

การออกแบบและสร้างประแจวัดแรงบิดอ้างอิง A Design and Construction of Torque Transfer Wrench

ทัศนัย แสนพลพัฒน์* และ โชคชัย วาดทอง

ห้องปฏิบัติการแรงบิด ฝ่ายมาตรวิทยาเชิงกล สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ จ.ปทุมธานี 12120

*ผู้ติดต่อ: E-mail: tassanai@nimt.or.th, โทรศัพท์: 02 5775100, โทรสาร: 02 5775095

บทคัดย่อ

สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติเป็นหน่วยงานภายใต้การกำกับดูแลของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมีหน้าที่สถาปนาและรักษารวมทั้งถ่ายทอดความถูกต้องมาตรฐานการวัดของประเทศตามประกาศกระทรวงฯ เพื่อกำหนดมาตรฐานแห่งชาติ ได้ออกแบบและสร้างประแจวัดแรงบิดอ้างอิง มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการสอบเทียบเครื่องมือสอบเทียบประแจวัดแรงบิดและลดการนำเข้าเครื่องมือวัดมาตรฐานจากต่างประเทศ การออกแบบถูกคำนึงถึงการพัฒนาเป็นระบบกันน้ำ ในอนาคต ดังนั้นรูปแบบการบิดเพลากลวง จึงถูกเลือกใช้ในการออกแบบส่วนรับรู้ปริมาณความเค้น จากการวิเคราะห์พบว่า แรงกระทำที่ก้านประแจทำให้เกิดค่าเบี่ยงเบนของความเค้นรอบส่วนรับรู้ปริมาณความเค้น นอกจากนั้นค่าเบี่ยงเบนความเค้นยังขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่แรงกระทำและความหนาของผนังเพล อีกด้วย เพื่อลดผลกระทบของแรงดังกล่าว ผู้ออกแบบเลือกใช้วงจรวัดความเค้นด้วย strain gages แบบ full bridge circuit ด้วยกันสองส่วน ประกอบด้วยส่วนวัดแรงบิดและส่วนวัดแรง จากการทดสอบด้วยวิธีดำเนินการเพิ่มภาระหลายปริมาณแรง(Multi-lateral force load test) พบว่าสัญญาณจากวงจรวัดความเค้นทั้งสองส่วนให้ปริมาณที่ใกล้เคียงกัน สามารถลดผลกระทบของแรงได้อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การทดสอบด้วยแรงบิดและแรง (Torque with cross force) แสดงให้เห็นว่าสัญญาณจากส่วนวัดแรงบิดให้ปริมาณเป็นสัดส่วนกับแรงบิดตรงตามวัตถุประสงค์การออกแบบ แต่ปริมาณแรงบิดมีอิทธิพลต่อสัญญาณวัดแรงอยู่บ้างเล็กน้อย เมื่อดำเนินการสอบเทียบประแจวัดแรงบิดอ้างอิงที่จัดทำขึ้น ตามแนวทางการสอบเทียบ DKD-R-3-7 พบว่าผลการจำแนกความถูกต้องอยู่ที่ระดับชั้น 0.2

คำหลัก: ประแจวัดแรงบิดอ้างอิง (Torque transfer wrench), แรงกระทำที่ก้านประแจ (cross force), ส่วนรับรู้ปริมาณความเค้น (sensing body)

Abstract

National Institute of metrology is an agency under the supervision of the Ministry of Science and Technology is responsible for establishing and maintaining the transmission accuracy of the measurement standards. Torque transfer wrench was designed and fabricated. In order to using for calibration of torque wrench calibrator and reducing imports torque standard equipment from abroad. The design took into account the development of the waterproof system in the future. Therefore, a shape of hollow shaft was chose to design a sensing body. The analysis found that cross force act on lever arm of wrench causes stress deviate from plain along the sensing body surface. Moreover, deviation values depend on position

of cross force act on and wall thickness of sensing body. To minimize that effect, two full bridge strain gage circuits consist of torque and cross force measurements were used. Multi cross force load test results shown that measurement signal from both circuits were nearly the same. It could reduce the cross force effect significantly. While testing torque with cross force test results shown that the signals from torque measurement circuit was proportional to the torque quantities to meet the design objective. However torque quantities slightly influenced the force measurement signal. Calibration results of fabrication according to guideline, DKD-R 3-7 indicated that its classification conformed class 0.2.

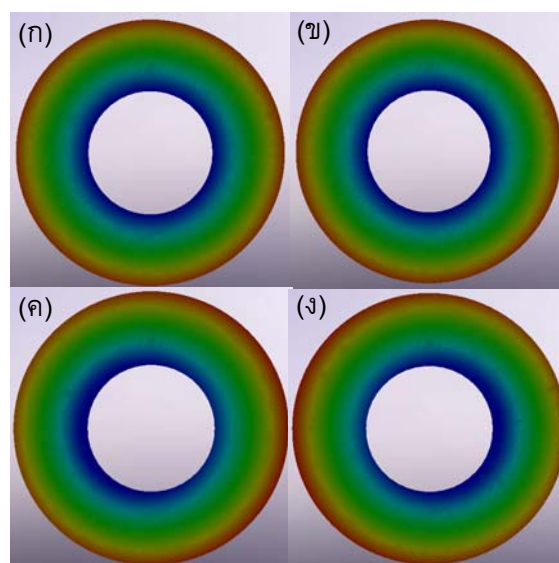
Keywords: torque transfer wrench, Cross force and sensing body

1. บทนำ

ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อการออกแบบ TTW นั้นคือ ปริมาณแรงที่กระทำต่อตัวประแจ จากเอกสารแนวทางการสอบเทียบประแจวัดแรงบิดอ้างอิง DKD-R-3-7 [1] กำหนดให้ประแจวัดแรงบิดอ้างอิงพิกัดแรงบิด 200 N•m จะต้องทนต่อแรงที่กระทำที่ก้านประแจ (cross force) ที่ตำแหน่ง 400 mm. และ 700 mm. ได้ โดยมีเกณฑ์ยอมรับความคลาดเคลื่อนของผลการวัดแรงบิด อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนตำแหน่งที่แรงกระทำบนด้านประแจระหว่าง 400mm. ถึง 700mm ไม่เกิน 0.1% สำหรับการจำแนกความถูกต้องอยู่ที่ระดับชั้น 0.2

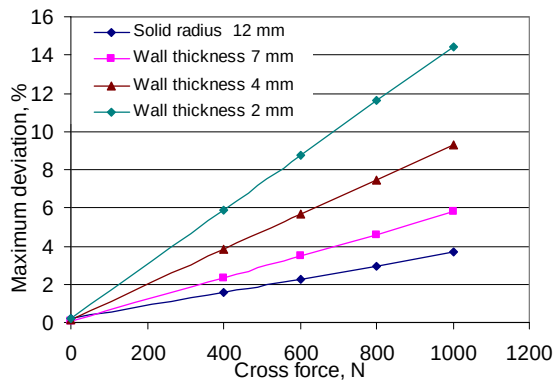
2. ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบ FEA พบว่าความเค้นที่ผิวส่วนรับรู้ปริมาณความเค้นมีความสม่ำเสมอเมื่อถูกกระทำด้วยปริมาณแรงบิดบริสุทธิ์ (Pure torque) ในขณะที่ปริมาณ cross force ที่กระทำบนก้านประแจ ทำให้เกิดการเบี่ยงเบนของความเค้นรอบผิวส่วนรับรู้ปริมาณความเค้นดังรูป 1 แสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอของความเค้นเมื่อถูกกระทำด้วยแรงบิดบริสุทธิ์ และการเบี่ยงเบนของความเค้นเมื่อถูกกระทำด้วยแรงบิดที่มี Cross force ปะปนมาด้วย และพบว่าการกระจายตัวของความเค้นที่ถูกกระทำด้วยแรงบิดและแรง Cross force จะมีการเบี่ยงเบนในรูปแบบของคลื่นชายน้รอบแกนวัด นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ยังแสดงให้เห็นว่าขนาดของคลื่นชายน้ดังกล่าว แปรผันตามปริมาณ Cross force ที่กระทำ



รูปที่ 1 แสดงการเบี่ยงเบนของความเค้นรอบผิวส่วนรับรู้ปริมาณความเค้นเมื่อรับภาระ (ก) แรงบิดทิศทางตามเข็มนาฬิกา (ข) แรงบิดทิศทางทวนเข็มนาฬิกา (ค) แรงบิดทิศทางตามเข็มนาฬิกาและแรงกด (ง) แรงบิดทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและแรงกด

นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ยังแสดงให้เห็นว่าขนาดของคลื่นชายน้ดังกล่าว แปรผันตามปริมาณ Cross force ที่กระทำและมีความสัมพันธ์กับความหนาของผนังเพลลา แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงปริมาณเบี่ยงเบนของความเค้นสูงสุดที่ภาระแรง Cross force ของแต่ละความหนาของผนังของส่วนรับรู้ปริมาณความเค้น

กล่าวได้ว่า ส่วนรับรู้ปริมาณความเค้นที่มีรูปทรงเพลลาและมีพิคัดแรงบิดเท่ากันแล้วนั้น เพลาดันให้ผลการวัดแรงบิดที่มีความไวตอบสนองต่อ Cross force น้อยที่สุด ในกรณีที่ส่วนรับรู้ปริมาณความเค้นมีลักษณะเพลากลวงนั้น ผนังเพลาที่บางที่สุดจะมีความไวตอบสนองต่อ cross force มากที่สุดนั่นเอง ดังนั้น ในกรณีที่ติด strain gage ที่ผิวนอกของเพลลา ส่วนรับรู้ปริมาณความเค้นแบบเพลาดันจึงเหมาะสมที่สุด

ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการสร้าง ประแจวัดแรงบิดอ้างอิง ที่สามารถพัฒนาเป็นระบบปิดหรือป้องกันน้ำ (Waterproof) ได้ในอนาคตต่อไป จึงตั้งใจออกแบบส่วนรับรู้ปริมาณความเค้นให้มีรูปทรงแบบเพลากลวง เพื่อสามารถติดตั้ง strain gage ที่ผิวในของเพลลา และที่มีผนังของเพลลาหนาไม่เกิน 1mm เพื่อง่ายต่อการศึกษาและประเมินประสิทธิภาพของการรูดเซยสัญญาณวัดความเค้นที่ได้รับผลกระทบจากปริมาณ Cross force ที่กระทำบนก้านประแจต่อไป

2. การออกแบบและสร้าง

ผู้วิจัยออกแบบให้ ส่วนรับรู้ปริมาณความเค้นของ ประแจวัดแรงบิดอ้างอิง ขนาด 200 N·m ให้มีรูปทรงแบบเพลากลวง วัสดุที่เลือกใช้เป็นเหล็ก Tool steel เกรด DC53 ซึ่งมีรายละเอียดส่วนผสมทางเคมีดังตารางที่1 และลักษณะสมบัติทางกลดังตารางที่2

ตารางที่1 ส่วนผสมทางเคมีเหล็ก เกรด DC53

Chemical Composition, %					
C	Si	Mn	Cr	Mo	V
0.95	1.0	0.4	8.0	2.0	0.3

ตารางที่2 ลักษณะสมบัติทางกล

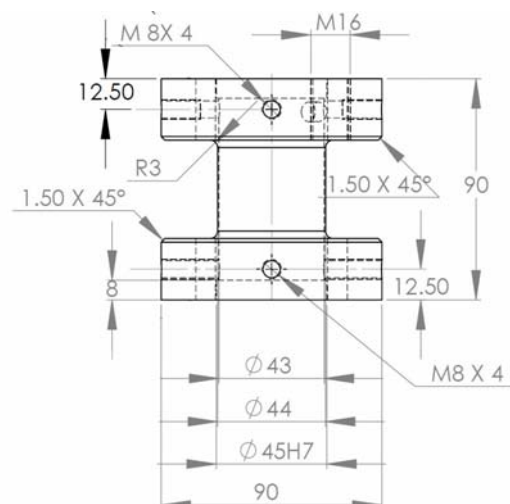
Mechanical property	
Annealed Hardness	(210 to 225) HB
Density	7731 kg/m ³
Young's Modulus (E)	212.8 GPa
Modulus of Rigidity (G)	83.1 GPa
Poisson's Ratio	0.28

การคำนวณขนาดของ ส่วนรับรู้ปริมาณความเค้นใช้สมการดังต่อไปนี้

$$T = \varepsilon \times \left(\frac{E}{1+\nu} \right) \times \frac{\pi}{16} \times \left(\frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2} \right) \quad (1)$$

เมื่อ T คือปริมาณแรงบิด ε คือความเครียด ν คือ Poisson's Ratio d_1 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเพลลาใน และ d_2 คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเพลลานอก

จากการกำหนดให้ผนังของเพลลาหนาไม่เกิน 1 mm และ กำหนดให้มีความเครียดที่พิคัดแรงบิด 200 N·m ไม่เกิน 0.002 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลานอกจึงมีขนาดเท่ากับ 44 mm และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพลลาในเท่ากับ 43 mm รูปที่3แสดงรูปทรงของ ส่วนรับรู้ปริมาณความเค้นที่ออกแบบและ ประแจวัดแรงบิดอ้างอิงที่ได้จัดขึ้น



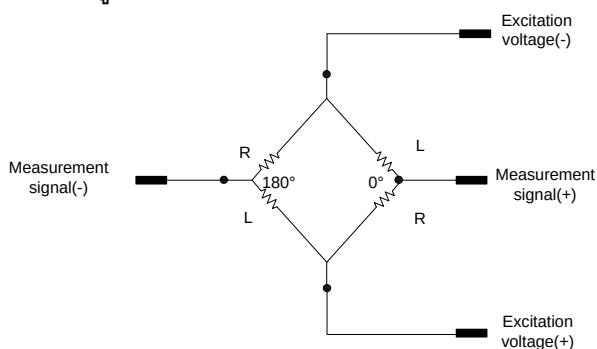
รูปที่ 3(ก) แสดงแบบส่วนรับรู้ปริมาณความเค้น



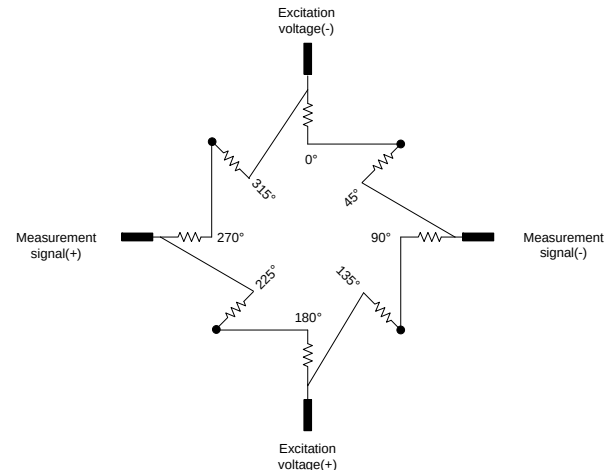
รูปที่ 3(ข) ประแจวัดแรงบิดอ้างอิงที่ได้จัดขึ้นตามแบบ

3. วงจรวัดความเค้น

หลังจากออกแบบและจัดสร้าง ส่วนรับรู้ปริมาณความเค้นและประแจวัดแรงบิดอ้างอิงตามแบบแล้วนั้น วงจรวัดความเค้นแบบ full bridge 2 ชุดถูกติดตั้งในส่วนรับรู้ปริมาณความเค้น ชุดที่มีหน้าที่วัดปริมาณแรงบิดใช้ strain gage แบบ biaxial รุ่น KFG-2-350-D31-11 ยี่ห้อ KYOWA มีระยะ gage length ที่ 2mm gage factor $2.08 \text{ mV/V} \pm 1\%$ ความต้านทาน 350 โอห์ม ติดตั้งที่ตำแหน่ง 0° และ 180° ชุดที่มีหน้าที่วัดปริมาณแรง cross force ใช้ strain gage แบบ axial รุ่น KFG-2-350-C1-11 ยี่ห้อ KYOWA มีระยะ gage length ที่ 2mm. gage factor $2.08 \text{ mV/V} \pm 1\%$ ความต้านทาน 350 โอห์ม ติดตั้งทุก 45° เริ่มที่มุม 0° เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ไม่ได้มุ่งเน้นเรื่องของการชดเชยอันเนื่องมาจากอุณหภูมิและการปรับค่าเริ่มต้น (Zero balance) วงจร strain gage แบบ full bridge ที่ใช้จึงไม่มีการปรับแต่งวงจรเพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวข้างต้น รูปแบบวงจรถูกแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4(ก) วงจรวัดปริมาณแรงบิด



รูปที่ 4(ข) วงจรวัดปริมาณแรง Cross force

4. ผลการทดลอง

ในทางอุดมคติแล้ว วงจรวัดแรงบิดจะต้องให้สัญญาณเป็นสัดส่วนกับแรงบิดที่กระทำ แต่จะไม่ให้สัญญาณใดๆ เมื่อมีแรง Cross force มากระทำ ในขณะที่วงจรวัดแรง cross force จะต้องไม่ให้สัญญาณใดๆ เมื่อมีแรงบิดมากระทำ แต่จะให้สัญญาณเป็นสัดส่วนกับแรงบิดที่กระทำ การทดลองจึงแบ่งเป็นสองส่วนดังนี้

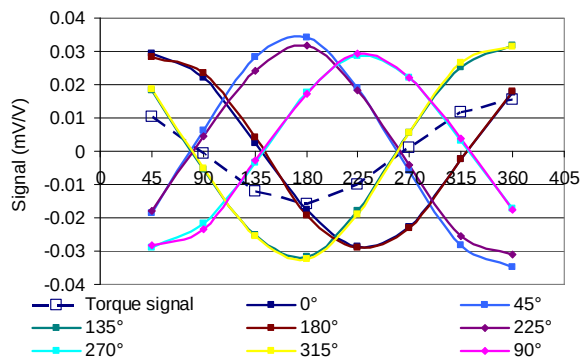
การทดลองที่ 1 หาผลตอบสนองของทั้ง 2 วงจรเมื่อได้รับปริมาณแรง Cross force แต่ไม่ได้รับปริมาณแรงบิด ในการวิจัยนี้จะใช้วิธี Multi-cross-force load test [2]

การทดลองที่ 2 หาผลตอบสนองของทั้ง 2 วงจรเมื่อได้รับปริมาณแรงบิดและแรง Cross force ในเวลาเดียวกัน (Torque with cross force test)

4.1 Multi-cross-force load test

ในการทดลองเบื้องต้นนี้ มีขั้นตอนดำเนินการโดยติดตั้งส่วนรับรู้ปริมาณความเค้นเข้ากับ Gear ที่สามารถหมุน ส่วนรับรู้ปริมาณความเค้นได้รอบ 360° และรับภาระ 500 N สัญญาณวัดของทั้งสองวงจรถูกบันทึก ในขณะที่ strain gage สำหรับวงจรวัดปริมาณ cross force ติดไว้ทุก ๆ 45° ของแกนวัด สัญญาณจึงสามารถเลื่อน phase ได้โดยการเปลี่ยนจุดจ่ายแรงดันกระตุ้น (Excitation voltage) และจุดวัดสัญญาณ (measurement signals) ไปทุก ๆ 45° รูปที่ 5 แสดง

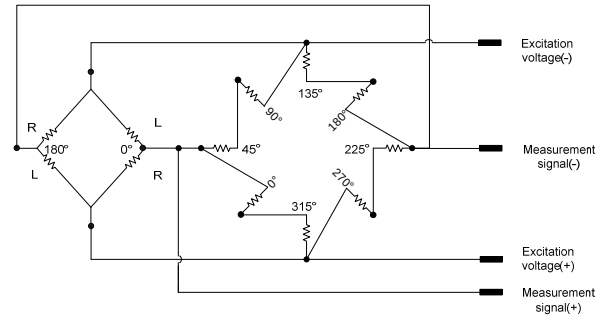
สัญญาณจากชุดวัดปริมาณ cross force ที่ภาระ 500 N จากจุดวัดสัญญาณทุก ๆ 45° ของแกนวัด



รูปที่ 5 สัญญาณวงจรวัดปริมาณแรงบิดและวัดแรง Cross force ที่การต่อแรงดันกระตุ้นแต่ละตำแหน่ง

จากผลการทดลองพบว่าสัญญาณจากชุดวัดแรงบิดมีสัญญาณอันเนื่องมาจากการจ่ายภาระ cross force เป็นรูปคลื่นไซน์รอบแกนวัด จุดเริ่มต้นของสัญญาณคลื่นไซน์อยู่ที่มุม 270° ของแกนวัด และสัญญาณจากชุดวัดแรง Cross force เป็นรูปคลื่นไซน์รอบแกนวัดเช่นกัน โดยมีจุดเริ่มต้นของคลื่นไซน์อยู่ที่มุมต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับตำแหน่งการต่อแรงดันกระตุ้น เมื่อพิจารณาถึงความไวต่อปริมาณ cross force ที่ตำแหน่งสูงสุดของสัญญาณคลื่นไซน์พบว่า ชุดวงจรวัดปริมาณของ cross force มีความไว (Cross force sensitivity) 69 nV/V/N ในขณะที่ชุดวงจรวัดปริมาณแรงบิดมีความไว 34 nV/V/N ซึ่งแตกต่างกันอยู่ประมาณ 2 เท่า

ในการชดเชยที่เหมาะสมนั้น สัญญาณจากวงจรปริมาณ Cross force และสัญญาณจากวงจรวัดแรงบิดควรต่าง phase กันอยู่ 180° เพื่อให้สัญญาณหักล้างกัน ในการทดลองนี้ วงจรวัดแรง Cross force จากการจ่ายแรงดันกระตุ้นที่ Strain gage มุม 225° ของแกนวัด มีจุดเริ่มต้นของสัญญาณคลื่น sine ที่ประมาณมุม 90° ซึ่งต่าง phase กับสัญญาณวัดแรงบิดประมาณ 180° เหมาะสมเพื่อใช้เป็นชุดชดเชยผลกระทบของ Cross force ต่อไป รูปแบบวงจรดังกล่าวถูกแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 วงจรรวม เพื่อวัดปริมาณแรงบิดที่ชดเชยผลกระทบของแรง Cross force

ขนาดสัญญาณของวงจรวัดแรง Cross force มีปริมาณที่โตกว่าสัญญาณของวงจรวัดแรงบิด 2 เท่า แต่ความต้านทานวงจรวัดปริมาณ cross force ก็มากกว่าความต้านทานของวงจรวัดแรงบิด 2 เท่าเช่นกัน ทำให้สัญญาณจากวงจรรวมที่เกิดจากการต่อวงจรรวมกันของทั้งสองวงจรมานั้น ไม่สามารถนำสัญญาณของทั้งวงจรมาเฉลี่ยได้โดยตรง สัญญาณรวมสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\frac{\Delta V_T}{V_T} = \frac{\left(1 + \frac{\Delta V_1}{V_1}\right) \times \left(1 + \frac{\Delta V_2}{V_2}\right) \times (R_1 + R_2)}{R_1 \times \left(1 + \frac{\Delta V_1}{V_1}\right) + R_2 \times \left(1 + \frac{\Delta V_2}{V_2}\right)} - 1 \quad (1)$$

โดยที่ $\frac{\Delta V_T}{V_T}$ คือ สัญญาณจากวงจรรวม

$\frac{\Delta V_1}{V_1}$ คือ สัญญาณจากวงจรที่ 1

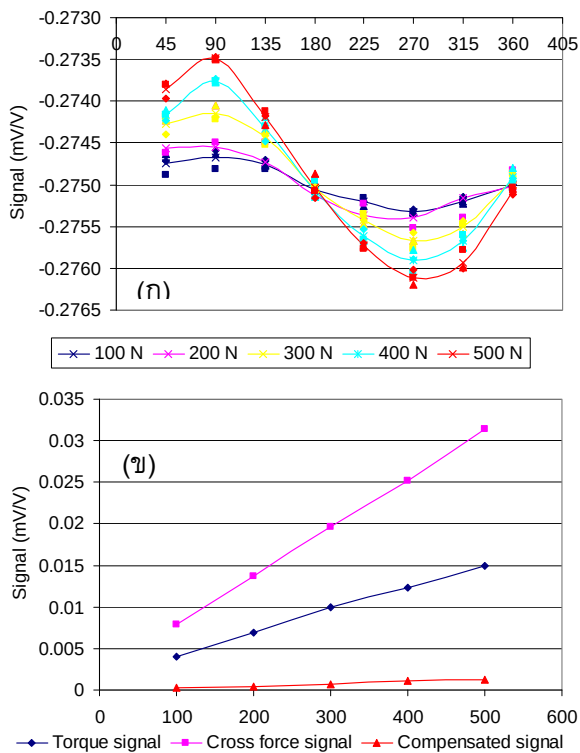
$\frac{\Delta V_2}{V_2}$ คือ สัญญาณจากวงจรที่ 2

R_1 คือ ความต้านทาน Strain gage ในวงจรที่ 1

R_2 คือ ความต้านทาน Strain gage ในวงจรที่ 2

จากผลการคำนวณพบว่าสัญญาณวงจรรวมที่ภาระ 500 N มีปริมาณสัญญาณสูงสุด 0.00065 mV/V และมีความไว 1.3 nV/V/N ซึ่งลดผลกระทบของ Cross force ได้ดี แล้วเพื่อยืนยันผลจึงทำการทดสอบ cross force load test กับวงจรรวมที่ได้จากการต่อวงจรวัดความเค้นและวงจรวัด Cross force ที่มุมดังกล่าวข้างต้นเข้าด้วยกัน นำหนักที่ใช้วางมีน้ำหนัก 100 N เพื่อให้เกิดแรงกดลงบนแกนวัดด้วยปริมาณ 100 N จนถึง 500 N ตามปริมาณแรง cross force ที่จะเกิดขึ้น

ซึ่งประแจวัดแรงบิดอ้างอิงถูกวัดที่ 40 N·m ถึง 200 N·m ที่ระยะก้านประแจ 400mm สัญญาณของทั้ง 3 วงจร จะถูกบันทึกค่าทุก ๆ 45° ของมุมแกนวัด ผลการทดลองแสดงดังรูป 7 พบว่า สัญญาณวงจรรวมลดลงจริงที่ภาระ 500 N มีขนาดคลื่นชาน้อยอยู่ที่ 0.0013mV/V มีความไวอยู่ที่ 2.6nV/V/N



รูปที่ 7 แสดงผลทดลอง Multi-cross-force load test : (ก) สัญญาณของวงจรรวม และ (ข) ผลกระทบของแรง Cross force ของแต่ละวงจร

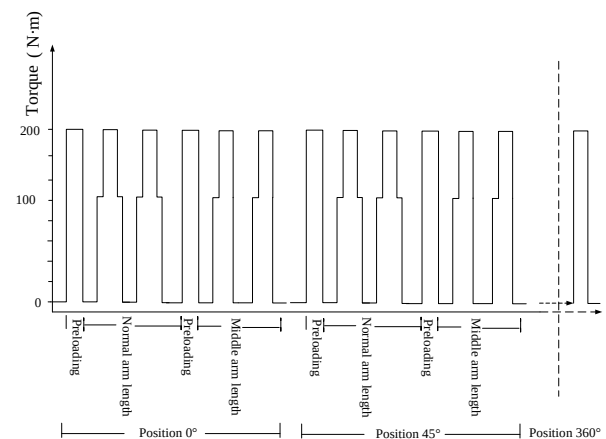
4.2 Torque with cross force test

ส่วนรับรู้ปริมาณความเค้น จะถูกต่อกับก้านประแจ เพื่อทำการทดสอบวงจร เมื่อได้รับปริมาณแรงบิดและแรง Cross force ในเวลาเดียวกัน โดยการเปรียบเทียบผลการวัดกับเครื่องวัดแรงบิดมาตรฐานรุ่น Dm-BNME 1000 N·m มีพิสัยการวัดที่ 1,000 N·m ผลิตโดยบริษัท Gassmann Theiss Messtechnik ก้านประแจถูกติดตั้งให้ตั้งฉากกับมุมที่ cross force กระทำการทดลองจะกระทำที่ปริมาณแรงบิด 100 N·m และ 200 N·m ที่ระยะก้าน 700mm และ 400mm ซึ่งจะทำให้เกิดปริมาณแรง Cross force

แสดงดังตารางที่ 3 เริ่มต้นทำการวัดที่ Cross force กระทำที่มุม 0° ของแกนวัด กระทำซ้ำทุก ๆ 45° ขึ้นตอนดำเนินการแสดงดังรูป 8

ตารางที่ 3 ปริมาณแรงบิด และแรง Cross force ที่ใช้ทดสอบตามตำแหน่งก้านประแจ

Nominal torque, N·m	Cross force, N		Varied cross force, N
	Arm length 0.7 m	Arm length 0.4 m	
200	285.7	500.0	214.3
100	148.9	250.0	107.1



รูปที่ 8 ขึ้นตอนดำเนินการทดสอบ Torque with cross force test

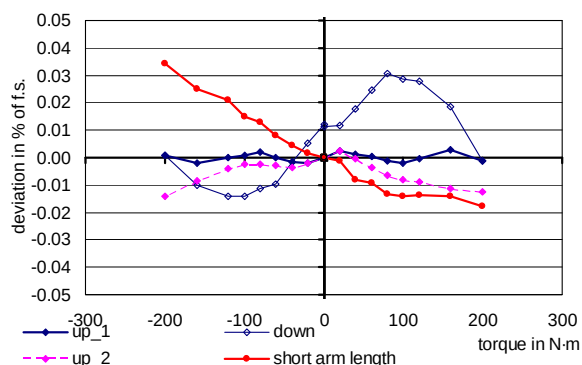
การทดลองถูกกระทำซ้ำเพื่อให้ได้สัญญาณของชุดวัดแรงบิด ชุดชดเชย และชุดวงจรรวม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าทั้ง 3 วงจร มีผลกระทบจากแรง Cross force และมีการกระจายของสัญญาณเป็นรูปคลื่นชาน้อย โดยมีจุดเริ่มต้นคลื่น sine สอดคล้องกับการทดลอง Multi cross force load test และทั้งสามวงจรมีความไวต่อปริมาณแรง Cross force ที่ตำแหน่งสูงสุดของสัญญาณ 16.5 nV/V/N, 39.6 nV/V/N และ 1.6 nV/V/N สำหรับชุดวัดแรงบิด ชุดชดเชย และชุดวงจรรวมตามลำดับ เมื่อพิจารณาเฉพาะสัญญาณวงจรรวมพบว่า มุมที่มีความไวต่อผลกระทบจาก cross force สูงสุดคือ มุม 135° และ 315° และมุมที่มีความไวต่อแรง Cross force น้อยที่สุดคือมุม 45° และมุม

225° ของแกนวัด ซึ่งมีความไวอยู่ประมาณ $\pm 0.81 \text{ nV/V/N}$, ดังนั้นมุมของก้านประแจควรอยู่ที่มุม 45° ของแกนวัดซึ่งจะทำให้ cross force กระทำที่มุม 45°ตามต้องการ

หลังจากประกอบก้านประแจด้วยมุมดังกล่าวแล้ว จึงทำการสอบเทียบตามแนวทางการสอบเทียบประแจวัดแรงบิดอ้างอิง DKD-R-3-7 สอบเทียบทั้งทิศทางตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกาตั้งแต่ 20 N•m ถึง 200 N•m ลักษณะสมบัติทางมาตรวิทยาถูกแสดงดังตารางที่ 4 และผลการสอบเทียบถูกแสดงดังรูปที่ 9 ผลการสอบเทียบแสดงค่าความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณ cross force (b_1) ระหว่าง -0.049% ถึง +0.037% มีผลการจำแนกความถูกต้องอยู่ที่ระดับชั้น 0.2

ตารางที่ 3 แสดงลักษณะสมบัติทางมาตรวิทยา

M_k in N•m	$\frac{b}{X}$ in %	$\frac{b_1}{X}$ in %	$\frac{f_0}{X_E}$ in %	$\frac{h}{X}$ in %	r in N•m	$\frac{f_{a,lin}}{X}$ in %	$\frac{f_{a,cub}}{X}$ in %
200	0.011	0.005		-	0.0004	0.028	-0.001
160	0.018	0.003		0.019	0.0004	0.006	0.004
120	0.014	0.008		0.047	0.0004	-0.022	-0.001
100	0.012	0.012		0.061	0.0004	-0.036	-0.004
80	0.013	0.017		0.079	0.0004	-0.045	-0.003
60	0.012	0.019		0.081	0.0004	-0.050	0.001
40	0.009	0.038		0.083	0.0004	-0.051	0.007
20	0.002	0.037		0.095	0.0004	-0.042	0.023
0			0.011		0.0004		
0			-0.012		0.0004		
-20	0.000	0.038		-0.075	0.0004	0.013	0.020
-40	-0.011	0.040		-0.001	0.0004	-0.001	0.008
-60	-0.010	0.037		-0.033	0.0004	-0.010	0.000
-80	-0.012	0.039		-0.034	0.0004	-0.015	-0.006
-100	-0.007	0.035		-0.030	0.0004	-0.010	-0.002
-120	-0.007	0.042		-0.023	0.0004	-0.006	0.000
-160	-0.008	0.042		-0.010	0.0004	0.001	0.002
-200	-0.015	0.049		-	0.0004	0.007	-0.001



รูปที่ 9 ผลการสอบเทียบประแจวัดแรงบิดอ้างอิง

4. สรุป

ประแจวัดแรงบิดอ้างอิงที่มีส่วนรับรู้ปริมาณความเค้นรูปทรงเพลากลวงถูกออกแบบและจัดสร้าง จาก การวิเคราะห์และทดลองพบว่า ปริมาณแรง Cross force กระทบต่อการเบี่ยงเบนของความเค้นผนังของเพล่า เพื่อลดผลกระทบจากแรง Cross force ชุดวัด ปริมาณแรงถูกติดตั้งเพิ่มในเพล่าเพื่อใช้เป็นชุดชดเชย สัญญาณจากชุดวัดแรงที่เหมาะสมควรมีสัญญาณต่าง phase กับสัญญาณการวัดแรงบิด 180° จากผลการทดสอบแบบ Multi cross force load test และ torque with cross force test ให้ผลที่สอดคล้องกัน นั่นคือ ชุด วงจรรวมสามารถลดความไวต่อแรง Cross force ลง ถึง $\pm 0.81 \text{ nV/V/N}$ ผลการสอบเทียบ ประแจวัด แรงบิดอ้างอิงที่จัดทำขึ้น พบว่ามีค่าคลาดเคลื่อน เนื่องจากการแปรเปลี่ยนปริมาณแรง Cross force ที่ -0.049% ถึง +0.037% และผลการจำแนกความถูกต้อง อยู่ ที่ระดับชั้น class 0.2 ช่วงแรงบิดตั้งแต่ 20 N.m. ถึง 200 N.m.

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] DKD-R 3-7: Static Calibration of Indicating Torque Wrenches, Issue 2003-10 (in German)
- [2] T. Sanponpute, C. Wattong and N. Arksornarong, "Behavior of Pure Torque and Torque with Cross Force Measurement of Torque Transducer" " *Proc. IMEKO TC3, TC5 and TC22 Conf.*, Thailand, 2010 pp.99-104.