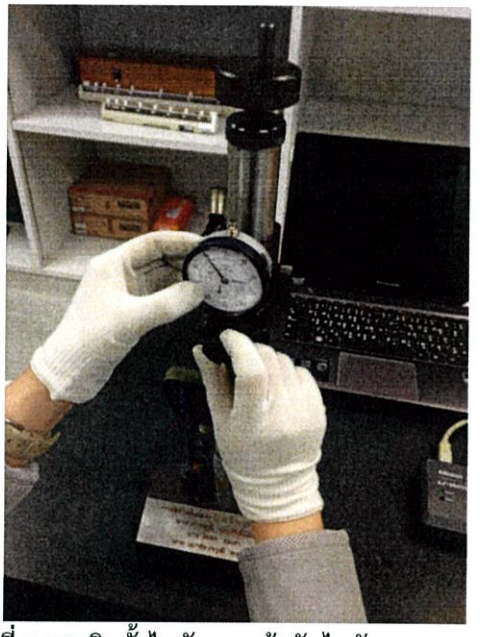
1. การตรวจสอบความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability)
2. การสอบเทียบความถูกต้องของสเกลของไดอัลเกจ

3.5.2 ตรวจสอบความสามารถในการทำซ้ำ



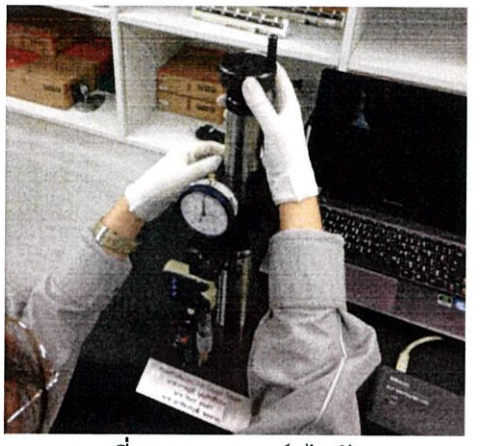
ภาพที่ 3.11 การตรวจสอบความสามารถในการทำซ้ำของไดอัลเกจ

1. เชื่อมต่ออุปกรณ์U-Wave-R และ U-Wave-T และติดตั้งไดอัลเกจเข้ากับไดอัลเกจเทสเตอร์ปรับตั้งศูนย์ที่ไดอัลเกจที่ 12 นาฬิกา



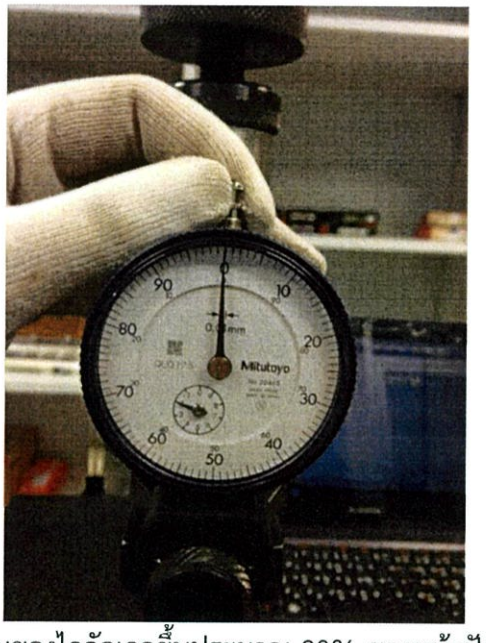
ภาพที่ 3.12 ติดตั้งไดอัลเกจเข้ากับไดอัลเกจเทสเตอร์

2. ทำการวอร์มไดอัลเกจโดยทำการปรับไดอัลเกจเทสเตอร์อย่างช้า ๆ ทั้งไปข้างหน้า และย้อนหลัง จนเต็มสเกลและปรับตั้งศูนย์ที่ไดอัลเกจที่ 12 นาฬิกา



ภาพที่ 3.13 การวอร์มไดอัลเกจ

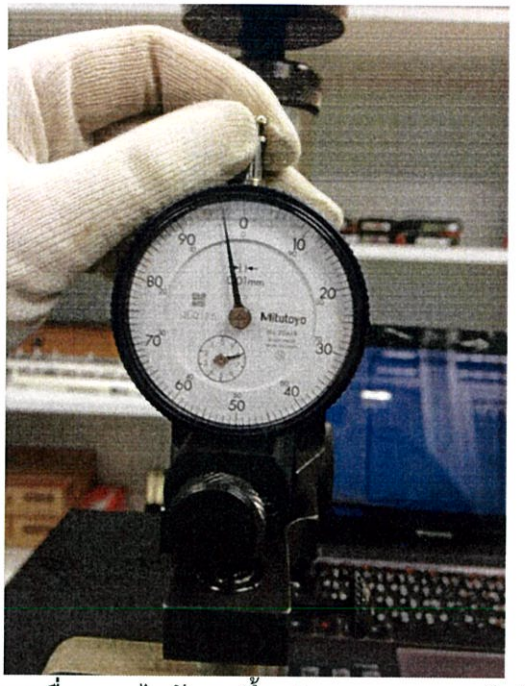
3. เลื่อนแกนเลื่อนของไดอัลเกจขึ้นประมาณ 20% ของหน้าปัดอย่างช้า ๆ และปล่อยแกนเลื่อนของไดอัลเกจลงอย่างช้า ๆ จนกระทั่งหัววัดสัมผัสกับพื้น อ่านค่าที่ไดอัลเกจและกดปุ่ม U-Wave-T เพื่อบันทึกผล



ภาพที่ 3.14 เลื่อนแกนเลื่อนของไดอัลเกจขึ้นประมาณ 20% ของหน้าปัดสเกลอย่างช้า ๆ

4. ทำซ้ำข้อ 3 อีก 2 ครั้ง

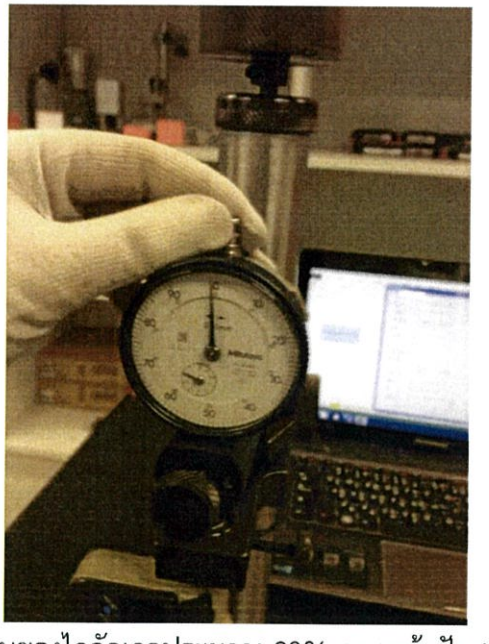
5. เลื่อนแกนเลื่อนของไดอัลเกจขึ้นประมาณ 80% ของหน้าปัดสเกลอย่างช้า ๆ และปล่อยแกนเลื่อนของไดอัลเกจลงอย่างช้า ๆ จนกระทั่งจุดวัดสัมผัสกับพื้น อ่านค่าที่ไดอัลเกจ และกดปุ่ม U-Wave-T เพื่อบันทึกผล



ภาพที่ 3.15 เลื่อนแกนเลื่อนของไดอัลเกจขึ้น ประมาณ 80% หน้าปัดสเกลอย่างช้า ๆ

6. ทำซ้ำข้อ 5 อีก 2 ครั้ง

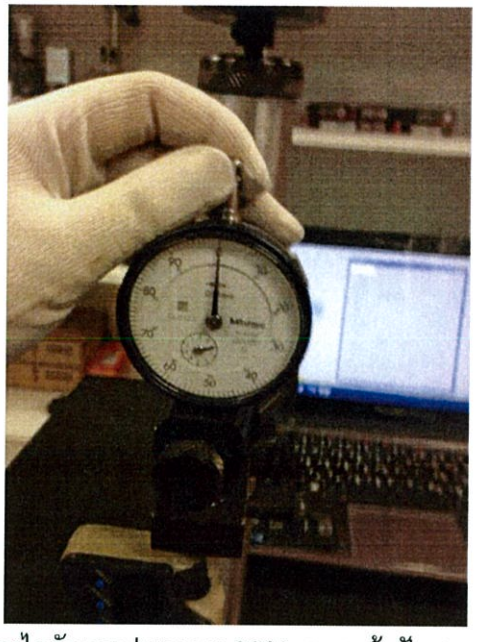
7. เลื่อนแกนเลื่อนของไดอัลเกจประมาณ 20% ของหน้าปัดสเกลอย่างรวดเร็ว และปล่อยแกนเลื่อนของไดอัลเกจอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งหัววัดสัมผัสกับพื้น อ่านค่าที่ไดอัลเกจและกดปุ่ม U-Wave-T เพื่อบันทึกผล



ภาพที่ 3.16 เลื่อนแกนเลื่อนของไดอัลเกจประมาณ 20% ของหน้าปัดสเกลอย่างรวดเร็ว

8. ทำซ้ำข้อ 7 อีก 2 ครั้ง

9. เลื่อนแกนเลื่อนของไดอัลเกจประมาณ 80% ของหน้าปัดสเกลอย่างรวดเร็วและปล่อยแกนเลื่อนของไดอัลเกจอย่างรวดเร็วจนกระทั่งหัววัดสัมผัสกับพื้น อ่านค่าที่ไดอัลเกจและกดปุ่ม U-Wave-T เพื่อบันทึกผล



ภาพที่ 3.17 เลื่อนแกนเลื่อนของไดอัลเกจประมาณ 80% ของหน้าปัดสเกลอย่างรวดเร็ว

10. ทำซ้ำข้อ 9 อีก 2 ครั้ง

11. คำนวณหาค่าน้อยที่สุด (Minimum)

12. คำนวณหาค่ามากที่สุด (Maximum)

13 คำนวณหาค่าความสามารถในการทำซ้ำของไดอัลเกจดังสมการที่ (3.1)

$$\text{Repeatability} = \text{Max} - \text{Min} \qquad (3.1)$$

เมื่อ Max = ค่าที่มากที่สุด (slowly, rapidly)

Min = ค่าที่น้อยที่สุด (slowly, rapidly)

ตารางที่ 3.1 (ตัวอย่าง) ตารางบันทึกผลการตรวจสอบความสามารถในการทำซ้ำของไดอัลเกจ

Measuring position (mm)	Readout from dial gauge (mm)						Min (mm)		Max (mm)		Repeatability (mm)	
	Read 1		Read 2		Read 3							
	slowly	Rapidly	slowly	Rapidly	slowly	Rapidly	slowly	Rapidly	slowly	Rapidly	slowly	Rapidly
20 (<20% of full scale)	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
80 >80% of full scale	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.010	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000

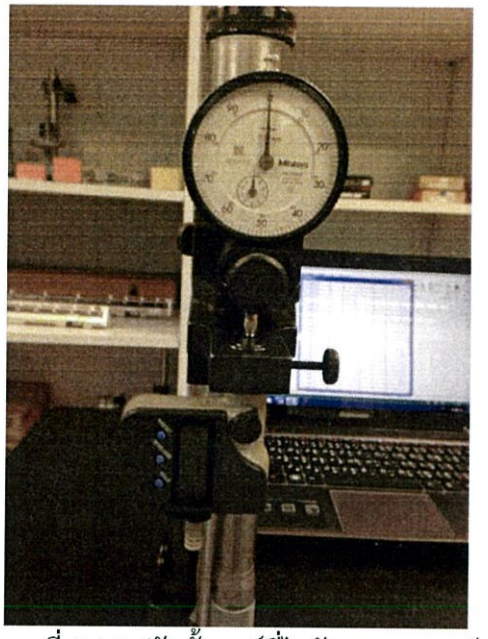
3.6 วิธีการสอบเทียบไดอัลเกจด้วยไดอัลเกจเทสเตอร์

3.6.1 ติดตั้งไดอัลเกจเข้ากับไดอัลเกจเทสเตอร์

1. ติดตั้งไดอัลเกจเข้ากับไดอัลเกจเทสเตอร์

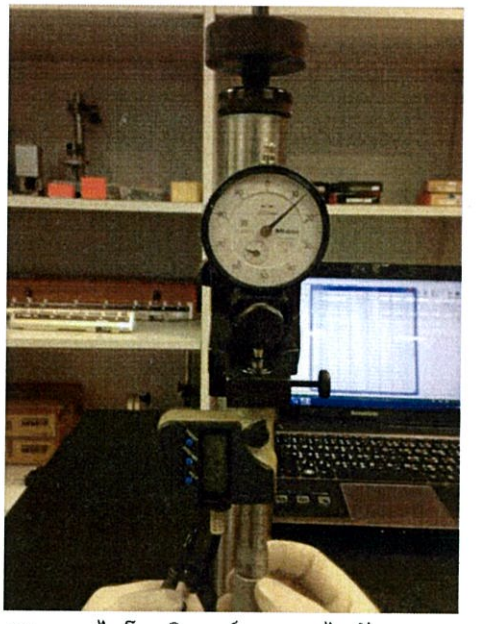
ภาพที่ 3.18 ติดตั้งไดอัลเกจเข้ากับไดอัลเกจเทสเตอร์

2. ปรับตั้งศูนย์ที่ไดอัลเกจเทสเตอร์และปรับตั้งศูนย์ที่ไดอัลเกจอ่านค่าที่ไดอัลเกจเทสเตอร์



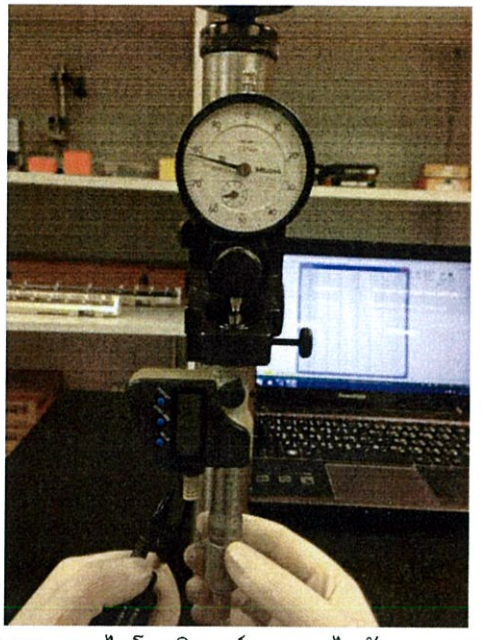
ภาพที่ 3.19 ปรับตั้งศูนย์ที่ไดอัลเกจเทสเตอร์

3. หมุนไมโครเฮดของไดอัลเกจเทสเตอร์ขึ้นโดยเข็มของไดอัลเกจชี้ที่ตำแหน่งตามพิสัยของการวัด อ่านค่าที่ไดอัลเกจเทสเตอร์ และกดปุ่ม U-Wave-T เพื่อบันทึกผล



ภาพที่ 3.20 หมุนไมโครมิเตอร์เฮดของไดอัลเกจเทสเตอร์ขึ้น

4. หมุนไมโครมิเตอร์เฮดของไดอัลเกจเทสเตอร์ลงโดยเข็มของไดอัลเกจชี้ที่ตำแหน่งท้ายสุดตามพิสัยของการวัด อ่านค่าที่ไดอัลเกจเทสเตอร์และกดปุ่ม U-Wave-T เพื่อบันทึกผล



ภาพที่ 3.21 หมุนไมโครมิเตอร์เฮดของไดอัลเกจเทสเตอร์ลง

5. ทำตามข้อที่ 2 ถึง 4 อีก 2 ครั้ง

หมายเหตุ : โปรแกรมจะส่งข้อมูลที่ U-Waveได้บันทึกไว้สู่ Excel เพื่อการคำนวณแบบอัตโนมัติให้ค่าตามข้อ 6 ถึง 9 คำนวณหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$)

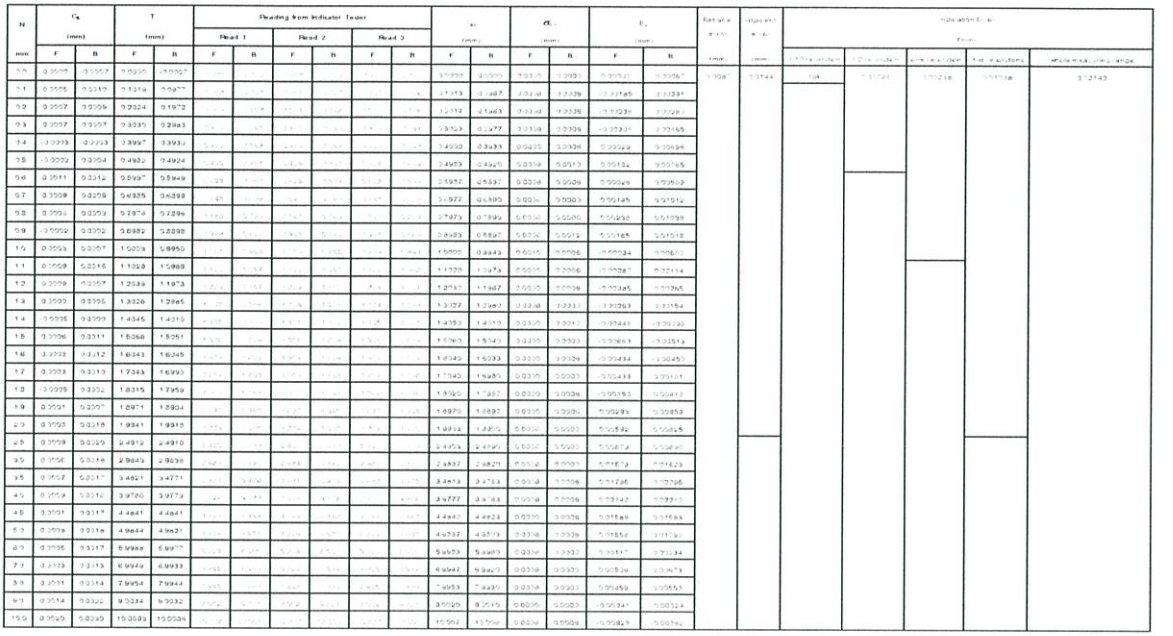
6. คำนวณหาค่าความผิดพลาด (Error, E_x)

7. คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation, σ_{n-1})

8. คำนวณหาค่าความไม่แน่นอน (Uncertainty)

9. คำนวณหาค่า Indication Error

ตารางที่ 3.2 (ตัวอย่าง) บันทึกผลการสอบเทียบและการคำนวณหาค่าความผิดพลาด (Error, E_x) ของDial Indicator พิสัย 0mm -10 mm



หมายเหตุ N : ค่าที่ระบุ (mm)

C_s : ค่าแก้ของ Dial gauge tester

T : ค่าที่ถูกต้องของ Dial Indicator $\overline{X}+C_s$

x_{av} : ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จาก Standard

E_x : ค่าความผิดพลาดของ Dial Indicator

σ_{n-1} : ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (mm)

3.6.2 การคำนวณหาค่าเฉลี่ย

1. การคำนวณหาค่าเฉลี่ย สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.2)

$$\overline{X} = \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{n} \qquad (3.2)$$

เมื่อ x_i : ค่าที่วัดได้ครั้งใด ๆ

n : จำนวนครั้งของการวัด

2. ตัวอย่างที่ 1 จากผลการสอบเทียบตาม Inspection Calibration พิจารณาการคำนวณหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ณ ตำแหน่งการวัดที่ 10 mm ได้ผลดังนี้

$$\overline{X} = \frac{10.008 + 10.007 + 10.007}{3} \text{ mm}$$

$$= 10.00733 \text{ mm}$$

3.6.3 การคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

1. การคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.3)

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \qquad (3.3)$$

เมื่อ x_i : ค่าที่วัดได้ครั้งใด ๆ

$\bar{X}$: ค่าเฉลี่ยของการวัด

n : จำนวนครั้งของการวัด

2. ตัวอย่างที่ 2 จากผลการสอบเทียบตามตารางที่ 3.2 พิจารณาการคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_{n-1}) ณ ตำแหน่งการวัดที่ 10.00 mm ได้ผลดังนี้

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{(10.008 - 10.00733)^2 + (10.007 - 10.00733)^2 + (10.007 - 10.00733)^2}{3-1}} \text{ mm}$$

$$= 0.00058 \text{ mm}$$

3.6.4 การคำนวณหาค่าความผิดพลาด (Error; E_x)

1. การคำนวณหาค่า E_x สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.4)

$$E_x = \text{Unknown Value} - \text{Standard Value} \qquad (3.4)$$

เมื่อ Standard Value : $\bar{X} + C_s$: ค่าที่ถูกต้องของ Standard (ไดอัลเกจเทสเตอร์)

$\bar{X}$: ค่าที่อ่านได้ของ Standard (ไดอัลเกจเทสเตอร์)

C_s : ค่าแก้ (Correction) ของ Standard (ไดอัลเกจเทสเตอร์)

Unknown Value : ค่าที่ระบุ (Nominal Value) ของไดอัลเกจ

2. ตัวอย่างที่ 3 การคำนวณหาค่าความผิดพลาด (E_x) ของการสอบเทียบไดอัลเกจ, พิสัย: 0 mm -10 mm ความละเอียด 0.001 mm ณ. ตำแหน่งการวัดที่ 10 mm ด้วยไดอัลเกจเทสเตอร์มีค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) = 10.00733 mm โดยค่าแก้ของไดอัลเกจเทสเตอร์ จาก Calibration Certificate No.DGT 14-A0819 ณ ตำแหน่ง 10 mm มีค่าแก้ (Correction, C_s) = 0.0019 mm

E_x = Unknown Value - Standard Value

= 10.000 - (10.00733+ (0.0019)mm

= -0.00923 mm

3.7 การสอบเทียบไดอัลเกจโดยใช้เครื่อง i-Checker

ภาพที่ 3.22 แสดงการติดตั้งไดอัลเกจกับ Stand ของเครื่อง i-Checker

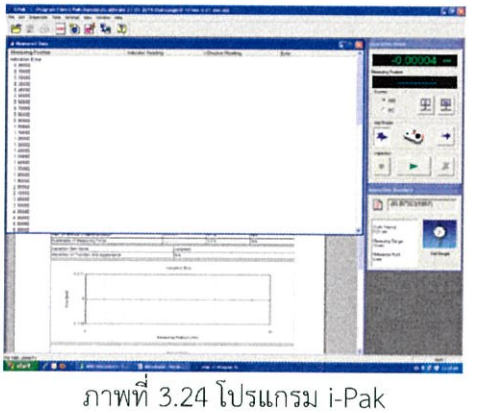
3.7.1 ยกแท่นยึดที่ล็อกติดอยู่กับตัวเครื่อง i-Checker ขึ้นเปิดสวิตซ์เครื่อง i-Checker รอวอร์มเครื่อง 1 นาที

3.7.2 เปิดโปรมแกรม i-Pak

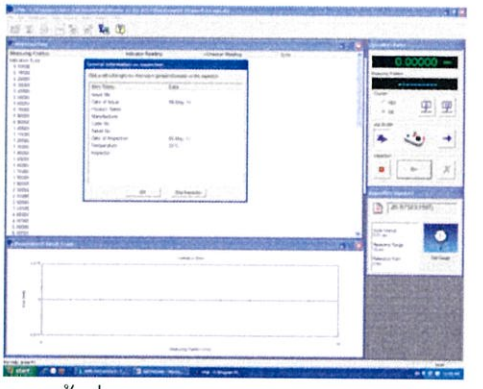
3.7.3 ทำการวอร์มหัววัด (Spindle) ของเครื่อง i-Checker โดยปรับที่ Operation Box (ปุ่ม Jog Dial) เลื่อนให้หัววัดขึ้นไปจนสุดความยาวและลงจนสุดความยาว 2 ครั้งทำการติดตั้งเครื่อง i-Checker กับตัวยึดของเครื่อง i-Checker ดังรูปที่ 3.23 ปรับเลื่อนตัวยึดให้ Contact Point ของไดอัลเกจสัมผัสกับหัววัดของเครื่อง i-Checker ปรับตั้งศูนย์ที่ไดอัลเกจกับเครื่อง i-Checker แล้วทำการวอร์มไดอัลเกจขึ้นไปจนสุดความยาวและลงจนสุดความยาว 2 ครั้งในขณะเดียวกันให้สังเกตว่าเข็มของไดอัลเกจในขณะทำการวอร์มเดินราบเรียบไม่มีการสะดุดของเข็มและเข็มต้องกลับมา ณ ตำแหน่งศูนย์แล้วเริ่มทำการสอบ

ภาพที่ 3.23 การวอร์มหัววัดของเครื่อง i-Checker

3.7.4 ปรากฏ หน้าจอ กด

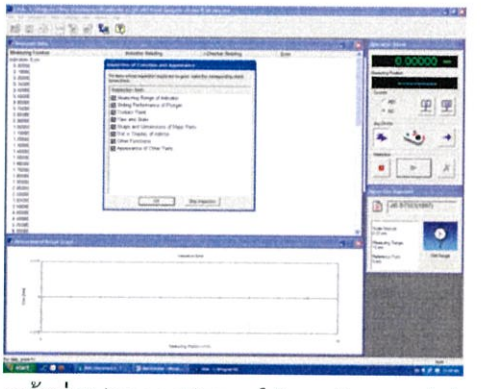

ภาพที่ 3.24 โปรแกรม i-Pak

3.7.5 ปรากฏหน้าต่าง General Information on Inspection ให้ใส่รายละเอียดของเครื่องมือพร้อมอุณหภูมิความชื้นและชื่อผู้สอบเทียบ กด OK



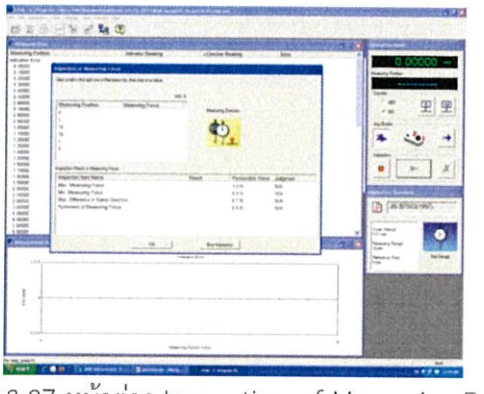
ภาพที่ 3.25 หน้าต่าง General Information on Inspection

3.7.6 ปรากฏหน้าต่าง Inspection of Function and Appearance ตรวจสอบรายละเอียดที่ต้องการให้เครื่องมือทำการ Inspection กด OK



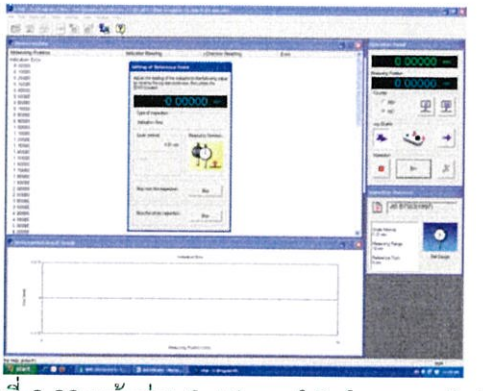
ภาพที่ 3.26 หน้าต่าง Inspection of Function and Appearance

3.7.7 ปรากฏหน้าต่าง Inspection of Measuring Force คลิก OK



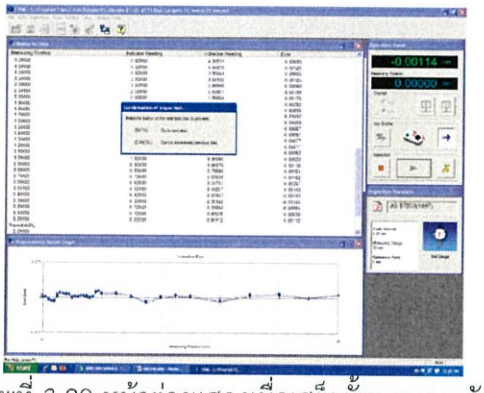
ภาพที่ 3.27 หน้าต่าง Inspection of Measuring Force

3.7.8 ปรากฏหน้าต่าง Setting of Reference Point ให้เช็คจุดเริ่มต้นให้เป็นศูนย์ทั้งไดอัลเกจกับเครื่อง i-Checker กด Job Shuttle แบบช้า กด DATA ที่ Key Paid แล้วเริ่มการวัดตามโปรแกรม



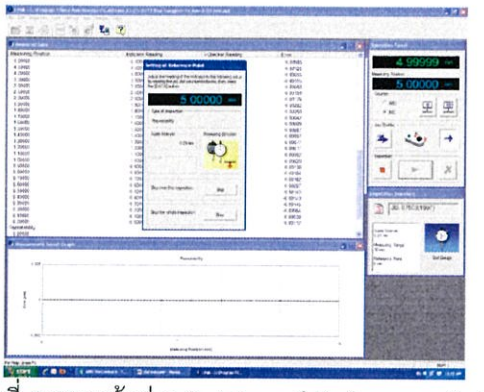
ภาพที่ 3.28 หน้าต่าง Setting of Reference Point

3.7.9 เมื่อเสร็จขั้นตอนการวัดจะปรากฏหน้าจอแสดงผลที่วัดได้



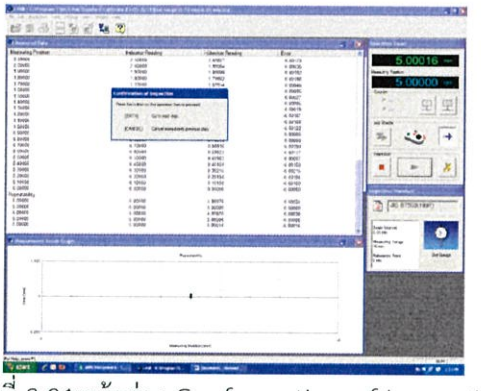
ภาพที่ 3.29 หน้าต่างแสดงเมื่อเสร็จขั้นตอนการวัด

3.7.10 ปรากฏหน้าต่าง Setting of Reference Point กดปุ่ม DATA เพื่อวัดค่า Repeatability โดยกดปุ่ม DATA ไปเรื่อยๆจนจบขั้นตอนการทำ Repeatability



ภาพที่ 3.30 หน้าต่าง Setting of Reference Point

3.7.11 เมื่อเสร็จขั้นตอนการทำ Repeatability จะปรากฏหน้าต่าง Conformation of Inspection กดปุ่ม DATA



ภาพที่ 3.31หน้าต่าง Conformation of Inspection

3.7.12 ทำซ้ำข้อ 3.7.4 ถึง 3.7.11 อีก 2 ครั้ง

3.7.13 คำนวณหาค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$)

3.7.14 คำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน

3.7.15 คำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.7.16 คำนวณหาค่าความไม่แน่นอน

3.7.17 คำนวณหาค่าการทำซ้ำ = ค่าความแตกต่างของค่า Error ที่มากที่สุดเมื่อทำการวัดซ้ำที่จุดเดียวกัน

3.7.18 คำนวณหาค่า Indication Error = ค่าความแตกต่างที่มากที่สุดของด้าน Forward และด้าน Backward

3.7.19 คำนวณหาค่า Retract Error= ค่าความแตกต่างที่มากที่สุด ณ.ตำแหน่งการวัดเดียวกันของด้าน Forward และด้าน Backward

3.7.20 คำนวณหาค่า Adjacent Error= ค่าความแตกต่างของค่า Error ที่มากที่สุดระหว่างจุดสองจุดติดกันด้าน Forward และด้าน Backward ในสองรอบของการวัด (Two Revolutions)

ตารางที่ 3.3 (ตัวอย่าง) บันทึกผลการสอบเทียบและการคำนวณหาค่าความผิดพลาด (Error, E_x) ของ ไดอัลเกจ พิสัย 0mm -80 mm

N	C_s (mm)		T (mm)		Reading from Indicator Tester						X_{av} (mm)		σ_{n-1} (mm)		E_x (mm)		Retrace error (mm)	Adjacent error (mm)	Indication error (mm)				
					Read 1		Read 2		Read 3										1/10 revolution	1/2 revolution	one revolution	two revolutions	hole measuring rang
mm	F	B	F	B	F	B	F	B	F	B	F	B	F	B	F	B	(mm)	(mm)					
0.0	0.00000	0.00010	0.00009	0.00094	0.00000	0.00058	0.00000	0.00116	0.00000	0.00058	0.00000	0.00084	0.00000	0.00045	0.00000	-0.00094	0.00132	0.00116	N.A	0.00094	0.00094	0.00094	0.00142
0.1	0.00000	0.00000	0.09939	0.10040	0.09976	0.10079	0.09932	0.10090	0.09932	0.10010	0.09930	0.10049	0.00003	0.00044	0.00070	-0.00040							
0.2	0.00000	0.00000	0.19948	0.20063	0.19941	0.20036	0.19956	0.20100	0.19950	0.20016	0.19948	0.20063	0.00003	0.00038	0.00052	-0.00063							
0.3	0.00000	0.00000	0.30014	0.30051	0.30015	0.30021	0.30005	0.30099	0.30021	0.30033	0.30014	0.30051	0.00008	0.00042	-0.00014	-0.00051							
0.4	0.00000	0.00000	0.39935	0.40050	0.39939	0.40032	0.39947	0.40079	0.39939	0.40033	0.39935	0.40059	0.00014	0.00025	0.00065	-0.00050							
0.5	0.00000	0.00000	0.49969	0.50064	0.49965	0.50039	0.49977	0.50105	0.49965	0.50047	0.49969	0.50064	0.00007	0.00036	0.00031	-0.00064							
0.6	0.00000	0.00000	0.59926	0.60033	0.59923	0.60003	0.59933	0.60077	0.59921	0.60039	0.59926	0.60033	0.00006	0.00039	0.00074	-0.00033							
0.7	0.00000	0.00000	0.69941	0.70067	0.69940	0.70047	0.69943	0.70112	0.69936	0.70058	0.69941	0.70067	0.00006	0.00039	0.00059	-0.00067							
0.8	0.00000	0.00000	0.80051	0.80065	0.80041	0.80036	0.80062	0.80104	0.80048	0.80046	0.80051	0.80065	0.00009	0.00033	-0.00051	-0.00065							
0.9	0.00000	0.00000	0.89962	0.90053	0.89942	0.90026	0.89996	0.90094	0.89948	0.90040	0.89962	0.90053	0.00030	0.00036	0.00038	-0.00052							
1.0	0.00000	0.00000	0.99975	1.00060	0.99963	1.00014	0.99968	1.00092	0.99958	1.00044	0.99975	1.00060	0.00012	0.00028	0.00025	-0.00060							
1.1	0.00000	0.00000	1.09965	1.10097	1.09958	1.09976	1.09966	1.10050	1.09972	1.09994	1.09965	1.10097	0.00007	0.00039	0.00035	-0.00097							
1.2	0.00000	0.00000	1.19916	1.20029	1.19943	1.19999	1.19911	1.20035	1.19919	1.20013	1.19916	1.20029	0.00004	0.00049	0.00084	-0.00029							
1.3	0.00000	0.00000	1.29976	1.30068	1.29973	1.30031	1.29973	1.30127	1.29931	1.30047	1.29976	1.30068	0.00005	0.00051	0.00024	-0.00068							
1.4	0.00000	0.00000	1.39934	1.40034	1.39923	1.40001	1.39951	1.40084	1.39927	1.40019	1.39934	1.40034	0.00015	0.00043	0.00066	-0.00034							
1.5	0.00000	0.00000	1.49864	1.50054	1.49955	1.50057	1.49973	1.50127	1.49963	1.50069	1.49964	1.50054	0.00009	0.00037	0.00036	-0.00054							
1.6	0.00000	0.00000	1.60035	1.60047	1.60033	1.60017	1.60049	1.60089	1.60033	1.60035	1.60035	1.60047	0.00013	0.00037	-0.00035	-0.00047							
1.7	0.00000	0.00000	1.69967	1.70045	1.69942	1.70018	1.69956	1.70088	1.70033	1.70030	1.69967	1.70045	0.00033	0.00037	0.00033	-0.00045							
1.8	0.00000	0.00000	1.80007	1.80051	1.79996	1.80046	1.80032	1.80134	1.80012	1.80064	1.80007	1.80051	0.00009	0.00046	-0.00007	-0.00051							
1.9	0.00000	0.00000	1.89966	1.89995	1.89952	1.89982	1.89972	1.90042	1.89974	1.89982	1.89966	1.89995	0.00012	0.00042	0.00034	0.00005							
2.0	0.00000	0.00000	1.99940	2.00039	1.99926	2.00010	1.99944	2.00046	1.99950	2.00020	1.99940	2.00039	0.00012	0.00041	0.00060	-0.00039							
2.5	0.00000	0.00000	2.49943	2.50036	2.49933	2.50009	2.49951	2.50083	2.49947	2.50013	2.49943	2.50036	0.00011	0.00041	0.00057	-0.00036							
3.0	0.00000	0.00000	2.99947	3.00031	2.99933	3.00002	2.99954	3.00076	2.99951	3.00016	2.99947	3.00031	0.00012	0.00039	0.00053	-0.00031							
3.5	0.00000	0.00000	3.49989	3.50008	3.49972	3.49989	3.49978	3.50054	3.49990	3.49999	3.49988	3.50008	0.00009	0.00040	0.00020	-0.00008							
4.0	0.00000	0.00000	4.00038	4.00050	4.00027	4.00029	4.00037	4.00095	4.00051	4.00027	4.00038	4.00050	0.00012	0.00039	-0.00038	-0.00050							
4.5	0.00000	0.00000	4.49978	4.50051	4.49974	4.50018	4.49970	4.50100	4.49990	4.50034	4.49978	4.50051	0.00011	0.00043	0.00022	-0.00051							
5.0	0.00000	0.00000	4.99987	5.00070	4.99981	5.00037	4.99976	5.00125	5.00001	5.00047	4.99987	5.00070	0.00012	0.00048	0.00013	-0.00070							
6.0	0.00000	0.00000	5.99937	6.00041	5.99924	6.00014	5.99942	6.00092	5.99944	6.00016	5.99937	6.00041	0.00011	0.00044	0.00063	-0.00041							
7.0	0.00000	0.00000	6.99942	7.00039	6.99928	7.00004	6.99952	7.00088	6.99946	7.00026	6.99942	7.00039	0.00012	0.00044	0.00058	-0.00039							
8.0	0.00000	0.00000	8.00046	8.00064	8.00033	8.00035	8.00059	8.00113	8.00047	8.00043	8.00046	8.00064	0.00013	0.00043	-0.00046	-0.00064							
9.0	0.00000	0.00000	9.00098	9.00192	9.00099	9.00069	9.00117	9.00151	9.00093	9.00083	9.00098	9.00192	0.00008	0.00043	-0.00098	-0.00192							
10.0	0.00000	0.00000	9.99987	10.00083	9.99974	10.00052	9.99956	10.00132	10.00002	10.00056	9.99987	10.00083	0.00014	0.00043	0.00013	-0.00083							
15.0	0.00000	0.00000	14.99947	15.00055	14.99926	15.00020	14.99960	15.00104	14.99956	15.00042	14.99947	15.00055	0.00019	0.00044	0.00053	-0.00055							
20.0	-0.00010	-0.00010	20.00044	20.00058	20.00027	20.00033	20.00073	20.00123	20.00035	20.00045	20.00054	20.00068	0.00025	0.00048	-0.00044	-0.00058							
25.0	-0.00010	-0.00010	24.99953	25.00036	24.99940	25.00014	24.99992	25.00100	24.99956	25.00024	24.99963	25.00046	0.00027	0.00047	0.00047	-0.00036							
30.0	0.00000	0.00010	29.99941	30.00072	29.99930	30.00030	29.99960	30.00116	29.99943	30.00044	29.99941	30.00063	0.00020	0.00046	0.00059	-0.00073							
35.0	0.00000	0.00010	34.99893	35.00074	34.99864	34.99976	34.99920	35.00056	34.99891	35.00010	34.99893	35.00014	0.00028	0.00040	0.00107	-0.00074							
40.0	0.00010	0.00020	40.00000	40.00044	39.99961	39.99993	40.00019	40.00069	39.99991	40.00009	39.99999	40.00024	0.00029	0.00040	0.00000	-0.00044							
45.0	0.00010	0.00020	44.99924	44.99994	44.99933	44.99939	44.99943	45.00027	44.99919	44.99961	44.99914	44.99974	0.00031	0.00033	0.00076	0.00006							
50.0	0.00000	0.00010	49.99878	49.99888	49.99839	49.99839	49.99901	49.99957	49.99837	49.99837	49.99878	49.99878	0.00035	0.00035	0.00122	0.00112							
55.0	0.00010	0.00020	54.99962	54.99982	55.00016	55.00036	54.99902	54.99916	54.99918	54.99934	54.99952	54.99962	0.00073	0.00065	0.00038	0.00018							
60.0	0.00010	0.00020	59.99949	59.99959	60.00013	60.00032	59.99901	59.99891	59.99913	59.99917	59.99939	59.99959	0.00065	0.00065	0.00051	0.00041							
65.0	0.00000	-0.00010	65.00020	65.00018	65.00014	65.00022	65.00018	65.00010	65.00027	65.00032	65.00029	65.00028	0.00007	0.00005	-0.00029	-0.00018							
70.0	0.00000	-0.00010	70.00024	70.00027	70.00018	70.00049	70.00035	70.00035	70.00024	70.00036	70.00024	70.00037	0.00008	0.00003	-0.00024	-0.00027							
75.0	-0.00010	-0.00020	74.99868	74.99858	74.99819	74.99810	74.99901	74.99907	74.99867	74.99837	74.99878	74.99878	0.00025	0.00035	0.00132	0.00142							
80.0	-0.00010		80.00028		80.00033		80.00042		80.00038		80.00038		0.00005		-0.00028								

หมายเหตุ : N : ค่าที่ระบุ mm

C_s : ค่าแก้ของ Indicator Tester

T : ค่าที่ถูกต้องของ Indicator Tester $\overline{X}+C_s$

x_{av} : ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้จาก Standard

E_x : ค่าความผิดพลาดของไดอัลเกจ

σ_{n-1} : ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน mm

6. การคำนวณหาค่าเฉลี่ย

การคำนวณหาค่าเฉลี่ย สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.2)

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{n} \quad (3.2)$$

เมื่อ x_i : ค่าที่วัดได้ครั้งใด ๆ

n : จำนวนครั้งของการวัด

ตัวอย่างที่ 1 จากผลการสอบเทียบตามตารางที่ 3.3 พิจารณาการคำนวณหาค่าเฉลี่ย ($\bar{X}$) ณ ตำแหน่งการวัดที่ 80 mm ได้ผลดังนี้

$$\bar{X} = \frac{80.00033 + 80.00042 + 80.00038}{3} \text{ mm}$$

$$= 80.00038 \text{ mm}$$

7. การคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)

การคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.3)

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3.3)$$

เมื่อ x_i : ค่าที่วัดได้ครั้งใด ๆ

$\bar{X}$: ค่าเฉลี่ยของการวัด

n : จำนวนครั้งของการวัด

ตัวอย่างที่ 2 จากผลการสอบเทียบตามตารางที่ 3.3 พิจารณาการคำนวณหาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_{n-1}) ณ ตำแหน่งการวัดที่ 80.00 mm ได้ผลดังนี้

$$\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{(80.00033 - 80.00038)^2 + (80.00042 - 80.00038)^2 + (80.00038 - 80.00038)^2}{3-1}} \text{ mm}$$

$$= 0.000045 \text{ mm}$$

$$= 0.00005 \text{ mm}$$

8. การคำนวณหาค่าความผิดพลาด(Error; E_x)

การคำนวณหาค่าE_xสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (4)

E_x = Unknown value- Standard value (4)

เมื่อ Standard value = $\overline{X} + C_s$: ค่าที่ถูกต้องของ Standard (Dial Gage Tester /Calibration Tester /Indicator Tester)

$\overline{X}$: ค่าที่อ่านได้ของ Standard (Dial Gage Tester /Calibration Tester /Indicator Tester)

C_s : ค่าแก้ (Correction) ของ Standard (Dial Gage Tester /Calibration Tester /Indicator Tester)

Unknown value : ค่าที่ระบุ (Nominal value) ของ Dial Indicator

ตัวอย่างที่ 3 การคำนวณหาค่าความผิดพลาด (E_x) ของการสอบเทียบDial Indicator, พิสัย: 0 mm -80 mm ความละเอียด 0.001 mm ณ. ตำแหน่งการวัดที่ 80 mmด้วย Indicator Tester มีค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) = 80.00038 mm โดยค่าแก้ของ Indicator Tester จาก Calibration Certificate No.DF-0052-14 ณ ตำแหน่ง 80 mm มีค่าแก้ (Correction, C_s) = -0.1 μm

E_x = Unknown value - Standard value

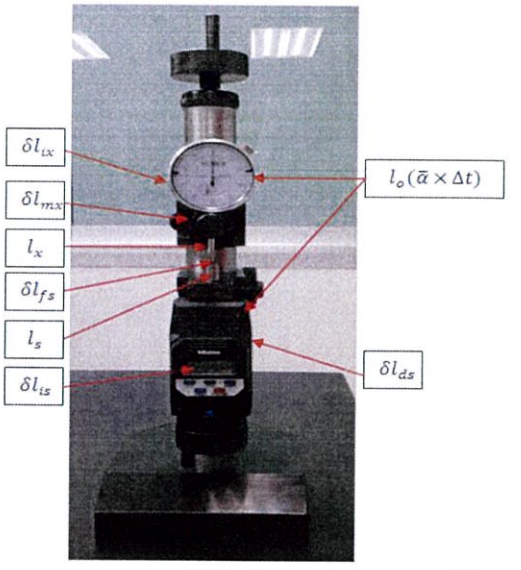
= 80.000- (80.00038+(-0.00010))mm

= -0.00028 mm

-

3.8 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบไดอัลเกจ

1. การประเมินค่าความไม่แน่นอนสำหรับการสอบเทียบไดอัลเกจสามารถเขียนสมการความสัมพันธ์ของค่าความผิดพลาดของ Dial Indicator และสาเหตุที่ทำให้ผลการวัดเกิดความไม่แน่นอน ดังสมการที่ (3.5)



ภาพที่ 3.32 แสดงสาเหตุของความไม่แน่นอนของการสอบเทียบ Dial Indicator

Error = Unknown Value - Standard Value

$$E_x = l_x - l_s + [\, l_x\alpha_x t_x - l_s\alpha_s t_s \,] \qquad (3.5)$$

หมายเหตุ : ไม่นำอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในเทอมที่ 3 มาพิจารณาในกรณีนี้ด้วย เนื่องจากห้องปฏิบัติการสอบเทียบฯ สามารถควบคุมอุณหภูมิห้องระหว่างทำการสอบเทียบอยู่ที่ (20±2) °C หรือ เรียกว่าอุณหภูมิห้องมีความเสถียร ทำให้ผลต่างของความยาวระหว่าง Dial Gage Tester กับ Dial Indicator น้อยมาก

$$\therefore \quad E_x = l_x - l_s$$

2. สาเหตุของความไม่แน่นอนของการสอบเทียบ Dial Indicator แสดงดังสมการ (3.6)

$$E_x = l_x - l_s - \delta l_{ds} + \delta l_{ix} - \delta l_{is} + \delta l_{fs} + (\, l_0 \times \bar{\alpha} \times \Delta t) + \delta l_{mx} \qquad (3.6)$$

เมื่อ l_x : ความยาวของไดอัลเกจ

l_s : ความยาวของไดอัลเกจเทสเตอร์

δl_{ds} : ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความคงตัวของไดอัลเกจเทสเตอร์

δl_{is} : ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดของไดอัลเกจเทสเตอร์

δl_{ix} : ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดของไดอัลเกจ

δl_{fs} : ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความเรียบของผิวหน้าสัมผัสของไดอัลเกจเทสเตอร์

l_0 : ความยาวที่ระบุ

$\bar{\alpha} = \dfrac{\alpha_s + \alpha_x}{2}$: ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การขยายตัว (α) ของโลหะระหว่างไดอัลเกจเทสเตอร์ และไดอัลเกจ

Δt : ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของอุหภูมิห้อง = 2 °C

δ_{mx} : ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากระบบโครงสร้างเช่น ความฉาก (Squareness) ของการติดตั้งไดอัลเดจเข้ากับ Holder ของ (Dial Gage Tester) เป็นต้น

3.8.1 การประเมินค่าความไม่แน่นอนชนิด A, $u(l_x)$ [6]

1. การประเมินค่าความไม่แน่นอนสำหรับการสอบเทียบไดอัลเกจพิสัย (Range) 0 mm -10 mm ความละเอียด 0.001 mm ณ. ตำแหน่งการวัดที่ 10 mm โดยใช้ ไดอัลเกจเทสเตอร์ พิสัย (Range) 0 mm - 25 mm ความละเอียด 0.001mm จากผลการสอบเทียบไดอัลเกจจากตาราง ที่ 3 สามารถคำนวณค่าความไม่แน่นอนชนิด A ได้ดังสมการที่ (3.7)

$$u(lx) = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} \qquad (3.7)$$

เมื่อ n : จำนวนครั้งของการวัด (n=3)

σ_{n-1} : ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Maximum Standard Deviation) ที่มากที่สุดระหว่างทิศทางด้าน Forward และ ด้าน Backward

แทนค่าในสมการ

$$= \frac{0.00058}{\sqrt{3}} \text{ mm}$$

$$= 0.000334863 \text{ mm}$$

$$= 0.00033 \text{ mm}$$

3.8.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอน Type B [6]

1. การประเมินค่าความไม่แน่นอนที่เกิดจากตัวมาตรฐาน (Standard); $u(l_s)$ พิจารณาค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบอัลเกจที่พิสัย 0 mm -10 mm โดยใช้ Indicator Tester ขนาด 10.00 mm จากใบ Certificate No. DGT 14-A0819 มีค่า Correction = 0.0019 mm และค่าความไม่แน่นอนเท่ากับ ± 0.002 mm ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % และมีค่า Coverage k factor = 2.00 ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากไดอัลเกจเทสเตอร์คือ

2. การคำนวณหาค่าที่ถูกต้องของไดอัลเกจเทสเตอร์

$$T = \bar{X} + C_s \qquad (3.8)$$

$$= 10.00733 + 0.0019 \text{ mm}$$

$$= 10.00923 \text{ mm}$$

เมื่อ T : ค่าที่ถูกต้องของไดอัลเกจเทสเตอร์

$\bar{X}$: ค่าเฉลี่ยที่อ่านได้ของไดอัลเกจเทสเตอร์

C_s : ค่าแก้ (Correction) ของ ไดอัลเกจเทสเตอร์

3.8.3 การคำนวณหาค่าความไม่แน่นอนของไดอัลเกจเทสเตอร์; u (l_s)

$$u(l_s) = \frac{Expanded\ Uncertainty}{k} \qquad (3.9)$$

$$= \frac{0.002}{2}\ \text{mm}$$

$$= 0.001\ \text{mm}$$

$$= 0.001\ \text{mm}$$

3.8.4 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเลื่อนค่าของตัวมาตรฐาน; u(δl_{ds})

การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเลื่อนค่า (Drift) ของไดอัลเกจเทสเตอร์ ได้จากการส่งเครื่องมือไปสอบเทียบ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

1. ในกรณีที่มีประวัติการสอบเทียบครั้งแรกไม่รู้ค่าการเลื่อนค่าจะมี Distribution แบบ Rectangular ซึ่งจะมีค่าการเลื่อนไหลของ Standard เท่ากับ Imported Uncertainty และ Divisor = $\sqrt{3}$

$$u(\delta l_{ds}) = \frac{Expanded\ Uncertainty}{\sqrt{3}} \qquad (3.10)$$

$$= \frac{0.002}{\sqrt{3}}\ \text{mm}$$

$$= 0.0011547\ \text{mm}$$

2. กรณีที่มีประวัติการสอบเทียบมากกว่า 3 ครั้งมี Distribution แบบ Rectangular ซึ่งจะได้ค่าการเลื่อนค่าของ Standard เท่ากับการเลื่อนค่าปีล่าสุด – การเลื่อนค่าของปีก่อนหน้า และ Divisor = $\sqrt{3}$

$$u(\delta l_{ds}) = \frac{\Delta l_{max}}{\sqrt{3}} \qquad (3.11)$$

3. กรณีมีประวัติการสอบเทียบของ Standard และมีค่าการเลื่อนค่าของ Standard มีค่าน้อยมากเกือบเป็นศูนย์ค่าการเลื่อนค่าของ Standard อาจกำหนดจาก Imported Uncertainty ที่ 1σ และกำหนดการกระจายแบบ Triangular Divisor = $\sqrt{6}$ ตามเอกสารอ้างอิง M3003

3.8.5 ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดของเครื่องมือมาตรฐาน; u(δl_{is})

1. พิจารณาค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดของไดอัลเกจเทสเตอร์มีลักษณะการอ่านเป็นแบบดิจิตอลมีความละเอียด 0.001 mm กำหนดให้ลักษณะของการกระจายเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Semi-range) ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดสามารถคำนวณได้ดังสมการ (3.12)

$$u(\delta l_{is}) = \frac{Resolution/2}{\sqrt{3}} \qquad (3.12)$$

$$= \frac{0.001/2}{\sqrt{3}}\ \text{mm}$$

$$= 0.000288675\ \text{mm}$$

2. กรณีค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดของไดอัลเกจเทสเตอร์มีลักษณะการอ่านเป็นแบบสเกล (Graduation) มีความละเอียด 0.001 mm และ 0.0005 mm กำหนดให้ลักษณะของการกระจายเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular) ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$u(\delta l_{is}) = \frac{Readability}{\sqrt{3}} \qquad (3.13)$$

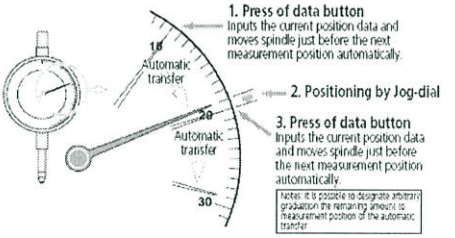
3.8.6 ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดของไดอัลเกจ; $u(\delta l_{ix})$

1. พิจารณาค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบไดอัลเกจที่มีลักษณะการอ่านเป็นแบบดิจิตอลมีความละเอียด 0.0005 mm กำหนดให้ลักษณะของการกระจายเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Semi-range) ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความละเอียดสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.14)

$$u(\delta l_{ix}) = \frac{\text{Resolution}/2}{\sqrt{3}} \qquad (3.14)$$

2. พิจารณาค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบไดอัลเกจที่มีลักษณะการอ่านเป็นแบบสเกลมีความละเอียด 0.01 mm ผู้วัดสามารถอ่านค่าสเกลของไดอัลเกจได้ประมาณ 0.005 mm กำหนดให้ลักษณะของการกระจายเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular) ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความสามารถในการอ่าน คำนวณได้ดังสมการที่ (3.15)

$$\begin{aligned} u(\delta l_{ix}) &= \frac{Readability}{\sqrt{3}} \qquad (3.15) \\ &= \frac{0.005}{\sqrt{3}} \text{ mm} \\ &= 0.002886751 \text{ mm} \end{aligned}$$



ภาพที่ 3-25 แสดงการแบ่งสเกลในการอ่านสเกลของไดอัลเกจ

3.8.7 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ; $u(\bar{\alpha} \times \Delta t)$

1. ในการสอบเทียบไดอัลเกจด้วยไดอัลเกจเทสเตอร์ได้มีการปรับให้อุณหภูมิของไอดัลเกจกับไดอัลเกจเทสเตอร์อยู่ในสภาวะสมดุล โดยเก็บไว้ในห้องที่ควบคุมอุณหภูมิ (20±2)°C เมื่อพิจารณาวัสดุที่ใช้ทำไดอัลเกจ และไดอัลเกจเทสเตอร์โดยทั่วไปแล้วทำจาก Stainless Steel มีค่า

สัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะ (Coefficient of thermal expansion, α) เท่ากับ (11.5±1)×10^{-6} และมีการกระจายตัวแบบสี่เหลี่ยม ดังนั้น

$$u(\bar{\alpha} \times \Delta t) = \frac{l_0 \times (\bar{\alpha} \times \Delta t)}{\sqrt{3}} \quad (3.16)$$

เมื่อ l_0 : ความยาวที่ระบุ

$\bar{\alpha} = \frac{\alpha_s + \alpha_x}{2}$: ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การขยายตัวของโลหะระหว่างไดอัลเกจเทสเตอร์และ Dial Indicator = 11.5 x 10^{-6} $°C^{-1}$

Δt : ค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ของอุณหภูมิห้อง =2 °C

α_x : สัมประสิทธิ์การขยายตัวของไดอัลเกจ

α_s : สัมประสิทธิ์การขยายตัวของไดอัลเกจเทสเตอร์

แทนค่าในสมการ

$$u(\bar{\alpha} \times \Delta t) = \frac{10mm \times (11.5\times10^{-6})\times(2)}{\sqrt{3}}$$

$$= 0.0001328 \text{ mm}$$

3.8.8 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความไม่เรียบของผิวหน้าสัมผัสของ Dial Gage Tester; $u(\delta_{fs})$

1. พิจารณาค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความไม่เรียบของผิวหน้าสัมผัสของไดอัลเกจเทสเตอร์จาก Calibration of Certificate (DGT 14-A0819) ของห้องปฏิบัติการสอบเทียบบริษัทสุมิพล จำกัด มีค่าความเรียบ (Flatness) น้อยกว่า 0.32 μm และมีค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดเท่ากับ 0.21 μm ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% และค่า Coverage *k*-factor = 2 ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากความไม่เรียบของผิวหน้าสัมผัสของไดอัลเกจเทสเตอร์สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.18)

$$u(\delta_{fs}) = \frac{Expanded\ \ Uncertainty}{k} \quad (3.18)$$

$$= \frac{0.21}{2} \text{ μm}$$

$$= 0.105 \text{ μm}$$

$$= 0.000105 \text{ mm}$$

3.8.9 การประเมินค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการติดตั้งของ Dial Indicator; $u(\delta l_{mx})$

1. ในการสอบเทียบไดอัลเกจพิสัย 0 mm -10 mm ด้วย Standard ไดอัลเกจเทสเตอร์มีค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการติดตั้งไดอัลเกจเข้ากับ Holder ของไดอัลเกจเทสเตอร์ เช่น

ความฉาก (Squareness) มีค่าความผิดพลาดเท่ากับ 1 Resolution/Graduation มีการกระจายเป็นแบบสี่เหลี่ยม (Rectangular, $\sqrt{3}$) ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.19)

$$u(\delta l_{mx}) = \frac{\text{Resolution/Graduation}}{\sqrt{3}} \quad (3.19)$$

$$= \frac{0.01}{\sqrt{3}} \text{ mm}$$

$$= 0.005773503 \text{ mm}$$

3.8.10 ค่าความไม่แน่นอนรวม; u_c

ค่าความไม่แน่นอนรวม; (Combine Uncertainty; u_c) เป็นการนำค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากสาเหตุต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้นมารวมกันแบบรากที่สองยกกำลังสอง (Root Mean Square) ดังนั้นค่าความไม่แน่นอนรวม u_c สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.20)

$$u_C = \sqrt{u^2(l_x)+u^2(l_s)+u^2(\delta l_{ds})+u^2(\delta l_{is})+u^2(\delta l_{ix})+u^2(\overline{\alpha}\times\Delta t)+u^2(\delta l_{fs})+u^2(\delta l_{mx})^2} \quad (3.20)$$

$$= \sqrt{(0.0003333)^2+(0.0010000)^2+(0.0011547)^2+(0.0002887)^2+(0.00288675)^2+(0.000105)^2+(0.0057735)^2}$$

$$= 0.0066511 \text{ mm}$$

3.8.11 การคำนวณหาค่าตัวประกอบ (Coverage factor; k) การคำนวณหาค่าตัวประกอบร่วม k

1. จากสมการ Welch-Satterwaite Equation อ้างอิง EA-4/02, Appendix E, สมการ E.1 สามารถคำนวณได้ ดังสมการที่ (3.21)

$$\nu_{eff} = \frac{u_C^4}{\sum_{i=1}^{n}\frac{u_i^4}{\nu_i}} \quad (3.21)$$

$$= \frac{u_C^4}{\frac{u^4(l_x)}{n-1}+\frac{u^4(l_s)}{\infty}+\frac{u^4(\delta l_{ds})}{\infty}+\frac{u^4(\overline{\alpha}\times\Delta t)}{\infty}+\frac{u^4(\delta l_{ix})}{\infty}+\frac{u^4(\delta l_{fs})}{\infty}+\frac{u^4(\delta l_{mx})}{\infty}}$$

$$= \frac{0.006511^4}{\left(\frac{0.0010000^4}{3-1}\right)}$$

$$= \infty$$

$\therefore$ สามารถประมาณค่าตัวประกอบ k จากสมการที่ (3.24) ซึ่ง $\nu_{eff}=\infty$ เมื่อเปรียบเทียบกับค่า ν_{eff} ในตาราง Effective Degree of Freedom พบว่าค่าที่คำนวณได้มีค่าเป็น ∞ จากตาราง E1 ดังนั้นค่าตัวประกอบ k = 2.00

ตารางที่ 3-4 แสดงค่า Factors k สำหรับการหาค่าของ ν_{eff} [4]

ν_{eff}	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
k	13.97	4.53	3.31	2.87	2.65	2.52	2.43	2.37	2.28	2.13	2.05	2

3.8.12 ค่าความไม่แน่นอนขยาย ($U_{95\%}$) [4]

ค่าความไม่แน่นอนขยาย (Expanded Uncertainty; $U_{95\%}$) แสดงดังสมการที่ (3.22)

$$U_{(95\%)} = k \times u_c \quad (3.22)$$

$$= 2 \times 0.0066511 \text{ mm}$$

$$= 0.0133 \text{ mm}$$

$$\therefore U_{repot95\%} \approx 0.013 \text{ mm}$$

ตารางที่ 3-5 แสดงตัวอย่าง Budget Uncertainty ของ Dial Indicator พิสัย 0 mm -10 mm [4]

ปริมาณ/ค่า (Quantity), X_i	แหล่ง/สาเหตุของความไม่แน่นอน Source of uncertainty	ค่าโดยประมาณ Estimate	Standard Uncertainty	ลักษณะการกระจาย Probability distribution	ตัวหาร Divisor	ค่าความไว Sensitivity coefficient, c_i	ค่าความไม่แน่นอนของการวัด Uncertainty Contribution	องศาความเป็นอิสระ n_i or n_{eff}
l_s	ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากการวัดซ้ำ (Repeatability)	80.0000 mm	0.00033 mm	ปกติ (Normal)	1	1	0.000333 mm	2
l_s	ค่าความไม่แน่นอนของ Standard จาก Calibration Certificate	79.99969 mm	0.00200 mm	ปกติ (Normal)	2	1	0.001000 mm	∞
dl_{ds}	ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากค่า Drift/Stability ของ Standard พิจารณาจากประวัติของการสอบเทียบ	0 mm	0.00200 mm	แบบสี่เหลี่ยม (Rectangular)	1.732	1	0.001155 mm	∞
dl_s	ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากค่าความละเอียดของ Standard	0 mm	0.00002 mm	แบบสี่เหลี่ยม (Rectangular)	1.732	1	0.000289 mm	∞
dl_x	ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากค่าความละเอียดของ Unknow	0 mm	0.02000 mm	แบบสี่เหลี่ยม (Rectangular)	1.732	1	0.002886800 mm	∞
Δt	ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ	0 °C	2.00 °C	แบบสี่เหลี่ยม (Rectangular)	1.732	0.000023 mm/°C	0.000132600 mm	∞
dl_{fs}	ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากค่า Flatness ของ Standard	0 mm	0.00021 mm	ปกติ (Normal)	2	1	0.0001 mm	∞
dl_{mx}	ค่าความไม่แน่นอนเนื่องจากระบบโครงสร้างของ Dial Indicator	0 mm	0.01000 mm	แบบสี่เหลี่ยม (Rectangular)	1.732	1	0.005773500 mm	∞
u_c	ค่าความไม่แน่นอนรวม (Combined Uncertainty)			ปกติ (Normal)			0.0066501 mm	∞
$U_{95\%}$	ค่าความไม่แน่นอนขยาย (Expanded Uncertainty) ของการสอบเทียบ Dial Indicator	0.00031 mm		ปกติ (Normal)	k =	2.00	0.013 mm	∞

บทที่ 4
ผลการทดลอง

จากการพัฒนาโปรแกรมสำหรับประยุกต์ใช้กับเครื่องต้นแบบไดอัลเกจเทสเตอร์ชนิดดิจิตอลด้วยวิธีการส่งสัญญาณแบบไร้สายเพื่อลดความผิดพลาดระหว่างการถ่ายโอนข้อมูล ส่งผลให้มีการบันทึกผลการสอบเทียบแบบเรียลไทม์ก่อนนำข้อมูลไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล บทนี้จึงกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพระบบที่พัฒนาขึ้น โดยทำการทดสอบความถูกต้องและความสามารถในการส่งสัญญาณของชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อแบบไร้สาย ความสามารถในการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างโปรแกรม และการเปรียบเทียบระยะเวลาในการสอบเทียบไดอัลเกจด้วยวิธีส่งสัญญาณแบบไร้สายที่พัฒนาขึ้นกับเครื่อง i-Checker ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด

4.1 การทดสอบความสามารถในการส่งสัญญาณของชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อแบบไร้สาย

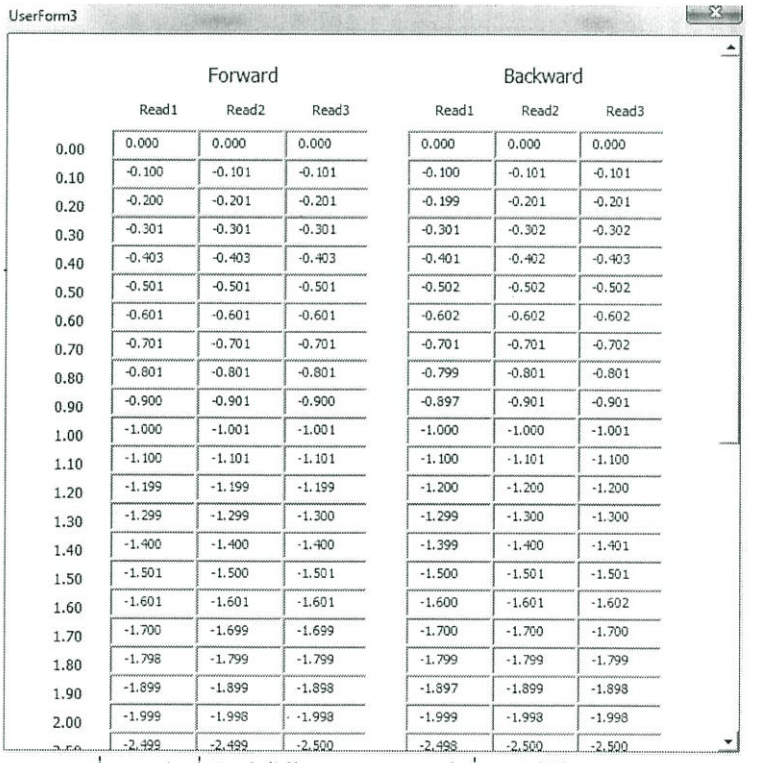
เพื่อให้แน่ใจว่าการส่งถ่ายข้อมูลด้วยวิธีการส่งสัญญาณแบบไร้สายของการสอบเทียบไดอัลเกจมีความถูกต้อง จึงทำการทดสอบโดย 1) จดบันทึกผลการสอบเทียบไดอัลเกจด้วยมือลงบนกระดาษตามมาตรฐาน JIS B7503 ตามที่พนักงานของบริษัทปฏิบัติอยู่เป็นประจำและ 2) ส่งผลการสอบเทียบไดอัลเกจด้วยวิธีการส่งสัญญาณแบบไร้สาย ทั้งนี้เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องของข้อมูลทั้งสองชุดว่าตรงกันหรือไม่ การทดสอบจะกระทำแบบเพิ่มค่าขึ้นไปเรื่อยๆจากค่าต่ำสุดถึงค่าสูงสุด โดยเพิ่มค่าขึ้นครั้งละ 0.1 mm ในพิสัยการวัด 0.00 mm ถึง 2.00 mm ครั้งละ 0.50 mm ในพิสัยการวัด 2.00 mm ถึง 5.00 mm และครั้งละ 1.00 mm ในพิสัยการวัด 5.00 mm ถึง 10.00 mm เราเรียกว่า Forward (F) และในทางกลับกันจากค่ามากสุดไปที่ค่าต่ำสุด เรียกว่า Backward (B) โดยจะอ่านค่าที่วัดได้ 3 รอบ สำหรับการส่งข้อมูลด้วยวิธีการส่งสัญญาณแบบไร้สายจะกดปุ่มที่ U-Wave-T เพื่อการส่งข้อมูลมาที่คอมพิวเตอร์โดยผ่านทาง U-Wave-R และถูกบันทึก UseForm3 โดยอัตโนมัติ ผลการวัดทั้งแบบบันทึกด้วยมือและแบบส่งผ่านชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อ U-Wave แสดงในรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3

2 การสอบเทียบความถูกต้องของสเกลของ Dial Indicator

N	Reading from Dial Gauge Tester / calibration Tester (mm)					
	Read 1		Read 2		Read 3	
(mm)	F	B	F	B	F	B
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.10	-0.100	-0.100	-0.101	-0.101	-0.101	-0.101
0.20	-0.200	-0.199	-0.201	-0.201	-0.201	-0.201
0.30	-0.301	-0.301	-0.301	-0.302	-0.301	-0.302
0.40	-0.403	-0.401	-0.403	-0.402	-0.403	-0.403
0.50	-0.501	-0.502	-0.501	-0.502	-0.501	-0.502
0.60	-0.601	-0.602	-0.601	-0.602	-0.601	-0.602
0.70	-0.701	-0.701	-0.701	-0.701	-0.701	-0.702
0.80	-0.801	-0.799	-0.801	-0.801	-0.801	-0.801
0.90	-0.900	-0.897	-0.901	-0.901	-0.900	-0.901
1.00	-1.000	-1.000	-1.001	-1.000	-1.001	-1.001
1.10	-1.100	-1.100	-1.101	-1.101	-1.101	-1.100
1.20	-1.199	-1.200	-1.199	-1.200	-1.199	-1.200
1.30	-1.299	-1.299	-1.299	-1.300	-1.300	-1.300
1.40	-1.400	-1.399	-1.400	-1.400	-1.400	-1.401
1.50	-1.501	-1.500	-1.500	-1.501	-1.501	-1.501
1.60	-1.601	-1.600	-1.601	-1.601	-1.601	-1.602
1.70	-1.700	-1.700	-1.699	-1.700	-1.699	-1.700
1.80	-1.798	-1.799	-1.799	-1.799	-1.799	-1.799
1.90	-1.899	-1.897	-1.899	-1.899	-1.898	-1.898
2.00	-1.999	-1.999	-1.998	-1.998	-1.998	-1.999
2.50	-2.499	-2.498	-2.499	-2.500	-2.500	-2.500
3.00	-2.998	-2.998	-2.999	-2.999	-2.999	-2.999

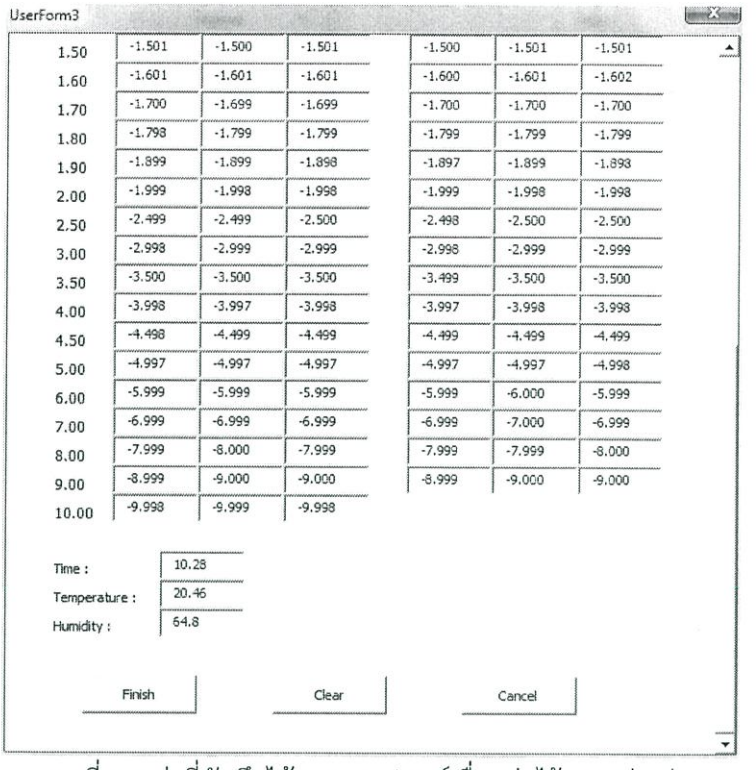
N	Reading from Dial Gauge Tester / calibration Tester (mm)					
	Read 1		Read 2		Read 3	
(mm)	F	B	F	B	F	B
3.50	-3.500	-3.499	-3.500	-3.500	-3.500	-3.500
4.00	-3.998	-3.997	-3.997	-3.998	-3.998	-3.998
4.50	-4.498	-4.498	-4.499	-4.498	-4.499	-4.498
5.00	-4.997	-4.997	-4.997	-4.997	-4.997	-4.998
6.00	-5.998	-5.998	-5.998	-6.000	-5.999	-5.998
7.00	-6.998	-6.998	-6.998	-7.000	-6.998	-6.998
8.00	-7.998	-7.998	-8.000	-7.998	-7.998	-8.000
9.00	-8.998	-8.998	-9.000	-9.000	-9.000	-9.000
10.00	-9.998	-	-9.999	-	-9.998	-

ภาพที่ 4.1 บันทึกข้อมูลบนกระดาษโดยการกรอกข้อมูลจากหน้าจอแสดงผล



	Forward			Backward		
	Read1	Read2	Read3	Read1	Read2	Read3
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.10	-0.100	-0.101	-0.101	-0.100	-0.101	-0.101
0.20	-0.200	-0.201	-0.201	-0.199	-0.201	-0.201
0.30	-0.301	-0.301	-0.301	-0.301	-0.302	-0.302
0.40	-0.403	-0.403	-0.403	-0.401	-0.402	-0.403
0.50	-0.501	-0.501	-0.501	-0.502	-0.502	-0.502
0.60	-0.601	-0.601	-0.601	-0.602	-0.602	-0.602
0.70	-0.701	-0.701	-0.701	-0.701	-0.701	-0.702
0.80	-0.801	-0.801	-0.801	-0.799	-0.801	-0.801
0.90	-0.900	-0.901	-0.900	-0.897	-0.901	-0.901
1.00	-1.000	-1.001	-1.001	-1.000	-1.000	-1.001
1.10	-1.100	-1.101	-1.101	-1.100	-1.101	-1.100
1.20	-1.199	-1.199	-1.199	-1.200	-1.200	-1.200
1.30	-1.299	-1.299	-1.300	-1.299	-1.300	-1.300
1.40	-1.400	-1.400	-1.400	-1.399	-1.400	-1.401
1.50	-1.501	-1.500	-1.501	-1.500	-1.501	-1.501
1.60	-1.601	-1.601	-1.601	-1.600	-1.601	-1.602
1.70	-1.700	-1.699	-1.699	-1.700	-1.700	-1.700
1.80	-1.798	-1.799	-1.799	-1.799	-1.799	-1.799
1.90	-1.899	-1.899	-1.898	-1.897	-1.899	-1.898
2.00	-1.999	-1.998	-1.998	-1.999	-1.998	-1.998
2.50	-2.499	-2.499	-2.500	-2.498	-2.500	-2.500

ภาพที่ 4.2 ค่าที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อไร้สาย (ช่วงบน)



ภาพที่ 4.3 ค่าที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อไร้สาย (ช่วงล่าง)

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าที่อ่านได้จากจดบันทึกข้อมูลด้วยมือ และค่าที่อ่านได้จากการบันทึกข้อมูลโดยใช้ชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อไร้สายมีข้อมูลตรงกันทุกจุดที่ทำการวัด คิดเป็นร้อยละ100 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการบันทึกข้อมูลโดยใช้อุปกรณ์เชื่อมต่อไร้สายมีความถูกต้องและแม่นยำ มีประสิทธิภาพที่จะประยุกต์ใช้ร่วมกับเครื่องต้นแบบไดอัลเกจเทสเตอร์ได้

4.2 การทดสอบความสามารถในการโอนถ่ายข้อมูลระหว่างโปรแกรม

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบความสามารถในการโอนถ่ายข้อมูลของโปรแกรม VBA (Visual Basic for Application) ไปสู่โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) โดยการนำค่าที่บันทึกได้จากชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อไร้สาย ในภาพที่ 4.2 และ 4.3 มาเปรียบเทียบกับ ภาพที่ 4.4 ทำให้ทราบว่าข้อมูลทั้งสองนั้นตรงกันหรือไม่ เพื่อรับรองว่าข้อมูลทั้งหมดที่ถูกโอนถ่ายมาตั้งแต่ขั้นตอนแรกมีความถูกต้องก่อนจะถูกรายงานในใบรับรองผลการสอบเทียบให้ลูกค้าต่อไป ในการพัฒนาวิธีการบันทึกผลจากการสอบเทียบไดอัลเกจ ผู้จัดทำได้สร้างหน้าต่าง UseForm3 จากโปรแกรม VBA เพื่อรับข้อมูลการสอบเทียบจาก U-wave ซึ่งเมื่อทำการสอบเทียบครบถ้วนทุกจุดวัด ผู้สอบเทียบต้องกดปุ่ม ‘OK’ ส่งผลให้เกิดการถ่ายโอนข้อมูลจาก UseForm3 ไปยังโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซลล์ โดยอัตโนมัติ

Source Code ที่เขียนขึ้นเพื่อให้ข้อมูลจาก Userform3 โอนถ่ายข้อมูลไปที่โปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซลล์

```
Private Sub CommandButton1_Click()
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F30").Value = -1 * TextBox1.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F31").Value = -1 * TextBox2.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F32").Value = -1 * TextBox3.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F33").Value = -1 * TextBox4.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F34").Value = -1 * TextBox5.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F35").Value = -1 * TextBox6.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F36").Value = -1 * TextBox7.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F37").Value = -1 * TextBox8.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F38").Value = -1 * TextBox9.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F39").Value = -1 * TextBox10.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F40").Value = -1 * TextBox11.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F41").Value = -1 * TextBox12.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F42").Value = -1 * TextBox13.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F43").Value = -1 * TextBox14.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F44").Value = -1 * TextBox15.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F45").Value = -1 * TextBox16.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F46").Value = -1 * TextBox17.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F47").Value = -1 * TextBox18.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F48").Value = -1 * TextBox19.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F49").Value = -1 * TextBox20.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F50").Value = -1 * TextBox21.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F51").Value = -1 * TextBox22.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F52").Value = -1 * TextBox23.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F53").Value = -1 * TextBox24.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F54").Value = -1 * TextBox25.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F55").Value = -1 * TextBox26.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F56").Value = -1 * TextBox27.Value
```

```
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F57").Value = -1 * TextBox28.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F58").Value = -1 * TextBox29.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F59").Value = -1 * TextBox30.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F60").Value = -1 * TextBox31.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("F61").Value = -1 * TextBox32.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G60").Value = -1 * TextBox33.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G59").Value = -1 * TextBox34.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G58").Value = -1 * TextBox35.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G57").Value = -1 * TextBox36.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G56").Value = -1 * TextBox37.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G55").Value = -1 * TextBox38.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G54").Value = -1 * TextBox39.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G53").Value = -1 * TextBox40.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G52").Value = -1 * TextBox41.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G51").Value = -1 * TextBox42.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G50").Value = -1 * TextBox43.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G49").Value = -1 * TextBox44.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G48").Value = -1 * TextBox45.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G47").Value = -1 * TextBox46.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G46").Value = -1 * TextBox47.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G45").Value = -1 * TextBox48.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G44").Value = -1 * TextBox49.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G43").Value = -1 * TextBox50.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G42").Value = -1 * TextBox51.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G41").Value = -1 * TextBox52.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G40").Value = -1 * TextBox53.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G39").Value = -1 * TextBox54.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G38").Value = -1 * TextBox55.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G37").Value = -1 * TextBox56.Value
```

```
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G36").Value = -1 * TextBox57.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G35").Value = -1 * TextBox58.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G34").Value = -1 * TextBox59.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G33").Value = -1 * TextBox60.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G32").Value = -1 * TextBox61.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G31").Value = -1 * TextBox62.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G30").Value = -1 * TextBox63.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H30").Value = -1 * TextBox64.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H31").Value = -1 * TextBox65.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H32").Value = -1 * TextBox66.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H33").Value = -1 * TextBox67.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H34").Value = -1 * TextBox68.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H35").Value = -1 * TextBox69.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H36").Value = -1 * TextBox70.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H37").Value = -1 * TextBox71.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H38").Value = -1 * TextBox72.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H39").Value = -1 * TextBox73.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H40").Value = -1 * TextBox74.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H41").Value = -1 * TextBox75.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H42").Value = -1 * TextBox76.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H43").Value = -1 * TextBox77.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H44").Value = -1 * TextBox78.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H45").Value = -1 * TextBox79.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H46").Value = -1 * TextBox80.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H47").Value = -1 * TextBox81.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H48").Value = -1 * TextBox82.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H49").Value = -1 * TextBox83.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H50").Value = -1 * TextBox84.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H51").Value = -1 * TextBox85.Value
```

```
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H52").Value = -1 * TextBox86.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H53").Value = -1 * TextBox87.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H54").Value = -1 * TextBox88.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H55").Value = -1 * TextBox89.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H56").Value = -1 * TextBox90.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H57").Value = -1 * TextBox91.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H58").Value = -1 * TextBox92.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H59").Value = -1 * TextBox93.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H60").Value = -1 * TextBox94.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("H61").Value = -1 * TextBox95.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I60").Value = -1 * TextBox96.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I59").Value = -1 * TextBox97.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I58").Value = -1 * TextBox98.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I57").Value = -1 * TextBox99.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I56").Value = -1 * TextBox100.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I55").Value = -1 * TextBox101.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I54").Value = -1 * TextBox102.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I53").Value = -1 * TextBox103.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I52").Value = -1 * TextBox104.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I51").Value = -1 * TextBox105.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I50").Value = -1 * TextBox106.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I49").Value = -1 * TextBox107.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I48").Value = -1 * TextBox108.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I47").Value = -1 * TextBox109.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I46").Value = -1 * TextBox110.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I45").Value = -1 * TextBox111.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I44").Value = -1 * TextBox112.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I43").Value = -1 * TextBox113.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I42").Value = -1 * TextBox114.Value
```

```
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I41").Value = -1 * TextBox115.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I40").Value = -1 * TextBox116.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I39").Value = -1 * TextBox117.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I38").Value = -1 * TextBox118.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I37").Value = -1 * TextBox119.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I36").Value = -1 * TextBox120.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I35").Value = -1 * TextBox121.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I34").Value = -1 * TextBox122.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I33").Value = -1 * TextBox123.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I32").Value = -1 * TextBox124.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I31").Value = -1 * TextBox125.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("I30").Value = -1 * TextBox126.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J30").Value = -1 * TextBox127.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J31").Value = -1 * TextBox128.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J32").Value = -1 * TextBox129.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J33").Value = -1 * TextBox130.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J34").Value = -1 * TextBox131.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J35").Value = -1 * TextBox132.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J36").Value = -1 * TextBox133.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J37").Value = -1 * TextBox134.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J38").Value = -1 * TextBox135.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J39").Value = -1 * TextBox136.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J40").Value = -1 * TextBox137.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J41").Value = -1 * TextBox138.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J42").Value = -1 * TextBox139.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J43").Value = -1 * TextBox140.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J44").Value = -1 * TextBox141.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J45").Value = -1 * TextBox142.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J46").Value = -1 * TextBox143.Value
```

```
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J47").Value = -1 * TextBox144.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J48").Value = -1 * TextBox145.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J49").Value = -1 * TextBox146.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J50").Value = -1 * TextBox147.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J51").Value = -1 * TextBox148.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J52").Value = -1 * TextBox149.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J53").Value = -1 * TextBox150.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J54").Value = -1 * TextBox151.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J55").Value = -1 * TextBox152.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J56").Value = -1 * TextBox153.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J57").Value = -1 * TextBox154.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J58").Value = -1 * TextBox155.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J59").Value = -1 * TextBox156.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J60").Value = -1 * TextBox157.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("J61").Value = -1 * TextBox158.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K60").Value = -1 * TextBox159.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K59").Value = -1 * TextBox160.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K58").Value = -1 * TextBox161.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K57").Value = -1 * TextBox162.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K56").Value = -1 * TextBox163.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K55").Value = -1 * TextBox164.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K54").Value = -1 * TextBox165.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K53").Value = -1 * TextBox166.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K52").Value = -1 * TextBox167.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K51").Value = -1 * TextBox168.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K50").Value = -1 * TextBox169.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K49").Value = -1 * TextBox170.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K48").Value = -1 * TextBox171.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K47").Value = -1 * TextBox172.Value
```

```
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K46").Value = -1 * TextBox173.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K45").Value = -1 * TextBox174.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K44").Value = -1 * TextBox175.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K43").Value = -1 * TextBox176.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K42").Value = -1 * TextBox177.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K41").Value = -1 * TextBox178.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K40").Value = -1 * TextBox179.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K39").Value = -1 * TextBox180.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K38").Value = -1 * TextBox181.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K37").Value = -1 * TextBox182.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K36").Value = -1 * TextBox183.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K35").Value = -1 * TextBox184.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K34").Value = -1 * TextBox185.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K33").Value = -1 * TextBox186.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K32").Value = -1 * TextBox187.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K31").Value = -1 * TextBox188.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("K30").Value = -1 * TextBox189.Value


Worksheets("Measurement Result 1").Range("G8").Value = TextBox191.Value
Worksheets("Measurement Result 1").Range("G9").Value = TextBox192.Value
Unload Me


End Sub


Private Sub CommandButton2_Click()
Dim x As Integer
For x = 1 To 192
```

```
Me.Controls("textbox" & x).Value = ""
Next x
End Sub

Private Sub CommandButton3_Click()
Unload Me
End Sub
```

การกำหนดตัวแปร (Parameter) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการแบ่งกลุ่มของข้อมูลและกำหนดเส้นทางในการรับส่งค่าผ่านทางโปรแกรม โดยใช้วิธีแบ่งตามลักษณะการรับข้อมูล ดังนี้

ชื่อ worksheet สำหรับบันทึกข้อมูล	=	Measurement Result 1
ค่าที่ได้จากการสอบเทียบ	=	TextBox1 ถึง TextBox192
ชื่อปุ่ม Finish	=	CommandButton1
ชื่อปุ่ม Clear	=	CommandButton2
ชื่อปุ่ม Cancel	=	CommandButton3

จาก Source Code มีการนำค่า -1 คูณเข้ากับ TextBox เนื่องจากในการทดลองนี้ผู้จัดทำได้กำหนดค่าจุดเริ่มต้นของไมโครมิเตอร์ที่ 25 mm ส่งผลให้เมื่อทำการสอบเทียบเครื่องมือในลักษณะลดค่าลง ทำให้ข้อมูลที่วัดได้มีค่าติดลบ ดังนั้นผู้จัดทำจึงเขียน Source Code เป็น -1 * TextBox เพื่อให้ข้อมูลที่ได้ออกมาเป็นค่าบวก ในส่วนของตัวอักษรภาษาอังกฤษตามด้วยตัวเลขในแต่ละบรรทัด เช่น F30, K35 หมายถึง ตัวเลขคอลัมน์ภายในโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล ที่จะรับข้อมูลจาก TextBox นั้นๆ ซึ่งได้รับการถ่ายโอนข้อมูลการสอบเทียบจากโปรแกรมที่ผู้จัดทำพัฒนาขึ้น โดยข้อมูลการสอบเทียบจากแต่ละจุดวัดถูกถ่ายโอนลงใน Worksheet ซึ่งเป็นแบบฟอร์มสำหรับการจัดทำใบรับรองผลการสอบเทียบ โดยข้อมูลที่ถูกถ่ายโอนจาก U-Wave มายังโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซลอยู่รูปแบบตัวเลขโดยตรง

นอกจากนี้ เนื่องจากโปรแกรม VBA มีความสามารถในการจัดเรียงข้อมูลอัตโนมัติ เมื่อผู้จัดทำกำหนดตำแหน่งจุดเริ่มต้นของ Cursor ที่ TextBox และกด Enter ส่งผลให้ตำแหน่งของ Cursor ถูกเลื่อนไปยัง TextBox ถัดไปโดยอัตโนมัติ ซึ่งผู้จัดทำกำหนดให้มีการสอบเทียบอย่างเป็นระบบโดยเริ่มต้นจากการสอบเทียบครั้งแรกจากจุด Forward ไปยัง Backward จากนั้นโปรแกรมจะทำการสอบเทียบที่จุดวัดถัดไปในลักษณะเดียวกันโดยอัตโนมัติ

2. การสอบเทียบความถูกต้องของ Dial Indicator:

N	C_s (mm)		T (mm)		Reading from Dial gauge tester					
					Read 1		Read 2		Read 3	
mm	F	B	F	B	F	B	F	B	F	B
0.0	0.00000	0.00030	0.00000	0.00030	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.1	0.00000	0.00040	0.10067	0.10107	0.1000	0.1000	0.1010	0.1010	0.1010	0.1010
0.2	0.00000	0.00040	0.20067	0.20073	0.2000	0.1990	0.2010	0.2010	0.2010	0.2010
0.3	0.00000	0.00030	0.30100	0.30197	0.3010	0.3010	0.3010	0.3020	0.3010	0.3020
0.4	0.00000	0.00050	0.40300	0.40250	0.4030	0.4010	0.4030	0.4020	0.4030	0.4030
0.5	0.00000	0.00050	0.50100	0.50250	0.5010	0.5020	0.5010	0.5020	0.5010	0.5020
0.6	0.00010	0.00060	0.60110	0.60260	0.6010	0.6020	0.6010	0.6020	0.6010	0.6020
0.7	0.00020	0.00060	0.70120	0.70193	0.7010	0.7010	0.7010	0.7010	0.7010	0.7020
0.8	0.00030	0.00060	0.80130	0.80093	0.8010	0.7990	0.8010	0.8010	0.8010	0.8010
0.9	0.00030	0.00060	0.90063	0.90027	0.9000	0.8970	0.9010	0.9010	0.9000	0.9010
1.0	0.00030	0.00070	1.00097	1.00103	1.0000	1.0000	1.0010	1.0000	1.0010	1.0010
1.1	0.00040	0.00070	1.10107	1.10103	1.1000	1.1000	1.1010	1.1010	1.1010	1.1000
1.2	0.00030	0.00070	1.19930	1.20070	1.1990	1.2000	1.1990	1.2000	1.1990	1.2000
1.3	0.00030	0.00060	1.29963	1.30027	1.2990	1.2990	1.2990	1.3000	1.3000	1.3000
1.4	0.00030	0.00070	1.40030	1.40070	1.4000	1.3990	1.4000	1.4000	1.4000	1.4010
1.5	0.00030	0.00080	1.50097	1.50147	1.5010	1.5000	1.5000	1.5010	1.5010	1.5010
1.6	0.00030	0.00080	1.60130	1.60180	1.6010	1.6000	1.6010	1.6010	1.6010	1.6020
1.7	0.00030	0.00080	1.69963	1.70080	1.7000	1.7000	1.6990	1.7000	1.6990	1.7000
1.8	0.00040	0.00090	1.79907	1.79990	1.7980	1.7990	1.7990	1.7990	1.7990	1.7990
1.9	0.00040	0.00070	1.89907	1.89870	1.8990	1.8970	1.8990	1.8990	1.8980	1.8980
2.0	0.00040	0.00090	1.99873	1.99923	1.9990	1.9990	1.9980	1.9980	1.9980	1.9980
2.5	0.00040	0.00100	2.49973	2.50033	2.4990	2.4980	2.4990	2.5000	2.5000	2.5000
3.0	0.00040	0.00110	2.99907	2.99977	2.9980	2.9980	2.9990	2.9990	2.9990	2.9990
3.5	0.00040	0.00120	3.50040	3.50087	3.5000	3.4990	3.5000	3.5000	3.5000	3.5000
4.0	0.00040	0.00120	3.99807	3.99887	3.9980	3.9970	3.9970	3.9980	3.9980	3.9980
4.5	0.00060	0.00120	4.49927	4.50020	4.4980	4.4990	4.4990	4.4990	4.4990	4.4990
5.0	0.00060	0.00130	4.99760	4.99863	4.9970	4.9970	4.9970	4.9970	4.9970	4.9980
6.0	0.00080	0.00150	5.99980	6.00083	5.9990	5.9990	5.9990	6.0000	5.9990	5.9990
7.0	0.00080	0.00160	6.99980	7.00093	6.9990	6.9990	6.9990	7.0000	6.9990	6.9990
8.0	0.00090	0.00160	8.00023	8.00093	7.9990	7.9990	8.0000	7.9990	7.9990	8.0000
9.0	0.00110	0.00170	9.00077	9.00137	8.9990	8.9990	9.0000	9.0000	9.0000	9.0000
10.0	0.00110	0.00160	9.99943		9.9980		9.9990		9.9980	

ภาพที่ 4.4 ค่าที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากการกรอกข้อมูลลงในใบบันทึกข้อมูลด้วยมือและค่าที่ได้จากการบันทึกผ่านชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อมีข้อมูลตรงกันทุกจุดที่ทำการวัด คิดเป็นร้อยละ 100 ซึ่งให้ผลเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการทดสอบความสามารถในการส่งสัญญาณของชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อแบบไร้สาย

4.3 เปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการสอบเทียบไดอัลเกจ

ในการสอบเทียบไดอัลเกจมีด้วยกัน 3 ขั้นตอนหลักๆ ได้แก่ (1) การกรอกรายละเอียดของเครื่องมือที่ต้องการสอบเทียบ (2) การกรอกข้อมูลผลการวัด และ (3) การออกใบรับรองผลการสอบเทียบ ซึ่งในการเปรียบเทียบระยะเวลานี้เป็นการเปรียบเทียบระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการสอบเทียบ รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการออกใบรับรองผลการสอบเทียบของการสอบเทียบด้วยเครื่อง i-Checker และเครื่องไดอัลเกจเทสเตอร์ชนิดดิจิตอลวิธีการส่งสัญญาณแบบไร้สาย โดยผลที่ได้จากการเปรียบเทียบพบว่าเวลาในการสอบเทียบไดอัลเกจด้วย เครื่องไดอัลเกจเทสเตอร์ชนิดดิจิตอลวิธีการส่งสัญญาณแบบไร้สายใช้เวลาน้อยกว่าเครื่อง i-Checker เป็นเวลา 8 นาที

ตารางที่ 4.1 เวลาที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือด้วยเครื่อง i-Checker และ เครื่องไดอัลเกจเทสเตอร์ชนิดดิจิตอลวิธีการส่งสัญญาณแบบไร้สายโดยทดสอบกับเครื่องมือชนิดเดียวกัน

	i-Checker	**เครื่องไดอัลเกจเทสเตอร์ชนิดดิจิตอลวิธีการส่งสัญญาณแบบไร้สาย**
เวลาในการกรอกรายละเอียดเครื่องมือ	3 นาที	3 นาที
เวลาในการสอบเทียบ	10 นาที	12 นาที
เวลาที่ใช้ในการออกใบรับรองผลการสอบเทียบ	10 นาที	-
เวลารวม	23 นาที	15 นาที

เครื่อง i-Checker ส่งข้อมูลไปที่คอมพิวเตอร์โดยต่อสาย เครื่อง i-Checker เพื่อเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์โดยตรง การแสดงผลของ i-Checker มีความละเอียดเป็นทศนิยม 5 ตำแหน่ง ซึ่งเครื่องมือนี้ทำงานกึ่งอัตโนมัติ โดยเครื่อง i-Checker แสดงจุดวัดที่ต้องทำการวัด และแกนวัดจะเคลื่อนที่ไปใกล้เคียงจุดวัดนั้นๆ หากผู้ทำการสอบเทียบต้องการสอบเทียบที่ตำแหน่ง 0.1 แกนวัดจะเคลื่อนที่ไปตำแหน่งที่ 0.09 เพื่อให้ใกล้เคียงกับตำแหน่งที่ต้องการสอบเทียบมากที่สุด หลังจากนั้นเครื่องมือจะบันทึกข้อมูลที่ได้จากการสอบเทียบลงในคอมพิวเตอร์ โดยจะมีพนักงานคัดลอกข้อมูลดังกล่าวลงในไฟล์ผลที่ได้จากการสอบเทียบและนำข้อมูลนั้นไปออกใบรับรองการสอบเทียบ โดยในช่วงแรกก่อนทำการสอบเทียบเครื่องมือ ผู้จัดทำใช้ระยะเวลา 3 นาที เพื่อกรอกรายละเอียดต่างๆ เช่น ยี่ห้อของไดอัลเกจที่ทำการสอบเทียบ เวลาก่อนสอบเทียบ ความชื้นสัมพัทธ์ ผู้ทำการสอบเทียบ เป็นต้น ในส่วนเวลาที่ใช้ในการสอบเทียบด้วยเครื่อง i-Checker ซึ่งใช้เวลาประมาณ 10 นาที พบว่าใช้เวลาน้อยกว่าการสอบเทียบด้วยเครื่องไดอัลเกจเทสเตอร์ชนิดดิจิตอล

วิธีการส่งสัญญาณแบบไร้สาย เนื่องจากในการสอบเทียบด้วยเครื่อง i-Checker แกนวัดของเครื่อง i-Checker สามารถเคลื่อนที่ไปใกล้เคียงจุดวัดนั้นๆ ส่งผลให้ประหยัดเวลาในการสอบเทียบ แต่เมื่อทำการสอบเทียบด้วยเครื่อง i-Checker เสร็จสิ้น ต้องมีพนักงานคัดลอกผลการสอบเทียบลงในใบฟอร์มใบรับรองการสอบเทียบ ในขณะที่หากใช้เครื่องไดอัลเกจเทสเตอร์ชนิดดิจิตอลวิธีการส่งสัญญาณแบบไร้สาย ข้อมูลที่ได้จากการสอบเทียบจะถูกถ่ายโอนไปยังแบบฟอร์มใบรับรองการสอบเทียบโดยอัตโนมัติ

บทที่ 5
สรุปผล ปัญหาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากการศึกษาการโอนถ่ายข้อมูลโดยใช้สัญญาณวิทยุ เพื่อโอนถ่ายข้อมูลที่ได้จากการสอบเทียบไดอัลเกจ พบว่าเครื่องไดอัลเกจเทสเตอร์ชนิดดิจิตอลด้วยวิธีการส่งสัญญาณแบบไร้สาย ผ่านโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถสอบเทียบสามารถสอบเทียบไดอัลเกจ พิสัย (Range) 0 mm - 10 mm. ความละเอียด (Graduation : สเกล) 0.01 mm. โดยอ้างอิงมาตรฐานการสอบเทียบไดอัลเกจ JIS B7503 และมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับโปรแกรมสำเร็จรูปจากโรงงานผลิต ที่สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการสอบเทียบรายงานลงในใบรับรองผลการสอบเทียบได้และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการสอบเทียบ ช่วยลดความผิดพลาดจากมนุษย์ นอกจากนั้นยังสามารถลดระยะเวลาในการทำงานได้อีกด้วย

5.2 ปัญหา

เนื่องจากกลไกการทำงานของอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แสดงผลในการสอบเทียบหรือไมโครมิเตอร์เฮดก่อนใช้งานจะตั้งค่าให้สเกลหลักและไมโครสเกลมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อเริ่มทำการวัดจะหมุนปลอกหมุนวัดทวนเข็มนาฬิกา โดยค่าที่แสดงบนหน้าจอประมวลผลจะแสดงจาก 0 จนถึง 25 mm แต่เมื่อนำมาติดตั้งกับเครื่องต้นแบบไดอัลเกจเทสเตอร์ ก่อนใช้งานจะตั้งค่าให้สเกลหลักและไมโครสเกลมีค่าสูงสุดของสเกล ซึ่งในที่นี้คือ 25 mm ให้มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งเมื่อทำการสอบเทียบจริงค่าที่แสดงบนอุปกรณ์แสดงผลจะมีค่าติดลบ

5.3 แนวทางแก้ไข

ไมโครมิเตอร์เฮดที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องต้นแบบไดอัลเกจเทสเตอร์ได้มีหลายรุ่น ซึ่งมีรุ่นที่สามารถติดตั้งให้ค่าที่แสดงผลบนหน้าจอเป็นบวกได้ แต่เนื่องจากการสั่งซื้อสินค้ามีระยะเวลา 6 เดือน ซึ่งไม่สามารถใช้งานได้ทันในช่วงระยะเวลาสหกิจศึกษา จึงต้องใช้ไมโครมิเตอร์เฮดรุ่นเก่าและใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเป็นตัวช่วยในการประมวลผลให้ค่าที่ออกมาเป็นค่าบวก

5.4 ข้อเสนอแนะ

ในการปฏิบัติสหกิจศึกษาครั้งนี้บริษัทฯ สามารถนำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสำหรับการสอบเทียบไดอัลเกจไปประยุกต์ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมืออื่นๆได้ เช่น การสอบเทียบไมโครมิเตอร์ ฟีเลอร์เกจ ไฮเกจ เป็นต้น ซึ่งจะทำให้บริษัทสามารถลดระยะเวลาในการทำงาน และเพิ่มประสิทธิภาพในการสอบเทียบ

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

คุณสมบัติของระบบการเชื่อมต่อ U-wave

U-WAVE system communication specifications

• Wireless communication

Conformity standards	ARIB STD-T66 (Japan)*
Wireless standards	Conform to IEEE802.15.4
Wireless communication distance	Approx. 20m (within visible range)
Wireless communication speed	250 kbps
Transmission output	1mW (0dBm) or less
Modulation method	DS-SS (Direct Sequence - Spread Spectrum) Resistant to interfering signals and noise
Communication frequency	2.4GHz band (ISM band: Universal frequency)
Used band	15 channels (2.405 to 2.475GHz at intervals of 5MHz) The noise search function avoids interference with other communication devices.

* According to the Radio Regulations, the use of this product is permitted in Japan, Europe (a total of 32 countries including 27 EU members, 4 EFTA members and Turkey), the USA and Canada, Thailand, Indonesia, Vietnam, and Malaysia. This product must not be used in other countries or areas.

ภาคผนวก ข.

M3003, The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement, December 1997.

UKAS
UNITED KINGDOM ACCREDITATION SERVICE

M3003

EDITION 2 | JANUARY 2007

The Expression of Uncertainty and Confidence in Measurement

CONTENTS

	SECTION	PAGE
1	Introduction	2
2	Overview	4
3	More detail	10
4	Type A evaluation of standard uncertainty	18
5	Type B evaluation of standard uncertainty	20
6	Reporting of results	21
7	Step by step procedure for evaluation of measurement uncertainty	22
Appendix A	Best measurement capability	26
Appendix B	Deriving a coverage factor for unreliable input quantities	28
Appendix C	Dominant non-Gaussian Type B uncertainty	31
Appendix D	Derivation of the mathematical model	34
Appendix E	Some sources of error and uncertainty in electrical calibrations	37
Appendix F	Some sources of error and uncertainty in mass calibrations	42
Appendix G	Some sources of error and uncertainty in temperature calibrations	44
Appendix H	Some sources of error and uncertainty in dimensional calibrations	45
Appendix J	Some sources of error and uncertainty in pressure calibration using DWTs	46
Appendix K	Examples of application for calibration	48
Appendix L	Expression of uncertainty for a range of values	66
Appendix M	Assessment of compliance with specification	69
Appendix N	Uncertainties for test results	74
Appendix P	Electronic data processing	78
Appendix Q	Symbols	80
Appendix R	References	82

United Kingdom Accreditation Service, 21-47 High Street, Feltham, Middlesex, TW13 4UN
Website: www.ukas.com Publication requests: Tel: +44 (0) 20 8917 8421 Fax: +44 (0) 20 8917 8500

© United Kingdom Accreditation Service. UKAS Copyright exists in all UKAS publications

4 TYPE A EVALUATION OF STANDARD UNCERTAINTY

4.1 If an uncertainty is evaluated by statistical analysis of a series of observations, it is known as a Type A evaluation.

4.2 A Type A evaluation will normally be used to obtain a value for the repeatability or randomness of a measurement process. For some measurements, the random component of uncertainty may not be significant in relation to other contributions to uncertainty. It is nevertheless desirable for any measurement process that the relative importance of random effects be established. When there is a significant spread in a sample of measurement results, the arithmetic mean or average of the results should be calculated. If there are n independent repeated values for a quantity Q then the mean value $\bar{q}$ is given by

$$\bar{q} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} q_j = \frac{q_1 + q_2 + q_3 \cdots q_n}{n} \qquad (3)$$

4.3 The spread in the results gives an indication of the repeatability of the measurement process, which depends on various factors, including the apparatus used, the method, and sometimes on the person making the measurement. A good description of this spread of values is the standard deviation σ of the n values that comprise the sample, which is given by

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}(q_j - \bar{q})^2} \qquad (4)$$

4.4 This expression yields the standard deviation σ of the particular set of values sampled. However, these are not the only values that could have been sampled. If the process is repeated, another set of values, with different values of $\bar{q}$ and σ, will be obtained.

4.5 For large values of n, these mean values approach the central limit of a distribution of all possible values. This probability distribution can often be assumed to have the normal form.

4.6 As it is impractical to capture all values that are available, it is necessary to make an estimate of the value of σ that would be obtained were this possible. Similarly, the mean value obtained is less likely to be the same as that which would be obtained if a very large number of measurements could be taken, therefore an estimate has to be made of the possible error from the "true" mean.

4.7 Equation (4) gives the standard deviation for the samples actually selected, rather than of the whole population of possible samples. However, from the results of a single sample of measurements, an estimate, $s(q_j)$, can be made of the standard deviation σ of the whole population of possible values of the measurand from the relation

$$s(q_j) = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}(q_j - \bar{q})^2} \qquad (5)$$

4.8 The mean value $\bar{q}$ will have been derived from a finite number n of samples and therefore its value will not be the exact mean that would have been obtained if an infinite number of samples could have been taken. The mean value itself therefore has uncertainty. This uncertainty is referred to as the *experimental standard deviation of the mean*. It is obtained from the estimated standard deviation of the population by the expression:

$$s(\bar{q}) = \frac{s(q_j)}{\sqrt{n}} \qquad (6)$$

© United Kingdom Accreditation Service. UKAS Copyright exists in all UKAS publications

4.9 Example: Four measurements were made to determine the repeatability of a measurement system. The results obtained were 3.42, 3.88, 2.99 and 3.17.

The mean value $\bar{q} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} q_j = \frac{3.42 + 3.88 + 2.99 + 3.17}{4} = 3.365$

The estimated standard deviation $s(q_j) = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{j=1}^{n}(q_j - \bar{q})^2} = 0.386$

The experimental standard deviation of the mean $s(\bar{q}) = \frac{s(q_j)}{\sqrt{n}} = \frac{0.386}{\sqrt{4}} = 0.193$

For information on the use of calculators to calculate $s(q_j)$, see Paragraph P4.

4.10 It may not always be practical or possible to repeat the measurement many times during a test or a calibration. In these cases a more reliable estimate of the standard deviation of a measurement system may be obtained from data obtained previously, based on a larger number of readings.

4.11 Whenever possible at least two measurements should be made as part of the procedure; however, it is acceptable for a single measurement to be made even though it is known that the system has imperfect repeatability, and to rely on a previous assessment of the repeatability of similar devices. This procedure must be treated with caution because the reliability of a previous assessment will depend on the number of devices sampled and how well this sample represents all devices. It is also recommended that data obtained from prior assessment should be regularly reviewed. Of course, when only one measurement is made on the device being calibrated a value of $s(q_j)$ must have been obtained from prior measurements, and n in Equation (6) is then 1.

In such cases, the estimated standard deviation $s(q_j)$ is given by

$$s(q_j) = \sqrt{\frac{1}{m-1}\sum_{j=1}^{m}(q_j - \bar{q})^2}\ , \qquad (7)$$

4.12 where m is the number of readings considered in the previous evaluation. The standard deviation of the mean $s(\bar{q}) = \frac{s(q_j)}{\sqrt{n}}$, n being the number of measurements contributing to the reported mean value.

NOTE

The degrees of freedom under such circumstances are $m - 1$, where m is the number of measurements in the prior evaluation. Indeed, this is the reason that a large number of readings in a prior evaluation can give a more reliable estimate when only a few measurements can be made during the routine procedure. Degrees of freedom are discussed further in Appendix B.

4.13 The standard uncertainty is then the standard deviation of the mean, i.e. $u_i(x) = s(\bar{q})$. (8)

4.14 A previous estimate of standard deviation can only be used if there has been no subsequent change in the measurement system or procedure that could have an effect on the repeatability. If an apparently excessive spread in measurement values is found, which is not typical of the measurement system, the cause should be investigated and resolved before proceeding further.

© United Kingdom Accreditation Service. UKAS Copyright exists in all UKAS publications

5 TYPE B EVALUATION OF STANDARD UNCERTAINTY

5.1 It is probable that systematic components of uncertainty, i.e. those that account for errors that remain constant while the measurement is made, will be estimated from Type B evaluations. The most important of these systematic components, for a reference instrument, will often be the imported uncertainties associated with its own calibration. However, there can be, and usually are, other important contributions to systematic errors in measurement that arise in the equipment user's own laboratory.

5.2 The successful identification and evaluation of these contributions depends on a detailed knowledge of the measurement process and the experience of the person making the measurements. The need for the utmost vigilance in preventing mistakes cannot be overemphasised. Common examples are errors in the corrections applied to values, transcription errors, and faults in software designed to control or report on a measurement process. The effects of such mistakes cannot readily be included in the evaluation of uncertainty.

5.3 In evaluating the components of uncertainty it is necessary to consider and include at least the following possible sources:

(a) The reported calibration uncertainty assigned to reference standards and any drift or instability in their values or readings.

(b) The calibration of measuring equipment, including ancillaries such as connecting leads etc., and any drift or instability in their values or readings.

(c) The equipment or item being measured, for example its resolution and any instability during the measurement. It should be noted that the anticipated long-term performance of the item being calibrated is not normally included in the uncertainty evaluation for that calibration.

(d) The operational procedure.

(e) Variability between different staff carrying out the same type of measurement.

(f) The effects of environmental conditions on any or all of the above.

5.4 Whenever possible, corrections should be made for errors revealed by calibration or other sources; the convention is that an error is given a positive sign if the measured value is greater than the conventional true value. The correction for error involves *subtracting* the error from the measured value. On occasions, to simplify the measurement process it may be convenient to treat such an error, when it is small compared with other uncertainties, as if it were a systematic uncertainty equal to (±) the uncorrected error magnitude.

5.5 Having identified all the possible systematic components of uncertainty based as far as possible on experimental data or on theoretical grounds, they should be characterised in terms of standard uncertainties based on the assessed probability distributions. The probability distribution of an uncertainty obtained from a Type B evaluation can take a variety of forms but it is generally acceptable to assign well-defined geometric shapes for which the standard uncertainty can be obtained from a simple calculation. These distributions and sample calculations are presented in detail in paragraphs 3.15 to 3.22.

© United Kingdom Accreditation Service. UKAS Copyright exists in all UKAS publications

ภาคผนวก ค.

แบบฟอร์มบันทึกผลการสอบเทียบ (Work Sheet for Dial Indicator)

Work Sheet

Work No. _____

Dial Indicator

Equipment : _____
Brand. : _____
Type/Model : _____
Serial No. : _____
Range : _____

☐ Resolution ☐ Graduation : _____
Readability : _____
Environmen Before : _____ °C / _____ %
After : _____ °C / _____ %
Time Before : _____ After : _____

เครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ :

No.	Description	Serial No. / ID No.	Certificate No.	Due Date	Traceable	Note
1	Calibration Tester	801005				
2	Indicator Tester	0471810				
3	Dial Gauge Tester	200132				
4	Data Logger	H11040426				
5	Data Logger	H11010115				

การตรวจสอบสภาพทั่วไป :

- ☐ สภาพของกล่องบรรจุ
- ☐ การปรับตั้งศูนย์
- ☐ สภาพของผิวหน้าสัมผัสของหัววัด
- ☐ Accessories _____

หมายเหตุ : _____

1.Repeatability

Measuring position (mm)	Readout from Dial Indicator (mm)					
	Read 1		Read 2		Read 3	
	Slowly	Rapidly	Slowly	Rapidly	Slowly	Rapidly
(20% of full scale)						
(80% of full scale)						

2. การสอบเทียบความถูกต้องของสเกลของ Dial Indicator

N	Reading from Dial Gauge Tester / calibration Tester (mm)					
	Read 1		Read 2		Read 3	
(mm)	F	B	F	B	F	B
0.0						
0.1						
0.2						
0.3						
0.4						
0.5						
0.6						
0.7						
0.8						
0.9						
1.0						
1.1						
1.2						
1.3						
1.4						
1.5						
1.6						
1.7						
1.8						
1.9						
2.0						
2.5						
3.0						

N	Reading from Dial Gauge Tester / calibration Tester (mm)					
	Read 1		Read 2		Read 3	
(mm)	F	B	F	B	F	B
3.5						
4.0						
4.5						
5.0						
6.0						
7.0						
8.0						
9.0						
10.0						
15.0						
20.0						
25.0						
30.0						
35.0						
40.0						
45.0						
50.0						
55.0						
60.0						
65.0						
70.0						
75.0						
80.0						

Technical Note : _____

Cal By : _____ Cal Date : _____

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล นางสาวศศธร เลี้ยงสุพงศ์

วัน เดือน ปีเกิด 29 พฤษภาคม 2538

ที่อยู่ 1124/198 ซ.เจนพัฒนา ถ.พหลโยธิน32 เขตจตุจักร แขวงจันทรเกษม กรุงเทพมหานคร 10900

Email Sasatorn_ploy@hotmail.com

โทรศัพท์ 083-888-1066

ประวัติการศึกษา

- พ.ศ. 2551 – 2553 ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนนวมินทราชูทิศกรุงเทพมหานคร
- พ.ศ. 2554 – ปัจจุบัน วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
  คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์

- นักศึกษาฝึกงาน แผนก Maintenance
  บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน)
- นักศึกษาโครงการสหกิจศึกษา แผนกศูนย์บริการซ่อมและสอบเทียบ
  บริษัท สุมิพล คอร์ปอเรชั่น จำกัด