



# 8

## สเตนเกจและโหลดเซล (Strain Gauges and Load Cell)

### สาระสำคัญ

สเตนเกจและโหลดเซล (Strain Gauges and Load Cell) สเตนเกจคือ เซ็นเซอร์ที่ใช้วัดแรงดัน แรงดึง น้ำหนัก โดยวิธีการวัดความเครียด (Strain) หรือการเปลี่ยนรูปของวัตถุ เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำจนเกิดการเปลี่ยนรูปหรือเลี้ยงรูปของวัตถุ สเตนเกจก็จะเลี้ยงรูปตามไปด้วย ทำให้ความต้านทานภายในของสเตนเกจเปลี่ยนแปลงไปตามการเลี้ยงรูป โหลดเซล (Load Cell) คือทรานส์ดิวเซอร์ที่ใช้เปลี่ยนแรงที่กระทำ เช่น แรงดึง แรงกด แรงเฉือน การดัด ฯลฯ ไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โหลดเซลจะนิยมใช้ในการวัดน้ำหนัก

### จุดประสงค์ที่นำไป เพื่อให้

- มีความรู้ความเข้าใจส่วนประกอบและการทำงานของสเตนเกจ
- มีความรู้ความเข้าใจการทำงานของวงจรวีตส์โตนบридจ์
- มีความรู้ความเข้าใจการทำงานของสเตนเกจโหลดเซล

### จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม

- อธิบายการทำงานของสเตนเกจได้อย่างถูกต้อง
- อธิบายการทำงานของวงจรวีตส์โตนบридจ์ได้อย่างถูกต้อง
- อธิบายการทำงานของสเตนเกจโหลดเซลได้อย่างถูกต้อง
- ทำแบบฝึกหัดและปฏิบัติตามใบงานได้ถูกต้อง มีความปลอดภัยและสำเร็จภายในเวลาที่กำหนดโดยย่างมีเหตุและผลตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง

### เนื้อหาสาระ

ศึกษาการทำงานของสเตนเกจ การทำงานของวงจรวีตส์โตนบридจ์ สเตนเกจโหลดเซล และปฏิบัติตามใบงาน

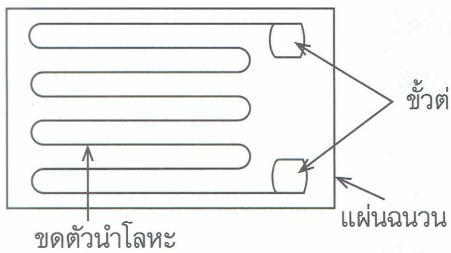
ความเด่น (Stress) คือ แรงต้านทานภายในของวัตถุเมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ เช่น แรงดัน แรงดึง น้ำหนัก และความเครียด (Strain) คือ การเปลี่ยนรูปหรือการเลี้ยงรูปของวัตถุ เช่น การโก่งตัว การยืดตัว การหดตัว เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ

สเตนเกจคือ เซ็นเซอร์ที่ใช้วัดความเครียด (Strain) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำจนเกิดการเปลี่ยนรูปหรือเลี้ยงรูปของวัตถุ สเตนเกจจะเลี้ยงรูปตามไปด้วย ทำให้ความต้านทานภายในของสเตนเกจเปลี่ยนแปลงไปตามการเลี้ยงรูป

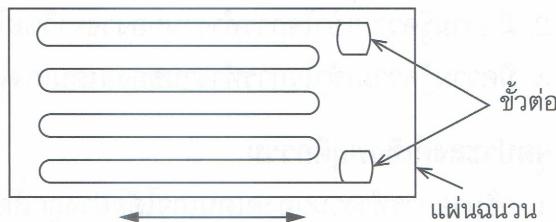
โหลดเซล (Load Cell) คือ ทรานสิ dik เซอร์ที่ใช้เปลี่ยนแรงที่กระทำ เช่น แรงดึง แรงกด แรงเนื่อง และการดัด ฯลฯ ไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า

## 8.1 สเตนเกจ (Strain Gauges)

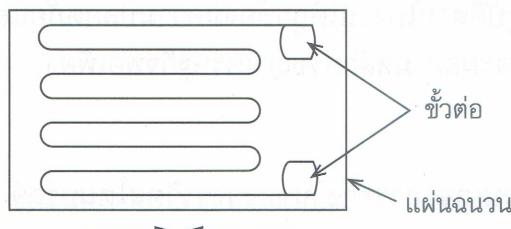
สเตนเกจประกอบด้วยแผ่นโลหะบางๆ และเล็กมาก ถูกจัดวางขดไปมาในรูปแบบตาราง ในแนวนานกัน แล้ววางติดตั้งอยู่บนแผ่นผนวนบางๆ แบบอ่อนตัวได้ ในการวัดความเครียด จะนำสเตนเกจติดตั้งเข้ากับชิ้นงานทดสอบโดยตรง โดยการยึดติดเข้ากับวัตถุให้แน่นมากๆ ด้วยการใช้การชนิดพิเศษ เช่น การไซยาโนอะคริเลต (Cyanoacrylate) ซึ่งเมื่อวัตถุเกิดการเลี้ยงรูป เพราะถูกแรงดึงหรือถูกแรงกดอัด แผ่นโลหะบางๆ ของสเตนเกจจะเลี้ยงรูปไปด้วย ทำให้ความต้านทานภายในของตัวสเตนเกจเกิดการเปลี่ยนแปลง ความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงนี้จะถูกนำไปใช้ในตรวจวัดโดยการต่อในวงจร惠斯頓บริดจ์ (Wheatstone Bridge) ซึ่งสเตนเกจจะมีค่าความต้านทานมาตรฐาน 120, 350 และ 1,000 โอห์ม ดังแสดงในรูปที่ 8.1



(ก) สเตนเกจทำແນ່ງປົກຕິ



(ข) สเตนเกจทำແນ່ງถูกดึงค่าความต้านทานเพิ่มขึ้น

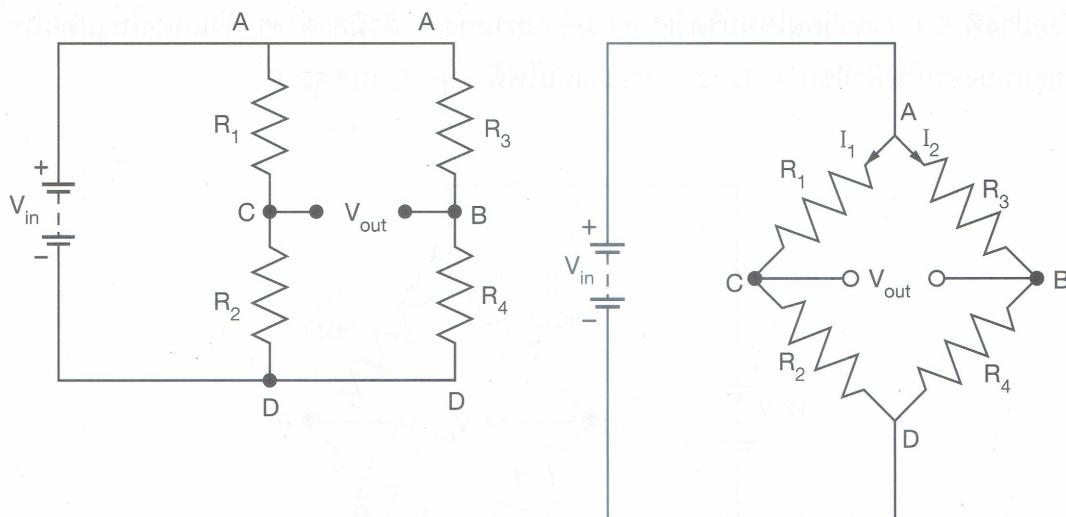


(ค) สเตนเกจทำແນ່ງถูกกดอัดค่าความต้านทานลดลง

รูปที่ 8.1 สเตนเกจในลักษณะต่างๆ

### 8.1.1 วงจรเวตส์โตนบридจ์ (Wheatstone Bridge Circuit)

วงจรเวตส์โตนบридจ์ คือ วงจรเครือข่ายที่พบมากที่สุดและใช้งานง่ายที่สุดในการตรวจวัดค่าความต้านทานทางไฟฟ้า ซึ่งวงจรเวตส์โตนบридจ์จะมีหลักการทำงานคล้ายๆ กับวงจรแบ่งแรงดันหรือโพเทนชิโอมิเตอร์ โดยวงจรเวตส์โตนบридจ์จะประกอบด้วยตัวต้านทาน 4 ตัวที่เชื่อมต่ออยู่ในรูปลี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน พร้อมแหล่งจ่ายไฟและเครื่องมือวัด ดังแสดงในรูปที่ 8.2



(ก) วงจรเวตส์โตนบридจ์ในรูปโพเทนชิโอมิเตอร์ (ข) วงจรเวตส์โตนบридจ์ในรูปลี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน

รูปที่ 8.2 วงจรเวตส์โตนบридจ์

จากรูปที่ 8.2 จะเห็นได้ว่างจรจัดโตนบридจ์จะมีขั้วสัญญาณอินพุต 2 ขั้วคือ ขั้ว A และขั้ว D และขั้วสัญญาณเอาต์พุต 2 ขั้วคือ ขั้ว C และขั้ว B ถ้าตัวต้านทานทั้ง 4 ตัวในวงจร มีค่าเท่ากัน วงจรเวตส์โตนบридจ์จะมีความสมดุลที่ขาทั้งสองข้างของวงจร แรงดันไฟฟ้าที่คร่อม ขั้วสัญญาณเอาต์พุต ( $V_{out}$  หรือ  $V_{CB}$ ) จะมีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ และถ้าตัวต้านทานตัวใดตัวหนึ่ง มีค่าเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย วงจรจะเสียสมดุล ทำให้เกิดความต่างศักย์ขึ้น ซึ่งสามารถ ตรวจจัดได้ แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตอาจจะเป็นค่าบวกหรือค่าลบขึ้นอยู่กับทิศทางของความไม่สมดุล วงจรนี้จึงทำงานโดยการเปลี่ยนค่าความต้านทานไปเป็นแรงดันไฟฟ้า

โดยความต่างศักย์ที่จุด C และความต่างศักย์ที่จุด B สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (8.1) และ (8.2)

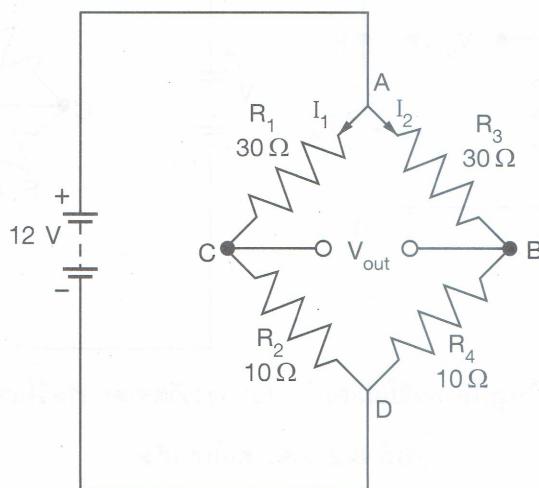
$$\therefore V_C = V_{in} \cdot \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} \quad (8.1)$$

$$V_B = V_{in} \cdot \frac{R_4}{(R_3 + R_4)} \quad (8.2)$$

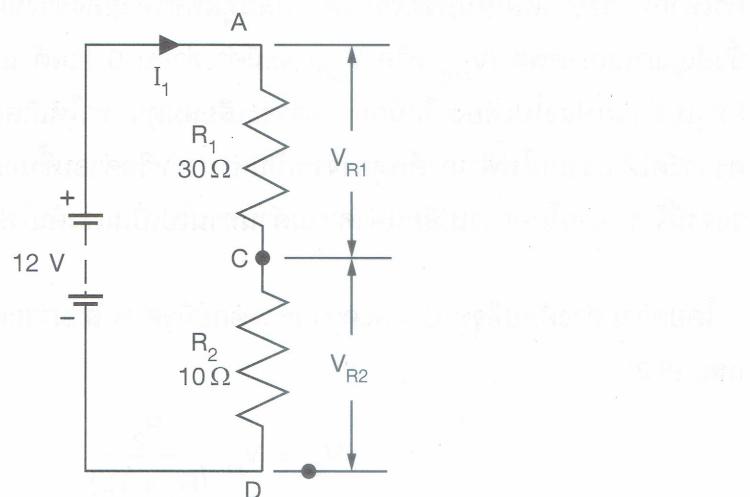
ສ້າງຈຽວຕົນບຣິດຈົສມຸດລ

$$V_{out} \text{ ອີ່ວິ } V_{CB} = V_C - V_B = 0 \quad (8.3)$$

**ຕັວຢ່າງທີ 8.1** ວັງຈຽວຕົນບຣິດຈົຕ້າວຄວາມຕ້ານທານທັງ 4 ຕັ້ມີຄ່າຕ່າງໆ ດັ່ງແລ້ວໃນຮູບຕ້ອໄປນີ້ ແລະແໜ່ງຈ່າຍໄຟຟ້າມີຂາດ 12 V ຈົນທາແຮງດັນໄຟຟ້າທີ່ຈຸດ C ແລະຈຸດ B



ວິທີທຳ ພິຈານາທີ່ຂາ 1 ດ້ານຊ້າຍມີອີ່ວິຕ້ານທານ 2 ຕັ້ວຕ້ອນກຸຽມກັນ ກຣະແລໄຟຟ້າໄຫລຜ່ານຕ້ານທານທັງສອງ



จากกฎของโอล์ม

$$I_1 = \frac{V}{R_T} = \frac{V}{R_1 + R_2}$$

แทนค่า

$$I_1 = \frac{12 \text{ V}}{30 \Omega + 10 \Omega} = \frac{12 \text{ V}}{40 \Omega}$$

$$I_1 = 0.3 \text{ A}$$

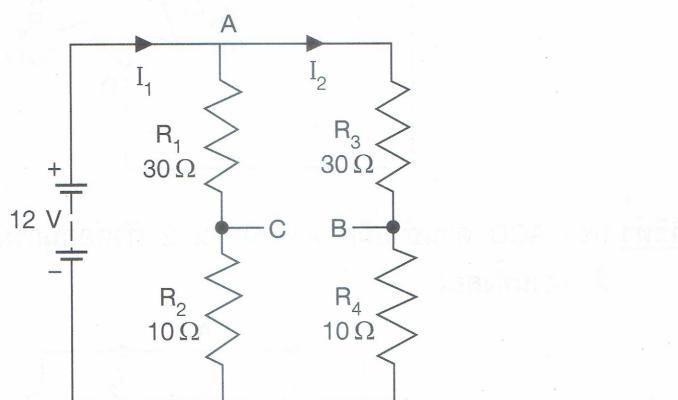
แรงดันไฟฟ้าที่จุด C คือแรงดันไฟฟ้าที่คร่อม  $R_2$ 

$$\therefore V_C = V_{R2} = I_1 \times R_2$$

$$V_C = 0.3 \text{ A} \times 10 \Omega$$

$$V_C = 3 \text{ V}$$

พิจารณาที่ขา 2 ด้านขวามือ ตัวต้านทาน 2 ตัวต่ออนุกรมกัน กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทานทั้งสอง



จากกฎของโอล์ม

$$I_2 = \frac{V}{R_T} = \frac{V}{R_3 + R_4}$$

แทนค่า

$$I_2 = \frac{12 \text{ V}}{30 \Omega + 10 \Omega} = \frac{12 \text{ V}}{40 \Omega}$$

$$I_2 = 0.3 \text{ A}$$

แรงดันไฟฟ้าที่จุด B คือแรงดันไฟฟ้าที่คร่อม  $R_4$ 

$$\therefore V_B = V_{R4} = I_1 \times R_4$$

$$V_B = 0.3 \text{ A} \times 10 \Omega$$

$$V_B = 3 \text{ V}$$

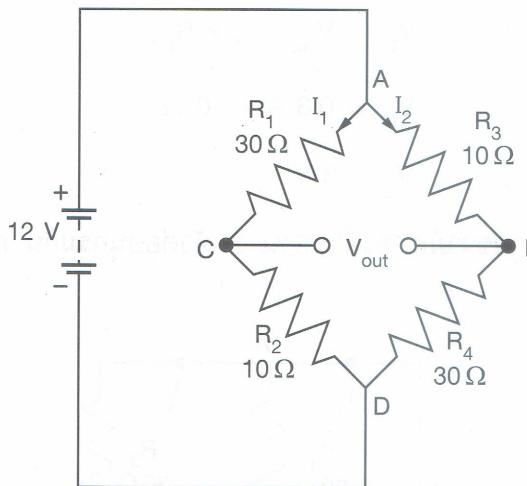
ຈາກສົມຜະລິ (8.3)

$$\begin{aligned} V_{\text{out}} &= V_C - V_B \\ &= 3 \text{ V} - 3 \text{ V} \end{aligned}$$

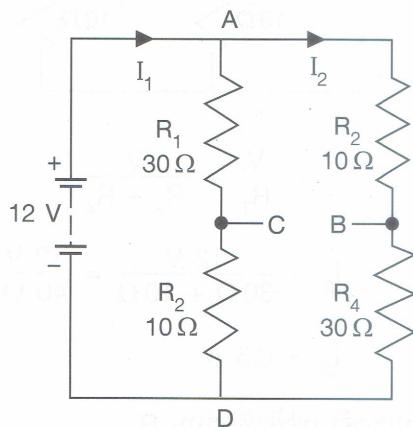
$$V_{\text{out}} = 0$$

ຕອບ

ຕົວຢ່າງທີ 8.2 ວົງຈຽວິຕສໂຕນບຣິດຈີ່ຕົວຄວາມຕ້ານທານທັງ 4 ຕັ້ງມີຄ່າຕ່າງໆ ດັ່ງແສດງໃນຮູບຕ້ອນນີ້ ແລະ ແຫ່ງຈ່າຍໄຟຟ້າມື້ນາດ 12 V ຈົງໜາແຮງດັນໄຟຟ້າທີ່ຈຸດ C ແລະ ຈຸດ B



ວິທີທຳ ທີ່ຂາ ACD ດ້ວຍຊ້າຍມື້ອີ້ນ ຕັ້ງຕ້ານທານ 2 ຕັ້ງຕ່ອນຸກຮມກັນ ກຣະແສໄຟຟ້າໄຫລພ່ານຕົວ  
ຕ້ານທານທັງສອງ



ຈາກກູ້ຂອງໂອ໌ໝໍມ

$$I_1 = \frac{V}{R_T} = \frac{V}{R_1 + R_2}$$

ແທນຄ່າ

$$I_1 = \frac{12 \text{ V}}{30 \Omega + 10 \Omega} = \frac{12 \text{ V}}{40 \Omega}$$

$$I_1 = 0.3 \text{ A}$$

แรงดันไฟฟ้าที่จุด C คือแรงดันไฟฟ้าที่คร่อม  $R_2$

$$V_C = V_{R2} = I_1 \times R_2$$

$$V_C = 0.3 \text{ A} \times 10 \Omega$$

$$V_C = 3 \text{ V}$$

ที่ขา ABD ทางขวาเมื่อ ตัวต้านทาน 2 ตัวต่ออนุกรมกัน กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวต้านทานทั้งสอง

จากกฎของโอล์ม

$$I_2 = \frac{V}{R_T} = \frac{V}{R_3 + R_4}$$

แทนค่า

$$I_2 = \frac{12 \text{ V}}{30 \Omega + 10 \Omega} = \frac{12 \text{ V}}{40 \Omega}$$

$$I_2 = 0.3 \text{ A}$$

แรงดันไฟฟ้าที่จุด B คือแรงดันไฟฟ้าที่คร่อม  $R_4$

$$\therefore V_B = V_{R4} = I_1 \times R_4$$

$$V_B = 0.3 \text{ A} \times 30 \Omega$$

$$V_B = 9 \text{ V}$$

จากสมการที่ (8.3)

$$V_{\text{out}} = V_C - V_B$$

$$= 3 \text{ V} - 9 \text{ V}$$

$$V_{\text{out}} = -6 \text{ V}$$

ตอบ

### 8.1.2 การทำงานของวงจรไวท์สโตนบริดจ์

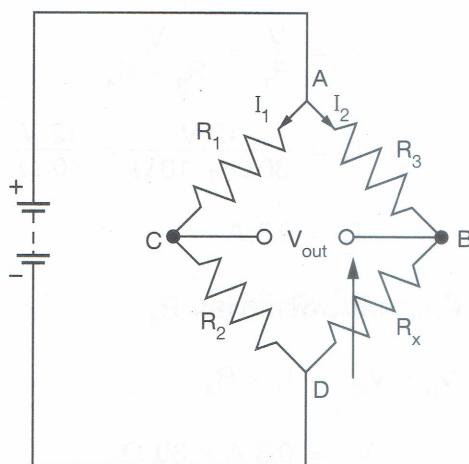
#### (Operating of Wheatstone Bridge Circuit)

วงจรไวท์สโตนบริดจ์คือ เครื่องมือในการตรวจวัด ใช้ตรวจวัดค่าความต้านทานทางไฟฟ้าตัวที่ไม่รู้ค่า โดยจะติดตั้งอุปกรณ์ตัวที่ไม่รู้ค่าเข้าไปแทนที่ในขาใดขาหนึ่ง

จากรูปที่ 8.3  $R_x$  เป็นตัวความต้านทานที่ไม่รู้ค่า  $R_1$ ,  $R_2$  และ  $R_3$  เป็นตัวความต้านทานที่รู้ค่า ถ้าอัตราส่วนของขา  $R_2/R_1$  เท่ากับอัตราส่วนของอีกขาหนึ่งคือ  $R_x/R_3$  ดังนั้นแรงดันไฟฟ้าระหว่างจุด C และจุด B จะเท่ากับ 0 และจะไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านโอล์ต์มิเตอร์

ถ้าค่าความต้านทานของ  $R_x$  เปลี่ยนแปลงไป จะเกิดกระแสไฟฟ้าใหม่ผ่านวงจรได้ โดยทิศทางของกระแสไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทานของ  $R_x$  ที่เปลี่ยนไปว่าจะมากขึ้นหรือน้อยลงกว่าจุดสมดุลแรงดันไฟฟ้าที่ได้ คือสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งสัญญาณเอาต์พุตนี้จะมีค่าน้อยมากเป็นมิลลิโวลต์ จึงต้องนำสัญญาณเอาต์พุตนี้ไปขยายสัญญาณในอุปกรณ์ขยายสัญญาณก่อนนำไปใช้งาน

ถ้า  $R_1$ ,  $R_2$  และ  $R_3$  เป็นตัวความต้านทานที่มีความละเอียดสูง ค่า  $R_x$  ที่อ่านได้ก็จะมีความละเอียดสูงเช่นเดียวกัน



รูปที่ 8.3 การต่อ  $R_x$  ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าความต้านทานได้

ถ้าวงจรวีตส์โตนบридจ์สมดุล

$$V_{\text{out}} \text{ หรือ } V_{CB} = V_C - V_B = 0$$

หรือ

$$V_C = V_B \quad (8.4)$$

$$V_{\text{in}} \cdot \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} = V_{\text{in}} \cdot \frac{R_x}{(R_3 + R_x)} \quad (8.5)$$

$$R_2(R_3 + R_x) = R_x(R_1 + R_2) \quad (8.6)$$

$$R_2R_3 + R_2R_x = R_xR_1 + R_2R_x \quad (8.7)$$

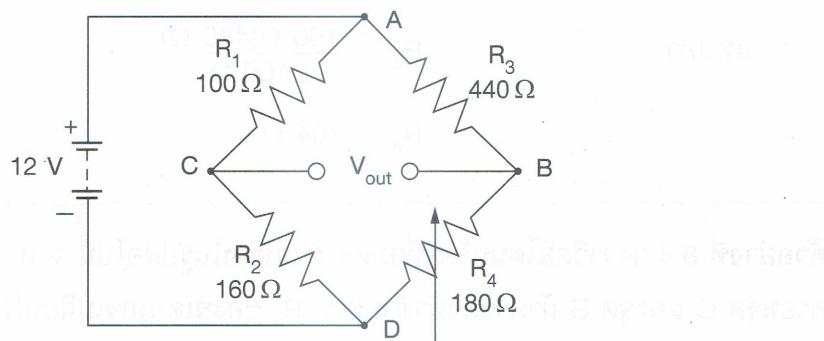
$$R_2R_3 = R_xR_1 \quad (8.8)$$

$$\frac{R_3}{R_1} = \frac{R_x}{R_2} \quad (8.9)$$

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} \quad (8.10)$$

จากสมการที่ (8.10)  $R_4$  หรือ  $R_x$  สามารถคำนวณได้จากตัวต้านทานที่รู้ค่า  $R_2$  และอัตราส่วนของ  $R_3/R_1$  ส่วนใหญ่  $R_1$  และ  $R_2$  จะมีค่าคงที่ และ  $R_3$  ปรับเปลี่ยนค่าได้ จนกระทั่งวงจรไวต์ลอนบридจ์สมดุล

**ตัวอย่างที่ 8.3** วงจรไวต์ลอนบридจ์มีโครงสร้างที่ไม่สมดุล ดังแสดงในรูปต่อไปนี้ จงหาแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ค่า  $C$  และจุด  $B$  และค่าของตัวต้านทาน  $R_4$  ที่ทำให้วงจรไวต์ลอนบридจ์เกิดความสมดุล



วิธีทำ ที่ขา ACD ทางซ้ายมือ

$$V_C = V_{in} \cdot \frac{R_2}{(R_1 + R_2)}$$

แทนค่า  $V_C = 12 \text{ V} \cdot \frac{160 \Omega}{100 \Omega + 160 \Omega}$

$$V_C = 12 \text{ V} (0.615)$$

$$V_C = 7.38 \text{ V}$$

ที่ขา ABD ทางขวา มือ

$$V_B = V_{in} \cdot \frac{R_4}{(R_3 + R_4)}$$

แทนค่า  $V_B = 12 \text{ V} \cdot \frac{180 \Omega}{440 \Omega + 180 \Omega}$

$$V_B = 12 \text{ V} (0.29)$$

$$V_B = 3.48 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าคร่อมจุด C และจุด B

$$V_{out} \text{ หรือ } V_{CB} = V_C - V_B$$

$$V_{CB} = 7.38 \text{ V} - 3.48 \text{ V}$$

$$V_{CB} = 3.9 \text{ V}$$

ตอบ

ค่าของตัวต้านทาน  $R_4$  ที่ทำให้วงจรวีตส์โตนบридจ์เกิดความสมดุล หาได้จากสมการที่ (8.10)

$$R_4 = \frac{R_2 R_3}{R_1}$$

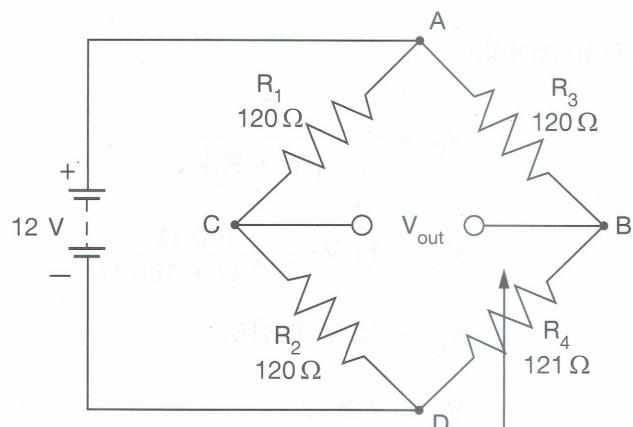
แทนค่า

$$R_4 = \frac{160 \Omega (440 \Omega)}{100 \Omega}$$

$$R_4 = 704 \Omega$$

ตอบ

**ตัวอย่างที่ 8.4** วงจรวีตส์โตนบридจ์ที่สมดุล ดังแสดงในรูปต่อไปนี้ จงหาแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่คร่อมจุด C และจุด B ถ้าค่าของตัวต้านทาน  $R_x$  ของสเตนเกจเปลี่ยนไปเป็น  $121 \Omega$



วิธีทำ ที่ขา ACD ทางซ้ายมือ

$$V_C = V_{in} \cdot \frac{R_2}{(R_1 + R_2)}$$

แทนค่า

$$V_C = 12 \text{ V} \cdot \frac{120 \Omega}{120 \Omega + 120 \Omega}$$

$$V_C = 12 \text{ V} (0.5 \Omega)$$

$$V_C = 6 \text{ V}$$

ที่ขา ABD ทางข้ามมือ แรงดันไฟฟ้าที่ขา A คือ 12 V แรงดันไฟฟ้าที่ขา D คือ 0 V

$$V_B = V_{in} \cdot \frac{R_x}{(R_3 + R_x)}$$

แทนค่า

$$V_B = 12 \text{ V} \cdot \frac{120 \Omega}{120 \Omega + 121 \Omega}$$

$$V_B = 12 \text{ V} (0.502)$$

$$V_B = 6.024 \text{ V}$$

แรงดันไฟฟ้าคร่อมจุด C และจุด B

$$V_{out} \text{ หรือ } V_{CB} = V_C - V_B$$

$$V_{CB} = 6 \text{ V} - 6.024 \text{ V}$$

$$V_{CB} = -0.024 \text{ V}$$

ตอบ

## หมายเหตุ

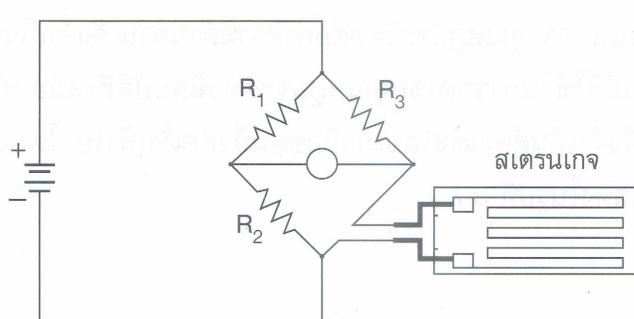
เนื่องจากค่าความต่างศักย์หรือแรงดันไฟฟ้าหรือเอาต์พุตของวงจรวีตสโตรนบริดจ์จะมีค่าน้อยมาก ดังนั้นจึงต้องทำงานร่วมกับวงจรขยายสัญญาณ ซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับทรานสิสเตอร์เซอร์ชันดิตต่างๆ ในอุตสาหกรรม

### 8.1.3 การต่อสเตนเกจในวงจรวีตสโตรนบริดจ์

(Connecting Strain Gauges in Wheatstone Bridge Circuit)

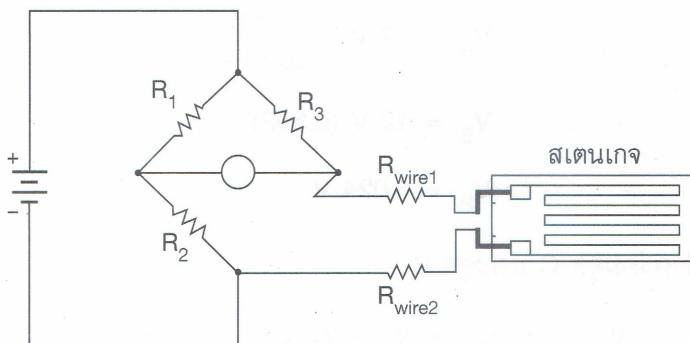
โดยปกติจะต่อใช้งานร่วมกับวงจรบริดจ์ ซึ่งมีการต่อวงจร 3 แบบ ได้แก่

#### 1. การต่อสเตนเกจแบบ Quarter-Bridge



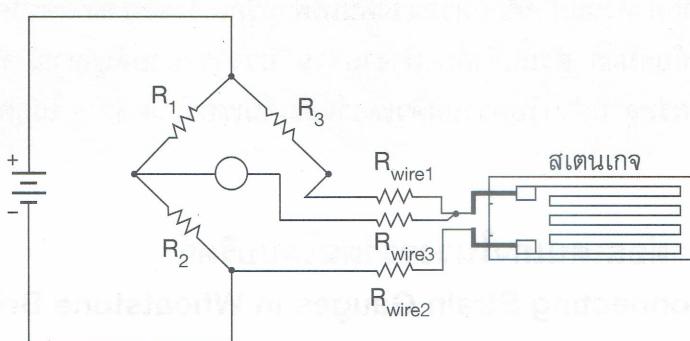
รูปที่ 8.4 วงจรของสเตนเกจแบบ Quarter-Bridge

ในการติดตั้งสเตนเกจที่สายไฟมีระยะทางไกล จะทำให้มีความต้านทานของสายไฟเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ทำให้การอ่านค่าจากสเตนเกจจะได้ค่าที่ไม่ถูกต้อง ดังแสดงในรูปที่ 8.5



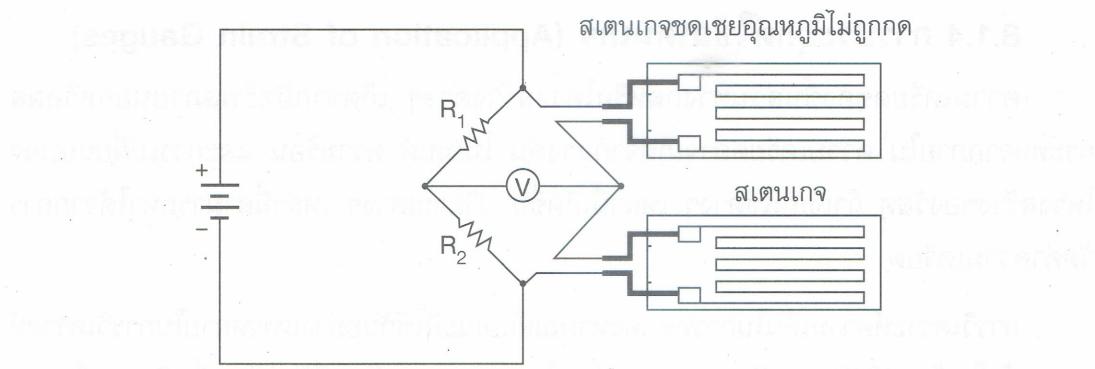
รูปที่ 8.5 วงจรของการติดตั้งสเตนเกจที่สายไฟมีระยะทางไกล

เพื่อการซัดเซย์ผลของสายนำสัญญาณที่มีระยะทางไกล ทำได้โดยใช้วงจรชดเชยสายสัญญาณแบบ 3 สาย ดังแสดงในรูปที่ 8.6



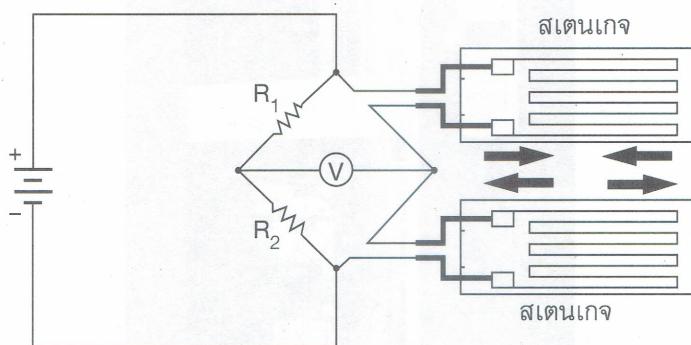
รูปที่ 8.6 วงจรชดเชยสายสัญญาณแบบ 3 สาย

ในการใช้งานสเตนเกจ อุณหภูมิจะมีผลต่อค่าความต้านทาน จึงจำเป็นจะต้องมีการชดเชย อุณหภูมิ ด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ในการชดเชยอุณหภูมิจะต้องมีสมบัติที่เหมือนกับสเตนเกจที่ใช้ในการตรวจวัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สเตนเกจอีกชุดหนึ่งติดตั้งเข้าไป โดยไม่มีผลต่อการตรวจวัดความเครียด ดังแสดงในรูปที่ 8.7



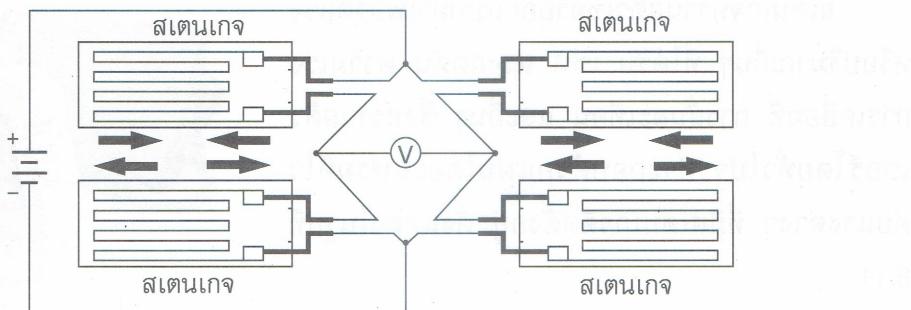
รูปที่ 8.7 วงจรสเตนเกจชดเชยอุณหภูมิไม่ถูกัด

## 2. การต่อสเตนเกจแบบ Half-Bridge



รูปที่ 8.8 วงจรสเตนเกจแบบ Half-Bridge

## 3. การต่อสเตนเกจแบบ Full-Bridge

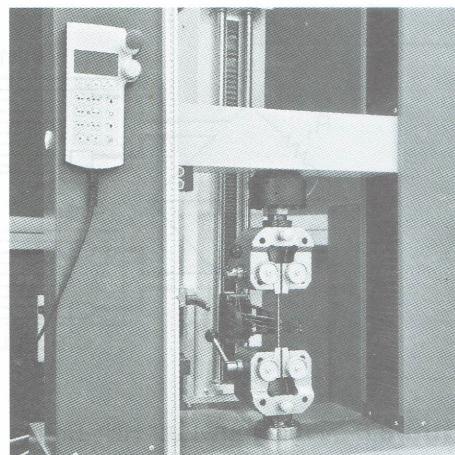


รูปที่ 8.9 วงจรสเตนเกจแบบ Full-Bridge

### 8.1.4 การประยุกต์ใช้สแตนเกจ (Application of Strain Gauges)

ความเครียดของชิ้นส่วนทางกลหรือโครงสร้างต่างๆ เกิดจากอิทธิพลภายนอกหรือผลกระทบจากภายใน ความเครียดอาจเกิดจากแรงดัน โมเมนต์ ความร้อน และการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของวัสดุ ถ้าเงื่อนไขต่างๆ เหล่านี้เกิดขึ้น ปริมาณต่างๆ เหล่านี้สามารถหาได้จากการวัดค่าความเครียด

การวิเคราะห์ความเด่นในการทดลองหาคุณลักษณะนี้ใช้กันอย่างแพร่หลายในการวิเคราะห์ความเด่นในห้องปฏิบัติการหรือสภาพงานจริง โดยค่าความเครียดที่วัดได้บนพื้นผิวของชิ้นงานทดสอบหรือส่วนที่เป็นโครงสร้าง จะใช้หาสถานะของความเด่นในวัสดุ เพื่อคาดการณ์ความปลอดภัยและความทนทานของชิ้นงานทดสอบหรือส่วนที่เป็นโครงสร้าง ดังแสดงในรูปที่ 8.10



รูปที่ 8.10 เครื่องทดสอบแรงดึงใช้สแตนเกจเป็นเซ็นเซอร์รับแรงดึง

สแตนเกจทราบสติวเชอร์ออกแบบมาเพื่อวัดแรงหรือปริมาณอื่นๆ ที่ได้รับ เช่น แรงกดดัน ความเร่ง การเคลื่อนที่ การสั่นสะเทือน และอื่นๆ ชิ้นงานสติวเชอร์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยแผ่นไอดิโอแฟร์มที่ไวต่อแรงต่างๆ ที่มีสแตนเกจติดตั้งอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 8.11



รูปที่ 8.11 เครื่องวัดความดันใช้สแตนเกจเป็นเซ็นเซอร์รับแรงกด

ถ้าพิจารณาความต้านทาน เช็นเซอร์อุตสาหกรรมส่วนใหญ่ เช่น อุณหภูมิ ความเครียด ความชื้น การขัด ระดับของเหลว ฯลฯ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของ เช็นเซอร์ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวงจรปรับแต่งสัญญาณสำหรับเช็นเซอร์แบบความต้านทานทุกชนิด

### 8.1.5 ข้อดีและข้อเสียของสเตนเกจ

#### ข้อดี คือ

1. สเตนเกจมีหลายรูปแบบและมีขนาดเล็ก
2. สเตนเกจมีราคาไม่แพง สามารถซื้อหาได้
3. สเตนเกจมีความแม่นยำสูงในการวัด
4. สเตนเกจไม่มีส่วนใดที่เคลื่อนที่
5. สเตนเกจใช้งานง่าย สามารถใช้กับพื้นผิวกลมหรือหักพื้นผิวที่ไม่ราบเรียบภายในหรือภายนอกท่อ

#### ข้อเสีย คือ

1. สเตนเกจติดตั้งยากและต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญ
2. สเตนเกจเมื่อติดตั้งแล้วจะไม่สามารถถอดออกหรือนำมายึดใหม่ได้
3. สเตนเกจให้สัญญาณเอาต์พุตต่ำมาก
4. สเตนเกจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับอุณหภูมิการทำงาน
5. สเตนเกจมีข้อจำกัดด้านความล้า

## 8.2 โหลดเซล (Load Cell)

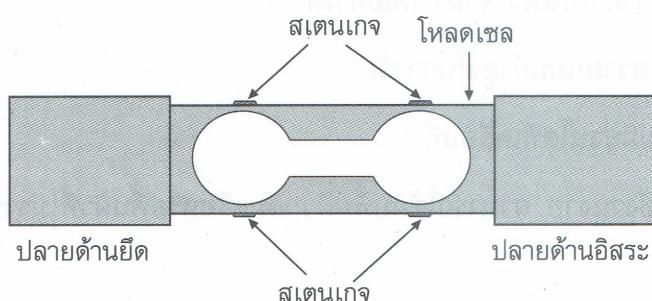
โหลดเซล (Load Cell) คือทرانสิเดิวเซอร์ที่ใช้เปลี่ยนแรงที่กระทำ เช่น แรงดึง แรงกด แรงเฉือน และการดัด ฯลฯ ไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า โหลดเซล ได้แก่

### 8.2.1 สเตนเกจโหลดเซล (Strain Gauge Load Cell)

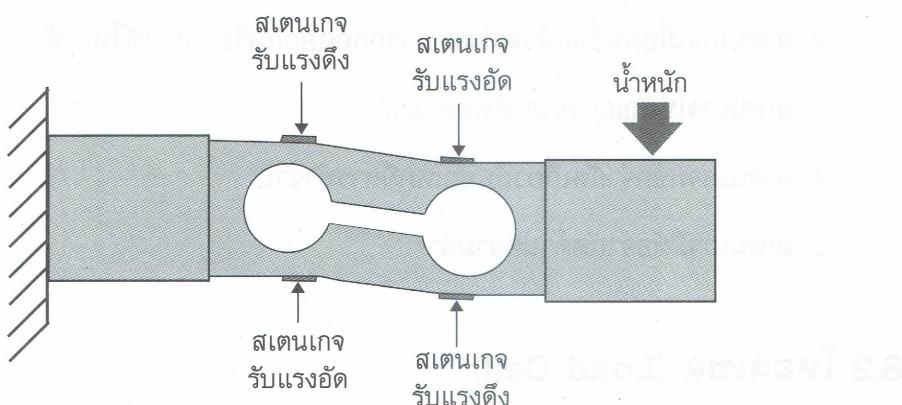
หนึ่งในการประยุกต์ใช้งานที่สำคัญของโหลดเซลคือ การนำสเตนเกจมาติดตั้งบนแท่งโลหะ และนำแท่งโลหะนี้ไปใช้ในการตรวจวัดแรงหรือน้ำหนัก สเตนเกจโหลดเซลคือ ทرانสิเดิวเซอร์แบบแอนอล็อกที่นิยมใช้งานมากที่สุดในการวัดแรงหรือน้ำหนักใช้แปลงแรงที่

กระทำบันตัวไปเป็นลักษณะทางไฟฟ้า สเตนเกจโหลดเซลใช้วัดแรงแบบลิฟต์หรือแบบคงที่ไม่สามารถตรวจวัดแรงแบบพลวัตที่มีความถี่สูง

สเตนเกจโหลดจะติดตั้งสเตนเกจจำนวน 4 ตัวในรูปของวงจรวิดสโตร์บริดจ์ เพื่อให้มีความไวในการวัดสูงสุดและชดเชยอุณหภูมิ โดยสเตนเกจ 2 ตัวจะรับแรงดึง และสเตนเกจอีก 2 ตัวจะรับแรงอัด ซึ่งโหลดเซลอาจจะติดตั้งสเตนเกจในวงจรบริดจ์เพียง 1 ตัว (Quarter Bridge) หรืออาจติดตั้งสเตนเกจ 2 ตัว (Half-Bridge) ในวงจรบริดจ์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 8.12 และรูปที่ 8.13



รูปที่ 8.12 สเตนเกจโหลดเซลแบบคานปลายยื่น

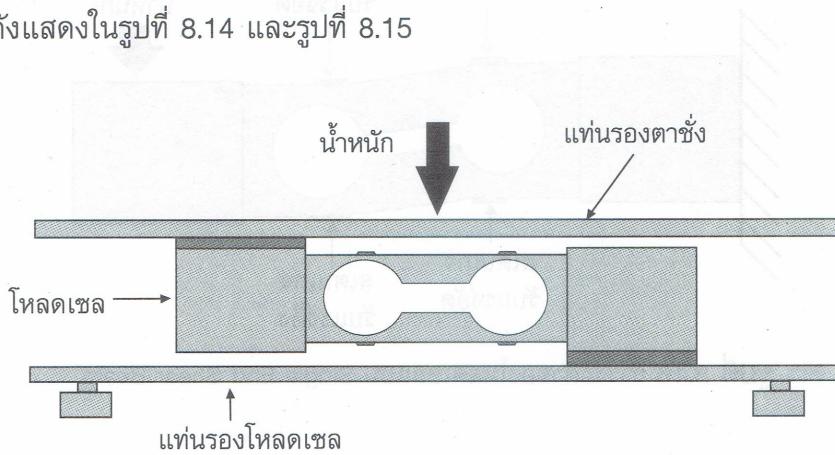


รูปที่ 8.13 การทำงานของสเตนเกจโหลดเซลเมื่อรับแรงกด

## 8.2.2 ชนิดของสเตนเกจโหลดเซลล์ (Type of Strain Gauge Load Cell)

สเตนเกจโหลดเซลล์แบ่งออกเป็นแบบต่างๆ ตามรูปร่วงและการใช้งาน ได้แก่

**1. โหลดเซลล์แบบรับน้ำหนักจุดเดียว (Single Point Load Cell)** โหลดเซลล์แบบรับน้ำหนักจุดเดียวเป็นโหลดเซลล์ที่มีการใช้งานมากที่สุดทั่วโลก เป็นหัวใจของเครื่องชั้งตั้งโต๊ะขนาดเล็ก (Bench-Top Scales) เครื่องชั้งแบบตั้งพื้น (Platform Scales) และการใช้งานชั้งอื่นๆ อีกมากมาย โหลดเซลล์แบบรับน้ำหนักจุดเดียวใช้หลักการดัดเป็นหลักของการวัด และเป็นโหลดเซลล์ที่ต่างจากโหลดเซลล์ชนิดอื่นๆ คือ เมื่อยืดโหลดเซลล์เข้าที่จุดศูนย์กลางของเครื่องชั้ง จะสามารถชั่งน้ำหนัก ณ ตำแหน่งใดๆ ก็ได้บนเครื่องชั้งได้อย่างแม่นยำ โดยไม่จำเป็นต้องวางในตำแหน่งกึ่งกลางของเครื่องชั้ง โหลดเซลล์แบบนี้ปกติใช้ในการวัดน้ำหนักตั้งแต่ 1 กิโลกรัม จนถึง 1,000 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 8.14 และรูปที่ 8.15

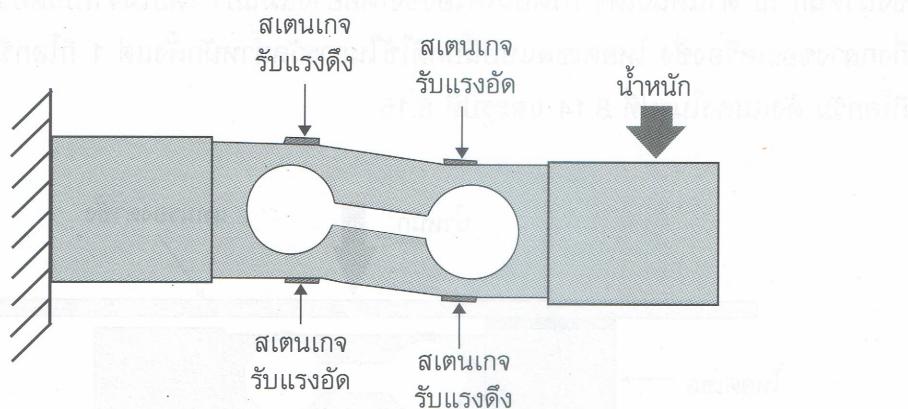


รูปที่ 8.14 การติดตั้งโหลดเซลล์แบบรับน้ำหนักจุดเดียว

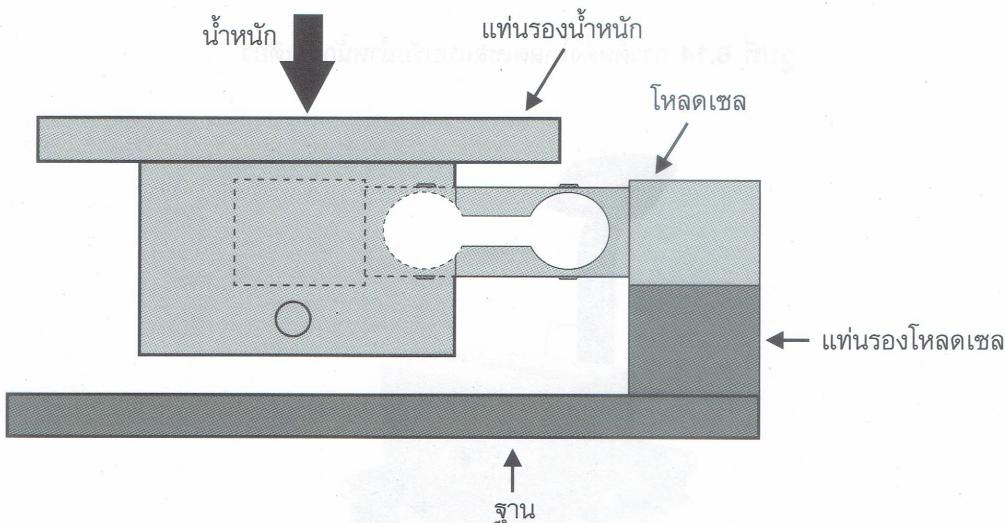


รูปที่ 8.15 เครื่องชั้งแบบตั้งพื้น ใช้โหลดเซลล์แบบรับน้ำหนักจุดเดียว

**2. โอลดเชลแบบ Single End Shear Beam** โอลดเชลแบบนี้หมายความว่าสำหรับงานซึ้งน้ำหนักถังบรรจุ ถังทรงกรวย และถายพานลำเลียงขนาดกลางและขนาดใหญ่ โอลดเชลแบบนี้จะติดตั้งโดยยึดปลายด้านหนึ่งเข้ากับฐาน และแรงจะถูกกดที่ปลายอีกข้างหนึ่ง โดยการติดตั้งแท่นรองรับน้ำหนักเข้ากับปลายด้านนี้ แล้วนำถังที่จะวัดน้ำหนักวางลงบนแท่น ซึ่งจะทำให้โอลดเชลคงอตัว การเมื่อเป็นหลักการวัดที่ต้านต่อแรงด้านข้างได้ดี และมีความไวมาก ต่อการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งในการวัดน้ำหนัก โอลดเชลแบบนี้เกิดใช้ในการวัดน้ำหนักตั้งแต่ 300 กิโลกรัม จนถึง 5,000 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 8.16 และรูปที่ 8.17

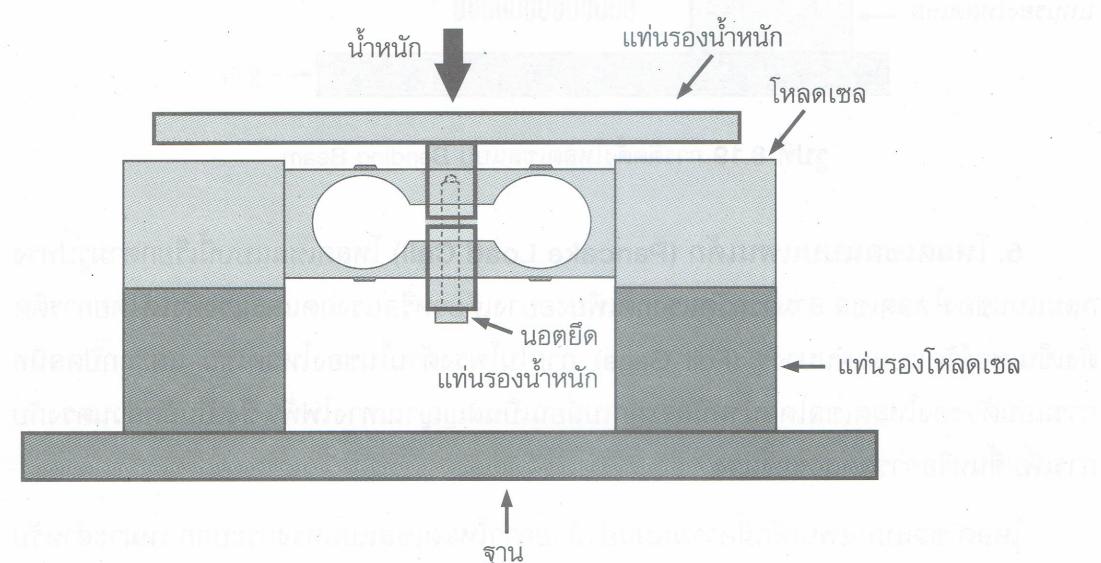


รูปที่ 8.16 การอตัวของโอลดเชลแบบ Single End Shear Beam



รูปที่ 8.17 การติดตั้งโอลดเชลแบบ Single End Shear Beam

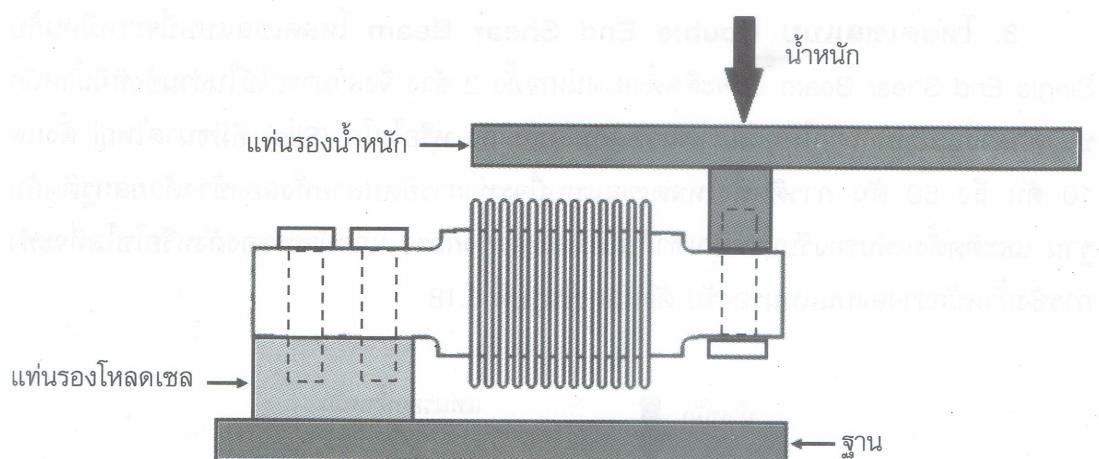
**3. โอลดเชลแบบ Double End Shear Beam** โอลดเชลแบบนี้จะเหมือนกับ Single End Shear Beam แต่จะติดตั้งสเตนเกจทั้ง 2 ข้าง จึงสามารถใช้ในงานซึ่งที่มีน้ำหนักขนาดกลางและหนักมากในทุกสภาพแวดล้อม เช่น ถัง หรือไซโล (Silo) ที่มีขนาดใหญ่ ตั้งแต่ 10 ตัน ถึง 50 ตัน การติดตั้งโอลดเชลแบบนี้จะทำการยืดปลายทั้งสองข้างด้วยสกรูติดกับฐาน และติดตั้งแท่นรองรับน้ำหนักเข้ากับโอลดเชลตรงกลาง เหล่าน้ำหนักของถังหรือไซโลที่จะทำการซึ่งน้ำหนักวางแผนแน่นรองรับ ดังแสดงในรูปที่ 8.18



รูปที่ 8.18 การติดตั้งโอลดเชลแบบ Double End Shear Beam

**4. โอลดเชลแบบ Bending Beam** โอลดเชลแบบนี้เป็นหนึ่งในโอลดเชลที่นิยมใช้งานมากที่สุดในการซึ่งน้ำหนักเชิงพาณิชย์ ส่วนประกอบหลักของโอลดเชลแบบนี้คือ ชิ้นส่วนสปริงโลหะที่มีลักษณะเป็นแบบลูกฟูกยึดหยุ่น เมื่อมีแรงกระทำจะงอตัวเลี้ยวไปตามโอลดและเมื่อไม่มีโหลด ชิ้นส่วนสปริงจะกลับไปสู่รูปเดิม การเปลี่ยนรูปร่างหรือความเครียดนี้ถูกตรวจวัดโดยสเตนเกจที่ติดตั้งบนชิ้นส่วนสปริงและเปลี่ยนเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า

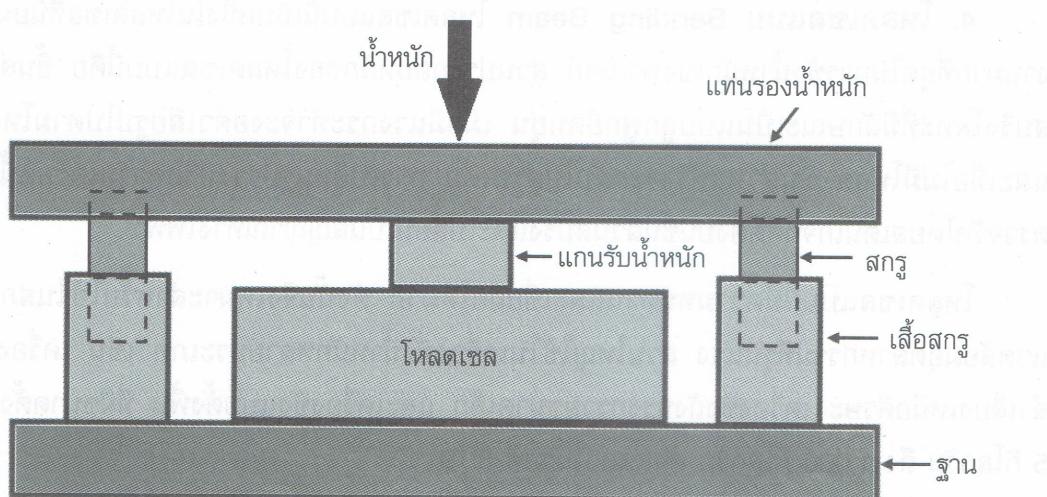
โอลดเชลแบบนี้มีความทนทานและเชื่อถือได้มาก ดังนั้นจึงเหมาะสมสำหรับใช้ในสภาพแวดล้อมอุตสาหกรรมที่รุนแรง ส่วนใหญ่ใช้ในเครื่องซึ่งน้ำหนักหลายประเภท เช่น เครื่องซึ่งลามเลียงเนื้อคีรีชะ เครื่องซึ่งถังทรงกรวยขนาดเล็ก และเครื่องซึ่งแบบตั้งพื้น ที่มีขนาดตั้งแต่ 5 กิโลกรัม ถึง 1,000 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 8.19



รูปที่ 8.19 การติดตั้งโหลดเซลล์แบบ Bending Beam

**5. โหลดเซลล์แบบแพนเค้ก (Pancake Load Cell)** โหลดเซลล์แบบนี้เรียกตามรูปทรงกลมแบนของโหลดเซลล์ สามารถวัดแรงกดเพียงอย่างเดียวหรือแรงกดและแรงดึงได้โดยการติดตั้งเซ็นเซอร์วัดแบบแผ่นบางๆ (Foil Gage) ภายในโครงสร้างในของโหลดเซลล์ และถูกปิดสนิท การเอ่นตัวของโหลดเซลล์โดยน้ำหนักจะถูกเปลี่ยนเป็นลักษณะทางไฟฟ้า ซึ่งเป็นสัดส่วนตรงกับการเพิ่มขึ้นหรือการลดลงของแรง

โหลดเซลล์แบบแพนเค้กมีความแม่นยำอยกว่าโหลดเซลล์แบบทรงกระบอก เนื่องจากไม่ต้องการซึ้งน้ำหนักในการทดสอบ ใช้โลหะหรือภาชนะความดันรูปทรงกระบอก และการที่โหลดเซลล์แบบแพนเค้กมีรูปทรงกลมแบน ทำให้ติดตั้งได้ง่ายขึ้น และมีช่องว่างต่ำ ใช้ส่วนอุปกรณ์น้อยกว่าโหลดเซลล์แบบทรงกระบอก ส่วนใหญ่ใช้ในการซึ้งน้ำหนักตั้งแต่ 5 ตัน ถึง 750 ตัน ดังแสดงในรูปที่ 8.20



รูปที่ 8.20 การติดตั้งโหลดเซลล์แบบแพนเค้ก

**6. โหลดเซลล์แบบทรงกระบอก (Canister Load Cell)** โหลดเซลล์แบบนี้ถูกปิดผนึกสนิทเพื่อป้องกันสเตนเกจ มีความยาวพอสำหรับส่วนตัดขวาง เพื่อให้มีพื้นที่ความเครียดสม่ำเสมอ โหลดเซลล์แบบนี้ไม่เป็นเชิงเส้นขณะเปลี่ยนรูปเมื่อรับแรงกดจากโหลดความไม่เป็นเชิงเส้นนี้ได้รับการซัดเซย์ด้วยตัววัดเซมิคอนดักเตอร์ อย่างไรก็ตาม โหลดเซลล์แบบทรงกระบอกมีความไวต่อแรงกระแทกมาก มีความแม่นยำสูงในการวัด ดังนั้นจึงนิยมใช้ในการชั่งน้ำหนักรถบรรทุก และเครื่องชั่งภาชนะความดันรูปทรงกระบอกที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 5 ตัน ถึง 200 ตัน ดังแสดงในรูปที่ 8.21 และรูปที่ 8.22

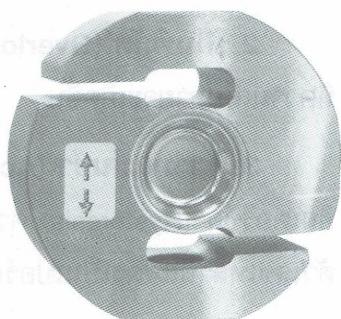


รูปที่ 8.21 โหลดเซลล์แบบทรงกระบอก



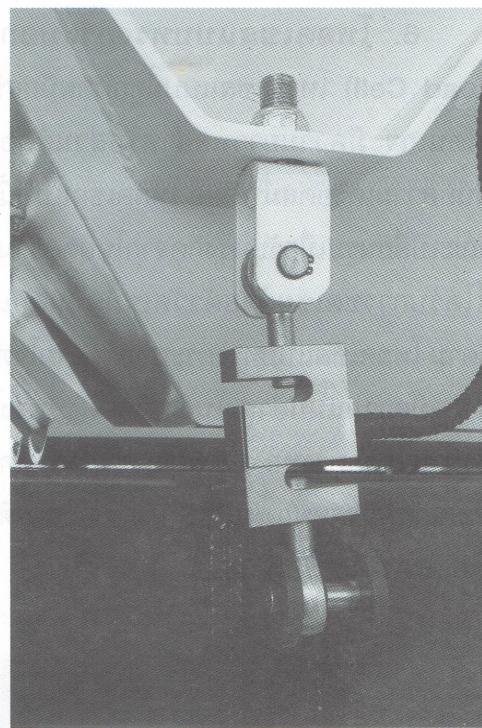
รูปที่ 8.22 โหลดเซลล์แบบทรงกระบอก ใช้ในการชั่งน้ำหนักรถบรรทุก

**7. โหลดเซลล์แบบรูปตัว S (S-beam Load Cell)** โหลดเซลล์แบบนี้มีชื่อเรียกตามตัวอักษร S นิยมใช้ในการวัดแรงดึง แต่ก็สามารถใช้ในการวัดแรงอัด โหลดเซลล์แบบรูปตัว S ใช้การตัดหรือการเฉือนเป็นหลักของการวัด ใช้สำหรับการชั่งน้ำหนักของเครื่องชั่งภาชนะความดันรูปทรงกระบอก เครื่องทดสอบแรงดึง เครื่องวัดแรงบิด และอื่นๆ ที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 25 กิโลกรัม ถึง 5,000 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 8.23



รูปที่ 8.23 โหลดเซลล์แบบรูปตัว S

ในการใช้งานจะติดตั้งโหลดเซลแบบรูปตัว S เช้ากับชิ้นส่วนของโครงสร้าง โดยการแขวนวัตถุที่ต้องการซึ่งที่ด้านล่าง โดยต้องจัดให้แรงกระทำอยู่ในแนวตั้งจาก และให้ผ่านจุดศูนย์กลางของโหลดเซล เพื่อให้แน่ใจว่าจะอยู่ในแนวตั้งกล่าว ผู้ใช้งานส่วนใหญ่จะใช้หมุดยึดรูปตัว Y และลักษณะเป็นยึดเช้ากับโหลดเซล เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ที่อาจทำให้เกิดการจัดตำแหน่งผิดพลาด ซึ่งเมื่อโหลดเซลได้รับแรงหรือน้ำหนักจะเกิดการเปลี่ยนรูปของสเตนเกจ การเปลี่ยนรูปหรือความเครียดนี้จะทำให้สเตนเกจเปลี่ยนค่าความต้านทานเป็นสัดส่วนตรงกับแรงกระทำ และแปลงไปเป็นสัญญาณเอาต์พุตทางไฟฟ้าที่มีค่าน้อยมาก คือเป็นมิลลิโวลต์ จึงต้องนำสัญญาณเอาต์พุตนี้ไปขยายสัญญาณในอุปกรณ์ขยายสัญญาณก่อนนำไปแสดงผล ดังแสดงในรูปที่ 8.24



รูปที่ 8.24 การติดตั้งโหลดเซลแบบรูปตัว S

### 8.2.3 ข้อมูลจำเพาะของโหลดเซล (Specifications of Load Cell)

ข้อมูลจำเพาะของโหลดเซล หรือแผ่นข้อมูล (Data Sheet) จะให้ข้อมูลที่สำคัญเกี่ยวกับโหลดเซล ได้แก่

**1. ปริมาณสูงสุดที่จะรับได้ (Capacity)** คือปริมาณที่โหลดเซลจะสามารถรับน้ำหนักได้สูงสุด

**2. เกินพิกัด (Overload)** คือเบอร์เซ็นต์สูงสุดของน้ำหนักที่โหลดเซลสามารถรับได้ก่อนที่ความเสียหายจะเกิดขึ้น

**3. ความแม่นยำ (Accuracy)** คือการแสดงถึงความหมายของคำว่า ความเป็นเล้นตรง อีสเตอเรชีส (Hysteresis) ความสามารถในการวัดซ้ำได้ (Repeatability) และการคีบ (Creep) ตัวเลขเหล่านี้แสดงเป็นเบอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่จะรับได้โดยรวมของโหลดเซล

**4. ความไวต่อความร้อน (Thermal Sensitivity)** คือการบอกให้ทราบว่า เอาร์พุตจะเปลี่ยนไปเท่าไร เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ โดยปกติจะแสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาณสูงสุดที่โอลด์เชลจะรับได้ต่อองศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ )

**5. ความไว (Sensitivity)** ความไวของโอลด์เชลคือ การหาค่าแรงดันไฟฟ้าเอาร์พุต จริงที่เกิดขึ้นเมื่อใส่โอลด์เติมพิกัดให้กับโอลด์เชล ตัวเลขนี้จะแสดงความสัมพันธ์ของการวัด เป็นค่าเอาร์พุต/อินพุต ในหน่วย mV/V

โอลด์เชลจะมีอินพุตอยู่ระหว่าง 3 ถึง 15 VDC (โดยทั่วไปจะอยู่ที่ 10 VDC) สัญญาณเอาร์พุตของโอลด์เชลจะขึ้นอยู่กับโอลด์เชลเอง ซึ่งปกติอยู่ในช่วง 0 ถึง 50 mV

สัญญาณเอาร์พุตของโอลด์เชลจะแสดงเป็นมิลลิโวลต์ต่อโวลต์ (mV/V) หมายความว่า อินพุตทุกๆ 1 V ที่จ่ายให้กับโอลด์เชล จะได้เอาร์พุตเป็น mV ของปริมาณสูงสุดที่โอลด์เชลจะรับได้ (Full Scale) เรียกว่า ความไวของโอลด์เชล โดยทั่วไปช่วงความไวของโอลด์เชลจะอยู่ที่ 2 mV/V

**ตัวอย่างที่ 8.5** จงหาเอาร์พุตของโอลด์เชลตัวหนึ่ง รับน้ำหนักได้สูงสุด 5 kg มีความไว 2 mV/V มีอินพุต 10 VDC

$$\underline{\text{วิธีทำ}} \text{ โอลด์เชลรับน้ำหนักได้สูงสุด } 5 \text{ kg } \text{ จะได้เอาร์พุต } = 2 \text{ mV/V} \times 10 \text{ V} = 20 \text{ mV}$$

$$\text{และถ้าโอลด์เชลรับน้ำหนัก } 1 \text{ kg } \text{ จะได้เอาร์พุต } = \frac{2 \text{ mV/V} \times 10 \text{ V}}{5 \text{ kg}} \\ = 4 \text{ mV/kg}$$

ตอบ

**ตัวอย่างที่ 8.6** จงหาเอาร์พุตของโอลด์เชลตัวหนึ่ง รับน้ำหนักได้สูงสุด 6 kg มีความไว 2 mV/V มีอินพุต 5 VDC

$$\underline{\text{วิธีทำ}} \text{ โอลด์เชลรับน้ำหนักได้สูงสุด } 6 \text{ kg } \text{ จะได้เอาร์พุต } = 2 \text{ mV/V} \times 5 \text{ V} = 10 \text{ mV}$$

$$\text{และถ้าโอลด์เชลรับน้ำหนัก } 1 \text{ kg } \text{ จะได้เอาร์พุต } = \frac{2 \text{ mV/V} \times 5 \text{ V}}{6 \text{ kg}} \\ = 1.666 \text{ mV/kg}$$

ตอบ