



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การวัดทอร์กที่เพลาชุดลำเลียงปุ๋ยรูปดาว

Torque measurements at the shaft of the star feeder

ศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล* วชเรศ ฟุ่งเฟื่อง ประเทือง อุษาบริสุทธิ

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม, 73140

Sirisak Chertkiattipol* Watcharet Fungfuang Prathuang Usaborisut

Department of Agricultural Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsaen, Kasetsart University Nakornpathom Thailand 73410

* Corresponding author.

E-mail: fengsrcp@ku.ac.th; Telephone: 0 81600 0688

วันที่รับบทความ 25 สิงหาคม 2566; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 23 ธันวาคม 2566; วันที่ตอบรับบทความ 11 มิถุนายน 2567

บทคัดย่อ

การพัฒนาวิธีการวัดทอร์กที่เพลาชุดลำเลียงปุ๋ยมีความสำคัญ เนื่องด้วยทอร์กเป็นปัจจัยที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพการฉุดลาก (tractive efficiency) งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการวัดทอร์กที่เพลาลำเลียงปุ๋ยด้วยชุดลำเลียงปุ๋ยรูปดาว โดยทำการติด strain gage ที่เพลาลำเลียงปุ๋ยเพื่อวัดทอร์ก วัดความเร็วรอบการหมุนของเพลาลำเลียงปุ๋ยด้วยอุปกรณ์ proximity switch โดยทำการศึกษากับล้อขับ เหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 cm ทดสอบที่ความเร็วการเดินทางของรถแทรกเตอร์ 2.68 4.76 และ 6.67 km/hr แรงกดล้อขับในแนวตั้ง 1.27 1.35 และ 1.44 kN ทดสอบบนพื้นผิวถนนยางมะตอยและพื้นผิวดิน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าความเร็วการเดินทางของรถแทรกเตอร์ เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้กำลังที่ใช้ในการลำเลียงปุ๋ยเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลจากแรงกดล้อขับในแนวตั้งเพิ่มขึ้น และพบว่าการทำงานของล้อขับบนพื้นผิวดินใช้กำลังในการลำเลียงปุ๋ยมากกว่าพื้นผิวยางมะตอย

คำสำคัญ

ทอร์ก ล้อขับ อุปกรณ์โรยปุ๋ย กำลัง

Abstract

The development of a torque measurement method for star-feeder fertilizer is important due to the role of torque in assessing tractive efficiency. This research aims to develop a torque measurement method for fertilizer using a star feeder. Strain gauges are bonded on the shaft of a star feeder to measure torque, while the rotational speed of the shaft was measured by a proximity switch. The studies were focuses on a 60 cm diameter of the steel ground wheel and the tests were conducted at tractor travel speeds of 2.68, 4.76, and 6.67 km/hr, with vertical wheel loads of 1.27, 1.35, and 1.44 kN. The tests were performed on both asphalt and the soil surfaces. The results showed that the vertical wheel load affected the torque applied to the fertilizer conveyor. As the vertical wheel load and tractor speed increased, the power required to drive the fertilizer conveyor increased. Moreover, it was found that the power required to drive the fertilizer conveyor on soil surfaces was higher than on asphalt surfaces.

Keywords

torque; ground-driven wheel; fertilizer; power

1. คำนำ

การหมุนุดูดลากของล้อขับเคลื่อนทางการเกษตรกับพื้นดินในแปลงเกษตรกรรมมีวัตถุประสงค์เพื่อส่งกำลังผ่านระบบเฟืองโซ่เพื่อทำหน้าที่ขับเคลื่อนอุปกรณ์การเกษตร เช่น อุปกรณ์ใส่ปุ๋ย อุปกรณ์หยอดเมล็ด เป็นต้น ล้อขับเคลื่อนทางการเกษตรนี้จัดอยู่ในประเภทล้อขับเคลื่อนที่ถูกเบรก (braked wheel) ประสิทธิภาพการดูดลาก (tractive efficiency: TE) ของล้อขับเคลื่อนจากอัตราส่วนระหว่างกำลังส่งออก (output power) ต่อกำลังขาเข้า (input power) [1,2] ดังแสดงในสมการที่ (1) ประสิทธิภาพการดูดลาก (TE) ของล้อขับเคลื่อนนี้จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ทางการเกษตรด้วย

$$\text{Tractive Efficiency (\%)} = \frac{\text{output power}}{\text{input power}} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{output power} = 2\pi \cdot n \cdot T \quad (2)$$

$$\text{input power} = F \cdot v \quad (3)$$

โดยที่ n คือ ความเร็วรอบหมุนเพลาลำเลียง (rpm) T คือทอร์กที่เพลาลำเลียง F คือแรงดูดลาก (N) v คือความเร็วการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ (m/s)

เห็นได้อย่างชัดเจนว่าทอร์ก (T) เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลถึงประสิทธิภาพการดูดลาก (TE) ของล้อขับเคลื่อน การศึกษาประสิทธิภาพการดูดลาก (TE) ก่อนหน้านี้มุ่งเน้นการประเมินประสิทธิภาพการดูดลาก (TE) ของล้อขับเคลื่อน (driving wheel) ทางทางการเกษตร ทั้งกรณีล้อยาง (rubber tire) สำหรับรถแทรกเตอร์และล้อเหล็ก (cage wheel) สำหรับรถไถเดินตาม ซึ่งอาศัยกำลังขับเคลื่อนจากเครื่องยนต์ต้นกำลัง

การตรวจเอกสารงานวิจัยแสดงให้เห็นว่ามีการทำวิจัยเฉพาะในห้องปฏิบัติการและทดลองในกระบะดินเพื่อประเมินประสิทธิภาพการดูดลากของล้อขับเคลื่อน สร้างแบบจำลองทำนายประสิทธิภาพการดูดลากจากปัจจัยพื้นฐานคุณสมบัติดินและขนาดล้อจำลองโดยวิเคราะห์ผลจากความเค้นบริเวณผิวสัมผัสระหว่างดินกับล้อ [3]

งานวิจัยส่วนใหญ่ศึกษาในด้านการพัฒนาสมรรถนะการดูดลาก (tractive performance) ของล้อขับเคลื่อนเหล็กทาง

การเกษตร ศึกษาแบบจำลองหลากหลายของล้อเหล็ก (cage wheel) โดยเน้นศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ของแผ่นใบพัดบนล้อเหล็กดูดลากดิน (puddle wheel) เช่น มุมของใบพัด ระยะการจัดเรียงของแผ่นใบพัด ขนาดของใบพัด รูปร่างของใบพัด เป็นต้น [4-13]

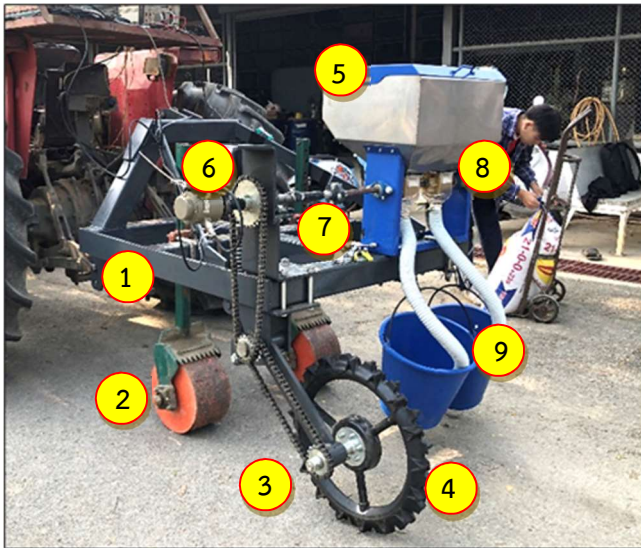
การตรวจเอกสารแสดงให้เห็นว่ายังมีงานวิจัยน้อยมากที่ศึกษาประสิทธิภาพการดูดลาก (TE) ของล้อขับเคลื่อน (ground-driven wheel) ทางทางการเกษตร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพื่อพัฒนาวิธีการวัดทอร์กที่เพลาลำเลียงปุ๋ย หากสามารถวัดทอร์กที่บนเพลาลำเลียงปุ๋ยได้สำเร็จ ก็จะทำให้สามารถประเมินประสิทธิภาพการดูดลาก (TE) ของล้อขับเคลื่อนต่าง ๆ

2. อุปกรณ์และวิธีการ

2.1 อุปกรณ์โรยปุ๋ย

อุปกรณ์โรยปุ๋ยและชุดอุปกรณ์วัดที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อวัดทอร์กขณะลำเลียงปุ๋ย ส่วนประกอบของอุปกรณ์ที่พัฒนาถูกแสดงไว้ใน (รูปที่ 1) ได้แก่ 1) โครงสร้างของอุปกรณ์ (main frame) 2) ล้อควบคุมความลึก (depth control wheel) 3) ชุดควบคุมการใส่ปุ๋ย (metering system) 4) ล้อขับเคลื่อน (ground-driven wheel) 5) ถังใส่ปุ๋ย (hopper) 6) slip ring 7) เซนเซอร์วัดทอร์ก (torque strain gage) 8) อุปกรณ์ลำเลียงปุ๋ยรูปดาว (star feeder) 9) ท่อลำเลียงปุ๋ย (fertilizer piping)

การศึกษาดำเนินการโดยนำอุปกรณ์ต่อพ่วงกับรถแทรกเตอร์ยี่ห้อ MASSEY-FERGUSON รุ่น 390 ขนาด 73 hp แปลงทดสอบยาว 15 m ทดสอบที่ความเร็วการเคลื่อนที่ 3 ระดับ ได้แก่ 2.68 4.76 และ 6.67 km/hr และทดสอบที่แรงกดล้อขับเคลื่อน (F_{vertical}) (รูปที่ 2) 3 ระดับ ได้แก่ 1.27 1.35 และ 1.44 kN



- | | |
|------------------------|-----------------------|
| 1) main frame | 6) slip ring |
| 2) depth control wheel | 7) torque strain gage |
| 3) metering system | 8) star feeder |
| 4) ground-driven wheel | 9) fertilizer piping |
| 5) hopper | |

รูปที่ 1 The components of the fertilizer implement.

2.1.1 แรงกดที่ล้อขับ

การศึกษาได้กำหนดแรงกดของสปริง (F_{spring}) ไว้ 3 ระดับ ได้แก่ 4.56 6.85 และ 9.14 kN โดยอธิบายวิธีสอบเทียบแรงกดสปริงไว้ในหัวข้อ 2.1.3 เมื่อพิจารณา (รูปที่ 2) กรณีล้อขับเหล็ก (steel ground-driven wheel : SGW) จะเห็นได้ว่าแนวแรง F_1 ตั้งฉากกับแนว AO และมุมระหว่างแรง F_1 กับแรง F_{spring} เท่ากับ 20.19° และแนวแรง F_2 กระทำตั้งฉากกับแนว BO และมุมระหว่างแรง F_2 กับ $F_{vertical}$ เท่ากับ 29.84° มวลล้อขับ (W) 12.52 kg (122.82 N) ดังนั้นแรง กดในแนวตั้ง ($F_{vertical}$) ที่กระทำกับล้อขับสามารถคำนวณได้จากหลักการวิเคราะห์ทางกลศาสตร์ดังนี้

$$F_1 = F_{spring} \times \cos 20.19^\circ \quad (4)$$

สมดุลโมเมนต์รอบจุด O

$$F_1 \times (17.62 \text{ cm}) = (39.92 \text{ cm}) \times F_2 \quad (5)$$

จะได้ว่า

$$F_2 = 0.441 \times F_1 \quad (6)$$

จากนั้นพิจารณาที่จุด B จะได้ว่า

$$F_{vertical} = F_2 \times \cos 29.84^\circ + W \quad (7)$$

จากสมการที่ (4), (5), (6) และ (7) จะได้ว่า

$$F_{vertical} = \left(\frac{17.62 \text{ cm}}{39.92 \text{ cm}} \right) \cdot F_{spring} \cdot \cos 20.19^\circ \cdot \cos 29.84^\circ + W \quad (8)$$

ดังนั้น

$$F_{vertical} = 0.359 \times F_{spring} + W \quad (9)$$

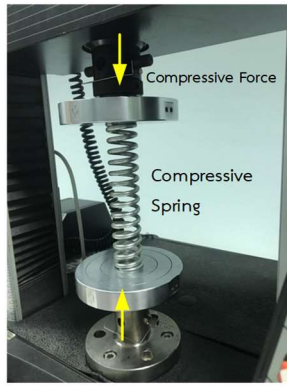
2.1.2 ระบบควบคุมการปล่อยปุ๋ย (metering system)

ระบบควบคุมอัตราการปล่อยปุ๋ยจะทำงานสัมพันธ์กับล้อขับขณะหมุนสัมผัสกับพื้นผิว (รูปที่ 3) แสดงการติดตั้งเฟืองโซ่ (sprocket: Sp) คำนวณหาความเร็วรอบการหมุนที่เพลาลำดับ shaft#3 ด้วยสูตรคำนวณอัตราทดดังแสดงในสมการที่ (10)

$$RPM_{shaft\#3} = \frac{N_1}{N_2} \cdot \frac{N_3}{N_4} \cdot RPM_{shaft\#1} \quad (10)$$

โดยที่ RPM คือ ความเร็วรอบ (rpm)

N คือ จำนวนฟันโซ่



รูปที่ 4 Spring Calibration for finding the spring stiffness (k).

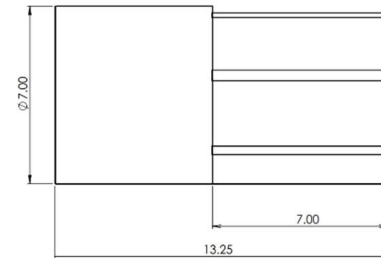
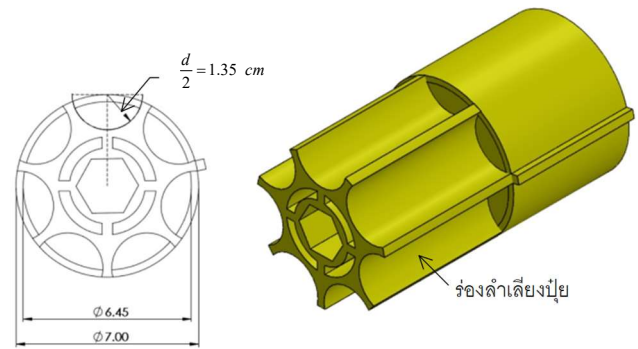
งานวิจัยนี้ทดสอบที่เงื่อนไขระยะการอัดตัวของสปริง 3 ระดับ ได้แก่ 2 3 และ 4 cm เมื่อแทนค่าระยะการอัดตัวของสปริงนี้ในสมการที่ (13) จะได้ขนาดแรง F_{spring} เท่ากับ 4.56 6.85 และ 9.14 kN

2.2 อุปกรณ์ลำเลียงปุ๋ยรูปดาว (Stat feeder: SF)

อุปกรณ์ลำเลียงรูปดาว (รูปที่ 5) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมการลำเลียงปุ๋ย ในการทดลองใช้อุปกรณ์ลำเลียงรูปดาว 2 อันปล่อยปุ๋ยจากถังใส่ปุ๋ยผ่านช่องเปิดยาว 2 cm (รูปที่ 6) ปุ๋ยจะถูกลำเลียงอย่างต่อเนื่องด้วยการหมุนของอุปกรณ์ลำเลียงรูปดาว การคำนวณความเร็วรอบหมุนของอุปกรณ์ลำเลียงรูปดาว (n_{SF} หรือ $RPM_{\text{shaft}\#3}$) พิจารณาที่ความเร็วรอบหมุนของล้อขับเคลื่อน (n_{SGW}) ที่ความเร็วการเดินทาง (V_F) 2.68 km/hr เมื่อรัศมี R ของล้อขับเคลื่อนส่งกำลังเท่ากับ 30 cm โดยที่ ω คือ ความเร็วเชิงมุมของล้อขับเคลื่อน (rad/s) จะได้ว่า

$$V_F = R \cdot \omega \quad (14)$$

หมายความว่าที่ความเร็วการเดินทางของรถแทรกเตอร์ 2.68 km/hr เฟลาลำเลียงปุ๋ยหมุนด้วยความเร็วรอบ (n_{SF}) เท่ากับ 12.56 rpm ความเร็วรอบหมุนที่เฟลาลำเลียงปุ๋ยที่แต่ละระดับความเร็วการเดินทางของรถแทรกเตอร์ถูกแสดงไว้ใน (ตารางที่ 1)



Unit: cm

รูปที่ 5 The drawings and dimensions of a star feeder.

ตารางที่ 1 The rotational speeds of the feeding shaft at various traveling speed of tractor.

Traveling speed: V_F (km/hr)	Rotational speed of steel ground-driven wheel: n_{SGW} (rpm)	Rotational speed of the feeding shaft: n_{SF} (rpm)
2.68	23.7	12.6
4.76	42.1	22.3
6.67	59.0	31.3

$$= R \cdot 2 \cdot n_{SGW} \cdot \pi$$

$$n_{SGW} = \frac{V_F}{2\pi \cdot R} \quad (15)$$

$$= \frac{\left(2.68 \times 10^3 \frac{m}{hr}\right) \left(\frac{1 hr}{60 min}\right)}{2\pi(0.3 m)}$$

จะได้ว่า

$$n_{SGW} = 23.70 \quad rpm$$

จากสมการที่ (11) จะได้ว่า

$$n_{SF} = 0.53 \cdot n_{SGW} \quad rpm$$

$$n_{SF} = 0.53 \cdot 23.70 \quad rpm$$

ดังนั้น

$$n_{SF} = 12.56 \quad rpm$$

ปริมาณปุ๋ยในทางทฤษฎีสามารถคำนวณได้จากพื้นฐานเรขาคณิตวิเคราะห์ดังนี้ เมื่อช่องปล่อยปุ๋ยยาว (l) 2 cm (รูปที่ 6) ร่องลำเลียงปุ๋ยบนอุปกรณ์ลำเลียงปุ๋ยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง (d) 2.7 cm (รูปที่ 3) ปริมาณปุ๋ยที่ลำเลียงต่อ 1 รอบการหมุนของอุปกรณ์ลำเลียงปุ๋ยรูปดาว อุปกรณ์ลำเลียงปุ๋ยรูปดาวหมุนครบ 1 รอบ จะลำเลียงปุ๋ย 7 ร่อง เพื่อความสะดวกในการประมาณปริมาณปุ๋ยต่อรอบการหมุนของอุปกรณ์ลำเลียงรูปดาว จึงพิจารณาพื้นที่หน้าตัดร่องลำเลียงปุ๋ยเป็นรูปครึ่งวงกลม โดยใช้สมการที่ (16)

ปริมาตรปุ๋ย/รอบการหมุนของอุปกรณ์ลำเลียงปุ๋ยรูปดาว

$$= 7 \text{ ร่องปล่อยปุ๋ย} \times \text{พื้นที่หน้าตัดรูปครึ่งวงกลมของช่องลำเลียงปุ๋ย} \times \text{ความยาวช่องปล่อยปุ๋ย}$$

$$= 7 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \right) \cdot l \text{ cm}^3 \quad (16)$$

$$= \frac{7}{8} \cdot \pi d^3 \cdot l$$



รูปที่ 6 The 2 cm length (l) of fertilizer discharge channel in a fertilizer hopper.

$$= 0.872 \cdot \pi \cdot 2.7^2 \cdot 2$$

$$= 40.07 \text{ cm}^3 / \text{a round of star feeder}$$

ปริมาณปุ๋ยเมื่อล้อขับเคลื่อนครบ 1 รอบ

$$= 0.533 \times (40.07 \text{ cm}^3)$$

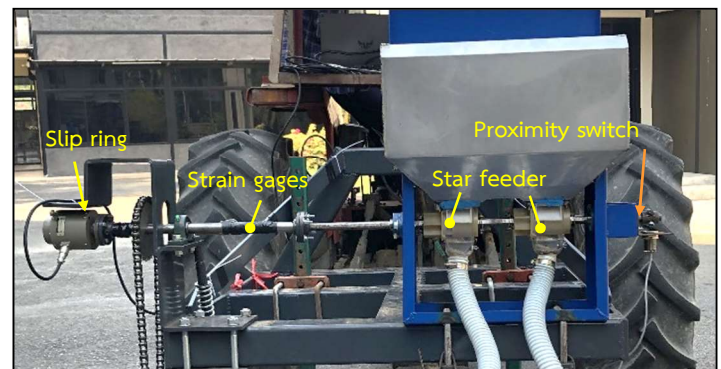
$$= 21.36 \text{ cm}^3$$

ดังนั้นเมื่อล้อขับเคลื่อนสัมผัสพื้นและหมุนครบ 1 รอบ อุปกรณ์ลำเลียงปุ๋ยรูปดาวจะหมุน 0.533 รอบ ปริมาณปุ๋ยที่ลำเลียง

21.36 cm³ ปุ๋ยสูตร 16-16-16 มีความหนาแน่น 1.03 g/cm³ แสดงให้เห็นว่าเมื่อล้อขับเคลื่อนครบ 1 รอบ จะลำเลียงปุ๋ยน้ำหนัก 21.94 g (21.94g/รอบการหมุนของ star feeder)

2.3 ทอร์ก ความเร็วรอบ และการบันทึกสัญญาณ

ในระหว่างทดสอบอุปกรณ์ลำเลียงปุ๋ยทอร์กจะถูกวัดด้วย strain gages โดยสัญญาณทอร์กจาก strain gages จะถูกส่งผ่าน slip ring ขณะเดียวกันวัดความเร็วรอบหมุนที่เพลาลำเลียงปุ๋ยด้วยเซนเซอร์ proximity switch สัญญาณทอร์กและความเร็วรอบจะส่งผ่านไปยังอุปกรณ์บันทึกอเนกประสงค์ยี่ห้อ KYOWA รุ่น EDX-200A เพื่อขยายสัญญาณและส่งผ่านข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ บันทึกข้อมูลด้วยอัตรา (sampling rate) 500 Hz ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์วัดถูกแสดงใน (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 The position of instrumentation on the shaft of metering system.

2.4 แผนการทดสอบ

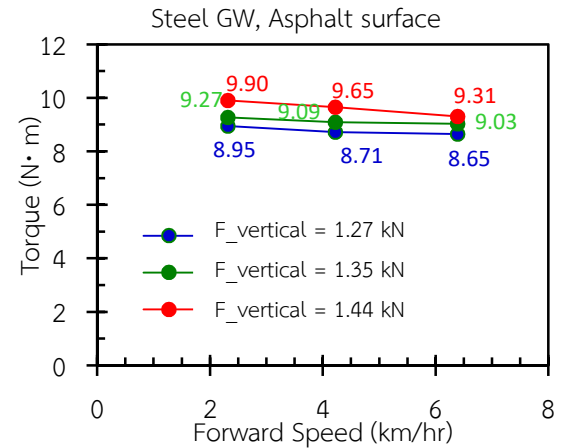
การพัฒนาระบบการวัดทอร์กที่เพลาลำเลียงปุ๋ยนี้ ดำเนินการทดลองที่ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยทดสอบเงื่อนไขล้อขับเคลื่อน (steel ground-driven wheel : SGW) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางล้อเหล็ก 60 cm ความเร็วการเดินทาง 3 ระดับ ได้แก่ 2.68 4.76 และ 6.67 km/hr และแรงกดล้อขับเคลื่อนในแนวตั้ง (F_{vertical}) 3 ระดับ ได้แก่ 1.27 1.35 และ 1.44 kN ทดสอบบนพื้นผิว 2 แบบ ได้แก่ พื้นผิวถนนยางมะตอย (asphalt surface) และพื้นดิน (soil surface) แต่ละเงื่อนไขทดสอบ 2 ซ้ำ ทดสอบทั้งหมด 36 การทดลอง

คุณสมบัติดินที่ทดสอบบนพื้นผิวดิน ชนิดของดินเป็น ดินร่วน (loam) ประกอบไปด้วยอนุภาคดินทราย (sand) 39.29 % อนุภาคดินทรายแป้ง (silt) 45.97 % และอนุภาคดินเหนียว (clay) 14.73 % สภาพดินแห้งไม่มีความชื้น ความต้านทานการแทงทะลุดินที่ระดับความลึก 5 cm เท่ากับ 1.91 MPa และความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้ง 1.98 g/cm^3

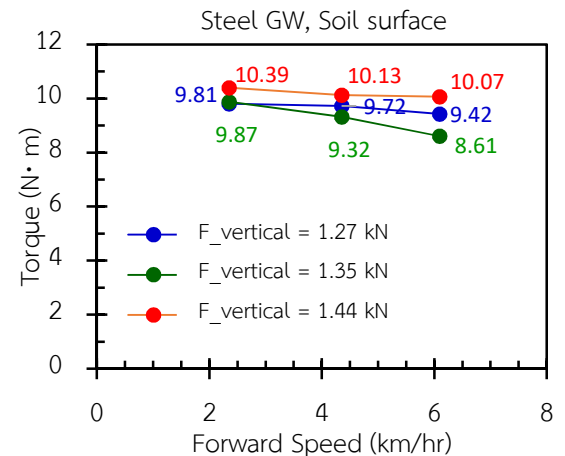
3. ผลและวิจารณ์

3.1 ทอร์กกระทำบนเพลาลำเลียงปุย

ขนาดทอร์กที่กระทำบนเพลาลำเลียงปุยกรณีล้อขับเหล็ก (SGW) ทั้งเงื่อนไขพื้นผิวดินยางมะตอย (asphalt surface) และพื้นผิวดิน (soil surface) ทดสอบที่ความเร็วการเดินทางของรถแทรกเตอร์ 2.68 4.76 และ 6.67 km/hr (รูปที่ 8) ผลการศึกษา (รูปที่ 8) แสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วการเดินทางของรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้นทอร์กที่กระทำบนเพลาลำเลียงปุยจะลดลง เพราะเมื่อความเร็วการเดินทางรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้นจะทำให้ล้อขับหมุนด้วยความเฉื่อยเพิ่มขึ้นซึ่งส่งผลทำให้แรงเสียดทานจลน์ที่ตำแหน่งผิวสัมผัสระหว่างล้อขับกับพื้นผิวดินลดลง อย่างไรก็ตามกรณีพื้นผิวดินแสดงให้เห็นว่าทอร์กที่กระทำบนเพลาลำเลียงมีขนาดมากที่สุดในการแรงกดล้อขับสูงสุด (F_{vertical}) 1.44 kN เมื่อเปรียบเทียบกับ F_{vertical} ขนาด 1.27 และ 1.35 kN โดยพบว่าที่ความเร็วการเดินทาง 2.68 4.76 และ 6.67 km/hr ทอร์กที่กระทำบนเพลาลำเลียงปุยมีขนาด 9.90 9.65 และ 9.31 N·m ตามลำดับ และผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าทั้งกรณีล้อขับวิ่งบนถนนยางมะตอยและวิ่งบนพื้นดิน ขนาดทอร์กที่เพลาลำเลียงปุยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่พบว่ากรณีล้อขับวิ่งบนพื้นผิวดินยางมะตอยผลึกกำลังสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีล้อขับวิ่งบนพื้นดิน และพบว่าแรงกดในแนวตั้งบนล้อขับส่งผลต่อขนาดทอร์กอย่างมีนัยสำคัญ



(a) In cases of the ground wheel moved over the asphalt surface.



(b) In cases of the ground wheel moved over the soil surface.

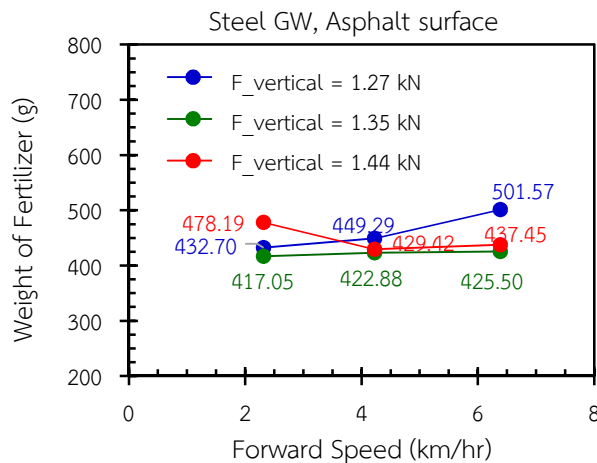
รูปที่ 8 Torque act on metering shaft in case of a steel ground wheel as running on the asphalt and soil surface.

3.2 ปริมาณปุยที่ถูกลำเลียง

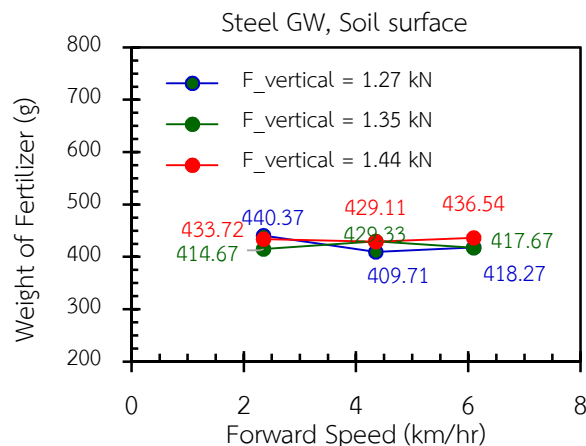
รูปที่ 9 แสดงผลการลำเลียงปุยปรับความยาวช่องปล่อยปุยตำแหน่งด้านล่างถึงใส่ปุ๋ยข้างละ 2 cm ทดสอบที่ความเร็วการเดินทาง 2.68 4.76 และ 6.67 km/hr ระยะทางในการโรยปุ๋ย 15 m ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในการกรณีล้อขับวิ่งบนถนนยางมะตอยที่แรงกดล้อขับ 1.27 1.35 และ 1.44

kN ปริมาณปุยที่ลำเลียงอยู่ในช่วง 432.70 ถึง 501.57 g 417.05 ถึง 425.50 g และ 429.42 ถึง 478.19 g ตามลำดับ ในการกรณีล้อขับวิ่งบนผิวดินที่แรงกดล้อขับ 1.27 1.35 และ 1.44 kN ปริมาณปุยที่ลำเลียงอยู่ในช่วง 409.71 ถึง 440.37 g 414.67 ถึง 429.33 g และ 429.11 ถึง 436.54 g ตามลำดับ

โดยพบว่าปัจจัยแรงกดสปริงในแนวตั้ง ความเร็วการเดินทางรถแทรกเตอร์ และชนิดพื้นผิวดิน ไม่ส่งผลต่อปริมาณปุ๋ยที่ถูกลำเลียงด้วย star feeder อย่างมีนัยสำคัญ



(a) In case of a ground wheel moved over the asphalt surface.



(b) In cases of the ground wheel moved over the soil surface.

รูปที่ 9 The amount of fertilizer being conveyed by the star feeder in cases of (a) asphalt and (b) soil surfaces.

ผลการทดสอบไม่แสดงให้เห็นแนวโน้มอิทธิพลจากปัจจัยความเร็วการเดินทางและพื้นผิวที่มีต่อปริมาณการโรยปุ๋ยอาจเป็นเพราะเมื่อเม็ดปุ๋ยถูกลำเลียงออกจากช่องปล่อยปุ๋ยจะเกิดการตกค้างและการรื้อออกของเม็ดปุ๋ยบางส่วนที่บริเวณข้อต่อพลาสติกใส่ระหว่างช่องปล่อยปุ๋ยและท่อนำส่งปุ๋ย

3.3 กำลังที่ใช้ในการลำเลียงปุ๋ย

ผลการศึกษาปริมาณกำลังเพื่อการลำเลียงปุ๋ย (รูปที่ 10) แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเมื่อความเร็วการเดินทางรถแทรกเตอร์เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้กำลังเพื่อการลำเลียงปุ๋ยเพิ่มขึ้น สาเหตุเพราะเมื่อรถแทรกเตอร์วิ่งด้วยความเร็วการเดินทางเพิ่มขึ้นทำให้ล้อขับเคลื่อนเร็วขึ้น ซึ่งทำให้เพลาลำเลียงปุ๋ยหมุนเร็วขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงเป็นสาเหตุทำให้การลำเลียงปุ๋ยใช้กำลังเพิ่มขึ้น ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าที่แรงกดสปริงในแนวตั้งสูงสุด 1.44 kN ที่ความเร็วการเดินทางรถแทรกเตอร์ 2.68 4.76 และ 6.67 km/hr กรณีพื้นผิวดินยางมะตอยใช้กำลังเพื่อการลำเลียงปุ๋ย 13.1 22.5 และ 30.5 W และกรณีพื้นดินใช้กำลัง 13.7 23.6 และ 33.0 W ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าชนิดของพื้นผิวไม่ส่งผลทำให้ขนาดทอร์กแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามพบว่ากรณีล้อขับเคลื่อนพื้นผิวยางมะตอยจะผลิตกำลังบนเพลาลำเลียงสูงกว่าการลำเลียงสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีล้อขับเคลื่อนพื้นผิวดิน

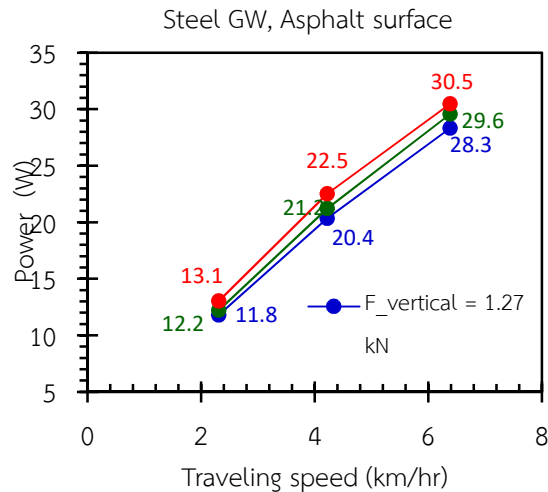
4. สรุป

เซนเซอร์ strain gage ติดตั้งบนเพลาลำเลียงปุ๋ย สามารถวัดทอร์กขณะอุปกรณ์กำลังโรยปุ๋ยได้ และสามารถนำค่าทอร์กและความเร็วรอบการหมุนมาใช้ในการคำนวณหาขนาดกำลังที่ใช้ได้ในการลำเลียงปุ๋ยด้วยชุดลำเลียงปุ๋ยรูปดาว

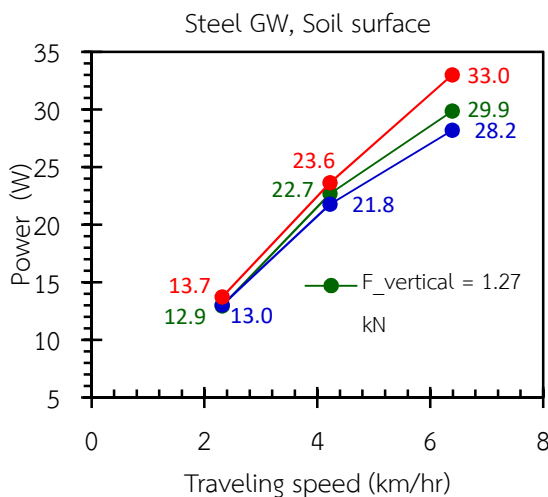
แรงกดล้อขับเคลื่อนในแนวตั้งส่งผลต่อขนาดทอร์กที่กระทำบนเพลาลำเลียงปุ๋ย

ความเร็วการเดินทางรถแทรกเตอร์ส่งผลต่อขนาดกำลังที่ใช้ในการลำเลียงปุ๋ยด้วยอุปกรณ์ลำเลียงรูปดาว เมื่อรถแทรกเตอร์วิ่งทำงานด้วยความเร็วที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลทำให้กำลังที่ใช้ในการลำเลียงปุ๋ยเพิ่มขึ้น

ชนิดพื้นผิวสัมผัสกับล้อขับเคลื่อนมีผลต่อกำลังที่ใช้ในการลำเลียงปุ๋ย กรณีล้อขับเคลื่อนพื้นผิวยางมะตอยใช้กำลังสูงกว่ากรณีล้อขับเคลื่อนพื้นผิวดิน



(a) In case of a ground wheel moved over the asphalt surface.



(b) In cases of the ground wheel moved over the soil surface.

รูปที่ 10 The power used for conveying fertilizer by star feeder in the cases of (a) asphalt and (b) soil surfaces.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัทอรุณฤกษ์ ซัพพลายเออร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์โรยปุ๋ยต่อฟัวงรถแทรกเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสนมหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ ที่สนับสนุนทุนวิจัยและขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสนมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์วัดและสถานที่ทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Liljedahl JB, Turnquist PK, Smith DW, Hoki M. *Tractors and Their Power Units*. New York. Van Nostrand Reinhold; 1989.
- [2] Hermawan W, Suastawa IN, Sudianto D. Traction performance of movable lug wheels with spring mechanism and rubber lug. *Journal of the International Society for Southeast Asian Agricultural Sciences*. 2001;(7): 58-67.
- [3] Wong JY, Reece AR. Prediction of rigid wheel performance based on the analysis of soil-wheel stresses. *Journal of Terramechanics*. 1967;4(2): 7-25.
- [4] Yamanaka, I. *Fundamental Research on Lug of Iron Wheel for Small Type Tractor*. Publication No. 8- J, Department of Agriculture, Tokyo University, Tokyo, Japan; 1962.
- [5] Pandey KP, Ojha TP. Effect of design parameters on the performance of rigid wheels in puddled soil. *Journal of Agricultural Engineering*. 1973;10(5&6): 38-43.
- [6] Gee - Clough D, Chacellor WJ. Pull and lift characteristics of single lug of rigid wheels in wet rice soils. *Journal of Transaction of the ASAE*. 1976;19(3): 433-441.
- [7] Ali OS, McKyes E. Effects on soil thrust of lug angle, length and soil consistency. *Journal of Transactions of ASAE*. 1978;22(6): 1294-1304.
- [8] Wimalawansa LS. *Study of Optimum Lug Angle and Spacing for Medium Powered Tractor (46 kW) [Dissertation]*. Asian Institute of Technology, M. Eng. Thesis No AE-82-15 (unpublished); 1982.
- [9] Gee - Clough D. Improving the design and utilization of Field machinery in Asia: *Proceeding of the International Conference on Agricultural Engineering and Agro- Industry in Asia*, Asian Institute of Technology, Thailand. Bangkok: 1981. p.120-138.
- [10] Chen B, Chao F. The research of driving wheel with movable lugs of the paddy field floating

tractor: *Proceeding of 8th International Conference of the ISTVS, Cambridge, UK.* UK: 1984. p.495-505.

- [11] Salokhe VM, Manzoor S, Gee-Clough D. The measurement of forces on a cage wheel lug when operating in wet clay soil. *Journal Soil and Tillage Research.* 1989;14(4): 327-340.
- [12] Hermawan W, Oida A, Yamazaki M. Measurement of soil reaction forces on a single movable lug. *Journal of Terramechanics.* 1996;33(2): 91-101.
- [13] Watyotha C, Gee-Clough D, Salokhe VM. Effect of circumferential angle, lug spacing and slip-on lug wheel forces. *Journal of Terramechanics.* 2000;38(1): 1-14.