

การศึกษาระบบส่งกำลังและคลัตช์ชนิดลูกปืนของรถไถพรวนดินขนาดเล็ก



นายเอกอุ ธรรมการบัญญัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-17-0277-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

STUDY OF THE POWER TRANSMISSION AND BALL CLUTCH OF A SMALL MOTOR TILLER



Mr. Ek-u Thammakornbunjut

ศูนย์วิทยทรัพยากร

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Department of Mechanical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-17-0277-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาระบบส่งกำลังและคลัตช์ชนิดลูกปืนของรถไถพรวน
ดินขนาดเล็ก

โดย

นายเอกอุ ธรรมกรบัญญัติ

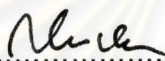
สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

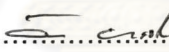
อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ พงศ์ศุภสมิทธิ์


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับ
นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณะบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ พงศ์ศุภสมิทธิ์)


..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จิตรชัย หงษ์อุเทน)

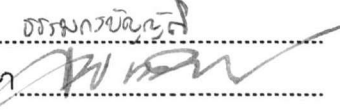
เอกุ ธรรมกรบัญญัติ : การศึกษาระบบส่งกำลังและคลัตช์ชนิดลูกปืนของรถไถพรวนดินขนาดเล็ก (STUDY OF THE POWER TRANSMISSION AND BALL CLUTCH OF A SMALL MOTOR TILLER) อ.ที่ปรึกษา ศ.ดร. สุรินทร์ พงศ์สุภสมิทธิ์, 180 หน้า. ISBN 974-17-0277-9

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ระบบส่งกำลังของรถไถพรวนดินขนาดเล็ก และกลไกการทำงานของคลัตช์บังคับเลี้ยวชนิดลูกปืน โดยแบ่งการศึกษาเป็น 3 ส่วน ส่วนที่หนึ่งเป็นการศึกษาการสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง แบ่งเป็นการทดลองวัดแรงเสียดทานสถิตภายในห้องส่งกำลัง และการทดลองวัดกำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง ส่วนที่สองเป็นการศึกษาผลของภาระที่เพลาล้อที่มีต่อประสิทธิภาพการส่งกำลัง และแรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยว โดยภาระที่ใส่ที่เพลาล้อนั้นเป็นลักษณะของภาระที่เกิดจากการต่อพ่วงรถไถพรวนดินด้วยอุปกรณ์ต่อพ่วง 3 ชนิด คือ รถพ่วง ไถ และล้อพรวนดิน อนึ่งการทดลองในส่วนที่หนึ่งและส่วนที่สองเป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ส่วนที่สามเป็นการศึกษาลักษณะของกลไกและการคำนวณแรงกระทำภายในคลัตช์ชนิดลูกปืน และการหาค่าความปลอดภัยที่ใช้ในการออกแบบคลัตช์ชนิดลูกปืน

จากผลการทดลองในส่วนที่หนึ่งพบว่า แรงเสียดทานสถิตภายในห้องส่งกำลังจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นภายในห้องส่งกำลัง และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบหมุนของเพลาล้อ นอกจากนี้แล้วกำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลังก็เพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบเครื่องยนต์ และการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นภายในห้องส่งกำลัง จากผลการทดลองในส่วนที่สองพบว่า ประสิทธิภาพการส่งกำลังแปรผันตามอัตราทดเกียร์ ส่วนแรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยว นั้นพบว่า แรงมากที่สุดที่ทำให้คลัตช์เข้าจะมีค่าค่อนข้างคงที่ทั้งในกรณีที่มีและไม่มีภาระที่เพลาล้อ แต่แรงน้อยสุดที่ทำให้คลัตช์จากจะมีค่าไม่คงที่ขึ้นกับความเร็วรอบเครื่องยนต์และภาระที่เพลาล้อ และจากผลการทดลองในส่วนที่สามพบว่า รูปร่างของชิ้นส่วนภายในคลัตช์มีผลต่อแรงบิดที่เพลาล้อ นอกจากนี้เนื่องจากไม่ทราบคุณสมบัติของวัสดุและกรรมวิธีการผลิตคลัตช์ชนิดลูกปืน จึงได้เสนอแนวทางในการหาค่าความปลอดภัยที่ใช้ในการออกแบบเพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาและวิจัยต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเครื่องกล
สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนิสิต เอกุ ธรรมกรบัญญัติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

4170660921 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: POWER TRANSMISSION / BALL CLUTCH / ATTACHMENTS / SAFETY FACTOR

EK-U THAMMAKORNBUNJUT : STUDY OF THE POWER TRANSMISSION AND BALL CLUTCH OF A SMALL MOTOR TILLER. THESIS ADVISOR : PROF. SURIN PHONGSUPASAMIT, D.Agr. 180 pp. ISBN 974-17-0277-9.

The objectives of this thesis are to study the power transmission system and ball clutch mechanisms of a small motor tiller. The thesis is divided into 3 parts; Part 1 studies losses in the power transmission system by measuring static friction in the power transmission case as well as the power loss in power transmission system. Part 2 concerns with the effects of load wheel axle on the power transmission efficiency and the force required to operate steering clutch. The characteristics of the applied load depend on the attachments at trailer, moldboard plow and drum rotor. Part 3 analytically calculates the mechanisms and forces in ball clutch, and obtains the factor of safety for ball clutch design.

The experimental results in part 1 indicated that the static friction in power transmission case increased as the temperature of lubricating oil in the case increased. The static friction also tended to increase with axle speed. The power loss in power transmission system increased as speed of the engine and lubricating oil temperature in power transmission case increased. The results from part 2 showed that the increase of power transmission efficiency with increasing gear ratio. The maximum required force used for steering clutch engagement on the axle was almost constant in any loading and unloading cases. But the minimum required force for disengagement of the clutch was not constant, but depended on speed of the engine and the magnitude of loads on the axle wheels. The results of part 3 indicated that the values of torsion on the axles were influenced by the shape of internal mechanisms of ball clutch. Finally, a method for selection of safety factor used in the design of ball clutch, when no information about properties of the material and the clutch manufacturing process are available, was also shown and could be used in further studies.

Department Mechanical Engineering

Field of study Mechanical Engineering

Academic year 2001

Student's signature Eku Thammakornbunjut

Advisor's signature Surin Phongsupasamit

Co-advisor's signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ พงศ์ศุภสมิทธิ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ท่านได้ให้ทั้งความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนคำปรึกษาที่มีคุณค่ายิ่งในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัย และการทำงานในอนาคต

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ ประธานกรรมการ ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ เดชะอำไพ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ จักรชัย หงษ์อุเทน กรรมการที่ได้ให้คำแนะนำ ตลอดระยะเวลาทำงานวิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ ที่กรุณาให้ยืมเครื่อง Dial gauge และเครื่อง Digital strain bridge ขอกราบขอบพระคุณ Prof. Jun Sakai ที่กรุณาให้คำแนะนำและแนวคิดที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ บริษัท HONDA R&D Southeast Asia ที่กรุณาให้ยืมรถไถพรวนดินขนาดเล็ก ขอขอบพระคุณ คุณวีระพงษ์ พอลิละ ที่กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆ ขอขอบพระคุณ กองเกษตรวิศวกรรม ที่กรุณาให้ใช้สถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ ในการทดลอง ขอขอบพระคุณ คุณอัศพล เสนาณรงค์ รวมทั้งวิศวกรและช่างเทคนิคของกองเกษตรวิศวกรรมที่กรุณาให้คำแนะนำและความช่วยเหลือต่างๆ ในการทดลอง ขอขอบพระคุณ คุณเสวย เกตุนาถ คุณสุบิน ชันดี และคุณโกวิท โกพล ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการสร้างชุดทดลองและซ่อมแซม อุปกรณ์การทดลอง รวมทั้งให้ยืมเครื่องมือต่างๆ ในการสร้างชุดทดลอง

ขอขอบพระคุณ คุณชนัดต์ รัตนสุมาวงศ์ คุณไพศาล มานิตย์โชติพิสิฐ คุณชนวัช ศรีเจริญชัย ตลอดจนเพื่อนๆ รุ่นพี่ และรุ่นน้องปริญญาโททุกท่านที่ได้ช่วยเหลือในหลายๆ ด้าน ขอขอบคุณ คุณปิติ เลิศลุมพินธุ์ คุณสุรวุฒิ วิจารณ์ คุณชินวัฒน์ วิริยาวัฒน์ คุณวีรชัย สงวนโชคคุณิชย์ คุณศีลวัต สมศิริ และคุณวุฒิ อยู่น้อย น้องนิสิตปริญญาตรีที่ช่วยสร้างชุดทดลอง และช่วยทำการทดลองจนการวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษาของผู้วิจัยเสมอมา และคุณค่าอันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นกตัญญูตราบูชาแต่บิดามารดา ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	4
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	4
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์	4
1.5 ปรัชญาวรรณกรรม	5
บทที่ 2 ระบบส่งกำลังของรถไถพรวนดินขนาดเล็ก	9
2.1 สมรรถนะของระบบส่งกำลัง	9
2.2 การสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง	11
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังเครื่องยนต์ กำลังที่เพลาล้อ และกำลังสูญเสีย	14
บทที่ 3 คลัตช์ที่ใช้ในรถไถเดินตาม	16
3.1 คลัตช์หลัก	16
3.2 คลัตช์บังคับกับเลี้ยว	19
บทที่ 4 อุปกรณ์การเกษตรที่นำมาต่อพ่วงกับรถไถเดินตาม	23
4.1 รถพ่วง	24
4.2 ไถหัวหมู	30
4.3 ล้อพรวนดิน	35
บทที่ 5 อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	39
5.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	39
5.2 วิธีการเปรียบเทียบและผลการเปรียบเทียบเครื่องมือวัด	40
5.3 วิธีการทดลอง	50
บทที่ 6 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	60
6.1 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองในส่วนของการวัด	

	หน้า
แรงเสียดทานสถิตภายในห้องส่งกำลัง	60
6.2 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองในส่วนของการวัด กำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลัง	61
6.3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองในส่วนของการวัด ประสิทธิภาพการส่งกำลัง	67
6.4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองในส่วนของการวัด แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับลิ้นว	94
บทที่ 7 การศึกษาลักษณะทางการภาพและการคำนวณแรงกระทำภายใน คลัตช์ชนิดลูกปืน	109
7.1 ลักษณะทางการภาพของคลัตช์ชนิดลูกปืน	109
7.2 การคำนวณแรงกระทำภายในคลัตช์ชนิดลูกปืน	110
7.3 อภิปรายผลการศึกษาและการคำนวณ	111
บทที่ 8 บทสรุป	118
รายการอ้างอิง	123
บรรณานุกรม	124
ภาคผนวก	125
ภาคผนวก ก ข้อมูลจำเพาะของรถไถพรวนดินที่ใช้ในการทดลอง	126
ภาคผนวก ข รายละเอียดเครื่องมือวัดและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง	130
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณผลการทดลอง	133
ภาคผนวก ง การหาภาระที่เพลาล้อ	138
ภาคผนวก จ ตัวอย่างการคำนวณ	140
ภาคผนวก ฉ ตารางผลการทดลอง	145
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	180

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 5.1	การปรับเทียบ Torque transducer สำหรับวัดแรงบิดเครื่องยนต์	45
ตารางที่ 5.2	การปรับเทียบ Torque transducer สำหรับวัดแรงบิดที่เพลาล้อซ้าย	48
ตารางที่ 5.3	การปรับเทียบ Torque transducer สำหรับวัดแรงบิดที่เพลาล้อขวา	50
ตารางที่ ก.1	ข้อมูลจำเพาะของรถไถพรวนดินฮอนด้า รุ่น FA500	126
ตารางที่ ฉ.1	แรงบิดที่เพลาล้อเข้าห้องส่งกำลังที่ทำให้เพลาล้อเริ่มหมุน (อุณหภูมิน้ำมันในห้องส่งกำลัง 32°C)	145
ตารางที่ ฉ.2	แรงบิดที่เพลาล้อเข้าห้องส่งกำลังที่ทำให้เพลาล้อเริ่มหมุน (อุณหภูมิน้ำมันในห้องส่งกำลัง 43.8°C)	145
ตารางที่ ฉ.3	กำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลังที่เกียร์ 1	146
ตารางที่ ฉ.4	กำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลังที่เกียร์ 2	146
ตารางที่ ฉ.5	กำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลังที่เกียร์ 3	147
ตารางที่ ฉ.6	กำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลังที่เกียร์ 4	147
ตารางที่ ฉ.7	กำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลังที่เกียร์ 5	148
ตารางที่ ฉ.8	กำลังสูญเสียภายในระบบส่งกำลังที่เกียร์ 6	148
ตารางที่ ฉ.9	ผลการทดลองขณะมีภาระที่เพลาล้อแบบรถพ่วง เกียร์ 1	149
ตารางที่ ฉ.10	ผลการทดลองขณะมีภาระที่เพลาล้อแบบรถพ่วง เกียร์ 2	151
ตารางที่ ฉ.11	ผลการทดลองขณะมีภาระที่เพลาล้อแบบรถพ่วง เกียร์ 3	153
ตารางที่ ฉ.12	ผลการทดลองขณะมีภาระที่เพลาล้อแบบรถพ่วง เกียร์ 4	155
ตารางที่ ฉ.13	ผลการทดลองขณะมีภาระที่เพลาล้อแบบรถพ่วง เกียร์ 5	157
ตารางที่ ฉ.14	ผลการทดลองขณะมีภาระที่เพลาล้อแบบรถพ่วง เกียร์ 6	159
ตารางที่ ฉ.15	ผลการทดลองขณะมีภาระที่เพลาล้อแบบไถหัวหมู เกียร์ 1	161
ตารางที่ ฉ.16	ผลการทดลองขณะมีภาระที่เพลาล้อแบบไถหัวหมู เกียร์ 2	164
ตารางที่ ฉ.17	ผลการทดลองขณะมีภาระที่เพลาล้อแบบไถหัวหมู เกียร์ 3	167
ตารางที่ ฉ.18	ผลการทดลองขณะมีภาระที่เพลาล้อแบบล้อพรวนดิน เกียร์ 1	169
ตารางที่ ฉ.19	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวเมื่อไม่มีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 1	172
ตารางที่ ฉ.20	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวเมื่อไม่มีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 2	172
ตารางที่ ฉ.21	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวเมื่อไม่มีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 3	172
ตารางที่ ฉ.22	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวเมื่อไม่มีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 4	173
ตารางที่ ฉ.23	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวเมื่อไม่มีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 5	173
ตารางที่ ฉ.24	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวเมื่อไม่มีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 6	173

ตารางที่ ฉ.25	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวขณะมีภาระที่เพลาล้อเป็นลักษณะของการลากรถพ่วงที่เกี่ยวข้องที่ 1	174
ตารางที่ ฉ.26	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวขณะมีภาระที่เพลาล้อเป็นลักษณะของการลากรถพ่วงที่เกี่ยวข้องที่ 2	175
ตารางที่ ฉ.27	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวขณะมีภาระที่เพลาล้อเป็นลักษณะของการลากรถพ่วงที่เกี่ยวข้องที่ 3	176
ตารางที่ ฉ.28	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวขณะมีภาระที่เพลาล้อเป็นลักษณะของการลากรถพ่วงที่เกี่ยวข้องที่ 4	177
ตารางที่ ฉ.29	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวขณะมีภาระที่เพลาล้อเป็นลักษณะของการลากรถพ่วงที่เกี่ยวข้องที่ 5	178
ตารางที่ ฉ.30	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวขณะมีภาระที่เพลาล้อเป็นลักษณะของการลากรถพ่วงที่เกี่ยวข้องที่ 6	179



คุนยวิทยทรพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

		หน้า
รูปที่ 1.1	แผนผังเฟืองส่งกำลังของรถไถเดินตามติดเครื่องพรวนจอบหมุน	2
รูปที่ 1.2	แผนผังเฟืองส่งกำลังของรถไถพรวนดินขนาดเล็กที่ใช้ในการศึกษา และทดลอง	3
รูปที่ 1.3	กำลังของเครื่องยนต์และเพลาล้อที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ขณะยัง ไม่ให้ภาระเป็น 2350 รอบต่อนาที	6
รูปที่ 3.1	คลัตช์ชนิดดึงสายพาน	13
รูปที่ 3.2	แผนผังแสดงคลัตช์เสียดทานชนิดต่าง ๆ	16
รูปที่ 3.3	คลัตช์เสียดทานชนิดต่าง ๆ	17
รูปที่ 3.4	ส่วนประกอบของคลัตช์จาน	18
รูปที่ 3.5	คลัตช์เดี่ยว	18
รูปที่ 3.6	คลัตช์เฟือง	20
รูปที่ 3.7	คลัตช์ชนิดลูกปืน	21
รูปที่ 3.8	คลัตช์เฟืองดาวเคราะห์	22
รูปที่ 4.1	อุปกรณ์การเกษตรที่นำมาต่อพ่วงกับรถไถเดินตามชนิดลาก	23
รูปที่ 4.2	ตำแหน่งและทิศทางของแรงที่กระทำบนรถไถเดินตามและรถพ่วง	25
รูปที่ 4.3	ผังวัตถุอิสระของรถพ่วง	25
รูปที่ 4.4	ผังวัตถุอิสระของรถไถเดินตาม	27
รูปที่ 4.5	ลักษณะผาลของไถหัวหมูแบบเอเชียและยุโรป	30
รูปที่ 4.6	ไถหัวหมูติดรถไถเดินตาม	32
รูปที่ 4.7	แรงภายนอกกระทำต่อรถไถเดินตามกับไถหัวหมู	33
รูปที่ 4.8	แรงภายนอกกระทำในแนวระดับ	33
รูปที่ 4.9	แรงภายนอกกระทำในแนวตั้ง	34
รูปที่ 4.10	ภาพด้านหลังรถไถเดินตามขณะไถดิน	35
รูปที่ 4.11	แรงภายนอกที่กระทำกับรถไถพรวนดิน	36
รูปที่ 5.1	ตัวอย่างการเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เพลาล้อ	41
รูปที่ 5.2	คานและที่แขวนตุ้มน้ำหนักที่ใช้ในการเปรียบเทียบ	43
รูปที่ 5.3	การเปรียบเทียบ Torque transducer สำหรับวัดแรงบิดที่เพลาล้อ ข้างซ้าย	44
รูปที่ 5.4	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของอุปกรณ์วัด แรงบิดเครื่องยนต์	46

รูปที่ 5.5	การเปรียบเทียบ Torque transducer สำหรับวัดแรงบิดที่เพลาล้อข้างซ้าย	47
รูปที่ 5.6	การเปรียบเทียบ Torque transducer สำหรับวัดแรงบิดที่เพลาล้อข้างขวา	47
รูปที่ 5.7	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เพลาล้อซ้าย	49
รูปที่ 5.8	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดกับแรงเคลื่อนไฟฟ้าของอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เพลาล้อซ้าย	50
รูปที่ 5.9	การทดลองวัดแรงเสียดทานสถิต	51
รูปที่ 5.10	การติดตั้ง Dial gauge เพื่อตรวจสอบการหมุนของเพลาล้อ	51
รูปที่ 5.11	การติดตั้งที่แขวนตุ้มน้ำหนักที่เพลาล้อในห้องส่งกำลัง	52
รูปที่ 5.12	การวัดอุณหภูมิของน้ำมันหล่อลื่นภายในห้องส่งกำลัง	52
รูปที่ 5.13	การติดตั้งชุดการทดลองวัดกำลังสูญเสียภายในห้องส่งกำลัง	54
รูปที่ 5.14	การติดตั้งเครื่องยนต์และ Torque transducer บนแท่นทดลอง	54
รูปที่ 5.15	การติดตั้งถังน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ากับชุดวัดอัตราการไหลน้ำมันเชื้อเพลิง	55
รูปที่ 5.16	การต่อสายจากชุดวัดอัตราการไหลน้ำมันเชื้อเพลิงเข้าเครื่องยนต์	55
รูปที่ 5.17	การต่อเบรกเข้ากับเพลาล้อโดยใช้ Universal joint	56
รูปที่ 5.18	อุปกรณ์จับยึดคานคลัตช์บังคับเลี้ยว	57
รูปที่ 5.19	ชุดทดลองวัดแรงบีบคลัตช์บังคับเลี้ยว	58
รูปที่ 6.1	ผลของอุณหภูมิน้ำมันหล่อลื่นต่อแรงเสียดทานสถิตในห้องส่งกำลัง	60
รูปที่ 6.2	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์กับกำลังสูญเสียและการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ที่เกียร์ 1	63
รูปที่ 6.3	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์กับกำลังสูญเสียและการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ที่เกียร์ 2	63
รูปที่ 6.4	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์กับกำลังสูญเสียและการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ที่เกียร์ 3	64
รูปที่ 6.5	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์กับกำลังสูญเสียและการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ที่เกียร์ 4	64
รูปที่ 6.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์กับกำลังสูญเสียและการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ที่เกียร์ 5	65
รูปที่ 6.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบเครื่องยนต์กับกำลังสูญเสียและการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง ที่เกียร์ 6	65

รูปที่ 6.72	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 1 ล้อซ้าย	102
รูปที่ 6.73	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 1 ล้อขวา	103
รูปที่ 6.74	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 2 ล้อซ้าย	103
รูปที่ 6.75	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 2 ล้อขวา	104
รูปที่ 6.76	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 3 ล้อซ้าย	104
รูปที่ 6.77	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 3 ล้อขวา	105
รูปที่ 6.78	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 4 ล้อซ้าย	105
รูปที่ 6.79	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 4 ล้อขวา	106
รูปที่ 6.80	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 5 ล้อซ้าย	106
รูปที่ 6.81	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 5 ล้อขวา	107
รูปที่ 6.82	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 6 ล้อซ้าย	107
รูปที่ 6.83	แรงที่ใช้ในการบีบคลัตช์บังคับเลี้ยวกรณีมีภาระที่เพลาล้อ เกียร์ 6 ล้อขวา	108
รูปที่ 7.1	คลัตช์ชนิดลูกปืน	109
รูปที่ 7.2	คลัตช์ข้างหนึ่งที่มีเม็ดลูกปืนและกลไกของแหวนเลื่อน	109
รูปที่ 7.3	แรงกระทำที่คลัตช์ชนิดลูกปืน	110
รูปที่ 7.4	ตำแหน่งของแรงกระทำที่เขี้ยวของคลัตช์ชนิดลูกปืน	114
รูปที่ 7.5	การประมาณหน้าตัดเขี้ยวของคลัตช์ชนิดลูกปืนเป็นสี่เหลี่ยมคางหมู	114
รูปที่ ก.1	แผนผังเฟืองระบบส่งกำลังของรถไถพรวนดินขนาดเล็ก	127
รูปที่ ก.2	กราฟแสดงสมรรถนะของเครื่องยนต์ Honda G200 ขนาด 5.5 แรงม้า	129

รูปที่ ข.1	ชุดการทดลองวัดกำลังสูญเสีย ประสิทธิภาพการส่งกำลังและแรงที่ใช้ บีบคลัตช์บังคับลิ้น	130
รูปที่ ข.2	แท่นทดลองวัดกำลังสูญเสียและประสิทธิภาพการส่งกำลัง	130
รูปที่ ข.3	อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง	131
รูปที่ ข.4	ชุดสายพาน	131
รูปที่ ข.5	ชุดเพิ่มภาระที่เพลาล้อ	132
รูปที่ ข.6	ชุดทดลองวัดแรงเสียดทานสถิต	132
รูปที่ ค.1	Data logger	133
รูปที่ ค.2	Tachometer	134
รูปที่ ค.3	Torque transducer ของเครื่องยนต์	134
รูปที่ ค.4	Torque amplifier	135
รูปที่ ค.5	Torque transducer ของเพลาล้อ	135
รูปที่ ค.6	หม้อแปลงไฟฟ้ากระแสตรง	136
รูปที่ ค.7	Digital strain bridge	136
รูปที่ ค.8	Dial gauge	137
รูปที่ ง.1	แรงกระทำที่ล้อรถไถ	138

คำอธิบายสัญลักษณ์

a	อัตราเร่งของรถไฟใต้ดินตาม
a_1	ระยะของจุดศูนย์ถ่วงถึงแนวล้อรถไฟใต้ดินตาม
a_2	ระยะของจุดศูนย์ถ่วงถึงแนวล้อรถไฟฟ้าง
b_1	ระยะของจุดศูนย์กลางล้อถึงพื้นรถไฟใต้ดินตาม
b_2	ระยะของจุดศูนย์กลางล้อถึงพื้นรถไฟฟ้าง
c	จุดตัดแกน Y ของกราฟ
f	ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน
f_1	แรงต้านทานการเคลื่อนที่
m	ค่าความชันของสมการเส้นตรง
m_G	อัตราทดเฟืองทั้งระบบ
n	ความเร็วรอบเพลลา
n_3	ความเร็วรอบหมุนของเพลลาเครื่องพรวนจอบหมุน
sfc	การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงจำเพาะ
w	ระยะจากจุดที่แรงกระทำถึงจุด C
x	ค่าแรงบิด
y	ค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงบิด
BS	ค่าการลื่นของสายพาน
C	จุดที่เสียหายเนื่องจากโมเมนต์ตัด
C_L	สัมประสิทธิ์แรงยกจากการไถพรวน
C_T	สัมประสิทธิ์แรงดันจากการไถพรวน
D_b	ขนาดรูสวมของตลับลูกปืน
D_w	เส้นผ่าศูนย์กลางล้อรถไฟพรวนดิน
E	ค่าโมดูลัสของยัง
E_1	แรงเคลื่อนไฟฟ้าจากการปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เครื่องยนต์
E_2	แรงเคลื่อนไฟฟ้าจากการปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เพลาล้อ ซ้าย
E_3	แรงเคลื่อนไฟฟ้าจากการปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เพลาล้อ ขวา
F	แรงที่เขี้ยวของคลัตช์กระทำกับลูกปืน
F_b	แรงกระทำกับตลับลูกปืน
FC	การสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง

FS	ค่าความปลอดภัย
I	โมเมนต์ความเฉื่อย
K_d	ตัวประกอบการคูณในส่วนของพลศาสตร์
K_o	ตัวประกอบการคูณในส่วนของแรงกระทำ
M	โมเมนต์ดัดที่กระทำกับเขี้ยวคลัตช์ที่จุด C
N_a	ความเร็วรอบเพลาล้อ
N_e	ความเร็วรอบเพลาคู่มือ
N_i	ความเร็วรอบเพลาล้อเข้าห้องส่งกำลัง
P_a	กำลังที่เพลาล้อ
P_b	กำลังสูญเสียในตลับลูกปืน
P_e	กำลังเครื่องยนต์
P_g	แรงจลนศาสตร์รวม
P_{in}	กำลังที่เข้าสู่ระบบส่งกำลัง
P_{loss}	กำลังที่สูญเสียไปภายในระบบส่งกำลัง
P_{out}	กำลังที่ออกจากระบบส่งกำลัง
Q	แรงที่แหวนเลื่อนกระทำกับลูกปืน
R	ความต้านทานการเคลื่อนที่รวม อัตราทดรอบระหว่างมุมล์ของเครื่องยนต์กับมุมล์ของเพลาล้อเข้าห้องส่งกำลัง
R_F	แรงปฏิกิริยาที่ลูกปืนกระทำกับเขี้ยวของคลัตช์
R_H	แรงปฏิกิริยาดินกระทำต่อไถหัวหมูในแนวระดับ
R_1	แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำกับล้อรถไถเดินตาม
R_2	แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำกับล้อรถพ่วง
SG	ความถ่วงจำเพาะของน้ำมันเชื้อเพลิง
T_b	แรงบิดเนื่องจากความเสียดทานในตลับลูกปืน
T_e	แรงบิดของเครื่องยนต์
T_{aL}	แรงบิดที่เพลาล้อซ้าย
T_{aR}	แรงบิดที่เพลาล้อขวา
T_{aT}	แรงบิดที่เพลาล้อรวม
T_1	แรงบิดจากการปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เครื่องยนต์
T_2	แรงบิดจากการปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เพลาล้อซ้าย
T_3	แรงบิดจากการปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงบิดที่เพลาล้อขวา
V	ความเร็วรถไถเดินตาม
W_A	น้ำหนักล้อรถไถเดินตาม

W_B	น้ำหนักล้อรถพ่วง
W_1	น้ำหนักรถไถเดินตาม
W_2	น้ำหนักรถพ่วง
Z_1	แรงขับเคลื่อนของรถไถเดินตาม
Z_2	แรงเสียดทานที่ล้อของรถพ่วง
α	มุมของแรงต้านทานรวมที่กระทำกับใบมีดพรวนดิน
η	ประสิทธิภาพการส่งกำลัง
v	อัตราส่วนปัวซอง
θ	มุมกำหนดตำแหน่งของจุดศูนย์ถ่วงกรณีความลึก การพรวนดินสูงสุด
σ_b	ความเค้นดัด
σ_c	ความเค้นอัด
σ_{uc}	ความเค้นอัดสูงสุด
σ_y	ความต้านแรงดึงคราก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย