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

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง
นักวิทยาศาสตร์ 8ว

ของ

นายวันชัย ชินชูศักดิ์
ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ 7ว

เรื่องที่ 1
เทคนิคการสอบเทียบแท่นระดับด้วยระดับน้ำ

กลุ่มสอบเทียบเครื่องมือวัด วิเคราะห์ ทดสอบ
โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

พ.ศ. 2547

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

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

เอกสารผลงานที่เสนอให้ประเมินเพื่อแต่งตั้งให้ดำรงตำแหน่ง

นักวิทยาศาสตร์ 8ว

ของ

นายวันชัย ชินชูศักดิ์

ตำแหน่ง นักวิทยาศาสตร์ 7ว

เรื่องที่ 1

เทคนิคการสอบเทียบแท่นระดับด้วยระดับน้ำ

เลขหมู่ ๐๗ ฟว
๑๐ 7
เลขทะเบียน 13914
วันที่ 25 / ส.ค. / 49

กลุ่มสอบเทียบเครื่องมือวัด วิเคราะห์ ทดสอบ
โครงการฟิสิกส์และวิศวกรรม
กรมวิทยาศาสตร์บริการ

พ.ศ. 2547

กรมวิทยาศาสตร์บริการ

บทคัดย่อ

เอกสารผลงานฉบับนี้นำเสนอการศึกษาเทคนิคการวัดความเรียบผิวของแท่นระดับ ซึ่งจัดเป็นเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญชนิดหนึ่ง การพัฒนาวิธีการสอบเทียบความเรียบแท่นระดับด้วยระดับน้ำ จัดว่าเป็นการสอบกลับมาตรฐานเครื่องมือวัดทางด้านความยาวและมิติ ให้มีประสิทธิภาพและได้ประโยชน์สูงสุด นับว่าเป็นการเผยแพ่องค์ความรู้ทางด้านมาตรวิทยาสู่ภาคอุตสาหกรรมของประเทศ เป็นแนวทางที่จะช่วยลดปัญหาการบริการสอบเทียบแท่นระดับล่าช้าลงได้อีกทางหนึ่งด้วย ดังนั้น เทคนิค การใช้ระดับน้ำสอบเทียบความเรียบผิวของแท่นระดับ ด้วยวิธีแบบยูเนี่ยนแจ็ค สามารถสอบเทียบได้ทั้งเกรด 2 และ 3(ISO-8512-2/1990) ที่มีความเรียบผิวช่วง 20-100 ไมโครเมตร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
สารบัญตาราง	IV
สารบัญรูป	V
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ปัญหาและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขต	2
1.4 ระยะเวลา	2
1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ	2
บทที่ 2 ชนิด การใช้งานและการดูแลรักษาแท่นระดับ	3
2.1 ชนิดของแท่นระดับ(Type of surface plates)	3
2.2 ส่วนประกอบต่างๆของแท่นระดับ	3
2.3 คุณสมบัติของแท่นระดับหิน	4
2.4 คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางกลของหิน	5
2.5 การจัดระดับชั้นหรือเกรดแท่นระดับ	6
2.6 ข้อเปรียบเทียบระหว่างแท่นระดับหินกับเหล็กหล่อ	8
2.7 สถานที่ติดตั้ง	10
2.8 การใช้ การดูแลรักษาแท่นระดับ	11
2.8.1 เกี่ยวกับการใช้งาน	11
2.8.2 เกี่ยวกับการเก็บรักษาแท่นระดับ	11
2.9 ลักษณะพิเศษของแท่นระดับหิน	12
2.10 การแปรรูปแท่นระดับหิน	12
2.11 ชนิด การใช้และการดูแลรักษาระดับน้ำ	12
2.12 การอ่านระดับน้ำ	14
2.13 วิธีการปรับตั้งระดับน้ำ	14
2.14 การปรับตั้งแท่นระดับด้วยระดับน้ำ	15
2.15 การดูแลรักษาระดับน้ำ	16
2.16 การวัดความเรียบและการสอบเทียบแท่นระดับ	17

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 3 วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการ	18
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบแท่นระดับ	18
3.2 ขั้นตอนการสอบเทียบแท่นระดับ	18
3.2.1 ขั้นตอนการวัดตามแนวเส้นและจดบันทึก	19
3.3 การคำนวณระยะพิทระยะขอบและความเรียบ	20
3.4 การแสดงผลการสอบเทียบ	23
บทที่ 4 ผลการสอบเทียบ	25
4.1 ผลการสอบเทียบแท่นระดับ	25
4.1.1 การคำนวณผลสอบเทียบแท่นระดับด้วยระดับน้ำ	25
4.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอน	35
บทที่ 5 สรุป	37
เอกสารอ้างอิง	38
ภาคผนวก	39

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะพิเศษของหินแกรนิตสีดำ	5
2.2 ความสูง ความหนา และน้ำหนักของแท่นระดับ	6
2.3 การจัดเกรดของแท่นระดับตามความเรียบผิว	7
2.4 ความแข็งแกร่งของแท่นระดับ	7-8
2.5 ความเรียบตามมาตรฐานของ ISO 8512-2	8
2.6 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของหินแกรนิตกับเหล็กหล่อ	9
2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับสเกลของระดับน้ำ	13
3.1 ตารางบันทึกผลการสอบเทียบ	21
3.2 ตารางบันทึกผลการสอบเทียบ(ต่อ)	21
3.3 ผลลัพธ์สุดท้ายการปรับค่าแก้	23
4.1 พิจารณาเส้นAC	26
4.2 พิจารณาเส้นBD	27
4.3 พิจารณาเส้นAB	27-28
4.4 พิจารณาเส้นDC	27-28
4.5 พิจารณาเส้นAD	28
4.6 พิจารณาเส้นBC	28
4.7 พิจารณาค่าแก้เส้นBC	29
4.8 พิจารณาเส้นEG	29-30
4.9 พิจารณาเส้นHF	29-30
4.10 พิจารณาค่าแก้เส้นAC	33
4.11 พิจารณาค่าแก้เส้นBD	33
4.12 พิจารณาค่าแก้เส้นEG	33-34
4.13พิจารณาค่าแก้เส้นHF	33-34
4.14พิจารณาค่าแก้เส้นAD	34
4.15พิจารณาค่าแก้เส้นBC	34
4.16พิจารณาค่าแก้เส้นAB	34-35
4.17พิจารณาค่าแก้เส้นDC	34-35
4.18พิจารณาค่าแก้เส้นHF	35

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

ผ.1 การเปรียบเทียบแท่นระดับตามมาตรฐานของประเทศต่างๆ 40-42

ผ.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางกล (สวีเดน) 42

ผ.3 คุณสมบัติเชิงกล 43

ผ.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกล 43

ผ.5 การสำรวจหินที่ใช้ทำแท่นระดับ 43

ผ.6 ขนาดความกว้างและความหนาของผิวใช้งาน 44

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แท่นระดับหินแกรนิต	3
2.2 แสดงส่วนต่างๆ ของแท่นระดับชนิดเหล็กหล่อและหินแกรนิต	4
2.3 ลักษณะของผิวแท่นระดับเหล็กหล่อกับหินแกรนิต	9
2.4 ตำแหน่งขาตั้ง	10
2.5 แสดงชนิดของระดับน้ำแบบฟองอากาศ	13
2.6 ความไวของระดับน้ำขึ้นอยู่กับความโค้งของหลอดแก้ว	13
2.7 การอ่านระดับน้ำจากฟองอากาศ	14
2.8 ขั้นตอนการปรับตั้งระดับน้ำ	15
2.9 การปรับตั้งแท่นระดับด้วยระดับน้ำ	16
3.1 การตีเส้นแบบยูเนี่ยนแจ็ค	18
3.2 เครื่องหมายตัวอักษรของแต่ละเส้น	19
3.3 การตะแคงหรือเอียงระนาบ(tilting)	24
3.4 ผลต่างสูงสุดและต่ำสุดของลายเส้น Contour map	24
4.1 แผนผังแสดงตัวเลขค่าความเรียบ สูงสุด-ต่ำสุด (-15.6 ไมโครเมตร)	36

บทที่ 1

บทนำ

ตามที่มาตรฐาน ISO 9001 ได้ระบุไว้เกี่ยวกับการสอบเทียบเครื่องมือวัดทำให้ภาคอุตสาหกรรมที่กำลังจัดทำอยู่ ต่างก็จัดหาเครื่องมือวัดที่มีคุณภาพและบริการสอบเทียบเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล การศึกษาเทคนิคการวัดความเรียบของแท่นระดับชนิดหินแกรนิตด้วยระดับน้ำ โดยทั่วไปแท่นระดับจัดเป็นเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญชนิดหนึ่งและเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางพอๆกับเครื่องมือวัดอื่นๆ ซึ่งมีทั้งแบบเหล็กหล่อและชนิดหินแกรนิต ในปัจจุบันการสอบเทียบแท่นระดับยังมีความยุ่งยากซับซ้อนทำให้โรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้แท่นระดับอยู่ประสบปัญหาคือการขอรับบริการสอบเทียบไม่สะดวก บางหน่วยงานก็มีลำดับเวลาขอรับบริการนานมาก และมีราคาแพง เอกสารฉบับนี้ได้นำเสนอชนิดการใช้ การบำรุงดูแลรักษาและหลักการสอบเทียบแท่นระดับตามมาตรฐาน ISO-8512-2/1990 และนอกจากนี้ยังกล่าวถึงมาตรฐานของแท่นระดับอื่นๆได้แก่ มาตรฐาน BS(อังกฤษ), DIN(เยอรมัน) และ JIS(ญี่ปุ่น) เป็นต้น

1.1 ปัญหาและที่มาของการวิจัย

แม้ว่าในปัจจุบันนี้มีห้องปฏิบัติการอยู่มากมายที่สามารถให้การบริการสอบเทียบแท่นระดับได้แต่ปัญหาการบริการให้กับภาคอุตสาหกรรมก็ยังไม่พอเพียงและทั่วถึง อีกทั้งค่าบริการยังค่อนข้างสูงเนื่องจากห้องปฏิบัติการทั่วไปจะใช้เครื่องมือสอบเทียบแท่นระดับที่มีราคาแพง เช่น เพลนเคเตอร์ อินคลิโนมิเตอร์ ออโต้คอลลิเมเตอร์และเลเซอร์อินเตอร์เฟียรอมิเตอร์ ซึ่งเป็นการใช้เครื่องมือวัดที่มีความแม่นสูงมาก หากว่าได้มีการพัฒนาวิธีการสอบเทียบแท่นระดับให้สามารถใช้ระดับน้ำซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สามารถจัดหาได้ง่าย และราคาไม่แพงเกินไป จะช่วยลดปัญหาการบริการสอบเทียบแท่นระดับล่าช้าลงได้ นับว่าเป็นการถ่ายทอดองค์ความรู้ทางด้านมาตรวิทยาสู่ภาคอุตสาหกรรมของประเทศอีกทางหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษา พัฒนาเทคโนโลยีการวัด สอบเทียบแท่นระดับด้วยระดับน้ำ

1.2.2 เพื่อศึกษา วิธีการสอบกลับมาตรฐานให้กับเครื่องมือวัดทางด้านความยาวและมิติ

1.2.3 เป็นการประยุกต์และเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องวัดให้มีประโยชน์สูงสุด

1.2.4 เป็นแนวทางการเพื่อนำความรู้ถ่ายทอดสู่ภาคอุตสาหกรรม

1.3 ขอบเขต

ศึกษาวิธีการสอบเทียบแท่นระดับชนิดหินแกรนิตหรือเทียบเท่าด้วยระดับน้ำ

1.4 ระยะเวลา

1 ปี (ปีงบประมาณ 2545- 2546) ตั้งแต่ กรกฎาคม 2545 จนถึง มิถุนายน 2546

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 เป็นแนวทางในการศึกษาการสอบกลับมาตรฐานทางด้านความยาวและมิติ

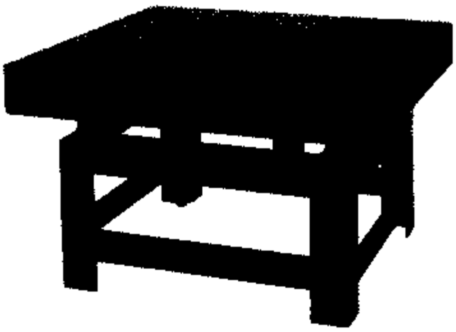
1.5.2 เป็นการนำความรู้เกี่ยวกับมาตรวิทยาไปพัฒนาคุณภาพผลิตภัณฑ์

1.5.3 เพื่อลดปัญหาการให้บริการสอบเทียบแท่นระดับไม่พอเพียงกับความต้องการ

1.5.4 เพื่อเป็นการเผยแพร่ความรู้ให้เกิดการพัฒนาทางด้านการวัด สอบเทียบให้กับภาคอุตสาหกรรม

บทที่ 2

ชนิด การใช้งาน และการดูแลรักษาแท่นระดับ



รูปที่ 2.1 แท่นระดับหินแกรนิต

2.1 ชนิดของแท่นระดับ (Type of surface plates)

แท่นระดับเป็นเครื่องมือพื้นฐานของงานช่างกลโรงงาน แม้ว่าพื้นผิวของแท่นระดับที่ผลิตออกมานั้นจะมีความเรียบพอสำหรับงานต่างๆ แต่ก็เป็นส่วนมากที่ผิวเรียบของแท่นระดับไม่เที่ยงตรงตามมาตรฐานที่ทางวิศวกรรมกำหนด พื้นผิวหน้าส่วนบนมีความเรียบที่กำหนดให้เป็นผิวอ้างอิง

ความเรียบของผิวหน้าใช้งานเมื่อเทียบกับแนวระนาบทางเรขาคณิต เมื่อนำเอาระนาบสองระนาบมาขนาบผิวหน้าใช้งาน และหาค่าระยะห่างที่แคบหรือน้อยที่สุดของระนาบที่ขนานกัน ระยะห่างที่แคบที่สุดนี้คือค่าของความเรียบของผิวหน้าใช้งานนั่นเอง แท่นระดับแยกตามวัสดุมี 2 ชนิดดังนี้

2.1.1 แท่นระดับที่ทำด้วยเหล็กหล่อ(Cast iron) จะต้องเป็นเหล็กหล่อ FC 250 หรือสมบัติทางกลเท่ากับตามที่กำหนดในมาตรฐาน JIS-G-5501 และโครงสร้างจะต้องไม่มีรู หรือโพลง และรอยแตกร้าวอันจะทำมีผลเสียต่อการใช้งาน

2.1.2 แท่นระดับที่ทำด้วยหินจะต้องเป็นหินแกรนิต(Granite) รูปที่ 2.1 หรือหินที่มีสมบัติทางกายภาพที่เทียบเท่าหรือสูงกว่าหินแกรนิต โดยมีเนื้อโครงสร้างสม่ำเสมอและจะมีรอยแตกหรือตำหนิไม่ได้

2.2 ส่วนประกอบต่างๆ ของแท่นระดับ

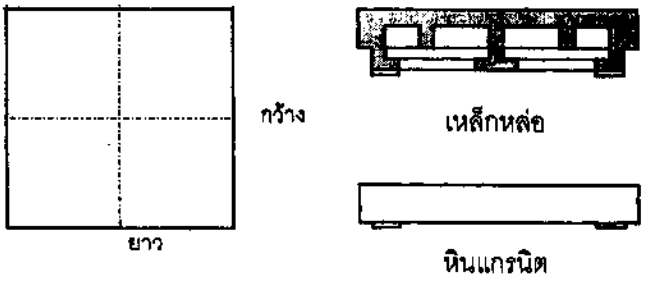
โครงสร้างและสภาพภายนอกของแท่นระดับ เป็นดังนี้

2.2.1 แท่นระดับจะมี 3 ขา

2.2.2 แท่นระดับที่ทำด้วยเหล็กหล่อจะมีขากลางเพื่อให้แท่นระดับมีการโก่งงอน้อยที่สุด

2.2.3 ด้านข้างของแท่นระดับที่ทำด้วยเหล็กหล่อจะมีส่วนจับยึดและรูเพื่อให้สะดวกต่อการใช้งานและการเคลื่อนย้าย

2.2.4 ผิวหน้าใช้งานของแท่นระดับที่ทำด้วยเหล็กหล่อจะได้รับการขัดแต่งผิวด้วย Scraping และระดับที่ดีกว่าในกรณีของระดับเกรด 0 และ 1 และการขัดแต่งผิวอาจใช้วิธีนี้หรือการใช้ขัดแต่งผิวด้วยเครื่องจักรในกรณีแท่นระดับเกรด 2 อนึ่งการขัดแต่งด้วย Scraping จะต้องทำให้ทั่วทั้งผิวหน้าอย่างสม่ำเสมอ ส่วนต่างๆของแท่นระดับแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงส่วนต่างๆ ของแท่นระดับชนิดเหล็กหล่อและหินแกรนิต

2.2.5 ผิวหน้าใช้งานของแท่นระดับที่ทำด้วยหิน จะได้รับการขัดแต่งผิวด้วยแล็พปิ้ง(Lapping) ในกรณีระดับเกรด 0 และการขัดแต่งผิวอาจใช้วิธีเดียวกันหรือเป็นการใช้การขัดธรรมดา ในกรณีระดับเกรด 1 และเกรด 2

2.2.6 ขอบและมุมของผิวหน้าใช้งานของแท่นระดับต้องทำให้มันโค้งมนมีค่าเรเดียสมากกว่า 2 มม. หรือตัดเป็นมุม 45 °

2.3 คุณสมบัติของแท่นระดับหิน

แท่นระดับหินใช้งานและเก็บรักษาได้ง่ายกว่า จึงเป็นที่นิยมใช้ในการวัดอย่างละเอียดมากกว่าแท่นระดับที่ทำจากเหล็กหล่อ ในประเทศญี่ปุ่นได้เริ่มผลิตแท่นระดับหินในปี1957 โดยใช้หินภายในประเทศซึ่งเป็นหินแกรนิต(Granite) เมื่อรวมกับคำว่าแท่นระดับในภาษาอังกฤษ คือ Surface Plate จึงได้ตั้งชื่อผลิตภัณฑ์ที่นำออกจำหน่ายในท้องตลาดว่า **Gra-Plate**

หินที่นำมาใช้ทำแท่นระดับมีคุณสมบัติแตกต่างกันแล้วแต่ชนิดของหิน ไม่ใช่ว่าหินทุกชนิดจะนำมาใช้ทำแท่นระดับหินได้ เงื่อนไขสำคัญของหินที่จะนำมาทำแท่นระดับได้จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

2.3.1 ไม่เปลี่ยนรูปเมื่อวางชิ้นงานลงบนแท่นระดับหิน มีความแข็งแกร่ง

2.3.2 ไม่สึกหรอเมื่อมีการเลื่อนไถลชิ้นงานไปบนแท่นระดับหิน มีความคงทนต่อการสึกหรอ

2.3.3 ไม่เกิดรอยแผลได้ง่าย มีความแข็ง(Hardness)

2.3.4 แปรรูปเพื่อนำมาผลิตเป็นแท่นระดับหินได้ง่าย(Machinery)

กล่าวกันว่าหินที่เหมาะสมที่จะใช้ทำแท่นระดับหินมากที่สุด คือ หินแกรนิตสีดำ(Black granite) ซึ่งมีเนื้อแน่นละเอียดไม่มีแร่เนื้ออ่อนผสม และไม่มีรอยแตกร้าว

หินแกรนิตสีดำ เป็นหินอัคนีที่แตกต่างจากหินแกรนิตทั่วไปโดยมีสีดำหรือสีดำแกมเขียว เนื้อแน่นแข็งแกร่ง ไม่มีหินควอทซ์หรือสารอื่นผสม ถ้าเป็นหินแกรนิตโดยทั่วไปจะมีเม็ดทราย แรงเกาะระหว่างเม็ดหินมีน้อยแตกง่าย

หินที่เหมาะสำหรับทำแท่นระดับหินจึงได้แก่หินแกรนิตสีดำที่เรียกว่า หิน Diorite, หิน Gabbro, หิน Basalt และหิน Diabase แต่ยังมีผู้ผลิตแท่นระดับหินชนิดอื่นๆ อีกหลายบริษัท ถ้ามองในแง่วัสดุที่ใช้ทำแท่นระดับหินแล้วในญี่ปุ่น อเมริกาและเยอรมันจะใช้หิน Gabbro ส่วนบริษัทประเทศสวิส และอังกฤษจะใช้หิน Diabase เป็นส่วนใหญ่

หิน Gabbro ที่ใช้ทำแท่นระดับหิน (Gra-Plate) นั้นจะมีเม็ดละเอียดเป็นแผ่นหินที่มี Magnetite และ Biotite ผสมอยู่ในปริมาณเล็กน้อย

ตารางที่ 2.1 ลักษณะพิเศษของหินแกรนิตสีดำ

ประเภท	ลักษณะพิเศษ
Gabbro	เป็นหินอัคนีชั้นลึกประเภทหินด่าง มีสีดำหรือเทาหรือสีเขียว มีหิน Olivine ผสมอยู่ แข็งกว่าหิน Diorite
Diorite	เป็นหินอัคนีชั้นลึก ประเภทหินเป็นกลาง มีสีเขียวเข้ม
Diabase	เป็นหินอัคนีชั้นลึกปานกลาง มีสีดำปนเขียว มีองค์ประกอบเป็นแบบ Ophit

2.4 คุณสมบัติทางฟิสิกส์ และทางกลของหิน

คุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางกลของหิน แบ่งตามข้อได้ดังนี้

- ความหนาแน่น
- ความแข็ง
- ความแกร่ง
- ความยืดหยุ่นเชิงปริมาตร (อัตราการอัด)
- ความคงทนต่อการรับแรงดึง
- ความร้อนจำเพาะ
- ความอมน้ำ (อัตราส่วนช่องว่าง)
- ความยืดหยุ่น
- อัตราส่วนปัวซอง
- ความคงทนต่อการรับแรงอัด
- การนำความร้อน
-

2.4.1 ความเรียบของผิวหน้าใช้งาน มีกำหนดไว้ 2 กรณี คือ กรณีความเรียบทั้งหมดของผิวหน้าใช้งานกับกรณีความเรียบของพื้นที่บางส่วนที่ไม่เจาะจงขนาด 250 มม. x 250 มม. ของผิวหน้าใช้งาน

หมายเหตุ ส่วนขอบรอบผิวหน้าใช้งานแท่นระดับ หากมีขนาด 2% ของความกว้างของแท่นระดับ (สูงสุดไม่เกิน 20 มม. และพื้นที่รอบข้างแท่นระดับนี้ มีสภาพที่ไม่มีผลต่อการใช้งานให้ถือว่าพื้นที่ขอบนี้มีความเรียบไม่ถูกต้องตามที่กำหนดไว้

2.4.1.1 ค่าความเรียบทั้งหมดของผิวหน้าใช้งานจะเป็นไปตามตารางที่ 2.3

หมายเหตุ หากขนาดของผิวหน้าใช้งานต่ำกว่า 2,500 x 1,600 มม. และมีขนาดไม่ตรงตามขนาดตามตารางที่ 2.3 การคำนวณค่าความเรียบจะกล่าวต่อไป

2.4.1.2 ความเรียบของพื้นที่บางส่วน ค่าความเรียบของพื้นที่บางส่วนที่ไม่เจาะจงขนาด 250 มม. x 250มม.

หมายเหตุ แท่นระดับที่มีเส้นทะแยงมุมสั้นกว่า 354 มม. จะไม่สามารถหาพื้นที่ขนาด 250 มม. จึงไม่อาจใช้ข้อกำหนดในเรื่องความเรียบของพื้นที่บางส่วนได้

2.4.2 ความแข็งแกร่งของแท่นระดับ ที่มีผิวหน้าใช้งานขนาดมากกว่า 400 x 250 มม. เมื่อมีแรงกดลงตรงกลาง แผ่นของผิงหน้าใช้งาน 200N(นิวตัน) จะต้องมีความแกร่งคือจะต้องโค้งงอน้อยกว่า 1 ไมโครเมตร

ตารางที่ 2.2 ความสูง ความหนา และน้ำหนักของแท่นระดับ

ขนาดของผิวหน้าใช้งาน (มม.)	ทำด้วยเหล็กหล่อ		ทำด้วยหิน	
	สูง (มม.)	น้ำหนัก(กก.)	สูง(มม.)	น้ำหนัก(กก.)
160 x 100	-	-	-	-
250 x 160	-	-	-	-
400 x 250	100	25	50	15
630 x 400	150	90	70	50
1,000 x 630	200	300	100	180
1,600 x 1,000	250	900	160	720
2,000 x 1,000	280	1,350	200	1,120
2,500 x 1,600	320	2,800	250	2,800
250 x 250	80	20	50	10
400 x 400	100	40	70	30
630 x 630	150	150	70	80
1,000 x 1,000	200	500	100	280

2.4.3 ค่าความเรียบของของผิวหน้าใช้งานของแท่นระดับทุกขนาดจะมีค่าอยู่ที่5%ของขนาด อนึ่งความสูง, ความหนา และน้ำหนักของแท่นระดับทั่วไปแสดงตามตารางที่ 2.2

2.5 การจัดระดับชั้นหรือเกรดแท่นระดับ

ชนิดของแท่นระดับแบ่งตามชนิดวัสดุและจากขนาดของผิวหน้าใช้งาน การจัดเกรดหรือระดับชั้นของแท่นระดับแยกระดับตามความเรียบของผิวหน้าใช้งาน แบ่งได้เป็นระดับเกรด 0, 1 , 2 และ 3 แท่นระดับ(Precision Surface Plates) รูปทรงสี่เหลี่ยม ที่จะกล่าวตามมาตรฐานไอเอสโอ มีขนาดตั้งแต่ 160 x 100 มม. ถึง 2,500 x 1,600 มม. ดังแสดงไว้ตารางที่ 2.3

ความเรียบผิวของแท่นระดับ นิยามของความเรียบ คือ *"ระยะห่างที่น้อยที่สุดของระนาบขนาน 2 ระนาบเมื่อนำมาขนาบกับผิวที่ต้องการก็จะทราบความเรียบ"* ในทางปฏิบัติเป็นการยากที่จะวัดความเรียบด้วยวิธีนี้ จึงใช้วิธีอื่นประมาณความเรียบ ซึ่งจะได้กล่าวในหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 2.3 การจัดเกรดของแท่นระดับตามความเรียบผิว

ขนาดของแท่นระดับหิน (มม.)	ค่าความเรียบ (ไมโครเมตร)				ความกว้างของส่วนขอบโดยรอบ (มม.)	ความยาวเส้นทะแยงมุม (มม.)
	เกรด 0	เกรด 1	เกรด 2	เกรด 3		
รูปทรงผืนผ้า						
160 x 100	3	6	12	25	2	188
250 x 160	3.5	7	14	27	3	296
400 x 250	4	8	16	32	5	471
630 x 400	5	10	20	39	8	745
1,000 x 630	6	12	14	49	12	1880
1,600 x 1,000	7	16	33	66	20	1180
2,000 x 1,000	9.5	19	38	75	20	2236
2,500 x 1,600	11.5	23	46	92	20	2960
รูปทรงจตุรัส						
250 x 250	3.5	7	15	30	5	354
400 x 400	4.5	9	17	34	8	566
630 x 630	5	10	21	42	13	891
1,000 x 1,000	7	14	28	56	20	1414

ตารางที่ 2.4 ความแกร่งของแท่นระดับ

ขนาดของผิวหน้าใช้งาน ของแท่นระดับ(มม.)	น้ำหนักรวมของจุดสูงสุด(กก.)		
	เกรด 0	เกรด 1	เกรด 2
400 x 250	40	80	160
630 x 400	50	100	150
1000 x 630	60	120	240
1600 x 1000	880	160	330
2000 x 1000	95	190	380
2500 x 1600	115	230	460

ตารางที่ 2.4 ความแข็งแกร่งของแท่นระดับ(ต่อ)

400 x 400	45	90	170
630 x 630	50	100	210
1000 x 1000	70	140	280

หมายเหตุ : ความหมายของคำว่า "น้ำหนักรวมจุดสูงสุด" หมายถึง "น้ำหนักรวมจุดที่ทำให้แท่นระดับเกิดการเปลี่ยนแปลงไปมากกว่า 1/2 ของค่าที่ยอมรับได้ของความเรียบผิวของแท่นระดับนี้

ผิวของแท่นระดับนั้น มาตรฐานอังกฤษกำหนดไว้เพียงให้ผิวใช้งานมีความเรียบ มาตรฐานอเมริกากำหนดความหยาบของผิวไว้เป็น 2 เกรด คือ 32 μin-rms และ 64 μin-rms. มาตรฐานของ JIS กำหนดให้ระดับ 0 เป็นการแต่งผิวแบบแล็พ ส่วนเกรด 1 และ 2 เป็นการแต่งผิวแบบแล็พ มาตรฐานของเยอรมันกำหนดให้เป็นการแต่งผิวแบบแล็พ ค่าความเรียบ ยอมรับได้ ตามมาตรฐาน ISO (ตารางที่ 2.5)

ตารางที่ 2.5 ความเรียบตามมาตรฐานของ ISO 8512-2

เกรด	ค่าที่ยอมรับได้ของความเรียบ
0	$0.003\,d + 2.5$
1	$0.006\,d + 5$
2	$0.012\,d + 10$
3	$0.024\,d + 20$

เมื่อ d : ขนาดความหนาของแท่นระดับ

2.6 ข้อเปรียบเทียบระหว่างแท่นระดับหินกับเหล็กหล่อ

2.6.1 ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา เนื่องจากว่าเป็นหินธรรมชาติที่ผ่านการบ่มตามธรรมชาติมาเป็นเวลานาน จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีก ในกรณีของแท่นระดับเหล็กหล่อ แม้ว่าเทคโนโลยีการผลิตจะก้าวหน้าขึ้น แต่ก็ไม่สามารถยืนยันได้ว่าจะไม่เปลี่ยนแปลง

2.6.2 แข็งกว่าเหล็กหล่อมากกว่า 2 เท่า

Gabbro- Hs 73-93

Granite- Hs 70-80

เหล็กหล่อ - Hs 32-40

2.6.3 ทนความสึกกร่อนได้มากกว่าจากการทดลอง พบว่าสามารถทนความสึกกร่อนได้มากกว่าเหล็กหล่อถึง 7 เท่า

2.6.4 ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิโดยรอบ(ค่าการนำความร้อน)

Gabbro - 1.05 Kcal/m.h°C

Granite - 1.36 Kcal/m.h°C

เหล็กหล่อ - 45 Kcal/m.h°C

ตารางที่ 2.6 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของหินแกรนิตกับเหล็กหล่อ

คุณสมบัติ	ความหนาแน่นkg/dm^3	สัมประสิทธิ์ของการขยายตัวเชิงความร้อน k^{-1}	ความร้อนจำเพาะ l/kg.K	การนำความร้อน W/m.k
หินแกรนิต	2.6 - 2.75	0.77 - 0.83 x 10^{-5}	0.192	5.3 x 10^{-3}
เหล็กหล่อ	7.2 - 7.6	1.08 - 1.21 x 10^{-5}	0.15	0.12 - 0.15

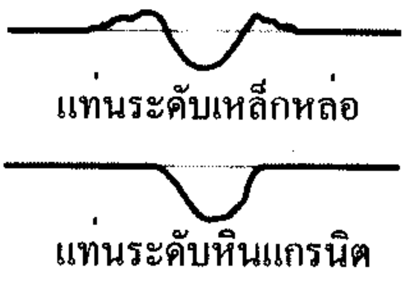
2.6.5 ทนการกัดกร่อนได้สูง

ทดสอบโดยใช้น้ำกรดซัลฟูริค 5 % หยดลงบนแท่นระดับหินๆแทบจะไม่ถูกกัดกร่อนในขณะที่แท่นระดับเหล็กหล่อจะถูกกัดกร่อนเป็น 57 เท่าของระดับหิน

2.6.6 แม้ว่าแท่นระดับหินจะถูกขูดเป็นรอยที่ผิว แต่ผิวก็จะไม่นูนออกมา

2.6.6.1 แท่นระดับเหล็กหล่อ เมื่อผิวถูกขูดเป็นรอยนูนออกมา ทำให้ความเรียบผิวเสียไป

2.6.6.2 แท่นระดับหินที่มีเนื้อแน่นเม็ดละเอียด ผิวจะไม่นูนขึ้นมาทำให้ความเรียบผิวเสียไป



รูปที่ 2.3 ลักษณะของผิวแท่นระดับเหล็กหล่อกับหินแกรนิต

2.6.7 ไม่เป็นสารแม่เหล็กจึงใช้งานง่ายแม้กับสารแม่เหล็กก็ตาม

2.6.8 แท่นระดับหินไม่เป็นสนิมเหมือนเหล็กหล่อ จึงทำให้ค่าดูแลรักษาต่ำ

2.7 สถานที่ติดตั้ง

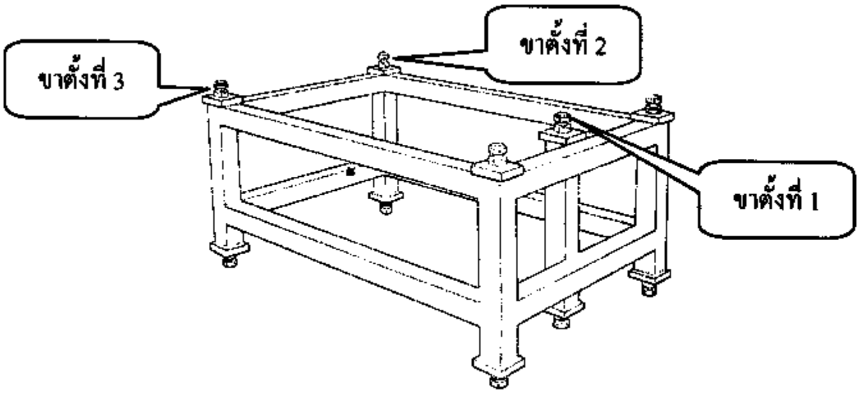
แม้ว่าจะเป็นแท่นระดับหินที่ดีเพียงใดก็ตาม ถ้าการติดตั้งไม่ถูกต้องก็จะไม่ได้ค่าที่ถูกต้องหรือความละเอียดตามที่ต้องการ จึงควรระวังในเรื่องของการติดตั้งด้วย

2.7.1 ติดตั้งที่ที่มีความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิน้อยแม้ว่าแท่นระดับหินจะไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิก็ตาม แต่ควรหลีกเลี่ยงที่ที่มีแดดส่อง หรือบริเวณใกล้เคียงกับเครื่องทำความร้อนหรือความเย็น

2.7.2 ติดตั้งที่ที่มีการสั่นสะเทือนบนแท่นระดับน้อย จะมีการติดตั้ง Test Indicator เพราะการสั่นสะเทือนมากๆจะทำให้วัดค่าได้ลำบาก

2.7.3 มีฝุ่นละอองน้อยแท่นระดับหิน นอกจากจะใช้ในห้องวัดละเอียดแล้วยังใช้ตามหน้างานอีกด้วย ต้องระวังฝุ่นผงต่างๆ หลีกเลี่ยงสถานที่ที่มีฝุ่นมากๆ

2.7.4 การติดตั้งขาตั้งและฐานยึดแท่นระดับหินจะมีขาตั้ง 3 ขา ที่สามารถปรับได้ ถ้าแท่นระดับมีขนาดใหญ่จะมีขาเสริมเพื่อช่วยป้องกันการโคลงอีกด้วย ถ้ามีขนาดเล็กจะมีฐานยึดอยู่ในตัวแต่ถ้าเป็นขนาดใหญ่จะมีฐานยึดแบบต่างๆ แยกออกมาให้เลือก



รูปที่ 2.4 ตำแหน่งขาตั้ง

ขาตั้งเพื่อให้แท่นระดับสามารถวางได้ระดับตามแนวราบนั้น โดยทั่วไปจะมี 3 ขา แต่แท่นระดับที่มีขนาดใหญ่นั้น อาจเกิดการโคลงได้ ถ้าวางชิ้นงานทางด้านที่มีขาเดียว ดังนั้นจึงเพิ่มขาเสริมทางด้านขาเดียวอีก 2 ขา หรือเพิ่มขาเสริมด้านขาคู่อีก 1 ขา รวมเป็น 5 ขา หรือ 6 ขา ขาเสริมนั้นจะแตะอยู่กับแท่นระดับเพียงเบาๆเท่านั้น ส่วนที่เป็นหลักในการจัดระดับของแท่นระดับ จะเป็นขาหลักทั้ง 3 ขา มาตรฐานของอังกฤษไม่มีข้อกำหนดเกี่ยวกับขาทั้ง 3 มาตรฐานอเมริกากำหนดให้ตำแหน่งของขาทั้ง 3 อยู่ที่ตำแหน่ง 1/5 ของความกว้างและความยาวเมื่อวัดจากขอบของด้านกว้างและด้านยาว ส่วนด้านที่มีขาเดียวจะอยู่บนเส้นกึ่งกลาง มาตรฐานของ DIN (เยอรมัน) กำหนดว่าถ้าแท่นระดับมีขนาด a x b ทางด้านขา 2 ขา จะอยู่ที่ตำแหน่ง 0.22 x a, 0.22 b ส่วนทางด้านขาเดียวจะอยู่ที่ตำแหน่ง 0.22 x a, 0.5 x b

2.7.5 ความสูงของผิวใช้งานจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการทำงาน จึงจำเป็นต้องกำหนดความสูงของผิวใช้งานตามลักษณะของงาน โดยทั่วไปจะติดตั้งความสูงของผิวใช้งานอยู่ที่ประมาณ 750มม.

2.8 การใช้ การดูแลรักษาแท่นระดับ

2.8.1 เกี่ยวกับการใช้งาน

2.8.1.1 แท่นระดับควรติดตั้งไว้ในห้องซึ่งมีการควบคุมทั้งอุณหภูมิและความชื้น ไม่ควรให้ถูกแดดส่อง และไม่ควรให้ส่วนใดส่วนหนึ่งของแท่นระดับถูกความร้อน การบิดตัวของแท่นระดับ ซึ่งมีความต่างของอุณหภูมิ ที่ 1 ^{o}C แท่นระดับที่ทำด้วยหิน = 1 μm (ขนาดของแท่นระดับ = 1000 x 1000 มม. ความหนา = 250 มม.)

2.8.1.2 ควรตั้งบนฐานที่มีความแข็งแรงและตั้งได้ระดับอย่างสมบูรณ์

2.8.1.3 ในกรณีที่มีการใช้ขาช่วยเสริมนั้น หลังจากตั้งจนได้ระดับจากขาหลัก 3 ขาแล้ว ต้องใช้ขาเสริมนั้น โดยต้องปรับให้ดีไม่ให้ระดับที่ตั้งได้นั้นเสียระดับไป

2.8.1.4 ระหว่างใช้งานควรระวังอย่าให้มีน้ำหนักกดทับบนผิวหน้าใช้งานของแท่นระดับมากเกินไป และควรพยายามทำน้ำหนักให้กระจายออกไปให้มากที่สุด (ดูเอกสาร JIS-B-7513 Precision Surface Plates)

2.8.1.5 เพื่อไม่ให้เกิดความขรุขระขฮงผิวหน้าใช้งาน ควรพยายามหลีกเลี่ยงการใช้โดยการมีจุดสัมผัส (ให้ใช้ gauge block แทรกกลาง)

2.8.1.6 ควรพยายามใช้ผิวหน้าใช้งานให้กว้างทั่วแผ่น โดยพยายามเลี่ยงการใช้งานซ้ำซากเฉพาะบางส่วนของแผ่นเท่านั้น

2.8.1.7 ที่ผิวหน้าใช้งานจะเป็น Datum (ผิวหน้ามาตรฐาน) ในขณะที่ใช้วัด เพราะฉะนั้นควรรักษาความสะอาด และพยายามเลี่ยงไม่ให้เกิดบาดแผลบนผิวหน้าใช้งานอยู่เสมอ

2.8.1.8 หากเกิดครีบขึ้นที่ผิวหน้าใช้งานของแท่นระดับ ที่ทำด้วยโลหะ ควรใช้เหินลับมีดขัดครีบนั้นออก

2.8.2 เกี่ยวกับการเก็บรักษาแท่นระดับ

2.8.2.1 เพื่อกันไม่ให้มีฝุ่นมาเกาะบนแท่นระดับในระหว่างไม่ได้ใช้งาน ควรหาผ้าคลุมผิวหน้าใช้งานไว้ และกรณีแท่นระดับที่ทำด้วยเหล็กหล่อในระหว่างที่ไม่ได้ใช้งานนานๆ ควรทาด้วยน้ำยากันสนิมหรือน้ำยากันการถูกกัดกร่อน

2.8.2.2 ผิวหน้าใช้งานของแท่นระดับ จะเกิดการกัดกร่อนจากการใช้งานต่างๆ เมื่อใช้ไปนานๆ ควรตรวจสอบเป็นประจำในสภาพการสึกกร่อนของระดับแนวราบของผิวหน้าใช้งาน (ผลการตรวจสอบหากพบว่าระดับแนวราบของแท่นระดับเสียไปจนน่าจะต้องซ่อม ก็ควรให้ช่างผู้เชี่ยวชาญของผู้ผลิตมาให้บริการช่วยซ่อมให้)

2.9 ลักษณะพิเศษของแท่นระดับหิน

มีลักษณะพิเศษ ดังต่อไปนี้

2.9.1 เกิดขึ้นในธรรมชาติเป็นระยะเวลานาน มีความอยู่ตัวสูง ไม่เปลี่ยนรูปตามกาลเวลา

2.9.2 ถึงแม้ว่าจะเกิดรอยขีดข่วนขึ้นมา แต่จะไม่มีส่วนที่นูนออกมาความเรียบของผิวใช้งานไม่ถูกกระทบกระเทือน

2.9.3 ไม่เป็นสนิมจึงดูแลรักษาง่าย เนื้อแน่น ทำความสะอาดง่าย สามารถเช็ดถูได้ด้วยสบู่

2.9.4 ไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิได้โดยง่าย

2.9.5 ไม่เป็นสารแม่เหล็ก และไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า

2.9.6 แข็งกว่าเหล็กหล่อ

2.9.7 สามารถปรับแต่งซ่อมแซมความเรียบของผิวใช้งานได้โดยง่าย

2.9.8 ทนต่อการกัดกร่อน จึงสามารถทนต่อน้ำฝนได้

2.10 การแปรรูปแท่นระดับหิน

การแปรรูปแท่นระดับหินเป็นความลับของแต่ละบริษัท โดยทั่วไปแล้วจะนำก้อนหินจากแหล่งหินไปตัดให้เป็นแผ่นหิน (Slabs) โดยใช้เครื่องเลื่อยหรือ wire saw แล้วตัดให้ได้ขนาดเท่ากับแท่นระดับที่ต้องการ ขัดผิวที่ต้องการด้วยหินเจียร แล้วจึงแต่งผิวด้วยวิธีแรพอย่างหยาบ อย่างกลาง และอย่างละเอียดตามลำดับ ชนิดและขนาดของเม็ดหินที่ใช้ในการแรปปิ้งก็เป็นความลับเช่นเดียวกัน ก่อนจะถึงการแรปปิ้งขั้นสุดท้าย จะต้องทำการวัดและแก้ไขหลายครั้งจนกว่าจะได้ความเรียบที่ต้องการ

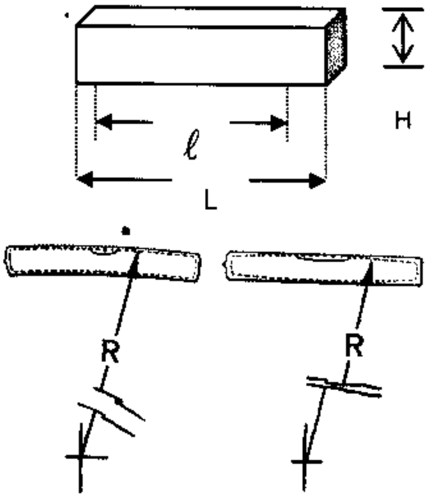
เมื่อขัดผิวด้วยวิธีแรปปิ้งเสร็จแล้ว ถ้าล้างน้ำเอาเม็ดหินออกแล้ววัดความเรียบทันที ตรงส่วนกลางของแท่นระดับจะบุ๋มลงไป ถ้าทิ้งไว้สักครู่แล้ววัดใหม่ รอยบุ๋มนั้นจะค่อยๆ หายไป เนื่องจากน้ำในแท่นระดับระเหยกลายเป็นไอ จะดึงความร้อนจากบริเวณโดยรอบ ทำให้เกิดการหดตัวเป็นรอยบุ๋ม ทิ้งไว้สักพักการหดตัวนี้จะหายไป การวัดความเรียบภายหลังแต่งผิวเสร็จใหม่ๆ จึงต้องระวังในจุดนี้ให้ดี

2.11 ชนิด การใช้งาน การดูแลรักษา ระดับน้ำ

ระดับน้ำเป็นเครื่องมือวัดระดับหรือความลาดเอียงที่มีประโยชน์มากชนิดหนึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในแวดวงอุตสาหกรรมและวิศกรรมส่วนมากเราจะคุ้นเคยกับระดับน้ำชนิดฟองอากาศอยู่ในหลอดแก้วซึ่งอาจจะมีติดตั้งอยู่บ้างของเครื่องมือ ส่วนในแวดวงของมาตรวิทยาว่าด้วยเครื่องมือวัดก็จะเกี่ยวข้องกับระดับน้ำหรือเครื่องมือวัดระดับที่มีความเที่ยงตรงสูง ได้แก่ Precision level, Clinometers, Theodolites, Bench level, และ Mechanics level เครื่องมือเหล่านี้จะประกอบด้วยหลอดแก้วที่ใส่ของไหลที่ไม่แข็งตัว ณ อุณหภูมิต่ำ เช่น แอลกอฮอล์ มาจากคำว่า “Spirit of wine”และเป็นที่มาของคำว่า “Spirit level” ที่มีฟองอากาศซึ่งการเคลื่อนตัวของฟองอากาศจะขึ้นอยู่กับแรงโน้มถ่วงของโลกและระดับน้ำที่เราคุ้นเคยจะเป็นแบบ บล็อกเรฟเวล(Block level)ดังรูปที่ 2.5

รูปที่ 2.5 แสดงชนิดของระดับน้ำแบบฟองอากาศ

ความเที่ยงตรงของระดับน้ำจะขึ้นอยู่กับความโค้งของหลอดแก้ว ถ้าเป็นระดับน้ำราคาถูกจะมีหลอดแก้วโค้ง แต่ถ้าเป็นระดับน้ำที่มีหลอดแก้วตรงจะมีความเที่ยงตรงสูงและมีราคาแพงหรืออาจจะกล่าวได้ว่าความเที่ยงตรงของระดับน้ำขึ้นอยู่กับค่าเรเดียสของหลอดแก้วหมายความว่าหลอดแก้วที่มีค่าเรเดียสมากกว่าจะมีความเที่ยงตรงมากกว่านั่นเองดังแสดงในรูปที่ 2.6 ความผิดพลาดของระดับน้ำเนื่องจากความหนืดของของเหลว(viscosity) ในหลอดแก้วและการหดตัว(shrink) ของฟองอากาศเนื่องจากอุณหภูมิของของเหลวเปลี่ยน เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นของเหลวจะขยายตัวทำให้ฟองอากาศมีขนาดเล็กลง



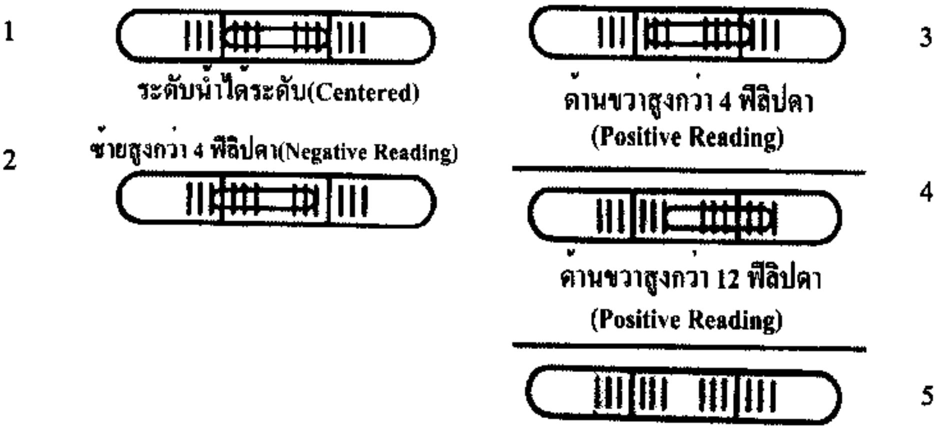
รูปที่ 2.6 ความไวของระดับน้ำขึ้นอยู่กับความโค้งของหลอดแก้ว

ตารางที่ 2.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับสเกลของระดับน้ำ

ℓ (มม.)	50	60	70	80	90	100	120	140	150	200
L (มม.)	59	69	79	89	99	109	129	149	159	209
H (มม.)	20	20	25	25	30	30	40	40	50	50
ความสูงต่อ 1 สเกล (μm)	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.4	2.8	3.0	4.0

2.12 การอ่านระดับน้ำ

การอ่านระดับน้ำรูปที่ 2.7 ตำแหน่งของฟองอากาศต้องอยู่ตรงกลางระหว่างแนวเส้นสเกลยาวของระดับน้ำพอดีซึ่งสามารถมองได้ด้วยตาเปล่าหรือบางครั้งอาจใช้เครื่องหมายจุดที่ปลายของเส้นสเกล การอ่านค่าจากฟองอากาศที่อยู่ด้านซ้ายของระดับน้ำค่าที่อ่านได้เป็นลบ(Negative) และค่าจากฟองอากาศที่อยู่ด้านขวาของระดับน้ำค่าที่อ่านได้เป็นบวก(Positive) ดังตัวอย่างในรูปของระดับน้ำที่มีความละเอียดในการอ่านช่องละ 4 ฟิลิปดา โดยเริ่มต้น(หมายเลข 1)ฟองอากาศจะอยู่ในช่องกลางพอดี ส่วนหมายเลข 5 นั้นระดับมีความลาดเอียงมากเกินกว่าที่ระดับน้ำจะอ่านได้



รูปที่2.7 การอ่านระดับน้ำจากฟองอากาศ

2.13 วิธีการปรับตั้งระดับน้ำ

การปรับตั้งระดับน้ำดังรูปที่ 2.8 เป็นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนหนึ่งที่จะทำให้เกิดความน่าเชื่อถือขณะที่ใช้ระดับน้ำวัดระดับวิธีที่นิยมใช้เรียกว่า “Reversal process” การปรับระดับน้ำด้วยวิธีทำได้โดยการวัดตรงและอ่านค่าแล้วหมุนกลับด้านตามขั้นตอนดังนี้

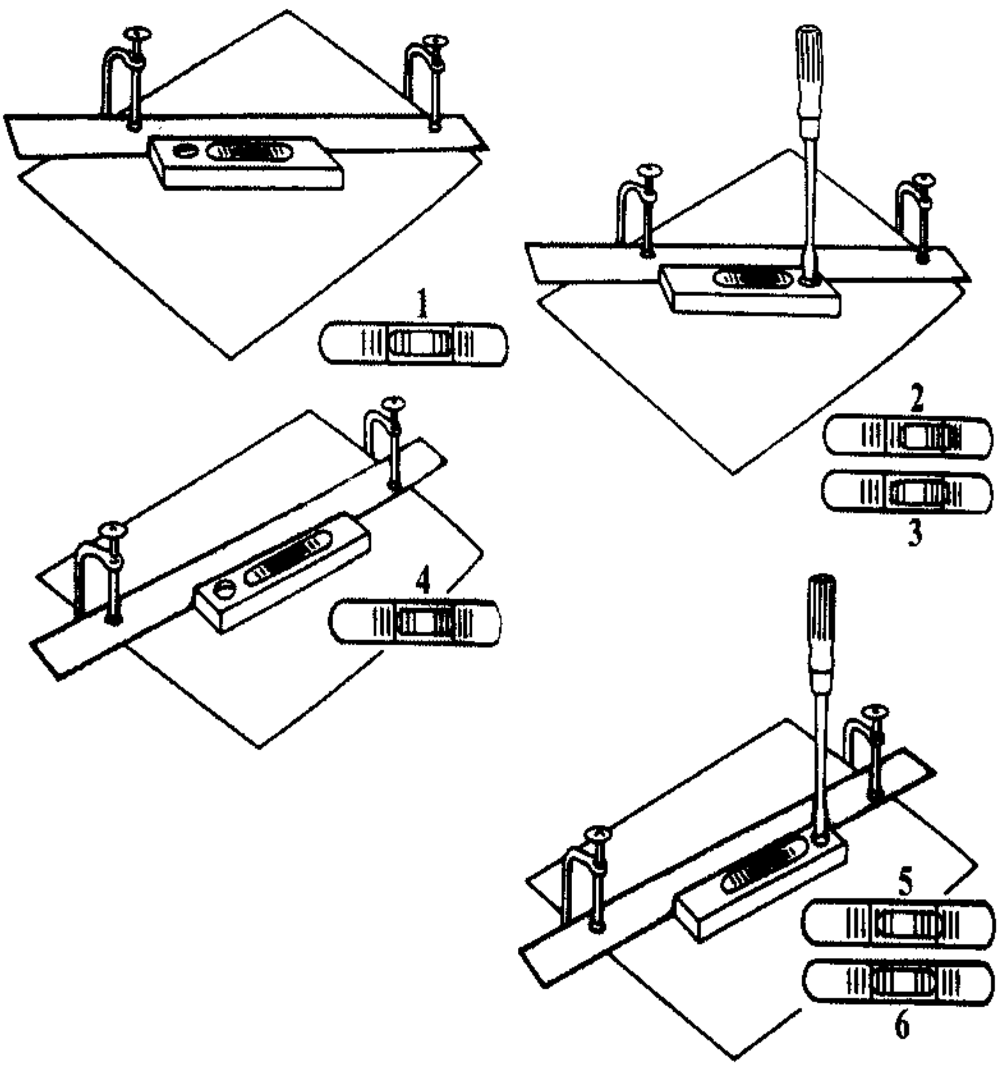
2.13.1 วางระดับน้ำบนพื้นผิวเรียบที่ปรับระดับให้ฟองอยู่ตรงกลางระหว่างเส้นสเกลยาวพอดี

2.13.2 วางระดับน้ำชิดกับบรรทัดเหล็ก

2.13.3 หมุนระดับน้ำกลับด้านแล้วจดบันทึกค่า นำค่าที่อ่านได้มาแบ่งครึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าแก้

2.13.4 ใช้ไขควงค่อยๆปรับสกรูของตัวระดับน้ำให้ฟองอากาศหักลบตามค่าแก้ที่ได้

2.13.5 กระทำซ้ำขั้นตอน 2.13.1-2.13.4 จนได้ค่าระดับที่ถูกต้อง สังเกตว่าถ้าการปรับระดับถูกต้อง ณ ที่ตำแหน่งเดียวกันระดับน้ำจะอ่านได้ค่าเท่ากันทั้งสองด้านเสมอ



รูปที่ 2.8 ขั้นตอนการปรับตั้งระดับ

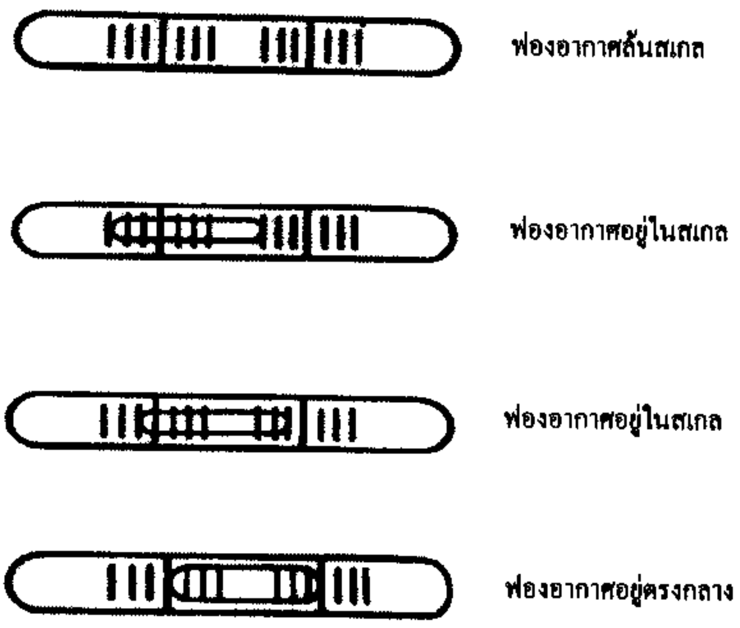
2.14 การปรับตั้งแท่นระดับด้วยระดับน้ำ

การปรับตั้งแท่นระดับดังรูปที่ 2.9 ด้วยระดับน้ำเป็นขั้นตอนการเตรียมแท่นระดับก่อนทำการสอบเทียบเนื่องจากว่าถ้าแท่นระดับมีความลาดเอียงมากเกินไปจะทำให้ฟองอากาศของระดับน้ำล้นสเกลไม่สามารถอ่านค่าได้ การปรับแท่นระดับมีหลักการง่ายๆคือ พยายามปรับแท่นระดับให้ฟองอากาศอยู่ตรงกลางขีดสเกลมากที่สุด มี 2 ขั้นตอนดังนี้

2.14.1 วางระดับน้ำตามด้านยาวของแนวเส้นขอบของแท่นระดับจากด้านไปยังอีกด้านหนึ่ง

2.14.2 วางระดับน้ำตามด้านกว้างของแนวเส้นขอบของแท่นระดับจากด้านไปยังอีกด้านหนึ่ง

กรมวิทยาศาสตร์บริการ



รูปที่ 2.9 การปรับตั้งแท่นระดับด้วยระดับน้ำ

2.15 การดูแลรักษาระดับน้ำ

การใช้ระดับน้ำวัดความลาดเอียงของพื้นผิวชิ้นงานขึ้นอยู่กับความแม่นของงานที่ต้องการวัด เนื่องจากระดับน้ำมีหลากหลายแบบและชนิด การดูแลรักษาระดับน้ำจะช่วยยืดอายุการใช้งานและมีความแม่นตามหัวข้อดังนี้

2.15.1 ใช้ระดับน้ำให้เหมาะสมกับงาน
2.15.2 ไม่ควรปรับระดับน้ำบ่อยครั้งเกินไป
2.15.3 หลีกเลี่ยงการใช้งานบนพื้นที่ที่สั่นสะเทือน
2.15.4 อย่าให้เกิดการกระทบกระเทือนอย่างรุนแรง
2.15.5 วางระดับอย่างระมัดระวังขณะทำการวัด
2.15.6 ไม่ควรลากหรือเลื่อนระดับน้ำไปบนผิวชิ้นงาน
2.15.7 หลีกสิ่งสกปรกเช่น คราบน้ำมัน ฝุ่น สารเคมี
2.15.8 เช็ดทำความสะอาดทุกครั้งหลังใช้งานเสมอ
2.15.9 ควรทาน้ำมันในบริเวณที่เกิดสนิมเมื่อไม่ได้ใช้งานนานๆ
2.15.10 เก็บไว้ในกล่องหรือในที่แห้งปราศจากแสงแดดและความชื้น

ตารางที่2.8 ขนาดและความแม่นของระดับน้ำ

ขนาดของระดับน้ำ (มม.)	**ความไว (มม./ม)**	**ความแม่นและเกรด**	
		A	**B**
150	0.02, 0.05, 0.10	± 0.3-0.5	± 0.5-0.7
200	0.02, 0.05, 0.10	± 0.3-0.5	± 0.5-0.7
250	0.02, 0.05, 0.10	± 0.3-0.5	± 0.5-0.7
300	0.02, 0.05, 0.10	± 0.3-0.5	± 0.5-0.7

2.16 วิธีการสอบเทียบแท่นระดับด้วยระดับน้ำ

การสอบเทียบแท่นระดับโดยปกติจะใช้รูปแบบการตีเส้นแบบยูเนี่ยนแจ็ค(Union Jack pattern) หรือ ตีเส้น 8 เส้น ผลของการวัดจะคำนวณค่าความเรียบที่ระบุไว้ในเชิงความสูงสัมพัทธ์ หรือ เส้นคอนทัวร์แม็พ (contour map) ที่จะหาค่าความเรียบได้ง่าย เนื่องจากการใช้เส้นคอนทัวร์แม็พจะดีกว่าในกรณีที่สามารถเห็นความสูงต่ำของลายเส้นและพื้นที่ได้ดีที่สุด รูปแบบยูเนี่ยนแจ็คมีเส้น 8 เส้น แนวเส้น AB, AD, BC, และ CD ควรตีเส้นให้ห่างจากขอบประมาณ *15 มม.+ 2 %ของความยาวเส้นที่สั้นที่สุด*ของแท่นระดับในแต่ละขอบแต่ละจุดทำเครื่องหมายตัวอักษรของแต่ละเส้น แบ่งจุดต่างๆ ก่อนที่จะรวมเข้าด้วยกันตามที่กำหนดไว้ในแต่ละเส้น ดังนั้นเมื่อเราคำนวณเส้นต่างๆ เราต้องระบุค่าที่ปลายเส้นของมันด้วย จุดที่ขาสัมผัสแต่ละจุดของฐานระดับน้ำควรจะต้องปรับระยะระดับจุดที่ขาโดยประมาณ จำนวนพิท(Pitches)หรือ ระยะห่างของจุดควรใช้ให้เหมือนกันทุกเส้นให้มีความสัมพันธ์กันกับขนาดของระดับน้ำและจำนวนจุดบนเส้นที่ตีบนแท่นระดับขนาดตามมาตรฐานแท่นระดับรูปทรงผืนผ้า สำหรับเส้นทะแยงมุมใช้ 12 จุด เส้นตามยาว 10 จุด และตามขวาง 6 จุด ส่วนแท่นรูปทรงจตุรัสควรใช้ระยะระดับ 8 จุดในแต่ละเส้นเมื่อสอบเทียบแท่นระดับเส้นแต่ละเส้นต้องวัดอย่างน้อยสองครั้ง(โดยทั่วไปจะวัดทั้งไปและกลับ) และเฉลี่ยค่าในแต่ละจุดเพื่อใช้คำนวณระดับหากว่าในขณะทำการวัด ณ จุดใดๆมีปัญหาเกิดขึ้นควรทำการวัดซ้ำ การแสดงผลการวัดควรให้นัยสำคัญหลังทศนิยมหนึ่งตำแหน่งในหน่วยของ 0.001 มม. ***จุดที่แสดงค่าความผิดพลาดสูงสุด-ต่ำสุดควรจะตีเส้นใต้เอาไว้*** ผลต่างระหว่างค่าตามจุดเหล่านี้คือ “ค่าความเรียบ” ควรแสดงค่านี้กับค่าความแน่นอนในการวัดในใบรับรองด้วย

บทที่ 3
วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการ

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบแท่นระดับ

3.1.1 แท่นระดับหินแกรนิตพร้อมชุดขาตั้งชนิดที่สามารถปรับได้

3.1.2 ระดับน้ำมีความไวต่อหนึ่งช่องสเกลเท่ากับ 0.02มม./ม หรือดีกว่าขนาดยาวฐานไม่เกิน 200 มม.

3.1.3 น้ำยาทำความสะอาดหินแกรนิตชนิดสเปรย์และผ้าสะอาด

3.1.4 บรรทัดเหล็ก(ความยาวขึ้นอยู่กับขนาดของแท่นระดับ)

3.1.5 ซี-แคล็มป์(C-Clamp)หรือ บาร์แคล็มป์(Bar Clamp) 2 ตัว

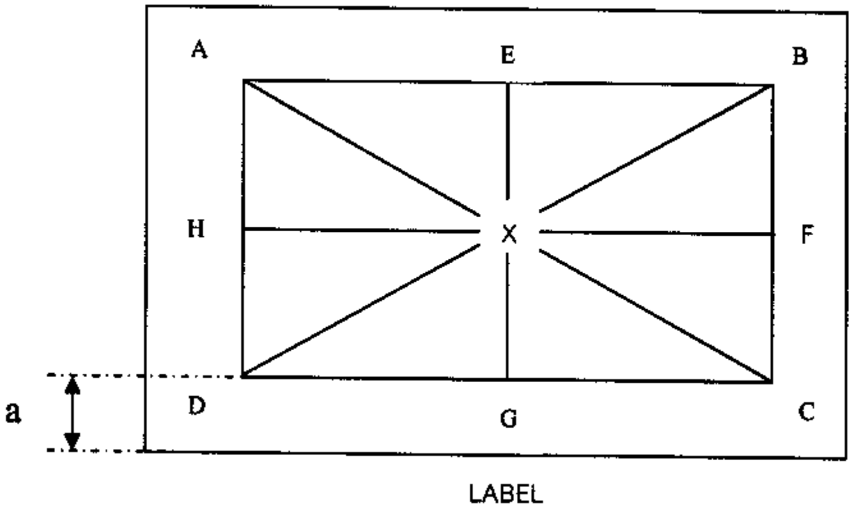
3.1.6 ดินสอสีหรือปากกา(ชนิดลบออกง่ายเมื่อต้องการ)

3.1.7 ประแจปากเลื่อน

3.1.8 เครื่องคิดเลข

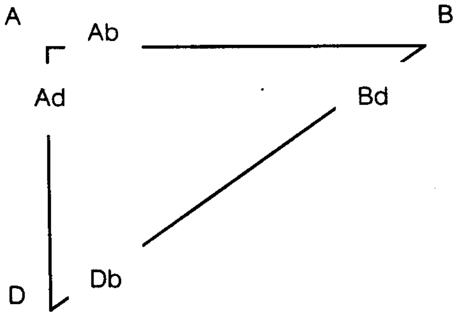
3.2 ขั้นตอนการสอบเทียบแท่นระดับ

ก่อนทำการสอบเทียบควรตรวจสอบสภาพของและทำความสะอาดผิวหน้าของแท่นระดับก่อนเสมอ หากแท่นระดับมีขนาดใหญ่กว่า 1000 มม. ต้องปรับขาตั้งเพื่อให้ผิวหน้าของแท่นระดับได้ระดับสังเกตจากฟองของระดับน้ำต้องอยู่สมดุลย์ตรงกลางสเกลไม่ให้ฟองของระดับน้ำเคลื่อนตกสเกล ปฏิบัติตามหัวข้อ 2.14 การสอบเทียบแท่นระดับวิธีที่ใช้สอบเทียบหรือหาความเรียบของแท่นระดับจะเป็นรูปแบบการตีเส้นแบบยูเนี่ยนแจ็ค(Union Jack pattern) โดยการตีเส้น 8 เส้นลงบนแท่นระดับ ดังรูปที่ 3.1 ข้างล่าง แนวเส้น AB, AD, BC, และ CD ควรตีเส้น 4 เส้นนี้ให้ระยะห่างจากขอบแท่นระดับ(a)



รูปที่ 3.1 การตีเส้นแบบยูเนี่ยนแจ็ค

แต่ละจุดทำเครื่องหมายตัวอักษรของแต่ละเส้นไว้ดังรูปที่3.2 แบ่งจุดต่างๆก่อนที่จะรวมเข้าด้วยกันตามที่กำหนดไว้ในแต่ละเส้น ดังนั้นเมื่อเราคำนวณเส้นต่างๆ เราต้องระบุค่าที่ปลายเส้นของมันด้วย



รูปที่ 3.2 เครื่องหมายตัวอักษรของแต่ละเส้น

จุดที่ขาสัมผัสแต่ละจุดของฐานระดับน้ำควรจะต้องปรับระยะห่างของจุดที่วัดโดยประมาณ โดยจำนวนพิท(Pitches)หรือ ระยะห่างของจุดควรใช้ให้เท่ากันทุกเส้น จำนวนมากที่สุดของจุดบนเส้นที่ตีบนแท่นระดับขนาดที่นิยมใช้ทั่วไปตามมาตรฐานแท่นระดับรูปทรงผืนผ้า สำหรับเส้นทะแยงมุมใช้ 12 จุด เส้นตามยาว 10 จุด และตามขวาง 6 จุด ส่วนแท่นรูปทรงจตุรัสควรใช้ระยะระดับ 8 จุด ระยะห่างจากขอบในแต่ละเส้นประมาณ 15 มม.+ 2 %ของความยาวหรือความกว้างเส้นที่สั้นที่สุดของแท่นระดับในแต่ละขอบ

เมื่อสอบเทียบแท่นระดับเส้นแต่ละเส้นต้องวัดอย่างน้อยสองครั้ง(โดยทั่วไปจะวัดไปและวัดกลับ) และเฉลี่ยค่าในแต่ละจุด หากว่าในขณะทำการวัด ณ จุดใดๆมีปัญหาเกิดขึ้นควรทำการวัดซ้ำ

3.2.1**ขั้นตอนการวัดตามแนวเส้นและจดบันทึก**

3.2.1.1 **เมื่อเลื่อนตำแหน่งตอนวัดขาไป-กลับจุดสัมผัสตามของเครื่องมือวัดต้องแทนที่จุดสัมผัสนำจดบันทึกทศนิยมหนึ่งตำแหน่งเสมอ**

3.2.1.2 **จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดคือ** Ab, Ac & Ad **เป็นต้น เพราะกำหนดด้วยจุดกึ่งกลางของขาสัมผัส**

3.2.1.3 ให้เส้น AC เป็นเส้นอ้างอิงทำจุด A และ C ให้เป็นศูนย์

3.2.1.4 ทำกึ่งกลางเส้น BD ให้สมดุลย์ ตรงกึ่งกลางเส้น AC ทำการปรับที่ตรงจุด Bd และ Dbบนเส้น BD **จนกระทั่งให้ลงมาเท่ากันหรือขึ้นไปเท่ากันที่จุดกึ่งกลาง**

3.2.1.5 รวมที่ปลายของเส้น AB กล่าวคือ Ab และ Ba ให้เหมาะสมกันกับปลายของเส้น AC และ BD เช่น Ac และ Bd

3.2.1.6 เช่นเดียวกันรวม CD กับ Ca และ Db

3.2.1.7 รวม AD กับ AC และ Db

3.2.1.8 รวม BC กับ Bd และ Ca

ในขั้นตอนนี้เราสามารถกำหนดรูปแบบ Ab, Ac และ Ad ไว้ เพราะว่าเรานำเอาจุด ทั้งหมดเหล่านั้นมาเป็นจุด A เช่นเดียวกันกับจุด B, C และ D เพียงเท่านี้ทุกสิ่งก็เสร็จสิ้น ซึ่งจะดูว่าขาดความน่าเชื่อถือของค่าความไม่แน่นอนในการวัดหรือแม้กระทั่งค่าความผิดพลาดรวมทั้งหมด

3.2.1.9 ตอนนี้ใส่เครื่องหมายกากบาท(St George's Cross) จุดรวม Eg ไปที่จุดกึ่งกลางของ AB และจุดรวม Geไปที่จุดกึ่งกลางของ CD

3.2.1.10 เช่นเดียวกันกับจุดรวม Hf ไปที่จุดกึ่งกลางของ AD และจุดรวม Fh ไปที่จุดกึ่งกลางของ BC

3.2.1.11 จุดกึ่งกลางของ EG และ FH ควรจะสอดคล้องกันได้พอดีกับจุดกึ่งกลางที่มีเครื่องหมายของ St Andrew 's Cross กล่าวคือ แต่ Xac และ Xab แตกต่างกัน ผลต่างสูงสุดระหว่างจุดกึ่งกลางทั้ง 4 จุด Xac, Xbd, Xeg และ Xfh ควรไม่เกิน (1.5+0.8+ความยาวเส้นทะแยงมุม:m) ไมโครเมตร หากว่าเกินก็จำเป็นต้องวัดใหม่อีกครั้ง

3.2.1.12 ค่าเฉลี่ยของ Xac, Xab, Xeg และ Xfh ควรจะบันทึกที่ตรงตำแหน่ง X จุดอื่นๆ ทั้งหมดยกเว้นจุด A, B, C และ D ควรแก้ผลต่างระหว่าง Xac, Xbd, Xeg และ Xfh ให้เหมาะสมและค่าเฉลี่ยที่ผลต่างจะมีผลต่อค่านัยสำคัญของค่าที่วัดได้

3.3 การคำนวณระยะพิทระยะขอบและความเรียบ

สมมติแท่นระดับหินแกรนิต ขนาด: 1600 X 1000 มม. ระยะห่างจากขอบ: 15+1000/50 = 35 มม. ลายเส้น AB, FH และ DC ความยาว = 1600-(2 x 35) = 1530 มม. จำนวนช่วงวัด(Pitches) = 10, ช่วงวัด = 1530/10 = 153 มม. 1 ฟิลิปดาของระดับ(1 sec of arc) = 0.000 004 85 x 153 มม. = 0.000 74 มม. หรือ 0.74 ไมโครเมตร

ลายเส้น AD, EG และ BC ความยาว = 1000-(2 x 35) = 930 มม. จำนวนช่วงวัด(Pitches) = 10, ช่วงวัด = 930/10 = 93 มม.

หมายเหตุ โดยทั่วไปช่วงวัด 6 ช่วง แต่เลือกใช้ 10 เพื่อแสดงการปรับแก้จะดีกว่า 1 ฟิลิปดาของระดับ(rise of 1 sec) = 0.000 004 85 x 93 มม. = 0.000 45 มม. หรือ 0.45 ไมโครเมตร,

ลายเส้น AC และ BD ความยาว = $\sqrt{1530^2 + 930^2}$ = 1790 มม. จำนวนช่วงวัด(Pitches) = 12,

ช่วงวัด = 1790/12 = 149 มม. ฟิลิปดาของระดับ(rise of 1 sec) = 0.000 004 85 x 149 มม. = 0.000 72 มม. หรือ 0.72 ไมโครเมตร,

ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกผลการสอบเทียบ

1	2	3	4	5	6
ค่าที่วัดได้ **(ฟิลิปดา)**	ผลต่างจาก ค่าเฉลี่ย (ฟิลิปดา)	ระดับขึ้น-ลง ในช่วงวัดมม. (ไมโครเมตร)	ระดับขึ้น-ลง สะสม (ไมโครเมตร)	ค่าแก้ (ไมโครเมตร)	ผลลัพธ์ (ไมโครเมตร)
- - -	- - -	- - -	- - -	- - -	- - -
ค่าเฉลี่ย					

หมายเหตุ: ผลรวมทั้งหมดและ ค่าเฉลี่ย (ฟิลิปดา) ปัดเศษขึ้น 0.1 ฟิลิปดา ค่าแก้ในช่องที่ 5 เป็นการปรับให้ระดับของปลายเส้นให้เป็นศูนย์โดยการหักลบค่าที่จุดปลาย คือต้องปรับให้เป็นศูนย์ตามค่า Slope ในอัตราส่วนตั้งแต่ 12/12 จนถึง 0/12 แล้วนำไปรวมกับค่าระดับขึ้น-ลงสะสมในช่องที่ 4 ดังนี้

(+0.4) X (12/12) = +0.4

(+0.4) X (11/12) = +0.367

(+0.4) X (0/12) = +0.0

หากว่าจุดเริ่มต้น-จุดสุดท้ายในช่องที่ 4 เป็นศูนย์แล้วในช่องที่ 5 และ 6 ก็ไม่จำเป็นต้องทำเส้น ดังตารางข้างบนและเส้นอื่นๆทุกเส้นผลลัพธ์เป็นดังช่องที่ 4 แล้วช่องที่ 7 และ 8 ทำต่อดังนี้ตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกผลการสอบเทียบ(ต่อ)

7	8
ค่าแก้ร่วม ที่จุด X (ไมโครเมตร)	ผลลัพธ์ (ไมโครเมตร)
- - -	- - -

ตัวอย่างที่จุด Xbd ต้องทำให้เท่ากันกับ Xac ใส่ค่าสำหรับ Xac เช่น –7.0 ในคอลัมน์ที่ 8 ใส่ผลต่างระหว่าง Xbd และ Xac กับทุกจุดในคอลัมน์ที่ 7 การคำนวณค่าแก้นี้ยังเหลืออยู่ในคอลัมน์ที่ 8 วิธีข้างบนการใส่ผลแล้วจะได้ผลลัพธ์ในคอลัมน์ที่ 8 ต่อมาจัดทำค่าแก้ที่ใช้สำหรับเส้นอื่นๆ ให้เสร็จยก ตัวอย่างเช่น เส้น DC ที่ผลลัพธ์ของ D และCที่ได้ จากเส้น BD และAC โดยลำดับ ผลต่างระหว่างค่าแก้ที่ Dc และ Cd จะเพิ่มขึ้นเท่าๆกันตลอดทั้งเส้น

$$\text{ค่าเฉลี่ย}\ \overline{X} = \frac{Xac + Xbd + Xeg + Xhf}{4}\ \mu m$$

3.3.1 ค่าเฉลี่ยของ Xac, Xbd, Xeg, และ Xfh คือ $\overline{X}$ ควรบันทึกค่าที่ตำแหน่งตรงกลางของแท่นระดับจุด X จะต้องแก้ สำหรับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยกับ Xac, Xbd, Xeg, และ Xfh การคำนวณค่าแก้นั้นสมมติว่าให้ค่าความผิดพลาดเป็นเชิงมุมทุกๆระยะช่วงวัดตลอดเส้นที่จะวัดคำนวณจากค่าแก้ที่จุดกึ่งศูนย์กลาง(C_0) จากสูตรข้างล่างนี้

$$C_0 = \alpha\ l_i n_i \frac{(n_i + 1)}{2}$$

$$\alpha\ l_i = \frac{C_0}{\frac{n_i(n_i + 1)}{2}}$$

ที่ α = มุมเกรเดี่ยน(gradient)

l_i = ช่วงระยะพิท(pitch)ของเส้นใดๆ

n_i = จำนวนช่วงที่วัดจากจุดกึ่งกลางถึงปลายสุดของเส้น

ดังนั้นค่าแก้ที่จุดอื่นๆ บนเส้นคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$C_n = C_0 - n_i \frac{(n_i + 1)}{2} \alpha\ l_i$$

ที่ C_n เป็นค่าแก้ที่ระยะวัดที่ n ใดๆจากจุดกึ่งกลาง

ยกตัวอย่างเช่น C_1 = - 0.5 – 1 x – 0.0238 = - 0.476 μm

เมื่อคำนวณค่าแก้ระยะวัดที่ C_n คำนวณค่าแก้สำหรับเส้นทะแยงมุมด้วย(เส้น AC ปรับเข้ากับเส้น BD)

3.3.2 ผลต่างระหว่าง Xhf และค่าเฉลี่ยนำไปเป็นค่าแก้ให้กับเส้น HF, AD และ BC

ยกตัวอย่างเช่น ค่าแก้เส้น Xhf = -7.5-(-11) = 3.5 μm

$$C = \alpha\left(l_i n_i (\frac{n_i + 1}{2}) + l_{i+1} n_{i+1} (\frac{n_{i+1} + 1}{2}) \right)$$

ที่ l_i= ระยะพิทของเส้นที่ i , n_i= จำนวนพิทจากจุดกึ่งกลางไปยังปลายสุดของเส้น i
l_{i+1}= ระยะพิทของเส้น $i+1$, n_{i+1}= จำนวนพิทจากจุดกึ่งกลางไปยังปลายสุดของเส้น $i+1$

3.3.3 ทำการปรับค่าแก้เช่นเดียวกันกับหัวข้อ 3.4.1 และ 3.4.2 กับทุกเส้นจนค่าแก้ที่ปลายเส้นทุกเส้นเท่ากันและค่าแก้ที่จุดกึ่งกลาง(X) ของแท่นระดับเป็นค่าเดียวกันดังตัวอย่างช่องที่ 8 ตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ผลลัพธ์สุดท้ายการปรับค่าแก้

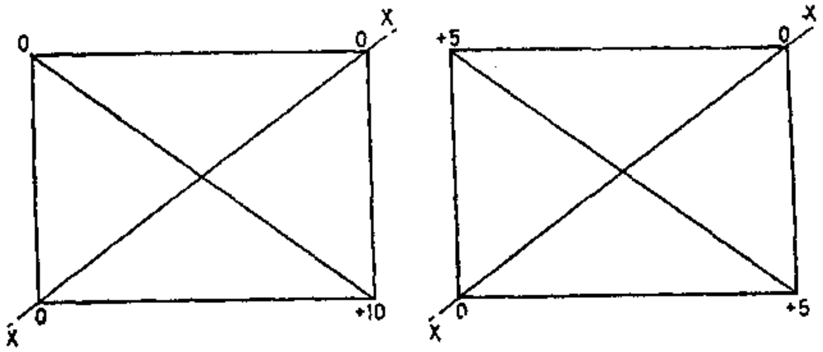
<u>เส้น AC</u>

6	7	8
ผลลัพธ์ (ไมโครเมตร)	ค่าแก้สำหรับ $\overline{X}$ (ไมโครเมตร)	ผลลัพธ์สุดท้าย (ไมโครเมตร)
-	-	0 **(A)**
-	-	-1.3
-	-	-2.7
-	-	-3.7
-	-	-4.6
-	-	-6.1
-	-	-7.5 **(X)**
-	-	-6.5
-	-	-4.9
-	-	-3.7
-	-	-2.4
-	-	-0.9
		0 **(C)**

3.4 การแสดงผลการสอบเทียบ

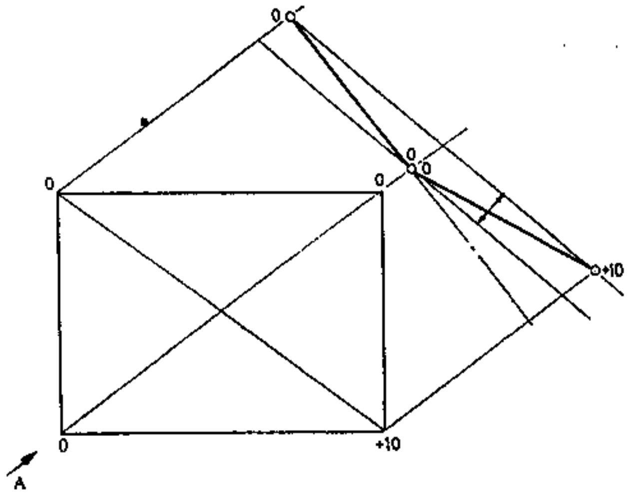
ผลจากการคำนวณควรเขียนเป็นแผนผังลายเส้น Contour map ผลต่างสูงสุดและต่ำสุดในรูปของ Contour map อาจจะไม่ใช่ค่าผิดพลาดน้อยที่สุดดังที่ได้กำหนดไว้ว่าเป็นค่าน้อยที่สุดของสองระนาบขนาน ที่ประกอบด้วยลายเส้นค่าที่วัดได้นี่เป็นการแสดงค่าผิดพลาดบนระนาบ แผนผังลายเส้นควรตรวจสอบหากว่ามีการเอียงหรือตะแคง(tilting)ระนาบ พิจารณาเลือกค่าที่เหมาะสมจะลดค่าความผิดพลาด(ดู BS 817 ประกอบ)

การตะแคงหรือเอียงระนาบ ดังรูปที่ 3.3 นี้ โดยทั่วไปเป็นสิ่งจำเป็นถ้าต้องการที่จะวัดระนาบของแท่นระดับที่มีเกรดสูงกว่าเท่านั้น



รูปที่ 3.3 การตะแคงหรือเอียงระนาบ(tilting)

การแสดงผลการวัดควรให้นัยสำคัญหลังทศนิยมหนึ่งตำแหน่งในหน่วยของ 0.001 มม. ***จุดที่แสดงค่าความผิดพลาดสูงสุด-ต่ำสุดควรจะตีเส้นใต้เอาไว้*** ผลต่างระหว่างค่าตามจุดเหล่านี้คือ "ค่าความเรียบ" ควรแสดงค่านี้กับค่าความแน่นอนในการวัดในใบรับรองด้วย



รูปที่ 3.4 ผลต่างสูงสุดและต่ำสุดของลายเส้น Contour map

บทที่ 4
ผลการสอบเทียบ

4.1 ผลการสอบเทียบแท่นระดับ

การแสดงผลการสอบเทียบควรให้นัยสำคัญหลังทศนิยมหนึ่งตำแหน่งในหน่วยของ 0.001 มม. ***จุดที่แสดงค่าความผิดพลาดสูงสุด-ต่ำสุดควรจะขีดเส้นใต้เอาไว้*** ผลต่างระหว่างค่าตามจุดเหล่านี้คือค่าความเรียบ ควรแสดงค่านี้กับค่าความแน่นอนในการวัดในใบรับรองด้วย จากผลการคำนวณสอบแผนผังลายเส้นจะพบว่าสามารถลดค่าผิดพลาด ได้ถ้ามีการตะแคงลายเส้นของจุดบนเส้น AC และจุดที่ปรับแก้ทั้งหมดอย่างเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะของมันจากจุดบนเส้นนี้ จนได้จุดต่ำสุดบนเส้น DC (-15.5)และเท่ากันกับ จุด B(-14.3)

ผลที่ได้จากการคำนวณควรเขียนเป็นแผนผังลายเส้น Contour map ผลต่างสูงสุดและต่ำสุดในรูปของ Contour map อาจจะไม่ใช่ค่าผิดพลาดน้อยที่สุดดังที่ได้ถูกกำหนดไว้ว่าเป็นค่าน้อยที่สุดของสองระนาบขนาน ที่ประกอบด้วยลายเส้นของค่าที่วัดได้นี่เป็นการแสดงค่าผิดพลาดบนระนาบ แผนผังลายเส้นควรตรวจสอบถ้าพบว่ามีการเอียงหรือตะแคงลายเส้น พิจารณาเลือกจุดที่เหมาะสมก็จะช่วยลดค่าความผิดพลาด

4.1.1 การคำนวณผลการสอบเทียบแท่นระดับด้วยระดับน้ำ

การสอบเทียบแท่นระดับหินแกรนิต ขนาด: 1600 X 1000 มม. ระยะจากขอบ: = 15+1000/50 = 35 มม. ลายเส้น AB, FH และ DC ความยาว = 1600-(2 x 35) = 1530 มม. จำนวนช่วงวัด(Pitches) = 10, ช่วงวัด = 1530/10 = 153 มม. 1 ฟิลิปดาของระดับ(1 sec of arc) = 0.000 004 85 x 153 มม. = 0.000 74 มม. หรือ 0.74 ไมโครเมตร ลายเส้น AD, EG และ BC ความยาว = 1000-(2 x 35) = 930 มม. จำนวนช่วงวัด (Pitches) = 10, ช่วงวัด = 930/10 = 93 มม.

หมายเหตุ โดยทั่วไปช่วงวัด 6 ช่วง แต่เลือกใช้ 10 เพื่อแสดงการปรับแก้จะดีกว่า 1 **ฟิลิปดาของระดับ**(rise of 1 sec) = 0.000 004 85 x 93 มม. = 0.000 45 มม. หรือ 0.45 ไมโครเมตร,

ลายเส้น AC และ BD ความยาว = $\sqrt{1530^2 + 930^2}$ = 1790 มม. จำนวนช่วงวัด(Pitches) = 12, ช่วงวัด = 1790/12 = 149 มม. ฟิลิปดาของระดับ(rise of 1 sec) = 0.000 004 85 x =149 มม. = 0.000 72 มม. หรือ 0.72 ไมโครเมตร

ตารางที่4.1 พิจารณาเส้น AC

1	2	3	4	5	6
ค่าที่วัดได้ (ฟิลิปดา)	ผลต่างจากค่าเฉลี่ย (ฟิลิปดา)	ระดับขึ้น-ลงใน149 มม. (ไมโครเมตร)	ระดับขึ้น-ลงสะสม (ไมโครเมตร)	ค่าแก้ (ไมโครเมตร)	ผลลัพธ์ (ไมโครเมตร)
-	-	0	0	0	0 (A)
5.5	-1.7	-1.2	-1.2	0	-1.2
5.4	-1.8	-1.3	-2.5	+0.1	-2.4
5.9	-1.3	-0.9	-3.4	+0.1	-3.3
5.9	-1.3	-0.9	-4.3	+0.1	-4.2
5.1	-2.1	-1.5	-5.8	+0.2	-5.6
5.2	-2.0	-1.4	-7.2	+0.2	-7.0 (Xac)
8.6	+1.4	+1.0	-6.2	+0.2	-0.6
9.2	+2.0	+1.4	-4.8	+0.3	-4.5
8.9	+1.7	+1.2	-3.6	+0.3	-3.3
8.9	+1.7	+1.2	-2.4	+0.3	-2.1
8.9	+1.7	+1.2	-1.2	+0.4	-0.8
1	2	3	4	5	6
8.3	+1.1	+0.8	-0.4	+0.4	0 (C)
85.8					

หมายเหตุ รวมทั้งหมด **85.8** ฟิลิปดา, ค่าเฉลี่ย = 85.8/12 = 7.2 ฟิลิปดา (ปัดเศษขึ้น 0.1 ฟิลิปดา)ค่าแก้ในช่องที่ 5 เป็นการปรับให้ระดับของปลายเส้น AC เป็นศูนย์โดยการหักลบค่าที่จุด aC คือ–0.4 ไมโครเมตร ด้วย +0.4 ไมโครเมตรต้องปรับให้เป็นศูนย์ตามค่า Slope ในอัตราส่วนตั้งแต่12/12 จนถึง 0/12 แล้วนำไปรวมกับค่าระดับขึ้น-ลงสะสมในช่องที่ 4 ดังนี้

(+0.4) X (12/12) = +0.4

(+0.4) X (11/12) = +0.367

.

.

(+0.4) X (0/12) = +0.0

หากว่าจุดเริ่มต้น-จุดสุดท้ายในช่องที่ 4 เป็นศูนย์แล้วในช่องที่ 5 และ 6 ก็ไม่จำเป็นต้องทำทำเส้น BD ให้ได้ผลลัพธ์ดังช่องที่ 6 ดังตารางข้างบนและเส้นอื่นๆทุกเส้นผลลัพธ์เป็นดังช่องที่ 4 แล้วทำต่อดังนี้

ตารางที่4.2 พิจารณาเส้น BD

6	7	8
ผลลัพธ์ (ไมโครเมตร)	ค่าแก้ร่วม Xbd กับ Xac (ไมโครเมตร)	ผลลัพธ์ (ไมโครเมตร)
0 (Bd)	-12.8	-12.8 (B)
+1.2	-12.8	-11.6
+2.7	-12.8	-10.1
+3.9	-12.8	- 8.9
+4.5	-12.8	- 8.3
+5.2	-12.8	- 7.6
+5.8 (Xbd)	-12.8	- 7.0(Xbd)
+5.0	-12.8	- 7.8
+4.3	-12.8	- 8.5
+4.0	-12.8	- 8.8
+2.8	-12.8	-10.0
+1.6	-12.8	-11.2
0 (Db)	-12.8	-12.8 (D)

Xbd ต้องทำให้เท่ากันกับ Xac ใส่ค่าสำหรับ Xac เช่น –7.0 ในคอลัมน์ที่ 8 ใส่ผลต่างระหว่าง Xbd และ Xac กับทุกจุดในคอลัมน์ที่ 7 การคำนวณค่าแก้นี้ยังเหลืออยู่ในคอลัมน์ที่ 8 วิธีข้างบนการใส่ผลแล้วจะได้ผลลัพธ์ในคอลัมน์ที่ และต่อมาจัดทำค่าแก้ที่จำเป็นที่ใช้สำหรับเส้นกริดอื่นๆ ให้เสร็จสิ้นลง ยกตัวอย่างเส้น DC ที่ผลลัพธ์ของ D และCที่ได้ จากเส้น BD และAC โดยลำดับผลต่างระหว่างค่าแก้ที่ Dc และ Cd ต่อมาจะทำการเพิ่มขึ้นเท่าๆ กันตลอดตามแนวเส้น

ตารางที่4.3 พิจารณาเส้น AB

4	5	6
ค่าสะสมทั้งขึ้นและลง (ไมโครเมตร)	ค่าแก้ร่วม Ab กับ A และ BA กับ B (ไมโครเมตร)	ผลลัพธ์ (ไมโครเมตร)
0 (Ab)	0	0 (A)
+0.8	-1.3	-0.5
+1.2	-2.6	-1.4
+1.7	-3.9	-2.2
+2.1	-5.2	-3.1
+3.3(Eab)	-6.5	-3.2(E)
+2.5	-7.8	-5.3
+1.9	-9.1	-7.2

ตารางที่4.4 พิจารณาเส้น DC

4	5	6
ค่าสะสมทั้งขึ้นและลง (ไมโครเมตร)	ค่าแก้ร่วม Ab กับ A และ BA กับ B (ไมโครเมตร)	ผลลัพธ์ (ไมโครเมตร)
0 (Dc)	-12.8	-12.8 (D)
-1.6	-11.5	-13.1
-4.4	-10.2	-14.6
-3.3	-8.9	-12.2
-2.9	-7.6	-10.5
-2.1(Gdc)	-6.3	- 8.4(G)
-1.5	-5.0	- 6.5
-1.1	-3.7	-4.8

ตารางที่4.3 พิจารณาเส้น AB(ต่อ)

+1.7	-10.4	-8.7
+0.9	-11.7	-10.8
+0.2 (Ba)	-13.0	-12.8 (B)

ตารางที่4.4 พิจารณาเส้น DC(ต่อ)

-1.0	-2.4	-3.4
-0.6	-1.1	-1.7
-0.2 (Cd)	+0.2	0(C)

ตารางที่4.5 พิจารณาเส้น AD

4	5	6
ค่าสะสมทั้งขึ้นและลง (ไมโครเมตร)	ค่าแก้ร่วม Ad กับ A และ DA กับ D (ไมโครเมตร)	**ผลลัพธ์** (ไมโครเมตร)
0 (Ad)	0	0 (A)
+0.9	-1.2	-0.3
+1.5	-2.5	-1.0
+2.3	-3.7	-1.4
+2.9	-5.0	-2.1
+3.2(Had)	-6.2	-3.0(H)
+2.1	-7.4	-5.3
+1.7	-8.7	-7.0
+1.7	-9.9	-8.2
+0.9	-11.2	-10.3
-0.4(Da)	-12.4	-12.8(D)

ตารางที่4.6 พิจารณาเส้น BC

4	5	6
ค่าสะสมทั้งขึ้นและลง (ไมโครเมตร)	ค่าแก้ร่วม Bc กับ B และ Cb กับ C (ไมโครเมตร)	**ผลลัพธ์** (ไมโครเมตร)
0 (Bc)	-12.8	-12.8 (B)
-0.3	-11.6	-11.9
-1.1	-10.3	-11.4
-1.8	-9.1	-10.9
-2.9	-7.8	-10.7
-4.2(Fbc)	-6.6	- 10.8(F)
-3.7	-5.4	- 9.1
-4.9	-4.1	- 9.0
-3.5	-2.9	- 6.4
-1.7	-1.6	- 3.3
+0.4(Cb)	-0.4	0 (C)

หมายเหตุ พิจารณาการคำนวณค่าแก้ที่ **<u>เส้น AD</u>** จะสังเกตเห็นว่าที่เส้น AD นั้นที่จุด A ต้องการค่าเป็น 0 และจุด D ต้องการค่าเป็น –12.8 จากการปรับแก้เส้น AC และ BD ในตอนเริ่มต้น จุด A ไม่จำเป็นต้องปรับแก้ ให้พิจารณาค่าแก้ที่จุด D เท่านั้น เมื่อจุด D เท่ากับ -0.4 ก่อนอื่นเพื่อให้ได้ผลลัพธ์เท่ากับ –12.8 ฉะนั้นต้องแก้ด้วย –12.4 โดยนำค่าแก้นี้คูณด้วย I/Pitch เมื่อ I = 0,1,2,…,10 และ Pitch = 10 เริ่มต้นจากบนลงล่างหรือจุด A มายังจุด D สังเกตว่าที่ตำแหน่งจุดกึ่งกลางจะมีค่าแก้เป็นครึ่งของตำแหน่งจุดปลายสุดเสมอ นั่นคือ –6.2(จุด H)

พิจารณาการคำนวณค่าแก้ที่ **<u>เส้น BC</u>** จะสังเกตเห็นว่าที่เส้น BC แตกต่างกับเส้น AD เพราะต้องพิจารณาทั้งสองจุดบนเส้นนี้เนื่องจากว่าค่าสะสมที่ได้ไม่ตรงกับการปรับแก้เส้น AC และ BD ในตอนเริ่มต้นที่จุด B ต้องการค่าเป็น-12.8และส่วนที่จุด C ต้องการค่าเป็น 0 ให้พิจารณาค่าแก้ทีละจุด

- เริ่มที่จุด B จากตารางมีค่าเท่ากับ 0 เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่จุด B เท่ากับ –12.8 ต้องปรับแก้ด้วย –12.8

- นำค่าแก้ -12.8 นี้คูณด้วยเทอม I/Pitch เมื่อ I = 0,1,2,…,10 และ Pitch = 10
- เริ่มต้นจากล่างขึ้นบนหรือจุด C มายังจุด B เราจะได้ค่าแก้จุด B เท่ากับ -12.8
- ที่จุด C จากตารางมีค่าเท่ากับ –0.2 เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่จุด C เท่ากับ 0 ฉะนั้นต้องปรับแก้ด้วย +0.2
- นำค่าแก้ +0.2 นี้คูณด้วยเทอม I/Pitch เมื่อ I = 0,1,2,…,10 และ Pitch = 10
- เริ่มต้นจากบนลงล่างหรือจุด B มายังจุด C เราจะได้ค่าแก้จุด C เท่ากับ 0
- นำค่าแก้ทั้งสองมารวมกันก็จะได้ค่าแก้ที่ต้องการตามตารางที่4.7

ตารางที่4.7 พิจารณาค่าแก้เส้น BC

4	ค่าแก้ที่เส้น BC		5	6
ค่าสะสมทั้งขึ้นและลง (ไมโครเมตร)	ค่าแก้ที่จุด B (ไมโครเมตร)	ค่าแก้ที่จุด C (ไมโครเมตร)	ค่าแก้ร่วมBc กับ B และ Cb กับ C (ไมโครเมตร)	ผลลัพธ์ (ไมโครเมตร)
0 (Bc)	-12.8 x(10/10)	-0.4 x (0/10)	-12.8	-12.8 (B)
-0.3	-12.8 x(9/10)	-0.4 x (1/10)	-11.6	-11.9
-1.1	-12.8 x(8/10)	-0.4 x (2/10)	-10.3	-11.4
-1.8	-12.8 x(7/10)	-0.4 x (3/10)	-9.1	-10.9
-2.9	-12.8 x(6/10)	-0.4 x (4/10)	-7.8	-10.7
-4.2(Fbc)	-12.8 x(5/10)	-0.4 x (5/10)	-6.6	- 10.8(F)
-3.7	-12.8 x(4/10)	-0.4 x (6/10)	-5.4	- 9.1
-4.9	-12.8 x(3/10)	-0.4 x (7/10)	-4.1	- 9.0
-3.5	-12.8 x(2/10)	-0.4 x (8/10)	-2.9	- 6.4
-1.7	-12.8 x(1/10)	-0.4 x (9/10)	-1.6	- 3.3
+0.4(Cb)	-12.8 x(0/10)	-0.4 x (10/10)	-0.4	0 (C)

ตารางที่4.8 พิจารณาเส้น EG

4	5	6
ค่าสะสมทั้งขึ้นและลง (ไมโครเมตร)	ค่าแก้ร่วม Eg กับ E และ Ge กับ G (ไมโครเมตร)	ผลลัพธ์ (ไมโครเมตร)
0 (Eg)	-3.2	-3.2 (E)
+1.0	-3.7	-2.7
+1.9	-4.3	-2.4
+2.4	-4.8	-2.4

ตารางที่4.9 พิจารณาเส้น HF

4	5	6
ค่าสะสมทั้งขึ้นและลง (ไมโครเมตร)	ค่าแก้ร่วม HF กับ H และ Fh กับ F (ไมโครเมตร)	ผลลัพธ์ (ไมโครเมตร)
0 (Hf)	-3.0	-3.0 (H)
-1.3	-3.8	-5.1
-2.1	-4.6	-6.7
-2.6	-5.4	-8.0

ตารางที่4.8 พิจารณาเส้น EG(ต่อ)

+1.3	-5.4	-4.1
+0.9	-5.9	-5.0(Xeg)
-0.8	-6.5	-7.3
-2.2	-7.0	-9.2
-1.4	-7.6	-9.0
-0.8	-8.1	-8.9
+0.3(Ge)	-8.7	-8.4(G)

ตารางที่4.9 พิจารณาเส้น HF(ต่อ)

-2.9	-6.2	-9.1
-4.0	-7.0	-11.0(Xhf)
-2.8	-7.8	-10.6
-1.9	-8.6	-10.5
-1.1	-9.4	-10.5
-0.5	-10.2	-10.7
+0.2(Fh)	-11.0	-10.8(F)

$$\text{ค่าเฉลี่ย} = \overline{X} = \frac{Xac + Xbd + Xeg + Xhf}{4} = \frac{-7-7-5-11}{4} = -7.5\ \mu m$$

4.1.1.1 ค่าเฉลี่ยของ Xac, Xbd, Xeg, และ Xfh คือ $\overline{X}$ ควรบันทึกค่าที่ตำแหน่งตรงกลางของเส้น X อาจจะต้องแก้สำหรับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยและ Xac, Xbd, Xeg, หรือ Xfh การแก้ค่าที่คำนวณ สมมติว่าค่าคงที่ผิดพลาดเชิงมุมที่ทุกๆระยะช่วงวัดตลอดเส้นที่จะวัด

<u>พิจารณาที่เส้น AC</u>

ค่าแก้ที่จุดกึ่งศูนย์กลาง C_0 = -7.5-(-7.0) =-0.5 μm

$$C_0 = \alpha l_1 n_1 \frac{(n_1+1)}{2}$$

$$\alpha l_1 = \frac{C_0}{\frac{n_1(n_1+1)}{2}}$$

$$= \frac{-0.5}{\frac{6(6+1)}{2}} = \frac{-0.5}{21}$$

$$\alpha l_1 = -0.0238\ \mu m$$

ที่ α = มุมเกรเดียน(gradient)

l_1 = ช่วงระยะพิท(pitch)

n_1 = จำนวนช่วงที่วัดจากจุดกึ่งกลางถึงปลายสุดของเส้น

ค่าแก้ที่จุดอื่นๆ บนเส้น AC ก็คำนวณได้จากสมการดังนี้

$$C_n = C_0 - n\frac{(n_1+1)}{2}\alpha l_1$$ ที่ C_n เป็นค่าแก้ที่ระยะวัดที่ n ใดๆจากจุดกึ่งกลาง

C_1 = - 0.5 – 1 x – 0.0238 = - 0.476 μm

C_2 = - 0.5 – 3 x – 0.0238 = - 0.429 μm

C_3 = - 0.5 – 6 x – 0.0238 = - 0.357 μm

C_4 = - 0.5 – 10 x – 0.0238 = - 0.262 μm

C_5 = - 0.5 – 15 x – 0.0238 = - 0.143 μm

ค่าแก้ข้างบนที่คำนวณได้สำหรับเส้น AC ปรับเข้ากับเส้น BD

4.1.1.2 ผลต่างระหว่าง Xhf และค่าเฉลี่ยนำไปเป็นค่าแก้ให้กับเส้น HF, AD และ BC

ค่าแก้เส้น Xhf = -7.5-(-11) = 3.5 μm

$$C = \alpha\left(l_2 n_2 (\frac{n_2 + 1}{2}) + l_3 n_3 (\frac{n_3 + 1}{2}) \right)$$

ที่ l_2= ระยะพิทของเส้น AD, n_2= จำนวนพิทจากจุดกึ่งกลางไปยังปลายสุดของเส้น AD

l_3= ระยะพิทของเส้น HF, n_3= จำนวนพิทจากจุดกึ่งกลางไปยังปลายสุดของเส้น HF

$$3.5 = \alpha\left(93 \times 5(\frac{5+1}{2}) + 153 \times 5(\frac{5+1}{2}) \right)$$

$$= \alpha\left(246 \times 5(\frac{5+1}{2}) \right)$$

$$\alpha = 0.000949\, \mu m / mm$$

ค่าแก้ที่กึ่งกลางเส้น AD เช่น H เป็นต้น

$$C_0 = 0.000\,949\left(93 \times 5(\frac{5+1}{2}) \right)$$

$$= \underline{1.323\, \mu m}$$

ค่าแก้ที่จุดต่างบนเส้น AD คำนวณได้จาก

$$C_n = C_0 - n(\frac{n+1}{2})\alpha l_2$$

C_1 = 1.323 – 1 x 0.000 949 x 93 = 1.23 μm

C_2 = 1.323 – 3 x 0.000 949 x 93 = 1.06 μm

C_3 = 1.323 – 6 x 0.000 949 x 93 = 0.79 μm

C_4 = 1.323 – 10 x 0.000 949 x 93 = 0.44 μm

ค่าแก้สำหรับเส้น AD ใช้กับเส้น BC

4.1.1.3 ค่าแก้ที่กึ่งกลางเส้น HF เท่ากับ 3.5 μm

ค่าแก้ที่จุดต่างๆบนเส้น HF คำนวณได้จาก

$$C_n = C_0 - n(\frac{n+1}{2})\alpha l_3$$

C_1 = 3.5 – 1 x 0.000 949 x 153 = 3.35 μm

C_2 = 3.5 – 3 x 0.000 949 x 153 = 3.06 μm

C_3 = 3.5 – 6 x 0.000 949 x 153 = 2.63 μm

C_4 = 3.5 – 10 x 0.000 949 x 153 = 2.048 μm

C_5 = 3.5 – 15 x 0.000 949 x 153 = 1.323 μm

(C_5 ควรสอดคล้องกับค่าแก้ที่กึ่งกลางเส้น AD เช่น H เป็นต้น)

4.1.1.4 ผลต่างระหว่าง Xeg และค่าเฉลี่ยนำไปเป็นค่าแก้ให้กับเส้น EG, ABและ DC

ค่าแก้เส้น Xeg = -7.5-(-5) = -2.5 μm

$$C = \alpha\left(l_4 n_4(\frac{n_4+1}{2}) + l_5 n_5(\frac{n_5+1}{2})\right)$$

ที่ l_4= ระยะพิทของเส้น AB, n_4= จำนวนพิทจากจุดกึ่งกลางไปยังปลายสุดของเส้น AB

l_5= ระยะพิทของเส้น EG, n_5= จำนวนพิทจากจุดกึ่งกลางไปยังปลายสุดของเส้น EG

$$-2.5 = \alpha(153. \times 5(\frac{5+1}{2}) + 93 \times 5(\frac{5+1}{2})$$

$$= \alpha(246 \times 5(\frac{5+1}{2})$$

$$\alpha = -0.000\ 678\ \mu m / mm$$

ค่าแก้ที่กึ่งกลางเส้น AB ได้แก่ E เป็นต้น

$$C_0 = -0.000\ 678(153 \times 5(\frac{5+1}{2})$$

$$= \underline{-1.555\ \mu m}$$

ค่าแก้ที่จุดต่างบนเส้น AB คำนวณได้จาก

$$C_n = C_0 - n(\frac{n+1}{2})\alpha l_4$$

C_1 = -1.555 – 1 x 0.000 678 x 153 = -1.45 μm

C_2 = -1.555 – 3 x 0.000 678 x 153 = -1.24 μm

C_3 = -1.555 – 6 x 0.000 678 x 153 = -0.93 μm

C_4 = -1.555 – 10 x 0.000 678 x 153 = -0.52 μm

ค่าแก้สำหรับเส้น AB ใช้กับเส้น DC

4.1.1.5 ค่าแก้ที่กึ่งกลางเส้น EG เท่ากับ -2.5 μm

ค่าแก้ที่จุดต่างบนเส้น EG คำนวณได้จาก

$$C_n = C_0 - n(\frac{n+1}{2})\alpha l_5$$

C_1 = -2.5 – 1 x 0.000 678 x 93 = -2.44 μm

C_2 = -2.5 – 3 x 0.000 678 x 93 = -2.31 μm

C_3 = -2.5 – 6 x 0.000 678 x 93 = -2.12 μm

C_4 = -2.5 – 10 x 0.000 678 x 93 = -1.87 μm

C_5 = -2.5 – 15 x 0.000 678 x 93 = -1.555 μm

(C_5 ควรสอดคล้องกับค่าแก้ที่กึ่งกลางเส้น AB ได้แก่ E เป็นต้น)

ปัดเศษค่าแก้ที่ได้ในหัวข้อต่างๆที่คำนวณได้เป็น 0.1 μm แล้วนำไปแก้ค่าในผลลัพธ์ที่คำนวณไว้

ตารางที่4.10 พิจารณาเส้น AC

6	7	8
ผลลัพธ์ (ไมโครเมตร)	ค่าแก้สำหรับ $\overline{X}$ (ไมโครเมตร)	ผลลัพธ์สุดท้าย (ไมโครเมตร)
0 (A)	0	0 (A)
-1.2	-0.1	-1.3
-2.4	-0.3	-2.7
-3.3	-0.4	-3.7
-4.2	-0.4	-4.6
-5.6	-0.5	-6.1
7.0 (Xac)	-0.5	-7.5 (X)
-6.0	-0.5	-6.5
-4.5	-0.4	-4.9
-3.3	-0.4	-3.7
-2.1	-0.3	-2.4
-0.8	-0.1	-0.9
0 (C)	0	0 (C)

ตารางที่4.11 พิจารณาเส้น BD

8	9	10
ผลลัพธ์ (ไมโครเมตร)	ค่าแก้สำหรับ $\overline{X}$ (ไมโครเมตร)	ผลลัพธ์สุดท้าย (ไมโครเมตร)
-12.8 (B)	0	-12.8 (B)
-11.6	-0.1	-11.7
-10.1	-0.3	-10.4
- 8.9	-0.4	- 9.3
- 8.3	-0.4	- 8.7
- 7.6	-0.5	- 8.1
- 7.0 (Xbd)	-0.5	- 7.5 (X)
- 7.8	-0.5	- 8.3
- 8.5	-0.4	- 8.9
- 8.8	-0.4	- 9.2
-10.0	-0.3	-10.3
-11.2	-0.1	-11.2
-12.8 (D)	0	-12.8 (D)

ตารางที่4.12 พิจารณา เส้นEG

6	7	8
ผลลัพธ์ (ไมโครเมตร)	ค่าแก้สำหรับ $\overline{X}$ (ไมโครเมตร)	ผลลัพธ์สุดท้าย (ไมโครเมตร)
-3.2 (E)	-1.6	-4.8 (E)
-2.7	-1.9	-4.6
-2.4	-2.1	-4.5
-2.4	-2.3	-4.7
-4.1	-2.4	-6.5
-5.0 (Xeg)	-2.5	-7.5 (Xbd)

ตารางที่4.13 พิจารณาเส้น HF

8	9	10
ผลลัพธ์ (ไมโครเมตร)	ค่าแก้สำหรับ $\overline{X}$ (ไมโครเมตร)	ผลลัพธ์สุดท้าย (ไมโครเมตร)
-3.0 (H)	+1.3	-1.7 (H)
-5.1	+2.0	-3.1
-6.7	+2.6	-4.1
-8.0	+3.1	-4.9
-9.1	+3.4	-6.7
-11.0 (Xhf)	+3.5	-7.5 (X)

ตารางที่4.12 พิจารณา เส้นEG(ต่อ)

-7.3	-2.4	-9.7
-9.2	-2.3	-11.5
-9.0	-2.1	-11.1
-8.8	-1.9	-10.7
-8.4 (G)	-1.6	-10.0 (G)

ตารางที่4.13 พิจารณาเส้น HF(ต่อ)

-10.6	+3.4	-7.2
-10.5	+3.1	-7.4
-10.5	+2.6	-7.9
-10.7	+2.0	-8.7
-10.8 (F)	+1.3	-9.5 (F)

ตารางที่4.14 พิจารณา เส้น AD

6	7	8
ผลลัพธ์ (ไมโครเมตร)	ค่าแก้สำหรับ $\overline{X}$ (ไมโครเมตร)	ผลลัพธ์สุดท้าย (ไมโครเมตร)
0 (A)	0	0 (B)
-0.3	+0.4	+0.1
-1.0	+0.8	-0.2
-1.4	+1.1	-0.3
-2.1	+1.2	-0.9
-3.0 (H)	+1.3	-1.7 (H)
-5.3	+1.2	-4.1
-7.0	+1.1	-5.9
-8.2	+0.8	-7.4
-10.3	+0.4	-9.9
-12.8 (D)	0	-12.8 (D)

ตารางที่4.15 พิจารณา เส้น BC

8	9	10
ผลลัพธ์ (ไมโครเมตร)	ค่าแก้สำหรับ $\overline{X}$ (ไมโครเมตร)	ผลลัพธ์สุดท้าย (ไมโครเมตร)
-12.8 (B)	0	-12.8 (B)
-11.9	0.4	-11.5
-11.4	+0.8	-10.6
-10.9	+1.1	-9.8
-10.7	+1.2	-9.5
-10.8 (F)	+1.3	-9.5(F)
-9.1	+1.2	-7.9
-9.0	+1.1	-7.9
-6.4	+0.8	-5.6
-3.3	+0.4	-2.9
0 (C)	0	0 (C)

ตารางที่4.16 พิจารณา เส้น AB

6	7	8
ผลลัพธ์ (ไมโครเมตร)	ค่าแก้สำหรับ $\overline{X}$ (ไมโครเมตร)	ผลลัพธ์สุดท้าย (ไมโครเมตร)
0 (A)	0	0 (A)
-0.5	-0.5	-1.0
-1.4	-0.9	-2.3
-2.2	-1.2	-3.4
-3.1	-1.5	-4.6
-3.2 (E)	-1.6	-4.8 (E)

ตารางที่4.17 พิจารณา เส้น DC

8	9	10
ผลลัพธ์ (ไมโครเมตร)	ค่าแก้สำหรับ $\overline{X}$ (ไมโครเมตร)	ผลลัพธ์สุดท้าย (ไมโครเมตร)
-12.8 (D)	0	-12.8 (D)
-13.1	-0.5	-13.6
-14.6	-0.9	-15.5
-12.2	-1.2	-13.4
-10.5	-1.5	-12.0
-8.4 (G)	-1.6	-10.0 (G)

ตารางที่4.16 พิจารณา เส้น AB(ต่อ)

-5.3	-1.5	-6.8
-7.2	-1.2	-8.4
-8.7	-0.9	-9.6
-10.8	-0.5	-11.3
-12.8(B)	0	-12.8(B)

ตารางที่4.17 พิจารณา เส้น DC(ต่อ)

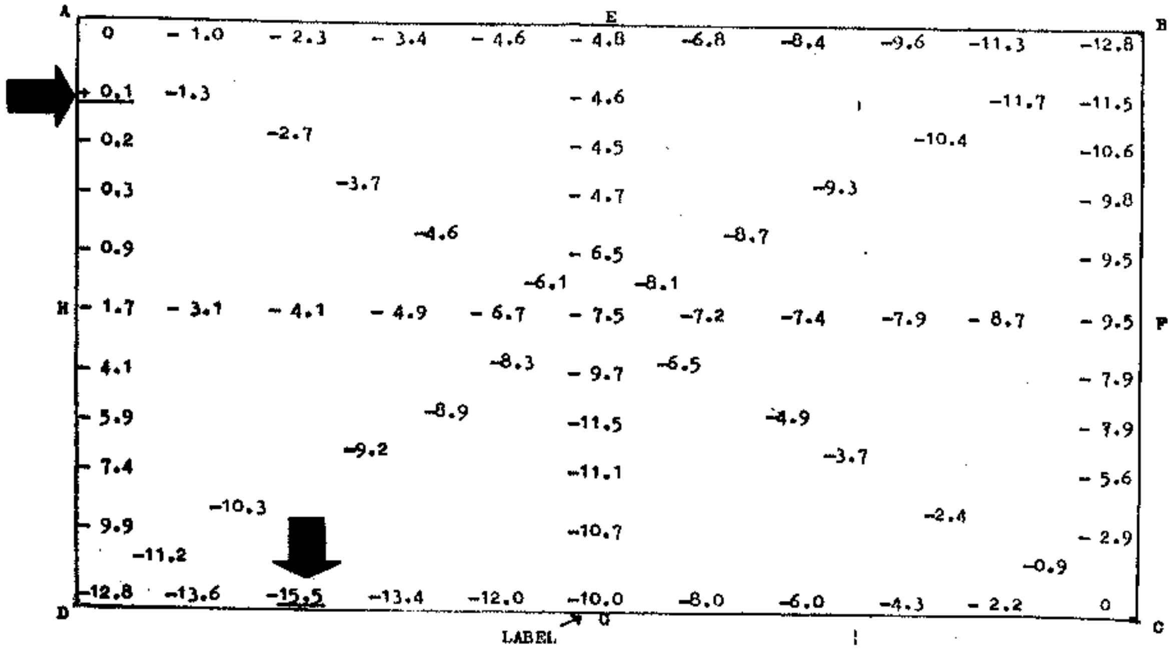
-6.5	-1.5	-8.0
-4.8	-1.2	-6.0
-3.4	-0.9	-4.3
-1.7	-0.5	-2.2
0 (C)	0	0 (C)

4.1.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอน

การประเมินค่าความไม่แน่นอนในการวัดจาการสอบเทียบดังรายละเอียดในภาคผนวก เมื่อพิจารณาค่าความไม่แน่นอนจากตารางที่ 4.18 จะได้ค่าความไม่แน่นอนในการวัดเท่ากับ 0.007 มิลลิเมตร ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (k=2)

ตารางที่ 4.18 แหล่งที่มาของค่าความไม่แน่นอน

Type	Source of uncertanties	Value (±) (mm)	Distribution	Divisor	U_i (mm)	c_i	V_{eff}
U_A	Repeatability (n = 3)	0.0005	Normal	1	0.0005	1	2
U_{B1}	Spirit level(base length :150 mm)	0.0050	Normal	2	0.0025	1	∞
U_{B2}	Resolution of spirit level	0.0050	Rectangular	$\sqrt{3}$	0.0028	1	∞
U_{B3}	Drift of since last calibration	0.0010	Rectangular	$\sqrt{3}$	0.0006	1	∞
U_{B4}	Thermal effect of granite(Δt : ±1 °C)	0.0010	Rectangular	$\sqrt{3}$	0.0006	1	∞
.		.	.	.	.	.	.
.		.	.	.	.	.	.
U_C	Combined uncertainty	-	-	-	0.0039	-	$\propto$
U_r	Expanded uncertanty		Normal (k = 2)	-	0.007		52488



รูปที่4.1 แผนผังแสดงตัวเลขค่าความเรียบ สูงสุด-ต่ำสุด (-15.6 ไมโครเมตร)

บทที่ 5
สรุป

จากผลการสอบเทียบแท่นระดับด้วยสรุปดังนี้ หินแกรนิตขนาด 1000 x 1600 มม.ได้ค่าความเรียบเท่ากับ -15.6 ไมโครเมตร และค่าความไม่แน่นอนเท่ากับ 7 ไมโครเมตร แสดงให้เห็นว่าเทคนิคการสอบเทียบแท่นระดับด้วยระดับน้ำตามข้อกำหนดมาตรฐาน ISO8512-1,2/1990 จะสามารถสอบเทียบแท่นระดับได้เพียงเกรด 2 และ 3 ซึ่งเป็นเกรดที่นิยมใช้อยู่ทั่วไปตามโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนในเกรด 0 และ1 หรือดีกว่าต้องใช้เครื่องมือวัดที่ละเอียดกว่านี้ เช่น เพลนเคเตอร์ ออโต้คอลลิเมเตอร์ และชุดวัดความเรียบด้วยเลเซอร์ เป็นต้น

ข้อเสนอแนะในการสอบเทียบแท่นระดับแต่ละครั้งควรควบคุมอุณหภูมิที่ผิวของแท่นระดับให้คงที่ก่อนเริ่มทำการวัด เช่น อุณหภูมิระหว่างผิวด้านบนกับด้านล่างควรจะคงที่ ควรบันทึกอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปขณะทำการวัด ซึ่งในอุดมคติแล้วอุณหภูมิต่างระหว่างผิวด้านบนและด้านล่างจะต้องเป็นศูนย์

เอกสารอ้างอิง

[1] ISO 8512-1,2 **"Sureface plate"** , 1990.

[2] BS 817 "surface plate and table", 1982.

[3] J.F.W. Galyer & C.shotbolt. Acassell Technical book **"Metrology for Engineers"**, Chapter 4 : Angular measurement and circular division, Fourth edition, 1980.

[4] HP Instruction manual , **"Flatness measurement"**, Hewlett packard company , 1987.

[5] EXCEL Instruction manual **"distance, straightness, squareness measurement"** Excel precision corporation, Edition No.2, July, 2001.

[6] Handbook : **"Procedure of surface calibration"** , October 3,1997.

[7] ISO/TAG 4, **"Guide to The Expression of Uncertainty in Measurement"**, First Edition, January 1993.

ภาคผนวก

ตารางที่ผ.1 การเปรียบเทียบแท่นระดับตามมาตรฐานของประเทศต่างๆ

มาตรฐานหัวข้อ	ญี่ปุ่น JIS 7513 (เหล็กหล่อ,หิน)	อังกฤษ BS517 (เหล็กหล่อ,หิน)	เยอรมัน DIN 876 (เหล็กหล่อ,หิน)	อเมริกา Federal GGG-P-4636(หิน)	สากล ISO 8512-1,2 (เหล็กหล่อ,หิน)
1 ขอบเขต (ทำหลังใช้งาน)	160x100 mm - 2500x1600 mm	160x100 mm - 2500x1600 mm		ใช้กำหนดตำแหน่งละเอียด และการตรวจสอบ	160x100-250x160 ทั้งสี่เหลี่ยมจัตุรัส และสี่เหลี่ยมผืนผ้า
2. รูปร่าง	แบบเหลี่ยม	สี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมจัตุรัส	ตามแบบ	แบบเหลี่ยมมี 4 ขอบ	สี่เหลี่ยมผืนผ้า สี่เหลี่ยมจัตุรัส
3. ขนาด	160x100 mm - 2500x1600 mm รวม 12 ชนิด	160x100 mm - 2500x1600 mm รวม 10 ชนิด	100x100 mm - 2500x1600 mm รวม 14 ชนิด และความหนาผิวด้านข้าง	3 1/2"x 4" 48"x144" รวม 12 ชนิด กำหนดความหนาตามเกรดและขนาด	160x100 mm - 2500x1600 mm รวม 12 ชนิด
4. น้ำหนัก	กำหนดน้ำหนักตามขนาด		กำหนดน้ำหนักที่ความหนาต่ำสุด ความหนาแน่น 2.8 kg/dm^3		ไม่ได้กำหนด
5. เกรด	เกรด 0, 1, 2 รวม 3 เกรด ตามความละเอียด	เกรด AA, A และ B รวม 3 เกรดตามความละเอียด	เกรด 00,0,1,2,3 รวม 5 เกรด ตามความละเอียด	เกรด A และ B ตามความละเอียดชั้น 1 และตามความทนชั้น 1 และ 2 ตามความแข็ง	เกรด 0,1,2,3 รวม 4 เกรด ตามความละเอียด
6. วัสดุ	เหล็กหล่อ(FC250) หินแกรนิตหรือเทียบเท่า		เหล็กหล่อและหินแข็ง	หินอัคนีที่มีเม็ดละเอียดและขนาดกลาง	หินอัคนีที่มีเม็ดละเอียดและสม่ำเสมอ เหล็กหล่อที่มีเม็ดละเอียดและสม่ำเสมอ หรือเหล็กหล่อผสมเทียบเท่า ISO/R185KGr
7. ความแกร่ง	ขนาด 400x250 ขึ้นไปจะแอ่นได้ไม่เกิน 1 μm ต่อ น้ำหนัก 200 N ที่กระทำต่อจุดศูนย์กลาง	ต่ำกว่า 0.001 mm ต่อน้ำหนัก 200 N ใช้กับขนาดเกิน 400x 250 และใช้กับเกรด AA และ A			เมื่อโหลดน้ำหนักที่จุดศูนย์กลางจะแอ่นได้ไม่เกิน 0.001 mmต่อน้ำหนัก 200 N ใช้กับขนาดเกิน 400x 250
8. โครงสร้าง					
8.1 ขาตั้ง	มี 3 ขา	- มี 3 ขา - ถ้าขนาดเกิน400 X 250 จะเพิ่มอีก 2 ขากันเอียง - ถ้าขนาดเกิน 1000x630 จะมีขา 5-6 ขา เพื่อติดตั้ง	- มี 3 ขาตามแบบ - ตำแหน่งของขาทั้ง 3 คือ 0.22xa 0.22xb 2 ขา และ 0.22xa, 0.5xb 1 ขา	- มี 3 ขายึดแน่น - ตำแหน่งของขาทั้ง 3 คือ 0.2xa 0.2xb 2 ขา และ 0.2xa, 0.5xb 1 ขา	มี 3 ขา ถ้าขนาดเกิน 1000x630 จำเป็นต้องมีขาเสริม

ตารางที่ผ.1 เปรียบเทียบแท่นระดับตามมาตรฐานของประเทศต่างๆ(ต่อ)

มาตรฐานหัวข้อ	ญี่ปุ่น JIS 7513 (เหล็กหล่อ,หิน)	อังกฤษ BS517 (เหล็กหล่อ,หิน)	เยอรมัน DIN 876 (เหล็กหล่อ,หิน)	อเมริกา Federal GGG-P-4636(หิน)	สากล ISO 8512-1,2 (เหล็กหล่อ,หิน)
8.2 การแต่งขอบ	- มุมโค้งรัศมี 2 mm - ขอบเอียง 45°	- ขอบทั้ง 4 โค้งมน - มุมทั้ง 4 โค้งมน	- ขอบและมุม ให้มี R = 4 mm	- ผิวใช้งานให้มีขอบและมุมโค้งประมาณ 1/8" ถ้าขนาดเกิน 12" x12" ให้ R มากกว่า 5/32" - ผิวอื่นๆ นอกเหนือจากผิวใช้งานให้มีความโค้งประมาณ 1/4 นิ้ว	- ถ้าขนาดเล็กกว่า 250x160 ให้มากกว่า R2 หรือ C2 - ถ้าขนาดเกินกว่านี้ ให้มากกว่า R4 หรือ C4 ในการแต่งมุมหรือขอบ
9. ความละเอียด					
9.1 ผิวสัมผัส		- ผิวสัมผัสจะต้องเรียบ - วิธีวัดอัตราของผิวสัมผัสมีกำหนดไว้ในภาคผนวก ...	ไม่มีการวัดอัตราผิวสัมผัส เพราะถือว่าการขัดผิวนั้นทำได้เรียบมาก		ไม่ได้กำหนด
9.2 ความเรียบ	- ไม่รวมขอบยาว 2% ของความยาวทั้งหมด (แต่ไม่เกิน 20 mm) - อุณหภูมิที่ใช้วัดที่ 20°C	- ค่า Tolerance ของความสูงสัมพัทธ์กำหนดดังนี้ คือ ขนาดเกิน400x250 ขึ้นไปต่อความสูง 100 mm เกรด AA, < 0.0005 mm เกรด A< 0.001 mm เกรด B< 0.004 mm	- ค่า Tolerance ของความเรียบ (μm) เป็นดังนี้ คือ เกรด 00,2 +a/500 เกรด 0,4 +a/250 เกรด 1,10+a/100 เกรด 2,20+a/50 เกรด 3,40+a/50 โดยที่ a เป็นความยาวของด้านยาว	- ค่า Tolerance ของความเรียบ เป็นตาม table 1 - ไม่รวมขอบกว้าง 1/2 " ถึง 3% ของความยาว	- ค่าความเรียบทั่วไป (μm) เป็นดังนี้ คือ เกรด,0.003d+2.5 หน่วยเป็น 0.5 μm เกรด 1,0.006d+5 หน่วยเป็น 1 μm เกรด 2,0.012d+10 หน่วยเป็น 0.5 μm เกรด 3,0.024d+20 หน่วยเป็น 1 μm d เป็นความยาวของเส้นทะแยงมุม - ค่าความเรียบ ขนาด 250x250 เกรด 0,0.0035 mm เกรด 1,0.007 mm เกรด 2,0.015 mm เกรด 3,0.030 mm - ไม่รวมขอบกว้าง 2% ของความยาวทั้งหมด (แต่ไม่เกิน 20 mm)

ตารางที่ผ.1 เปรียบเทียบแท่นระดับตามมาตรฐานของประเทศต่างๆ(ต่อ)

มาตรฐานหัวข้อ	ญี่ปุ่น JIS 7513 (เหล็กหล่อ,หิน)	อังกฤษ BS517 (เหล็กหล่อ,หิน)	เยอรมัน DIN 876 (เหล็กหล่อ,หิน)	อเมริกา Federal GGG-P-4636(หิน)	สากล ISO 8512-1,2 (เหล็กหล่อ,หิน)
10. การแต่งผิว	เกรด 0 จะเป็นการแต่งผิวด้วยวิธีแรพ ส่วนเกรด 1 และเกรด 2 เป็นการแต่งผิวด้วยวิธีแรพหรือวิธีใช้หินเจียร	ผิวใช้งานจะต้องแต่งให้มีความเรียบ	ผิวใช้งานจะต้องแต่งด้วยวิธีแรพ ภายหลังจากการขัดด้วยหินเจียระนัยปรีดา	- ผิวใช้งานจะต้องแต่งด้วยวิธีแรพอย่างหยาบและอย่างละเอียด - ผิวใช้งานจะต้องมีความหยาบต่ำกว่า 32 rms.	เกรด 0 และ 1 จะต้องแต่งผิวด้วยวิธีแรพ ส่วนเกรด 2 และ 3 แต่งผิวด้วยวิธีแรพหรือหินเจียร
11. การวัดและการตรวจสอบ	มีวิธีการวัดความเรียบโดย - ระดับน้ำ - Autocollimator - เปรียบเทียบกับผิวอ้างอิง - วิธีพื้นที่เล็กสุด	- การวัดความเรียบมีอยู่ในมาตรฐาน และมีตัวอย่างกล่าวไว้โดยละเอียด	- การวัดความเรียบ ถ้าเกรดต่ำกว่า 1 จะใช้ straight edge, gauge block ในการวัด ถ้าเกรด 0 และ 00 จะใช้ Autocollimator โดยช่วงความยาวเป็น 100 mm		มีอธิบายอยู่ภาคผนวกของมาตรฐาน

ตารางที่ผ.2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางฟิสิกส์และทางกล (สวีเดน)

คุณสมบัติ	Diabase	Granite	เหล็กหล่อ
ความหนาแน่น g/cm^3	2.93	2.64	7.6
อัตราการขยายตัวเชิงเส้น $10^{o}C \times 10^{-5}$	5	8	10
สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น KN/mm^2	96-98	เม็ดละเอียด 40-64 เม็ดขยาย 50-65	85-100
ความแข็งบริเนล $HBh = \frac{P}{Dh}$ D = 10 mm P = 500 kg	154	137	175
อัตราการดูดน้ำ %	0.3	1.3-0.6 เฉลี่ย 0.5	-
ความแกร่งเมื่อรับแรงกระแทกจากความสูง 1 cm, 2 kg	25	12	-

ตารางที่ผ.3 คุณสมบัติเชิงกล

คุณสมบัติ	Gabbro	Diorite	Granite	เหล็กหล่อ
สัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่น KN/mm^2	10 - 30	-	-	100
อัตราส่วนปัวซอง	-	-	0.25	0.25
ความคงทนต่อแรงอัด KN/mm^2	2.9	2.03	1.63	5.62
ความคงทนต่อแรงดึง KN/mm^2	-	-	0.04-0.1	1.4
ค่า Hs	73-102	70-104	98	32-40
อัตราการดูดน้ำ	0.03	-	0.344	-

ตารางที่ผ.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกล

คุณสมบัติ	ถ่านหิน	แกรนิต	หินชนวน	คอนกรีต
ความคงทนต่อแรงอัด N/mm^2	112	2470	1500	210
ความคงทนต่อแรงดึง N/mm^2	21	35	24.5	24.5
ความคงทนต่อแรงเฉือน N/mm^2	14	123	93	39
ค่า $\frac{S}{C/st}$	5.4	50.6	60.8	8.5

ตารางที่ผ.5 การสำรวจหินที่ใช้ทำแท่นระดับ

ประเภทของหิน	ความหนาแน่น g/cm^3	ค่าคงที่ของยัง (young) KN/mm^2	รูปร่างภายนอก
Gra-Plate ของ Mitutoyo	2.96	87.9	ดำเทา
Otapino (อเมริกา)	3.07	60.3	ดำเทา
สวีเดน	2.93	60	ดำ
ฟูคุชิมะ (ญี่ปุ่น)	3.12	65.5	ดำ
นิชิโน (ญี่ปุ่น)	2.85	57.5	เทาขาว
0 (ญี่ปุ่น)	2.74	38.9	เทา
ยูโกสลาเวีย	2.66	39.6	เทา
โปแลนด์	2.63	16.4	-

ตารางที่ผ.6 ขนาดความกว้างและความหนาของผิวใช้งาน

Gra-plate		JIS B7513-1992(1)		มาตรฐานอังกฤษ	มาตรฐานอเมริกา(2)		มาตรฐานอเมริกา(1)		ISO 8512
ขนาด	หนา	ขนาด	หนา	ขนาด	ขนาด	หนา	ขนาด	หนา	ขนาด
					100x89	25	100x100		
		160x100	-	160x100			160x100	50	160x100
							160x160	50	
		250x160	-	250x160	300x200	75	250x160	50	250x160
250x250	50	250x250	50	250x250	300x300	75	250x250	50	250x250
400x250	70	400x250	50	400x250	460x300	100	400x250	50	400x250
400x400	100	400x400	70	400x400	460x460	100	400x400	70	400x400
630x400	100	630x400	70	630x400			630x400	70	630x400
630x630	100	630x630	70	630x630	610x610	100	630x630	70	630x630
1000x630	150	1000x630	100	1000x630	910x610	150	1000x630	100	1000x630
1000x1000	150	1000x1000	100	1000x1000	1220x610	200	1000x1000	100	1000x1000
1600x1000	200	1600x1000	160	1600x1000	1220x910	200	1600x1000	160	1600x1000
2000x1000	250	2000x1000	200		1830x910	300	2000x1000	200	2000x1000
2500x1600	300	2500x1600	250	2500x1600	2440x1220	350	2500x1600	250	2500x1600
					3660x1220	610			

ผ.2 การประเมินค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบแท่นระดับ

(The uncertainty evaluation of surface plate calibration)

การประเมินค่าความไม่แน่นอนการสอบเทียบแท่นระดับ (surface plate calibration) ผลที่ได้จะบอกให้รู้ถึงค่าความผิดพลาดซึ่งอยู่ในรูปของค่าความไม่แน่นอน (uncertainty) โดยใช้แนวทางการประเมินตาม Guide to the expression of uncertainty in measurement [5] หรือ TAG4 (technical advisory group 4)

การพิจารณาค่าความไม่แน่นอนของการสอบเทียบชุดแรงดันไฟฟ้ามาตรฐาน โดยนำเอาหลักการทางสถิติมาประยุกต์ เช่น ทฤษฎีความน่าจะเป็น การสุ่มตัวอย่าง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานค่าความแปรปรวน ทฤษฎีการกระจายแบบต่างๆ เช่นแบบปกติ (normal distribution) สี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular ditribution) สามเหลี่ยม (triangular distribution) และอื่นๆ นอกจากนี้ยังนำเอาหลักการทางคณิตศาสตร์ เช่น เชิงอนุพันธ์ย่อย ลำดับอนุกรม มาใช้วิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับกระบวนการสอบเทียบทั้งหมด

ผ.2.1 ความไม่แน่นอนมาตรฐาน (Standard Uncertainty)

ผลของการวัดจะอยู่ในรูปของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์หาค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานที่ใช้กันอยู่จะเป็นดังต่อไปนี้

ผ.2.1.1 ค่าความไม่แน่นอนชนิดเอ (type A Uncertainty)

ค่าความไม่แน่นอนชนิดเอ (U_A) เป็นการประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานโดยการพิจารณาทางสถิติ จากการวัดซ้ำจำนวน n ครั้ง ซึ่งจะได้ค่าเฉลี่ยของการวัดเป็นดังนี้

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n} x_k$$

เมื่อ

$$S(x_k) = \sqrt{\frac{1}{(n-1)}\sum_{k=1}^{n}(x_k - \bar{x})^2}$$

$S(x_k)$: ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ $S(\bar{x}_i)$: ค่าเฉลี่ยของค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ดังนั้น จะได้ค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานชนิดเอเป็น

$$U_A = U(x_i) = S(\bar{x}_i) = \frac{1}{\sqrt{n}} S(x_k)$$

ผ.2.1.2 ค่าความไม่แน่นอนชนิดบี (type B Uncertainty)

ค่าความไม่แน่นอนชนิดบี (U_B) เป็นการประเมินค่าความไม่แน่นอนมาตรฐานโดยไม่ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติโดยตรง แต่จะใช้การตัดสินใจทางวิทยาศาสตร์โดยอาศัยข้อมูลที่เกี่ยวข้องดังจะกล่าวต่อไปนี้ เราจะได้ค่าความไม่แน่นอนแบบบีในกรณีต่างๆรวมทั้งหมดเป็น

$$U_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + \dots}$$

เมื่อ U_{B1}, U_{B2} : เป็นค่าความไม่แน่นอนชนิดบีที่ได้จากกรณีต่างๆ

กำหนดให้ U_{B1} จากใบรับรองผลการสอบเทียบของผู้ผลิต

$$U_{B1} = \pm\frac{U_{STD}}{k}$$

กรณีที่ U_{STD} เป็นค่าความไม่แน่นอนจากใบรับรองของระดับน้ำ จะถูกหารด้วยตัวประกอบ (*k*-factor ในตาราง student's t-distriution) *k* ถูกกำหนดให้อยู่ในรูปของระดับความเชื่อมั่นที่ 68% หรือที่ประมาณ 1σ ซึ่งในที่นี้จะให้เป็นการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution)

พิจารณา U_{B2} จากความละเอียดในการอ่านหรือเรซโซรูชั่น (resolution) ความละเอียดในการอ่านของเครื่องมือซึ่งให้เป็นการแจกแจงแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่ได้มีการแจกแจงเป็นแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า (rectangular distribution) ซึ่งมีขีดจำกัดล่าง (lower limit) และขีดจำกัดบน (upper limit) ค่าประมาณของอินพุทที่ได้เป็น

$$U_{B2} = \pm\frac{\delta}{\sqrt{3}} = \frac{a_w}{2\sqrt{3}}$$

เมื่อ a_w= เป็นค่าเรซโซรูชั่นหรือเท่ากับ 2δ ทำเป็นเซมิเรนจ์(semi-range)

ผ.2.2 ความไม่แน่นอนมาตรฐานรวม (combined Standard Uncertainty: U_C)

เป็นผลรวมของค่าความไม่แน่นอนการสอบเทียบทั้งหมด ทั้งจากชนิดเอและชนิดบี เรียกว่ากฎแห่งการกระจายความไม่แน่นอน (law of propagation of uncertainty) และวิธีรากที่สองของผลบวกยกกำลังสอง (root-sum of square)

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2}$$

นำค่า U_C มาพิจารณาเพื่อหาค่าไม่แน่นอนขยาย(expanded uncertainties) เพื่อปรับค่าความไม่แน่นอนในการวัดเข้าสู่ระดับความเชื่อที่ 95% หรือประมาณ 2σ

$$v_{eff} = \frac{U_C^4}{\sum_{i=1}^{N}\frac{U_i^4}{v_i}} = \frac{U_C^4}{\frac{U_A^4}{n-1} + \frac{U_{GB}^4}{\infty} + \frac{U_{RES}^4}{\infty}}$$

เมื่อได้ค่า v_{eff} เป็นองศาอิสระหรือมีค่าเท่ากับ n-1 แล้วนำไปเปิดตาราง student's t-distribution ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% เพื่อหาค่า k ว่าค่าความไม่แน่นอนจะมีการแจกแจงแบบ t-distribution หรือ normal distribution ต่อไป

$$Ur = kUc$$

ดังนั้นการรายงานผลการสอบเทียบและค่าความไม่แน่นอนของแท่นระดับจะได้ว่า

$$X = \overline{X} \pm Ur$$

จากข้อมูลการสอบเทียบแท่นระดับค่าความเรียบจากวัด 3 ครั้ง 0.0155, 0.016 และ 0.017 มิลลิเมตรค่าเฉลี่ย 0.0162 มิลลิเมตร ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.0076 มิลลิเมตร ประเมินค่าความไม่แน่นอนในการสอบแท่นระดับ พิจารณาได้ดังนี้

ผ.2.3 ค่าความไม่แน่นอนชนิดเอ (Type A Uncertainty)

$$U_A = \frac{\sigma_{n-1}}{\sqrt{n}} = 0.00054 \text{ มิลลิเมตร}$$

เมื่อ n = จำนวนผลความเรียบผิวแท่นระดับทั้งระนาบ

ผ.2.4 ค่าความไม่แน่นอนชนิดบี (Type B Uncertainty)

$$U_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + ...}$$ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 68%)

เมื่อ u_{B1} = ค่าความไม่แน่นอนของระดับน้ำ(u_{level}) = $\frac{u_{level}}{2}$ = 0.0025 มิลลิเมตร

u_{B2} = ค่าความละเอียดในการอ่านของระดับน้ำ(Resolution)= $\frac{u_{res}}{\sqrt{12}}$ = 0.0028 มิลลิเมตร

u_{B3} = ค่าดริฟท์(*drift*) ของระดับน้ำ = $\frac{u_e}{\sqrt{3}}$ = 0.0006 มิลลิเมตร

u_{B4} = ความสูงเนื่องจากอุณหภูมิเปลี่ยน(e) = $\frac{u_e}{\sqrt{3}}$ = 0.0006 มิลลิเมตร

$$h = \frac{L^2 e \Delta t}{8d}$$

เมื่อ h = ความสูงที่เปลี่ยนไปที่จุดศูนย์กลางแท่นระดับ

L = ความยาวของเส้นทะแยงมุม(เมตร)

e = สัมประสิทธิ์การขยายตัวของหินแกรนิต(6.5 x 10^{-6}/m.°C)

Δt = อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปสูงสุด 1 องศา

d = ความลึกของแท่นระดับ

ผ.2.5 ค่าความไม่แน่นอนรวม (Combined Uncertainty)

$$U_C = \sqrt{U_A^2 + U_B^2}$$ (ที่ระดับความเชื่อมั่น 68%)

= 0.0039 มิลลิเมตร

ผ.2.6 ค่าความไม่แน่นอนขยาย (Expanded Uncertainty)

องศาอิสระ (ν) = n-1 = 2

$$v_{eff} = \frac{U_C^4}{\frac{U_A^4}{n-1} + \frac{U_{B1}^4}{\infty} + \frac{U_{B2}^4}{\infty} + \frac{U_{B3}^4}{\infty}} = 52488 \rightarrow \propto$$

เมื่อได้ค่า $v_{eff} \cong \propto$ ค่า $k = 2$ ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %

ผ.2.7 ค่าความไม่แน่นอนขยายหรือ (*Ur:report uncertainty*)

$Ur = kU_C = 0.007$ มิลลิเมตรที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95 %