บทที่ 2

ระบบส่งกำลังของรถไถพรวนดินขนาดเล็ก

กลไกและหน้าที่ของระบบส่งกำลังที่ใช้ในรถไถเดินตาม จะเน้นไปที่การขับเคลื่อนและการทำงานของอุปกรณ์การเกษตรชนิดต่างๆ ที่นำมาต่อพ่วง ซึ่งแตกต่างจากระบบส่งกำลังของรถยนต์ที่เน้นเฉพาะการขับเคลื่อนตัวรถยนต์เท่านั้น ระบบส่งกำลังของรถไถเดินตามมีหน้าที่ในการรับกำลังจากเครื่องยนต์ส่งไปยังเพลาล้อ เปลี่ยนแรงบิดและความเร็วรอบเครื่องยนต์เป็นแรงบิดและความเร็วการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตามที่เหมาะสมกับความเร็วในการทำงานของอุปกรณ์การเกษตรที่นำมาต่อพ่วง เปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตามไปหน้าและถอยหลัง และตัดต่อกำลังที่เพลาล้อแต่ละข้างเพื่อช่วยในการเลี้ยว

ระบบส่งกำลังของรถไถพรวนดินขนาดเล็กที่ใช้ในการศึกษาและทดลองนี้ มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1.2 เครื่องยนต์ส่งกำลังมายังห้องส่งกำลังด้วยสายพานตัววีเพียงเส้นเดียวไม่มีเพลาอำนวยกำลัง การส่งและตัดกำลังจากเครื่องยนต์ใช้ลูกกลิ้งกดสายพานทำให้สายพานตึงและหย่อน ส่งผลให้เกิดการส่งและตัดกำลังจากเครื่องยนต์มายังห้องส่งกำลังตามลำดับ ภายในห้องส่งกำลังใช้เฟืองฟันตรงชนิดยึดติดอยู่กับที่ ชนิดเลื่อนขบ และชนิดหมุนอิสระ ซึ่งอยู่บนเพลาที่วางขนานกันเป็นตัวส่งกำลัง กำลังจะถูกส่งมายังชุดขับสุดท้ายซึ่งเป็นโซ่และเฟืองโซ่ มีคลัตช์ชนิดลูกปืนจำนวน 2 ชุดอยู่บนเพลาล้อทำหน้าที่ตัดต่อกำลังในแต่ละเพลาล้อ ในการศึกษาระบบส่งกำลังจะพิจารณาถึงสมรรถนะของระบบส่งกำลัง การสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเครื่องยนต์ กำลังที่เพลาล้อ และกำลังที่สูญเสีย ดังจะได้กล่าวถึงต่อไป

2.1 สมรรถนะของระบบส่งกำลัง

สามารถพิจารณาได้จากกำลังเครื่องยนต์ กำลังที่เพลาล้อ ประสิทธิภาพการส่งกำลัง และการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption) เทียบกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.1.1 กำลังเครื่องยนต์ (Engine power) เป็นค่าที่ใช้ในการกำหนดสมรรถนะของเครื่องยนต์ และเป็นค่าที่กำหนดความต้องการของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่จะใช้เครื่องยนต์ขับเคลื่อน สามารถหาได้จากสมการ

$$P_e = \frac{2\pi N_e T_e}{60} \qquad (2.1)$$

โดย P_e = กำลังเครื่องยนต์ (kW)
N_e = ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)
T_e = แรงบิดของเครื่องยนต์ (kN-m)

2.1.2 กำลังที่เพลาล้อ (Axle power) สามารถคำนวณได้ในลักษณะเดียวกันกับกำลังเครื่องยนต์ แต่เนื่องจากเพลาล้อของรถไถเดินตามจะแบ่งเป็น 2 เพลา คือ ข้างซ้ายและข้างขวา ดังนั้นในการคำนวณหากำลังที่เพลาล้อจะใช้แรงบิดที่เพลาล้อทั้งสองข้างรวมกัน ดังสมการ

$$P_a = \frac{2\pi N_a T_{aT}}{60} \qquad (2.2)$$

โดย P_a = กำลังที่เพลาล้อ (kW)
N_a = ความเร็วรอบเพลาล้อ (rpm)
T_{aT} = แรงบิดที่เพลาล้อรวมหาได้จาก
$T_{aT} = T_{aL} + T_{aR}$(kN-m)
T_{aL} เป็น แรงบิดที่เพลาล้อซ้าย (kN-m)
T_{aR} เป็น แรงบิดที่เพลาล้อขวา (kN-m)

2.1.3 ประสิทธิภาพการส่งกำลัง (Power transmission efficiency) เป็นตัวแปรที่จะบอกถึงความสามารถของระบบส่งกำลังในการส่งผ่านกำลังออกไป เมื่อเทียบกับกำลังที่เข้ามา หาได้จากสมการ

$$\eta = \frac{P_a}{P_e} \times 100 \qquad (2.3)$$

โดย η = ประสิทธิภาพการส่งกำลัง (%)

2.1.4 การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific fuel consumption) เป็นการวัดประสิทธิภาพของเครื่องยนต์ในการเปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นงาน โดยการวัดการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเทียบกับกำลัง 1 หน่วยที่เครื่องยนต์ให้ออกมา ในการทดลองนี้ได้ทำการวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงมีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปคำนวณหาอัตราการสูญเสียน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะต่อไป และเนื่องจากการวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิงทำได้สะดวกกว่าจึงนิยมใช้กันทั่วไปและสามารถคำนวณหาการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะได้ ดังสมการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$sfc = \frac{FC \times SG}{P_e} \qquad (2.4)$$

โดย sfc = การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ (kg/kW-hr)

FC = การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง (m^3/hr)

SG = ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ = 720 kg/m^3

2.2 การสูญเสียในระบบส่งกำลัง

ระบบส่งกำลังของรถไถเดินตามที่ใช้งานกันในปัจจุบัน ไม่สามารถส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปสู่เพลาล้อทั้งสองข้างได้อย่างสมบูรณ์ 100 % เนื่องจากมีการสูญเสีย เช่น การลื่นไถล และความเสียดทาน เกิดขึ้นภายในระบบส่งกำลัง เป็นปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพการส่งกำลังลดลง ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการสูญเสียที่เกิดขึ้นกับชิ้นส่วนหลักๆ ภายในระบบส่งกำลังของรถไถเดินตาม ได้แก่ สายพาน เฟือง และตลับลูกปืน เป็นต้น โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.2.1 การสูญเสียของสายพาน

สาเหตุหลักของการสูญเสียที่เกิดขึ้นจากการส่งกำลังด้วยสายพาน คือ การลื่นของสายพาน (Belt slip) ทำให้สูญเสียกำลังและความเร็ว นอกจากนั้นอาจทำให้เกิดความร้อนมากเพียงพอที่จะทำให้ผิวหน้าของสายพานเสียหายได้ ดังนั้นจึงควรระมัดระวังไม่ให้เกิดการลื่นของสายพาน ด้วยวิธีการดึงสายพานให้ตึงเพียงพอก่อนการใช้งาน ค่าการลื่นของสายพานนิยมกล่าวถึงเป็นเปอร์เซ็นต์ หาได้จากสมการ

$$BS = \frac{(N_e \times R) - N_i}{N_e \times R} \times 100 \qquad (2.5)$$

โดย BS = ค่าการลื่นของสายพาน (%)

N_e = ความเร็วรอบของเพลาเครื่องยนต์ (rpm)

N_i = ความเร็วรอบของเพลาเข้าห้องส่งกำลัง (rpm)

R = อัตราทดรอบระหว่างมู่เล่ของเครื่องยนต์กับมู่เล่ของเพลาเข้าห้องส่งกำลัง $= \frac{D_e}{D_i}$

ค่าการลื่นของสายพานในการออกแบบไม่ควรเกิน 2% ซึ่งจะไม่ทำให้อัตราทดรอบระหว่างมู่เล่ตัวขับ กับมู่เล่ตัวตามเปลี่ยนแปลงไปมากนัก ในทางปฏิบัติจึงถือว่าใช้งานได้อย่างถูก

ต้องเพียงพอ [5] ค่าการลื่นของสายพานที่มากกว่านี้จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นในสายพานทำให้ผิวหน้าของสายพานเสียหาย อายุการใช้งานลดลงกว่าปกติ

ในการออกแบบการส่งกำลังด้วยสายพานนั้น หากผู้ออกแบบเลือกใช้ชนิดของสายพาน วัสดุที่ใช้ทำสายพาน และขนาดของสายพานให้เหมาะสม จะทำให้ค่าการลื่นขอบสายพานมีขนาดไม่เกิน 2% ได้ จากผลการทดลองในส่วนของการวัดกำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง และในส่วนของการวัดประสิทธิภาพการส่งกำลังดังแสดงในภาคผนวก ง นั้น พบว่าค่าการลื่นของสายพานโดยส่วนใหญ่มีค่าไม่เกิน 2% สำหรับส่วนที่มากกว่า 2% นั้น อาจเนื่องมาจากความผิดพลาดในการอ่านค่าจากอุปกรณ์วัดความเร็วรอบหมุน (Digital tachometer) ของผู้ทดลอง ในขณะวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์และความเร็วรอบมู่เล่เข้าห้องส่งกำลัง

2.2.2 การสูญเสียของเฟือง

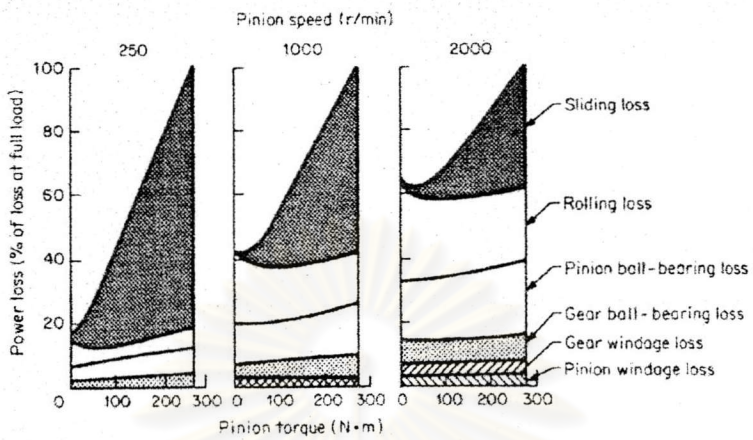
การสูญเสียที่เกิดขึ้นในการส่งกำลังด้วยเฟืองนั้น เมื่อพิจารณาเฉพาะในส่วนของการขบกันระหว่างเฟืองขับ (Driving gear or pinion) กับเฟืองตาม (Driven gear or gear) พอจะแบ่งชนิดของการสูญเสียออกได้เป็น 3 ชนิดดังนี้

1. การสูญเสียเนื่องจากการเลื่อน (Sliding loss) เป็นผลมาจากแรงเสียดทานที่เกิดจากฟันเฟืองของเฟืองหนึ่งเลื่อนไปบนฟันเฟืองของอีกเฟืองหนึ่ง การสูญเสียชนิดนี้ขึ้นกับสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของผิวฟันเฟือง แรงเฉลี่ยที่ตั้งฉากกับผิวฟันเฟือง (Average normal load) และความเร็วเลื่อนเฉลี่ย (Average sliding velocity) เมื่อความเร็วรอบของเฟืองขับเพิ่ม ขึ้น การสูญเสียเนื่องจากการเลื่อนจะมีค่าลดลง [6] ดังแสดงในรูปที่ 2.1

2. การสูญเสียเนื่องจากการกลิ้ง (Rolling loss) เกิดขึ้นระหว่างการก่อรูปของ ชั้นน้ำมันหล่อลื่นเป็นแบบอิลาสโตไฮโดรไดนามิก (Elastohydrodynamic, EHD) เมื่อน้ำมันหล่อลื่นถูกอัดระหว่างฟันเฟืองที่ขบกันจะทำให้มีความดันสูงมากๆ การสูญเสียชนิดนี้ขึ้นอยู่กับความหนาเฉลี่ยของฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นแบบEHD และอัตราส่วนการขบ เมื่อความเร็วรอบของเฟืองขับเพิ่มขึ้น การสูญเสียเนื่องจากการกลิ้งจะมีค่าเพิ่มขึ้น [6] ดังแสดงในรูปที่ 2.1

3. การสูญเสียเนื่องจากการหมุน (Windage loss) การสูญเสียชนิดนี้ไม่สามารถวัดหรือคำนวณได้โดยง่าย เนื่องจากขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่นๆ หลายตัว เช่น เส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นส่วนที่หมุน ความยาวของชิ้นส่วนที่หมุน ความเร็วรอบการหมุน การออกแบบลักษณะของห้องส่งกำลังทั้งหมด ชนิดของระบบหล่อลื่น อุณหภูมิทำงานและความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นและความดันที่เพิ่มขึ้น

ในห้องส่งกำลัง เป็นต้น [7] เมื่อความเร็วรอบของเฟืองขับเพิ่มขึ้น การสูญเสียเนื่องจากการหมุนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย [6] ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังสูญเสียของเฟืองและตลับลูกปืนกับความเร็วรอบของเฟืองตัวขับ [6]

2.2.3 การสูญเสียของตลับลูกปืน

ในที่นี้จะกล่าวถึงการสูญเสียของตลับลูกปืนเม็ดกลม (Ball bearing) เท่านั้น การคำนวณค่าที่แท้จริงของการสูญเสียในตลับลูกปืนเป็นเรื่องยากมาก เพราะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายตัว เช่น ชนิดของน้ำมันหล่อลื่น อุณหภูมิทำงาน ชนิดของตลับลูกปืน แรงที่กระทำ และความเร็วรอบเพลา เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องใช้สมการเชิงประจักษ์ (Empirical equations) ในการประมาณค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้น วิธีการที่ง่ายที่สุด คือ หาแรงบิดเนื่องจากความเสียดทานภายในตลับลูกปืน แล้วคำนวณหากำลังสูญเสียได้จากสมการ

$$P_b = \frac{2\pi n T_b}{60} \qquad (2.6)$$

โดย P_b = กำลังสูญเสียในตลับลูกปืน (W)

T_b = แรงบิดเนื่องจากความเสียดทานในตลับลูกปืน (N.m)

n = ความเร็วรอบเพลา (rpm)

แรงบิดเนื่องจากความเสียดทาน หาได้ง่ายๆ โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสำหรับตลับลูกปืนแต่ละชนิด ดังสมการ

$$T_b = f \times \frac{D_b}{2} \times F_b \qquad (2.7)$$

โดย D_b = ขนาดรูสวม (Bore) ของตลับลูกปืน (m)

F_b = แรงกระทำกับตลับลูกปืน (N)

f = ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน ดังแสดงในเอกสารอ้างอิง [7]

2.2.4 การสูญเสียในน้ำมันหล่อลื่น

น้ำมันหล่อลื่นที่ใช้หล่อลื่นชิ้นส่วนต่างๆ ภายในห้องส่งกำลังมีหลายระดับคุณภาพขึ้นอยู่กับช่วงอุณหภูมิการใช้งาน และค่าความหนืด (Viscosity) โดยที่ค่าความหนืดของน้ำมันหล่อลื่นนี้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเป็นสำคัญ

เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นสูงขึ้น พบว่าการสูญเสียภายในห้องส่งกำลังจะเพิ่มขึ้น [8]

2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเครื่องยนต์ กำลังที่เพลาล้อ และกำลังที่สูญเสีย

เมื่อพิจารณาระบบส่งกำลังใดๆ จะพบว่ามีกำลังที่เกี่ยวข้องกับระบบส่งกำลังนั้นอยู่ 3 ชนิด คือ กำลังที่เข้าสู่ระบบส่งกำลัง กำลังที่ออกจากระบบส่งกำลัง และกำลังที่สูญเสียไปภายในระบบส่งกำลัง ซึ่งจะสัมพันธ์กันตามสมการ

$$P_{in} = P_{out} + P_{loss} \qquad (2.8)$$

โดย P_{in} = กำลังที่เข้าสู่ระบบส่งกำลัง

P_{out} = กำลังที่ออกจากระบบส่งกำลัง

P_{loss} = กำลังที่สูญเสียไปภายในระบบส่งกำลัง

จากสมการที่ 2.8 จะเห็นได้ว่า กำลังจากเครื่องยนต์เปรียบเสมือนกำลังที่เข้าสู่ระบบส่งกำลัง และกำลังที่เพลาล้อเปรียบเสมือนกำลังที่ออกจากระบบส่งกำลังนั่นเอง กำลังที่เพลาล้อเป็นกำลังที่รถไถเดินตามใช้ในการทำงาน อันเนื่องมาจากการต่อพ่วงอุปกรณ์การเกษตรชนิดต่างๆ ซึ่งอุปกรณ์การเกษตรต่างชนิดกันจะใช้กำลังที่เพลาล้อต่างกันโดยมีรายละเอียดพอสังเขปในบทที่ 4 ในการออกแบบระบบส่งกำลังจะต้องเป็นไปตามวัตถุประสงค์ในการใช้งานรถไถเดินตามนั้นๆ ซึ่งจะต้องกำหนดชนิดของอุปกรณ์การเกษตรที่จะนำมาต่อพ่วง และจากขั้นตอนนี้ถ้าสามารถทราบ กำลังที่สูญเสียใน

ระบบส่งกำลัง และกำลังที่เพลาล้อที่เพียงพอต่อการทำงานของอุปกรณ์เกษตรที่มาต่อพ่วงก็จะสามารถเลือกขนาดของเครื่องยนต์ที่เหมาะสมได้ ตามสมการที่ 2.8

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย