

การพัฒนาเครื่องมือวัดแรงแบบสามแนวแกนสำหรับการต่อพ่วงสามจุด ของรถแทรกเตอร์เกษตรขนาดเล็ก

กวี คงมัน, พยุงศักดิ์ จุลยุเสน, คธา วาทกิจ และ จรุงศักดิ์ สมพงศ์
สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

ผู้เขียนติดต่อ: กวี คงมัน E-mail: kkhongman@sut.ac.th)

บทคัดย่อ

เครื่องมือวัดแรงแบบ extended circular ring (ECR) เป็นอุปกรณ์วัดแรงและโมเมนต์ในงานวิจัยทางวิศวกรรมเกษตร เพราะสามารถวัดแรงกระทำในแต่ละแนวแกนได้อิสระต่อกัน ในงานวิจัยนี้ เครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน ถูกออกแบบให้สามารถวัดแรงกระทำที่จุดต่อพ่วงสามจุดระหว่างรถแทรกเตอร์เกษตรและเครื่องมือเกษตรได้ทั้งสามแนวแกน แรงทั้งสามแนวแกน ที่กระทำกับจุดต่อพ่วงสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงและความเครียดที่เกิดขึ้นในเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน การกระจายตัวของความเครียดบนเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน ถูกวิเคราะห์โดยใช้วิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงและหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งมาตรวัดความเครียด เครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกนสามารถใช้งานกับรถแทรกเตอร์ใน category I ซึ่งมีค่าแรงในแนวราบสูงสุดไม่เกิน 20 กิโลนิวตัน มุมที่เหมาะสมในการติดตั้งมาตรวัดความเครียดของการวัดแรงในแนวราบ แรงในแนวตั้ง และแรงในแนวด้านข้าง คือ 58°, 25° และ 25° ตามลำดับ การสอบเทียบเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน สำหรับการวัดแรงบนแขนบน แขนล่างซ้าย และแขนล่างขวา ถูกทำในห้องปฏิบัติการ ผลการสอบเทียบเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกนทั้งสามตัวมีค่า cross sensitivities สูงสุด 8.35%, 2.74% และ 3.07% ตามลำดับ เครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกนสามารถนำไปใช้วัดแรงกระทำที่จุดต่อพ่วงระหว่างรถแทรกเตอร์เกษตรและเครื่องมือเกษตรได้อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ: เครื่องมือวัดแรงแบบสามแนวแกน; ไฟไนต์เอลิเมนต์; extended circular ring

1. บทนำ

แรงที่กระทำระหว่างดินและเครื่องมือเกษตรเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือเกษตรให้มีประสิทธิภาพสูง แรงนี้มีผลโดยตรงต่อความสามารถของรถแทรกเตอร์ในด้านต่างๆ เช่น ความสามารถในการฉุดลาก เสถียรภาพ และการบังคับเลี้ยว เป็นต้น แรงที่กระทำต่อจุดพ่วงระหว่างรถแทรกเตอร์เกษตรและเครื่องมือเกษตรประกอบด้วยแรงย่อยสามแรง คือ แรงในแนวราบหรือแรงฉุดลาก (horizontal force or draft force) แรงในแนวตั้ง (vertical force) และแรงด้านข้าง (side force) แรงฉุดลากส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการฉุดลากของรถแทรกเตอร์ แรงในแนวตั้งทำให้มีการถ่ายเท

น้ำหนัก (weight transfer) จากเครื่องมือเกษตรไปยังรถแทรกเตอร์ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความสามารถในการฉุดลากและเสถียรภาพของรถแทรกเตอร์ [1] ส่วนแรงในแนวด้านข้างส่งผลต่อการบังคับเลี้ยวของรถแทรกเตอร์การวัดแรงทั้งสามนี้สามารถวัดได้ที่จุดต่อพ่วงระหว่างรถแทรกเตอร์เกษตรกับเครื่องมือเกษตรซึ่งมีลักษณะการต่อพ่วงแตกต่างกันไปตามลักษณะการใช้งาน ได้แก่ คานลาก (drawbar) หรือแขนพ่วง (link)

เครื่องมือวัดแรงแบบ extended octagonal ring (EOR) เป็นอุปกรณ์ที่นิยมสำหรับวัดแรงและโมเมนต์ในงานวิจัยทางวิศวกรรมเกษตรเพราะสามารถวัดแรงกระทำในแต่ละแนวแกนได้อย่างอิสระต่อกัน แต่ข้อจำกัดของเครื่องมือวัดแรงแบบ EOR คือประยุกต์มาจากทฤษฎีของเครื่องมือวัด

แรงแบบ ECR [2] และสามารถวัดแรงได้เพียงสองแนวแกน
ดังนั้น เพื่อให้การวัดแรงถูกต้องตามทฤษฎีและสามารถวัด
แรงที่กระทำต่อจุดพ่วงแบบสามจุดระหว่างรถแทรกเตอร์
เกเซอร์และเครื่องมือเกเซอร์ได้ทั้งสามแนวแกน เครื่องมือวัด
แรงแบบ ECR สามแกน จึงถูกพัฒนาขึ้น

เครื่องมือเกเซอร์แบบพ่วงสามจุดเป็นเครื่องมือที่
เกเซอร์กรณนิยมใช้ในประเทศ งานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะสร้าง
เครื่องมือสำหรับวัดแรงกระทำที่จุดพ่วงระหว่างรถแทรกเตอร์
และเครื่องมือเกเซอร์เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับนักวิจัยในการ
ออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรกลเกเซอร์ให้เหมาะสมกับ
ลักษณะการใช้เครื่องจักรกลเกเซอร์ในประเทศ

2. ทบทวนวรรณกรรม

การวัดแรงกระทำระหว่างรถแทรกเตอร์และเครื่องมือ
เกเซอร์แบบพ่วงลาก ทำได้โดยการใช้เครื่องมือวัดแรงแบบ
สปริงหรือไฮดรอลิกเชื่อมต่อกันระหว่างรถแทรกเตอร์และ
เครื่องมือเกเซอร์ แต่ค่าแรงที่อ่านได้อาจจะมีความแปรปรวน
และยากต่อการอ่านและจดบันทึก สำหรับการวัดแรงกระทำ
ระหว่างรถแทรกเตอร์และเครื่องมือเกเซอร์แบบพ่วงสามจุด
สามารถกระทำได้โดยการใช้รถแทรกเตอร์คันหนึ่งลากรถ
แทรกเตอร์อีกคันหนึ่งที่ต่อพ่วงกับเครื่องมือเกเซอร์ โดยติด
เครื่องมือวัดแรงไว้ระหว่างรถแทรกเตอร์ทั้งสอง ผลต่างของ
แรงที่วัดได้ขณะรถแทรกเตอร์คันหลังถูกลากเครื่องมือเกเซอร์
โดยเครื่องมือถูกยกขึ้นจากพื้นดินคือ ค่าแรงกระทำระหว่าง
รถแทรกเตอร์คันหลังและเครื่องมือเกเซอร์ แต่การวัดแรงที่
ต้องการทราบค่าแรงที่แกนลากทั้งสามแกนอย่างละเอียด
จำเป็นต้องใช้เครื่องมือวัดแรงแบบพ่วงสามจุด

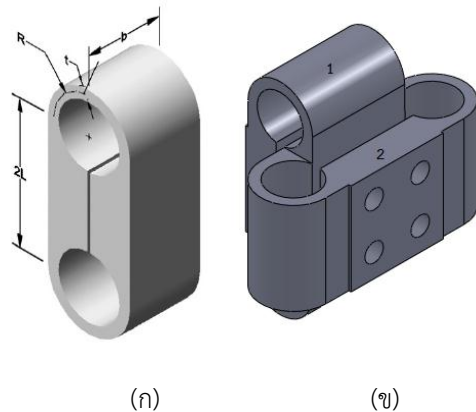
เครื่องมือวัดแรงแบบพ่วงสามจุดนี้นักวิจัยมักต้อง
สร้างขึ้นเองเมื่อต้องการทดสอบความต้องการแรงจุดลากของ
เครื่องมือเกเซอร์ ซึ่งเครื่องมือวัดแรงแต่ละชิ้นถูกออกแบบมา
ให้สอดคล้องและตอบสนองต่อสภาพการใช้งานของเครื่องมือ
เกเซอร์ในพื้นที่การเกเซอร์นั้น ๆ [3-5]จากการทบทวนงานวิจัย
พบว่า งานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบเครื่องมือวัดแรงแบบ
พ่วงสามจุดวัดแรงสองแนวแกนมีจำนวนมาก ปัจจุบันนักวิจัย
เริ่มให้ความสนใจกับเครื่องมือวัดแรงแบบพ่วงสามจุดวัดแรง
สามแนวแกนซึ่งพัฒนาจากการวัดแรงแบบสองแนวแกน
มากขึ้น [6-8] เนื่องจากสามารถให้รายละเอียดของแรงใน

ทุกๆ มิติของแรง ส่งผลให้การออกแบบเครื่องมือเกเซอร์มี
ความแม่นยำมากขึ้นส่งผลดีต่อการพัฒนาภาคการเกษตรของ
ประเทศ

3. วัสดุและวิธีการ

3.1 ข้อมูลพื้นฐานสำหรับการออกแบบเครื่องมือวัดแรง แบบ ECR สามแกน

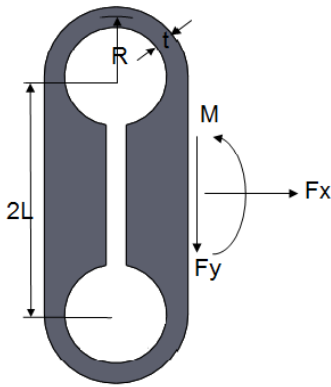
เครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกนถูกพัฒนามาจาก
เครื่องมือวัดแรงแบบ ECR ดังรูปที่ 1 (ก) โดยนำเครื่องมือวัด
แรงแบบ ECR สองตัวมาประกบไขว้กันดังรูปที่ 1 (ข)
เครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน ตัวที่ 1 (ติดตั้งกับรถ
แทรกเตอร์) ทำหน้าที่วัดแรงจุดลากและแรงในแนวตั้ง
ส่วนตัวที่ 2 (ติดตั้งกับเครื่องมือเกเซอร์) ทำหน้าที่วัดแรง
ด้านข้าง เครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน แต่ละตัว
สามารถรับแรงจุดลากสูงสุด (F_x) 10 kN, แรงในแนวตั้ง (F_y) 5
kN และแรงด้านข้าง (F_z) 1kN



รูปที่ 1 เครื่องมือวัดแรงแบบ ECR (ก) เครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สาม
แกน (ข)

3.2 การออกแบบเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน

เครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน ถูกออกแบบโดย
ใช้ทฤษฎีของเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR ซึ่งเป็น
ทรานสดิวเซอร์วัดแรงชนิดหนึ่งที่สามารถวัดแรงสองแนวแกน
ได้เป็นอิสระต่อกันสำหรับงานวิจัยนี้เครื่องมือวัดแรงแบบ
ECR ถูกสร้างขึ้นเพื่อวัดแรงกระทำที่ตำแหน่งพ่วงระหว่าง
อุปกรณ์การเกเซอร์ โดยแรงที่วัดได้คือแรงในแนวราบซึ่งอยู่ใน
แนวการเคลื่อนที่ของตัวรถ (F_x) และแรงในแนวตั้ง (F_y) ดังรูป
ที่ 2



รูปที่ 2 แรงและโมเมนต์ที่กระทำบนเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR

การออกแบบเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามารถคำนวณได้โดยใช้หลักกลศาสตร์เบื้องต้น เมื่อพิจารณาสมการโมเมนต์ดัด จะได้ว่าความเค้นดัด (bending stress) บนผิวของอุปกรณ์วัดแรงแบบ ECR มีค่าดังสมการ

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (1)$$

โดยที่ σ คือ ความเค้นดัด, MPa

M คือ โมเมนต์ดัด, N-mm

c คือ ระยะระหว่างแกนสะเทินถึงผิวของ ECR, mm

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อย, mm⁴

เมื่อพิจารณาความเค้นดัดที่เกิดขึ้นบนผิวของเครื่องมือวัดแรง

แบบ ECR เป็นรูปสี่เหลี่ยม ($c = \frac{t}{2}, I = \frac{bt^3}{12}$) จะได้

$$\sigma = \frac{6M_\phi}{bt^2} \quad (2)$$

โดยที่ M_ϕ คือ โมเมนต์ดัดที่มุมใดๆ, N-mm

b คือ ความกว้างของ ECR, mm

t คือ ความหนาของ ECR, mm

การออกแบบเครื่องมือวัดแรงจะพิจารณาจากค่าโมเมนต์ดัด (M_0) ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันตามรูปร่างของเครื่องมือวัดแรง สำหรับเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามารถคำนวณโดยมีพื้นฐานเบื้องต้นมาจากสมการของ Hoag[9] โดยใช้เทคนิคเกี่ยวกับค่าพลังงานความเครียดในการวิเคราะห์โมเมนต์ดัดในหน้าตัดของ ECR ซึ่งต่อมา McLaughlin[2] พบว่ามีข้อผิดพลาดบางประการ จึงได้เสนอสมการเพื่อปรับแก้ข้อผิดพลาดของโมเมนต์ดัดในหน้าตัดของ ECR นั้น ๆ

โดยค่าโมเมนต์ดัดที่มุม ϕ ภายใต้แรงกระทำของแรง 2 แรง คือ F_x และ F_y แสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\left[\begin{aligned} M_\phi &= \frac{F_x R}{2} \left(\frac{2}{\pi} - \sin \phi \right) + \frac{F_y R}{2} \cos \phi \\ &+ \frac{M_0 \left[\left(2 + \frac{R\pi}{2L} \right) - \left(\frac{2R}{L} + \pi \right) \sin \phi \right]}{\left(8 + \frac{R\pi}{L} + \frac{2L\pi}{R} \right)}; 0 < \phi < \pi \end{aligned} \right] \quad (3)$$

$$\left[\begin{aligned} M_\phi &= \frac{F_x R}{2} \left(\frac{2}{\pi} + \sin \phi \right) - \frac{F_y R}{2} \cos \phi \\ &- \frac{M_0 \left[\left(2 + \frac{R\pi}{2L} \right) - \left(\frac{2R}{L} + \pi \right) \sin \phi \right]}{\left(8 + \frac{R\pi}{L} + \frac{2L\pi}{R} \right)}; \pi < \phi < 2\pi \end{aligned} \right] \quad (4)$$

โดยที่ M_0 คือ โมเมนต์ภายนอก, N-mm

F_x คือ แรงในแนวราบ, N

F_y คือ แรงในแนวตั้ง, N

ϕ คือ มุมที่วัดตามเข็มนาฬิกาโดยเริ่มจากทางด้านขวาของวงแหวน, rad.

R คือ รัศมีเฉลี่ยของวงแหวนถึงจุดศูนย์กลางวงกลม, mm

L คือ ระยะครึ่งหนึ่งระหว่างจุดศูนย์กลางวงกลมทั้งสอง, mm

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดในช่วงขีดจำกัดความยืดหยุ่นของวัสดุเหนียวสามารถหาได้จาก $\sigma = \epsilon E$ ดังนั้นค่าความเครียดที่เป็นผลมาจากแรง F_x และแรง F_y คำนวณได้จาก

$$\epsilon = \frac{6M_\phi}{Ebt^2} \quad (5)$$

โดยที่ E คือ โมดูลัสความยืดหยุ่น, N/mm²

ความหนาของเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามารถคำนวณได้จาก

$$t = \sqrt{\frac{6M_\phi}{Ebe}} \quad (6)$$

เครื่องมือวัดแรงนี้ถูกออกแบบโดยใช้วัสดุที่ทำจากเหล็กเหนียว แต่ด้วยข้อจำกัดทางวัสดุทำให้ไม่ทราบแน่ชัดว่าค่าความเค้นที่จุดครากของวัสดุที่จะนำมาออกแบบมีค่าเท่าใด งานวิจัยนี้จึงออกแบบโดยใช้ค่าความเครียดแทน โดยค่าความเครียดที่จุดครากของเหล็กเหนียวทั่วไปมีค่าประมาณ

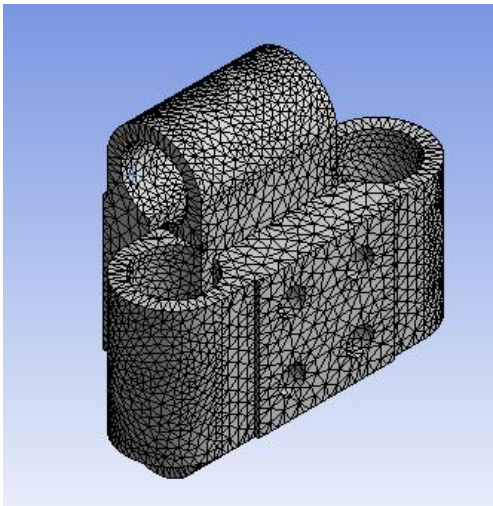
2,000 $\mu\epsilon$ ดังนั้นจึงออกแบบโดยใช้ค่าความเครียดเท่ากับ 1,000 $\mu\epsilon$, ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น 200 GPa เมื่อแรงในแนวราบ (F_x) เท่ากับ 10kN แรงในแนวตั้ง (F_y) เท่ากับ 5 kN และโมเมนต์ภายนอก (M_0) เท่ากับ -570N-m ทิศทางของแรงและโมเมนต์แสดงดังรูปที่ 2 สามารถคำนวณขนาดของเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR ได้ดังนี้

| Dimension | mm |
|--|-----|
| ความหนา (t) | 8 |
| รัศมีเฉลี่ย (r) | 24 |
| ระยะระหว่างจุดศูนย์กลางของวงแหวนทั้งสอง (2L) | 120 |
| ความกว้าง (b) | 80 |

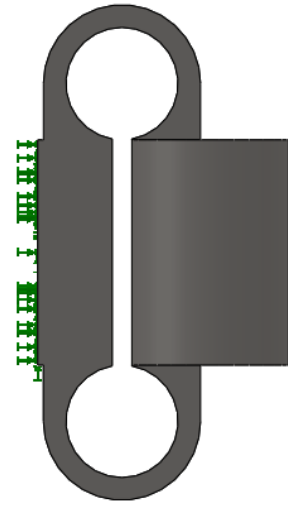
3.3 วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

3.3.1 การกำหนดเงื่อนไขการจำลองสถานการณ์

วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบความแข็งแรง และเลือกตำแหน่งติดตั้งมาตรวัดความเครียดที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากการกระจายตัวของความเครียดในช่วงขีดจำกัดยืดหยุ่นเชิงเส้น (linear elastic) การขึ้นรูปเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน ทำโดยใช้โปรแกรม Solid Works จากนั้นใช้โปรแกรม ANSYS เพื่อแบ่งเมชและวิเคราะห์ผลดังรูปที่ 3



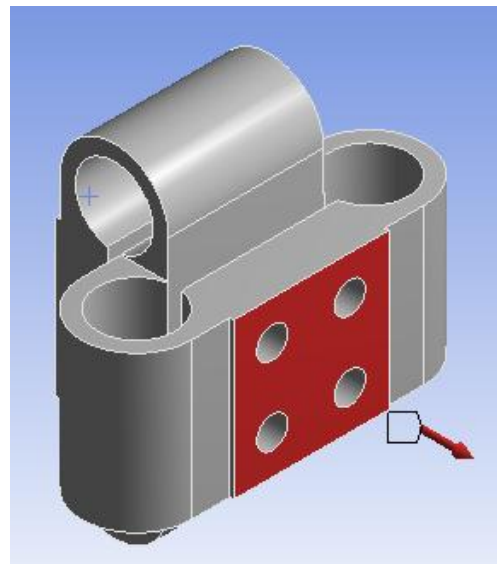
รูปที่ 3 การแบ่งเมชด้วยโปรแกรม ANSYS



รูปที่ 4 ตำแหน่งจับยึดของเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน

ตำแหน่งการจับยึดอยู่ด้านซ้ายของเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน (ติดกับรถแทรกเตอร์) ดังรูปที่ 4 ลักษณะการจับยึดเป็นแบบยึดแน่น (fixed) บนหน้าตัด 80 x 80 mm²

ตำแหน่งการให้แรงทั้งแกน X, Y และ Z จะให้ที่ตำแหน่งจุดพ่วงจริงซึ่งอยู่ห่างจากพื้นที่หน้าตัดขนาด 80 x 80 mm² ทางด้านขวาของเครื่องมือวัดแรงสามแกนแบบ ECR เป็นระยะ 57 mm ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ตำแหน่งการให้แรง

3.3.2 ตรวจสอบความแข็งแรง

เครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน ถูกสร้างขึ้นจากเหล็กเหนียว S50C มีค่าความเค้นที่จุดครากประมาณ 375

MPa ตรวจสอบความแข็งแรงที่ค่าแรงสูงสุด $F_x = 10 \text{ kN}$, $F_y = 5 \text{ kN}$ และ $F_z = 1 \text{ kN}$ โดยให้แรงทั้งสามพร้อมกันที่ตำแหน่งจุดพ่วงจริง พบว่าเกิดค่าความเค้นสูงสุดประมาณ 250MPa มีค่าความปลอดภัย 1.5 ซึ่งสามารถทำงานได้อย่างปลอดภัยในช่วงขีดจำกัดยืดหยุ่น

3.3.3 การกระจายตัวของความเครียดและตำแหน่งติดตั้งมาตรวัดความเครียด

พื้นผิวของเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR มีลักษณะเป็นผิวโค้ง ดังนั้นตำแหน่งที่จะพิจารณาค่าความเครียดต้องพิจารณาจากความเครียดสัมผัส (tangential strain) ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากสมการ

$$\varepsilon_{t1} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_y}{2} + \frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{2} \cos 2\theta + \frac{\gamma_{xy}}{2} \sin 2\theta \quad (7)$$

$$\varepsilon_{t2} = \frac{\varepsilon_x + \varepsilon_z}{2} + \frac{\varepsilon_x - \varepsilon_z}{2} \cos 2\theta + \frac{\gamma_{xz}}{2} \sin 2\theta \quad (8)$$

โดยที่ ε_{t1} คือค่าความเครียดสัมผัสของเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน ตัวที่ 1, $\mu\varepsilon$

ε_{t2} คือ ค่าความเครียดสัมผัสของเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน ตัวที่ 2, $\mu\varepsilon$

ε_x คือ ค่าความเครียดในแนวแกน X, $\mu\varepsilon$

ε_y คือ ค่าความเครียดในแนวแกน Y, $\mu\varepsilon$

ε_z คือ ค่าความเครียดในแนวแกน Z, $\mu\varepsilon$

γ_{xy} คือ ค่าความเครียดเฉือนในระนาบ xy, $\mu\varepsilon$

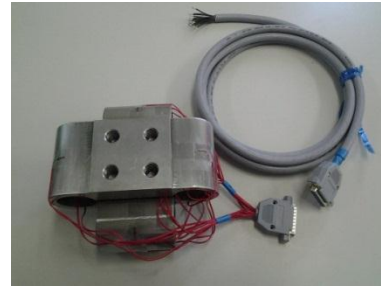
γ_{xz} คือ ค่าความเครียดเฉือนในระนาบ xz, $\mu\varepsilon$

θ คือ ค่ามุมระหว่างแกน X กับตำแหน่งที่วิเคราะห์ (ทวนเข็มนาฬิกา), degree

จากการพิจารณา ε_x , ε_y และ γ_{xy} ของเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน ตัวที่ 1 เมื่อให้แรงในแนวแกน X และ Y คำนวณค่าความเค้นสัมผัสโดยใช้สมการที่ 7 พบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งมาตรวัดความเครียดเพื่อวัดแรงในแนวแกน x และ y คือ 58° และ 25° ตามลำดับ

และเมื่อพิจารณา ε_x , ε_z และ γ_{xz} ของเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน ตัวที่ 2 เมื่อให้แรงในแนวแกน X และ Z คำนวณค่าความเค้นสัมผัสโดยใช้สมการที่ 8 พบว่าตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งมาตรวัดความเครียดเพื่อวัดแรงในแนวแกน z คือ 25°

การติดตั้งมาตรวัดความเครียด ใช้มาตรวัดความเครียดความต้านทาน 120 โอห์ม ต่อกันแบบวงจรวีทสโทรน เครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน แต่ละตัวประกอบด้วย 3 วงจร คือวงจรวัดแรงจุดลาก (V_d), วงจรวัดแรงในแนวตั้ง (V_v) และวงจรวัดแรงด้านข้าง (V_s) เมื่อติดตั้งเสร็จเรียบร้อยแล้วเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 เครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน

3.4 การสอบเทียบและการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การสอบเทียบเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน ทำในห้องปฏิบัติการ อาคารจักรกลเกษตร ฟาร์มมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยติดตั้งบนกระบะดินตำแหน่งที่ให้แรงเป็นตำแหน่งเดียวกันกับตำแหน่งที่ติดตั้งหูป่วงเพื่อใช้งานจริง การสอบเทียบทำโดยให้แรงในแนวแกน X, Y และ Z ทีละแนวแกน โดยใช้เครื่อง Yokogawa MW100 ในการขยายค่าสัญญาณความเครียดดังรูปที่ 7 และการทดสอบในห้องปฏิบัติการทำโดยวิธีใส่แรงพร้อมกันหลายทิศทางเพื่อเลียนแบบการทำงานจริง

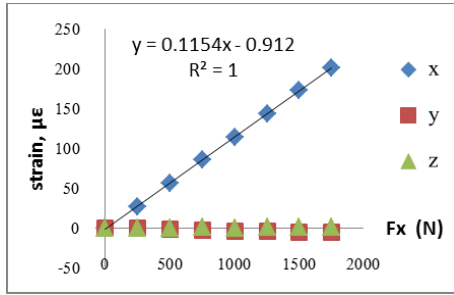


รูปที่ 7 การสอบเทียบ

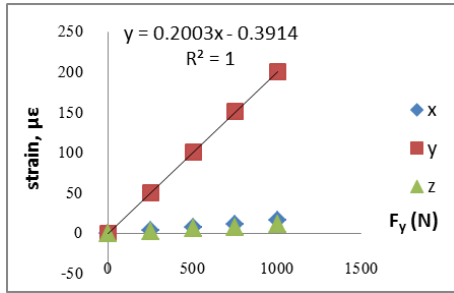
4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลการสอบเทียบ

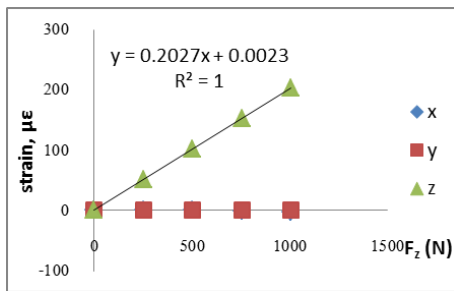
ผลการสอบเทียบเมื่อให้แรงทีละแนวแกนในแนวแกน X, Y และ Z เป็นดังรูปที่ 8, 9 และ 10 ตามลำดับ



รูปที่ 8 ผลการสอบเทียบเมื่อให้แรงในแนวแกน X



รูปที่ 9 ผลการสอบเทียบเมื่อให้แรงในแนวแกน Y



รูปที่ 10 ผลการสอบเทียบเมื่อให้แรงในแนวแกน Z

จากผลการสอบเทียบเกิดค่า cross sensitivities สูงสุด 2.61%, 2.33% (Y, Z); 7.96%, 5.94% (X, Z); 0.98%, 0.98% (X, Y) เมื่อให้แรงในแนวแกน X, Y และ Z ตามลำดับ

4.2 ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยใช้ตุ้มน้ำหนัก 3 ค่าน้ำหนัก คือ 255.06 N, 505.22 N และ 755.37 N ตามลำดับ เครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน สามารถอ่าน ค่าน้ำหนักรวมได้เป็น 261.98 N, 518.31 N และ 774.21 N คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน 2.71%, 2.59% และ 2.49% ตามลำดับสำหรับค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนในแต่ละแกนแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่า % ความคลาดเคลื่อนในแต่ละแนวแกนของการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

| แรงรวม (N) | % ความคลาดเคลื่อน | | |
|------------|-------------------|-------|-------|
| | แกน X | แกน Y | แกน Z |
| 255.06 | 2.29 | 4.45 | 2.89 |
| 505.22 | 1.53 | 6.83 | 3.91 |
| 755.37 | 1.28 | 7.64 | 2.69 |

5. สรุปผล

1. เครื่องมือวัดแรงสามแนวแกนแบบ ECR นี้ถูก ออกแบบตามหลักทฤษฎี [2] และสามารถวัดแรงที่ตำแหน่งจุด พ่วงได้ครบทั้งสามแนวแกน คือแรงในแนวราบ แรงในแนวตั้ง และแรงด้านข้าง

2. ตำแหน่งการให้แรงของการจำลองสถานการณ์ และการสอบเทียบ กระทำที่ตำแหน่งต่อพ่วงจริง ส่งผลให้ได้ ตำแหน่งติดตั้งมาตรวัดความเครียดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวัดแรงในแนวแกน X, Y และ Z คือ 58°, 25° และ 25° ตามลำดับ ค่าแรงที่วัดได้จึงมีความคลาดเคลื่อนต่ำ

3. วิถีไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาใช้เพื่อช่วยวิเคราะห์ หาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งมาตรวัดความเครียด ส่งผลให้ค่า cross sensitivities มีค่าน้อย โดย

- - เมื่อให้แรงในแกน X เกิด cross sensitivities ใน แกน Y และ Z คือ 2.61%, 2.33% ตามลำดับ
- - เมื่อให้แรงในแกน Y เกิด cross sensitivities ใน แกน X และ Z คือ 7.96%, 5.94% ตามลำดับ
- - เมื่อให้แรงในแกน Z เกิด cross sensitivities ใน แกน X และ Y คือ 0.98%, 0.98% ตามลำดับ

4. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ พบว่าเครื่องมือวัดแรงแบบ ECR สามแกน เกิดค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน สูงสุดของการวัดแรงในแกน X, Y และ Z อยู่ที่ 2.29%, 7.64% และ 3.91% ตามลำดับ

5. งานวิจัยในลำดับต่อไป คือการสอบเทียบและ ตรวจสอบเครื่องมือวัดแรงสามแนวแกนแบบ ECR อีก 2 ตัว ซึ่งผลการทดสอบสามารถนำเสนอได้ในลำดับต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Chen, Y., McLaughlin, N.B. and Tessier, S., (2007). Double extended octagonal ring (DEOR)-dynamo-eter, Soil & Tillage Research, vol. 93(2), pp. 462-471.

[2] McLaughlin, N.B., (1996). Correction of an Error in Equations for Extended Ring



- Transducers, Transactions of the ASAE, vol. 39, pp. 443-444.
- [3] Alimardani, R., Fazel, Z., Akram, A., Mahmoudi, A. and Varnamkhasti, M.G., (2008). Design and development of a three-point hitch dynamometer. *J. of Agricultural Technology*, vol. 4(1), pp. 37-52.
- [4] Kheiralla, A.F., Yahya, A., Zohadie, M. and Ishak, W., (2003). Design and development of a three-point auto dynamometer for an agricultural tractor, *ASEAN Journal on Science and Technology for Development*, vol. 20(3&4), pp. 271-288.
- [5] Reece, A.R., (1961). A three point linkage dynamometer for mounted implements, *Journal of Agricultural Engineering Research* vol. 9, pp. 252-258.
- [6] Godwin, R.J., Reynolds, A.J., O'Dogherty, M.J. and Al Ghazal, A.A., (1993). A Triaxial Dynamometer for Force and Management Measurement on Tillage Implements, *J. of Agricultural Engineers Research*, vol. 55, pp. 189-205.
- [7] Watyotha, C. and Salokhe, V.M., (2001). Development of a data acquisition system for measuring the characteristics of real time forces by cage wheels. *J. of Terramechanics*, vol. 38, pp. 201-210.
- [8] Parish, P.N., Salakha, V.M., Tanya N. and Peeyush S., (2010). Performance of free rolling and powered tillage discs, *Soil & Tillage Research*, vol. 109, pp. 87-93.
- [9] Hoag, D.L. and Yoerger, R.R., (1973). Design and analysis of load rings, ASAE Paper No. 73-5548.
- [10] Godwin, R.J., (1975). An Extended Octagonal Ring Transducer for Use in Tillage Studies, *J. of Agricultural Engineers Research*, vol. 20, pp. 347-352.
- [11] O'Dogherty, M.J., (1996). The Design of Octagonal Ring Dynamometer, *J. of Agricultural Engineers Research*, vol. 63, pp. 9-18.