

# การออกแบบคานยื่นในโหลดเซลล์

## Design of a Cantilever Beam in a Load Cell

ชาคริต วรณศิริ<sup>1</sup> ก้อง ศรีสมพงษ์<sup>1</sup> ชินรัฐ ภัคติชาติ<sup>1</sup> นริช นรินทร<sup>1</sup> และ เลอเกียรติ วงศ์สารพิกุล<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล 25/25 ถ.พุทธมณฑลสาย 4 นครปฐม 73170

โทร 0-2441-5242 โทรสาร 0-2441-0773 E-mail: chakrid.van@mahidol.ac.th

<sup>2</sup>คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น 177 1/1 ถ.พัฒนาการ เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

โทร 0-2763-2600 x 2909 โทรสาร 0-2763-2900 x 2900 E-mail: lerkiat@tni.ac.th

### บทคัดย่อ

โหลดเซลล์ซึ่งใช้ในการวัดน้ำหนักมักจะทำงานโดยวัดความเครียด (strain) ผ่านเกจวัดความเครียด (strain gauge) ซึ่งติดบนคานยื่นรับน้ำหนัก งานวิจัยนี้เสนอการออกแบบคานยื่นที่มีลักษณะพิเศษคือ มีช่วงกลางคานที่มีความเครียดที่ผิวบนมีค่าสูงและเป็นค่าคงที่ ซึ่งจะเป็ประโยชน์ในการติดตั้ง strain gauge และทำให้การเทียบค่าทำได้ง่ายขึ้น รูปทรงของคานถูกออกแบบโดยใช้ทฤษฎีคานเบื้องต้นเพื่อให้เกิดความเครียดในรูปที่ต้องการ จากนั้น โปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์ถูกใช้เพื่อคำนวณความเค้นและความเครียดที่แท้จริง และพบว่าช่วงกลางคานที่มีค่าความเครียดสูงและคงที่จริง ตลอดจนค่าที่คำนวณได้ใกล้เคียงกับค่าที่ออกแบบไว้

คำสำคัญ: โหลดเซลล์, คานยื่น, ความเครียด, ไฟไนต์อิลิเมนต์

### Abstract

Load cells used in many applications, especially those involving weight measurement, work through measurement of strain by a strain gauge attached to a load bearing beam. This article describes a design of a load bearing cantilever beam which has a constant high strain on the surface of its middle part. This will simplify the processes of attaching the strain gauge and of load cell calibration. The shape of the beam is determined by elementary beam theory to have the desired strain. A finite element program is used to calculate the real strain and stress. It is found that the middle part of the beam indeed has constant high surface strain close to the designed value.

Keywords: load cells, cantilever beam, strain, finite element method

### 1. คำนำ

โหลดเซลล์เป็นเครื่องมือที่ใช้กันทั่วไปในวงการอุตสาหกรรมและวิศวกรรม เพื่อการวัดแรงหรือน้ำหนัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีนี้ น้ำหนักหรือแรงที่วัดมีค่าสูง[1] การทำงานของโหลดเซลล์มักจะใช้การวัด

ความเครียด (Strain) ที่ผิวของคานรับน้ำหนัก โดยการติดเกจวัดความเครียด (Strain gauge) ไว้บนผิวและวัดค่าความเครียดโดยอาศัยวงจรบริดจ์ [2] เพื่อให้การวัดเป็นไปได้อย่างชัดเจนและมีความละเอียดพอสมควร ค่าความเครียดของจุดที่ติดตั้ง strain gauge ควรจะสูง ดังนั้นจึงมีการใช้วิธีการต่าง ๆ เพื่อให้ค่าความเครียดสูงที่บริเวณที่จะติด strain gauge เช่น การบากหรือการเจาะรูบนคาน เป็นต้น [1]

การติดตั้ง strain gauge น่าจะสะดวกมากขึ้นถ้าหากคานรับน้ำหนักมีบริเวณช่วงหนึ่งที่มีความเค้นมีค่าคงที่ เพราะจะทำให้ความเบี่ยงเบนจากตำแหน่งการติดตั้งไม่มีความสำคัญ และหากช่วงที่มีความเครียดมีค่าคงที่นี้เป็นช่วงที่มีความเครียดที่ผิวมีค่าสูงด้วยก็จะทำให้การใช้งานและการเทียบค่าทำได้ง่ายขึ้น

### 2. การออกแบบคานยื่น

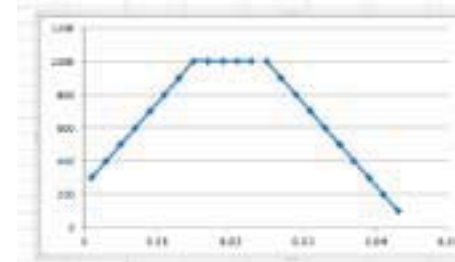
#### 2.1 การออกแบบคานโดยทฤษฎีพื้นฐาน

เพื่อความชัดเจน ตัวอย่างคานยื่นที่จะออกแบบถูกกำหนดให้มีความยาว 0.45 m กว้าง 0.02 m มีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า คานเป็นระนาบเรียบแต่ความหนาไม่สม่ำเสมอ วัสดุที่ใช้ทำคานคือ AISI 4340 Steel normalize ซึ่งมีค่า Modulus of Elasticity  $E = 2.05 \times 10^{11}$  โดยให้คานรับแรงกด 250 N ที่ปลายอิสระ กำหนดให้ความเครียด  $\epsilon$  ที่ผิวบนของคานเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้นจาก 0.00025 จนมีค่า 0.001 ที่จุด 0.015 m วัดจากปลายคานอิสระ จากนั้นมีค่าคงที่จนถึงจุด 0.025 m แล้วลดลงในลักษณะเชิงเส้นจนเป็น 0 ที่ปลายคานที่ยึดติดผนัง นั่นคือ

$$\epsilon(x) = \begin{cases} 0.00025 + 0.05x, & \text{for } 0 < x \leq 0.015 \\ 0.001, & \text{for } 0.015 < x \leq 0.025 \\ 0.00225 - 0.05x, & \text{for } 0.025 < x \leq 0.045 \end{cases} \quad (1)$$

ในสมการที่ (1)  $x$  คือระยะที่วัดจากปลายอิสระของคาน ลักษณะของความเครียดที่ต้องการที่ผิวบนได้แสดงไว้ในรูปที่ 1

ในความเป็นจริง ทฤษฎีเบื้องต้นของคานไม่สามารถใช้ได้ทันที เนื่องจากแกน  $x$  ไม่ได้ผ่านจุด Centroid ของพื้นที่หน้าตัด เพราะเส้นที่ผ่าน Centroid ไม่ได้เป็นเส้นตรงแม้ว่าพื้นที่หน้าตัดจะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าก็ตาม อย่างไรก็ตาม ถ้าหากจะประยุกต์ใช้ทฤษฎีการวัดของคาน ค่าความเค้นที่ผิวบนของคานคือ [3]



รูปที่ 1 ลักษณะความเครียดที่ต้องการที่ผิวบนของคาน

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (2)$$

เมื่อ  $\sigma$  คือความเค้นในแนวตั้งฉาก (Normal stress) ที่ผิวบนของคาน  $c$  คือความสูงถึงผิวบนของคานวัดจาก Neutral axis ซึ่งผ่านจุด Centroid ของพื้นที่หน้าตัด  $M$  คือค่าโมเมนต์ดัด และ  $I$  คือค่า Area Moment of Inertia ของพื้นที่หน้าตัดรอบ Neutral axis เนื่องจากพื้นที่หน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำให้  $c$  และ  $I$  มีค่าดังนี้

$$c = \frac{h}{2} \quad (3)$$

$$I = \frac{1}{12}bh^3$$

เมื่อ  $h$  คือความหนาของคาน และ  $b$  คือความกว้างซึ่งได้กำหนดให้เป็น 0.02 m ดังนั้น ค่าความเค้นและความเครียดที่ผิวบนของคานคือ

$$\sigma = \frac{6M}{bh^2} \quad (4)$$

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{6M}{Eb^2}$$

เนื่องจากค่าความเครียดถูกกำหนดดังสมการที่ (1) ความหนาของคานจะสามารถหาได้จาก

$$h = \sqrt{\frac{6M}{E b \epsilon}} \quad (5)$$

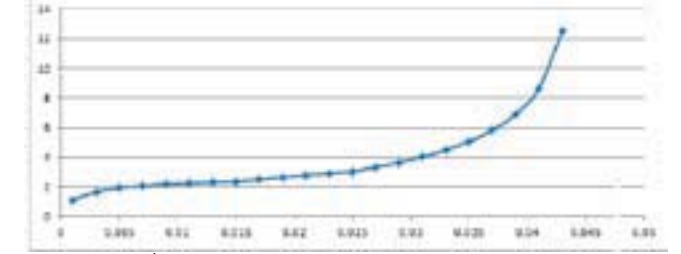
เนื่องจากแรงที่กระทำที่ปลายคานคือ 250 N ค่าโมเมนต์ดัดที่จุดต่าง ๆ สามารถคำนวณได้โดยง่ายนั่นคือ

$$M = 250x \quad (6)$$

เมื่อ  $x$  คือระยะทางที่วัดจากปลายคานอิสระ สมการ (1),(5) และ (6) สามารถใช้ในการคำนวณความหนาของคานที่ต้องการได้นั่นคือ

$$h = \sqrt{\frac{3 \times 10^{-6} x}{\epsilon(x)}} \quad (7)$$

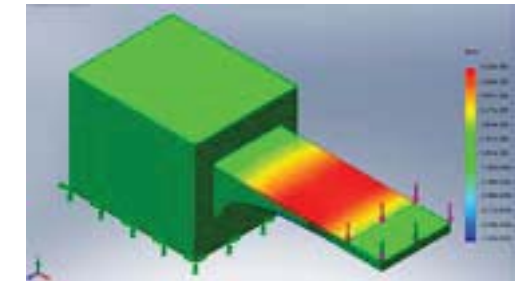
เมื่อ  $\epsilon(x)$  คือค่าความเครียดที่ผิวบนใน (1) ค่าที่คำนวณได้แสดงไว้ในรูปที่ 2



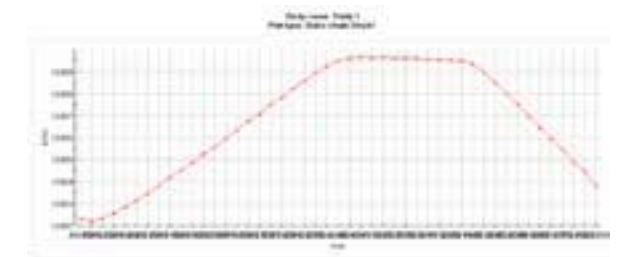
รูปที่ 2 ความหนาของคานจากปลายอิสระ

### 2.2 การคำนวณโดยไฟไนต์อิลิเมนต์

เพื่อตรวจสอบค่าความเครียดที่แท้จริง ปัญหาของคานที่มีคุณสมบัติตามที่กำหนดและมีรูปร่างดังรูปที่ 2 ภายใต้แรงกระทำที่ปลาย 250 N ถูกจำลองและแก้ปัญหาด้วยวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม Solidworks ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้กันแพร่หลายและคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดลมีอยู่ ผลของการคำนวณได้แสดงไว้ในรูปที่ 3 และค่าความเครียดที่จุดต่าง ๆ ที่ผิวบนของคานได้แสดงไว้ในรูปที่ 4



รูปที่ 3 ผลการคำนวณจากโปรแกรมไฟไนต์อิลิเมนต์



รูปที่ 4 ค่าความเครียดที่คำนวณได้

### 3. การประเมินผลและข้อสรุป

จากรูปที่ 3 และ 4 จะเห็นได้ว่าที่ผิวบนของคาน มีช่วงที่มีความเครียดมีค่าคงที่จริงและค่านี้ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ ในช่วง 10 mm ตรงกลางนั้น ค่าความเครียดมีค่าอยู่ในช่วง  $9.51 \times 10^{-4}$  ถึง  $9.65 \times 10^{-4}$  ซึ่งเป็นค่าเบี่ยงเบนจากค่าคงที่เพียงประมาณ 1.5%

แม้ว่าคานยื่นได้ถูกออกแบบโดยใช้ทฤษฎีพื้นฐานของคานซึ่งไม่ควรจะให้ผลที่ถูกต้อง เพราะรูปแบบคานที่ได้ไม่เข้ากับสมมุติฐานพื้นฐานของทฤษฎี ซึ่งกำหนดให้คานมีลักษณะเป็นคานตรงและแกนตามยาวผ่านจุด

Centroid ของพื้นที่หน้าตัด แต่ผลการคำนวณพบว่ารูปแบบคานาที่ได้นี้ สามารถให้ช่วงที่ความเครียดมีค่าสูงและมีค่าคงที่ได้จริง ซึ่งหมายความว่า คานารูปแบบดังกล่าวจะสามารถใช้ประโยชน์ในโพลตเซลล์ได้ดี

ในการคำนวณโดยโปรแกรมไฟไนต์อีลิเมนต์นั้น มีความจำเป็นที่จะต้องมีการปรับรูปแบบของปัญหาให้อยู่ในรูปแบบที่โปรแกรมจะยอมรับได้ ในที่นี้ จะต้องกำหนดบริเวณบางส่วนที่มีแรงกระทำที่ปลายคานา เพราะโปรแกรมไม่สามารถจะรับปัญหาที่มีแรงเป็นจุดกระทำได้ และในความเป็นจริง แรงที่กระทำบนคานาจะต้องกระทำบนพื้นที่หนึ่งอยู่แล้ว ปัญหาของคานาที่ใช้คำนวณอาจจะปรับให้ใกล้เคียงสภาวะใช้งานจริงมากขึ้นได้โดยการลดหรือเปลี่ยนรูปลักษณะของพื้นที่รับแรง แต่คาดว่าจะไม่เปลี่ยนผลของการคำนวณมากนัก

หนึ่ง รูปแบบของคานาที่ออกแบบนี้สามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้โดยไม่ลำบากแม้ว่าจะไม่ได้แสดงรูปแบบเต็มในบทความนี้ก็ ตาม ทำให้การผลิตหรือขึ้นรูปคานาสามารถทำได้โดยง่าย ทำให้การนำไปประยุกต์ใช้งานจริงทำได้ไม่ยาก

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] W.R. Murray and W.R. Miller. 1992. The Bonded Electrical Strain Gauge: An Introduction. Oxford University.
- [2] นจนาฏ สุวรรณมณี. 2545 ใย เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์เบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 5. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพมหานคร
- [3] R.C. Hibbeler. 2010. Mechanics of Solids, 8<sup>th</sup> ed. Pearson Prentice Hall.