

การศึกษาแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีดของรถไถพรวนดินขนาดเล็ก



นายชนัดต์ รัตนสุมาวงศ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

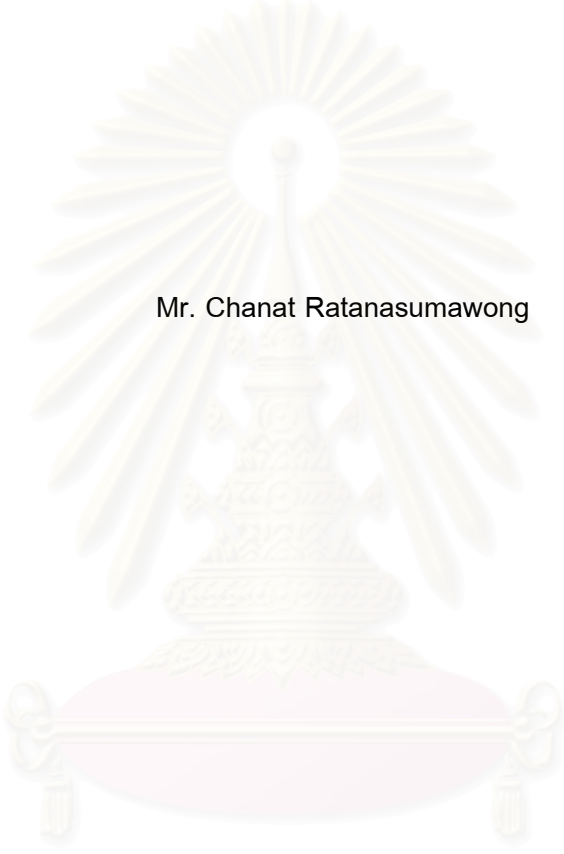
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0239-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A STUDY OF BLADE RESISTING FORCES ON A SMALL MOTOR TILLER



Mr. Chanat Ratanasumawong

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 974-03-0239-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การศึกษาแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีดของรถไถพรวนดินขนาดเล็ก

โดย

นายชนัดต์ รัตนสุมาวงศ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมเครื่องกล

อาจารย์ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ พงศ์สุภสมิทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ พงศ์สุภสมิทธิ์)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ เตชะอำไพ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฉัตรชัย หงษ์อุเทน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชยันต์ รัตนสุมาวงศ์ : การศึกษาแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีดของรถไถพรวนดินขนาดเล็ก (A STUDY OF BLADE RESISTING FORCES ON A SMALL MOTOR TILLER) อ.ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. สุรินทร์ พงศ์ศุภสมิทธิ, 237 หน้า. ISBN 974-03-0239-4

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีด และลักษณะการสั่นสะเทือนที่คันมือถือของรถไถพรวนดินขนาดเล็ก วิธีการศึกษาทำโดยจำลองสภาพการทำงานของรถไถพรวนดิน โดยทดลองพรวนทรายในกระบะทรายที่เคลื่อนที่ได้ ขณะทดลองวัดแรงที่กระทำกับล้อหลังโดยใช้อุปกรณ์วัดแรง 2 มิติรูปตัว L ซึ่งเป็นอุปกรณ์วัดแรงที่สร้างขึ้นใหม่ในการศึกษานี้ ส่วนแรงภายนอกอื่นๆ ที่กระทำต่อรถไถพรวนดิน ได้แก่ แรงที่ใช้ยี่ตรถไถพรวนดินให้อยู่กับที่จะวัดโดยใช้อุปกรณ์วัดแรงดึง ขณะเดียวกันก็วัดการสั่นสะเทือนที่คันมือถือด้านซ้ายพร้อมกันไปด้วย จากนั้นใช้แรงต่างๆ ที่วัดได้มาคำนวณหาแรงต้านทานทรายที่กระทำต่อใบมีด โดยอาศัยการเขียนแผนผังวัตถุอิสระ และใช้สมการสมดุลของแรงในแนวตั้ง แนวระดับ และสมดุลของโมเมนต์ นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ เกียร์ความเร็ว และน้ำหนักถกรถไถพรวนดิน ต่อแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีดและลักษณะการสั่นสะเทือนที่คันมือถือ

จากผลการทดลองพบว่า พารามิเตอร์ต่างๆ เหล่านี้ส่งผลต่อขนาด ทิศทาง ตำแหน่งแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อใบมีด และลักษณะการสั่นสะเทือนที่คันมือถือในลักษณะต่างๆ กัน และเมื่อนำขนาดการสั่นสะเทือนที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ISO 2631 พบว่าขนาดการสั่นสะเทือนที่คันมือถือยังมีขนาดเกินกว่าขอบเขตลดความคล่องแคล่วเนื่องจากความล่า และขีดจำกัดการรับการสั่นสะเทือนที่ 8 ชั่วโมงอยู่ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานได้เมื่อใช้งานรถไถนี้ต่อเนื่องเป็นเวลานาน นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการถ่วงน้ำหนักกรถไถพรวนดินด้วยน้ำหนักที่เหมาะสมในตำแหน่งที่เหมาะสมจะช่วยลดขนาดการสั่นสะเทือนลงได้มาก ผลการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์ต่อการวิจัยและพัฒนาการออกแบบโครงสร้างและชิ้นส่วนของรถไถพรวนดิน ตลอดจนรูปร่างที่เหมาะสมของใบมีด

ภาควิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา.....วิศวกรรมเครื่องกล.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา.....2544.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4170273721 : MAJOR MECHANICAL ENGINEERING

KEY WORD: BLADE RESISTING FORCES / VIBRATION / SAND BIN / MOTOR TILLER

CHANAT RATANASUMAWONG : A STUDY OF BLADE RESISTING FORCES

ON A SMALL MOTOR TILLER. THESIS ADVISOR : PROF. SURIN

PHONGSUPASAMIT, D.Agr. 237 pp. ISBN 974-03-0239-4.

The objective of this study is to study blade resisting forces and to study vibration at the handle of the motor tiller. The experimental method of this study is conducted by operating motor tiller to till sand in a movable sand bin. During the experiment, forces that act on the rear wheel are measured by the 2-D forces measuring device of L-shaped bar which is newly developed for this study. The force that is used to pull a motor tiller is measured by a load cell. At the same time, the vibration at the left handle is measured too. These measured forces are used to calculate blade resisting forces by using equilibrium equations of the machine free body diagram. Moreover, this study also study effects of some relative parameters such as engine speeds, gear positions, and additional weight that press on the motor tiller to the blade resisting forces and the vibration at the handle of the motor tiller.

The results show that these parameters effect to the magnitude, direction, position of the total blade resisting forces, and the vibration at the handle. By comparing the vibration results with vibration standard ISO 2631, The results show that the magnitude of vibrations that are measured in this experiment are exceed 8-hr fatigue decrease proficiency (fdp) boundary and 8-hr exposure limit. Thus, it is danger for operator to continuously use the motor tiller for a long time. Moreover, the results also show that increasing the suitable weight to the suitable position on the motor tiller can reduced the magnitude of vibration significantly. This study may be useful for research and development motor tiller structure and their parts as well as suitable shape of blades.

Department Mechanical Engineering Student's signature

Field of study Mechanical Engineering Advisor's signature

Academic year 2001 Co-advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ศาสตราจารย์ ดร.สุรินทร์ พงศ์ศุภสมิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงที่ท่านได้ให้ทั้งความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนคำปรึกษาที่มีคุณค่ายิ่งในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัย และการทำงานในอนาคต

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ ประธานกรรมการ ศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ เตชะอำไพ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ฉัตรชัย หงษ์อุเทน กรรมการ ที่ได้ให้คำแนะนำตลอดระยะเวลาทำงานวิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ ที่กรุณาให้ยืมเครื่อง Strain amplifier และเครื่อง Tachometer ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ ที่กรุณาให้ยืมเครื่องวัดการสั่นสะเทือน Microlog data collectors ขอกราบขอบพระคุณ Prof. Jun SAKAI ที่กรุณาให้คำแนะนำและแนวคิดที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ บริษัท HONDA R&D Southeast Asia ที่กรุณาให้ยืมรถไถพรวน ขอขอบพระคุณ คุณณรงค์ สันต์ถาวร ที่กรุณาให้ยืมเครื่องอัดทราย ขอขอบพระคุณ กองเกษตร-วิศวกรรม ที่กรุณาให้ยืม Load cell และเครื่องวัดความแข็งแรงทราย ขอขอบพระคุณ คุณเสวย เกตุภาค คุณสุบิน ชันติ คุณโกวิท โกพล และคุณพรชัย เสาวรัตน์ชัย ที่กรุณาให้คำแนะนำ และช่วยเหลือในการสร้างชุดทดลอง รวมทั้งกรุณาให้ยืมเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างชุดทดลอง

ขอขอบพระคุณ คุณกมลวรรณ พงศาพิชญ์ คุณไพศาล มานิตย์โชติพิสิฐ คุณเอกอุ ธรรมกรบัญญัติ ตลอดจนเพื่อนๆ และรุ่นพี่ปริญญาโททุกท่านที่ได้ช่วยเหลือในหลายๆ ด้าน รวมทั้งยังได้เสนอแนะข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณ คุณนัทธี พินิจรัตนพันธ์ คุณพุทธิ เมฆธารา คุณนิยม สีทะนึ่ คุณพฤติชาติ ชีรประชา คุณสุรัชย์ วงษ์-ทัศน์ย์กร และคุณอธิป สิทธิโชคพันธ์ น้องนิสิตปริญญาตรีที่ช่วยสร้างชุดทดลอง และช่วยทำการทดลองจนการวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษา ของผู้วิจัยเสมอมา และคุณค่าอันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบเป็นกตัญญูตราบูชาแต่ บิดามารดา ครูอาจารย์ ตลอดจนผู้มีพระคุณทุกท่าน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ท
คำอธิบายสัญลักษณ์	บ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์	1
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์	2
1.5 ปรัชญาของวิทยานิพนธ์	2
บทที่ 2 แรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีดของรถไถพรวนดิน	5
2.1 การพรวนดินด้วยรถไถพรวนดิน	5
2.2 ชนิดและลักษณะเฉพาะของใบมีดเครื่องพรวนจอบหมุน	5
2.3 การหาตำแหน่งจุดเสมือนที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อใบมีด โดยใช้วิธีกราฟฟิก	6
2.4 การหาตำแหน่งจุดเสมือนที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อใบมีด และทิศทางแรงกระทำในทางปฏิบัติ	14
2.5 แรงดันและแรงยกจากการไถพรวน	15
2.6 หลักพลวัตของรถไถพรวนดิน	16
บทที่ 3 การวัดแรงและโมเมนต์ด้วยสเตรนเกจ	19
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ตัด ความเค้น และความเครียด	19
3.2 ทฤษฎีพื้นฐานของสเตรนเกจ และการประยุกต์ใช้งาน	21
3.3 การวัดแรงใน 2 มิติโดยใช้อุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L	24
บทที่ 4 การวิเคราะห์การสันสะเทือนแบบสเปกตรัม	28
4.1 การแปลงแบบฟูเรียร์	28
4.2 การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม	30

	หน้า
บทที่ 5 การศึกษาความสัมพันธ์ของรถไถพรวนดินสภาพสั้นอย่างอิสระ	36
5.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และสมการคณิตศาสตร์ แสดงลักษณะการสั้นสะท้อนของรถไถพรวนดิน	36
5.2 การทดลองเพื่อวัดการสั้นสะท้อนของรถไถพรวนดินสภาพสั้น อย่างอิสระ	43
5.3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	44
บทที่ 6 วิธีการทำวิทยานิพนธ์	53
6.1 แนวคิดในการสร้างชุดทดลองเพื่อทำวิทยานิพนธ์	53
6.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	58
6.3 วิธีการทดลอง	58
6.4 วิธีการคำนวณ	64
บทที่ 7 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง	68
7.1 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองในส่วนของการหา แรงต้านทานการไถพรวนที่กระทำต่อใบมีด	68
7.2 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองในส่วนของการวัด การสั้นสะท้อนที่คั่นมือถือด้านซ้าย	91
บทที่ 8 บทสรุป ปัญหาที่พบ และข้อเสนอแนะ	118
8.1 บทสรุป	118
8.2 ปัญหาที่พบในการทำวิทยานิพนธ์	121
8.3 ข้อเสนอแนะ	122
รายการอ้างอิง	124
บรรณานุกรม	126
ภาคผนวก	127
ภาคผนวก ก ข้อมูลจำเพาะของรถไถพรวนที่ใช้ในการทดลอง	128
ภาคผนวก ข รูปชุดทดลอง	131
ภาคผนวก ค รายละเอียดเครื่องมือวัดและอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการ ทดลอง	137
ภาคผนวก ง วิธีการปรับเทียบและผลการปรับเทียบเครื่องมือวัด	145
ภาคผนวก จ การหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถไถพรวนติดชุด ทดลอง	159

หน้า

ภาคผนวก จ	ข้อมูลดิบจากการทดลอง	165
ภาคผนวก ช	ความแข็งของทรายที่ใช้ในการทดลอง ความลึกการ พรุนทราย และความเร็วการเคลื่อนที่ของกระเบทราย	226
ภาคผนวก ซ	ตัวอย่างการคำนวณ	229
ภาคผนวก ฌ	รูปแบบการจัดเรียงใบมีดบนล้อพรุน	234
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	237



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 7.1	แรงดันจากการไหลพรวนเฉลี่ย แรงยกจากการไหลพรวนเฉลี่ย แรงต้านทานรวมเฉลี่ย มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อแนวระดับและสัมประสิทธิ์การตะกอยุข ขณะไม่ถ่วงน้ำหนักรถไหลพรวน	69
ตารางที่ 7.2	แรงดันจากการไหลพรวนเฉลี่ย แรงยกจากการไหลพรวนเฉลี่ย แรงต้านทานรวมเฉลี่ย มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อแนวระดับและสัมประสิทธิ์การตะกอยุข ขณะถ่วงน้ำหนักรถไหลพรวน	83
ตารางที่ 7.3	ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1	95
ตารางที่ 7.4	ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 2	96
ตารางที่ 7.5	ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 3	96
ตารางที่ 7.6	ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 1	96
ตารางที่ 7.7	ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 2	97
ตารางที่ 7.8	ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 3	97
ตารางที่ 7.9	ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 1	97
ตารางที่ 7.10	ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 2	98
ตารางที่ 7.11	ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 3	98
ตารางที่ 7.12	การเปรียบเทียบความถี่และขนาดการสั่นสะเทือนสูงสุด ระหว่างสภาพสั่นอย่างอิสระ กับสภาพพรวนทรายในกระบะทรายขณะไม่มีน้ำหนักถ่วง	99
ตารางที่ 7.13	ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรองเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 15 กิโลกรัม	108

	หน้า	
ตารางที่ 7.14	ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับ รองเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 30 กิโลกรัม	108
ตารางที่ 7.15	ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับ รองเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 45 กิโลกรัม	108
ตารางที่ 7.16	ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับ รองเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 5 กิโลกรัม	109
ตารางที่ 7.17	ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับ รองเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 10 กิโลกรัม	109
ตารางที่ 7.18	ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับ รองเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 15 กิโลกรัม	109
ตารางที่ 7.19	ความถี่และขนาดการสั่นสะเทือนสูงสุดที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1 ที่สภาพสั่นอย่างอิสระ สภาพพรวน ทรายโดยไม่มีน้ำหนักถ่วง และสภาพพรวนทรายโดยมีน้ำหนักถ่วง	110
ตารางที่ ก1	ข้อมูลจำเพาะของรถไถพรวน รุ่น FA500	128
ตารางที่ ง1	การเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ขณะถ่วงน้ำหนักทำมุมเอียง กับแนวระดับ 0 องศา	148
ตารางที่ ง2	การเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ขณะถ่วงน้ำหนักทำมุมเอียง กับแนวระดับ 30 องศา	149
ตารางที่ ง3	การเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ขณะถ่วงน้ำหนักทำมุมเอียง กับแนวระดับ 45 องศา	150
ตารางที่ ง4	การเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ขณะถ่วงน้ำหนักทำมุมเอียง กับแนวระดับ 60 องศา	151
ตารางที่ ง5	การเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ขณะถ่วงน้ำหนักทำมุมเอียง กับแนวระดับ 135 องศา	152
ตารางที่ ง6	การเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ขณะถ่วงน้ำหนักทำมุมเอียง กับแนวระดับ 150 องศา	153
ตารางที่ ง7	ผลการเปรียบเทียบ Load cell	157
ตารางที่ จ1	น้ำหนักที่อ่านได้จากตาชั่งแต่ละตัวเมื่อปรับรถไถพรวนดินเอียงเป็น มุมต่างๆ	160
ตารางที่ ฉ1	ค่าต่างๆ ที่วัดได้และคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบ เครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1	166
ตารางที่ ฉ2	ค่าต่างๆ ที่วัดได้และคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบ เครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 2	168

	หน้า	
ตารางที่ ฉ19	ค่าต่างๆ ที่วัดได้และคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 1 (ตัดข้อมูลแล้ว)	202
ตารางที่ ฉ20	ค่าต่างๆ ที่วัดได้และคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 2 (ตัดข้อมูลแล้ว)	204
ตารางที่ ฉ21	ค่าต่างๆ ที่วัดได้และคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 3 (ตัดข้อมูลแล้ว)	206
ตารางที่ ฉ22	ค่าต่างๆ ที่วัดได้และคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 1 (ตัดข้อมูลแล้ว)	208
ตารางที่ ฉ23	ค่าต่างๆ ที่วัดได้และคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 2 (ตัดข้อมูลแล้ว)	210
ตารางที่ ฉ24	ค่าต่างๆ ที่วัดได้และคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 3 (ตัดข้อมูลแล้ว)	212
ตารางที่ ฉ25	ค่าต่างๆ ที่วัดได้และคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 15 กิโลกรัม (ตัดข้อมูลแล้ว)	214
ตารางที่ ฉ26	ค่าต่างๆ ที่วัดได้และคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 30 กิโลกรัม (ตัดข้อมูลแล้ว)	216
ตารางที่ ฉ27	ค่าต่างๆ ที่วัดได้และคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 45 กิโลกรัม (ตัดข้อมูลแล้ว)	218
ตารางที่ ฉ28	ค่าต่างๆ ที่วัดได้และคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 5 กิโลกรัม (ตัดข้อมูลแล้ว)	220
ตารางที่ ฉ29	ค่าต่างๆ ที่วัดได้และคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 10 กิโลกรัม (ตัดข้อมูลแล้ว)	222
ตารางที่ ฉ30	ค่าต่างๆ ที่วัดได้และคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 15 กิโลกรัม (ตัดข้อมูลแล้ว)	224
ตารางที่ ช1	ความแข็งแรงที่ใช่ในการทดลอง	226
ตารางที่ ช2	ความลึกการพรวนทรายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์และเกียร์ความเร็วต่างๆ	228
ตารางที่ ช3	ความเร็วการเคลื่อนที่ของกระบะทรายที่ใช่ในการทดลอง	228

สารบัญญภาพ

	หน้า	
รูปที่ 2.1	โอบีมีดรูปตัว L และ โอบีมีดรูปตัว C	6
รูปที่ 2.2	แรงต่างๆ ที่กระทำต่อโอบีมีดและระยะที่แรงกระทำ	6
รูปที่ 2.3	รูปแสดงวิธีการทางกราฟฟิกในการหาตำแหน่งจุดที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อโอบีมีด	10
รูปที่ 2.4	แรงต่างๆ ที่กระทำต่อโอบีมีดและตำแหน่งของแรงกระทำ	11
รูปที่ 2.5	แรง T_3 และตำแหน่งของจุดเสมือนที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อโอบีมีด, O_R	15
รูปที่ 2.6	แรงภายนอกที่กระทำต่อรถไถพรวนดิน	16
รูปที่ 3.1	การกระจายความเค้นในวัตถุเมื่อมีโมเมนต์ดัดมากระทำ	19
รูปที่ 3.2	หน้าตัดของอุปกรณ์วัดแรงที่ใช้ในการทดลอง	20
รูปที่ 3.3	การต่อวงจรบริดจ์และการติดตั้งบนคาน แบบสเตรนเกจ 1 ตัว	22
รูปที่ 3.4	การต่อวงจรบริดจ์และการติดตั้งบนคาน แบบสเตรนเกจ 2 ตัว	23
รูปที่ 3.5	การต่อวงจรบริดจ์และการติดตั้งบนคาน แบบสเตรนเกจ 3 ตัว	23
รูปที่ 3.6	อุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L	24
รูปที่ 3.7	การต่อสเตรนเกจในวงจรบริดจ์เพื่อวัดโมเมนต์ดัด	25
รูปที่ 3.8	อุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ที่ใช้ในการทดลอง	26
รูปที่ 4.1	การเคลื่อนที่แบบลักษณะเป็นคาบ	29
รูปที่ 4.2	สัญญาณการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกที่แสดงบนแกนความถี่	30
รูปที่ 4.3	สัญญาณบนโดเมนเวลา	31
รูปที่ 4.4	สัญญาณบนโดเมนความถี่	31
รูปที่ 4.5	การเคลื่อนที่แบบเป็นคาบบนโดเมนเวลา	32
รูปที่ 4.6	การเคลื่อนที่แบบเป็นคาบบนโดเมนความถี่	32
รูปที่ 4.7	ความสัมพันธ์ของการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลา และโดเมนความถี่	33
รูปที่ 4.8	ตัวอย่างของสัญญาณในรูปแบบต่างๆ บนโดเมนเวลา และโดเมนความถี่	34
	(ก) คลื่นรูปไซน์	
	(ข) คลื่นรูปจตุรัส	
	(ค) ชูคของอิมพัลส์	
	(ง) คลื่นรูปไซน์ที่ถูกโมดูเลต	

	หน้า	
รูปที่ 4.9	การสั่นสะเทือนของเครื่องจักรแสดงบนโดเมนเวลาและโดเมนความถี่	35
รูปที่ 5.1	แบบจำลองรถไถพรวนดินที่ใช้ในการศึกษา	36
รูปที่ 5.2	แรงเฉื่อยที่กระทำกับลูกสูบ ก้านสูบ และเพลาช้อเหียง	37
รูปที่ 5.3	แสดงการแตกแรงเฉื่อยให้อยู่ในแนวตั้งและแนวระดับ	39
รูปที่ 5.4	แรงที่กระทำกับรถไถพรวนดินด้านข้าง	40
รูปที่ 5.5	แรงที่กระทำกับรถไถพรวนดินด้านหน้า	40
รูปที่ 5.6	แรงที่กระทำกับรถไถพรวนดินด้านบน	41
รูปที่ 5.7	แสดงการรวมความเร่งที่คั่นมือถือด้านซ้าย	42
รูปที่ 5.8	การจัดชุดทดลอง	43
รูปที่ 5.9	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คั่นมือถือด้านซ้าย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที ขณะไม่เข้าเกียร์	45
รูปที่ 5.10	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คั่นมือถือด้านซ้าย ที่ความเร็วรอบ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1	45
รูปที่ 5.11	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คั่นมือถือด้านซ้าย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 2	45
รูปที่ 5.12	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คั่นมือถือด้านซ้าย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 3	46
รูปที่ 5.13	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คั่นมือถือด้านซ้าย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที ขณะไม่เข้าเกียร์	46
รูปที่ 5.14	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คั่นมือถือด้านซ้าย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 1	46
รูปที่ 5.15	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คั่นมือถือด้านซ้าย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 2	47
รูปที่ 5.16	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คั่นมือถือด้านซ้าย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 3	47
รูปที่ 5.17	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คั่นมือถือด้านซ้าย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที ขณะไม่เข้าเกียร์	47
รูปที่ 5.18	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คั่นมือถือด้านซ้าย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 1	48
รูปที่ 5.19	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คั่นมือถือด้านซ้าย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 2	48

	หน้า
รูปที่ 5.20	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คันท่อด้านซ้าย ที่ความเร็วรอบ เครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 3 48
รูปที่ 5.21	กราฟเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง และเกียร์ความเร็ว ต่างๆ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที 49
รูปที่ 5.22	กราฟเปรียบเทียบขนาดการสั่นสะเทือนที่คันท่อด้านซ้าย ในทิศแนวตั้ง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ 51
รูปที่ 5.23	กราฟเปรียบเทียบขนาดการสั่นสะเทือนที่คันท่อด้านซ้ายในทิศ ตามขวาง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ 51
รูปที่ 6.1	แรงภายนอกที่กระทำต่อรถไถพรวน 53
รูปที่ 6.2	การจัดชุดทดลองเพื่อหาแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีด 54
รูปที่ 6.3	แรงภายนอกที่กระทำต่อรถไถพรวนดินในการทดลอง 56
รูปที่ 6.4	แสดงการอัดทราย 59
รูปที่ 6.5	แนวร่องทรายทางวิ่งของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L 59
รูปที่ 6.6	แสดงการจัดชุดทดลอง 59
รูปที่ 6.7	การวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์ 60
รูปที่ 6.8	รถไถพรวนขณะทดลอง 61
รูปที่ 6.9	รถไถพรวนขณะทดลอง 61
รูปที่ 6.10	การวัดการสั่นสะเทือนที่คันท่อด้านซ้ายของรถไถพรวน 61
รูปที่ 6.11	แสดงชุดทดลองหลังจากทดลองเสร็จสิ้นในแต่ละครั้ง 62
รูปที่ 6.12	การวัดความลึกการพรวนทราย 62
รูปที่ 6.13	การถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนด้านหน้า 63
รูปที่ 6.14	การถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนด้านหลัง 63
รูปที่ 7.1	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันจากการไถพรวนกับเกียร์ความเร็ว ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ 71
รูปที่ 7.2	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงยกจากการไถพรวนกับเกียร์ความเร็ว ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ 71
รูปที่ 7.3	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทานรวมกับเกียร์ความเร็วที่ความ เร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ 72
รูปที่ 7.4	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับ กับเกียร์ความเร็ว ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ 72
รูปที่ 7.5	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การตะกุกกับเกียร์ความเร็วที่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ 73

	หน้า
รูปที่ 7.6	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันจากการไถพรวนเฉลี่ย กับความเร็วรอบของล้อพรวน 73
รูปที่ 7.7	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงยกจากการไถพรวนเฉลี่ย กับความเร็วรอบของล้อพรวน 74
รูปที่ 7.8	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทานรวม กับความเร็วรอบของล้อพรวน 74
รูปที่ 7.9	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่แรงต้านทานรวมกระทำ กับความเร็วรอบของล้อพรวน 75
รูปที่ 7.10	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การตะกຽบ กับความเร็วรอบของล้อพรวน 75
รูปที่ 7.11	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันจากการไถพรวนเฉลี่ย กับความเร็วรอบของล้อพรวน เมื่อตัดข้อมูลที่ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 3 ออก 76
รูปที่ 7.12	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทานรวม กับความเร็วรอบของล้อพรวน เมื่อตัดข้อมูลที่ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 3 ออก 76
รูปที่ 7.13	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่แรงต้านทานรวมกระทำ กับความเร็วรอบของล้อพรวน เมื่อตัดข้อมูลที่ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 3 ออก 77
รูปที่ 7.14	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การตะกຽบ กับความเร็วรอบของล้อพรวน เมื่อตัดข้อมูลที่ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 3 ออก 77
รูปที่ 7.15	แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1 79
รูปที่ 7.16	แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 2 79
รูปที่ 7.17	แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 3 79
รูปที่ 7.18	แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 1 80
รูปที่ 7.19	แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 2 80
รูปที่ 7.20	แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 3 80
รูปที่ 7.21	แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 1 81

		หน้า
รูปที่ 7.22	แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 2	81
รูปที่ 7.23	แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 3	81
รูปที่ 7.24	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเฉลี่ย แรงยกเฉลี่ย และแรงต้านทานรวม กับน้ำหนักถ่วงรถไถพรวนด้านหน้า ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1	84
รูปที่ 7.25	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อแนวระดับกับน้ำหนักถ่วงรถไถพรวนด้านหน้า ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1	84
รูปที่ 7.26	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การตะกຽบ กับน้ำหนักถ่วงรถไถพรวนด้านหน้า ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 rpm เกียร์ 1	85
รูปที่ 7.27	แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวนขณะถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 15 กิโลกรัม ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1	86
รูปที่ 7.28	แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวนขณะถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 30 กิโลกรัม ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1	86
รูปที่ 7.29	แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวนขณะถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 45 กิโลกรัม ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1	87
รูปที่ 7.30	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเฉลี่ย แรงยกเฉลี่ย และแรงต้านทานรวม กับน้ำหนักถ่วงรถไถพรวนด้านหลัง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1	88
รูปที่ 7.31	ความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อแนวระดับกับน้ำหนักถ่วงรถไถพรวนด้านหลัง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1	89
รูปที่ 7.32	ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การตะกຽบ กับน้ำหนักถ่วงรถไถพรวนดินด้านหลัง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1	89
รูปที่ 7.33	แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวนขณะถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 5 กิโลกรัม ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1	90

	หน้า	
รูปที่ 7.34	แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวน ขณะถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 10 กิโลกรัม ที่ความเร็วรอบเครื่อง- ยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1	91
รูปที่ 7.35	แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวน ขณะถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 15 กิโลกรัม ที่ความเร็วรอบเครื่อง- ยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1	91
รูปที่ 7.36	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อ นาที เกียร์ 1	92
รูปที่ 7.37	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อ นาที เกียร์ 2	93
รูปที่ 7.38	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อ นาที เกียร์ 3	93
รูปที่ 7.39	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบ ต่อนาที เกียร์ 1	93
รูปที่ 7.40	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อ นาที เกียร์ 2	94
รูปที่ 7.41	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อ นาที เกียร์ 3	94
รูปที่ 7.42	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อ นาที เกียร์ 1	94
รูปที่ 7.43	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อ นาที เกียร์ 2	95
รูปที่ 7.44	สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อ นาที เกียร์ 3	95
รูปที่ 7.45	ความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นสะเทือนกับเกียร์ความเร็วที่ความเร็ว รอบเครื่องยนต์ต่างๆ ขณะสั่นอย่างอิสระ	100
รูปที่ 7.46	ความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นสะเทือน กับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่เกียร์ความเร็วต่างๆ ขณะสั่นอย่างอิสระ	100
รูปที่ 7.47	ความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นสะเทือนกับเกียร์ความเร็วที่ความเร็ว รอบเครื่องยนต์ต่างๆ ขณะพรวนทราย	101
รูปที่ 7.48	ความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่เกียร์ความเร็วต่างๆ ขณะพรวนทราย	101

		หน้า
รูปที่ 7.49	เปรียบเทียบการสันสะเทือนสภาพสั่นอย่างอิสระกับขณะพรวนทราย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที	102
รูปที่ 7.50	เปรียบเทียบการสันสะเทือนสภาพสั่นอย่างอิสระกับขณะพรวนทราย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที	102
รูปที่ 7.51	เปรียบเทียบการสันสะเทือนสภาพสั่นอย่างอิสระกับขณะพรวนทราย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที	103
รูปที่ 7.52	เปรียบเทียบการสันสะเทือนสภาพสั่นอย่างอิสระกับขณะพรวนทราย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ เกียร์ 1	103
รูปที่ 7.53	เปรียบเทียบการสันสะเทือนสภาพสั่นอย่างอิสระกับขณะพรวนทราย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ เกียร์ 2	104
รูปที่ 7.54	เปรียบเทียบการสันสะเทือนสภาพสั่นอย่างอิสระกับขณะพรวนทราย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ เกียร์ 3	105
รูปที่ 7.55	สัญญาณการสันสะเทือนเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 15 กิโลกรัม	105
รูปที่ 7.56	สัญญาณการสันสะเทือนเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 30 กิโลกรัม	106
รูปที่ 7.57	สัญญาณการสันสะเทือนเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 45 กิโลกรัม	106
รูปที่ 7.58	สัญญาณการสันสะเทือนเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 5 กิโลกรัม	106
รูปที่ 7.59	สัญญาณการสันสะเทือนเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 10 กิโลกรัม	107
รูปที่ 7.60	สัญญาณการสันสะเทือนเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 15 กิโลกรัม	107
รูปที่ 7.61	ขนาดการสันสะเทือนที่คันมือถือด้านซ้ายของรถไถพรวน ขณะ พรวนทรายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1 เมื่อ ถ่วงน้ำหนักขนาดต่างๆ	108
รูปที่ 7.62	การเปรียบเทียบการสันสะเทือนที่วัดได้กับมาตรฐาน ISO 2631 ขณะไม่ได้ถ่วงน้ำหนักรถไถพรวน (ใช้ขอบเขตการสันสะเทือนที่ 8 ชั่วโมง)	114
รูปที่ 7.63	การเปรียบเทียบการสันสะเทือนที่วัดได้กับมาตรฐาน ISO 2631 ขณะไม่ได้ถ่วงน้ำหนักรถไถพรวน (ใช้ขอบเขตการสันสะเทือนที่ 4 ชั่วโมง)	115
รูปที่ 7.64	การเปรียบเทียบการสันสะเทือนที่วัดได้กับมาตรฐาน ISO 2631 ขณะถ่วงน้ำหนักรถไถพรวน (ใช้ขอบเขตการสันสะเทือนที่ 8 ชั่วโมง)	116
รูปที่ 7.65	การเปรียบเทียบการสันสะเทือนที่วัดได้กับมาตรฐาน ISO 2631 ขณะถ่วงน้ำหนักรถไถพรวน (ใช้ขอบเขตการสันสะเทือนที่ 4 ชั่วโมง)	117

	หน้า	
รูปที่ ก1	แผนผังเพื่อระบบส่งกำลังของรถไถพรวน	129
รูปที่ ข1	กระบะทรายที่ใช้ในการทดลอง	131
รูปที่ ข2	รถไถพรวนติดชุดถ่วงน้ำหนักหน้า	131
รูปที่ ข3	อุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L	132
รูปที่ ข4	ขนาดของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L	132
รูปที่ ข5	ข้อต่ออุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L	133
รูปที่ ข6	ขนาดของข้อต่ออุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L	133
รูปที่ ข7	ชุดควบคุมแรงกดที่กระทำต่อล้อหลัง	134
รูปที่ ข8	ขนาดชุดควบคุมแรงกดที่กระทำต่อล้อหลัง	134
รูปที่ ข9	ชุดถ่วงน้ำหนักหลัง	135
รูปที่ ข10	ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน	135
รูปที่ ข11	ที่แขวนตุ้มน้ำหนัก	136
รูปที่ ค1	สเตรนเกจที่ใช้ในการทดลอง	137
รูปที่ ค2	Strain amplifier ที่ใช้กับสเตรนเกจตำแหน่งที่ 1	138
รูปที่ ค3	Bridge box ที่ใช้กับสเตรนเกจตำแหน่งที่ 1	138
รูปที่ ค4	Strain amplifier ที่ใช้กับสเตรนเกจตำแหน่งที่ 2	139
รูปที่ ค5	Bridge box ที่ใช้กับสเตรนเกจตำแหน่งที่ 2	139
รูปที่ ค6	Load cell	140
รูปที่ ค7	Strain amplifier ที่ใช้กับ Load cell	140
รูปที่ ค8	Bridge box ที่ใช้กับ Load cell	141
รูปที่ ค9	Data logger	141
รูปที่ ค10	แผนภาพการต่ออุปกรณ์ต่างๆ	142
รูปที่ ค11	เครื่องวัดการสั่นสะเทือน Microlog data collectors	142
รูปที่ ค12	เครื่อง Support module	143
รูปที่ ค13	เครื่องวัดความเร็วรอบ (Digital tachometer)	143
รูปที่ ค14	เครื่องอัดทราย	144
รูปที่ ค15	เครื่องวัดความแข็งทราย (Sand resistance tester)	144
รูปที่ ง1	การสอบเทียบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ขณะถ่วงน้ำหนักที่ 0 องศา	146
รูปที่ ง2	การสอบเทียบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ขณะเปลี่ยนมุมเอียงของการถ่วงน้ำหนัก	146
รูปที่ ง3	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับโมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจตำแหน่งที่ 1	154

		หน้า
รูปที่ ง4	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับโมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ สเตรนเกจ ตำแหน่งที่ 2	155
รูปที่ ง5	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับโมเมนต์ที่วัดได้จาก Load cell	158
รูปที่ จ1	ระยะต่างๆ และตำแหน่งในการวางเครื่องชั่งน้ำหนัก	159
รูปที่ จ2	แรงต่างๆ ที่กระทำกับรถไถพรวนติดชุดทดลอง เมื่อแท่นเครื่องอยู่ใน แนวระดับ	160
รูปที่ จ3	แรงที่กระทำกับรถไถพรวนติดชุดทดลอง เมื่อแท่นเครื่องเอียงทำมุม 9 องศา กับแนวระดับ	161
รูปที่ จ4	แรงที่กระทำกับรถไถพรวนติดชุดทดลอง เมื่อแท่นเครื่องเอียงทำมุม 14 องศา กับแนวระดับ	162
รูปที่ จ5	การหาจุดศูนย์กลางถ่วงของรถไถพรวนดิน กรณีจัดให้แท่นเครื่องอยู่ ในแนวระดับ	164
รูปที่ จ6	การหาจุดศูนย์กลางถ่วงของรถไถพรวนดิน กรณีจัดให้แท่นเครื่องเอียงทำ มุมกับแนวระดับ	164
รูปที่ ฉ1	การจัดเรียงใบมีดบนล้อพรวน	235
รูปที่ ฉ2	รูปแบบการตัดทรายของใบมีด (Cutting pattern)	236

คำอธิบายสัญลักษณ์

a	ตัวปรับแก้ความถูกต้อง
b	ความสูงของหน้าตัดวัตถุซึ่งเกิดโมเมนต์ดัด
c	ระยะห่างจากแกนนิวทรอล
f_c	แรงเฉื่อยที่กระทำกับเพลลาข้อเหวี่ยง
f_p	แรงเฉื่อยที่กระทำกับลูกสูบ
h	ความกว้างของหน้าตัดวัตถุซึ่งเกิดโมเมนต์ดัด
h_c	ระยะจากข้อต่อของข้อเหวี่ยงกับก้านสูบถึงจุดศูนย์กลางถ่วงของก้านสูบ
h_p	ระยะจากจุดศูนย์กลางถ่วงของก้านสูบถึงข้อต่อระหว่างก้านสูบกับลูกสูบ
i	สัมประสิทธิ์ค่าความสูง
m	จำนวนใบมีดต่อจานหมุน มวลของรถไถพรวนดิน
n	ความเร็วรอบหมุนของเพลลาจานหมุน
n_3	ความเร็วรอบหมุนของเพลลาใบมีด
r_3	รัศมีการหมุนของปลายใบมีด
v	ความเร็วการเคลื่อนที่ของล้อพรวนดิน ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถไถ
A	พื้นที่หน้าตัดลวด
Amp	ขนาดการสั่นสะเทือน
BF	บริตจ์แฟคเตอร์
C	แฟคเตอร์ของรูปร่าง
C_1	จุดเสมือนที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อใบมีด
C_{11}	จุดที่แรง T_{11} กระทำต่อใบมีด
C_{12}	จุดที่แรง T_{12} กระทำต่อใบมีด
C_{13}	จุดที่แรง T_{13} กระทำต่อใบมีด
C_L	สัมประสิทธิ์แรงยกจากการไถพรวน
C_R	สัมประสิทธิ์คาร์ซีมี
C_T	สัมประสิทธิ์แรงดันจากการไถพรวน
CPM	ความถี่การสั่นสะเทือน
CT	สัมประสิทธิ์การตะกรุย

D	มิติของลวด
E	ค่าโมดูลัสของยังส์
E	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใส่เข้าวงจรบริดจ์
E_1	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จากสเตรนเกจซึ่งติดที่ตำแหน่งที่ 1
E_2	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จากสเตรนเกจซึ่งติดที่ตำแหน่งที่ 2
E_3	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงดึง
F	แรงที่กระทำต่อวัตถุ
F_4	แรงต้านทานที่สกีหลังของรถไถพรวนดินในแนวระดับ
F_X	ส่วนประกอบของแรงที่กระทำต่อวัตถุในแนวระดับ
F_Y	ส่วนประกอบของแรงที่กระทำต่อวัตถุในแนวตั้ง
F_T	แรงต้านทานรวม
G	จุดศูนย์ถ่วงของรถไถพรวนดินชุดทดลอง
$G.F.$	เกจแฟคเตอร์
H	ความลึกการพรวนดิน
H_1	ระยะในแนวตั้งวัดจากแนวแรง P_1 ถึงเส้นแนวระดับที่ลากผ่านจุด D ระยะในแนวระดับวัดจากจุดที่แรงกระทำจนถึงจุดที่ติดสเตรนเกจตำแหน่งที่ 1 ของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ระยะในแนวตั้งวัดจากระยะต่ำสุดของการพรวนจนถึงจุดเสมือนที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อไปมีด
H_{11}	ระยะในแนวตั้งวัดจากแนวแรง P_{11} ถึงเส้นแนวระดับที่ลากผ่านจุด D
H_{12}	ระยะในแนวตั้งวัดจากแนวแรง S_{12} ถึงเส้นแนวระดับที่ลากผ่านจุด D
H_{13}	ระยะในแนวตั้งวัดจากแนวแรง P_{13} ถึงเส้นแนวระดับที่ลากผ่านจุด D
H_2	ระยะในแนวระดับวัดจากจุดที่แรงกระทำจนถึงจุดที่ติดสเตรนเกจตำแหน่งที่ 2 ของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ระยะในแนวตั้งวัดจากระยะต่ำสุดของการพรวนจนถึงตำแหน่งที่ติด Load cell
H_3	ระยะในแนวตั้งวัดจากระยะต่ำสุดของการพรวนจนถึงตำแหน่งต่ำสุดของล้อของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L
H_M	ความลึกมากที่สุดของการพรวนดิน
H_R	ความสูงของจุด O_R วัดจากจุดต่ำสุดของการพรวนดิน

I	โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนนิวทอลล์
J_1	โมเมนต์ความเฉื่อยของรถไถพรวน รอบแกน Z
J_2	โมเมนต์ความเฉื่อยของรถไถพรวน รอบแกน X
J_3	โมเมนต์ความเฉื่อยของรถไถพรวน รอบแกน Y
L	ความยาวของก้านสูบ
L_4	ระยะในแนวระดับวัดจากจุดศูนย์กลางการหมุนของไ้มีดจนถึงจุดที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อสกีหลัง
L_5	ระยะในแนวระดับวัดจากจุดศูนย์กลางการหมุนของไ้มีดจนถึงแนวแรงที่เกิดจากน้ำหนักถ่วงหลัง
L_R	ระยะในแนวระดับวัดจากจุดศูนย์กลางการหมุนของไ้มีดจนถึงจุดเสมือนที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อไ้มีด
L_W	ระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางเพลาล้อของรถไถพรวนดินกับจุดศูนย์กลางถ่วงของรถไถพรวนดิน
M	โมเมนต์ตัดที่กระทำต่อวัตถุ
M_1	โมเมนต์ตัดที่กระทำที่ตำแหน่ง 1
M_2	โมเมนต์ตัดที่กระทำที่ตำแหน่ง 2
NE	กำลังออกสูงสุดที่แท้จริงของเครื่องยนต์
O_R	จุดที่แรงต้านทานดินรวมกระทำกับไ้มีด
OD	เส้นตรงในแนวตั้งซึ่งผ่านจุดศูนย์กลางเพลาล้อ
P_1	ส่วนประกอบของแรง τ_1 ในแนวระดับ หรือแรงดันจากการไถพรวนรวม
P_{11}	ส่วนประกอบของแรง τ_{11} ในแนวระดับ
P_{12}	ส่วนประกอบของแรง τ_{12} ในแนวระดับ
P_{13}	ส่วนประกอบของแรง τ_{13} ในแนวระดับ
P_3	แรงดันจากการไถพรวน
R	รัศมีการหมุนของไ้มีด ความต้านทานไฟฟ้า ความยาวของข้อเหวี่ยง
R_1	ส่วนประกอบของแรง τ_1 ในแนวตั้ง หรือแรงยกจากการไถพรวนรวม
R_{11}	ส่วนประกอบของแรง τ_{11} ในแนวตั้ง
R_{13}	ส่วนประกอบของแรง τ_{13} ในแนวตั้ง
R_2	ระยะระหว่างเพลาล้อข้อเหวี่ยงกับจุดศูนย์กลางถ่วงของเพลาล้อข้อเหวี่ยง
R_3	แรงยกจากการไถพรวน

R_4	แรงต้านทานที่สกีหลังของรถไถพรวนดินในแนวตั้ง
R_R	ระยะห่างจากจุดศูนย์กลางแกนหมุนจนถึงจุด O_R
S_{12}	ส่วนประกอบของแรง T_{12} ในแนวตั้ง
T	โมเมนต์บิดเนื่องจากแรงเฉื่อย
T_1, T_2, T_3	แรงดึงลวดสลิงที่ใช้แขวนรถไถพรวนที่ตำแหน่ง 1, 2 และ 3
T_3, τ_3	แรงต้านทานดินรวม
V_1	ระยะในแนวตั้งวัดจากจุดที่แรงกระทำจนถึงจุดที่ติดสเตรนเกจตำแหน่งที่ 1 ของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L
V_2	ระยะในแนวตั้งวัดจากจุดที่แรงกระทำจนถึงจุดที่ติดสเตรนเกจตำแหน่งที่ 2 ของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L
W	น้ำหนักของรถไถพรวนติดชุดทดลอง
W_1	น้ำหนักถ่วงด้านหน้ารถไถพรวน
W_2	น้ำหนักถ่วงด้านหลังรถไถพรวน
W_3	น้ำหนักของก้านสูบ
W_C	น้ำหนักของข้อเหวี่ยง
W_P	น้ำหนักของลูกสูบ
W_T	น้ำหนักรวมของรถไถพรวนดิน
α	มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อแนวระดับ
α_1	มุมที่แรง T_1 กระทำกับแนวระดับ
α_{11}	มุมที่แรง T_{11} กระทำกับแนวระดับ
α_{12}	มุมที่แรง T_{12} กระทำกับแนวระดับ
α_{13}	มุมที่แรง T_{13} กระทำกับแนวระดับ
\mathcal{E}	ความเครียด
η	สัมประสิทธิ์การส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปสู่เพลลาของเครื่องพรวนจอบหมุน
λ_1	ระยะทางในแนวระดับวัดจาก แนวแรง R_1 ถึงเส้นตรงในแนวตั้งซึ่งลากผ่านจุดศูนย์กลางเพลาล้อ
λ_{11}	ระยะทางในแนวระดับวัดจาก แนวแรง R_{11} ถึงเส้นตรงในแนวตั้งซึ่งลากผ่านจุดศูนย์กลางเพลาล้อ
λ_{12}	ระยะทางในแนวระดับวัดจาก แนวแรง S_{12} ถึงเส้นตรงในแนวตั้งซึ่งลากผ่านจุดศูนย์กลางเพลาล้อ
λ_{13}	ระยะทางในแนวระดับวัดจาก แนวแรง R_{13} ถึงเส้นตรงในแนวตั้งซึ่งลากผ่านจุดศูนย์กลางเพลาล้อ

v	อัตราส่วนปัวซอง
θ	มุมที่เส้นตรงซึ่งลากเชื่อมระหว่างจุดศูนย์กลางเพลาล้อของรถไถพรวนดินกับจุดศูนย์กลางถ่วงของรถไถพรวนดินกระทำกับแนวดิ่ง
ρ	สัมประสิทธิ์ความต้านทาน
σ	ความเค้นที่เกิดในวัตถุ
τ	คาบเวลา
τ_1	แรงต้านทานดินรวม
τ_4	แรงต้านทานรวมที่สกีหลังของรถไถพรวนดิน
τ_{11}	แรงต้านทานดินจากการไถพรวน
τ_{12}	แรงดุดในแนวรัศมี
τ_{13}	แรงต้านทานดินเนื่องจากผลของขอบใบมีด
ω	ความถี่ ความเร็วรอบหมุนของเครื่องยนต์
Δe_0	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อมีโมเมนต์มากระทำต่อเสตรนเกจ
ΔD	มิติของลวดที่เปลี่ยนแปลงไป
ΔL	ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป
ΔR	ความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงไป
ΔS_n	แรงดุดในแนวรัศมี ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง
$\Delta \tau_n$	แรงต้านทานดินจากการไถพรวน ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

รถไถพรวนดินเป็นรถไถเดินตามที่ติดล้อพรวนดิน (Rotor tiller หรือ Drum rotor) ในขณะทำงานใบมีดหมุนเพื่อพรวนดินให้มีขนาดเล็กลง การหมุนพรวนดินของใบมีดทำให้เกิดแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีดซึ่งมีทิศทางขึ้นบนและไปข้างหน้า แรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีดนี้จะส่งผลโดยตรงต่อเสถียรภาพในการทำงาน และการสิ้นเปลืองของรถไถพรวนดิน การสิ้นเปลืองที่เกิดขึ้นจะส่งผลต่อต้นทุนมือถือขณะทำงาน ทำให้ผู้ใช้เกิดความเมื่อยล้า ประสิทธิภาพการทำงานลดลง รวมถึงอาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานได้หากใช้งานติดต่อกันเป็นเวลานาน

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

เพื่อทดสอบหาแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีด และศึกษาลักษณะการสิ้นเปลืองของรถไถพรวนดิน

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.3.1 ใช้รถไถพรวนดินรุ่น FA500 ของบริษัท เอเซียฮอนด้ามอเตอร์ จำกัด ในการทดลอง

1.3.2 ทดลองหาแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีด

1.3.3 ศึกษาลักษณะการสิ้นเปลืองในแนวตั้ง (ทิศทางขึ้นลง) ที่ต้นทุนมือถือด้านซ้ายของรถไถพรวนดินเท่านั้น

1.3.4 สร้างชุดทดสอบเพื่อใช้ในการทดลอง ได้แก่ กระบะทราย อุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L และชุดถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนดิน

1.3.5 ทำการทดลองที่สภาวะการทดลองต่างๆ ได้แก่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ เกียร์ความเร็วต่างๆ และน้ำหนักถ่วงรถไถพรวนดินต่างๆ กัน

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์

การศึกษาแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีดของรถไถพรวนดินขนาดเล็ก ช่วยให้ทราบถึงขนาด ทิศทาง และจุดเสมือนที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อใบมีด รวมทั้งยังทำให้ทราบลักษณะการสั่นสะเทือนของรถไถพรวนดินในสภาพการทำงานต่างๆ และผลกระทบของการสั่นสะเทือนต่อผู้ใช้งาน นอกจากนี้วิทยานิพนธ์นี้ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้สร้างทฤษฎีการออกแบบกำหนดน้ำหนักที่เหมาะสมของเครื่องจักรและโครงสร้าง ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการออกแบบโครงสร้างและชิ้นส่วนของรถไถพรวนดิน

1.5 ทัศนวิสัยวรรณกรรม

เนื่องจากแรงต้านทานดินที่กระทำต่อใบมีดขณะพรวนดินนั้นเป็นสาเหตุสำคัญสาเหตุหนึ่งต่อเสถียรภาพในการทำงานและการสั่นสะเทือนของรถไถพรวนดิน ดังนั้นการศึกษาเพื่อหาแรงต้านทานดินที่กระทำต่อใบมีดจึงมีการศึกษามาเป็นเวลานานแล้ว ดังตัวอย่างงานวิจัยที่นำมากล่าวโดยสังเขปต่อไปนี้

Jun SAKAI [10] ทำการวิเคราะห์แรงภายนอกที่กระทำต่อรถไถพรวนดินติดเครื่องพรวนจอบหมุน พบว่าเมื่อรถไถเดินตามติดเครื่องพรวนจอบหมุนทำงานอย่างมีเสถียรภาพแล้ว แรงยกเนื่องจากการไถพรวนจะสมดุลกับแรงกดลง 5 แรงคือ 1.แรงกดลงเนื่องจากน้ำหนักของรถ 2.แรงกดลงเนื่องจากความเฉื่อยของรถ 3.แรงกดลงเนื่องจากแรงต้านทานการหมุนของล้อ 4.แรงกดลงเนื่องจากผลของแรงดันจากการไถพรวน 5.แรงกดลงเนื่องจากผลของแรงปฏิกิริยาที่ล้อ นอกจากนี้ยังได้สร้างสมการเพื่อใช้คำนวณน้ำหนักที่เหมาะสมของรถ เพื่อให้รถไถเดินตามติดเครื่องพรวนจอบหมุนทำงานอย่างมีเสถียรภาพ

Jun SAKAI [9] ศึกษาถึงแรงภายนอกที่กระทำต่อใบมีดแบบญี่ปุ่น พบว่าแรงที่กระทำต่อใบมีดประกอบด้วยแรง 4 ชนิด คือ 1.แรงดูดในแนวรัศมี (Radial suction force) 2.แรงสู่ศูนย์กลาง (Centripetal force) 3.แรงต้านทานการบิด (Turning moment resistance) 4.แรงด้านข้าง (Lateral force) ขนาดของแรงต่างๆ เหล่านี้สามารถหาได้จากเส้นโค้งแรงบิด (Torque resistance curve) ของเพลลาเครื่องพรวนจอบหมุน นอกจากนี้ยังได้ทำการหาตำแหน่งที่แรงลัพธ์ของแรงทั้ง 4 กระทำต่อใบมีด พบว่าจุดที่แรงลัพธ์กระทำต่อใบมีดอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางการหมุนของใบมีดประมาณ 1.01 ถึง 1.04 เท่าของรัศมีการหมุนของปลายใบมีด และความสูงของจุดที่แรงลัพธ์กระทำต่อใบมีดอยู่สูงจากระดับต่ำสุดของการพรวนดินประมาณ 0.3 ถึง 0.5 เท่าของความลึกมากที่สุดของการพรวนดิน

Koichi HASHIGUCHI, Jun SAKAI, Shoichiro YAMANAKA, Koichi IWASAKI

[12] ศึกษาความต้านทานการไถพรวนของใบมีดจอบหมุน โดยสร้างอุปกรณ์วัดขึ้นมาใหม่เพื่อวัดแรงต้านทานและโมเมนต์ที่กระทำต่อใบมีดทั้ง 6 ทิศทาง อุปกรณ์นี้ประกอบด้วยทรงกระบอก 3 ชั้น ต่อเข้ากับระบบส่งกำลังแบบตรงกลางของรถแทรกเตอร์ วัดค่าแรงต้านทานและโมเมนต์จากการทดลองไถ โดยใช้ใบมีดจอบหมุนแบบญี่ปุ่น "Nata-zume" นอกจากนี้ยังทำการเปลี่ยนรูปแบบการจัดเรียงใบมีดบนเพลลาเครื่องพรวนจอบหมุนด้วย นำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มาสร้างสมการคณิตศาสตร์สำหรับอธิบายความต้านทานการไถพรวนของใบมีด พบว่าความยาวเฉือนของดิน (Shear length of soil) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญตัวหนึ่งซึ่งมีผลต่อความต้านทานของใบมีดจอบหมุน และโดยใช้สมการคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นนี้จะสามารถสร้างเส้นโค้งเพื่อประมาณเส้นโค้งแรงบิดจากการไถพรวนได้ด้วย

Jan Md. Baloch, Sheruddin B. Bukhari, A.Q.A. Mughal, Imam Bux Koondhar

[6] ทำการทดลองเพื่อศึกษาค่าของสัมประสิทธิ์ต่างๆ ได้แก่ สัมประสิทธิ์การเกาะติด (Coefficient of adhesion) สัมประสิทธิ์แรงยก (Coefficient of the lifting force) สัมประสิทธิ์แรงดันหน้า (Coefficient of pressing force) สัมประสิทธิ์แรงดัน (Coefficient of rotor-thrust) และสัมประสิทธิ์แรงลอยตัว (Coefficient of rotor buoyancy) เมื่อทำการไถในสภาวะการทำงานต่างๆ กันโดยใช้ใบมีด 3 แบบในการทดลอง ได้แก่ ใบมีดตัดเฉือนแบบใหม่ (New slashers) ใบมีดตัดเฉือนแบบเก่า (Old slashers) และใบมีดรูปตัว L (L-shaped) ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มความลึกของการพรวนดิน สัมประสิทธิ์แรงยกจะมีค่าเพิ่มขึ้น แต่สัมประสิทธิ์การเกาะติด สัมประสิทธิ์แรงดันหน้า และสัมประสิทธิ์แรงลอยตัว จะมีค่าลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า สัมประสิทธิ์แรงดันจะมีค่าลดลงเมื่อความเร็วรอบหมุนของเพลลาใบมีดเพิ่มขึ้น

Bishwajit Majumder [3] ศึกษาถึงผลของความสั่นสะเทือนและระดับเสียงของรถไถ

เดินตามที่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งาน โดยทำการทดสอบวัดการสั่นสะเทือน ระดับเสียงและความดันโลหิตของผู้ใช้งานทั้งในขณะหยุดนิ่งและขณะทำการไถ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ กัน คือ 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000 และ 2200 รอบต่อนาที (โดยที่ความเร็ว 2000 และ 2200 รอบต่อนาที จะทำการทดสอบขณะหยุดนิ่งเท่านั้น) การไถทำในสภาพดินเหนียวแห้งในกรุงเทพฯ (Dry land condition in Bangkok clay soil) วัดความสั่นสะเทือนโดยใช้เครื่องวัดความเร่งแบบสเตรนเกจสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor strain gage type accelerometers) 3 ตัว ซึ่งสามารถวัดความสั่นสะเทือนได้พร้อมกันทั้ง 3 ทิศทาง

ผลการทดสอบพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องยนต์ความเข้มและความถี่ของการสั่นสะเทือนจะเพิ่มขึ้น โดยการสั่นสะเทือนจะมากที่สุดที่สุดในทิศทางขึ้นลง (Vertical mode) และ

น้อยที่สุดในทิศตามขวาง (Lateral mode) เมื่อเปรียบเทียบค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้กับค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน ISO 2631 (ISO standard 2631) ซึ่งแบ่งระดับการสั่นสะเทือนเป็น 3 ระดับคือ 1.ขอบเขตลดความสะดวกสบายที่ 8 ชั่วโมง (8h ISO reduced comfort (rc) boundary) 2.ขอบเขตลดความคล่องแคล่วเนื่องจากความล้าที่ 8 ชั่วโมง (8h fatigue decreased proficiency (fdp) boundary) 3.ขีดจำกัดการรับการสั่นสะเทือนที่ 8 ชั่วโมง (8h exposure limit) พบว่าขณะทำการไถการสั่นสะเทือนทุกทิศทางจะเกินกว่าขอบเขตลดความสะดวกสบายที่ 8 ชั่วโมง และสำหรับการสั่นสะเทือนในทิศทางขึ้นลงระดับการสั่นสะเทือนจะเกินกว่าระดับมาตรฐานทั้ง 3 ระดับ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานได้ ระดับเสียงและความดันโลหิตที่วัดได้ก็เกินกว่าค่ามาตรฐานเช่นกัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

แรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีดของรถไถพรวนดิน

2.1 การพรวนดินด้วยรถไถพรวนดิน

ล้อพรวนดิน (Rotor tiller หรือ Drum rotor) เป็นอุปกรณ์เตรียมดินขนาดเล็กใช้สวมเพลาล้อรถไถพรวนดิน อุปกรณ์นี้เหมาะสำหรับทำงานเบาโดยใช้เตรียมดินบนแปลงยกร่องที่ใช้ปลูกผักและไม้ดอกต่างๆ โดยทั่วไปเกษตรกรในต่างประเทศจะใช้อุปกรณ์นี้เตรียมดินภายในโรงเรือนพลาสติกหรือกระจก เพราะว่ามีขนาดกะทัดรัด ทำงานได้สะดวก

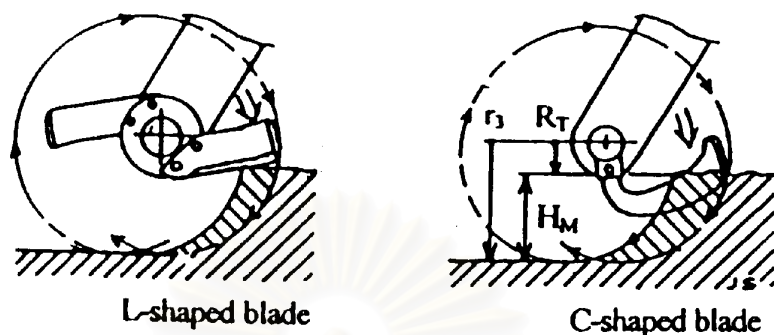
การพรวนดินด้วยอุปกรณ์ชนิดนี้ ใบมีดพรวนดินที่ติดกับเพลาล้อทำหน้าที่ย่อยขนาดก้อนดิน ดังนั้นความเร็วรอบหมุนของใบมีดเท่ากับความเร็วรอบหมุนเพลาล้อ เนื่องจากขนาดก้อนดินที่พรวนได้ขึ้นกับความเร็วรอบหมุนของใบมีด และความเร็วการเคลื่อนที่ของรถไถพรวนดิน ดังนั้นที่จุดพวงอุปกรณ์หลังของรถไถเดินตามจึงจำเป็นต้องติดสกีหลัง (Rare skid) เพื่อใช้เป็นตัวหน่วงการเคลื่อนที่ เพื่อให้ได้ขนาดก้อนดินตามต้องการ นอกจากนี้สกีหลังยังช่วยเพิ่มเสถียรภาพการทำงาน และความสะดวกในการเลี้ยว เมื่อเกษตรกรกดคันมือถือ สกีหลังจะกดดินทำให้เกิดแรงต้านทานดินกระทำต่อสกีหลังมากขึ้น มีผลให้รถไถพรวนดินเคลื่อนที่ช้าลง ขนาดก้อนดินที่ได้ก็จะเล็กลง ในทางกลับกันหากสกีหลังกดดินเพียงเล็กน้อย แรงต้านทานดินที่กระทำก็น้อยด้วยทำให้รถไถพรวนดินเคลื่อนที่เร็ว และก้อนดินที่ได้จากการพรวนจะมีขนาดใหญ่

2.2 ชนิดและลักษณะเฉพาะของใบมีดเครื่องพรวนจอบหมุน

ใบมีดเครื่องพรวนจอบหมุนแบ่งเป็น 2 ชนิด คือใบมีดลักษณะรูปตัว L และใบมีดลักษณะรูปตัว C โดยใบมีดรูปตัว L จะใช้พรวนดินเพื่อเพาะปลูกพืชไร่ ใบมีดชนิดนี้มีรูปร่างค่อนข้างธรรมดา มีความหนาเท่ากันตลอด ตอนปลายมีการบิดเป็นมุมฉาก จึงผลิตได้ง่าย อย่างไรก็ตามใบมีดรูปตัว L ใช้ได้ไม่ดีนักในนาข้าว เพราะใบมีดจะตัดวัชพืชและซากพืชไม่ขาดเมื่อทำงานในดินนาที่อ่อน ดังนั้นฟางข้าวและซากพืชจะเกี่ยวพันกับใบมีดได้ง่าย และทำให้ตัวหมุน (Drum rotor) ถูกพันไปด้วยฟางข้าว ทำให้เกิดแรงต้านทานสูง เครื่องยนต์ดับ

ใบมีดรูปตัว C ถูกออกแบบและประดิษฐ์สำหรับใช้งานในนาข้าว โครงสร้างของใบมีดมีทั้งส่วนที่อและส่วนที่โค้ง ความหนามีการเปลี่ยนแปลงจากโคนถึงปลาย นอกจากนี้ส่วนปลายใบมีดยังมีการบิดโค้งเป็นมุมป้านเพื่อใช้สำหรับตัดดินด้านข้างและโยนก้อนดินที่ถูกตัดไปทาง

ด้านหลัง ถึงแม้ว่าโครงสร้างแบบนี้ต้องใช้กระบวนการผลิตหลายอย่าง แต่ใบมีดจะไม่มีปัญหาจากการถูกเกี่ยวพันด้วยซอกพีชและวัชพีช ถ้าขอบส่วนโค้งใบมีดถูกออกแบบอย่างถูกต้องตามหลักการทางทฤษฎี

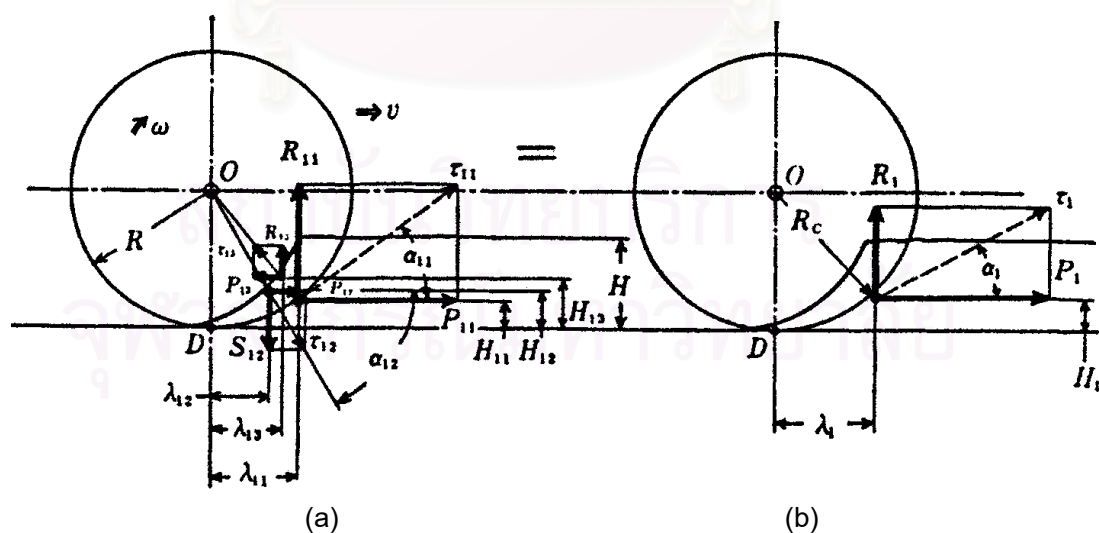


รูปที่ 2.1 ใบมีดรูปตัว L และ ใบมีดรูปตัว C

2.3 การหาตำแหน่งจุดเสมือนที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อใบมีดโดยใช้วิธีกราฟฟิก

ในปี ค.ศ.1977 Jun SAKAI และ Cezar G. SALAS ได้ร่วมกันศึกษาถึงแรงต้านทานดินที่กระทำต่อใบมีดรูปดอกไม้อันโดยใช้วิธีกราฟฟิก [11] ซึ่งมีหลักการสำคัญคือ ทำการทดลองหาเส้นโค้งแรงบิด (Torque pattern) ของใบมีด 1 ใบก่อน และนำเส้นโค้งแรงบิดที่หาได้มาใช้งานแรงต้านทานดินที่กระทำต่อใบมีดหลายใบบนเพลลาจอบหมุนต่อไป

พิจารณาแรงต่างๆ ที่กระทำต่อใบมีดและระยะที่แรงกระทำดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แรงต่างๆ ที่กระทำต่อใบมีดและระยะที่แรงกระทำ

รูปที่ 2.2 แสดงแรงต่างๆ ที่กระทำต่อใบมีดและระยะที่แรงกระทำ โดยรูป (a) นั้นจะแสดงแรงย่อยทั้งหมดที่กระทำต่อใบมีด และระยะที่แรงย่อยเหล่านี้กระทำ ส่วนรูป (b) นั้นแสดงถึงการรวมแรงย่อยๆ ในรูป (a) เข้าด้วยกันจนเหลือเพียงแรงย่อยในแนวระดับ (P_1) และแรงย่อยในแนวตั้ง (R_1) เท่านั้น

สัญลักษณ์ต่างๆ ที่แสดงในรูป 2.2 มีความหมายดังนี้

τ_{11} = แรงต้านทานดินจากการไถพรวน (Pure tillage resistance of rotor tillage) (kgf)

R_{11} = ส่วนประกอบของแรง τ_{11} ในแนวตั้ง (kgf)

P_{11} = ส่วนประกอบของแรง τ_{11} ในแนวระดับ (kgf)

C_{11} = จุดที่แรง τ_{11} กระทำต่อใบมีด (Center point of tillage reaction forces or the center point of action of the resistant force τ_{11} of the tillage resistances)

α_{11} = มุมที่แรง τ_{11} กระทำกับแรง P_{11} (องศา)

H_{11} = ระยะทางในแนวตั้งวัดจาก แนวแรง P_{11} ถึงเส้นแนวระดับที่ลากผ่านจุด D (cm)

λ_{11} = ระยะทางในแนวระดับวัดจาก แนวแรง R_{11} ถึงเส้นตรงในแนวตั้งซึ่งลากผ่านจุดศูนย์กลางเพลาล้อ (เส้นตรง OD) (cm)

OD = เส้นตรงในแนวตั้งซึ่งผ่านจุดศูนย์กลางเพลาล้อ (จุด O) และจุด D

H = ความลึกการพรวนดิน (cm)

R = รัศมีการหมุนของใบมีด (cm)

τ_{12} = แรงดูดในแนวรัศมี (Radial suction force of the rotors) (kgf)

S_{12} = ส่วนประกอบของแรง τ_{12} ในแนวตั้ง (ชี้ลงด้านล่าง) (kgf)

P_{12} = ส่วนประกอบของแรง τ_{12} ในแนวระดับ (kgf)

C_{12} = จุดที่แรง τ_{12} กระทำต่อใบมีด

α_{12} = มุมที่แรง τ_{12} กระทำกับแรง P_{12} (องศา)

H_{12} = ระยะทางในแนวตั้งวัดจาก แนวแรง P_{12} ถึงเส้นแนวระดับที่ลากผ่านจุด D (cm)

λ_{12} = ระยะทางในแนวระดับวัดจาก แนวแรง S_{12} ถึงเส้นตรงในแนวตั้งซึ่งลากผ่านจุดศูนย์กลางเพลาล้อ (เส้นตรง OD) (cm)

τ_{13} = แรงต้านทานดินเนื่องจากผลของขอบใบมีด (Resultant force of the "edge factor" effect of the blade) (kgf)

R_{13} = ส่วนประกอบของแรง τ_{13} ในแนวตั้ง (ชี้ขึ้นด้านบน) (kgf)

- P_{13} = ส่วนประกอบของแรง τ_{13} ในแนวระดับ (ชี้ไปด้านหลัง) (kgf)
 C_{13} = จุดที่แรง τ_{13} กระทำต่อใบมีด (Center point of the reaction forces of the edge factor effects of the blade)
 α_{13} = มุมที่แรง τ_{13} กระทำกับแรง P_{13} (องศา)
 H_{13} = ระยะทางในแนวตั้งวัดจาก แนวแรง P_{13} ถึงเส้นแนวระดับที่ลากผ่านจุด D (cm)
 λ_{13} = ระยะทางในแนวระดับวัดจาก แนวแรง R_{13} ถึงเส้นตรงในแนวตั้งซึ่งลากผ่านจุดศูนย์กลางเพลาล้อ (เส้นตรง OD) (cm)
 v = ความเร็วการเคลื่อนที่ของล้อพรวนดิน (Rate of travel of the rotor tiller) (cm/sec)
 τ_1 = แรงต้านทานดินรวม (ผลรวมของแรง τ_{11} , τ_{12} และ τ_{13}) (kgf)
 R_1 = ส่วนประกอบของแรง τ_1 ในแนวตั้ง หรือแรงยกจากการไถพรวนรวม (kgf)
 P_1 = ส่วนประกอบของแรง τ_1 ในแนวระดับ หรือแรงดันจากการไถพรวนรวม (kgf)
 C_1 = จุดเสมือนที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อใบมีด ซึ่งเป็นจุดตัดของแรง R_1 และ แรง P_1
 α_1 = มุมที่แรง τ_1 กระทำกับแรง P_1 (องศา)
 H_1 = ระยะทางในแนวตั้งวัดจาก แนวแรง P_1 ถึงเส้นแนวระดับที่ลากผ่านจุด D (cm)
 λ_1 = ระยะทางในแนวระดับวัดจาก แนวแรง R_1 ถึงเส้นตรงในแนวตั้งซึ่งลากผ่านจุดศูนย์กลางเพลาล้อ (เส้นตรง OD) (cm)
 $\Delta \tau_n$ = ความต้านทานดินจากการไถพรวน ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง

2.3.1 แรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อใบมีด

ในหัวข้อนี้จะทำการหาตำแหน่งจุดเสมือนที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อใบมีดโดยวิธีกราฟฟิก แรงต้านทานดินรวมที่กระทำต่อใบมีดสามารถแยกออกเป็นแรงย่อยได้ดังนี้ 1. แรงต้านทานดินจากการไถพรวน (Pure tillage resistance, τ_{11}) 2. แรงดูดในแนวรัศมี (Radial suction force, τ_{12}) 3. แรงต้านทานดินเนื่องจากผลของขอบใบมีด (Resultant force of the “edge factor” effect of the blade, τ_{13}) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 (a)

จากผลการทดลองซึ่งใช้ใบมีดแบบดอกไม้ (Flower-type rotor blade) มีคมด้านเดียว (Single-edged) และมีความหนาของใบมีด 3.5 มม. พบว่าแรงต้านทานดินเนื่องจากผลของ

ขอบใบมีด τ_{13} มีค่าน้อยมาก ดังนั้นในการศึกษานี้จะสนใจเฉพาะแรงต้านทานดินจากการไถพรวนและแรงดูดในแนวรัศมีเท่านั้น

ในระยะแรกของการศึกษา คณะผู้วิจัยเกิดข้อสงสัยเกี่ยวกับลักษณะของแรงที่กระทำต่อใบมีดขึ้น เพราะในบางครั้งแรงขับหน้า (Drive-forward force) ซึ่งวัดได้โดย Special vector indicator นั้นมีขนาดมากกว่าแรงขับหน้าที่คำนวณได้จากการวัดโมเมนต์บิด (Torque) บนเพลลาใบมีด เนื่องจากแผนภาพของแรงที่กระทำต่อใบมีดที่เขียนขึ้นในเวลานั้น แรงต้านทานดินรวมคือแรงที่ทำให้เกิดโมเมนต์บิดที่วัดได้ ดังนั้นแรงขับหน้าจึงน่าจะเป็นเพียงส่วนประกอบของแรงต้านทานดินรวมในแนวระดับเท่านั้น การที่แรงขับหน้ามีขนาดมากกว่าแรงต้านทานดินรวมนั้นทำให้คณะผู้วิจัยคิดว่าอาจจะมีความผิดอื่นซึ่งไม่ทำให้เกิดแรงบิดบนเพลลาใบมีดเพิ่มขึ้นนอกเหนือจากแรงต้านทานดินจากการไถพรวน

จากการเปรียบเทียบลักษณะการทำงานของใบมีดพรวนดินกับอุปกรณ์ไถชนิดอื่น เช่น ไถหัวหมู (Moldboard plow) พบว่านอกจากแรงต้านทานดินจากการไถพรวนแล้ว ควรจะมีแรงดูดในแนวรัศมีกระทำกับใบมีดเพิ่มเข้าไปด้วย ดังนั้นจากการค้นพบนี้ทำให้ทราบว่า แรงต้านทานดินรวมไม่ได้มีเฉพาะแรงต้านทานดินจากการไถพรวนเท่านั้น แต่ยังมีแรงดูดในแนวรัศมีด้วย ซึ่งแรงดูดในแนวรัศมีนี้เองที่ทำให้แรงขับหน้ามีขนาดเพิ่มมากขึ้น และในบางครั้งอาจจะมีขนาดมากกว่าแรงต้านทานดินจากการไถพรวน

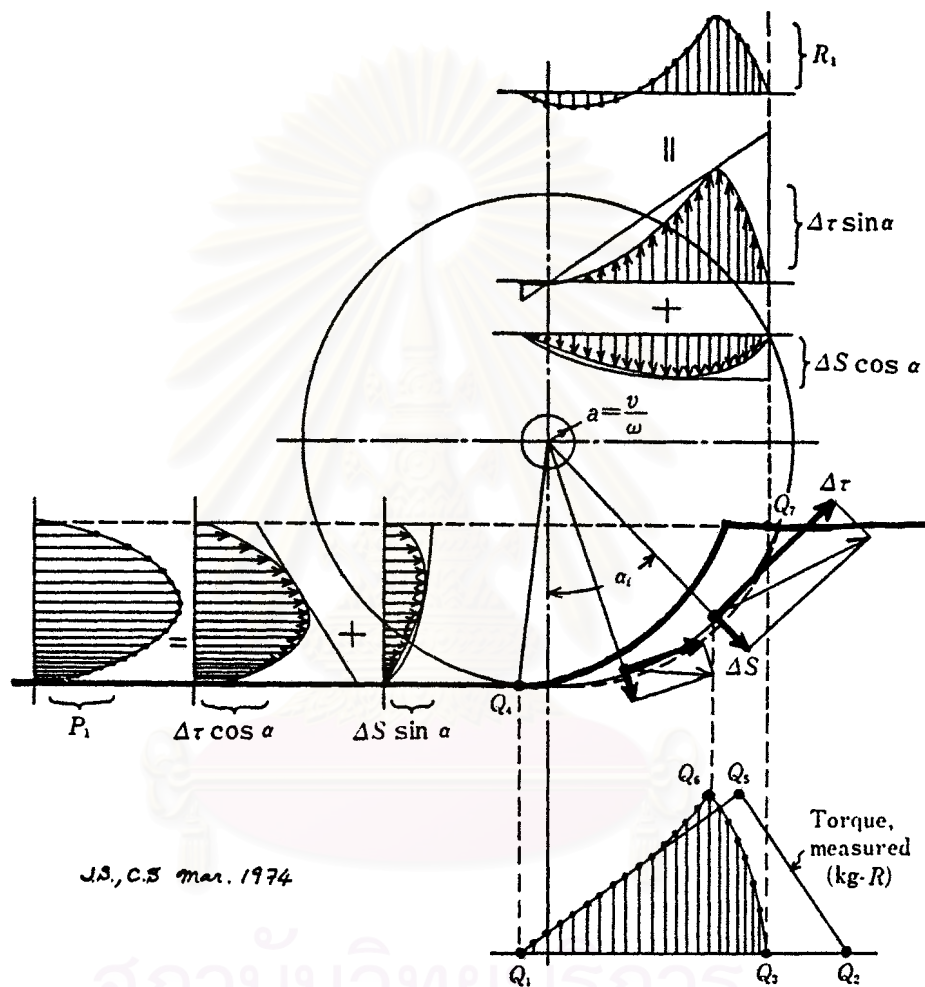
จากที่กล่าวมาทั้งหมดอาจสรุปได้ว่า ใบมีดที่ใช้กันอยู่ทั่วไปสามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดไม่มีแรงดูดในแนวรัศมี (Non-suction type) เช่น ใบมีดแบบ Cage rotor และชนิดที่มีแรงดูดในแนวรัศมี (Suction type) เช่น ใบมีดแบบดอกไม้ เป็นต้น

2.3.2 ขั้นตอนทางกราฟฟิก

รูปที่ 2.3 แสดงถึงวิธีการทางกราฟฟิกในการหาดำแหน่งจุดที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อใบมีดของใบมีดแบบมีแรงดูดในแนวรัศมี แรงต้านทานดินจากการไถพรวน ณ เวลาใดเวลาหนึ่งเขียนแทนด้วย $\Delta\tau_n$ เส้นโค้งแรงบิดของแรง $\Delta\tau_n$ ของใบมีด 1 ใบ แสดงทางด้านล่างขวาของรูป 2.3

จากรูป ส่วนโค้ง Q_4Q_7 จะถูกแบ่งออกเป็น 22 ส่วน หมายถึง สมมุติให้มีแรง $\Delta\tau_n$ 22 แรง ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีใบมีดจำนวน 22 ใบ กำลังพรวนดินอยู่ในเวลานั้น ขนาดของแรง $\Delta\tau_n$ หาได้จากเส้นโค้งแรงบิด ซึ่งแกนเวลา Q_1Q_2 เปลี่ยนไปเป็นแกน Q_1Q_3 เพื่อให้สอดคล้องกับตำแหน่งบนใบมีด โดย Q_3 เป็นตำแหน่งแรกของแรง $\Delta\tau_n$ และ Q_1Q_2 มีความยาวเท่ากับส่วน

โค้ง Q_4Q_7 ดังนั้นเส้นโค้งแรงบิด $Q_1Q_5Q_2$ จึงสามารถเปลี่ยนเป็นเส้นโค้งแรงบิด $Q_1Q_6Q_3$ ได้ และจุดที่แรง ΔT_n กระทำต่อไปมีด สมมุติให้อยู่ตามแนวเส้นโค้งภายในเส้นรอบวงของการหมุน ปลายใบมีดเล็กน้อย โดยระยะรัศมีจากแกนเพลลาใบมีดจนถึงจุดที่แรง ΔT_n กระทำต่อไปมีดมีค่า เท่ากับ 0.95 เท่าของรัศมีการหมุนของปลายใบมีด (ตามสมมุติฐานของ sohne [14]) เช่น ΔT_n ที่อยู่ใกล้เส้นโค้ง Q_4Q_7 หาจากจุด Q_6 บนเส้นโค้งแรงบิด ดังแสดงในรูป 2.3

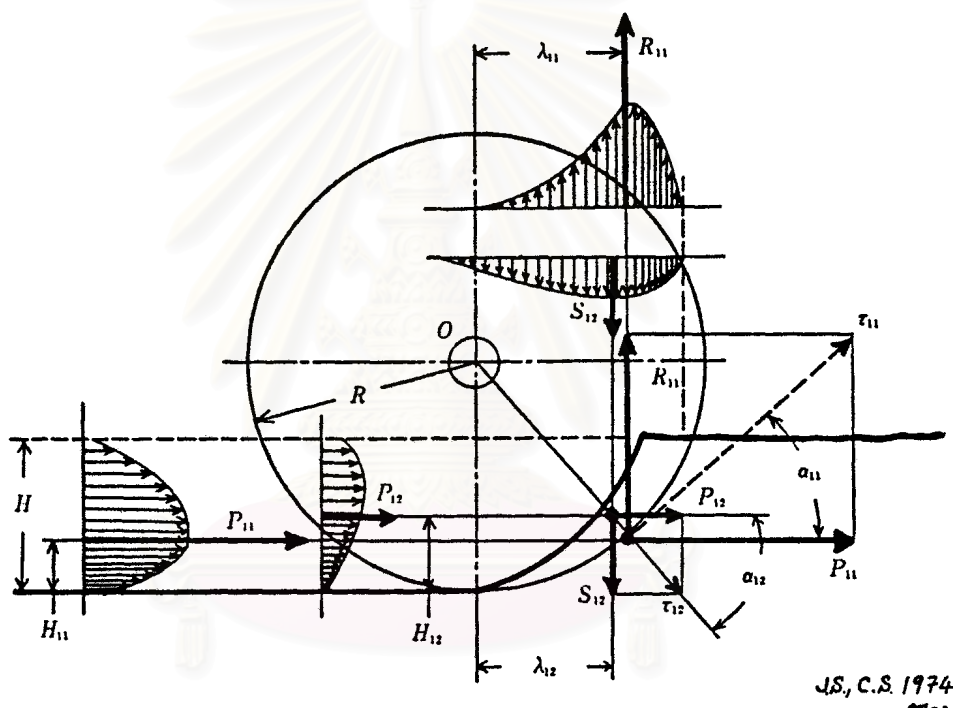


รูปที่ 2.3 รูปแสดงวิธีการทางกราฟฟิกในการหาตำแหน่ง จุดที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อไปมีด

แรงต้านทานดินจากการไถพรวน ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง ΔT_n และแรงดุดในแนวรัศมี ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง ΔS_n สามารถแยกออกเป็นแรงในแนวระดับและแรงในแนวตั้งได้ ดังแสดงใน รูป 2.3 จากรูปพบว่าส่วนประกอบของแรงต้านทานดินจากการไถพรวนในแนวตั้งมีทิศขึ้น ส่วน ส่วนประกอบของแรงดุดในแนวรัศมีในแนวตั้งมีทิศลง ผลรวมของแรงทั้งสองจะได้แรงลัพธ์ใน แนวตั้ง R_1 ส่วนส่วนประกอบในแนวระดับของแรงต้านทานดินจากการไถพรวนและแรงดุดใน

แนวรัศมีมีทิศทางไปข้างหน้าทั้งคู่ ผลรวมของแรงทั้งสองคือแรง P_1 แรง P_1 นี้เองที่สามารถวัดได้จากการทดลองโดยใช้ Vector indicator ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

รูปที่ 2.4 แสดงถึงแรงต่างๆ ที่กระทำต่อใบมีด ได้แก่ แรงต้านทานดินจากการไถพรวน และแรงดูดในแนวรัศมี จุดที่แรงกระทำและทิศทางของแรงกระทำ นอกจากนี้จากรูป 2.4 ยังพบอีกว่าความหนาแน่นของแรง (The density of forces) ทั้งในแนวตั้งและแนวระดับจะมีการกระจายไม่สม่ำเสมอ โดย โดยแรงในแนวระดับจะหนาแน่นบริเวณส่วนล่างของรูป ในขณะที่แรงในแนวตั้งจะหนาแน่นบริเวณด้านขวามือของรูป ดังนั้นตำแหน่งของจุดที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อใบมีดจะอยู่ค่อนข้างทางด้านขวาและอยู่ต่ำกว่าตำแหน่งจุดที่แรงกระทำในกรณีที่มีความหนาแน่นของแรงกระจายอย่างสม่ำเสมอ



J.S., C.S. 1974
Max.

รูปที่ 2.4 แรงต่างๆ ที่กระทำต่อใบมีดและตำแหน่งของแรงกระทำ

หลังจากการศึกษาเกี่ยวกับเส้นโค้งแรงบิดในหลายๆ กรณี พบว่าจุดที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อใบมีด C_1 (จุดตัดของแรง P_1 กับ แรง R_1) จะอยู่ภายนอกของวงกลมที่เกิดจากการหมุนปลายใบมีดเล็กน้อย

จากวิธีการที่กล่าวมาแล้วนี้ สามารถนำมาสร้างสมการเพื่อหาค่าต่างๆ ได้ดังนี้
มุมที่แรงดูดในแนวรัศมี τ_{12} กระทำกับแนวระดับ (α_{12}) หาได้จาก

$$\alpha_{12} = \arctan \left[\frac{3(2R - H)}{4(\sqrt{H(2R - H)} - 15av/mn)} \right] \quad (2.1)$$

โดย

a = ตัวปรับแก้ความถูกต้อง ซึ่งขึ้นกับชนิดการจัดเรียงใบมีดบนจานหมุน (Rotor disk)

$a = 1$ สำหรับใบมีดแบบ Non-offset

$a = 2$ สำหรับใบมีดแบบ Offset

v = ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถไถ (cm/s)

m = จำนวนใบมีดต่อจานหมุน (Rotor disk)

n = ความเร็วรอบหมุนของเพลาจานหมุน (Rotor axle)

R = รัศมีของใบมีด (cm)

H = ความลึกการพรวนดิน (cm)

และจาก
$$\tan \alpha_{12} = \frac{S_{12}}{P_{12}} \quad (2.2)$$

ดังนั้น
$$S_{12} = P_{12} \tan \alpha_{12}$$

$$S_{12} = \frac{3P_{12}(2R - H)}{4(\sqrt{H(2R - H)} - 15av/mn)} \quad (2.3)$$

สำหรับตำแหน่งที่แรงดุดในแนวรัศมี τ_{12} กระทำต่อใบมีดหาจาก

$$\lambda_{12} = \frac{1}{3} \left[2\sqrt{H(2R - H)} - \frac{30av}{mn} \right] \quad (2.4.1)$$

และ
$$H_{12} = 0.5H \quad (2.4.2)$$

กรณีใบมีดแบบคมด้านเดียว (Single-edged) ซึ่งผลของแรงต้านทานดินเนื่องจากผลของขอบใบมีดมีค่าน้อย แรงดันจากการไถพรวนรวม P_1 มีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดันหน้าจากการไถพรวน P_{11} กับแรงดันหน้าจากแรงดุดในแนวรัศมี P_{12} ซึ่งเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$P_1 = P_{11} + P_{12} \quad (2.5)$$

มุมที่แรงต้านทานดินจากการไถพรวน τ_{11} กระทำกับแนวระดับ (α_{11}) หาได้จาก

$$\alpha_{11} = \arccos \left[\frac{3R^2 - 3RH + H^2}{\sqrt{H(2R - H)^2 + (3R^2 - 3RH + H^2)}} \right] \quad (2.6.1)$$

หรือหาได้จาก

$$\alpha_{11} = \arctan \left[\frac{\sqrt{H(2R - H)^3}}{3R^2 - 3RH + H^2} \right] \quad (2.6.2)$$

เนื่องจาก

$$P_{11} = \tau_{11} \cos \alpha_{11} \quad \text{และ} \quad R_{11} = \tau_{11} \sin \alpha_{11} \quad (2.7)$$

ดังนั้น

$$P_{12} = P_1 - \tau_{11} \cos \alpha_{11} \quad (2.8)$$

โดยการแทนสมการ (2.8) ลงในสมการ (2.3) จะหาส่วนประกอบในแนวตั้งของแรงดูดในแนวรัศมี S_{12} ได้จากสมการต่อไปนี้

$$S_{12} = \frac{3(2R - H)(P_1 - \tau_{11} \cos \alpha_{11})}{4(\sqrt{H(2R - H)} - 15av/mn)} \quad (2.9)$$

สมการ (2.9) แสดงส่วนประกอบในแนวตั้งของแรงดูดในแนวรัศมี S_{12} ในรูปของ รัศมีของไพบีด R ความลึกการพรวนดิน H แรงต้านทานดินจากการไถพรวน τ_{11} มุม α_{11} ความเร็วรอบหมุนของเพลลาจานหมุน n ความเร็วการเคลื่อนที่ v ตัวปรับแก้ความถูกต้อง a และจำนวนไพบีดต่อจานหมุน m ตัวแปรต่างๆ ที่กล่าวมานี้ a และ m เป็นค่าคงที่ ขณะที่ความเร็วการเคลื่อนที่ v และความเร็วรอบหมุนของเพลลาจานหมุน n สามารถวัดหรือสมมุติค่าขึ้นได้ ค่าแรงดันจากการไถพรวนรวม P_1 และแรงต้านทานดินจากการไถพรวน τ_{11} สามารถวัดได้จากการทดลอง (แรง τ_{11} อาจหาได้จากกำลังของเครื่องยนต์ ประสิทธิภาพการส่งกำลัง และรัศมี R อีกวิธีหนึ่ง) ส่วนมุม α_{11} นั้นสามารถหาได้จากสมการ (2.6.1) หรือสมการ (2.6.2) ดังนั้นจากสมการ (2.9) จึงสามารถหาค่าแรงดูดในแนวรัศมีได้

ตำแหน่งที่แรงต้านทานดินจากการไถพรวนกระทำต่อใบมีดหาได้จาก

$$\lambda_{11} = (2/3)\sqrt{H(2R-H)} \quad (2.10.1)$$

$$H_{11} = (1/3)H \quad (2.10.2)$$

จากการทดลองในการศึกษานี้ พบว่าแรงดุดในแนวรัศมีจะมีค่าประมาณ 20% ของแรงต้านทานดินจากการไถพรวน T_{11}

2.4 การหาจุดเสมือนที่แรงต้านทานดินรวมกระทำกับใบมีดและทิศทางแรงกระทำในทางปฏิบัติ

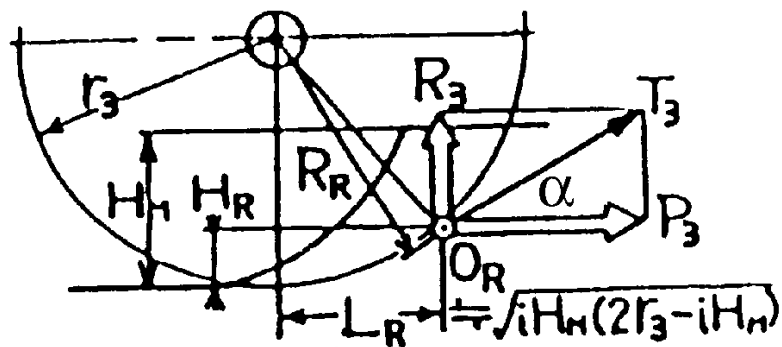
จากการศึกษาในหัวข้อที่ผ่านมา สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่งที่แรงต้านทานดินรวมกระทำกับใบมีดในทางปฏิบัติ โดยจุดที่แรงต้านทานดินรวมกระทำกับใบมีด (O_R) จะอยู่ภายนอกเส้นรอบวงกลมที่เกิดจากการหมุนของปลายใบมีด (Blade tip circle) โดยจุดนี้อยู่ที่ช่วงระยะ $1/3 - 1/2$ ของความลึกมากที่สุดของการพรวนดิน H_M ในแนวตั้งและอยู่ภายนอกวงกลมรัศมี r_3 เป็นระยะประมาณ 1-4% ของรัศมีดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยจุดนี้มีชื่อว่า จุดเสมือนที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อใบมีด (Virtual point of action for the total rotary tillage resistance)

จุด O_R นี้อยู่ที่ความสูง H_R จากจุดต่ำสุดของการพรวนดิน และมีรัศมี R_R (ดังแสดงในรูปที่ 2.5) โดยทั้ง 2 ค่านี้สามารถคำนวณได้จาก สัมประสิทธิ์ค่ารัศมี (Radius coefficient, C_R) และ สัมประสิทธิ์ค่าความสูง (Height coefficient, i) ดังนี้

$$R_R = C_R r_3 \quad C_R = 1.01 \sim 1.04 \quad \text{ดังนั้น} \quad R_R = 1.02 r_3 \quad (2.11)$$

$$H_R = i H_M \quad i = 0.3 \sim 0.5 \quad \text{ดังนั้น} \quad H_R = 0.4 H_M \quad (2.12)$$

ทิศทางของแรงต้านทานดินรวมมีการเปลี่ยนแปลง โดยทั่วไปจะมีทิศทางเอียงขึ้นบนและเอียงไปด้านหน้า สำหรับใบมีดรูปตัว C ทิศทางของแรงต้านทานดินรวม T_3 (มุม α) มีค่าอยู่ในช่วง 25-35 องศา หรือประมาณ 30 องศาเหนือเส้นแนวระดับที่ความลึกของการไถพรวนปกติ



รูปที่ 2.5 แรง T_3 และตำแหน่งของจุดเสมือนที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อใบมีด, O_R

2.5 แรงดันและแรงยกจากการไถพรวน

แรงต้านทานดินรวม T_3 สามารถแยกเป็นแรงปฏิริยาที่กระทำทิศทางไปด้านหน้า P_3 ซึ่งเป็นแรงประกอบในแนวระดับ และแรงปฏิริยาที่กระทำขึ้นบน R_3 ซึ่งเป็นแรงประกอบในแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.5

การประมาณขนาดแรงต้านทานดินรวมจากมุมมองของการออกแบบทางวิศวกรรม โดยพิจารณาจากกำลังออกของเครื่องยนต์ (Ne) หน่วยเป็นแรงม้า ทำให้สามารถหาค่า R_3 , P_3 และ T_3 ได้ดังนี้

$$T_3 = \frac{71620Ne\eta}{C_R r_3 n_3} \quad (2.13)$$

$$R_3 = \frac{71620Ne\eta C_L}{C_R r_3 n_3} \quad (2.14)$$

$$P_3 = \frac{71620Ne\eta C_T}{C_R r_3 n_3} \quad (2.15)$$

โดย

P_3 = แรงดันไปข้างหน้า หรือ แรงดันไถพรวน (Tillage thrust force or forward thrust or tillage thrust) (kgf)

R_3 = แรงขึ้นด้านบน หรือ แรงยก (Tillage lifting force or upward force or lifting force) (kgf)

η = ประสิทธิภาพการส่งกำลังจากเครื่องยนต์ไปสู่เพลลาของเครื่องพรวนจอบหมุน มีค่าประมาณ 80~90%

- C_R = สัมประสิทธิ์ค่ารัศมี (Radius coefficient) ของจุดเสมือนที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อไวมีดมีค่าประมาณ 1.01~1.04
- C_L = สัมประสิทธิ์แรงยกจากการไถพรวน (Coefficient of tillage lifting force) มีค่าประมาณ 0.7~1.0
- C_T = สัมประสิทธิ์แรงดันจากการไถพรวน (Coefficient of tillage thrust force) มีค่าประมาณ 1.0~1.4
- n_3 = ความเร็วรอบหมุนของเพลลาไวมีด (rpm)

ตำแหน่งจุดเสมือนที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อไวมีดรูปตัว C ในทางปฏิบัติสามารถคำนวณโดยใช้สมการต่อไปนี้

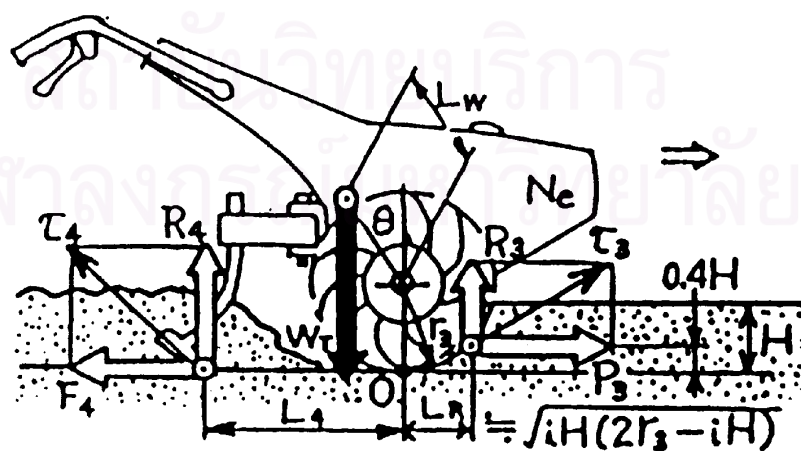
$$L_R = \sqrt{iH_M(2r_3 - iH_M)} \quad (2.16)$$

$$L_R^2 = r_3^2 - (r_3 - iH_M)^2 \quad (2.17)$$

โดย

- L_R = ระยะในแนวระดับจากจุดศูนย์กลางการหมุนของไวมีดถึงจุดเสมือนที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อไวมีด (cm)
- i = สัมประสิทธิ์ความสูงของจุดเสมือนที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อไวมีด มีค่าเท่ากับ 0.4 สำหรับไวมีดรูปตัว C
- H_M = ความลึกสูงสุดของการพรวนดิน (cm)
- r_3 = รัศมีการหมุนของไวมีด (cm)

2.6 หลักพลวัตของรถไถพรวนดิน



รูปที่ 2.6 แรงภายนอกที่กระทำต่อรถไถพรวนดิน

รถไถพรวนดิน คือ รถไถเดินตามขนาดเล็กและน้ำหนักเบาใช้สำหรับทำสวน โดยติดล้อพรวนดินที่เพลาล้อ มีความเร็วรอบหมุนของล้อพรวนดินประมาณ 40~70 รอบต่อนาที โดยทั่วไปความเร็วการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของเครื่องจักรจะถูกควบคุมโดยเกษตรกรผู้ใช้งานและมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่า 5 เซนติเมตรต่อวินาที ในรูปที่ 2.6 แสดงแรงภายนอกทั้งหมดที่กระทำต่อรถไถพรวนดินซึ่งอยู่ภายใต้เงื่อนไขสมดุล 3 ประการดังนี้

1 สมดุลในแนวตั้งของรถไถพรวนดิน โดยกำหนดให้แรงที่ใช้บังคับคันมือถือมีค่าเป็นศูนย์

$$W_T = R_3 + R_4 \quad (2.18)$$

2 สมดุลในแนวระดับของรถไถพรวนดิน

$$P_3 = F_4 \quad (2.19)$$

เนื่องจากรถไถพรวนดินทำงานที่อัตราเร็วการเคลื่อนที่คงที่ ดังนั้นแรงต้านทานความเร่งจึงมีค่าเท่ากับศูนย์

3 สมดุลของโมเมนต์รอบจุด O ภายใต้จุดศูนย์กลางเพลาล้อ

$$\sum(\text{โมเมนต์ที่ศทวนเข็มนาฬิกา}) = \sum(\text{โมเมนต์ที่ศตามเข็มนาฬิกา})$$

$$W_T(L_W \sin \theta) + R_3 L_R = P_3(0.4H) + R_4 L_4 \quad (2.20)$$

จากสมการข้างต้นจะสามารถคำนวณน้ำหนักที่เหมาะสมของรถไถพรวนดินได้จาก สมการต่อไปนี้

$$W_T \leq \frac{71620 Ne \eta [C_L (\sqrt{0.4H(2r_3 - 0.4H)} + L_4) - C_T 0.4H]}{C_R r_3 n_3 (L_4 - L_W \sin \theta)} \quad (2.21)$$

$$Ne \geq \frac{W_T C_R r_3 n_3 (L_4 - L_W \sin \theta)}{71620 \eta [C_L (\sqrt{0.4H(2r_3 - 0.4H)} + L_4) - C_T 0.4H]} \quad (2.22)$$

โดย

Ne = กำลังออกค่าสูงสุดที่แท้จริง ไม่ใช่กำลังม้าของเครื่องยนต์ตามหนังสือแสดงรายการสินค้า

- η = ประสิทธิภาพการส่งผ่านกำลังจากเครื่องยนต์มายังเพลาชับซึ่งติดใบมีด
 C_L = สัมประสิทธิ์แรงยกจากการไหลพรวน มีค่าประมาณ 0.7~1.0 ใช้ 1.0 สำหรับการออกแบบเพื่อความปลอดภัย
 C_T = สัมประสิทธิ์แรงดันจากการไหลพรวน มีค่าประมาณ 1.0~1.4 ใช้ 1.4 สำหรับการออกแบบเพื่อความปลอดภัย
 n_3 = ความเร็วรอบหมุน (rpm) ของเพลารอบเครื่องยนต์
 θ = มุมกำหนดตำแหน่งของจุดศูนย์กลางถ่วง กรณีความลึกการพรวนดินสูงสุด
 L_w, L_4, r_3 และ H แสดงดังในรูป มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

สมการที่ (2.21) และ (2.22) ใช้สำหรับกำหนดน้ำหนักที่เหมาะสมและกำลังเครื่องยนต์ของเครื่องต้นแบบที่พัฒนาเป็นเครื่องจักรจำลองเพื่อการผลิตอย่างมีหลักการ

รถไถพรวนดินที่ติดล้อพรวนดินกับเพลาล้อขณะพรวนดินจะมีการเคลื่อนที่ขึ้นลงและหันเห ทำให้ควบคุมความลึกการพรวนดินและทิศทางการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้ยาก ดังนั้นจึงทำให้เกษตรกรมีปัญหายากในการใช้เครื่องนี้ในการทำงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การวัดแรงและโมเมนต์ด้วยสเตรนเกจ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์วัดแรงซึ่งจะใช้ในการศึกษานี้ โดยจะเริ่มกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัด ความเค้น และความเครียด ในรูปแบบสมการคณิตศาสตร์ และทฤษฎีพื้นฐานของสเตรนเกจก่อน จากนั้นจะได้กล่าวถึงหลักการของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์วัดแรงที่ใช้ในการศึกษานี้ต่อไป

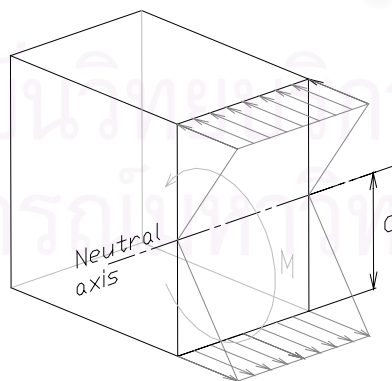
3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัด ความเค้น และความเครียด

เมื่อวัตถุใดๆ มีโมเมนต์ดัดมากกระทำ วัตถุนั้นจะเกิดความเค้นขึ้น โดยความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความเค้นที่เกิดขึ้นไปตามสมการ 3.1

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (3.1)$$

โดย

- σ = ความเค้นที่เกิดในวัตถุ (N/m^2)
- M = โมเมนต์ดัดที่กระทำต่อวัตถุ (N.m)
- c = ระยะห่างจากแกนนิวทรอล (Neutral axis) (m)
- I = โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนนิวทรอล (m^4)



รูปที่ 3.1 การกระจายความเค้นในวัตถุเมื่อมีโมเมนต์ดัดมากกระทำ

จากสมการที่ 3.1 และรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าการกระจายของความเค้นบนวัตถุมีลักษณะเป็นเส้นตรงโดยความเค้นจะเป็นศูนย์ที่แกนนิวทรอล และจะมีค่ามากขึ้นเมื่อระยะ c ห่างออก

จากแกนนิวทรอล โดยความเค้นจะมีค่าสูงสุดที่ผิวทั้งสองข้างของวัตถุ ความเค้นที่เกิดขึ้นที่ผิวด้านบนเป็นความเค้นกด ส่วนความเค้นที่เกิดขึ้นที่ผิวด้านล่างเป็นความเค้นดึง

จากความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียดในช่วงยืดหยุ่น (Elastic) ตามกฎของฮุก (Hook's law)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3.2)$$

โดย

E = ค่าโมดูลัสของยังส์ (N/m^2)

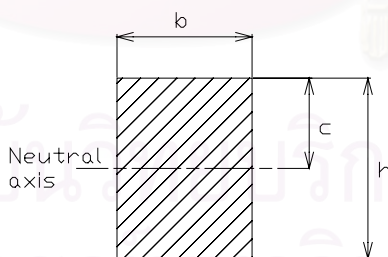
ε = ความเครียด

แทนค่าความเค้นจากสมการ 3.2 ลงในสมการ 3.1 แล้วทำการจัดรูปจะได้

$$\varepsilon = \frac{Mc}{EI} \quad (3.3)$$

สำหรับการศึกษานี้ได้ติดสเตรนเกจที่ผิวของอุปกรณ์วัดแรงซึ่งมีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ($b \times h$) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 สำหรับกรณีนี้จะได้

$$c = 0.5h \quad \text{และ} \quad I = \frac{1}{12}bh^3$$



รูปที่ 3.2 หน้าตัดของอุปกรณ์วัดแรงที่ใช้ในการทดลอง

แทนค่า c และ I สำหรับกรณีหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าลงในสมการ 3.3 จะได้

$$\varepsilon = \frac{6M}{bh^2E} \quad (3.4)$$

สำหรับค่าความไว (Sensitivity) หาจาก

$$\text{Sensitivity} = \frac{\varepsilon}{M} = \frac{6}{bh^2E} \quad (3.5)$$

จากสมการที่ 3.4 และ 3.5 จะเห็นว่า เมื่อมีโมเมนต์ดัดมากกระทำต่อวัตถุ วัตถุนั้นจะเกิดความเครียดขึ้น ซึ่งความเครียดที่เกิดขึ้นนี้สามารถใช้สเตรนเกจวัดค่าความเครียดได้ โดยความไวในการวัดจะขึ้นกับ รูปร่างหน้าตัดของวัตถุ (ค่า b และ h) และค่าโมดูลัสของยังส์ (E)

3.2 ทฤษฎีพื้นฐานของสเตรนเกจและการประยุกต์ใช้งาน

สเตรนเกจ (Strain gauge) เป็นอุปกรณ์วัดความเครียด (Strain) โดยอาศัยหลักการที่ว่า เมื่อโลหะมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง หรือมีความเครียดเกิดขึ้น จะทำให้ความต้านทานไฟฟ้าเกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย สเตรนเกจประกอบด้วย ลวดโลหะ หรือ แผ่นโลหะ หรือ แผ่นซึ่งทำจากสารกึ่งตัวนำ วางติดอยู่บนแผ่นกระดาษ หรือแผ่นสารฟีโนลิก (Phenolic) เมื่อต้องการวัดความเครียดที่จุดใดบนชิ้นส่วนของโครงสร้าง ก็นำสเตรนเกจมาทากาว แล้วนำไปปะติดที่จุดนั้น โดยให้แนวแกนของสเตรนเกจอยู่ในทิศทางของความเครียดหลัก (Principle strain) ซึ่งเป็นทิศทางที่มีความเครียดสูงสุด

ถ้าสเตรนเกจทำด้วยโลหะ จะได้

$$R = \frac{\rho L}{A} = \frac{\rho L}{CD^2} \quad (3.6)$$

โดย

R = ความต้านทาน

ρ = สัมประสิทธิ์ความต้านทาน (Resistivity)

A = พื้นที่หน้าตัดลวด

D = มิติของลวด

C = แฟคเตอร์ของรูปร่าง เช่น $C = \frac{\pi}{4}$ สำหรับลวดกลม

เมื่อมีความเครียดเกิดขึ้น จะได้ความสัมพันธ์เป็น

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{2\Delta D}{D} \quad (3.7)$$

หรือ

$$G.F. = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L} = 1 + \frac{\Delta \rho/\rho}{\Delta L/L} + 2\nu \quad (3.8)$$




โดย

ν = อัตราส่วนปัวซอง (Poisson's ratio) ซึ่งเท่ากับ $-\frac{\Delta D/D}{\Delta L/L}$ และมีค่าประมาณ 0.3 สำหรับโลหะ

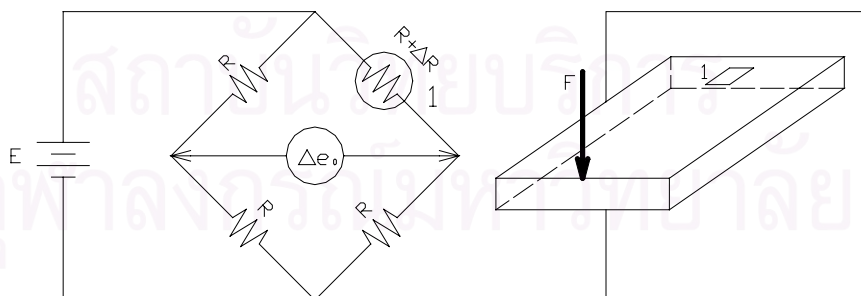
$G.F.$ = เกจเฟลคเตอร์ ซึ่งแสดงความไว (Sensitivity) โดยทั่วไปสำหรับบอโลหะจะมีค่าอยู่ระหว่าง -140 ถึง 175 ส่วนโลหะจะมีค่าประมาณ 2

ϵ = $\frac{\Delta L}{L}$ คือ ความเครียดตามแนวแกนความเครียดหลัก

ในการนำสเตรนเกจมาวัดค่าโมเมนต์ สเตรนเกจจะถูกนำไปต่อในวงจรบริดจ์ (Bridge circuit) เพื่อวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของสเตรนเกจ ในขณะที่มีโมเมนต์มากระทำ การต่อสเตรนเกจในวงจรบริดจ์ทำได้หลายวิธี ดังนี้

- กำหนดให้
-  = ตัวต้านทานที่มีความต้านทานเท่ากับสเตรนเกจตอนที่ยังไม่ใช้งาน
 -  = สเตรนเกจที่ติดในส่วนที่มีความเครียดเป็นบวก (ยืด)
 -  = สเตรนเกจที่ติดในส่วนที่มีความเครียดเป็นลบ (หด)
 - F = แรงที่มากระทำ
 - E = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ใส่เข้าให้วงจรบริดจ์
 - Δe_0 = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อมีโมเมนต์มากระทำต่อสเตรนเกจ

แบบที่ 1 ใช้สเตรนเกจ 1 ตัว (Single bridge)



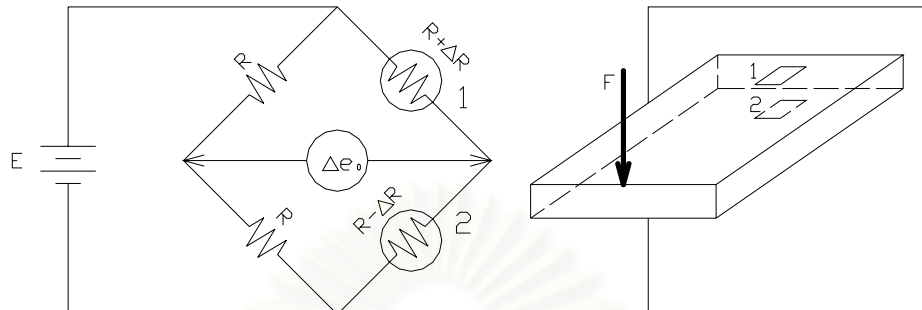
รูปที่ 3.3 การต่อวงจรบริดจ์และการติดตั้งบนคาน แบบสเตรนเกจ 1 ตัว

กรณีนี้จะได้
$$\Delta e_0 = BF \cdot \left(\frac{\Delta R}{R}\right) \cdot \frac{E}{4} = BF \cdot (GF) \cdot \frac{E}{4} \cdot \epsilon \tag{3.9}$$

เมื่อ BF คือค่า Bridge Factor

สำหรับการต่อแบบใช้สเตรนเกจตัวเดียว ค่า BF เท่ากับ 1

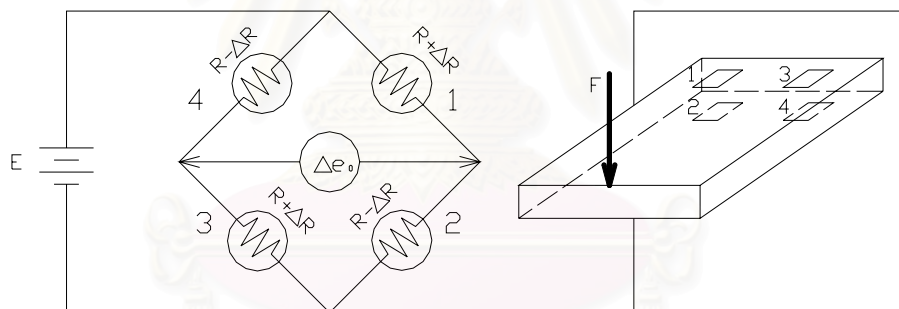
แบบที่ 2 ใช้สเตรนเกจ 2 ตัว (Half bridge)



รูปที่ 3.4 การต่อวงจรบริดจ์และการติดตั้งบนคาน แบบสเตรนเกจ 2 ตัว

สำหรับการต่อแบบใช้สเตรนเกจ 2 ตัว ค่า BF เท่ากับ 2

แบบที่ 3 ใช้สเตรนเกจ 4 ตัว (Full bridge)



รูปที่ 3.5 การต่อวงจรบริดจ์และการติดตั้งบนคาน แบบสเตรนเกจ 4 ตัว

สำหรับการต่อแบบใช้สเตรนเกจ 4 ตัว ค่า BF เท่ากับ 4

เมื่อเปรียบเทียบการต่อวงจรบริดจ์ทั้ง 3 แบบแล้ว ค่าความไว (Sensitivity) ของแบบใช้สเตรนเกจ 4 ตัวจะมีค่าสูงสุด ส่วนการต่อแบบใช้สเตรนเกจ 2 ตัว และการต่อแบบใช้สเตรนเกจ 1 ตัวจะมีความไว (Sensitivity) ร่องลงมาตามลำดับ โดยดูได้จากค่า BF

นำสมการที่ (3.4) แทนลงในสมการที่ (3.9) จะได้

$$\Delta e_0 = BF \cdot (G.F.) \cdot \left(\frac{E}{4}\right) \cdot \frac{6M}{bh^2E} \quad (3.10)$$

หรือจัดรูปใหม่ได้เป็น
$$\Delta e_0 = S.M \quad (3.11)$$

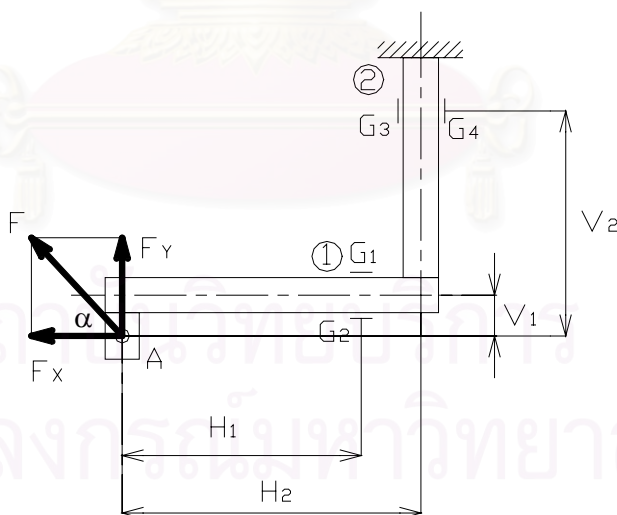
โดยที่
$$S = BF.(G.F.).\left(\frac{E}{4}\right).\frac{6}{bh^2E} \quad (3.12)$$

จากสมการ (3.11) และสมการ (3.12) จะเห็นว่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเมื่อมีโมเมนต์มากระทำต่อสเตรนเกจแปรผันโดยตรงกับโมเมนต์ที่มากระทำ ส่วนค่าความไว (Sensitivity) จะขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ S

ในการทดลองนี้ จะใช้เครื่อง Strain amplifier และ สาย Bridge box ในการต่อวงจรบริดจ์ และใช้การต่อวงจรบริดจ์แบบสเตรนเกจ 2 ตัว เนื่องจากว่าตำแหน่งที่จะติดสเตรนเกจนั้นมีขนาดเล็กไม่สามารถใช้การต่อวงจรบริดจ์แบบใช้สเตรนเกจ 4 ตัวได้ ถึงแม้ว่าการต่อแบบใช้สเตรนเกจ 4 ตัวจะมีค่าความไวมากกว่าก็ตาม

3.3 การวัดแรงใน 2 มิติ โดยใช้อุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L

แรงใน 2 มิติ สามารถวัดได้โดยใช้อุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L [13] ซึ่งสามารถวัดแรงได้ทั้งขนาดและทิศทาง อุปกรณ์นี้มีหลักการดังนี้



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L

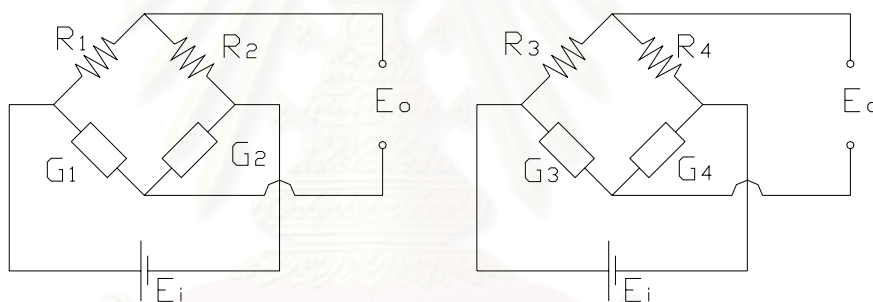
จากรูปที่ 3.6 แรง F กระทำที่ตำแหน่ง A เป็นแรงที่ต้องการวัด ซึ่งไม่ทราบขนาดและทิศทาง แรง F นี้สามารถแตกเป็นแรงย่อยในแนวระดับ F_x และแรงย่อยในแนวตั้ง F_y ได้ตั้งรูปแรง F_x และ F_y จะส่งผลให้เกิดโมเมนต์ดัดที่ตำแหน่ง 1 และ 2 ซึ่งมีค่าดังนี้

$$M_1 = F_x V_1 + F_y H_1 \quad (3.13)$$

$$M_2 = F_x V_2 + F_y H_2 \quad (3.14)$$

โดย M_1 คือ โมเมนต์ตัดที่ตำแหน่งที่ 1
 M_2 คือ โมเมนต์ตัดที่ตำแหน่งที่ 2

จากหัวข้อที่แล้วจะพบว่าค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จากวงจรบริดจ์จะแปรผันโดยตรงกับค่าโมเมนต์ตัดที่เกิดขึ้น ดังนั้นค่าโมเมนต์ตัด M_1 และ M_2 จึงสามารถวัดได้จากการติดสเตรนเกจ G_1 และ G_2 ที่ตำแหน่ง 1 และสเตรนเกจ G_3 และ G_4 ที่ตำแหน่ง 2 วิธีต่อสเตรนเกจในวงจรบริดจ์ใช้การต่อแบบใช้สเตรนเกจ 2 ตัว แสดงดังรูปที่ 3.7 ซึ่งการต่อสเตรนเกจแบบนี้จะช่วยหักล้างผลของความเครียดที่เกิดขึ้นจากแรงดึงในแนวแกน ดังนั้นแรงเคลื่อนไฟฟ้า E_o ที่วัดได้จึงเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากความเครียดที่เกิดจากโมเมนต์เท่านั้น



รูปที่ 3.7 การต่อสเตรนเกจในวงจรบริดจ์เพื่อวัดโมเมนต์ตัด

แรง F_x และ F_y สามารถหาได้จากการแก้ระบบสมการ (3.13) และ (3.14) ซึ่งสามารถเขียนในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_1 & H_1 \\ V_2 & H_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_x \\ F_y \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

โดยใช้กฎของคราเมอร์จะสามารถหาค่า F_x และ F_y ได้ดังนี้

$$F_x = \frac{\begin{vmatrix} M_1 & H_1 \\ M_2 & H_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} V_1 & H_1 \\ V_2 & H_2 \end{vmatrix}} = \frac{M_1(H_2) - M_2(H_1)}{V_1(H_2) - V_2(H_1)}$$

$$= \frac{M_1 H_2 - M_2 H_1}{V_1 H_2 - V_2 H_1} \quad \text{หน่วย N}$$

หรือ

$$= \frac{M_1 H_2 - M_2 H_1}{9.81(V_1 H_2 - V_2 H_1)} \quad \text{หน่วย kgf} \quad (3.16)$$

$$F_Y = \frac{\begin{vmatrix} V_1 & M_1 \\ V_2 & M_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} V_1 & -H_1 \\ V_2 & -H_2 \end{vmatrix}} = \frac{V_1 M_2 - V_2 M_1}{V_1(-H_2) - V_2(-H_1)}$$

$$= \frac{V_1 M_2 - V_2 M_1}{V_2 H_1 - V_1 H_2} \quad \text{หน่วย N}$$

หรือ

$$= \frac{V_1 M_2 - V_2 M_1}{9.81(V_2 H_1 - V_1 H_2)} \quad \text{หน่วย kgf} \quad (3.17)$$

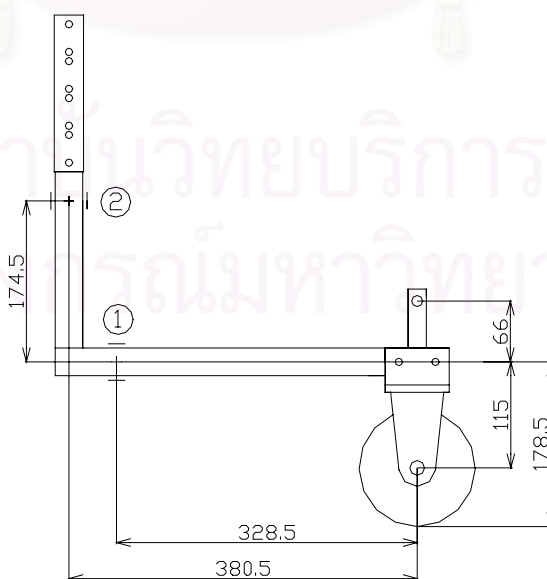
ขนาดของแรง F หาจาก

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (3.18)$$

ทิศทางของแรง F หาจาก

$$\alpha = \arctan\left(\frac{F_y}{F_x}\right) \quad (3.19)$$

ในการศึกษานี้ได้ประยุกต์วิธีการวัดแรงใน 2 มิติ โดยใช้อุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ในชุดวัดแรงที่กระทำต่อล้อหลังในแนวตั้งและแนวระดับ เพื่อวัดแรงต้านทานทานการเคลื่อนที่ของล้อหลัง ลักษณะของอุปกรณ์วัดแรงที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ที่ใช้ในการทดลอง

จากรูปที่ 3.8 จะได้ระยะต่างๆ ตามรูปที่ 3.6 เป็นดังนี้

$$H_1 = 0.3285 \text{ m}$$

$$V_1 = 0.1785 \text{ m}$$

$$H_2 = 0.3805 \text{ m}$$

$$H_2 = 0.3530 \text{ m}$$

นำระยะต่างๆ แทนลงในสมการ (3.16) และ (3.17) จะได้สมการที่นำไปใช้คำนวณแรงดังนี้

$$F_x = \frac{0.3285M_2 - 0.3805M_1}{9.81(0.04804)} \quad (3.20)$$

$$F_y = \frac{0.3530M_1 - 0.1785M_2}{9.81(0.04804)} \quad (3.21)$$



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบสเปกตรัม

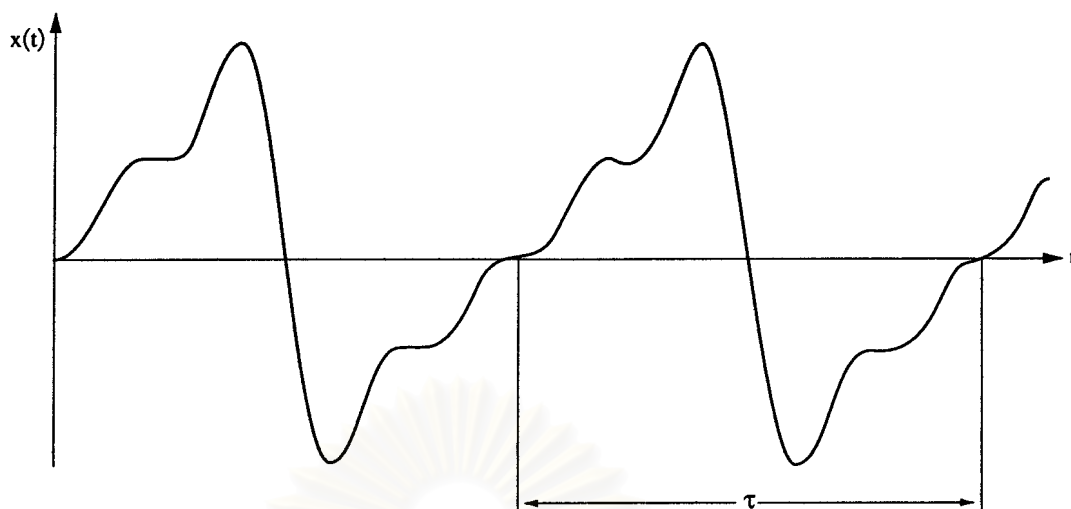
สัญญาณการสั่นสะเทือนเป็นสัญญาณที่วัดได้จากเครื่องจักรเมื่อมีแรงมากระตุ้น เช่น ถ้าแรงกระตุ้นเป็นแบบฮาร์โมนิก สัญญาณการสั่นสะเทือนก็จะเป็นแบบฮาร์โมนิกด้วย สัญญาณที่วัดได้นี้โดยทั่วไปจะแสดงบนโดเมนเวลา แต่ในกรณีของแรงกระตุ้นซึ่งไม่อยู่ในรูปของสัญญาณฮาร์โมนิกแต่เป็นสัญญาณซึ่งมีลักษณะเป็นคาบแล้ว ในการวิเคราะห์จำเป็นต้องใช้วิธีการที่จะแปลงสัญญาณลักษณะเป็นคาบออกมาเป็นสัญญาณฮาร์โมนิกเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ โดยใช้การแปลงแบบฟูเรียร์ และเมื่อได้ข้อมูลหรือผลเฉลยซึ่งประกอบด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่างๆ กัน ก็จะสามารถศึกษาได้ละเอียดถึงสาเหตุของการสั่นสะเทือนได้ ซึ่งประโยชน์ของการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้วินิจฉัยถึงสาเหตุของการชำรุดของเครื่องจักร

ดังนั้นการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมก็คือการวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงการแปลงแบบฟูเรียร์ซึ่งทำการแปลงสัญญาณลักษณะเป็นคาบซึ่งเป็นสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลาให้เป็นสัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่ก่อน

4.1 การแปลงแบบฟูเรียร์

สำหรับการสั่นสะเทือนแบบถูกกระตุ้นนั้นแรงที่มากระตุ้นอาจเกิดจากสาเหตุต่างๆ กัน และรูปแบบของแรงอาจไม่ใช่แบบฮาร์โมนิก แต่อาจเป็นการเคลื่อนที่แบบลักษณะเป็นคาบ ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่มีรูปแบบเหมือนกันในแต่ละคาบ แต่ไม่ใช่เป็นลักษณะของคลื่นรูปไซน์ รูปที่ 4.1 แสดงถึงตัวอย่างการเคลื่อนที่แบบเป็นคาบ

รูปการเคลื่อนที่แบบเป็นคาบนี้จะสามารถแยกเขียนออกมาเป็นผลรวมของการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกที่มีความถี่ต่างๆ กันได้ โดยการใช้วิธีของฟูเรียร์ โดยถ้าให้ $x(t)$ ในรูปที่ 4.1 เป็นการเคลื่อนที่แบบเป็นคาบที่มีคาบเท่ากับ τ จะสามารถเขียน $x(t)$ เป็นสมการอนุกรมฟูเรียร์ได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 การเคลื่อนที่แบบลักษณะเป็นคาบ

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + a_1 \cos \omega_1 t + a_2 \cos \omega_2 t + \dots + b_1 \sin \omega_1 t + b_2 \sin \omega_2 t + \dots \quad (4.1)$$

โดย $\omega_1 = \frac{2\pi}{\tau}$ และ $\omega_n = n\omega_1$; $n = 1, 2, 3, \dots$

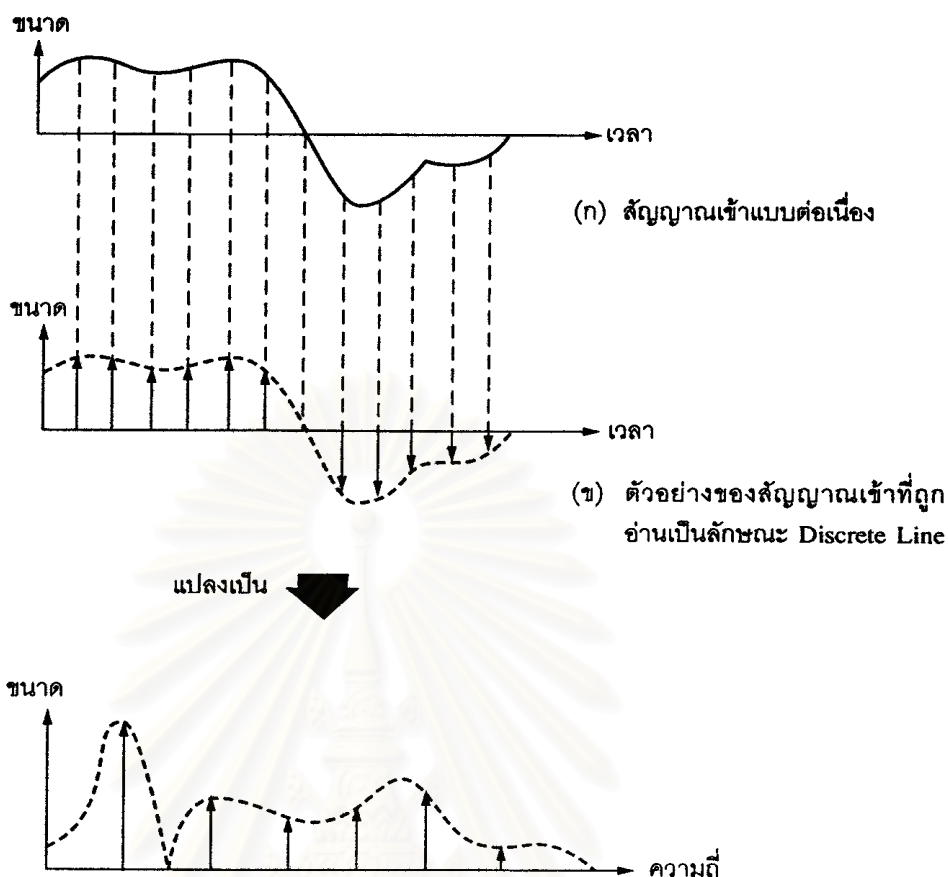
ค่าสัมประสิทธิ์ a_n และ b_n หาได้จาก

$$a_n = \frac{2}{\tau} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} x(t) \cos \omega_n t dt$$

$$b_n = \frac{2}{\tau} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} x(t) \sin \omega_n t dt$$

เมื่อนำสมการที่ (4.1) มาเขียนโดยให้แกนแนวดิ่งเป็นขนาดของการสั่นสะเทือน และแกนแนวนอนเป็นแกนความถี่ จะได้สัญญาณในลักษณะเป็นชุดเส้นดิสครีต (Discrete line) ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.2

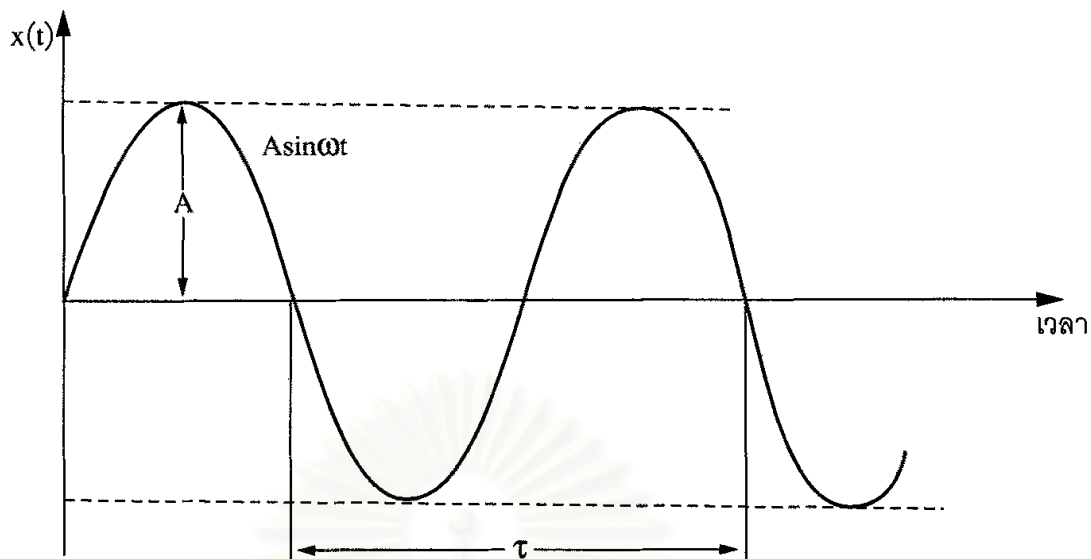
ปัจจุบันด้วยวิทยาการที่ก้าวหน้าของเครื่องคอมพิวเตอร์แบบดิจิทัล การแปลงสัญญาณลักษณะเป็นคาบมาเป็นสัญญาณบนแกนความถี่นั้นจะกระทำโดยใช้วิธีการที่เรียกว่า การแปลงฟูเรียร์แบบเร็ว ซึ่งทำให้การแปลงสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว



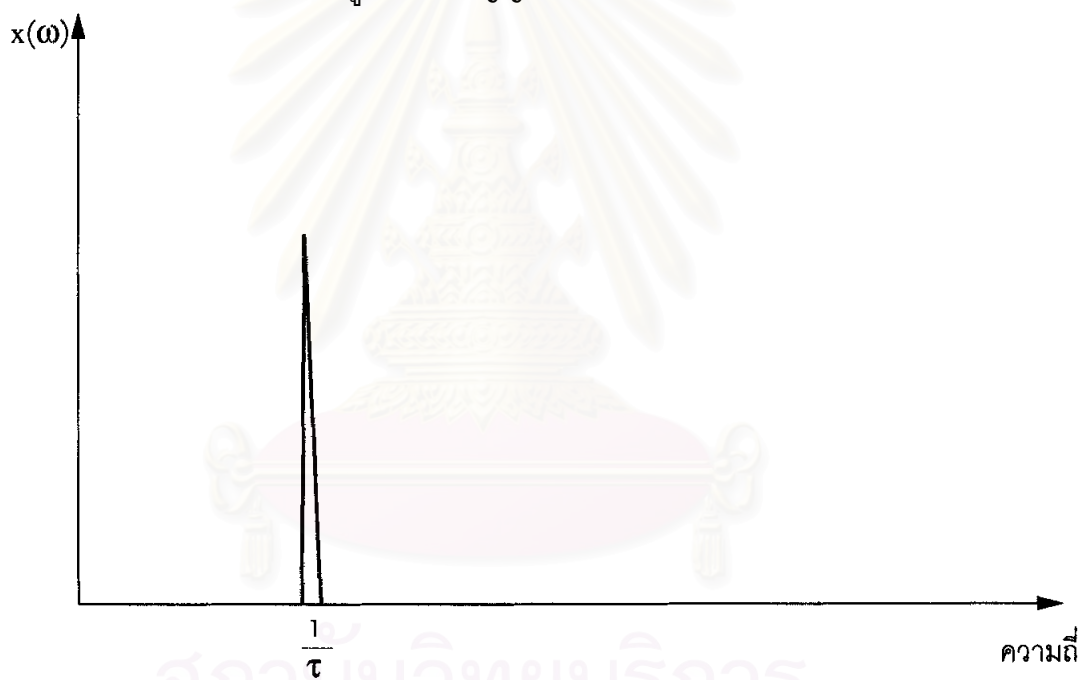
รูปที่ 4.2 สัญญาณการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกที่แสดงบนแกนความถี่

4.2 การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม

การวิเคราะห์แบบสเปกตรัม คือ การวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนของความถี่ ซึ่งการวิเคราะห์ลักษณะนี้หากนำมาใช้กับเครื่องจักรจะให้ข้อมูลของการสันเสทือนได้มากกว่าข้อมูลจากการวิเคราะห์สัญญาณบนโดเมนเวลา เพื่อเป็นการทำความเข้าใจให้ดีขึ้นสำหรับการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมนี้ สัญญาณคลื่นรูปไซน์บนโดเมนเวลาจะถูกพิจารณาเป็นกรณีแรก สัญญาณดังกล่าวถูก แสดงไว้ในรูปที่ 4.3 สัญญาณนี้จะมีค่าความถี่ค่าเดียวซึ่งก็คือ $1/\tau$ เมื่อ τ คือ คาบสัญญาณที่ครบ 1 รอบ ดังนั้นเมื่อแปลงสัญญาณดังกล่าวนี้ไปเป็นสัญญาณบนโดเมนความถี่ ก็จะเป็นสัญญาณเพียงค่าเดียวบนแกนความถี่ดังรูปที่ 4.4

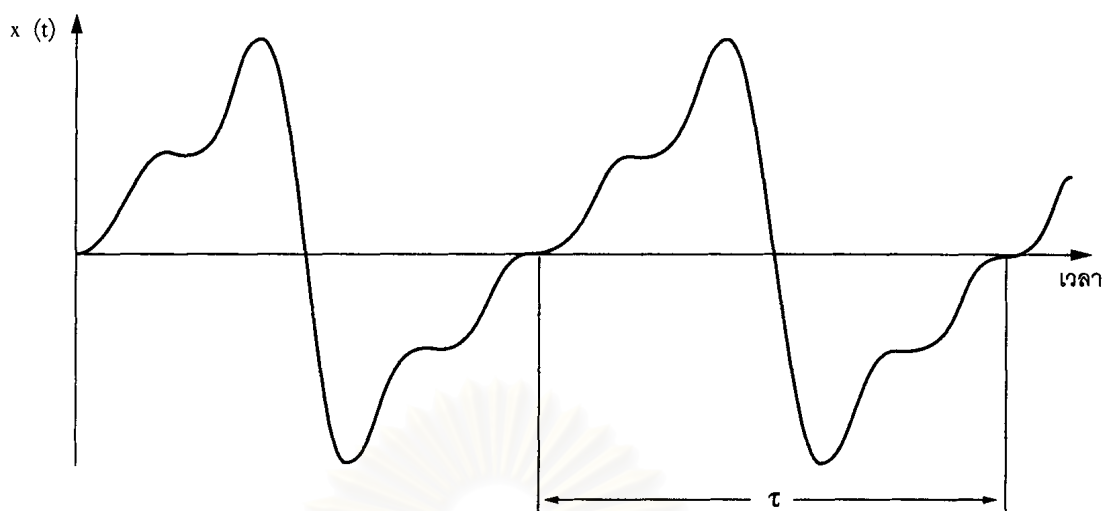


รูปที่ 4.3 สัญญาณบนโดเมนเวลา

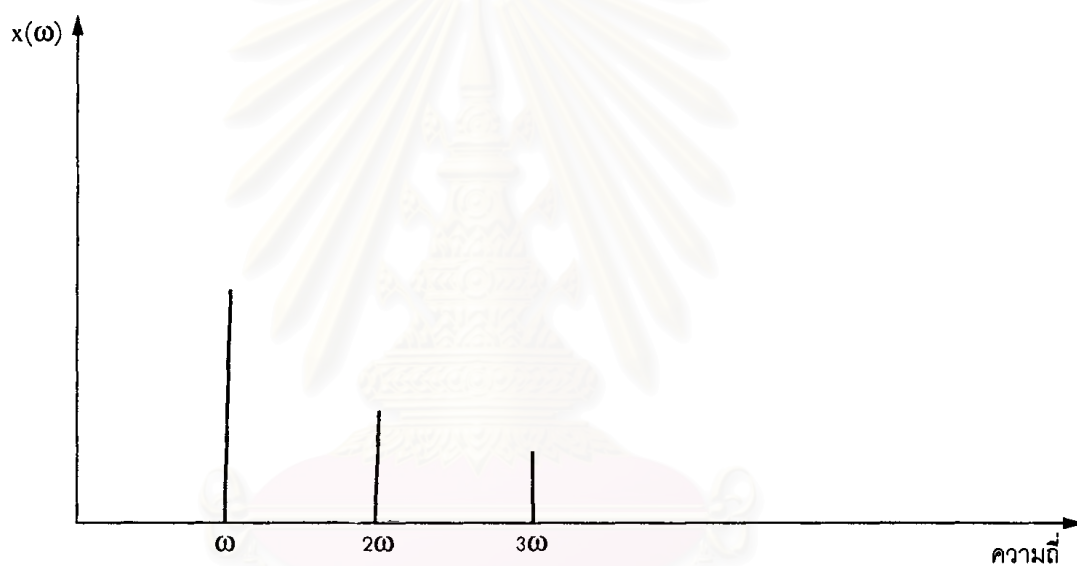


รูปที่ 4.4 สัญญาณบนโดเมนความถี่

ในกรณีที่สองเมื่อมีสัญญาณอยู่ในรูปของลักษณะเป็นคาบซึ่งเขียนอยู่บนโดเมนเวลา เมื่อใช้การแปลงแบบฟูเรียร์ ค่าสัญญาณแบบเป็นคาบนี้จะสามารถเขียนเป็นสัญญาณแบบฮาร์มอนิกได้หลายความถี่ โดยในแต่ละความถี่จะมีขนาดต่างกัน ซึ่งในกรณีนี้สัญญาณบนโดเมนเวลาสามารถเขียนเป็นสัญญาณฮาร์มอนิกได้ 3 ความถี่ คือ ที่ ω , 2ω และ 3ω ดังรูปที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 และ 4.6 โดยที่ $\omega = 1/\tau$

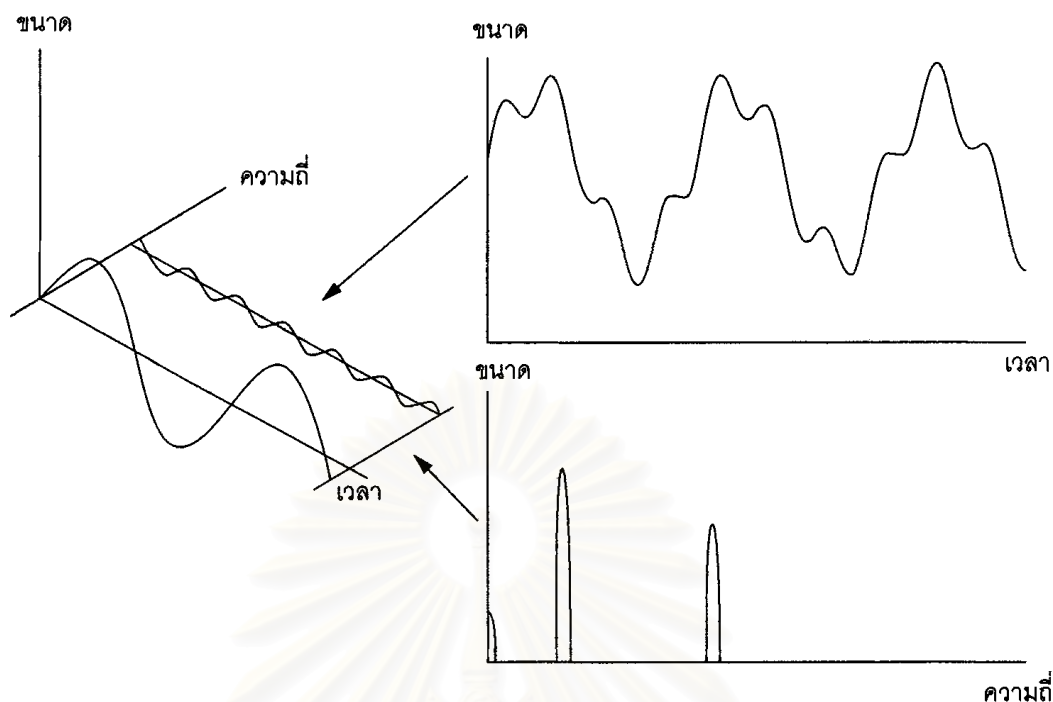


รูปที่ 4.5 การเคลื่อนที่แบบเป็นคาบบนโดเมนเวลา



รูปที่ 4.6 การเคลื่อนที่แบบเป็นคาบบนโดเมนความถี่

เพื่อให้เห็นภาพชัดเจนถึงความสัมพันธ์ของการแปลงสัญญาณบนโดเมนเวลาไปสู่สัญญาณบนโดเมนความถี่ การมองแบบ 3 มิติ จึงถูกเขียนขึ้นและแสดงไว้ในรูปที่ 4.7 ซึ่งภาพสามมิตินั้นจะมีแกนตั้งเป็นแกนที่แสดงถึงขนาดของสัญญาณ ในขณะที่แกนแนวนอนแกนหนึ่งเป็นแกนเวลาและแกนแนวนอนซึ่งตั้งฉากกับแกนแนวนอนแรกจะเป็นแกนความถี่ จากภาพแกน 3 มิติ ในรูปที่ 4.7 จะแสดงถึงสัญญาณคลื่นรูปไซน์ 2 รูป ที่มีความถี่ต่างกัน โดยที่รูปคลื่นรูปใหญ่มีความถี่น้อยกว่ารูปคลื่นรูปเล็ก เมื่อมองสัญญาณในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนเวลา จะเห็นเป็นสัญญาณลักษณะเป็นคาบบนโดเมนเวลาตามที่แสดงไว้ในภาพทางขวามือบน และเมื่อมองสัญญาณในทิศทางที่ตั้งฉากกับแกนความถี่ก็จะเห็นเป็นสัญญาณ 2 สัญญาณที่มีความถี่ต่างกัน โดยมีสัญญาณขนาดใหญ่อยู่ที่ความถี่ต่ำ และสัญญาณในขนาดเล็กกว่าอยู่ที่ความถี่สูงกว่าตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.7 (ขวามือ)

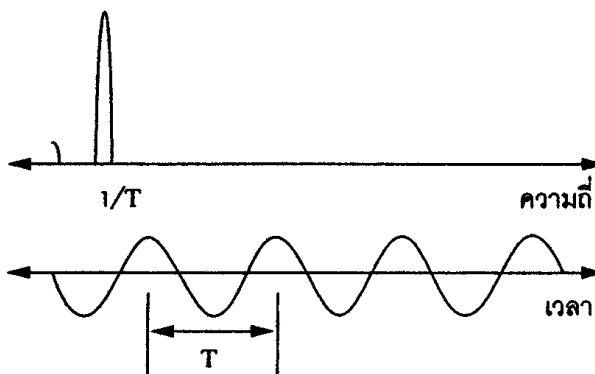


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลา และโดเมนความถี่

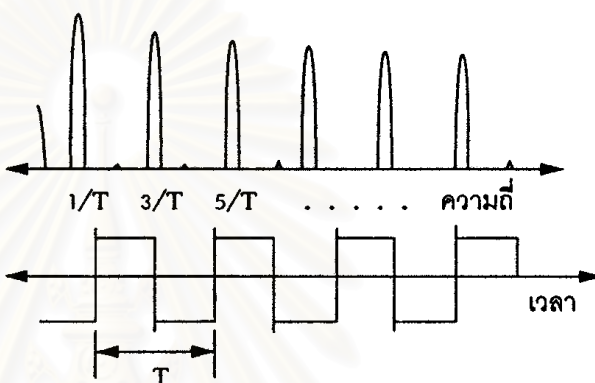
รูปที่ 4.8 แสดงตัวอย่างของความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณบนโดเมนเวลากับสัญญาณบนโดเมนความถี่ โดยในภาพ (ก) จะแสดงถึงการแปลงสัญญาณคลื่นรูปไซน์ไปเป็นสัญญาณเพียงสัญญาณเดียวบนแกนความถี่ ภาพ (ข) แสดงถึงการแปลงสัญญาณคลื่นรูปจตุรัสเป็นสัญญาณฮาร์โมนิกที่ความถี่ที่เป็นเลขคี่ ภาพ (ค) แสดงถึงการแปลงสัญญาณกระแทกที่เป็นชุดเป็นสัญญาณฮาร์โมนิกที่มีทุกค่าความถี่บนแกนความถี่ ภาพสุดท้ายแสดงการแปลงสัญญาณ Modulate sine wave เป็นสัญญาณในลักษณะ Side band บนแกนความถี่

เมื่อนำการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมมาใช้กับสัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากเครื่องจักร ก็จะทำให้ได้ข้อมูลในการบอกว่าขนาดการสั่นสะเทือนซึ่งถูกแสดงในรูปแบบของค่ารวม (Overall value) โดยมีค่าเป็นตัวเลขค่าหนึ่งนั้น จริงๆ แล้วจะประกอบด้วยสัญญาณการสั่นสะเทือนที่มีขนาดต่างๆ กันอยู่หลายความถี่ ซึ่งที่บางความถี่ขนาดของสัญญาณการสั่นสะเทือนจะมีค่ามาก ที่บางความถี่ขนาดของสัญญาณการสั่นสะเทือนจะมีค่าน้อย จุดที่สัญญาณการสั่นสะเทือนมีค่ามากมักเป็นตัวบ่งบอกว่าถ้ามีปัญหาเกิดขึ้นก็จะเกิดจากชิ้นส่วนที่ทำงานเกี่ยวข้องกับค่าความถี่นั้นๆ การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบรวม (Overall vibration) จะเป็นการบอกลักษณะทั่วไปถึงขนาดการสั่นสะเทือนว่ามีขนาดของการสั่นสะเทือนผิดปกติหรือไม่ และจากข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมจะทำให้วิเคราะห์หาสาเหตุของการสั่นสะเทือนได้ ดังนั้นการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมจึงให้ข้อมูลที่ละเอียดกว่าและมีความสามารถในการบ่งบอกสาเหตุการเกิดการสั่นสะเทือนได้มากกว่า รูปที่ 4.9 แสดงตัวอย่างการแสดงความถี่ของการสั่นสะเทือนบนโดเมนเวลา และบนโดเมนความถี่

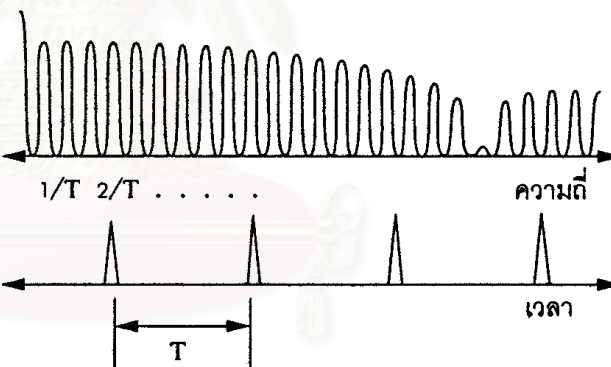
(ก) คลื่นรูปไซน์



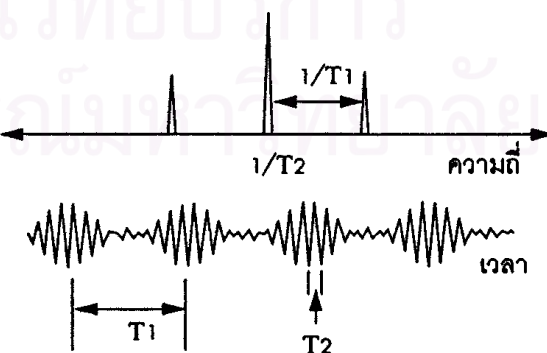
(ข) คลื่นรูปจัตุรัส



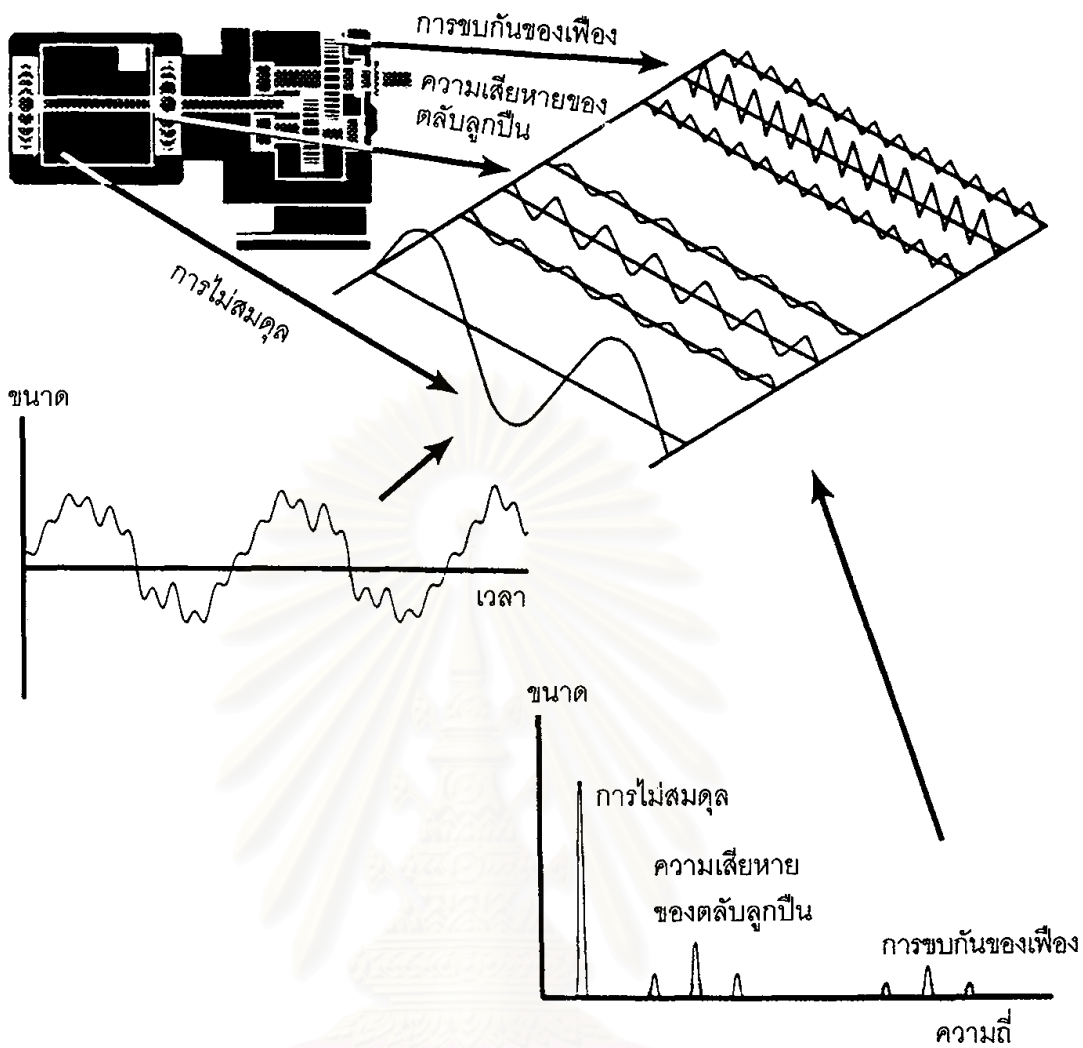
(ค) ชุดของอิมพัลส์



(ง) คลื่นรูปไซน์ที่ถูกโมดูเลต



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างของสัญญาณในรูปแบบต่างๆ บนโดเมนเวลาและโดเมนความถี่



รูปที่ 4.9 การสัมพันธ์กันของเครื่องจักรแสดงบนโดเมนเวลาและโดเมนความถี่

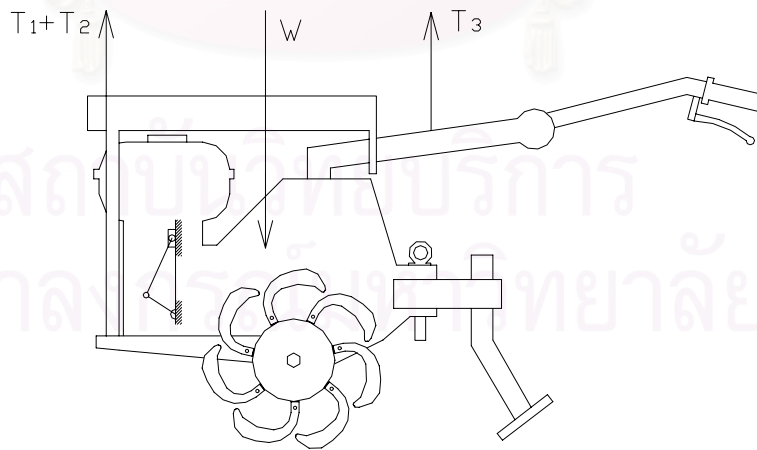
บทที่ 5

การศึกษาความสัมพันธ์ของรถไถพรวนดินสภาพสั้นอย่างอิสระ

การศึกษาความสัมพันธ์ของรถไถพรวนดินสภาพสั้นอย่างอิสระ [1] แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแสดงลักษณะการสั้นสะเทือนของรถไถพรวนดินที่ตำแหน่งและความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ และการทดลองวัดการสั้นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ ของรถไถพรวนดินเมื่อปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์และเกียร์ความเร็วต่างๆ กัน

เนื่องจากการศึกษานี้ทำการศึกษาความสัมพันธ์ของรถไถพรวนดินสภาพสั้นอย่างอิสระโดยแขวนรถไถพรวนดินให้สามารถสั้นได้อย่างอิสระ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงไม่มีผลของการสั้นสะเทือนเนื่องจากแรงต้านทานการหมุนพรวนดินของใบมีดมาเกี่ยวข้อง ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษานี้จะช่วยให้เข้าใจลักษณะการสั้นสะเทือนของรถไถพรวนดินในสภาพสั้นอย่างอิสระมากยิ่งขึ้น และยังช่วยให้สามารถทำนายลักษณะการสั้นสะเทือนที่เกิดขึ้นโดยอาศัยแบบจำลองและสมการคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นได้

5.1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และสมการคณิตศาสตร์เพื่อแสดงลักษณะสั้นสะเทือนของรถไถพรวนดิน



รูปที่ 5.1 แบบจำลองรถไถพรวนดินที่ใช้ในการศึกษา

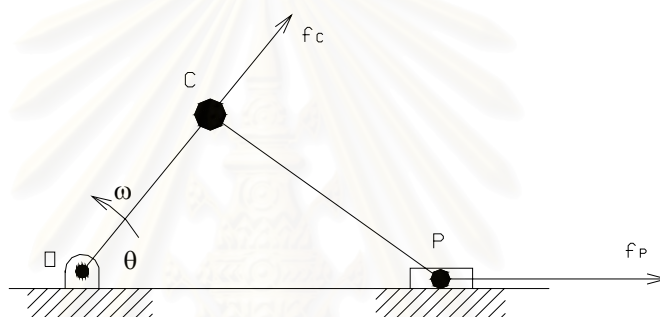
รูปที่ 5.1 แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นเพื่อแสดงลักษณะการสั้นสะเทือนของรถไถพรวนดิน โดยแรง T_1 , T_2 และ T_3 คือแรงดึงของลวดสลิงจำนวน 3 เส้นที่ใช้แขวนรถไถ

พรวนดิน W คือ น้ำหนักของรถไถพรวนดิน เมื่อยังไม่ได้เดินเครื่องรถไถพรวนดินจะอยู่ในสภาพสมดุลตั้งสมการ

$$T_1 + T_2 + T_3 = W \quad (5.1)$$

เมื่อเดินเครื่องแล้ว ลูกสูบ ก้านสูบ และเพลาช้อเหวี่ยงในเครื่องยนต์จะเกิดการเคลื่อนที่ ทำให้เกิดแรงเฉื่อยขึ้น แรงเฉื่อยนี้จะถ่ายทอดไปยังโครงรถ ทำให้ตัวรถเกิดการสั่นสะเทือนขึ้น

แรงเฉื่อยเนื่องจากการเคลื่อนที่ของลูกสูบ (P) ก้านสูบ (CP) และเพลาช้อเหวี่ยง (OC) ดังแสดงในรูปที่ 5.2 สามารถหาได้โดยวิธีการที่แสดงไว้ในเอกสารอ้างอิงหมายเลข [7]



รูปที่ 5.2 แรงเฉื่อยที่กระทำกับลูกสูบ ก้านสูบ และเพลาช้อเหวี่ยง

แรงเฉื่อยที่กระทำกับเพลาช้อเหวี่ยงคือ

$$f_C = \frac{W_C'' + W_C'}{g} R \omega^2 \quad (5.2)$$

แรงเฉื่อยที่กระทำกับลูกสูบคือ

$$f_P = \frac{W_P + W_P'}{g} R \omega^2 \left(\cos \theta + \frac{R}{L} \cos 2\theta \right) \quad (5.3)$$

โมเมนต์บิดเนื่องจากแรงเฉื่อยคือ

$$T = \frac{W_P + W_P'}{2g} R^2 \omega^2 \left(\frac{R}{2L} \sin \theta - \sin 2\theta - \frac{3R}{2L} \sin 3\theta \right) \quad (5.4)$$

โดย

$$\begin{aligned}
 R &= \text{ความยาวของข้อเหวี่ยง (OC), (cm)} \\
 L &= \text{ความยาวของก้านสูบ (CP), (cm)} \\
 \omega &= \text{ความเร็วรอบหมุนของเครื่องยนต์, (rad/sec)} \\
 W_P &= \text{น้ำหนักของลูกสูบ (N)} \\
 \theta &= \omega.t
 \end{aligned}$$

W_C'' สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

$$W_C'' = \frac{R_2}{R} W_C \quad (5.5)$$

โดย

$$\begin{aligned}
 W_C &= \text{น้ำหนักของข้อเหวี่ยง, (N)} \\
 R_2 &= \text{ระยะระหว่างเพลลาข้อเหวี่ยงกับจุดศูนย์กลางถ่วงของเพลลาข้อเหวี่ยง, (cm)}
 \end{aligned}$$

W_C' และ W_P' สามารถหาได้จากระบบสมการต่อไปนี้

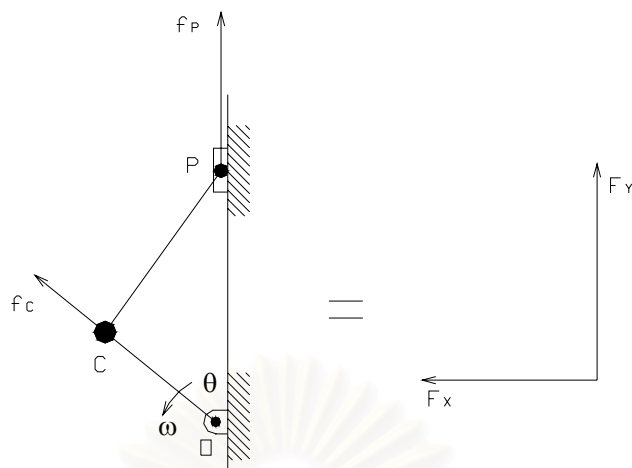
$$W_C' + W_P' = W_3 \quad (5.6)$$

$$W_C' h_C = W_P' h_P \quad (5.7)$$

โดย

$$\begin{aligned}
 W_3 &= \text{น้ำหนักของก้านสูบ, (N)} \\
 h_C &= \text{ระยะจากจุด C ถึงจุดศูนย์กลางถ่วงของก้านสูบ, (cm)} \\
 h_P &= \text{ระยะจากจุดศูนย์กลางถ่วงของก้านสูบ ถึงจุด P, (cm)}
 \end{aligned}$$

เนื่องจากรถไถพรวนดินที่ใช้ในการทดลอง ลูกสูบอยู่ในแนวตั้ง ดังนั้นจึงแตกแรงเฉื่อย f_C และ f_P ให้อยู่ในแนวตั้งและแนวระดับ แรงในแนวระดับ F_X และแรงในแนวตั้ง F_Y หาได้จากสมการต่อไปนี้



รูปที่ 5.3 แสดงการแตกแรงเฉื่อยให้อยู่ในแนวตั้งและแนวระดับ

$$F_x = \frac{W_C'' + W_C'}{g} R\omega^2 \sin \theta \quad (5.8)$$

$$F_y = \frac{W_C'' + W_C'}{g} R\omega^2 \cos \theta + \frac{W_P'' + W_P'}{g} R\omega^2 \left(\cos \theta + \frac{R}{L} \cos 2\theta \right) \quad (5.9)$$

กำหนดให้

$$F_1 = \frac{W_C'' + W_C'}{g} R\omega^2$$

$$F_2 = \frac{W_P'' + W_P'}{g} R\omega^2$$

$$F_3 = \frac{W_P'' + W_P'}{g} R\omega^2 \frac{R}{L}$$

ดังนั้นจะสามารถเขียนแรง F_x และ F_y และโมเมนต์บิด T ได้ดังนี้

$$F_x = F_1 \sin \theta \quad (5.10)$$

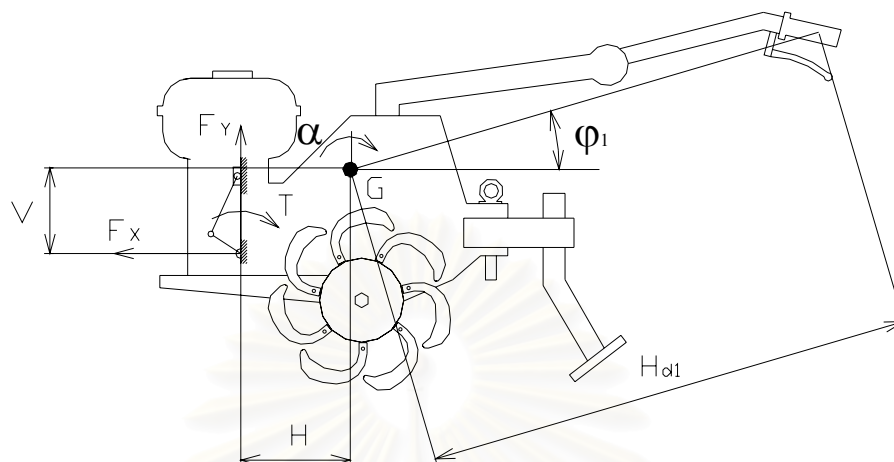
$$F_y = (F_1 + F_2) \cos \theta + F_3 \cos 2\theta \quad (5.11)$$

$$T = \frac{F_2 R}{2} \left(\frac{R}{2L} \sin \theta - \sin 2\theta - \frac{3R}{2L} \sin 3\theta \right) \quad (5.12)$$

แบบจำลองคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นสามารถนำมาเขียนสมการการเคลื่อนที่ โดยสมมติให้รถไถพรวนดินมีพฤติกรรมเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (Rigid body) และประมาณให้

$$T_1 + T_2 + T_3 = W$$

สมการการเคลื่อนที่เขียนได้ดังนี้

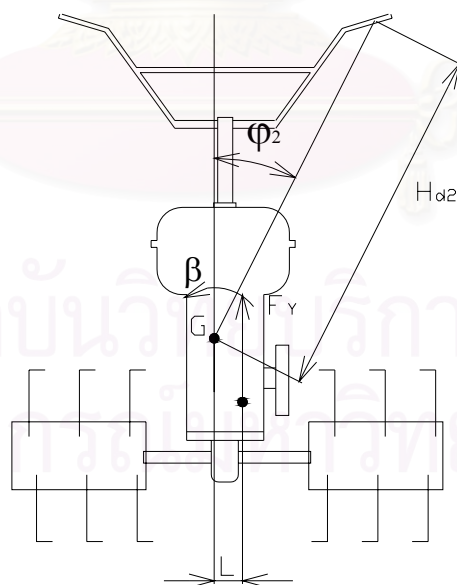


รูปที่ 5.4 แรงที่กระทำกับรถไถพรวนดินด้านข้าง

$$m\ddot{x} = F_1 \sin \theta \quad (5.13)$$

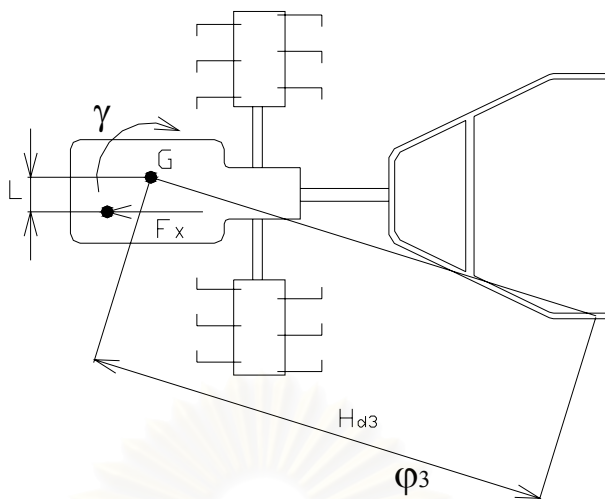
$$m\ddot{y} = (F_1 + F_2) \cos \theta + F_3 \cos 2\theta \quad (5.14)$$

$$J_1\ddot{\alpha} = F_1 V \sin \theta + [(F_1 + F_2) \cos \theta + F_3 \cos 2\theta]H + T \quad (5.15)$$



รูปที่ 5.5 แรงที่กระทำกับรถไถพรวนดินด้านหน้า

$$J_2\ddot{\beta} = [(F_1 + F_2) \cos \theta + F_3 \cos 2\theta]L \quad (5.16)$$



รูปที่ 5.6 แรงที่กระทำกับรถไถพรวนดินด้านบน

$$J_3 \ddot{\gamma} = F_1 L \sin \theta \quad (5.17)$$

โดย

- m = มวลของรถไถพรวนดิน
- J_1 = โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน Z
- J_2 = โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน X
- J_3 = โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกน Y

ระยะ V , H และ L แสดงดังในรูปที่ 5.4 ถึงรูปที่ 5.6

จากสมการที่ 5.13 ถึงสมการที่ 5.17 จะสามารถหาค่าความเร่งที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางถ่วงของรถไถพรวนดินที่เวลาต่างๆ ได้ ถ้าต้องการหาความเร่งที่จุดต่างๆ ก็สามารถทำได้โดยรวมความเร่งจากการเลื่อนที่ และความเร่งจากการหมุนเข้าด้วยกัน เช่นการหาความเร่งที่คันมือถือด้านซ้ายสามารถทำได้ดังนี้

จากรูป 5.4 จะได้ความเร่งที่คันมือถือด้านซ้ายในแนวแกน X คือ

$$\ddot{x} - \ddot{\alpha} H_{d1} \sin \phi_1$$

ความเร่งในแนวแกน Y คือ

$$\ddot{y} - \ddot{\alpha} H_{d1} \cos \phi_1$$

จากรูปที่ 5.5 จะได้ความเร่งในแนวแกน Y คือ

$$\ddot{\beta}H_{d2} \sin \varphi_2$$

ความเร่งในแนวแกน Z คือ

$$\ddot{\beta}H_{d2} \cos \varphi_2$$

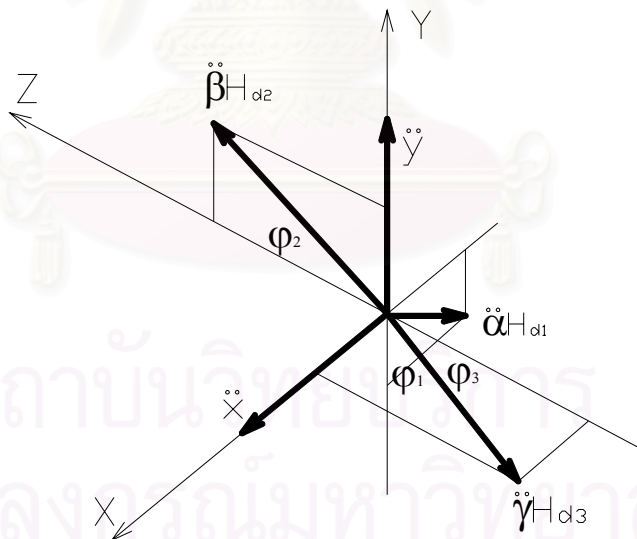
จากรูปที่ 5.6 จะได้ความเร่งในแนวแกน X คือ

$$\dot{\gamma}H_{d3} \cos \varphi_3$$

ความเร่งในแนวแกน Z คือ

$$\dot{\gamma}H_{d3} \sin \varphi_3$$

โดย H_{d1} , H_{d2} , H_{d3} , φ_1 , φ_2 และ φ_3 แสดงดังในรูปที่ 5.4 ถึงรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.7 แสดงการรวมความเร่งที่คั่นมือถือด้านซ้าย

รวมความเร่งที่อยู่ในแกนเดียวกันเข้าด้วยกันจะได้ความเร่งที่คั่นมือถือด้านซ้ายดังนี้
ความเร่งในแนวตั้ง (Vertical axis – แกน Y)

$$\ddot{y} + \ddot{\beta}H_{d2} \sin \varphi_2 - \ddot{\alpha}H_{d1} \cos \varphi_1 \quad (5.18)$$

ความเร่งในแนวแกนตามขวาง (Lateral axis – แกน Z)

$$\ddot{\beta}H_{d2} \cos \varphi_2 + \dot{y}H_{d3} \sin \varphi_3 \quad (5.19)$$

ความเร่งในแนวแกนตามยาว (Longitudinal axis – แกน X)

$$\ddot{x} + \dot{y}H_{d3} \cos \varphi_3 - \ddot{\alpha}H_{d1} \sin \varphi_1 \quad (5.20)$$

5.2 การทดลองเพื่อวัดการสั่นสะเทือนของรถไถพรวนดินสภาพสั่นอย่างอิสระ



รูปที่ 5.8 การจัดชุดทดลอง

รูปที่ 5.8 แสดงการแขวนรถไถพรวนดินเหนือพื้นดินโดยใช้ลวดสลิง 3 เส้นในการแขวน การแขวนรถไถพรวนดินนี้มีข้อระวางดังนี้

1. ต้องจัดให้ลวดสลิงทั้ง 3 เส้นอยู่ในแนวตั้งเพื่อให้รถไถพรวนดินสามารถสั่นได้อย่างอิสระทั้ง 3 ทิศทาง
2. ต้องจัดให้แท่นเครื่องของรถไถพรวนดินอยู่ในแนวระดับ เพื่อจะได้วัดการสั่นสะเทือนในทิศทางต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง และสามารถนำค่าที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับผลการคำนวณจากสมการคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นได้
3. ระวางไม่ให้ส่วนใดส่วนหนึ่งของรถไถพรวนดินสัมผัสกับโครงซึ่งใช้แขวนรถไถพรวนดิน เพราะอาจจะทำให้ค่าการสั่นสะเทือนที่วัดผิดพลาดได้

เมื่อแขวนรถไถพรวนดินเรียบร้อยแล้ว ทำการทดลองโดยเดินเครื่องยนต์ให้อุ่น และปรับ ความเร็วรอบเครื่องยนต์สำหรับการทดลองที่ 3200 3400 และ 3600 รอบต่อนาที ตาม ลำดับ โดยแต่ละความเร็วรอบเครื่องยนต์จะทำการปรับเกียร์ความเร็วตั้งแต่ไม่เข้าเกียร์ เข้าเกียร์ 1 จนถึงเกียร์ 6 จากนั้นทำการวัดการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ คือ ที่คันท่อถือทั้งด้านซ้าย และด้านขวาทั้ง 3 ทิศทาง ที่เครื่องยนต์ในแนวตั้ง และที่ห้องเกียร์ในแนวตั้ง ด้วยเครื่องวัดการ สั่นสะเทือนยี่ห้อ Microlog data collectors

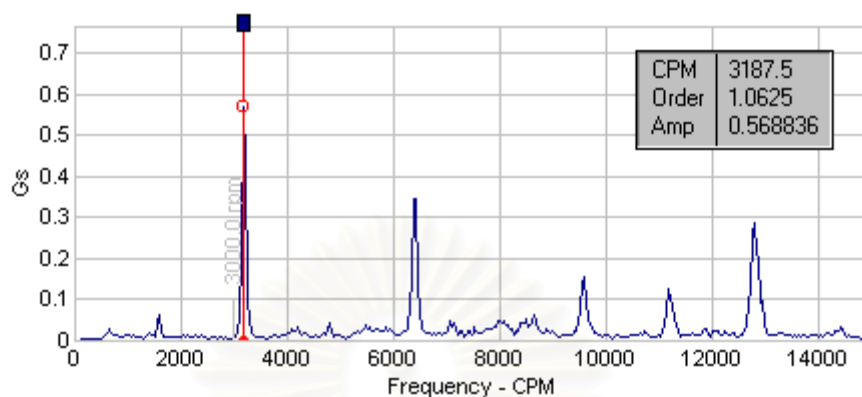
5.3 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

5.3.1 ความถี่ของการสั่นสะเทือน

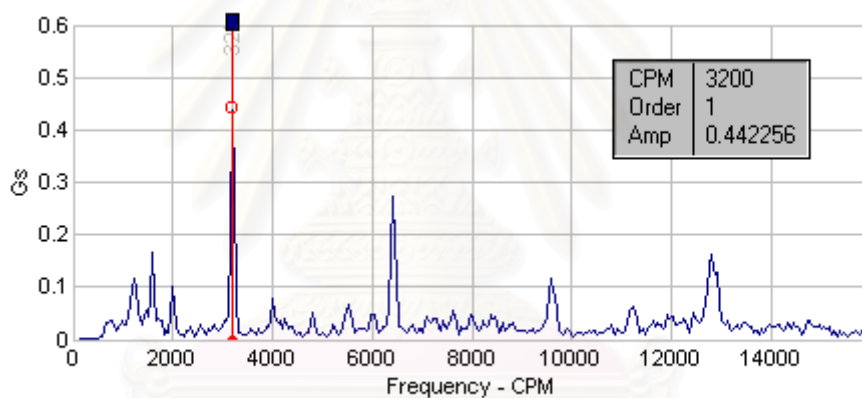
จากการทดลองพบว่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือนมากที่สุดจะเกิดที่ความถี่ซึ่งตรงกับ ความเร็วรอบเครื่องยนต์และสองเท่าของความเร็วรอบเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 5.9 ถึงรูป ที่ 5.20 แสดงให้เห็นว่าเครื่องยนต์เป็นสาเหตุหลักของการสั่นสะเทือนในการทดลองนี้ ซึ่งถ้า พิจารณาสมการที่ 5.3 ก็จะได้พบว่า แรงเฉื่อย f_p ประกอบด้วยส่วนที่มีความถี่ตรงกับความเร็วรอบ เครื่องยนต์ (พจน์ที่มี $\cos \theta$) และส่วนที่มีความถี่เป็น 2 เท่าของความเร็วรอบเครื่องยนต์ (พจน์ที่มี $\cos 2\theta$) ดังนั้นจึงส่งผลให้รถไถพรวนดินสั่นสะเทือนด้วยความถี่ซึ่งตรงกับความเร็วรอบเครื่อง ยนต์ และ 2 เท่าของความเร็วรอบเครื่องยนต์ (การสร้างสมการ 5.3 ตามวิธีการในเอกสารอ้างอิง หมายเลข [7] นั้นเป็นวิธีโดยประมาณเท่านั้น โดยจะมีขั้นตอนการตัดพจน์ที่มีอันดับมากกว่า 2 จากการกระจายทวินามทิ้งไป ดังนั้นสมการ 5.3 ที่ได้จึงแสดงเฉพาะความถี่ซึ่งตรงกับความเร็ว รอบเครื่องยนต์และสองเท่าของความเร็วรอบเครื่องยนต์เท่านั้น ความถี่ซึ่งเป็นจำนวนเท่าของ เครื่องยนต์อื่นๆ ซึ่งมีเช่นกันไม่ได้แสดงไว้)

นอกจากนี้ยังพบอีกว่า เมื่อทำการเปลี่ยนตำแหน่งเกียร์ความเร็วจากไม่เข้าเกียร์ เป็น เกียร์ 1, 2, 3 ถึงเกียร์ 6 นั้นจะทำให้เกิดการส่งผ่านกำลังจากเครื่องยนต์ไปสู่ล้อพรวนดิน (Cutter drum) โดยผ่านสายพาน มู่เล่และห้องเกียร์ ดังนั้นจะเกิดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ตรง กับความเร็วรอบหมุนของมู่เล่ที่เข้าห้องเกียร์ด้วย แต่ความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือนมากที่สุด ยังคงเกิดที่ความถี่ซึ่งตรงกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ หรือ 2 เท่าของความเร็วรอบเครื่องยนต์ เช่นเดิม เหตุที่เป็นเช่นนี้ทั้งๆ ที่การเปลี่ยนเกียร์ความเร็วจะส่งผลให้ความเร็วรอบหมุนของล้อ พรวนดินเปลี่ยนไปทำให้เกิดความไม่สมดุลเนื่องจากการหมุนขึ้น ซึ่งน่าจะทำให้การสั่นสะเทือน เปลี่ยนไปได้ เนื่องจากความเร็วรอบหมุนของล้อพรวนดินในแต่ละเกียร์นั้นมีค่าน้อยมาก (ประมาณ 20~160 รอบต่อนาที) ดังนั้นผลของความไม่สมดุลเนื่องจากการหมุนจึงมีค่าน้อยเมื่อ เทียบกับผลการสั่นสะเทือนเนื่องจากเครื่องยนต์

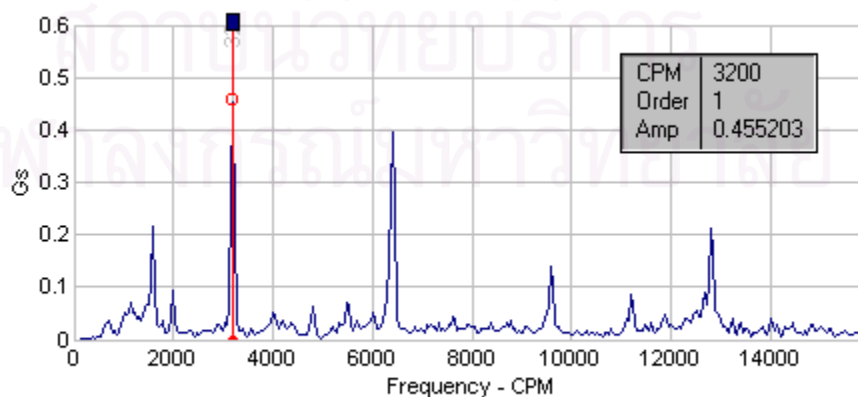
สัญญาณการสั่นสะเทือนที่วัดได้ที่คัมมือถือด้านซ้ายของรถไถพรวนดินที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์และเกียร์ความเร็วต่าง ๆ กัน



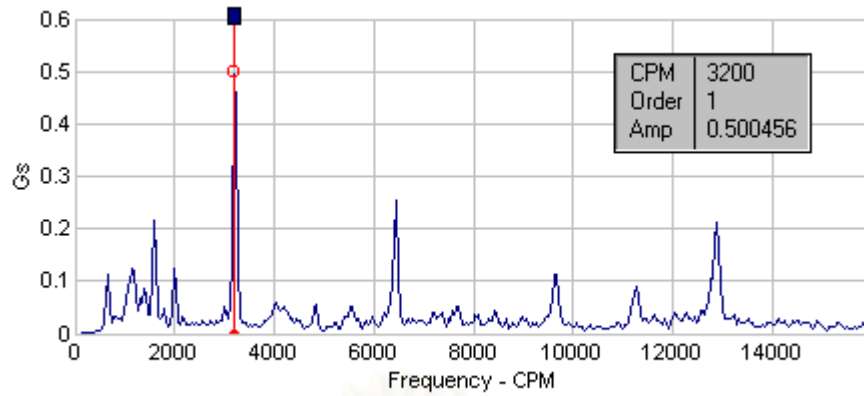
รูปที่ 5.9 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คัมมือถือด้านซ้ายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที ขณะไม่เข้าเกียร์



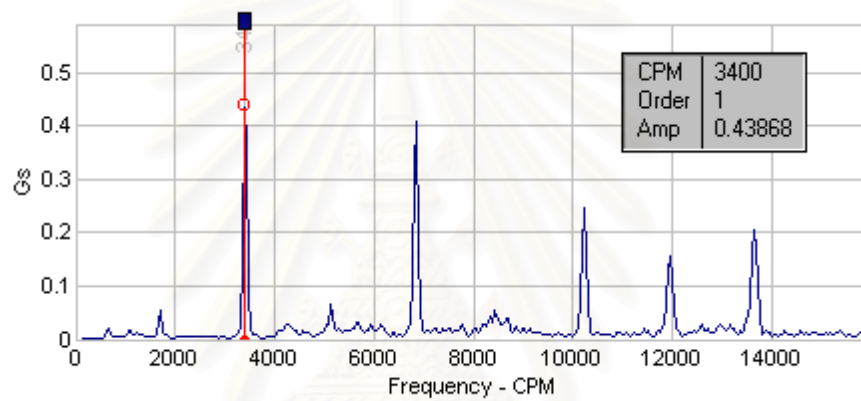
รูปที่ 5.10 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คัมมือถือด้านซ้ายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที ขณะเข้าเกียร์ 1



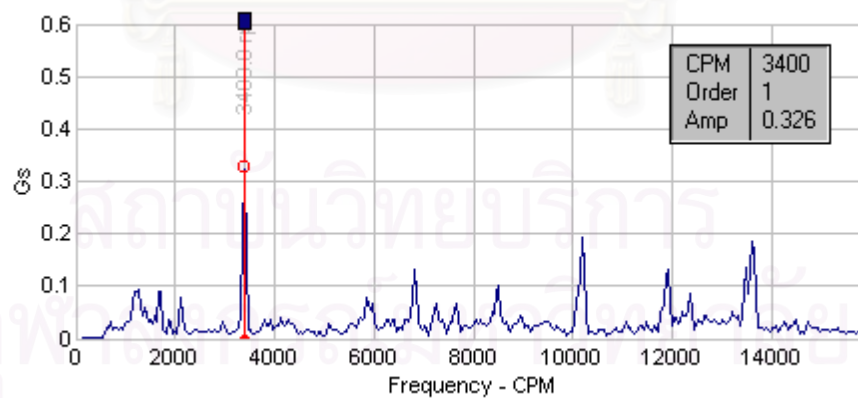
รูปที่ 5.11 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คัมมือถือด้านซ้ายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที ขณะเข้าเกียร์ 2



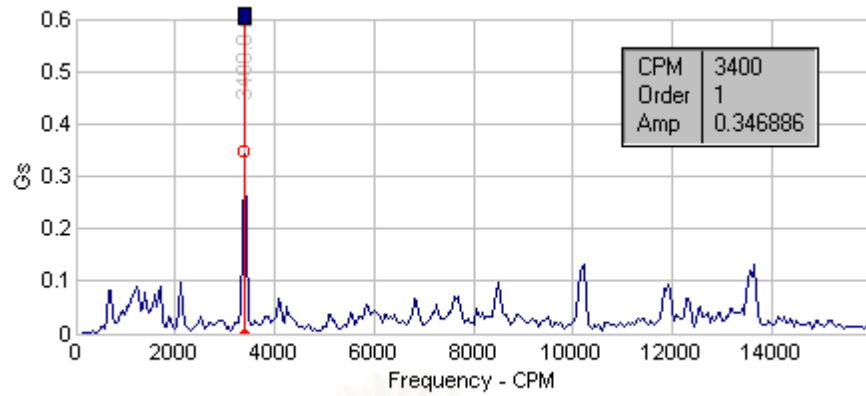
รูปที่ 5.12 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คัมมือถือด้านซ้ายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที ขณะเข้าเกียร์ 3



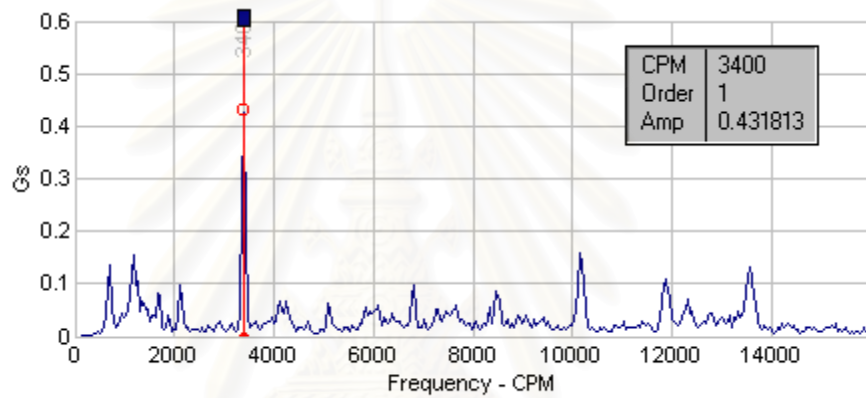
รูปที่ 5.13 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คัมมือถือด้านซ้ายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที ขณะไม่เข้าเกียร์



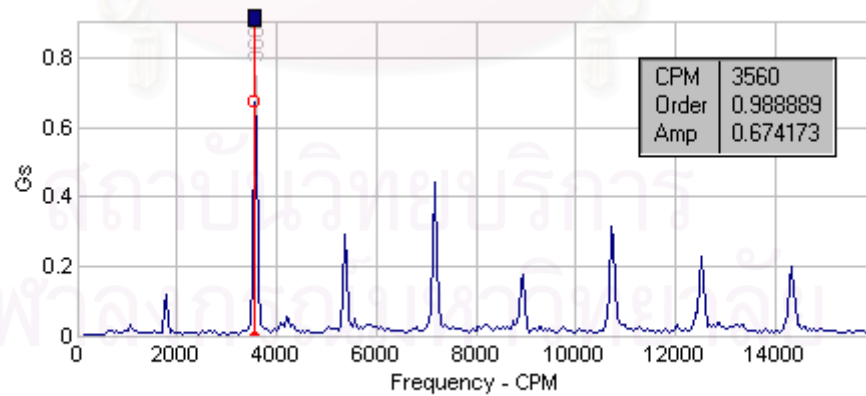
รูปที่ 5.14 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คัมมือถือด้านซ้ายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที ขณะเข้าเกียร์ 1



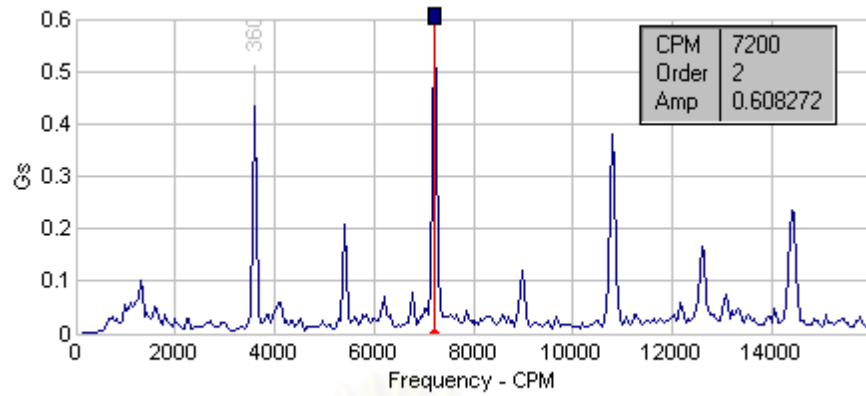
รูปที่ 5.15 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คันท่อถือด้านซ้ายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที ขณะเข้าเกียร์ 2



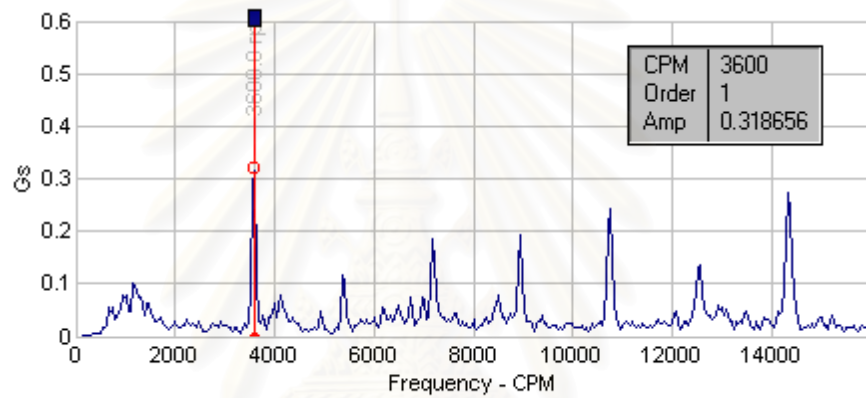
รูปที่ 5.16 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คันท่อถือด้านซ้ายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที ขณะเข้าเกียร์ 3



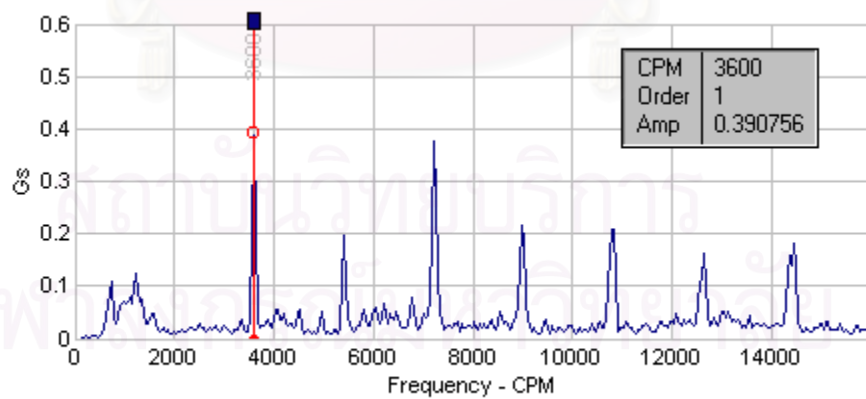
รูปที่ 5.17 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คันท่อถือด้านซ้ายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที ขณะไม่เข้าเกียร์



รูปที่ 5.18 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คันท่อถือด้านซ้ายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที ขณะเข้าเกียร์ 1



รูปที่ 5.19 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คันท่อถือด้านซ้ายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที ขณะเข้าเกียร์ 2



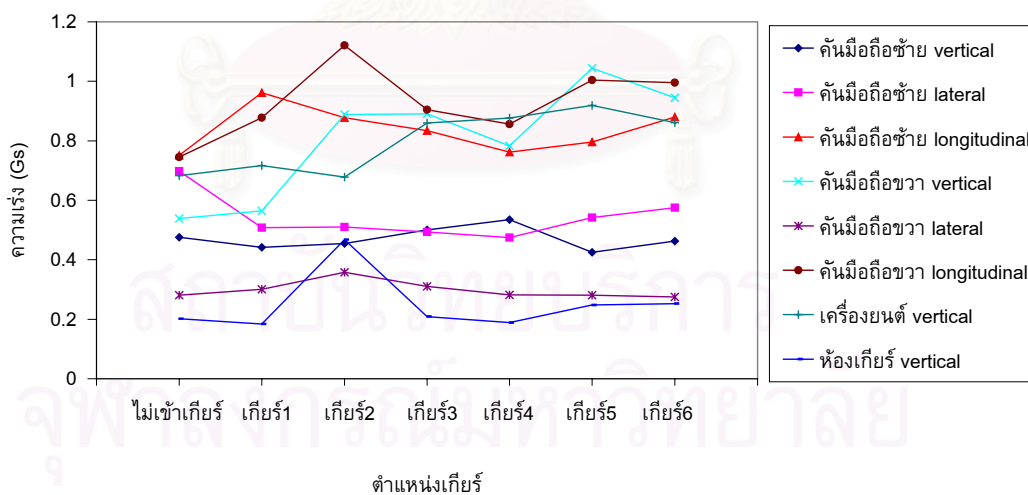
รูปที่ 5.20 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่คันท่อถือด้านซ้ายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที ขณะเข้าเกียร์ 3

หมายเหตุ

1. CPM = ความถี่การสั่นสะเทือน มีหน่วยเป็น รอบต่อนาที ตำแหน่ง CPM ที่แสดงในตารางคือตำแหน่งที่มีขนาดการสั่นสะเทือนสูงสุด
2. Order = จำนวนเท่าของความถี่รอบเครื่องยนต์
3. Amp = ขนาดการสั่นสะเทือน (ความเร่ง) มีหน่วยเป็น Gs
4. การเปลี่ยนหน่วยความเร่งจากหน่วย Gs เป็นหน่วย m/s^2 ใช้สูตร $Gs \times 9.81 = m/s^2$

5.3.2 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของรถไถพรวนดินที่ความเร็วรอบและตำแหน่งเกียร์ความเร็วเดียวกัน

กราฟแสดงผลการทดลองในกรณีนี้แสดงดังรูปที่ 5.21 จากการทดลองพบว่า ทั้ง 3 ความเร็วรอบที่ทดลอง การสั่นสะเทือนที่ห้องเกียร์จะมีขนาดน้อยที่สุด เนื่องจากตำแหน่งห้องเกียร์นั้นจะยึดแน่นกับโครงรถ ทำให้การสั่นสะเทือนไม่เป็นอิสระ ขนาดการสั่นสะเทือนจึงมีค่าน้อย การสั่นสะเทือนที่คันทันมือถือจะมีค่ามากที่สุด แต่ทิศทางที่เกิดการสั่นสะเทือนมากที่สุดนั้นยังไม่แน่นอน การที่คันทันมือถือมีขนาดการสั่นสะเทือนมากที่สุดเนื่องมาจากคันทันมือถือมีลักษณะเหมือนเป็นคานยื่น (Cantilever beam) ซึ่งทำให้ปลายคานสามารถสั่นอย่างอิสระ ดังนั้นการสั่นสะเทือนจึงมีค่ามาก



รูปที่ 5.21 กราฟเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งและเกียร์ความเร็วต่างๆ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที

สำหรับการสั่นสะเทือนที่เครื่องยนต์นั้นมีความมากกว่าการสั่นสะเทือนที่ห้องเกียร์แต่น้อยกว่าการสั่นสะเทือนที่คันทันมือถือ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ทั้งที่เครื่องยนต์เป็นสาเหตุหลักของการ

สั่นสะเทือนอาจเนื่องมาจาก เครื่องยนต์ถูกติดตั้งกับโครงรถทำให้การสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์ไม่เป็นอิสระเหมือนกับการสั่นสะเทือนที่คัมมือถือ

5.3.3 การสั่นสะเทือนที่เกียร์ความเร็วต่าง ๆ เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งและความเร็วรอบเครื่องยนต์เดียวกัน

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.22 และ 5.23 พบว่า การสั่นสะเทือนขณะไม่เข้าเกียร์ มีแนวโน้มจะมีค่ามากกว่าการสั่นสะเทือนขณะเข้าเกียร์ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเข้าเกียร์ความเร็วเป็นการเพิ่มโหลดให้กับเครื่องยนต์ ดังนั้นความเร็วรอบเครื่องยนต์จะตกลงเล็กน้อย และเมื่อพิจารณาสมการที่ 5.2 และ 5.3 ก็จะพบว่าเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ (ω) ลดลง ก็จะทำให้แรงเฉื่อย f_C และ f_P ลดลง ซึ่งแรงเฉื่อยที่ลดลงนี้ก็จะส่งผลให้การสั่นสะเทือนของรถไถพรวนดินลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่วัดได้

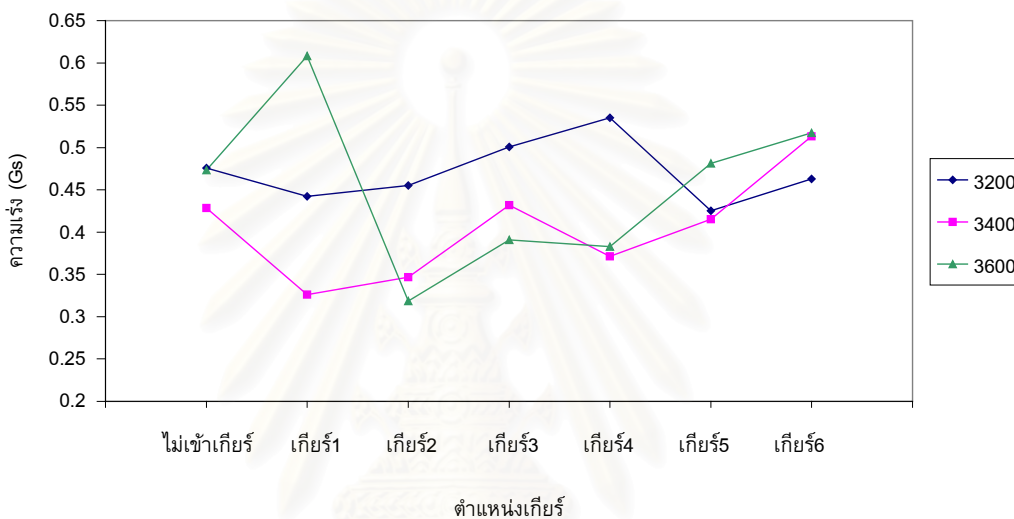
สำหรับผลการสั่นสะเทือนอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนเกียร์ความเร็วตั้งแต่เกียร์ 1 ถึงเกียร์ 6 นั้นไม่แน่นอน กล่าวคือ ไม่สามารถระบุได้อย่างชัดเจนว่า ที่ตำแหน่งเกียร์ใดส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนมากที่สุดหรือน้อยที่สุด ทั้ง ๆ ที่การเปลี่ยนเกียร์ความเร็วจะส่งผลให้การขบกันของฟันเฟืองบางคู่เปลี่ยนไป ซึ่งน่าจะส่งผลกระทบต่อสั่นสะเทือนได้ แต่จากการทดลองพบว่า ความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือนมาก ๆ นั้นเป็นผลมาจากเครื่องยนต์ การสั่นสะเทือนที่ความถี่อื่น ซึ่งอาจเกิดจากผลของการเปลี่ยนเกียร์จะมีขนาดน้อยมากเมื่อเทียบกับการสั่นสะเทือนเนื่องจากเครื่องยนต์ ดังนั้นผลของการเปลี่ยนเกียร์ความเร็วจึงไม่เห็นชัดเจนในการทดลองนี้

5.3.4 เปรียบเทียบการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบต่าง ๆ ของรถไถพรวนดิน

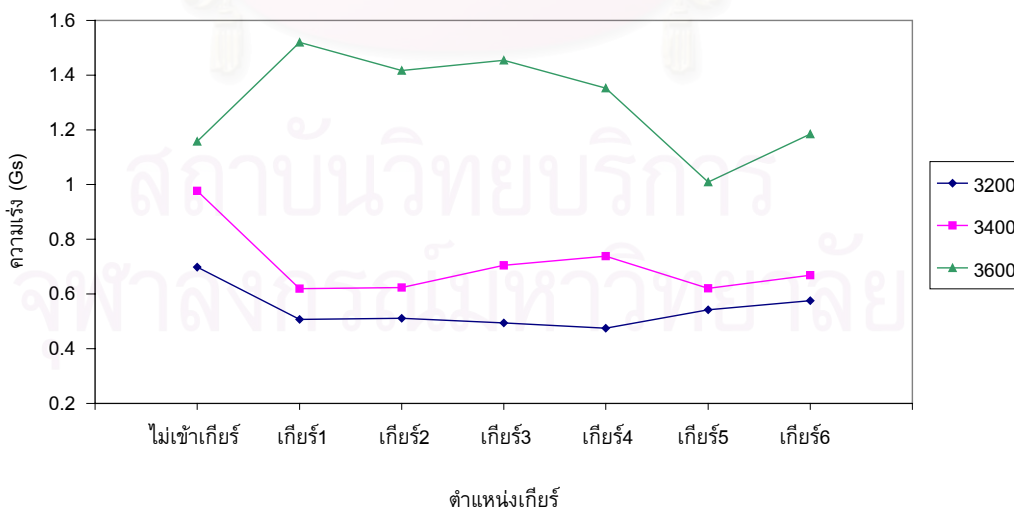
จากผลการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 5.22 และ 5.23 พบว่า เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงขึ้นจะส่งผลให้ขนาดการสั่นสะเทือนของรถไถพรวนดินมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งเมื่อพิจารณาจากสมการที่ 5.2 และ 5.3 ซึ่งแสดงแรงเฉื่อยที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของลูกสูบ ก็จะพบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วยรอบเครื่องยนต์ (ω) ก็จะทำให้แรงเฉื่อย f_C และ f_P เพิ่มขึ้น ซึ่งแรงเฉื่อยที่เพิ่มขึ้นนี้จะส่งผลให้การสั่นสะเทือนของรถไถพรวนดินเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่วัดได้ และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ Bishwajit Majumder [3] จะพบว่าการเพิ่มความเร็วยรอบเครื่องยนต์ทำให้ขนาดการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นเช่นกัน

เมื่อพิจารณารูปที่ 5.22 จะพบว่ามีจุดข้อมูลหลายจุดซึ่งมีค่าแนวโน้มต่างไปจากที่ควรจะเป็น คือ แทนที่การสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที จะมีขนาดการสั่น

สะท้อนมากกว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 และ 3200 รอบต่อนาทีตามลำดับ กลับเป็นการสิ้นเปลืองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที มีขนาดการสิ้นเปลืองมากกว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 และ 3600 รอบต่อนาทีตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะความถี่ธรรมชาติของรถไถพรวนที่ใช้ในการทดลองอาจมีค่าใกล้เคียงหรือต่ำกว่าความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที ดังนั้นเมื่อเดินเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที ขนาดการสิ้นเปลืองในแนวตั้งจึงมีขนาดมากกว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 และ 3600 รอบต่อนาทีตามลำดับ เนื่องจากการสิ้นเปลืองที่ความถี่ซึ่งใกล้เคียงความถี่ธรรมชาติของโครงสร้างมากกว่า



รูปที่ 5.22 กราฟเปรียบเทียบการสิ้นเปลืองที่คันมือถือด้านซ้าย ในทิศแนวตั้ง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ



รูปที่ 5.23 กราฟเปรียบเทียบขนาดการสิ้นเปลืองที่คันมือถือด้านซ้าย ในทิศตามขวาง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ

5.4 สรุป

จากการศึกษาความสัมพันธ์ของรถไถพรวนดินสรุปผลได้ดังนี้

1. การสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากเครื่องยนต์เป็นหลักเนื่องจากความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือนมากที่สุดมีค่าเท่ากับความถี่ของความถี่รอบเครื่องยนต์ และสองเท่าของความถี่รอบเครื่องยนต์
2. การสั่นสะเทือนที่คั่นมือถือมีขนาดมากที่สุด รองลงมาคือการสั่นสะเทือนที่เครื่องยนต์ ส่วนการสั่นสะเทือนที่ห้องเกียร์มีขนาดน้อยที่สุด
3. เมื่อเปรียบเทียบขณะเข้าเกียร์กับไม่เข้าเกียร์พบว่า ขณะเข้าเกียร์ขนาดการสั่นสะเทือนจะมีแนวโน้มลดลง ส่วนการเปลี่ยนเกียร์ความเร็วตั้งแต่เกียร์ 1 ถึงเกียร์ 6 นั้นมีผลกระทบต่อการสั่นสะเทือนของรถไถพรวนดินน้อยมาก
4. การเพิ่มความถี่รอบเครื่องยนต์เป็นผลให้ขนาดการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น



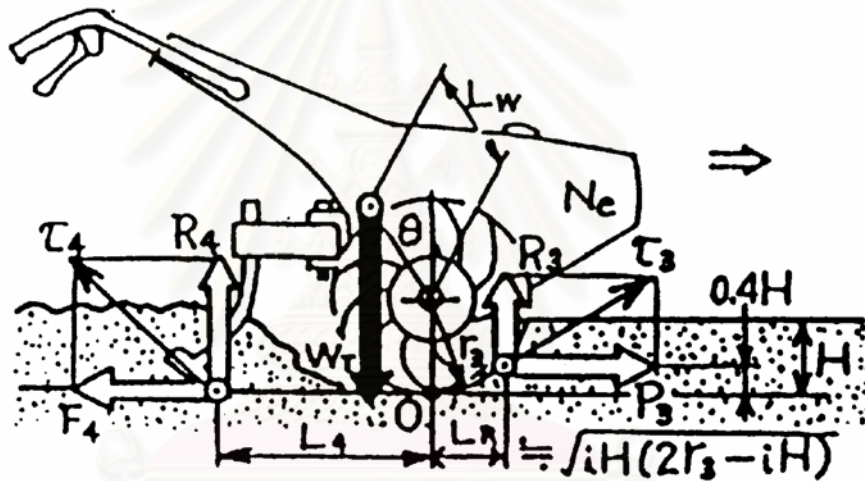
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

วิธีการทำวิทยานิพนธ์

6.1 แนวคิดในการสร้างชุดทดลองเพื่อทำวิทยานิพนธ์

จากการศึกษาหลักพลวัตของรถไถพรวนดินตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.6 พบว่าเมื่อรถไถพรวนดินทำงานอย่างมีประสิทธิภาพแล้ว แรงต่างๆ ที่กระทำต่อรถไถพรวนดินจะสัมพันธ์กันตามสมการสมดุลของแรงและโมเมนต์ดังนี้



รูปที่ 6.1 แรงภายนอกที่กระทำต่อรถไถพรวนดิน

$$W_T = R_3 + R_4 \quad (6.1)$$

$$P_3 = F_4 \quad (6.2)$$

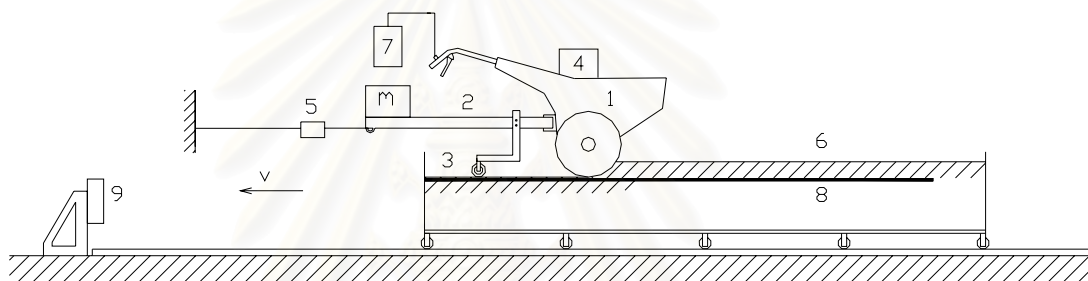
$$W_T(L_W \sin \theta) + R_3 L_R = P_3(0.4H) + R_4 L_4 \quad (6.3)$$

จากสมการที่ (6.1) และ สมการที่ (6.2) พบว่าน้ำหนักของรถไถพรวนดิน (W_T) สามารถหาได้จากการชั่งน้ำหนักรถไถพรวนดิน ดังนั้นถ้าสามารถวัดขนาดของแรง R_4 และ แรง F_4 ได้ก็ จะสามารถคำนวณหาค่าแรงดันจากการไถพรวน (P_3) แรงยกจากการไถพรวน (R_3) และแรงต้านทานดินรวม (T_3) ได้ และเมื่อพิจารณารูปที่ 6.1 และสมการที่ (6.3) พบว่า ตัวแปรที่กำหนด ตำแหน่งของแรงดันและแรงยกจากการไถพรวนคือระยะ L_R และระยะ H ส่วนตัวแปรอื่นๆ ในสมการที่ (6.3) นั้นสามารถวัดค่าหรือคำนวณได้จากสมการที่ (6.1) และสมการที่ (6.2) ดังนั้น

จากสมการที่ (6.3) จะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะ L_R และระยะ H ซึ่งแสดงตำแหน่งแนวแรงที่แรงต้านทานดินรวมกระทำต่อไปมีได้

จากหลักการดังกล่าวจะเห็นว่า ถ้าสามารถวัดขนาดของแรงภายนอกต่างๆ ที่กระทำต่อรถไถพรวนได้จะสามารถคำนวณหาแรงดันจากการไถพรวน แรงยกจากการไถพรวน แรงต้านทานรวม และแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อไปมีได้โดยอาศัยสมการสมดุลของแรงและโมเมนต์

แนวคิดนี้นำไปสู่การออกแบบและสร้างชุดทดลองเพื่อหาค่าแรงต้านทานรวมที่กระทำต่อไปมีได้ โดยชุดทดลองที่สร้างขึ้นมีลักษณะดังนี้



รูปที่ 6.2 การจัดชุดทดลองเพื่อหาแรงต้านทานที่กระทำต่อไปมีได้

ชุดทดลองประกอบด้วย

1. รถไถพรวน
2. ชุดควบคุมแรงกดที่กระทำต่อล้อหลัง
3. อุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L
4. น้ำหนักถ่วงรถไถพรวน
5. อุปกรณ์วัดแรงดึง (Load cell)
6. กระบะทราย
7. อุปกรณ์วัดความสิ้นสะท้อน
8. แผ่นเหล็กรองล้อของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L
9. ที่หยุดกระบะทราย

ชุดทดลองนี้จำลองสภาพการทำงานของรถไถพรวนโดยใช้รถไถพรวนพรวนทรายในกระบะทราย การใช้กระบะทรายในการทดลองทำให้สามารถควบคุมสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดีกว่าการทดลองในสนาม เช่น ชนิดของทรายหรือดินที่จะใช้พรวน หรือความแข็งของ

ทรายในการทดลอง นอกจากนี้ยังทำการทดลองได้ตลอดเวลาไม่ต้องคำนึงถึงสภาพดินฟ้าอากาศ ในการทดลองนี้จะใช้ทรายในการทดลองแทนดิน สาเหตุที่ใช้ทรายเนื่องจากเม็ดทรายมีขนาดสม่ำเสมอกว่าดิน ทำให้การบดอัดชั้นทรายให้มีความหนาแน่นเท่ากันและสม่ำเสมอทั่วทั้งกระบอกทำได้ง่าย ดังนั้นค่าที่ได้จากการทดลองน่าจะมีค่าสม่ำเสมอกว่าการใช้ดินในการทดลอง แต่อย่างไรก็ตามการใช้ทรายในการทดลองแทนดินก็มีข้อเสียที่ เม็ดทรายมีการเกาะตัวกันน้อยกว่าดินทำให้เวลาทดลองพรุนทราย รถไถพรุนจะค่อยๆ จมลงไปทรายจนไม่สามารถทำการทดลองต่อไปได้ ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาเรื่องนี้จึงได้จัดให้มีแผ่นเหล็กทรงล้อของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L (อุปกรณ์หมายเลข 8) เพิ่มขึ้น โดยส่วนล้อของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L จะวิ่งอยู่บนแผ่นเหล็กทรงล้อนี้ ทำให้รถไถพรุนอยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องแทนเครื่องขนานกับพื้นทราย ไม่จมลงไปทรายในขณะที่ทำการทดลอง นอกจากนี้การที่ล้อของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L วิ่งอยู่บนแผ่นเหล็กทรงล้อยังทำให้ แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของล้อมีความสม่ำเสมอมากกว่าการที่ล้อของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L วิ่งอยู่บนพื้นทราย

การทำงานของส่วนต่างๆ ของรถไถพรุนจะถูกจำลองด้วยส่วนต่างๆ ของชุดทดลอง โดยสกีหลังของรถไถพรุนซึ่งทำหน้าที่ควบคุมความเร็วการพรุน ความลึกการพรุน และขนาดของก้อนดินที่พรุนได้จะถูกจำลองโดยชุดควบคุมแรงกดที่กระทำต่อล้อหลัง อุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L และอุปกรณ์วัดแรงดึง โดยในการทดลองนี้จะใช้ล้อหลังทำหน้าที่แทนสกีหลัง เนื่องจากแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของล้อหลังมีความสม่ำเสมอกว่าสกีหลัง ชุดควบคุมแรงกดที่กระทำต่อล้อหลังจะทำหน้าที่สร้างแรงกดและแรงต้านทานที่กระทำต่อล้อหลัง ซึ่งขนาดของแรงสามารถควบคุมได้โดยเพิ่มหรือลดน้ำหนักถ่วงที่กระทำต่อล้อหลัง แรงกดและแรงต้านทานที่กระทำต่อล้อหลังนี้สามารถวัดได้โดยใช้อุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L และอุปกรณ์วัดแรงดึง

นอกจากนี้จากการศึกษาทางทฤษฎีพบว่า น้ำหนักของรถไถพรุนเป็นพารามิเตอร์หนึ่งซึ่งมีผลอย่างมากต่อการสิ้นเปลืองของรถไถพรุน ชุดทดลองนี้จึงจัดให้มีน้ำหนักถ่วงรถไถพรุนซึ่งสามารถปรับค่ามากน้อยได้ตามต้องการ ทำให้สามารถศึกษาถึงผลของน้ำหนักของรถไถพรุนต่อการสิ้นเปลืองของรถไถพรุนได้ และเนื่องจากการทดลองนี้มีน้ำหนักถ่วงรถไถพรุนอยู่ 2 จุดคือ น้ำหนักถ่วงรถไถพรุน (อุปกรณ์หมายเลข 4) และน้ำหนักถ่วงที่ชุดควบคุมแรงกดที่กระทำต่อล้อหลัง (อุปกรณ์หมายเลข 2) ดังนั้นจึงสามารถถ่วงน้ำหนักเพื่อปรับเปลี่ยนตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถไถพรุนทำให้สามารถศึกษาถึงผลของตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถไถพรุนต่อการสิ้นเปลืองของรถไถพรุนได้ด้วย

การทดลองทำโดยจัดชุดทดลองดังแสดงในรูปที่ 6.2 จัดน้ำหนักถ่วงรถไถพรุนและน้ำหนักถ่วงล้อหลังตามต้องการ เดินเครื่องยนต์ ปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์และเกียร์ความเร็วขณะทดลองให้มีดินจะพันทรายทำให้เกิดแรงต้านทานทรายขึ้น แรงต้านทานนี้จะทำให้รถไถ

พรวนเคลื่อนที่ไปด้านหน้า ส่วนแรงปฏิกิริยาของแรงต้านทานนี้จะผลักดันให้กระบะทรายเคลื่อนที่ไปทางด้านหลังสัมพันธ์กับรถไถพรวนด้วยอัตราเร็วการเคลื่อนที่ที่สอดคล้องกับอัตราเร็วการเคลื่อนที่ของรถไถพรวนในแต่ละกรณีที่ทดลอง แต่เนื่องจากการทดลองจะยึดรถไถพรวนให้อยู่กับที่โดยใช้ Load cell ดังนั้นรถไถพรวนในการทดลองนี้จึงอยู่ในสภาวะสมดุลทำให้แรงต้านทานที่ทรายกระทำต่อรถไถพรวนในแนวระดับจะสมดุลกับแรงดึงที่อ่านได้จาก Load cell รวมกับแรงต้านทานที่กระทำต่อล้อหลังซึ่งสามารถวัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L

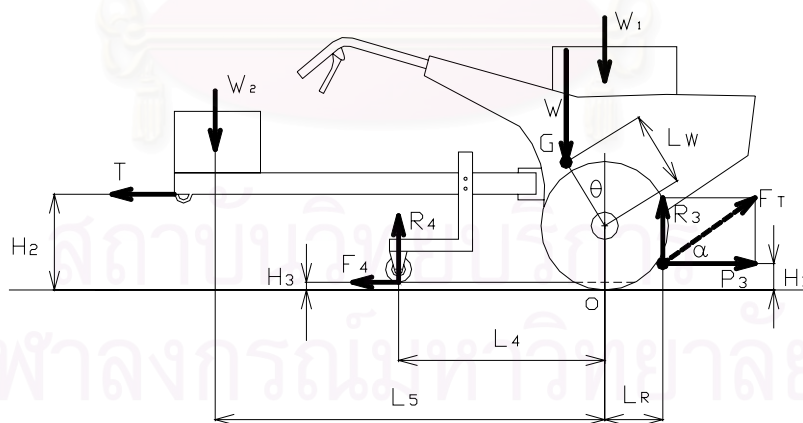
พารามิเตอร์ที่สามารถปรับได้ในการทดลองนี้คือ

1. น้ำหนักคราดไถพรวน
2. น้ำหนักถล้อหลัง
3. ความเร็วรอบเครื่องยนต์
4. เกียร์ความเร็ว

ขณะทำการทดลองวัดค่าต่างๆ ดังนี้

1. แรงที่ใช้ยึดรถไถพรวนให้อยู่กับที่ ซึ่งวัดโดย Load cell
2. แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของล้อหลัง ซึ่งวัดได้โดยอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L
3. ลักษณะการสั่นสะเทือนที่คันมือถือด้านซ้ายของรถไถพรวนในทิศทางขึ้นลง

นำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่วัดได้จากการทดลองมาวิเคราะห์สภาพสมดุลของรถไถพรวนรูปที่ 6.3 แสดงแรงภายนอกที่กระทำต่อรถไถพรวนในขณะทำการทดลอง



รูปที่ 6.3 แรงภายนอกที่กระทำต่อรถไถพรวนในการทดลอง

พิจารณาแรงภายนอกที่กระทำต่อชุดทดลองในสภาพสมดุลจะได้

1. สมดุลในแนวตั้ง

$$R_3 = W + W_1 + W_2 - R_4 \quad (6.4)$$

2. สมดุลในแนวระดับ

$$P_3 = T + F_4 \quad (6.5)$$

ดังนั้นแรงต้านทานการไถพรวนรวม

$$F_T = \sqrt{R_3^2 + P_3^2} \quad (6.6)$$

มุมที่แรงต้านทานการไถพรวนรวมกระทำต่อไปมี

$$\alpha = \arctan\left(\frac{R_3}{P_3}\right) \quad (6.7)$$

3. สมดุลโมเมนต์รอบจุด O ภายใต้จุดศูนย์กลางเพลาล้อ

$$\sum(\text{โมเมนต์ที่ศานเข็มนาฬิกา}) = \sum(\text{โมเมนต์ที่ศตามเข็มนาฬิกา})$$

$$TH_2 + W_2L_5 + WL_W \sin \theta + R_3L_R + F_4H_3 = P_3H_1 + R_4L_4 \quad (6.8)$$

สมการที่ (6.8) สามารถจัดรูปใหม่เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะ H_1 และ L_R ซึ่งแสดงแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อไปมีได้ดังนี้

$$H_1 = \left(\frac{R_3}{P_3}\right) \cdot L_R + \left(\frac{TH_2 + W_2L_5 + WL_W \sin \theta + F_4H_3 - R_4L_4}{P_3}\right) \quad (6.9)$$

จากการทดลองจะรู้ค่าน้ำหนักรถไถพรวน (W) น้ำหนักถล้อหลัง (W_2) และสามารถวัดค่าแรงที่ใช้ยี่รถไถพรวน (T) และแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของล้อหลัง (R_4 และ F_4) ได้ นำค่าต่างๆ เหล่านี้แทนในสมการที่ (6.4) ถึงสมการที่ (6.7) จะสามารถหาค่าแรงดันจากการไถพรวน (P_3) แรงยกจากการไถพรวน (R_3) แรงต้านทานการไถพรวนรวม (F_T) และทิศทางที่แรงต้านทานรวมกระทำ (α) ได้ และเมื่อนำค่าต่างๆ ที่หาได้แทนลงในสมการ (6.9) จะได้สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะ H_1 และระยะ L_R ซึ่งแสดงตำแหน่งแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อไปมีได้

นอกจากนี้ในการศึกษานี้ยังได้หาสัมประสิทธิ์การตะกรุย (Coefficient of traction) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งซึ่งช่วยบอกให้ทราบถึงสมบัติการฉุดลากของรถไถพรวนในสภาพการทำงานต่างๆ สัมประสิทธิ์การตะกรุย หมายถึง อัตราส่วนแรงฉุดลากต่อภาระทางพลศาสตร์ที่กดลงบนเครื่องตะกรุย องค์ประกอบซึ่งมีอิทธิพลต่อค่าสัมประสิทธิ์การตะกรุย เช่น ชนิดของ

เครื่องตะกรุย ชนิดและสภาพของดิน ความชื้นในดิน ขนาดของเครื่องตะกรุยและการกระจายความดันดิน เป็นต้น สัมประสิทธิ์การตะกรุยสามารถเขียนในรูปสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$\text{สัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT)} = \frac{P_3}{W_T} \quad (6.10)$$

โดย W_T คือ น้ำหนักรวมทั้งหมดที่กระทำบนรถไถพรวน ($W+W_1+W_2$)

6.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีดังต่อไปนี้

1. รถไถพรวนรุ่น FA500 ของบริษัทเอเซียฮอนด้ามอเตอร์ จำกัด
2. ชุดถ่วงน้ำหนักหน้า
3. ชุดควบคุมแรงกดที่กระทำต่อล้อหลังและอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L
4. อุปกรณ์วัดแรงดึง (Load cell)
5. กระบะทรายขนาด 1.4 m × 3.5 m × 0.4 m
6. อุปกรณ์วัดความสั่นสะเทือน (เครื่อง Microlog data collectors)
7. เครื่อง Data logger
8. เครื่อง Strain amplifier 3 เครื่อง
9. สาย Bridge box 3 ชุด
10. เครื่องวัดความเร็วรอบหมุน (Digital tachometer)
11. ตู้น้ำหนักขนาด 2.5, 5, 8.5 และ 10 กิโลกรัม
12. เครื่องอัดทราย (Vibrating plate compactor)
13. เครื่องวัดความแน่นดิน (Soil resistance tester)
14. นาฬิกาจับเวลา

รายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง และวิธีการต่ออุปกรณ์ต่างๆ แสดงในภาคผนวก ก. ถึงภาคผนวก ค.

6.3 วิธีการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองมีดังต่อไปนี้

1. ประกอบชุดทดลองเข้ากับรถไถพรวน และวัดระยะต่างๆ ที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณตามสมการที่ (6.9)
2. ทำการเตรียมกระบะทรายโดยใช้เครื่องอัดทรายอัดทรายให้แน่น และวัดความแข็งของทรายด้วยเครื่องวัดความแน่นดิน หลังจากนั้นทำการเขย่าร่องทรายเพื่อใช้เป็น

ทางวิ่งของล้อของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L โดยร่องที่เซาะมีความกว้างและความลึกประมาณ 12 เซนติเมตร



รูปที่ 6.4 แสดงการอัดทราย



รูปที่ 6.5 แนวนร่องทรายทางวิ่งของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L



รูปที่ 6.6 แสดงการจัดชุดทดลอง

3. นำรถไถพรวนขึ้นบนกระบะทราย และติดตั้งทดลองดังแสดงในรูปที่ 6.2
4. ตั้งค่าต่างๆ ของเครื่อง Strain amplifier ทั้ง 3 เครื่องให้เหมือนกับตอนที่ทำการปรับเทียบ
5. ทำการปรับศูนย์ของเครื่อง Strain amplifier ทั้ง 3 เครื่อง และทำการตรวจสอบการปรับศูนย์โดย นำเครื่องชั่งน้ำหนักไปวางรองใต้ล้อของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L แล้วนำน้ำหนักถ่วงที่ชุดควบคุมแรงกดที่กระทำต่อล้อหลัง อ่านค่าน้ำหนักจากเครื่องชั่งเปรียบเทียบกับค่าน้ำหนักที่คำนวณได้จากการอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ว่ามีค่าใกล้เคียงกันหรือไม่ ถ้าค่าที่อ่านได้แตกต่างกันมากให้ตรวจสอบการต่อสายสัญญาณต่างๆ ว่าถูกต้องหรือไม่ จากนั้นให้ปรับศูนย์ใหม่ และตรวจสอบใหม่ว่าน้ำหนักที่อ่านได้ใกล้เคียงกันหรือไม่ ทำเช่นนี้จนกว่าจะมีค่าใกล้เคียงกัน การตรวจสอบการปรับศูนย์ในการทดลองนี้ได้ทดสอบโดยใช้น้ำหนักถ่วงที่ชุดควบคุมแรงกดที่กระทำต่อล้อหลัง 2 ค่า
6. ตั้งค่าเครื่อง Data logger ให้บันทึกค่าลงในแผ่นดิสก์ทุกๆ วินาที
7. เดินเครื่องรถไถพรวนโดยเข้าคลัตช์ไว้แต่ยังไม่เข้าเกียร์ หลังจากเดินเครื่องยนต์ให้อุ่นสักครู่ทำการปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ไปที่ 3200 รอบต่อนาที (ความเร็วรอบเครื่องยนต์ค่าแรกที่ทดลอง) ตรวจสอบความเร็วรอบของเครื่องยนต์โดยเครื่อง Digital tachometer



รูปที่ 6.7 การวัดความเร็วรอบเครื่องยนต์

8. เริ่มการทดลองโดยเข้าเกียร์ 1 (เกียร์ความเร็วแรกที่ทดลอง) ซึ่งจะทำให้รถไถพรวนเริ่มทำการไถพรวน ระหว่างทดลองจะอ่านและบันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จากอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L และ Load cell ลงในเครื่อง Data logger ในขณะเดียวกันก็จะวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนที่คันท่อติดด้านซ้ายของรถไถพรวน และจับเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่พร้อมกันไปด้วย ในการทดลองนี้รถไถพรวนจะเคลื่อนที่บนกระบะ

ทรายได้ประมาณ 2 เมตร เมื่อรถไถพรวนเคลื่อนที่จนถึงจุดที่กำหนดไว้แล้วจะหยุดรถไถพรวน หยุดจับเวลา และทำการวัดค่าความลึกของการพรวนทราย



รูปที่ 6.8 รถไถพรวนขณะทดลอง



รูปที่ 6.9 รถไถพรวนขณะทดลอง



รูปที่ 6.10 การวัดการสันสะเทือนที่คันมือถือด้านซ้ายของรถไถพรวน



รูปที่ 6.11 แสดงชุดทดลองหลังจากทดลองเสร็จสิ้นในแต่ละครั้ง



รูปที่ 6.12 การวัดความลึกการพรวนทราย

9. ยกรถไถพรวนและชุดทดลองออกจากกระบะทราย ดันกระบะทรายกลับสู่จุดเริ่มต้นทำการเตรียมทรายเพื่อทำการทดลองครั้งต่อไปตามวิธีการในข้อ 2 โดยพยายามเตรียมให้ค่าความแข็งของทรายในการทดลองแต่ละครั้งมีค่าใกล้เคียงกัน
10. เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ เกียร์ความเร็ว และน้ำหนักถ่วงรถไถพรวนซึ่งแบ่งเป็นน้ำหนักถ่วงที่ตัวรถไถพรวนหรือเรียกว่าน้ำหนักถ่วงหน้า และน้ำหนักที่ใช้กดล้อของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L หรือเรียกว่าน้ำหนักถ่วงหลัง ค่าพารามิเตอร์ในการทดลองมีดังนี้
กรณียังไม่ถ่วงน้ำหนัก

ความเร็วรอบเครื่องยนต์ : 3200, 3400 และ 3600 รอบต่อนาที
เกียร์ความเร็ว : เกียร์ 1, เกียร์ 2 และเกียร์ 3

การใช้เกียร์ 1 ถึงเกียร์ 3 ในการทดลองเท่านั้นเนื่องจากเป็นเกียร์ความเร็วซึ่งใช้ในการไถพรวนจริง เกียร์ความเร็วที่เร็วกว่านี้จะใช้ในการขนส่งดังนั้นจึงไม่นำมาทดลอง

กรณีถ่วงน้ำหนัก จะทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1 เท่านั้น โดยน้ำหนักถ่วงที่ใช้จะมีค่าต่างๆ กันดังนี้

ถ่วงน้ำหนักด้านหน้า : 15, 30 และ 45 กิโลกรัม

ถ่วงน้ำหนักด้านหลัง : 5, 10 และ 15 กิโลกรัม



รูปที่ 6.13 การถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนด้านหน้า



รูปที่ 6.14 การถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนด้านหลัง

- นำค่าต่างๆ ที่วัดได้มาคำนวณค่าแรงดันจากการไถพรวน (P_3) แรยยกจากการไถพรวน (R_3) แรยต้านทานรวม (F_T) มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับ (α) แรยแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อใบมีด และสัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT)

12. เนื่องจากการทดลองอาจมีข้อมูลบางค่าซึ่งมีความผิดปกติจากข้อมูลอื่นๆ อันเนื่องมาจากสาเหตุหลายๆ ประการ เช่น จากสัญญาณรบกวน จากการที่เครื่องยนต์เดินไม่เรียบ หรือจากการเคลื่อนที่ซึ่งไม่สม่ำเสมอของรถไถพรวน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพิจารณาตัดค่าข้อมูลบางค่าซึ่งมีความผิดปกติมากๆ ออก โดยการตัดข้อมูลจะใช้หลักเกณฑ์ต่อไปนี้
1. ตัดชุดข้อมูลที่มีค่าแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของล้อหลัง (F_4) เป็นลบทั้งเนื่องมาจากเมื่อวิเคราะห์แรงที่กระทำต่อล้อหลังแล้วจะพบว่า แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของล้อหลังจะต้องมีค่าเป็นบวกเท่านั้น ค่าที่เป็นลบจะแสดงถึงทิศทางของแรงซึ่งตรงข้ามกับทิศทางที่ควรจะเป็น ซึ่งไม่น่าจะเกิดขึ้นได้จริง
 2. ตัดชุดข้อมูลซึ่งมีค่าโมเมนต์ที่อ่านได้จากอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L มากหรือน้อยผิดปกติทั้ง
 3. ตัดชุดข้อมูลซึ่งมีค่าแรงดึงที่อ่านได้จาก Load cell มากหรือน้อยผิดปกติทั้ง
13. หลังจากตัดค่าข้อมูลที่ผิดปกติทั้งไปแล้ว นำค่าข้อมูลที่เหลือมาคำนวณค่าต่างๆ ตามข้อ 11 อีกครั้งหนึ่งและหาค่าเฉลี่ยของค่าต่างๆ ตามข้อ 11 ด้วย

6.4 วิธีการคำนวณ

ในหัวข้อนี้จะแสดงขั้นตอนการนำข้อมูลดิบซึ่งได้จากการทดลองมาคำนวณหาขนาดแรงดันจากการไถพรวน แรงยกจากการไถพรวน แรงต้านทานรวม ทิศทางของแรงต้านทานรวม และแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อไปมีด

ในการทดลอง ข้อมูลดิบที่ได้จะเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้าซึ่งวัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงดึง (Load cell) และสเตรนเกจซึ่งติดที่อุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ที่ตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้นี้จะได้รับการขยายสัญญาณโดยใช้เครื่อง Strain amplifier และอ่านค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าโดยใช้เครื่อง Data logger ข้อมูลดิบที่ได้จะนำมาคำนวณโดยมีวิธีการดังนี้

1. คำนวณหาโมเมนต์ที่เกิดที่ตำแหน่งที่ 1 ของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L (M_1) จากความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ M_1 กับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จากสเตรนเกจซึ่งติดที่ตำแหน่งที่ 1 โดยความสัมพันธ์นี้หาได้จากการปรับเทียบ (Calibration) อุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ดังนี้

$$M_1 = 102.7E_1 - 0.0476 \quad (6.10)$$

โดย E_1 = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จากสเตรนเกจซึ่งติดที่ตำแหน่งที่ 1 (V)
 M_1 = โมเมนต์ที่เกิดที่ตำแหน่งที่ 1 ของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L (N.m)

2. คำนวณหาโมเมนต์ที่เกิดที่ตำแหน่งที่ 2 ของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L (M_2) จากความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ M_2 กับแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จากสเตรนเกจซึ่งติดที่ตำแหน่งที่ 2 โดยความสัมพันธ์นี้หาได้จากการเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ดังนี้

$$M_2 = 48.896E_2 - 0.6587 \quad (6.11)$$

โดย E_2 = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จากสเตรนเกจซึ่งติดที่ตำแหน่งที่ 2 (V)
 M_2 = โมเมนต์ที่เกิดที่ตำแหน่งที่ 2 ของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L (N.m)

3. คำนวณหาแรงดึงที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงดึง (Load cell) จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงดึงกับขนาดของแรงดึง โดยความสัมพันธ์นี้หาได้จากการเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดแรงดึง ดังนี้

$$T = 25.341E_3 + 0.3842 \quad (6.12)$$

โดย E_3 = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงดึง (V)
 T = ขนาดของแรงดึง (kgf)

4. คำนวณหาแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของล้อหลังในแนวระดับ (F_4) จากสมการที่ (3.20)

$$F_4 = \frac{0.3285M_2 - 0.3085M_1}{0.04804 \times 9.81} \quad (6.13)$$

โดย M_1 = โมเมนต์ที่เกิดที่ตำแหน่งที่ 1 ของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L (N.m)
 M_2 = โมเมนต์ที่เกิดที่ตำแหน่งที่ 2 ของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L (N.m)
 F_4 = แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของล้อหลังในแนวระดับ (kgf)

5. คำนวณหาแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของล้อหลังในแนวตั้ง (R_4) จากสมการที่ (3.21)

$$R_4 = \frac{0.3530M_1 - 0.1785M_2}{0.04804 \times 9.81} \quad (6.14)$$

โดย M_1 = โมเมนต์ที่เกิดที่ตำแหน่งที่ 1 ของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L (N.m)
 M_2 = โมเมนต์ที่เกิดที่ตำแหน่งที่ 2 ของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L (N.m)
 R_4 = แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของล้อหลังในแนวตั้ง (kgf)

6. คำนวณหาแรงยกจากการไถพรวน (R_3) จากสมการที่ (6.4)

$$R_3 = W + W_1 + W_2 - R_4 \quad (6.15)$$

โดย W = น้ำหนักของรถไถพรวนติดชุดทดลอง = 109.5 kgf
 W_1 = น้ำหนักที่ใช้ถ่วงรถไถพรวนด้านหน้า (kgf)
 W_2 = น้ำหนักที่ใช้ถ่วงรถไถพรวนด้านหลัง (kgf)
 R_3 = แรงยกจากการไถพรวน (kgf)

7. คำนวณหาแรงดันจากการไถพรวน (P_3) จากสมการที่ (6.5)

$$P_3 = T + F_4 \quad (6.16)$$

โดย P_3 = แรงดันจากการไถพรวน (kgf)

8. คำนวณหาแรงต้านทานรวม (F_T) จากสมการที่ (6.6)

$$F_T = \sqrt{R_3^2 + P_3^2} \quad (6.17)$$

โดย F_T = แรงต้านทานรวม (kgf)

9. คำนวณหามุมที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อแนวระดับจากสมการที่ (6.7)

$$\alpha = \arctan\left(\frac{R_3}{P_3}\right) \quad (6.18)$$

โดย α = มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อแนวระดับ (องศา)

10. คำนวณหาสมการแสดงตำแหน่งแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อไปมีดจากสมการที่ (6.9)

$$H_1 = \left(\frac{R_3}{P_3}\right) \cdot L_R + \left(\frac{TH_2 + W_2L_5 + WL_w \sin \theta + F_4H_3 - R_4L_4}{P_3}\right)$$

จากการวัดระยะต่างๆ ของรถไถพรวน จะได้ระยะต่างๆ ดังนี้

$$H_2 = 41 \text{ cm}$$

$$H_3 = 1.65 \text{ cm}$$

$$L_4 = 65 \text{ cm}$$

$$L_5 = 124 \text{ cm}$$

$$L_w \sin \theta = 8.6 \text{ cm}$$

$$W = 109.5 \text{ kgf}$$

แทนค่าระยะต่างๆ ลงในสมการที่ (6.9) จะได้สมการแสดงตำแหน่งแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อไปมีด ดังนี้

$$H_1 = \left(\frac{R_3}{P_3}\right) \cdot L_R + \left(\frac{T_2(41) + W_2(124) + (109.5)(8.6) + F_4(1.65) - R_4(65)}{P_3}\right) \quad (6.19)$$

จากสมการที่ (6.19) จะสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะ H_1 และระยะ L_R ซึ่งแสดงตำแหน่งแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อไปมีดได้ โดยระยะ H_1 และระยะ L_R ที่ได้จะมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

10. คำนวณหาสัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT) จากสมการที่ (6.10)

$$\text{สัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT)} = \frac{P_3}{W_T} \quad (6.20)$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } W_T &= \text{น้ำหนักรวมทั้งหมดที่กระทำบนรถไถพรวน} \\ &= W + W_1 + W_2 \end{aligned}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ในบทนี้จะแสดงผลการทดลองหาขนาดแรงดันจากการไหลพรวน แรยงจากการไหลพรวน แรงต้านทานรวม ทิศทางของแรงต้านทานรวม แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อใบมีด และลักษณะการสั่นสะเทือนที่คั่นมือถือด้านซ้ายของรถไหลพรวน พร้อมทั้งอภิปรายผลการทดลองด้วย โดยในบทนี้จะแบ่งผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองในส่วนของ การหาแรงต้านทานการไหลพรวนที่กระทำต่อใบมีด และผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองในส่วนของสัญญาณการสั่นสะเทือนที่คั่นมือถือด้านซ้าย

7.1 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองในส่วนของ การหาแรงต้านทานการไหลพรวนที่กระทำต่อใบมีด

7.1.1 ขนาดของแรงต่าง ๆ ที่วัดได้จากการทดลอง มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับ และค่าสัมประสิทธิ์การตะกรุย ขณะยังไม่ถ่วงน้ำหนักรถไหลพรวน

ผลการหาขนาดแรงต่าง ๆ ที่วัดได้จากการทดลอง มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับ และค่าสัมประสิทธิ์การตะกรุย ขณะยังไม่ถ่วงน้ำหนักรถไหลพรวนแสดงในตารางที่ 7.1 และรูปที่ 7.1 ถึง 7.10

จากรูปที่ 7.1 ถึงรูปที่ 7.5 จะพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงต่าง ๆ ที่วัดได้ มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับ และสัมประสิทธิ์การตะกรุย กับเกียร์ความเร็ว นั้น ผลการทดลองที่ได้ยังไม่สามารถบอกแนวโน้มได้ชัดเจน ไม่สามารถสรุปได้ว่าเมื่อเปลี่ยนเกียร์ความเร็วหรือความเร็วรอบเครื่องยนต์แล้ว แรงต่าง ๆ มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับ หรือสัมประสิทธิ์การตะกรุยจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เนื่องจากว่าจุดที่ทำการทดลองน้อย คือ ทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3 ค่า และเกียร์ความเร็ว 3 เกียร์เท่านั้น นอกจากนี้สาเหตุต่างๆ ที่อาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดก็มีมาก ดังนั้นการอภิปรายและวิเคราะห์การทดลองในส่วนนี้จึงเปลี่ยนการวิเคราะห์เทียบกับเกียร์ความเร็วต่างๆ มาเป็นการวิเคราะห์เทียบกับความเร็วรอบล้อพรวน ซึ่งการวิเคราะห์แบบนี้จะทำให้มีข้อมูลที่น่ามาอภิปรายเพิ่มขึ้น ทำให้เห็นแนวโน้มต่างๆ ได้ดียิ่งขึ้น ผลการทดลองเทียบกับความเร็วรอบล้อพรวนแสดงดังรูปที่ 7.6 ถึง

ตารางที่ 7.1 แรงดันจากการไหลพรวนเฉลี่ย แรงยกจากการไหลพรวนเฉลี่ย แรงต้านทานรวมเฉลี่ย มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อแนวระดับ และสัมประสิทธิ์การตะกรุย ขณะไม่ถ่วงน้ำหนักไหลพรวน

ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (rpm)	เกียร์	ความเร็วรอบของล้อพรวนดิน (rpm)	แรงดันจากการไหลพรวนเฉลี่ย (P_{3av}) (kgf)	แรงยกจากการไหลพรวนเฉลี่ย (R_{3av}) (kgf)	แรงต้านทานรวมเฉลี่ย (F_{Tav}) (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อแนวระดับ (องศา)	สัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT)
3200	1	15.02	32.85	66.54	74.20	63.73	0.30
3200	2	29.36	45.14	72.58	85.47	58.12	0.41
3200	3	40.25	33.74	60.45	69.23	60.83	0.31
3400	1	15.96	46.84	63.21	78.67	53.46	0.43
3400	2	31.48	32.72	65.60	73.31	63.49	0.30
3400	3	42.77	35.66	64.99	74.13	61.24	0.33
3600	1	16.90	37.14	70.75	79.91	62.30	0.34
3600	2	33.33	42.56	68.12	80.32	58.00	0.39
3600	3	45.28	54.03	62.31	82.48	49.07	0.49

รูปที่ 7.10 แนวโน้มของค่าต่างๆ ที่วัดได้จากการทดลองเมื่อเปลี่ยนความเร็วรอบล้อพรวนเป็นดังนี้

จากรูปที่ 7.7 พบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วรอบล้อพรวนขนาดแรงยกจากการไถพรวนจะมีขนาดลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก เมื่อเพิ่มความเร็วรอบล้อพรวน จะทำให้ใบมีดหมุนฟันทรายเร็วขึ้น ขนาดของก้อนทรายที่พรวนได้จึงมีขนาดเล็กลง ก้อนทรายจึงแตกตัวง่ายขึ้น ทำให้แรงต้านทานทรายมีค่าลดลง ดังนั้นแรงยกจากการไถพรวนจึงมีขนาดลดลง

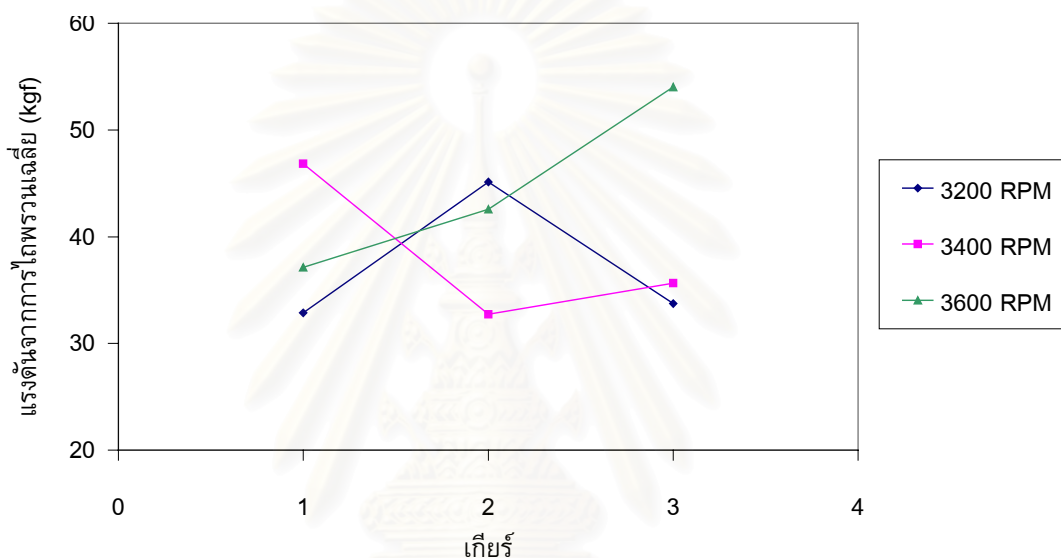
เมื่อพิจารณาถึงแรงดันจากการไถพรวนตามรูปที่ 7.6 พบว่าผลการทดลองที่ได้มีการกระจายของข้อมูลสูงมาก คือตั้งแต่ ประมาณ 32.7 กิโลกรัม ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1 และที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 2 จนถึงประมาณ 54 กิโลกรัม ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 3 โดยเฉพาะค่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 3 นั้นมีค่ามากกว่าค่าอื่นๆ มาก ดังนั้นในการทดลองนี้จึงไม่อาจสรุปแนวโน้มของแรงดันจากการไถพรวนได้แน่นอนว่าเป็นอย่างไร

เนื่องจากแรงดันจากการไถพรวนที่วัดได้มีการกระจายสูงมาก ดังนั้นค่าต่างๆ ที่คำนวณได้จากแรงดันจากการไถพรวนได้แก่ แรงต้านทานรวม มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับ และสัมประสิทธิ์การตะกรุย จึงมีการกระจายข้อมูลสูง ทำให้ไม่สามารถบ่งบอกแนวโน้มได้แน่นอนว่าเมื่อเปลี่ยนความเร็วรอบล้อพรวนแล้ว ค่าต่างๆ จะเปลี่ยนไปอย่างไรตามไปด้วย

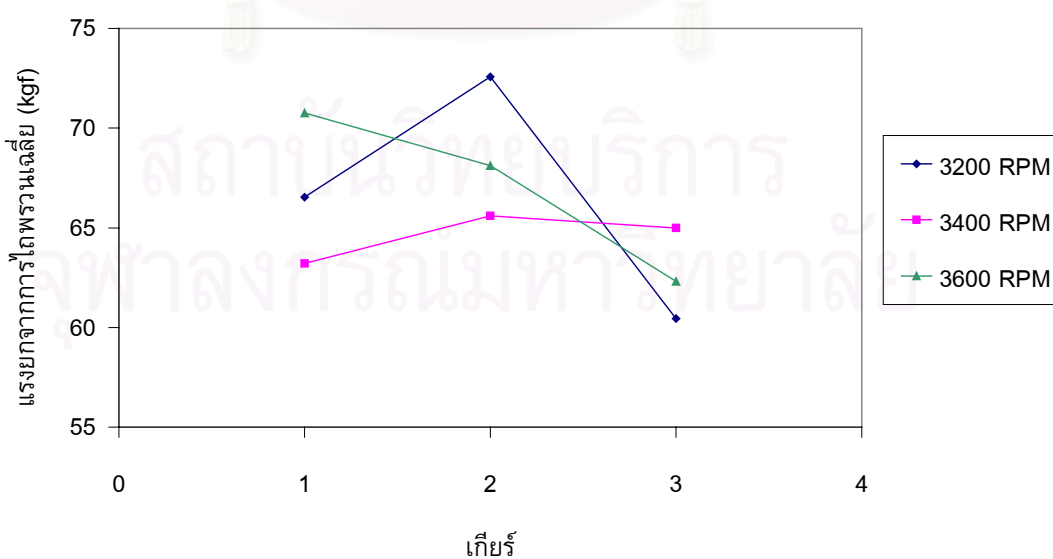
อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาตัดข้อมูลที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 3 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าอื่นๆ มากออกจะได้ข้อมูลซึ่งมีการกระจายน้อยลงและสามารถบ่งบอกแนวโน้มต่างๆ ได้ดีขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 7.11 ถึง 7.14 โดยแนวโน้มต่างๆ เป็นดังนี้

แรงดันจากการไถพรวน และแรงต้านทานรวมมีแนวโน้มจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มความเร็วรอบล้อพรวน จะทำให้ใบมีดหมุนฟันทรายเร็วขึ้น ขนาดก้อนทรายที่พรวนได้จึงมีขนาดเล็กลง ก้อนทรายจึงแตกตัวง่ายขึ้น ทำให้แรงดันจากการไถพรวนและแรงต้านทานรวมมีขนาดลดลง สัมประสิทธิ์การตะกรุยซึ่งคำนวณมาจากค่าแรงดันจากการไถพรวนก็จะมีค่าลดลง เช่นเดียวกัน ซึ่งแนวโน้มที่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของล้อพรวนแล้ว แรงดันจากการไถพรวนและสัมประสิทธิ์การตะกรุยจะมีค่าลดลงนั้นจะสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Jan Md. Baloch, Sheruddin B. Bukhari, A.Q.A. Mughal และ Imam Bux Koondhar [6] สำหรับมุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับนั้น พบว่ามีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มความเร็วรอบล้อพรวน

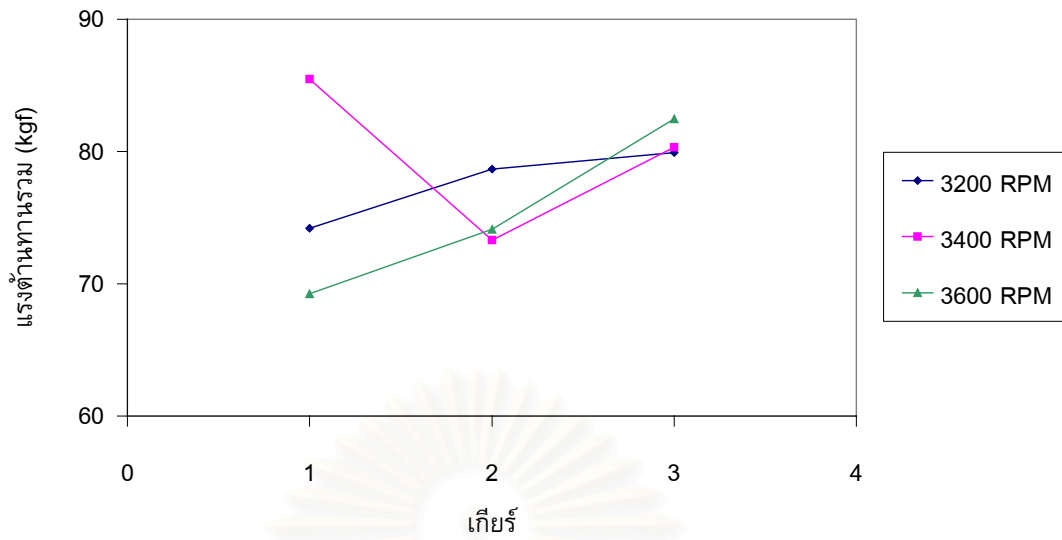
เนื่องจากผลการทดลองตอนนี้นำข้อมูลที่ได้มีการกระจายสูงมาก ทำให้แนวโน้มที่วิเคราะห์ได้อาจมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้มาก ทั้งนี้อาจเนื่องจากการทดลองในตอนนี้ขณะทดลองรถไฟเหาะที่มีการโยกและสั่นสูงมากทำให้ค่าที่ได้มีการกระจายมาก นอกจากนี้ในการทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงๆ และเกียร์ความเร็วสูงๆ เวลาที่ใช้ในการทดลองพรวนทรายจะน้อยลง ทำให้จำนวนข้อมูลที่อ่านได้จากเครื่อง Data logger มีจำนวนน้อยตามไปด้วย และในการวิเคราะห์ผลการทดลองยังต้องมีการตัดค่าข้อมูลที่มีค่าไม่ถูกต้อง หรือมีค่าต่างจากค่าอื่นมากๆ ออกอีก ดังนั้นจำนวนข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณหาขนาดของแรงต่างๆ จึงมีน้อย ขนาดของแรงที่คำนวณออกมาได้จึงมีโอกาสจะผิดพลาดได้มาก



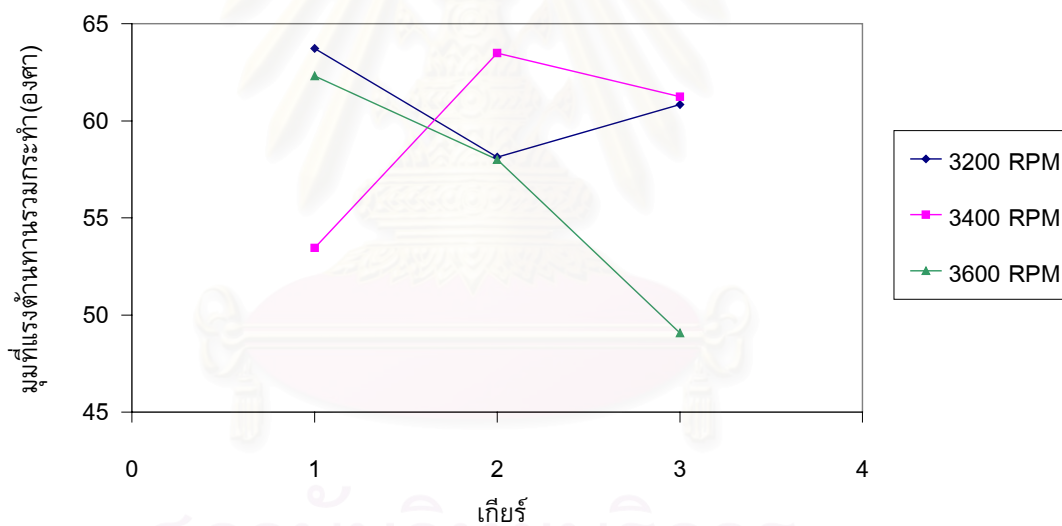
รูปที่ 7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันจากการไถพรวนกับเกียร์ความเร็วที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ



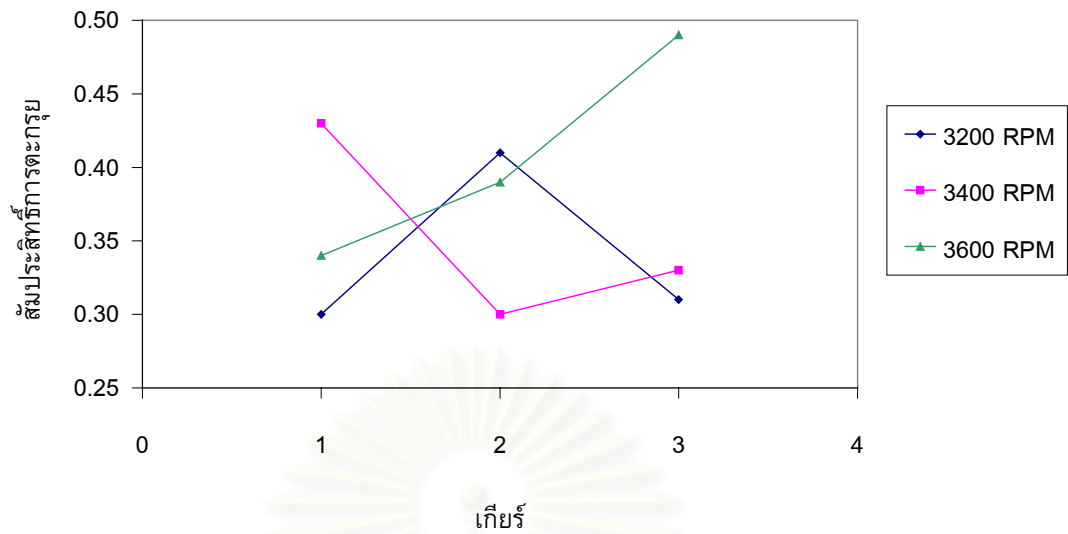
รูปที่ 7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงยกจากการไถพรวนกับเกียร์ความเร็วที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ



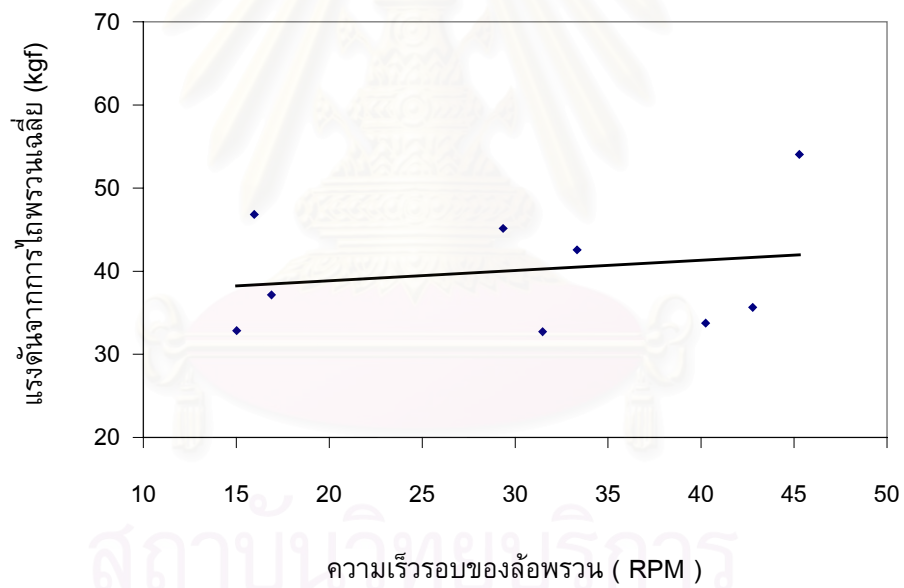
รูปที่ 7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทานรวมกับเกียร์ความเร็ว
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ



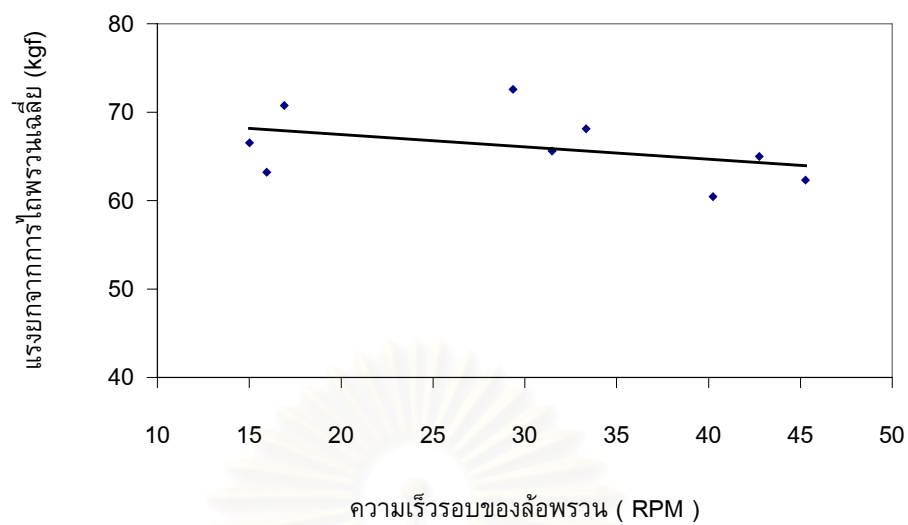
รูปที่ 7.4 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแวนระดับ
กับเกียร์ความเร็ว ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ



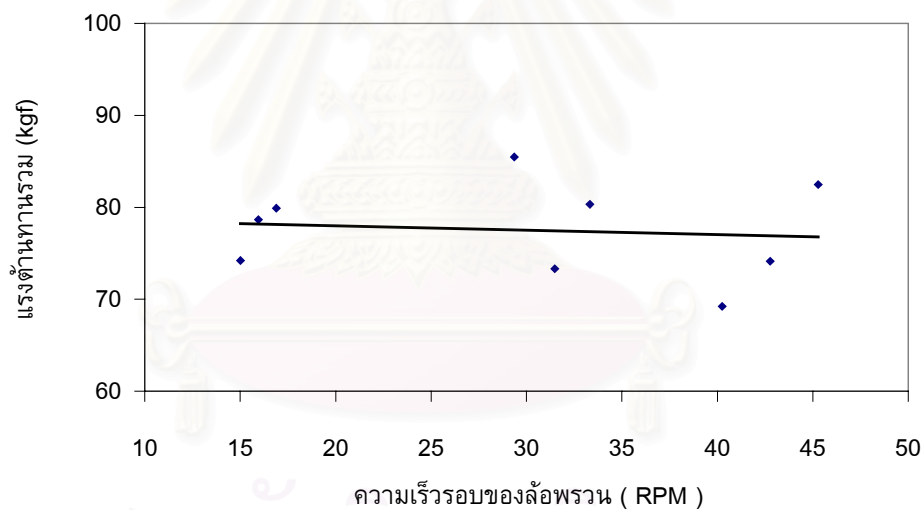
รูปที่ 7.5 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การตะกุกกับเกียร์ความเร็วที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ



รูปที่ 7.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันจากการไถพรวนเฉลี่ยกับความเร็วรอบของล้อพรวน

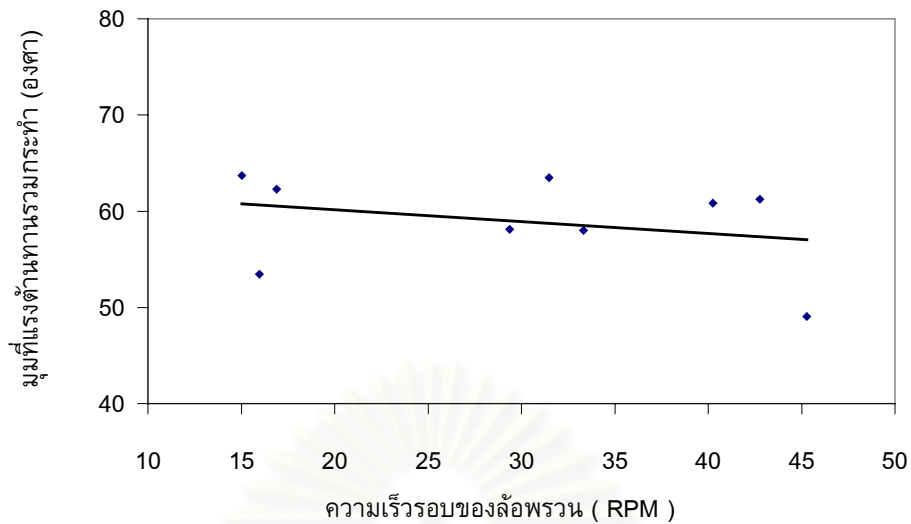


รูปที่ 7.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงยกจากการไถพรวนเฉลี่ย
กับความเร็วรอบของล้อพรวน

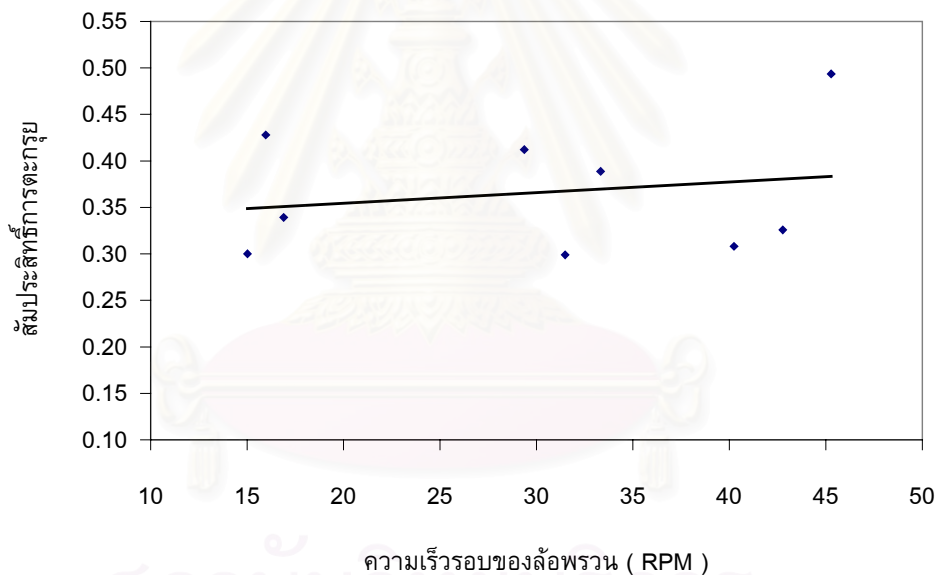


รูปที่ 7.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทานรวม
กับความเร็วรอบของล้อพรวน

สถาบันวิจัยและพัฒนา
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

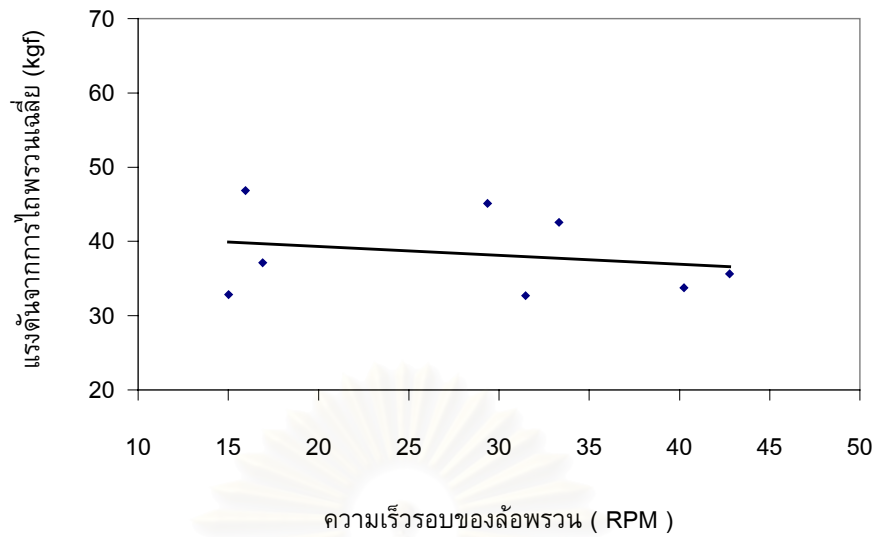


รูปที่ 7.9 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่แรงต้านทานรวมกระทำ
กับความเร็วรอบของล้อพรวน

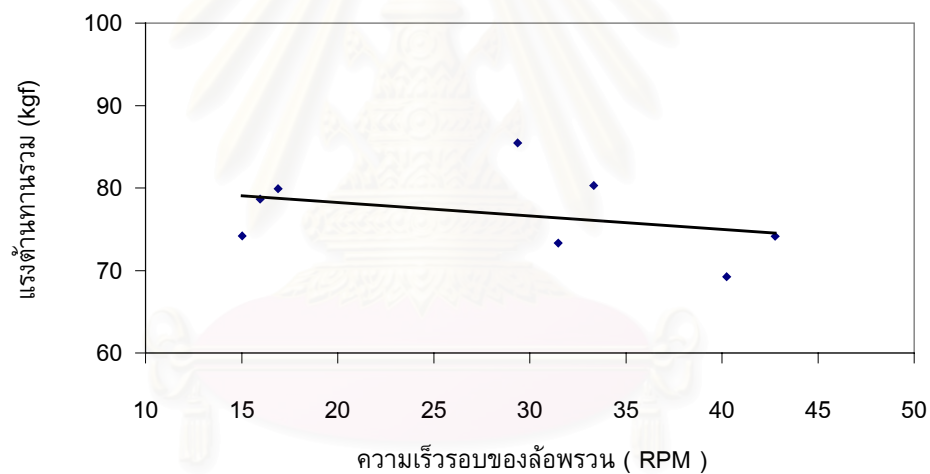


รูปที่ 7.10 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การตะกรุย
กับความเร็วรอบของล้อพรวน

สอว.บว.ช.ย.ป.ร.อ.ว.
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

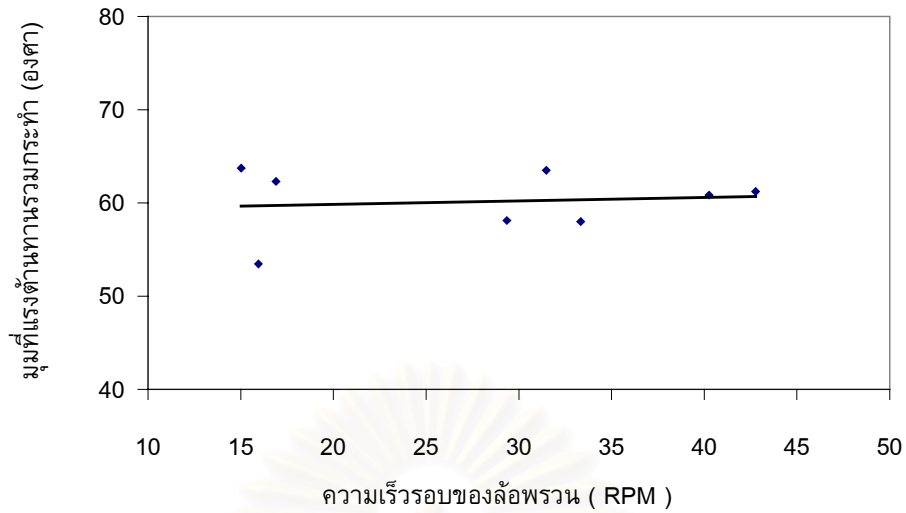


รูปที่ 7.11 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันจากการไถพรวนเฉลี่ยกับความเร็วรอบของล้อพรวน เมื่อตัดข้อมูลที่ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 1 ออก

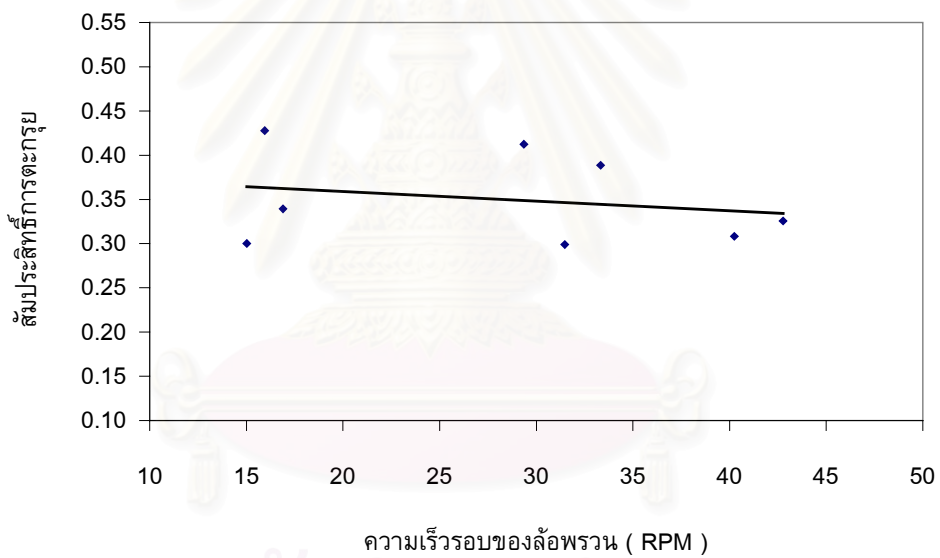


รูปที่ 7.12 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงต้านทานรวมกับความเร็วรอบของล้อพรวน เมื่อตัดข้อมูลที่ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 1 ออก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.13 ความสัมพันธ์ระหว่างมูมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับความเร็วรอบของล้อพรวน เมื่อตัดข้อมูลที 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 1 ออก



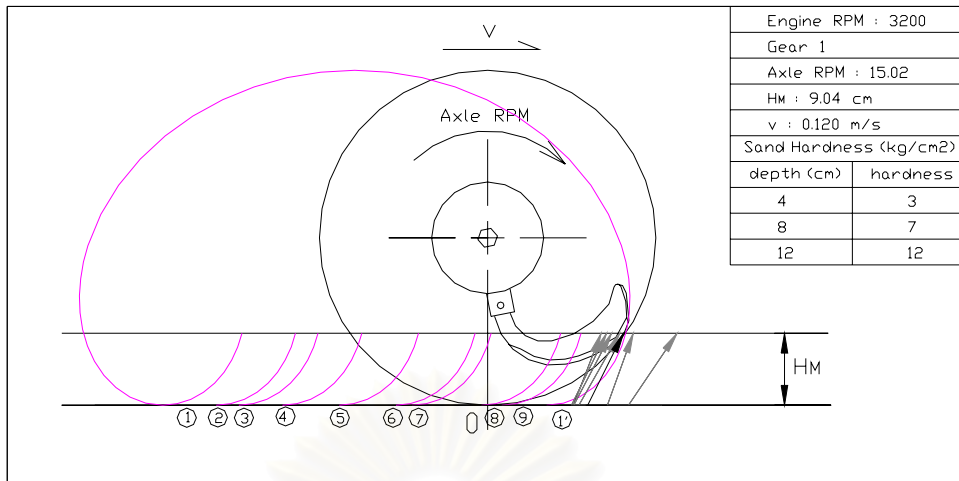
รูปที่ 7.14 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การตัดตะกรุยกับความเร็วรอบของล้อพรวน เมื่อตัดข้อมูลที 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 1 ออก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

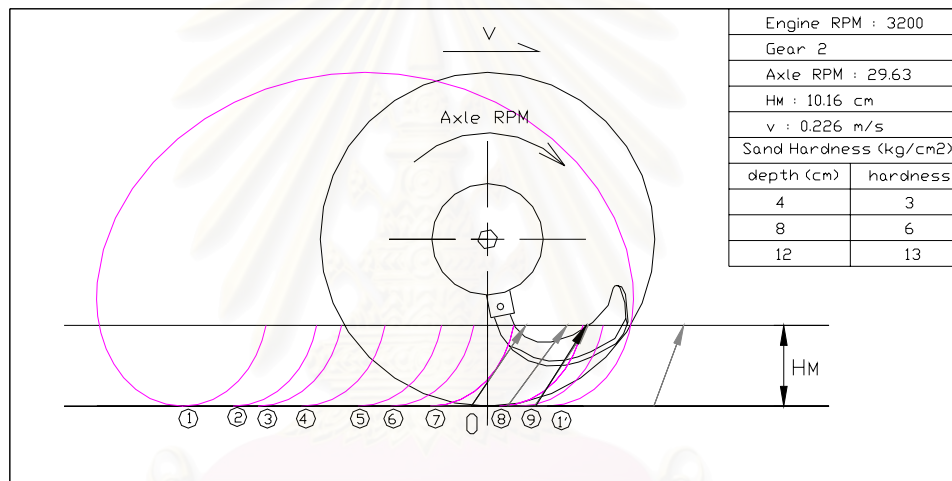
7.1.2 แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวน ขณะยังไม่ถ่วงน้ำหนักรถไถพรวน

แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวน แสดงดังรูป 7.15 ถึงรูปที่ 7.23 หัวลูกศรสีเทาในรูปแสดงถึงตำแหน่งแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดที่เวลาต่าง ๆ ในการทดลอง หัวลูกศรสีดำแสดงตำแหน่งแนวแรงที่แรงต้านทานรวมเฉลี่ยกระทำต่อชุดใบมีด ส่วนแนวเส้นสีชมพูแสดงถึงแนวเส้นโค้งการเคลื่อนที่แบบโทรคอยด์ (Trochoid motion) ซึ่งแสดงการเคลื่อนที่ของปลายใบมีดซึ่งมีทั้งการเคลื่อนที่แบบหมุนและการเคลื่อนที่แบบเลื่อนที่ แนวเส้นสีชมพูทางด้านล่างของรูปซึ่งมีหมายเลขกำกับไว้ แสดงถึงแนวการตัดทรายของชุดใบมีดซึ่งมีทั้งหมด 18 ใบ (ข้างละ 9 ใบ) แต่เนื่องจากใบมีดทั้ง 2 ข้างถูกจัดเรียงให้สมมาตรกัน ดังนั้นรอยการตัดดินของใบมีดทั้งด้านซ้ายและด้านขวาจึงซ้อนทับกัน รูปแสดงแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดจึงแสดงแนวการตัดทรายเพียง 9 รอยเท่านั้น โดยระยะห่างระหว่างเส้นแนวการตัดแต่ละเส้นขึ้นอยู่กับลักษณะการจัดเรียงใบมีดบนล้อพรวน ซึ่งลักษณะการจัดเรียงใบมีดบนล้อพรวนที่ใช้ในการทดลอง และรูปแบบการตัดทรายแสดงไว้ในภาคผนวก ฅ รายละเอียดอื่น ๆ ของการทดลอง ได้แก่ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ เกียร์ความเร็ว ความเร็วรอบล้อพรวนดิน ความลึกการพรวนทราย ความเร็วการเคลื่อนที่ของรถไถพรวนดิน และความแข็งของทรายได้ถูกแสดงไว้ในรูปด้วย

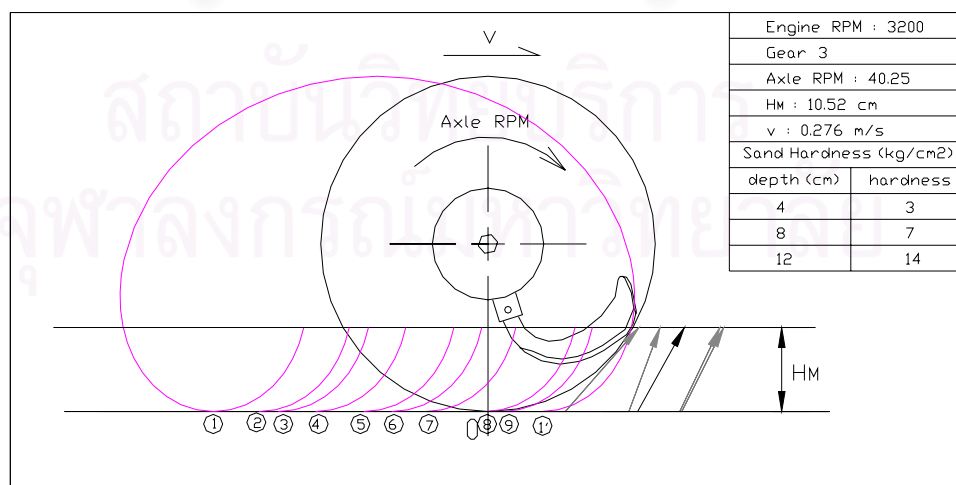
จากรูปจะพบว่าแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดจำนวน 18 ใบ ส่วนใหญ่จะกระทำที่ปลายใบมีด หรือเลื่อนเข้ามาภายในวงกลมการหมุนของล้อพรวนเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Jun SAKAI [9] ส่วนมุมที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อแนวระดับจะมีค่าประมาณ 60 องศา ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาของ Jun SAKAI [9] ซึ่งมุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับจะมีค่าประมาณ 30 องศาเท่านั้น เหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ในการทดลองนี้ใช้ทรายในการทดลองดังนั้นสมบัติจึงแตกต่างจากดิน มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับจึงมีขนาดต่างกัน นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อความเร็วรอบล้อพรวนเพิ่มขึ้น ขนาดของมุมที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อแนวระดับจะมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลง



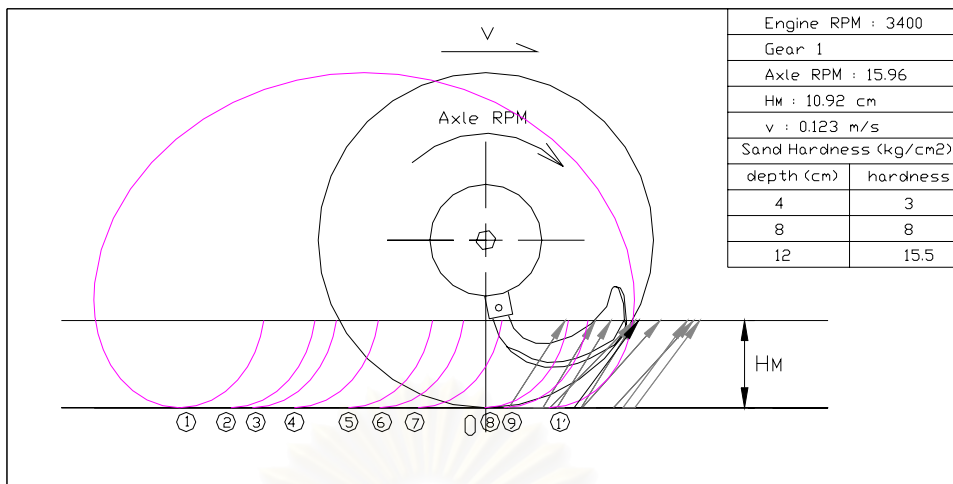
รูปที่ 7.15 แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวน
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1



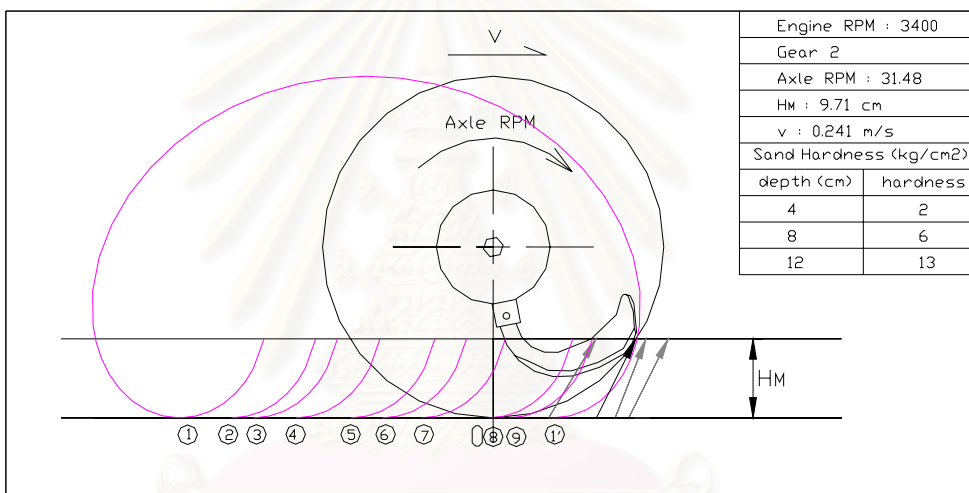
รูปที่ 7.16 แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวน
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 2



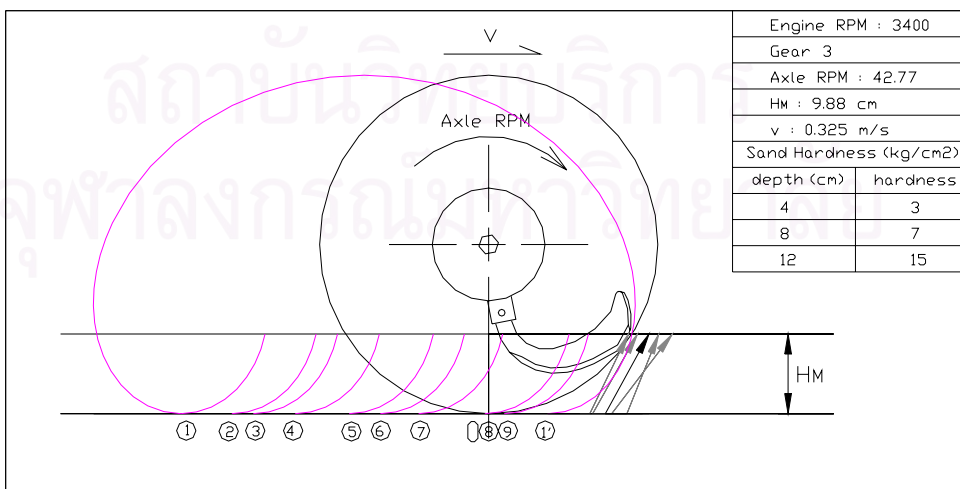
รูปที่ 7.17 แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวน
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 3



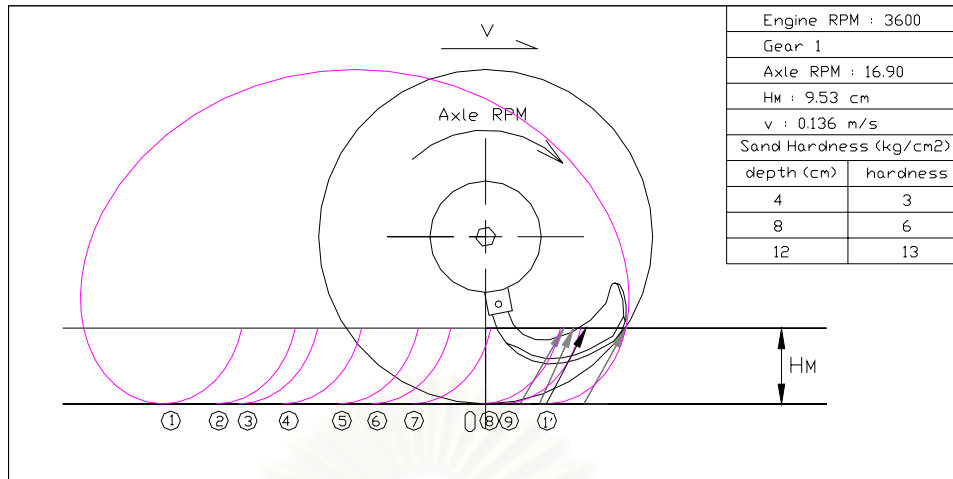
รูปที่ 7.18 แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดไบริมของรถไถพรวน ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 1



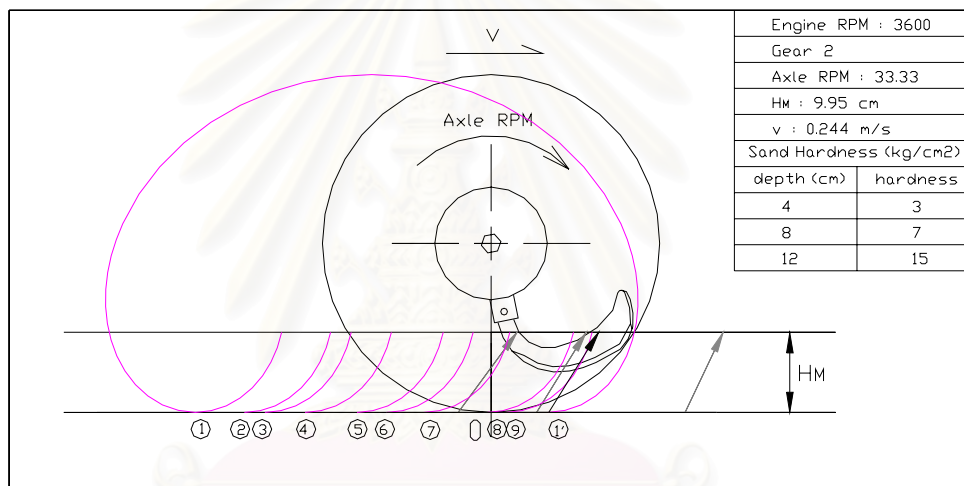
รูปที่ 7.19 แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดไบริมของรถไถพรวน ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 2



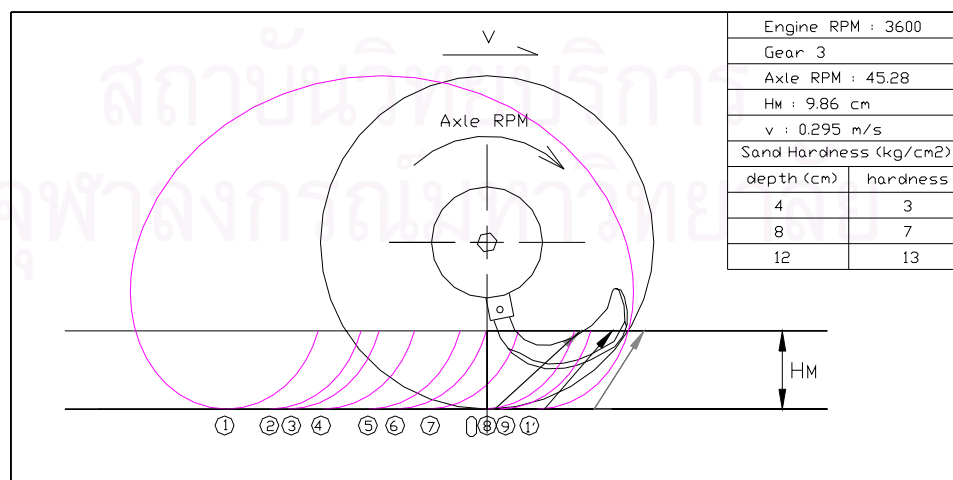
รูปที่ 7.20 แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดไบริมของรถไถพรวน ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 3



รูปที่ 7.21 แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดไบมีตของรถไถพรวน
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 1



รูปที่ 7.22 แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดไบมีตของรถไถพรวน
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 2



รูปที่ 7.23 แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดไบมีตของรถไถพรวน
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 3

7.1.3 ขนาดของแรงต่าง ๆ ที่วัดได้จากการทดลอง มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับ ค่าสัมประสิทธิ์การตะกรุย และแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดขณะถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนด้านหน้า

ผลการหาขนาดแรงต่าง ๆ ที่วัดได้จากการทดลอง มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับ และค่าสัมประสิทธิ์การตะกรุย ขณะถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนด้านหน้า แสดงในตารางที่ 7.2 และรูปที่ 7.24 ถึง 7.26 ส่วนแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดแสดงในรูปที่ 7.27 ถึง 7.29 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักถ่วงด้านหน้าของรถไถพรวนทำให้ค่าต่าง ๆ มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงดังต่อไปนี้

จากรูปที่ 7.24 และตารางที่ 7.2 จะพบว่า เมื่อเพิ่มน้ำหนักถ่วงรถไถพรวนด้านหน้าจะทำให้แรงยกจากการไถพรวนมีค่าสูงขึ้น โดยแนวโน้มการเพิ่มของแรงยกจากการไถพรวนเมื่อเพิ่มน้ำหนักถ่วงด้านหน้าจะมีความสัมพันธ์กันแบบเส้นตรง สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก การเพิ่มน้ำหนักถ่วงรถไถพรวนด้านหน้าจะเป็นการเพิ่มน้ำหนักกดที่ล้อพรวนโดยตรง ดังนั้นเครื่องยนต์จึงต้องสร้างกำลังออกเพิ่มมากขึ้น เพื่อสร้างแรงยกจากการไถพรวนให้อยู่ในสภาพสมดุลกับน้ำหนักถ่วงด้านหน้าที่เพิ่มขึ้น รถไถพรวนจึงจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

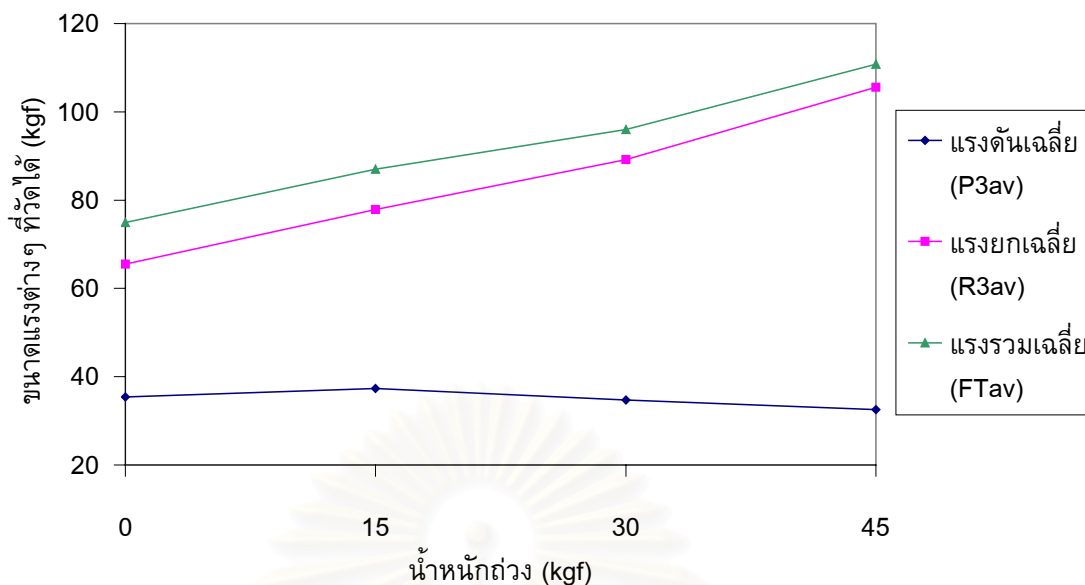
เมื่อพิจารณาแรงดันจากการไถพรวน จะพบว่า ไม่ว่าจะเพิ่มน้ำหนักถ่วงหน้าเท่าใดแรงดันที่วัดได้ก็จะมีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย คืออยู่ในช่วง 32 ถึง 37 กิโลกรัม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการทดลองแต่ละครั้งจะอัดทรายให้แน่นใกล้เคียงกัน รวมทั้งความลึกในการพรวนแต่ละครั้งก็ใกล้เคียงกัน (รายละเอียดของความแน่นของทราย และความลึกของการพรวนในการทดลองแต่ละครั้งแสดงในภาคผนวก ข) ดังนั้นแรงต้านทานทรายที่เกิดขึ้นที่ชั้นความลึกใกล้เคียงกันก็น่าจะมีค่าใกล้เคียงกันตามไปด้วย นอกจากนี้ในแนวระดับไม่มีไหลดอย่างอื่นที่จะทำให้แรงดันจากการไถพรวนเปลี่ยนแปลงอีก ดังนั้นแรงดันจากการไถพรวนจึงมีค่าใกล้เคียงกันไม่ว่าจะถ่วงน้ำหนักหน้าเท่าใดก็ตาม

สำหรับแรงต้านทานรวมซึ่งเป็นผลรวมของแรงยกจากการไถพรวน กับแรงดันจากการไถพรวนนั้น เนื่องจากแรงยกจากการไถพรวนมีขนาดเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักถ่วงหน้าเพิ่มมากขึ้น ส่วนแรงดันจากการไถพรวนมีขนาดใกล้เคียงกันไม่ว่าจะเพิ่มน้ำหนักถ่วงหน้าเท่าใด ดังนั้นขนาดของแรงต้านทานรวมจึงมีขนาดเพิ่มมากขึ้นเมื่อเพิ่มน้ำหนักถ่วงด้านหน้าเช่นเดียวกับแรงยกจากการไถพรวน

ตารางที่ 7.2 แรงดันจากการไหลพรวนเฉลี่ย แรงยกจากการไหลพรวนเฉลี่ย แรงต้านทานรวมเฉลี่ย มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อแนวระดับ และสัมประสิทธิ์การตะกรุย ขณะถ่วงน้ำหนักกรถไหลพรวน

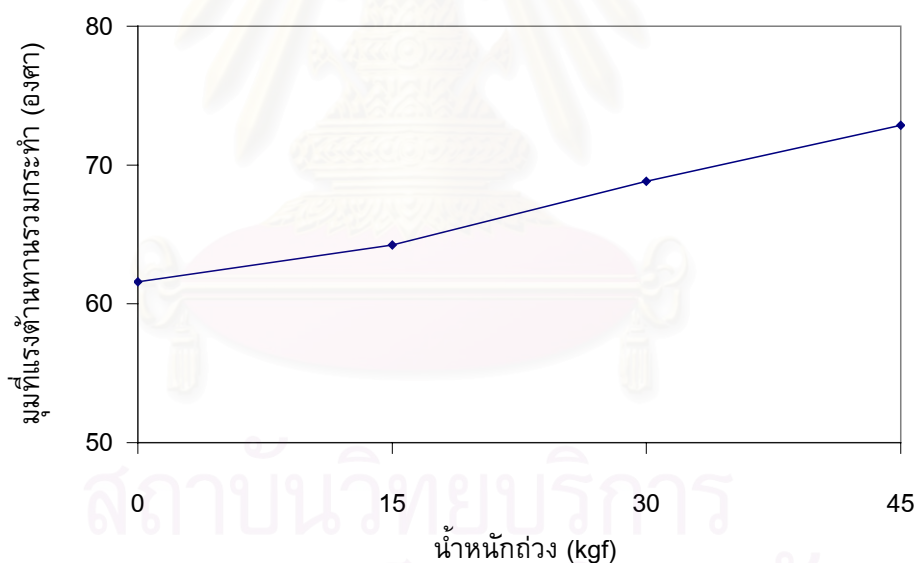
ตำแหน่งที่ ถ่วงน้ำหนัก	น้ำหนัก (kg)	แรงดันจากการไหลพรวน เฉลี่ย (P_{3av}) (kgf)	แรงยกจากการไหลพรวน เฉลี่ย (R_{3av}) (kgf)	แรงต้านทานการไหลพรวน รวมเฉลี่ย (F_{Tav}) (kgf)	มุมที่แรงต้านทานการไหลพรวน รวมกระทำเฉลี่ย (องศา)	สัมประสิทธิ์การ ตะกรุย (CT)
ด้านหน้า (W_1)	0	35.43	65.56	74.91	61.60	0.32
	15	37.32	77.92	86.99	64.24	0.30
	30	34.73	89.17	95.95	68.84	0.25
	45	32.56	105.6	110.8	72.86	0.21
ด้านหลัง (W_2)	0	35.43	65.56	74.91	61.60	0.32
	5	41.58	60.76	74.06	55.75	0.36
	10	43.17	54.83	70.12	51.96	0.36
	15	46.10	55.89	72.87	51.00	0.39

หมายเหตุ การทดลองขณะถ่วงน้ำหนักกรถไหลพรวน ทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 rpm เกียร์ 1 เท่านั้น



รูปที่ 7.24 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเฉลี่ย แรงยกเฉลี่ย และแรงต้านทานรวมกับน้ำหนัก

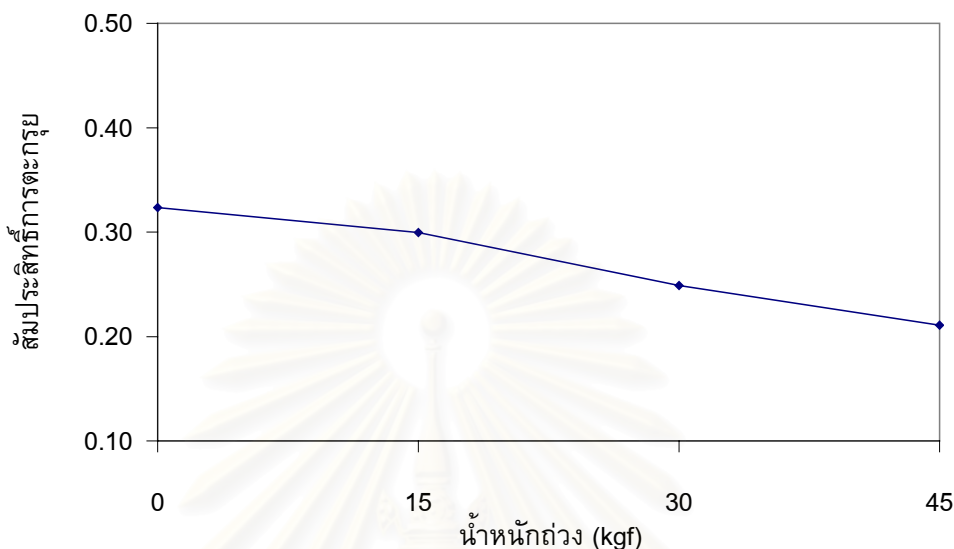
ถ่วงรถไถพรวนด้านหน้า ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1



รูปที่ 7.25 ความสัมพันธ์ระหว่างมุมที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อแนวระดับกับน้ำหนักถ่วงรถไถพรวนด้านหน้า ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1

เมื่อพิจารณาถึงมุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับ จากตารางที่ 7.2 และรูปที่ 7.25 จะพบว่า เมื่อเพิ่มน้ำหนักถ่วงด้านหน้า มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับก็จะเพิ่มตามไปด้วย ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเพิ่มน้ำหนักถ่วงด้านหน้า น้ำหนักกดที่ล้อพรวนก็จะมีค่ามากขึ้น ทำให้จะต้องใช้แรงในแนวตั้งเพื่อไปยกรถไถพรวนมากยิ่งขึ้น ส่วนประกอบของแรงส่วนใหญ่จึงเป็นแรงในแนวตั้ง ดังนั้นมุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับจึงมีขนาดมากขึ้น

ส่วนสัมประสิทธิ์การตะกรุยนั้น เนื่องจากการถ่วงน้ำหนักหน้าเป็นการเพิ่มน้ำหนักรถไฟไถพรวน แต่ไม่ได้ช่วยเพิ่มแรงดันจากการไถพรวน ดังนั้นสัมประสิทธิ์การตะกรุยจะมีขนาดลดลง ค่าของสัมประสิทธิ์การตะกรุยแสดงในตารางที่ 7.2 และรูปที่ 7.26



รูปที่ 7.26 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การตะกรุยกับน้ำหนักถ่วงรถไฟไถพรวน ด้านหน้า ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1

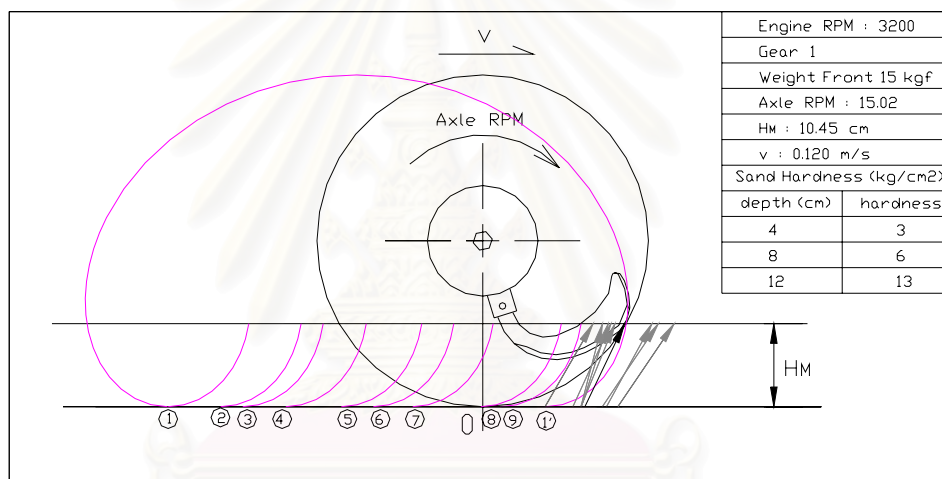
เมื่อพิจารณาถึงแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อไปมีด ตามรูปที่ 7.27 ถึง 7.29 จะพบว่า กรณีการถ่วงน้ำหนักด้านหน้าแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำกับมีดจะกระทำอยู่ในช่วงปลายมีด โดยตำแหน่งของแรงที่กระทำที่เวลาต่างๆ จะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มแสดงให้เห็นว่ารถไฟไถพรวนมีการโยกและการสั่นสะเทือนน้อยกว่าตอนที่ไม่มีถ่วงน้ำหนัก ดังนั้นการถ่วงน้ำหนักด้านหน้าของรถไฟไถพรวนจะช่วยให้รถไฟไถพรวนมีการสั่นสะเทือนน้อยลงและมีเสถียรภาพในการทำงานดีขึ้น เมื่อพิจารณาถึงมุมที่แรงต้านทานรวมกระทำก็จะพบว่ามุมที่แรงต้านทานรวมกระทำจะมีค่ามากขึ้นเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหน้ามากขึ้น ตามที่ได้อภิปรายไปแล้ว

นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมื่อเพิ่มน้ำหนักถ่วงด้านหน้าของรถไฟไถพรวนมากขึ้น กลุ่มของแนวแรงต้านทานรวมจะมีแนวโน้มขยับจากปลายมีดเข้าไปภายในวงกลมรัศมีการหมุนของปลายมีดมากยิ่งขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อเพิ่มน้ำหนักถ่วงด้านหน้ามากขึ้น น้ำหนักกดที่ล้อพรวนจะมีค่ามากขึ้น ดังนั้นแรงต้านทานรวมจึงต้องขยับเข้าใกล้ตำแหน่งเพลลาของล้อพรวนมากยิ่งขึ้นเพื่อรักษาสมดุลของรถไฟไถพรวน ทำให้รถไฟไถพรวนสามารถทำงานต่อไปได้

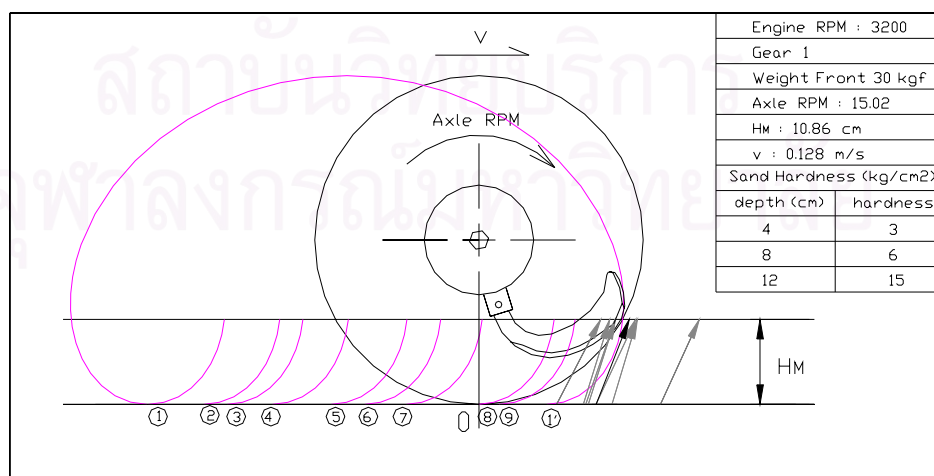
เมื่อเปรียบเทียบผลของน้ำหนักกดที่ล้อในกรณีของล้อพรวนกับกรณีของล้อรถที่ใช้ในการลากจูงจะพบว่ามีความแตกต่างกัน ในกรณีของล้อลากจูงนั้นน้ำหนักที่กดที่ล้อมากจะช่วยในการกดแน่นของล้อกับพื้นดีขึ้น ทำให้การเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของล้อดีขึ้น และสามารถลากจูงได้

มากขึ้น ส่วนกรณีของล้อพรวนดินจะพบว่า การเพิ่มน้ำหนักกดที่ล้อพรวนนั้นไม่ได้ช่วยเพิ่มแรงดันจากการไถพรวนซึ่งเป็นแรงที่ช่วยในการขับเคลื่อนรถไถพรวน แต่จะไปเพิ่มแรงยกจากการไถพรวนแทนซึ่งแรงนี้ไม่มีประโยชน์ต่อการขับเคลื่อนไปข้างหน้า และการที่แรงยกจากการไถพรวนเพิ่มขึ้นนี้ทำให้ต้องออกแบบใบมีดให้มีความแข็งแรงมากขึ้นอีกด้วย

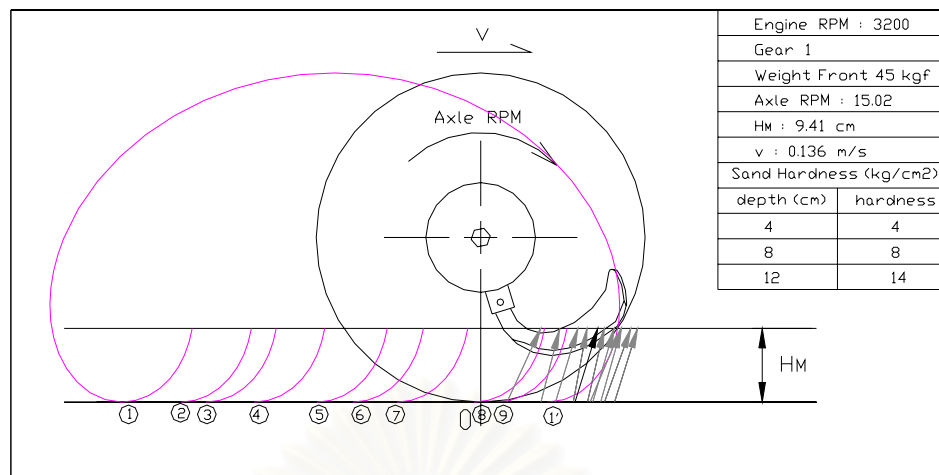
จากการทดลองถ่วงน้ำหนักด้านหน้าของรถไถพรวนทั้งหมดอาจสรุปได้ว่า การถ่วงน้ำหนักด้านหน้ามีข้อดีคือ ช่วยลดการโยกและการสั่นสะเทือนของรถไถพรวน ทำให้รถไถพรวนทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น แต่การถ่วงน้ำหนักด้านหน้าก็มีข้อเสียคือ การถ่วงน้ำหนักด้านหน้าจะทำให้สัมประสิทธิ์การตะกรุยมีค่าลดลง เนื่องจากแรงที่เครื่องยนต์สร้างขึ้นส่วนใหญ่จะไปใช้ในการยกดินไถพรวนซึ่งมีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ส่วนแรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนรถไถพรวนไปข้างหน้านั้นแทบจะไม่มีเปลี่ยนแปลงเลย



รูปที่ 7.27 แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวนขณะถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 15 กิโลกรัม ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1



รูปที่ 7.28 แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวนขณะถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 30 กิโลกรัม ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1



รูปที่ 7.29 แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวนขณะถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 45 กิโลกรัม ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1

7.1.4 ขนาดของแรงต่าง ๆ ที่วัดได้จากการทดลอง มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับ ค่าสัมประสิทธิ์การตะกรุย และแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีด ขณะถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนด้านหลัง

ผลการหาขนาดแรงต่าง ๆ ที่วัดได้จากการทดลอง มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับ และค่าสัมประสิทธิ์การตะกรุย ขณะถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนด้านหลัง แสดงในตารางที่ 7.2 และรูปที่ 7.30 ถึง 7.32 ส่วนแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดแสดงในรูปที่ 7.33 ถึง 7.35 การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักถ่วงด้านหลังของรถไถพรวนทำให้ค่าต่าง ๆ มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงดังต่อไปนี้

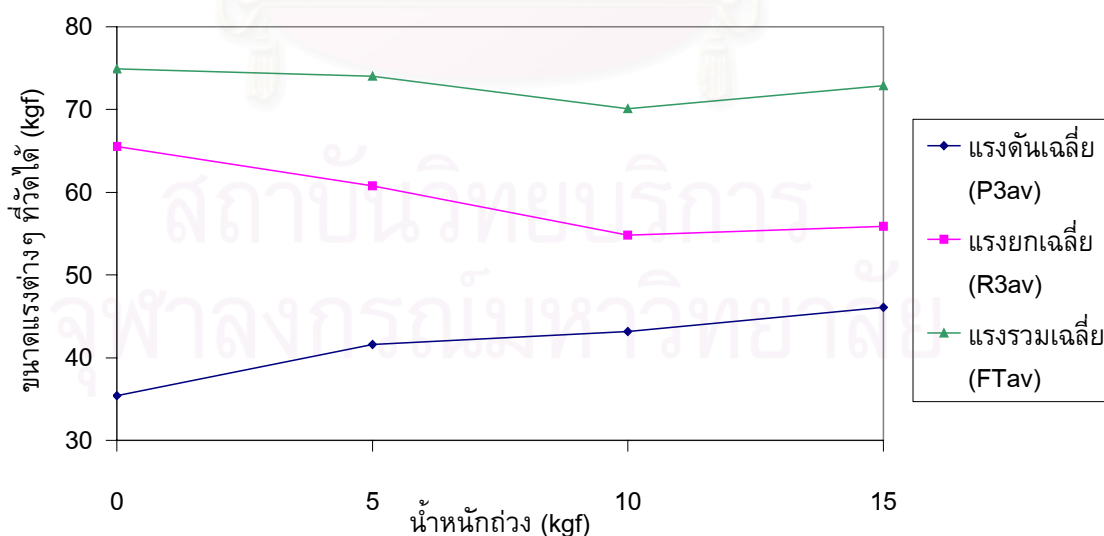
จากตารางที่ 7.2 และรูปที่ 7.30 จะพบว่า เมื่อเพิ่มน้ำหนักถ่วงด้านหลังของรถไถพรวนจะทำให้แรงยกจากการไถพรวนมีค่าลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก การถ่วงน้ำหนักด้านหลังนั้นน้ำหนักที่เพิ่มมากขึ้นส่วนใหญ่จะกดลงที่ล้อของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ส่วนน้ำหนักที่กดที่ล้อพรวนนั้นจะมีขนาดลดลง ดังนั้นแรงยกจากการไถพรวนที่เกิดขึ้นเพื่อยกล้อพรวนให้สามารถทำงานได้จึงมีขนาดลดลง

เมื่อพิจารณาถึงแรงดันจากการไถพรวนจะพบว่า แรงดันจากการไถพรวนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มน้ำหนักถ่วงด้านหลัง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ขณะทดลองแต่ละครั้งได้อัดทรายให้แน่นใกล้เคียงกัน รวมทั้งความลึกในการพรวนแต่ละครั้งก็ใกล้เคียงกัน ดังนั้นความต้านทานทรายที่ระดับชั้นใกล้เคียงกันจึงมีค่าใกล้เคียงกันตามไปด้วย ทำให้แรงต้านทานรวมที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วงประมาณ 70 ถึง 75 กิโลกรัม แต่เนื่องจากการถ่วงน้ำหนักด้านหลังทำให้แรงยก

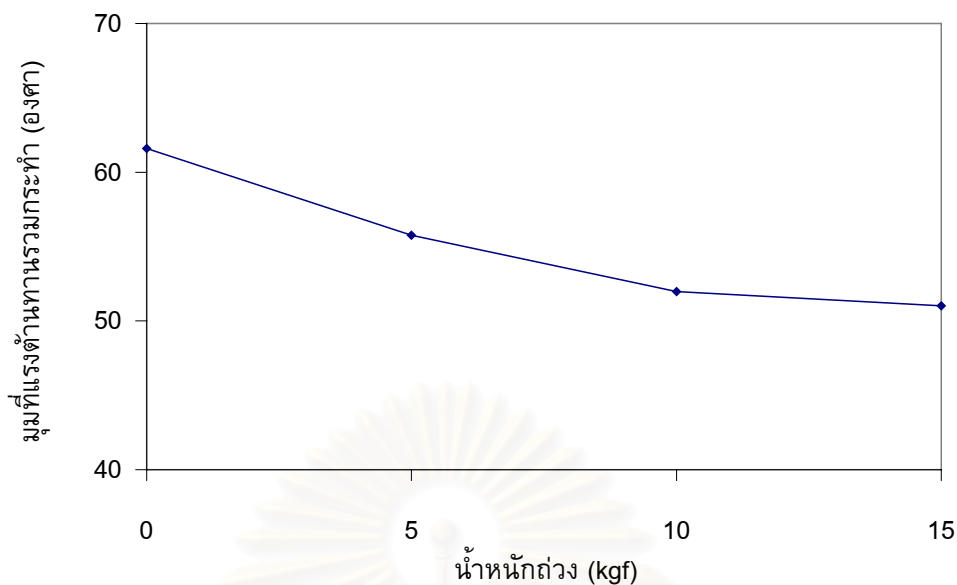
จากการไถพรวนลดลง ดังนั้นแรงต้านทานรวมที่เกิดขึ้นจึงมีส่วนประกอบของแรงในแนวระดับมากขึ้น ทำให้แรงดันจากการไถพรวนมีค่าเพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 7.2 และรูปที่ 7.31 จะพบว่า เมื่อเพิ่มน้ำหนักถ่วงรถไถพรวนด้านหลังมุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับจะมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อเพิ่มน้ำหนักถ่วงด้านหลังแรงยกจากการไถพรวนจะมีขนาดลดลง แต่แรงดันจากการไถพรวนจะมีขนาดเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาสัมประสิทธิ์การตะกอยจากตารางที่ 7.2 และรูปที่ 7.32 จะพบว่า เมื่อเพิ่มน้ำหนักถ่วงรถไถพรวนด้านหลังค่าสัมประสิทธิ์การตะกอยจะมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราการเพิ่มแรงดันจากการไถพรวนมีค่ามากกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักถ่วงรถไถพรวน

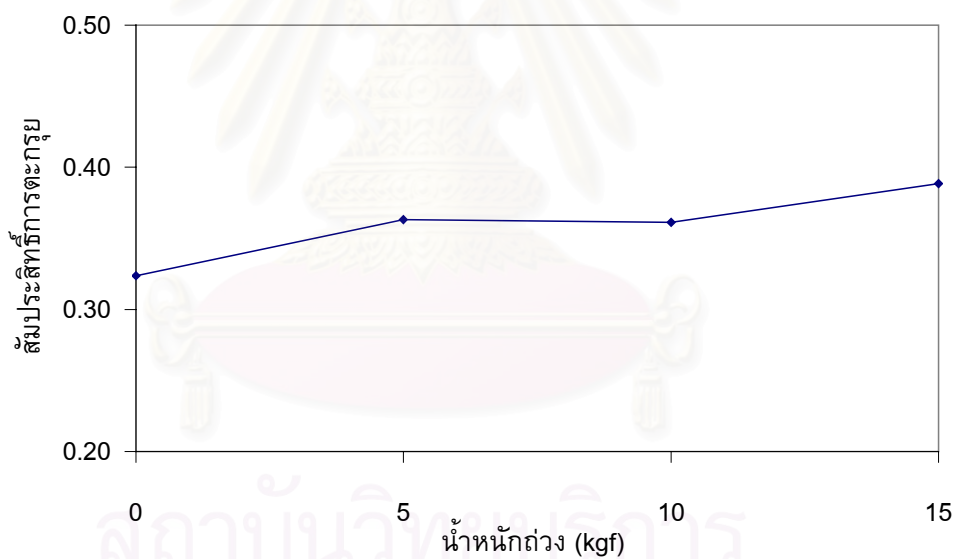
เมื่อเปรียบเทียบขนาดของแรงยกจากการไถพรวน แรงดันจากการไถพรวน และแรงต้านทานรวมกรณีถ่วงน้ำหนักด้านหน้ากับกรณีถ่วงน้ำหนักด้านหลัง จะพบว่า ขนาดของแรงยกจากการไถพรวน และขนาดแรงต้านทานรวมกรณีถ่วงน้ำหนักด้านหน้ามีขนาดมากกว่ากรณีถ่วงน้ำหนักด้านหลังมาก แต่ขนาดของแรงดันจากการไถพรวนกรณีถ่วงน้ำหนักด้านหลังกลับมีค่าน้อยกว่ากรณีถ่วงน้ำหนักด้านหลัง แสดงให้เห็นว่า กรณีถ่วงน้ำหนักด้านหน้าแรงที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะถูกใช้ไปในการยกรถไถพรวน ส่วนกรณีถ่วงน้ำหนักด้านหลังแรงต้านทานรวมที่เกิดขึ้นจะมีขนาดน้อยกว่า แต่ส่วนประกอบของแรงที่ช่วยในการขับเคลื่อนรถไถพรวนกลับมากกว่ากรณีถ่วงน้ำหนักด้านหน้า ดังนั้นสำหรับการใช้งานจริงรถไถพรวนซึ่งมีการถ่วงน้ำหนักด้านหลังหรือมีจุดศูนย์ถ่วงค่อนข้างมาทางด้านหลังเล็กน้อย จึงน่าจะมีความเหมาะสมมากกว่ากรณีถ่วงน้ำหนักด้านหน้า



รูปที่ 7.30 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเฉลี่ย แรงยกเฉลี่ย และแรงต้านทานรวมกับน้ำหนักถ่วงรถไถพรวนด้านหลัง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1



รูปที่ 7.31 ความสัมพันธ์ระหว่างมุ่มที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อแนวระดับกับน้ำหนักถ่วงรถไถพรวนด้านหลัง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1



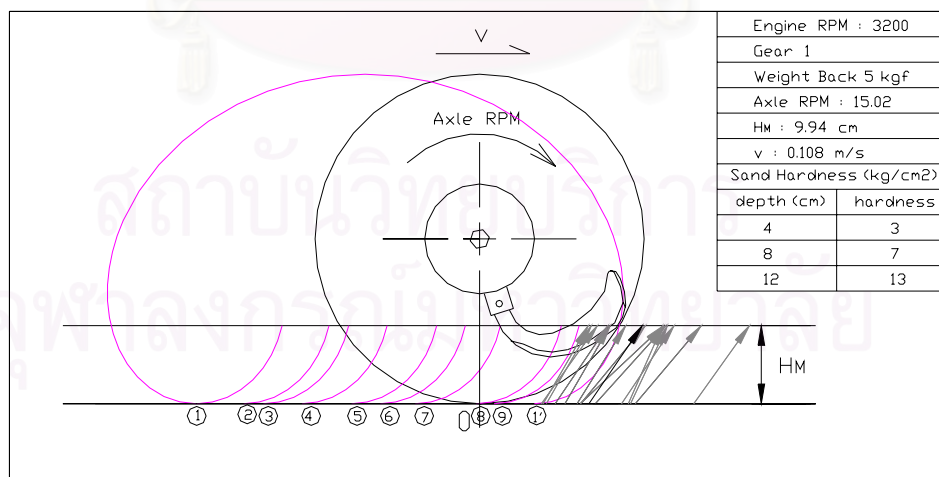
รูปที่ 7.32 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การตะกุกตะกวยกับน้ำหนักถ่วงรถไถพรวนด้านหลัง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1

เมื่อพิจารณาถึงแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อไปมีด ตามรูปที่ 7.33 ถึงรูปที่ 7.35 จะพบว่าตำแหน่งแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อไปมีดจะอยู่บริเวณปลายใบมีด หรือเลื่อนเข้าหรือออกจากวงกลมการหมุนของปลายใบมีดเล็กน้อย ตำแหน่งของแนวแรงที่กระทำที่เวลาต่างๆ จะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มเช่นเดียวกับการถ่วงน้ำหนักด้านหน้า แสดงให้เห็นว่า รถไถพรวนมีการโยกและการสั่นสะเทือนน้อยกว่าตอนที่ไม่ถ่วงน้ำหนัก ดังนั้นการถ่วงน้ำหนักด้านหลังของรถไถพรวนจะช่วยให้รถไถพรวนมีการสั่นสะเทือนน้อยลงและมีเสถียรภาพในการทำงานดีขึ้น เมื่อ

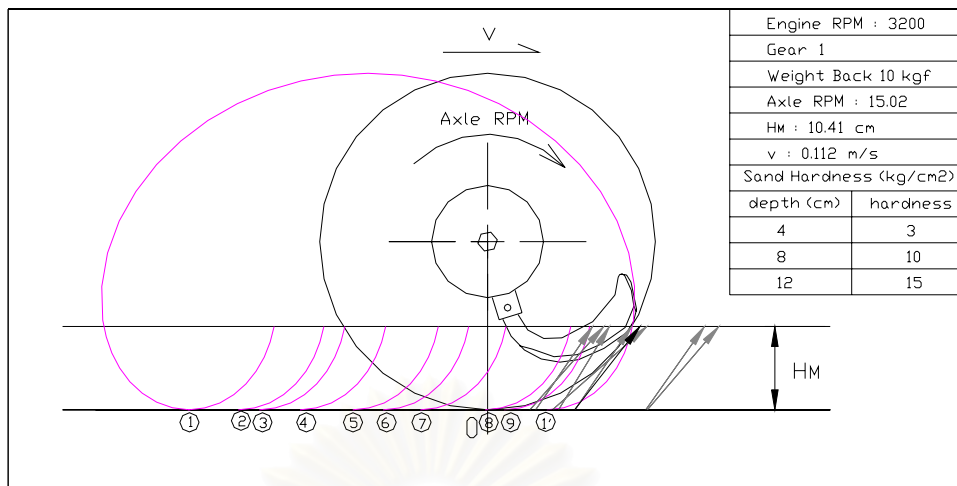
พิจารณาถึงมุมที่แรงต้านทานรวมกระทำก็พบว่า เมื่อเพิ่มน้ำหนักถ่วงรถไถพรวนด้านหลังมากขึ้น มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับจะมีค่าลดลงตามที่ได้อภิปรายไปแล้ว นอกจากนี้ยังพบอีกว่า เมื่อเพิ่มน้ำหนักถ่วงด้านหลัง แนวแรงที่แรงต้านทานรวมมีแนวโน้มจะขยับจากปลายใบมีดเข้าไปภายในรัศมีการหมุนของปลายใบมีดมากยิ่งขึ้นเช่นเดียวกับกรณีถ่วงน้ำหนักด้านหน้า

จากการทดลองถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนดินด้านหลังทั้งหมด อาจสรุปได้ว่า การถ่วงน้ำหนักด้านหลังมีข้อดีคือ ช่วยลดการโยกและการสั่นสะเทือนของรถไถพรวน ทำให้รถไถพรวนทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น รวมทั้งยังช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์การตะกຽบ โดยน้ำหนักที่ต้องใช้ถ่วงก็มีขนาดน้อยกว่าการถ่วงน้ำหนักด้านหน้า ดังนั้นในการใช้งานจริงรถไถพรวนจึงควรมีการถ่วงน้ำหนักด้านหลัง หรือออกแบบให้มีจุดศูนย์ถ่วงค่อนข้างมาทางด้านหลัง

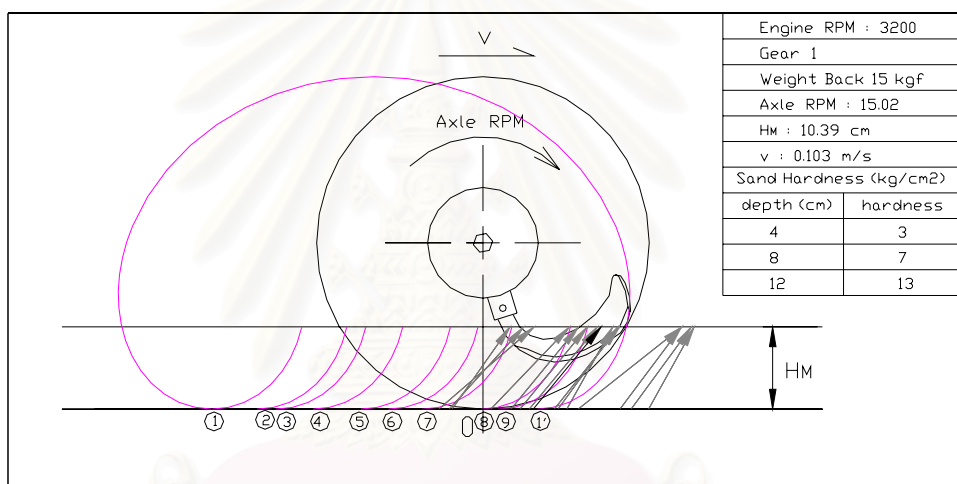
อย่างไรก็ตามการถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนด้านหลังมากเกินไปก็มีผลเสีย โดยในการทดลองนี้ที่จริงแล้วผู้วิจัยได้ทดลองถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนด้านหลัง 20 กิโลกรัมด้วย แต่เนื่องจากน้ำหนักถ่วง 20 กิโลกรัมนี้มีค่ามากเกินไป ทำให้รถไถพรวนเอียงมาทางด้านหลังขณะพรวนเสถียรภาพของรถไถพรวนจึงเสียไป ส่งผลให้แรงต้านทานเนื่องจากการพรวนทรายไม่สามารถขับเคลื่อนรถไถพรวนให้เคลื่อนที่ไปทางด้านหน้าได้ ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า การถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนด้านหลังมากเกินไปจะมีผลเสีย โดยจะทำให้รถไถพรวนเอียงมาทางด้านหลังและตัวรถไถพรวนหันเหได้ง่ายขณะพรวน เสถียรภาพของรถไถพรวนเสียไปซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานได้



รูปที่ 7.33 แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดของรถไถพรวนขณะถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 5 กิโลกรัม ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1



รูปที่ 7.34 แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดไบมีตของรถไถพรวนขณะถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 10 กิโลกรัม ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1



รูปที่ 7.35 แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดไบมีตของรถไถพรวนขณะถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 15 กิโลกรัม ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1

7.2 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองในส่วนของการวัดการสันสะท้อนที่คันมือถือด้านซ้าย

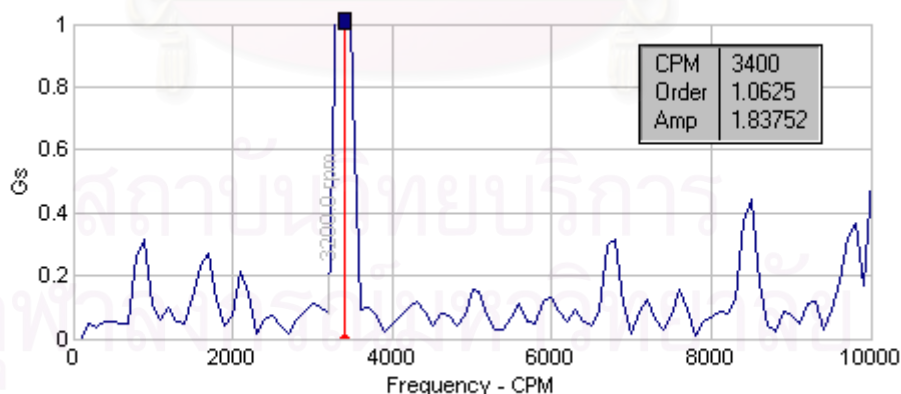
7.2.1 ผลการวัดการสันสะท้อนที่คันมือถือด้านซ้าย ขณะยังไม่ถ่วงน้ำหนัก

จากสัญญาณการสันสะท้อนขณะยังไม่ถ่วงน้ำหนักดังแสดงในรูปที่ 7.36 ถึงรูปที่ 7.44 พบว่า ความถี่ที่มีขนาดการสันสะท้อนมากที่สุดนั้นส่วนใหญ่จะเกิดที่ความถี่ซึ่งใกล้เคียงกับความถี่รอบของเครื่องยนต์หรือสองเท่าของความถี่รอบเครื่องยนต์ โดยส่วนใหญ่จะเกิดที่ความถี่ซึ่งต่ำกว่าความถี่ของความถี่รอบเครื่องยนต์เล็กน้อย แสดงให้เห็นว่า ในขณะที่พรวนทราย เครื่องยนต์ก็ยังคงเป็นสาเหตุสำคัญที่ส่งผลต่อการสันสะท้อนที่คันมือถือด้านซ้ายอยู่ และ

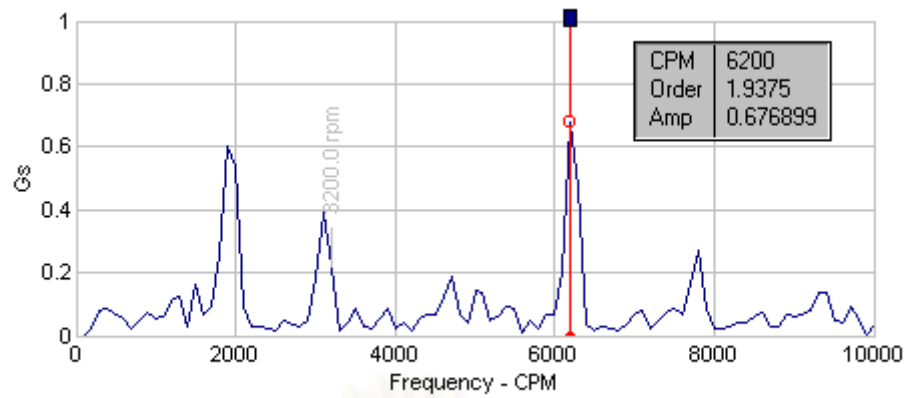
สาเหตุที่ความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือนสูงโดยส่วนใหญ่จะมีความถี่ต่ำกว่าความถี่ของความเร็วรอบเครื่องยนต์นั้นอาจเนื่องมาจาก ในการทดลองได้ปรับความเร็วรอบเครื่องยนต์ให้ตรงกับความเร็วรอบที่ต้องการก่อน จึงทดลองพรวนทราย ในขณะที่พรวนทรายนั้นเครื่องยนต์จะมีโหลดมากขึ้นทำให้ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ตกลง ดังนั้นความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือนมากที่สุดจึงน้อยกว่าความถี่ของความเร็วรอบของเครื่องยนต์หรือสองเท่าของความเร็วรอบเครื่องยนต์เล็กน้อย

เมื่อพิจารณาถึงขนาดการสั่นสะเทือนจะพบว่า เมื่อเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์ หรือเพิ่มเกียร์ความเร็ว ขนาดการสั่นสะเทือนมีแนวโน้มจะมีขนาดลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก เมื่อเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์หรือเกียร์ความเร็วแล้วความเร็วรอบหมุนของใบมีดจะเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการทดลองในส่วนของการหาแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีด จะพบว่า การเพิ่มความเร็วรอบหมุนของใบมีดจะทำให้แรงยกจากการไถพรวนลดลง ซึ่งแรงยกจากการไถพรวนนี้เป็นแรงในแนวตั้ง ดังนั้นแรงนี้จึงส่งผลโดยตรงต่อการสั่นสะเทือนที่คั่นมือในแนวตั้งเมื่อแรงนี้มีขนาดลดลงขนาดการสั่นสะเทือนจึงลดลงตามไปด้วย

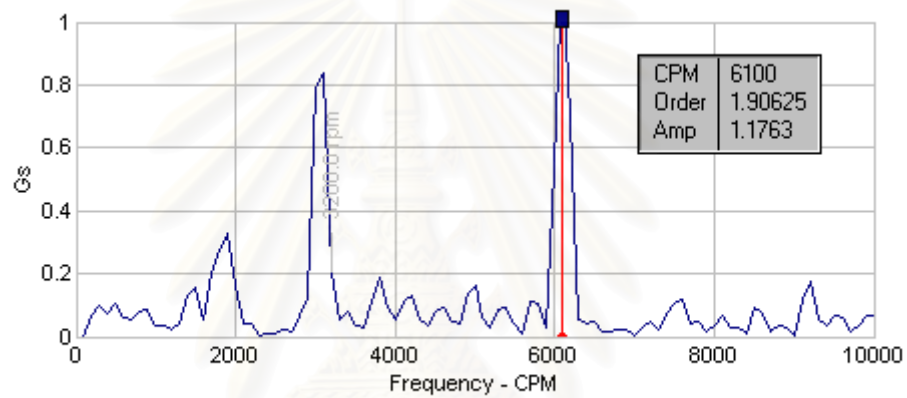
นอกจากนี้ยังเป็นที่น่าสนใจว่า ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 และ 3600 รอบต่อนาที ความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือนมากๆ นั้นจะมีหลายความถี่ ผิดกับที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที ซึ่งความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือนมากๆ นั้นจะเกิดที่ความถี่ซึ่งตรงกับความเร็วรอบเครื่องยนต์หรือสองเท่าของความเร็วรอบเครื่องยนต์เท่านั้น ซึ่งสาเหตุที่เป็นเช่นนี้ยังไม่ทราบชัดเจนในการทดลองนี้



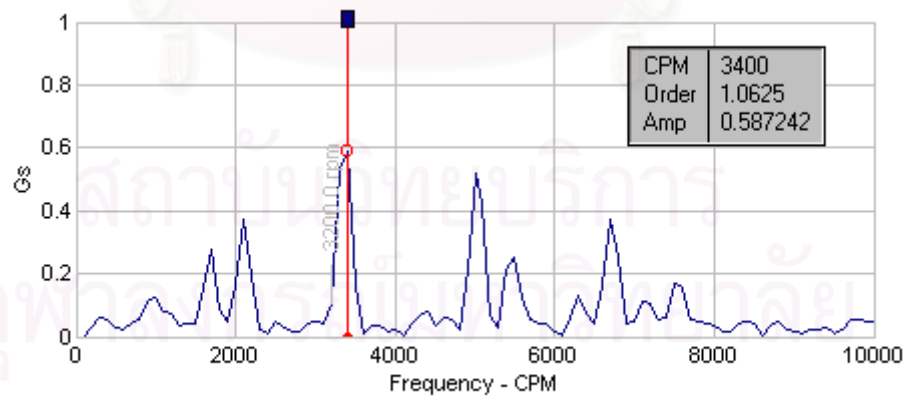
รูปที่ 7.36 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1



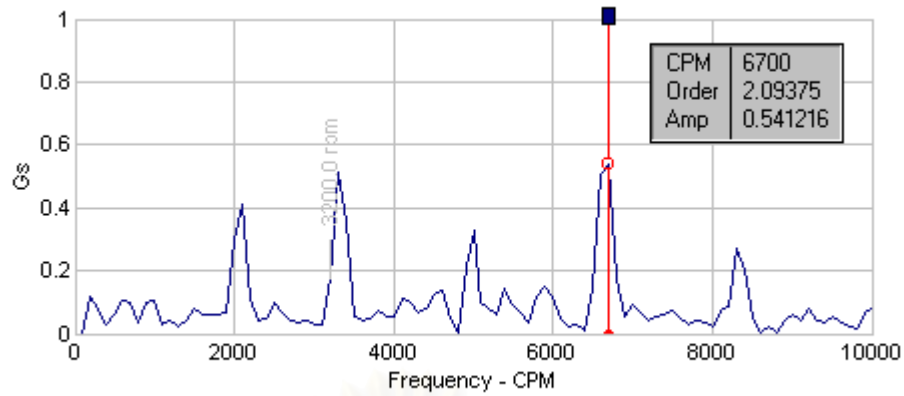
รูปที่ 7.37 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 2



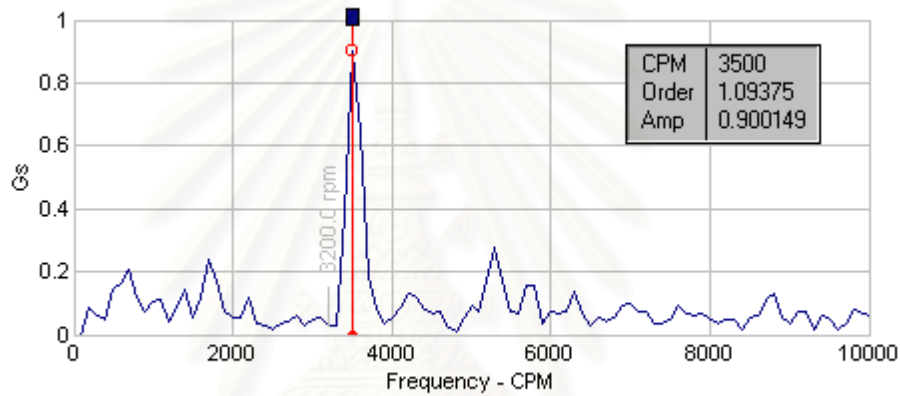
รูปที่ 7.38 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 3



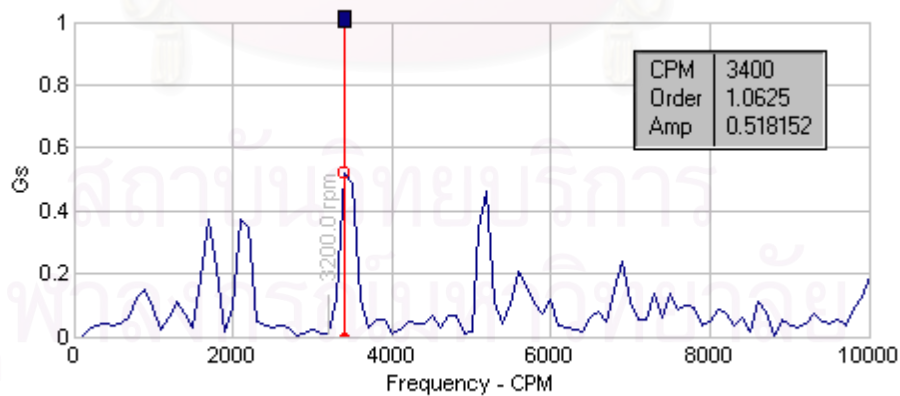
รูปที่ 7.39 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 1



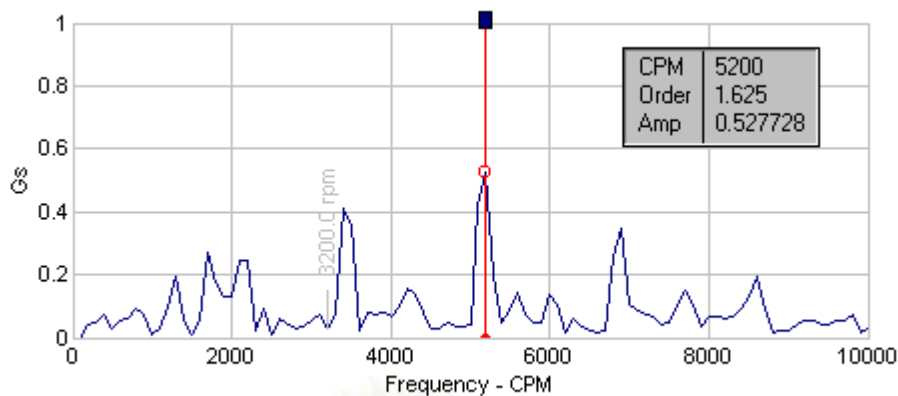
รูปที่ 7.40 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 2



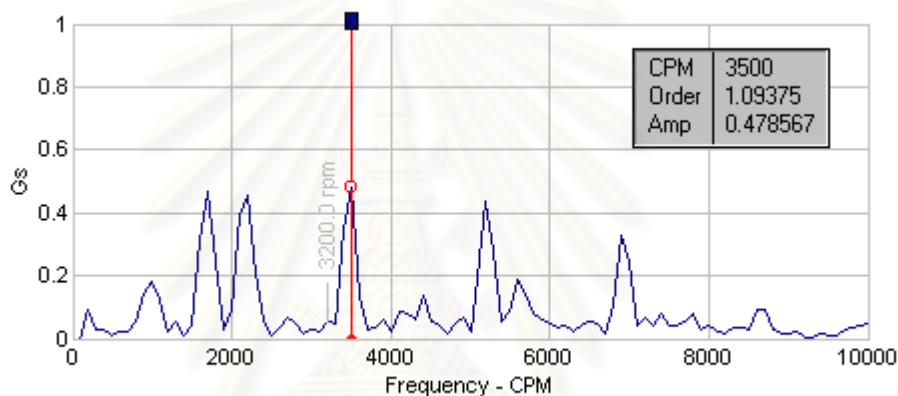
รูปที่ 7.41 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 3



รูปที่ 7.42 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 1



รูปที่ 7.43 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 2



รูปที่ 7.44 สัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 3

ตารางที่ 7.3 ถึงตารางที่ 7.11 แสดงค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือนสูงสุดและอันดับรองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200, 3400 และ 3600 รอบต่อนาที

ตารางที่ 7.3 ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1

ไม่มีน้ำหนักถ่วง
 RPM : 3200
 Gear : 1
 ทิศทาง : Vertical

ค่าความถี่ที่มี Amplitude สูงสุดและอันดับรอง			
Frequency (rpm)	1 x RPM	Amplitude (Gs)	
900	0.2813	0.316	
3400	1.062	1.838	
6800	2.125	0.315	
8500	2.656	0.445	

ตารางที่ 7.4 ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรอง
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 2

ไม่มีน้ำหนักถ่วง		ค่าความถี่ที่มี Amplitude สูงสุดและอันดับรอง		
		Frequency(rpm)	1 x RPM	Amplitude (Gs)
RPM	: 3200	1900	0.594	0.602
Gear	: 2	3100	0.969	0.389
ทิศทาง	: Vertical	6200	1.938	0.677

ตารางที่ 7.5 ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรอง
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 3

ไม่มีน้ำหนักถ่วง		ค่าความถี่ที่มี Amplitude สูงสุดและอันดับรอง		
		Frequency(rpm)	1 x RPM	Amplitude (Gs)
RPM	: 3200	1900	0.594	0.330
Gear	: 3	3100	0.969	0.839
ทิศทาง	: Vertical	6100	1.906	1.176

ตารางที่ 7.6 ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรอง
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 1

ไม่มีน้ำหนักถ่วง		ค่าความถี่ที่มี Amplitude สูงสุดและอันดับรอง		
		Frequency(rpm)	1 x RPM	Amplitude (Gs)
RPM	: 3400	300	0.088	0.063
Gear	: 1	1000	0.294	0.124
ทิศทาง	: Vertical	1700	0.500	0.276
		2100	0.618	0.371
		3400	1.000	0.587
		5200	1.529	0.521

ตารางที่ 7.7 ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรอง
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 2

ไม่มีน้ำหนักถ่วง		ค่าความถี่ที่มี Amplitude สูงสุดและอันดับรอง		
		Frequency(rpm)	1 x RPM	Amplitude (Gs)
RPM	: 3400			
Gear	: 2	200	0.059	0.117
ทิศทาง	: Vertical	600	0.176	0.103
		1000	0.294	0.103
		2100	0.656	0.414
		3300	1.031	0.510
		6700	2.094	0.541

ตารางที่ 7.8 ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรอง
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 3

ไม่มีน้ำหนักถ่วง		ค่าความถี่ที่มี Amplitude สูงสุดและอันดับรอง		
		Frequency(rpm)	1 x RPM	Amplitude (Gs)
RPM	: 3400			
Gear	: 3	200	0.059	0.089
ทิศทาง	: Vertical	700	0.206	0.207
		1700	0.531	0.236
		3500	1.094	0.900
		5300	1.656	0.277

ตารางที่ 7.9 ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรอง
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 1

ไม่มีน้ำหนักถ่วง		ค่าความถี่ที่มี Amplitude สูงสุดและอันดับรอง		
		Frequency(rpm)	1 x RPM	Amplitude (Gs)
RPM	: 3600			
Gear	: 1	900	0.250	0.150
ทิศทาง	: Vertical	1700	0.472	0.375
		2100	0.583	0.370
		3400	1.062	0.518
		5200	1.625	0.461

ตารางที่ 7.10 ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรอง
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 2

ไม่มีน้ำหนักถ่วง		ค่าความถี่ที่มี Amplitude สูงสุดและอันดับรอง		
		Frequency(rpm)	1 x RPM	Amplitude (Gs)
RPM	: 3600	400	0.111	0.071
Gear	: 2	800	0.222	0.091
ทิศทาง	: Vertical	1300	0.361	0.192
		1700	0.531	0.271
		3400	1.062	0.414
		5200	1.625	0.528

ตารางที่ 7.11 ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรอง
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 3

ไม่มีน้ำหนักถ่วง		ค่าความถี่ที่มี Amplitude สูงสุดและอันดับรอง		
		Frequency(rpm)	1 x RPM	Amplitude (Gs)
RPM	: 3600	200	0.056	0.089
Gear	: 3	1000	0.278	0.180
ทิศทาง	: Vertical	1700	0.531	0.470
		2200	0.688	0.457
		3500	1.093	0.478
		5200	1.444	0.434

7.2.2 การเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนขณะพรวนทรายกับการสั่นสะเทือนสภาพสั่นอย่างอิสระ

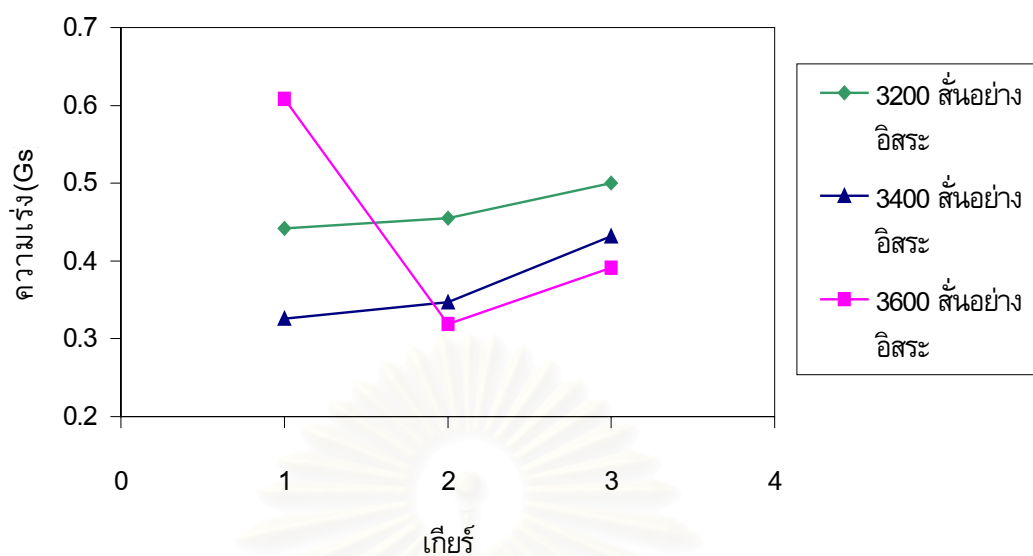
เมื่อเปรียบเทียบลักษณะการสั่นสะเทือนขณะพรวนทราย (รูปที่ 7.36 ถึงรูปที่ 7.44) กับการสั่นสะเทือนสภาพสั่นอย่างอิสระ (รูปที่ 5.9 ถึงรูปที่ 5.20) จะพบว่า การสั่นสะเทือนสภาพสั่นอย่างอิสระนั้น ความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือนจะเกิดที่ความถี่ซึ่งตรงกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ หรือฮาร์โมนิกต่างๆ ของความเร็วรอบเครื่องยนต์เท่านั้น ความถี่อื่นๆ จะมีขนาดการสั่นสะเทือนน้อยมากแสดงให้เห็นว่า กรณีการสั่นอย่างอิสระนั้น เครื่องยนต์เป็นสาเหตุหลักประกอบ

เดียวของการสั่นสะเทือน แต่เมื่อพิจารณาถึงการสั่นสะเทือนขณะพรวนทรายจะพบว่า ความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือนสูงนั้นไม่ได้มีเพียงความถี่ซึ่งตรงกับความเร็วรอบเครื่องยนต์เท่านั้น แต่ยังเกิดที่ความถี่อื่นๆ ด้วย เช่นที่ความถี่ 1700, 2100 หรือ 5200 รอบต่อนาที ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการสั่นสะเทือนในกรณีพรวนทรายนั้นมีสาเหตุสำคัญสาเหตุอื่นอีกนอกจากสาเหตุจากเครื่องยนต์ ซึ่งสาเหตุของการสั่นสะเทือนในกรณีพรวนทรายนี้น่าจะเป็นผลเนื่องมาจากการพรวนทรายของไบริมิต

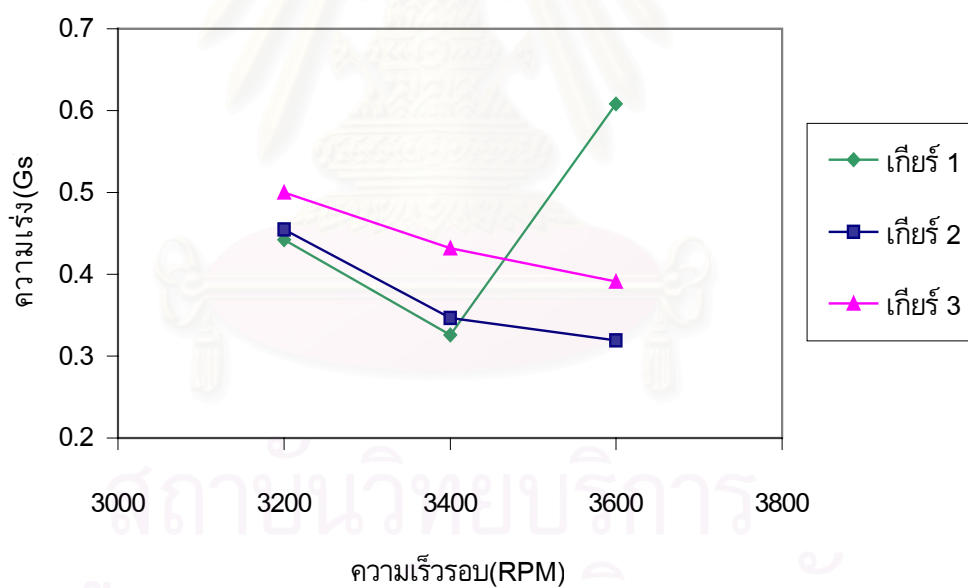
เมื่อพิจารณาถึงขนาดการสั่นสะเทือนของทั้ง 2 กรณีจะพบว่า ขณะพรวนทรายมีขนาดการสั่นสะเทือนสูงกว่าขณะสั่นอย่างอิสระเกือบทุกจุดที่ทำการทดลอง เว้นแต่ในกรณีความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 1 ซึ่งวัดขนาดการสั่นสะเทือนขณะพรวนทรายได้น้อยกว่าขณะสั่นอย่างอิสระ ทั้งนี้เนื่องจากขณะพรวนทรายนอกจากการสั่นสะเทือนของเครื่องยนต์แล้ว ยังมีการสั่นสะเทือนจากการหมุนพรวนทรายของไบริมิตเพิ่มขึ้นอีก ดังนั้นขนาดการสั่นสะเทือนกรณีพรวนทรายจึงมากกว่ากรณีสั่นอย่างอิสระ

ตารางที่ 7.12 การเปรียบเทียบความถี่และขนาดการสั่นสะเทือนสูงสุด ระหว่างสภาพสั่นอย่างอิสระกับสภาพพรวนทรายในกระบะทรายขณะไม่มีน้ำหนักถ่วง

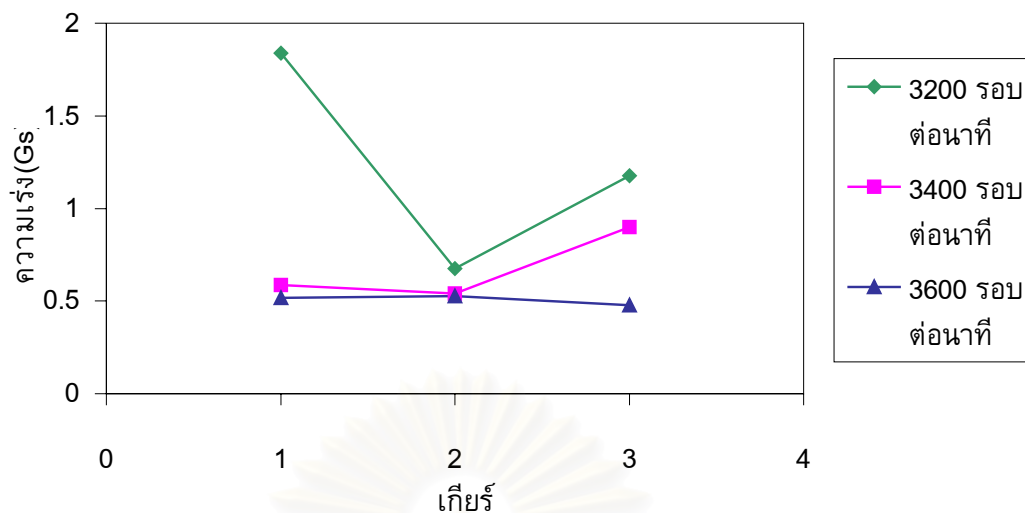
ความเร็วรอบเครื่อง (rpm)	สภาพการสั่น	ขนาดการสั่นสะเทือน(Gs) ,1xRPM และความถี่(CPM)								
		เกียร์ 1			เกียร์ 2			เกียร์ 3		
		Gs	RPM	CPM	Gs	RPM	CPM	Gs	RPM	CPM
3200	อิสระ	0.44	1.00	3200	0.46	1.00	3200	0.50	1.00	3200
	พรวน	1.84	1.06	3400	0.68	1.94	6200	1.18	1.91	6100
3400	อิสระ	0.33	1.00	3400	0.35	1.00	3400	0.43	1.00	3400
	พรวน	0.59	1.06	3400	0.54	2.09	6700	0.90	1.09	3500
3600	อิสระ	0.61	2.00	7200	0.32	1.00	3600	0.39	1.00	3600
	พรวน	0.52	1.06	3400	0.53	1.62	5200	0.48	1.09	3500



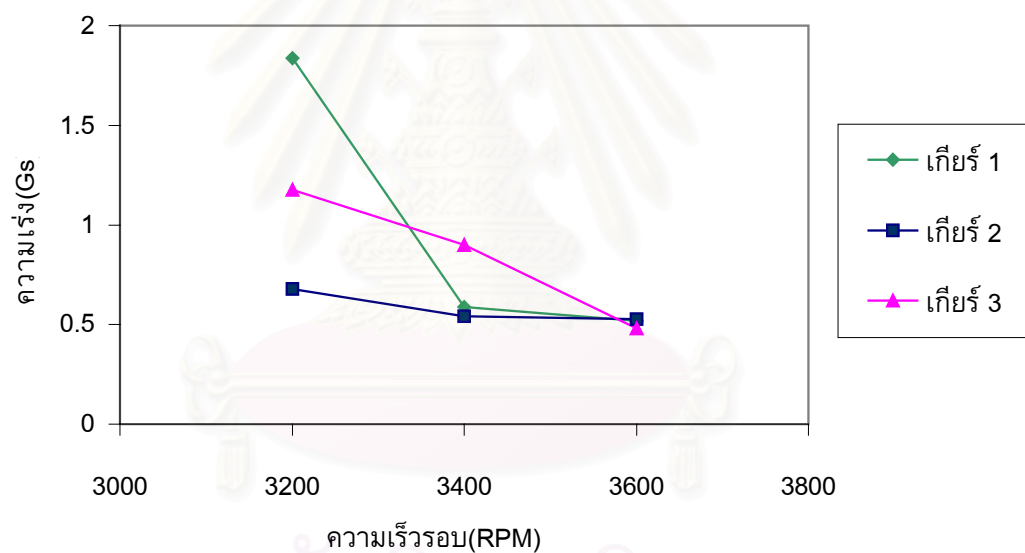
รูปที่ 7.45 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดการสั่นสะเทือนกับเกียร์ความเร็วที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ขณะสัณอย่างอิสระ



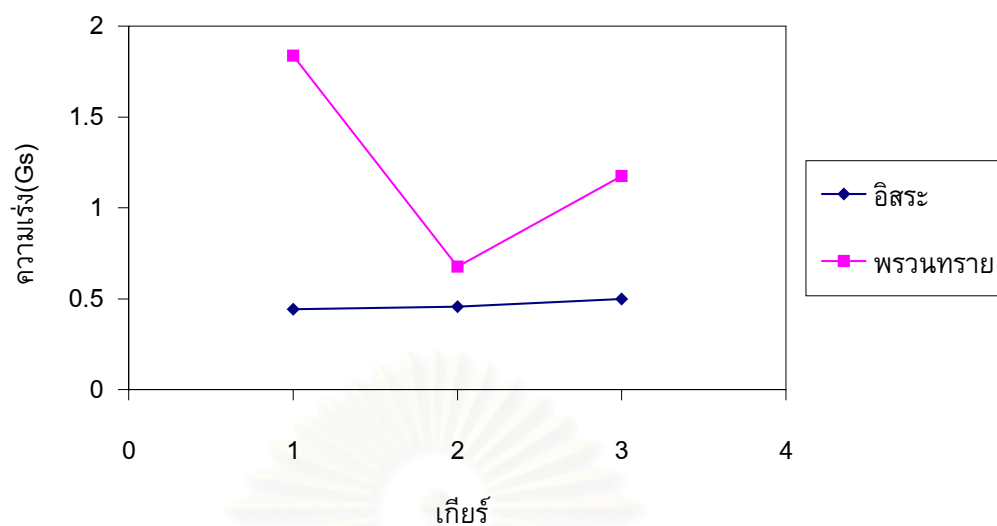
รูปที่ 7.46 ความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่เกียร์ความเร็วต่างๆ ขณะสัณอย่างอิสระ



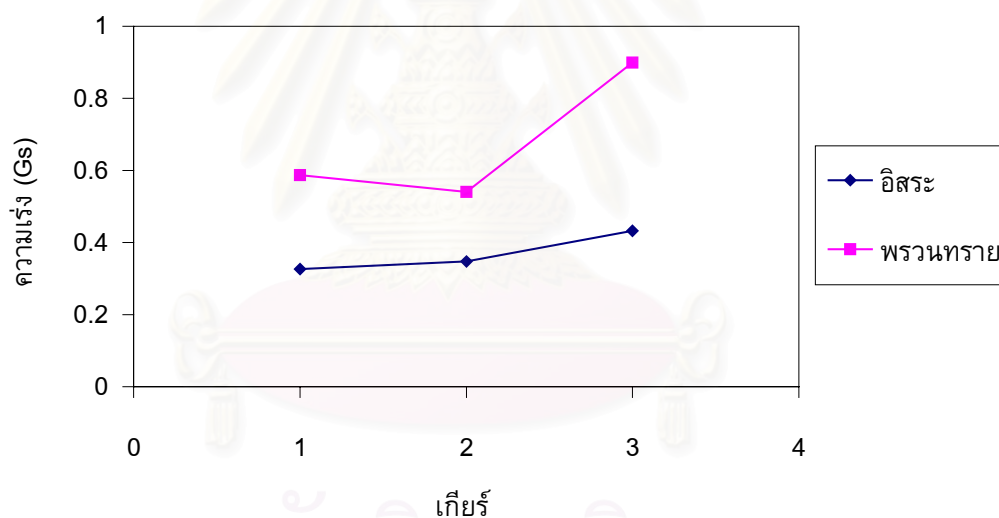
รูปที่ 7.47 ความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นสะเทือนกับเกียร์ความเร็วที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ ขณะพรวนทราย



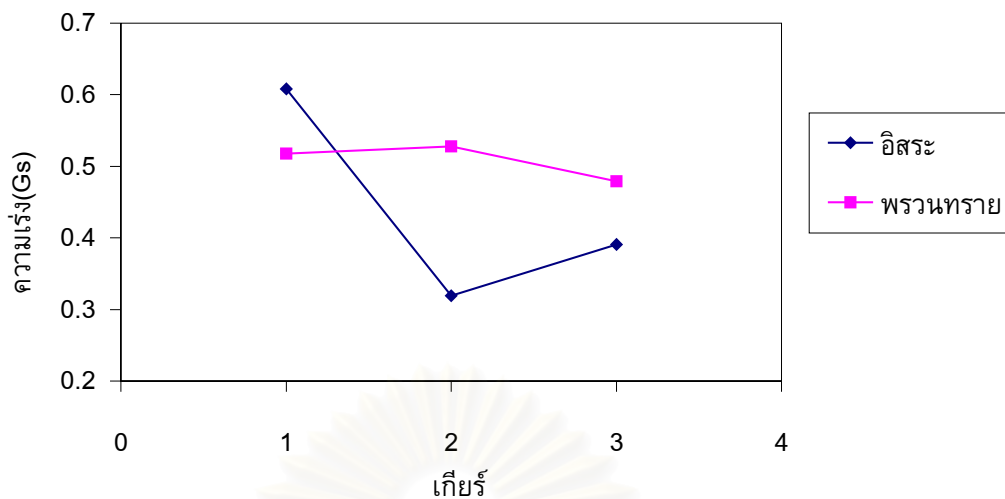
รูปที่ 7.48 ความสัมพันธ์ระหว่างการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ที่เกียร์ความเร็วต่างๆ ขณะพรวนทราย



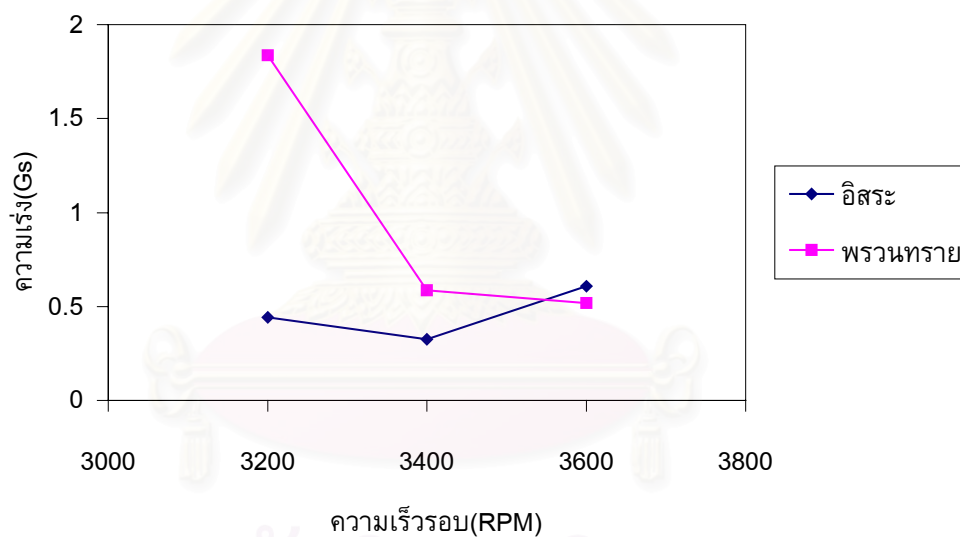
รูปที่ 7.49 เปรียบเทียบการสัมพันธ์ของสภาพสัณอย่างอิสระกับขณะพรวนทรายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที



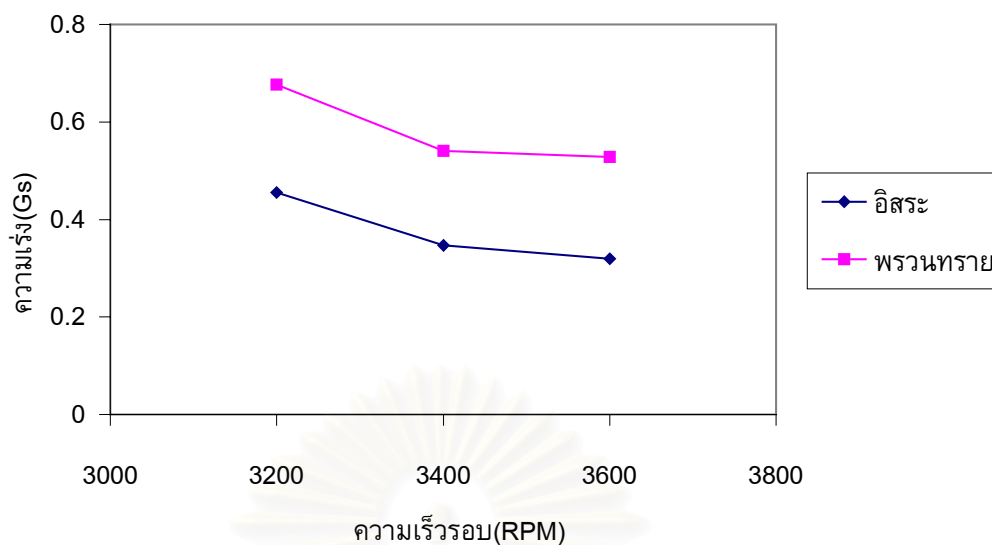
รูปที่ 7.50 เปรียบเทียบการสัมพันธ์ของสภาพสัณอย่างอิสระกับขณะพรวนทรายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที



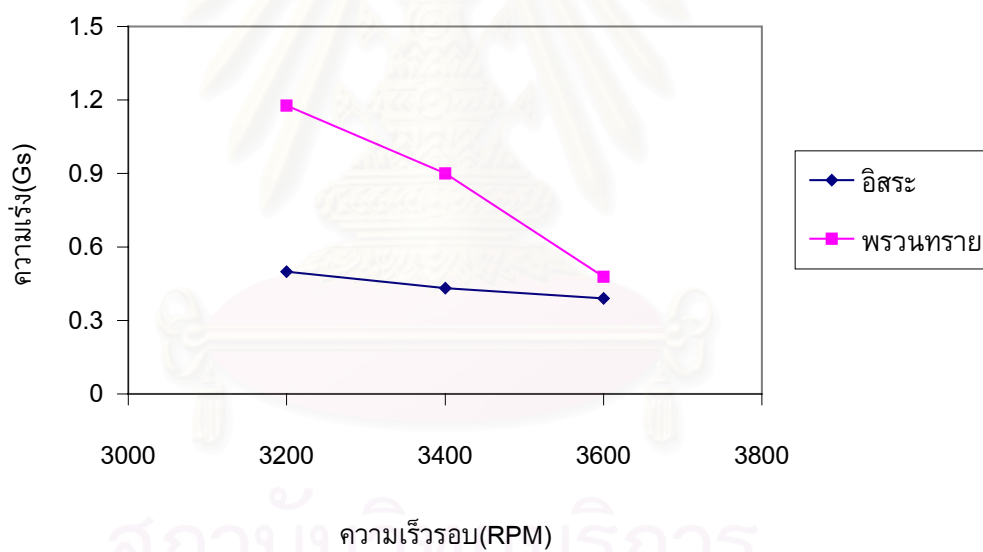
รูปที่ 7.51 เปรียบเทียบการสั่นสะเทือนสภาพสั่นอย่างอิสระกับขณะพรวนทรายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที



รูปที่ 7.52 เปรียบเทียบการสั่นสะเทือนสภาพสั่นอย่างอิสระกับขณะพรวนทรายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ เกียร์ 1



รูปที่ 7.53 เปรียบเทียบการสั่นสะเทือนสภาพสั่นอย่างอิสระกับขณะพรวนทราย
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ เกียร์ 2



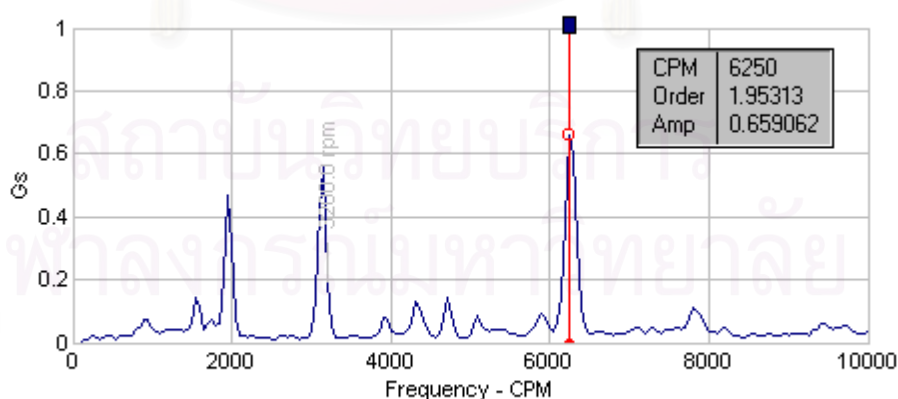
รูปที่ 7.54 เปรียบเทียบการสั่นสะเทือนสภาพสั่นอย่างอิสระกับขณะพรวนทราย
ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต่างๆ เกียร์ 3

7.2.3 ผลการวัดการสั่นสะเทือนที่คัมมือถือด้านซ้าย ขณะถ่วงน้ำหนัก

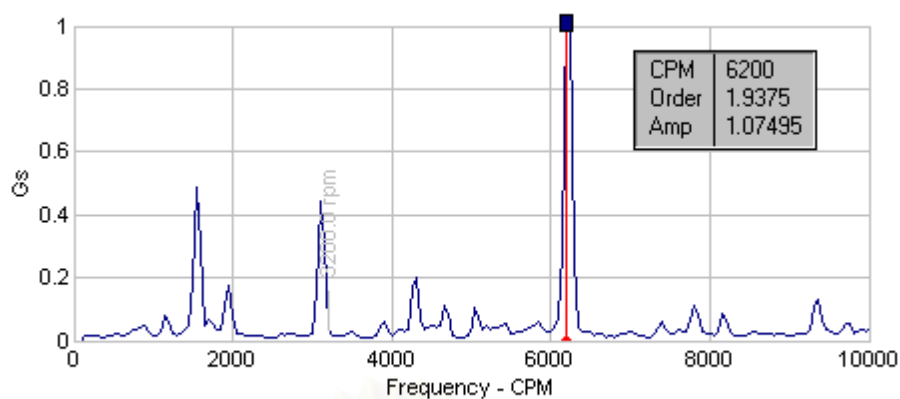
จากสัญญาณการสั่นสะเทือนขณะถ่วงน้ำหนักด้านหน้าดังแสดงในรูปที่ 7.55 ถึงรูปที่ 7.57 และถ่วงน้ำหนักด้านหลังรถไถพรวน ดังแสดงในรูปที่ 7.58 ถึงรูปที่ 7.60 นั้นจะพบว่า ลักษณะสัญญาณในแต่ละกรณีจะคล้ายคลึงกัน คือ ขนาดการสั่นสะเทือนจะมากที่สุดที่ความถี่ 6250 รอบต่อนาที ความถี่อื่นที่มีขนาดการสั่นสะเทือนรองลงมาคือที่ ความถี่ประมาณ 1550, 1950 และ 3150 รอบต่อนาที ส่วนความถี่อื่นๆ นอกจากนี้มีขนาดการสั่นสะเทือนน้อยมาก

เมื่อพิจารณาถึงขนาดของการสั่นสะเทือนจะพบว่า การถ่วงน้ำหนักมากไม่ได้ทำให้ขนาดการสั่นสะเทือนลดลงมาก แต่การถ่วงน้ำหนักที่มีขนาดเหมาะสมจึงทำให้ขนาดการสั่นสะเทือนลดลงมากได้ ซึ่งในการทดลองนี้พบว่า กรณีการถ่วงน้ำหนักหน้า น้ำหนักถ่วงขนาด 15 กิโลกรัม มีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจาก ทำให้ขนาดการสั่นสะเทือนลดลงได้มากที่สุด ส่วนกรณีการถ่วงน้ำหนักด้านหลังนั้น น้ำหนักถ่วงขนาด 5 กิโลกรัม จะทำให้ขนาดการสั่นสะเทือนลดลงได้มากที่สุด

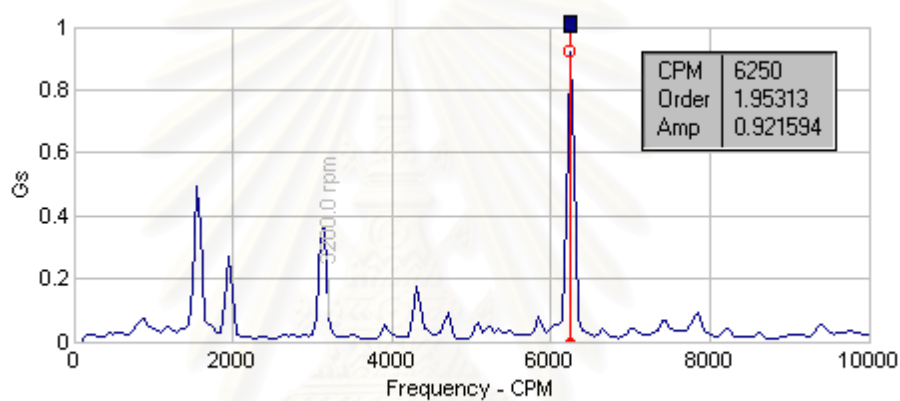
เมื่อเปรียบเทียบขนาดการสั่นสะเทือน เมื่อถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนกับไม่ถ่วงน้ำหนักรถไถพรวน พบว่า ขนาดการสั่นสะเทือนจะลดลงอย่างมาก แสดงให้เห็นว่าการออกแบบรถไถพรวนที่มีน้ำหนักเหมาะสมนั้นจะช่วยลดการสั่นสะเทือนลงได้มาก นอกจากนี้ยังเป็นที่น่าสังเกตว่า เมื่อถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนแล้ว ความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือนมากที่สุดจะเปลี่ยนจากที่ความถี่ประมาณ 3400 รอบต่อนาที มาเป็น 6250 รอบต่อนาที ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับฮาร์โมนิกที่ 2 ของความเร็วรอบเครื่องยนต์ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ยังไม่ทราบชัดเจนในการทดลองนี้



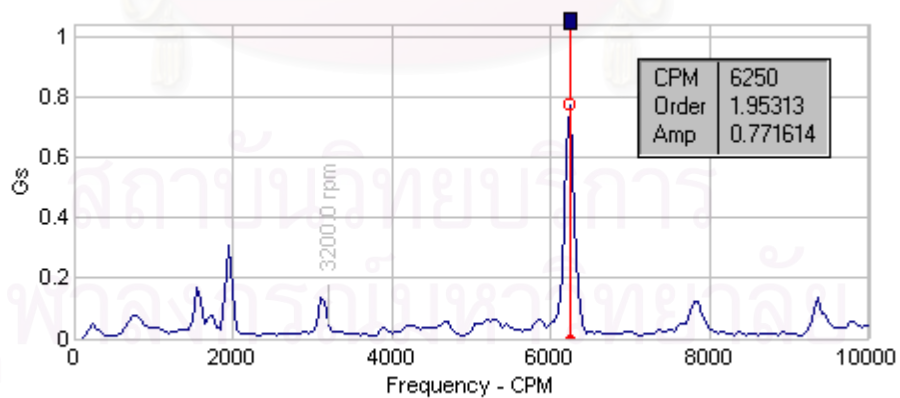
รูปที่ 7.55 สัญญาณการสั่นสะเทือนเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 15 กิโลกรัม



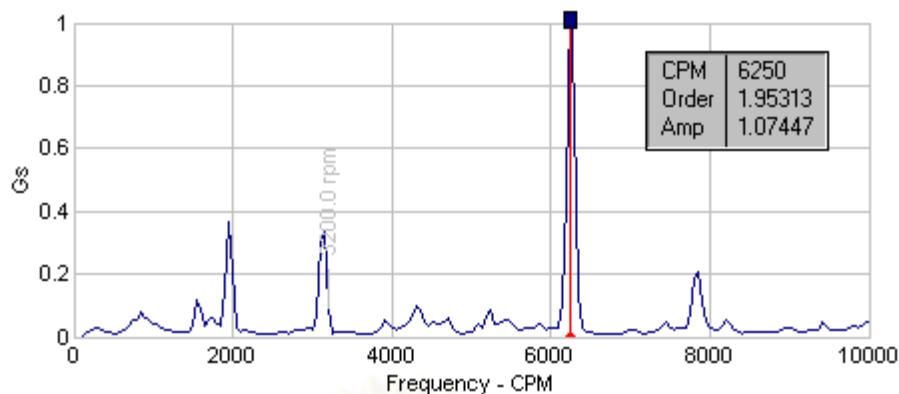
รูปที่ 7.56 สัญญาณการสั่นสะเทือนเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 30 กิโลกรัม



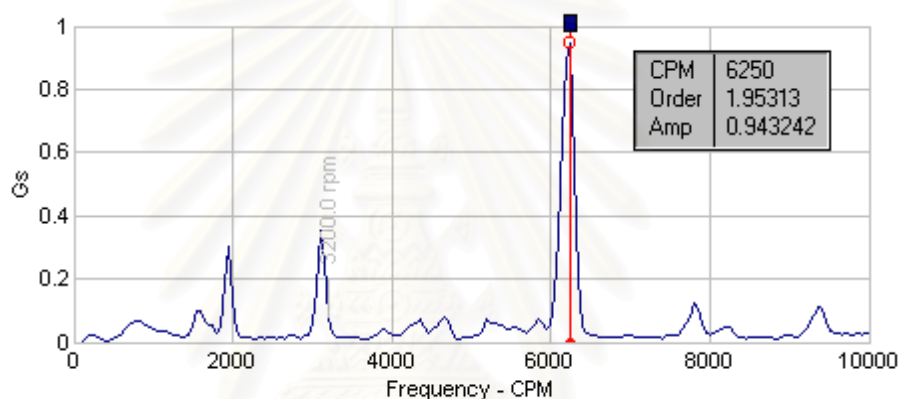
รูปที่ 7.57 สัญญาณการสั่นสะเทือนเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 45 กิโลกรัม



รูปที่ 7.58 สัญญาณการสั่นสะเทือนเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 5 กิโลกรัม



รูปที่ 7.59 สัญญาณการสั่นสะเทือนเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 10 กิโลกรัม



รูปที่ 7.60 สัญญาณการสั่นสะเทือนเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 15 กิโลกรัม

ตารางที่ 7.13 ถึงตาราง 7.15 แสดงค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือนสูงสุดและอันดับรอง เมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหน้า ส่วนตารางที่ 7.16 ถึงตารางที่ 7.18 แสดงค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือนสูงสุดและอันดับรอง เมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหลัง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.13 ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรอง
เมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 15 กิโลกรัม

มีน้ำหนักถ่วง		ค่าความถี่ที่มี Amplitude สูงสุดและอันดับรอง		
		Frequency(rpm)	1 x RPM	Amplitude (Gs)
RPM	: 3200			
Gear	: 1	950	0.297	0.071
ทิศทาง	: Vertical	1550	0.484	0.141
ถ่วงด้านหน้า	: 15 kgf	1950	0.609	0.470
		3150	0.984	0.557
		6250	1.953	0.659

ตารางที่ 7.14 ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรอง
เมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 30 กิโลกรัม

มีน้ำหนักถ่วง		ค่าความถี่ที่มี Amplitude สูงสุดและอันดับรอง		
		Frequency(rpm)	1 x RPM	Amplitude (Gs)
RPM	: 3200			
Gear	: 1	1150	0.359	0.078
ทิศทาง	: Vertical	1550	0.484	0.486
ถ่วงด้านหน้า	: 30 kgf	3100	0.969	0.442
		6200	1.938	1.075

ตารางที่ 7.15 ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรอง
เมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 45 กิโลกรัม

มีน้ำหนักถ่วง		ค่าความถี่ที่มี Amplitude สูงสุดและอันดับรอง		
		Frequency(rpm)	1 x RPM	Amplitude (Gs)
RPM	: 3200			
Gear	: 1	850	0.266	0.067
ทิศทาง	: Vertical	1550	0.484	0.491
ถ่วงด้านหน้า	: 45 kgf	3150	0.984	0.367
		6250	1.953	0.921

ตารางที่ 7.16 ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรอง
เมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 5 กิโลกรัม

มีน้ำหนักถ่วง		ค่าความถี่ที่มี Amplitude สูงสุดและอันดับรอง		
		Frequency(rpm)	1 x RPM	Amplitude (Gs)
RPM	: 3200	250	0.078	0.047
Gear	: 1	750	0.234	0.075
ทิศทาง	: Vertical	1550	0.484	0.170
ถ่วงด้านหลัง	: 5 kgf	1950	0.609	0.306
		6250	1.953	0.772

ตารางที่ 7.17 ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรอง
เมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 10 กิโลกรัม

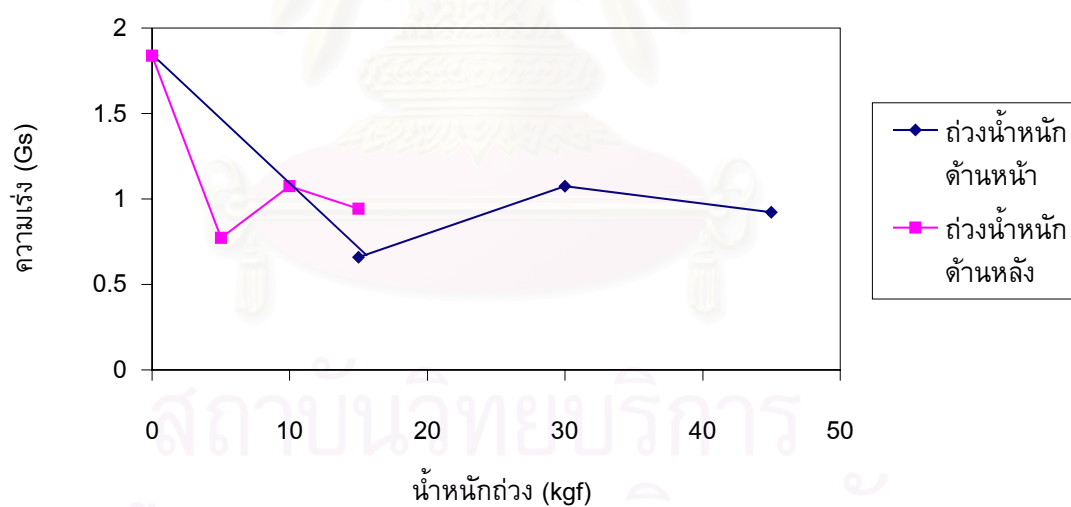
มีน้ำหนักถ่วง		ค่าความถี่ที่มี Amplitude สูงสุดและอันดับรอง		
		Frequency(rpm)	1 x RPM	Amplitude (Gs)
RPM	: 3200	850	0.266	0.079
Gear	: 1	1550	0.484	0.120
ทิศทาง	: Vertical	1950	0.609	0.364
ถ่วงด้านหลัง	: 10 kgf	3150	0.984	0.343
		6250	1.953	1.074

ตารางที่ 7.18 ค่าความถี่ที่มีขนาดการสั่นสะเทือน (Amplitude) สูงสุดและอันดับรอง
เมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 15 กิโลกรัม

มีน้ำหนักถ่วง		ค่าความถี่ที่มี Amplitude สูงสุดและอันดับรอง		
		Frequency(rpm)	1 x RPM	Amplitude (Gs)
RPM	: 3200	250	0.078	0.025
Gear	: 1	800	0.25	0.070
แนว	: Vertical	1600	0.50	0.099
ถ่วงด้านหลัง	: 15 kgf	1950	0.609	0.303
		3100	0.969	0.356
		6250	1.953	0.943

ตารางที่ 7.19 ความถี่และขนาดการสั่นสะเทือนสูงสุดที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1 ที่สภาพการสั่นอย่างอิสระ สภาพพรวนทรายโดยไม่มีน้ำหนักถ่วง และสภาพพรวนทรายโดยมีน้ำหนักถ่วง

สภาพการสั่นสะเทือน		ขนาดการสั่นสะเทือน(Gs), 1xRPM และความถี่(CPM)			
		Gs	RPM	CPM	
สั่นอย่างอิสระ		0.442	1.00	3200	
ขณะพรวนทราย ในกระบะทราย	ไม่มีน้ำหนักถ่วง	1.838	1.06	3400	
	ถ่วงน้ำหนัก ด้านหน้า	15 กิโลกรัม	0.659	1.95	6250
		30 กิโลกรัม	1.075	1.94	6200
		45 กิโลกรัม	0.921	1.95	6250
	ถ่วงน้ำหนัก ด้านหลัง	5 กิโลกรัม	0.772	1.95	6250
		10 กิโลกรัม	1.074	1.95	6250
15 กิโลกรัม		0.943	1.95	6250	



รูปที่ 7.61 ขนาดการสั่นสะเทือนที่คันมือถือซ้ายของรถไถพรวนขณะพรวนทรายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1 เมื่อถ่วงน้ำหนักขนาดต่างๆ

7.2.4 การเปรียบเทียบขนาดการสั่นสะเทือนที่วัดได้กับค่ามาตรฐาน ISO 2631

ในหัวข้อนี้จะเป็นการนำค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้จากการทดลองมาเปรียบเทียบกับค่าการสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ISO 2631 (Evaluation of human exposure of whole body) [4] ซึ่งแสดงผลกระทบของขนาดการสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่างๆ ต่อร่างกายมนุษย์ ผลที่ได้จะทำให้ทราบว่าขนาดการสั่นสะเทือนที่วัดได้จะเป็นอันตรายต่อมนุษย์หรือไม่ อย่างไร โดยมาตรฐาน ISO 2631 จะแบ่งขอบเขตการสั่นสะเทือนออกเป็น 3 ขอบเขตดังต่อไปนี้

1. ขอบเขตลดความสะดวกสบาย (Reduced comfort boundary) ซึ่งหากการสั่นสะเทือนที่วัดได้เกินกว่าค่านี้แล้ว ผู้ใช้งานจะเกิดความรู้สึกไม่สบายในการทำงาน แต่ยังไม่ถึงกับขั้นเมื่อยล้า
2. ขอบเขตลดความคล่องแคล่วเนื่องจากความล้า (Fatigue-decreased proficiency boundary) ซึ่งหากการสั่นสะเทือนที่วัดได้เกินกว่าค่านี้แล้ว ผู้ใช้งานจะเกิดความเมื่อยล้าในการทำงาน
3. ขีดจำกัดการรับการสั่นสะเทือน (Exposure limits) ซึ่งหากการสั่นสะเทือนที่วัดได้เกินกว่าขอบเขตนี้ไปแล้วจะเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้งาน

เนื่องจากความทนทานต่อการสั่นสะเทือนของร่างกายมนุษย์นั้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาด และความถี่ของการสั่นสะเทือนแล้ว ยังขึ้นอยู่กับช่วงเวลาที่ใช้งานเครื่องจักรรับการสั่นสะเทือนด้วย ดังนั้นในการพิจารณาขอบเขตการสั่นสะเทือนจึงต้องกำหนดช่วงเวลาที่ใช้งานเครื่องจักรรับการสั่นสะเทือนด้วย ซึ่งในที่นี้ได้เลือกช่วงเวลาที่ใช้งานรถไถเป็นเวลา 4 และ 8 ชั่วโมงต่อวันในการพิจารณา

เมื่อพิจารณารูปที่ 7.62 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขอบเขตการสั่นสะเทือนกับความถี่การสั่นสะเทือน ที่ช่วงเวลารับการสั่นสะเทือนต่างๆ กันตามมาตรฐาน ISO 2631 จะพบว่ามนุษย์จะสามารถรับการสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่างๆ (น้อยกว่า 4 เฮิรตซ์ หรือ 240 รอบต่อนาที) ได้ดี แต่เมื่อความถี่การสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 4 ถึง 8 เฮิรตซ์ (240 ถึง 480 รอบต่อนาที) มนุษย์จะรับการสั่นสะเทือนได้น้อยลงมาก และเมื่อความถี่การสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นจาก 8 เฮิรตซ์ (480 รอบต่อนาที) มนุษย์จะรับการสั่นสะเทือนได้มากขึ้นอีกโดยยิ่งความถี่การสั่นสะเทือนมาก มนุษย์จะยิ่งรับการสั่นสะเทือนได้มากขึ้น

เนื่องจากค่าการสั่นสะเทือนในรูปที่ 7.62 นั้นเป็นค่า RMS แต่ค่าการสั่นสะเทือนที่วัดได้เป็นค่ายอด (Peak) ดังนั้นในการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่ามาตรฐานจึงต้องเปลี่ยนค่ายอดที่วัดได้เป็นค่า RMS โดยใช้สมการต่อไปนี้

$$\text{RMS} = 0.707 \times \text{Peak}$$

(7.1)

หลังจากเปลี่ยนค่าการสั่นสะเทือนให้เป็นค่า RMS แล้ว นำค่าการสั่นสะเทือนที่มีค่ามากในแต่ละจุดทดลองไปพล็อตลงในรูปที่ 7.62 สาเหตุที่ต้องนำค่าที่มีการสั่นสะเทือนมากๆ ทุกๆ ค่ามาพล็อต แทนที่จะเลือกค่าที่มีการสั่นสะเทือนมากที่สุดเพียงค่าเดียวมาพล็อตนั้นก็เนื่องจากความถี่ที่เกิดการสั่นสะเทือนนั้นก็มีผลอย่างมากต่อขอบเขตความทนทานการสั่นสะเทือนของมนุษย์เช่นกัน เช่น การสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่ำๆ ถึงแม้ว่าขนาดการสั่นสะเทือนจะมีค่าไม่มากนัก แต่ก็อาจจะส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งานได้มากกว่าการสั่นสะเทือนที่มีขนาดมากกว่าแต่อยู่ที่ความถี่สูงกว่าได้ และเนื่องจากรูปที่ 7.62 นี้ จะแสดงแต่ความถี่การสั่นสะเทือนที่ความถี่ต่ำๆ (น้อยกว่า 80 เฮิร์ตซ์ หรือ 4800 รอบต่อนาที) เท่านั้น ทำให้ไม่สามารถพล็อตค่าการสั่นสะเทือนที่มีค่ามากซึ่งเกิดที่ความถี่สูงๆ ได้ ดังนั้นในที่นี้จึงประมาณให้เลื่อนจุดการสั่นสะเทือนที่มีค่ามากและมีความถี่เกินกว่า 80 เฮิร์ตซ์ มาพล็อตที่ความถี่ 80 เฮิร์ตซ์ สาเหตุที่ประมาณเช่นนี้ก็เนื่องจาก จากเอกสารอ้างอิง [3] จะพบว่าเมื่อความถี่การสั่นสะเทือนเกินกว่า 80 เฮิร์ตซ์ มนุษย์จะสามารถรับการสั่นสะเทือนได้เพิ่มขึ้น ดังนั้นถ้าค่าการสั่นสะเทือนที่เลื่อนมาพล็อตที่ความถี่ 80 เฮิร์ตซ์ ยังไม่เกินกว่าขอบเขตการสั่นสะเทือนแล้ว การสั่นสะเทือนที่เกิดที่ความถี่จริงๆ ก็ย่อมไม่เกินกว่าขอบเขตการสั่นสะเทือนด้วยเช่นกัน ผลการเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนที่วัดได้ในกรณีต่างๆ กับค่ามาตรฐาน ISO 2631 เป็นดังต่อไปนี้

จากรูปที่ 7.62 การเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนขณะยังไม่ถ่วงน้ำหนักกับมาตรฐาน ISO 2631 พบว่า ที่ทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์และทุกเกียร์ความเร็วทำการทดลอง ระดับการสั่นสะเทือนจะเกินกว่าขอบเขตลดความสะดวกสบาย และขอบเขตลดความคล่องแคล่วที่ 8 ชั่วโมง นอกจากนี้การสั่นสะเทือนที่เกือบทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์และเกียร์ความเร็วยังเกินกว่าขีดจำกัดการรับการสั่นสะเทือนอีกด้วย ยกเว้นเพียงที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 1 และที่ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 2 เท่านั้นซึ่งการสั่นสะเทือนทุกความถี่มีค่าน้อยกว่าขีดจำกัดการรับการสั่นสะเทือนเล็กน้อย

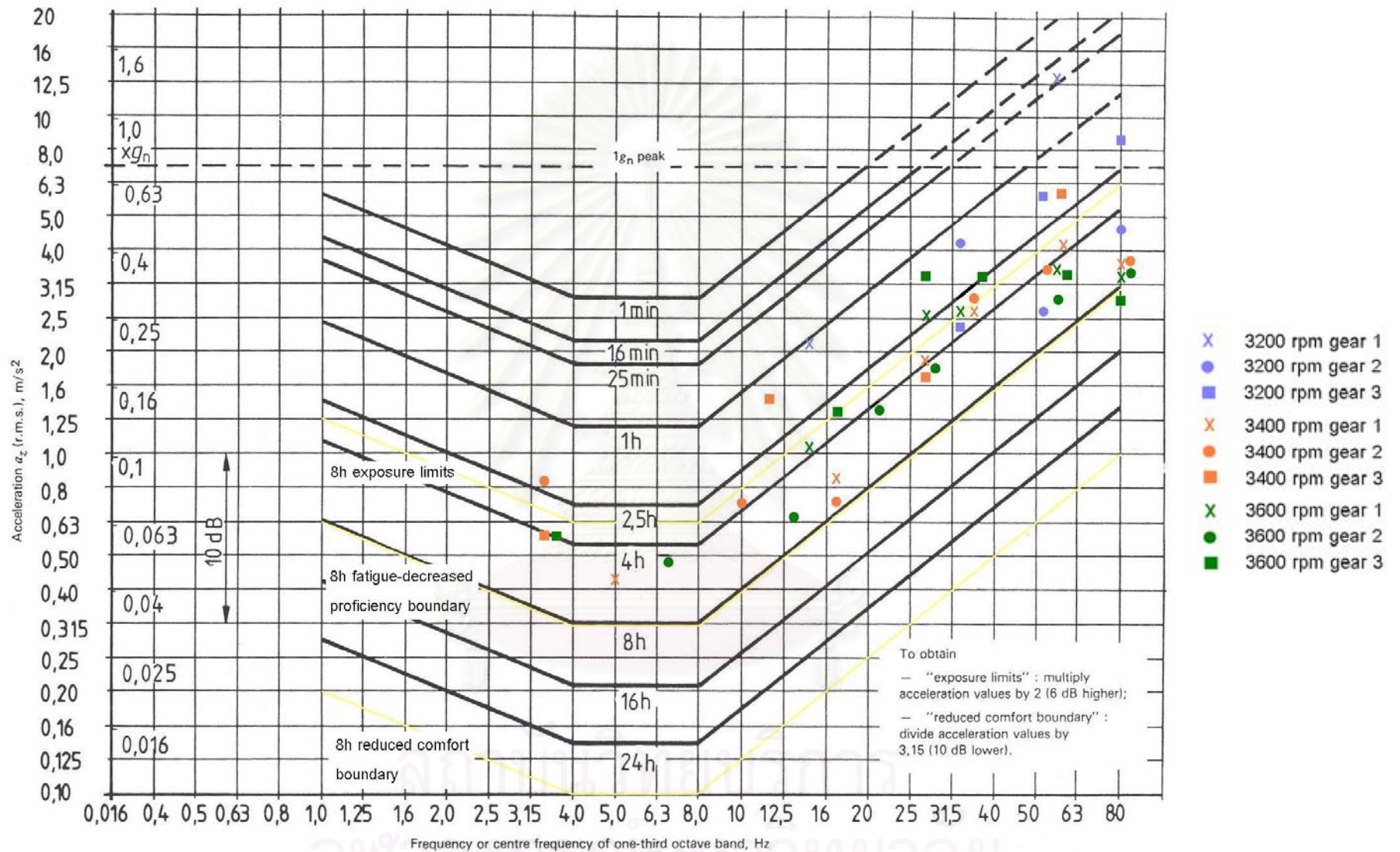
ผลการวัดการสั่นสะเทือนในการทดลองนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับกับการสั่นสะเทือนที่วัดได้ในการศึกษาของ Bishwajit Majumder [3] คือ ขณะทำการไถการสั่นสะเทือนจะเกินกว่าขอบเขตลดความสะดวกสบายที่ 8 ชั่วโมง และการสั่นสะเทือนในหลายๆ กรณียังเกินกว่าระดับการสั่นสะเทือนมาตรฐานทั้ง 3 ระดับ แสดงให้เห็นว่า รถไถพรวนหรือรถไถนาที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันยังมีขนาดการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับสูง และการใช้รถไถพรวนทำงานวันละประมาณ 8 ชั่วโมงนั้นจะเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานได้

เมื่อพิจารณาขอบเขตการสิ้นสะเทือนที่ 4 ชั่วโมงแทนจะพบว่า ถึงแม้ว่าระดับการสิ้นสะเทือนส่วนใหญ่จะยิ่งมากกว่าขอบเขตลดความคล่องแคล่วเนื่องจากความล้าอยู่ แต่ก็ยังอยู่ในขีดจำกัดรับการสิ้นสะเทือน (ยกเว้นที่ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1) ดังนั้นหากผู้ใช้งานรถไถพรวนสามารถลดเวลาการทำงานลงจากวันละประมาณ 8 ชั่วโมงเป็นวันละประมาณ 4 ชั่วโมงหรือน้อยกว่า จะเป็นผลดีต่อสุขภาพของผู้ใช้งานขึ้นมา

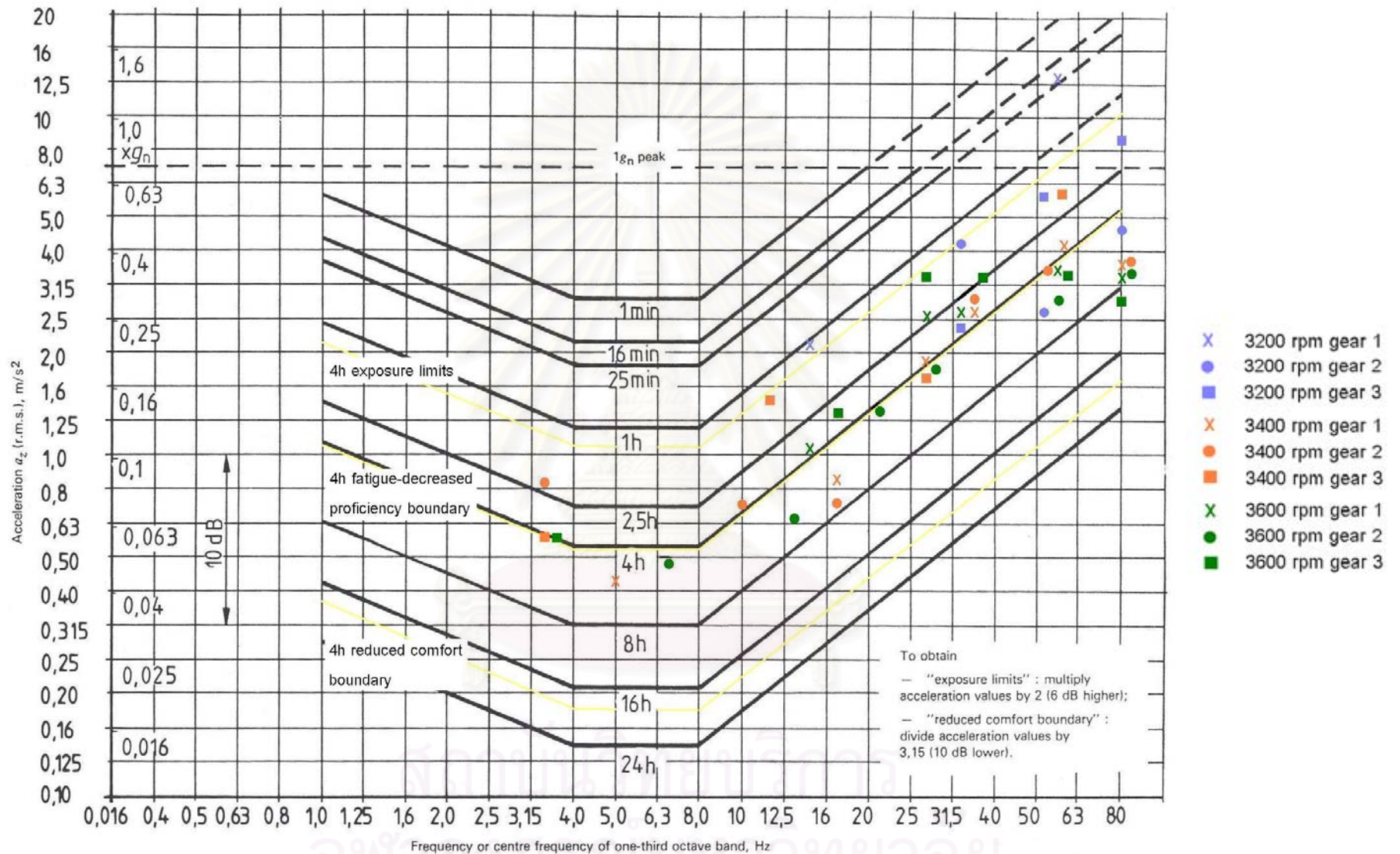
จากรูปที่ 7.63 การเปรียบเทียบการสิ้นสะเทือนขณะถ่วงน้ำหนักกับค่ามาตรฐาน ISO 2631 จะพบว่าเมื่อถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนแล้วขนาดการสิ้นสะเทือนจะลดลงกว่าตอนไม่ถ่วงน้ำหนักมาก แต่อย่างไรก็ตามกรณีการถ่วงน้ำหนักด้านหน้านั้น ระดับการสิ้นสะเทือนที่บางความถี่ยังคงเกินกว่าขีดจำกัดการสิ้นสะเทือนอยู่ แสดงให้เห็นว่าระดับการสิ้นสะเทือนในกรณีถ่วงน้ำหนักด้านหน้านั้นยังคงเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งานอยู่หากใช้งานประมาณ 8 ชั่วโมงต่อวัน สำหรับการถ่วงน้ำหนักด้านหลังนั้นจะพบว่า ระดับการสิ้นสะเทือนเกือบทุกความถี่จะมีค่าน้อยกว่า หรือใกล้เคียงกับขีดจำกัดการรับการสิ้นสะเทือน โดยเฉพาะกรณีที่ถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 5 กิโลกรัม นั้นระดับการสิ้นสะเทือนจะต่ำกว่าขีดจำกัดการรับการสิ้นสะเทือนอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงอาจสรุปได้จากการทดลองนี้ว่า การถ่วงน้ำหนักหลังจะให้ผลดีในการลดขนาดการสิ้นสะเทือนลงสู่ระดับที่ปลอดภัยต่อผู้ใช้งานได้ดีกว่าการถ่วงน้ำหนักด้านหน้า การถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 5 กิโลกรัมจะช่วยลดการสิ้นสะเทือนได้ดีที่สุด

และเมื่อพิจารณาโดยใช้ขีดจำกัดการสิ้นสะเทือนที่ 4 ชั่วโมงแทน จะพบว่าระดับการสิ้นสะเทือนส่วนใหญ่จะน้อยกว่าขอบเขตลดความคล่องแคล่วเนื่องจากความล้า แสดงให้เห็นว่าหากสามารถลดเวลาการใช้งานรถไถพรวนดินลงจาก 8 ชั่วโมงเป็น 4 ชั่วโมงหรือน้อยกว่า ความเมื่อยล้าซึ่งเกิดจากการทำงานจะน้อยลงอย่างมาก

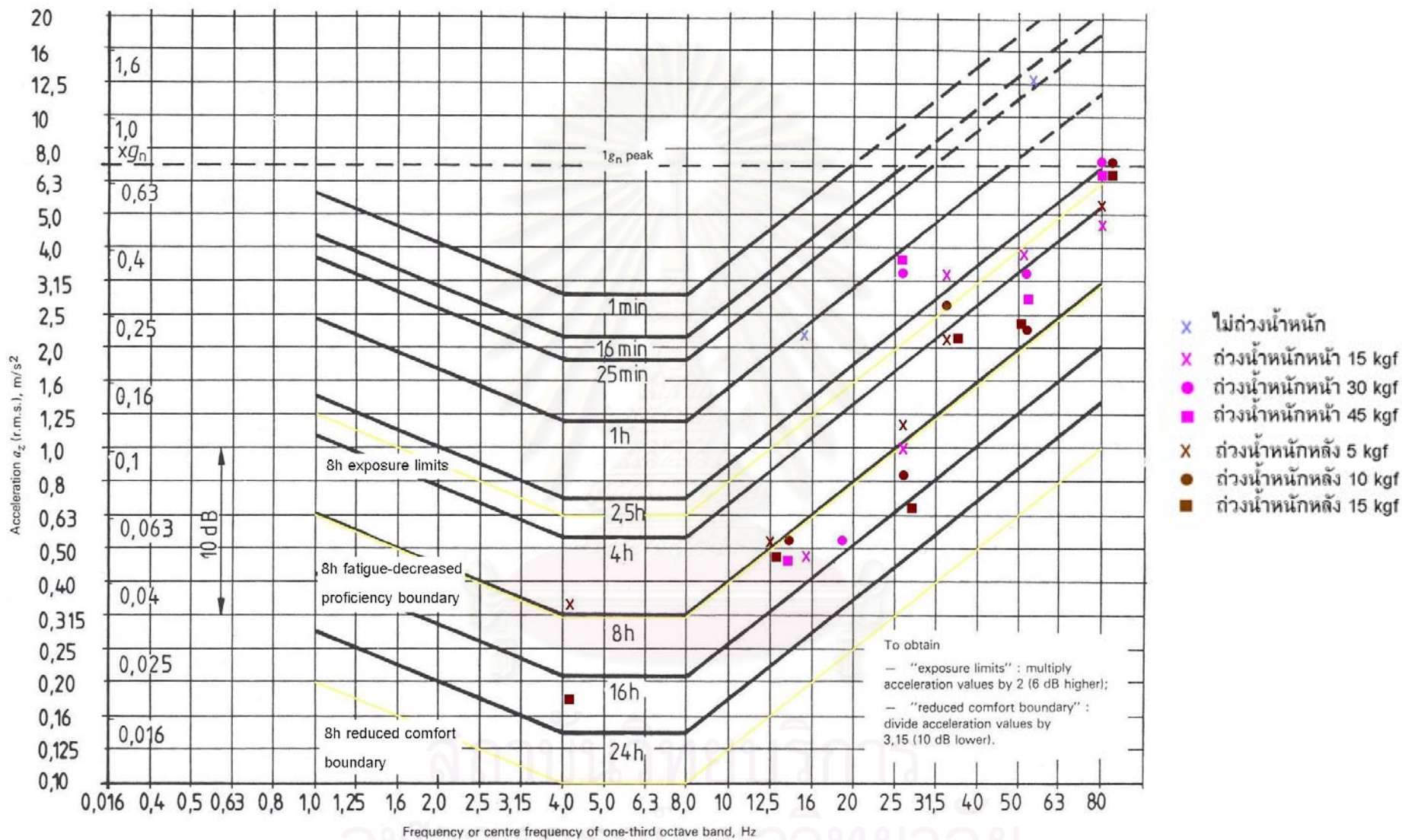
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



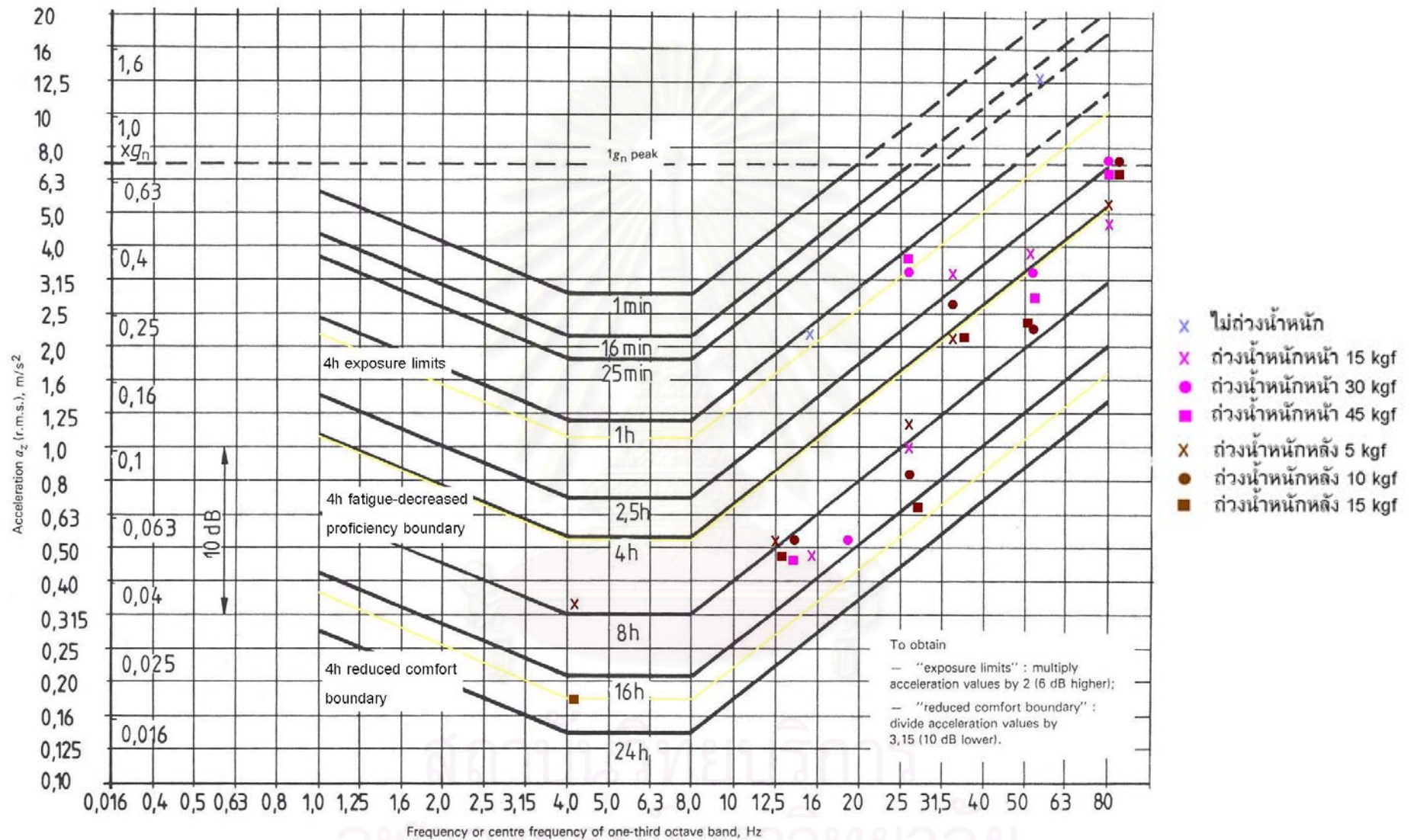
รูปที่ 7.62 การเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนที่วัดได้กับมาตรฐาน ISO 2631 ขณะไม่ได้
 ถ่วงน้ำหนักการถี่พรวนดิน (ใช้ขอบเขตการสั่นสะเทือนที่ 8 ชั่วโมง)



รูปที่ 7.63 การเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนที่วัดได้กับมาตรฐาน ISO 2631 ขณะไม่ได้
 ถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนดิน (ใช้ขอบเขตการสั่นสะเทือนที่ 4 ชั่วโมง)



รูปที่ 7.64 การเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนที่วัดได้กับมาตรฐาน ISO 2631 ขณะ ถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนดิน (ใช้ขอบเขตการสั่นสะเทือนที่ 8 ชั่วโมง)



รูปที่ 7.65 การเปรียบเทียบการสั่นสะเทือนที่วัดได้กับมาตรฐาน ISO 2631 ขณะถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนดิน (ใช้ขอบเขตการสั่นสะเทือนที่ 4 ชั่วโมง)

บทที่ 8

บทสรุป ปัญหาที่พบ และข้อเสนอแนะ

8.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์นี้ได้แสดงถึงวิธีการ และผลการศึกษาเร่งด้านทานที่กระทำต่อใบมีดของรถไถพรวนขนาดเล็ก ซึ่งในที่นี้จะศึกษาทั้งขนาด ทิศทาง และแนวเร่งด้านทานที่กระทำต่อใบมีด และลักษณะการสั่นสะเทือนที่คันมือถือด้านซ้ายในทิศแนวตั้ง นอกจากนี้ยังศึกษาถึงผลของน้ำหนักถ่วงของรถไถพรวนต่อเร่งด้านทานที่กระทำต่อใบมีด และการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นด้วย โดยวิทยานิพนธ์นี้เริ่มจากการกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์ในบทที่ 1 ซึ่งชี้ให้เห็นถึงปัญหาที่เกิดขึ้นในการใช้รถไถพรวนทำงาน และความสำคัญที่จะต้องศึกษาถึงเร่งด้านทานและการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นของรถไถพรวน นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งตัวอย่างผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งมีการศึกษามาก่อนเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิทยานิพนธ์ต่อไป

เพื่อให้เข้าใจถึงการทำงานของรถไถพรวน และความรู้พื้นฐานในการทำวิทยานิพนธ์ ในบทที่ 2, 3 และ 4 จึงได้กล่าวถึงความรู้พื้นฐานทั้งหมดที่จำเป็นต้องใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ โดยในบทที่ 2 จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับรถไถพรวนทั้งวิธีการทำงาน ชนิดของใบมีดที่มีใช้ รวมทั้งทฤษฎีการหาขนาด ทิศทาง และแนวเร่งที่เร่งด้านทานรวมกระทำต่อใบมีด นอกจากนี้ยังได้กล่าวถึงหลักพลวัตของรถไถพรวนซึ่งเป็นหลักการสำคัญที่ใช้ในการศึกษานี้

ในบทที่ 3 กล่าวถึงวิธีการวัดแรงและโมเมนต์ด้วยเซนเซอร์ และได้กล่าวถึงหลักการของอุปกรณ์วัดแรง 2 มิติรูปตัว L ซึ่งเป็นอุปกรณ์สำคัญตัวหนึ่งซึ่งใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งแสดงถึงสมการที่ใช้ในการคำนวณหาแรงซึ่งวัดได้จากอุปกรณ์วัดแรง 2 มิติรูปตัว L ส่วนในบทที่ 4 นั้นจะกล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบสเปกตรัม (การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในโดเมนความถี่) ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในการทดลองนี้ สาเหตุที่เลือกใช้การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนแบบสเปกตรัมนั้นก็เนื่องจาก สัญญาณการสั่นสะเทือนในแบบโดเมนเวลานั้นมีความซับซ้อนมากทำให้วิเคราะห์ได้ลำบาก รวมทั้งการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมนั้นยังสามารถบ่งบอกได้ถึงสาเหตุของการสั่นสะเทือน ดังนั้นการวิเคราะห์แบบสเปกตรัมจึงมีความเหมาะสมมากกว่าในการทำวิทยานิพนธ์

ในบทที่ 5 กล่าวถึงการศึกษาความสัมพันธ์ของรถไถพรวนสภาพสันอย่างอิสระ ซึ่งเป็นการศึกษาที่ผู้วิจัยทำร่วมกับนิสิตปริญญาตรีในปีการศึกษา 2542 ซึ่งการศึกษานี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ 1 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และสมการคณิตศาสตร์เพื่อแสดงลักษณะการสันสะท้อนของรถไถพรวนดินสภาพสันอย่างอิสระ และส่วนที่ 2 การทดลองเพื่อวัดการสันสะท้อนของรถไถพรวนดินสภาพสันอย่างอิสระ ซึ่งผลการศึกษาในส่วนที่ 2 นี้จะนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองของวิทยานิพนธ์นี้ต่อไป

หลังจากได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่จำเป็นต้องใช้ในการทำวิทยานิพนธ์แล้ว ในบทที่ 6 ได้กล่าวถึงวิธีการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วยแนวคิดในการออกแบบชุดทดลองเพื่อวัดแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีดและการสันสะท้อนของรถไถพรวน อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง วิธีการทดลอง และวิธีการคำนวณค่าต่างๆ

บทที่ 7 แสดงถึงผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองในส่วนของการหาแรงต้านทานการไถพรวนที่กระทำต่อใบมีด และผลการทดลองในส่วนของการวัดการสันสะท้อนที่คันมือถือด้านซ้าย ซึ่งผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลองทั้ง 2 ส่วนสามารถสรุปได้ดังนี้

ผลการทดลองในส่วนของการหาแรงต้านทานการไถพรวนที่กระทำต่อใบมีด

1. การเปลี่ยนความเร็วรอบล้อพรวนส่งผลให้แรงยกจากการไถพรวนมีขนาดลดลง ส่วนค่าอื่นๆ ได้แก่ แรงดันจากการไถพรวน แรงต้านทานรวม มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับ และสัมประสิทธิ์การตะกรุยค่าที่วัดได้มีการกระจายสูงมาก ทำให้ไม่สามารถบ่งบอกแนวโน้มได้ชัดเจน
2. การถ่วงน้ำหนักด้านหน้าทำให้แรงยกจากการไถพรวนมีขนาดเพิ่มขึ้น แต่แทบไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงดันจากการไถพรวน นอกจากนี้การถ่วงน้ำหนักด้านหน้ายังทำให้มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนสัมประสิทธิ์การตะกรุยจะมีค่าลดลง
3. การถ่วงน้ำหนักด้านหลังทำให้แรงยกจากการไถพรวนมีขนาดลดลง แต่กลับทำให้แรงดันจากการไถพรวนมีขนาดเพิ่มขึ้น ส่วนแรงต้านทานรวมนั้นมีขนาดใกล้เคียงกันไม่ว่าจะถ่วงน้ำหนักด้านหลังเท่าใดก็ตาม นอกจากนี้การถ่วงน้ำหนักด้านหลังยังทำให้มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำกับแนวระดับมีค่าลดลง และทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การตะกรุยมีค่ามากขึ้น
4. แนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อชุดใบมีดส่วนใหญ่จะกระทำที่บริเวณปลายใบมีด หรืออยู่ภายในหรือภายนอกวงกลมที่เกิดจากการหมุนปลายใบมีดเล็กน้อย

5. การถ่วงน้ำหนักทั้งด้านหน้าและด้านหลังจะช่วยลดการสั่นสะเทือน และช่วยเพิ่มเสถียรภาพในการทำงานของรถไถพรวน

ผลการทดลองในส่วนของการวัดการสั่นสะเทือนที่คันมือถือด้านซ้าย

1. ความถี่ที่มีการสั่นสะเทือนสูงที่สุดจะเกิดที่ความถี่ใกล้เคียงกับความเร็วรอบเครื่องยนต์หรือสองเท่าของความเร็วรอบเครื่องยนต์ แสดงให้เห็นว่าเครื่องยนต์เป็นสาเหตุสำคัญต่อการสั่นสะเทือนที่คันมือถือด้านซ้ายของรถไถพรวน
2. เมื่อเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์หรือเกียร์ความเร็ว ขนาดการสั่นสะเทือนจะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากการเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์หรือเกียร์ความเร็วจะส่งผลให้ความเร็วรอบเพลลาไบมีดเพิ่มขึ้น แรงแยกจากการไถพรวนจึงลดลง ขนาดการสั่นสะเทือนจึงมีแนวโน้มลดลง
3. การทดลองพรวนทรายที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์และเกียร์ความเร็วต่าง ๆ พบว่าความถี่ที่เกิดการสั่นสะเทือนมากไม่ได้มีเพียงความถี่ที่ตรงกับความเร็วรอบเครื่องยนต์หรือสองเท่าของความเร็วรอบเครื่องยนต์เท่านั้น
4. การสั่นสะเทือนขนาดพรวนทรายจะมีขนาดมากกว่าการสั่นสะเทือนสภาพสั่นอย่างอิสระ
5. สัญญาณการสั่นสะเทือนขณะถ่วงน้ำหนักด้านหน้าและถ่วงน้ำหนักด้านหลังทุกค่าน้ำหนักถ่วงมีลักษณะการสั่นสะเทือนคล้ายคลึงกัน
6. การถ่วงน้ำหนักรถไถพรวนดินช่วยให้ขนาดการสั่นสะเทือนลดลงอย่างมาก โดยกรณีถ่วงน้ำหนักด้านหน้า น้ำหนักถ่วง 15 kgf จะทำให้การสั่นสะเทือนมีขนาดน้อยที่สุด ส่วนกรณีถ่วงน้ำหนักด้านหลัง น้ำหนักถ่วง 5 kgf จะทำให้การสั่นสะเทือนมีขนาดน้อยที่สุด
7. การสั่นสะเทือนเกือบทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์และเกียร์ความเร็วจะเกินกว่าขีดจำกัดการรับการสั่นสะเทือนที่ 8 ชั่วโมง ยกเว้นที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 rpm เกียร์ 1 และที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 rpm เกียร์ 2 ซึ่งขนาดการสั่นสะเทือนน้อยกว่าขีดจำกัดการรับการสั่นสะเทือนที่ 8 ชั่วโมงเล็กน้อย
8. การถ่วงน้ำหนักด้านหน้าถึงแม้ว่าจะลดขนาดการสั่นสะเทือนได้มาก แต่ก็ยังมีบางความถี่ซึ่งขนาดการสั่นสะเทือนยังคงเกินกว่าขีดจำกัดการรับการสั่นสะเทือนที่ 8 ชั่วโมงอยู่ ส่วนการถ่วงน้ำหนักด้านหลังนั้นขนาดการสั่นสะเทือนทุกความถี่จะน้อยกว่าขีดจำกัดการรับการสั่นสะเทือนที่ 8 ชั่วโมงหรือมีขนาดใกล้เคียงกับขีดจำกัดการรับการสั่นสะเทือนที่ 8 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่าการถ่วงน้ำหนักด้านหลังช่วยลดขนาดการสั่นสะเทือนได้ดีกว่าการถ่วงน้ำหนักด้านหน้า

9. ถ้าเป็นไปได้ ควรลดเวลาที่ใช้งานรถไถพรวนดินลงจาก 8 ชั่วโมงให้เหลือเพียง 4 ชั่วโมงหรือน้อยกว่า จะทำให้ผลของการสันตะเทือนที่กระทบต่อผู้ใช้งานลดความอันตรายลงได้อย่างมาก

จากผลการทดลองทั้งหมดพบว่า น้ำหนักและตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถไถพรวนมีผลมากต่อเสถียรภาพในการทำงานของรถไถพรวน การถ่วงน้ำหนักด้านหน้าในการทดลองนี้อาจเปรียบเสมือนกับการเพิ่มการเพิ่มน้ำหนักรถไถพรวน และเลื่อนตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถไถพรวนดินมาอยู่ด้านหน้า ส่วนการถ่วงน้ำหนักด้านหลังก็เปรียบเสมือนกับการเพิ่มน้ำหนักรถไถพรวน และเลื่อนตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถไถพรวนไปยังด้านหลัง ซึ่งจากผลการทดลองจะพบว่าตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงที่เหมาะสมของรถไถพรวนดินในการทดลองนี้ ควรจะค่อนข้างทางด้านหลังเล็กน้อย โดยอยู่ระหว่างเพลาล้อของล้อพรวน กับล้อหลังของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L (หรือคือสกีหลังในรถไถพรวนดินทั่วไป) เนื่องจากจุดศูนย์ถ่วงที่ค่อนข้างทางด้านหลังนี้จะช่วยลดขนาดการสันตะเทือนของรถไถพรวน เพิ่มเสถียรภาพในการทำงานและเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การตะกรุย หลักการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบรถไถพรวนที่เหมาะสมในการทำงานได้

8.2 ปัญหาที่พบในการทำวิทยานิพนธ์

1. ปัญหาด้านสถานที่ในการทดลอง

ปัญหาด้านสถานที่ในการทดลองเป็นปัญหาที่สำคัญที่สุดที่ผู้วิจัยพบในการทำวิทยานิพนธ์ เนื่องจากสถานที่ในการทดลองจำกัด ดังนั้นขนาดกระบะทรายที่สามารถสร้างได้จึงมีขนาดเล็ก ทำให้รถไถพรวนสามารถเคลื่อนที่พรวนทรายได้ประมาณ 2 เมตรเท่านั้น ซึ่งการที่ระยะทางในการพรวนน้อยส่งผลให้เวลาที่ใช้ในการทดลองเก็บข้อมูลน้อย จำนวนข้อมูลที่เก็บได้จึงน้อยไปด้วย ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลทำได้ยากและมีการผิดพลาดเกิดขึ้นได้มากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์และเกียร์ความเร็วสูงๆ

2. ปัญหาด้านเครื่องมือวัด

2.1 เครื่องวัดการสันตะเทือนที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้คือเครื่อง Microlog data collector เนื่องจากว่าเครื่องมือนี้ต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของการสันตะเทือนและการแปลงสัญญาณเป็นโดเมนความถี่ค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงมีปัญหาในการวัดการสันตะเทือนเกิดขึ้น เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการทดลองนี้ถูกจำกัดด้วยขนาดของกระบะทรายและความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถไถพรวน ดังนั้นผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องลดความละเอียดและช่วงในการวัดการสันตะเทือนลงเพื่อให้เวลาที่ต้องใช้ในการเก็บสัญญาณพอดีกับเวลาที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งการทำเช่นนี้ทำให้ได้ค่าที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูลไม่สมบูรณ์ การวิเคราะห์จึงไม่สมบูรณ์ตามไปด้วย

2.2 เครื่อง Strain amplifier ที่ใช้ในการทดลองมีความไวต่อสัญญาณรบกวนมาก และยังสามารถปรับศูนย์ได้ยาก ทำให้อาจเกิดความผิดพลาดในการวัดการสัญญาณจากเสตเรนเกจได้

2.3 เครื่อง Data logger ที่ใช้เก็บสัญญาณนั้นมีความเร็วในการเก็บสัญญาณไม่มากนัก โดยสามารถบันทึกค่าได้เพียงวินาทีละ 1 ชุดทดลอง (3 ค่า) เท่านั้น ดังนั้นในกรณีทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์และเกียร์ความเร็วสูงๆ จึงบันทึกค่าได้เพียงไม่กี่ค่า ทำให้การวิเคราะห์ข้อมูลทำได้ลำบาก

3. ปัญหาในการเตรียมการทดลอง

เมื่อทดลองในแต่ละครั้งเสร็จเรียบร้อยแล้ว ต้องทำการเตรียมทราयीในการทดลองใหม่ทุกครั้ง ซึ่งการอัดทราयीในแต่ละครั้งให้มีความแน่นของทราयीสม่ำเสมอตลอดกระบะทราयी และแน่นเท่ากันทุกครั้งนั้นทำได้ยาก ดังนั้นการอัดทราयीแต่ละครั้งจึงอาจมีความแน่นไม่สม่ำเสมอหรือแน่นไม่เท่ากันทุกครั้ง แต่อย่างไรก็ตามผู้วิจัยพยายามอย่างเต็มที่ที่จะอัดทราयीให้มีความแน่นของทราयीแต่ละครั้งสม่ำเสมอกันที่สุดและมีความแน่นใกล้เคียงกันทุกครั้งมากที่สุด โดยพยายามวัดความแน่นของทราयीในขณะที่อัดทราयीบ่อยๆ และวัดที่หลายๆ ตำแหน่งเพื่อให้ค่าความแน่นของทราयीสม่ำเสมอและใกล้เคียงกันทุกครั้ง

8.3 ข้อเสนอแนะ

1. จากปัญหาที่กล่าวถึงในหัวข้อที่แล้วพบว่าปัญหาที่สำคัญที่สุดคือ ขนาดของกระบะทราयीสั้นเกินไป ทำให้เวลาที่ใช้ในการทดลองน้อย จึงเก็บค่าข้อมูลได้น้อย วิธีแก้ไขคือควรเพิ่มขนาดกระบะทราयीให้ยาวขึ้น ทำให้เวลาในการเก็บข้อมูลมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ข้อมูลที่ได้รับความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น
2. เนื่องจากในการศึกษานี้ได้ใช้จุดที่ทำการศึกษาน้อย คือศึกษาที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200, 3400 และ 3600 rpm และเกียร์ความเร็ว 1, 2 และ 3 เท่านั้น ทำให้ข้อมูลในบางกรณีไม่อาจบ่งบอกแนวโน้มได้ชัดเจน ดังนั้นในการศึกษาต่อไปจึงควรเพิ่มจุดที่ทำการศึกษามากยิ่งขึ้นเพื่อจะได้เห็นแนวโน้มต่างๆ ได้ดียิ่งขึ้น
3. ในการทดลองได้ใช้ทราयीในการทดลองเนื่องจาก ทราयीมีเนื้อสม่ำเสมอและสามารถอัดได้ง่ายและรวดเร็ว แต่สำหรับการใช้งานจริงแล้วรถไถพรวนจะใช้พรวนในดิน ดังนั้นในการศึกษาต่อไปจึงควรทดลองพรวนในดินชนิดต่างๆ เพื่อที่จะค่าที่ได้จะได้สามารถนำไปเปรียบเทียบกับการทำงานจริงได้โดยตรง
4. ควรมีการวัดกำลังออกของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงกำลังออกของเครื่องยนต์จริงที่จำเป็นต้องใช้ในการไถพรวน ทำให้สามารถเลือกขนาดเครื่องยนต์ให้เหมาะสมกับสภาพการทำงานมากยิ่งขึ้น

5. ควรมีการวัดแรงบิดที่เพลาล้อของรถไถพรวนเพื่อจะได้นำค่าแรงบิดที่วัดได้ไปคำนวณหาขนาดแรงต้านทานการไถพรวนเพื่อเป็นการตรวจสอบอีกวิธีหนึ่ง
6. ควรมีการวัดสัญญาณการสั่นสะเทือนในโดเมนเวลาเพื่อที่จะได้สามารถเปรียบเทียบขนาดการสั่นสะเทือนรวมที่สภาวะต่างๆ ได้ถูกต้องยิ่งขึ้น
7. การปรับปรุงรถไถพรวนโดยการถ่วงน้ำหนักที่เหมาะสมให้รถไถพรวนนั้น เป็นเพียงวิธีหนึ่งในการลดการสั่นสะเทือนของรถไถพรวนเท่านั้น ยังมีวิธีอื่นๆ อีกที่อาจใช้ในการลดการสั่นสะเทือนของรถไถพรวนได้ เช่น การประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ในทิศทางที่ทำให้พลังงานการสั่นสะเทือนถ่ายเทผ่านจุดเชื่อมต่อลดลง การใช้ตัวหน่วงเพื่อดูดซับพลังงานการสั่นสะเทือน และเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานความร้อนถ่ายเทสู่สิ่งแวดล้อม หรือการใช้สปริงเพื่อช่วยเก็บพลังงานส่วนใหญ่ที่เกิดจากการสั่นสะเทือนโดยจะส่งผ่านพลังงานเพียงส่วนน้อยเท่านั้น เป็นต้น



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. นัทธี พินิจรัตนพันธ์, พุทธิ เมฆธารา และ ชนัตต์ รัตนสุมาวงศ์. การศึกษาแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีดของรถไถพรวนดินขนาดเล็ก ส่วนที่ 1 การศึกษาความสัมพันธ์ของรถไถพรวนดินสภาพสัณฐานอย่างอิสระ. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 14. 2-3 พฤศจิกายน 2543 ณ โรงแรมโนโวเทล เชียงใหม่, หน้า 106-113.
2. สุรินทร์ พงศ์ศุภสมิทธิ์ และชนัตต์ รัตนสุมาวงศ์. การศึกษาแรงต้านทานที่กระทำต่อใบมีดของรถไถพรวนดินขนาดเล็ก. การประชุมวิชาการประจำปี 2544 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 25-26 มกราคม 2544 ณ โรงแรมเจริญธานี ปรีณเซสซอนแก่น, หน้า 11-19.
3. Bishwajit Majumder. Vibration and Noise Characteristics of A Thai Made Power Tiller. Master's Thesis; School of Environment, Resources and Development; Asian Institute of Technology, Bangkok, 1994.
4. Cyril M. HARRIS and Charles E. CREDE. Shock and Vibration Handbook. Second Edition. USA: McGraw-Hill, 1976.
5. International Organization for Standardization. Evaluation of human exposure to the whole-body vibration. ISO 2631, 1985.
6. Jan Md. Baloch, Sheruddin B. Bukhari, A.Q.A. Maghal and Imam Bux koondhar. Experimental Co-efficients of Power Tiller Blades. Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America. Vol.18; No.14, 1987.
7. Joseph Edward Shigley and John Joseph Uicker, JR.. Theory of Machines and Mechanisms. International Student Edition. Tokyo. Japan: McGraw-Hill, 1981.
8. Jun SAKAI. Two-Wheel Tractor Engineering for Asian Wet Land Farming. English-Japanese version: Tokyo: Shin-Norinsha, 1999.
9. Jun SAKAI. Engineering Characteristics of Rotary Tillage Resistances of Japanese Rotary Tillers with Tractors. The 8th Conference of the International Soil Tillage Research Organization (ISTRO). Germany, 1979.
10. Jun SAKAI. Theoretical Approach of the Hand Tractor of Rotary Tillage (1). Japan Agricultural Research Quarterly (JARQ). Vol.8; No.3: Tokyo. Japan, 1974.
11. Jun SAKAI and Cezar G. SALAS Sr. Graphical Studies on Resultant Forces of Rotor Tillage Resistances (Part 1). The Bulletin of the Faculty of Agriculture Mie University. No.54, March 1977, pp. 223-258.

12. Koichi HASHIGUCHI, Jun SAKAI, Shoichiro YAMANAKA and Koichi IWASAKI.
Development of The Measuring Device for Six Components of Rotary Tillage Resistance and Analysis of Torque Waves. (n.p.), 1995.
13. Mingzhu LI, Isao TAJIRI, Kunio SATO, Tsutomu ISA and Shun-Ichi HATA.
Development of L-Shaped Six Component Force Transducer. Annals of the Institute of Tractor Research and Testing; Mie University. No.5, July 1981.
14. Sohne, W. Einfluss von Form und Anordnung der Werkzeuge auf die Antriebsmomente von Ackerfrasen. Grundlg. D. Landtechn., Heft 9, 1957.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

1. ก่อเกียรติ บุญชูกุล, สมศักดิ์ ไชยะภินันท์ และ ชัยโรจน์ คุณพนิชกิจ. การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน. พิมพ์ครั้งที่ 1: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 1997.
2. บริษัท เอเชียฮอนด้ามอเตอร์. คู่มือการใช้รถไถพรวนดิน FA 500, 1999.
3. สุรินทร์ พงศ์สุภสมิทธิ. วิศวกรรมรถไถเดินตาม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 1996.
4. สุรินทร์ พงศ์สุภสมิทธิ. ระบบแทรกเตอร์และการออกแบบเพื่อการเกษตร, 1983.
5. Jun SAKAI และ สุรินทร์ พงศ์สุภสมิทธิ. หลักการทำนาแบบครบวงจรในเอเชีย และ วิศวกรรมรถไถพรวนดินจอบหมุน, 1999.
6. A.P. Sharma and M.L. Jain. Vibration Control in Agricultural Machinery. Agricultural Mechanization in Asia Africa and Latin America. Vol.15 ; No.4, 1984, pp. 47-49.
7. Ernest O. Doebelin. Measurement Systems Application and Design. Fifth Edition. McGraw-Hill.
8. J.P. Holman. Experimental Methods for engineers. Fifth Edition. Singapore: McGraw-Hill, 1989.
9. Kyowa Electronic Instruments. Kyowa Strain Gage and Temperature Sensor Instruction Manual Revised.
10. Roberto DEBOLI and Sandro POTECCI. Laboratory analysis of hand Transmitted Vibrations Affecting the Operator of Walking Tractors, IAMC, 1991.
11. Tanya Niyamapa, Somyot Thampatpong, Chairat Rangdang and V.M. Salokhe. Laboratory Investigation on Design Parameters of Rotary Tiller. International Agricultural Engineering Conference, Bangkok Thailand, 6-9 December 1994, pp. 206-214.
12. William T. Thomson and Marie Dillon Dahleh. Theory of Vibration with Applications. Fifth Edition. USA: Prentice Hall, 1998.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

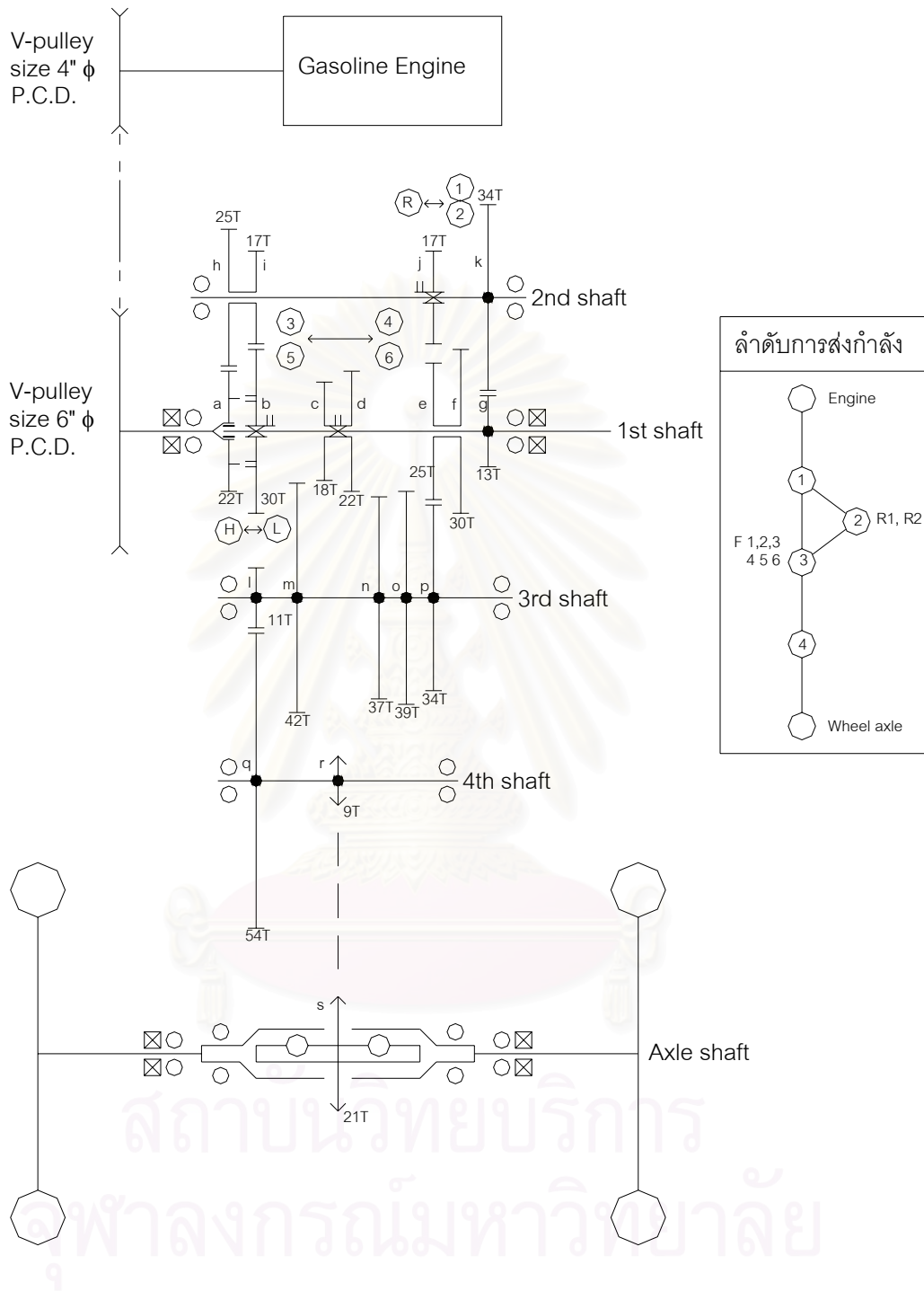
ภาคผนวก ก

ข้อมูลจำเพาะของรถไถพรวนที่ใช้ในการทดลอง

รถไถพรวนที่ใช้ในการทดลอง เป็นรถไถพรวนดินรุ่น FA500 ขนาด 5.2 hp ของบริษัท เอเซียฮอนด้ามอเตอร์ จำกัด ข้อมูลจำเพาะของรถไถพรวนรุ่นนี้แสดงดังตาราง ก1

ตาราง ก1 ข้อมูลจำเพาะของรถไถพรวน รุ่น FA500

เครื่องยนต์	ชนิด	G-200 QTH วาล์วข้าง 4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยอากาศ
	ปริมาตรกระบอกสูบ	197 ซีซี.
	แรงม้าสูงสุด	5.2 แรงม้า / 3600 รอบต่อนาที
	ลักษณะลูกสูบ	ลูกสูบตั้ง สูบเดี่ยว
	กระบอกสูบ x ช่วงชัก	67 x 56 ม.ม.
	อัตราส่วนแรงอัด	6.5
	ระบบจุดระเบิด	ทองขาว
	ระบบสตาร์ท	เชือกดึงสตาร์ท
	ความจุถังน้ำมัน	4.3 ลิตร
โครงรถ	ความยาว	1610 ม.ม.
	ความกว้าง	650 ม.ม.
	ความสูง	750 – 1070 ม.ม.
	ขนาดของยาง	5.00 – 10
ระบบเกียร์	เดินหน้า	6 เกียร์
	ถอยหลัง	2 เกียร์
	คลัตช์หลัก	ลูกกลิ้งกดสายพาน
	คลัตช์เลี้ยว	ด็อกคลัตช์
	ความเร็ว	0.27 – 2.07 ม./วินาที
น้ำหนักสุทธิ	73 กิโลกรัม	



รูปที่ ก1 แผนผังเฟืองระบบส่งกำลังของรถจักรยานยนต์

อัตราทดของระบบส่งกำลังที่เกียร์ความเร็วต่างๆ เป็นดังนี้

$$\text{เกียร์ 1 (F1)} : \frac{4}{6} \times \frac{22}{25} \times \frac{17}{30} \times \frac{13}{34} \times \frac{17}{30} \times \frac{25}{34} \times \frac{11}{54} \times \frac{9}{21} = 4.624 \times 10^{-3}$$

$$\text{เกียร์ 2 (F2)} : \frac{4}{6} \times \frac{13}{34} \times \frac{17}{30} \times \frac{25}{34} \times \frac{11}{54} \times \frac{9}{21} = 9.272 \times 10^{-3}$$

$$\text{เกียร์ 3 (F3)} : \frac{4}{6} \times \frac{22}{25} \times \frac{17}{30} \times \frac{18}{42} \times \frac{11}{54} \times \frac{9}{21} = 0.0124$$

$$\text{เกียร์ 4 (F4)} : \frac{4}{6} \times \frac{22}{25} \times \frac{17}{30} \times \frac{22}{37} \times \frac{11}{54} \times \frac{9}{21} = 0.0173$$

$$\text{เกียร์ 5 (F5)} : \frac{4}{6} \times \frac{18}{42} \times \frac{11}{54} \times \frac{9}{21} = 0.0249$$

$$\text{เกียร์ 6 (F6)} : \frac{4}{6} \times \frac{22}{37} \times \frac{11}{54} \times \frac{9}{21} = 0.0346$$

$$\text{เกียร์ถอย 1 (R1)} : \frac{4}{6} \times \frac{22}{25} \times \frac{17}{30} \times \frac{13}{34} \times \frac{17}{39} \times \frac{11}{54} \times \frac{9}{21} = 0.0048$$

$$\text{เกียร์ถอย 2 (R2)} : \frac{4}{6} \times \frac{13}{34} \times \frac{17}{39} \times \frac{11}{54} \times \frac{9}{21} = 0.0097$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

รูปชุดทดลอง

1. กระบะทราย

ขนาดกระบะทราย	1.4 x 3.5 x 0.4 m
ระยะเคลื่อนที่กระบะทราย	2 m



รูปที่ ข1 กระบะทรายที่ใช้ในการทดลอง

2. ชุดถ่วงน้ำหนักหน้า

ชุดถ่วงน้ำหนักหน้าประกอบด้วยส่วนที่ยึดชุดถ่วงน้ำหนักเข้ากับแท่นเครื่องยนต์ และ ส่วนของกล่องใส่น้ำหนักถ่วง โดยขนาดของกล่องใส่น้ำหนักถ่วงคือ 30 x 50 x 16.5 cm

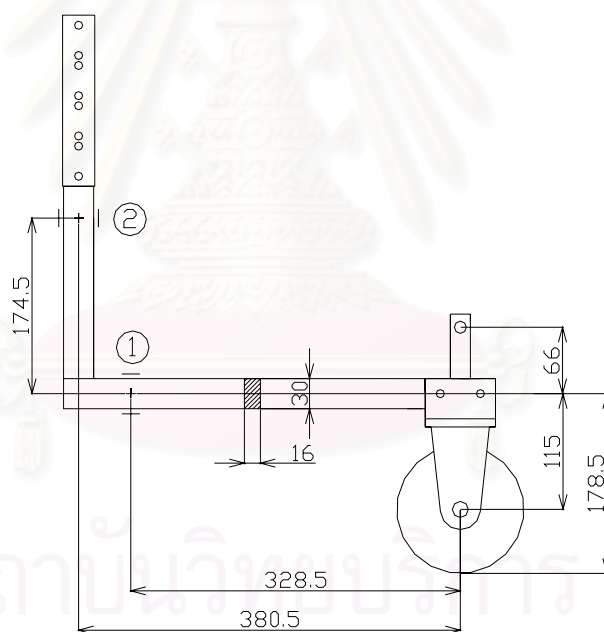


รูปที่ ข2 รถไถพรวนติดชุดถ่วงน้ำหนักหน้า

3. อุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L



รูปที่ ข3 อุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L



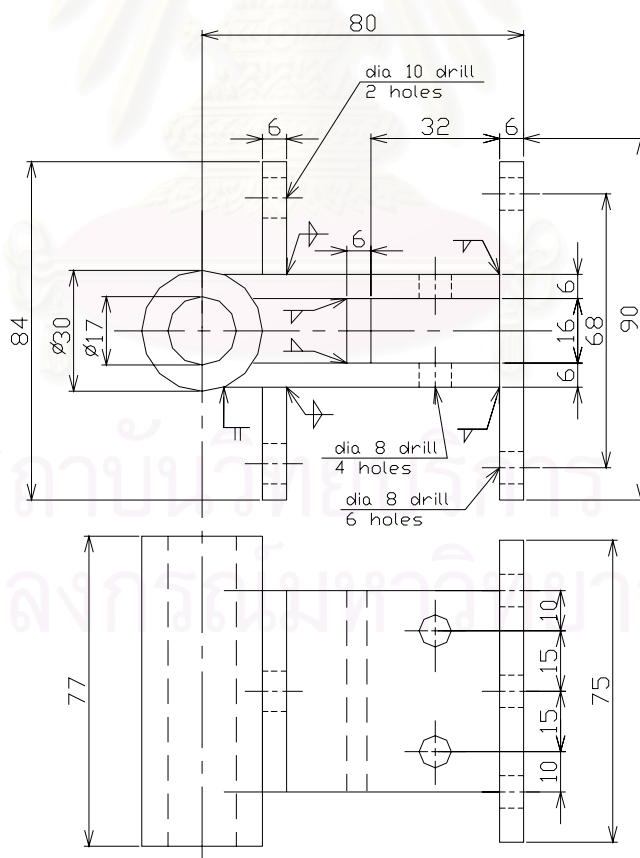
รูปที่ ข4 ขนาดของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L

4. ข้อต่ออุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L

อุปกรณ์นี้ใช้ข้อต่ออุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L เข้ากับชุดควบคุมแรงกดที่กระทำต่อล้อหลัง และรถไถพรวน



รูปที่ ข5 ข้อต่ออุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L

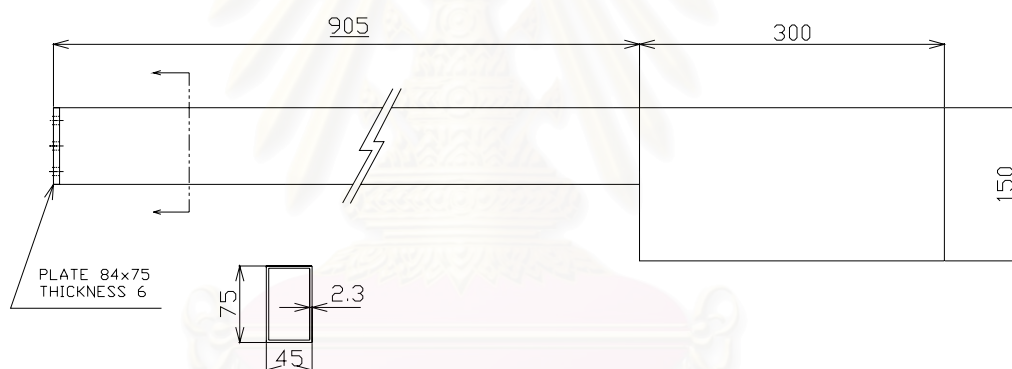


รูปที่ ข6 ขนาดของข้อต่ออุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L

5. ชุดควบคุมแรงกดที่กระทำต่อล้อหลัง



รูปที่ ข7 ชุดควบคุมแรงกดที่กระทำต่อล้อหลัง



รูปที่ ข8 ขนาดชุดควบคุมแรงกดที่กระทำต่อล้อหลัง

เมื่อประกอบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ขั้วต่ออุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L และชุดควบคุมแรงกดที่กระทำต่อล้อหลังเข้าด้วยกัน จะได้ชุดถ่วงน้ำหนักหลัง ดังแสดงในรูปที่ ข9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข9 ชุดถ่วงน้ำหนักหลัง

6. ต้มน้ำหนักมาตรฐานและที่แขวนต้มน้ำหนัก



รูปที่ ข10 ต้มน้ำหนักมาตรฐาน



รูปที่ ข11 ที่แขวนตม้ น้ำหนัก



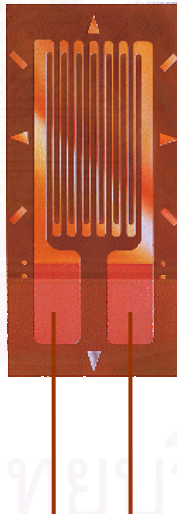
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

รายละเอียดเครื่องมือวัดและอุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในการทดลอง

1. Strain Gage

Brand	KYOWA
Type	KFG-5-120-C1-11L1M2R
Temperature compensation for	Steel
Gage length	5 mm.
Gage resistance (24°C, 50% RH)	119.6 ± 0.4 Ohm
Gage factor	2.11 ± 1.0%
Adaptable thermal expansion	11.7 ppm / °C
Transverse sensitivity (24°C, 50% RH)	0.40%



รูปที่ ค1 สเตรนเกจที่ใช้ในการทดลอง

2. Strain amplifier (ใช้กับ Strain gage ตำแหน่งที่ 1)

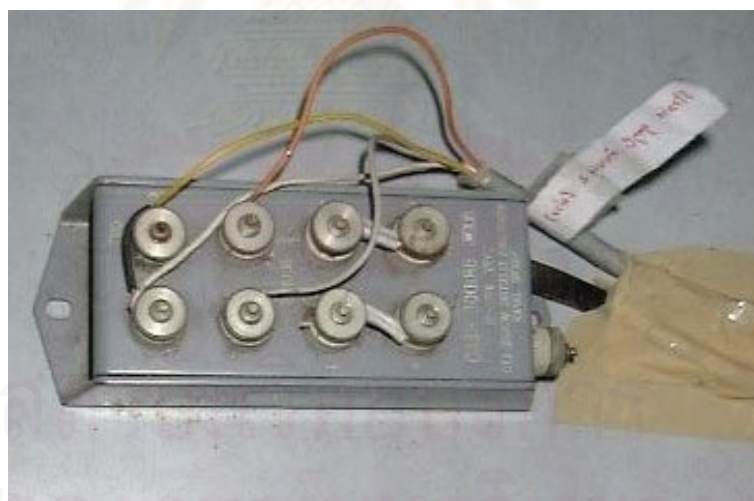
Brand	ShinKoh
Model	6003 - F
No.	24 ME 023



รูปที่ ค2 Strain amplifier ที่ใช้กับ Strain gage ตำแหน่งที่ 1

3. Bridge box (ใช้กับ Strain gage ตำแหน่งที่ 1)

Brand	Yocogawa Electric Works, Ltd.
Type	3199 – 01
No.	73 E 0080



รูปที่ ค3 Bridge box ที่ใช้กับ Strain gage ตำแหน่ง 1

4. Strain amplifier (ใช้กับ Strain gage ตำแหน่งที่ 2)

Brand	Tokyo Sokki Kenkyujo Co, Ltd.
Model	DC – 1 AF 8506
No.	006237



รูปที่ ค4 Strain amplifier ที่ใช้กับ Strain gage ตำแหน่ง 2

5. **Bridge box** (ใช้กับ Strain gage ตำแหน่งที่ 2)

Brand	Tokyo Sokki KenKyujo Co, Ltd.
Type	SB 120 B



รูปที่ ค5 Bridge box ที่ใช้กับ Strain amplifier ตำแหน่ง 2

6. **Load cell**

Brand	Kyowa Electronic Instruments Co, Ltd.
Type	LUH – 1TE
Serial no.	CE 2398
Capacity	1 Tf



รูปที่ ๓6 Load cell

7. Strain amplifier (ใช้กับ Load cell)

Brand	Kyowa Electronic Instruments Co, Ltd.
Model	DPM – 310A
Type	LUH – 1TE
Serial no.	CE 2398
No.	HA 2112



รูปที่ ๓7 Strain amplifier ที่ใช้กับ Load cell

8. Bridge box (ใช้กับ Load cell)

Brand	Kyowa Electronic Instruments Co, Ltd.
Type	DB120



รูปที่ ๘ Bridge box ที่ใช้กับ Load cell

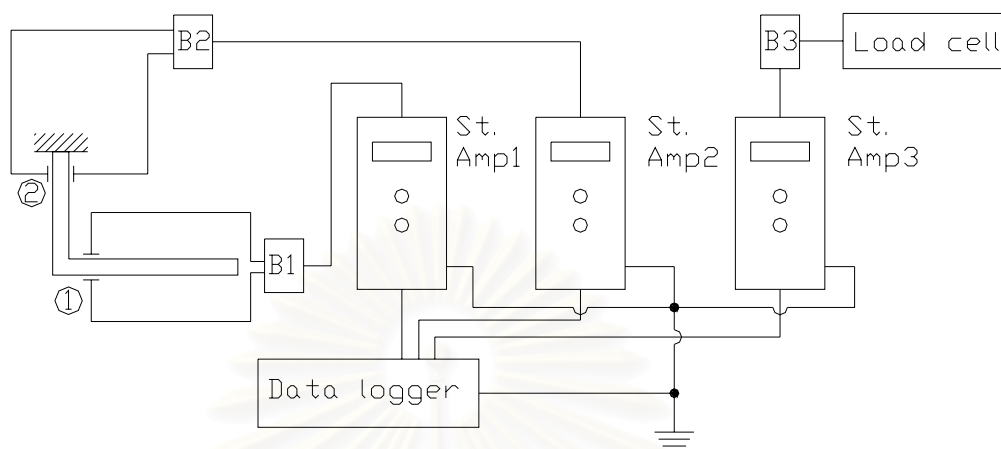
9. Data logger

Brand	FLUKE
Model	FLUKE 2635 A
Serial no.	5892352
No.	37 ME 025



รูปที่ ๙ Data logger

อุปกรณ์หมายเลข 1 ถึง 9 จะนำมาต่อกันเพื่อวัดขนาดแรงต้านทานที่กระทำต่อล้อหลังของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L และแรงดึงจาก Load cell แผนภาพการต่ออุปกรณ์ต่างๆ แสดงดังรูปที่ ค10



B = Bridge box
 1 = Strain gage at position 1
 2 = Strain gage at position 2
 St. Amp = Strain amplifier

รูปที่ ค10 แผนภาพการต่ออุปกรณ์ต่างๆ

10. เครื่องวัดการสั่นสะเทือน Microlog data collectors

Brand	SKF Condition Monitoring
Model	CMVA 10
No.	37 ME - PTT 23.1/1



รูปที่ ค11 เครื่องวัดการสั่นสะเทือน Microlog data collectors

11. Support module (ใช้ถ่ายข้อมูลจากเครื่องวัดการสั่นสะเทือนไปแสดงผลยังคอมพิวเตอร์)

Brand	SKF Condition Monitoring
Model	CMVA 6112



รูปที่ ๑12 เครื่อง Support module

12. เครื่องวัดความเร็วรอบ (Digital tachometer)

Brand	ONO SOKKI
Model	HT-431



รูปที่ ๑13 เครื่องวัดความเร็วรอบ (Digital tachometer)

13. เครื่องอัดทราย (Vibrating plate compactor)

Brand	Mikasa
Model	MVC 52H
Engine	3.5 P.S.



รูปที่ ค14 เครื่องอัดทราย

14. เครื่องวัดความแข็งทราย (Sand resistance tester)

พื้นที่หน้าตัดหัวเจาะ	2 cm ²
ช่วงการวัด	0~50 kgf



รูปที่ ค15 เครื่องวัดความแข็งทราย

ภาคผนวก ง

วิธีการเปรียบเทียบและผลการเปรียบเทียบเครื่องมือวัด

1. การเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

1. อุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L
2. ต้มน้ำหนักมาตรฐานขนาด 5, 8.5 และ 10 kg และที่แขวนต้มน้ำหนัก
3. เครื่อง Strain amplifier จำนวน 2 เครื่อง
4. สาย Bridge box จำนวน 2 สาย
5. Data logger จำนวน 1 เครื่อง
6. อุปกรณ์วัดมุม
7. นั่งร้านเหล็กและลวดสลิง

วิธีการเปรียบเทียบ

1. ประกอบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L เข้ากับรถไถพรวนเพื่อทำการถ่วงน้ำหนักดังรูปที่ ง1 โดยลักษณะการต่ออุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L นั้นจะต่อในลักษณะที่ เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L แล้วจะเกิดแรงในทิศทางเดียวกับแรงที่เกิดขึ้นจริงในขณะทำการทดลอง
2. ยกรถไถพรวนดินขึ้นบนกล่องไม้ และใช้ลวดสลิงผูกรถไถพรวนเข้ากับนั่งร้านเพื่อใช้ในการปรับมุมเอียงของการถ่วงน้ำหนัก ในครั้งแรงจะจัดให้อุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ทำมุม 0 องศา กับแนวระดับ ดังแสดงในรูปที่ ง1
3. ต่อสายสัญญาณสเตอรนเกจ ซึ่งติดอยู่กับอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L เข้ากับ Bridge box ซึ่งต่ออยู่กับเครื่อง Strain amplifier
4. ต่อสัญญาณจากเครื่อง Strain amplifier เข้ากับเครื่อง Data logger เพื่อบันทึกสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างการเปรียบเทียบ
5. ปรับค่าต่างๆ ของ Strain amplifier และทำการปรับศูนย์
6. แขนงต้มน้ำหนักเข้ากับอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L อ่านและบันทึกค่าสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก Data logger
7. เปลี่ยนน้ำหนักถ่วงโดยเพิ่มน้ำหนักถ่วงครั้งละ 5 kg จนถึง 80 kg พร้อมทั้งอ่านและบันทึกค่าสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก Data logger



รูปที่ ง1 การสอบเทียบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ขณะถ่วงน้ำหนัก
ที่ 0 องศา

8. เมื่อถ่วงน้ำหนักถึงค่าสูงสุดแล้ว ค่อยๆ ลดน้ำหนักลงครั้งละ 5 kg พร้อมทั้งอ่านและบันทึกค่าสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าจาก Data logger
9. นำค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้ขณะเพิ่มน้ำหนักและลดน้ำหนักที่ค่าน้ำหนักเดียวกัน มาหาค่าเฉลี่ย
10. คำนวณโมเมนต์ที่เกิดที่ตำแหน่งที่ติดสเตรนเกจ ขณะถ่วงน้ำหนักค่าต่างๆ
11. เปลี่ยนมุมเอียงของการถ่วงน้ำหนักอีก 5 มุม คือ 30, 45, 60, 135 และ 150 องศา และทำการเปรียบเทียบเช่นเดิม



รูปที่ ง2 การสอบเทียบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ขณะเปลี่ยน
มุมเอียงของการถ่วงน้ำหนัก

12. นำแรงเคลื่อนไฟฟ้าเฉลี่ยและโมเมนต์ที่เกิดที่ทุกตำแหน่งมุมเอียงของการถ่วงน้ำหนักมาเขียนกราฟ และหาสมการถดถอยเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับโมเมนต์ สมการที่ได้นี้จะนำไปใช้ในการคำนวณในการทดลองจริง

ผลการเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L แสดงดังตารางที่ ง1 ถึง ง6 และรูปที่ ง3 และรูปที่ ง4 ส่วนสมการถดถอยที่สร้างได้จากการเปรียบเทียบเป็นดังนี้

สมการถดถอยสำหรับสเตรนเกจที่ติดที่ตำแหน่งที่ 1

$$M_1 = 102.7E_1 - 0.0476 \quad (\text{ง1})$$

โดย E_1 = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จากสเตรนเกจซึ่งติดที่ตำแหน่งที่ 1 (V)
 M_1 = โมเมนต์ที่เกิดที่ตำแหน่งที่ 1 ของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L (N.m)

สมการถดถอยสำหรับสเตรนเกจที่ติดที่ตำแหน่งที่ 2

$$M_2 = 48.896E_2 - 0.6587 \quad (\text{ง2})$$

โดย E_2 = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จากสเตรนเกจซึ่งติดที่ตำแหน่งที่ 2 (V)
 M_2 = โมเมนต์ที่เกิดที่ตำแหน่งที่ 2 ของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L (N.m)

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง1 การปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ขณะถ่วงน้ำหนักทำมุมเอียงกับแนวระดับ 0 องศา

น้ำหนัก (Kg)	สเตรนเกจตำแหน่งที่ 1				สเตรนเกจตำแหน่งที่ 2			
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)			โมเมนต์ (N.m)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)			โมเมนต์ (N.m)
	วัดขณะเพิ่มน้ำหนัก	วัดขณะลดน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย		วัดขณะเพิ่มน้ำหนัก	วัดขณะลดน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย	
0	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.000
1.5	0.04	0.04	0.04	4.834	0.12	0.12	0.12	5.599
6.5	0.19	0.19	0.19	20.95	0.50	0.50	0.50	24.26
10	0.29	0.29	0.29	32.23	0.76	0.78	0.77	37.33
15	0.45	0.45	0.45	48.34	1.15	1.16	1.16	55.99
20	0.60	0.60	0.60	64.45	1.54	1.56	1.55	74.65
25	0.75	0.75	0.75	80.56	1.93	1.94	1.94	93.32
30	0.90	0.90	0.90	96.68	2.30	2.32	2.31	112.0
35	1.05	1.05	1.05	112.8	2.69	2.70	2.70	130.6
40	1.21	1.20	1.21	128.9	3.08	3.10	3.09	149.3
45	1.36	1.36	1.36	145.0	3.47	3.48	3.48	168.0
50	1.51	1.50	1.51	161.1	3.86	3.88	3.87	186.6
55	1.67	1.66	1.67	177.2	4.25	4.26	4.26	205.3
60	1.82	1.81	1.82	193.4	4.63	4.64	4.64	224.0
65	1.97	1.96	1.97	209.5	5.02	5.03	5.03	242.6
70	2.11	2.11	2.11	225.6	5.41	5.42	5.42	261.3
75	2.26	2.26	2.26	241.7	5.80	5.81	5.81	280.0

ตารางที่ ๒ การเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ขณะถ่วงน้ำหนักทำมุมเอียงกับแนวระดับ 30 องศา

น้ำหนัก (Kg)	สเตรนเกจตำแหน่งที่ 1				สเตรนเกจตำแหน่งที่ 2			
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)			โมเมนต์ (N.m)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)			โมเมนต์ (N.m)
	วัดขณะเพิ่มน้ำหนัก	วัดขณะลดน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย		วัดขณะเพิ่มน้ำหนัก	วัดขณะลดน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย	
0	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.000
1.5	0.04	0.04	0.04	3.701	0.14	0.14	0.14	5.648
6.5	0.17	0.17	0.17	16.04	0.52	0.52	0.52	24.47
10	0.25	0.26	0.26	24.67	0.78	0.78	0.78	37.65
15	0.38	0.38	0.38	37.01	1.18	1.18	1.18	56.48
20	0.50	0.50	0.50	49.34	1.57	1.57	1.57	75.30
25	0.63	0.63	0.63	61.68	1.97	1.98	1.98	94.13
30	0.75	0.75	0.75	74.02	2.36	2.36	2.36	113.0
35	0.88	0.89	0.89	86.35	2.75	2.75	2.75	131.8
40	1.00	1.00	1.00	98.69	3.15	3.15	3.15	150.6
45	1.13	1.13	1.13	111.0	3.55	3.55	3.55	169.4
50	1.26	1.26	1.26	123.4	3.95	3.95	3.95	188.3
55	1.39	1.39	1.39	135.7	4.34	4.34	4.34	207.1
60	1.53	1.53	1.53	148.0	4.73	4.74	4.74	225.9
65	1.65	1.66	1.66	160.4	5.11	5.11	5.11	244.7
70	1.77	1.77	1.77	172.7	5.54	5.55	5.55	263.6
75	1.89	1.89	1.89	185.0	5.87	5.88	5.88	282.4
80	2.01	2.01	2.01	197.4	6.28	6.28	6.28	301.2

ตารางที่ ง3 การเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ขณะถ่วงน้ำหนักทำมุมเอียงกับแนวระดับ 45 องศา

น้ำหนัก (Kg)	สเตรนเกจตำแหน่งที่ 1				สเตรนเกจตำแหน่งที่ 2			
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)			โมเมนต์ (N.m)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)			โมเมนต์ (N.m)
	วัดขณะเพิ่มน้ำหนัก	วัดขณะลดน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย		วัดขณะเพิ่มน้ำหนัก	วัดขณะลดน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย	
0	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.000
1.5	0.04	0.04	0.04	4.615	0.13	0.14	0.14	6.972
6.5	0.19	0.19	0.19	20.00	0.60	0.60	0.60	30.21
10	0.29	0.29	0.29	30.76	0.92	0.93	0.93	46.48
15	0.45	0.45	0.45	46.15	1.40	1.39	1.40	69.72
20	0.60	0.60	0.60	61.53	1.85	1.87	1.86	92.96
25	0.75	0.75	0.75	76.91	2.32	2.35	2.34	116.2
30	0.90	0.90	0.90	92.29	2.80	2.81	2.81	139.4
35	1.05	1.05	1.05	107.7	3.27	3.28	3.28	162.7
40	1.21	1.20	1.21	123.1	3.74	3.75	3.75	185.9
45	1.36	1.36	1.36	138.4	4.20	4.22	4.21	209.2
50	1.51	1.50	1.51	153.8	4.67	4.68	4.68	232.4
55	1.67	1.66	1.67	169.2	5.13	5.15	5.14	255.6
60	1.82	1.81	1.82	184.6	5.64	5.63	5.64	278.9
65	1.97	1.96	1.97	200.0	6.10	6.08	6.09	302.1
70	2.11	2.11	2.11	215.3	6.55	6.57	6.56	325.4
75	2.26	2.26	2.26	230.7	7.05	7.03	7.04	348.6
80	2.40	2.40	2.40	246.1	7.48	7.48	7.48	371.8

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ขณะถ่วงน้ำหนักทำมุมเอียงกับแนวระดับ 60 องศา

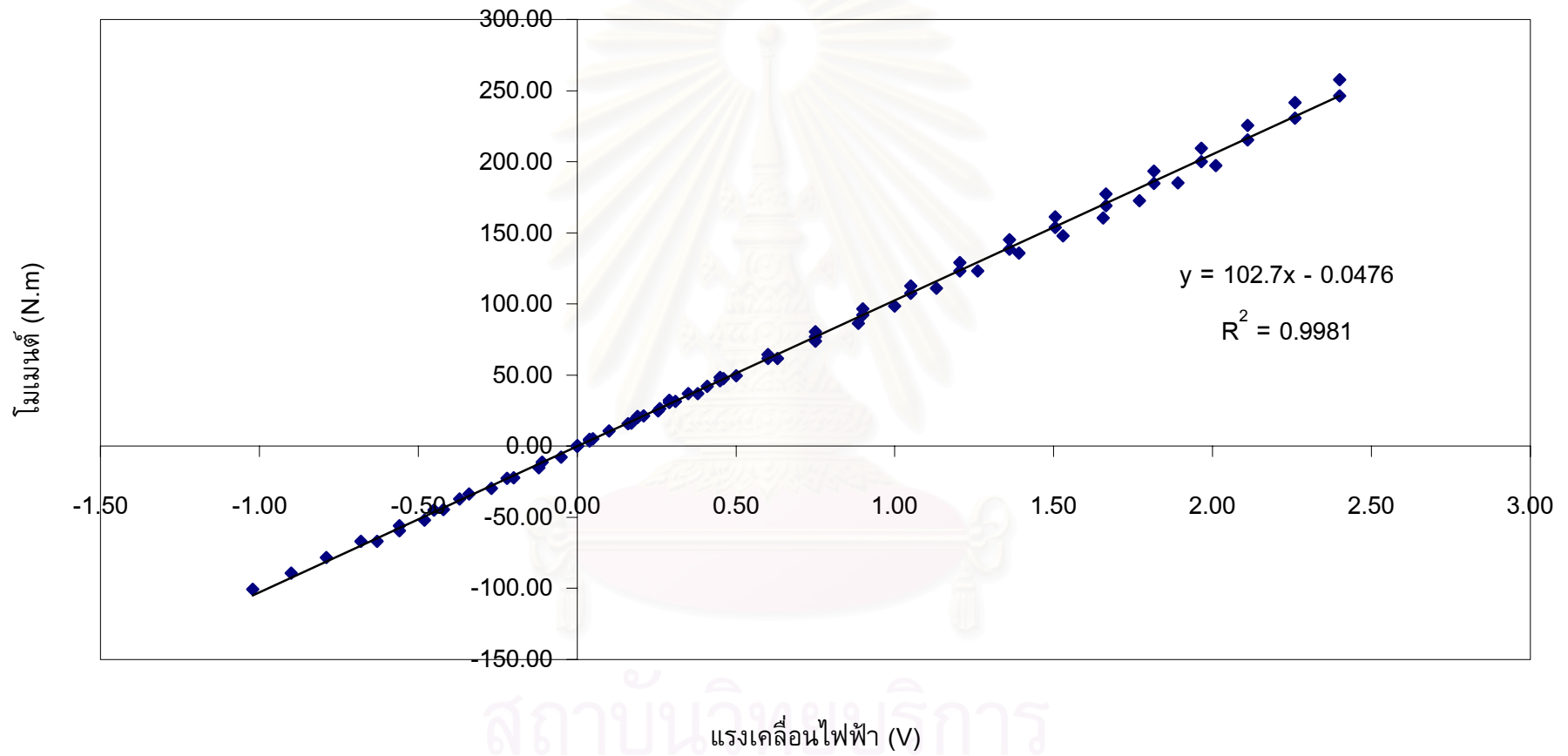
น้ำหนัก (Kg)	สเตรนเกจตำแหน่งที่ 1				สเตรนเกจตำแหน่งที่ 2			
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)			โมเมนต์ (N.m)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)			โมเมนต์ (N.m)
	วัดขณะเพิ่มน้ำหนัก	วัดขณะลดน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย		วัดขณะเพิ่มน้ำหนัก	วัดขณะลดน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย	
0	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.01	0.01	0.000
5.1	0.05	0.05	0.05	5.358	0.28	0.28	0.28	14.22
10.1	0.10	0.10	0.10	10.61	0.57	0.57	0.57	28.16
15.1	0.16	0.16	0.16	15.86	0.85	0.85	0.85	42.10
20.1	0.21	0.21	0.21	21.12	1.13	1.13	1.13	56.04
25.1	0.26	0.26	0.26	26.37	1.40	1.40	1.40	69.98
30.1	0.31	0.31	0.31	31.62	1.69	1.69	1.69	83.92
35.1	0.35	0.35	0.35	36.88	1.95	1.95	1.95	97.86
40.1	0.41	0.41	0.41	42.13	2.23	2.23	2.23	111.8
45.1	0.46	0.46	0.46	47.38	2.52	2.52	2.52	125.7

ตารางที่ ง6 การปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ขณะถ่วงน้ำหนักทำมุมเอียงกับแนวระดับ 150 องศา

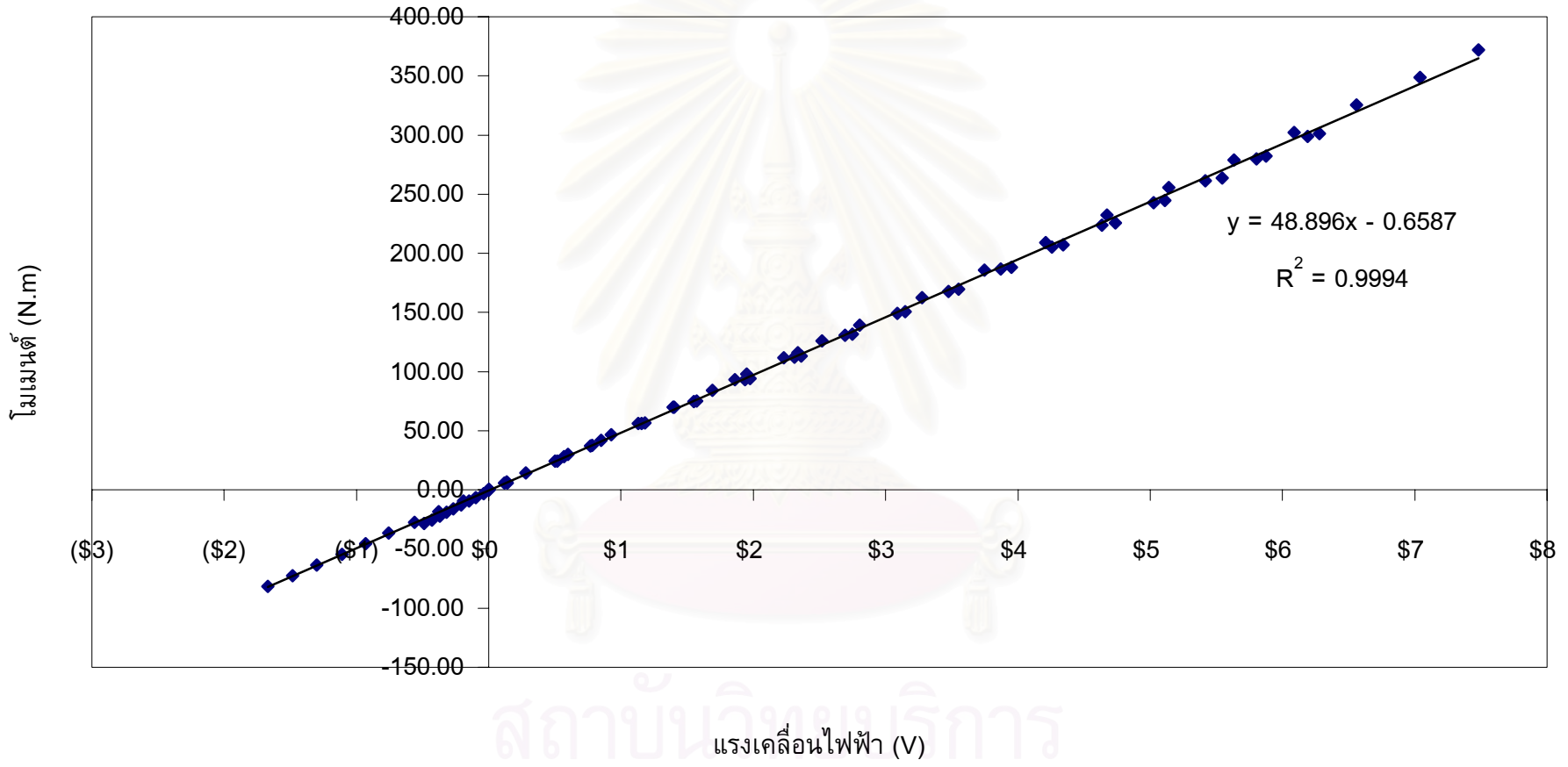
น้ำหนัก (Kg)	สเตรนเกจตำแหน่งที่ 1				สเตรนเกจตำแหน่งที่ 2			
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)			โมเมนต์ (N.m)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)			โมเมนต์ (N.m)
	วัดขณะเพิ่มน้ำหนัก	วัดขณะลดน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย		วัดขณะเพิ่มน้ำหนัก	วัดขณะลดน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย	
0	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.000
5.1	-0.11	-0.11	-0.11	-11.36	-0.19	-0.19	-0.19	-9.246
10.1	-0.22	-0.22	-0.22	-22.49	-0.38	-0.38	-0.38	-18.31
15.1	-0.34	-0.34	-0.34	-33.63	-0.56	-0.56	-0.56	-27.37
20.1	-0.45	-0.45	-0.45	-44.76	-0.75	-0.76	-0.76	-36.44
25.1	-0.56	-0.56	-0.56	-55.89	-0.93	-0.93	-0.93	-45.50
30.1	-0.68	-0.68	-0.68	-67.03	-1.11	-1.11	-1.11	-54.57
35.1	-0.79	-0.79	-0.79	-78.16	-1.30	-1.30	-1.30	-63.63
40.1	-0.90	-0.90	-0.90	-89.30	-1.49	-1.48	-1.49	-72.70
45.1	-1.02	-1.02	-1.02	-100.4	-1.67	-1.67	-1.67	-81.76

ตารางที่ ง5 การปรับเทียบอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L ขณะถ่วงน้ำหนักทำมุมเอียงกับแนวระดับ 135 องศา

น้ำหนัก (Kg)	สเตรนเกจตำแหน่งที่ 1				สเตรนเกจตำแหน่งที่ 2			
	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)			โมเมนต์ (N.m)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)			โมเมนต์ (N.m)
	วัดขณะเพิ่มน้ำหนัก	วัดขณะลดน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย		วัดขณะเพิ่มน้ำหนัก	วัดขณะลดน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย	
0	0.00	0.00	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.000
5.1	-0.05	-0.05	-0.05	-7.555	-0.04	-0.04	-0.04	-3.222
10.1	-0.12	-0.12	-0.12	-14.96	-0.10	-0.10	-0.10	-6.381
15.1	-0.20	-0.20	-0.20	-22.37	-0.15	-0.15	-0.15	-9.540
20.1	-0.27	-0.27	-0.27	-29.77	-0.21	-0.21	-0.21	-12.70
25.1	-0.37	-0.37	-0.37	-37.18	-0.27	-0.27	-0.27	-15.86
30.1	-0.42	-0.42	-0.42	-44.59	-0.32	-0.32	-0.32	-19.02
35.1	-0.48	-0.48	-0.48	-51.99	-0.37	-0.37	-0.37	-22.17
40.1	-0.56	-0.56	-0.56	-59.40	-0.43	-0.43	-0.43	-25.33
45.1	-0.63	-0.63	-0.63	-66.81	-0.49	-0.49	-0.49	-28.49



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับโมเมนต์ที่เกิดขึ้นที่เสตรนเกจ ตำแหน่งที่ 1



รูปที่ ง4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับโมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่งที่ 2

2. การเปรียบเทียบ Load Cell

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

1. Load cell
2. ต้มน้ำหนักขนาดมาตรฐานขนาด 2.5, 5 และ 10 kg พร้อมทั้งที่แขวนต้มน้ำหนัก
3. เครื่อง Strain amplifier จำนวน 1 เครื่อง
4. สาย Bridge box จำนวน 1 สาย
5. เครื่อง Data logger จำนวน 1 เครื่อง

วิธีการเปรียบเทียบ

1. แขวน Load cell ในแนวตั้งเพื่อเตรียมการถ่วงน้ำหนัก
2. ต่อสายสัญญาณจาก Load cell เข้ากับ Bridge box ซึ่งต่ออยู่กับเครื่อง Strain amplifier
3. ต่อสายสัญญาณออกจาก Strain amplifier เข้ากับเครื่อง Data logger เพื่อบันทึกสัญญาณแรงเคลื่อนไฟฟ้าระหว่างการเปรียบเทียบ
4. ปรับค่าต่างๆ ของ Strain amplifier และทำการปรับศูนย์
5. นำต้มน้ำหนักแขวนถ่วงที่ Load cell โดยเริ่มถ่วงน้ำหนักตั้งแต่ 2.5 kg และเพิ่มขึ้นทีละ 2.5 kg จนถึง 80 kg ขณะถ่วงน้ำหนักอ่านและบันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่อง Data logger
6. หลังจากถ่วงน้ำหนักจนถึงค่าสูงสุดแล้ว ค่อยๆ ลดน้ำหนักถ่วงลงทีละ 2.5 kg จนถึง 0 kg ขณะลดน้ำหนักถ่วง อ่านและบันทึกค่าแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่อง Data logger
7. หาค่าเฉลี่ยของแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่อ่านได้จากเครื่อง Data logger
8. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้าและน้ำหนักถ่วง พร้อมทั้งหาสมการถดถอยเพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าทั้งสอง สมการที่ได้นี้จะนำไปใช้ในการคำนวณในการทดลองจริง

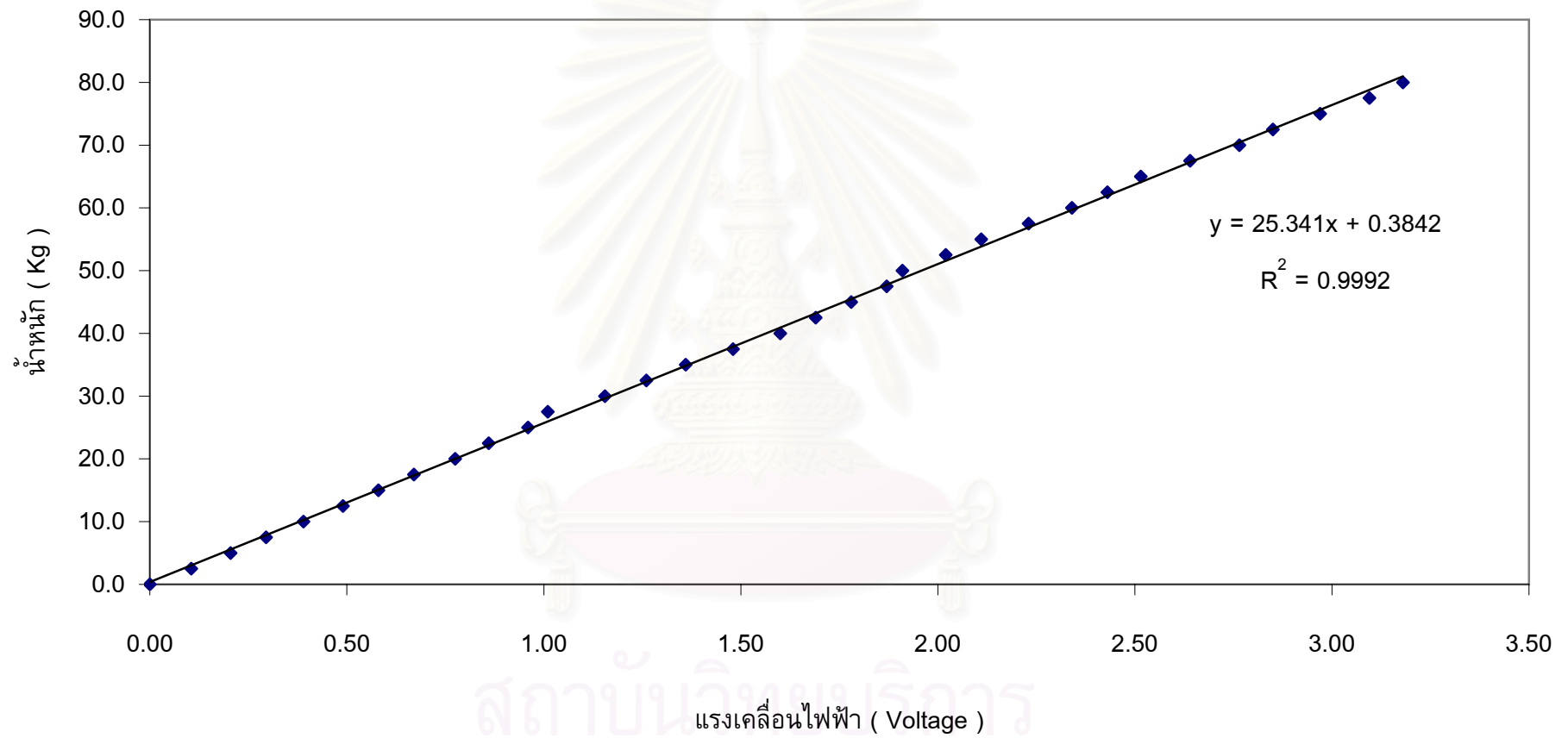
ผลการเปรียบเทียบ Load cell แสดงดังตารางที่ ง7 และรูปที่ ง5 จากผลการเปรียบเทียบจะได้สมการถดถอยเพื่อใช้ในการคำนวณจริงดังนี้

$$T = 25.341E_3 + 0.3842 \quad (\text{ง3})$$

โดย E_3 = แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จากอุปกรณ์วัดแรงดึง (V)
 T = ขนาดของแรงดึง (kg)

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบ Load cell

น้ำหนัก (kg)	แรงเคลื่อนไฟฟ้า (Voltage)		
	วัดขณะเพิ่มน้ำหนัก	วัดขณะลดน้ำหนัก	ค่าเฉลี่ย
0.0	0.00	0.00	0.00
2.5	0.10	0.11	0.11
5.0	0.20	0.21	0.21
7.5	0.29	0.30	0.30
10.0	0.39	0.39	0.39
12.5	0.49	0.49	0.49
15.0	0.58	0.58	0.58
17.5	0.67	0.67	0.67
20.0	0.77	0.78	0.78
22.5	0.86	0.86	0.86
25.0	0.96	0.96	0.96
27.5	1.01	1.01	1.01
30.0	1.15	1.16	1.16
32.5	1.26	1.26	1.26
35.0	1.36	1.36	1.36
37.5	1.49	1.47	1.48
40.0	1.60	1.60	1.60
42.5	1.69	1.69	1.69
45.0	1.78	1.78	1.78
47.5	1.87	1.87	1.87
50.0	1.91	1.91	1.91
52.5	2.02	2.02	2.02
55.0	2.11	2.11	2.11
57.5	2.22	2.24	2.23
60.0	2.34	2.34	2.34
62.5	2.43	2.43	2.43
65.0	2.51	2.52	2.52
67.5	2.64	2.64	2.64
70.0	2.76	2.77	2.77
72.5	2.85	2.85	2.85
75.0	2.97	2.97	2.97
77.5	3.09	3.10	3.10
80.0	3.18	3.18	3.18



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงเคลื่อนไฟฟ้ากับโมเมนต์ที่วัดได้จาก Load Cell

ภาคผนวก จ

การหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถไถพรวนติดชุดทดลอง

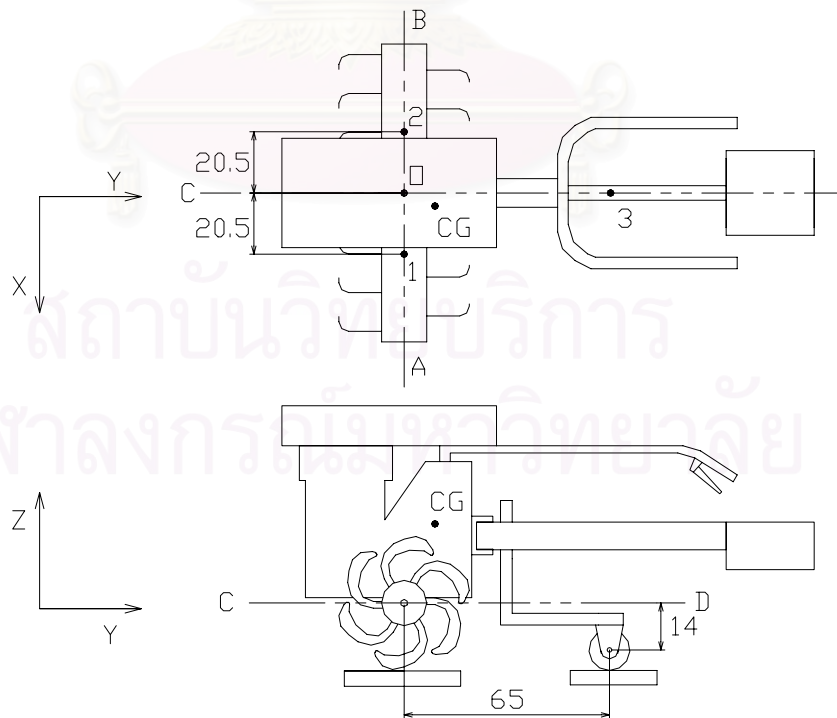
จุดศูนย์ถ่วงของรถไถพรวนขนาดเล็กคือ จุดที่น้ำหนักรวมทั้งหมดของตัวรถกระทำ ใน การศึกษาจำเป็นต้องหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถไถพรวนเพื่อนำไปใช้คำนวณหาแนวแรงที่ แรงต้านทานรวมกระทำต่อใบมีด วิธีการหาจุดศูนย์ถ่วงของรถนั้นโดยทั่วไปทำได้ 3 วิธีคือ

1. วิธีแขวน (Suspension method)
2. วิธีสมดุล (Balancing method)
3. วิธีชั่ง (Weighing method)

ในที่นี้จะใช้วิธีชั่ง เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายใช้อุปกรณ์เพียงเครื่องชั่งน้ำหนักเพียง 3 เครื่อง เท่านั้น นอกจากนี้วิธีชั่งยังสามารถหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงใน 3 มิติได้ด้วย

วิธีการหาตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วงของรถไถพรวนขนาดเล็กทำได้ดังนี้

1. กำหนดจุดอ้างอิงเพื่อใช้ในการคำนวณ ซึ่งในที่นี้จะใช้จุดกึ่งกลางของเพลาล้อเป็น จุดอ้างอิง $O(0,0,0)$



รูปที่ จ1 ระยะต่างๆ และตำแหน่งในการวางเครื่องชั่งน้ำหนัก

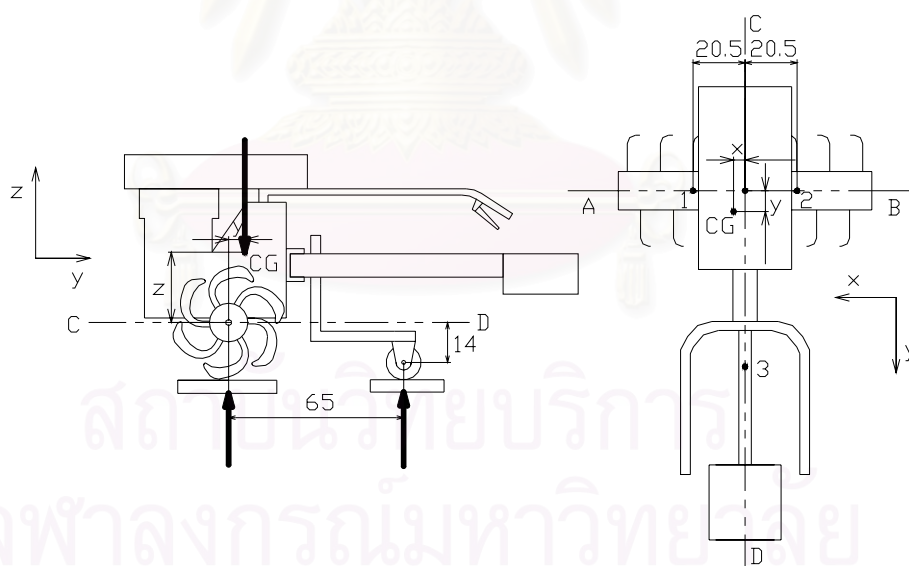
2. นำรถไถพรวนขึ้นชั่งบนตาชั่ง 3 ตัวซึ่งวางที่ล้อพรวนดินทั้ง 2 ข้าง และล้อหลังของอุปกรณ์วัดแรงรูปตัว L โดยจัดให้แท่นเครื่องอยู่ในแนวระดับ โดยใช้มาตรระดับน้ำในการปรับ วัดระยะห่างระหว่างจุดที่ชั่งน้ำหนักกับจุดอ้างอิง และอ่านค่าน้ำหนักจากตาชั่งทั้ง 3 ตัว
3. ปรับรถไถพรวนให้เอียงทำมุมกับแนวระดับ วัดมุมเอียงของรถไถพรวน และอ่านค่าน้ำหนักจากตาชั่งทั้ง 3 ตัว

ตารางที่ จ1 น้ำหนักที่อ่านได้จากตาชั่งแต่ละตัวเมื่อปรับรถไถพรวนเอียงเป็นมุมต่างๆ

องศา	เครื่องชั่ง 1, m_1 (kg)	เครื่องชั่ง 2, m_2 (kg)	เครื่องชั่ง 3, m_3 (kg)	น้ำหนักรวม (kg)
0	50	45	14.5	109.5
9	54	48	8	110
14	53	50.5	5.5	109

นำค่าน้ำหนักที่ชั่งได้จากตาชั่งมาคำนวณหาจุดศูนย์กลางถ่วงของรถไถพรวนได้ดังนี้

1. กรณีแท่นเครื่องอยู่ในแนวระดับ (มุม 0 องศา)



รูปที่ จ2 แรงต่างๆ ที่กระทำกับรถไถพรวนติดชุดทดลอง
เมื่อแท่นเครื่องอยู่ในแนวระดับ

น้ำหนักกรรท 109.5 kg

$$[\sum M_{AB} = 0] + CW;$$

$$m_{total} g(y) - m_3 g(0.65) = 0$$

$$(109.5)(9.81)(y) - (14.5)(9.81)(0.65) = 0$$

$$y = \frac{(14.5)(0.65)}{109.5}$$

$$= 0.086 \text{ m} = 8.6 \text{ cm}$$

$$[\sum M_{CD} = 0] + CW;$$

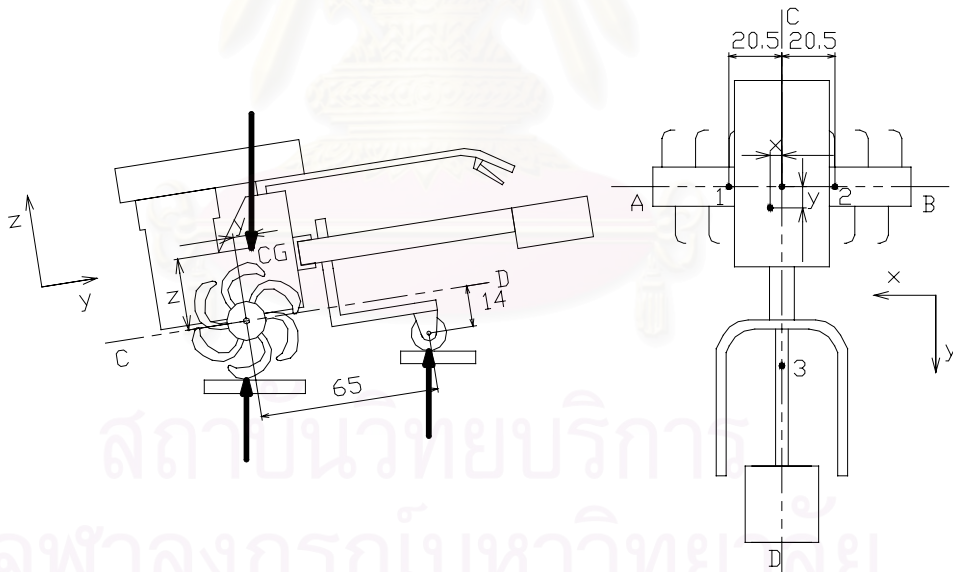
$$m_1 g(0.205) - m_2 g(0.205) - m_{total} g(x) = 0$$

$$(50)(9.81)(0.205) - (45)(9.81)(0.205) - (109.5)(9.81)(x) = 0$$

$$x = \frac{(50)(0.205) - (45)(0.205)}{109.5}$$

$$= 0.009 \text{ m} = 0.9 \text{ cm}$$

2. กรณีเอียงรถไถพรวนทำมุมกับแนวระดับ 9 องศา



รูปที่ จ3 แรงที่กระทำกับรถไถพรวนติดชุดทดลองเมื่อ
แทนเครื่องเอียงทำมุม 9 องศา กับแนวระดับ

น้ำหนักกรรท 110 kg

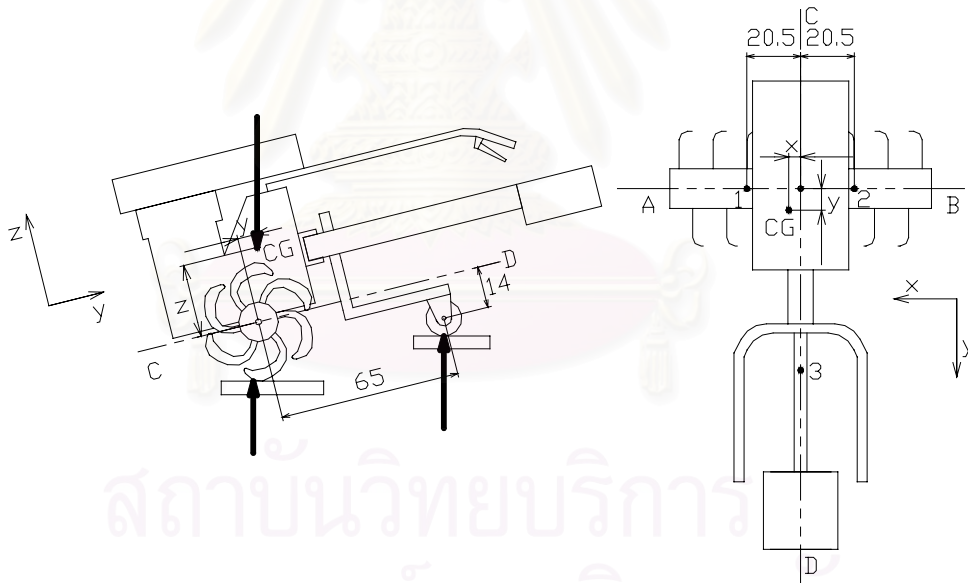
$$[\sum M_{AB} = 0] + CW;$$

$$m_{total} g \cos(9)(0.086) - m_{total} g \sin(9)(z) - m_3 g \cos(9)(0.65) - m_3 g \sin(9)(0.14) = 0$$

$$\begin{aligned}
 & (110)(9.81) \cos(9)(0.086) - (110)(9.81) \sin(9)(z) \\
 & \quad - (8)(9.81) \cos(9)(0.65) - (8)(9.81) \sin(9)(0.14) = 0 \\
 & z = \frac{(110) \cos(9)(0.086) - (8) \cos(9)(0.65) - (8) \sin(9)(0.14)}{110 \sin(9)} \\
 & = 0.234 \text{ m} = 23.4 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\sum M_{CD} = 0] + CW; \quad & m_1 g(0.205) - m_2 g(0.205) - m_{total} g(x) = 0 \\
 (54)(9.81)(0.205) - (48)(9.81)(0.205) - (110)(9.81)(x) & = 0 \\
 x = \frac{(54)(0.205) - (48)(0.205)}{110} \\
 & = 0.011 \text{ m} = 1.1 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

3. กรณีเอียงรถไฟพรวนทำมุมกับแนวระดับ 14 องศา



รูปที่ จ4 แรงที่กระทำต่อรถไฟพรวนติดชุดทดลองเมื่อ
แท่นเครื่องเอียงทำมุม 14 องศา กับแนวระดับ

น้ำหนักรถ 109 kg

$$[\sum M_{AB} = 0] + CW;$$

$$m_{total} g \cos(14)(0.086) - m_{total} g \sin(14)(z) - m_3 g \cos(14)(0.65) - m_3 g \sin(14)(0.14) = 0$$

$$\begin{aligned}
 & (109)(9.81) \cos(14)(0.086) - (109)(9.81) \sin(14)(z) \\
 & \quad - (5.5)(9.81) \cos(14)(0.65) - (5.5)(9.81) \sin(14)(0.14) = 0 \\
 z & = \frac{(109) \cos(14)(0.086) - (5.5) \cos(14)(0.65) - (5.5) \sin(14)(0.14)}{109 \sin(14)} \\
 & = 0.206 \text{ m} = 20.6 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 [\sum M_{CD} = 0] + CW; & \quad m_1 g(0.205) - m_2 g(0.205) - m_{total} g(x) = 0 \\
 & (53)(9.81)(0.205) - (50.5)(9.81)(0.205) - (109)(9.81)(x) = 0 \\
 x & = \frac{(53)(0.205) - (50.5)(0.205)}{109} \\
 & = 0.005 \text{ m} = 0.5 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

นำค่า x และ z ที่หาได้จากการเอียงรถไถพรวนเป็นมุมต่างๆ มาเฉลี่ย จะได้

$$x_{\text{เฉลี่ย}} = \frac{0.9 + 1.1 + 0.5}{3} = 0.8 \text{ cm}$$

$$y = 8.6 \text{ cm}$$

$$z_{\text{เฉลี่ย}} = \frac{23.4 + 20.6}{3} = 22 \text{ cm}$$

$$\text{น้ำหนักรถไถพรวนเฉลี่ย} = \frac{109.5 + 110 + 109}{3} = 109.5 \text{ kg}$$

ดังนั้นจุดศูนย์ถ่วงของรถไถพรวนในการทดลองนี้คือ

$$x = 0.8 \text{ cm} \quad ; \quad y = 8.6 \text{ cm} \quad ; \quad z = 22 \text{ cm}$$

ค่าจุดศูนย์ถ่วงที่ได้นี้จะนำไปใช้คำนวณหาตำแหน่งแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อไปมีดีในการทดลองจริง



รูปที่ จ5 การหาจุดศูนย์ถ่วงของรถไถพรวนกรณี
จัดให้แท่นเครื่องอยู่ในแนวระดับ



รูปที่ จ6 การหาจุดศูนย์ถ่วงของรถไถพรวนกรณีจัด
ให้แท่นเครื่องเอียงทำมุมกับแนวระดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ข้อมูลดิบจากการทดลอง

ข้อมูลดิบที่วัดและคำนวณได้จากการทดลองแสดงในตารางที่ ฉ1 ถึง ฉ30 โดยตารางที่ ฉ1 ถึง ฉ15 นั้นจะแสดงข้อมูลดิบที่ยังไม่ได้ตัดค่าข้อมูลที่ไม่เหมาะสมออก ส่วนตารางที่ ฉ16 ถึง ฉ30 นั้นจะแสดงข้อมูลที่ทำกรตัดค่าที่ไม่เหมาะสมออกแล้ว



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑1 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
23/3/01 20:25	1.1177	1.3116	2.9549	28.71	134.7	143.8	-8.470	46.39
23/3/01 20:26	0.0988	1.0595	2.5515	2.888	108.8	124.1	-1.309	34.46
23/3/01 20:26	0.1818	1.2664	3.1960	4.990	130.0	155.6	3.496	38.45
23/3/01 20:26	1.0041	1.4826	3.8935	25.83	152.2	189.7	9.348	42.15
23/3/01 20:26	0.8233	1.3350	3.4202	21.25	137.1	166.6	5.457	39.56
23/3/01 20:26	1.4212	1.7017	4.1455	36.40	174.7	202.0	-0.229	54.34
23/3/01 20:26	1.0738	1.4740	3.7431	27.59	151.3	182.4	4.931	44.28
23/3/01 20:26	1.0465	1.4278	3.6529	26.90	146.6	178.0	5.685	42.40
23/3/01 20:26	1.6879	1.5949	3.7183	43.16	163.7	181.2	-5.936	54.04
23/3/01 20:26	0.8951	1.5598	4.2564	23.07	160.1	207.5	15.31	41.37
23/3/01 20:26	0.6622	1.4185	3.6785	17.17	145.6	179.2	7.330	41.21
23/3/01 20:26	1.5952	1.6224	3.6616	40.81	166.6	178.4	-10.15	57.21
23/3/01 20:26	1.3877	1.8987	4.9130	35.55	194.9	239.6	9.591	55.29
23/3/01 20:26	1.1631	1.7356	4.5343	29.86	178.2	221.1	10.21	49.75
23/3/01 20:26	1.5574	1.4878	3.4654	39.85	152.7	168.8	-5.672	50.48
23/3/01 20:26	1.4287	1.7371	6.0639	36.59	178.3	295.8	62.22	21.54
23/3/01 20:26	1.6591	1.2611	3.1198	42.43	129.5	151.9	1.343	39.45

ตารางที่ ๑1 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1 ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม (F_T) (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ (องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
20.24	63.11	66.28	72.22	3.119	-44.99	14.43	-44.99
1.579	75.04	75.05	88.79	47.52	-748.6	15.75	-748.6
8.486	71.05	71.56	83.19	8.373	-158.7	18.96	-158.7
35.18	67.35	75.98	62.42	1.914	-20.58	10.75	-20.58
26.70	69.94	74.86	69.10	2.619	-28.08	10.72	-28.08
36.17	55.16	65.96	56.75	1.525	-30.37	19.91	-30.37
32.53	65.22	72.88	63.49	2.005	-24.51	12.22	-24.51
32.59	67.10	74.59	64.10	2.059	-21.54	10.46	-21.54
37.22	55.46	66.79	56.13	1.490	-21.80	14.63	-21.80
38.38	68.13	78.19	60.60	1.775	-20.23	11.40	-20.23
24.50	68.29	72.55	70.27	2.788	-41.68	14.95	-41.68
30.66	52.29	60.62	59.62	1.706	-36.55	21.43	-36.55
45.14	54.21	70.55	50.22	1.201	-26.11	21.74	-26.11
40.07	59.75	71.94	56.16	1.491	-26.23	17.59	-26.23
34.18	59.02	68.20	59.92	1.727	-20.92	12.12	-20.92
98.81	87.96	132.3	41.68	0.890	11.59	-13.01	11.59
43.77	70.05	82.60	58.00	1.600	2.729	-1.705	2.729

ตารางที่ ฉ2 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 2

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
24/3/01 17:06	1.9281	1.5337	3.1104	49.25	157.5	151.4	-21.58	60.59
24/3/01 17:06	1.0280	1.3915	4.2060	26.44	142.9	205.0	27.55	29.36
24/3/01 17:06	0.7204	1.5415	3.8992	18.64	158.3	190.0	4.660	46.58
24/3/01 17:06	1.1728	1.5297	4.1954	30.10	157.1	204.5	15.73	40.19
24/3/01 17:06	0.8065	1.6148	5.0152	20.82	165.8	244.6	36.61	31.56
24/3/01 17:06	1.7155	1.8707	4.5095	43.86	192.1	219.8	-1.843	60.61
24/3/01 17:07	1.4035	0.6209	2.0340	35.95	63.72	98.80	17.42	10.30

ตารางที่ ๑๒ ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 2 ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม (F_T) (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ (องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
27.66	48.91	56.19	60.51	1.768	-36.63	20.72	-36.63
53.99	80.14	96.63	56.03	1.484	3.014	-2.030	3.014
23.30	62.92	67.10	69.68	2.700	-56.39	20.88	-56.39
45.83	69.31	83.09	56.53	1.512	-8.958	5.923	-8.958
57.43	77.94	96.82	53.62	1.357	-3.401	2.506	-3.401
42.01	48.89	64.46	49.33	1.164	-28.63	24.60	-28.63
53.37	99.20	112.6	61.72	1.859	33.25	-17.89	33.25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๓3 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 3

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
24/3/01 20:49	1.6218	1.6267	3.4979	41.48	167.0	170.4	-16.08	60.57
24/3/01 20:49	1.1314	1.2840	3.7867	29.05	131.8	184.5	22.17	28.86
24/3/01 20:50	0.8298	1.4686	3.6562	21.41	150.8	178.1	2.417	45.48
24/3/01 20:50	0.9485	1.6733	4.1823	24.42	171.8	203.8	3.374	51.48
24/3/01 20:50	0.9256	1.7031	4.3092	23.84	174.9	210.0	5.236	51.42
24/3/01 20:50	1.4677	1.7857	4.8465	37.58	183.3	236.3	16.69	47.82
24/3/01 20:50	1.6537	1.9839	6.2429	42.29	203.7	304.6	47.85	37.21

ตารางที่ ๓ ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 3 ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม (F_T) (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ (องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
25.40	48.93	55.13	62.57	1.927	-52.01	26.99	-52.01
51.23	80.64	95.54	57.58	1.574	5.733	-3.642	5.733
23.83	64.02	68.31	69.59	2.687	-47.52	17.69	-47.52
27.79	58.02	64.33	64.40	2.087	-50.29	24.09	-50.29
29.08	58.08	64.96	63.41	1.998	-48.64	24.35	-48.64
54.27	61.68	82.15	48.65	1.136	-11.03	9.706	-11.03
90.14	72.29	115.5	38.73	0.802	3.726	-4.646	3.726

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๗4 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 1

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
27/3/01 16:42	1.4638	1.3346	3.2301	37.48	137.0	157.3	-0.994	43.06
27/3/01 16:42	0.4030	1.1077	2.8815	10.60	113.7	140.2	5.941	32.06
27/3/01 16:42	0.3643	1.0422	3.0333	9.615	107.0	147.7	16.54	24.21
27/3/01 16:42	1.3113	1.5665	3.9668	33.61	160.8	193.3	4.886	47.25
27/3/01 16:42	0.5429	1.3716	3.8194	14.14	140.8	186.1	16.03	34.99
27/3/01 16:42	1.3365	1.5107	3.8531	34.25	155.1	187.7	5.643	45.06
27/3/01 16:42	1.8867	1.5994	3.8774	48.20	164.2	188.9	-0.890	51.44
27/3/01 16:42	1.2420	1.7837	4.6951	31.86	183.1	228.9	11.70	50.47
27/3/01 16:42	0.7825	1.5383	4.4605	20.21	157.9	217.4	24.05	35.94
27/3/01 16:42	0.9939	1.4726	4.2646	25.57	151.2	207.9	22.82	34.52
27/3/01 16:42	1.8101	1.7506	4.3646	46.25	179.7	212.8	3.177	54.05
27/3/01 16:42	1.2648	1.9484	5.3983	32.43	200.1	263.3	22.01	50.12
27/3/01 16:42	0.9764	1.7313	5.3258	25.13	177.8	259.8	37.54	34.76
27/3/01 16:42	1.5541	1.7853	5.0770	39.77	183.3	247.6	24.59	43.52
27/3/01 16:42	1.6711	1.8188	4.9051	42.73	186.7	239.2	15.95	49.28
27/3/01 16:42	1.1063	1.8393	4.9558	28.42	188.8	241.7	15.98	49.92
27/3/01 16:42	0.0951	0.0100	-0.0172	2.794	0.978	-1.499	-1.834	1.300

ตารางที่ ๓4 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 1 ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม (F_T) (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ (องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
36.48	66.44	75.80	61.23	1.821	-8.832	4.850	-8.832
16.54	77.44	79.19	77.95	4.683	-42.20	9.011	-42.20
26.16	85.29	89.21	72.95	3.261	-8.050	2.469	-8.050
38.50	62.25	73.19	58.26	1.617	-19.31	11.95	-19.31
30.17	74.51	80.39	67.96	2.470	-24.07	9.747	-24.07
39.90	64.44	75.79	58.24	1.615	-14.38	8.904	-14.38
47.31	58.06	74.89	50.83	1.227	-9.037	7.363	-9.037
43.56	59.03	73.36	53.58	1.355	-23.27	17.17	-23.27
44.26	73.56	85.84	58.96	1.662	-11.89	7.155	-11.89
48.39	74.98	89.24	57.16	1.550	-4.462	2.880	-4.462
49.43	55.45	74.28	48.28	1.122	-13.55	12.08	-13.55
54.44	59.38	80.56	47.48	1.091	-17.45	16.00	-17.45
62.67	74.74	97.54	50.02	1.193	-3.598	3.017	-3.598
64.35	65.98	92.17	45.71	1.025	-3.359	3.276	-3.359
58.68	60.22	84.08	45.74	1.026	-8.234	8.024	-8.234
44.40	59.58	74.30	53.31	1.342	-25.04	18.66	-25.04
0.960	108.2	108.2	89.49	112.7	1009	-8.953	1009

ตารางที่ ๑5 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 2

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
27/3/01 17:24	1.9540	1.4452	3.1900	49.90	148.4	155.3	-11.53	52.31
27/3/01 17:24	0.6840	1.4578	3.8226	17.72	149.7	186.3	8.988	41.56
27/3/01 17:24	1.2170	1.4701	3.8741	31.22	150.9	188.8	9.720	41.56
27/3/01 17:24	1.1383	1.5470	3.8139	29.23	158.8	185.8	1.291	48.59
27/3/01 17:24	1.2881	1.5055	4.4637	33.03	154.6	217.6	26.88	33.36
27/3/01 17:24	1.4944	1.7903	4.2223	38.25	183.8	205.8	-4.958	59.73

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๓5 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 2 ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม (F_T) (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ (องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
38.37	57.19	68.87	56.14	1.491	-11.24	7.541	-11.24
26.71	67.94	73.00	68.54	2.544	-38.14	14.99	-38.14
40.94	67.94	79.33	58.93	1.659	-11.31	6.818	-11.31
30.52	60.91	68.13	63.39	1.996	-33.29	16.68	-33.29
59.91	76.14	96.88	51.80	1.271	2.866	-2.255	2.866
33.30	49.77	59.88	56.22	1.495	-41.47	27.75	-41.47

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑๖ ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 3

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
27/3/01 18:14	1.1866	1.6685	3.7025	30.45	171.3	180.4	-12.58	60.00
27/3/01 18:14	0.6429	1.2641	4.0700	16.67	129.8	198.3	33.48	22.08
27/3/01 18:14	0.6332	1.5174	4.0057	16.43	155.8	195.2	10.29	42.75
27/3/01 18:14	1.0409	1.4681	3.7270	26.76	150.7	181.6	4.871	44.13
27/3/01 18:14	0.9588	1.5785	4.2202	24.68	162.1	205.7	12.52	43.49
27/3/01 18:14	1.1229	1.8080	4.9468	28.84	185.6	241.2	18.26	47.68

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๖ ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 3 ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม (F_T) (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ (องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
17.87	49.50	52.63	70.15	2.770	-96.83	34.96	-96.83
50.15	87.42	100.78	60.16	1.743	4.891	-2.806	4.891
26.72	66.75	71.89	68.19	2.498	-42.92	17.18	-42.92
31.63	65.37	72.62	64.18	2.067	-25.96	12.56	-25.96
37.20	66.01	75.77	60.59	1.774	-22.91	12.91	-22.91
47.10	61.82	77.72	52.69	1.312	-20.06	15.29	-20.06

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๗ ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 1

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
27/3/01 18:58	2.0111	1.2872	2.8752	51.35	132.2	139.9	-9.161	45.99
27/3/01 18:58	0.1353	1.0389	2.5737	3.812	106.7	125.2	1.153	32.47
27/3/01 18:58	0.1081	1.1365	3.0372	3.123	116.7	147.8	8.862	31.39
27/3/01 18:58	1.1746	1.3952	3.7281	30.15	143.2	181.6	10.95	38.50
27/3/01 18:58	0.5726	1.3552	3.8913	14.90	139.1	189.6	19.84	32.39
27/3/01 18:58	1.4725	1.4363	3.3744	37.70	147.5	164.3	-4.502	48.20
27/3/01 18:58	1.7143	1.5232	3.4123	43.83	156.4	166.2	-10.42	54.19
27/3/01 18:58	1.1427	1.5299	3.9174	29.34	157.1	190.9	6.244	45.35

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๗ ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 1 ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม (F_T) (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ (องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
42.19	63.51	76.25	56.41	1.506	1.011	-0.672	1.011
4.96	77.03	77.19	86.31	15.51	-203.5	13.12	-203.5
11.99	78.11	79.03	81.28	6.517	-79.75	12.24	-79.75
41.10	71.00	82.04	59.93	1.727	-7.458	4.317	-7.458
34.73	77.11	84.57	65.75	2.220	-14.98	6.750	-14.98
33.20	61.30	69.71	61.56	1.847	-19.68	10.66	-19.68
33.40	55.31	64.61	58.87	1.656	-23.98	14.48	-23.98
35.59	64.15	73.36	60.98	1.803	-22.27	12.36	-22.27

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๘8 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 2

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
27/3/01 20:40	1.3691	1.9578	3.6681	35.08	201.0	178.7	-37.74	82.89
27/3/01 20:40	1.3884	1.3847	4.0025	35.57	142.2	195.0	21.18	32.61
27/3/01 20:40	1.0559	1.6347	3.9785	27.14	167.8	193.9	-0.369	52.28
27/3/01 20:40	1.1348	1.4812	4.0398	29.14	152.1	196.9	14.44	39.34
27/3/01 20:40	1.0093	1.6620	4.0967	25.96	170.6	199.7	1.400	52.19
27/3/01 20:40	1.2801	1.6480	5.1898	32.82	169.2	253.1	39.81	30.87
27/3/01 20:40	1.0815	1.8201	6.4832	27.79	186.9	316.3	69.63	20.16
27/3/01 20:40	0.9553	-0.0264	0.0205	24.59	-2.756	0.344	2.465	-2.195

ตารางที่ ๘ ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 2 ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม (F_T) (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ (องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
-2.660	26.61	26.75	-84.29	-10.00	1154	115.35	1154
56.74	76.89	95.56	53.57	1.355	5.556	-4.100	5.556
26.77	57.22	63.17	64.93	2.137	-50.22	23.50	-50.22
43.59	70.16	82.59	58.15	1.610	-9.108	5.659	-9.108
27.36	57.31	63.51	64.48	2.095	-50.59	24.15	-50.59
72.64	78.63	107.0	47.27	1.082	4.770	-4.406	4.770
97.42	89.34	132.2	42.52	0.917	9.094	-9.916	9.094
27.06	111.7	114.9	76.38	4.128	77.49	-18.77	77.49

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑๑ ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 3

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
28/3/01 15:36	2.5773	1.7218	4.1460	65.70	176.8	202.1	-1.883	55.88
28/3/01 15:36	1.4591	1.6058	3.5090	37.36	164.9	170.9	-13.97	58.75
28/3/01 15:36	0.8833	1.6004	3.9011	22.77	164.3	190.1	-0.165	51.08
28/3/01 15:36	1.2097	1.6305	4.2351	31.04	167.4	206.4	8.727	47.21
28/3/01 15:36	1.4412	1.5417	4.9937	36.91	158.3	243.5	41.94	26.33
28/3/01 15:36	1.9420	1.7994	4.9389	49.60	184.8	240.8	18.70	47.17

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑๑ ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 3 ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม (F_T) (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ (องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
63.81	53.62	83.35	40.04	0.840	-0.0031	0.004	-0.003
23.39	50.75	55.88	65.26	2.170	-58.52	26.97	-58.52
22.60	58.42	62.64	68.85	2.585	-63.94	24.74	-63.94
39.77	62.29	73.91	57.45	1.567	-21.11	13.48	-21.11
78.85	83.17	114.61	46.53	1.055	10.31	-9.773	10.31
68.30	62.33	92.47	42.38	0.913	-0.878	0.962	-0.878

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑๐ ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 15 กิโลกรัม

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
28/3/01 19:27	2.6229	1.7371	3.2499	66.85	178.4	158.2	-33.70	73.66
28/3/01 19:27	-0.0974	1.2397	3.2088	-2.084	127.3	156.2	6.147	36.16
28/3/01 19:27	-0.0762	1.2681	3.7458	-1.548	130.2	182.5	22.09	28.39
28/3/01 19:27	1.0761	1.7054	4.1161	27.65	175.1	200.6	-1.543	55.17
28/3/01 19:27	0.4699	1.3905	3.6878	12.29	142.8	179.7	9.967	38.89
28/3/01 19:27	1.6425	1.8450	4.6054	42.01	189.4	224.5	3.559	56.85
28/3/01 19:27	1.2146	1.8120	4.3735	31.16	186.0	213.2	-1.607	58.61
28/3/01 19:27	0.4760	1.4875	4.0766	12.45	152.7	198.7	15.18	39.14
28/3/01 19:27	1.2117	1.5855	3.8586	31.09	162.8	188.0	-0.376	50.72
28/3/01 19:27	0.7100	1.5833	4.3073	18.38	162.6	210.0	15.10	42.24
28/3/01 19:27	0.8537	1.6116	4.3793	22.02	165.5	213.5	15.21	43.08
28/3/01 19:27	1.3026	1.6362	4.3528	33.39	168.0	212.2	12.27	45.46
28/3/01 19:27	1.4861	1.9141	4.9070	38.04	196.5	239.3	8.112	56.58
28/3/01 19:27	1.0933	1.7949	4.7455	28.09	184.3	231.4	12.49	50.40
28/3/01 19:27	1.4616	1.7579	4.0564	37.42	180.5	197.7	-7.931	60.32
28/3/01 19:27	0.0443	0.5428	1.2722	1.506	55.69	61.55	-2.067	18.41

ตารางที่ ๑๑ ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 15 กิโลกรัม ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม (F_T) (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ (องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
33.15	50.84	60.70	56.89	1.534	-35.01	22.83	-35.01
4.062	88.34	88.44	87.37	21.75	-365.2	16.79	-365.2
20.55	96.11	98.28	77.93	4.677	-45.31	9.686	-45.31
26.11	69.33	74.08	69.36	2.655	-57.96	21.83	-57.96
22.26	85.61	88.46	75.43	3.846	-47.86	12.44	-47.86
45.57	67.65	81.56	56.04	1.485	-22.51	15.16	-22.51
29.56	65.89	72.22	65.84	2.229	-53.89	24.17	-53.89
27.63	85.36	89.72	72.06	3.089	-38.62	12.50	-38.62
30.71	73.78	79.92	67.40	2.402	-35.19	14.65	-35.19
33.48	82.26	88.81	67.86	2.457	-30.64	12.47	-30.64
37.23	81.42	89.53	65.43	2.187	-25.00	11.43	-25.00
45.66	79.04	91.28	59.98	1.731	-13.67	7.895	-13.67
46.16	67.92	82.12	55.80	1.472	-25.19	17.12	-25.19
40.58	74.10	84.48	61.29	1.826	-28.64	15.69	-28.64
29.49	64.18	70.63	65.32	2.176	-49.43	22.71	-49.43
-0.560	106.1	106.1	-89.70	-189.4	350.4	1.851	350.4

ตารางที่ ฉ.11 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 30 กิโลกรัม

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
28/3/01 21:05	1.2814	1.5270	3.0250	32.86	156.8	147.3	-23.94	61.66
28/3/01 21:05	-0.3109	1.2648	2.8838	-7.494	129.8	140.3	-7.003	44.10
28/3/01 21:05	-0.3055	1.2402	4.1597	-7.357	127.3	202.7	38.52	18.58
28/3/01 21:05	1.2227	1.4897	3.4976	31.37	152.9	170.4	-4.736	50.03
28/3/01 21:05	0.8589	1.6011	4.0973	22.15	164.4	199.7	6.463	47.50
28/3/01 21:05	0.9620	1.6791	4.1349	24.76	172.4	201.5	1.275	52.81
28/3/01 21:05	1.1724	1.6366	4.0082	30.09	168.0	195.3	0.485	51.88
28/3/01 21:05	1.7148	1.9841	3.8232	43.84	203.7	186.3	-34.64	82.04
28/3/01 21:05	1.0596	1.8752	4.4801	27.24	192.5	218.4	-3.212	61.49
28/3/01 21:05	0.7654	1.6406	4.2836	19.78	168.4	208.8	9.545	47.08
28/3/01 21:05	1.5593	2.0031	4.2005	39.90	205.7	204.7	-23.35	76.51
28/3/01 21:05	0.8434	2.0815	5.5375	21.76	213.7	270.1	15.71	57.78
28/3/01 21:05	0.9128	1.8900	5.1454	23.52	194.1	250.9	18.23	50.31
28/3/01 21:05	1.2005	1.7904	4.2120	30.81	183.8	205.3	-5.324	59.94
28/3/01 21:05	0.9508	1.8357	5.2078	24.48	188.5	254.0	24.87	44.97
28/3/01 21:05	2.5978	1.5376	3.5829	66.21	157.9	174.5	-5.799	52.14

ตารางที่ ๑11 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 30 กิโลกรัม ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม (F_T) (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ (องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
8.918	77.84	78.3512	83.4645	8.7288	-197.1871	22.5903	-197.1871
-14.50	95.40	96.4977	-81.3598	-6.5810	154.7551	23.5156	154.7551
31.16	120.9	124.8704	75.5495	3.8806	-16.1771	4.1688	-16.1771
26.63	89.47	93.3460	73.4224	3.3592	-38.7573	11.5376	-38.7573
28.61	92.00	96.3460	72.7244	3.2155	-42.8872	13.3378	-42.8872
26.04	86.69	90.5200	73.2825	3.3295	-56.5818	16.9941	-56.5818
30.58	87.62	92.8032	70.7620	2.8655	-39.1078	13.6479	-39.1078
9.20	57.46	58.1920	80.9017	6.2444	-288.0573	46.1304	-288.0573
24.02	78.01	81.6248	72.8827	3.2471	-80.9096	24.9178	-80.9096
29.32	92.42	96.9579	72.3953	3.1515	-44.0571	13.9797	-44.0571
16.55	62.99	65.1267	75.2803	3.8064	-147.1014	38.6453	-147.1014
37.47	81.72	89.8980	65.3653	2.1807	-50.6047	23.2058	-50.6047
41.75	89.19	98.4769	64.9158	2.1363	-31.9597	14.9603	-31.9597
25.48	79.56	83.5429	72.2406	3.1222	-66.7134	21.3672	-66.7134
49.34	94.53	106.6301	62.4342	1.9156	-18.9894	9.9129	-18.9894
60.42	87.36	106.2176	55.3341	1.4460	4.2699	-2.9529	4.2699

ตารางที่ ฉ.12 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 45 กิโลกรัม

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
29/3/01 14:34	0.7584	1.4717	3.6139	19.60	151.1	176.0	0.717	46.50
29/3/01 14:34	-0.0397	1.2061	3.6321	-0.621	123.8	176.9	23.37	25.73
29/3/01 14:34	1.0396	1.7339	3.6600	26.73	178.0	178.3	-19.45	65.81
29/3/01 14:34	0.2146	1.4707	4.3305	5.821	151.0	211.1	25.22	33.15
29/3/01 14:34	1.3088	1.9133	4.8910	33.55	196.4	238.5	7.629	56.82
29/3/01 14:34	0.6939	1.7619	4.6675	17.97	180.9	227.6	12.57	49.30
29/3/01 14:34	0.7914	1.6133	4.0403	20.44	165.6	196.9	3.515	49.49
29/3/01 14:34	0.9866	1.7499	4.3531	25.39	179.7	212.2	2.848	54.21
29/3/01 14:34	0.4948	1.6306	4.6248	12.92	167.4	225.5	22.00	40.00
29/3/01 14:34	1.5753	1.6020	4.1951	40.30	164.5	204.5	9.727	45.75
29/3/01 14:34	1.7116	1.8925	4.5746	43.76	194.3	223.0	-1.425	61.07
29/3/01 14:34	1.0436	1.8533	4.6258	26.83	190.3	225.5	3.566	57.11
29/3/01 14:34	1.8649	1.8263	3.9076	47.64	187.5	190.4	-18.67	68.33
29/3/01 14:34	1.1509	1.8815	4.7504	29.55	193.2	231.6	5.475	56.97

ตารางที่ ๑๒ ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 45 กิโลกรัม ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม (F_T) (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ (องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
20.32	108.0	109.9	79.34	5.315	-62.78	11.81	-62.78
22.74	128.8	130.8	79.98	5.662	-31.54	5.57	-31.54
7.275	88.69	88.98	85.31	12.19	-312.4	25.62	-312.4
31.04	121.3	125.3	75.65	3.909	-30.05	7.687	-30.05
41.18	97.68	106.0	67.14	2.372	-33.10	13.95	-33.10
30.54	105.2	109.5	73.81	3.445	-49.30	14.31	-49.30
23.95	105.0	107.7	77.15	4.384	-59.75	13.63	-59.75
28.23	100.3	104.2	74.28	3.552	-54.41	15.32	-54.41
34.92	114.5	119.7	73.04	3.279	-31.28	9.539	-31.28
50.03	108.7	119.7	65.29	2.174	-7.270	3.345	-7.270
42.33	93.43	102.6	65.63	2.207	-29.20	13.23	-29.20
30.40	97.39	102.0	72.67	3.204	-54.77	17.09	-54.77
28.97	86.17	90.91	71.42	2.974	-54.45	18.31	-54.45
35.02	97.53	103.6	70.25	2.785	-43.99	15.80	-43.99

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ.13 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 5 กิโลกรัม

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
29/3/01 17:04	2.1059	2.0291	4.2828	53.75	208.3	208.8	-22.70	76.99
29/3/01 17:04	-0.2199	1.4431	3.4396	-5.187	148.2	167.5	-2.853	47.53
29/3/01 17:04	0.1528	1.5971	4.3092	4.256	164.0	210.0	14.02	43.26
29/3/01 17:04	0.9496	1.9075	5.3381	24.45	195.8	260.4	23.35	48.09
29/3/01 17:04	0.5950	1.8828	4.9972	15.46	193.3	243.7	13.78	52.50
29/3/01 17:04	0.7119	1.7819	4.9896	18.43	183.0	243.3	21.89	44.88
29/3/01 17:04	1.3727	2.0152	5.2629	35.17	206.9	256.7	11.86	57.76
29/3/01 17:04	0.7014	1.7883	5.0032	18.16	183.6	244.0	21.82	45.12
29/3/01 17:04	1.0622	1.7855	4.6229	27.30	183.3	225.4	9.088	51.95
29/3/01 17:04	1.1830	1.9363	4.5779	30.36	198.8	223.2	-4.952	64.39
29/3/01 17:04	1.0962	1.9845	5.1315	28.16	203.8	250.3	9.924	57.84
29/3/01 17:04	0.7434	1.8207	4.6583	19.22	186.9	227.1	7.377	54.00
29/3/01 17:04	1.3246	2.0810	5.0972	33.95	213.7	248.6	0.754	65.90
29/3/01 17:04	1.2142	2.1477	5.6637	31.15	220.5	276.3	14.53	60.54
29/3/01 17:04	1.2396	2.1415	5.8004	31.80	219.9	283.0	19.71	57.52
29/3/01 17:04	1.5448	2.2048	5.9209	39.53	226.4	288.8	18.56	60.17
29/3/01 17:04	0.6930	1.9196	5.3634	17.95	197.1	261.6	23.21	48.55
29/3/01 17:04	0.7951	1.9179	5.4114	20.53	196.9	263.9	24.98	47.54

ตารางที่ ๑๓ ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 5 กิโลกรัม ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม (F_T) (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ (องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
31.05	37.51	48.69	50.39	1.208	-41.10	34.02	-41.10
-8.040	66.97	67.45	-83.15	-8.330	217.0	26.05	217.0
18.28	71.24	73.54	75.61	3.897	-57.59	14.78	-57.59
47.80	66.41	81.83	54.26	1.389	-10.94	7.87	-10.94
29.24	62.00	68.55	64.75	2.120	-40.84	19.26	-40.84
40.31	69.62	80.45	59.93	1.727	-13.99	8.100	-13.99
47.03	56.74	73.69	50.35	1.206	-15.55	12.89	-15.55
39.98	69.38	80.07	60.05	1.735	-14.78	8.516	-14.78
36.39	62.55	72.36	59.81	1.719	-18.71	10.88	-18.71
25.41	50.11	56.19	63.11	1.972	-54.57	27.67	-54.57
38.09	56.66	68.27	56.09	1.488	-26.96	18.12	-26.96
26.60	60.50	66.09	66.27	2.274	-43.16	18.98	-43.16
34.70	48.60	59.72	54.47	1.401	-38.27	27.33	-38.27
45.68	53.96	70.70	49.75	1.181	-23.47	19.87	-23.47
51.50	56.98	76.80	47.89	1.106	-16.33	14.76	-16.33
58.09	54.33	79.54	43.09	0.935	-12.01	12.84	-12.01
41.16	65.95	77.74	58.03	1.602	-19.92	12.43	-19.92
45.51	66.96	80.97	55.80	1.471	-14.17	9.633	-14.17

ตารางที่ ฉ.14 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 10 กิโลกรัม

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
29/3/01 15:12	2.4992	2.3232	4.9509	63.72	238.5	241.4	-24.32	87.24
29/3/01 15:12	0.1586	1.3170	2.4556	4.403	135.2	119.4	-25.93	56.05
29/3/01 15:12	0.4217	1.1617	2.6677	11.07	119.3	129.8	-5.825	40.17
29/3/01 15:12	0.1306	1.3276	5.0307	3.694	136.3	245.3	60.95	9.18
29/3/01 15:12	1.1571	2.0077	4.7209	29.71	206.1	230.2	-5.995	67.23
29/3/01 15:12	1.0304	2.0851	5.0934	26.50	214.1	248.4	0.284	66.28
29/3/01 15:12	1.5576	2.1602	5.0888	39.85	221.8	248.2	-6.098	72.14
29/3/01 15:12	1.4259	2.0293	4.8836	36.52	208.4	238.1	-2.239	65.87
29/3/01 15:12	1.2028	2.0016	5.0250	30.87	205.5	245.0	4.877	61.12
29/3/01 15:12	1.2366	2.1020	5.1176	31.72	215.8	249.6	-0.291	67.13
29/3/01 15:12	1.3225	2.1529	5.2498	33.90	221.1	256.0	-0.005	68.60
29/3/01 15:12	1.2342	2.2341	5.5653	31.66	229.4	271.5	4.008	69.01
29/3/01 15:12	1.1504	2.1117	5.4302	29.54	216.8	264.9	9.554	62.09
29/3/01 15:12	1.5496	2.2947	5.6059	39.65	235.6	273.4	0.371	72.92
29/3/01 15:12	1.6927	2.3891	6.2783	43.28	245.3	306.3	15.46	67.72
29/3/01 15:12	1.5775	2.1583	5.5318	40.36	221.6	269.8	9.154	63.80
29/3/01 15:12	0.9965	2.0630	5.5539	25.64	211.8	270.9	17.81	56.06

ตารางที่ ฉ.14 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 10 กิโลกรัม

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม (F_T) (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ (องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
39.40	32.26	50.92	39.3111	0.819	-23.27	28.42	-23.27
-21.53	63.45	67.01	-71.2607	-2.948	61.49	20.86	61.49
5.247	79.33	79.50	86.2160	15.12	2.804	-0.1854	2.8037
64.65	110.32	127.87	59.6302	1.707	28.42	-16.65	28.42
23.71	52.27	57.40	65.6008	2.205	-41.34	18.75	-41.34
26.78	53.22	59.58	63.2882	1.987	-38.83	19.54	-38.83
33.76	47.36	58.16	54.5195	1.403	-26.18	18.66	-26.18
34.28	53.63	63.65	57.4120	1.564	-17.70	11.31	-17.70
35.74	58.38	68.45	58.5214	1.633	-14.49	8.872	-14.49
31.43	52.37	61.07	59.0287	1.666	-28.06	16.84	-28.06
33.89	50.90	61.15	56.3426	1.502	-26.18	17.43	-26.18
35.67	50.49	61.82	54.7610	1.416	-28.01	19.79	-28.01
39.09	57.41	69.45	55.7483	1.469	-16.06	10.93	-16.06
40.02	46.58	61.42	49.3328	1.164	-23.27	19.99	-23.27
58.74	51.78	78.30	41.3945	0.881	-7.158	8.12	-7.158
49.51	55.70	74.53	48.3675	1.125	-5.962	5.30	-5.962
43.44	63.44	76.89	55.5978	1.460	-8.781	6.01	-8.781

ตารางที่ ๑๕ ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 15 กิโลกรัม

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
29/3/01 18:12	2.5783	2.6892	6.2274	65.72	276.1	303.8	-11.16	91.75
29/3/01 18:12	0.8019	2.0908	5.0321	20.71	214.7	245.4	-2.277	67.85
29/3/01 18:12	0.0452	1.9276	4.9373	1.530	197.9	240.8	8.019	57.06
29/3/01 18:12	1.0003	2.1370	5.8751	25.73	219.4	286.6	22.62	55.80
29/3/01 18:12	1.1042	2.4953	6.3077	28.37	256.2	307.8	7.661	75.35
29/3/01 18:12	0.8599	2.2668	5.8228	22.17	232.8	284.1	10.07	66.75
29/3/01 18:12	1.2619	2.4033	6.1516	32.36	246.8	300.1	9.965	71.16
29/3/01 18:12	1.4940	2.4122	6.3339	38.24	247.7	309.0	15.44	68.47
29/3/01 18:12	0.9720	2.3935	5.9083	25.02	245.8	288.2	2.487	74.91
29/3/01 18:12	1.4362	2.3371	5.9184	36.78	240.0	288.7	7.504	70.39
29/3/01 18:12	1.2777	2.3231	6.4102	32.76	238.5	312.8	25.43	60.21
29/3/01 18:12	0.9757	2.3992	6.3241	25.11	246.4	308.6	16.18	67.66
29/3/01 18:12	1.2935	2.4303	5.8800	33.16	249.5	286.8	-1.532	78.27
29/3/01 18:12	1.4798	2.4158	5.6574	37.88	248.0	276.0	-7.912	81.27
29/3/01 18:12	1.2988	2.4525	6.0489	33.30	251.8	295.1	2.386	76.85
29/3/01 18:12	1.6665	2.4963	6.8390	42.62	256.3	333.7	25.68	65.59
29/3/01 18:12	1.6003	2.7515	7.2292	40.94	282.5	352.8	17.82	77.99
29/3/01 18:12	1.0183	2.4011	6.5532	26.19	246.5	319.8	23.84	63.55
29/3/01 18:12	1.0418	2.4390	6.5878	26.78	250.4	321.5	21.87	65.83
29/3/01 18:12	2.6494	2.2307	4.7948	67.52	229.0	233.8	-21.97	83.01

ตารางที่ ๑๑ ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 15 กิโลกรัม ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม (F_T) (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ (องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
54.56	32.75	63.63	30.97	0.600	-8.911	14.85	-8.911
18.43	56.65	59.57	71.98	3.074	-41.44	13.48	-41.44
9.55	67.44	68.11	81.94	7.063	-87.06	12.33	-87.06
48.36	68.70	84.02	54.86	1.421	5.528	-3.891	5.528
36.03	49.15	60.94	53.76	1.364	-25.54	18.718	-25.54
32.25	57.75	66.14	60.82	1.791	-18.96	10.59	-18.96
42.33	53.34	68.09	51.57	1.260	-11.35	9.011	-11.35
53.68	56.03	77.59	46.22	1.044	-1.037	0.99	-1.037
27.50	49.59	56.70	60.98	1.803	-37.74	20.93	-37.74
44.28	54.11	69.92	50.70	1.222	-5.722	4.683	-5.722
58.19	64.29	86.72	47.85	1.105	4.701	-4.255	4.701
41.29	56.84	70.26	54.01	1.377	-13.07	9.495	-13.07
31.63	46.23	56.01	55.62	1.462	-29.36	20.09	-29.36
29.97	43.23	52.60	55.26	1.442	-31.39	21.77	-31.39
35.68	47.65	59.53	53.17	1.335	-23.10	17.30	-23.10
68.30	58.91	90.20	40.78	0.863	4.805	-5.571	4.805
58.76	46.51	74.94	38.36	0.792	-9.523	12.03	-9.523
50.03	60.95	78.85	50.62	1.218	-4.324	3.549	-4.324
48.66	58.67	76.22	50.33	1.206	-7.050	5.846	-7.050
45.56	41.49	61.62	42.32	0.911	3.032	-3.329	3.032

ตารางที่ ฉ.16 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1 (ตัดข้อมูลแล้ว)

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
23/3/01 20:26	1.0041	1.4826	3.8935	25.83	152.2	189.7	9.348	42.15
23/3/01 20:26	0.8233	1.3350	3.4202	21.25	137.1	166.6	5.457	39.56
23/3/01 20:26	1.0738	1.4740	3.7431	27.59	151.3	182.4	4.931	44.28
23/3/01 20:26	1.0465	1.4278	3.6529	26.90	146.6	178.0	5.685	42.40
23/3/01 20:26	0.8951	1.5598	4.2564	23.07	160.1	207.5	15.31	41.37
23/3/01 20:26	0.6622	1.4185	3.6785	17.17	145.6	179.2	7.330	41.21
23/3/01 20:26	1.1631	1.7356	4.5343	29.86	178.2	221.1	10.21	49.75
Average				24.52	Average		8.325	42.96

อัตราทดของระบบเกียร์

142 ต่อ 1

อัตราทดของ Pulley

3 ต่อ 2

สัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT)

0.30

อัตราทดรวมของระบบส่งกำลัง

213 ต่อ 1

ดังนั้น

ความเร็วรอบของล้อพรวนดิน

15.02 rpm

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑๖ ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1 (ตัดข้อมูลแล้ว) ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม F_T (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ(องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน		
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$	
35.18	67.35	75.98	62.42	1.914	-20.58	10.75	-20.58	
26.70	69.94	74.86	69.10	2.619	-28.08	10.72	-28.08	
32.53	65.22	72.88	63.49	2.005	-24.51	12.22	-24.51	
32.59	67.10	74.59	64.10	2.059	-21.54	10.46	-21.54	
38.38	68.13	78.19	60.60	1.775	-20.23	11.40	-20.23	
24.50	68.29	72.55	70.27	2.788	-41.68	14.95	-41.68	
40.07	59.75	71.94	56.16	1.491	-26.23	17.59	-26.23	
Average	32.85	66.54	74.20	63.73	2.026	-25.32	12.50	-25.32

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ17 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 2 (ตัดข้อมูลแล้ว)

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
24/3/01 17:06	1.0280	1.3915	4.2060	26.44	142.9	205.0	27.55	29.36
24/3/01 17:06	0.7204	1.5415	3.8992	18.64	158.3	190.0	4.66	46.58
24/3/01 17:06	1.1728	1.5297	4.1954	30.10	157.1	204.5	15.73	40.19
24/3/01 17:06	0.8065	1.6148	5.0152	20.82	165.8	244.6	36.61	31.56
Average				24.00	Average		21.14	36.92

อัตราทดของระบบเกียร์

72 ต่อ 1

อัตราทดของ Pulley

3 ต่อ 2

สัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT)

0.41

อัตราทดรวมของระบบส่งกำลัง

108 ต่อ 1

ดังนั้น

ความเร็วรอบของล้อพรวนดิน

29.63 rpm

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑๗ ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 2 (ตัดข้อมูลแล้ว) ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม F_T (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ(องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน		
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$	
53.99	80.14	96.63	56.03	1.484	3.014	-2.030	3.014	
23.30	62.92	67.10	69.68	2.700	-56.39	20.88	-56.39	
45.83	69.31	83.09	56.53	1.512	-8.958	5.923	-8.958	
57.43	77.94	96.82	53.62	1.357	-3.401	2.506	-3.401	
Average	45.14	72.58	85.47	58.12	1.608	-9.732	6.052	-9.732

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.18 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 3 (ตัดข้อมูลแล้ว)

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
24/3/01 20:50	0.8298	1.4686	3.6562	21.41	150.8	178.1	2.417	45.48
24/3/01 20:50	0.9485	1.6733	4.1823	24.42	171.8	203.8	3.374	51.48
24/3/01 20:50	0.9256	1.7031	4.3092	23.84	174.9	210.0	5.236	51.42
24/3/01 20:50	1.4677	1.7857	4.8465	37.58	183.3	236.3	16.69	47.82
Average				26.81	Average		6.930	49.05

อัตราทดของระบบเกียร์

53 ต่อ 1

อัตราทดของ Pulley

3 ต่อ 2

สัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT)

0.31

อัตราทดรวมของระบบส่งกำลัง

79.5 ต่อ 1

ดังนั้น

ความเร็วรอบของล้อพรุนดิน

40.25 rpm

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑๑ ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 3 (ตัดข้อมูลแล้ว) ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม F_T (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ(องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน		
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$	
23.83	64.02	68.31	69.59	2.687	-47.52	17.69	-47.52	
27.79	58.02	64.33	64.40	2.087	-50.29	24.09	-50.29	
29.08	58.08	64.96	63.41	1.998	-48.64	24.35	-48.64	
54.27	61.68	82.15	48.65	1.136	-11.03	9.71	-11.03	
Average	33.74	60.45	69.23	60.83	1.792	-33.66	18.79	-33.66

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.19 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 1 (ตัดข้อมูลแล้ว)

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
27/3/01 16:42	1.3113	1.5665	3.9668	33.61	160.8	193.3	4.886	47.25
27/3/01 16:42	1.3365	1.5107	3.8531	34.25	155.1	187.7	5.643	45.06
27/3/01 16:42	1.2420	1.7837	4.6951	31.86	183.1	228.9	11.70	50.47
27/3/01 16:42	0.7825	1.5383	4.4605	20.21	157.9	217.4	24.05	35.94
27/3/01 16:42	0.9939	1.4726	4.2646	25.57	151.2	207.9	22.82	34.52
27/3/01 16:42	1.8101	1.7506	4.3646	46.25	179.7	212.8	3.177	54.05
27/3/01 16:42	1.2648	1.9484	5.3983	32.43	200.1	263.3	22.01	50.12
27/3/01 16:42	1.6711	1.8188	4.9051	42.73	186.7	239.2	15.95	49.28
27/3/01 16:42	1.1063	1.8393	4.9558	28.42	188.8	241.7	15.98	49.92
			Average	32.82		Average	14.02	46.29

อัตราทดของระบบเกียร์

142 ต่อ 1

อัตราทดของ Pulley

3 ต่อ 2

สัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT)

0.43

อัตราทดรวมของระบบส่งกำลัง

213 ต่อ 1

ดังนั้น

ความเร็วรอบของล้อพรวนดิน

15.96 rpm

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.19 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 1 (ตัดข้อมูลแล้ว) ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม F_T (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ(องศา)	$H_1 = A * L_R + B$		ระยะตัดแกน		
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$	
38.50	62.25	73.19	58.26	1.617	-19.31	11.95	-19.31	
39.90	64.44	75.79	58.24	1.615	-14.38	8.904	-14.38	
43.56	59.03	73.36	53.58	1.355	-23.27	17.17	-23.27	
44.26	73.56	85.84	58.96	1.662	-11.89	7.155	-11.89	
48.39	74.98	89.24	57.16	1.550	-4.462	2.880	-4.462	
49.43	55.45	74.28	48.28	1.122	-13.55	12.08	-13.55	
54.44	59.38	80.56	47.48	1.091	-17.45	16.00	-17.45	
58.68	60.22	84.08	45.74	1.026	-8.234	8.024	-8.234	
44.40	59.58	74.30	53.31	1.342	-25.04	18.66	-25.04	
Average	46.84	63.21	78.67	53.46	1.349	-14.92	11.05	-14.92

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.20 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 2 (ตัดข้อมูลแล้ว)

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
27/3/01 17:24	0.6840	1.4578	3.8226	17.72	149.7	186.3	8.988	41.56
27/3/01 17:24	1.2170	1.4701	3.8741	31.22	150.9	188.8	9.720	41.56
27/3/01 17:24	1.1383	1.5470	3.8139	29.23	158.8	185.8	1.291	48.59
			Average	26.06		Average	6.667	43.90

อัตราทดของระบบเกียร์

72 ต่อ 1

อัตราทดของ Pulley

3 ต่อ 2

สัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT)

0.30

อัตราทดรวมของระบบส่งกำลัง

108 ต่อ 1

ดังนั้น

ความเร็วรอบของล้อพรวนดิน

31.48 rpm

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ น20 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 2 (ตัดข้อมูลแล้ว) ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม F_T (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ(องศา)	$H_1 = A * L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
26.71	67.94	73.00	68.54	2.544	-38.14	14.99	-38.14
40.94	67.94	79.33	58.93	1.659	-11.31	6.818	-11.31
30.52	60.91	68.13	63.39	1.996	-33.29	16.68	-33.29
Average 32.72	65.60	73.31	63.49	2.005	-25.44	12.69	-25.44

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ21 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 3 (ตัดข้อมูลแล้ว)

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
27/3/01 18:14	0.6332	1.5174	4.0057	16.43	155.8	195.2	10.29	42.75
27/3/01 18:14	1.0409	1.4681	3.7270	26.76	150.7	181.6	4.871	44.13
27/3/01 18:14	0.9588	1.5785	4.2202	24.68	162.1	205.7	12.52	43.49
27/3/01 18:14	1.1229	1.8080	4.9468	28.84	185.6	241.2	18.26	47.68
Average				24.18	Average		11.49	44.51

อัตราทดของระบบเกียร์

53 ต่อ 1

อัตราทดของ Pulley

3 ต่อ 2

สัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT)

0.33

อัตราทดรวมของระบบส่งกำลัง

79.5 ต่อ 1

ดังนั้น

ความเร็วรอบของล้อพรวนดิน

42.77 rpm

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ น21 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 รอบต่อนาที เกียร์ 3 (ตัดข้อมูลแล้ว) ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม F_T (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ(องศา)	$H_1 = A * L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
26.72	66.75	71.89	68.19	2.498	-42.92	17.18	-42.92
31.63	65.37	72.62	64.18	2.067	-25.96	12.56	-25.96
37.20	66.01	75.77	60.59	1.774	-22.91	12.91	-22.91
47.10	61.82	77.72	52.69	1.312	-20.06	15.29	-20.06
Average	35.66	74.13	61.24	1.822	-26.40	14.49	-26.40

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.22 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 1 (ตัดข้อมูลแล้ว)

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
27/3/01 18:58	1.1746	1.3952	3.7281	30.15	143.2	181.6	10.95	38.50
27/3/01 18:58	0.5726	1.3552	3.8913	14.90	139.1	189.6	19.84	32.39
27/3/01 18:58	1.1427	1.5299	3.9174	29.34	157.1	190.9	6.244	45.35
			Average	24.80		Average	12.35	38.75

อัตราทดของระบบเกียร์

142 ต่อ 1

อัตราทดของ Pulley

3 ต่อ 2

สัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT)

0.34

อัตราทดรวมของระบบส่งกำลัง

213 ต่อ 1

ดังนั้น

ความเร็วรอบของล้อพรวนดิน

16.90 rpm

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ น22 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 1 (ตัดข้อมูลแล้ว) ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม F_T (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ(องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
41.10	71.00	82.04	59.93	1.727	-7.458	4.317	-7.458
34.73	77.11	84.57	65.75	2.220	-14.98	6.750	-14.98
35.59	64.15	73.36	60.98	1.803	-22.27	12.36	-22.27
Average 37.14	70.75	79.91	62.30	1.905	-14.54	7.630	-14.54

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.23 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 2 (ตัดข้อมูลแล้ว)

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
27/3/01 20:40	1.3884	1.3847	4.0025	35.57	142.2	195.0	21.18	32.61
27/3/01 20:40	1.1348	1.4812	4.0398	29.14	152.1	196.9	14.44	39.34
27/3/01 20:40	1.0093	1.6620	4.0967	25.96	170.6	199.7	1.400	52.19
			Average	30.22		Average	12.34	41.38

อัตราทดของระบบเกียร์

72 ต่อ 1

อัตราทดของ Pulley

3 ต่อ 2

สัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT)

0.39

อัตราทดรวมของระบบส่งกำลัง

108 ต่อ 1

ดังนั้น

ความเร็วรอบของล้อพรวนดิน

33.33 rpm

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ น23 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 2 (ตัดข้อมูลแล้ว) ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม F_T (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ(องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
56.74	76.89	95.56	53.57	1.355	5.556	-4.100	5.556
43.59	70.16	82.59	58.15	1.610	-9.108	5.659	-9.108
27.36	57.31	63.51	64.48	2.095	-50.59	24.15	-50.59
Average 42.56	68.12	80.32	58.00	1.600	-11.48	7.173	-11.48

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ24 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 3 (ตัดข้อมูลแล้ว)

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
28/3/01 15:36	1.2097	1.6305	4.2351	31.04	167.4	206.4	8.727	47.21
28/3/01 15:36	1.9420	1.7994	4.9389	49.60	184.8	240.8	18.70	47.17
			Average	40.32		Average	13.72	47.19

อัตราทดของระบบเกียร์

53 ต่อ 1

อัตราทดของ Pulley

3 ต่อ 2

สัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT)

0.49

อัตราทดรวมของระบบส่งกำลัง

79.5 ต่อ 1

ดังนั้น

ความเร็วรอบของล้อพรวนดิน

45.28 rpm

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ น24 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 รอบต่อนาที เกียร์ 3 (ตัดข้อมูลแล้ว) ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม F_T (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ(องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
39.77	62.29	73.91	57.45	1.567	-21.11	13.48	-21.11
68.30	62.33	92.47	42.38	0.913	-0.878	0.962	-0.878
Average 54.03	62.31	82.48	49.07	1.153	-8.325	7.219	-8.325

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๑๒5 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 15 กิโลกรัม (ตัดข้อมูลแล้ว)

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
28/3/01 19:27	0.4699	1.3905	3.6878	12.29	142.8	179.7	9.967	38.89
28/3/01 19:27	1.6425	1.8450	4.6054	42.01	189.4	224.5	3.559	56.85
28/3/01 19:27	0.4760	1.4875	4.0766	12.45	152.7	198.7	15.18	39.14
28/3/01 19:27	0.7100	1.5833	4.3073	18.38	162.6	210.0	15.10	42.24
28/3/01 19:27	0.8537	1.6116	4.3793	22.02	165.5	213.5	15.21	43.08
28/3/01 19:27	1.3026	1.6362	4.3528	33.39	168.0	212.2	12.27	45.46
28/3/01 19:27	1.4861	1.9141	4.9070	38.04	196.5	239.3	8.112	56.58
28/3/01 19:27	1.0933	1.7949	4.7455	28.09	184.3	231.4	12.49	50.40
			Average	25.83		Average	11.49	46.58

อัตราทดของระบบเกียร์

142 ต่อ 1

อัตราทดของ Pulley

3 ต่อ 2

สัมประสิทธิ์การตะกຽบ (CT)

0.30

อัตราทดรวมของระบบส่งกำลัง

213 ต่อ 1

ดังนั้น

ความเร็วรอบของล้อพรวนดิน

15.02 rpm

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ25 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 15 กิโลกรัม (ตัดข้อมูลแล้ว) ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P ₃ (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R ₃ (kgf)	แรงต้านทานรวม F _T (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ(องศา)	H ₁ = A*L _R + B		ระยะตัดแกน	
				A	B	H ₁ =0	L _R =0
22.26	85.61	88.46	75.43	3.846	-47.86	12.44	-47.86
45.57	67.65	81.56	56.04	1.485	-22.51	15.16	-22.51
27.63	85.36	89.72	72.06	3.089	-38.62	12.50	-38.62
33.48	82.26	88.81	67.86	2.457	-30.64	12.47	-30.64
37.23	81.42	89.53	65.43	2.187	-25.00	11.43	-25.00
45.66	79.04	91.28	59.98	1.731	-13.67	7.89	-13.67
46.16	67.92	82.12	55.80	1.472	-25.19	17.12	-25.19
40.58	74.10	84.48	61.29	1.826	-28.64	15.69	-28.64
Average	37.32	77.92	64.41	2.088	-27.01	12.94	-27.01

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ26 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 30 กิโลกรัม (ตัดข้อมูลแล้ว)

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
28/3/01 21:05	0.8589	1.6011	4.0973	22.15	164.4	199.7	6.463	47.50
28/3/01 21:05	0.9620	1.6791	4.1349	24.76	172.4	201.5	1.275	52.81
28/3/01 21:05	1.1724	1.6366	4.0082	30.09	168.0	195.3	0.485	51.88
28/3/01 21:05	0.7654	1.6406	4.2836	19.78	168.4	208.8	9.545	47.08
28/3/01 21:05	0.8434	2.0815	5.5375	21.76	213.7	270.1	15.71	57.78
28/3/01 21:05	0.9128	1.8900	5.1454	23.52	194.1	250.9	18.23	50.31
28/3/01 21:05	0.9508	1.8357	5.2078	24.48	188.5	254.0	24.87	44.97
Average				23.79	Average		10.94	50.33

อัตราทดของระบบเกียร์

142 ต่อ 1

อัตราทดของ Pulley

3 ต่อ 2

สัมประสิทธิ์การตะกຽย (CT)

0.25

อัตราทดรวมของระบบส่งกำลัง

213 ต่อ 1

ดังนั้น

ความเร็วรอบของล้อพรวนดิน

15.02 rpm

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ26 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 30 กิโลกรัม (ตัดข้อมูลแล้ว) ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม F_T (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ(องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน		
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$	
28.61	92.00	96.35	72.72	3.215	-42.89	13.34	-42.89	
26.04	86.69	90.52	73.28	3.329	-56.58	16.99	-56.58	
30.58	87.62	92.80	70.76	2.865	-39.11	13.65	-39.11	
29.32	92.42	96.96	72.40	3.152	-44.06	13.98	-44.06	
37.47	81.72	89.90	65.37	2.181	-50.60	23.21	-50.60	
41.75	89.19	98.48	64.92	2.136	-31.96	14.96	-31.96	
49.34	94.53	106.63	62.43	1.916	-18.99	9.913	-18.99	
Average	34.73	89.17	95.69	68.72	2.567	-38.48	14.99	-38.48

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ27 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 45 กิโลกรัม (ตัดข้อมูลแล้ว)

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
29/3/01 14:34	0.7584	1.4717	3.6139	19.60	151.1	176.0	0.717	46.50
29/3/01 14:34	0.2146	1.4707	4.3305	5.821	151.0	211.1	25.22	33.15
29/3/01 14:34	1.3088	1.9133	4.8910	33.55	196.4	238.5	7.629	56.82
29/3/01 14:34	0.6939	1.7619	4.6675	17.97	180.9	227.6	12.57	49.30
29/3/01 14:34	0.7914	1.6133	4.0403	20.44	165.6	196.9	3.515	49.49
29/3/01 14:34	0.9866	1.7499	4.3531	25.39	179.7	212.2	2.848	54.21
29/3/01 14:34	0.4948	1.6306	4.6248	12.92	167.4	225.5	22.00	40.00
29/3/01 14:34	1.5753	1.6020	4.1951	40.30	164.5	204.5	9.727	45.75
29/3/01 14:34	1.0436	1.8533	4.6258	26.83	190.3	225.5	3.566	57.11
29/3/01 14:34	1.1509	1.8815	4.7504	29.55	193.2	231.6	5.475	56.97
Average				23.24	Average		9.327	48.93

อัตราทดของระบบเกียร์

142 ต่อ 1

อัตราทดของ Pulley

3 ต่อ 2

สัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT)

0.21

อัตราทดรวมของระบบส่งกำลัง

213 ต่อ 1

ดังนั้น

ความเร็วรอบของล้อพรวนดิน

15.02 rpm

ตารางที่ ๑๒๗ ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหน้า 45 กิโลกรัม (ตัดข้อมูลแล้ว) ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม F_T (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ(องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน	
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$
20.32	108.0	109.9	79.34	5.315	-62.78	11.81	-62.78
31.04	121.3	125.3	75.65	3.909	-30.05	7.687	-30.05
41.18	97.68	106.0	67.14	2.372	-33.10	13.95	-33.10
30.54	105.2	109.5	73.81	3.445	-49.30	14.31	-49.30
23.95	105.0	107.7	77.15	4.384	-59.75	13.63	-59.75
28.23	100.3	104.2	74.28	3.552	-54.41	15.32	-54.41
34.92	114.5	119.7	73.04	3.279	-31.28	9.539	-31.28
50.03	108.7	119.7	65.29	2.174	-7.270	3.345	-7.270
30.40	97.39	102.0	72.67	3.204	-54.77	17.09	-54.77
35.02	97.53	103.6	70.25	2.785	-43.99	15.80	-43.99
Average	32.56	105.6	72.86	3.242	-39.02	12.04	-39.02

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ จ28 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 5 กิโลกรัม (ตัดข้อมูลแล้ว)

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
29/3/01 17:04	0.9496	1.9075	5.3381	24.45	195.8	260.4	23.35	48.09
29/3/01 17:04	0.5950	1.8828	4.9972	15.46	193.3	243.7	13.78	52.50
29/3/01 17:04	0.7119	1.7819	4.9896	18.43	183.0	243.3	21.89	44.88
29/3/01 17:04	1.3727	2.0152	5.2629	35.17	206.9	256.7	11.86	57.76
29/3/01 17:05	0.7014	1.7883	5.0032	18.16	183.6	244.0	21.82	45.12
29/3/01 17:05	1.0622	1.7855	4.6229	27.30	183.3	225.4	9.088	51.95
29/3/01 17:05	1.0962	1.9845	5.1315	28.16	203.8	250.3	9.924	57.84
29/3/01 17:05	0.7434	1.8207	4.6583	19.22	186.9	227.1	7.377	54.00
29/3/01 17:05	1.3246	2.0810	5.0972	33.95	213.7	248.6	0.754	65.90
29/3/01 17:05	1.2142	2.1477	5.6637	31.15	220.5	276.3	14.53	60.54
29/3/01 17:05	1.2396	2.1415	5.8004	31.80	219.9	283.0	19.71	57.52
29/3/01 17:05	1.5448	2.2048	5.9209	39.53	226.4	288.8	18.56	60.17
29/3/01 17:05	0.6930	1.9196	5.3634	17.95	197.1	261.6	23.21	48.55
29/3/01 17:05	0.7951	1.9179	5.4114	20.53	196.9	263.9	24.98	47.54
			Average	25.80		Average	15.77	53.74

อัตราทดของระบบเกียร์

142 ต่อ 1

อัตราทดของ Pulley

3 ต่อ 2

ดังนั้น

อัตราทดรวมของระบบส่งกำลัง

213 ต่อ 1

สัมประสิทธิ์การตะกุก (CT)

0.36

ความเร็วรอบล้อพรวนดิน

15.02 rpm

ตารางที่ จ28 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 5 กิโลกรัม (ตัดข้อมูลแล้ว) ต่อ

แรงต้นจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม F_T (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ(องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน		
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$	
47.80	66.41	81.83	54.26	1.389	-10.94	7.874	-10.94	
29.24	62.00	68.55	64.75	2.120	-40.84	19.26	-40.84	
40.31	69.62	80.45	59.93	1.727	-13.99	8.100	-13.99	
47.03	56.74	73.69	50.35	1.206	-15.55	12.89	-15.55	
39.98	69.38	80.07	60.05	1.735	-14.78	8.516	-14.78	
36.39	62.55	72.36	59.81	1.719	-18.71	10.88	-18.71	
38.09	56.66	68.27	56.09	1.488	-26.96	18.12	-26.96	
26.60	60.50	66.09	66.27	2.274	-43.16	18.98	-43.16	
34.70	48.60	59.72	54.47	1.401	-38.27	27.33	-38.27	
45.68	53.96	70.70	49.75	1.181	-23.47	19.87	-23.47	
51.50	56.98	76.80	47.89	1.106	-16.33	14.76	-16.33	
58.09	54.33	79.54	43.09	0.935	-12.01	12.84	-12.01	
41.16	65.95	77.74	58.03	1.602	-19.92	12.43	-19.92	
45.51	66.96	80.97	55.80	1.471	-14.17	9.633	-14.17	
Average	41.58	60.76	73.62	55.62	1.461	-20.38	13.95	-20.38

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ29 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 10 กิโลกรัม (ตัดข้อมูลแล้ว)

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
29/3/01 15:12	1.2028	2.0016	5.0250	30.87	205.5	245.0	4.877	61.12
29/3/01 15:12	1.2342	2.2341	5.5653	31.66	229.4	271.5	4.008	69.01
29/3/01 15:12	1.1504	2.1117	5.4302	29.54	216.8	264.9	9.554	62.09
29/3/01 15:12	1.5496	2.2947	5.6059	39.65	235.6	273.4	0.371	72.92
29/3/01 15:12	1.6927	2.3891	6.2783	43.28	245.3	306.3	15.46	67.72
29/3/01 15:12	1.5775	2.1583	5.5318	40.36	221.6	269.8	9.154	63.80
29/3/01 15:12	0.9965	2.0630	5.5539	25.64	211.8	270.9	17.81	56.06
Average				34.43	Average		8.748	64.67

อัตราทดของระบบเกียร์

142 ต่อ 1

อัตราทดของ Pulley

3 ต่อ 2

สัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT)

0.36

อัตราทดรวมของระบบส่งกำลัง

213 ต่อ 1

ดังนั้น

ความเร็วรอบของล้อพรวนดิน

15.02 rpm

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ29 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 10 กิโลกรัม (ตัดข้อมูลแล้ว) ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P_3 (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R_3 (kgf)	แรงต้านทานรวม F_T (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ(องศา)	$H_1 = A \cdot L_R + B$		ระยะตัดแกน		
				A	B	$H_1=0$	$L_R=0$	
35.74	58.38	68.45	58.52	1.633	-14.49	8.872	-14.49	
35.67	50.49	61.82	54.76	1.416	-28.01	19.79	-28.01	
39.09	57.41	69.45	55.75	1.469	-16.06	10.93	-16.06	
40.02	46.58	61.42	49.33	1.164	-23.27	19.99	-23.27	
58.74	51.78	78.30	41.39	0.881	-7.158	8.121	-7.158	
49.51	55.70	74.53	48.37	1.125	-5.962	5.299	-5.962	
43.44	63.44	76.89	55.60	1.460	-8.781	6.013	-8.781	
Average	43.17	54.83	69.78	51.78	1.270	-13.81	10.87	-13.81

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๓30 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 15 กิโลกรัม (ตัดข้อมูลแล้ว)

วัน / เวลา ที่ทำการทดลอง	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัด ได้จาก load cell (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 1 (V)	แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก สเตรนเกจตำแหน่ง 2 (V)	แรงดึงที่อ่านได้ จาก load cell (kgf)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 1 (N.m)	โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจ ตำแหน่ง 2 (N.m)	F ₄ (kgf)	R ₄ (kgf)
29/3/01 18:12	1.0003	2.1370	5.8751	25.73	219.4	286.6	22.62	55.80
29/3/01 18:12	1.1042	2.4953	6.3077	28.37	256.2	307.8	7.661	75.35
29/3/01 18:12	0.8599	2.2668	5.8228	22.17	232.8	284.1	10.07	66.75
29/3/01 18:12	1.2619	2.4033	6.1516	32.36	246.8	300.1	9.965	71.16
29/3/01 18:12	1.4940	2.4122	6.3339	38.24	247.7	309.0	15.44	68.47
29/3/01 18:12	0.9720	2.3935	5.9083	25.02	245.8	288.2	2.487	74.91
29/3/01 18:12	1.4362	2.3371	5.9184	36.78	240.0	288.7	7.504	70.39
29/3/01 18:12	1.2777	2.3231	6.4102	32.76	238.5	312.8	25.43	60.21
29/3/01 18:13	0.9757	2.3992	6.3241	25.11	246.4	308.6	16.18	67.66
29/3/01 18:13	1.2988	2.4525	6.0489	33.30	251.8	295.1	2.386	76.85
29/3/01 18:13	1.6665	2.4963	6.8390	42.62	256.3	333.7	25.68	65.59
29/3/01 18:13	1.6003	2.7515	7.2292	40.94	282.5	352.8	17.82	77.99
29/3/01 18:13	1.0183	2.4011	6.5532	26.19	246.5	319.8	23.84	63.55
29/3/01 18:13	1.0418	2.4390	6.5878	26.78	250.4	321.5	21.87	65.83
			Average	31.17		Average	14.93	68.61

อัตราทดของระบบเกียร์

142 ต่อ 1

อัตราทดของ Pulley

3 ต่อ 2

ดังนั้น

อัตราทดรวมของระบบส่งกำลัง

213 ต่อ 1

สัมประสิทธิ์การตะกุก (CT)

0.37

ความเร็วรอบล้อพรวนดิน

15.02 rpm

ตารางที่ ๓30 ค่าต่างๆ ที่วัดและคำนวณได้จากการทดลอง เมื่อทำการถ่วงน้ำหนักด้านหลัง 15 กิโลกรัม (ตัดข้อมูลแล้ว) ต่อ

แรงดันจากการ ไถพรวน P ₃ (kgf)	แรงยกจากการ ไถพรวน R ₃ (kgf)	แรงต้านทานรวม F _T (kgf)	มุมที่แรงต้านทานรวม กระทำต่อแนวระดับ(องศา)	H ₁ = A*L _R + B		ระยะตัดแกน		
				A	B	H ₁ =0	L _R =0	
48.36	68.70	84.02	54.86	1.421	5.528	-3.891	5.528	
36.03	49.15	60.94	53.76	1.364	-25.54	18.72	-25.54	
32.25	57.75	66.14	60.82	1.791	-18.96	10.59	-18.96	
42.33	53.34	68.09	51.57	1.260	-11.35	9.01	-11.35	
53.68	56.03	77.59	46.22	1.044	-1.037	0.994	-1.037	
27.50	49.59	56.70	60.98	1.803	-37.74	20.93	-37.74	
44.28	54.11	69.92	50.70	1.222	-5.722	4.683	-5.722	
58.19	64.29	86.72	47.85	1.105	4.701	-4.255	4.701	
41.29	56.84	70.26	54.01	1.377	-13.07	9.49	-13.07	
35.68	47.65	59.53	53.17	1.335	-23.10	17.30	-23.10	
68.30	58.91	90.20	40.78	0.863	4.805	-5.571	4.805	
58.76	46.51	74.94	38.36	0.792	-9.523	12.031	-9.523	
50.03	60.95	78.85	50.62	1.218	-4.324	3.549	-4.324	
48.66	58.67	76.22	50.33	1.206	-7.050	5.846	-7.050	
Average	46.10	55.89	72.45	50.49	1.213	-7.706	6.355	-7.706

ภาคผนวก ข

ความแข็งแรงของทรายที่ใช้ในการทดลอง ความลึกการพรุนทราย และความเร็วการเคลื่อนที่ของกระเบทราย

ตารางที่ ข1 ความแข็งแรงของทรายที่ใช้ในการทดลอง

ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 rpm

	เกียร์ 1			เกียร์ 2			เกียร์ 3		
ความลึก (cm)	4	8	12	4	8	12	4	8	12
แรงต้านทานการกดเฉลี่ย (kgf)	6	14	24	6	12	26	6	14	28
แรงต้านทานต่อพื้นที่ (kgf/cm ²)	3	7	12	3	6	13	3	7	14

ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3400 rpm

	เกียร์ 1			เกียร์ 2			เกียร์ 3		
ความลึก (cm)	4	8	12	4	8	12	4	8	12
แรงต้านทานการกดเฉลี่ย (kgf)	6	16	31	4	12	26	6	14	30
แรงต้านทานต่อพื้นที่ (kgf/cm ²)	3	8	15.5	2	6	13	3	7	15

ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3600 rpm

	เกียร์ 1			เกียร์ 2			เกียร์ 3		
ความลึก (cm)	4	8	12	4	8	12	4	8	12
แรงต้านทานการกดเฉลี่ย (kgf)	6	12	26	6	14	30	6	14	26
แรงต้านทานต่อพื้นที่ (kgf/cm ²)	3	6	13	3	7	15	3	7	13

ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 rpm เกียร์ 1 ถ่วงน้ำหนักด้านหน้า

	15 kg			30 kg			45 kg		
ความลึก (cm)	4	8	12	4	8	12	4	8	12
แรงต้านทานการกดเฉลี่ย (kgf)	6	12	26	6	12	30	8	16	28
แรงต้านทานต่อพื้นที่ (kgf/cm ²)	3	6	13	3	6	15	4	8	14

ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 rpm เกียร์ 1 ถ่วงน้ำหนักด้านหลัง

	5 kg			10 kg			15 kg		
ความลึก (cm)	4	8	12	4	8	12	4	8	12
แรงต้านทานการกดเฉลี่ย (kgf)	6	14	26	6	20	30	6	14	26
แรงต้านทานต่อพื้นที่ (kgf/cm ²)	3	7	13	3	10	15	3	7	13



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ช2 ความลึกการพรุนทราย ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์และเกียร์ความเร็วต่างๆ

เกียร์ความเร็ว	ความลึกการพรุนทรายเฉลี่ย (cm)			ความลึกเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหน้า (cm)			ความลึกเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหลัง (cm)		
	3200 rpm	3400 rpm	3600 rpm	15 kg	30 kg	45 kg	5 kg	10 kg	15 kg
1	9.04	10.92	9.53	10.45	10.86	9.41	9.94	10.41	10.39
2	10.16	9.71	9.95						
3	10.52	9.88	9.86						

ตารางที่ ช3 ความเร็วการเคลื่อนที่ของกระบะทรายที่ใช้ในการทดลอง

เกียร์ความเร็ว	ความเร็วการเคลื่อนที่ (m/s)			ความเร็วเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหน้า (m/s)			ความเร็วเมื่อถ่วงน้ำหนักด้านหลัง (m/s)		
	3200 rpm	3400 rpm	3600 rpm	15 kg	30 kg	45 kg	5 kg	10 kg	15 kg
1	0.120	0.123	0.136	0.120	0.128	0.136	0.108	0.112	0.103
2	0.226	0.241	0.244						
3	0.276	0.325	0.330						

หมายเหตุ ระยะการเคลื่อนที่ของกระบะทราย 2 m

ขณะถ่วงน้ำหนักรถไถพรวน ทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 rpm เกียร์ 1 เท่านั้น

ภาคผนวก ซ

ตัวอย่างการคำนวณ

ในที่นี้จะยกตัวอย่างการคำนวณกรณีทำการทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 3200 รอบต่อนาที เกียร์ 1

ข้อมูลดิบที่วัดได้จากเครื่อง Data logger เป็นดังนี้

แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จากสเตรนเกจที่ตำแหน่ง 1 (E_1)	=	1.4826 V.
แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จากสเตรนเกจที่ตำแหน่ง 2 (E_2)	=	3.8935 V.
แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้จาก Load cell (E_3)	=	1.0041 V.

จากข้อมูลแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่วัดได้นี้สามารถคำนวณค่าอื่นๆ ได้ดังนี้

1. โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจที่ตำแหน่ง 1 (N.m)

จากสมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบ สมการที่ (6.10)

$$M_1 = 102.7 E_1 - 0.0476$$

โดย E_1 = แรงเคลื่อนไฟฟ้า (V)
 M_1 = โมเมนต์ (N.m)

แทนค่า E_1 = 1.4826 V

ได้ M_1 = 152.2 N.m

ดังนั้นโมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจที่ตำแหน่ง 1 = 152.2 N.m

2. โมเมนต์ที่เกิดจากสเตรนเกจตำแหน่ง 2 (N.m)

จากสมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบ สมการที่ (6.11)

$$M_2 = 48.896 E_2 - 0.6587$$

โดย E_2 = แรงเคลื่อนไฟฟ้า (V)
 M_2 = โมเมนต์ (N.m)

แทนค่า E_2 = 3.8935 V

ได้ M_2 = 189.7 N.m

ดังนั้นโมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจที่ตำแหน่ง 2 = 189.7 N.m

3. แรงดึงที่อ่านได้จาก Load cell (kgf)

จากสมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบ สมการที่ (6.12)

$$T = 25.341 E_3 + 0.3842$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } E_3 &= \text{แรงเคลื่อนไฟฟ้า (V)} \\ T &= \text{น้ำหนัก (kgf)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } E_3 &= 1.00 \text{ V} \\ \text{ได้ } T &= 25.83 \text{ kgf} \end{aligned}$$

ดังนั้นแรงดึงที่อ่านได้จาก Load cell = 25.83 kgf

4. แรง F_4 (kgf)

$$\text{จากสมการ (6.13)} \quad F_4 = \frac{0.3285M_2 - 0.3805M_1}{(0.04804)(9.81)}$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } M_1 &= \text{โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจที่ตำแหน่ง 1} \\ M_2 &= \text{โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจที่ตำแหน่ง 2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } F_4 &= \frac{(0.3285)(189.7) - (0.3805)(152.2)}{(0.04804)(9.81)} \\ &= 9.348 \text{ kgf} \end{aligned}$$

ดังนั้น แรง $F_4 = 9.348 \text{ kgf}$

5. แรง R_4 (kgf)

$$\text{จากสมการ (6.14)} \quad R_4 = \frac{0.353M_1 - 0.1785M_2}{(0.04804)(9.81)}$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } M_1 &= \text{โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจที่ตำแหน่ง 1} \\ M_2 &= \text{โมเมนต์ที่เกิดที่สเตรนเกจที่ตำแหน่ง 2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } R_4 &= \frac{(0.353)(152.2) - (0.1785)(189.7)}{(0.04804)(9.81)} \\ &= 42.15 \text{ kgf} \end{aligned}$$

ดังนั้น แรง $R_4 = 42.15 \text{ kgf}$

6. แรยยกจากการไถพรวน R_3 (kgf)

$$\text{จากสมการ (6.15)} \quad R_3 = W + W_1 + W_2 - R_4$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } W &= \text{น้ำหนักของรถไถพรวนดิน} = 109.5 \text{ Kg} \\ W_1 &= \text{น้ำหนักที่ใช้ถ่วงรถไถพรวนดินด้านหน้า (kgf) ในกรณีนี้} = 0 \text{ kgf} \\ W_2 &= \text{น้ำหนักที่ใช้ถ่วงรถไถพรวนดินด้านหลัง (kgf) ในกรณีนี้} = 0 \text{ kgf} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad R_3 &= 109.5 + (0)(1) + (0)(1) - 42.1544 \\ &= 67.35 \text{ kgf} \end{aligned}$$

ดังนั้นแรยยกจากการไถพรวน $R_3 = 67.35 \text{ kgf}$

7. แรงดันจากการไถพรวน P_3 (kgf)

$$\text{จากสมการ (6.16)} \quad P_3 = T + F_4$$

$$\text{โดย } T = \text{แรงดึงที่อ่านได้จาก Load cell (kgf)}$$

แทนค่า แรง T และ F_4

$$\begin{aligned} P_3 &= 25.8288 + 9.3480 \text{ kgf} \\ &= 35.18 \text{ kgf} \end{aligned}$$

ดังนั้นแรงดันจากการไถพรวน $P_3 = 35.18 \text{ kgf}$

8. แรงต้านทานรวม F_T (kgf)

$$\text{จากสมการ (6.17)} \quad F_T = \sqrt{R_3^2 + P_3^2}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad F_T &= \sqrt{67.35^2 + 35.18^2} \\ &= 75.98 \text{ kgf} \end{aligned}$$

ดังนั้นแรงต้านทานรวม $F_T = 75.98 \text{ kgf}$

9. มุมที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อแนวระดับ (องศา)

$$\text{จากสมการ (6.18)} \quad \alpha = \arctan\left(\frac{R_3}{P_3}\right)$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad \alpha &= \arctan\left(\frac{67.35}{35.18}\right) \\ &= 62.42 \text{ องศา} \end{aligned}$$

ดังนั้นมุมที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อแนวระดับ = 62.42 องศา

10. สมการแสดงตำแหน่งแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อโอบีมีด

สมการแสดงตำแหน่งแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อโอบีมีดที่ใช้ในการศึกษานี้อยู่ในรูปแบบสมการเส้นตรงดังนี้

$$H_1 = AxL_R + B$$

เมื่อเทียบกับสมการ (6.9)

$$H_1 = \left(\frac{R_3}{P_3}\right) \cdot L_R + \left(\frac{TH_2 + W_2L_5 + WL_W \sin \theta + F_4H_3 - R_4L_4}{P_3}\right)$$

จะได้ว่า $A = \left(\frac{R_3}{P_3}\right)$

$$B = \left(\frac{TH_2 + W_2L_5 + WL_W \sin \theta + F_4H_3 - R_4L_4}{P_3}\right)$$

โดยระยะต่างๆ ที่วัดได้มีค่าดังนี้

$$H_2 = 41 \text{ cm}$$

$$H_3 = 1.65 \text{ cm}$$

$$L_4 = 65 \text{ cm}$$

$$L_5 = 124 \text{ cm}$$

$$L_W \sin \theta = 8.6 \text{ cm}$$

แทนค่า $A = \left(\frac{R_3}{P_3}\right) = \left(\frac{67.35}{35.18}\right)$

ดังนั้น $A = 1.91$

แทนค่า

$$B = \frac{(25.83 \times 41) + (0 \times 124) + (109.5 \times 8.6) + (9.35 \times 1.65) - (42.15 \times 65)}{35.18}$$

$$= -20.58$$

ดังนั้น $B = -20.58$

11. ระยะตัดแกน

ในการเขียนเส้นแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อใบมีดนั้น จะใช้สมการแสดงตำแหน่งแนวแรงที่แรงต้านทานรวมกระทำต่อใบมีด โดยใช้จุดต่ำสุดของการพรุนทรายใต้เพลาล้อเป็นจุดอ้างอิง (จุดกำเนิด) ที่จะใช้ในการเขียนสมการเส้นตรง

จากสมการเส้นตรง $H_1 = AxL_R + B$

การหาจุดตัดแกน x ทำได้โดยกำหนดให้ $H_1 = 0$

$$\text{ดังนั้นจุดตัดแกน } x = \frac{-B}{A}$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า จุดตัดแกน } x &= \frac{-(1.91)}{-20.58} \\ &= 10.75 \end{aligned}$$

การหาจุดตัดแกน y ทำได้โดยกำหนดให้ $L_R = 0$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นจุดตัดแกน } y &= B \\ &= -20.58 \end{aligned}$$

12. สัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT)

จากสมการ (6.20) $\text{สัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT)} = \frac{P_3}{W_T}$

โดย P_3 = แรงดันจากการไถพรวน (kgf)

W_T = น้ำหนักทั้งหมดที่กระทำบนรถไถพรวนดิน ($W + W_1 + W_2$)

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า สัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT)} &= \frac{35.43}{109.5 + (0x1) + (0x1)} \\ &= 0.32 \end{aligned}$$

ดังนั้นสัมประสิทธิ์การตะกรุย (CT) = 0.32

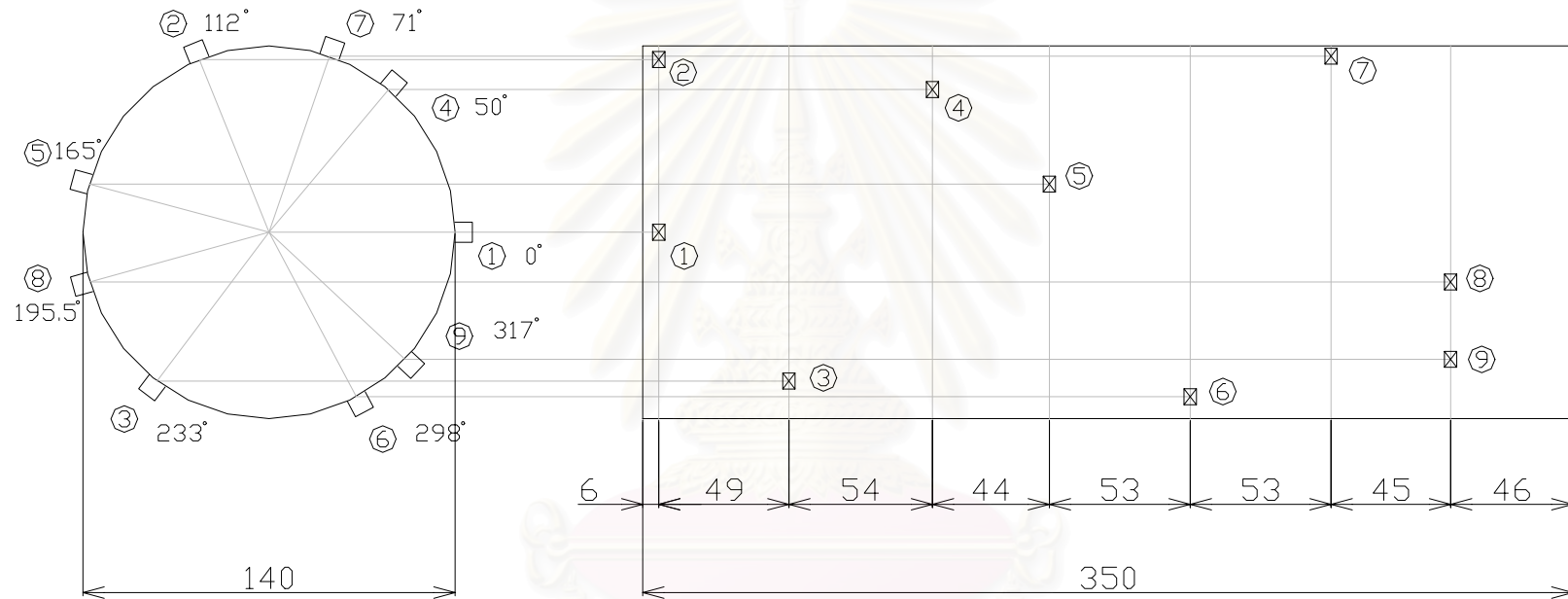
ภาคผนวก ฅ

รูปแบบการจัดเรียงใบมีดบนล้อพรวน

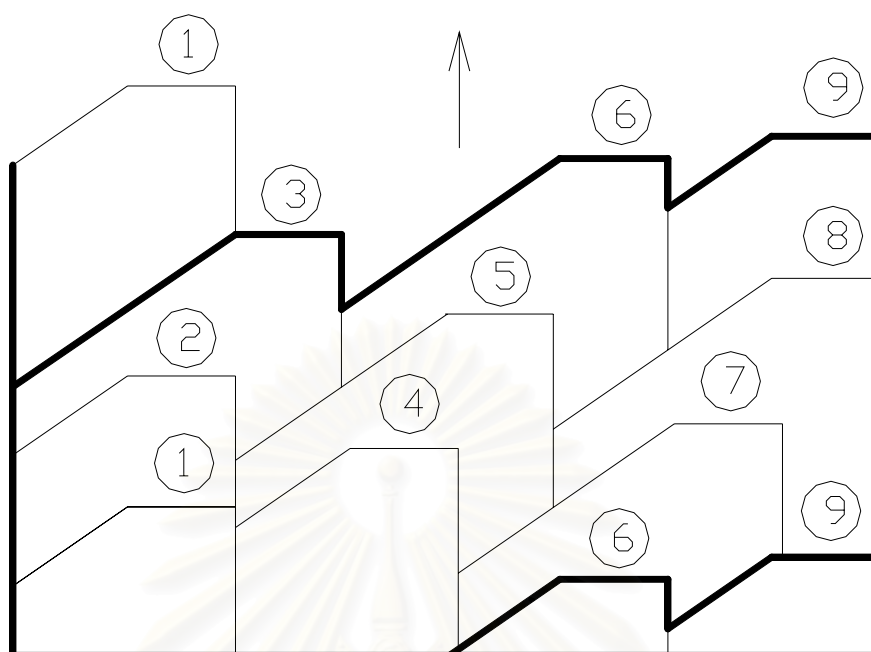
ล้อพรวนที่ใช้ในการทดลองนี้มีใบมีด 9 ใบ รูปแบบการจัดเรียงใบมีดบนล้อพรวนและขนาดของล้อพรวนแสดงดังรูปที่ ฅ1 ส่วนรูปแบบการตัดทรายของใบมีด (Cutting pattern) แสดงดังรูปที่ ฅ2



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ๓1 การจัดเรียงโบริดบนล้อยพรวน



รูปที่ ฌ2 รูปแบบการตัดทรายของไมมีด (Cutting pattern)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายชนัดต์ รัตนสมาวงศ์ เกิดเมื่อวันที่ 14 เดือนตุลาคม พุทธศักราช 2520 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตจากภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2540 เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2541



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย