บทที่ 8

บทสรุป

วิทยานิพนธ์นี้ได้แสดงถึงวิธีการ และผลการศึกษาระบบส่งกำลังและคลัตช์ชนิดลูกปืนของรถไถพรวนดินขนาดเล็ก โดยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 ส่วนคือ การทดลองวัดแรงเสียดทานสถิตภายในห้องส่งกำลัง การทดลองวัดกำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง การทดลองวัดประสิทธิภาพการส่งกำลัง และการทดลองวัดแรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยว ซึ่งในส่วนของการทดลองวัดประสิทธิภาพการส่งกำลังยังได้แบ่งการทดลองออกเป็นการทดลองย่อยๆ ตามลักษณะของภาระหรือแรงบิดเนื่องจากการต่อพ่วงอุปกรณ์การเกษตร 3 ชนิดเข้ากับรถไถพรวนดิน ได้แก่ รถพ่วง ไถหัวหมู และล้อพรวนดิน นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาลักษณะของกลไกและการคำนวณแรงกระทำภายในคลัตช์ชนิดลูกปืนด้วย โดยวิทยานิพนธ์นี้เริ่มจากการกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์นี้ในบทที่ 1 ซึ่งชี้ให้เห็นถึงความจำเป็นที่จะต้องศึกษาระบบส่งกำลังของรถไถพรวนดินขนาดเล็ก กลไกการทำงาน และแรงกระทำภายในคลัตช์ชนิดลูกปืน รวมไปถึงแรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยว นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งตัวอย่างผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งมีการศึกษามาก่อนเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิทยานิพนธ์ต่อไป

เพื่อให้เข้าใจถึงพื้นฐาน และแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ ในบทที่ 2 3 และ 4 จึงได้กล่าวถึงความรู้พื้นฐานทั้งหมดที่จำเป็นในการทำวิทยานิพนธ์ โดยในบทที่ 2 จะกล่าวถึงสมรรถนะของรถไถเดินพรวนดินขนาดเล็ก การสูญเสียในระบบส่งกำลัง และความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเครื่องยนต์ กำลังที่เพลาล้อ และกำลังสูญเสีย

ในบทที่ 3 กล่าวถึงชนิดของคลัตช์ที่ใช้ในรถไถเดินตาม โดยแบ่งเป็นคลัตช์หลักที่ใช้ในการตัดต่อกำลังจากเครื่องยนต์สู่ห้องส่งกำลัง และคลัตช์บังคับเลี้ยวที่ใช้ในการตัดต่อกำลังภายในห้องส่งกำลังที่จะออกสู่เพลาล้อ ส่วนในบทที่ 4 นั้นจะกล่าวถึงอุปกรณ์การเกษตร 3 ชนิดคือ ไถหัวหมู ล้อพรวนดิน และรถพ่วง โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ทั้งสาม กลศาสตร์ของรถไถเดินตามเมื่อต่อพ่วงด้วยอุปกรณ์ทั้งสาม และลักษณะของภาระหรือแรงบิดที่เพลาล้ออันเนื่องจากการต่อพ่วงด้วยอุปกรณ์ทั้งสามชนิด

หลังจากได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่จำเป็นในการทำวิทยานิพนธ์แล้ว ในบทที่ 5 ได้กล่าวถึงวิธีการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง วิธีการปรับเทียบ และวิธีการทดลอง

บทที่ 6 แสดงถึงผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของการวัดแรงเสียดทานสถิตภายในห้องส่งกำลัง ส่วนของการวัดกำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง ส่วนของการวัดประสิทธิภาพการส่งกำลัง และส่วนของการวัดแรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยว ในบทที่ 7 เป็นการศึกษาลักษณะทางกายภาพและการคำนวณแรงกระทำภายในคลัตช์ชนิดลูกปืน โดยมีการคำนวณและวิเคราะห์แรงกระทำ ผลของรูปร่างที่มีต่อแรงกระทำ และแนวทางการหาค่าความปลอดภัยที่ใช้ในการออกแบบคลัตช์บังคับเลี้ยวชนิดลูกปืน ซึ่งผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองในบทที่ 6 ทั้ง 4 ส่วน รวมถึงการศึกษาและวิเคราะห์ในบทที่ 7 สามารถสรุปแยกเป็นหัวข้อต่างๆ ได้ ดังนี้

ผลการทดลองในส่วนของการหาแรงเสียดทานสถิตภายในห้องส่งกำลัง

1. แรงเสียดทานสถิตภายในห้องส่งกำลังที่วัดออกมาในรูปของแรงบิดที่เพลาเข้าห้องส่งกำลังนั้น จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นภายในห้องส่งกำลังเพิ่มขึ้น
2. แรงเสียดทานสถิตภายในห้องส่งกำลังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นตามอัตราทดเกียร์

ผลการทดลองในส่วนของการหากำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง

1. เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น จะทำให้การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นโดยมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 1.05-1.37 ลิตรต่อชั่วโมง ค่ามากที่สุดในแต่ละเกียร์จะอยู่ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที
2. กำลังสูญเสียจะเพิ่มตามความเร็วรอบเครื่องยนต์ โดยมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.2-0.42 กิโลวัตต์ และมีค่าสูงสุดในแต่ละเกียร์อยู่ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที
3. เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกำลังสูญเสียและการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะในแต่ละเกียร์ พบว่าเส้นกราฟวางทับซ้อนกันไม่เป็นระเบียบ ไม่สามารถบอกความแตกต่างของกำลังสูญเสียและการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะในแต่ละอัตราทดเกียร์ได้อย่างชัดเจน

ผลการทดลองในส่วนของการหาประสิทธิภาพการส่งกำลัง

แบ่งเป็น 3 กรณี ตามลักษณะของภาระที่เพลาล้อ ดังนี้

กรณีรถพ่วง

1. เมื่อเพิ่มภาระหรือแรงบิดที่เพลาล้อให้มากขึ้น ความเร็วรอบเครื่องยนต์และความเร็วรอบเพลาล้อจะลดลง แต่กำลังเครื่องยนต์และกำลังที่เพลาล้อจะเพิ่มขึ้นตาม เป็นเช่นเดียวกันทุกๆ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ตั้งแต่เกียร์ 1 ถึงเกียร์ 6
2. ประสิทธิภาพการส่งกำลังจะเพิ่มขึ้นตามอัตราทดเกียร์ โดยที่ประสิทธิภาพการส่งกำลังสูงสุดตั้งแต่เกียร์ 1 ถึงเกียร์ 6 มีค่าเป็น 43.60 62.94 64.35 70.56 74.62 และ

78.44% ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 2800 2800 2800 3000 3000 และ 3400 รอบต่อนาทีตามลำดับ

3. ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระ เมื่อเพิ่มแรงบิดที่เพลาล้อ ความเร็วรอบเครื่องยนต์และความเร็วรอบเพลาล้อจะลดลง การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจะเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.99 ถึง 1.44 1 ถึง 1.8 1.1 ถึง 1.9 1.1 ถึง 2 และ 1.2 ถึง 3 ลิตรต่อชั่วโมงที่เกียร์ 1 ถึงเกียร์ 6 ตามลำดับ
4. การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะจะมีค่าลดลง โดยที่ตั้งแต่เกียร์ 3 ถึงเกียร์ 6 เมื่อการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะลดลงจนต่ำสุดแล้วจะค่อย ๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อแรงบิดที่เพลาล้อเพิ่มขึ้น อัตราการเพิ่มของกำลังเครื่องยนต์จะมีค่าลดลง ในขณะที่อัตราการเพิ่มของการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมีค่าไม่ต่างกันมากนัก เมื่อนำไปคำนวณโดยสมการที่ 2.4 จะสอดคล้องกับผลการทดลอง

กรณีไถหัวหมู

5. ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระ เมื่อเพิ่มภาระหรือแรงบิดที่เพลาล้อให้มากขึ้น ความเร็วรอบเครื่องยนต์และความเร็วรอบเพลาล้อจะลดลงเป็นขนาดที่สัมพันธ์กันตามอัตราทดเกียร์ ในขณะเดียวกันกำลังเครื่องยนต์และกำลังที่เพลาล้อจะเพิ่มขึ้น
6. ประสิทธิภาพการส่งกำลังสูงสุดตั้งแต่เกียร์ 1 ถึงเกียร์ 3 มีค่าเป็น 59.71 72.54 และ 77.03% ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3600 2800 และ 3000 รอบต่อนาทีตามลำดับ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราทดเกียร์จากน้อยไปหามาก
7. การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงตั้งแต่เกียร์ 1 ถึงเกียร์ 3 มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 0.89 ถึง 1.29 0.86 ถึง 1.34 และ 0.87 ถึง 1.28 ลิตรต่อชั่วโมงตามลำดับ
8. การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะมีแนวโน้มลดลงจนถึงค่าต่ำสุดที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ค่าหนึ่ง และเมื่อเพิ่มแรงบิดที่เพลาล้อให้มากขึ้น การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะจะกลับมีค่าสูงขึ้นมาเช่นเดียวกับในกรณีของการลากรถพ่วงที่เกียร์ 1 ถึงเกียร์ 3 เนื่องจากกำลังเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้นตามแรงบิดที่เพลาล้อจนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง เมื่อเพิ่มแรงบิดที่เพลาล้ออีกกำลังเครื่องยนต์จะลดลง ในขณะที่ค่าการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงมีการเพิ่มขึ้นค่อนข้างคงที่ ทำให้ได้การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะเป็นไปตามสมการที่ 2.4

กรณีล้อพรวนดิน

9. ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระ เมื่อเพิ่มภาระหรือแรงบิดที่เพลาล้อให้มากขึ้น ความเร็วรอบเครื่องยนต์และความเร็วรอบที่เพลาล้อจะลดลง แต่กำลังเครื่องยนต์และกำลังที่เพลาล้อจะเพิ่มขึ้น
10. แนวโน้มของกำลังที่เพลาล้อ การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะมีลักษณะคล้ายกับกรณีติดไถหัวหมู โดยมีประสิทธิภาพสูงสุดเป็น

59.71% ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะไม่มีภาระเป็น 3600 รอบต่อนาที และมีค่าการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงอยู่ในช่วง 0.89-1.24 ลิตรต่อชั่วโมง

ผลการทดลองในส่วนของแรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยว

1. ในกรณีไม่มีภาระที่เพลาล้อ แรงมากสุดที่ทำให้คลัตช์เข้า พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันทุกค่าความเร็วรอบเครื่องยนต์และทุกเกียร์ความเร็ว โดยมีค่าประมาณ 2 kgf
2. ในกรณีไม่มีภาระที่เพลาล้อ แรงน้อยสุดที่ทำให้คลัตช์จากมีค่าสูงสุดที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์เป็น 2800 rpm เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์จะมีค่าลดลง
3. ในกรณีมีภาระที่เพลาล้อ แรงมากสุดที่ทำให้คลัตช์เข้า พบว่ามีค่าค่อนข้างคงที่ทุกๆ ภาระ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และเกียร์ความเร็ว โดยมีแรงบีบคลัตช์อยู่ในช่วงประมาณ 0.40-0.65 kgf ตามลำดับ
4. ในกรณีมีภาระที่เพลาล้อ แรงน้อยสุดที่ทำให้คลัตช์จากหรือแรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์จะเพิ่มขึ้นเมื่อภาระที่เพลาล้อเพิ่มขึ้น และแรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์จะลดลงเมื่อตำแหน่งเกียร์ความเร็วเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 2.6-5.6 kgf

ผลการวิเคราะห์ในส่วนของแรงที่กระทำที่คลัตช์ชนิดลูกปืน

1. การเพิ่มภาระที่เพลาล้อทำให้แรงที่เกิดจากแรงบิด แรงที่เขี้ยวของคลัตช์ และแรงที่แหวนเลื่อนกระทำกับเม็ดลูกปืนมีค่ามากขึ้น ส่งผลให้แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์มีค่ามากขึ้น
2. รูปร่างกลไกของคลัตช์ชนิดลูกปืนมีผลต่อขนาดของแรงกระทำที่ชิ้นส่วนต่างๆ ภายในคลัตช์

ผลการวิเคราะห์ในส่วนของการหาค่าความปลอดภัยที่ใช้ในการออกแบบคลัตช์ชนิดลูกปืน

ได้ทำการพิจารณาการเสียหายที่จะเกิดขึ้นเป็น 2 กรณี คือ กรณีการเสียหายที่เกิดจากความเค้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเขี้ยวของคลัตช์กับเม็ดลูกปืน และกรณีการเสียหายที่เกิดจากโมเมนต์ดัดที่โคนเขี้ยวของคลัตช์ และเนื่องจากไม่สามารถทราบชนิดของวัสดุและกรรมวิธีที่ใช้ผลิตคลัตช์ชนิดนี้ จึงเสนอเป็นแนวทางในการหาค่าความปลอดภัยจากที่ผู้ออกแบบได้เลือกไว้โดยมีขั้นตอนพอสังเขปดังนี้

1. ทำการคำนวณหาความเค้นอัดที่ผิวสัมผัสระหว่างเขี้ยวของคลัตช์กับเม็ดลูกปืน และความเค้นดัดที่โคนเขี้ยวของคลัตช์ชนิดลูกปืน
2. เปิดตารางคุณสมบัติของวัสดุ จะได้ค่าความเค้นอัดสูงสุด และความต้านแรงดึงคราก
3. นำค่าที่ได้จากตารางคุณสมบัติมาหารด้วยค่าที่คำนวณได้ จะได้ค่าความปลอดภัย 2 ค่า

4. จากค่าที่คำนวณได้พบว่า การเสียหายเนื่องจากความเค้นที่ผิวสัมผัสมีโอกาสเกิดขึ้นได้สูงมาก ผู้ออกแบบจึงควรพิจารณาเป็นพิเศษ

จากผลการศึกษา วิเคราะห์ และทดลองทั้งหมดพบว่า คลัตช์ชนิดลูกปืนมีน้ำหนักเบา บีบเลี้ยวได้ง่าย และการที่สามารถใช้งานร่วมกับชุดขับสุดท้ายซึ่งเป็นโซ่และเฟืองโซ่ได้โดยตรง ทำให้ไม่ต้องรอจังหวะการทำงานของคลัตช์ ทั้งยังสามารถปรับระยะระหว่างเพลาขับและเพลาตามของเฟืองโซ่ได้ โดยเลือกความยาวของโซ่ให้เหมาะสม นอกจากนี้มีผลทำให้ห้องส่งกำลังช่วงล่างเล็กและแคบรวมทั้งยังลดจำนวนเพลาส่งกำลังลงได้ 1 เพลา

แรงที่ใช้บีบคลัตช์บังคับเลี้ยวจะสัมพันธ์กับภาระที่เพลาล้อของรถไถพรวนดิน แต่กลไกของคลัตช์ชนิดลูกปืนนั้นจะช่วยให้ใช้แรงในการบีบเลี้ยวน้อยกว่าที่ใช้กับคลัตช์เดือยเพราะการตัดส่งกำลังใช้แหวนเลื่อนดันเม็ดลูกปืนเคลื่อนที่ตามร่องรอบเพลาพร้อมๆ กัน ส่วนกรณีของคลัตช์เดือยใช้กลไกก้ามปูดันเลื่อนเฟืองคลัตช์จึงต้องอาศัยแรงมากกว่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย