

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

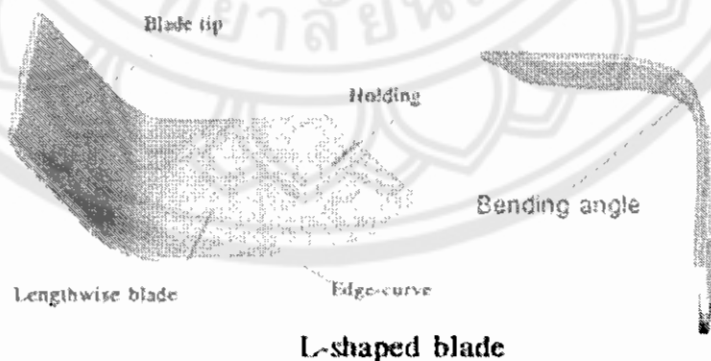
2.1 ไบมีดจอบหมุนพรวนดิน

เครื่องพรวนจอบหมุน (Rotary tiller) เป็นเครื่องจักรกลเกษตรที่ใช้ในการพรวนดิน สามารถพลิกหน้าดินและย่อยดินได้ในการพรวนเพียงครั้งเดียว ทำงานโดยอาศัยกำลังจากเครื่องยนต์ ส่งผ่านเพลลาอำนาจกำลังของรถไถเดินตามหรือรถแทรกเตอร์ กำลังเครื่องยนต์ 85 - 90% ถูกใช้ในการขับเคลื่อนไบมีดขณะพรวนดิน ขนาดของแรงที่กระทำกับไบมีดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ลักษณะรูปร่างของไบมีด (Blade shape) ระยะตัดดิน (Bite length) การจัดเรียงไบมีด ความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์หรือรถไถเดินตาม ความเร็วรอบหมุนของเพลลาไบมีด ความกว้างและความลึกในการพรวนดินรวมถึงคุณสมบัติของดิน และความหนาแน่นวัชพืชที่ปกคลุมดินเป็นต้น

2.1.1 ลักษณะไบมีด

1. ไบมีดชนิดตัวแอล

ไบมีดชนิดนี้มีความหนาเท่ากันตลอด มีขนาดใหญ่กว่าไบมีดชนิดอื่น ส่วนขอบคมตัดของส่วนตรงจะเป็นแนวเส้นตรง และส่วนดัดปลายทำมุมกับส่วนตรงประมาณ 95 องศา ซึ่งส่วนขอบคมเป็นแนวตรงเช่นกัน ดังรูปที่ 2.1

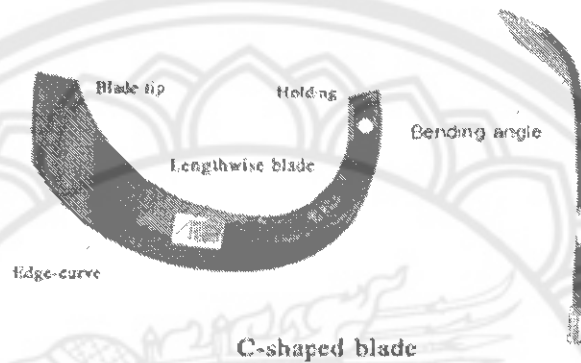


รูปที่ 2.1 ลักษณะของไบมีดชนิดตัวแอล

ที่มา : การออกแบบไบมีดพรวนดินสำหรับอุตสาหกรรมภายในประเทศ , 2546

2. ใบมีดชนิดตัวซี

ใบมีดชนิดตัวซีมีรูปร่างที่ซับซ้อน มีความหนาที่ค้ำจับยึด และความหนาที่น้อยที่สุดที่ส่วนปลายใบส่วนขอบคมตัดของส่วนตรงและส่วนปลายเป็นแนวโค้งมีมุมการตัดปลายประมาณ 130 องศา ความกว้างในการพรวนของใบมีดตัวซีจะน้อยกว่าใบมีดตัวแอล ดังรูปที่ 2.2

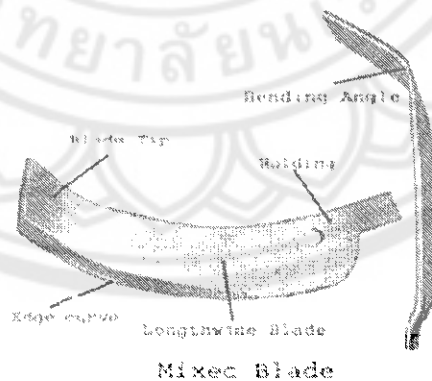


รูปที่ 2.2 ลักษณะของใบมีดแบบผสม

ที่มา : การออกแบบใบมีดพรวนดินสำหรับอุตสาหกรรมภายในประเทศ , 2546

3. ใบมีดแบบผสม

ใบมีดชนิดนี้มีความหนาเท่ากันตลอดเช่นเดียวกับใบมีดชนิดตัวแอลแต่มีขอบคมตัดของส่วนตรงและส่วนตัดปลายของใบมีดเป็นแนวโค้ง โดยที่มุมการตัดจะน้อยกว่าใบมีดตัวแอลดังรูปที่ 2.3

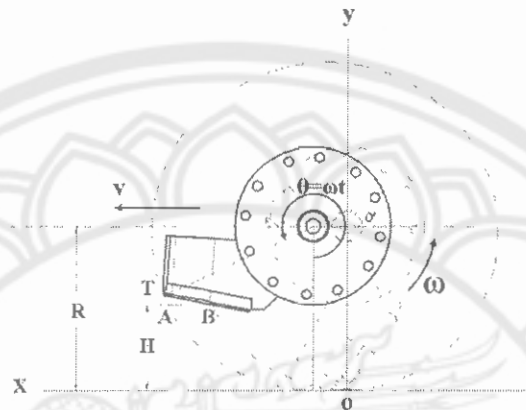


รูปที่ 2.3 ลักษณะของใบมีดแบบผสม

ที่มา : การออกแบบใบมีดพรวนดินสำหรับอุตสาหกรรมภายในประเทศ , 2546

2.1.2 การเคลื่อนที่ของใบมีดจอบหมุน (Motion of rotary blades)

เมื่อเครื่องพรวนจอบหมุนทำงาน เพลลาใบมีดจะหมุนตัดดินพร้อมกับเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ทำให้ใบมีดที่ติดอยู่บนเพลลาใบมีดเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง (Locus curve) ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นโค้งโทรคอยด์ (Trochoid curve)



รูปที่ 2.4 ลักษณะการเคลื่อนที่ของใบมีด

ที่มา : การทดลองเชิงพลศาสตร์เพื่อหาแรงลัพท์ของใบมีดจอบหมุน , 2546

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษา มีดังนี้

R คือ รัศมีของใบมีด (เมตร)

V คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของเพลลาใบมีด (เมตรต่อวินาที)

ω คือ ความเร็วเชิงมุมของเพลลาใบมีด (เรเดียนต่อวินาที)

t คือ เวลา (วินาที)

$\omega t = \theta$ คือ ค่ามุมที่ใบมีดหมุนไปในช่วงเวลา t

โดยทั่วไปความเร็วรอบหมุนของเพลลาใบมีดสามารถหาได้จากสมการที่ 2.1

$$\omega = \frac{n\pi}{30} \dots\dots\dots (2.1)$$

เมื่อ n คือ ความเร็วรอบหมุนของเพลลาใบมีด (รอบต่อนาที)

2.1.3 ระยะตัดดิน (Tillage pitch, P)

ระยะตัดดิน คือระยะห่างที่ไถมีดหมุนตัดดิน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2

$$P = \frac{60V}{Z\xi} \dots\dots\dots (2.2)$$

เมื่อ Z คือ จำนวนไถมีดบนหนึ่งระนาบของเพลลาไถมีด

ξ คือ อัตราส่วนระหว่างความเร็วรอบหมุนต่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของเพลลา ไถมีด

$$\text{โดย } \xi = \frac{n}{V}$$

2.1.4 การหาค่ามุมของไถมีด

$$\sin \theta = \frac{l-d}{l}$$

$$\therefore \theta = \sin^{-1}\left(\frac{l-d}{l}\right)$$

โดยที่ l = ระยะจากจุดหมุนถึงเพลลาไถมีด

d = ระยะความลึกของไถมีดในกระบะทราย

จะได้ค่ามุม(θ) ดังนี้

ไถมีดแบบตัวแอล(L-Balde)

ความลึก 5 เซนติเมตร ($\theta = 57-122.99$ องศา)

ความลึก 7 เซนติเมตร ($\theta = 50.73-129.27$ องศา)

ความลึก 9 เซนติเมตร ($\theta = 45.26-134.79$ องศา)

ไถมีดแบบผสม(Mixed-Blade)

ความลึก 5 เซนติเมตร ($\theta = 60.668-119.332$ องศา)

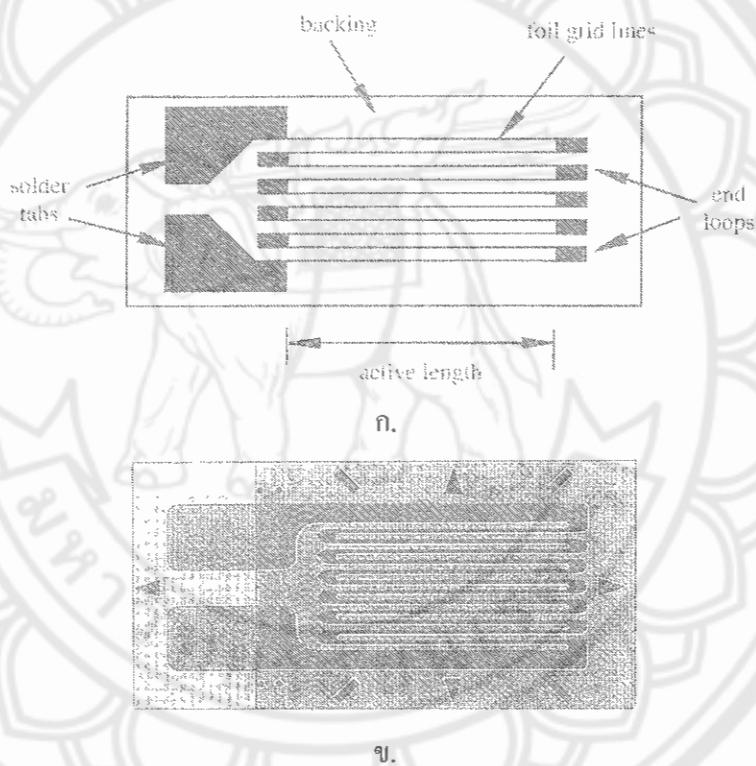
ความลึก 7 เซนติเมตร ($\theta = 55.14-124.86$ องศา)

ความลึก 9 เซนติเมตร ($\theta = 50.28-129.72$ องศา)

2.2 สเตรนเกจ เครื่องมือวัดแรงและโมเมนต์

2.2.1 สเตรนเกจ

สเตรนเกจมี ลักษณะเป็นลวดโลหะ แผ่นโลหะ หรือแผ่นที่ทำจากสารตัวนำ วางติดอยู่บนกระดาษหรือสารฟีนอลิก (Phenolic) ดังรูปที่ 2.5 สเตรนเกจเป็นอุปกรณ์วัดการเปลี่ยนรูปร่างหรือความเครียดที่เกิดขึ้น ความต้านทานไฟฟ้าของลวดโลหะจะเปลี่ยนแปลงไปตามการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสเตรนเกจ ดังนั้น เมื่อต้องการวัดความเครียดที่จุดใดบนชิ้นส่วนของโครงสร้าง ก็นำสเตรนเกจมาติดที่จุดนั้น โดยพยายามให้แกนของสเตรนเกจอยู่ในทิศทางของความเครียดหลัก (Principle strain) ซึ่งเป็นทิศทางที่ทำให้เกิดความเครียดสูงสุด

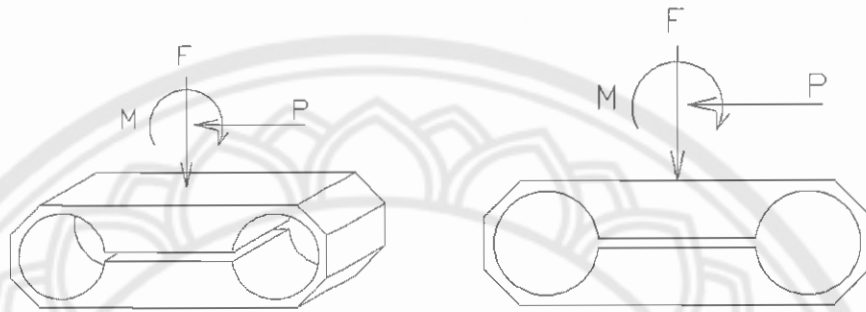


รูปที่ 2.5 สเตรนเกจที่มีโครงสร้างเป็นโลหะ schematic (ก.) และ actual (ข.)

ที่มา : Introduction to Mechatronics and Measurement systems , 2003.

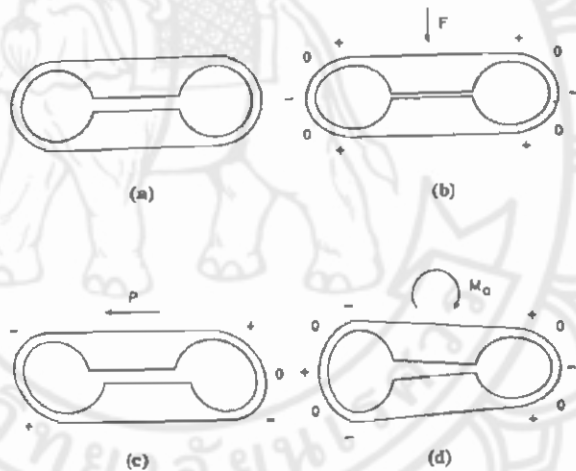
2.2.2 ลักษณะของ Extended Octagonal Ring Transducer (EOR)

Extended Octagonal Ring Transducer หรือ EOR เป็นทรานสดิวเซอร์ที่ใช้ในการวัดแรง 2 แรงที่ตั้งฉากกัน และโมเมนต์ที่กระทำบนระนาบของแรงคู่นั้น รูปร่างของ EOR มีลักษณะเป็นรูปแปดเหลี่ยมสองด้านขยาย ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ลักษณะของ EOR

ที่มา : แรงต้านทานลัทธิที่กระทำกับไบมีคจอบหมุนชนิดตัวแอล , 2539.



รูปที่ 2.7 ลักษณะการเสียรูปของ EOR เนื่องจากแรง และ โมเมนต์

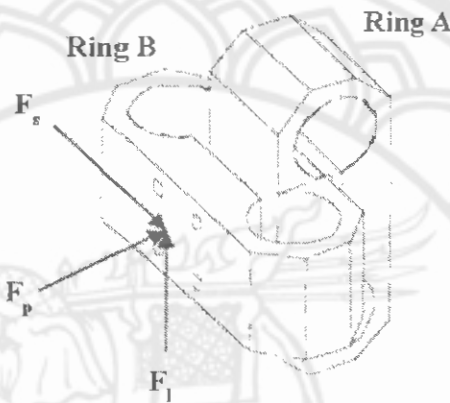
ที่มา : แรงต้านทานลัทธิที่กระทำกับไบมีคจอบหมุนชนิดตัวแอล , 2539.

- โดยที่ 0 หมายถึง ตำแหน่งที่ไม่เกิดการยืดตัวหรือหดตัว
 + หมายถึง ตำแหน่งที่มีความเครียดเป็นบวก (เกิดการยืดตัว)
 - หมายถึง ตำแหน่งที่มีความเครียดเป็นลบ (เกิดการหดตัว)

2.2.3 ลักษณะของ Double Extended Octagonal Ring (DEOR)

DEOR มีลักษณะเป็นรูปแปดเหลี่ยมสองด้านขยาย วางซ้อนกันในทิศทางตั้งฉากกัน โดยทั่วไปมักทำจากเหล็ก ดังแสดงในรูปที่ 2.8

DEOR เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดแรงด้านที่มากกระทำ โดย DEOR สามารถวัดแรงด้านได้ 3 ทาง ซึ่งตั้งฉากกัน (แรงกด F_p , แรงเฉือน F_t และแรงกระทำด้านข้าง F_s ที่กระทำกับ DEOR)

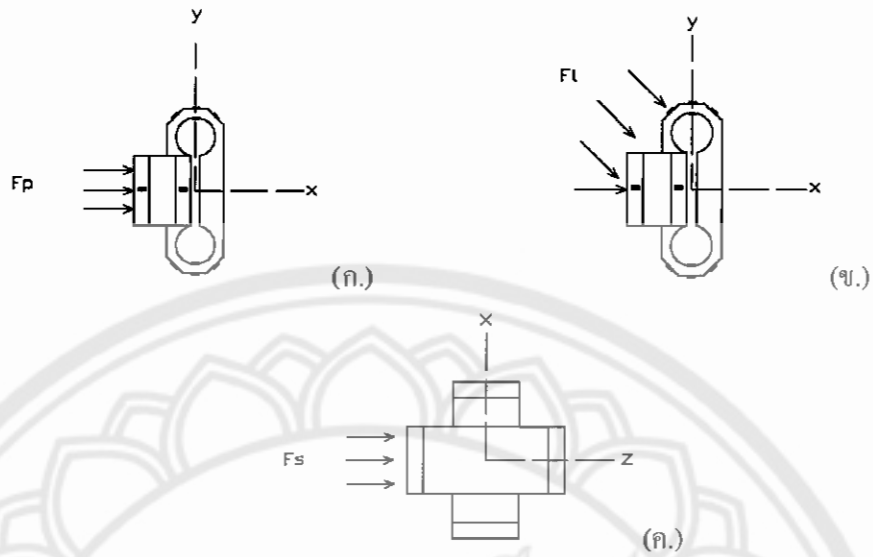


รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของ Double Extended Octagonal Ring (DEOR)

ที่มา : Development of data acquisition system for measuring the characteristics of real time forces by cage wheels , 2001.

1. การติดตั้ง สเตรนเกจ บน DEOR และการตรวจสอบ

การติดสเตรนเกจเพื่อวัดแรงต้องติดสเตรนเกจที่ตำแหน่ง Strain node ซึ่งก็คือ ตำแหน่งที่ความเครียดเกิดจากแรงมากที่สุด ตามทฤษฎีของ DEOR แรงกด F_p และแรงเฉือน F_t ที่กระทำกับ DEOR แยกกันได้อย่างอิสระ เมื่อแรงกด F_p มากกระทำกับ DEOR ที่มุม $\theta \approx 0^\circ$ จะเกิดความเครียดมากที่สุดขึ้นและที่มุม $\theta \approx 45^\circ$ จะไม่เกิดความเครียดขึ้น และเมื่อแรงเฉือน F_t มากกระทำกับ DEOR ที่มุม $\theta \approx 45^\circ$ จะเกิดความเครียดมากที่สุดขึ้นและที่มุม $\theta \approx 0^\circ$ จะไม่เกิดความเครียดขึ้นดังนั้นการวัดความเครียดที่เกิดจากแรงกด F_p ได้อย่างอิสระจากแรงเฉือน F_t จะต้องติดสเตรนเกจที่ตำแหน่งมุม $\theta \approx 0^\circ$ และถ้าต้องการวัดแรงเฉือน F_t ได้อย่างอิสระจะต้องติดสเตรนเกจที่ตำแหน่งมุม $\theta \approx 45^\circ$ ส่วนการวัดแรงด้านข้าง F_s จะต้องติดสเตรนเกจที่ตำแหน่งที่เกิดการโก่งตัวมากที่สุด ซึ่งก็คือ ที่ตำแหน่งมุม $\theta \approx 0^\circ$ โดยในการทดลองใช้การอ้างอิงมุมของ DEOR โดยมุม 0° คือมุมที่ลากผ่านจุดศูนย์กลางของวงกลม 2 วงของ DEOR ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ก , ข และ ค.



รูปที่ 2.9. (ก.) แสดงทิศทางของแรงกด F_p ที่มีความเครียดมากที่สุดกระทำกับ DEOR
 (ข.) แสดงทิศทางของแรงเฉือน F_l ที่มีความเครียดมากที่สุดกระทำกับ DEOR
 (ค.) แสดงทิศทางของแรงด้านข้าง F_s ที่มีความเครียดมากที่สุดกระทำกับ DEOR

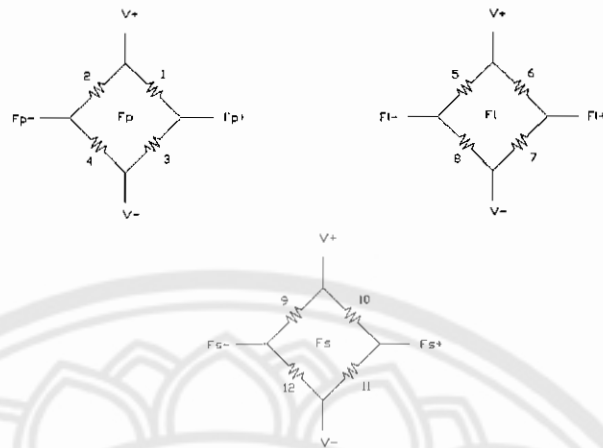
2. ตำแหน่งการติดสเตรนเกจของ Double Extended Octagonal Ring (DEOR)

การติดสเตรนเกจที่ DEOR จะติดตำแหน่งที่เกิดการโก่งเสียรูป จากแรงที่มากระทำมากที่สุด เพื่อให้อุปกรณ์วัดแรงมีความไวสูงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงลักษณะของ Double Extended Octagonal Ring (DEOR)

ที่มา : Development of data acquisition system for measuring the characteristics of real time forces by cage wheels , 2001.



รูปที่ 2.11 แสดงวงจรการติดสเตรนเกจ

ที่มา : Development of data acquisition system for measuring the characteristics of real time forces by cage wheels , 2001.

วงจรสำหรับวัดแรง F_p จะติดสเตรนเกจที่ตำแหน่ง 1,2,3 และ 4 โดยติดที่มุม $\theta = \pm 90^\circ$

วงจรสำหรับวัดแรง F_l จะติดสเตรนเกจที่ตำแหน่ง 5,6,7 และ 8 โดยติดที่มุม $\theta = \pm 45^\circ, \pm 135^\circ$

วงจรสำหรับวัดแรง F_s จะติดสเตรนเกจที่ตำแหน่ง 9,10,11 และ 12 โดยติดที่มุม $\theta = 0^\circ$

2.2.4 ทฤษฎีไฟฟ้าเบื้องต้น

สมการเบื้องต้นสำหรับการหาค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้า คือ

$$V = IR$$

เมื่อ V = ความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างจุด 2 จุด (Volt ; V)

I = กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R (Amp ; A)

R = ความต้านทานของโลหะ (Ohm ; Ω)

การต่อตัวต้านทาน แบบอนุกรม

$$1. V_{รวม} = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

$$2. R_{รวม} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

$$3. I = I_1 + I_2 + I_3 \text{ คงตัว}$$

$$(R_{รวม} \longrightarrow V_{รวม} ; I \text{ คงตัว})$$

การต่อตัวต้านทาน แบบขนาน

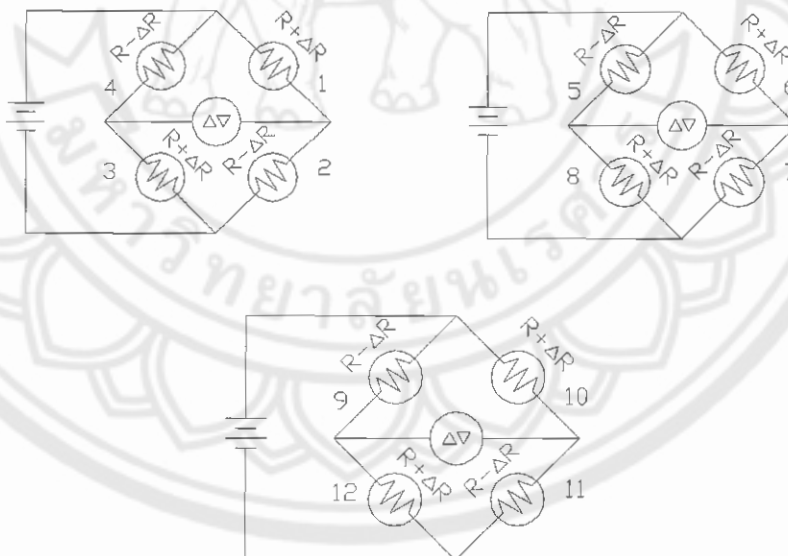
1. $V_{รวม} = V_1 = V_2 = V_3$ คงตัว
2. $I_{รวม} = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$
3. $\frac{1}{R_{รวม}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$

($R_{รวม} \rightarrow I_{น้อย} ; V$ คงตัว)

2.2.5 วงจรบริดจ์

การวัดแรงหรือโมเมนต์จะนำสเตรนเกจ มาต่อเป็นวงจรบริดจ์ เพื่อวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า (ΔV) ที่เกิดขึ้น เนื่องมาจากการเปลี่ยนรูปร่างของลวดโลหะสเตรนเกจขณะมีแรงหรือโมเมนต์มากระทำ

สำหรับการหาความเครียดหรือการเสียรูปของ DEOR จะใช้วงจรบริดจ์แบบที่ใช้สเตรนเกจ 4 ตัว (Full Bridge) ต่อหนึ่งแรง หรือต่อหนึ่งโมเมนต์ (ดังแสดงในรูปที่ 2.12) เพื่อให้มีความไวสูง และมีเสถียรภาพในการวัด



รูปที่ 2.12 วงจรบริดจ์แบบใช้สเตรนเกจ 4 ตัว

ที่มา : *Strain Guage Technology* ,1989

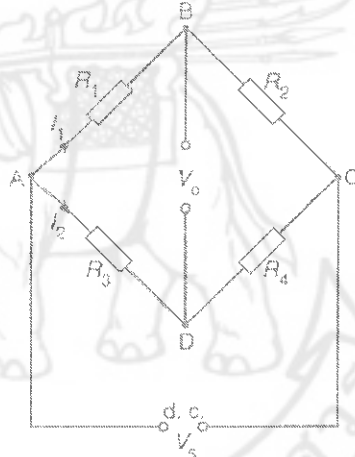
โดย $\begin{matrix} R+\Delta R \\ \text{---} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix}$ = สตวรรษที่มีความเครียดเป็นบวก (ยืด)

$\begin{matrix} R-\Delta R \\ \text{---} \text{---} \\ \text{---} \end{matrix}$ = สตวรรษที่มีความเครียดเป็นลบ (หด)

V = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่จ่ายในห้วงวงจรบริดจ์

ΔV = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อมีโมเมนต์ค้ำค้มกระทำต่อสตรน
เกจ

2.2.6 ทฤษฎีการคิดคำนวณความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้าระหว่างจุด 2 จุด



รูปที่ 2.13 วงจร Wheatstone bridge

ที่มา : Mechatronics , 1995

จาก รูปที่ 2.13 ทฤษฎีการคิดคำนวณความต่างศักย์ของกระแสไฟฟ้าระหว่างจุด 2 จุด เมื่อความต่างศักย์ขาออก เท่ากับ 0 ที่จุด B เท่ากับที่จุด D ความต่างศักย์ R₁ นั่นคือ V_{AB} เท่ากับด้านตรงข้าม R₃ คือ V_{AD} ดังนั้น

$$I_1 R_1 = I_2 R_3$$

ที่ความต่างศักย์ของ R₂ คือ V_{BC} เท่ากับ ด้านตรงข้าม R₄ คือ V_{DC} เมื่อไม่มีกระแสไหลผ่าน BD กระแสจะไหลผ่าน R₂ เท่ากับ R₁ และไหลผ่าน R₄ เท่ากับ R₃ จะได้

$$I_1 R_2 = I_2 R_4$$

สามารถแบ่งเป็น 2 สมการ จะได้วงจรบริดจ์สมดุล

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

การพิจารณาจากสภาวะสมดุล มาเป็นสภาวะที่มีแหล่งจ่าย V_s ต่อเข้า ระหว่างจุด A และจุด C ความต้านทานตกคร่อม R_1 จะเป็น Fraction ของ $R_1/(R_1+R_2)$ สามารถหาความต่างศักย์ได้

$$V_{AB} = \frac{V_s R_1}{R_1 + R_2}$$

และในทำนองเดียวกันที่ R_3 สามารถหาค่าความต่างศักย์ได้

$$V_{AD} = \frac{V_s R_3}{R_3 + R_4}$$

ดังนั้นค่าความต่างศักย์ระหว่าง จุด B และจุด D จะหาได้จาก

$$V_0 = V_{AB} - V_{AD} = V_s \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4} \right) \dots\dots\dots(2.3)$$

สมการนี้จะสมดุลเมื่อ $V_0 = 0$