

## การออกแบบอุปกรณ์วัดแรงบิดบนเพลาหมุนด้วยการวัดมุมบิดโดยตรง Design of Rotating Torque Measuring Device via Direct Measurement of Twist Angle

ชนทัต อีร์สุวรรณจักร และ ชัยยากร จันทร์สุวรรณ\*

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
เลขที่ 50 ถนนงามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ ๑ 10900  
\*ติดต่อ: E-mail: fengckj@ku.ac.th, 0-2942-8555, Fax 0-2579-2775

### บทคัดย่อ

การศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพการส่งกำลัง หรือการทดสอบกำลังมีความจำเป็นที่ต้องทราบแรงบิด ซึ่งปกติจะใช้ Torque sensor เป็นอุปกรณ์ในการวัดแรงบิดบนเพลาหมุน แต่อุปกรณ์นี้มีราคาแพงและมีข้อจำกัดของช่วงการใช้งานที่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้ บทความนี้นำเสนอหลักการออกแบบอุปกรณ์วัดแรงบิดบนเพลาหมุนโดยใช้ Optical encoders 2 ตัว วัดมุมบิดของเพลาโดยตรง วิธีการนี้นอกจากจะให้ค่าแรงบิดแล้ว ยังให้ความเร็วรอบของเพลาซึ่งสามารถคำนวณหาได้ นอกจากนี้ลักษณะการออกแบบเปลายังทำให้สามารถเปลี่ยนช่วงการวัดได้ตามความต้องการด้วยการเปลี่ยนขนาดเพลาโดยใช้ Optical encoders ชุดเดิม หลักการออกแบบประกอบด้วยการกำหนดความต้องการในการวัด เช่น ช่วงแรงบิดและความละเอียดที่ต้องการวัด การเลือกวัสดุที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม การเลือกลักษณะของเพลาและหน้าตัดเพลาที่เหมาะสม และวิธีการเลือก Optical encoder รวมถึงหลักการพิจารณาความเหมาะสมในการเลือกใช้

**คำหลัก:** อุปกรณ์วัดแรงบิด, มุมบิด, เอนโคเดอร์

### Abstract

In power transmission study, torque measurement is mandatory and usually acquired via torque sensor. Torque sensor, however, is expensive and not flexible in terms of measuring range. This article presents an alternative rotating torque sensor design by direct measurement of shaft's twist angle due to applied torque using two optical encoders. Since rotating speed is available, transmission power can be easily obtained. Shaft design also permits change in measuring range of the sensor without changing encoders. Design principle presented in this paper includes the measuring range and resolution selection, shaft material selection, optimal shaft cross section and configuration, optical encoder selection. Its suitability is also discussed.

**Keywords:** Torque sensor, Torque transducer, Twist angle, Encoder

### 1. บทนำ

การศึกษาประสิทธิภาพการส่งกำลัง จำเป็นต้องทราบแรงบิดเพื่อคำนวณหากำลังที่ต้องการสำหรับการออกแบบต้นกำลังและระบบส่งกำลัง การวัดแรงบิดทำได้โดยการใช้ Torque sensor ซึ่งใช้หลักการวัดการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของ Strain gage ที่ติดอยู่บนเพลาที่รับแรงบิดอันเนื่องมาจากการบิดตัวของเพลา Torque sensor เป็นอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูง แต่มี

ราคาแพงและมีข้อจำกัดของช่วงการวัดซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ในภายหลัง

การวัดแรงบิดสามารถทำได้อีกวิธีหนึ่งโดยการวัดมุมบิดของเพลาที่เกิดจากแรงบิดโดยตรง ณัฐพล แสนคำ และ ทศนัย แสนพลพัฒน์ ได้ศึกษา ออกแบบ และสร้างเครื่องมือวัดแรงบิดต้นแบบที่ใช้หลักการวัดมุมบิดที่เปลี่ยนรูปไปโดยตรงโดยวัดแบบ Reaction torque sensor หรือแกนไม่มีการหมุน โดยติดตั้งอุปกรณ์รับรู้

สัญญาณแรงบิด 3 แบบ คือ Strain gauge อุปกรณ์วัดมุมแบบ Angle encoder และอุปกรณ์วัดมุมแบบ 2 แกน (Coordinate measurement system) ผลการทดลองพบว่า สัญญาณจาก Strain gauge มีความเที่ยงเบนตามปริมาณแรงและตำแหน่งมุมที่แรงกระทำบนแกนรับแรงบิด  $\pm 0.15\%$  สอดคล้องกับผลการจำลองการทำงานโดยระเบียบวิธี FEA ในขณะที่สัญญาณจากอุปกรณ์วัดมุมแบบ Angle encoder มีความเที่ยงเบนตามปริมาณแรงและตำแหน่งมุมที่แรงกระทำบนแกนรับแรงบิด  $\pm 0.30\%$  ส่วนสัญญาณจากระบบวัด 2 แกน มีความเที่ยงเบนตามปริมาณแรง  $\pm 0.15\%$  [1] ชนัตต์ รัตนสุมาวงศ์ และ ปรีย ตระกูลทิวากร มีการนำเสนอแนวคิดในการออกแบบโพลดเซลล์ ซึ่งสามารถวัดแรงบิด และแรงในแนวแกนได้พร้อมๆ กันโดยวัดแบบ Reaction torque sensor หรือแกนไม่มีการหมุนเช่นเดียวกัน ซึ่งใช้หลักการเสียรูปของครีบบาง ขณะที่มีความหนากระทำ จากผลการสอบเทียบยืนยันได้ว่า อุปกรณ์นี้สามารถใช้งานได้จริง มีความเป็นเชิงเส้นสูง [2] และคชวัฒน์ อัครวิวัฒน์ ได้กล่าวไว้ในบทความเกี่ยวกับการพัฒนา โดยใช้ MPLAB IDE C18 & C30 เรื่องเครื่องวัดแรงบิดมอเตอร์จาก Encoder 2 ตัว ว่าเครื่องวัดแรงบิดมอเตอร์จาก Encoder 2 ตัว เป็นการวัดมุมเพื่อหาผลต่างระหว่าง Encoder ฟังก์ชันโพลด กับฟังก์ชันมอเตอร์ขณะเกิดแรงบิดขึ้นบนแกนเหล็ก Encoder ทั้ง 2 ฟังก์ชัน มีความละเอียดเท่ากัน คือ 1024 พัลส์/รอบ ซึ่งสามารถวัดแรงบิดได้ไม่เกิน 3 นิว [3] บทความนี้นำเสนอหลักการออกแบบอุปกรณ์วัดแรงบิดบนเพลลาหมุนโดยการวัดมุมบิดด้วย Optical encoders รวมถึงการพิจารณาความเหมาะสมในการใช้งาน

## 2. ทฤษฎี

เพลลาที่รับแรงบิด  $T$  จะเกิดการเสียรูปดังแสดงในรูปที่ 1 การเสียรูปแสดงได้ด้วยมุมบิด  $\phi$  ของหน้าตัดเพลลา ซึ่งมีขนาดตามสมการ (1) จากสมการพบว่าขนาดมุมบิด  $\phi$  ขึ้นอยู่กับ ขนาดของแรงบิด ( $T$ ), ความยาวของช่วงเพลลาที่พิจารณา ( $L$ ), คุณสมบัติของวัสดุ (Modulus of rigidity,  $G$ ), และรูปปร่างหน้าตัดของเพลลา (Polar moment of inertia,  $J$ ) ยกตัวอย่างเช่นเพลลาเหล็กเหนียว (AISI 1020,  $G = 79.3$  GPa,  $S_y = 207$  MPa) กลมตันขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มม. ยาว 100 มม.

ภายใต้แรงบิดขนาด 100 นิวตันเมตร จะบิดตัวเป็นมุม 0.46 องศา

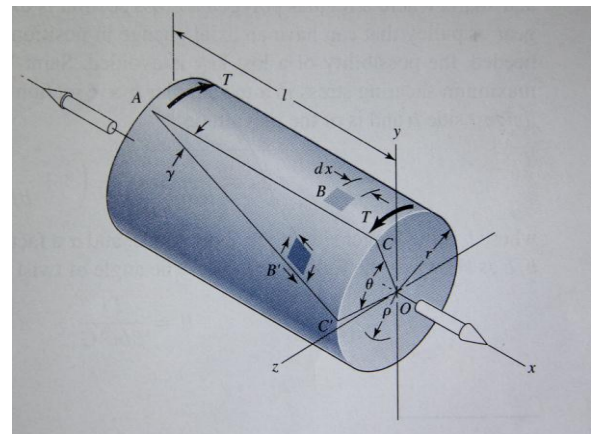
$$\phi = \frac{TL}{GJ} \quad (1)$$

แรงบิดที่กระทำกับเพลลาทำให้เกิดความเค้นเฉือนที่ผิวของเพลลาตามสมการ (2) ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของแรงบิด ( $T$ ), รัศมีของเพลลา (กรณีเพลลาไม่กลม) ระยะมากที่สุดจากจุดศูนย์กลางหน้าตัดเพลลา (จุด centroid) ถึงขอบเพลลา ( $r$ ), และรูปปร่างหน้าตัดของเพลลา ( $J$ ) ถ้าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นมีค่ามากกว่า Shear yield strength ( $\tau_y$ ) ของวัสดุ เพลลาจะเกิดการเสียรูปอย่างถาวร

$$\tau_y = \frac{Tr}{J} \quad (2)$$

จากทฤษฎีความเสียหาย Maximum-Shear-Stress จะได้ว่า Shear yield strength มีค่าครึ่งหนึ่งของ Yield strength ตามสมการ (3)

$$\tau_y = 0.5S_y \quad (3)$$



รูปที่ 1 การบิดตัวของเพลลาภายใต้แรงบิด

## 3. การออกแบบ

สิ่งจำเป็นในการคำนวณหาแรงบิดคือมุมบิดของเพลลา ซึ่งทำได้โดยการติดตั้ง Optical encoders ที่ตำแหน่งปลายเพลลาทั้งสองด้าน Optical encoder จะวัดมุมของเพลลาในขณะที่หมุน ในกรณีที่ไม่มีแรงบิดบนเพลลา มุมที่อ่านได้จาก Encoder ทั้งสองตัวจะถูกใช้เป็นมุมอ้างอิง เมื่อมีแรงบิด เพลลาจะบิดตัว ทำให้การเปลี่ยนแปลงมุมที่อ่านได้จาก Encoder ทั้งสองตัวมีค่าไม่เท่ากัน ผลต่างนี้คือค่ามุมบิดของเพลลา

เนื่องจากมุมบิดของเพลลามีขนาดเล็ก การออกแบบเพลลาสำหรับ Torque sensor จึงควรออกแบบให้เพลลามีขนาดเล็กที่สุดที่ยังสามารถรองรับแรงบิดสูงสุดตามความ

ต้องการได้โดยไม่เกิดการเสียหาย เพื่อให้ได้มุมบิดสูงสุด ซึ่งจะทำให้ค่าแรงบิดที่ได้มีความละเอียดสูง

จากสมการ (2) และสมการ (3) จะได้ว่า แรงบิดสูงสุดที่ยังไม่ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างถาวรของเพลลา และมุมบิดสูงสุดที่เกิดขึ้น มีขนาดตามสมการ (4) และสมการ (5) ตามลำดับ

$$T_{\max} = \frac{0.5S_y J}{r} \quad (4)$$

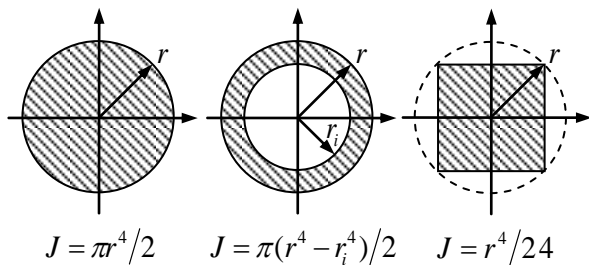
$$\phi_{\max} = \frac{0.5S_y L}{Gr} \quad (5)$$

3.1 การเลือกหน้าตัดเพลลา

จากสมการ (5) พบว่าที่ค่า  $r$  เดียวกัน มุมบิดสูงสุด ( $\phi_{\max}$ ) จะมีค่าเท่ากันโดยไม่ขึ้นอยู่กับชนิดของหน้าตัด ดังนั้นการเลือกหน้าตัดที่เหมาะสมทำได้โดยการพิจารณาหน้าตัดชนิดต่างๆ ที่ค่า  $r$  เดียวกันที่ให้ค่า  $J$  สูงสุด ซึ่งจะทำให้รับแรงบิดสุด ( $T_{\max}$ ) ได้มากที่สุดตามสมการ (4) ค่า Polar moment of inertia หาได้จากสมการ (6) ซึ่งหากพิจารณาเปรียบเทียบที่ค่า  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  เดียวกัน จะได้ว่าหน้าตัดวงกลมตันคือหน้าตัดที่มีค่า  $J$  สูงที่สุดที่จะเป็นไปได้ เนื่องจากหน้าตัดครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของวงกลม

$$J = \int (x^2 + y^2) dA \quad (6)$$

รูปที่ 2 ยืนยันผลการวิเคราะห์นี้ โดยเปรียบเทียบหน้าตัดวงกลมตัน วงกลมกลวง และสี่เหลี่ยมจัตุรัส ที่ค่า  $r$  เท่ากัน ซึ่งจะได้ว่าหน้าตัดวงกลมตันให้ค่า  $J$  สูงที่สุด



รูปที่ 2 Polar moment of inertia ของหน้าตัดเพลลา

3.2 การเลือกวัสดุ

จากสมการที่ (4) และ (5) จะได้ว่าวัสดุที่เหมาะสมคือวัสดุที่สัดส่วน  $S_y/G$  มีค่าสูง พร้อมทั้งมีค่า  $S_y$  สูง ซึ่งจะทำให้เกิดมุมบิดมาก และรับแรงบิดได้มากตามลำดับ ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของวัสดุชนิดต่างๆ วัสดุที่

เหมาะสมที่สุดจากตารางตามเงื่อนไขข้างต้นคือเหล็กคาร์บอน S50C

ความถูกต้องของคุณสมบัติทั้งสองอย่างของวัสดุที่เลือกใช้ส่งผลโดยตรงต่อความแม่นยำของ Torque sensor ดังนั้นในการใช้งานจริง จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องตรวจสอบคุณสมบัติทั้งสองของวัสดุที่ใช้ก่อน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุทำเพลลา\*

ชนิดของวัสดุ	$S_y$ (MPa)	$G$ (GPa)	$S_y/G$
SUS 304	215	86	2.50E-3
AISI 1020	207	79.3	2.61E-3
S45C	310	80	3.88E-3
S50C	345	80	4.31E-3

\*ข้อมูลจาก [www.matweb.com](http://www.matweb.com)

3.3 กำหนดคุณลักษณะของ Torque sensor

3.3.1 ช่วงการวัด

ช่วงการวัดกำหนดจากค่าแรงบิดสูงสุดที่ต้องการใช้งาน ซึ่งผู้ใช้ควรวิเคราะห์ลักษณะการใช้งาน และภาระแรงบิดสูงสุดที่เป็นไปได้ของระบบที่ต้องการวัด

3.3.2 กำหนดความละเอียดในการวัด

ความละเอียดในการวัดหมายถึงช่วงที่แคบที่สุดที่ Torque sensor สามารถบอกค่าความแตกต่างได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญ 2 ประการประกอบกันคือ (1) ขนาดมุมบิดของเพลลา ซึ่งค่าที่มากกว่าจะทำให้ค่าแรงบิดที่วัดได้มีความละเอียดมากกว่า และ (2) ความละเอียดของ Optical encoder ที่ใช้

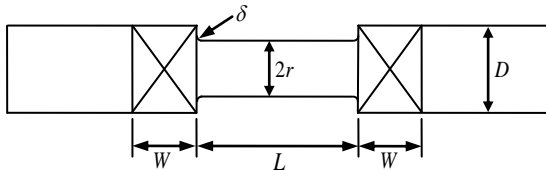
การกำหนดความละเอียดในการวัดโดยทั่วไปสามารถกำหนดได้ 2 ลักษณะคือ (1) แบบสัมพัทธ์ คือการกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของแรงบิดสูงสุด และ (2) แบบสัมบูรณ์คือ การกำหนดค่าเป็นหน่วยนิวตันเมตรโดยตรง

3.4 การออกแบบเพลลา

3.4.1 รูปร่างเพลลา

สิ่งที่ต้องพิจารณาในการออกแบบรูปร่างของเพลลา คือการจำกัดให้แรงบิดที่ต้องการวัดส่งผลให้เกิดมุมบิดเฉพาะในช่วงความยาวเพลลา  $L$  ที่ต้องการเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากต้องมีความยาวเพลลาส่วนหนึ่ง (เท่ากับ ความกว้าง  $W$  ของ Encoder) ที่ใช้สำหรับการติดตั้ง Encoder ทั้งสองด้านของความยาว  $L$  รูปที่ 3 แสดงรูปร่างของเพลลาที่แนะนำ เพื่อลดผลกระทบดังที่กล่าวข้างต้น รัศมีที่บ่าเพลลา  $\delta$  ควรจำกัดให้มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะสามารถ

กระทำได้ในขั้นตอนการขึ้นรูป เพื่อให้ส่งผลกระทบต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพลาช่างที่ใช้งานน้อยที่สุด เพลาส่วนที่เหลือต่อมาจาก Encoder ทั้งสองข้างควรออกแบบให้มีความยาวเพียงพอในการยึดต่อกับระบบของเพลาส่งกำลัง และสามารถเลือกวิธีการยึดต่อในรูปแบบใดๆ ก็ได้ที่เหมาะสมและแน่นอนหนาเพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการสั่นคลอนในขณะที่ใช้งาน



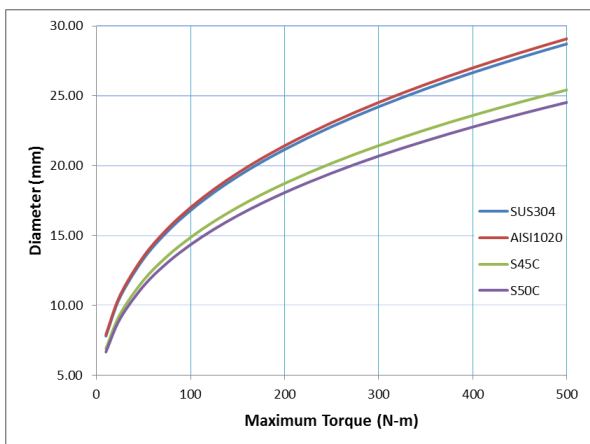
รูปที่ 3 รูปร่างของเพลานำ

3.4.2 ขนาดเพลานำ

ขนาดรัศมีของเพลากลมตันช่วงใช้งานหาได้จากสมการ (7) ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากสมการ (4) และค่าตัวคูณความปลอดภัย (safety factor) เท่ากับ  $f_s$  ค่า Polar moment of inertia ของเพลากลมตันเท่ากับ  $J = \pi r^4 / 2$

$$r \geq \sqrt[3]{\frac{4 f_s T_{max}}{\pi S_y}} \quad (7)$$

การเลือกใช้ตัวคูณความปลอดภัยต้องพิจารณาควบคู่กับความละเอียดที่ต้องการวัด หากใช้ตัวคูณความปลอดภัยมากกว่า 1 มาก เพลาจะมีขนาดใหญ่และแข็งแรงเกินความต้องการ ทำให้มุมบิดมีค่าน้อยและความละเอียดของการวัดต่ำ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและรัศมีเพลานำที่ต้องการ

ตัวอย่างการคำนวณ กำหนดให้แรงบิดสูงสุดที่ต้องการวัดเท่ากับ 100 นิวตันเมตร วัสดุที่เลือกใช้คือ

เหล็กคาร์บอน S50C ขนาดของเพลาลูกกลิ้งที่ไม่เกิดการเสียดรูปหาได้ดังนี้

$$r = \sqrt[3]{\frac{4 T_{max}}{\pi S_y}} = \sqrt[3]{\frac{4(100)}{\pi(345 \times 10^6)}}$$

$$r = 0.0072 \text{ m} = 7.2 \text{ mm}$$

รูปที่ 4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดสูงสุดที่ต้องการวัด และรัศมีของเพลาน้อยสุดที่ต้องการของวัสดุชนิดต่างๆ โดยใช้ตัวคูณความปลอดภัยเท่ากับ 1 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเพลานำ  $D$  ส่วนที่สวมเข้ากับ Encoder ทั้งสองข้างกำหนดตามขนาด Encoder ที่เลือกใช้ ซึ่งควรเลือก Encoder ให้มีขนาดอย่างน้อยไม่ต่ำกว่าขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใช้งานของเพลานำที่ค่าแรงบิดสูงสุดที่ใช้

3.4.3 ความยาวเพลานำ

ความยาวเพลานำส่งผลโดยตรงต่อมุมบิดของเพลานำตามสมการ (5) การใช้เพลานำที่ยาวขึ้นจะช่วยลดความต้องการใช้ Optical encoder ที่มีความละเอียดสูงซึ่งมีราคาแพงลงได้ ดังนั้นแนวทางในการเลือกความยาวเพลานำคือ เลือกให้มีขนาดยาวที่สุดเท่าที่ลักษณะงานและการติดตั้งจะยังสามารถทำได้

3.5 การเลือก Optical encoder

Optical encoder ที่ใช้งานทั่วไปมี 2 ประเภทคือ (1) Incremental encoder และ (2) Absolute encoder แบบที่เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานกรณีนี้ได้แก่ชนิด Absolute encoder เนื่องจากมุมที่วัดได้เป็นชนิดสัมบูรณ์ และสามารถเปรียบเทียบค่าที่ได้จาก Encoder ทั้ง 2 ตัวเพื่อหามุมบิดได้โดยตรง

ความละเอียดของ Absolute optical encoder ระบุเป็นบิตต่อรอบ (bits per revolution) ความละเอียดของ Encoder ขนาด 8 บิตต่อรอบ มีค่าเท่ากับ  $360 / 2^8 = 1.40625$  องศา ในกรณีนี้จะไม่เพียงพอในการวัดมุมบิตที่มีค่าน้อยกว่า 1.406 องศา ตารางที่ 2 แสดงความละเอียดของ Optical encoder ขนาดต่างๆ

ตารางที่ 2 ความละเอียดของ Optical encoder

Encoder	ความละเอียดในการวัด (องศา)
8 bits	1.40625
10 bits	0.35156
13 bits	0.04395
15 bits	0.01099
17 bits	0.00275
20 bits	0.00034

ตัวอย่างการคำนวณ กำหนดให้แรงบิดสูงสุดที่ต้องการวัดเท่ากับ 100 นิวตันเมตร และต้องการความละเอียดไม่เกิน 5% ของแรงบิดสูงสุด (5 นิวตันเมตร) โดยเลือกใช้เหล็กคาร์บอน S50C ความละเอียดของ Encoder ที่ต้องใช้หาได้ดังนี้

จากตัวอย่างการคำนวณที่ผ่านมา รัศมีของเพลาน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 7.2 มม. หากใช้เพลานานนี้จะทำให้เกิดมุมบิดซึ่งหาได้จากสมการ (5) สมมติเลือกความยาวเพลานี้เท่ากับ 100 มม.

$$\phi_{\max} = \frac{0.5(345 \times 10^6)(0.1) 180}{(80 \times 10^9)(0.0072) \pi}$$

$$= 1.72^\circ$$

สมมติให้ Optical encoder มีความละเอียด  $n$  บิตต่อรอบ ความละเอียดของการวัดต้องมีค่าไม่เกิน 5 นิวตันเมตรเป็นไปตามสมการ

$$100 \frac{360}{2^n (1.72)} < 5$$

$$n > 12.03$$

ดังนั้นต้องเลือกใช้ Optical encoder ที่มีความละเอียดอย่างน้อย 13 บิตต่อรอบ ซึ่งจะทำให้ความละเอียดที่ได้มีค่าเท่ากับ

$$\text{Resolution} = 100 \frac{360}{2^n (1.72)}$$

$$= 2.55 \text{ N} \cdot \text{m}$$

คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ได้เท่ากับ 2.55% ของแรงบิดสูงสุด ซึ่งน้อยกว่าความต้องการที่ 5% การเลือก Encoder ที่มีความละเอียดสูงกว่านี้จะเพิ่มความละเอียดในการวัดมากขึ้น แต่ก็จะมีราคาแพงขึ้นเช่นกัน จึงควรพิจารณาเลือกใช้ความละเอียดเท่าที่จำเป็นต่อการใช้งาน

### 3.6 โครงสร้างของ Torque sensor

การวัดมุมบิดจาก Optical encoder 2 ตัว ที่ตำแหน่งห่างกัน  $L$  ทำให้จำเป็นต้องมีโครงสร้างที่ยึดส่วนอยู่กับที่ของ Encoder ทั้งสองให้คงที่อยู่ด้วยกัน เพื่อให้ค่ามุมที่อ่านได้จาก Encoder แต่ละตัวมีมุมอ้างอิงเดียวกัน นอกจากนั้นโครงสร้างนี้ต้องมีจุดยึดต่อกับโครงสร้างที่อยู่กับที่เพื่อป้องกันการหมุนตามเพลานี้

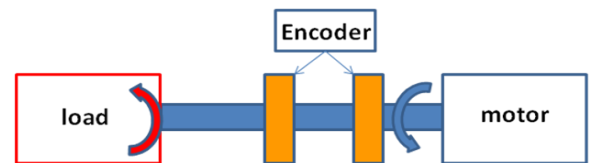
## 4. การพิจารณาใช้งาน

### 4.1 การติดตั้ง

ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้ง Torque sensor คือระหว่างต้นก้านและอุปกรณ์ที่ต้องการวัดภาระแรงบิด ดังแสดงในรูปที่ 5

## 4.2 การปรับเปลี่ยนช่วงการใช้งาน

ในการใช้งาน Torque sensor ควรเลือกค่าแรงบิดสูงสุดที่วัดได้ให้มากกว่าค่าภาระแรงบิดสูงสุดเล็กน้อย เพื่อให้ได้ผลการวัดที่มีความละเอียด ในกรณีที่ใช้ Torque sensor ในระบบอื่นที่มีภาระแรงบิดต่างไปจากเดิมมาก ควรทำการปรับเปลี่ยนช่วงการวัดของ Torque sensor ใหม่โดยการนำเพลานี้ที่เหมาะสมตามช่วงการวัดที่ต้องการใส่แทนเพลานี้เดิม ทั้งนี้เพลานี้ที่สวมกับ Encoder ต้องมีขนาดเท่าเดิม



รูปที่ 5 แสดงถึงลักษณะการต่อ Encoder ระหว่างโหลดกับต้นก้าน

## 5. สรุป

การหาแรงบิดบนเพลาน้อยสามารถทำได้โดยการวัดมุมบิดของเพลาน้อยโดยตรงด้วย Optical encoders ซึ่งให้ค่าความละเอียดในการวัดเป็นไปตามความต้องการได้โดยการกำหนดชนิดของวัสดุ และตัวแปรต่างๆ อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ช่วงการวัดยังสามารถปรับเปลี่ยนได้ด้วยการเปลี่ยนเพลานี้ที่ใช้ Optical encoders ตัวเดิม วิธีนี้เป็นอีกทางเลือกหนึ่งนอกเหนือจากการใช้ Torque sensor ซึ่งมีราคาแพง และมีข้อจำกัดของช่วงการใช้งานที่ไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ญัฐพล แสนคำ และ ทศนัย แสนพลพัฒน์ (2553) ต้นแบบเครื่องวัดแรงบิดแบบใหม่โดยใช้หลักการวัดมุมที่เปลี่ยนไป, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24*, อุบลราชธานี
- [2] ชนัตต์ รัตนสุมาวงศ์ และ ปรีดี ตระกูลทิวาร (2550). การออกแบบอุปกรณ์วัดแรงบิดและแรง ในแนวแกน, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21*, ชลบุรี
- [3] ศุภวัฒน์ อัครวัฒน์ (2550). *เครื่องวัดแรงบิดจาก Encoder 2 ตัว*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา <http://kachonwut.blogspot.com>, เข้าดูเมื่อวันที่ 14/03/2555.