

ร่าง



ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เรื่อง หลักเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการสอบเทียบเครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิดแบบสถิต

เพื่อให้การสอบเทียบเครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิดแบบสถิตเป็นไปโดยมีมาตรฐานการสอบเทียบที่สามารถรองรับเครื่องมือที่ใช้ในห้องปฏิบัติการสอบเทียบในประเทศไทย

โดยที่เป็นการสมควรกำหนดหลักเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการสอบเทียบเครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิดแบบสถิต หลักเกณฑ์มาตรฐานเลขที่ มวช. - 1 - 2560

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา ๑๑ (๓) แห่งพระราชบัญญัติพัฒนาระบบมาตรวิทยาแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๔๐ ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติพัฒนาระบบมาตรวิทยาแห่งชาติ (ฉบับที่ ๒) พ.ศ. ๒๕๕๙ และมาตรา ๒๘ แห่งพระราชบัญญัติพัฒนาระบบมาตรวิทยาแห่งชาติ พ.ศ. ๒๕๔๐ รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีโดยคำแนะนำของคณะกรรมการมาตรวิทยาแห่งชาติออกประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เรื่อง หลักเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการสอบเทียบเครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิดแบบสถิต หลักเกณฑ์มาตรฐานเลขที่ มวช. - 1 - 2560 ไว้ ดังมีรายละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ทั้งนี้ ให้มีผลตั้งแต่วันที่ประกาศในราชกิจจานุเบกษาเป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่

(.....)

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

(จะแต่งตั้งต่อไป)

คณะกรรมการพิจารณาร่างประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
เรื่อง หลักเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการสอบเทียบเครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิดแบบสถิต

หลักเกณฑ์มาตรฐานการสอบเทียบ เครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิดแบบสถิต

1. ขอบเขต

หลักเกณฑ์มาตรฐานนี้ ระบุเกี่ยวกับเครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิด มาตรฐานการวัดที่สามารถใช้ในการสอบเทียบ ขั้นตอนการสอบเทียบ การคำนวณผลการสอบเทียบ การจำแนกระดับความถูกต้องของเครื่องมือ การประเมินความไม่แน่นอนของการวัด และการออกใบรับรองการสอบเทียบ

2. เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิงต่อไปนี้ จะเป็นฉบับล่าสุด และเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการประยุกต์ใช้กับหลักเกณฑ์มาตรฐานนี้

ISO 6789	Assembly tools for screws and nuts-Hand torque tools-Requirement and test methods for design conformance testing, quality conformance testing and recalibration procedure
มอก. 17025	ข้อกำหนดทั่วไปว่าด้วยความสามารถของห้องปฏิบัติการทดสอบและห้องปฏิบัติการสอบเทียบ
DAkKS-DKD-R 3-7	Static Calibration of Torque Transfer Wrench
BS 7882	Method for calibration and classification of torque measuring devices
DAkKS-DKD-R 3-8	Static Calibration of Torque Wrench Calibration Devices.
EURAMET/cg-14/v.01	Guidelines on the Calibration of Static Torque Measuring Devices
M3003	The expression of Uncertainty and Confidence in Measurement
JCGM 100	Evaluation of Measurement data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement
JCGM 200	International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)

3. บทนิยาม สัญลักษณ์ คำศัพท์ และหน่วย

“มาตรฐานการวัด (measurement standard)” หมายถึง เครื่องมือวัดแรงบิด มาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิด ประกอบด้วย ประแจวัดแรงบิดอ้างอิง (reference torque wrench) และระบบคานและตุ้มน้ำหนัก (lever mass system)

“**ประแจวัดแรงบิดอ้างอิง**” หมายถึง ประแจวัดแรงบิดที่มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ แทรนสดิวเซอร์ (transducer) ก้าน และอุปกรณ์แสดงผล (indicator) โดยใช้หลักการวัดการเปลี่ยนรูปไปของวัสดุยืดหยุ่น แล้วแปลงจากพลังงานกลให้เป็นปริมาณทางไฟฟ้า ซึ่งก้านของประแจจะต้องมีความแข็งแรงพอที่จะส่งผ่านโมเมนต์ดัด (bending moment) พร้อมด้วยแรงตามขวาง (cross force) ไปยังทรานสดิวเซอร์ ที่ความยาวของก้านจะต้องเป็นไปตามพิสัยของการเปลี่ยนแปลงระยะของแขนคานดังตารางที่ 4 และการติดตั้งใช้งานต้องทำได้ทั้งทิศทางตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา

“**ระบบคานและตุ้มน้ำหนัก**” หมายถึง ระบบคานและตุ้มน้ำหนัก เฉพาะแบบไม่มีอุปกรณ์รองรับแรงตามขวาง (unsupported beam) แต่ไม่รวมถึงระบบที่มีอุปกรณ์เปลี่ยนแนวแรง มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ คาน ตุ้มน้ำหนัก ถาดรองรับตุ้มน้ำหนัก และวัสดุที่ติดตั้งได้สูงสำหรับแขวนถาดที่คาน โดยคานเป็นคานคู่หรือคานเดี่ยว แรงบิดได้จากการคูณแบบเวกเตอร์ (vector) ระหว่างแรงกับระยะที่ตั้งฉากกับแนวแรง

“**เครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิด (torque wrench calibrator)**” หมายถึง เครื่องมือวัดแรงบิดแบบสถิติที่ได้รับการสอบเทียบด้วยประแจวัดแรงบิดอ้างอิงหรือระบบคานและตุ้มน้ำหนัก และใช้สอบเทียบประแจวัดแรงบิด มีส่วนประกอบหลัก ได้แก่ แทรนสดิวเซอร์และอุปกรณ์แสดงผล ซึ่งติดตั้งเป็นชุดตายตัวหรือสามารถแยกออกจากกันได้ ใช้หลักการวัดการเปลี่ยนรูปไปของวัสดุยืดหยุ่น แล้วแปลงจากพลังงานกลให้เป็นปริมาณทางไฟฟ้า หรือบางประเภทใช้กลไกทางกลแปลงให้เป็นค่าแรงบิด

สัญลักษณ์ คำศัพท์ และหน่วย ให้เป็นไปตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ คำศัพท์ และหน่วย

สัญลักษณ์	คำศัพท์	หน่วย
b'	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของการทวนซ้ำได้	% (เปอร์เซ็นต์)
b_F	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของการทำซ้ำได้	% (เปอร์เซ็นต์)
f_0	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของสัญญาณศูนย์	% (เปอร์เซ็นต์)
f_a	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของการประเมินค่าในช่วง	% (เปอร์เซ็นต์)
f_q	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของค่าบ่งชี้	% (เปอร์เซ็นต์)
F_{nor}	แรงตามขวางปกติ	N (นิวตัน)
F_{add}	แรงตามขวางเพิ่มเติม	N (นิวตัน)
h	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของการผันกลับได้	% (เปอร์เซ็นต์)
I	ค่าบ่งชี้จากเครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิด	หมายเหตุ 1
I_0	ค่าบ่งชี้จากเครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิด ณ สัญญาณศูนย์	หมายเหตุ 1
l_{nor}	ความยาวแขนคานปกติของประแจวัดแรงบิดอ้างอิง	mm (มิลลิเมตร)
l_{min}	ความยาวแขนคานต่ำสุดของประแจวัดแรงบิดอ้างอิง	mm (มิลลิเมตร)
M_A	แรงบิดต่ำสุดของพิสัยการสอบเทียบ	N·m (นิวตันเมตร)
M_E	แรงบิดสูงสุดของพิสัยการสอบเทียบ	N·m (นิวตันเมตร)

สัญลักษณ์	คำศัพท์	หน่วย
M_k	แรงบิดที่สอบเทียบ	N·m (นิวตันเมตร)
M	ผลของแรงบิดที่สอบเทียบ	N·m (นิวตันเมตร)
r	ความแยกชัด	N·m (นิวตันเมตร)
S	ความไว	หมายเหตุ 2
w	ความไม่แน่นอนมาตรฐานสัมพัทธ์	% (เปอร์เซ็นต์)
W	ความไม่แน่นอนขยายสัมพัทธ์	% (เปอร์เซ็นต์)
W'	ความไม่แน่นอนสัมพัทธ์แบบช่วง	% (เปอร์เซ็นต์)
W'_{TN}	ความไม่แน่นอนสัมพัทธ์แบบช่วงของมาตรฐานการวัด	% (เปอร์เซ็นต์)
$w_i(y)$	ความไม่แน่นอนสัมพัทธ์ร่วม	% (เปอร์เซ็นต์)
w_c	ความไม่แน่นอนมาตรฐานสัมพัทธ์รวม	% (เปอร์เซ็นต์)
X	ค่าบ่งชี้สุทธิ (net value)	หมายเหตุ 1
$\bar{X}$	ผลการวัด (measurement result)	หมายเหตุ 1
X_0	ค่าบ่งชี้สุทธิก่อนจ่ายโหลด (load)	หมายเหตุ 1
X_f	ค่าบ่งชี้สุทธิหลังนำโหลดออก	หมายเหตุ 1
X_E	ผลการวัดสุทธิที่พิสัยการสอบเทียบ	หมายเหตุ 1
X_{Fmax}	ค่าบ่งชี้สุทธิ ณ แต่ละชั้นแรงบิดขาขึ้นที่แรงตามขวางสูงสุด	หมายเหตุ 1
X_{Fnor}	ค่าบ่งชี้สุทธิ ณ แต่ละชั้นแรงบิดขาขึ้นที่แรงตามขวางปกติ	หมายเหตุ 1
X_a	ค่าคำนวณที่ได้จากสมการเชิงเส้น	หมายเหตุ 1
X'	ค่าบ่งชี้สุทธิ ณ ชั้นแรงบิดขา	หมายเหตุ 1

หมายเหตุ 1 มีหน่วยตามค่าบ่งชี้ที่ผู้ผลิตกำหนด ไม่ว่าจะเป็นหน่วยของแรงบิดหรือไม่ก็ตาม

หมายเหตุ 2 เป็นหน่วยอนุพันธ์ของหน่วยค่าบ่งชี้ต่อหน่วยของแรงบิด

4. ข้อกำหนดด้านวิชาการ (technical requirement)

4.1 การเตรียมการสำหรับการสอบเทียบ

4.1.1 สภาพแวดล้อมและเสถียรภาพของอุณหภูมิ

ในกรณีเครื่องมือมาตรฐานและเครื่องมือที่จะถูกสอบเทียบต้องใช้แรงดันไฟฟ้าในการทำงาน ก่อนการสอบเทียบจะต้องจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้เครื่องมือทั้งสอง จากนั้นทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง รอจนกว่าถึงดุลยภาพระหว่างเครื่องมือทั้งสอง ณ สภาพแวดล้อมนั้นอย่างน้อย 2 ชั่วโมง

การสอบเทียบจะต้องดำเนินการ ณ อุณหภูมิแวดล้อมที่ผันแปรไม่เกิน $\pm 1^\circ\text{C}$ อุณหภูมิจะต้องอยู่ระหว่าง 18°C ถึง 28°C (โดยเฉพาะอย่างยิ่ง 20°C ถึง 22°C) และที่ความชื้นสัมพัทธ์ [relative humidity (RH)] $50\% \pm 10\%$ อีกทั้งจะต้องบันทึกอุณหภูมิและความชื้น ณ ขณะเริ่มต้นและเสร็จสิ้นการสอบเทียบในแต่ละอนุกรมการวัด

4.1.2 ค่าบ่งชี้จากเครื่องมือสอบเทียบประจําวัตแรงบิต ณ สัญญานศูนย์ (I_0)

ในกรณีอุปกรณ์แสดงผลสามารถแสดงค่าสัมบูรณ์ (absolute value) ได้ ก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องมือเพื่อทำการสอบเทียบจะต้องบันทึกค่าบ่งชี้จากเครื่องมือสอบเทียบประจําวัตแรงบิต ณ สัญญานศูนย์นี้ เพื่อประโยชน์ในการสังเกตพฤติกรรมการเลื่อน (drift) ของเครื่องมือก่อนและหลังการสอบเทียบ ตลอดจนสังเกตการถูกจ่ายโหลดเกินพิกัด (over load)

4.1.3 การเชื่อมต่อเครื่องมือวัด

ในกรณีเครื่องมือสอบเทียบประจําวัตแรงบิตที่ทรานส์ดิวเซอร์และอุปกรณ์แสดงผลสามารถแยกออกจากกันได้ จะต้องเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งสองเข้าด้วยกัน

เมื่อจ่ายโหลดในทิศทางตามเข็มนาฬิกา อุปกรณ์แสดงผลจะต้องแสดงปริมาณในทิศทางเพิ่มค่า และเมื่อจ่ายโหลดในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา อุปกรณ์แสดงผลจะต้องแสดงปริมาณในทิศทางลดค่า จึงจะถือว่ามี การเชื่อมต่อเครื่องมืออย่างถูกต้อง

4.2 วิธีการสอบเทียบ

4.2.1 ขอบเขตและวิธีการสอบเทียบ

ต้องปฏิบัติแยกสำหรับทิศทางตามเข็มนาฬิกาและ/หรือทวนเข็มนาฬิกา โดยทำการวัดแบบสลับเป็นลำดับขึ้นขึ้นและลง (step up and step down) สำหรับประจําวัตแรงบิตอ้างอิงและระบบคานและตํ้มนํ้าหนักบางประเภทดังแสดงในภาคผนวก ก รูปที่ 1, 2 และ 3

ส่วนกรณีของระบบคานและตํ้มนํ้าหนักที่ไม่สามารถทำการวัดเป็นลำดับขึ้นได้ ให้ทำการวัดเป็นลำดับขึ้นสุดและลงสุดในแต่ละจุดการวัด และทำการวัดเป็นลำดับขึ้นและลงเฉพาะที่จุด 50 % ของพิสัยการสอบเทียบ ดังแสดงในภาคผนวก ข รูปที่ 4, 5 และ 6

4.2.2 การพรีโหลด (preload)

หลังจากติดตั้งเครื่องมือพร้อมที่จะทำการสอบเทียบแล้ว ให้ทำการพรีโหลดจำนวน 3 ครั้ง ที่ค่าแรงบิตสูงสุดของพิสัยการสอบเทียบ (M_E) ในทิศทางที่จะทำการสอบเทียบ โดยช่วงเวลาในการจ่ายโหลดแต่ละครั้งจะต้องเท่ากันในกรณีที่ทำได้ และหลังจากจ่ายโหลดไปที่ค่าเป้าหมายแล้วให้รอ 30 วินาที จึงบันทึกค่า จากนั้นนำโหลดออก แล้วรออีก 30 วินาที จึงจะทำการพรีโหลดครั้งต่อไป และหลังจากการพรีโหลดครั้งสุดท้ายจะต้องรอ 3 นาที ก่อนเริ่มทำการสอบเทียบ

4.2.3 การกำหนดทิศทางและตำแหน่งการสอบเทียบ

เกณฑ์การติดตั้งในการสอบเทียบสามารถทำได้ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน โดยอ้างอิงจากเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องมือมาตรฐานที่ใช้ในการสอบเทียบ ในกรณีใช้ประแจวัดแรงบิดอ้างอิงสามารถกระทำได้ทั้งในแนวตั้งและแนวนอน ส่วนในกรณีใช้ระบบคานและตุ้มน้ำหนักสามารถกระทำได้เฉพาะในแนวนอนเท่านั้น

ตำแหน่งการติดตั้งของการสอบเทียบเครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิดจะต้องเป็นตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งที่ใช้งานจริงในแต่ละทิศทางการวัด ซึ่งตำแหน่งของเครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิดที่ถูกแรงตามขวางกระทำในทิศทางตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาแสดงดังภาพผนวก ค รูปที่ 7

การกำหนดตำแหน่งการติดตั้งสามารถสังเกตได้จากจุดสังเกตบนเครื่องมือดังภาพผนวก ค รูปที่ 7 และสามารถติดตั้งการสอบเทียบโดยใช้ประแจวัดแรงบิดอ้างอิงได้ดังภาพผนวก ค รูปที่ 8 และ 9 ส่วนการสอบเทียบโดยใช้ระบบคานและตุ้มน้ำหนักซึ่งสามารถกระทำได้เฉพาะในแนวนอนเท่านั้นแสดงดังภาพผนวก ค รูปที่ 10 และ 11

4.2.4 การดำเนินการสอบเทียบ

4.2.4.1 เงื่อนไขในการจ่ายโหลด

ช่วงเวลาการจ่ายโหลดแต่ละครั้งต่อเนื่องกันจะต้องเท่ากันกรณีที่ทำได้ จากนั้นรอ 30 วินาทีจึงบันทึกค่า เพื่อหลีกเลี่ยงความผันแปรของการแสดงผลอันเนื่องจากพฤติกรรมการคืบ (creep) จึงจำเป็นต้องรักษาเวลาในการปฏิบัติงานในแต่ละลำดับเหตุการณ์ให้เท่ากันกรณีที่ทำได้

สำหรับเครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิดที่แสดงค่าในหน่วยของแรงบิด การแสดงผลต้องหักค่าที่ค้างออกให้เป็นศูนย์ (zero tare) ณ การเริ่มต้นของแต่ละอนุกรมการวัด

4.2.4.2 จุดการวัด

จุดการวัดขั้นต่ำของการสอบเทียบเครื่องมือในแต่ละระดับความถูกต้องแสดงดังต่อไปนี้

4.2.4.2.1 ระดับความถูกต้อง 0.2 โดยทำการวัด 8 จุด ที่ 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 และ 100 % ของแรงบิดสูงสุดของพิสัยการสอบเทียบ (M_E) หรือที่ 2, 5, 10, 20, 40, 60, 80 และ 100 % ของแรงบิดสูงสุดของพิสัยการสอบเทียบ (M_E)

4.2.4.2.2 ระดับความถูกต้อง 0.5 โดยทำการวัด 5 จุด ที่ 20, 40, 60, 80 และ 100 % ของแรงบิดสูงสุดของพิสัยการสอบเทียบ (M_E)

4.2.4.2.3 ระดับความถูกต้อง 1 โดยทำการวัด 3 จุด ที่ร้อยละ 20, 60 และ 100 % ของแรงบิดสูงสุดของพิสัยการสอบเทียบ (M_E)

หรือสามารถมีจุดการวัดมากกว่าที่กำหนดได้ และแรงบิดต่ำสุดของพิสัยการสอบเทียบ (M_A) จะต้องเป็นหนึ่งในจุดการวัดที่ทำการสอบเทียบ

4.2.4.3 พิสัยการสอบเทียบ สามารถกำหนดได้มากกว่าหนึ่งพิสัย

4.2.4.4 อนุกรมการวัด

จำนวนครั้งของอนุกรมการวัดที่ปฏิบัติตามระดับความถูกต้องของเครื่องมือวัด โดย

4.2.4.4.1 เครื่องมือมาตรฐานเป็นประแจวัดแรงบิดอ้างอิง และระบบคานและตุ้มน้ำหนักแบบสามารถสอบเทียบเป็นลำดับขั้นได้ ให้เป็นไปตามแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 จำนวนครั้งของอนุกรมการวัดแบบเป็นลำดับขั้น

ระดับความถูกต้อง (class)	จำนวนครั้งของอนุกรมการวัด		
	แรงตามขวางปกติ		เปลี่ยนแปลงแรงตามขวาง
	ขาขึ้น	ขาลง	
ทั้งหมด	2	1	1

4.2.4.4.2 เครื่องมือมาตรฐานเป็นระบบคานและตุ้มน้ำหนักแบบไม่สามารถสอบเทียบเป็นลำดับขั้นได้ให้เป็นไปตามแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 จำนวนครั้งของอนุกรมการวัดแบบไม่เป็นลำดับขั้น

ระดับความถูกต้อง (class)	จำนวนครั้งของอนุกรมการวัด		
	แรงตามขวางปกติ		เปลี่ยนแปลงแรงตามขวาง
	ขาขึ้น	ขาลง	
ทั้งหมด	3	1	1

4.2.4.5 การเปลี่ยนแปลงแรงตามขวาง

แรงตามขวางปกติ [normal cross force (F_{nor})] ซึ่งจ่ายให้ระบบคานและตุ้มน้ำหนัก และการเปลี่ยนแปลงแรงตามขวาง ในกรณีเครื่องมือมาตรฐานประเภทประแจวัดแรงบิดอ้างอิง หมายถึง การสอบเทียบในพิสัยของการเปลี่ยนแปลงความยาวแขนคานปกติของประแจวัดแรงบิดอ้างอิง (l_{nor}) และความยาวแขนคานต่ำสุดของประแจวัดแรงบิดอ้างอิง (l_{min}) แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 พิสัยของการเปลี่ยนแปลงความยาวแขนคานของประแจวัดแรงบิดอ้างอิง

M_E หน่วย N·m	l_{min} หน่วย mm	l_{nor} หน่วย mm
ถึง 20	100	200
มากกว่า 20 ถึง 50	200	400
มากกว่า 50 ถึง 150	300	500
มากกว่า 150 ถึง 400	400	700
มากกว่า 400 ถึง 1000	600	1000
มากกว่า 1000 ถึง 2000	1000	1500

แรงตามขวางปกติและการเปลี่ยนแปลงแรงตามขวาง ในกรณีของเครื่องมือมาตรฐานประเภทระบบคานและตุ้มน้ำหนัก หมายถึง การสอบเทียบที่จ่ายแรงตามขวางปกติ (F_{nor}) และการเพิ่มแรงตามขวางเพิ่มเติม (F_{add}) ให้เครื่องมือที่ถูกสอบเทียบแสดงดังตารางที่ 5 ซึ่งเป็นการคำนวณที่อ้างอิงจากตารางที่ 4

ตารางที่ 5 การเปลี่ยนแปลงแรงตามขวาง

M_E หน่วย N·m	F_{add} หน่วย % ของ F_{nor}
ถึง 20	100
มากกว่า 20 ถึง 50	100
มากกว่า 50 ถึง 150	65
มากกว่า 150 ถึง 400	75
มากกว่า 400 ถึง 1000	60
มากกว่า 1000 ถึง 2000	50

ในกรณีที่ใช้ระบบคานและตุ้มน้ำหนัก ความยาวแขนคานของประแจวัดแรงบิดอ้างอิงที่เลือกใช้ในการสอบเทียบแต่ละพิสัยการวัดควรจะอยู่ในช่วงระหว่าง l_{nor} กับ l_{min} ตามตารางที่ 4 หรือใกล้เคียงกับพิสัยดังกล่าวมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ซึ่งการวัดในสภาวะเปลี่ยนแปลงแรงตามขวางทำได้โดยการจ่ายโหลดเพิ่มเติมด้วยวิธีการวางตุ้มน้ำหนักบนถาดรับน้ำหนักทั้ง 2 ข้างในกรณีที่ระบบคานและตุ้มน้ำหนักแบบคานคู่ ดังภาคผนวก ค รูปที่ 12 หรือแขวนตุ้มน้ำหนักที่หัวของเครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิด ดังรูปที่ 13 ในกรณีที่ระบบคานและตุ้มน้ำหนักแบบคานเดี่ยว

4.2.5 การประเมินผลการสอบเทียบ

การสอบเทียบตามหลักเกณฑ์มาตรฐานนี้กำหนดขึ้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงสมบัติทางมาตรวิทยา (metrological properties) ของเครื่องมือวัดที่มีผลต่อความถูกต้องของการวัดในสภาวะที่พยายามลดอิทธิพลที่อาจมีผลกระทบต่อระบบการวัด และสมบัติดังกล่าวได้ถูกนำมาพิจารณาดังต่อไปนี้

4.2.5.1 ค่าบ่งชี้สุทธิ (X)

ผลต่างระหว่างค่าบ่งชี้ในสภาวะที่มีโหลด (I_j) กับค่าบ่งชี้ในสภาวะที่ไม่มีโหลด ($I_{j,0}$) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (1)

$$X = I_j - I_{j,0} \quad (1)$$

เมื่อ j คือดัชนีของชุดที่เลือก

4.2.5.2 ผลการวัด ($\bar{X}$)

ผลการวัดของแต่ละชั้นแรงบิดจะต้องคำนวณตามสมการที่ (2) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของผลการวัดที่ได้จากชุดการวัดซ้ำขึ้นที่ภาวะแรงตามขวางปกติ

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2}{2} \quad (2)$$

เมื่อ X_1 และ X_2 คือค่าวัดซ้ำขึ้นของชุดการวัดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

4.2.5.3 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของการทวนซ้ำได้ (b') ต้องคำนวณในแต่ละชั้นแรงบิดตามสมการที่ (3)

$$b' = \frac{|X_1 - X_2|}{\bar{X}} \cdot 100 \quad (3)$$

เมื่อ X_1 และ X_2 คือค่าวัดซ้ำขึ้นของชุดการวัดที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

4.2.5.4 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของการทำซ้ำได้ (b_F) ต้องคำนวณในแต่ละชั้นแรงบิดตามสมการที่ (4)

$$b_F = \frac{X_{F\max} - X_{F\min}}{\bar{X}} \cdot 100 \quad (4)$$

4.2.5.5 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของสัญญาณศูนย์ (f_0)

ค่าศูนย์จะต้องถูกบันทึกก่อนในแต่ละชุดการวัดซ้ำขึ้นและหลังของแต่ละชุดการวัดซ้ำลง และค่าศูนย์จะต้องอ่านหลังจากไม่มีโหลดประมาณ 30 วินาที ค่าสัญญาณศูนย์ที่ตกค้างจะต้องคำนวณตามสมการที่ (5)

$$f_0 = \frac{|X_f - X_0|}{X_E} \cdot 100 \quad (5)$$

4.2.5.6 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของการผันกลับได้ (h) ต้องพิจารณาตามสมการที่ (6) เป็นความต่างระหว่างค่า ณ ชั้นแรงบิดซ้ำขึ้น (X) กับชั้นแรงบิดซ้ำลง (X') ที่แต่ละชั้นแรงบิด

$$h = \frac{|X - X'|}{\bar{X}} \cdot 100 \quad (6)$$

4.2.5.7 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของการประเมินค่าในช่วง (f_a) ต้องพิจารณาทุกชั้นแรงบิด เพื่อแสดงเป็นฟังก์ชันของแรงบิด โดยใช้สมการเชิงเส้น (first order) และค่าคงตัวของสมการเป็นศูนย์

สมการในการประเมินค่าความคลาดเคลื่อนของการประเมินค่าในช่วงจะต้องคำนวณโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least square) และต้องคำนวณค่าความคลาดเคลื่อนของการประเมินค่าตามสมการที่ (7)

$$f_a = \frac{\bar{X} - X_a}{\bar{X}} \cdot 100 \quad (7)$$

4.2.5.8 ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของค่าบังชี้ (f_q) ต้องถูกตัดสินเฉพาะเครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิดที่แสดงค่าในหน่วยของแรงบิดโดยตรง คำนวณได้ดังสมการที่ (8)

$$f_q = \frac{\bar{X} - M_k}{\bar{X}} \cdot 100 \quad (8)$$

4.2.5.9 ความไว (S)

ความไวถูกใช้ในการแปลงความแยกชัด (r) ของอุปกรณ์แสดงผลที่แสดงค่าในหน่วยอื่น ๆ ที่ไม่ใช่หน่วยของแรงบิด (undefined scale) เช่น mV/V, V, A ให้เป็นหน่วยของแรงบิด (defined scale) โดยการนำค่าความไวที่ได้จากการคำนวณในสมการที่ (9) ไปหาร

$$S = \frac{\bar{X}_E}{M_E} \quad (9)$$

เมื่อ $\bar{X}_E$ คือค่าเฉลี่ยของค่าบังชี้สุทธิสูงสุดของพิสัยการสอบเทียบ และ M_E คือ ค่าแรงบิดสูงสุดของพิสัยการสอบเทียบ

4.3 เครื่องมือ

4.3.1 มาตรฐานการวัดต้องได้รับการสอบเทียบและสอบกลับได้ไปยัง SI unit หรือสามารถสอบกลับได้ไปยังสถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ โดยต้องมีความไม่แน่นอนสัมพัทธ์แบบช่วงของมาตรฐานการวัด (w'_{TN}) ตามเกณฑ์การจำแนกดังตารางที่ 6

4.3.2 การจำแนกระดับความถูกต้องของเครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิดต้องพิจารณาโดยการประเมินผลการวัดทุกลำดับชั้นแรงบิดตามเกณฑ์การจำแนกดังตารางที่ 6 เริ่มต้นพิจารณาที่แรงบิดสูงสุดไปยังแรงบิดต่ำสุดของการสอบเทียบ โดยให้พิจารณาทุกพารามิเตอร์ (parameter) ในตารางที่ 6 จากระดับความถูกต้องที่ดีที่สุดลงมา ในกรณีมีพารามิเตอร์ใดพารามิเตอร์หนึ่งมีค่าความคลาดเคลื่อนเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในระดับความถูกต้องนั้น ๆ ให้ถือว่าไม่ผ่านระดับความถูกต้องดังกล่าวทันที แล้วให้พิจารณาที่ระดับความถูกต้องถัดไป

ความไม่แน่นอนของการวัดสูงสุดที่ยอมรับได้ที่สามารถใช้สอบเทียบเครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิดในแต่ละระดับความถูกต้องกำหนดไว้ในตารางที่ 6

เกณฑ์การจำแนกสำหรับเครื่องมือสอบเทียบประจําวัดแรงบิดมีดังนี้

4.3.2.1 ต้องพิจารณาที่พิสัยการสอบเทียบที่ 100 % ลงไป จนถึงค่าต่ำสุดของพิสัยการสอบเทียบ ≤ 20 % เท่านั้น

4.3.2.2 ไม่สามารถระบุระดับความถูกต้องในพิสัยการสอบเทียบที่สูงกว่า 20 % ไปจนถึง 100 % ได้

4.3.2.3 การระบุระดับความถูกต้องของเครื่องมือในใบรับรองการสอบเทียบต้องระบุเป็นพิสัย

ตารางที่ 6 เกณฑ์การจำแนกสำหรับเครื่องมือสอบเทียบประจําวัดแรงบิด

ระดับความถูกต้อง (class)	ค่าสูงสุดที่ยอมให้ของแต่ละพารามิเตอร์ (%) (maximum permissible value of the parameters)					แรงบิดต่ำสุด (M_A)	ความไม่แน่นอนสัมพัทธ์แบบช่วงของมาตรฐานการวัด ¹ (w_{TN})
	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของการทำซ้ำได้ (b_F)	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของการทวนซ้ำได้ (b')	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของสัญญาณศูนย์ (f_0)	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของการผันกลับได้ (h)	ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของค่าบ่งชี้ (f_q) และการประมาณค่าในช่วง (f_a)		
0.2	0.20	0.10	0.050	0.250	± 0.10	$\geq 1000 r$	0.04
0.5	0.50	0.25	0.125	0.63	± 0.25	$\geq 400 r$	0.10
1	1.00	1.00	0.25	1.25	± 0.50	$\geq 200 r$	0.20
¹ ความไม่แน่นอนสัมพัทธ์แบบช่วงของมาตรฐานการวัดที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($k=2$) หาได้จาก การรวมกันของความคลาดเคลื่อนของการวัดเชิงสุ่มและความคลาดเคลื่อนของการวัดเชิงระบบ							

4.3.3 อุปกรณ์แสดงผล

ในกรณีการสอบเทียบที่อุปกรณ์แสดงผลอ่านค่าเป็นปริมาณทางไฟฟ้า เช่น V, mV/V, A และในการนำไปใช้งานจริงถูกแทนที่ด้วยอุปกรณ์แสดงผลตัวอื่น อุปกรณ์ที่นำมาแทนที่นั้นต้องถูกสอบเทียบในหน่วยที่ใช้อ่านค่าและสามารถสอบกลับได้ อย่างน้อยต้องถูกสอบเทียบในพิสัยเดียวกันกับอุปกรณ์แสดงผลเดิม และความไม่แน่นอนของการวัดของอุปกรณ์แสดงผลที่นำมาแทนที่จะต้องนำมาประเมินร่วมกับค่าความไม่แน่นอนของระบบการวัดเดิม

ในกรณีการสอบเทียบที่อุปกรณ์แสดงผลอ่านค่าในหน่วยแรงบิดใด ๆ ก็ตาม เช่น N·m, kgf·m, lbf·ft, lbf·in ฯลฯ จะต้องใช้อุปกรณ์แสดงผลนี้เท่านั้นในการปฏิบัติงาน มิฉะนั้นจะถือว่าใบรับรองการสอบเทียบเป็นโมฆะ

อุปกรณ์แสดงผลควรกำหนดค่าของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามคำแนะนำของผู้ผลิตหรือตามที่ตกลงกัน ซึ่งจะต้องบันทึกและระบุพารามิเตอร์ทุกพารามิเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรในใบรับรองการสอบเทียบ

ก่อนทำการสอบเทียบต้องตรวจสอบฟังก์ชันและโหมด (mode) การใช้งานของอุปกรณ์แสดงผลให้แสดงค่าแบบเวลาจริง (real time) ในขณะที่ทำการสอบเทียบ เพื่อหลีกเลี่ยงการสอบเทียบเป็นโมฆะ

4.3.3.1 ความแยกชัดของอุปกรณ์แสดงผล (resolution of indicator)

ความแยกชัดในกรณีที่อุปกรณ์แสดงผลแสดงค่าในหน่วยอื่น ๆ ที่ไม่ใช่หน่วยของแรงบิด เช่น mV/V, V, A จะต้องแปลงและแสดงให้เป็นหน่วยของแรงบิด โดยนำความไว (S) ที่คำนวณได้มาประเมิน ความแยกชัดในหน่วยของแรงบิดหาได้จากสมการที่ (10)

$$r(\text{N} \cdot \text{m}) = \frac{r(\text{undefined scale})}{S} \quad (10)$$

เพื่อให้สามารถนำไปพิจารณาค่าแรงบิดต่ำสุดที่สามารถทำการสอบเทียบได้ในแต่ละระดับความถูกต้อง และพิจารณาจำแนกระดับความถูกต้องของเครื่องมือตามตารางที่ 6

4.3.3.1.1 ความแยกชัดของอุปกรณ์แสดงผลแบบแอนะล็อกสเกล (analog scale indicator) มีดังนี้

ความหนาของเครื่องหมายขีดบนสเกลไม่ควรแตกต่างกัน และความกว้างของเข็มชี้ควรเท่ากับความกว้างของเครื่องหมายขีดบนอุปกรณ์แสดงผล

ความแยกชัดของอุปกรณ์แสดงผลกำหนดตามการแบ่งส่วนที่เล็กที่สุดระหว่างเส้นแบ่งสเกลที่สามารถประมาณได้อย่างสมเหตุสมผล จากอัตราส่วนความกว้างของเข็มชี้ต่อระยะกึ่งกลางถึงกึ่งกลางของเครื่องหมายขีดที่อยู่ติดกันหรือระยะห่างของสเกล โดยอัตราส่วนที่แนะนำได้แก่ 1/2, 1/5 และ 1/10 ในการประเมินเป็น 1/10 สเกลจะต้องมีระยะห่างไม่น้อยกว่า 1.25 มิลลิเมตรขึ้นไป

4.3.3.1.2 ความแยกชัดของอุปกรณ์แสดงผลแบบดิจิทัล (digital indicator) ให้มีค่าดังนี้

ความแยกชั้มีค่าเท่ากับความสามารถในการเพิ่มค่าของการแสดงผลหลักสุดท้าย ในกรณีที่การผันผวนของการแสดงค่าไม่เกินการเพิ่มค่าของการแสดงผลหลักสุดท้าย ขณะที่ได้รับโหลดที่ประมาณ 20% ของ M_E ซึ่งทำการสังเกตในระยะเวลาไม่น้อยกว่า 5 วินาที

หรือให้ความแยกชั้มีค่าเท่ากับการเพิ่มค่าของการแสดงผลหลักสุดท้ายบวกด้วยครึ่งหนึ่งของค่าผันผวน ในกรณีที่ค่าผันผวนมากกว่าการเพิ่มค่าของการแสดงผลหลักสุดท้าย

4.3.4 แรงบิดต่ำสุดของพิสัยการสอบเทียบ (M_A) จะต้องไม่น้อยกว่า $0.02 \cdot M_E$ และเมื่อพิจารณาจากความแยกชั้ของอุปกรณ์แสดงผลจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขในตารางที่ 6

4.4 ใบรับรองการสอบเทียบ

4.4.1 ห้องปฏิบัติการสอบเทียบจะต้องออกใบรับรองการสอบเทียบที่ต้องมีข้อมูลดังต่อไปนี้เป็นอย่างน้อย

- ก) ผู้ขอรับบริการสอบเทียบ
 - ข) ชี้นำเฉพาะ ส่วนประกอบของเครื่องมือสอบเทียบประจำวัดแรงบิด รวมถึงอุปกรณ์ต่อพ่วงทั้งหมด
 - ค) แจ้งรายละเอียดทิศทางการสอบเทียบ ตามเข็มนาฬิกา และทวนเข็มนาฬิกา
 - ง) ผลการจำแนกระดับความถูกต้อง รวมถึงพิสัยการสอบเทียบตามลำดับและความไม่แน่นอนของการวัด
 - จ) ผลการวัด $\bar{X}$ สมการการประเมินค่าในช่วง ในกรณีที่กำหนดให้การแสดงค่าในหน่วยอื่น ๆ ที่ไม่ใช่หน่วยของแรงบิด
 - ฉ) อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ขณะทำการสอบเทียบ
 - ช) วันเดือนปีที่ทำการสอบเทียบ
 - ซ) รายละเอียดของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ และเครื่องมือวัดมาตรฐานที่ใช้ รวมถึงความไม่แน่นอนสัมพัทธ์แบบช่วงของมาตรฐานการวัด (w'_{TN})
 - ฌ) อ้างอิงประกาศฉบับนี้
 - ญ) แกนการวัด (แนวนอนและ/หรือแนวตั้ง)
 - ฎ) ผลการวัดทุกค่าก่อนการคำนวณในรูปแบบตารางและผลการคำนวณความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์
 - ฏ) กราฟแสดงความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของการประเมินค่าในช่วงและ/หรือความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของค่าบ่งชี้ เทียบกับแรงบิดที่สอบเทียบ
 - ฐ) ความไม่แน่นอนสัมพัทธ์แบบช่วง (w')
- นอกจากรายละเอียดโดยทั่วไป และรายละเอียดทางเทคนิคดังที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังต้องรวมถึงข้อมูลอื่น ๆ ที่กำหนดไว้ใน มอก. 17025 ด้วย

4.4.2 การสิ้นอายุใบรับรองการสอบเทียบ

4.4.2.1 ใบรับรองการสอบเทียบจะต้องไม่เกิน 24 เดือนนับจากวันที่ทำการสอบเทียบ

4.4.2.2 เมื่อเกิดการจ่ายโหลดเกินพิกัด

4.4.2.3 หลังจากมีการซ่อม หรือหลังจากเกิดความเสียหายจากการจัดการที่ไม่มีความชำนาญซึ่งส่งผลต่อความไม่แน่นอนของการวัด ได้แก่ การขนส่ง การรับ การป้องกัน และการเก็บรักษา

4.5 ความไม่แน่นอนของการสอบเทียบเครื่องมือสอบเทียบประจำวัดแรงบิด

4.5.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ผลการสอบเทียบได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยประมาณดังนี้

$$M = M_k - \sum_{i=1}^n (\delta M_i)$$

เมื่อ δM_1 คืออิทธิพลของความแยกชัด (r) ของอุปกรณ์แสดงผลของเครื่องมือที่ถูกสอบเทียบ

δM_2 คืออิทธิพลของความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของการทวนซ้ำได้ (b')

δM_3 คืออิทธิพลของความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของการทำซ้ำได้ b_f เนื่องจากแรงตามขวางที่แตกต่างกัน

δM_4 คืออิทธิพลของความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของการผันกลับได้ (h)

δM_5 คืออิทธิพลของความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของสัญญาณศูนย์ (f_0)

δM_6 คืออิทธิพลของความไม่แน่นอนสัมพัทธ์แบบช่วงของมาตรฐานการวัด (w'_{TN}) รวมถึงเสถียรภาพระยะยาว (long term stability)

4.5.2 การประเมินความไม่แน่นอนของการวัด

ในกรณีที่ค่าความไม่แน่นอนไม่มีสหสัมพันธ์กัน ความไม่แน่นอนมาตรฐานสัมพัทธ์ (w) คำนวณได้จากสมการ

$$w = \sqrt{w'^2_{TN} + \sum_{i=1}^5 w^2(\delta M_i)}$$

ในกรณีนี้ w'_{TN} มาจากการพิจารณาอิทธิพลของ δM_6

สำหรับเครื่องมือที่แสดงค่าในหน่วยอื่น ๆ ที่ไม่ใช่หน่วยของแรงบิด การประเมินค่าในช่วงเป็นเชิงเส้น ความไม่แน่นอนสัมพัทธ์แบบช่วง (w') คำนวณได้จากสมการ

$$w' = |f_a| + k \cdot w$$

$$W' = |f_a| + k \cdot \sqrt{w_{TN}^2 + w_r^2 + w_{b'}^2 + w_{b_1}^2 + w_h^2 + w_0^2}$$

สำหรับเครื่องมือที่แสดงค่าในหน่วยของแรงบิด ความไม่แน่นอนสัมพัทธ์แบบช่วง (W') คำนวณได้จากสมการ

$$W' = |f_q| + k \cdot w$$

$$W' = |f_q| + k \cdot \sqrt{w_{TN}^2 + w_r^2 + w_{b'}^2 + w_{b_1}^2 + w_h^2 + w_0^2}$$

โดยมีฟังก์ชันการแจกแจง (distribution function) สำหรับคำนวณความไม่แน่นอนมาตรฐานสัมพัทธ์ที่อธิบายในตารางที่ 7 ใช้ในการประเมินความไม่แน่นอนมาตรฐานสัมพัทธ์ แล้วนำค่าที่ได้ใส่ลงในรายการของตารางที่ 8 ประมวลความไม่แน่นอน (uncertainty budget)

4.5.3 การพิจารณาตัวประกอบครอบคลุม [coverage factor (k)]

โดยทั่วไปการรายงานความไม่แน่นอนของการวัดจะรายงานตัวประกอบครอบคลุม (k) = 2 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % (พิจารณาที่ 95.45 %) ซึ่งหมายความว่าองศาเสรี [degree of freedom (ν_i)] ของความไม่แน่นอนรวมเป็นอนันต์

ดังนั้น จึงจำเป็นต้องหาองศาเสรียังผล [effective degrees of freedom (ν_{eff})] โดยใช้สมการ Welch-Satterthwait equation

$$\nu_{eff} = \frac{w_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{w_i^4(y)}{\nu_i}}$$

เมื่อ $w_c(y)$ คือความไม่แน่นอนมาตรฐานสัมพัทธ์รวม

$w_i(y)$ คือความไม่แน่นอนมาตรฐานสัมพัทธ์ของแต่ละปริมาณ

ν_i คือองศาเสรีแต่ละตัว

โดยนำค่าที่ได้ไปหาค่าตัวประกอบครอบคลุมที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ในตารางที่ 9 แสดงค่าตัวประกอบครอบคลุมที่ได้จากตารางการแจกแจง T (t-distribution table) ในกรณีที่องศาเสรีมากกว่า 100 สามารถใช้ตัวประกอบครอบคลุม $k = 2$ ได้ แต่ในกรณีที่องศาเสรีน้อยกว่านั้นให้ใช้ค่าที่คำนวณได้จริง

ตารางที่ 7 ฟังก์ชันการแจกแจงสำหรับคำนวณความไม่แน่นอนมาตรฐานสัมพัทธ์

พารามิเตอร์	ฟังก์ชันการแจกแจง	ความไม่แน่นอนมาตรฐานสัมพัทธ์ (%)
ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของสัญญาณศูนย์ (f_0)	แบบสี่เหลี่ยม (rectangular)	$w_0 = \frac{f_0}{\sqrt{3}}$
ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของการทวนซ้ำได้ (b')	แบบปกติ (normal)	$w_{b'} = \frac{b'}{\sqrt{2}}$
ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของการทำซ้ำได้ (b_F)	แบบรูปอักษรยู (u-shape)	$w_F = \frac{\left(\frac{b_F}{2}\right)}{\sqrt{2}}$
ความแยกชัด (r)	แบบสี่เหลี่ยม	$w_r = \left(\frac{r}{2}\right) \cdot \frac{100}{\sqrt{3} \cdot M_k}$
ความคลาดเคลื่อนสัมพัทธ์ของการผันกลับได้ (h)	แบบสี่เหลี่ยม	$w_h = \frac{\left(\frac{h}{2}\right)}{\sqrt{3}}$

ตารางที่ 8 ประมวลความไม่แน่นอน (uncertainty budget)

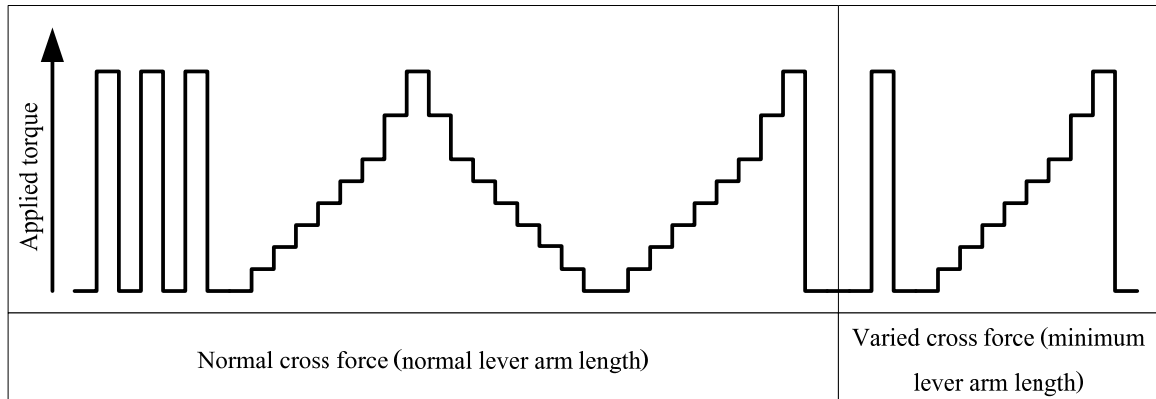
ปริมาณ (quantity) X_i	ประมาณ (estimate) x_i	ความกว้างของการแจกแจง (width of the distribution)	ความน่าจะเป็นของการแจกแจง (probability distribution)	ความไม่แน่นอนมาตรฐานสัมพัทธ์ของแต่ละปริมาณ (relative standard uncertainty) $w(x_i)$	สัมประสิทธิ์ความไว (sensitivity coefficient) c_i	ความไม่แน่นอนสัมพัทธ์ร่วม (relative uncertainty contribution) $w_i(y)$
M_k	M_k	w'_{TN}	แบบปกติ			
δM_1	0	r	แบบสี่เหลี่ยม			
δM_2	0	b'	แบบปกติ			
δM_3	0	b_F	แบบรูปอักษรยู			
δM_4	0	h	แบบสี่เหลี่ยม			
δM_5	0	f_0	แบบสี่เหลี่ยม			
ความไม่แน่นอนมาตรฐานสัมพัทธ์รวม (w_c)						
ความไม่แน่นอนขยายสัมพัทธ์ $W, (k=2)$						

ตารางที่ 9 แสดงค่าตัวประกอบครอบคลุมที่ได้จากตารางการแจกแจง T

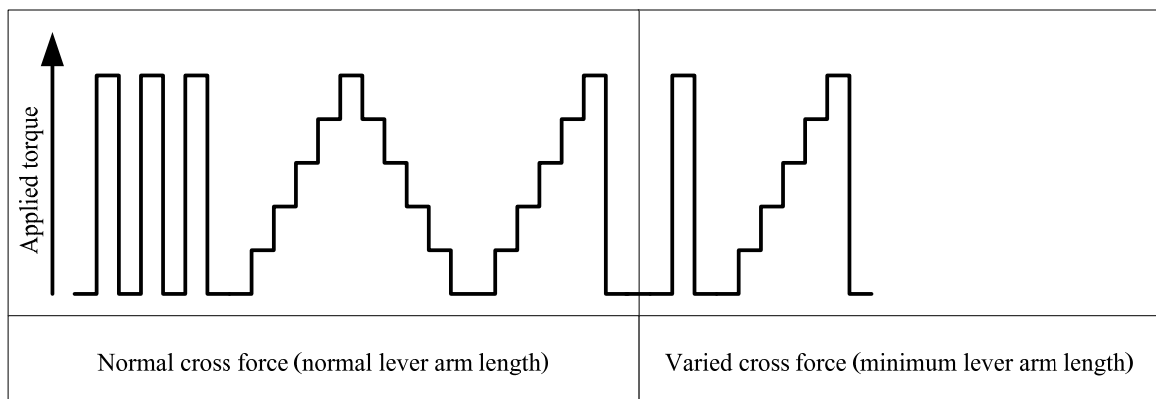
องศาเสรี degree of freedom (ν)	ค่าตัวประกอบครอบคลุมที่ได้จากค่าตารางการแจกแจง T ณ ค่าองศาเสรี (ν) ที่ระบุระดับความเชื่อมั่น (ρ) [values of $t_p(\nu)$ from the t -distribution for degrees of freedom ν that define an interval that encompasses specified fractions ρ of the corresponding distribution]					
	$\rho = 68.27\%$	$\rho = 90\%$	$\rho = 95\%$	$\rho = 95.45\%$	$\rho = 99\%$	$\rho = 99.73\%$
1	1.84	6.31	12.71	13.97	63.66	235.80
2	1.32	2.92	4.30	4.53	9.92	19.21
3	1.20	2.35	3.18	3.31	5.84	9.22
4	1.14	2.13	2.78	2.87	4.60	6.62
5	1.11	2.02	2.57	2.65	4.03	5.51
6	1.09	1.94	2.45	2.52	3.71	4.90
7	1.08	1.89	2.36	2.43	3.50	4.53
8	1.07	1.86	2.31	2.37	3.36	4.28
9	1.06	1.83	2.26	2.32	3.25	4.09
10	1.05	1.81	2.23	2.28	3.17	3.96
11	1.05	1.80	2.20	2.25	3.11	3.85
12	1.04	1.78	2.18	2.23	3.05	3.76
13	1.04	1.77	2.16	2.21	3.01	3.69
14	1.04	1.76	2.14	2.20	2.98	3.64
15	1.03	1.75	2.13	2.18	2.95	3.59
16	1.03	1.75	2.12	2.17	2.92	3.54
17	1.03	1.74	2.11	2.16	2.90	3.51
18	1.03	1.73	2.10	2.15	2.88	3.48
19	1.03	1.73	2.09	2.14	2.86	3.45
20	1.03	1.72	2.09	2.13	2.85	3.42
25	1.02	1.71	2.06	2.11	2.79	3.33
30	1.01	1.70	2.04	2.09	2.75	3.27
35	1.01	1.70	2.03	2.07	2.72	3.23
40	1.01	1.68	2.02	2.06	2.70	3.20
45	1.01	1.68	2.01	2.06	2.69	3.18
50	1.01	1.68	2.01	2.05	2.68	3.16
100	1.005	1.660	1.984	2.025	2.626	3.077
∞	1.000	1.645	1.960	2.000	2.576	3.000

ภาคผนวก ก

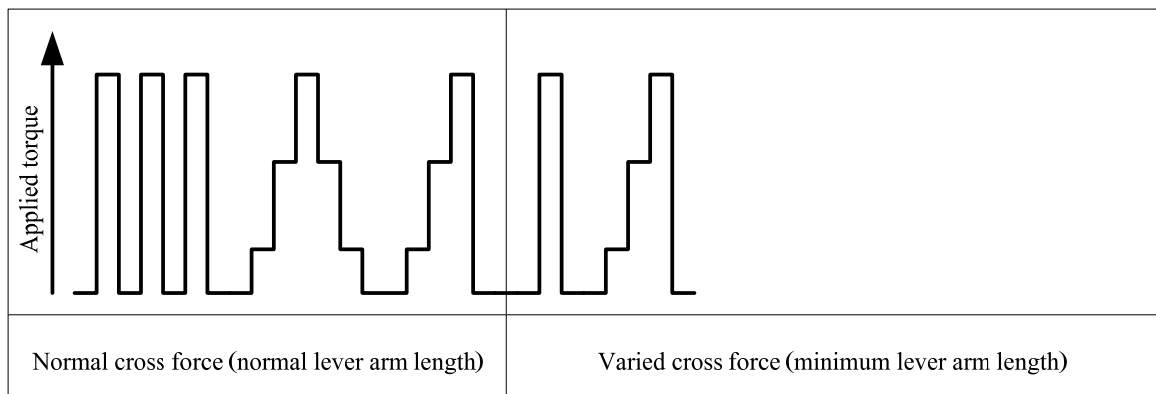
การฟรีโหลด และอนุกรมการวัดแบบลำดับขั้นขึ้นและลง



รูปที่ 1 การฟรีโหลด และอนุกรมการวัดแบบลำดับขั้นขึ้นและลง สำหรับระดับความถูกต้อง 0.2



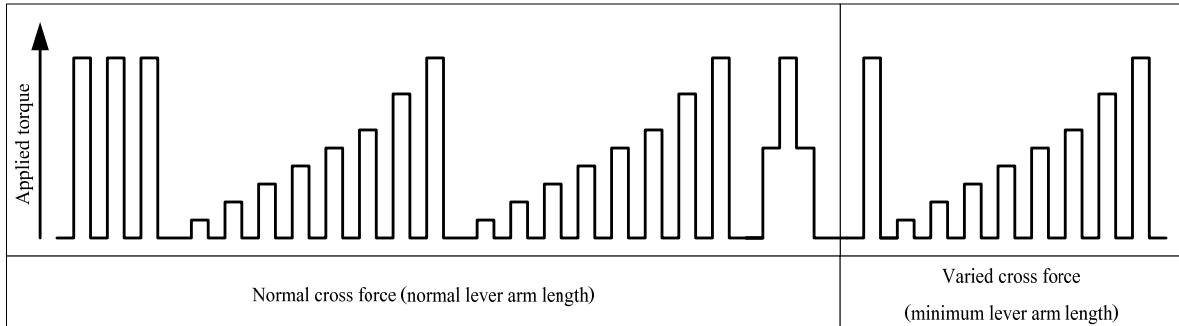
รูปที่ 2 การฟรีโหลด และอนุกรมการวัดแบบลำดับขั้นขึ้นและลง สำหรับระดับความถูกต้อง 0.5



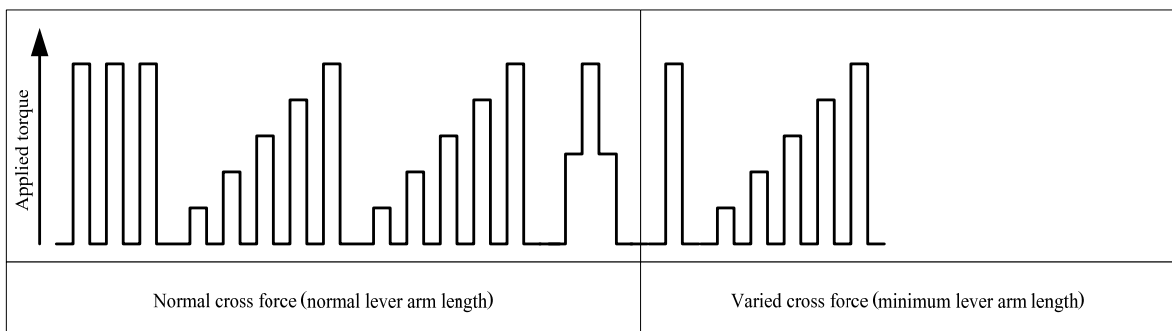
รูปที่ 3 การฟรีโหลด และอนุกรมการวัดแบบลำดับขั้นขึ้นและลง สำหรับระดับความถูกต้อง 1

ภาคผนวก ข

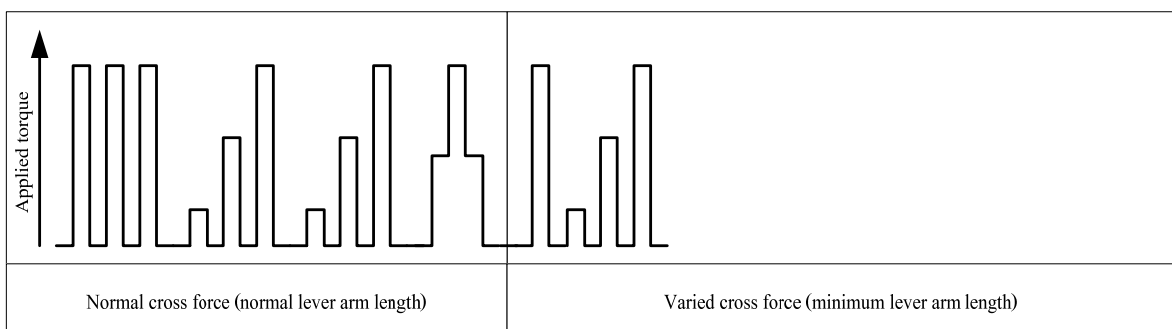
การฟรีโหลด และอนุกรมการวัดแบบลำดับขั้นสูงสุดและลงสุด



รูปที่ 4 การฟรีโหลด และอนุกรมการวัดแบบลำดับขั้นสูงสุดและลงสุด สำหรับระดับความถูกต้อง 0.2



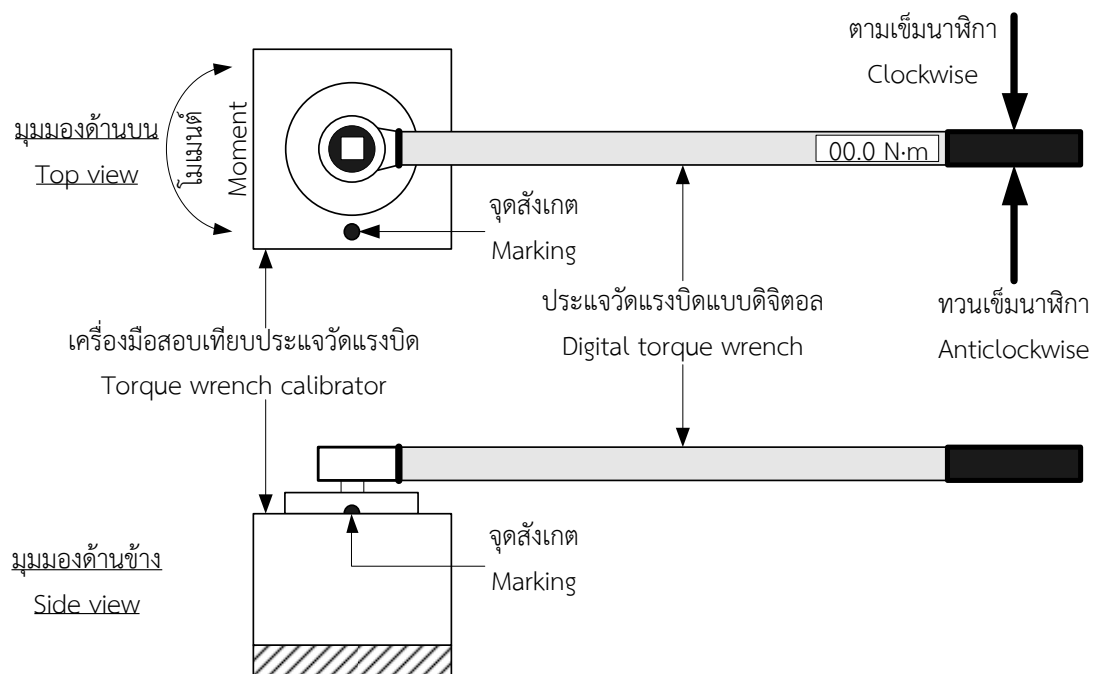
รูปที่ 5 การฟรีโหลด และอนุกรมการวัดแบบลำดับขั้นสูงสุดและลงสุด สำหรับระดับความถูกต้อง 0.5



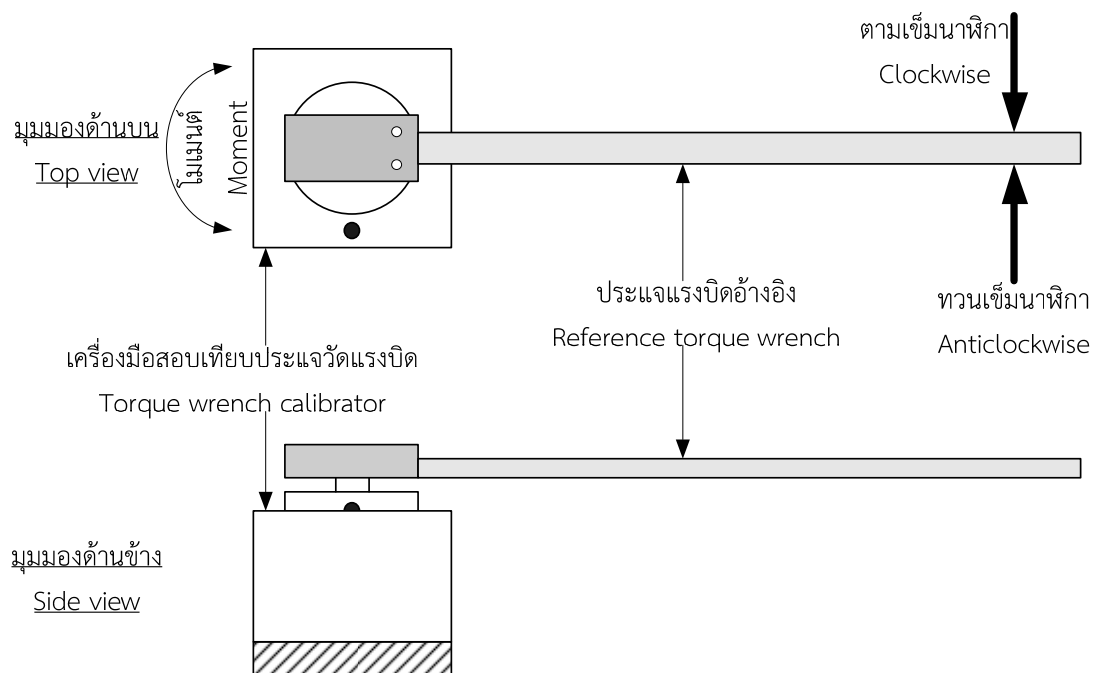
รูปที่ 6 การฟรีโหลด และอนุกรมการวัดแบบลำดับขั้นสูงสุดและลงสุด สำหรับระดับความถูกต้อง 1

ภาคผนวก ค

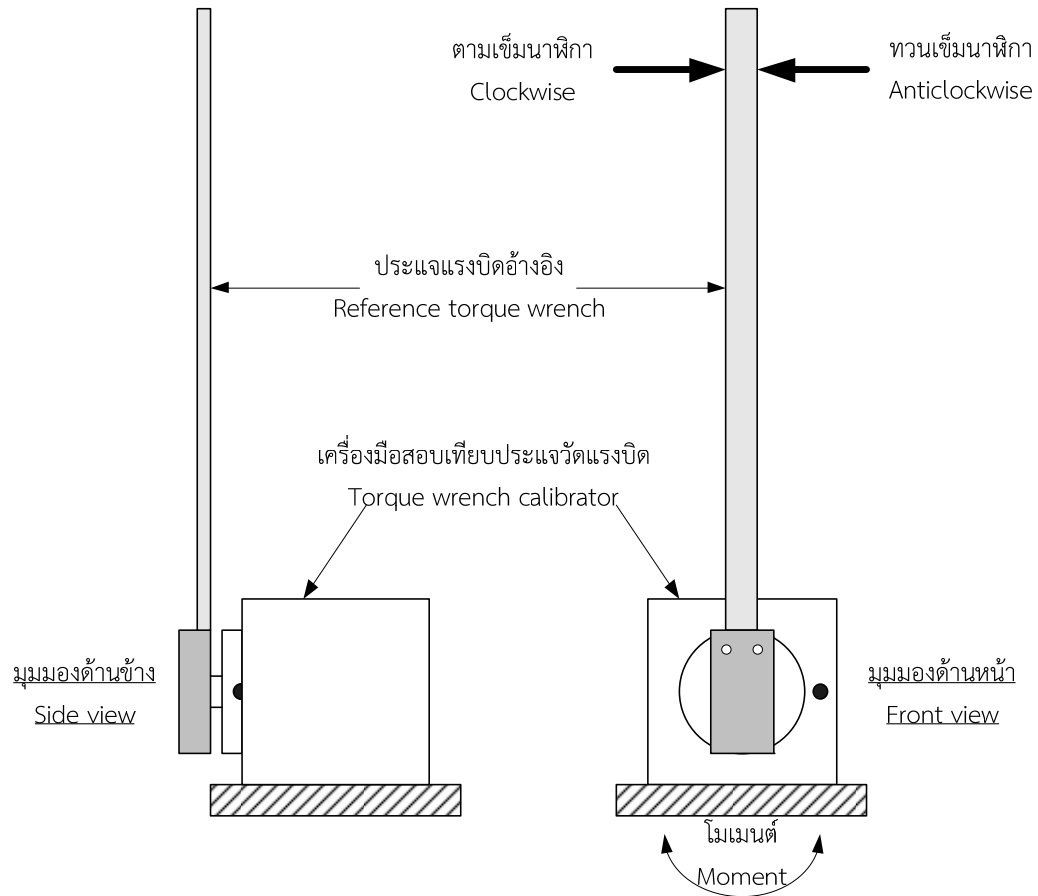
การกำหนดทิศทางและตำแหน่งการสอบเทียบ



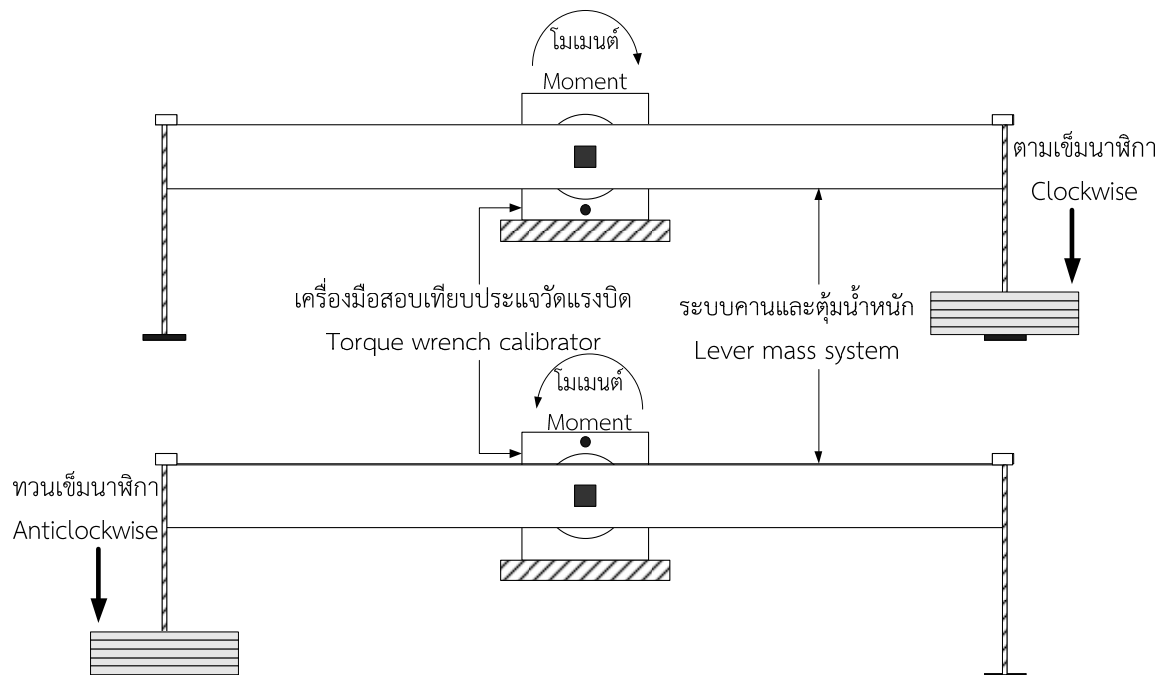
รูปที่ 7 การติดตั้งการสอบเทียบประแจวัดแรงบิดตามแนวตั้ง



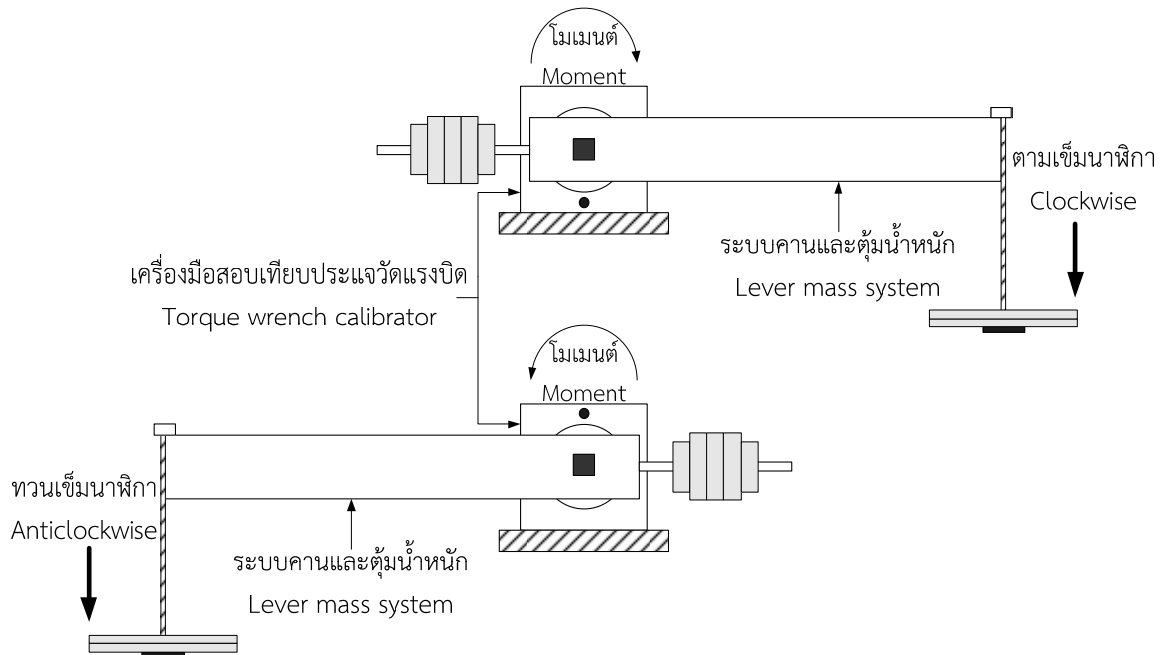
รูปที่ 8 การติดตั้งการสอบเทียบตามแนวตั้งโดยใช้ประแจแรงบิดอ้างอิง



รูปที่ 9 การติดตั้งการสอบเทียบตามแนวนอนโดยใช้ประแจแรงบิดอ้างอิง

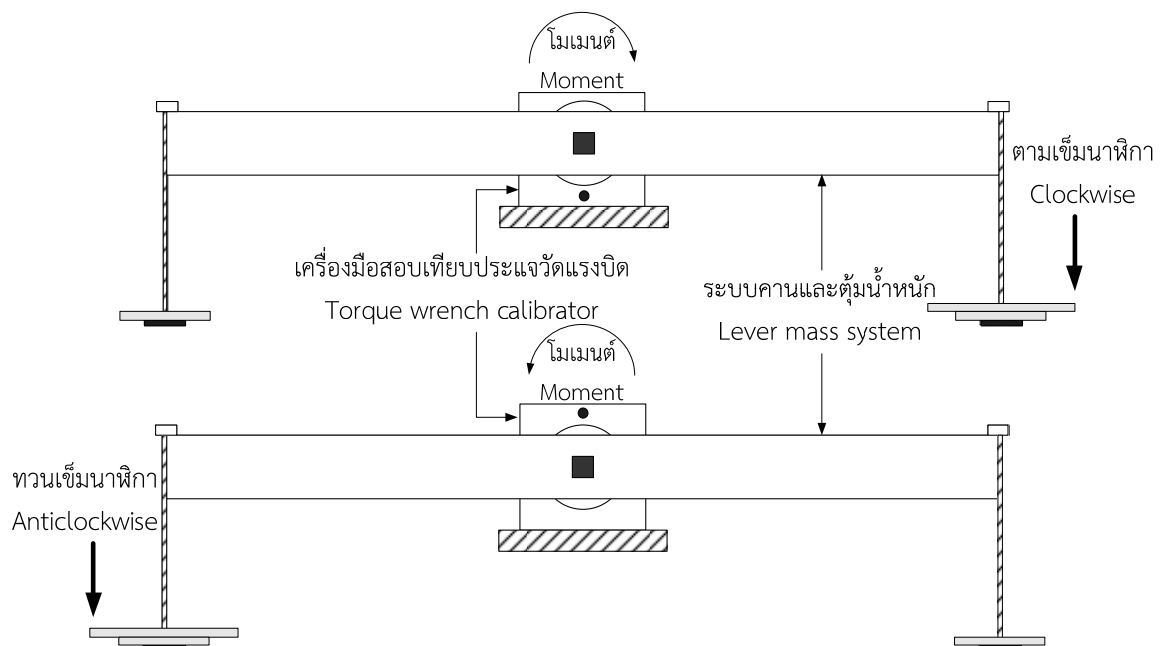


รูปที่ 10 การติดตั้งการสอบเทียบตามแนวนอนโดยใช้ระบบคานและตุ้มน้ำหนักแบบคานคู่

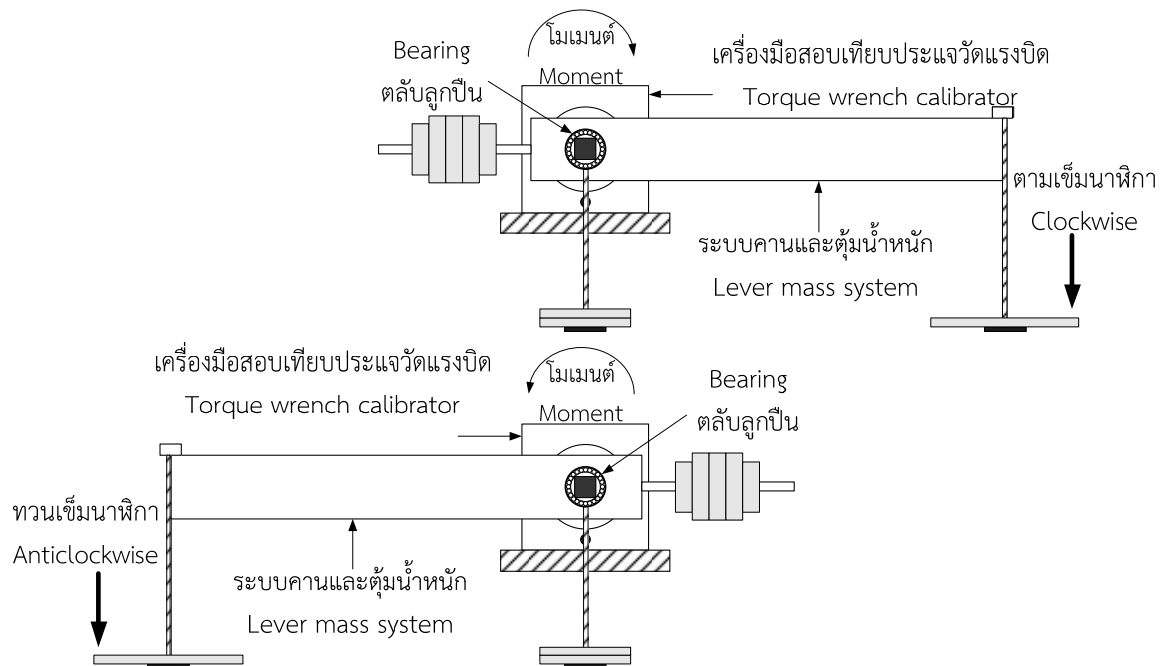


รูปที่ 11 การติดตั้งการสอบเทียบตามแนวนอนโดยใช้ระบบคานและตุ้มน้ำหนักแบบคานเดี่ยว

หมายเหตุ จากการสังเกตรูปที่ 10 และ 11 พบว่าตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิดสำหรับการสอบเทียบในทิศทางตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา แตกต่างกัน 180 องศา ทั้งนี้อ้างอิงจากตำแหน่งที่ถูกแรงตามขวางกระทำตามรูปที่ 8



รูปที่ 12 การจ่ายโหลดเพื่อเปลี่ยนแปลงแรงตามขวางของระบบคานและตุ้มน้ำหนัก (แบบคานคู่)



รูปที่ 13 การจ่ายโหลดเพื่อเปลี่ยนแปลงแรงตามขวางของระบบคานและตุ้มน้ำหนัก (แบบคานเดียว)