

การออกแบบอุปกรณ์วัดระยะเคลื่อนตัวสำหรับการทดสอบความคืบ Design of a Displacement Gage for Creep Testing

จิรพงศ์ กสิวิทย์อำนวย

ห้องปฏิบัติการวิจัยกลศาสตร์การแตกหัก ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ถ.พญาไท กรุงเทพฯ 10330

โทร 02-2186636 โทรสาร 02-2522889 E-mail : jirapong_joe_K@hotmail.com

Jirapong KASIVITAMNUAY

Fracture Mechanics Research Laboratory, Mechanical Engineering Department

Chulalongkorn University, Phayathai Rd. Bangkok, 10330

Tel: 02-2186636 Fax: 02-2522889 E-mail: jirapong_joe_K@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยออกแบบอุปกรณ์วัดระยะเคลื่อนตัวสำหรับการทดสอบการคืบของวัสดุ และอุปกรณ์ร่วมอื่น ๆ ประกอบด้วย มิเตอร์วัดความเครียด และเครื่องมือสอบเทียบ หลักการวัดระยะเคลื่อนตัวของอุปกรณ์ คือ ส่งทอดระยะเคลื่อนตัวของชิ้นงานทดสอบที่อยู่ในเตาให้ความร้อนไปยังเซนเซอร์วัดระยะเคลื่อนตัวซึ่งติดตั้งในบริเวณที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องด้วยก้านส่งทอดระยะเคลื่อนตัว เซนเซอร์วัดระยะเคลื่อนตัวที่ใช้เป็นคลิปเกลียวตัวที่มีเกจความเครียดติดอยู่เพื่อตรวจจับการเปลี่ยนแปลงความเครียดเนื่องจากจากการแอ่นตัวของก้านคลิปเกลียว แรงดันขออกจากวงจรเกจความเครียดจะถูกขยาย 400 หรือ 800 เท่า ขึ้นกับขนาดของแรงดันไฟฟ้า และบันทึกลงฮาร์ดดิสก์ ข้อมูลที่บันทึกจะถูกนำไปคำนวณหาระยะเคลื่อนตัวโดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนตัว กับแรงดันไฟฟ้าซึ่งได้จากการสอบเทียบ ความแม่นยำของเครื่องสอบเทียบระยะเคลื่อนตัว, คลิปเกลียว, ชุดขยายสัญญาณ ที่สร้างขึ้นอยู่ในระดับดี แต่เมื่อประกอบเป็นอุปกรณ์วัดระยะเคลื่อนตัวแล้วความแม่นยำอยู่ในระดับพอใช้ การทดลองใช้ชุดวัดระยะเคลื่อนตัวกับการทดสอบการคืบของทองเหลือง ที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส พบว่าอุปกรณ์สามารถทำงานได้ดี

Abstract

This research designs a high temperature displacement gage for creep testing, strain amplifier and displacement calibrator. The principle of measurement is that the specimen elongation inside the furnace produces the movement of the displacement sensor installed at the furnace outside via the displacement transferring rods. The displacement sensor used herein was the U-shaped clip gage. The clip gage has strain gages for detecting the strain changes due to the deflection of clip gage's arms. The unbalance voltage from strain gage circuit was amplified 400 or 800 times depended on the unbalance voltage level and then saved into hard disk. The saved data was used for calculating the specimen's displacement. The designed calibrator, clip gage and strain amplifier present high accuracy and precision. The

assembled displacement gage has a moderate precision. Implementation of this extensometer to a creep test on brass at 400°C showed that the instrument worked well.

1. บทนำ

การเสียรูปคืบ (creep deformation) คือ การเสียรูปถาวรที่ขึ้นกับเวลาภายใต้ภาระสถิตย์ พฤติกรรมการเสียรูปคืบนิยมแสดงในรูปของความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดตัว (elongation) กับเวลา โดยพฤติกรรมจะขึ้นกับ ชนิดของวัสดุ, อุณหภูมิ, ขนาดภาระ ฯลฯ ความสัมพันธ์นี้ใช้สำหรับคำนวณหาอัตราการคืบ (creep rate) ถ้าการทดสอบกระทำจนชิ้นงานแตกหักโดยสมบูรณ์แล้วจะได้ข้อมูล อายุความคืบ (creep life) และความเครียด ณ จุดแตกหัก (fracture strain) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ความเหนียวคืบ (creep ductility) ของวัสดุ ณ สภาวะทดสอบนั้น ข้อมูลการคืบที่กล่าวมามีประโยชน์สำหรับการออกแบบ และการประเมินอายุใช้งานที่เหลือของอุปกรณ์ที่ใช้งาน ณ อุณหภูมิสูงที่มีแนวโน้มเสียหายเนื่องจากการคืบ เช่น ท่อไอน้ำ, หม้อไอน้ำ เป็นต้น^[2] อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์วัดระยะเคลื่อนตัวที่ใช้ในการทดสอบความคืบของต่างประเทศนั้นมีราคาสูง จึงควรริเริ่มการออกแบบเครื่องมือวัดเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการทำวิจัยในระยะยาว

งานวิจัยนี้ออกแบบ 1) อุปกรณ์วัดระยะเคลื่อนตัวแนวแกน (axial displacement) สำหรับใช้ทดสอบการคืบแกนเดียว (uniaxial creep test) โดยนำเกจความเครียด (strain gage) มาสร้างเป็นเซนเซอร์วัดระยะเคลื่อนตัว 2) มิเตอร์วัดความเครียด (strain meter) ซึ่งทำหน้าที่ป้อนแรงดันและปรับปรุงสัญญาณของวงจรเกจความเครียด และ 3) เครื่องมือสอบเทียบคลิปเกลียว ซึ่งปรับปรุงจากรุ่นก่อนหน้า^[1] ให้มีความแม่นยำสูงขึ้น เนื้อหาของบทความประกอบด้วย แนวคิดในการออกแบบ ผลการออกแบบ การสอบเทียบ และการประยุกต์ใช้งาน

2. ทฤษฎี

ในหัวข้อนี้จะอธิบายหลักการทำงานของอุปกรณ์วัดระยะเคลื่อนตัว และสมการที่ใช้ในการออกแบบเซนเซอร์วัดระยะเคลื่อนตัว

2.1 หลักการทำงาน

การวัดระยะเคลื่อนตัวของชิ้นงานทดสอบใช้การถ่ายโอน (transfer) ระยะเคลื่อนตัวของชิ้นงานไปที่เซนเซอร์วัดระยะเคลื่อนตัว โดยส่วนประกอบที่ทำหน้าที่ดังกล่าว มีดังนี้: 1) ตัวจับชิ้นงาน (grip) 2) ก้านถ่ายโอนระยะเคลื่อนตัว (transferring rod) และ 3) เซนเซอร์วัดระยะเคลื่อนตัว (displacement sensor)

รูปที่ 1 แสดงการจัดวางส่วนประกอบทั้งสามที่งานวิจัยนี้ใช้ จากรูปเซนเซอร์วัดระยะเคลื่อนตัวถูกจัดวางให้อยู่ภายนอกเตาความร้อน เพราะอุณหภูมิภายในเตาความร้อนสูงเกินกว่าที่เซนเซอร์จะรับได้ หลักการทำงานของอุปกรณ์สามารถอธิบายได้ดังนี้ ตัวจับชิ้นงานทำหน้าที่จับยึดอุปกรณ์วัดระยะเคลื่อนตัวกับชิ้นงานทดสอบ และเคลื่อนที่ไปกับชิ้นงานทดสอบขณะเสียรูปโดยการเคลื่อนที่ของตัวจับชิ้นงานตัวบนและตัวล่างเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นระยะยึดตัวในช่วงความยาวเกจ (gage length) ของชิ้นงานทดสอบก็คือ ระยะเคลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างตัวจับชิ้นงาน ตัวจับชิ้นงานแต่ละตัวจะต่อกับก้านถ่ายโอนระยะเคลื่อนตัวซึ่งทำหน้าที่ถ่ายโอนระยะเคลื่อนตัวสัมพัทธ์นี้ไปที่เซนเซอร์วัดระยะเคลื่อนตัว

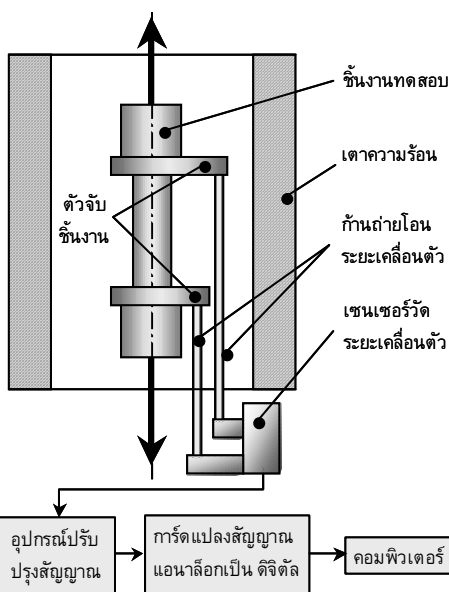
เซนเซอร์วัดระยะเคลื่อนตัวที่ใช้คือ คลิปเกจรูปตัวยู (U-clip gage) ที่ติดเกจความเครียด (strain gage) รูปที่ 2 แสดงลักษณะของคลิปเกจรูปตัวยู และตำแหน่งของเกจความเครียด เมื่อคลิปเกจรูปตัวยูแอ่นตัวจะทำให้ความเครียด ณ ตำแหน่งที่ติดเกจความเครียดเปลี่ยนแปลง จึงทราบระยะเคลื่อนตัวของชิ้นงานทดสอบได้จากการวัดแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากความไม่สมดุลของวงจรเกจความเครียด (หรือวงจรบริดจ์) ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนตัวของชิ้นงาน และแรงดันไฟฟ้าหาได้โดยการสอบเทียบ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อที่ 4.3 และ 4.4

2.2 สมการออกแบบ

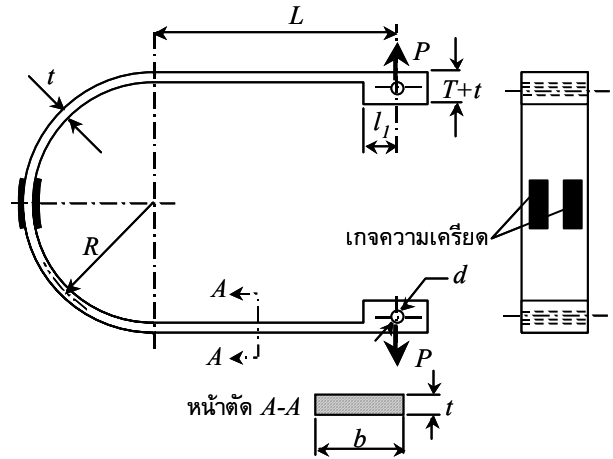
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงสมการที่ใช้ในการออกแบบคลิปเกจรูปตัวยู

ก) ความเครียดสูงสุดที่เกิดขึ้นบนคลิปเกจ

ความเครียดสูงสุดบนคลิปเกจเกิดขึ้นที่จุดที่โมเมนต์ดัดมีค่าสูงสุด จากรูปที่ 2 จะได้



รูปที่ 1 ส่วนประกอบ และหลักการทำงานของระยะเคลื่อนตัวที่อุณหภูมิสูง



รูปที่ 2 คลิปเกจรูปตัวยู และตัวแปรบอกมิติ

$$\varepsilon_{\max} = \frac{6P(R+L)}{t^2Eb} \quad (1)$$

โดย P คือ แรงที่คลิปเกจหนีบตัวรองรับคลิปเกจ

R, L คือ รัศมีของคลิปเกจส่วนโค้งวัดถึงกึ่งกลางความหนา และระยะจากจุดจับยึดถึงจุดเริ่มต้นส่วนโค้ง (ดูรูปที่ 2 ประกอบ)
 E คือ โมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำคลิปเกจรูปตัวยู
 b, t คือ ความกว้าง, ความหนา และความยาว ของคานคลิปเกจ (ดูรูปที่ 2 ประกอบ)

ข) ความเครียดเริ่มต้นของเกจความเครียด

เนื่องจากเกจความเครียดถูกติดบนพื้นผิวโค้งจึงมีความเครียดเริ่มต้นค่าหนึ่ง ความเครียดเริ่มต้นนี้หาได้จากสมการต่อไปนี้ [2]

$$\varepsilon_0 = \frac{t_G}{2\left(R - \frac{t}{2}\right) + t_G} \quad (2)$$

โดย t_G คือ ความหนาของเกจความเครียด เท่ากับ 0.015 มม. [2]

ค) ระยะเคลื่อนตัวที่ตำแหน่งรูเจาะของคลิปเกจรูปตัวยู δ

ถ้าคลิปเกจถูกแรง P กระทำแล้วระยะเคลื่อนตัวที่ตำแหน่งรูเจาะจะหาได้จาก

$$\delta = \frac{2P}{Eb} \left[\frac{4l_1^3}{(t+T)^3} + \frac{-4(l_1^3 - L^3) + 3R(\pi R^2 + 2\pi L^2 + 8RL)}{t^3} \right] \quad (3)$$

ง) ความไวของคลิปเกจ S

นิยามคือ อัตราส่วนของความเครียดที่ตำแหน่งของเกจความเครียดต่อระยะแอ่นตัวของคานคลิปเกจ ดังนั้น

$$S = \frac{\varepsilon}{\delta} \quad (4)$$

แทนสมการที่ (1) และ (3) จะได้

$$S = \frac{3(R+L)}{t^2 \left[\frac{4l_1^3}{(t+T)^3} + \frac{-4(l_1^3 - L^3) + 3R(\pi R^2 + 2\pi L^2 + 8RL)}{t^3} \right]} \quad (5)$$

3. การออกแบบ

3.1 การออกแบบชิ้นส่วนกล

ชิ้นส่วนกลของอุปกรณ์วัดระยะเคลื่อนตัวที่ออกแบบ ประกอบด้วย ตัวจับชิ้นงาน, ตัวหนีบ (clamp), ก้านถ่ายโอนระยะเคลื่อนตัว, ตัวรองรับคลิปเกจ (clip gage support) และคลิปเกจรูปตัวยู (รูปที่ 3) รายละเอียดเพิ่มเติมเกี่ยวกับการออกแบบชิ้นส่วนจะกล่าวในหัวข้อย่อยต่อไป

3.1.1 ตัวจับชิ้นงาน และตัวหนีบ

อุปกรณ์ถูกออกแบบให้ใช้กับชิ้นงานทดสอบรูปทรงกระบอก ดังนั้นบริเวณที่ตัวจับชิ้นงาน และตัวหนีบยึดกับชิ้นงานจึงเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานทดสอบ ณ จุดที่จับยึด

วิธีจับยึดกับชิ้นงานทดสอบเลือกใช้วิธีหนีบและยึดแน่นด้วยการขันสลักเกลียว เนื่องจากสะดวกในการติดตั้งอุปกรณ์กับชิ้นงาน และไม่ทำให้เกิดความเค้นหนาแน่นบนชิ้นงานทดสอบมาก

ชิ้นส่วนทั้งสองถูกติดตั้งอยู่ในเตาซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 600 องศาเซลเซียส จึงเลือกใช้เหล็กกล้าไร้สนิม 310S เพราะสามารถต้านทานปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี

3.1.2 ก้านถ่ายโอนระยะเคลื่อนตัว

ก้านถ่ายโอนระยะเคลื่อนตัวเป็นเพลากลมยาวจำนวน 2 ก้านปลายข้างหนึ่งยึดกับตัวจับชิ้นงานชิ้นบน และชิ้นล่าง ตามลำดับ ปลายอีกข้างยึดกับตัวรองรับคลิปเกจ ก้านถ่ายโอนระยะเคลื่อนตัวทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม 310S

3.1.3 คลิปเกจรูปตัวยู

คลิปเกจมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 2 วัสดุที่ใช้คือ อะลูมิเนียมผสม 7075-T651 มิติของคลิปเกจคำนวณโดยใช้วิธีออกแบบชิ้นเหมาะสมที่สุด (optimum design) โดยเริ่มจากการกำหนด ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) และ ฟังก์ชันบังคับ (constraint function) แล้วหาคำตอบโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป MathCadTM

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่กำหนดคือ คลิปเกจมีความไวสูงสุด
ฟังก์ชันบังคับ มีดังนี้ :-

ก) ความเครียดที่เกิดขึ้นที่गेจความเครียดต้องไม่เกินความเครียดที่ยอมรับได้ ε_{allow}

$$\varepsilon_{max} + \varepsilon_0 \leq \varepsilon_{allow} \quad (6)$$

ในที่นี้กำหนดความเครียดที่ยอมรับได้เท่ากับ 25 เปอร์เซ็นต์ของความเครียดครากของวัสดุที่ทำคลิปเกจ (ในที่นี้มีค่าประมาณ 1,800 ไมโครสเตรน

ข) พิสัยการวัดต้องมากกว่าหรือเท่ากับพิสัยใช้งานที่ต้องการ

$$\delta \geq \delta_d \quad (7)$$

ในที่นี้กำหนดพิสัยใช้งานเท่ากับ 8 มม.

ค) ความหนาของคลิปเกจ t

$$1 \leq t \leq 2 \quad (\text{มม.}) \quad (8)$$



รูปที่ 3 อุปกรณ์วัดระยะเคลื่อนตัวที่ออกแบบ

ขอบเขตล่างกำหนดจากความแม่นยำในการสร้าง ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้วิธีตัดด้วยลวด (wire cut) ส่วนขอบเขตบนกำหนด (โดยดุลพินิจ) จากเงื่อนไขเรื่องความสวยงาม

ง) ความกว้างของคลิปเกจ b

$$10 \leq b \leq 12 \quad (\text{มม.}) \quad (9)$$

ขอบเขตล่างกำหนด (โดยดุลพินิจ) จากเงื่อนไขว่า คลิปเกจสามารถติดตั้งกับตัวรองรับได้โดยไม่โยกคลอน และเพียงพอสำหรับการติดगेจความเครียดสองตัวประกบกัน ส่วนขอบเขตบนกำหนดจากความหนาของวัสดุที่มี

จ) รัศมีของส่วนโค้ง R

$$16 \leq R \leq \frac{49-t}{2} \quad (\text{มม.}) \quad (10)$$

ขอบเขตล่างกำหนดจากเงื่อนไขว่า สามารถติดगेจความเครียดและบัดกรีสายไฟได้ และไม่ทำให้เกิดความเครียดเริ่มต้นในगेจความเครียด (เนื่องจากผิวที่ติดเป็นผิวโค้ง) สูงเกินค่าที่ยอมรับ (ในที่นี้กำหนดไว้ที่ 500 ไมโครสเตรน)

ฉ) ความหนาของปลายคลิปเกจ, $T+t$

$$7 \leq T+t \leq R + \frac{t}{2} - w \quad (\text{มม.}) \quad (11)$$

ขอบเขตล่างของ $T+t$ กำหนดจากเงื่อนไขว่ามีพื้นที่เพียงพอสำหรับเจาะรู ในที่นี้เลือกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะ เท่ากับ 2 มม. จึงกำหนดให้ (โดยดุลพินิจ) ความหนาของปลายคลิปเกจ $T+t$ เท่ากับ 7 มม. ขอบเขตบนกำหนดจากเงื่อนไขว่า ขอบในของปลายคลิปเกจต้องไม่ชนกัน ในที่นี้กำหนดให้ช่องว่าง (gap) w เท่ากับ 2 มม.

ช) ความยาวของคานคลิปเกจ (ส่วนที่เป็นแนวตรง)

$$l_1 \geq 3.5 \quad (\text{มม.}) \quad (12)$$

$$1 \leq \frac{L}{l_1} \leq 10 \quad (13)$$

ขอบเขตล่างของ L_1 กำหนดจากเงื่อนไขว่ามีพื้นที่เพียงพอสำหรับเจาะรู ขอบเขตล่างของอัตราส่วน L ต่อ L_1 กำหนดจากความเป็นไปได้ด้านรูปร่างของคัลิปเกจ ส่วนขอบเขตบนกำหนด (โดยดุลพินิจ) จากเงื่อนไขเรื่องความสะดวก

ผลเฉลยจากระเบียบวิธีออกแบบที่เหมาะสมที่สุด คือ $R = 23.57$ มม., $L = 47.61$ มม., $t = 1.87$ มม., $B = 12$ มม., $T = 6.51$ มม. และ $L_1 = 4.76$ มม. ถ้าแทนผลเฉลยที่ได้ลงในสมการที่ (3) และ (5) จะได้พิสัยใช้งาน δ ของคัลิปเกจเท่ากับ 8 มม. และความไวของคัลิปเกจ S เท่ากับ 1.8×10^{-4} มม.⁻¹ ตามลำดับ

3.2 การออกแบบอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ออกแบบคือ มิเตอร์วัดความเครียด สำหรับป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับวงจรเกจความเครียด และขยายสัญญาณ (แรงดันไฟฟ้า) จากวงจรเกจความเครียด รายละเอียดของวงจรทั้งสองแสดงอยู่ในหัวข้อที่ 3.2.1 และ 3.2.2 ตามลำดับ

3.2.1 วงจรจ่ายแรงดันให้วงจรเกจความเครียด

วงจรจ่ายแรงดันให้วงจรเกจความเครียดจะต้องจ่ายแรงดันที่มีความเที่ยงตรงสูง และไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ผู้วิจัยเลือกใช้ไอซีจ่ายแรงดันอ้างอิงความเที่ยงตรงสูง (precision reference voltage source) เบอร์ REF102 แทนการใช้ไอซีปรับแรงดัน (voltage regulator) ทั่วไป

เหตุผลที่เลือกไอซีเบอร์นี้เพราะมีความเที่ยงตรงสูง และไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้อยกว่าไอซีปรับแรงดันทั่วไป

การต่อวงจรทำตามเอกสารข้อมูลไอซีแนะนำ [3] โดยเลือกวิธีต่อที่ทำให้สามารถจ่ายแรงดันได้ทั้ง 10 โวลต์ หรือ 5 โวลต์ (ด้วยการใช้ไอซีเบอร์ INA105) นอกจากนี้ ได้เพิ่มเติมวงจรปรับแรงดันเบื้องต้นของทั้งในส่วนที่จ่ายแรงดัน 10 โวลต์ และส่วนที่จ่ายแรงดัน 5 โวลต์ วงจรจ่ายแรงดันให้วงจรเกจความเครียดที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 4

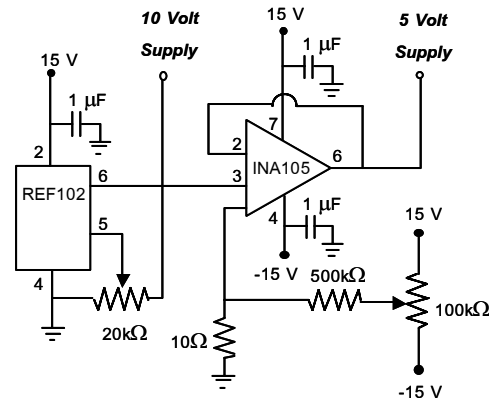
3.2.2 วงจรขยายสัญญาณ

เนื่องจากสัญญาณที่วัดมีขนาดเล็ก (ในหลักสิบของไมโครโวลต์ ถึง มิลลิโวลต์) จึงเลือกใช้วงจรขยายแบบอินสตรูเมนต์ เพราะมีค่านี้อิมพีแดนซ์ขาเข้าสูง และสามารถกำจัดสัญญาณรบกวนที่ปนมากับสัญญาณขาเข้าได้ดี

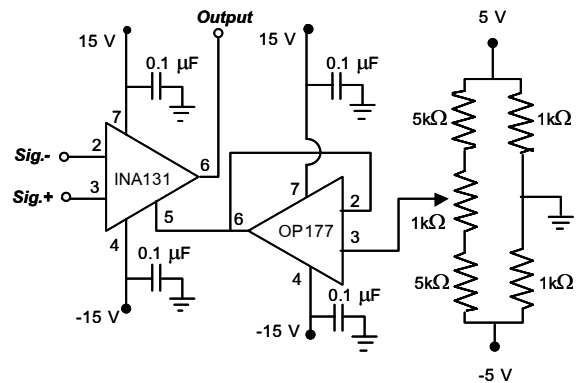
อัตราขยายสัญญาณที่ต้องการในงานวิจัยนี้กำหนดไว้ที่ 100 เท่า ผู้วิจัยเลือกใช้ไอซีขยายสัญญาณอินสตรูเมนต์เบอร์ INA131AP เนื่องจากอัตราขยายถูกกำหนดตายตัวที่ 100 เท่าโดยผู้ผลิตจึงมีความแม่นยำสูง และมีสัญญาณรบกวนต่ำ นอกจากนี้ได้เพิ่มเติมวงจรปรับแรงดันเบื้องต้นของขาออก เพื่อให้สัญญาณขาออกมีความแม่นยำสูงขึ้น การต่อวงจรทำตามเอกสารข้อมูลไอซีเบอร์ดังกล่าวแนะนำ [4] แต่ดัดแปลงวงจรปรับแรงดันเบื้องต้นของขาออกจากผู้ผลิตแนะนำเล็กน้อยเพื่อความสะดวกในการหาซื้ออุปกรณ์ วงจรขยายสัญญาณที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 5

3.3 การออกแบบเครื่องมือสอบเทียบ

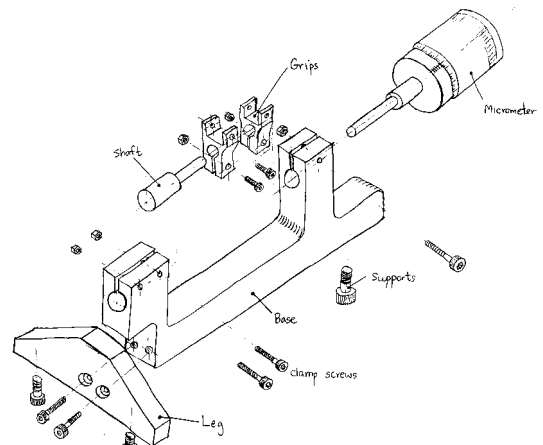
เครื่องมือเทียบคัลิปเกจที่สร้างขึ้นมีชิ้นส่วนดังนี้:- ฐาน (base), ขาประกอบ (leg), เพลลา, ไมโครมิเตอร์ และตัวจับคัลิปเกจ (grip) การจัดวางชิ้นส่วนที่กล่าวมาแสดงอยู่ในรูปที่ 6 ตัวจับคัลิปเกจอันแรกยึดแน่นกับก้านไมโครมิเตอร์ ในขณะที่ตัวจับอีกอันยึดแน่นกับเพลลาซึ่งอยู่กับที่



รูปที่ 4 วงจรจ่ายแรงดันให้วงจรเกจความเครียด



รูปที่ 5 วงจรขยายสัญญาณจากวงจรเกจความเครียด



รูปที่ 6 ภาพสเก็ตช์แบบประกอบของเครื่องมือสอบเทียบ

คัลิปเกจจะถูกติดตั้งระหว่างตัวจับทั้งสอง ดังนั้นระยะเคลื่อนตัวเชิงเส้นที่เกิดจากการหมุนไมโครมิเตอร์จะเท่ากับระยะเคลื่อนตัวของคัลิปเกจ

4. วิธีสอบเทียบ และผลการสอบเทียบ

4.1 เครื่องมือสอบเทียบ

วัตถุประสงค์คือ หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะที่อ่านจากไมโครมิเตอร์กับระยะที่ตัวจับคัลิปเกจเคลื่อนที่ ในที่นี้ระยะอ้างอิงคือความหนาของเกจบล็อก (gage block) การสอบเทียบเริ่มจากวางเกจบล็อกไว้ระหว่างตัวจับคัลิปเกจ จากนั้นหมุนตามไมโครมิเตอร์จนกระทั่งก้าน

ไมโครมิเตอร์และกับเกจลอคแล้วอ่านค่าที่ตามไมโครมิเตอร์ ทำเช่นนี้ซ้ำ แต่เปลี่ยนขนาดเกจลอคจนถึงพิสัยการวัดของเครื่องมือ การสอบเทียบทำทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตของค่าที่อ่าน ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนตัวของตัวจับคลิปเกจ δ_{clip} และระยะที่อ่านจากไมโครมิเตอร์ δ_m จากการวิเคราะห์กำลังสองน้อยที่สุด คือ

$$\delta_{clip} = 1.000\delta_m \quad (\text{มม.}) \quad (14)$$

โดยมีความผิดพลาดจากความเป็นเชิงเส้น (linearity error) ไม่เกิน 1.2 ไมครอน

4.2 วงจรขยายสัญญาณ

วัตถุประสงค์คือ ปรับศูนย์ของค่าแรงดันเยื้องขาออก และตรวจสอบความแม่นยำของอัตราขยายสัญญาณ

การปรับศูนย์ของแรงดันขาออกทำการป้อนแรงดันขาเข้าขนาดศูนย์โวลต์แล้ววัดแรงดันขาออก จากนั้นปรับความต้านทานขนาด 1kΩ จนแรงดันขาออกที่ได้มีค่าเท่ากับศูนย์

การสอบเทียบวงจรขยายสัญญาณทำการป้อนแรงดันขาเข้าขนาดต่าง ๆ แล้วนำแรงดันขาออกที่วัดได้ (ผ่านการขยาย 100 เท่าแล้ว) ไปเปรียบเทียบกับค่าที่คำนวณทางทฤษฎี ผลการสอบเทียบพบว่าวงจรขยายสัญญาณมีความแม่นยำสูง

4.3 คลิปเกจรูปตัวยู

วัตถุประสงค์คือ หาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าเนื่องจากความไม่สมดุลของวงจรจากความเครียดกับระยะแอ่นตัวของคลิปเกจ วิธีสอบเทียบเริ่มจากติดตั้งคลิปเกจกับเครื่องมือสอบเทียบ ดังแสดงในรูปที่ 7 จากนั้นหมุนก้านไมโครมิเตอร์เพื่อแปรค่าระยะแอ่นตัวของคลิปเกจ δ_{clip} แล้ววัดแรงดันขาออก (ที่ขยายแล้ว) จากมิเตอร์ความเครียด การสอบเทียบทำทั้งหมด 5 ครั้ง ในแต่ละครั้งจะถอดคลิปเกจจากตัวจับแล้วใส่กลับเข้าไปใหม่ ความสัมพันธ์ระหว่างระยะแอ่นตัวของคลิปเกจกับแรงดันไฟฟ้าขาออกจากมิเตอร์ความเครียด ที่หาโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ คือ

$$\delta_{clip} = (0.542 \pm 0.001)V_{out} \quad (\text{มม.}) \quad (15)$$

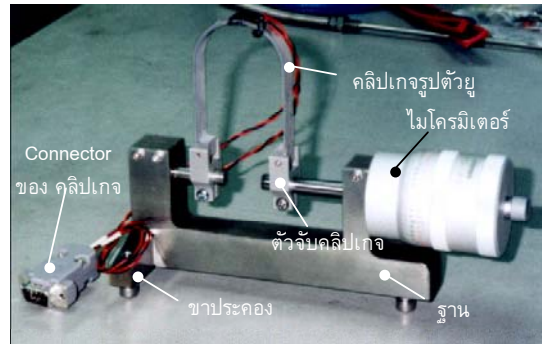
โดย V_{out} คือ แรงดันขาออกจากมิเตอร์ขาออก มีหน่วยเป็นมิลลิโวลต์

เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของมิเตอร์วัดความเครียดที่สร้างขึ้นอีกทางหนึ่ง ผู้วิจัยเปรียบเทียบค่าความเครียดที่คำนวณจากแรงดันขาออกจากมิเตอร์ความเครียดที่สร้าง ε กับค่าความเครียดที่อ่านจากมิเตอร์วัดความเครียดของต่างประเทศ ε_{ref} ที่ระยะแอ่นตัวของคลิปเกจเท่ากัน จากผลการเปรียบเทียบ สรุปได้ว่าความผิดพลาดมีค่าน้อยกว่า 5.7 เปอร์เซนต์

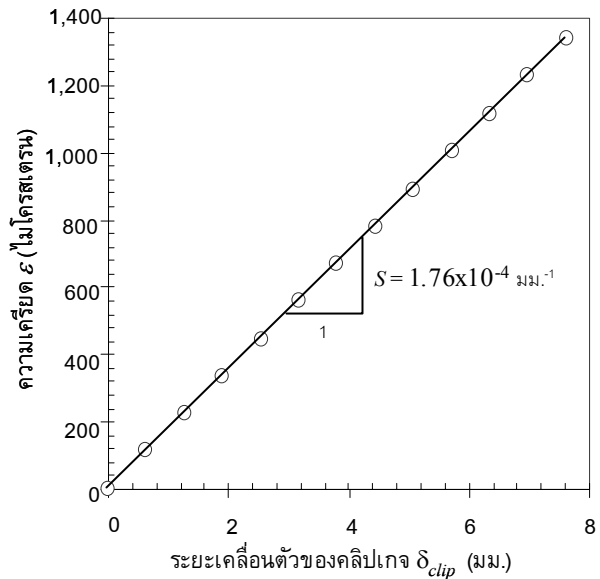
ความไวที่แท้จริง S ของคลิปเกจรูปตัวยูหาได้จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด และระยะแอ่นตัว (รูปที่ 8) จากรูปความไวที่แท้จริงมีค่าเท่ากับ 1.76×10^{-4} มม.⁻¹

4.4 การสอบเทียบอุปกรณ์วัดระยะเคลื่อนตัว

วัตถุประสงค์คือ หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนตัวของตัวจับชิ้นงาน กับระยะเคลื่อนตัวของตัวจับคลิปเกจ ในการสอบเทียบกำหนดให้เกจบลอคแทนความยาวของชิ้นงานทดสอบ วิธีสอบเทียบทำได้โดยการวาง



รูปที่ 7 การจัดอุปกรณ์เพื่อการสอบเทียบคลิปเกจรูปตัวยู



รูปที่ 8 ผลการสอบเทียบคลิปเกจรูปตัวยู

เกจลอคไว้ระหว่างตัวจับชิ้นงาน แล้วอ่านแรงดันขาออกจากมิเตอร์ความเครียด แทนค่าแรงดันที่วัดได้ลงในสมการที่ (15) จะหาระยะแอ่นตัวของคลิปเกจได้ ทำเช่นนี้ซ้ำ แต่เปลี่ยนขนาดเกจลอคจนถึงพิสัยการวัดของคลิปเกจ การสอบเทียบทำทั้งหมด 10 ครั้ง ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเคลื่อนตัวของตัวจับชิ้นงาน $\delta_{specimen}$ กับระยะแอ่นตัวของคลิปเกจโดยการวิเคราะห์ทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ คือ

$$\delta_{specimen} = (1.03 \pm 0.01)\delta_{clip} \quad (16)$$

5. การประยุกต์ใช้งาน และการวิเคราะห์ผล

5.1 รายละเอียดของการทดสอบ

การทดสอบใช้ ชิ้นงานทดสอบรูปทรงกระบอก มีเกลียวที่ปลายทั้งสองสำหรับติดตั้งกับตัวจับชิ้นงานของเครื่องทดสอบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ปลาย เท่ากับ 12 มม. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่วงความยาวเกลียวเท่ากับ 6 มม. และความยาวเกลียวเท่ากับ 30 มม. วัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานทดสอบ คือ ทองเหลือง เพื่อให้ระยะเวลาทดสอบไม่นานเกินไป อุณหภูมิทดสอบกำหนดในรูปของอุณหภูมิ ณ จุดติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ล (ชนิด K) สำหรับควบคุม อุณหภูมิทดสอบ คือ 400 องศาเซลเซียส ชุดควบคุมอุณหภูมิสามารถควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในพิสัย ± 1 องศา

เซลเซียส ตลอดระยะเวลาการทดสอบ ซึ่งถือว่ามีความแม่นยำสูงตามที่มีมาตรฐาน BS3500 กำหนด (กำหนดไว้ที่ ± 2 องศาเซลเซียส สำหรับการทดสอบที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และระยะเวลาทดสอบน้อยกว่า 100 ชั่วโมง [5]) ความเค้นเริ่มต้นที่กระทำกับชิ้นงาน เท่ากับ 34.7 MPa

การติดตั้งอุปกรณ์วัดระยะเคลื่อนตัวกับชิ้นงานทดสอบภายในเตาความร้อน การติดตั้งคลิปเกจรูปตัวยู แสดงอยู่ในรูปที่ 9

5.2 ผลการทดสอบ

ผลการทดสอบความคืบของทองเหลืองที่ได้แสดงอยู่ในรูปที่ 10 แกนแนวนอนคือเวลา และแกนตั้งคือความเครียดคืบ ความเครียดคืบ ϵ_c คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$\epsilon_c = \frac{l - l_0}{l_0} \quad (17)$$

โดย l คือ ความยาวเกจของชิ้นงานทดสอบที่เวลาใด ๆ

l_0 คือ ความยาวเกจเริ่มต้นของชิ้นงานทดสอบ

ความยาวเกจของชิ้นงานทดสอบที่เวลาใด ๆ คำนวณได้โดยใช้สมการที่ (15) และสมการที่ (16) จากกราฟจะเห็นว่าจุดข้อมูลมีการกระจายน้อย ซึ่งหมายความว่า การเลื่อนไถลของก้านส่งทอดระยะเคลื่อนตัวผ่านรูเจาะของตัวจับชิ้นงาน (ตัวล่าง) และผ่านที่รองรับคลิปเกจเป็นไปอย่างราบรื่นไม่มีการขัดกัน (interference)

6. สรุป

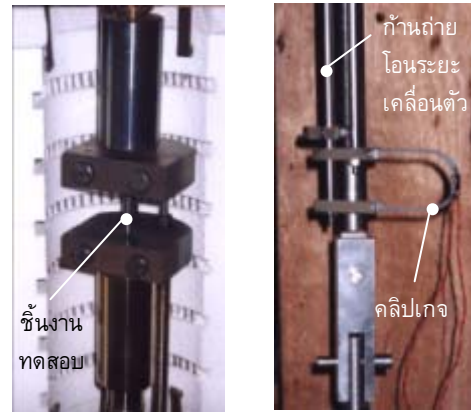
งานวิจัยออกแบบ อุปกรณ์วัดระยะเคลื่อนตัวสำหรับใช้ในการทดสอบการคืบ โดยนำเกจความเครียดมาใช้ในการสร้างเซนเซอร์วัดระยะเคลื่อนตัว นอกจากนี้ได้ออกแบบมิเตอร์วัดความเครียด และเครื่องมือสอบเทียบเพื่อให้ระบบการวัดสมบูรณ์ การออกแบบเซนเซอร์วัดระยะเคลื่อนตัวใช้ระเบียบวิธีออกแบบขั้นเหมาะสมที่สุด ทำให้สามารถออกแบบภายใต้เงื่อนไขที่ซับซ้อนได้อย่างรวดเร็ว

ผลการสอบเทียบแสดงให้เห็นว่า มิเตอร์ความเครียด และเครื่องมือสอบเทียบมีความแม่นยำสูง แต่อุปกรณ์วัดระยะเคลื่อนตัวมีความแม่นยำในระดับพอใช้

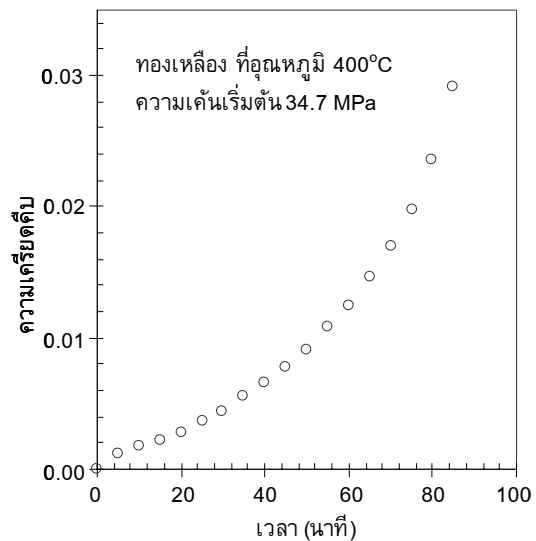
ผลการใช้งานแสดงให้เห็นว่า ชนิดของวัสดุที่เลือกมีความเหมาะสม และกลไกของอุปกรณ์วัดระยะเคลื่อนตัวที่ออกแบบสามารถทำงานได้ดี อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์วัดระยะเคลื่อนตัวที่ออกแบบยังต้องปรับปรุงเกี่ยวกับกลไกการทำงาน การควบคุมคุณภาพการสร้างชิ้นส่วน เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวัด นอกจากนี้ยังต้องปรับปรุงให้มีน้ำหนักลดลง เพื่อเพิ่มความสะดวกในการใช้งาน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ หน่วยงานสนับสนุนการวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่สนับสนุนค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานวิจัย อาจารย์ เดโช ทองอำม ภาควิชาวิศวกรรมนิวเคลียร์ ที่สละเวลาให้คำแนะนำเกี่ยวกับปัญหาอิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ ขอขอบคุณ นายยอดยิ่ง หมดวงม ที่ช่วยลดภาระเกี่ยวกับการหาซื้อของ และนายวิษ วังศ์กระบากถาวร ที่ช่วยลดภาระเกี่ยวกับการทดสอบการคืบ



รูปที่ 9 การติดตั้งอุปกรณ์วัดระยะเคลื่อนตัว และคลิปเกจรูปตัวยู



รูปที่ 10 ผลการทดสอบความคืบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] ยอดยิ่ง หมดวงม, จิรพงศ์ กลสิวิทยอำนาจ การออกแบบคลิปเกจ และการประยุกต์ใช้กับการทดสอบการแตกหัก. การประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกล ครั้งที่ 17 15-17 ตุลาคม 2546 จังหวัดปราจีนบุรี
- [2] Kyowa Strain gage catalog
- [3] REF102 Precision voltage reference, Data Sheet, Burr-Brown Corporation.
- [4] INA131 Precision $G = 100$ Instrumentation amplifier, Data Sheet, Burr-Brown Corporation.
- [5] Roche, R. and Loveday, M.F. Harmonisation and improvements in European Standards. In *Harmonisation of testing practice for high temperature materials*. Eds. Loveday, M.F. and Gibbons, T.B. Elsevier applied science, 1992, pp. 51.