



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

สัญญาเลขที่ MRG5480216

โครงการ ผลกระทบของใบมีดจอบหมุนแบบใหม่ที่มีต่อลักษณะ
การสั่นสะเทือนของเครื่องพรวนจอบหมุนติตรถไถเดินตาม
Effects of the Newly-designed Rotary Blades on
Vibration Characteristics of a Rotary Power Tiller

โดย อาจารย์ ดร. ศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล และคณะ

มิถุนายน ๒๕๕๖

โครงการ ผลกระทบของใบมีดจอบหมุนแบบใหม่ที่มีต่อลักษณะ
การสั่นสะเทือนของเครื่องพรวนจอบหมุนติรตไถเดินตาม
Effects of the Newly-designed Rotary Blades on
Vibration Characteristics of a Rotary Power Tiller

ผู้วิจัย

อาจารย์ ดร. ศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา นิยมภา	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ประเทือง	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
(ความเห็นรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สก.สว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

Abstract

Project Code: MRG5480216

Project Title: Effects of the Newly-designed Rotary Blades on Vibration Characteristics of a Rotary Power Tiller

Investigator: อาจารย์ ดร. ศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ธัญญา นิยมามา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
รองศาสตราจารย์ ดร.ประเทือง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Email: fengsrcp@ku.ac.th

Project Period: 1 July 2011 to 30 June 2013

This research aims to study the vibration characteristics of the rotary power tiller installed the 10-prototype rotary blades (B3) in tillage conditions at 2,000, 2,200 and 2,400 engine speeds comparing with the vibration characteristics of the rotary power tiller installed the 14-Japanese C-shaped Blades (B1) and the 14-prototype blades (B2). Tests were conducted at 1,200, 1,600 and 2,000 rpm engine speeds in stationary and transportation conditions. The vibrations at 6 positions on the rotary power tiller, i.e. top engine, chassis, gear box, chain-sprocket case of rotary, mid handle and handle grip, were measured in three mutually perpendicular directions (traveling, lateral and vertical directions). Also, the effects of wheel types (cage wheel and rubber tyre) and the tilling numbers (1 and 2 passes) on vibrations of rotary power tillers were studied. The vibrations transmitted to the operator's hand were evaluated and compared to the ANSI standard S3.34-1986. The vibration characteristics of the rotary power tillers as tilling were found very complex. The intensity of the vibration at the top engine in all test conditions was the highest. The vibration during tillage with the 10-prototype blades was the highest at the chain-sprocket case and the handle grip of rotary. The shape of the 10-prototype blades (B3) affected that the vibration in the lateral mode at the chain-sprocket case was maximum as the 10-prototype blades (B3) were tilling soil. The shape of the prototype blades (B2) was not found to be significant comparing with the Japanese C-shaped blade. The vibration intensities measured at handle grip during tillage in all types of the rotary power tillers were compared with the standard and showed that the daily exposure time should not exceed 8 hour/day. After tilling soil by the 14-Japanese C-shaped blades (B1), the 14-prototype blades (B2) and the 10-prototype blades (B3), the average values of mean soil clod diameter were 35.96, 27.50 and 19.19 mm, respectively.

Keywords : Two-wheel tractor, Vibration, Rotary Blade, Power Tiller

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(16)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	38
อุปกรณ์	38
วิธีการ	39
ผลและวิจารณ์	52
สรุปผลการทดลอง	180
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	183
ภาคผนวก	187
ภาคผนวก ก ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	188
ภาคผนวก ข ภาพการทดลอง และลักษณะดินหลังการทดลอง	190
ภาคผนวก ค การแปลงค่าความเร่งการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง Handle grip	198
ภาคผนวก ง ผลเก็บข้อมูลในแปลง	203
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	205

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ศึกษาการสั่นสะเทือนขณะรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ (Stationary condition)	39
2 ศึกษาการสั่นสะเทือนขณะรถไถเดินตามวิ่ง (Transport condition)	40
3 ศึกษาการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามขณะไถพรวนดิน (Tillage condition)	40
4 น้ำหนักของดินที่ค้ำบนตะแกรงมาตรฐาน	50
5 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนในทิศ X-axis ของแต่ละแอมพลิจูด จากกราฟ Frequency domain เงื่อนไชรถไถเดินตามล้อเหล็กขณะไม่เคลื่อนที่	61
6 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนในทิศ Y-axis ของแต่ละแอมพลิจูด จากกราฟ Frequency domain เงื่อนไชรถไถเดินตามล้อเหล็กขณะไม่เคลื่อนที่	63
7 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนในทิศ Z-axis ของแต่ละแอมพลิจูด จากกราฟ Frequency domain เงื่อนไชรถไถเดินตามล้อเหล็กขณะไม่เคลื่อนที่	65
8 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนในทิศ X-axis ของแต่ละแอมพลิจูด จากกราฟ Frequency domain เงื่อนไชรถไถเดินตามล้อยางขณะไม่เคลื่อนที่	67
9 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนในทิศ Y-axis ของแต่ละแอมพลิจูด จากกราฟ Frequency domain เงื่อนไชรถไถเดินตามล้อยางขณะไม่เคลื่อนที่	69
10 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนในทิศ Z-axis ของแต่ละแอมพลิจูด จากกราฟ Frequency domain เงื่อนไชรถไถเดินตามล้อยางขณะไม่เคลื่อนที่	71
11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของปัจจัย ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และชนิด ล้อรถไถเดินตามที่มีผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ ของรถไถเดินตามเงื่อนไชรถไถเดินตาม	77
12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่ของ รถไถเดินตาม (X-axis) เงื่อนไชรถไถเดินตาม	78
13 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแนวขวางของ รถไถเดินตาม (Y-axis) เงื่อนไชรถไถเดินตาม	78
14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแนวดิ่งของ รถไถเดินตาม (Z-axis) เงื่อนไชรถไถเดินตาม	79
15 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของปัจจัย ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และชนิด ล้อรถไถเดินตามที่มีผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม เงื่อนไชรถไถเดินตาม	79

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
16 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุด เงื่อนไข รถไถเดินตามล้อเหล็กเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง	85
17 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุด เงื่อนไข รถไถเดินตามล้อยางเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง	86
18 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของปัจจัย ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และชนิด ล้อรถไถเดินตามที่มีผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม ที่เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง	95
19 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของปัจจัย ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และชนิด ล้อรถไถเดินตามที่มีผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ ของรถไถเดินตามที่เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง	96
20 ค่าความถี่และความเร่งการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุด เงื่อนไข รถไถเดินตามล้อเหล็กเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม	101
21 ค่าความถี่และความเร่งการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุด เงื่อนไข รถไถเดินตามล้อยางเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม	102
22 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของปัจจัย ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และชนิด ล้อรถไถเดินตามที่มีผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่แต่ละตำแหน่ง บนรถไถเดินตามขณะเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม	111
23 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของปัจจัย ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และชนิด ล้อรถไถเดินตามที่มีผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนขณะรถไถเดินตาม เคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม	112
24 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของเงื่อนไข Stationary, Transportation และ Tillage ที่มีผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม	112
25 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของเงื่อนไข Stationary, Transportation และ Tillage ที่มีผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ ของรถไถเดินตาม	113
26 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขรถไถเดินตาม ล้อเหล็กไถพรวนดินที่ียวที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ	121

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
27 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขรถไฟใต้ดินตาม ลักษณะเฉพาะดินที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ	122
28 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขรถไฟใต้ดินตาม ลักษณะเฉพาะดินที่ 2 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ	123
29 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขรถไฟใต้ดินตาม ลักษณะเฉพาะดินที่ 2 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ	124
30 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขรถไฟใต้ดินตาม ลักษณะเฉพาะดินที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ	125
31 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขรถไฟใต้ดินตาม ลักษณะเฉพาะดินที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ	126
32 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขรถไฟใต้ดินตาม ลักษณะเฉพาะดินที่ 2 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ	127
33 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขรถไฟใต้ดินตาม ลักษณะเฉพาะดินที่ 2 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ	128
34 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขรถไฟใต้ดินตาม ลักษณะเฉพาะดินที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ	129
35 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขรถไฟใต้ดินตาม ลักษณะเฉพาะดินที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ	130
36 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขรถไฟใต้ดินตาม ลักษณะเฉพาะดินที่ 2 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ	131
37 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขรถไฟใต้ดินตาม ลักษณะเฉพาะดินที่ 2 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ	132
38 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของปัจจัย ใบมีดจอบหมุน ความเร็วรอบเครื่องยนต์ เกี่ยวกับการสั่นสะเทือนของรถไฟใต้ดินตามที่มีผลต่อค่าความเร่ง การสั่นสะเทือนของรถไฟใต้ดินตามที่มีผลต่อค่าความเร่ง การสั่นสะเทือนของรถไฟใต้ดินตามที่มีผลต่อค่าความเร่ง	133
39 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเร่งการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบน เครื่องยนต์ต้นกำลังเงื่อนไขรถไฟใต้ดิน	147

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
40 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางที่ตำแหน่งผิว บนเครื่องยนต์ต้นกำลังเงื่อนไขไถพรวนดิน	148
41 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเร่งลัพท์การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งโครงเหล็ก รถไถเดินตามเงื่อนไขไถพรวนดิน	149
42 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางที่ตำแหน่งโครงเหล็กรถไถเดินตามเงื่อนไขไถพรวนดิน	150
43 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเร่งลัพท์การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเพื่องโซ่เครื่องพรวนจอบหมุนเงื่อนไขไถพรวนดิน	151
44 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางที่ตำแหน่งห้องเพื่องโซ่เครื่องพรวนจอบหมุนเงื่อนไขไถพรวนดิน	152
45 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเร่งลัพท์การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตามเงื่อนไขไถพรวนดิน	153
46 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตามเงื่อนไขไถพรวนดิน	154
47 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของผลของเงื่อนไข Stationary, Transportation และ Tillage ที่มีผลต่อค่าความเร่งลัพท์การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ ของรถไถเดินตามที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm	156
48 ความเร่งของการสั่นสะเทือนสูงสุดและความถี่ที่ตำแหน่งห้องเพื่องโซ่เครื่องพรวนจอบหมุนขณะที่ชุดใบมีดจอบหมุนไถพรวนดินเงื่อนไขล้อเหล็ก	159
49 ความเร่งของการสั่นสะเทือนสูงสุดและความถี่ที่ตำแหน่งห้องเพื่องโซ่เครื่องพรวนจอบหมุนขณะที่ชุดใบมีดจอบหมุนไถพรวนดินเงื่อนไขล้อยาง	160
50 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของผลของชนิดใบมีดจอบหมุน ความเร็วรอบเครื่องยนต์ จำนวนเที่ยวการไถพรวน และชนิดล้อขับเคลื่อนของรถไถเดินตาม ที่มีผลต่อค่าความเร่งการสั่นสะเทือน ที่ตำแหน่งหน้าอกผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะไถพรวนดิน	161
51 เวลาการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ควบคุมรถไถเดินตามที่เงื่อนไขรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ และเงื่อนไขรถไถเดินตามเคลื่อนที่	163
52 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเวลาการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ควบคุมรถไถเดินตามที่เงื่อนไขรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่เปรียบเทียบกับมาตรฐาน ANSI	163

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
53 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเวลาการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ควบคุมรถไถเดินตามที่เงื่อนไขรถไถเดินตามขณะเคลื่อนที่เปรียบเทียบกับมาตรฐาน ANSI	163
54 เวลาการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ควบคุมรถไถเดินตามที่เงื่อนไขไถพรวนดิน	164
55 การวิเคราะห์ทางสถิติของเวลาการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ควบคุมรถไถเดินตามที่เงื่อนไขไถพรวนดินเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ANSI	164
56 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของชุดใบมีดจอบหมุน ความเร็วรอบเครื่องยนต์ เกี่ยวกับการไถพรวนดิน และชนิดของล้อขับเคลื่อน ที่มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดินกลังการไถพรวนดิน	170
57 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องยนต์ ชนิดล้อขับเคลื่อน ที่มีผลต่ออัตราการย่อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะไม่เคลื่อนที่	173
58 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการย่อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะรถไถเดินตามเคลื่อนที่	174
59 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราการย่อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะไถพรวนดิน	176
60 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราการย่อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามที่เงื่อนไขรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ ขณะเคลื่อนที่ และขณะไถพรวนดิน	177
61 ค่าเฉลี่ยของความเร็วการเดินทางของรถไถเดินตามขณะเคลื่อนที่	178
62 ค่าเฉลี่ยของความเร็วการเดินทางของรถไถเดินตามขณะไถพรวนดิน	178
ตารางผนวกที่	
ก1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความเร่งลัพธ์การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตามเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่ เปรียบเทียบระหว่างมีและไม่มีผู้ควบคุมรถ	189

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย	7
2 ทิศทางของการสั่นสะเทือน	8
3 การสั่นสะเทือนในแนวแกนอ้างอิงต่างๆ ของมือ	9
4 ระบบสั่นสะเทือนแบบ 1-DOF	10
5 ลักษณะของการสั่นสะเทือนแบบอิสระของระบบ 1-DOF	11
6 ความถี่ธรรมชาติ ณ จุดต่างๆ ในร่างกายมนุษย์	12
7 ลักษณะรูปคลื่นการสั่น และค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดการสั่นสะเทือน	14
8 ค่ามาตรฐานความสั่นสะเทือนที่มือตามข้อเสนอแนะของ ANSI	17
9 รถไถเดินตามชนิดพรวนดิน (Mini-tiller type)	20
10 รถไถเดินตามชนิดลาก	21
11 รถไถเดินตามชนิดติดเครื่องพรวนจอบหมุน	22
12 รถไถเดินตามของประเทศไทย	22
13 ส่วนประกอบล้อยาง	24
14 ลักษณะล้อเหล็กวงคู่	24
15 ลักษณะล้อเหล็กวงเดี่ยว	24
16 ใบมีดจอบหมุน	25
17 แสดงระบบส่งกำลังของเครื่องพรวนจอบหมุน	26
18 ใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวแอล (European L-shaped blade) และ ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี (Japanese C-shaped blade)	27
19 ส่วนประกอบของใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี	27
20 แรงตูดในแนวรัศมี และแรงสู่ศูนย์กลาง	28
21 แสดงแรง T_3 และส่วนประกอบของแรง R_3 กับ P_3	29
22 แสดงแนวการเคลื่อนที่ของใบมีดตัดดิน	30
23 Coulomb's model แสดงระนาบวิบัติเฉือน	32
24 กราฟแสดง critical soil mechanics	33
25 รถไถเดินตามติดตั้งเครื่องพรวนจอบหมุน	41
26 ใบมีดจอบหมุนที่ใช้ในการทดลองเงื่อนไขไถพรวนดิน	42
27 ลักษณะการติดตั้งใบมีดจอบหมุนกับเพลลาเครื่องพรวนจอบหมุน	42

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
28 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer)	43
29 การติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer)	44
30 แผนผังการถ่ายโอนข้อมูลในเครื่องมือวัด	45
31 สัญญาณการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่	53
32 สัญญาณการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่	54
33 สัญญาณการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่	55
34 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่	56
35 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่	57
36 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่	58
37 สเปกตรัมของค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่	59
38 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ บนรถไถเดินตาม กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่	75
39 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ บนรถไถเดินตาม กรณีรถไถเดินตามล้อยางเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่	76
40 ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจักรไถเดินตาม เงื่อนไขไม่เคลื่อนที่ระหว่างมีควบคุมและไม่มีผู้ควบคุมรถไถเดินตาม	77
41 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง	81

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
42 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง	82
43 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Z-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง	83
44 สเปกตรัมของค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็ก เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง	84
45 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ของรถไถเดินตามล้อเหล็กที่เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง	93
46 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ของรถไถเดินตามล้อยางที่เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง	94
47 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม	97
48 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม	98
49 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Z-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม	99
50 สเปกตรัมของค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนพื้นผิวแปลงเกษตรกรรม	100
51 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ของรถไถเดินตามล้อเหล็กที่เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม	108
52 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ของรถไถเดินตามล้อยางที่เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม	109
53 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-Axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไถพรวนดินเดี่ยวที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ	115

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
54 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-Axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไถพรวนดิน เทียวที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ	116
55 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Z-Axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไถพรวนดินเทียวที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ	117
56 สเปกตรัมของค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไถพรวนดินเทียวที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ	118
57 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไถพรวนดินเทียวที่ 1 ด้วยใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ	135
58 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไถพรวนดินเทียวที่ 2 ด้วยใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ	136
59 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อยางเงื่อนไขไถพรวนดินเทียวที่ 1 ด้วยใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ	137
60 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อยางเงื่อนไขไถพรวนดินเทียวที่ 2 ด้วยใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ	138
61 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไถพรวนดินเทียวที่ 1 ด้วยใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ	139
62 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไถพรวนดินเทียวที่ 2 ด้วยใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ	140
63 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อยางเงื่อนไขไถพรวนดินเทียวที่ 1 ด้วยใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ	141
64 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อยางเงื่อนไขไถพรวนดินเทียวที่ 2 ด้วยใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ	142
65 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไถพรวนดินเทียวที่ 1 ด้วยใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ	143

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
66 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไข ไถพรวนดินเที่ยวที่ 2 ด้วยใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ	144
67 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อยางเงื่อนไข ไถพรวนดินเที่ยวที่ 1 ด้วยใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ	145
68 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อยางเงื่อนไข ไถพรวนดินเที่ยวที่ 2 ด้วยใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ	146
69 ค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ ของรถไถเดินตาม ที่เงื่อนไข รถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ ขณะเคลื่อนที่ และขณะไถพรวนดิน	155
70 ค่ามาตรฐานความสั่นสะเทือนที่มีมือตามข้อเสนอแนะของ ANSI เงื่อนไขรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่	165
71 ค่ามาตรฐานความสั่นสะเทือนที่มีมือตามข้อเสนอแนะของ ANSI เงื่อนไขรถไถเดินตามเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง และแปลงเกษตรกรรม	166
72 ค่ามาตรฐานความสั่นสะเทือนที่มีมือตามข้อเสนอแนะของ ANSI เงื่อนไข ไถพรวนดินด้วยใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ	167
73 ค่ามาตรฐานความสั่นสะเทือนที่มีมือตามข้อเสนอแนะของ ANSI เงื่อนไข ไถพรวนดินด้วยใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ	168
74 ค่ามาตรฐานความสั่นสะเทือนที่มีมือตามข้อเสนอแนะของ ANSI เงื่อนไข ไถพรวนดินด้วยใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ	179
 ภาพผนวกที่	
ข1 การติดตั้ง Accelerometer กับกล่องเหล็กรูปทรงลูกบาศก์	191
ข2 การติดตั้งอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือนกับเครื่องบันทึกข้อมูล เอนกประสงค์ และคอมพิวเตอร์	191
ข3 การติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูลเอนกประสงค์ และคอมพิวเตอร์บริเวณ หลังรถแทรกเตอร์	192
ข4 การทดลองเงื่อนไขรถไถเดินตามเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง	192
ข5 การทดลองเงื่อนไขรถไถเดินตามเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม	193

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ข6 การทดลองเงื่อนไขรถไฟเหาะตามไถพรวนดิน	193
ข7 รถไถเดินตามล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็กและล้อยาง	194
ข8 ลักษณะแปลงทดลองเงื่อนไขรถไฟเหาะตามไถพรวนดิน	194
ข9 สภาพดินหลังการไถพรวน เงื่อนไขรถไฟเหาะตามล้อยางติดตั้งเครื่องพรวน จอบหมุนโดยใช้ชุดใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1) ไถพรวนดิน	195
ข10 สภาพดินหลังการไถพรวน เงื่อนไขรถไฟเหาะตามล้อยางติดตั้งเครื่องพรวน จอบหมุนโดยใช้ชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ (B2) ไถพรวนดิน	196
ข11 สภาพดินหลังการไถพรวน เงื่อนไขรถไฟเหาะตามล้อยางติดตั้งเครื่องพรวน จอบหมุนโดยใช้ชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) ไถพรวนดิน	197
ค1 การแตกแรงย่อยของแรง 3 มิติ	199
ค2 การสัมผัสเทือนในแนวแกนอ้างอิงต่างๆ ของมือตามมาตรฐาน ISO	201
ค3 การสัมผัสเทือนในทิศทางต่างๆ ของรถไถเดินตาม	201
ค4 องศาของมุมที่เปลี่ยนแปลงไปจากทิศทางการสัมผัสเทือนในรถไถเดินตาม	202

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ANSI	=	American National Standards Institute
°C	=	Celsius
cc	=	Cubic Centimeter
cps	=	Cycle Per Second
cm	=	Centimeter
cm ³	=	Cubic Centimeter
FFT	=	Fast Fourier Transform
g	=	Gram
HP	=	Horsepower
Hz	=	Hertz
ISO	=	International Organization for Standardization
kg	=	Kilogram
kgf	=	Kilogram - Force
kW	=	1,000 Watt
m	=	Meter
mm	=	Millimeter
ml	=	Milliliter
N	=	Newton
RMS	=	Root Mean Square Value
rpm	=	Revolutions Per Minute
rad	=	Radian
s	=	Second
%	=	Percentage

ศึกษาการสั่นสะเทือนของเครื่องพรวนจอบหมุนติดรถไถเดินตาม ที่ใช้ใบมีดจอบหมุน 3 แบบ

Study on Vibrations of 3 types of Rotary Power Tiller

คำนำ

รถไถเดินตาม (Walking tractor) เป็นเครื่องทุ่นแรงและเป็นต้นกำลังที่เกษตรกรในประเทศไทยและประเทศในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ใช้กันอย่างแพร่หลายในการทำเกษตรกรรม เกษตรกรสามารถซื้อได้เนื่องจากมีราคาถูก ส่งผลให้การใช้รถไถเดินตามมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี (Salokhe et al., 1995) ในปี พ.ศ. 2551 ประเทศไทยมีรถไถเดินตาม 2,221,113 คัน (สำนักงานสถิติการเกษตร, 2552) รถไถเดินตามที่ใช้ในบ้านเราส่วนใหญ่จะผลิตในประเทศไทย ในการทำการเกษตรกรรมรถไถเดินตามจะถูกนำมาใช้เป็นต้นกำลังสำหรับต่อพ่วงอุปกรณ์เตรียมดินเพื่อไถเตรียมแปลงเพาะปลูก และเป็นต้นกำลังสำหรับงานด้านอื่นๆ ได้แก่ การต่อพ่วงรถไถเดินตามด้วยรถพ่วงสำหรับขนส่ง การใช้ลากเครื่องปลูก การใช้เป็นต้นกำลังในการสูบน้ำ เป็นต้น ปัจจุบันการติดตั้งเครื่องพรวนจอบหมุนด้านหลังรถไถเดินตามเพื่อใช้สำหรับการเตรียมดินในแปลงเพาะปลูกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องด้วยเครื่องพรวนจอบหมุนมีข้อดีที่โดดเด่นกว่าไถหัวหมูและไถจาน 2 ประการ ได้แก่ (1) เป็นอุปกรณ์ที่ไถและพรวนดินใน 1 เที้ยวการเดินทาง และ (2) เป็นอุปกรณ์ไถเตรียมดินที่ก่อให้เกิดแรงฉุดลากน้อย ส่งผลให้ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง (Beeny et al., 1970)

อย่างไรก็ตามในการใช้รถไถเดินตามต่อพ่วงเครื่องพรวนจอบหมุน (Rotary power tiller) ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนที่สูงในระหว่างการไถเตรียมดิน การสั่นสะเทือนดังกล่าวส่งผลต่อการเมื่อยล้า (Fatigue) และความสามารถในการทำงานของเกษตรกร ในระยะยาวการสั่นสะเทือนจะส่งผลต่อสุขภาพของเกษตรกร การสั่นสะเทือนเนื่องจากการไถพรวนดินของเครื่องพรวนจอบหมุนจะส่งผ่านทางข้อมือจับ (Hand grip) ไปยังร่างกายของผู้ควบคุม ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนที่รุนแรงบริเวณข้อมือของผู้ควบคุมซึ่งเป็นสาเหตุของการบาดเจ็บ (Ying et al., 1998) และหากเกษตรกรผู้ควบคุมรถไถเดินตามปฏิบัติงานภายใต้สภาวะที่มีการสั่นสะเทือนเป็นเวลานานอย่างต่อเนื่อง สิ่งนี้จะส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพของเกษตรกร (ISO 5349-1, 2001) ในการคิดค้นวิธีการลดการสั่นสะเทือนในระหว่างกระบวนการเตรียมดินของเครื่องพรวนจอบหมุนต่อพ่วงรถไถเดินตาม ความเข้าใจเกี่ยวกับลักษณะการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามที่ติดตั้งเครื่องพรวนจอบหมุนที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ กันจึงมีความจำเป็น

ปี พ.ศ. 2546 – 2551 ไบมีดจอบหมุนต้นแบบถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการเตรียมดินในประเทศ ไทย (Chertkiattipol, 2008) ผลการทดลองในกระบะดินในห้องปฏิบัติการแสดงให้เห็นว่าการไถ พรวนดินของไบมีดจอบหมุนต้นแบบก่อให้เกิดแรงกระแทกน้อยกว่าไบมีดจอบหมุนยุโรป และใช้ พลังงานการไถพรวนจำเพาะน้อยกว่าไบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี และสมรรถนะการไถพรวนดินของ เครื่องพรวนจอบหมุนติดตั้งไบมีดจอบหมุนต้นแบบไม่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องพรวนจอบ หมุนติดตั้งไบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี (ศิริศักดิ์ และคณะ, 2551) ในปี พ.ศ.2552 การศึกษาปริมาณ การใช้น้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการไถพรวนดินในแปลงเพาะปลูกสภาพดินไร่ของรถไถเดินตาม ติดตั้งเครื่องพรวนจอบหมุนที่ใช้ไบมีดจอบหมุนต้นแบบ พบว่าปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงลดลง เฉลี่ย 81.07% เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องพรวนจอบหมุนที่ใช้ไบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี (ธัญญา และคณะ, 2552) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ อย่างไรก็ตามยังไม่มีผลการศึกษาผลเนื่องจากรูปร่างไบมีดจอบหมุนต้นแบบที่มีต่อแรงกระแทกขณะเครื่องพรวนจอบหมุนไถ พรวนดิน ซึ่งกระบวนการไถพรวนดินของเครื่องพรวนจอบหมุนเป็นอีกสาเหตุหลักของการสิ้นเปลือง ในรถไถเดินตาม (Mehta et al., 1997)

การทำวิจัยเพื่อให้เข้าใจถึงลักษณะการสิ้นเปลืองขณะไถพรวนดินของเครื่องพรวนจอบหมุน ที่ติดตั้งด้านหลังรถไถเดินตามและเพื่อแสดงผลกระทบเนื่องจากรูปร่างไบมีดจอบหมุนต้นแบบได้แก่ ส่วนตรง (Straight portion) และส่วนปลาย (Tip portion) ของไบมีดจอบหมุนต้นแบบ และ ผลกระทบเนื่องจากการไถพรวนดินของเครื่องพรวนจอบหมุนที่มีต่อการสิ้นเปลืองที่ส่งผ่านไปยังมือ ของผู้ควบคุมรถไถเดินตามจึงมีความสำคัญ อีกทั้งหากเข้าใจถึงลักษณะการสิ้นเปลืองและปัจจัย (ความเร็วรอบเครื่องยนต์, ความเร็วการเดินทางขณะไถพรวนดิน และลักษณะพื้นผิวในแปลง เกษตรกรรม) ที่ก่อให้เกิดการสิ้นเปลืองน้อยที่สุดซึ่งสามารถลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของ เกษตรกรและเพิ่มความสามารถการทำงานของเกษตรกร ถือเป็นการเพิ่มคุณภาพชีวิตของเกษตรกร ไทย

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักของวิทยานิพนธ์นี้คือ เพื่อศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนในระหว่างการทำงานของรถไถเดินตามติดตั้งเครื่องพรวนจอบหมุน (Rotary power tiller) ดังนี้

1. ศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามติดตั้งเครื่องพรวนจอบหมุน (Rotary power tiller) ขณะไม่เคลื่อนที่ (Stationary condition) ขณะเคลื่อนที่บนถนนลาดยางและแปลงเกษตรกรรม (Transportation condition) และขณะไถพรวนดิน (Tillage condition)
2. ศึกษาผลกระทบเนื่องจาก ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต้นกำลัง (Engine speed) ชนิดใบมีดจอบหมุน (Rotary blade type) จำนวนเที่ยวการไถพรวนดิน (Tillage pass) และชนิดของล้อขับเคลื่อน (Wheel type) ที่มีอิทธิพลต่อการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม
3. ศึกษาค่าการส่งผ่านการสั่นสะเทือน (Transmissibility) จากรถไถเดินตามไปยังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม และเปรียบเทียบระดับการสั่นสะเทือนที่มีกับค่ามาตรฐาน

การตรวจเอกสาร

1. พื้นฐานเบื้องต้นของการสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือน (Vibration) หมายถึงการเคลื่อนที่ของวัตถุในลักษณะที่เป็นรูปคลื่นของการแกว่งไปมาหรือ Oscillatory motion การเคลื่อนไหวนี้มีจังหวะและทิศทางสม่ำเสมอ การสั่นสะเทือนที่ซับซ้อนจะมีหลายจังหวะและหลายทิศทาง

1.1 ประเภทการสั่นสะเทือน

การสั่นแบบอิสระ (Free vibration) คือการสั่นของระบบในลักษณะที่หลังจากมีการรบกวนระบบที่หยุดนิ่งอยู่ที่จุดสมดุลครั้งแรกเพื่อให้เกิดการสั่นขึ้นแล้ว การสั่นนั้นดำเนินต่อไปโดยไม่มีแรงจากภายนอกมากระทบกับระบบอีกเลย การรบกวนระบบอาจจะเป็นการทำให้เกิดการขจัดเบื้องต้นหรือทำให้เกิดความเร็วเริ่มต้นหรือทั้งสองแบบรวมกันก็ได้

การสั่นแบบบังคับ (Forced vibration) คือการสั่นของระบบภายใต้แรงกระทำจากภายนอก ซึ่งแรงกระทำจากภายนอกนี้อาจจะเป็นแรงในลักษณะซ้ำตัวเองหรือไม่ซ้ำตัวเองก็ได้ การสั่นในลักษณะนี้ก็เช่นการสั่นเนื่องจากความไม่สมดุลของเครื่องจักรที่เกิดการหมุน สิ่งหนึ่งที่เราจะพบกับการสั่นแบบบังคับก็คือหากว่าความถี่ของแรงที่กระทำกับระบบนั้นไปพ้องกับความถี่ธรรมชาติของระบบพอดี การสั่นที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะที่มีช่วงกว้างการสั่นสูงมาก เราเรียกการสั่นในลักษณะนี้ว่าการสั่นพ้อง (Resonance) ซึ่งผลของการสั่นพ้องนี้มักจะทำให้เกิดความเสียหายกับโครงสร้างที่กำลังเกิดการสั่นอยู่ ดังนั้นในการออกแบบวิศวกรรมมักจะหลีกเลี่ยงการเกิดการสั่นพ้องของระบบ ยกเว้นในระบบที่ต้องการให้เกิดการสั่นมากๆ เช่น ลำโพงขนาดใหญ่ เป็นต้น

การสั่นแบบไม่มีความหน่วง (Undamped vibration) หมายถึงการสั่นที่ไม่มีการสูญเสียพลังงานให้กับสิ่งแวดล้อมของระบบ ไม่ว่าจะอยู่ในแรงเสียดทานหรือแรงต้านอื่นใด ซึ่งเมื่อระบบเคลื่อนที่แบบไม่มีความหน่วงจะทำให้พลังงานรวมของระบบในระหว่างการเคลื่อนที่นี้มีค่าคงที่ การสั่นที่ไม่มีความหน่วงของระบบในความเป็นจริงจะเกิดขึ้นได้ในโอกาสเท่านั้น เพราะวัตถุที่เกิดการเคลื่อนที่โดยทั่วไปแล้วจะเกิดการสูญเสียพลังงานบ้าง อย่างน้อยที่สุดก็จะสูญเสียพลังงานเนื่องจากแรงเสียดทานกับอากาศโดยรอบข้าง สำหรับระบบที่เกิดการสั่นแบบไม่มีความหน่วงและเป็นการสั่นแบบอิสระ ความถี่ของการสั่นของระบบจะเรียกว่า ความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) ซึ่ง

ความถี่ธรรมชาตินี้ถือว่าเป็นปริมาณที่มีความสำคัญมากในการออกแบบเพื่อป้องกันการสั่นของอุปกรณ์หรือโครงสร้าง

การสั่นแบบมีความหน่วง (Damped vibration) คือการสั่นที่เกิดการสูญเสียพลังงานในระหว่างเกิดการเคลื่อนที่ของระบบไม่ว่าจะมาจากสาเหตุใดก็ตาม ซึ่งเป็นผลทำให้พลังงานของระบบมีค่าลดลง โดยทั่วไปแล้วการสั่นตามสภาพความเป็นจริงนั้นจะเป็นการสั่นแบบมีความหน่วงแทบทั้งสิ้น

1.2 การสั่นแบบเชิงเส้น และไม่เป็นเชิงเส้น

ถ้าระบบของการสั่นซึ่งจะประกอบด้วย มวล, สปริง และตัวหน่วง มีพฤติกรรมเปลี่ยนแปลงค่าของแรงกระทำไป อย่างเชิงเส้นกับระยะทางหรือความเร็วพิกัดที่ใช้ เราจะเรียกการสั่นนั้นว่า การสั่นเชิงเส้น (Linear vibration) แต่หากไม่เป็นเช่นนั้น คือมีปริมาณใดปริมาณหนึ่งเปลี่ยนแปลงไม่เป็นเชิงเส้นกับระยะทางหรือความเร็ว เราจะเรียกการสั่นนั้นว่า การสั่นไม่เชิงเส้น (Nonlinear Vibration) ซึ่งความแตกต่างของการสั่นทั้งสองแบบนี้ก็คือ สมการการเคลื่อนที่จะได้เป็นสมการอนุพันธ์แบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น (Linear และ Nonlinear differential equation) ตามลำดับ ซึ่งผลที่ตามมาคือการแก้สมการอนุพันธ์ที่ไม่เป็นเชิงเส้นนั้นจะมีความยุ่งยากมากกว่าแบบที่เป็นเชิงเส้นมาก

นอกจากนั้นแล้วหากการสั่นเป็นการสั่นเชิงเส้นจะทำให้เราสามารถใช้หลักการของการรวมตำแหน่ง (Principle of superposition) ซึ่งเป็นการแจกพิจารณาการสั่นเนื่องจากภาระกรรมแต่ละภาระกรรมแล้วนำผลที่ได้ทั้งหมดมารวมเป็นคำตอบสุดท้าย ซึ่งในหลายๆกรณีจะช่วยลดความยุ่งยากในการคำนวณลงไปได้มาก แต่สำหรับการสั่นไม่เชิงเส้นนั้นเราจะใช้หลักการดังกล่าวนี้ไม่ได้

1.3 การสั่นแบบกำหนดได้ และการสั่นแบบสุ่ม

เมื่อระบบเกิดการสั่นอยู่ภายใต้แรงกระทำจากภายนอกลักษณะใดก็ตาม ถ้าหากว่าตลอดเวลาที่แรงกระทำอยู่นั้นเราสามารถกำหนดขนาดของแรงได้หรือทราบค่าความสัมพันธ์ของแรงซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลาที่แรงนั้นกระทำ เราจะเรียกแรงกระทำนั้นว่า แรงที่กำหนดค่าได้ (Deterministic force) ซึ่งผลของแรงจะทำให้เกิดการสั่นแบบกำหนดได้ (Deterministic vibration)

สำหรับกรณีที่แรงที่กระทำต่อระบบไม่สามารถกำหนดขนาดที่เวลาใดๆ ได้อย่างแน่นอน เราจะเรียกแรงแบบนี้ว่าแรงแบบสุ่ม (Undeterministic หรือ Random force) และการสั่นที่เกิด

จากแรงดังกล่าวจะเรียกว่า การสั่นแบบสุ่ม (Random vibration) ซึ่งการแก้ปัญหาของการสั่นแบบสุ่มนั้นจะต้องใช้วิธีทางสถิติเข้ามาช่วยแก้ปัญหา

1.4 การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกส์

เนื่องจากการสั่นของวัตถุจะเป็นการเคลื่อนที่แบบซ้ำตัวเอง และการเคลื่อนที่แบบซ้ำตัวเองก็คือ การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกส์ (Harmonic motions) ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกส์และคุณสมบัติของการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกส์ เพื่อเป็นพื้นฐานในหัวข้ออื่นๆ ต่อไป

การเคลื่อนที่ซึ่งเกิดจากการซ้ำตัวเองในห้วงเวลาใดเวลาหนึ่ง เราจะเรียกการเคลื่อนที่ในลักษณะเช่นนั้นว่า การเคลื่อนที่เป็นแบบคาบ (Periodic motion) และสำหรับการเคลื่อนที่แบบเป็นคาบที่ง่ายที่สุดคือ การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกส์ ซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกส์นี้จะมีลักษณะของการเคลื่อนที่รอบวงกลม โดยพิจารณาส่วนฉายของเวกเตอร์การเคลื่อนที่ลงในแนวแกนใดแนวแกนหนึ่ง ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ของจุดที่ปลายเข็มยาวของเข็มนาฬิกา การสั่นสะเทือนแบบฮาร์โมนิกส์นี้สามารถเขียนเป็นสมการของเวลาในรูปของ

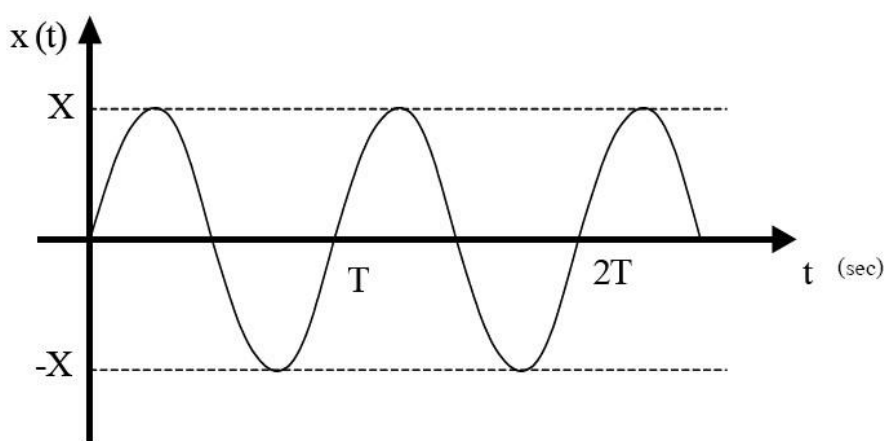
$$x(t) = X \sin \omega t \quad \dots(1)$$

โดยมี $x(t)$ = ตำแหน่งหรือระยะทางของการเคลื่อนที่ (Displacement) ณ เวลาใด ๆ
มีหน่วย เป็น เมตร เซนติเมตร หรือมิลลิเมตร
 t = เวลาใด ๆ มีหน่วยเป็น วินาที (sec)
 X = แอมพลิจูด (Amplitude) ของการเคลื่อนที่วัดจากตำแหน่งสมดุล (ที่ $x = 0$)
 ω = ความถี่เชิงมุม (Angular frequency) มีหน่วยเป็น radian per second

ภาพของกราฟของการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกส์จากสมการที่ (1) ได้แสดงในภาพที่ 1 โดยค่า T ในภาพ คือ คาบเวลา (Period) โดย

$$T = 1/f = 2\pi/\omega \quad \dots(2)$$

โดย T = คาบเวลา (วินาที, sec)
 f = ความถี่ เป็นรอบต่อวินาที (cps หรือ Hz.)
 ω = ความถี่เชิงมุม (rad/sec)



ภาพที่ 1 การเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิกอย่างง่าย

ที่มา: อีสสยา (2547)

เนื่องจากการเคลื่อนที่เป็นสมการของเวลา ดังนั้น ในขณะที่มีการเคลื่อนที่จะมีความเร็วและความเร่งเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันด้วย โดยมี

$$v(t) = dx/dt$$

หรือ $v(t) = \omega X \cos \omega t$... (3)

และ $a(t) = \frac{d^2x}{dt^2}$

หรือ $a(t) = -\omega^2 X \sin \omega t$... (4)

หรือ $a(t) = -\omega^2 X$

โดย $v(t) = \dot{x} =$ ความเร็วของการเคลื่อนที่ (m/s)

และ $a(t) = \ddot{x} =$ ความเร่งของการเคลื่อนที่ (m/s²)

1.5 ทิศทางของการสั่นสะเทือน

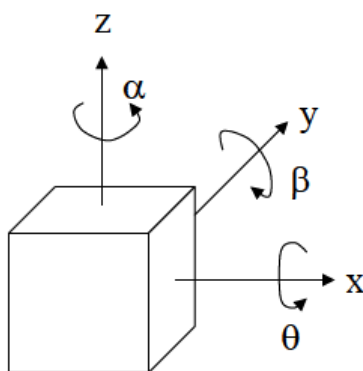
การสั่นสะเทือนของวัตถุใดๆ สามารถเกิดขึ้นในทิศทางต่างๆ ได้อย่างน้อยหนึ่งทิศทาง หรือสั่นสะเทือนหลายทิศทางพร้อมกัน แกนการเคลื่อนที่หรือโคออร์ดิเนต (Coordinate) จึงใช้ในการกำหนดทิศทางของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น ทิศทางการเคลื่อนที่ของวัตถุสามารถแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยทิศทางแบบเชิงเส้น 3 ทิศทาง ได้แก่ ทิศตามแกน x, y และ z และแบบเชิงมุม 3 ทิศ ได้แก่ θ , β และ α ดังนั้นการเคลื่อนที่ของวัตถุจึงมีได้สูงสุด 6 ทิศทาง

ค่าการสั่นสะเทือนโดยรวม (Overall vibration) เป็นค่าที่แสดงการสั่นสะเทือนรวมสามทิศทางซึ่งตั้งฉากกันของการเคลื่อนที่หรือโคออร์ดิเนต คือ ทิศแนวนอน ทิศแนวขวาง และทิศแนวตั้ง ถ้าเขียนในรูปสมการจะได้

$$a_v = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} \quad \dots(6)$$

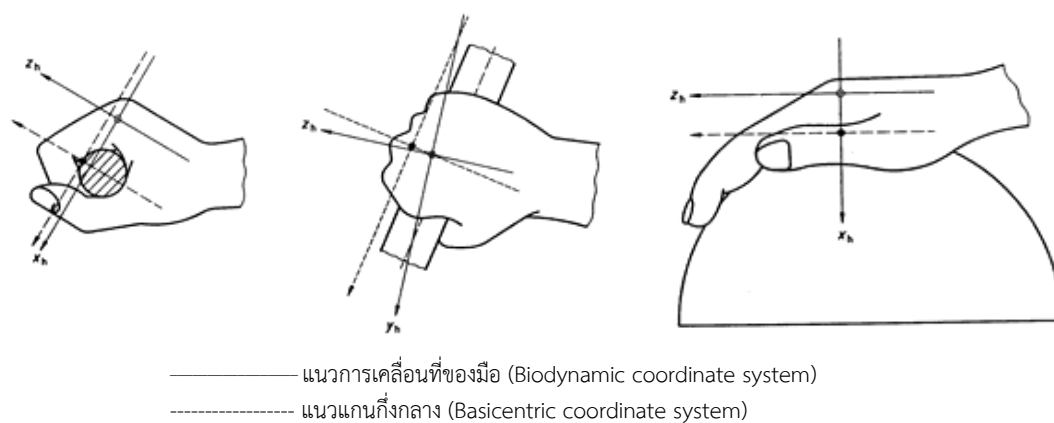
โดยที่

a_v	=	ค่าการสั่นสะเทือนโดยรวม
a_x	=	ค่าการสั่นสะเทือนทิศแกน x
a_y	=	ค่าการสั่นสะเทือนทิศแกน y
a_z	=	ค่าการสั่นสะเทือนทิศแกน z



ภาพที่ 2 ทิศทางของการสั่นสะเทือน

ที่มา: อีสสยา (2547)



ภาพที่ 3 การสั่นสะเทือนในแนวแกนอ้างอิงต่างๆ ของมือ

ที่มา: ISO 5349-1, 2001

1.6 ระบบการสั่นสะเทือนแบบ 1 – DOF

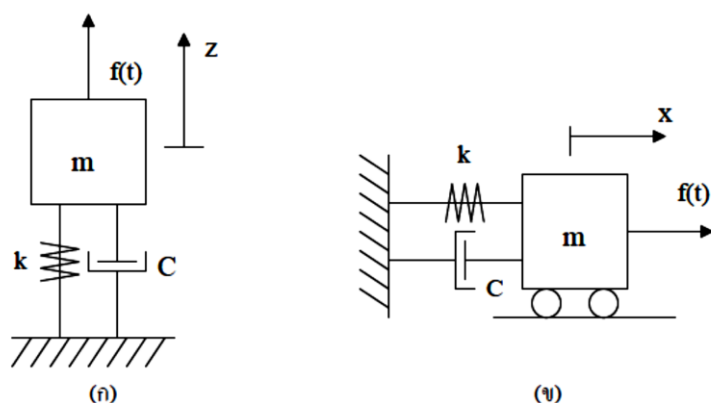
การสั่นสะเทือนในทิศทางเดียวหรือแบบ 1-DOF เป็นการสั่นสะเทือนขั้นพื้นฐานต่ำสุด ระบบที่สามารถเกิดการสั่นสะเทือนมีองค์ประกอบ ได้แก่ มวล สปริง และแดมเปอร์ (ภาพที่ 4)

โดยมี m = มวล มีน้ำหนักเป็นกิโลกรัม
 k = สปริง มีหน่วยเป็น N/m
 C = แดมเปอร์ (Damper) มีหน่วยเป็น Nsec/m
 $f(t)$ = แรงบังคับที่ป้อนให้ระบบ มีหน่วยเป็น Newton, N

สมการการเคลื่อนที่ (Equation of motion) ของระบบ 1-DOF ที่มีแกนการเคลื่อนที่เป็น x ดังระบบในภาพที่ 4 คือ

$$f(t) = m\ddot{x} + c\dot{x} + kx \quad \dots(7)$$

โดยมี $m\ddot{x}$ = แรงของมวลในขณะเคลื่อนที่
 $c\dot{x}$ = แรงของแดมเปอร์
 kx = แรงของสปริง



ภาพที่ 4 ระบบสั่นสะเทือนแบบ 1-DOF (ก) ในแนวดิ่ง (ข) แนวนอน

ที่มา: อีสสา (2547)

สมการที่ (7) นี้ เมื่อทราบค่า m , c , k และ f สามารถใช้ในการวิเคราะห์หาระยะทางหรือตำแหน่งการเคลื่อนที่ $x(t)$ หรือ x รูปแบบของสมการการเคลื่อนที่นี้ มีรูปแบบมาตรฐานดังแสดงในสมการที่ (8)

$$\frac{f(t)}{m} = \ddot{x} + 2\zeta\omega_n\dot{x} + \omega_n^2x \quad \dots(8)$$

$$\text{โดยมี } \omega_n^2 = \frac{k}{m} \quad \text{หรือ} \quad \omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}, (\text{rad/sec}) \quad \dots(9)$$

$$\text{และ } \zeta = \frac{c}{2\sqrt{mk}} \quad \dots(10)$$

ค่า ω_n คือ ความถี่ธรรมชาติ (Natural frequency) และ ζ คือ แดมป์เรโช (Damping Ratio) ทั้ง 2 ค่านี้ มีผลต่อลักษณะการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้น

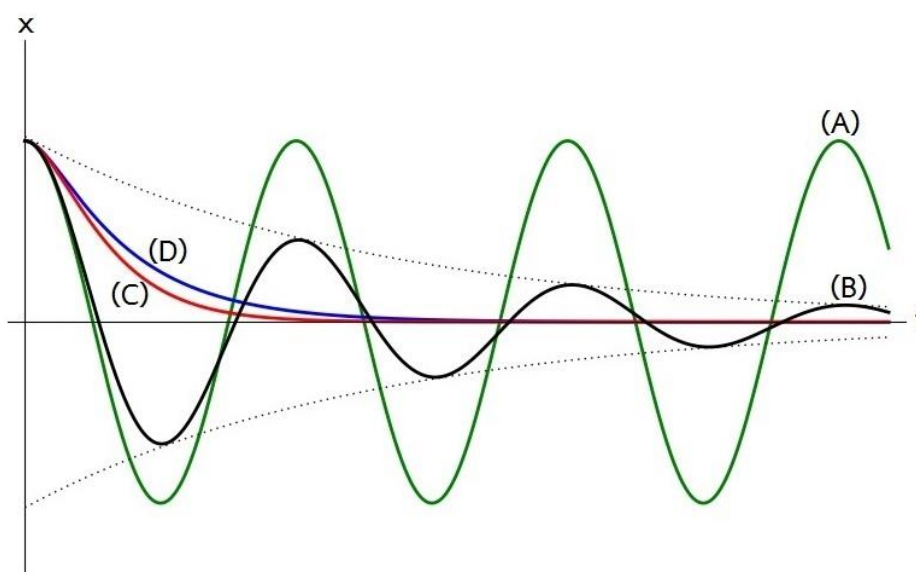
ค่า ζ	มีชื่อเรียกในช่วงต่าง ๆ แตกต่างกัน คือ
$\zeta = 0$	เรียก No damp หรือ Undamped เป็นระบบที่ไม่มีตัว c ติดตั้ง
$0 < \zeta < 1$	เรียก Underdamped
$\zeta = 1$	เรียก Critically damped

$\zeta > 1$ เรียก Over damped

ลักษณะของการเคลื่อนที่ของมวลหรือการสั่นสะเทือนแบบอิสระ (เมื่อ $f(t) = 0$) ที่ค่า damping ratio ต่าง ๆ ได้แสดงเปรียบเทียบในภาพที่ 5

1.7 ระบบสั่นสะเทือนแบบ n-DOF

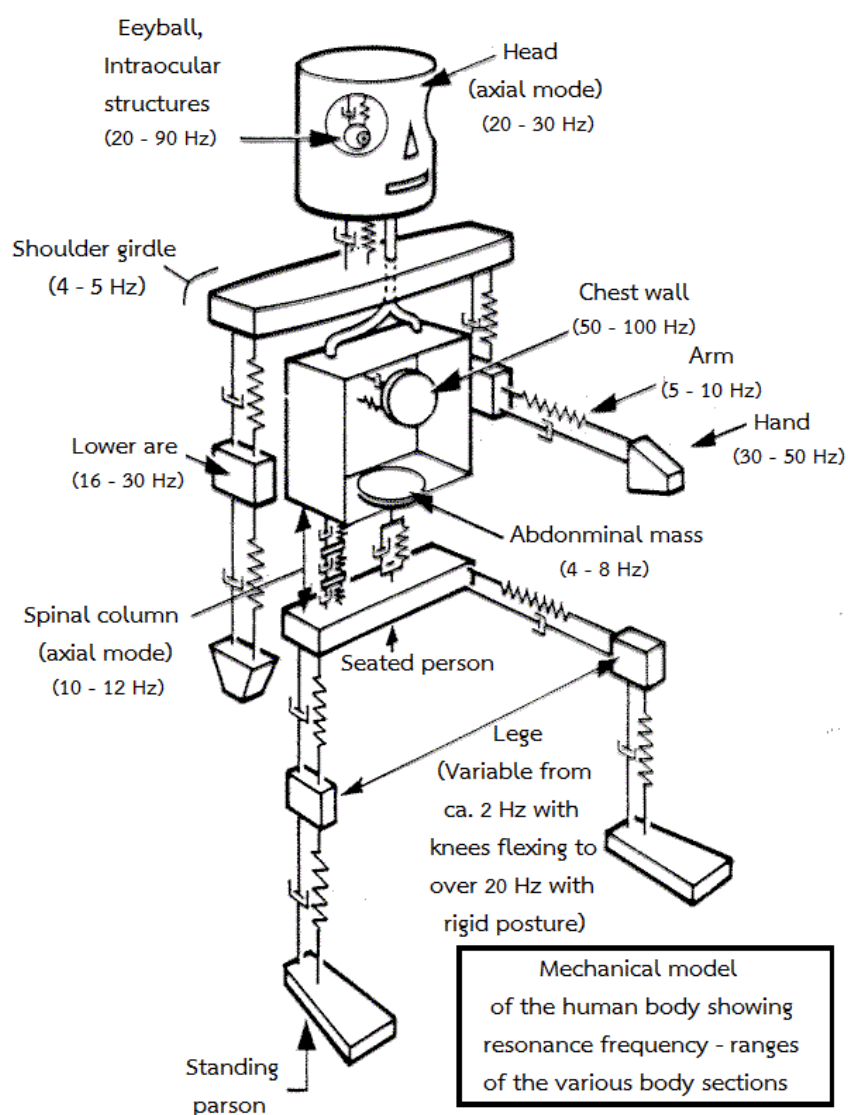
ระบบสั่นสะเทือนที่มีมากกว่า 1-DOF จะเรียกระบบนั้นเป็นระบบสั่นสะเทือนแบบหลายดีกรีความอิสระ (Multi Degree of freedom หรือ n-DOF) ระบบประเภทนี้อาจมีเพียงมวลเดียว ดังเช่น ระบบในภาพที่ 4 หรือมีหลายมวลที่เชื่อมต่อกันด้วยสปริงและแดมเปอร์ก็ได้ การสั่นสะเทือนของยานยนต์ เครื่องจักร และร่างกาย เป็นระบบสั่นสะเทือนแบบ n-DOF ภาพที่ 6 แสดงแบบจำลองของระบบสั่นสะเทือนของร่างกายมนุษย์ ซึ่งมีมวลที่จะเกิดการสั่นสะเทือนเป็น ศีรษะ ลำตัว แขน และขา เชื่อมต่อกันด้วยสปริงและแดมเปอร์ โดยกระดูกและกล้ามเนื้อในร่างกายรวมเป็น ตัวสปริงและแดมเปอร์



A : Undamped B : Underdamped C : Critically damped และ D : Over damped

ภาพที่ 5 ลักษณะของการสั่นสะเทือนแบบอิสระของระบบ 1-DOF

ที่มา: อิศสยา (2547)



ภาพที่ 6 ความถี่ธรรมชาติ ณ จุดต่างๆ ในร่างกายมนุษย์

ที่มา: อิศยา (2547)

1.8 การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน

ในการวัดการสั่นสะเทือน ค่าที่ใช้วัดปริมาณการสั่นสะเทือนปกติแล้วมีด้วยกันอยู่ 5 ค่า (ภาพที่ 7) คือ

1.8.1 Peak value คือ ค่าสูงสุดของ Function หรือแอมพลิจูด (Amplitude) คือ ค่าการสั่นสะเทือนจากจุดอ้างอิงที่จุดศูนย์ หรือจุดเริ่มต้นถึงจุดสูงสุดของคลื่น หรือเป็นค่าครึ่งหนึ่ง ของ

ค่าการสั่นสะเทือนภายในช่วงเวลาที่กำหนด เหมาะสำหรับวัดค่าการสั่นสะเทือนชนิดที่เลือกวัดเป็นระยะทางและความเร่ง

1.8.2 Peak to peak คือ ค่าการสั่นสะเทือน 2 เท่าของแอมพลิจูด เป็นค่าการสั่นสะเทือนที่วัดจากค่าสูงสุดบนถึงค่าต่ำสุดล่างของคลื่นในแต่ละรอบ (Cycle) เหมาะสำหรับการวัดการสั่นสะเทือนชนิดที่เลือกวัดเป็นระยะทาง

1.8.3 Average value คือ ค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนโดยรวมตลอดคาบ เป็นทั้งค่าบวกและค่าลบ เมื่อเทียบกับตำแหน่งอ้างอิงหรือจุดเริ่มต้นทำให้ได้ค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์

1.8.4 Root mean square value (RMS) หรือค่าเฉลี่ย RMS คือค่าการสั่นสะเทือนรากที่สองของผลรวมยกกำลังสองของการสั่นสะเทือนในช่วงเวลาหนึ่ง เป็นการเฉลี่ยตลอดคาบ (Period) และเป็นค่าถอดรากที่สอง โดยค่าเฉลี่ยที่ได้จะเรียกว่าค่า RMS ถ้าเขียนในรูปสมการจะได้

$$X_{RMS} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \text{Peak}$$

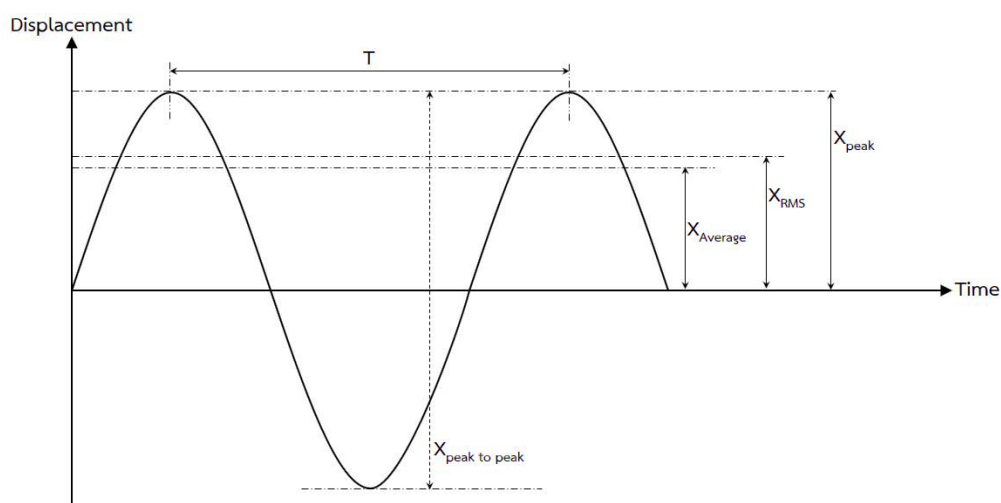
$$X_{RMS} = 0.707 \times \text{Peak} \quad \dots(11)$$

ค่า RMS เป็นค่าการสั่นสะเทือนตอบสนองที่แสดงสภาพหรือสัญญาณที่แท้จริงของเครื่องจักร เนื่องจากเป็นค่าเฉลี่ยโดยรวมที่ให้ค่าถูกต้องที่สุด จึงนิยมใช้เป็นค่าวัดสำหรับเปรียบเทียบวิเคราะห์ความรุนแรงของเครื่องจักร เหมาะสำหรับเป็นค่าวัดการสั่นสะเทือนชนิดที่เลือกวัดเป็นความเร็ว และความเร่ง และลักษณะของคลื่น ทั้งนี้จะต้องเป็นรูปคลื่นไซน์เท่านั้น จึงได้ค่าเฉลี่ยที่ถูกต้อง

2. ผลกระทบของร่างกายต่อการสั่นสะเทือน

การสั่นสะเทือนที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพและความปลอดภัยของคนนั้น อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.1 การสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย (Whole body vibration) เป็นการสั่นสะเทือนที่ส่งผ่านมาจากพื้นที่ทำงาน หรือโครงสร้างของวัตถุมายังทุกส่วนของร่างกายของคนทำงาน



ภาพที่ 7 ลักษณะรูปคลื่นการสั่น และค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวัดการสั่นสะเทือน

ที่มา: นิคม (2536)

2.2 การสั่นสะเทือนเฉพาะบางส่วนของร่างกาย โดยเฉพาะมือและแขน (Hand and arm vibration) เป็นการสั่นสะเทือนที่เกิดจากการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่สั่นสะเทือนแล้วการสั่นสะเทือนนั้น จะถูกถ่ายทอดจากเครื่องมือหรืออุปกรณ์ดังกล่าวไปยังมือของผู้ใช้หรือเครื่องมือนั้น

เมื่อร่างกายของมนุษย์ได้สัมผัสหรือได้รับการสั่นสะเทือน ก็จะเกิดปฏิกิริยาตอบสนอง (Response) ซึ่งถ้าจะอธิบายให้ง่ายก็อาศัยหลักการเดียวกันกับการเกิดการสั่นสะเทือนในวัตถุตัวกลาง (ร่างกายของมนุษย์ก็คือวัตถุตัวกลางอันหนึ่ง) เมื่อได้รับการสั่นสะเทือนซึ่งเป็นพลังงานก็จะทำให้โมเลกุลภายในเซลล์ หรือเนื้อเยื่อเกิดการสั่น หรือเคลื่อนไหวขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมดุลของโมเลกุลในวัตถุ ซึ่งในที่นี้หมายถึงเซลล์ เนื้อเยื่อ และกล้ามเนื้อภายในร่างกาย ทำให้เกิดความรู้สึกมีอาการสั่นเกิดขึ้นภายใน ถ้าเกิดมากก็อาจจะรู้สึกเมื่อยล้า และถ้ามากยิ่งขึ้นก็จะเกิดอาการเจ็บปวดได้ดังตัวอย่างเช่น เมื่อคนยืนอยู่บนแผ่นกระดานที่มีการสั่นสะเทือน การสั่นสะเทือนจะเข้าสู่ร่างกายโดยผ่านเท้าทั้งสองที่ยืนอยู่ และส่งผลไปยังระบบต่างๆ ของร่างกายโดยจะเกิดความรู้สึกสั่นสะเทือนที่ส่วนขา ก่อนแล้วส่งต่อไปยังส่วนลำตัว ท้อง สันหลัง แล้วไปที่แขน ไหล่ และศีรษะในที่สุด ถ้าขนาดของการสั่นสะเทือนต่ำก็อาจจะรู้สึกเฉพาะส่วนล่างเช่น ขา เท่านั้น แต่ถ้าสั่นสะเทือนมากๆ ก็จะรู้สึกตลอดทั่วทั้งร่างกาย ส่วนที่สัมผัสโดยตรงหรือใกล้กับต้นกำเนิดของการสั่นสะเทือนมากที่สุด จะเกิดความรู้สึกและปฏิกิริยาตอบสนองมากที่สุด ตัวอย่างเช่น คนงานที่ใช้เครื่องมือเจาะคอนกรีตหรือเจาะถนน จะต้องใช้มือทั้งสองบังคับเครื่องมือและใช้เท้าเหยียบกดเครื่องมือให้จมลงไปในพื้นคอนกรีต เพราะฉะนั้นแขนและเท้าจะได้รับแรงสั่นสะเทือนโดยตรง ทำให้อวัยวะส่วนนี้เกิดการเมื่อยล้า หรือเกิด

อาการมากกว่าส่วนอื่นๆ ของร่างกาย หรือเจ็บปวดมากกว่าส่วนอื่นๆ ถ้าหากแรงสั่นสะเทือนนั้นมีมาก และสัมผัสต่อเนื่องเป็นเวลานานๆ ผลอันเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนที่มีต่อมนุษย์นั้นพอจะแบ่งออกได้เป็น 2 ประการคือ

2.1 ผลที่เกิดทางด้านร่างกาย

2.1.1 อันตรายที่เกิดจากการสั่นสะเทือนทั้งร่างกาย ผู้ที่ได้รับหรือสัมผัสกับการสั่นสะเทือนอย่างต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลานาน จะทำให้ส่วนของร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับโครงสร้างของกระดูก กระดูกสันหลังอักเสบ และเมื่อยล้า นอกจากนี้ยังพบว่ามีระดับน้ำตาล และโคเลสเตอรอลในเลือดต่ำลง ระดับของกรดแลคติกบิกตัว เกิดความผิดปกติของระบบย่อยอาหาร และระบบขับถ่ายปัสสาวะ อาการระยะแรกของผู้ที่ได้รับการสั่นสะเทือนเป็นระยะเวลานานคือ ปวดท้องบริเวณช่องท้องส่วนบน (Distension) คลื่นไส้ น้ำหนักลด การมองเห็นไม่ชัดเจน นอนไม่หลับ เกิดการผิดปกติของหูชั้นใน (Colonic cramps) ระยะที่สองของการเจ็บป่วยจะปวดระบบกล้ามเนื้อ กระดูกและข้อต่ออย่างมาก

2.1.2 อันตรายที่เกิดจากการสั่นสะเทือนเฉพาะบางส่วนของร่างกาย จะแตกต่างจากอันตรายที่เกิดจากการสั่นสะเทือนทั้งร่างกายคืออันตรายจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งนิ้วมือและมือที่ต้องจับและถือเครื่องมือ หรืออุปกรณ์ที่มีการสั่นสะเทือน ในการใช้เครื่องมือเหล่านี้เป็นเวลานานจะทำให้เกิดอาการผิดปกติเช่น ทำให้เกิดอาการชาแฉะหรือเกลือแร่ ทำให้เกิดอันตรายต่อฝ่ามือ ทำให้เนื้อเยื่อต่างๆ ของมือด้านและแข็ง ทำให้เกิดการปวดข้อโดยไม่มีสาเหตุ ข้อต่อต่างๆ โดยเฉพาะข้อศอกเกิดการผิดปกติของหลอดเลือดที่เรียกว่า เรย์นอด – ฟินอมินอน (Raynaud's phenomenon) บางครั้งเรียกว่าโรคมือตาย (Dead hand) หรือ โรคนิ้วซีด (Vibration white finger) เกิดเนื่องจากการขาดออกซิเจนที่จะไปเลี้ยงส่วนปลายของนิ้วมือ เพราะการไหลเวียนของเลือดผิดปกติ ผู้ที่มีโอกาสเป็นโรคคือ ผู้ที่ทำงานในงานก่อสร้าง งานตัดไม้ และงานโลหะ ซึ่งใช้เครื่องมือบางชนิดที่มีการสั่นสะเทือนเกิดขึ้น อาจมีอาการชา และสูญเสียความรู้สึกที่นิ้วมือทำให้นิ้วมือบางนิ้วใช้การไม่ได้ ถ้ามีความรุนแรงมากอาจจะเกิดเนื้อตายจนต้องตัดนิ้วนั้นทิ้ง

2.2 ผลที่เกิดทางด้านจิตใจ

การสั่นสะเทือนที่มีผลทางด้านจิตใจจะมีผลต่อการรับรู้ ความรู้สึก ทำให้เกิดความรู้สึกไม่สบาย ความรำคาญ และหงุดหงิด การสั่นสะเทือนเพียงเล็กน้อยก็ทำให้เกิดการความรู้สึกรำคาญได้

ซึ่งผลทางด้านจิตใจนี้จะมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของคนงาน ทำให้คนงานรู้สึกเมื่อยล้า เปื่อยหนาย ซึ่งเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานลดลง และก่อให้เกิดการรบกวนสมาธิในการทำงาน

2.3 องค์ประกอบที่ทำให้คนได้รับอันตรายจากการสั่นสะเทือน

ผลที่เกิดขึ้นต่อร่างกายของคนเราเมื่อได้รับการสั่นสะเทือน จะมีความรุนแรงมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

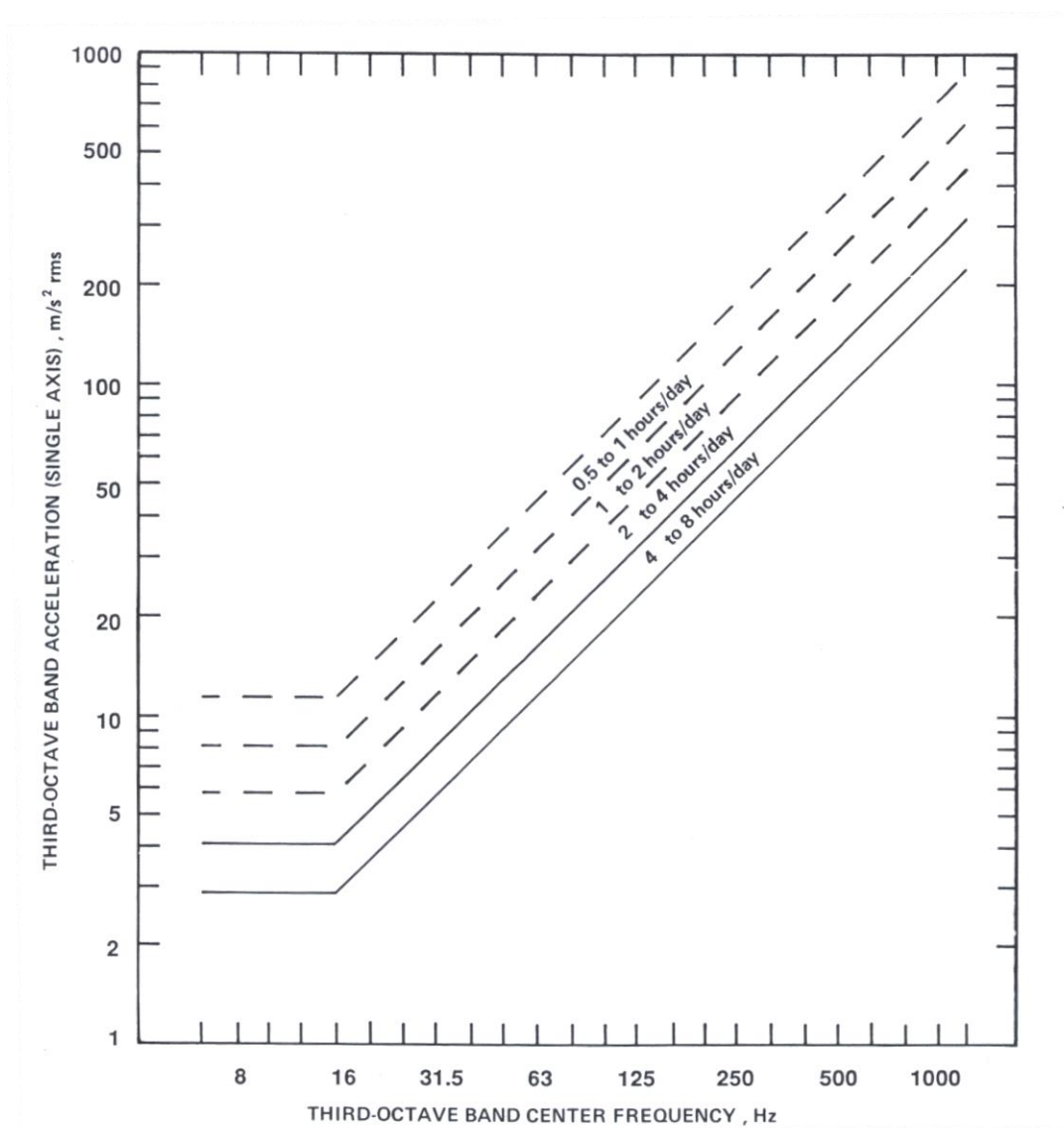
1. ช่วงความถี่ของการสั่นสะเทือน
2. ขนาดของการสั่นสะเทือน
3. ระยะเวลาในการได้รับการสั่นสะเทือน
5. แบบของเครื่องมือที่ใช้งาน
6. พื้นที่ตั้งและตำแหน่งของมือที่ได้รับการสั่นสะเทือน
7. การฝึกอบรมคนงานที่จะใช้เครื่องมืออุปกรณ์
8. ตัวบุคคลเองซึ่งมีความแตกต่างกัน

3. มาตรฐานการประเมินค่าการสั่นสะเทือนที่มือ – แขน

ปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานที่แน่นอนหรือเหมาะสมที่จะใช้เป็นมาตรฐานในด้านความปลอดภัย เนื่องจากมีความแตกต่างกันในลักษณะงานแต่ละประเภท และลักษณะของตัวบุคคลเอง แต่สถาบันมาตรฐานแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (American National Standards Institute, ANSI) ได้กำหนดเป็นข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการทำงานที่เกี่ยวข้องกับการสั่นสะเทือนที่คนงานได้รับโดยพิจารณาจากองค์ประกอบที่สำคัญ 4 อย่าง คือ ความแรงของการสั่นสะเทือน ความถี่ของการสั่นสะเทือน ทิศทางของการสั่นสะเทือน และระยะเวลาที่ได้รับการสั่นสะเทือน โดยแบ่งขีดจำกัดของระยะเวลาในการสัมผัสค่าความแรงของการสั่นสะเทือนต่อหนึ่งวันออกเป็น 5 ระดับ คือ

1. ค่าความแรงที่ไม่ควรสัมผัสเกิน 8 ชั่วโมงต่อวัน
2. ค่าความแรงที่ไม่ควรสัมผัสเกิน 4 ชั่วโมงต่อวัน
3. ค่าความแรงที่ไม่ควรสัมผัสเกิน 2 ชั่วโมงต่อวัน
4. ค่าความแรงที่ไม่ควรสัมผัสเกิน 1 ชั่วโมงต่อวัน
5. ค่าความแรงที่ไม่ควรสัมผัสเกิน 30 นาทีต่อวัน

ภาพที่ 8 เป็นข้อเสนอแนะสำหรับการได้รับการสั่นสะเทือนที่บริเวณมือตามแนวแกน X, Y และ Z (การสั่นสะเทือนในแนวแกนอ้างอิงต่างๆ ของมือ แสดงดังภาพที่ 3) โดยคิดเป็นค่าการสั่นสะเทือนที่ได้รับตามความถี่ และระยะเวลาการทำงานในหนึ่งวัน แกนตั้งเป็นค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนมีหน่วยเป็น m/s^2 มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1,000 m/s^2 ส่วนแกนนอนเป็นค่าความถี่ของคลื่นการสั่นสะเทือนมีหน่วยเป็น Hz มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1,250 Hz ระยะเวลาของการสัมผัสการสั่นสะเทือนที่มาตรฐานสากลแนะนำตั้งแต่ 30 นาที ถึง 8 ชั่วโมง



ภาพที่ 8 ค่ามาตรฐานการสั่นสะเทือนที่มือตามข้อเสนอแนะของ ANSI

ที่มา: ANSI S3.34, 1986

4. การไถเตรียมดิน (Tillage)

การไถเตรียมดิน คือ การใช้แรงผ่านเครื่องมือไถไปกระทำต่อดิน เพื่อให้ดินแตกตัวออกจากกัน ซึ่งการแตกตัวของดินนี้เองทำให้โครงสร้างของดินเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งเหมาะสำหรับการเพาะปลูกพืช นอกจากนั้นการไถเตรียมดินยังรวมถึงการควบคุม และกำจัดวัชพืช การกลบ และคลุกเคล้าซากพืช ตลอดจนส่งดินอีกด้วย ดังนั้นจึงสามารถสรุปวัตถุประสงค์การไถเตรียมดินออกเป็นข้อๆ ดังต่อไปนี้ (มณฑล, 2530)

1. เพื่อให้ดินมีสภาพที่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูก เช่น มีลักษณะแตกร่วนเป็นก้อนเล็กๆ จับตัวกันอย่างหลวมๆ ทำให้น้ำซึมผ่านได้สะดวก และมีปริมาณอากาศในดินที่เหมาะสม กับการเจริญเติบโตของพืช แต่ในบางกรณีการไถอาจไถเพื่อให้ดินระบายน้ำหรือให้น้ำและความชื้นระเหยออกจากดินได้ดีขึ้น (กรณีดินที่มีน้ำท่วมขัง)
2. เพื่อพลิกหน้าดินหรือกลบวัชพืชลงด้านล่าง เป็นการผสมคลุกเคล้าปุ๋ยและซากพืชลงสู่ดิน ทำให้ดินมีอินทรีย์วัตถุมากขึ้น และมีโครงสร้างของดินดีขึ้น
3. เพื่อควบคุมและกำจัดวัชพืช การไถกำจัดวัชพืชสามารถกระทำได้ตั้งแต่ก่อนปลูก ระหว่างปลูกและหลังปลูกพืช ในบางครั้งอาจใช้สำหรับทำลายไข่และตัวอ่อนของแมลงศัตรูพืช
4. เพื่อจัดระบบชลประทานแปลงปลูกพืชให้ดีขึ้น เช่น การไถเพื่อให้เกิดการระบายน้ำออกจากแปลงหรือผันน้ำเข้าสู่แปลงได้ดีขึ้น ตลอดจนไถปรับพื้นที่ให้ราบเรียบสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้น
5. เพื่อให้ดินที่พื้นผิวมีขนาดก้อนดินเล็กละเอียดและแน่นพอเหมาะต่อการงอกของเมล็ด และการเจริญเติบโตของพืชที่ปลูก
6. เพื่อให้การปลูกพืชกระทำ得สะดวก รวดเร็ว และมีความลึกที่สม่ำเสมอ ประหยัดแรงงานและเวลา
7. เพื่อรักษาหน้าดินและป้องกันการชะล้างหรือพังทลายของหน้าดิน
8. เพื่อให้จุลินทรีย์และสิ่งมีชีวิตในดินมีกิจกรรมมากขึ้นซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการปลูกพืช

ในการไถเตรียมดินเพื่อทำแปลงเพาะปลูกพืช ประกอบด้วย การไถครั้งแรก (Primary tillage) และการไถครั้งที่สอง (Secondary tillage) การไถครั้งแรกถือว่าการกระทำกับดินครั้งแรก จุดมุ่งหมายเพื่อลดความแข็งแรงของดิน (Soil strength) พลิกกลับหน้าดิน และการเคลื่อนย้ายเม็ดดิน (Aggregate) การไถครั้งที่สอง เป็นขบวนการย่อยดินทำให้อ่อนดินมีขนาดเล็กลง โดยจะทำได้ภายหลังการไถครั้งแรก (Kenpner, Bainer และ Barger, 1982)

4.1 ชนิดของเครื่องมือไถพรวนดิน

4.1.1 เครื่องมือประเภทไถที่สำคัญ ได้แก่ เครื่องมือไถหัวหมู (Moldboard plows), เครื่องมือไถจาน (Disk plows), เครื่องมือไถสับ (Chisel plows) และเครื่องมือไถดินดาน (Subsoilers) เครื่องมือทั้งหมดนี้เป็นเครื่องมือไถเตรียมดินครั้งแรก

4.1.2 เครื่องมือประเภทพรวนดินที่สำคัญ ได้แก่ เครื่องมือพรวนซี่ (Spike – tooth harrows), เครื่องมือพรวนจาน (Disk harrows) เครื่องมือเหล่านี้เป็นเครื่องมือไถเตรียมดินครั้งที่สอง

ในการจัดการกับดินโดยเครื่องมือไถพรวนดิน การไถเตรียมดินครั้งแรกจะได้ขนาดดินก้อนโต มีขนาดไม่เหมาะสมสำหรับการเพาะปลูกพืช พื้นที่ยังไม่เรียบ จำเป็นต้องพรวนย่อยดินโดยใช้เครื่องมือประเภทพรวนดิน ทำให้อ่อนดินมีขนาดเล็กลง ง่ายต่อการงอกของเมล็ดพืช ทั้งเครื่องมือไถเตรียมดินครั้งแรกและเครื่องมือไถเตรียมดินครั้งที่สองเป็นเครื่องมือไถเตรียมดินที่ถูกลากจูงโดยรถแทรกเตอร์ต้นกำลัง เรียกเครื่องมือเหล่านี้ว่า Passive tillage machinery ส่วนเครื่องมือไถเตรียมดินที่ทำงานโดยอาศัยกำลังขับเคลื่อนโดยตรงจากเครื่องยนต์ต้นกำลังของรถแทรกเตอร์ผ่านเพลาลำเลียงกำลัง (PTO, Power take off) คือ Active tillage machinery ได้แก่ เครื่องพรวนจอบหมุน (Rotary tillers) เครื่องมือไถจานชนิดใช้กำลัง (PTO powered disk plows) และเครื่องมือไถดินดานชนิดสั่น (Oscillating subsoilers) เครื่องมือเหล่านี้สามารถลดแรงฉุดลากในแนวระดับ (Draft) แต่ไปใช้ประโยชน์จากส่วนเพลาลำเลียงกำลัง ซึ่งมีผลทำให้การใช้รถแทรกเตอร์มีขนาดเล็กลง เป็นการลดค่าใช้จ่ายและการบดอัดดิน (Kenpner, Bainer และ Barger, 1982)

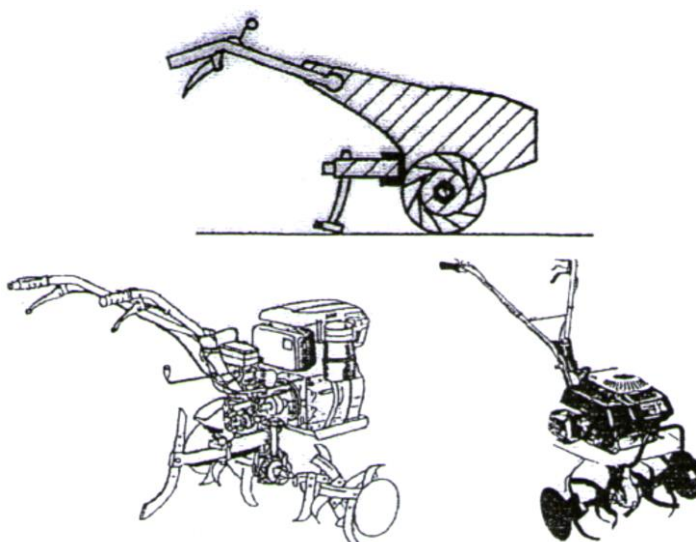
5. รถไถเดินตาม

5.1 ชนิดของรถไถเดินตาม

รถไถเดินตามมีชื่อเรียกหลายอย่าง เป็นต้นว่า รถแทรกเตอร์เพลาดียว (Single axle tractor), รถแทรกเตอร์บังคับด้วยมือ (Hand tractor), รถแทรกเตอร์ใช้ในสวน (Garden tractor), รถแทรกเตอร์เดินตาม (Walk tractor) เป็นต้น (Sakai, 1999) รถไถเดินตามถูกจำแนกขนาดไว้ดังนี้ ทั้งนี้จำแนกตามหลักการการแบ่งรถไถเดินตามในประเทศญี่ปุ่น (สุรินทร์, 2539 และ Sakai, 1999)

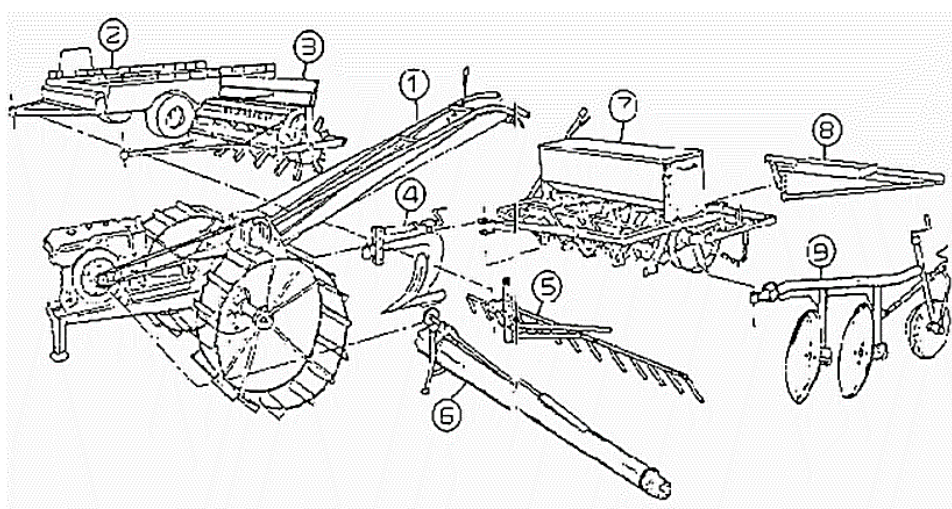
5.1.1 รถไถเดินตามพรวนดินขนาดเล็ก (Mini-tiller type) เป็นรถไถเดินตามรุ่นเล็กที่สุด ขนาดเครื่องยนต์ 2-3 HP หรือ 1.5-2.2 kW เคลื่อนที่พร้อมกับไถพรวนดินด้วยชุดใบมีดจอบหมุนที่ติดตั้งบนเพลาดียวกันเรียกว่า (Rotor drum) สวมบนแกนเพลาชับ (Drive axles) แทนล้อยางหรือล้อเหล็ก และมีอุปกรณ์หน่วงการไถดิน (Drag stake) ติดอยู่ที่จุดพ่วงต่อหลัง เครื่องจักรกลเกษตรชนิดนี้เรียกว่า Motor tiller หรือ เครื่องพรวนชนิดไม่มีล้อ (Wheel-less cultivator) (ภาพที่ 9) ส่วนมากจะใช้ในงานอดิเรกในสวนผลไม้

5.1.2 รถไถเดินตามชนิดลาก (Traction type) รถไถเดินตามชนิดนี้ถูกใช้สำหรับติดตั้งไถหัวหมูเพื่อการเตรียมดิน นอกจากนี้ยังใช้ลากรถพ่วงบรรทุกผลผลิตการเกษตรเพื่อการขนส่ง แต่ไม่สามารถติดเครื่องมือไถจอบหมุน ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องยนต์ต้นกำลังมีขนาดเล็กเกินไป ขนาดกำลังเครื่องยนต์ที่ใช้ คือ 4-6 HP หรือ 2.9-4.4 kW นอกจากนี้ยังสามารถใช้ติดอุปกรณ์ต่างๆ ได้ ดังแสดงในภาพ 10



ภาพที่ 9 รถไถเดินตามชนิดพรวนดิน (Mini-tiller type)

ที่มา: Sakai (1999)



- | | | | |
|------------------|-------------------------------|------------------------|----------|
| 1. ตัวรถไถ | 4. ไถหัวหมู | 7. เครื่องหยอดเมล็ด | 9. ไถจาน |
| 2. สายสับรูก | 5. คราด | 8. เครื่องปรับระดับดิน | |
| 3. ลูกทุบตีเทือก | 6. ท่อพญานาคหรือระหัดเทพฤทธิ์ | | |

ภาพที่ 10 รถไถเดินตามชนิดลาก

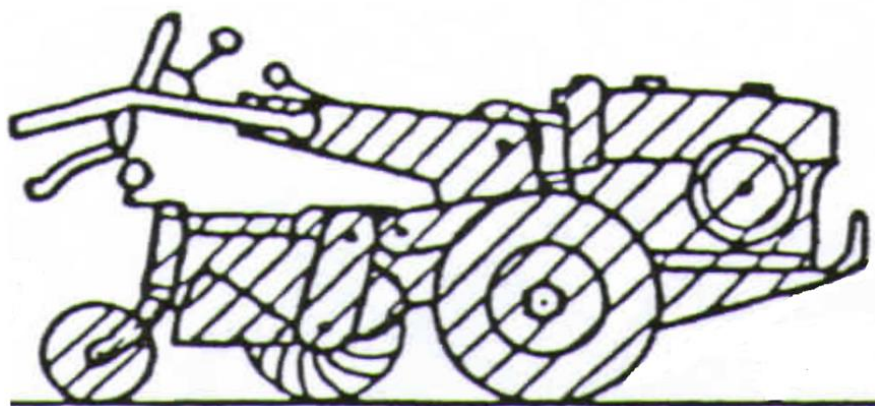
5.1.3 รถไถเดินตามเพื่อการลากจูงและการพรวนดิน (Dual type) ขนาดกำลังเครื่องยนต์ที่ใช้ คือ 5-7 HP หรือ 3.7-5.2 kW เครื่องมือที่ใช้เป็นเครื่องมือไถต่างๆ และเครื่องมือไถจอบหมุนที่มีขนาดความกว้างไม่มาก

5.1.4 รถไถเดินตามชนิดติดเครื่องพรวนจอบหมุน (Power tiller) เครื่องจักรกลชนิดนี้ใช้ไถเตรียมดินโดยการส่งกำลังจากเครื่องยนต์ผ่านไปยังเครื่องมือไถเตรียมดินโดยตรง ทั้งนี้เครื่องมือจะติดอยู่ด้านหลังรถไถเดินตาม ปกติแล้วรถไถเดินตามจะติดเครื่องมือไถจอบหมุน เรียกเครื่องจักรกลเกษตรประเภทนี้ว่า Rotary power tiller ในการทำงานของเครื่องมือไถจอบหมุนติดรถไถเดินตามจะได้ก้อนดินที่ถูกตัดและก้อนดินที่ถูกย่อยขนาดในเวลาเดียวกันสำหรับการทำงานในเที่ยวเดียวเกษตรกรจะรู้สึกสนุกกับการไถเตรียมดินโดยวิธีนี้เนื่องจากง่ายต่อการทำงาน ปกติแล้วน้ำหนักของเครื่องมือชุดนี้ประมาณ 300-400 kgf จะเห็นว่ามีน้ำหนักค่อนข้างมาก และเครื่องยนต์ต้นกำลังเป็นเครื่องยนต์ดีเซลขนาด 7-14 HP หรือ 5.2-10.3 kW (ภาพที่ 11)

5.2 รถไถเดินตามของประเทศไทย

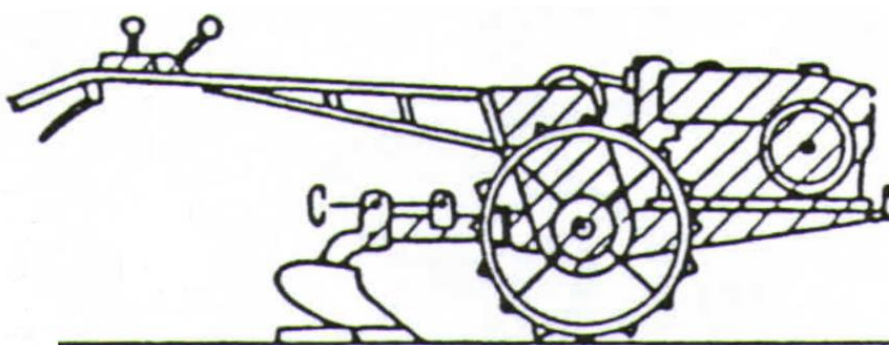
เครื่องจักรกลเกษตรประเภทนี้ถูกพัฒนาขึ้นในประเทศไทย มีโครงสร้างแบบธรรมดา เครื่องยนต์ที่ใช้เป็นเครื่องยนต์ดีเซล ระบายความร้อนด้วยน้ำ ที่ต่างจากรถไถเดินตามที่ผลิตจากประเทศญี่ปุ่นที่เห็นได้ชัดเจนคือ คันมือจับเพื่อใช้บังคับรถไถเดินตามมีความยาวประมาณ 1.5 เมตร มี

ทั้งประเภทหลักเลี้ยว (ไม่มีคลัตช์ช่วยเลี้ยว) ซึ่งมีเฉพาะเกียร์เดินหน้า และประเภทมีคลัตช์สำหรับบีบเลี้ยววงแคบได้ ซึ่งมีเกียร์เดินหน้า 2 และ 3 เกียร์ และเกียร์ถอยหลัง 1 เกียร์ เครื่องยนต์ที่นิยมใช้ คือ 8-12 HP น้ำหนักรถไถเดินตามรวมทั้งชุดล้อเหล็ก (Steel cage wheel) ประมาณ 350-450 kgf (สุรินทร์, 2539 และ Sakai, 1999) (ภาพที่ 12) ปกติใช้งานไถเตรียมดิน เครื่องมือที่ใช้ คือ ไถหัวหมู (Moldboard plow), ไถกระทะ (Disk plow), คราด (Puddling rake), ขลุ่ (Puddling rotor) นอกจากนี้ยังใช้พ่วงเทเลอร์ (Trailer) เพื่อบรรทุกสิ่งของต่างๆ แต่ทั้งนี้รถไถเดินตามที่ผลิตในประเทศไทยไม่มีเพลลาำนวยกำลัง เพื่อใช้ขับเคลื่อนล้อจอบหมุน



ภาพที่ 11 รถไถเดินตามชนิดติดเครื่องพรวนจอบหมุน

ที่มา: Sakai (1999)



ภาพที่ 12 รถไถเดินตามของประเทศไทย

ที่มา: Sakai (1999)

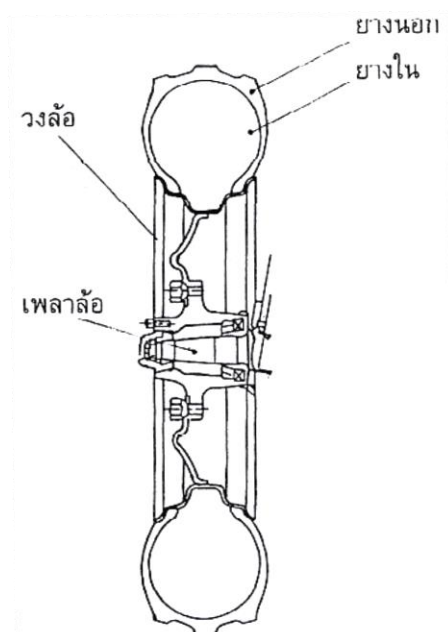
5.3 ชนิดของล้อรถไถเดินตาม

5.3.1 ล้อยาง หรือล้อยางชนิดสุบลม มีโครงสร้างง่าย ราคาถูก น้ำหนักเบา และอายุการใช้งานยาว จึงเหมาะที่จะใช้เป็นอุปกรณ์ชุดลากสำหรับรถไถเดินตาม ส่วนประกอบทั่วไปของล้อยางที่ใช้กับรถไถเดินตามก็เหมือนกับล้อยางที่ใช้ในรถยนต์ดังแสดงในภาพที่ 13 กล่าวคือ ประกอบด้วยดุมล้อ (Wheel hub) วงล้อ (Wheel rim) ยางใน (Inner tube) และยางนอก (Tire) ส่วนดุมล้อจะยึดวงล้อและสวมกับเพลาล้อ (Wheel axle)

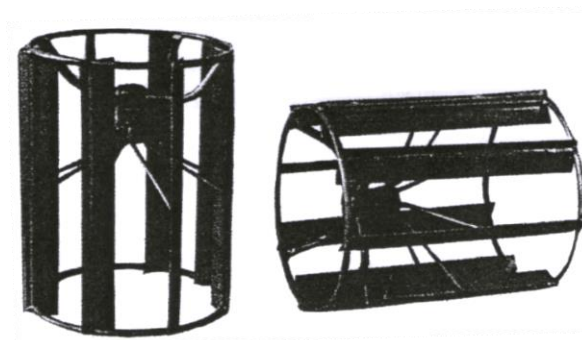
ล้อยางที่ใช้กับรถไถเดินตามที่ผลิตในประเทศส่วนใหญ่จะเป็นล้อยางของรถบรรทุกขนาดเล็กหล่อตอกยางใหม่ จึงมีขนาดใหญ่กว่ามาตรฐาน เนื่องจากไม่มีโรงงานผลิตล้อยางสำหรับรถไถเดินตามในประเทศ และล้อยางที่นำเข้าจากต่างประเทศมีราคาสูง นอกจากนั้นรถไถเดินตามส่วนใหญ่ใช้ในการทำนาพื้นดินอ่อนก็จะใช้ล้อเหล็ก ผู้ใช้จะเปลี่ยนจากล้อเหล็กมาเป็นล้อยางเมื่อใช้รถไถเดินตามลากรถพ่วงบรรทุกผลิตผลเกษตรและสินค้าอื่นๆ เท่านั้น ล้อยางจึงมีความจำเป็นมากขึ้นหากรถไถเดินตามสามารถติดเครื่องพรวนจอบหมุนได้ เพราะเครื่องพรวนจอบหมุนเหมาะสำหรับเตรียมดินแห้งและเปียกแข็ง ดังนั้นในสภาพพื้นที่การเกษตรดังกล่าวการใช้ล้อยางจะทำงานได้ดีกว่าล้อเหล็ก ล้อยางที่ใช้กับรถไถเดินตามส่วนมากจะมีจำนวนชั้นผ้าใบ 2 ถึง 4 ชั้น ความดันลมล้อในการเดินทางประมาณ 1.8-2.0 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร และ 1.1-1.4 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร สำหรับติดอุปกรณ์เกษตรทำงานในพื้นที่เกษตรกรรม

5.3.2 ล้อเหล็ก (Steel wheel or iron wheel) เป็นล้อที่ออกแบบและพัฒนาเพื่อใช้งานในพื้นที่ที่ล้อยางไม่สามารถทำงานได้ เช่น พื้นที่นาที่มีชั้นดินอ่อนหรือดินโคลน ในสภาพพื้นที่ดังกล่าวล้อเหล็กจะตะกุกดินได้ดีกว่าล้อยาง ล้อเหล็กสำหรับรถไถเดินตามมีอยู่หลายชนิดเพื่อความเหมาะสมกับสภาพพื้นที่และอุปกรณ์ที่ติดข้างหลัง ล้อเหล็กสามารถแบ่งตามจำนวนล้อ (Rim) ได้ 2 ชนิด คือ ล้อเหล็กวงคู่ (Cage iron wheel) และล้อเหล็กวงเดี่ยว (Tillage iron wheel) ดังแสดงในภาพที่ 14 และ 15 ตามลำดับ

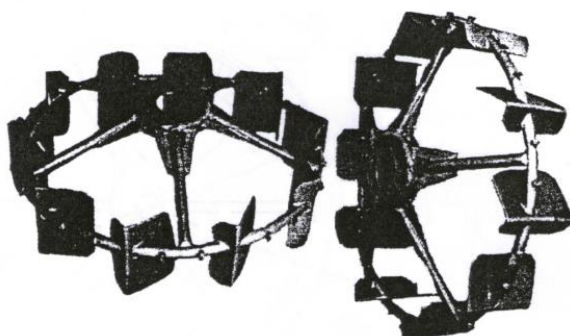
ล้อเหล็กนับว่ามีประโยชน์สำหรับรถไถเดินตาม ในการทำนาในพื้นที่นาลุ่ม ลักษณะโครงสร้างล้อเหล็กธรรมดาไม่ค่อยยุ่งยาก จึงไม่จำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีการทำสูง และต้นทุนการทาก็ต่ำ ข้อเสียของการใช้ล้อเหล็กเมื่อเปรียบเทียบกับล้อยางก็คือ แรงต้านทานการเคลื่อนที่ และการสิ้นสະเทือนของรถไถเดินตามจากการใช้ล้อเหล็กจะมากกว่าการใช้ล้อยาง นอกจากนั้นการใช้ล้อเหล็กทำให้รถไถเดินตามเคลื่อนย้ายได้ไม่ดีเท่าการใช้ล้อยาง



ภาพที่ 13 ส่วนประกอบล้อยาง



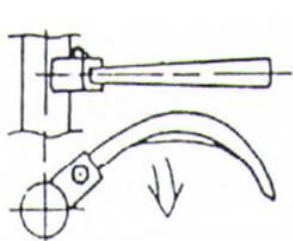
ภาพที่ 14 ลักษณะล้อเหล็กวงคู่



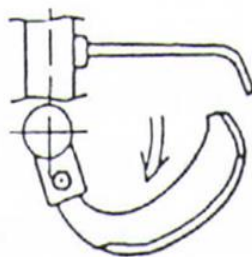
ภาพที่ 15 ลักษณะล้อเหล็กวงเดี่ยว

6. เครื่องพรวนจอบหมุน

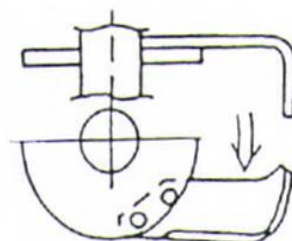
เครื่องพรวนจอบหมุนเป็นเครื่องพรวนดินแบบติดอยู่ด้านหลังรถไถเดินตามแบบขับเคลื่อน มีชื่อว่า “เครื่องพรวนดินแบบจอบหมุน” บริษัทไฮวาร์ดโรตาเวเตอร์ในประเทศอังกฤษเป็นผู้ผลิตเครื่องพรวนจอบหมุน เครื่องพรวนจอบหมุนสามารถไถพรวนดินโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Cutter drum ซึ่งเป็นส่วนของชุดเหล็กแหลม ชุดใบมีดติดหรือชุดใบมีด ติดตั้งบนเพลลาหมุนตามแนวขวางขับเคลื่อนโดยเครื่องยนต์ของรถแทรกเตอร์ ชิ้นส่วนที่ใช้พรวนดินแบบเหล็กแหลมมีด้วยกันหลายชนิด บางครั้งถูกเรียกว่า ใบมีดพรวนดินปลายแหลมหรือใบมีดพรวนดินแบบตะขอ ใบตัดดินถูกเรียกว่าใบมีดเครื่องพรวนจอบหมุนหรือใบมีดพรวนดิน ใบมีดโรเตอร์ ภาษาญี่ปุ่น เรียกว่า Nataba แกนใบมีดแนวขวาง เรียกว่าเพลลาเครื่องพรวนจอบหมุน ความเร็วรอบหมุนของเพลลาโดยปกติมีค่า 150-400 รอบต่อนาที



(ก) แบบ Pointed tine



(ข) ใบมีดรูปตัวซี



(ค) ใบมีดรูปตัวแอล

ภาพที่ 16 ใบมีดจอบหมุน

ที่มา: Sakai (1999)

6.1 ระบบขับเคลื่อนเพลลาโรเตอร์

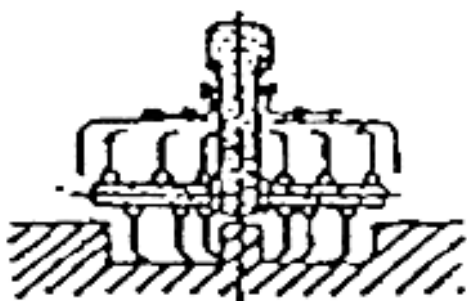
Sakai (1999) ลักษณะการส่งกำลังมาขับเคลื่อนเครื่องพรวนจอบหมุนมี 2 แบบ คือ ขับตรงกลาง (Center drive type) และแบบส่งกำลังขับเคลื่อนข้าง (Side drive type) แสดงในภาพที่ 17

การขับที่กึ่งกลางเพลลาถูกพัฒนาเพื่อใช้กับรถแทรกเตอร์ขนาดเล็ก ที่มีกำลังน้อยกว่า 8 PS (5-9 kW) ทั้งนี้ความลึกในการไถปรับโดยการเคลื่อนที่ขึ้นหรือลงของล้อหลัง อีกส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อความลึกในการไถ คือ Final sprocket gear ที่อยู่ใน Final reduction case (ภาพที่ 17) เป็นส่วนของห้องโซ่ด้านล่าง ในส่วนนี้จะต้องไม่สัมผัสกับดินที่ไถแล้ว ดังนั้นความลึกสูงสุดในการไถ, H_m จะได้ตามสมการที่ (12) คือ

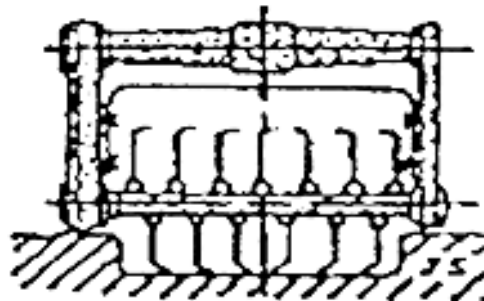
$$H_m = r_3 - R_T \quad \dots(12)$$

โดยที่ r_3 = รัศมีการหมุนของใบมีด, cm
 R_T = รัศมีด้านล่างของ Final transmission case, cm

ดังนั้นรัศมีของเฟืองโซ่ด้านล่างจะต้องมีขนาดเล็กเพื่อให้รัศมีของห้องโซ่ด้านล่างเล็ก ลง ความลึกในการไถจะเพิ่มขึ้น และที่เพลารอเตอร์ด้านข้างของห้องเกียร์จะต้องมีการป้องกันฝุ่น และ สิ่งแปลกปลอมที่จะเข้าไปในห้องเกียร์ โดยทั้งสองด้านของห้องเกียร์ต้องใช้ซีล



(ก) ขับตรงกลางเพลาร



(ข) ส่งกำลังขับด้านข้าง

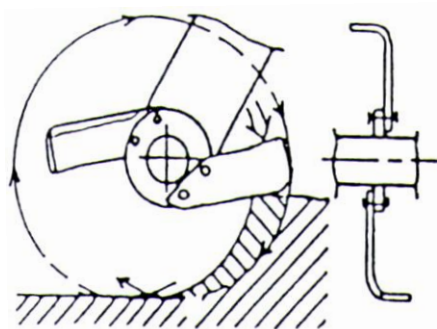
ภาพที่ 17 แสดงระบบส่งกำลังของเครื่องพรวนจอบหมุน

ที่มา: Sakai (1999)

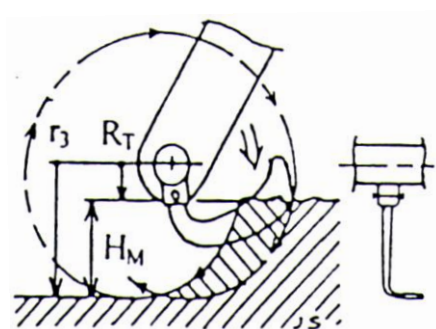
6.2 ชนิดและลักษณะเฉพาะของใบมีดเครื่องพรวนจอบหมุน

1) ใบมีดแบบยุโรปที่เรียกว่าใบมีดจอบหมุนยุโรปตัวแอล (ภาพที่ 18) ผู้ผลิตคิดค้น ใบมีดดังกล่าว คือ A.C. โฮวาร์ด ในปี ค.ศ. 1922 เหมาะที่จะใช้ในการเพราะปลูกพืชไร่ ใบมีดมีรูปร่าง ค่อนข้างธรรมดา มีความหนาเท่ากันตลอดและผลิตได้ง่าย

2) ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี (ภาพที่ 19) ถูกประดิษฐ์สำหรับใช้งานในนาข้าวในปี ค.ศ.1940 โดย K. Hond และ R. Satoh ใบมีดทั้งส่วนที่จอบและส่วนที่ไถ โครงสร้างของใบมีดจะมีการแปลงความหนาจากโคนมีดจนถึงปลายใบมีด (Sakai, 1999)



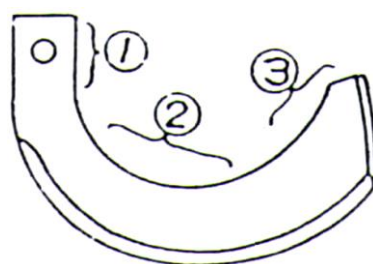
European L-shaped blade



Japanese C-shaped blade

ภาพที่ 18 ใบมีดจอบหมุนยุโรปรูปตัวแอล (European L-shaped blade) และใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่น

ที่มา: Sakai (1999)



ภาพที่ 19 ส่วนประกอบของใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี

ที่มา: Sakai (1999)

6.3 ส่วนประกอบของใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี (Sakai, 1999)

1) ส่วนที่ยึด หรือก้านใบมีด หรือด้ามใบมีดที่ถูกใส่และยึดด้วยสลักเกลียวกับช่องยึดบนเพลารอเตอร์เครื่องพรวนจอบหมุน

2) มีดแนวตรง หรือใบมีดส่วนตรงสำหรับตัดดินในแนวตั้ง ในทิศทางการเคลื่อนที่ของเครื่องพรวนจอบหมุน

3) ใบมีดด้านข้างถูกเรียกว่า ปลายมีด สำหรับตัดดินด้านข้างและโยนก้อนดินที่ถูกตัดออกไปทางด้านข้าง

6.4 แรงต้านทานการพรวนดินที่กระทำต่อไบริด (Sakai, 1999)

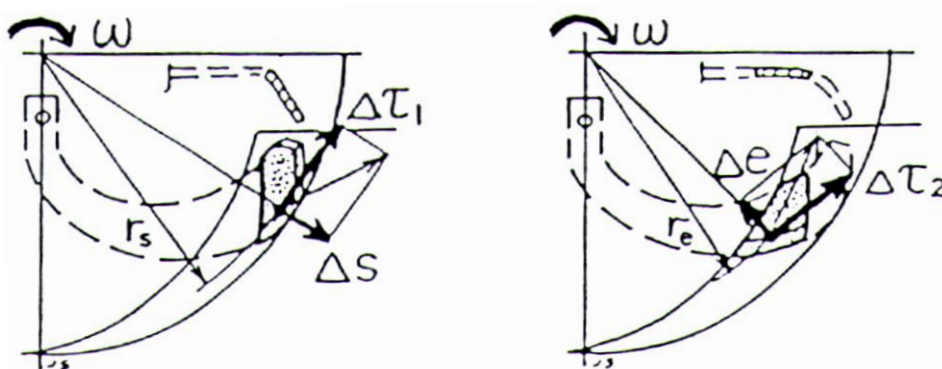
ไบริดรูปตัว C แรงรวมผลลัพธ์ (The total tillage resistance force) T_3 เรียกว่า แรงต้านทานการพรวนดินรวม ประกอบด้วยแรงภายนอก 4 แรง ที่กระทำบนไบริด

1) แรงภายนอกกระทำบนไบริด คือ แรงดูดในแนวรัศมี (The radial suction force) ΔS และแรงต้านทานการบิด (The torque resistance force) $\Delta \tau_1$ ที่กระทำในทุกขณะบนผิวโค้งไบริด

2) แรงสู่ศูนย์กลาง (The centripetal force) Δe และแรงต้านทานการบิด (The torque resistance force) $\Delta \tau_2$ ที่กระทำกับส่วนตรงของไบริดที่กำลังตัดดิน

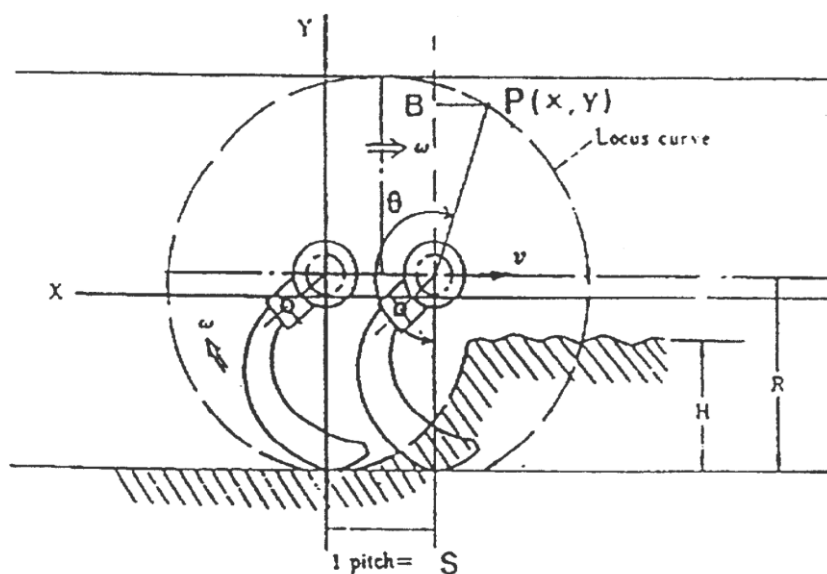
6.5 แรงต้านทานจากการไถพรวนและแรงยกจากการไถพรวน

แรงต้านทานการไถพรวนรวม (The total tillage resistance force) T_3 แยกเป็นแรงปฏิกิริยาที่กระทำทิศทางซ้ายไปข้างหน้า (The forward reaction force) P_3 เป็นแรงในแนวระดับและแรงปฏิกิริยาทิศทางขึ้นด้านบน (The upward reaction force) R_3



ภาพที่ 20 แรงดูดในแนวรัศมี และแรงสู่ศูนย์กลาง

ที่มา: Sakai (1999)



ภาพที่ 22 แสดงแนวการเคลื่อนที่ของใบมีดตัดดิน

ที่มา: Sakai (1999)

การที่ใบมีดจะตัดมวลดินได้สำเร็งนั้น จะเกิดขึ้นใบมีดตัดดิน 2 ครั้งต่อเนื่องกัน เมื่อพิจารณาแนวทางการเคลื่อนที่ของใบมีด 2 แฉก ซึ่งมีลักษณะเหมือนกันและต่อเนื่องกัน จะได้ระยะทางระหว่างแต่ละเส้นคือ “S” ซึ่งก็คือระยะที่รถแทรกเตอร์ติดเครื่องพรวนจอบหมุนเคลื่อนที่ไปข้างหน้าต่อการตัดดิน 1 ครั้ง และขนาดระหว่างช่วงกว้างของมวลดินที่ไถพรวนแล้วก็จะขึ้นอยู่กับค่า “S”

ระยะทางที่เคลื่อนที่ไปข้างหน้าต่อการตัดดินหนึ่งครั้ง “S” อาจเรียกว่า Bite length หรือ Tillage pitch สามารถพิจารณาได้ดังนี้

เมื่อ t_s คือช่วงระยะเวลาที่ใบมีดใช้ในการหมุนไปเป็นมุม $\frac{2\pi}{Z}$ โดยที่ Z คือ จำนวนใบมีดบนหนึ่งระนาบ

$$\text{จาก} \quad S = v \cdot t_s$$

$$\text{และ} \quad t_s = \frac{2\pi}{Z\omega}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น} \quad S &= \frac{v \cdot 2\pi}{z\omega} \\
 \text{เมื่อแทนค่า} \quad \omega &= \frac{2\pi \cdot n}{60} \\
 \text{จะได้} \quad S &= \frac{60 \cdot v}{z \cdot n} \quad \dots(16)
 \end{aligned}$$

7. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับทฤษฎีการวิบัติของดิน

7.1 การวิบัติของดินเนื่องจากไถเตรียมดิน

การใช้เครื่องมือไถเตรียมดินจุดประสงค์เพื่อต้องการทำให้ดินในแปลงเพาะปลูกเกิดการวิบัติและพฤติกรรมขณะเกิดการวิบัติของดินเป็นจุดหนึ่งที่น่าสนใจ ขบวนการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของดิน (Soil deformation) และการวิบัติของดิน (Soil failure) ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินและวิธีการออกแรงกระทำต่อดิน ด้วยเหตุที่ใช้เครื่องมือไถเตรียมดินก็เพื่อต้องการเปลี่ยนแปลงสภาพของดิน การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวขึ้นอยู่กับธรรมชาติของดินและแรงปฏิกิริยาระหว่างดินกับเครื่องมือ

ลักษณะการวิบัติของดินมี 2 ลักษณะ คือ ลักษณะการไหล (Plastic flow) และลักษณะการวิบัติของดินจากแรงเฉือน (Shear failure) ทั้งสองลักษณะการวิบัติของดินจะเกี่ยวข้องกับงานเกษตรกรรม เช่น การใช้ไถดินดาน ไถจอบหมุน และเครื่องมือทุ่นแรงเกษตรประเภทไถเตรียมดินชนิดต่างๆ จุดประสงค์เพื่อต้องการทำให้ดินแตกตัวในลักษณะก้อนเล็กก้อนน้อย ทั้งนี้ลักษณะการแตกตัวของดินเป็นการวิบัติของดินจากแรงเฉือน (Shear failure) ในขณะที่ปัญหาการทำรูระบายน้ำใต้ดิน (Mole drainage) โดยใช้เครื่องมือประเภท Mole plough สภาพดินที่ได้บริเวณเครื่องมือเป็นลักษณะการไหล (Plastic flow)

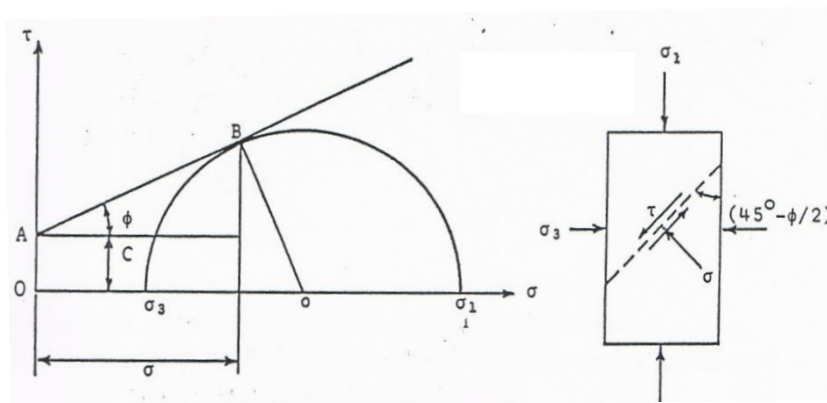
7.2 ทฤษฎี Coulomb

ทฤษฎีนี้กล่าวไว้ว่าดินจะเกิดการวิบัติเมื่อความเค้นเฉือน (Shear stress) มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากสูตร

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad \dots(17)$$

โดยที่	τ	:	ความเค้นเฉือน (Shear stress)
	σ	:	ความเค้นในแนวตั้งฉากกับระนาบวิบัติ (Normal stress on failure plane)
	ϕ	:	มุมเสียดทานภายใน (Angle of internal friction)
	c	:	แรงยึดเหนี่ยว (Cohesion)

จากสมการ (16) เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ แสดงการวิบัติของแรงเฉือน ทั้งนี้กฎของ Coulomb สามารถแสดงโดยกราฟเส้นตรง AB ถ้าดินถูกกระทำโดยมีทิศทางการแนวดิ่งและระนาบ σ_1 และ σ_3 ตามลำดับ ($\sigma_1 > \sigma_3$) การวิบัติของดินโดยแรงเฉือนจะเกิดขึ้นเมื่อค่าความเค้นเฉือนมีค่ามากกว่าเส้นตรง AB



ภาพที่ 23 Coulomb's model แสดงระนาบวิบัติเฉือน

ที่มา: Kawamura (1985)

7.3 Critical state theory

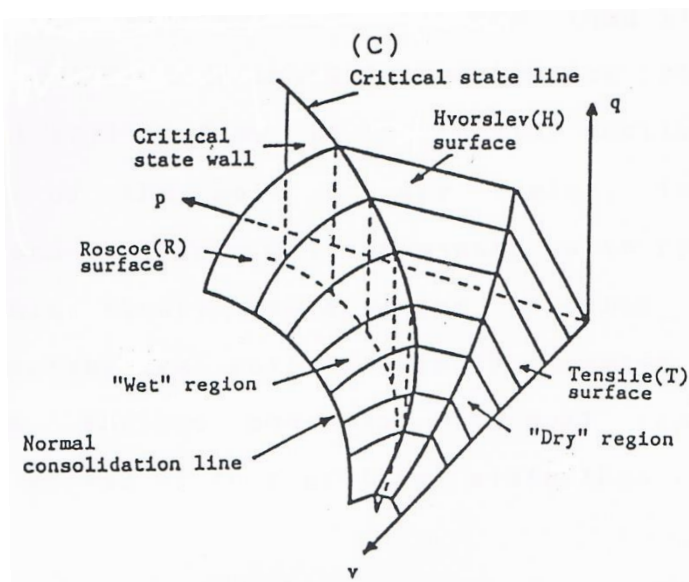
ส่วนประกอบของดินประกอบด้วยเม็ดดิน (Pore space) ช่องว่างระหว่างเม็ดดินจะเปลี่ยนแปลงไปถ้ามีแรงกระทำจากภายนอกกระทำต่อมวลดิน พฤติกรรมของดินที่เกิดเนื่องจากการกระทำจากแรงภายนอกสามารถอธิบายได้โดยใช้ทฤษฎี Critical state soil mechanics ทั้งนี้ทฤษฎีดังกล่าวมีจุดประสงค์เพื่อใช้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความเค้นกระทำต่อมวลดินกับการเปลี่ยนแปลงของช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ทฤษฎีนี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มากในงานด้านการศึกษาปัญหาการไถเตรียมดินและการบดอัดตัวของดิน (Soil compaction) ทฤษฎีดังกล่าวเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (Stresses) และความเครียด (Strain) ในรูป

ของฟังก์ชันค่า Spherical pressure component, p และ Deviatoric component, q กับค่า Specific volume (v)

$$p = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) \quad \dots(18)$$

$$q = \frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]^{\frac{1}{2}} \quad \dots(19)$$

ซึ่ง $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ เรียกว่าค่าความเค้นหลัก (Principle stresses)



ภาพที่ 24 กราฟแสดง Critical soil mechanics

ที่มา: Hettiaratchi and Callaghan (1980)

7.4 Dynamic fractures of soil

เครื่องมือไถเตรียมดินทำงานในลักษณะของพลศาสตร์ (Dynamics) ที่ความเร็วสูงหรือลักษณะการสั่น ดินมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Soil deformation) และการวิบัติดิน (Soil failure) ในลักษณะการออกแรงกระทำต่อมวลดินที่ความเร็วสูง ลักษณะของดินที่เกิดการวิบัติโดยแรงกระทำดังกล่าวจะแตกต่างจากลักษณะผลเนื่องจากสภาวะสถิตศาสตร์ (Statics) การออกแรงกระทำจะถูกกระทำให้เปลี่ยนรูปร่างก่อนในขั้นแรก หลังจากนั้นการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัตถุจะถูกแพร่กระจาย

ไกลออกไปทีละเล็กละน้อย จากจุดที่ออกแรงกระทำในรูปแบบคลื่นความเค้นกระทำ (Stress wave) ในสมการที่ 20

$$c = \frac{\sqrt{E}}{\rho} \quad \dots(20)$$

โดยที่	c	:	Stress wave velocity
	E	:	Tangent modulus
	ρ	:	Mass density

โดยทั่วไปเป็นที่ทราบกันดีว่า ขณะที่ความเร็วการทำงานของเครื่องมือไฮดรอลิกเพิ่มขึ้น จากผลการศึกษาของ Kawamura และ Umeda (1958) พบว่าความแข็งแรงอัดดิน (Compression Strength) เพิ่มขึ้นสัดส่วนโดยตรงกับค่า Logarithm ของความเร็วของการออกแรงกระทำต่อตัวอย่างดิน โดยที่ความเร็ววิกฤตมีค่าระหว่าง 2 - 4 m/s และผลจากการวิจัยพบว่าดิน จะเกิดการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน (Shear failure) ขณะที่ความเร็วในการออกแรงกระทำต่อดินมีค่าต่ำ และเปลี่ยนแปลงลักษณะการวิบัติของดินเป็นการไหล (Plastic flow) ขณะที่ความเร็วเพิ่มขึ้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Haack (1956) การศึกษาความอดทนต่อการสั่นสะเทือนของมนุษย์ในเครื่องจักรกลเกษตร และรวมกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ ผลการทดลองพบว่าความอดทนของผู้ทดลองที่จะตอบสนองต่อการสั่นสะเทือนในช่วงของความถี่ 4 - 7 Hz ซึ่งอาจจะเป็นช่วงความถี่สั่นพ้องของมนุษย์ และแสดงให้เห็นว่ามนุษย์ทนคลื่นความถี่ได้ถึง 6 รอบต่อวินาที การสั่นสะเทือนที่มีความถี่ 6 รอบต่อวินาที จะไม่มีผลกระทบต่อร่างกายส่วนบน เนื่องจากช่วงความถี่ดังกล่าวมีค่าเกินกว่าความถี่สั่นพ้องของร่างกายมนุษย์ส่วนบน การขับรถแทรกเตอร์บนถนนขรุขระเกิดการสั่นสะเทือนในช่วงความถี่ 1 - 6 รอบต่อวินาที ส่วนใหญ่นั้นความถี่ของการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดคือ 4 รอบต่อวินาที ค่าเหล่านี้ในปัจจุบันเป็นความถี่ธรรมชาติของระบบการสั่นสะเทือนในรถแทรกเตอร์ การสั่นสะเทือนที่เกิดจากเครื่องยนต์รถแทรกเตอร์พบว่ามีมากกว่าหนึ่งทิศทาง ซึ่งเป็นต้นเหตุทำให้ร่างกายมนุษย์มีความอ่อนเพลีย สาเหตุของการสั่นสะเทือนนี้เกิดจากความเร็วรอบของเครื่องยนต์ และการทำงานของข้อเหวี่ยงและลูกสูบที่ไม่สมดุล

Van Gerpen (1956) ศึกษาการสั่นสะเทือนที่ที่นั่งคนขับรถแทรกเตอร์ พบว่าแทรกเตอร์ทางการเกษตรของชาวอเมริกันที่ขับเคลื่อนล้อหลังชนิดล้อยางสุบลมมีความถี่ธรรมชาติของการสั่นสะเทือนประมาณ 3 cps ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง 2.5 cps และ 3.5 cps ขึ้นอยู่กับของความดันลมยางและน้ำหนักถ่วงล้อของแทรกเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลง ถ้าความถี่ที่มากกว่า 1 - 6 cps จะพิจารณาในเรื่องของแรงเหวี่ยงเป็นเกณฑ์สำคัญสำหรับการลดการสั่นสะเทือนในการนั่งบนรถแทรกเตอร์การเกษตร

Hornick (1961) ศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนของรถแทรกเตอร์และผลกระทบที่มีต่อมนุษย์ พบว่าการใช้รถแทรกเตอร์มีแรงสั่นสะเทือนสองชนิด คือการสั่นสะเทือนในแนวตั้งและการสั่นสะเทือนในแนวขวางการเคลื่อนที่ ซึ่งจากการศึกษาพบว่าแรงสั่นสะเทือนของรถแทรกเตอร์เพิ่มมากขึ้นตามความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น และพบว่าการปฏิบัติงานของผู้ขับใช้รถแทรกเตอร์จะได้รับผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญในทิศแนวตั้งและแนวขวางการเคลื่อนที่ของการสั่นสะเทือน จากการศึกษาพบว่าความถี่สั่นพ้อง (Resonant frequency) ของร่างกายมนุษย์อยู่ที่ประมาณ 4.5 - 5.5 cps ในทิศแนวตั้ง และประมาณ 1.5 - 2.5 cps ในทิศแนวขวางการเคลื่อนที่

Rao and Jones (1975) ศึกษาการสั่นสะเทือนของศีรษะและไหล่ของมนุษย์ในระหว่างการเดิน เพราะการเดินเป็นวิถีทางธรรมชาติมากที่สุดในการเคลื่อนไหวของมนุษย์ และเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการตรวจสอบการตอบสนองทางชีวกลศาสตร์ของร่างกายทั้งหมดที่ทำให้เกิดแรงระหว่างกระบวนการเดิน จากการวิเคราะห์ตามเวลาจริงของ Head spectra และ Shoulder spectra และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือน 'g' พบว่ากลุ่มตัวอย่างคน 29 คน มีสอดคล้องกัน ข้อมูลที่ได้เป็นประโยชน์ในเรื่องการกำหนดระดับการสั่นสะเทือน พวกเขาได้ข้อสรุปในการทดลองว่าร่างกายมนุษย์สามารถทนต่อความเร่งการสั่นสะเทือน rms 'g' สูงสุดในการเดินซึ่งมีความถี่อยู่ในช่วง 1.2 - 2.0 Hz ซึ่งบังเอิญไปตรงกับช่วงความถี่การเต้นของหัวใจมนุษย์พอดี

Gerke and Hoag (1981) ศึกษาการสั่นสะเทือนของแทรกเตอร์ ในทิศแนวตั้ง, ทิศแนวด้านข้าง และทิศแนวหน้า - หลัง ในสภาวะต่างๆ คือ สภาพพื้นผิวในระหว่างการขนส่งบนทางลาดยาง และที่ความเร็วรถต่างๆ พวกเขาเปรียบเทียบความเข้มของแรงสั่นสะเทือนด้วยมาตรฐาน ISO 2631 เพื่อระบุระดับของความรุนแรง ในการทดลองความเร็วระหว่างการใช้เครื่องมือไถสั้วในแปลงหัวเลื่องที่ความเร็วเดินหน้า 2.3 m/s และแปลงข้าวโพด 2.1 m/s จากคำแนะนำของมาตรฐาน ISO 2631 ระบุว่าไม่ควรอยู่ในโหมดการสั่นสะเทือนนานเกิน 8 ชั่วโมง ซึ่งเป็นขอบเขตของ fdp (fdp คือ เกิดความเมื่อยล้าทำให้ความคล่องแคล่วในการทำงานลดลง) และเกินขีดจำกัดในการสัมผัสการสั่นสะเทือนอย่างไ้ก็ตามในระหว่างการไถดินโดยใช้ไถสั้ว และการขนส่งทางถนนลาดยาง ระดับความเร่งในทิศ

แนวตั้ง, ทิศแนวข้าง และทิศแนวด้านหน้า - หลัง ทั้งหมดเกินกว่าที่มาตรฐาน ISO 2631 ที่ระบุไว้ เนื่องจากความเร็วที่สูงขึ้นของแทรกเตอร์และภูมิประเทศที่ขรุขระเป็นสาเหตุทำให้เกิดการสั่นสะเทือนสูงขึ้น

Lines (1987) ศึกษาคุณสมบัติการส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนของการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ทางการเกษตรระหว่างสภาพพื้นดินและพื้นที่ราบเรียบ ผลการวิจัยพบว่าคุณสมบัติการส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนของรถแทรกเตอร์ที่อยู่นิ่งเหมือนกันกับรถแทรกเตอร์ที่เคลื่อนที่บนสภาพพื้นดินและพื้นที่ราบเรียบ การสั่นสะเทือนในแนวขวาง แนวยาว และแนวตั้งเกิดที่ความถี่เดียวกันคุณสมบัติการการส่งผ่านแรงสั่นสะเทือนในแนวขวางและแนวยาว พบว่าความถี่ธรรมชาติของทั้งสองแนวการสั่นสะเทือนนี้มีคุณสมบัติที่ไม่แน่นอน การสั่นสะเทือนในระหว่างการเคลื่อนที่ของรถแทรกเตอร์ถูกพบว่ามีความสัมพันธ์กับสภาพพื้นผิว

Crolla et al. (1990) เปรียบเทียบผลการสั่นสะเทือนขณะขับรถแทรกเตอร์กับการความเร็วของรถแทรกเตอร์ที่เปลี่ยนแปลง พบว่าค่าความเร่ง (rms) ของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่และแนวขวางการเคลื่อนที่ มีความสัมพันธ์กับความเร็วการเดินทางของรถแทรกเตอร์

Salokhe et al. (1995) ศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามต่อพ่วงอุปกรณ์ไถเตรียมดิน (Power tiller) โดยทดลองที่ขณะรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ (Stationary condition) ใช้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต้นกำลัง 1,000, 1,200, 1,400, 1,600, 1,800, 2,000 และ 2,200 รอบต่อนาที และทดลองที่สภาวะรถไถเดินตามเคลื่อนที่ (Transportation condition) ที่และสภาวะการไถพรวนดิน (Tillage condition) โดยใช้ความเร็วรอบเครื่องยนต์ต้นกำลัง 1,000, 1,200, 1,400, 1,600 และ 1,800 รอบต่อนาที การทดลองที่สภาวะการไถพรวนดิน ดินในแปลงทดลองเป็นดินเหนียว Bangkok clay ใช้อุปกรณ์วัดความเร่งชนิด Semiconductor strain gauges สำหรับวัดค่าความเร่งการสั่นสะเทือนทั้งสามทิศทาง ซึ่งตั้งฉากซึ่งกันและกัน ได้แก่ ทิศทางตามแนวการเคลื่อนที่ ทิศทางในแนวขวางการเคลื่อนที่ และทิศทางในแนวตั้ง สัญญาณการสั่นสะเทือนทั้งสามทิศทางถูกวัดในเวลาเดียวกัน คณะผู้ทำการวิจัยพบว่าการสั่นสะเทือนในรถไถเดินตามต่อพ่วงอุปกรณ์ไถเตรียมดินมีลักษณะซับซ้อนอย่างมาก การศึกษาพบว่าการสั่นสะเทือนและความถี่การสั่นเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์ต้นกำลังเพิ่มขึ้น ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ค่าเดียวกัน การสั่นสะเทือนสูงสุดปรากฏขึ้นในแนวตั้ง และสั่นสะเทือนน้อยที่สุดในแนวขวางการเดินทาง การสั่นสะเทือนสูงสุดปรากฏขึ้นที่สภาวะการไถเตรียมดินเที่ยวที่สอง และค่าต่ำสุดของการสั่นสะเทือนปรากฏขึ้นที่สภาวะรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ขณะอยู่บนผิวแปลงเกษตรกรรม และพบว่าที่เงื่อนไขการปฏิบัติงานในแปลงการสั่นสะเทือนมีค่าสูงสุด

Ying et al. (1998) ศึกษาลักษณะการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังมือ (Hand transmitted vibration) ของรถไถเดินตามและออกแบบ Vibration isolating handle grip ขึ้นใหม่ซึ่งติดตั้งพร้อมกับอุปกรณ์ป้องกันแรงสั่นสะเทือน ในการประเมินผลค่าการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์ Vibration isolating เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ISO 5349 (1986) พบว่าผลรวมเวกเตอร์ของความถี่การสั่นสะเทือนในสามทิศทางลดลง 41% และระยะเวลาที่จะเกิดอาการของโรคทางระบบประสาทและหลอดเลือดของข้อมือจะนานขึ้นจาก 1.417 ปี เป็น 3.309 ปี โดยมีเงื่อนไขในการสัมผัสการสั่นสะเทือนเป็นระยะเวลา 8 ชั่วโมง

Goglia et al., 2006 ได้ศึกษาพบว่าเวลาในการใช้งานรถไถเดินตามควรจะมีขีดจำกัดอยู่ในเกณฑ์ของมาตรฐาน ISO 5349-1, 2 (2001) เพื่อปกป้องผู้ใช้ และมีตารางเวลาการทำงานเพื่อจัดการระยะเวลาในการพักจากการสั่นสะเทือน

ศิริศักดิ์ และคณะ (2551) ได้ศึกษาผลเนื่องจากรูปร่างของใบมีดจอบหมุนต้นแบบที่มีผลต่อสมรรถนะการไถพรวนของเครื่องพรวนจอบหมุนติดรถไถเดินตาม ในการทดสอบทั้งหมด 3 ชุด คือ ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นตัวซี ชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบหมายเลข 1 และ หมายเลข 2 ตามลำดับ ทำการศึกษาในแปลงทดลองสภาพดินแห้ง ชนิดดินเป็นดินร่วนปนเหนียว ความหนาแน่นมวลรวม 1.51 g/cm^3 ความชื้นดิน 16.04 % (d.b.) ที่ความเร็วรอบ 300, 350, 400 รอบต่อนาที (ขณะไม่มีโหลด) จำนวนรอบการไถพรวนผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น ขนาดก้อนดินเฉลี่ยหลังการไถพรวนลดลง และการพลิกกลับดินเพิ่มขึ้น ผลการทดลองที่เงื่อนไขการไถพรวนดิน 2 รอบ แสดงให้เห็นว่าขนาดของก้อนดินเฉลี่ยลดลงและการพลิกกลับของดินเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเงื่อนไขการไถพรวนดิน 1 รอบ จากการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่า สมรรถนะของเครื่องพรวนจอบหมุนติดรถไถเดินตามทั้ง 3 ชุด แตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. อุปกรณ์สำหรับวัดการสั่นสะเทือน

- 1.1 รถไถเดินตาม ยี่ห้อ YANMA รุ่น TF 105 – LM
- 1.2 รถแทรกเตอร์ ยี่ห้อ KUBOTA รุ่น L3001
- 1.3 อุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer) ยี่ห้อ KYOWA รุ่น AS-5GB
- 1.4 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบ (Tachometer)
- 1.5 เครื่องบันทึกเอนกประสงค์ (Universal recorder) ยี่ห้อ KYOWA รุ่น EDA-100A
- 1.6 คอมพิวเตอร์ และโปรแกรม DAS-100A ,โปรแกรม DCS-100A
- 1.7 ตัวแปลงสัญญาณไฟฟ้า (Power supply)

2. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการจำแนกประเภทดิน (Unified soil classification) วิธีตกตะกอน (Hydrometer analysis)

- 2.1 ไฮโดรมิเตอร์ (Hydrometer jar bath)
- 2.2 กระบอกตวงขนาด 1,000 ml. จำนวน 2 ใบสำหรับให้ดินตกตะกอน
- 2.3 เครื่องปั่นดิน (Mechanical mixer)
- 2.4 สารส่งเสริมการกระจายตัว Dispersing agent (Calgon solution 5%, Sodium hexameta phosphate 50 g., Sodium carbonate 8.3 g.)
- 2.5 เทอร์โมมิเตอร์
- 2.6 นาฬิกาจับเวลา
- 2.7 น้ำกลั่น
- 2.8 เครื่องชั่งที่มีความละเอียดในการวัด 0.01 g.

3. อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการหาปริมาณความชื้น (Moisture content) ของดิน

- 3.1 กระป๋องเก็บตัวอย่างดิน ขนาด 100 cm^3
- 3.2 ตู้บที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้
- 3.3 ตาชั่งที่มีความละเอียด 0.01 g.

4. อุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่างดิน (Soil core sampling)

- 4.1 เครื่องมือเก็บตัวอย่างดินมาตรฐาน (Core sampler)
- 4.2 ตู้บที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้
- 4.3 ตาชั่งที่มีความละเอียด 0.01 g.

5. อุปกรณ์วัดความต้านทานการแทงทะลุของดิน (Cone penetration resistance)

- 5.1 Cone penetrometer
- 5.2 กระดาษบันทึกความต้านทานการแทงทะลุขนาดมาตรฐาน

6. อุปกรณ์ใช้หาค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม

- 6.1 หลักระยะ
- 6.2 นาฬิกาจับเวลา
- 6.3 เทปวัดระยะ

วิธีการ

1. แผนการทดลอง

ศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนของเครื่องพรวนจอบหมุนติดรถไถเดินตาม ทำการทดลองทั้งหมด 3 การทดลอง ได้แก่ 1. ขณะรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ (Stationary condition) 2. ขณะรถไถเดินตามเคลื่อนที่ (Transportation condition) และ 3. ขณะรถไถเดินตามไถพรวนดิน (Tillage condition) โดยเงื่อนไขของทั้ง 3 การทดลองอธิบายได้ดังนี้ (ตารางที่ 1, 2 และ 3)

ตารางที่ 1 ศึกษาการสั่นสะเทือนขณะรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ (Stationary condition)

ตัวแปร	เงื่อนไข
ตำแหน่งติดตั้ง Accelerometer	Top engine, Chassis, Gear box, Rotary, Mid handle, Handle grip, Chest
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)	1,200, 1,600, 2,000

ตารางที่ 1 (ต่อ)

ตัวแปร	เงื่อนไข
ล้อขับเคลื่อน	ล้อเหล็ก, ล้อยาง
การควบคุมรถ	มีผู้ควบคุมรถ, ไม่มีผู้ควบคุมรถ
จำนวนซ้ำของการทดลอง	3 ซ้ำ

ตารางที่ 2 ศึกษาการสั่นสะเทือนขณะรถไถเดินตามเคลื่อนที่ (Transport condition)

ตัวแปร	เงื่อนไข
ตำแหน่งติดตั้ง Accelerometer	Top engine, Chassis, Gear box, Rotary, Mid handle, Handle grip, Chest
พื้นผิวถนน	บนถนนลาดยาง, บนแปลงเกษตรกรรม
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)	1,200, 1,600, 2,000
ล้อขับเคลื่อน	ล้อเหล็ก, ล้อยาง
จำนวนซ้ำของการทดลอง	3 ซ้ำ

ตารางที่ 3 ศึกษาการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามขณะไถพรวนดิน (Tillage condition)

ตัวแปร	เงื่อนไข
ตำแหน่งติดตั้ง Accelerometer	Top engine, Chassis, Gear box, Rotary, Mid handle, Handle grip, Chest
ชนิดใบมีดจอบหมุน	ใบมีดจอบหมุนแบบญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ, (B1) ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ, (B2) ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ, (B3)
การไถพรวนดิน	ไถพรวนดิน 1 เทียว ไถพรวนดิน 2 เทียว
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)	2,000, 2,200, 2,400
ล้อขับเคลื่อน	ล้อเหล็ก, ล้อยาง
จำนวนซ้ำของการทดลอง	2 ซ้ำ

2. รถไถเดินตามติดตั้งเครื่องพรวนจอบหมุน

รถไถเดินตามติดตั้งเครื่องพรวนจอบหมุนใช้เครื่องยนต์ยี่ห้อ YANMA รุ่น TF 105 - LM (ภาพที่ 25) เป็นเครื่องยนต์ดีเซลสูบเดียว 4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 7.72 kW ที่ความเร็ว

รอบเครื่องยนต์ 2,400 รอบต่อนาที เป็นต้นกำลัง ก่อนการทดลองได้ทำความสะอาด ตรวจสอบเช็คระบบเครื่องยนต์ และซ่อมบำรุงรถไถเดินตามให้พร้อมใช้งานโดยช่างผู้เชี่ยวชาญ โดยการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันเครื่องยนต์ เติมน้ำในหม้อน้ำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ทำความสะอาดกรองอากาศ เติมน้ำมันที่ความดัน 21.32 psi (Dewangan and Tewari, 2009) และเติมน้ำมันเชื้อเพลิงให้อยู่ในระดับที่พร้อมใช้งาน ผู้ควบคุมรถไถเดินตามเพศชาย อายุ 26 ปี น้ำหนัก 70 kg. ส่วนสูง 170 cm.

เครื่องพรวนจอบหมุนชนิดขับเคลื่อนด้วยโซ่ขับเคลื่อนที่กึ่งกลางเพลลา มีความกว้างโรเตอร์ 0.55 m. ลักษณะใบมีดจอบหมุนที่ใช้ทดลองมี 3 แบบคือ 1.) ใบมีดจอบหมุนแบบญี่ปุ่นรูปตัวซีจำนวนใบมีด 14 ใบ (B1) แต่ละใบมีหน้ากว้างการตัดดิน 4.5 cm. (ภาพที่ 26a) 2.) ใบมีดจอบหมุนต้นแบบจำนวนใบมีด 14 ใบ (B2) แต่ละใบมีหน้ากว้างการตัดดิน 4.5 cm. (ภาพที่ 26b) และ 3.) ใบมีดจอบหมุนต้นแบบจำนวนใบมีด 10 ใบ (B3) แต่ละใบมีหน้ากว้างการตัดดิน 6.5 cm. (ภาพที่ 26c)

3. อุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer) และการติดตั้ง

อุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer) (ภาพที่ 29a) เป็นอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดความเร่งเพื่อแสดงการสั่นสะเทือนของวัตถุ ดังนั้นจึงทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร่งนี้ที่ตำแหน่งต่างๆ บนรถไถเดินตามและผู้ควบคุมรถไถเดินตามเพื่อวัดการสั่นสะเทือน ตำแหน่งที่ทำการวัดการสั่นสะเทือนมีดังนี้ ผิวบนเครื่องยนต์ต้นกำลัง (Top engine) ,โครงเหล็กรถไถเดินตาม (Chassis) ,ห้องเกียร์รถไถเดินตาม (Gear box), ห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุน (Chain sprocket case of rotary), กึ่งกลางคันบังคับรถไถเดินตาม (Mid handle), ด้ามมือจับรถไถเดินตาม (Handle grip) และหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม (Chest) ดังแสดงในภาพที่ 28



ภาพที่ 25 รถไถเดินตามติดตั้งเครื่องพรวนจอบหมุน

(a) ไบมีดจอบหมุนญี่ปุ่น
รูปตัวซี 14 ไบ (B1)



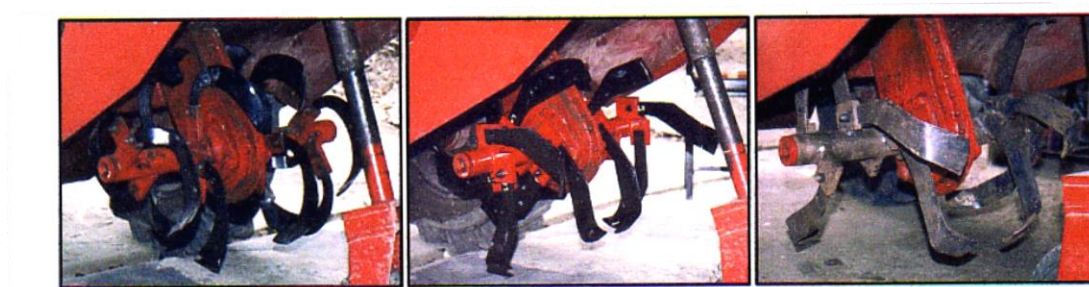
(b) ไบมีดจอบหมุน
ต้นแบบ 14 ไบ (B2)



(c) ไบมีดจอบหมุน
ต้นแบบ 10 ไบ (B3)



ภาพที่ 26 ไบมีดจอบหมุนที่ใช้ในการทดลองเงื่อนไขไถพรวนดิน

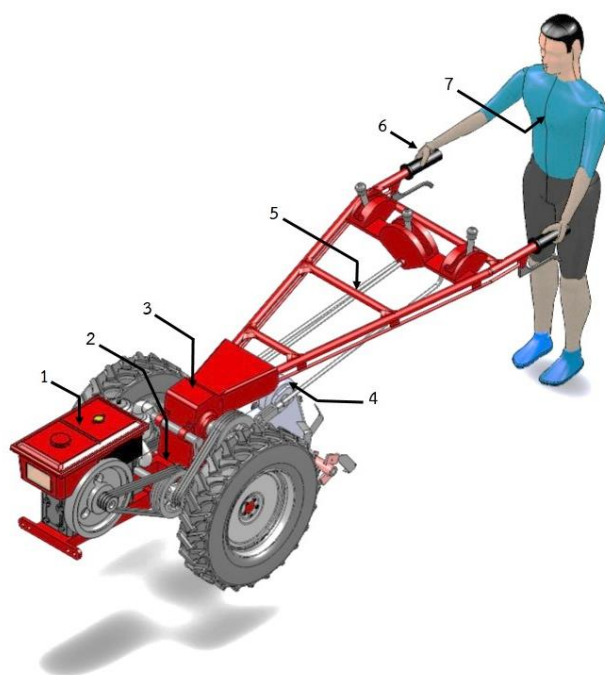


ภาพที่ 27 ลักษณะการติดตั้งไบมีดจอบหมุนกับเพลารถไถพรวนจอบหมุน

ติดตั้ง Accelerometer บนแต่ละตำแหน่งที่ต้องการวัดการสั่นสะเทือนทั้งสามทิศทางซึ่งตั้งฉากกัน โดยยึดติด Accelerometer ด้วยสารยึดติดกับกล่องเหล็กทรงลูกบาศก์กว้าง 2.5 cm. ยาว 2.5 cm. และสูง 3.5 cm. และกล่องเหล็กทรงลูกบาศก์บนแต่ละตำแหน่งของรถไถเดินตามด้วยสลักเกลียว กำหนดให้การสั่นสะเทือนในแนวแกน X หมายถึง การสั่นสะเทือนในทิศทางการเคลื่อนที่ของ

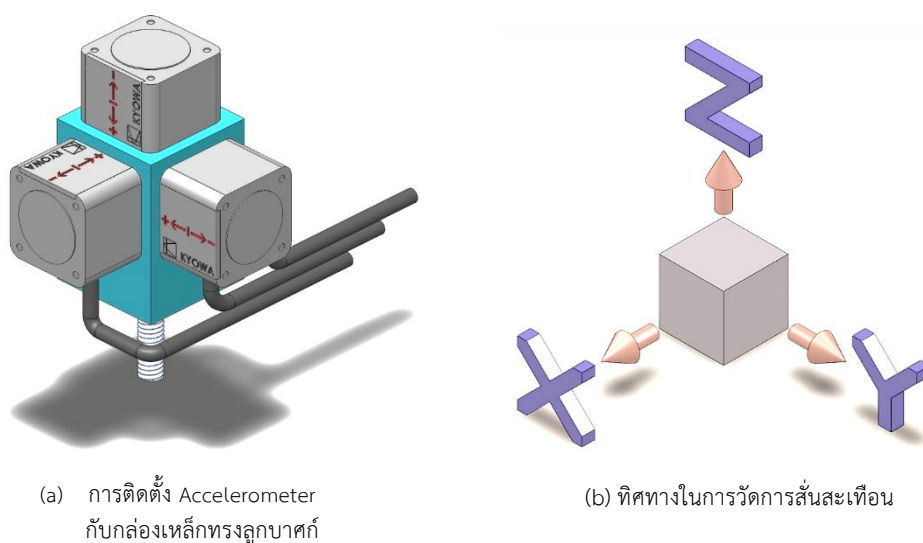
รถไถเดินตาม การสั่นสะเทือนในแนวแกน Y หมายถึง การสั่นสะเทือนในแนวขวางการเคลื่อนที่ และการสั่นสะเทือนในแนวแกน Z หมายถึง การสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง ดังแสดงในภาพที่ 29b

การวิเคราะห์ความถี่ของสัญญาณความเร่งเนื่องจากการสั่นสะเทือน สัญญาณจากอุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer) จะถูกส่งผ่านไปที่เครื่องบันทึกเอนกประสงค์ (Universal recorder) (EDX-100A, Kyowa Electronic Instruments Co., Ltd., Tokyo, Japan) ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข2 เครื่องบันทึกดังกล่าวทำหน้าที่ขยายสัญญาณ และเปลี่ยนสัญญาณ Analog เป็นข้อมูลตัวเลข ความสัมพันธ์ระหว่างเวลา และความเร่งการสั่นสะเทือน และส่งผ่านข้อมูลไปบันทึกที่คอมพิวเตอร์ ด้วยโปรแกรม Dynamic data recording software รุ่น DCS-100A จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลตัวเลขเหล่านี้ด้วยโปรแกรม Data analysis software รุ่น DAS-100A โดยเลือกการแปลงรูปข้อมูลแบบ Fast Fourier Transform (FFT) เพื่อแสดงข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร่ง หรือเรียกว่า เพาเวอร์สเปกตรัมของความเร่ง (Power spectrum of acceleration) ค่าความเร่งสูงสุดที่ปรากฏขึ้นที่ความถี่ค่าหนึ่งจะถูกนำมาใช้ประเมิน



- | | |
|--|---|
| 1 : มิวบนเครื่องยนต์ต้นกำลัง (Top engine) | 5 : กึ่งกลางคันบังคับรถไถเดินตาม (Mid handle) |
| 2 : โครงเหล็กรถไถเดินตาม (Chassis) | 6 : ด้ามมือจับรถไถเดินตาม (Handle grip) |
| 3 : ห้องเกียร์รถไถเดินตาม (Gear box) | 7 : หน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม (Chest) |
| 4 : ห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุน (Chain sprocket case of rotary) | |

ภาพที่ 28 ตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer)



ภาพที่ 29 การติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร่ง (Accelerometer)

4. แปลงทดลอง

การศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนของเครื่องพรวนจอบหมุนติดรถไถเดินตาม เรือ่นไชรถไถเดินตามขณะไถพรวนดิน โดยดำเนินการในแปลงทดลองของภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ก่อนการทดลองได้ทำการเตรียมแปลงทดลองโดยไถเตรียมดินด้วยเครื่องมือไถ 7 จาน และเครื่องพรวนจอบหมุนแนวตั้งติดรถแทรกเตอร์ แปลงทดลองแต่ละแปลง กว้าง 1 เมตร ยาว 20 เมตร (ภาพผนวกที่ ข8)

5. การบันทึกข้อมูล

สัญญาณจากอุปกรณ์วัดดังอธิบายก่อนหน้านี้ จะถูกส่งผ่านไปที่เครื่องบันทึกเอนกประสงค์ (Universal recorder) รุ่น EDX-100A เครื่องบันทึกดังกล่าวทำหน้าที่ขยายและแปลงสัญญาณจาก Analog เป็นตัวเลขและบันทึกเก็บข้อมูลด้วยโปรแกรม DCS-100A จากนั้นส่งผ่านข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม DAS-100A ดังแสดงในภาพที่ 30

6. สมบัติทางฟิสิกส์ของดิน

สมบัติทางฟิสิกส์ของดินที่เกี่ยวข้องกับการไถพรวนที่สำคัญสิ่งหนึ่ง คือ พิกัดความชื้นเหลวของดิน (Consistency limits) เป็นสมบัติของดินที่แสดงออกของแรงทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องกับแรง

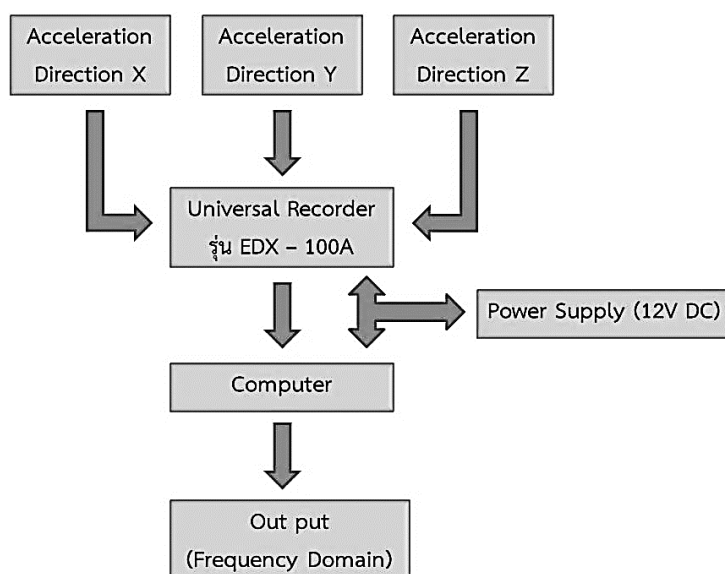
Cohesion และ Adhesion ของดินเป็นสำคัญ ดังนั้นสมบัติเหล่านี้จึงขึ้นกับความชื้น องค์ประกอบทางฟิสิกส์และเคมีของดิน

6.1 ความชื้นในดิน (Soil moisture content)

ความชื้นในดิน (Soil moisture content) คือ ปริมาณน้ำที่อยู่ในดิน ความชื้นในดินอาจจะอยู่ในช่องว่างอากาศในดิน (ไอน้ำ) หรืออาจอยู่ในรูปของน้ำเหลว ส่วนที่เป็นน้ำเหลวนี้นับบทบาทต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินเป็นอย่างมาก เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนที่อยู่ในรูปไอน้ำ ดังนั้นเมื่อก้าวถึงความชื้นของดิน จึงมักหมายถึงเฉพาะความชื้นในรูปน้ำเหลว ซึ่งเรียกว่า “น้ำในดิน”

ปริมาณน้ำในดินนิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักน้ำในดินเทียบกับน้ำหนักของดิน การหาปริมาณความชื้นในดินทำได้โดยสุ่มเก็บตัวอย่างดินอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างดินจะถูกนำมาชั่งน้ำหนักด้วยตาชั่งที่มีความละเอียด 0.01 g. (Weight of wet soil sample) นำตัวอย่างดินเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Weight of oven dry soil sample) จากนั้นคำนวณหาปริมาณความชื้นด้วยสมการที่ 21

$$\text{ปริมาณความชื้นในดิน} = \frac{\text{น้ำหนักดินก่อนอบแห้ง} - \text{น้ำหนักดินหลังอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักดินหลังอบแห้ง}} \times 100 \quad \dots(21)$$



ภาพที่ 30 แผนผังการถ่ายโอนข้อมูลในเครื่องมือวัด

6.2 ความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้งของดิน (Dry bulk density of soil)

ความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้งของดิน หมายถึงมวลแห้งของดินต่อปริมาตรทั้งหมด ซึ่งจะรวมปริมาตรของทั้งส่วนเป็นของแข็งและช่องว่าง

$$\text{ความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้งของดิน} = \frac{\text{มวลของดินแห้ง}}{\text{ปริมาตรดินทั้งหมด}} \quad \dots(22)$$

6.3 การวิเคราะห์จำแนกเนื้อดิน

เนื้อดิน (Soil texture) หมายถึงสัดส่วนสัมพัทธ์ระหว่างปริมาณของอนุภาคที่เป็นของแข็ง (Coarse fragment) ประกอบด้วยหินและแร่ชิ้นเล็กชิ้นน้อย ที่มีขนาดของอนุภาคแตกต่างกันรวมประกอบกันขึ้น อนุภาคนั้นได้แก่ อนุภาคดินทราย (Sand particle) อนุภาคดินทรายแป้ง (Silt particle) อนุภาคดินเหนียว (Clay particle) ขนาดของอนุภาคดินทั้งสามนี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 2 มิลลิเมตร ในการวิเคราะห์และจำแนกเนื้อดินจะใช้วิธีการ Hydrometer analysis

6.3.1 วิธีทดลอง Hydrometer analysis มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- 1) นำตัวอย่างดินแห้งร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานขนาดรูตะแกรง 2 mm. (ASTM E11) ให้ได้ 50 g.
- 2) กำจัดอินทรีย์วัตถุในเนื้อดิน โดยเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2)
- 3) ภายหลังปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ทำการล้างเกลือที่ละลายปนอยู่ในเนื้อดินจากนั้นอบดินให้แห้ง
- 4) เตรียมสารส่งเสริมการกระจาย (Dispersing agent) โดยเติมสาร Sodium hexameta phosphate 50 g. และ Sodium carbonate 8.3 g. ลงในกระบอกตวงขนาด 1,000 cc. (Sedimentation cylinder) จากนั้นเติมน้ำกลั่นให้สารละลายมีปริมาตร 1 ลิตร

5) เทตัวอย่างดิน (50 g.) และสารส่งเสริมการกระจาย 100 cc. ลงในเครื่องปั่น (Mixer) ปั่นส่วนผสมสารละลายดิน 2 นาที

6) เทสารแขวนลอยดินลงในกระบอกตวงทดลองหย่อน Hydrometer แล้วจึงเติมน้ำกลั่นจนกระทั่งสารแขวนลอยดินมีปริมาตร 1,000 cc. จากนั้นจึงนำ Hydrometer ออกจากสารแขวนลอยดิน

7) เทสารส่งเสริมการกระจายและน้ำกลั่นลงในกระบอกตวงขนาด 1,000 cc. อีกอันหนึ่งแล้วหย่อน Hydrometer โดยที่ระดับสารละลายยังไม่เกิน 1,000 cc. จากนั้นจึงทำการเติมน้ำกลั่นเพื่อให้สารละลายมีปริมาตร 1,000 cc.

8) ใช้ฝ่ามือปิดปากกระบอกตวงที่บรรจุสารแขวนลอยดิน จากนั้นทำการเขย่าหรือพลิกกระบอกตวงกลับไปมาเพื่อให้สารแขวนลอยกระจายเป็นเนื้อเดียวกันใช้เวลาประมาณ 30 วินาที

9) วางกระบอกตวงของสารแขวนลอยดินลงบนโต๊ะ แล้วหย่อน Hydrometer ลงในสารแขวนลอย แล้วเริ่มจับเวลาทันที

10) อ่านค่าระดับของสารแขวนลอยบนก้าน Hydrometer และวัดอุณหภูมิของสารแขวนลอยดินที่เวลา 40 วินาที และ 2 ชั่วโมง

11) หลังจากอ่านค่า Hydrometer และวัดอุณหภูมิของสารแขวนลอยดินในแต่ละครั้งให้ทำการอ่านค่า Hydrometer และวัดอุณหภูมิของสารละลายส่วนผสมระหว่างน้ำกลั่นและสารส่งเสริมการกระจายในกระบอกตวงอีกอัน (ข้อ 7) ไว้ทันที

6.3.2 วิธีการคำนวณมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

การอ่านค่าบนก้าน Hydrometer ทันทีเมื่อครบ 40 วินาที สมมติว่าอ่านได้ a กรัมต่อลิตร (ค่ารวมของอนุภาคดินตะกอน อนุภาคดินเหนียว และ Calgon) วัดอุณหภูมิของสารแขวนลอยดินขณะนั้นได้ $t_{40 \text{ sec}}^{\circ\text{C}}$ อ่านค่าอีกครั้งเมื่อครบ 8 ชั่วโมง สมมติว่าอ่านได้ b กรัมต่อลิตร (ค่ารวมของอนุภาคดินเหนียว และ Calgon) ที่อุณหภูมิ $t_{2 \text{ hour}}^{\circ\text{C}}$ เนื่องจาก Hydrometer ที่ใช้วัดอ่านค่าได้ถูกต้องเฉพาะที่อุณหภูมิที่กำกับอยู่บนก้านของ Hydrometer นั่นคือ $L^{\circ\text{C}} (20^{\circ\text{C}})$ ดังนั้น

การอ่านค่าในสารแขวนลอยเมื่อ 40 วินาที และ 2 ชั่วโมง และของสารละลาย Calgon ถ้าหากไม่ได้
อ่านที่อุณหภูมิ $L^{\circ}\text{C}$ ก็ต้องปรับให้เป็นค่าที่ถูกต้องด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$R_S = R_t + 0.36 (t - L) \text{ สำหรับสารแขวนลอยดิน} \quad \dots(23)$$

$$C_S = C_r + 0.36 (T_C - L) \text{ สำหรับสารละลายส่วนผสม Calgon และน้ำกลั่น} \quad \dots(24)$$

- โดยที่ R_S : ค่าที่ควรอ่านได้ของสารแขวนลอยดินที่อุณหภูมิ $L^{\circ}\text{C}$ (20°C)
 R_t : ค่าที่อ่านได้ของสารแขวนลอยดินที่อุณหภูมิ $t_{40 \text{ sec}}^{\circ}\text{C}$ หรือ $t_{2 \text{ hour}}^{\circ}\text{C}$ เท่ากับ a
 หรือ b (กรัมต่อลิตร)
 C_S : ค่าที่ควรอ่านได้ของสารละลายส่วนผสมระหว่าง Calgon และน้ำกลั่น $L^{\circ}\text{C}$ (20°C)
 C_r : ค่าที่อ่านได้จากสารละลาย Calgon ที่อุณหภูมิ $t_c^{\circ}\text{C}$ (กรัมต่อลิตร) ซึ่งเท่ากับ c
 t : อุณหภูมิของสารแขวนลอยดินที่ 40 วินาที หรือ 2 ชั่วโมง เท่ากับ $t_{40 \text{ sec}}^{\circ}\text{C}$ หรือ
 $t_{2 \text{ hour}}^{\circ}\text{C}$
 L : อุณหภูมิที่ Hydrometer ที่อ่านได้ถูกต้องที่ระบุไว้บนก้าน Hydrometer (20°C)
 T_C : อุณหภูมิของสารละลาย Calgon

จากการแทนค่าในสมการข้างต้นค่าที่ถูกต้องของสารแขวนลอยดินที่ 40 วินาที (R_S at 40 sec) (ซึ่ง
ประกอบด้วยกลุ่มอนุภาคดินเหนียว ดินตะกอน และ Calgon) คำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} R_S \text{ at } 40 \text{ sec} &= R_t + 0.36 (t - L) \\ &= a + 0.36(t_{40} - L) \quad \text{g/cm}^3 \end{aligned} \quad \dots(25)$$

ในทำนองเดียวกัน ค่าที่ถูกต้องของสารแขวนลอยดินที่ 2 ชั่วโมง (R_S at 2 hour) (ซึ่งประกอบด้วย
กลุ่มอนุภาคดินเหนียว และ Calgon) คำนวณได้ดังนี้

$$\begin{aligned} R_S \text{ at } 8 \text{ hour} &= R_t + 0.36 (t - L) \\ &= b + 0.36 (t_8 - L) \quad \text{g/cm}^3 \end{aligned} \quad \dots(26)$$

ค่าที่ถูกต้องของสารละลาย Calgon ซึ่งมีแต่ Calgon เท่านั้นหาได้จาก

$$C_S = C_r + 0.50 (t_c - L)$$

$$= c + 0.50 (t_c - L) \quad \text{g/cm}^3 \quad \dots(27)$$

เมื่อเอา Calgon หักออกไป จะได้ปริมาณอนุภาคดินตะกอนและดินเหนียว (ค่าที่ 40 วินาที)

$$A = R_s \text{ at } 40 \text{ sec} - C_s \quad \text{g/cm}^3 \quad \dots(28)$$

ปริมาณอนุภาคดินเหนียว (ค่าที่ 8 ชั่วโมง)

$$B = R_s \text{ at } 8 \text{ hr} - C_s \quad \text{g/cm}^3 \quad \dots(29)$$

$$\text{ปริมาณอนุภาคดินทราย} = X - A \quad \text{g/cm}^3 \quad \dots(30)$$

$$\text{ปริมาณอนุภาคดินตะกอน} = A - B \quad \text{g/cm}^3 \quad \dots(31)$$

คำนวณร้อยละของอนุภาคดินขนาดต่าง ในตัวอย่างดิน X กรัม ดังนี้

$$\text{Sand (\%)} = \frac{(X-A)}{X} \times 100$$

$$\text{Silt (\%)} = \frac{(A-B)}{X} \times 100$$

$$\text{Clay (\%)} = \frac{(B)}{X} \times 100$$

6.4 ค่าความต้านทานการแทงทะลุของดิน (Cone Index, C.I.)

ซึ่งการอัดแน่นของดินนั้นนิยมวัดออกมาในรูปของค่า Cone penetrometer Resistance โดยใช้ Cone penetrometer ซึ่งมีค่าตามมาตรฐานของ ASAE ขนาด Cone ที่ใช้ คือ Cone apex angle 30 degree พื้นที่หน้าตัดของฐาน 2 cm^2 ทำการสู่วัดค่า 3 ตำแหน่ง ต่อ 1 การทดลอง นำค่าที่ได้มาเฉลี่ยที่ระดับความ 0-20 cm. จากผิวดินตามลำดับ

7. ขนาดเฉลี่ยของก้อนดิน (Mean soil clod diameter)

ภายหลังการไถพรวนดินที่แต่ละเงื่อนไขเสร็จสิ้น ดินจะถูกเก็บใส่ไว้ในถุงพลาสติกถุงละ 2 กิโลกรัม จำนวน 3 ถุง ใส่ดินในแต่ละถุงลงในชุดตะแกรงร่อนดินมาตรฐานที่เรียงลำดับจากหยาบไปละเอียด ขนาดชุดตะแกรงที่ใช้ในการงานวิจัยนี้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4 จากนั้นติดตั้งชุดตะแกรงร่อนดินในเครื่องเขย่า (Sieve shaker) ชั่งน้ำหนักดินที่ค้างบนตะแกรงแต่ละชั้นแล้วนำไปคำนวณหาขนาดเฉลี่ยของก้อนดินหลังการไถพรวน (สมการที่ 32)

$$dsc = \frac{1}{W} (5A + 15B + 27.5C + 37.5D + 45E + NF) \quad \dots(32)$$

โดยที่ dsc : ขนาดเฉลี่ยของก้อนดิน
 W : $A + B + C + D + E + F$ (kg.)
 N : ค่าเฉลี่ยของเส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนดินที่ค้างบนตะแกรงชั้นบนสุด (mm.)

ตารางที่ 4 น้ำหนักของดินที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐาน

ขนาดของรูตะแกรง (mm.)	เส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนดินที่ค้างบนตะแกรงในแต่ละชั้น (mm.)	เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดินในแต่ละชั้นตะแกรง (mm.)	น้ำหนักดิน (kg.)
10	< 10	5	A
20	10 - 20	15	B
35	20 - 35	27.5	C
40	35 - 40	37.5	D
50	40 - 50	45	E
	50 >	N	F

8. ค่ามาตรฐานความสั่นสะเทือนที่มือ – แขน ที่กำหนดโดย ANSI S3.34-1986

การติดตั้ง Accelerometer ทิศทางในการวัดความสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตาม (ภาพที่ 3) ซึ่งปฏิบัติตามคำแนะนำที่ระบุไว้ในมาตรฐานสากล (ISO 5349-1, 2001) ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข1 นำค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตามจากการทดลองที่ทำการแปลงรูปข้อมูลแบบ Fast Fourier Transform (FFT) เพื่อแสดงข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร่งมาวิเคราะห์แบบ One – third octave band (จุดกึ่งกลางของช่วงความถี่ที่เป็นตัวแทนของช่วงความถี่แต่ละชั้น ของ Third octave band) ซึ่งเป็นการเลือกเฉพาะค่าแอมพลิจูดของความเร่งการสั่นสะเทือนจาก frequency domain ที่ความถี่ที่ระบุไว้ในวิธีการ

วิเคราะห์แบบ One – third octave band มีดังนี้ 6.3, 8, 10, 12.5, 16, 20, 25, 31.5, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 165, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250 Hz จากนั้นนำค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของแต่ละความถี่ไปสร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานความสั่นสะเทือนที่มีตามข้อเสนอแนะของสถาบันมาตรฐานแห่งชาติของสหรัฐอเมริกา (American National Standards Institute, ANSI S3.34-1986) ดังแสดงในภาพที่ 8

ในการการวัดค่าความเร่งการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตาม (Handle grip) การติดตั้ง Accelerometer ปฏิบัติตามคำแนะนำที่ระบุไว้ในมาตรฐานสากล (ISO 5349-1, 2001) ดังแสดงในภาพที่ 3 และภาพผนวกที่ ข1 เพื่อประเมินเวลาการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ควบคุมรถไถเดินตามเปรียบเทียบค่ามาตรฐานจากสถาบันมาตรฐานแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (ANSI) เมื่อนำข้อมูลค่าความเร่งการสั่นสะเทือนมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับตำแหน่งอื่นๆ จึงต้องทำการปรับแก้ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนทั้งสามทิศทางให้ตรงกันกับทิศทางของการสั่นสะเทือนในรถไถเดินตาม ซึ่งวิธีปรับแก้ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ค

9. การส่งผ่านการสั่นสะเทือนจากด้ามจับรถไถเดินตามมายังผู้ควบคุมรถไถเดินตาม

การส่งผ่านการสั่นสะเทือนจากด้ามจับรถไถเดินตามมายังผู้ควบคุมรถไถเดินตามคำนวณโดยใช้สมการที่ (33) (Stikeleather, 1991)

$$T_r = (Z_{out} / Z_{in}) * 100 \quad \dots(33)$$

โดยที่	T_r	คือ	การส่งผ่านการสั่นสะเทือน, (%)
	Z_{out}	คือ	ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดที่ปลายทาง, (m/s ²)
	Z_{in}	คือ	ค่าการสั่นสะเทือนสูงสุดที่ต้นทาง, (m/s ²)

10. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

วิเคราะห์ผลของค่าความเร่งของการสั่นสะเทือน ค่ามาตรฐานความสั่นสะเทือนที่มือและแขน อัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนด้ามจับรถไถเดินตามมายังผู้ควบคุมรถไถเดินตาม และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยก่อนดินหลังไถพรวน ในเงื่อนไขการทดลองต่างๆ ว่าแตกต่างกันหรือไม่ ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA (Analysis of variance) และวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยด้วยวิธี DMRT (Duncan's New Multiple Range Test)

ผลและวิจารณ์

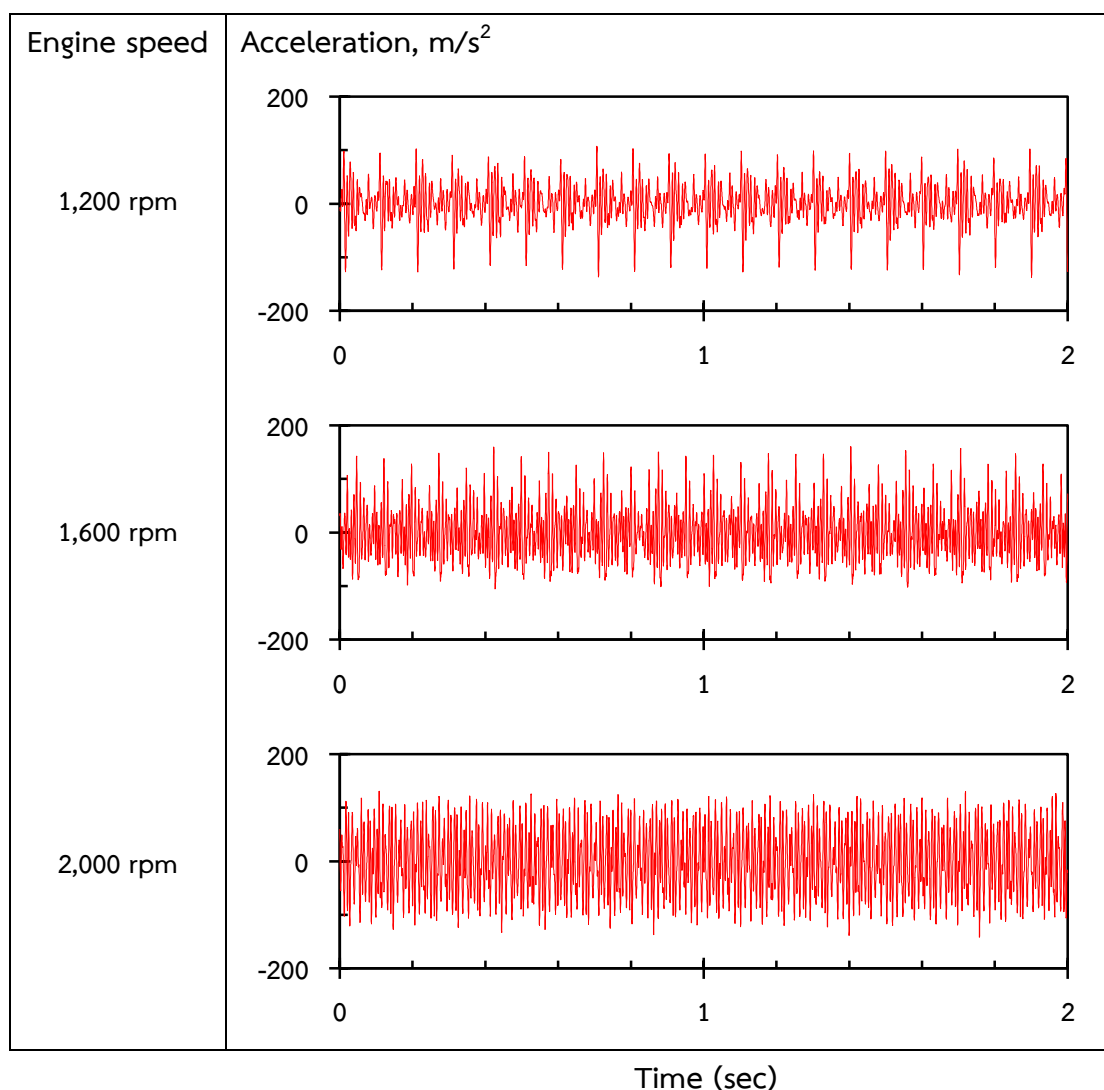
1. การสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามที่เงื่อนไขไม่เคลื่อนที่ (Stationary condition)

การศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนในเงื่อนไขรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงลักษณะของสัญญาณการสั่นสะเทือน และประเมินการสั่นสะเทือน ที่ตำแหน่งต่างๆ บนรถไถเดินตาม ผลการทดลองมีดังนี้

ภาพที่ 31, 32 และ 33 แสดงสัญญาณการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis) แนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) และแนวดิ่ง (Z-axis) ตามลำดับ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ณ ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็ก (Cage wheels) ขณะไม่เคลื่อนที่ ในรูปแบบ Time domain จากการสังเกตพบว่าความเร็วรอบเครื่องยนต์มีผลต่อลักษณะของสัญญาณการสั่นสะเทือน แต่เนื่องจากไม่สามารถแสดงค่าความถี่และค่าความแรงของการสั่นสะเทือนสูงสุดจากกราฟการสั่นสะเทือนในรูปแบบ Time domain ดังนั้นจึงต้องปรับข้อมูลด้วยวิธี Fast Fourier Transform (FFT) เพื่อแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถี่และค่าความแรงของการสั่นสะเทือน (Frequency domain) ดังแสดงในภาพที่ 34 ถึง 37

1.1 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ ของรถไถเดินตามที่เงื่อนไขไม่เคลื่อนที่ (Stationary condition)

กรณีรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ การประเมินค่าความแรงของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ ของรถไถเดินตามโดยมีเครื่องยนต์ต้นกำลังเป็นแหล่งกำเนิดการสั่นสะเทือนเพียงแหล่งเดียว ซึ่งมีผลโดยตรงต่อการสั่นสะเทือนของตำแหน่งต่างๆ ของรถไถเดินตาม ได้แก่ ผิวบนเครื่องยนต์ (Top Engine), โครงเหล็กรถไถเดินตาม (Chassis), ห้องเกียร์รถไถเดินตาม (Gear Box), ห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุน (Chain sprocket case of rotary), ตำแหน่งกึ่งกลางคันบังคับรถไถเดินตาม (Mid Handle) และด้ามมือจับรถไถเดินตาม (Handle Grip) ค่าความแรงของการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 5 ถึง 10 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระยะช่วงความถี่ระหว่างแอมพลิจูด (Amplitude) ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ ทั้งสามทิศทางของการสั่นสะเทือนมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 10.00, 13.33 และ 16.67 Hz ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ตามลำดับ (ภาพที่ 34 ถึง 37) เนื่องจากการสั่นสะเทือนที่เงื่อนไขรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่มีแหล่งกำเนิดมาจากที่เดียวกันนั่นก็คือเครื่องยนต์ต้นกำลัง และ

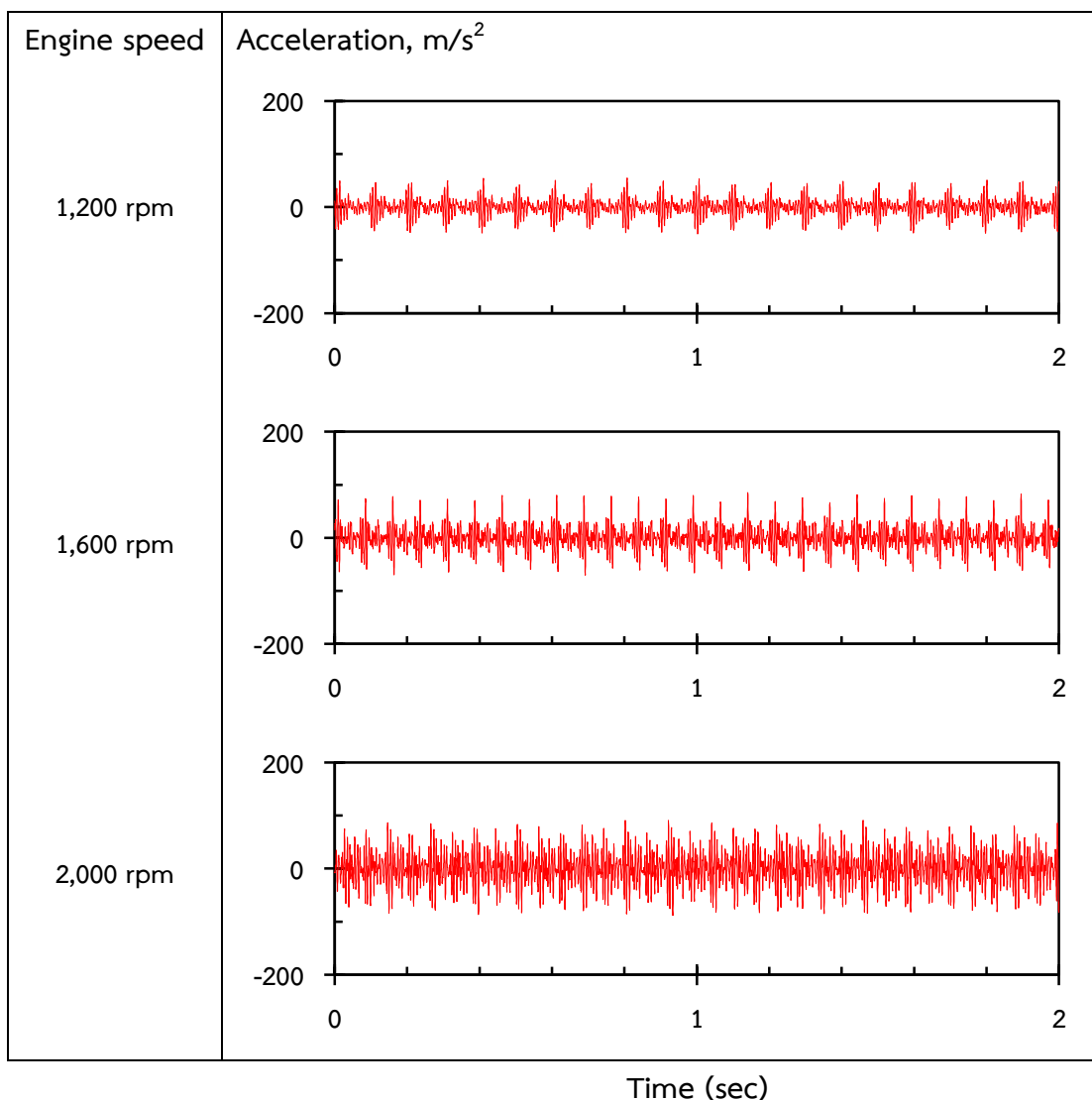


ภาพที่ 31 สัญญาณการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อหลักเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่

แสดงให้เห็นว่าระยะช่วงความถี่ (Frequency interval) ระหว่างแต่ละค่าความเร่งสูงสุด (Peak) ของสัญญาณการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น

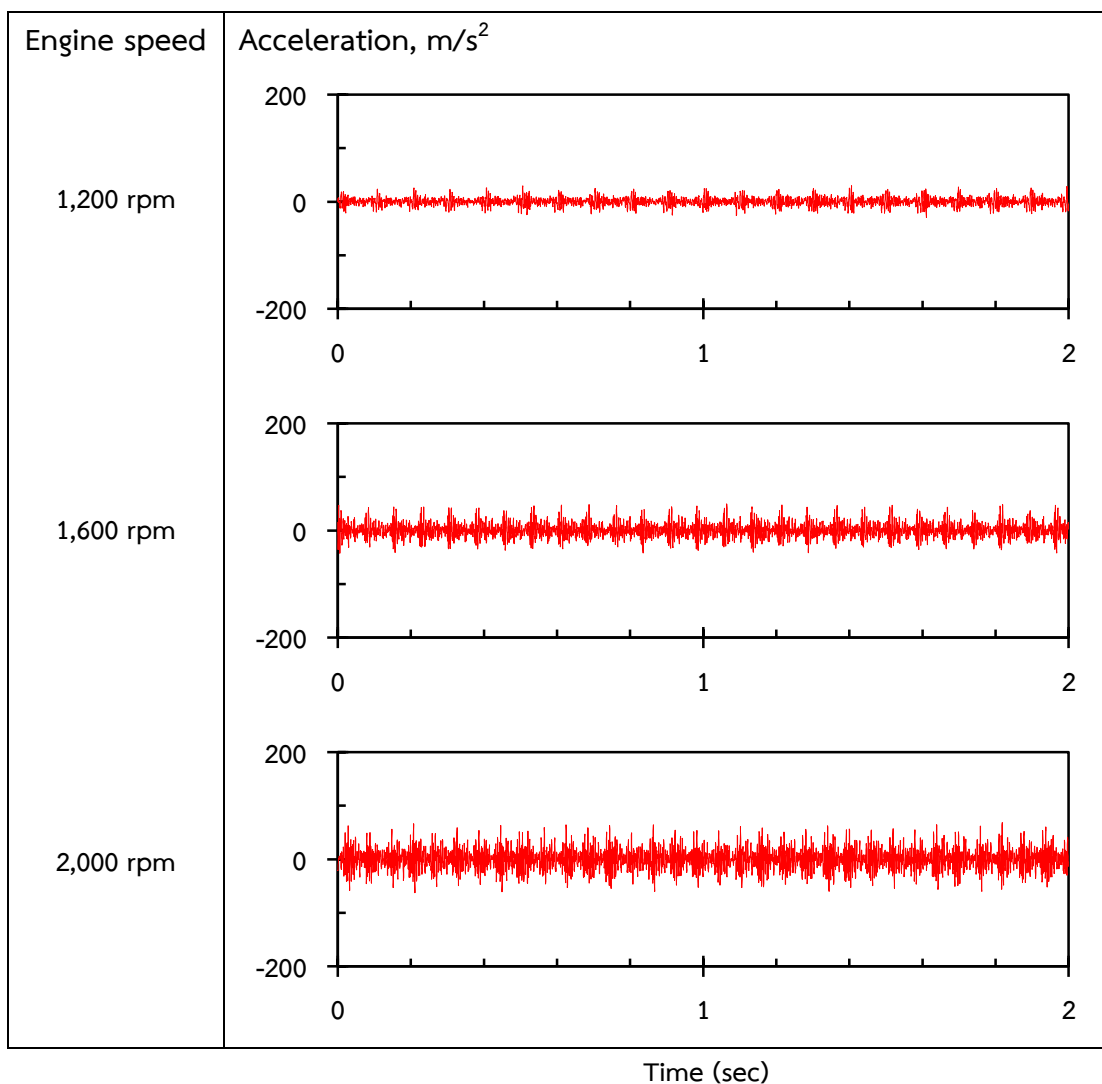
1.1.1 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ (Top engine) ขณะไม่เคลื่อนที่

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis) ภาพที่ 34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร่งสูงสุดของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis) ที่ตำแหน่งผิวบน



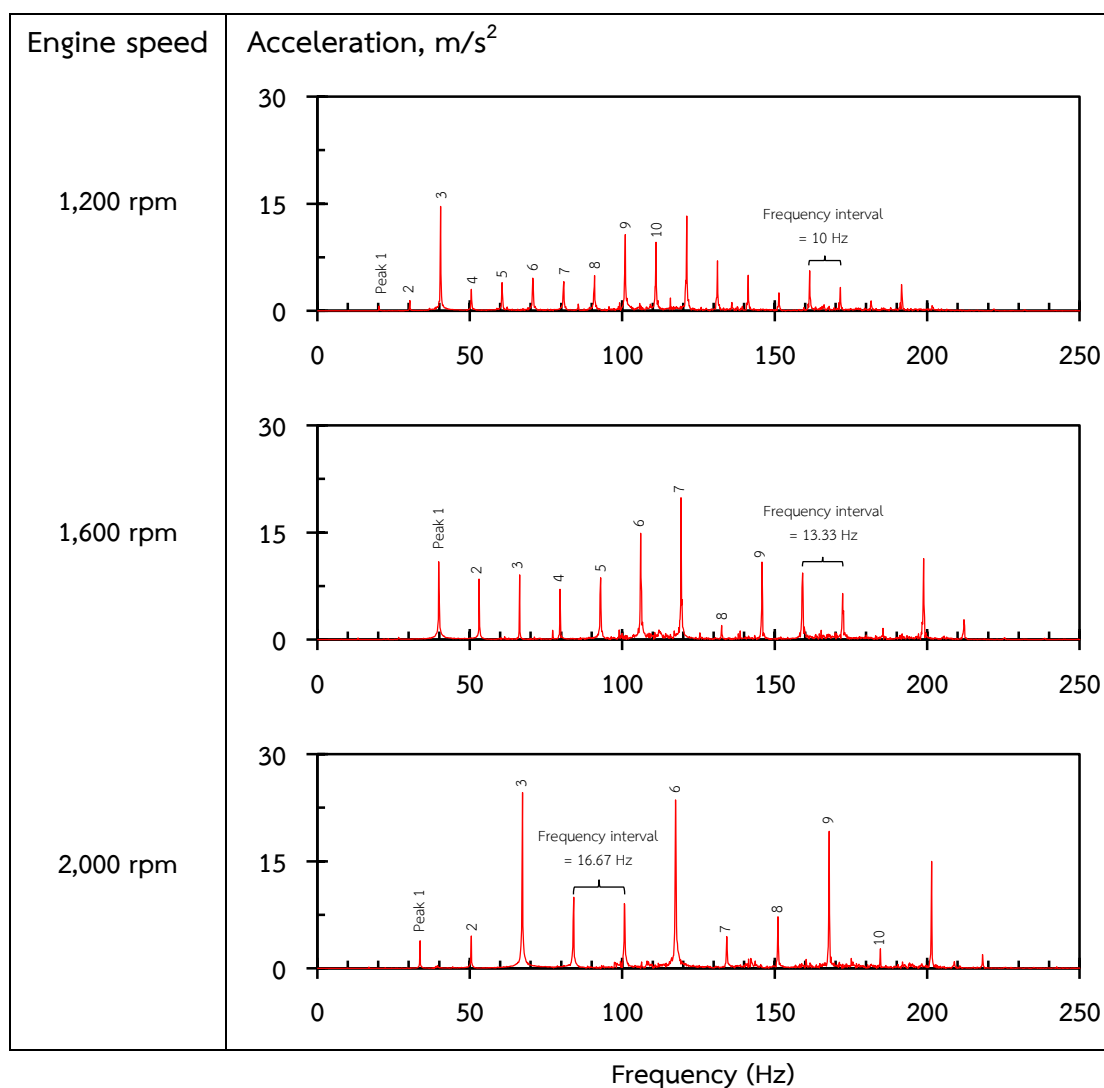
ภาพที่ 32 สัญญาณการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่

เครื่องยนต์ของรถไถเดินตามล้อเหล็กขณะไม่เคลื่อนที่ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งสูงสุดของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 15.20, 20.79 และ 24.68 m/s^2 ตามลำดับ ซึ่งปรากฏที่ความถี่การสั่นสะเทือน 40.28, 119.32 และ 67.14 Hz ตามลำดับ (ตารางที่ 5) จากผลการทดลองพบว่า แอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น และขนาดช่วงความถี่ (Frequency interval) ระหว่างแอมพลิจูด (Amplitude) ในแต่ละสัญญาณการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm มีค่าเฉลี่ย 10.00, 13.33 และ 16.67 Hz ตามลำดับ (ภาพที่ 34 ถึง 37) เห็นได้ว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ขนาดช่วงความถี่ระหว่างแอมพลิจูดเพิ่มขึ้นด้วย



ภาพที่ 33 สัญญาณการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่

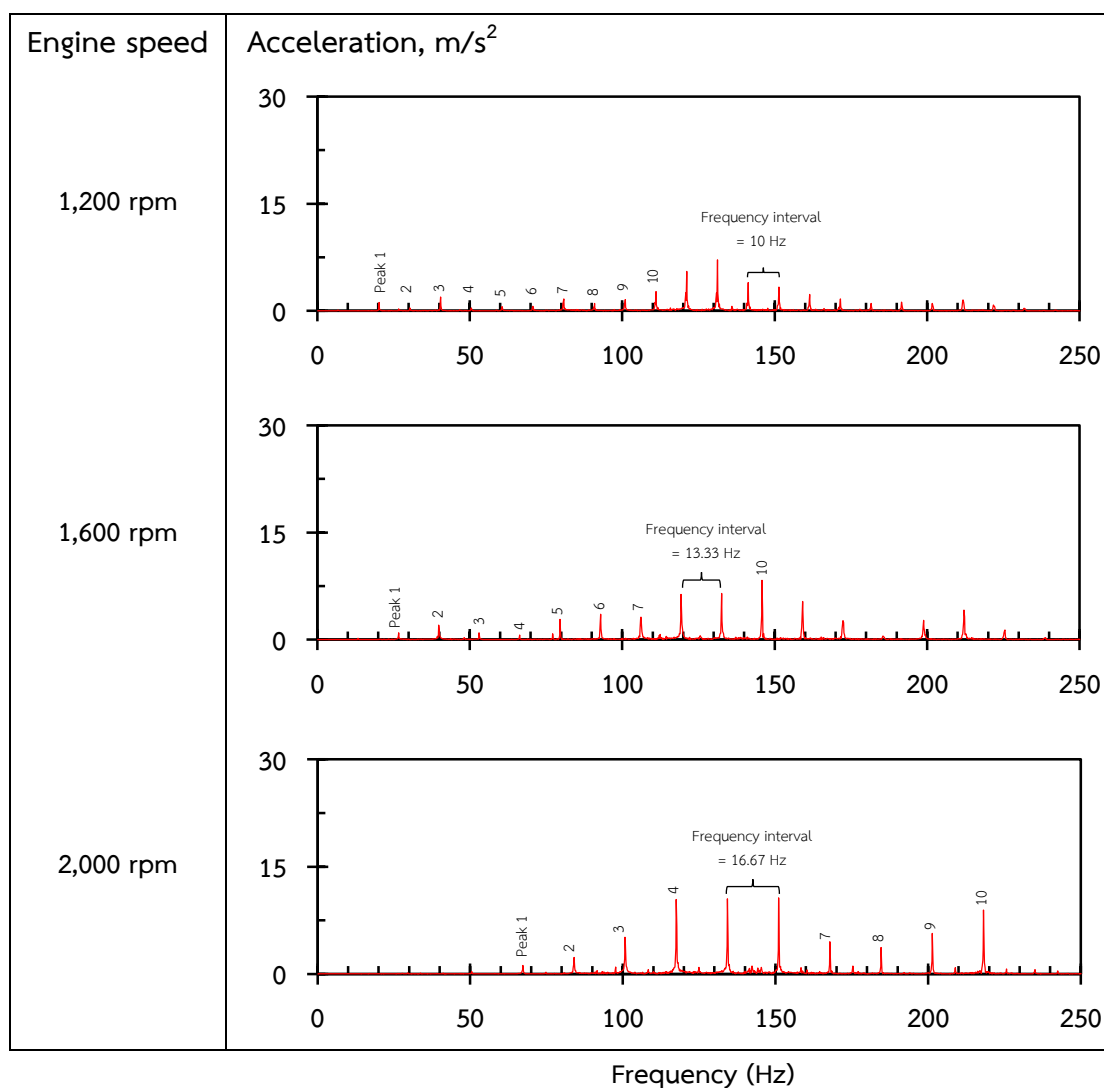
ภาพที่ 35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร่งสูงสุดของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ของรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งสูงสุด เท่ากับ 7.12, 8.59 และ 8.50 m/s^2 ปรากฏที่ความถี่ 131.07, 145.87 และ 134.13 Hz ตามลำดับ (ตารางที่ 6)



ภาพที่ 34 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อหลักเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่

ภาพที่ 36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร่งสูงสุดของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ของรถไถเดินตามล้อหลักขณะไม่เคลื่อนที่ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งสูงสุด เท่ากับ 1.93, 3.50 และ 4.77 m/s^2 ปรากฏที่ความถี่ 131.07, 212.10 และ 218.05 Hz ตามลำดับ (ตารางที่ 7)

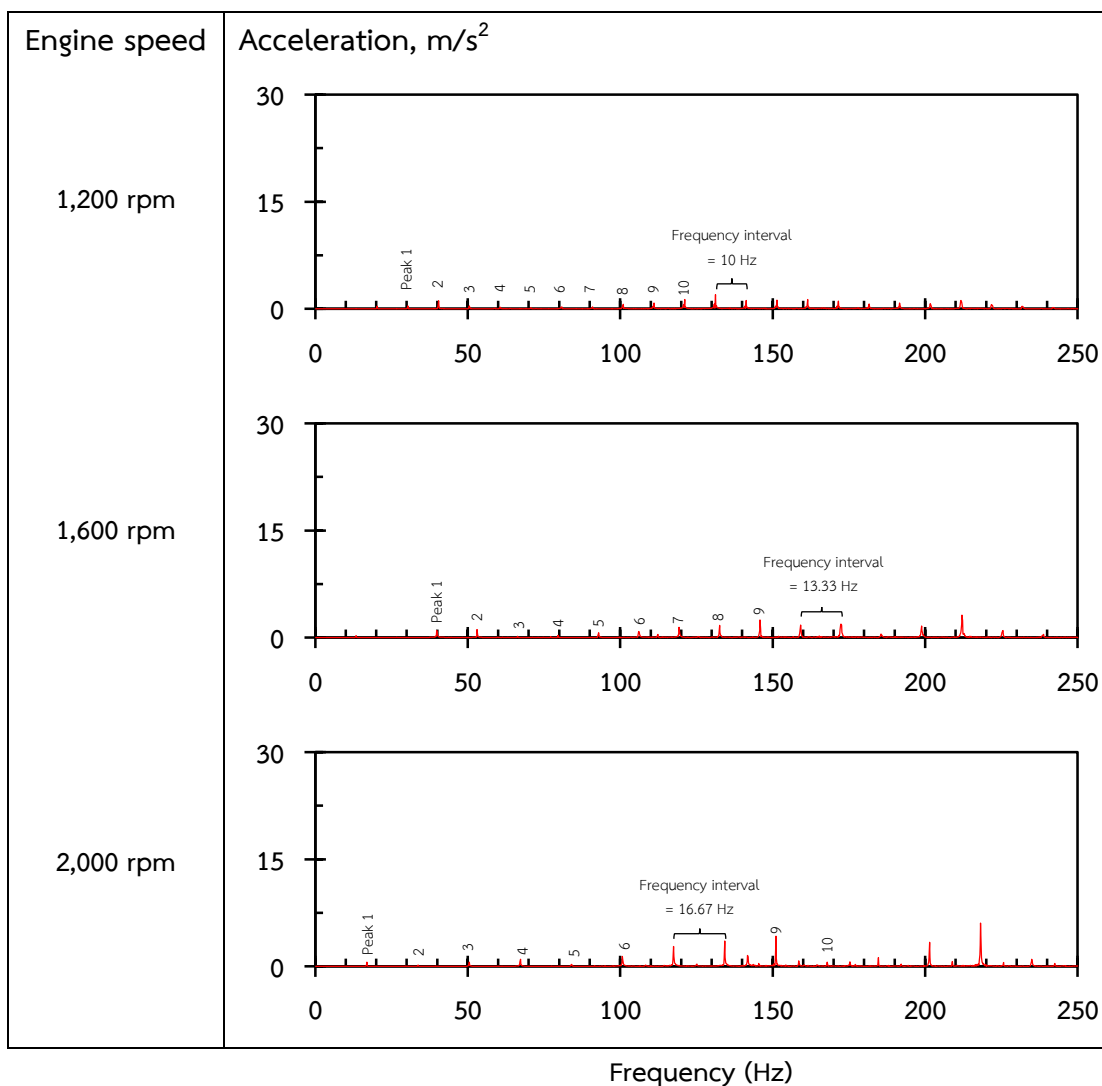
เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของทั้งสามทิศทางพบว่าที่เงื่อนไขรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis)



ภาพที่ 35 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) ที่ตำแหน่งพืวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่

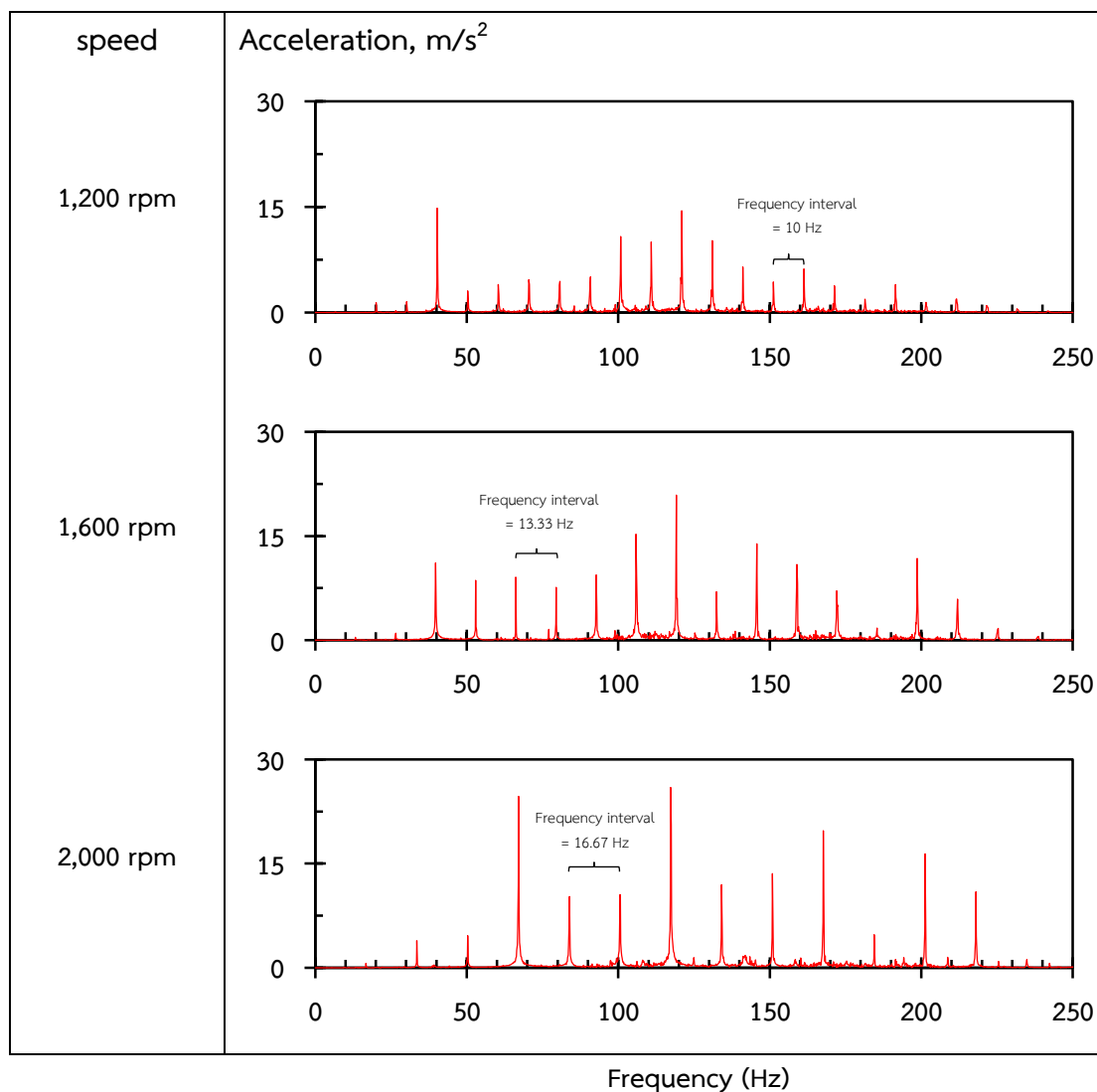
และสั่นสะเทือนน้อยสุดในแนวดิ่ง (Z-axis) ของรถไถเดินตาม ซึ่งมีสาเหตุมาจากลูกสูบของเครื่องยนต์เคลื่อนที่ในแนวระนาบในกระบวนการจุดระเบิด ซึ่งเป็นทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม จึงเป็นสาเหตุทำให้ที่ตำแหน่งพืวบเครื่องยนต์เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis)

จากการทดลองพบว่า พืวบเครื่องยนต์เป็นตำแหน่งที่มีการสั่นสะเทือนสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งอื่นๆ บนรถไถเดินตาม เนื่องจากเครื่องยนต์ต้นกำลังเป็นแหล่งกำเนิดการสั่นสะเทือนเพียงแหล่งเดียว ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งพืวบ



ภาพที่ 36 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Z-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณียรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่

เครื่องยนต์ต้นกำลังที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm กรณียรถไถเดินตามล้อเหล็ก (Cage wheel) ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 13.64, 20.17 และ 24.99 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 38d) และกรณียรถไถเดินตามล้อยาง (Tire wheel) ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 14.90, 20.25 และ 27.02 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 39d) และยังคงแสดงให้เห็นว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis) ซึ่งมีสาเหตุมาจากแนวการเคลื่อนที่ของลูกสูบเป็นแนวเดียวกันกับแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของความเร่งลัพธ์การสั่นสะเทือนทั้งกรณียรถไถเดินตามล้อเหล็ก และ



ภาพที่ 37 สเปกตรัมของค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่

ล้อยาง ไม่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 11) และพบว่าปัจจัยความเร็วรอบเครื่องยนต์มีอิทธิพลต่อการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์อย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 12) ขณะที่ไม่พบว่าความเร็วเครื่องยนต์ส่งผลต่อค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ ในแนวขวางและแนวดิ่งของรถไถเดินตาม (ตารางที่ 13 และ 14) นอกจากนี้ยังพบว่าที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตามเป็นสาเหตุหลักที่ส่งผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน

1.1.2 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งโครงเหล็กรถไถเดินตาม (Chassis) ขณะไม่เคลื่อนที่

การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งโครงเหล็กรถไถเดินตามที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm กรณีสั่นสะเทือนตามล้อเหล็กแสดงให้เห็นว่า ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 3.35, 2.63 และ 2.51 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 38d) และกรณีสั่นสะเทือนตามล้อยางค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 1.41, 1.90 และ 1.84 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 39d) พบว่าไม่ปรากฏให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนและความเร็วรอบเครื่องยนต์ เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางพบว่าทั้งกรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กและล้อยาง เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวตั้ง (Z-axis) (ภาพที่ 38 และ 39) เนื่องด้วยตำแหน่งโครงเหล็กรถไถเดินตามเป็นตำแหน่งที่อยู่เหนือเพลาล้อรถไถเดินตาม ซึ่งเป็นฐานรองรับแบบลูกกลิ้ง (Roller support) จึงส่งผลทำให้เกิดการสั่นสะเทือนน้อยที่สุด

การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนระหว่างกรณีสั่นสะเทือนตามล้อเหล็กและรถไถเดินตามล้อยาง แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 11) โดยพบว่ากรณีสั่นสะเทือนตามล้อเหล็กมีค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนสูงกว่ากรณีสั่นสะเทือนตามล้อยางทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์ (ภาพที่ 38d และ 39d) เหตุผลคือ เนื่องด้วยล้อยางมีคุณสมบัติยืดหยุ่นตัว และมีขนาดพื้นที่ผิวสัมผัสกับพื้นมากกว่าล้อเหล็ก การสั่นสะเทือนบางส่วนถูกดูดซับ ส่งผลให้ที่ตำแหน่งโครงเหล็กรถไถเดินตามกรณีสั่นสะเทือนตามล้อยางเกิดการสั่นสะเทือนน้อยกว่ากรณีสั่นสะเทือนตามล้อเหล็ก

1.1.3 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเกียร์รถไถเดินตาม (Gear box) ขณะไม่เคลื่อนที่

การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเกียร์รถไถเดินตามที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm กรณีสั่นสะเทือนตามล้อเหล็กพบว่า ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 3.60, 2.65 และ 4.64 m/s^2 ตามลำดับ กรณีสั่นสะเทือนตามล้อยางค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 1.75, 2.60 และ 3.63 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 38d และ 39d)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ตำแหน่งห้องเกียร์รถไถเดินตามมีค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนสูงกว่าที่ตำแหน่งโครงเหล็กรถไถเดินตาม เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางพบว่า กรณีสั่นสะเทือนตามล้อเหล็กและล้อยาง เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis)

ตารางที่ 5 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนในทิศ X-axis ของแต่ละแอมพลิฟายเออร์ เจ็นไฮดรอลิกเดินตามล้อเหล็กขณะไม่เคลื่อนที่

Position of accelerometer	Engine speed (rpm)	The X-axis vibrations in the conditions of cage wheel and stationary.											
		The dominant frequencies (Hz) and the acceleration (m/s ²) at the different location on the rotary power tiller.											
		1		2		3		4		5		6	
		Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²
Top engine	1,200	20.14	0.71	30.21	1.44	<u>40.28</u>	<u>15.20</u>	50.35	3.23	60.43	4.13	70.50	4.96
	1,600	39.83	12.2	53.10	6.64	66.22	6.29	79.60	6.15	92.77	10.57	106.05	18.10
	2,000	33.57	3.88	50.35	4.55	<u>67.14</u>	<u>24.68</u>	83.92	9.73	100.71	9.70	117.34	21.29
Chassis	1,200	20.14	0.05	30.21	0.20	40.28	0.65	<u>50.35</u>	<u>0.67</u>	60.43	0.37	70.5	0.27
	1,600	26.55	0.19	39.83	0.79	53.10	0.28	66.22	0.32	79.5	0.17	92.77	0.12
	2,000	33.57	0.49	50.35	0.84	67.14	0.66	83.92	0.08	100.71	0.32	117.34	0.71
Gear box	1,200	10.07	0.28	20.14	2.06	30.21	0.89	<u>40.28</u>	<u>15.01</u>	50.35	7.95	60.43	3.43
	1,600	13.28	1.06	26.55	5.67	<u>39.83</u>	<u>11.82</u>	53.10	7.25	66.22	2.32	76.50	2.29
	2,000	16.79	1.96	33.57	1.53	50.35	9.06	<u>67.14</u>	<u>14.97</u>	83.92	0.93	100.71	2.33
Case rotary	1,200	10.07	0.06	20.14	0.15	30.21	0.44	<u>40.44</u>	<u>3.04</u>	50.51	0.97	60.58	0.61
	1,600	26.70	0.49	<u>40.13</u>	<u>3.73</u>	53.41	1.78	66.83	0.75	80.11	0.51	93.54	1.07
	2,000	33.26	1.25	49.90	1.09	66.53	3.46	83.16	0.21	99.95	0.37	<u>117.59</u>	<u>1.96</u>
Mid handle	1,200	10.07	0.11	20.14	0.26	30.21	0.36	40.44	2.64	50.51	1.14	60.58	0.48
	1,600	13.43	0.15	26.70	0.33	<u>40.13</u>	<u>3.29</u>	53.41	0.71	66.83	0.93	80.11	0.31
	2,000	16.63	0.08	33.26	1.08	49.90	1.16	66.53	0.62	83.16	0.55	99.95	0.26
Handle	1,200	10.07	0.16	20.14	0.67	30.21	0.40	40.44	2.09	50.51	0.64	60.58	1.17
	1,600	13.43	0.26	26.70	0.69	40.13	2.47	53.41	0.18	66.83	1.67	80.26	0.70
	2,000	16.63	0.35	33.26	0.71	49.9	0.78	66.53	0.52	83.16	2.09	99.95	2.87
Chest	1,200	<u>0.15</u>	<u>0.16</u>	10.07	0.04	19.84	0.02	30.06	0.01	39.98	0.01	–	–
	1,600	0.15	0.03	<u>13.28</u>	<u>0.06</u>	26.70	0.02	39.98	0.01	–	–	–	–
	2,000	0.31	0.02	<u>16.33</u>	<u>0.10</u>	–	–	–	–	–	–	–	–

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Position of accelerometer	Engine speed (rpm)	The X-axis vibrations in the conditions of cage wheel and stationary.									
		The dominant frequencies (Hz) and the acceleration (m/s ²) at the different location on the rotary power tiller.									
		7		8		9		10		Peak	
		Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²
Top engine	1,200	80.57	4.23	90.79	4.40	100.86	9.84	110.93	8.81	<u>40.28</u>	<u>15.20</u>
	1,600	<u>119.32</u>	<u>20.79</u>	132.60	2.05	145.87	11.17	159.15	12.48	<u>119.32</u>	<u>20.79</u>
	2,000	143.13	4.19	150.91	5.98	167.69	15.30	184.48	2.35	<u>67.14</u>	<u>24.68</u>
Chassis	1,200	80.57	0.18	90.64	0.11	100.71	0.09	110.78	0.15	<u>50.35</u>	<u>0.67</u>
	1,600	106.05	0.38	119.32	0.80	132.60	0.58	145.87	0.20	<u>212.10</u>	<u>0.95</u>
	2,000	134.13	0.75	150.91	0.09	167.69	0.58	184.48	0.70	<u>201.26</u>	<u>1.28</u>
Gear box	1,200	70.50	3.73	80.57	1.04	90.64	1.11	100.71	0.51	<u>40.28</u>	<u>15.01</u>
	1,600	92.77	1.91	106.05	1.26	119.32	4.17	132.60	2.25	<u>39.83</u>	<u>11.82</u>
	2,000	117.34	4.44	134.13	2.65	150.91	0.95	167.69	1.38	<u>67.14</u>	<u>14.97</u>
Case rotary	1,200	70.65	0.75	80.72	0.39	90.79	0.31	100.86	0.31	<u>40.44</u>	<u>3.04</u>
	1,600	106.96	0.37	120.24	1.26	133.67	0.91	146.94	0.27	<u>40.13</u>	<u>3.73</u>
	2,000	133.21	1.28	149.84	0.98	166.47	2.20	183.11	1.79	<u>117.59</u>	<u>1.96</u>
Mid handle	1,200	70.65	0.76	80.72	0.50	90.79	0.42	100.86	0.23	<u>262.45</u>	<u>2.76</u>
	1,600	93.54	1.34	106.96	0.36	120.24	2.05	133.67	0.46	<u>40.13</u>	<u>3.29</u>
	2,000	116.58	2.04	133.21	1.01	149.84	1.94	166.47	1.07	<u>199.74</u>	<u>2.18</u>
Handle	1,200	70.65	1.24	80.72	0.47	90.79	1.66	<u>100.86</u>	<u>2.87</u>	<u>100.86</u>	<u>2.87</u>
	1,600	93.54	2.58	106.96	4.13	120.24	3.11	133.67	1.40	<u>106.96</u>	<u>4.13</u>
	2,000	116.58	3.87	133.21	1.21	149.84	2.19	166.47	2.00	<u>199.74</u>	<u>4.01</u>
Chest	1,200	--	--	--	--	--	--	--	--	<u>0.15</u>	<u>0.16</u>
	1,600	--	--	--	--	--	--	--	--	<u>13.28</u>	<u>0.06</u>
	2,000	--	--	--	--	--	--	--	--	<u>16.33</u>	<u>0.10</u>

ตารางที่ 6 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนในทิศ Y-axis ของแต่ละแอมพลิฟายเออร์ เจ็นโรไฮดรอลิกตามล้อหลักขณะไม่เคลื่อนที่

Position of accelerometer	Engine speed (rpm)	The Y-axis vibrations in the conditions of cage wheel and stationary.											
		The dominant frequencies (Hz) and the acceleration (m/s ²) at the different location on the rotary power tiller.											
		1		2		3		4		5		6	
		Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²
Top engine	1,200	20.14	1.18	30.21	0.47	40.28	1.89	50.35	0.43	60.43	0.65	70.50	0.71
	1,600	26.55	1.08	39.83	2.43	53.10	0.78	66.22	0.45	79.50	2.39	92.77	3.87
	2,000	50.35	0.34	67.14	1.19	83.92	2.17	100.71	5.12	117.34	8.39	<u>134.13</u>	<u>8.50</u>
Chassis	1,200	20.14	0.11	30.21	0.05	40.28	0.49	50.35	0.34	60.43	0.27	70.50	0.15
	1,600	13.28	0.04	26.55	0.05	39.83	0.37	52.95	0.06	66.22	0.16	79.50	0.32
	2,000	33.57	2.39	50.35	0.50	67.14	0.33	83.92	0.70	100.71	0.20	7.49	0.56
Gear box	1,200	20.14	0.10	30.21	0.88	<u>40.28</u>	<u>2.95</u>	50.35	1.76	60.43	1.15	70.50	1.10
	1,600	13.28	0.07	26.55	0.67	<u>39.83</u>	<u>2.70</u>	53.10	0.62	66.22	1.29	79.50	0.46
	2,000	16.79	0.16	33.57	1.45	50.35	2.21	67.14	2.14	83.92	0.62	100.71	0.77
Case rotary	1,200	20.14	0.23	30.21	0.18	40.44	1.06	50.51	0.39	60.58	0.20	70.65	0.82
	1,600	26.70	0.86	40.13	1.10	53.41	0.85	66.83	0.87	80.11	1.03	93.54	1.17
	2,000	33.26	0.79	49.90	0.49	66.53	2.48	83.16	0.47	99.79	1.40	116.58	6.00
Mid handle	1,200	20.14	0.64	30.21	0.32	6.66	3.02	50.51	0.09	60.58	0.32	70.65	0.72
	1,600	40.13	0.48	53.41	0.44	66.83	0.78	80.26	1.49	93.54	3.54	106.96	1.12
	2,000	33.26	0.31	49.90	0.44	66.53	1.29	83.16	1.69	99.95	1.27	116.58	4.61
Handle	1,200	10.07	0.35	20.14	1.50	30.21	1.50	40.44	4.56	50.51	0.97	60.58	1.51
	1,600	13.43	0.90	26.70	4.00	<u>40.13</u>	<u>5.11</u>	53.41	1.26	66.83	2.39	80.26	1.61
	2,000	33.26	2.92	49.90	0.30	66.53	3.67	83.16	3.43	99.95	3.64	<u>116.58</u>	<u>3.73</u>
Chest	1,200	0.15	0.02	<u>10.07</u>	<u>0.03</u>	19.99	0.02	29.91	0.01	39.98	0.01	50.05	0.00
	1,600	0.31	0.02	13.28	0.02	26.70	0.01	<u>39.98</u>	<u>0.02</u>	53.41	0.03	--	--
	2,000	<u>1.22</u>	<u>0.06</u>	16.33	0.04	--	--	--	--	--	--	--	--

ตารางที่ 6 (ต่อ)

Position of accelerometer	Engine speed (rpm)	The Y-axis vibrations in the conditions of cage wheel and stationary.									
		The dominant frequencies (Hz) and the acceleration (m/s ²) at the different location on the rotary power tiller.									
		7		8		9		10		Peak	
		Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²
Top engine	1,200	80.57	1.69	90.79	0.90	100.86	1.50	110.93	2.59	<u>131.07</u>	<u>7.12</u>
	1,600	106.05	4.80	119.32	7.80	132.60	0.75	145.87	8.59	<u>145.87</u>	<u>8.59</u>
	2,000	150.91	8.18	167.69	3.36	184.48	2.75	201.26	4.34	<u>134.13</u>	<u>8.50</u>
Chassis	1,200	80.57	0.31	90.64	0.27	100.71	0.16	<u>110.78</u>	<u>0.51</u>	<u>110.78</u>	<u>0.51</u>
	1,600	92.77	0.29	106.05	0.59	119.32	0.69	132.60	0.75	<u>145.87</u>	<u>0.87</u>
	2,000	134.13	0.54	150.91	0.48	167.69	0.15	184.48	0.54	<u>201.26</u>	<u>0.84</u>
Gear box	1,200	80.57	0.73	90.64	0.58	100.71	0.11	110.78	0.81	<u>40.28</u>	<u>2.95</u>
	1,600	92.77	0.93	106.05	1.64	119.32	2.11	132.60	1.02	<u>39.83</u>	<u>2.80</u>
	2,000	117.34	2.24	134.13	1.37	150.91	0.81	167.69	1.67	<u>519.87</u>	<u>3.82</u>
Case rotary	1,200	80.72	0.35	90.79	0.69	100.86	0.40	111.08	1.59	<u>181.73</u>	<u>4.94</u>
	1,600	106.96	1.09	120.24	7.35	133.67	2.34	146.94	1.85	<u>187.07</u>	<u>10.92</u>
	2,000	133.21	5.72	149.84	3.44	166.47	10.98	<u>183.11</u>	<u>15.58</u>	<u>183.11</u>	<u>15.58</u>
Mid handle	1,200	80.72	0.64	90.79	2.39	100.86	0.34	111.08	1.00	<u>141.30</u>	<u>2.67</u>
	1,600	<u>120.24</u>	<u>4.21</u>	133.67	1.14	146.94	2.64	160.37	0.41	<u>120.24</u>	<u>4.21</u>
	2,000	133.21	1.22	149.84	2.16	166.47	2.90	183.11	1.03	<u>199.74</u>	<u>5.49</u>
Handle	1,200	70.65	2.37	80.72	1.19	<u>90.79</u>	<u>4.92</u>	100.86	4.77	<u>90.79</u>	<u>4.92</u>
	1,600	93.54	4.43	106.96	5.04	119.78	0.59	133.67	0.80	<u>40.13</u>	<u>5.11</u>
	2,000	133.21	1.98	149.84	1.47	166.47	2.52	183.11	0.71	<u>116.58</u>	<u>3.73</u>
Chest	1,200	--	--	--	--	--	--	--	--	<u>10.07</u>	<u>0.03</u>
	1,600	--	--	--	--	--	--	--	--	<u>39.98</u>	<u>0.02</u>
	2,000	--	--	--	--	--	--	--	--	<u>1.22</u>	<u>0.06</u>

ตารางที่ 7 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนในทิศ Z-axis ของแต่ละแอมพลิฟายด์ เจ็นไนโรตารีไถเดินตามล้อหลักขณะไม่เคลื่อนที่

Position of accelerometer	Engine speed (rpm)	The Z-axis vibrations in the conditions of cage wheel and stationary.											
		The dominant frequencies (Hz) and the acceleration (m/s ²) at the different location on the rotary power tiller.											
		1		2		3		4		5		6	
		Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²
Top engine	1,200	20.14	0.36	30.21	0.42	40.28	1.09	50.35	0.44	60.43	0.27	70.50	0.11
	1,600	13.28	0.28	26.55	0.08	39.83	1.18	53.10	0.93	66.22	0.15	79.50	0.27
	2,000	16.79	0.61	33.57	0.21	50.35	0.63	67.14	1.07	83.92	0.26	100.71	1.30
Chassis	1,200	20.14	0.38	30.21	0.54	<u>40.28</u>	<u>3.82</u>	50.35	0.90	60.43	0.51	70.50	0.42
	1,600	13.28	0.13	26.55	0.41	<u>39.83</u>	<u>3.04</u>	53.10	1.18	66.22	0.41	79.50	0.12
	2,000	16.79	0.43	33.57	0.92	50.35	1.10	67.14	0.65	83.92	0.22	100.71	0.99
Gear box	1,200	20.14	0.19	30.21	0.24	40.28	0.73	50.35	0.93	60.43	0.37	70.50	0.13
	1,600	13.28	0.04	26.55	0.42	39.83	0.53	53.10	0.54	66.38	0.19	79.50	0.28
	2,000	16.79	0.07	33.57	0.44	50.35	1.39	67.14	0.71	83.92	0.14	100.71	0.73
Case rotary	1,200	10.07	0.12	20.14	0.24	31.21	0.57	<u>40.44</u>	<u>1.85</u>	50.51	0.55	60.58	0.72
	1,600	13.43	0.21	26.70	1.02	40.13	1.73	53.41	0.74	66.83	0.31	80.11	0.31
	2,000	16.63	0.23	33.26	0.72	49.90	0.56	66.53	1.47	83.16	0.11	1.72	8.67
Mid handle	1,200	10.07	0.26	20.14	0.27	30.21	0.51	<u>40.44</u>	<u>3.95</u>	50.51	1.54	60.58	1.57
	1,600	13.43	0.40	26.70	0.59	<u>40.13</u>	<u>4.50</u>	53.41	2.93	66.83	0.60	80.11	0.51
	2,000	16.63	0.30	33.26	1.04	49.90	1.07	66.53	2.07	83.16	0.39	99.95	0.98
Handle	1,200	10.07	0.49	20.14	2.56	30.21	2.34	<u>40.44</u>	<u>7.56</u>	50.51	5.89	60.58	6.43
	1,600	13.43	0.92	26.70	6.27	<u>40.13</u>	<u>10.24</u>	53.41	9.08	66.83	5.46	80.11	2.67
	2,000	16.63	1.88	33.26	4.40	49.90	6.70	<u>66.53</u>	<u>12.86</u>	83.16	2.21	99.95	2.87
Chest	1,200	0.15	0.04	<u>10.07</u>	<u>0.05</u>	20.14	0.01	30.06	0.01	40.13	0.01	--	--
	1,600	0.31	0.01	<u>13.28</u>	<u>0.02</u>	26.70	0.00	39.98	0.00	--	--	--	--
	2,000	0.15	0.01	<u>16.33</u>	<u>0.02</u>	--	--	--	--	--	--	--	--

ตารางที่ 7 (ต่อ)

Position of accelerometer	Engine speed (rpm)	The Z-axis vibrations in the conditions of cage wheel and stationary.									
		The dominant frequencies (Hz) and the acceleration (m/s ²) at the different location on the rotary power tiller.									
		7		8		9		10		Peak	
		Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²
Top engine	1,200	80.57	0.30	90.79	0.25	100.86	0.58	110.93	0.78	<u>131.07</u>	<u>1.93</u>
	1,600	92.77	0.77	106.05	1.30	119.32	1.70	132.60	1.89	<u>212.10</u>	<u>3.50</u>
	2,000	117.34	2.09	134.13	2.72	150.91	3.02	167.69	0.53	<u>218.05</u>	<u>4.77</u>
Chassis	1,200	80.57	0.24	90.64	0.29	100.71	0.15	110.78	0.79	<u>40.28</u>	<u>3.82</u>
	1,600	92.77	0.48	106.05	1.14	119.32	1.70	132.60	1.15	<u>39.83</u>	<u>3.04</u>
	2,000	<u>177.34</u>	<u>2.18</u>	134.13	1.54	150.91	0.39	167.69	1.27	<u>117.34</u>	<u>2.18</u>
Gear box	1,200	80.57	0.13	90.64	0.42	100.71	0.16	<u>110.78</u>	<u>0.98</u>	<u>110.78</u>	<u>0.98</u>
	1,600	92.77	0.60	106.05	0.74	<u>119.32</u>	<u>1.13</u>	132.60	0.30	<u>119.32</u>	<u>1.13</u>
	2,000	<u>117.34</u>	<u>1.54</u>	134.13	0.31	150.91	0.54	167.69	0.47	<u>117.34</u>	<u>1.54</u>
Case rotary	1,200	70.65	0.13	80.72	0.17	90.79	0.46	100.86	0.23	<u>40.44</u>	<u>1.85</u>
	1,600	93.54	0.43	106.81	0.17	120.24	1.50	133.67	1.20	<u>187.07</u>	<u>3.81</u>
	2,000	116.58	1.33	133.21	1.35	149.84	1.57	166.47	3.54	<u>183.11</u>	<u>5.70</u>
Mid handle	1,200	70.65	0.94	80.72	0.18	90.79	1.40	100.86	0.61	<u>40.44</u>	<u>3.95</u>
	1,600	93.54	3.94	106.96	1.02	120.24	2.94	133.67	1.71	<u>40.13</u>	<u>4.50</u>
	2,000	116.58	1.24	133.21	2.54	149.84	1.38	166.47	4.76	<u>199.74</u>	<u>5.21</u>
Handle	1,200	70.65	4.34	80.72	3.28	90.79	3.28	100.86	1.21	<u>40.44</u>	<u>7.56</u>
	1,600	93.54	3.13	106.96	3.19	120.24	2.57	133.67	1.98	<u>40.13</u>	<u>10.24</u>
	2,000	116.58	4.00	133.21	2.67	149.84	1.57	166.47	1.78	<u>66.53</u>	<u>12.86</u>
Chest	1,200	--	--	--	--	--	--	--	--	<u>10.07</u>	<u>0.05</u>
	1,600	--	--	--	--	--	--	--	--	<u>13.28</u>	<u>0.02</u>
	2,000	--	--	--	--	--	--	--	--	<u>16.33</u>	<u>0.02</u>

ตารางที่ 8 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนในทิศ X-axis ของแต่ละแอมพลิฟายด์ เจ็นไฮดรอลิกเดินตามล้อยางขณะไม่เคลื่อนที่

Position of accelerometer	Engine speed (rpm)	The X-axis vibrations in the conditions of tire wheel and stationary.											
		The dominant frequencies (Hz) and the acceleration (m/s ²) at the different location on the rotary power tiller.											
		1		2		3		4		5		6	
		Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²
Top engine	1,200	19.99	1.86	30.06	1.54	40.13	5.00	50.05	2.69	60.12	5.46	70.04	3.73
	1,600	38.91	5.37	51.88	5.51	64.70	5.64	77.67	5.36	90.64	9.90	103.67	14.34
	2,000	33.72	5.81	50.51	4.72	67.44	21.32	84.23	11.81	101.01	8.63	<u>117.95</u>	<u>24.45</u>
Chassis	1,200	19.99	0.09	30.06	0.22	40.13	0.13	50.05	0.43	<u>60.12</u>	<u>0.50</u>	70.04	0.14
	1,600	25.94	0.17	38.91	0.40	51.88	0.44	64.70	0.39	77.67	0.13	90.64	0.12
	2,000	33.72	0.74	50.51	0.59	67.44	0.77	84.23	0.14	101.17	0.39	117.95	0.87
Gear box	1,200	10.07	0.01	19.99	0.18	30.06	0.93	40.13	0.78	<u>50.05</u>	<u>1.39</u>	60.12	1.26
	1,600	25.94	0.48	38.91	1.26	51.88	1.53	64.70	1.06	77.67	0.58	90.64	0.83
	2,000	33.72	2.17	50.51	1.95	67.44	1.94	84.23	0.57	101.17	0.72	117.95	2.81
Case rotary	1,200	20.60	0.36	30.82	0.87	<u>41.20</u>	<u>2.06</u>	51.42	1.14	61.80	0.35	72.02	0.55
	1,600	13.28	0.06	26.70	0.43	39.98	2.07	53.25	1.61	66.68	1.55	79.96	0.40
	2,000	33.42	2.04	50.05	1.39	<u>66.68</u>	<u>3.57</u>	83.47	0.20	100.10	1.01	116.88	0.76
Mid handle	1,200	10.22	0.07	20.60	0.44	30.82	0.64	41.20	1.18	51.42	1.07	61.80	0.79
	1,600	13.28	0.11	26.70	0.30	39.98	1.48	53.25	0.72	66.68	1.09	79.96	0.22
	2,000	16.63	0.19	33.42	1.50	50.05	1.20	66.83	0.31	83.47	0.97	100.10	0.84
Handle	1,200	10.22	0.11	20.60	1.28	30.82	0.23	41.20	0.54	51.42	0.65	61.80	1.15
	1,600	13.28	0.22	26.70	0.18	39.98	0.81	53.25	0.65	66.68	1.50	79.96	0.50
	2,000	16.63	0.67	33.42	1.15	50.05	0.76	66.83	0.71	83.47	2.29	<u>100.10</u>	<u>3.25</u>
Chest	1,200	0.31	0.14	10.07	0.15	<u>19.99</u>	<u>0.35</u>	30.06	0.09	39.98	0.03	50.05	0.01
	1,600	<u>0.61</u>	<u>0.18</u>	13.28	0.07	26.70	0.08	39.98	0.04	53.41	0.01	--	--
	2,000	0.31	0.04	<u>16.63</u>	<u>0.10</u>	33.11	0.07	49.74	0.01	--	--	--	--

ตารางที่ 8 (ต่อ)

Position of accelerometer	Engine speed (rpm)	The X-axis vibrations in the conditions of tire wheel and stationary.									
		The dominant frequencies (Hz) and the acceleration (m/s ²) at the different location on the rotary power tiller.									
		7		8		9		10		Peak	
		Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²
Top engine	1,200	80.11	5.40	90.18	4.80	100.10	4.37	110.17	10.59	<u>120.24</u>	<u>11.87</u>
	1,600	<u>116.27</u>	<u>17.84</u>	129.55	4.37	142.52	7.72	155.49	2.41	<u>116.27</u>	<u>17.84</u>
	2,000	134.58	1.07	151.67	4.74	168.46	13.81	185.24	5.01	<u>117.95</u>	<u>24.45</u>
Chassis	1,200	80.11	0.21	90.18	0.10	100.10	0.13	110.17	0.21	<u>60.12</u>	<u>0.50</u>
	1,600	103.61	0.35	116.58	0.73	129.55	0.53	142.52	0.65	<u>207.21</u>	<u>1.12</u>
	2,000	134.74	0.67	151.67	0.12	168.46	0.50	185.24	0.69	<u>202.03</u>	<u>1.30</u>
Gear box	1,200	70.04	0.51	80.11	0.71	90.18	0.50	100.10	0.27	<u>50.05</u>	<u>1.39</u>
	1,600	103.61	0.47	<u>116.58</u>	<u>2.33</u>	129.55	1.35	142.52	0.70	<u>116.58</u>	<u>2.33</u>
	2,000	134.74	1.18	151.67	0.97	168.46	1.30	185.24	0.75	<u>505.22</u>	<u>4.00</u>
Case rotary	1,200	82.40	0.35	92.62	0.18	103.00	0.35	113.22	0.23	<u>41.20</u>	<u>2.06</u>
	1,600	93.38	0.76	106.66	0.56	119.93	0.49	133.36	1.09	<u>213.32</u>	<u>3.01</u>
	2,000	133.51	2.34	150.15	0.56	166.63	2.63	183.56	2.85	<u>66.68</u>	<u>3.57</u>
Mid handle	1,200	72.02	0.51	82.40	0.84	92.62	0.42	103.00	0.06	<u>257.42</u>	<u>1.98</u>
	1,600	93.38	0.71	106.66	0.77	119.93	1.37	133.36	0.66	<u>266.57</u>	<u>4.75</u>
	2,000	116.88	2.19	133.63	1.34	150.15	1.61	166.93	0.71	<u>274.51</u>	<u>2.26</u>
Handle	1,200	72.02	0.82	82.40	1.03	<u>92.62</u>	<u>2.07</u>	103.00	0.29	<u>92.62</u>	<u>2.07</u>
	1,600	93.38	1.53	<u>106.66</u>	<u>4.28</u>	119.93	1.96	133.36	0.75	<u>106.66</u>	<u>4.28</u>
	2,000	116.88	2.84	133.51	2.49	150.15	1.04	166.93	3.23	<u>100.10</u>	<u>3.25</u>
Chest	1,200	--	--	--	--	--	--	--	--	<u>19.99</u>	<u>0.35</u>
	1,600	--	--	--	--	--	--	--	--	<u>0.61</u>	<u>0.18</u>
	2,000	--	--	--	--	--	--	--	--	<u>16.63</u>	<u>0.10</u>

ตารางที่ 9 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนในทิศ Y-axis ของแต่ละแอมพลิฟายเออร์ เกียร์ไฮดรอลิกตามตัวอย่างขณะไม่เคลื่อนที่

Position of accelerometer	Engine speed (rpm)	The Y-axis vibrations in the conditions of tire wheel and stationary.											
		The dominant frequencies (Hz) and the acceleration (m/s ²) at the different location on the rotary power tiller.											
		1		2		3		4		5		6	
		Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²
Top engine	1,200	19.99	0.37	30.06	0.59	40.13	0.53	50.05	0.15	60.12	0.11	70.04	0.39
	1,600	25.94	0.61	38.91	0.93	51.88	0.89	64.70	0.64	77.67	0.87	90.64	3.43
	2,000	50.51	0.44	67.44	0.95	84.23	3.36	101.17	4.50	117.95	6.73	134.74	7.67
Chassis	1,200	19.99	0.04	30.06	0.20	40.13	0.21	50.05	0.23	60.12	0.08	70.04	0.12
	1,600	25.94	0.10	38.91	0.31	51.88	0.52	64.70	0.12	77.67	0.13	90.64	0.32
	2,000	33.72	0.13	50.51	0.20	67.44	0.42	84.23	0.55	101.17	0.34	117.95	0.45
Gear box	1,200	19.99	0.13	30.06	0.29	40.13	0.53	50.05	0.03	60.12	0.44	70.04	0.14
	1,600	38.91	0.66	51.88	0.32	64.70	0.13	77.67	0.20	90.64	0.53	103.61	0.65
	2,000	33.72	0.18	50.51	0.09	67.44	0.24	84.23	0.73	101.17	1.14	<u>117.95</u>	<u>1.72</u>
Case rotary	1,200	20.60	0.30	30.82	0.48	41.20	0.47	51.42	1.02	61.80	0.08	772.02	0.28
	1,600	39.98	0.85	53.25	1.51	66.68	0.84	79.96	0.55	93.38	1.30	106.66	1.77
	2,000	16.63	0.25	33.42	0.39	50.05	1.39	66.68	2.17	83.47	1.21	100.10	3.64
Mid handle	1,200	20.60	0.56	30.82	0.23	41.20	0.21	51.42	0.28	61.80	0.18	72.02	0.56
	1,600	26.70	0.27	39.98	0.36	53.25	0.88	66.68	0.47	79.96	1.37	93.38	3.27
	2,000	16.63	0.20	33.42	0.42	50.05	0.37	66.68	1.10	83.47	0.61	100.10	2.01
Handle	1,200	10.22	0.18	20.60	3.13	30.82	2.50	41.20	1.73	51.42	1.29	61.80	3.34
	1,600	13.28	0.24	26.70	1.26	39.98	2.11	53.25	1.53	66.68	2.35	79.96	1.49
	2,000	16.63	0.35	33.42	2.50	50.05	0.63	66.68	2.17	83.47	2.69	100.10	7.09
Chest	1,200	0.15	0.05	<u>10.07</u>	<u>0.13</u>	19.99	0.12	30.06	0.04	39.98	0.01	50.05	0.00
	1,600	0.31	0.01	<u>13.28</u>	<u>0.05</u>	26.70	0.05	39.98	0.02	--	--	--	--
	2,000	0.31	0.02	<u>16.63</u>	<u>0.09</u>	33.11	0.05	49.74	0.01	--	--	--	--

ตารางที่ 9 (ต่อ)

Position of accelerometer	Engine speed (rpm)	The Y-axis vibrations in the conditions of tire wheel and stationary.									
		The dominant frequencies (Hz) and the acceleration (m/s ²) at the different location on the rotary power tiller.									
		7		8		9		10		Peak	
		Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²
Top engine	1,200	41.79	2.41	90.18	1.18	100.10	1.24	110.17	2.55	<u>130.16</u>	<u>4.65</u>
	1,600	103.61	2.27	<u>116.58</u>	<u>6.37</u>	129.55	6.17	142.52	4.11	<u>116.58</u>	<u>6.37</u>
	2,000	<u>151.67</u>	<u>8.12</u>	168.46	4.66	185.24	1.69	202.03	3.14	<u>151.67</u>	<u>8.12</u>
Chassis	1,200	80.11	0.24	90.18	0.19	100.10	0.18	110.17	0.32	<u>160.22</u>	<u>0.34</u>
	1,600	103.61	0.31	<u>116.58</u>	<u>0.72</u>	129.55	0.47	142.52	0.44	<u>116.58</u>	<u>0.72</u>
	2,000	<u>134.74</u>	<u>0.75</u>	151.67	0.39	168.46	12.56	185.24	0.39	<u>134.74</u>	<u>0.75</u>
Gear box	1,200	80.11	0.05	90.18	0.19	100.10	0.26	<u>110.17</u>	<u>1.21</u>	<u>110.17</u>	<u>1.21</u>
	1,600	<u>116.58</u>	<u>2.16</u>	129.55	0.80	142.52	0.59	155.49	0.21	<u>116.58</u>	<u>2.16</u>
	2,000	134.74	0.80	151.67	0.20	168.46	0.25	185.24	0.15	<u>117.95</u>	<u>1.72</u>
Case rotary	1,200	82.40	0.34	92.62	0.87	103.00	1.05	113.22	3.24	<u>185.24</u>	<u>5.36</u>
	1,600	<u>119.93</u>	<u>6.98</u>	133.36	1.87	146.64	3.09	159.91	3.24	<u>119.93</u>	<u>6.98</u>
	2,000	116.88	6.51	<u>133.51</u>	<u>10.21</u>	150.15	0.64	166.93	7.21	<u>133.51</u>	<u>10.21</u>
Mid handle	1,200	82.40	0.68	92.62	2.85	103.00	0.21	<u>113.22</u>	<u>3.17</u>	<u>113.22</u>	<u>3.17</u>
	1,600	106.66	2.64	119.93	1.50	133.36	1.83	146.64	1.65	<u>386.51</u>	<u>3.50</u>
	2,000	<u>116.88</u>	<u>5.01</u>	133.51	9.96	150.15	0.49	166.93	4.03	<u>116.88</u>	<u>5.01</u>
Handle	1,200	72.02	0.11	82.40	2.44	<u>92.62</u>	<u>3.97</u>	103.00	0.80	<u>92.62</u>	<u>3.97</u>
	1,600	93.38	1.26	<u>106.66</u>	<u>6.17</u>	119.93	1.09	133.36	0.88	<u>106.66</u>	<u>6.17</u>
	2,000	116.88	3.40	<u>133.51</u>	<u>4.81</u>	150.15	1.75	166.93	2.82	<u>133.51</u>	<u>4.81</u>
Chest	1,200	--	--	--	--	--	--	--	--	<u>10.07</u>	<u>0.13</u>
	1,600	--	--	--	--	--	--	--	--	<u>13.28</u>	<u>0.05</u>
	2,000	--	--	--	--	--	--	--	--	<u>16.63</u>	<u>0.09</u>

ตารางที่ 10 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนในทิศ Z-axis ของแต่ละแอมพลิฟายเออร์ เมื่อรถไถเดินตามล้อยางขณะไม่เคลื่อนที่

Position of accelerometer	Engine speed (rpm)	The Z-axis vibrations in the conditions of tire wheel and stationary.											
		The dominant frequencies (Hz) and the acceleration (m/s ²) at the different location on the rotary power tiller.											
		1		2		3		4		5		6	
		Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²
Top engine	1,200	10.07	0.06	19.99	0.35	30.06	0.57	40.13	0.52	50.05	1.00	60.12	0.24
	1,600	25.94	0.29	38.91	0.74	51.88	1.28	64.70	0.10	75.38	0.15	90.64	0.65
	2,000	33.72	0.26	50.51	1.20	67.44	0.79	84.23	0.77	101.17	1.25	117.95	1.68
Chassis	1,200	10.07	0.06	19.99	0.46	30.06	0.43	<u>40.13</u>	<u>1.07</u>	50.05	0.35	60.12	0.68
	1,600	38.91	1.11	51.88	0.59	64.70	0.83	77.67	0.24	90.64	0.43	103.61	0.35
	2,000	33.72	1.35	50.51	0.47	67.44	1.01	84.23	0.62	101.17	1.13	<u>117.95</u>	<u>2.47</u>
Gear box	1,200	19.99	0.56	30.06	0.17	40.13	0.67	50.05	0.87	60.12	0.16	70.04	0.23
	1,600	12.97	0.06	25.94	0.41	38.91	0.62	<u>51.88</u>	<u>0.75</u>	64.70	0.68	77.67	0.12
	2,000	16.79	0.14	33.72	0.39	50.51	0.99	67.44	2.68	84.23	0.39	101.17	0.41
Case rotary	1,200	20.60	0.64	30.82	0.80	41.20	0.98	51.42	0.67	61.80	0.35	72.02	0.18
	1,600	26.70	0.61	39.98	0.77	53.25	0.90	66.68	0.21	77.52	0.14	93.38	0.57
	2,000	16.63	0.14	33.42	1.32	50.05	0.92	66.68	1.43	83.47	0.40	100.10	0.53
Mid handle	1,200	10.38	0.11	20.60	0.51	30.82	0.95	<u>41.20</u>	<u>2.66</u>	51.42	2.43	61.80	0.75
	1,600	13.28	0.16	26.70	0.46	39.98	2.25	53.25	3.33	66.68	0.60	79.96	0.38
	2,000	16.63	0.19	33.42	1.79	50.05	1.84	66.68	1.00	83.47	2.33	100.10	3.70
Handle	1,200	10.22	0.31	20.60	7.35	30.82	5.11	41.20	4.54	<u>51.42</u>	<u>8.88</u>	61.80	2.84
	1,600	13.28	0.72	26.70	3.27	39.98	6.48	<u>53.25</u>	<u>10.16</u>	66.68	4.12	79.96	0.51
	2,000	16.63	2.79	33.42	4.72	50.05	9.82	<u>66.68</u>	<u>9.88</u>	83.47	4.76	100.10	2.21
Chest	1,200	0.31	0.04	10.17	0.08	<u>19.99</u>	<u>0.14</u>	30.06	0.05	39.98	0.01	50.05	0.01
	1,600	0.15	0.03	13.28	0.04	<u>26.70</u>	<u>0.07</u>	39.98	0.03	--	--	--	--
	2,000	0.15	0.02	16.63	0.02	<u>33.11</u>	<u>0.05</u>	49.74	0.01	--	--	--	--

ตารางที่ 10 (ต่อ)

Position of accelerometer	Engine speed (rpm)	The Z-axis vibrations in the conditions of tire wheel and stationary.									
		The dominant frequencies (Hz) and the acceleration (m/s ²) at the different location on the rotary power tiller.									
		7		8		9		10		Peak	
		Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²	Hz	m/s ²
Top engine	1,200	70.04	0.07	80.11	0.23	90.18	0.32	100.10	0.48	<u>160.22</u>	<u>1.25</u>
	1,600	103.61	1.01	116.58	2.15	129.55	1.64	142.52	1.43	<u>207.21</u>	<u>2.08</u>
	2,000	134.74	2.36	<u>151.67</u>	<u>2.78</u>	168.46	1.59	185.24	0.64	<u>151.67</u>	<u>2.78</u>
Chassis	1,200	70.04	0.46	80.11	0.27	90.18	0.26	100.10	0.36	<u>40.13</u>	<u>1.07</u>
	1,600	<u>116.58</u>	<u>2.22</u>	129.55	1.14	142.52	1.21	155.49	0.25	<u>116.58</u>	<u>2.22</u>
	2,000	134.74	1.15	151.67	0.73	168.46	0.94	185.24	0.82	<u>117.95</u>	<u>2.47</u>
Gear box	1,200	80.11	0.10	90.18	0.04	100.10	0.12	110.17	0.11	<u>120.24</u>	<u>0.29</u>
	1,600	90.64	0.14	103.61	0.26	116.58	0.72	129.55	0.30	<u>51.88</u>	<u>0.75</u>
	2,000	117.95	0.72	134.74	0.30	151.67	0.20	168.46	0.22	<u>185.24</u>	<u>0.29</u>
Case rotary	1,200	82.40	0.30	92.62	0.09	103.00	0.12	113.22	0.58	<u>185.24</u>	<u>1.82</u>
	1,600	106.66	0.28	119.93	1.33	133.36	0.79	<u>146.64</u>	<u>2.04</u>	<u>146.64</u>	<u>2.04</u>
	2,000	116.88	1.96	133.51	1.50	150.15	1.30	166.93	1.99	<u>183.56</u>	<u>3.47</u>
Mid handle	1,200	72.02	0.79	82.40	2.20	92.62	0.62	103.00	0.39	<u>41.20</u>	<u>2.66</u>
	1,600	<u>93.38</u>	<u>3.70</u>	106.66	1.34	119.93	1.82	133.36	1.18	<u>93.38</u>	<u>3.70</u>
	2,000	116.88	1.33	<u>133.51</u>	<u>7.31</u>	150.15	1.06	166.93	5.83	<u>133.51</u>	<u>7.31</u>
Handle	1,200	72.02	1.96	82.40	3.07	92.62	0.37	103.00	0.30	<u>51.42</u>	<u>8.88</u>
	1,600	93.38	4.40	106.66	2.35	119.93	0.24	133.36	1.86	<u>53.25</u>	<u>10.16</u>
	2,000	116.88	2.50	133.51	6.34	150.15	0.93	166.93	1.58	<u>66.68</u>	<u>9.88</u>
Chest	1,200	--	--	--	--	--	--	--	--	<u>19.99</u>	<u>0.14</u>
	1,600	--	--	--	--	--	--	--	--	<u>26.70</u>	<u>0.07</u>
	2,000	--	--	--	--	--	--	--	--	<u>33.11</u>	<u>0.05</u>

จากการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนระหว่างกรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กและล้อยาง แสดงให้เห็นว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 11) กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กมีค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนสูงกว่ากรณีรถไถเดินตามล้อยางทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์ (ภาพที่ 38d และ 39d)

1.1.4 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุน (Chain sprocket case of rotary) ขณะไม่เคลื่อนที่

การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กพบว่า ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 4.52, 10.38 และ 13.52 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 38d) กรณีรถไถเดินตามล้อยางค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 5.01, 7.60 และ 9.91 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 39d) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนแปรผันตามความเร็วรอบเครื่องยนต์

การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุนมีความซับซ้อนมาก เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางพบว่า เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) และสั่นสะเทือนน้อยที่สุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) สาเหตุที่ทำให้การสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตามมีค่าสูงสุดเนื่องจากชุดอุปกรณ์ไถจอบหมุนที่ติดตั้งกับโครงเหล็กรถไถเดินตาม มีลักษณะเป็นคานยันและคล้ายหางเสือ (Rudder) จึงส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวขวางของรถไถเดินตาม การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนระหว่างกรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กและล้อยาง แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 11)

1.1.5 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งกึ่งกลางคันบังคับรถไถเดินตาม (Mid handle) ขณะไม่เคลื่อนที่

การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งกึ่งกลางคันบังคับรถไถเดินตามที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กพบว่า ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 4.85, 5.12 และ 5.86 m/s^2 ตามลำดับ กรณีรถไถเดินตามล้อยางค่าความเร่ง

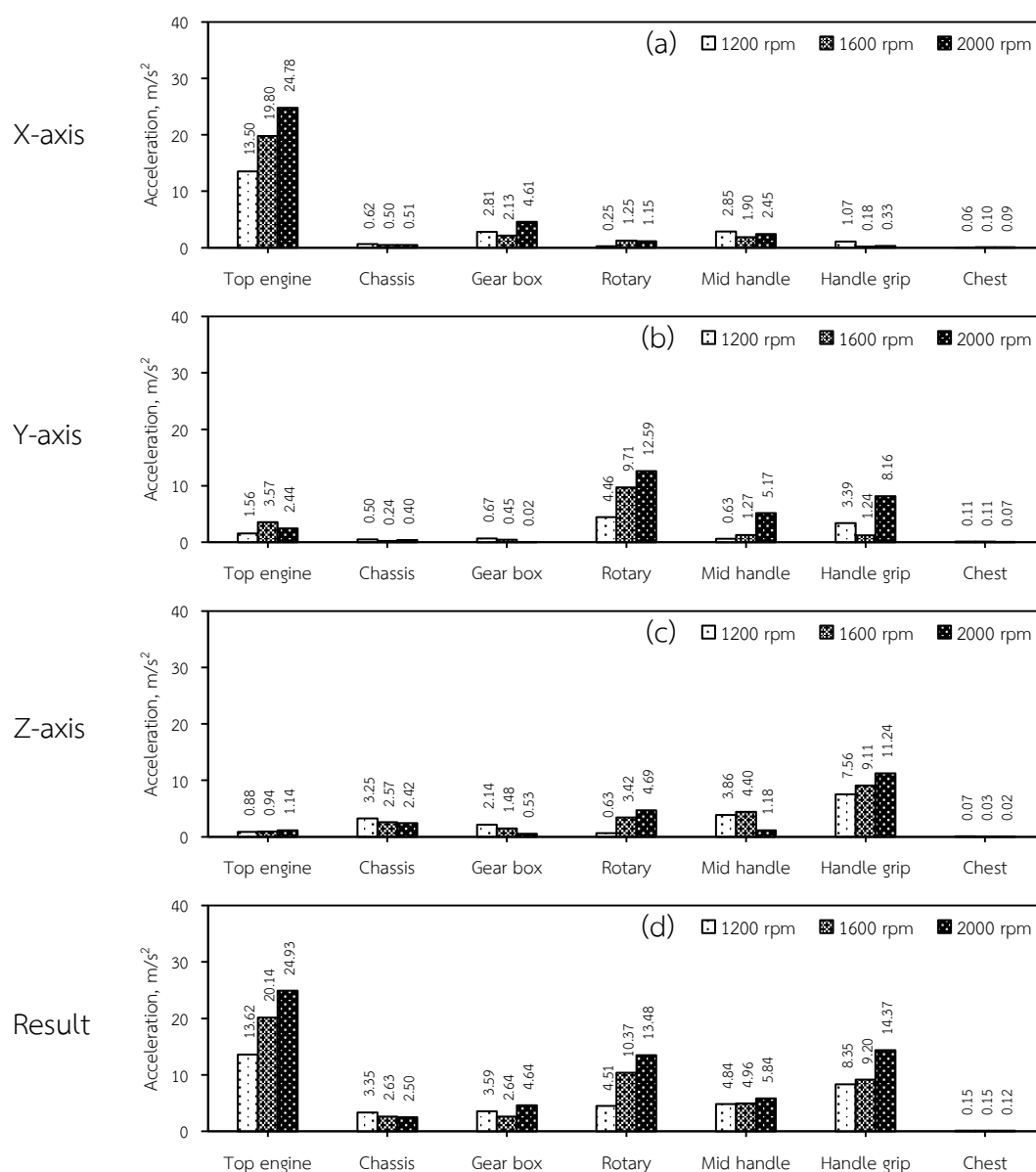
ลัพท์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 2.96, 5.58 และ 7.42 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 38d และ 39d) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือนแปรผันตามความเร็วรอบเครื่องยนต์

พิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางพบว่า ที่ตำแหน่งกึ่งกลางคันบังคับรถไถเดินตามสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวตั้ง (Z-axis) และสั่นสะเทือนน้อยที่สุดในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis) ดังแสดงในภาพที่ 38 และ 39 และตารางที่ 12, 13 และ 14 การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าปัจจัยความเร็วรอบเครื่องยนต์ส่งผลต่อค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งกึ่งกลางคันบังคับรถไถเดินตามอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร่งลัพท์การสั่นสะเทือนระหว่างกรณีล้อเหล็กและล้อยาง แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 11)

1.1.6 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตาม (Handle grip) ขณะไม่เคลื่อนที่

การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตามที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กพบว่า ค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 8.97, 9.80 และ 15.57 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 38d) กรณีรถไถเดินตามล้อยาง ค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 9.68, 12.89 และ 11.86 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 39d) จากการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือนทั้งสามความเร็วรอบเครื่องยนต์ พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 11) และพบว่าความเร็วรอบเครื่องยนต์มีผลต่อระดับค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตาม

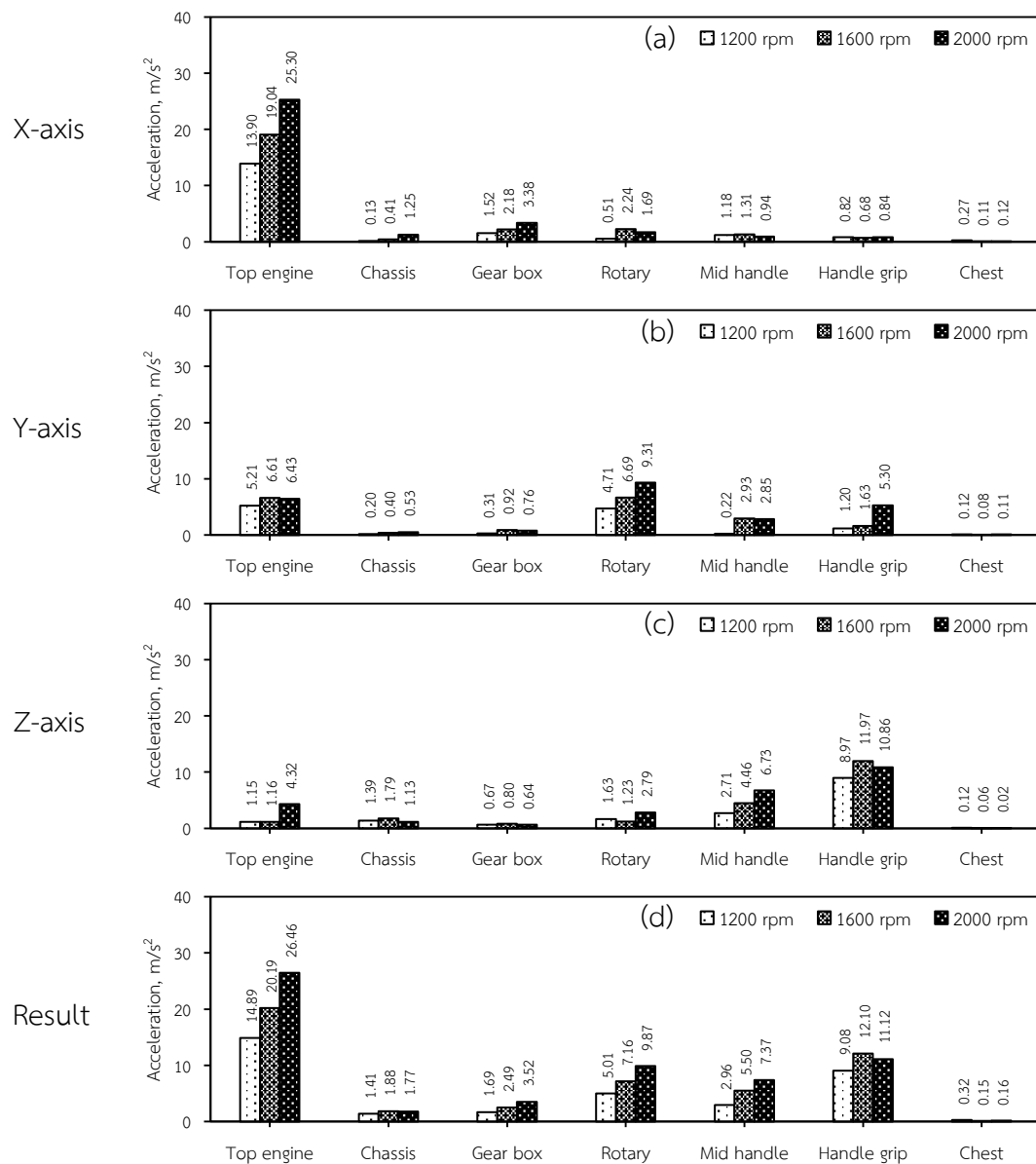
ผลการทดลองขณะรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทาง (X-axis, Y-axis และ Z-axis) ที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตามกรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กและรถไถเดินตามล้อยาง พบว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวตั้ง (Z-axis) และสั่นสะเทือนน้อยที่สุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) ตามลำดับ (ภาพที่ 38 และ 39) จากการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือนระหว่างกรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กและล้อยาง แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 11) และผลการวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตามระหว่างมีผู้ควบคุมและไม่มีผู้ควบคุมรถไถเดินตาม



ภาพที่ 38 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ บนรถไถเดินตาม กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่

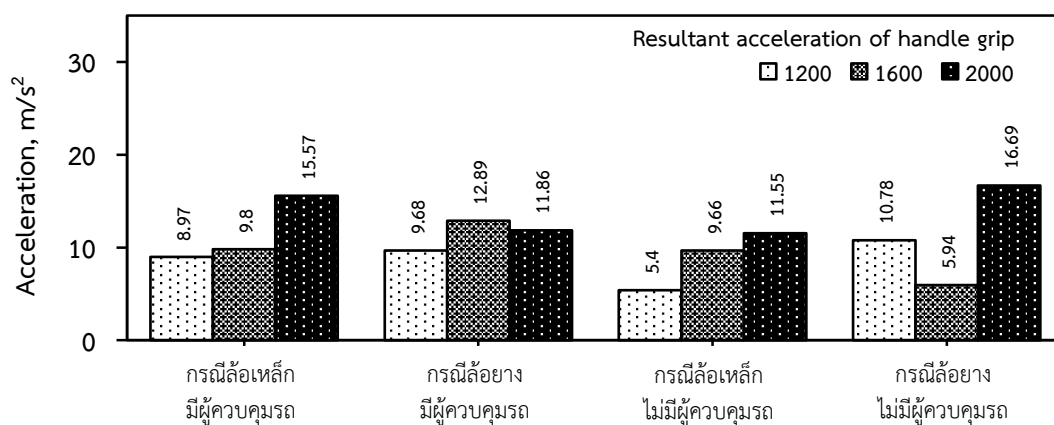
ทั้งกรณีล้อเหล็กและล้อยาง (ภาพที่ 40) แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางผนวกที่ ก1)

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติการสั่นสะเทือนที่แต่ละตำแหน่งบนรถไถเดินตาม (ตารางที่ 15) แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งที่เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดสามอันดับแรกเรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ ตำแหน่งพืบบเครื่องยนต์ ตำแหน่งค้ำมือจับ และตำแหน่งห้องเพ็องโซ่เครื่องพรวนจอบหมุน



ภาพที่ 39 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ บนรถไถเดินตาม กรณีรถไถเดินตามล้อยางเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่

ตามลำดับ และที่ตำแหน่งโครงเหล็กกรไถเดินตามเกิดการสั่นสะเทือนน้อยที่สุด และยืนยันอย่างชัดเจนว่าความเร็วรอบเครื่องยนต์ เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม โดยการสั่นสะเทือนมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 40 ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตามเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่ระหว่างมีควบคุมและไม่มีผู้ควบคุมรถไถเดินตาม

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของปัจจัย ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และชนิดล้อรถไถเดินตามที่มีผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ ของรถไถเดินตามเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่

ชนิดล้อ	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)	ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม, m/s ²						
		Top engine	Chassis	Gear box	Rotary	Mid handle	Handle grip	Chest
ล้อเหล็ก	1,200	13.64	3.35	3.60	4.52	4.85	8.97	0.16
	1,600	20.17	2.63	2.65	10.38	5.12	9.80	0.16
	2,000	24.99	2.51	4.64	13.52	5.86	15.57	0.12
ล้อยาง	1,200	14.90	1.41	1.75	5.01	2.96	9.68	0.32
	1,600	20.25	1.90	2.60	7.60	5.58	12.89	0.16
	2,000	27.02	1.84	3.63	9.91	7.42	11.86	0.16
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก		19.60 a	2.83 b	3.63 b	9.47 a	5.28 a	11.45 a	0.15 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง		20.72 a	1.72 a	2.66 a	7.51 a	5.32 a	11.48 a	0.21 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1200 rpm		14.27 a	2.38 a	2.68 a	4.77 a	3.91 a	9.33 a	0.24 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 rpm		20.21 b	2.27 a	2.63 a	8.99 b	5.35 b	11.35 b	0.16 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm		26.01 c	2.18 a	4.14 b	11.72 c	6.64 c	13.72 b	0.14 a

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis) เจื่อนไข่มไเคลื่อนที่

ชนิดล้อ	ความเร็วรอบ เครื่องยนต์ (rpm)	ค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแนว X-axis ของรถไถเดินตาม, m/s^2						
		Top engine	Chassis	Gear box	Rotary	Mid handle	Handle grip	Chest
ล้อเหล็ก	1,200	13.50	0.62	2.81	0.25	2.85	1.07	0.06
	1,600	19.80	0.50	2.13	1.25	1.90	0.18	0.10
	2,000	24.78	0.51	4.61	1.15	2.45	0.33	0.09
ล้อยาง	1,200	13.90	0.13	1.52	0.51	1.18	0.82	0.27
	1,600	19.04	0.41	2.18	2.24	1.31	0.68	0.11
	2,000	25.30	1.25	3.38	1.69	0.94	0.84	0.12
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก		19.36 a	0.54 a	3.18 a	0.88 a	2.40 b	0.53 a	0.08 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง		19.41 a	0.60 a	2.36 a	1.48 a	1.14 a	0.78 a	0.17 b
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1200 rpm		13.70 a	0.38 a	2.16 a	0.38 a	2.01 a	0.94 b	0.16 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 rpm		19.42 b	0.45 a	2.15 a	1.75 a	1.61 a	0.43 a	0.10 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm		25.04 c	0.88 b	3.99 b	1.42 a	1.70 a	0.58 ab	0.11 a

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เจื่อนไข่มไเคลื่อนที่

ชนิดล้อ	ความเร็วรอบ เครื่องยนต์ (rpm)	ค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแนว Y-axis ของรถไถเดินตาม, m/s^2						
		Top engine	Chassis	Gear box	Rotary	Mid handle	Handle grip	Chest
ล้อเหล็ก	1,200	1.56	0.50	0.67	4.46	0.63	3.39	0.11
	1,600	3.57	0.24	0.45	9.71	1.27	1.24	0.11
	2,000	2.44	0.40	0.02	12.59	5.17	8.16	0.07
ล้อยาง	1,200	5.21	0.20	0.31	4.71	0.22	1.20	0.12
	1,600	6.61	0.40	0.92	6.69	2.93	1.63	0.08
	2,000	6.43	0.53	0.76	9.31	2.85	2.23	0.11
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก		2.52 a	0.38 a	0.38 a	8.92 a	2.36 a	4.27 a	0.10 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง		6.08 b	0.38 a	0.66 a	6.90 a	2.00 a	1.69 a	0.10 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1200 rpm		3.38 a	0.35 a	0.49 a	4.59 a	0.43 a	2.30 ab	0.12 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 rpm		5.09 a	0.32 a	0.68 a	8.20 b	2.10 b	1.43 a	0.09 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm		4.43 a	0.46 a	0.39 a	10.95 c	4.01 c	5.20 b	0.09 a

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแนวดิ่งของรถไถเดินตาม (Z-axis) เงื่อนไขไม่เคลื่อนที่

ชนิดล้อ	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)	ค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแนว Z-axis ของรถไถเดินตาม, m/s^2						
		Top engine	Chassis	Gear box	Rotary	Mid handle	Handle grip	Chest
ล้อเหล็ก	1,200	0.88	3.25	2.14	0.63	3.86	7.56	0.07
	1,600	0.94	2.57	1.48	3.42	4.40	9.11	0.03
	2,000	1.14	2.42	0.53	4.69	1.18	11.82	0.02
ล้อยาง	1,200	1.15	1.39	0.67	1.63	2.71	8.97	0.12
	1,600	1.16	1.79	0.80	1.23	4.46	11.97	0.06
	2,000	4.32	1.13	0.64	2.79	6.73	10.86	0.02
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก		0.98 a	2.75 b	1.39 b	2.91 a	3.15 a	9.49 a	0.04 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง		2.21 a	1.43 a	0.70 a	1.89 a	4.63 a	10.60 a	0.07 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1200 rpm		1.01 a	2.32 a	1.40 b	1.13 a	3.28 a	8.26 a	0.10 b
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 rpm		1.05 a	2.18 a	1.14 ab	2.33 a	4.43 a	10.54 b	0.05 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm		2.73 a	1.78 a	0.59 a	3.74 b	3.95 a	11.34 b	0.02 a

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของปัจจัย ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และชนิดล้อรถไถเดินตามที่มีผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่

ชนิดล้อ	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)	ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม, m/s^2						
		Top engine	Chassis	Gear box	Rotary	Mid handle	Handle grip	Chest
ล้อเหล็ก	1,200	13.64	3.35	3.60	4.52	4.85	8.97	0.16
	1,600	20.17	2.63	2.65	10.38	5.12	9.80	0.16
	2,000	24.99	2.51	4.64	13.52	5.86	15.57	0.12
ล้อยาง	1,200	14.90	1.41	1.75	5.01	2.96	9.68	0.32
	1,600	20.25	1.90	2.60	7.60	5.58	12.89	0.16
	2,000	27.02	1.84	3.63	9.91	7.42	11.86	0.16
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก								7.49 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง								7.09 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1200 rpm								5.37 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 rpm								7.28 b
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm								9.22 c

ตารางที่ 15 (ต่อ)

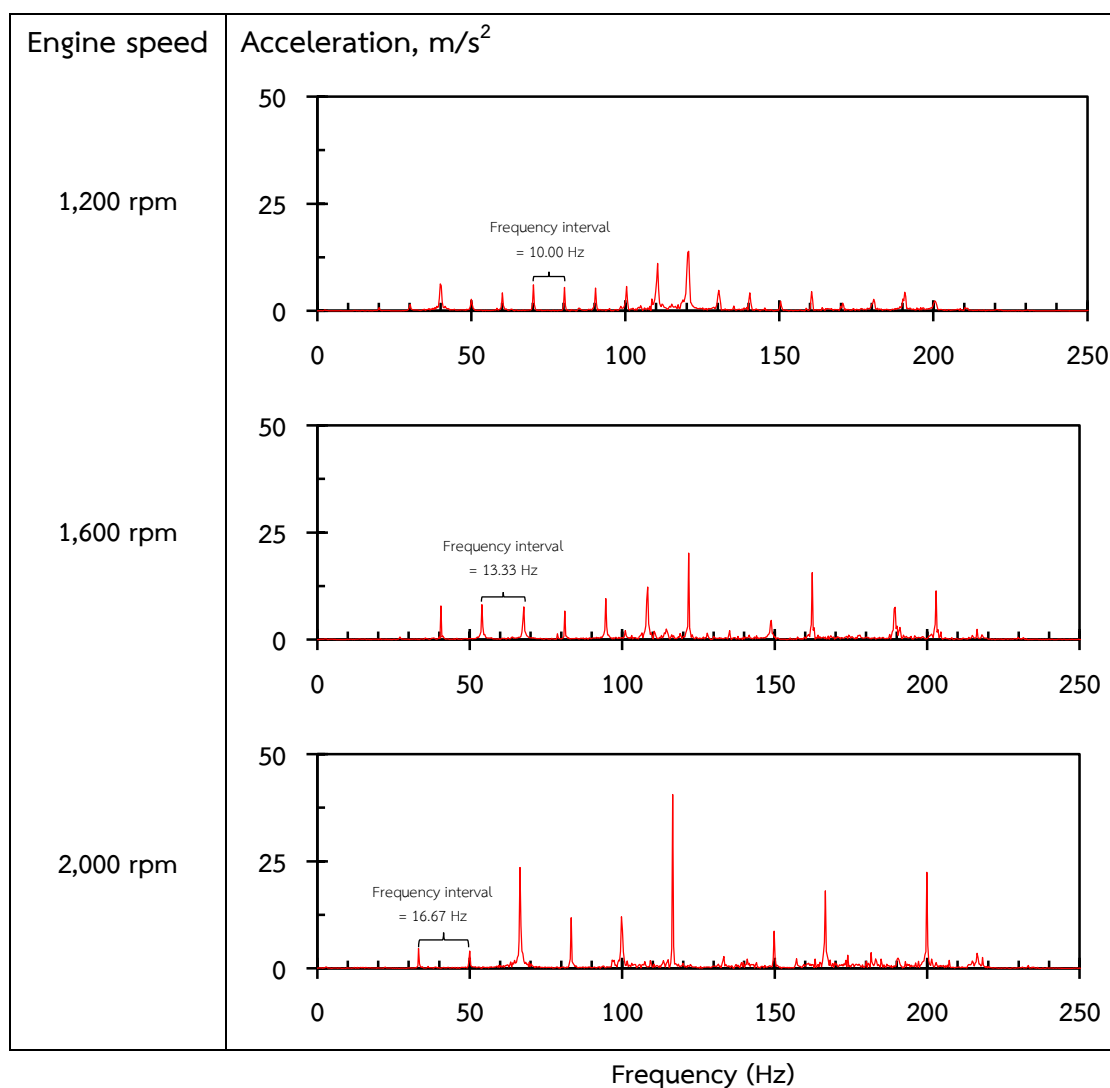
ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม, m/s^2	
ตำแหน่ง Top engine	20.16 g
ตำแหน่ง Chassis	2.27 b
ตำแหน่ง Gear box	3.15 c
ตำแหน่ง Rotary gear box	8.49 e
ตำแหน่ง Mid handle	5.30 d
ตำแหน่ง Handle grip	11.46 f
ตำแหน่ง Chest	0.18 a

2. การสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามเงื่อนไขเคลื่อนที่ (Transportation condition)

เพื่อศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ บนรถไถเดินตาม เงื่อนไขขณะรถไถเดินตามวิ่ง ดังนั้นจึงทำการวัดค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนบนรถไถเดินตามเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง (Transportation on road) และเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม (Transportation off road) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm

2.1 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ ของรถไถเดินตามเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง (Transportation on road condition)

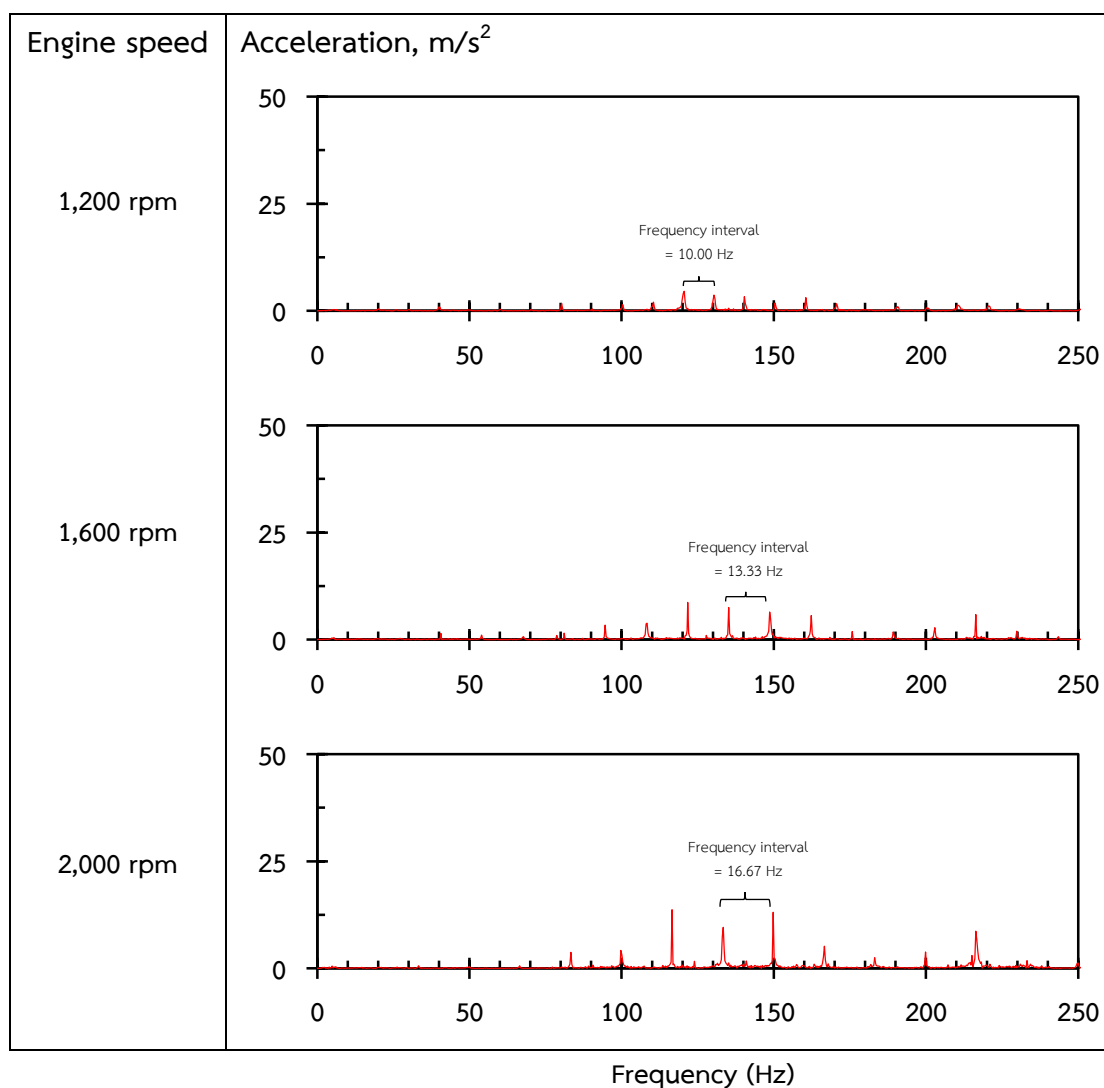
สเปกตรัมความเร่งของการสั่นสะเทือนทั้ง 3 ทิศทาง (ภาพที่ 41 ถึง 44) แสดงให้เห็นลักษณะการสั่นสะเทือนแบบ Harmonic เช่นเดียวกันกับกรณีการสั่นสะเทือนในเงื่อนไขรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ ภาพที่ 41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ของรถไถเดินตามล้อเหล็ก (Cage wheels) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนมีขนาดสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 13.91, 20.22 และ 40.57 m/s^2 ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ตามลำดับ ซึ่งปรากฏที่ค่าความถี่การสั่นสะเทือน 120.54, 121.77 และ 116.58 Hz ตามลำดับ โดยยังคงแสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนมีค่าสูงขึ้นแปรผันตามความเร็วรอบเครื่องยนต์ที่เพิ่มขึ้น และเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นพบว่า ช่วงความถี่ระหว่างแอมพลิจูด (Amplitude) เพิ่มขึ้นด้วย ซึ่งมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 10.00, 13.33 และ 16.67 Hz ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ตามลำดับ



ภาพที่ 41 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง

ภาพที่ 42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ของรถไถเดินตามล้อเหล็ก เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งสูงสุดของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 4.58, 8.66 และ 13.73 m/s^2 ปรากฏที่ความถี่ 120.54, 121.77 และ 116.58 Hz ตามลำดับ

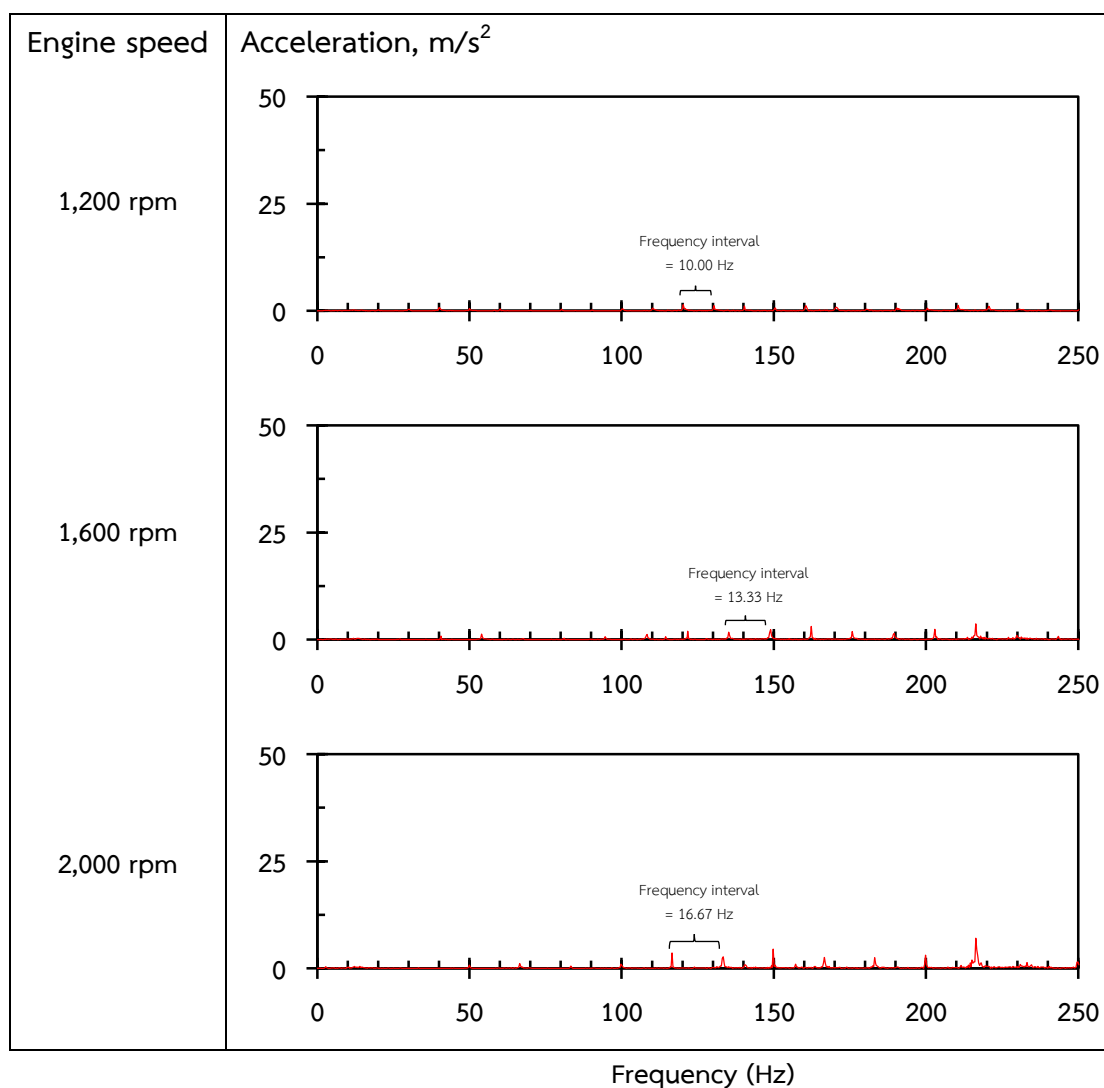
ภาพที่ 43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ของรถไถเดินตามล้อเหล็ก เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง ผล



ภาพที่ 42 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) ที่ตำแหน่งพืบบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อหลักเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง

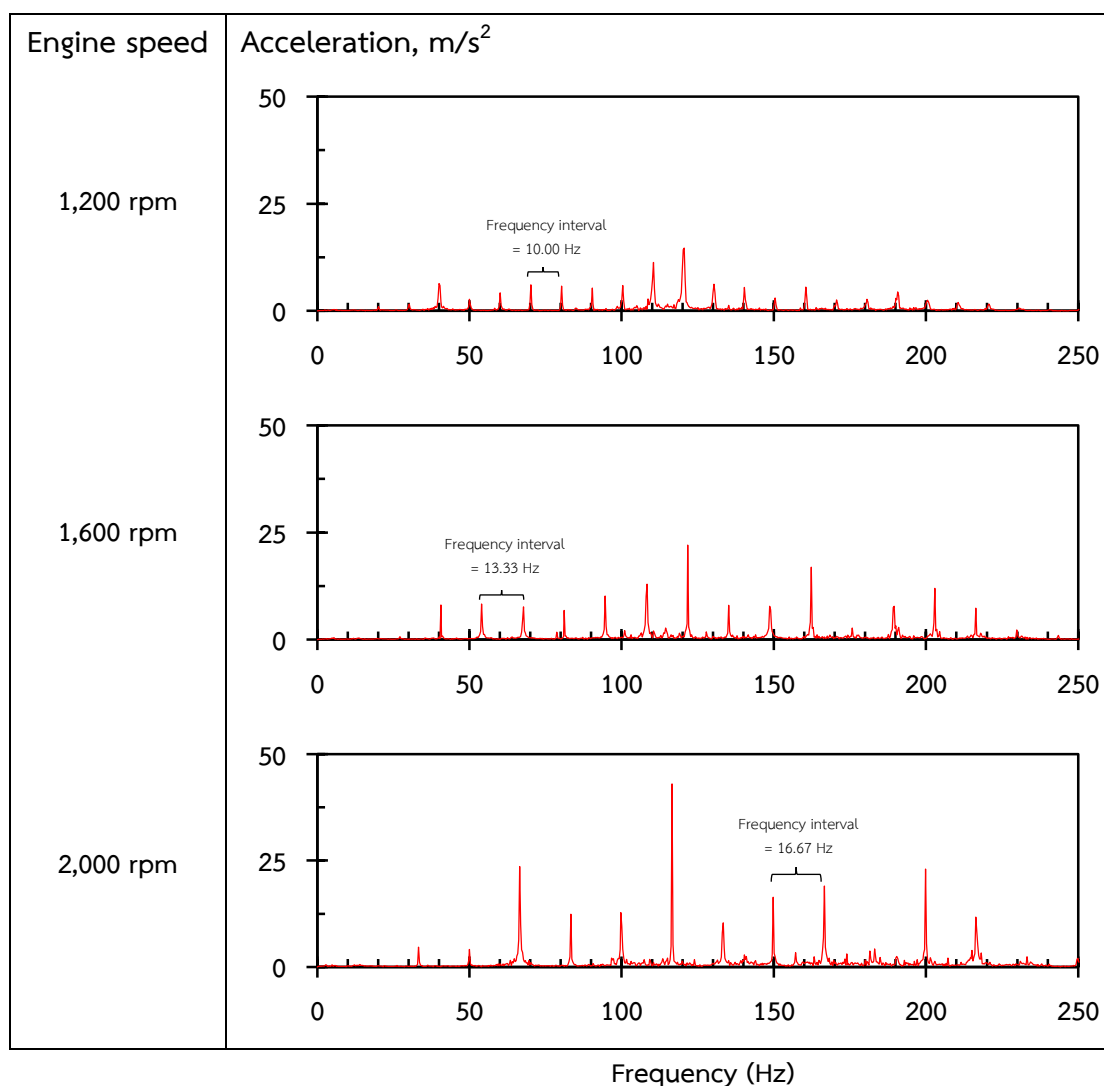
การทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งสูงสุดของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 1.43, 3.67 และ 7.04 m/s^2 ซึ่งปรากฏที่ความถี่ 120.24, 216.37 และ 216.37 Hz ตามลำดับ

2.1.1 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งพืบบนเครื่องยนต์ (Top engine) เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง



ภาพที่ 43 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Z-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง

ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์เป็นตำแหน่งที่มีค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนสูงสุด เมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งอื่นๆ บนรถไถเดินตาม เนื่องจากเครื่องยนต์ต้นกำลังเป็นแหล่งกำเนิดการสั่นสะเทือนหลักของรถไถเดินตาม ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กพบว่า ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 17.04, 22.00 และ 36.51 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 45d) และกรณีล้อยางพบว่าค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 12.56, 18.82 และ 29.31 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 46) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการสั่นสะเทือนมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 44 สเปกตรัมของค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็ก เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง

กรณีล้อเหล็ก (ภาพที่ 45) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 15.97, 21.31 และ 35.33 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 5.79, 5.26 และ 8.93 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) เท่ากับ 1.45, 1.58 และ 2.28 m/s^2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางพบว่า เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม และสั่นสะเทือนน้อยที่สุดในแนวดิ่ง ซึ่งแนวการเคลื่อนที่ (X-axis) และแนวดิ่ง (Z-axis) ของรถไถเดินตามสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนว

ตารางที่ 16 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุด เงื่อนไขรถไถเดินตามล้อเหล็กเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง

Position	Engine speed (rpm)	Dominant frequencies (Hz) and accelerations (m/s ²)				
		Hz	A _x	A _y	A _z	Resultant
Top engine	1,200	120.54	13.91	4.58	1.43	14.71
	1,600	121.77	20.22	8.66	1.52	22.05
	2,000	116.58	40.57	13.73	3.44	42.97
Chassis	1,200	40.28	0.02	0.04	1.46	1.46
	1,600	40.59	0.47	0.16	1.94	2.00
	2,000	116.58	1.11	0.93	3.48	3.77
Gear box	1,200	60.12	0.97	1.26	0.38	1.63
	1,600	121.77	0.26	1.89	0.79	2.06
	2,000	116.58	0.82	3.68	3.72	5.30
Rotary	1,200	120.24	0.33	3.35	0.74	3.45
	1,600	119.63	0.25	6.71	0.38	6.73
	2,000	166.32	2.15	9.82	3.04	10.50
Mid handle	1,200	120.24	0.87	2.34	2.22	3.34
	1,600	53.10	1.33	0.37	4.54	4.75
	2,000	382.39	1.73	1.66	4.82	5.38
Handle grip	1,200	50.05	0.59	2.02	10.58	10.79
	1,600	53.10	0.23	3.79	18.21	18.60
	2,000	33.26	0.57	4.26	10.49	11.34
Chest	1,200	0.31	0.49	1.00	0.39	1.18
	1,600	0.31	0.43	0.44	0.39	0.73
	2,000	0.61	0.12	0.82	0.04	0.83

ขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) ไม่แสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

ตารางที่ 17 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุด เงื่อนไขรถไถเดินตามล้อ ยางเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง

Position	Engine speed (rpm)	Dominant frequencies (Hz) and accelerations (m/s ²)				
		Hz	A _x	A _y	A _z	Resultant
Top engine	1,200	100.86	10.83	0.32	0.15	10.84
	1,600	53.41	17.90	0.73	3.02	18.17
	2,000	116.73	26.34	7.43	2.10	27.45
Chassis	1,200	40.28	0.06	0.07	1.23	1.23
	1,600	53.41	0.99	0.59	2.84	3.06
	2,000	116.73	0.64	0.33	2.08	2.20
Gear box	1,200	50.51	2.21	0.04	0.03	2.21
	1,600	53.41	3.91	0.67	0.37	3.98
	2,000	116.73	2.60	1.58	0.55	3.09
Rotary	1,200	149.38	0.29	3.50	2.13	4.11
	1,600	159.45	0.55	7.39	5.01	8.95
	2,000	116.12	0.96	9.65	4.29	10.60
Mid handle	1,200	39.98	1.10	0.04	2.28	2.53
	1,600	53.10	2.13	0.98	4.96	5.49
	2,000	165.86	1.66	2.34	5.56	6.26
Handle grip	1,200	39.98	0.05	1.64	10.87	10.99
	1,600	53.10	0.60	5.49	22.20	22.88
	2,000	49.74	1.36	2.77	10.40	10.85
Chest	1,200	0.46	0.07	0.51	0.17	0.54
	1,600	0.46	0.21	0.87	0.32	0.95
	2,000	0.61	0.19	0.96	0.40	1.06

กรณีล้อยาง (ภาพที่ 46) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 12.48, 18.55 และ 28.13 m/s² ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 1.41, 0.58 และ 7.95 m/s² ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนใน

แนวตั้ง (Z-axis) เท่ากับ 0.40, 3.11 และ 2.19 m/s^2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางพบว่า เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม และสั่นสะเทือนน้อยที่สุดในแนวตั้ง ซึ่งการสั่นสะเทือนในแนวตั้งของรถไถเดินตามมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าขณะที่รถไถเดินตามวิ่งบนถนนลาดยางและแปลงเกษตรกรรม การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งพนักเครื่องยนต์ได้รับอิทธิพลหลักจากเครื่องยนต์ที่กำลังและยังคงเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis) ซึ่งสอดคล้องกับกรณีการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามขณะไม่เคลื่อนที่ (Stationary condition) อย่างไรก็ตาม ในขณะที่รถไถเดินตามวิ่งบนถนนลาดยาง เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งพนักเครื่องยนต์ระหว่างกรณีล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็กและล้อยาง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 18 และ 19) แสดงว่าปัจจัยของล้อรถไถเดินตามไม่ส่งผลทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกันขณะรถไถเดินตามล้อเหล็กและรถไถเดินตามล้อยางวิ่งบนถนนลาดยาง

2.1.2 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งโครงเหล็กกรไถเดินตาม (Chassis) เนื่องจากการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง

การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งโครงเหล็กกรไถเดินตามในแต่ละทิศทาง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กพบว่า ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 1.80, 1.84 และ 3.09 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 45) และกรณีล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยางพบว่าค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 1.43, 3.20 และ 2.83 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 46) จากผลการทดลองของกรณีรถไถเดินตามล้อเหล็ก แสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น

กรณีล้อเหล็ก ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 0.10, 0.52 และ 0.71 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 1.02, 0.34 และ 0.63 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Z-axis) เท่ากับ 1.48, 1.73 และ 2.94 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 45) พิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทาง พบว่าที่ตำแหน่งโครงเหล็กกรไถเดินตามเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวตั้ง และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่ (X-axis) และแนวตั้ง (Z-axis) ของรถไถเดินตาม มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น

กรณีตัวอย่าง (ภาพที่ 46) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 0.06, 1.08 และ 1.30 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 0.06, 0.58 และ 0.49 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Z-axis) เท่ากับ 1.43, 2.95 และ 2.47 m/s^2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทาง แสดงให้เห็นว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวตั้ง (Z-axis)

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ตำแหน่งโครงเหล็กรถไถเดินตามเกิดการสั่นสะเทือนน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับตำแหน่งอื่นๆ บนรถไถเดินตาม สาเหตุเนื่องมาจากตำแหน่งโครงเหล็กรถไถเดินตามมีลักษณะเป็นฐานรองรับแบบลูกกลิ้ง (Roller supports) ดังที่ได้อธิบายไว้ในเงื่อนไขรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ (Stationary condition) การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งโครงเหล็กรถไถเดินตามระหว่างกรณีล้อเหล็กและล้อยางไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 18 และ 19) แสดงให้เห็นว่าชนิดของล้อขับเคลื่อนไม่ส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกัน

2.1.3 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเกียร์รถไถเดินตาม (Gear box) เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง

การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเกียร์รถไถเดินตามที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กพบว่า ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 1.49, 2.21 และ 4.92 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 45) และกรณีตัวอย่างพบว่าค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 1.77, 4.15 และ 3.41 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 46) ผลการทดลองของกรณีรถไถเดินตามที่ล้อเหล็กแสดงให้เห็นว่า ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่วนกรณีรถไถเดินตามล้อยางไม่พบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

กรณีล้อเหล็ก (ภาพที่ 45) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 1.24, 0.25 และ 0.81 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 0.75, 2.09 และ 3.48 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Z-axis) เท่ากับ 0.33, 0.68 และ 3.39 m/s^2 ตามลำดับ

กรณีตัวอย่าง (ภาพที่ 46) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 1.76, 4.07 และ 2.90 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 0.11, 0.64 และ 1.74 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) เท่ากับ 0.20, 0.46 และ 0.48 m/s^2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางพบว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม และต่ำสุดในแนวดิ่ง ซึ่งค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตามและแนวดิ่งสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตามไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเกียร์รถไถเดินตามระหว่างกรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กและล้อยาง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงให้เห็นว่าชนิดล้อของรถไถเดินตามไม่ส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกัน

2.1.4 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุน (Chain sprocket case of rotary) เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง

การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กพบว่า ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 3.82, 5.94 และ 9.91 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 45) และกรณีล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยางพบว่าค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 4.75, 11.64 และ 8.85 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 46) ผลการทดลองของกรณีรถไถเดินตามล้อเหล็ก พบว่าค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่วนกรณีล้อยางพบว่าไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

กรณีล้อเหล็ก (ภาพที่ 45) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 0.28, 0.41 และ 2.28 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 3.77, 5.85 และ 9.41 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) เท่ากับ 0.50, 0.99 และ 2.14 m/s^2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางพบว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวขวางของรถไถเดินตาม และต่ำสุดในแนวการ

เคลื่อนที่รถไถเดินตาม ซึ่งค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนทั้งสามทิศทางมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น

กรณีตัวอย่าง (ภาพที่ 46) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 0.48, 0.78 และ 0.67 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 4.25, 9.26 และ 8.30 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Z-axis) เท่ากับ 2.06, 7.00 และ 3.01 m/s^2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางพบว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวขวางของรถไถเดินตาม และต่ำสุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนทั้งสามทิศทางไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

การวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเพื่องโซ่เครื่องพรวนจอบหมุนระหว่างกรณีล้อเหล็กและล้อยาง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 18 และ 19) แสดงให้เห็นว่าชนิดของล้อขับเคลื่อนไม่ส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกัน

2.1.5 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งกึ่งกลางคันบังคับรถไถเดินตาม (Mid handle) เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง

การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งกึ่งกลางคันบังคับรถไถเดินตามที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กพบว่า ค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 2.62, 3.80 และ 5.51 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 45) และกรณีรถไถเดินตามล้อยางพบว่า ค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 2.31, 5.72 และ 4.93 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 46) ผลการทดลองของกรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กแสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือนสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่วนกรณีล้อยางไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

กรณีล้อเหล็ก ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 0.66, 0.77 และ 1.96 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 2.46, 0.35 และ 1.68 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Z-axis)

เท่ากับ 0.62, 3.70 และ 4.87 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 45) พิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางพบว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวดิ่ง และสั่นสะเทือนน้อยสุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม ซึ่งค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่และแนวดิ่งของรถไถเดินตามสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตามไม่แสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

กรณีตัวอย่าง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 0.59, 2.59 และ 1.09 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 0.06, 1.80 และ 1.59 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) เท่ากับ 2.23, 4.77 และ 4.54 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 46) พิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางพบว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวดิ่ง และต่ำสุดในแนวขวางของรถไถเดินตาม ซึ่งค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนทั้งสามทิศทางไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งกึ่งกลางคันบังคับรถไถเดินตามระหว่างกรณีล้อเหล็กและล้อยาง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 18 และ 19) แสดงให้เห็นว่าชนิดของล้อขับเคลื่อนไม่ส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกัน

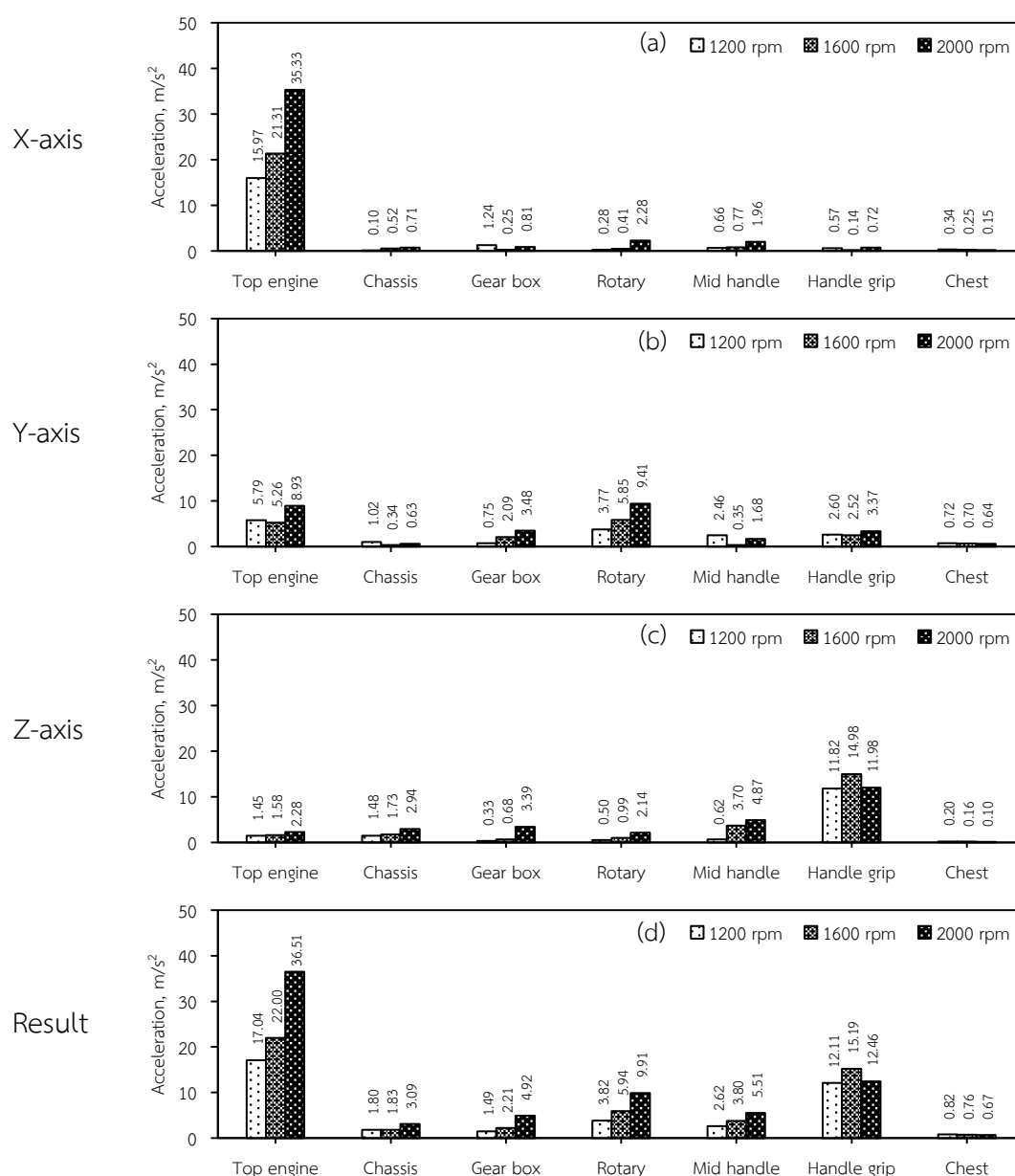
2.1.6 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตาม (Handle grip) เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง

การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตามที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กพบว่า ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 12.12, 15.19 และ 12.46 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 45) และกรณีรถไถเดินตามล้อยางพบว่า ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 10.40, 21.31 และ 10.27 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 46) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

กรณีล้อเหล็ก ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 0.57, 0.14 และ 0.72 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 2.60, 2.52 และ 3.37 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) เท่ากับ 11.82, 14.98 และ 11.98 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 45) เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางพบว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวดิ่งของรถไถเดินตาม (Z-axis) และเกิดการสั่นสะเทือนน้อยที่สุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) ซึ่งค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนทั้งสามทิศทางไม่แสดงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์

กรณีล้อยาง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 0.07, 0.64 และ 1.17 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 2.43, 5.59 และ 3.01 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) เท่ากับ 10.12, 20.55 และ 9.75 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 46) เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางพบว่าในระหว่างการทำงานในลักษณะการขนส่งเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวดิ่งของรถไถเดินตาม (Z-axis) และสั่นสะเทือนน้อยที่สุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) ซึ่งค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตามสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตามและแนวดิ่ง ไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความเร็วยรอบเครื่องยนต์

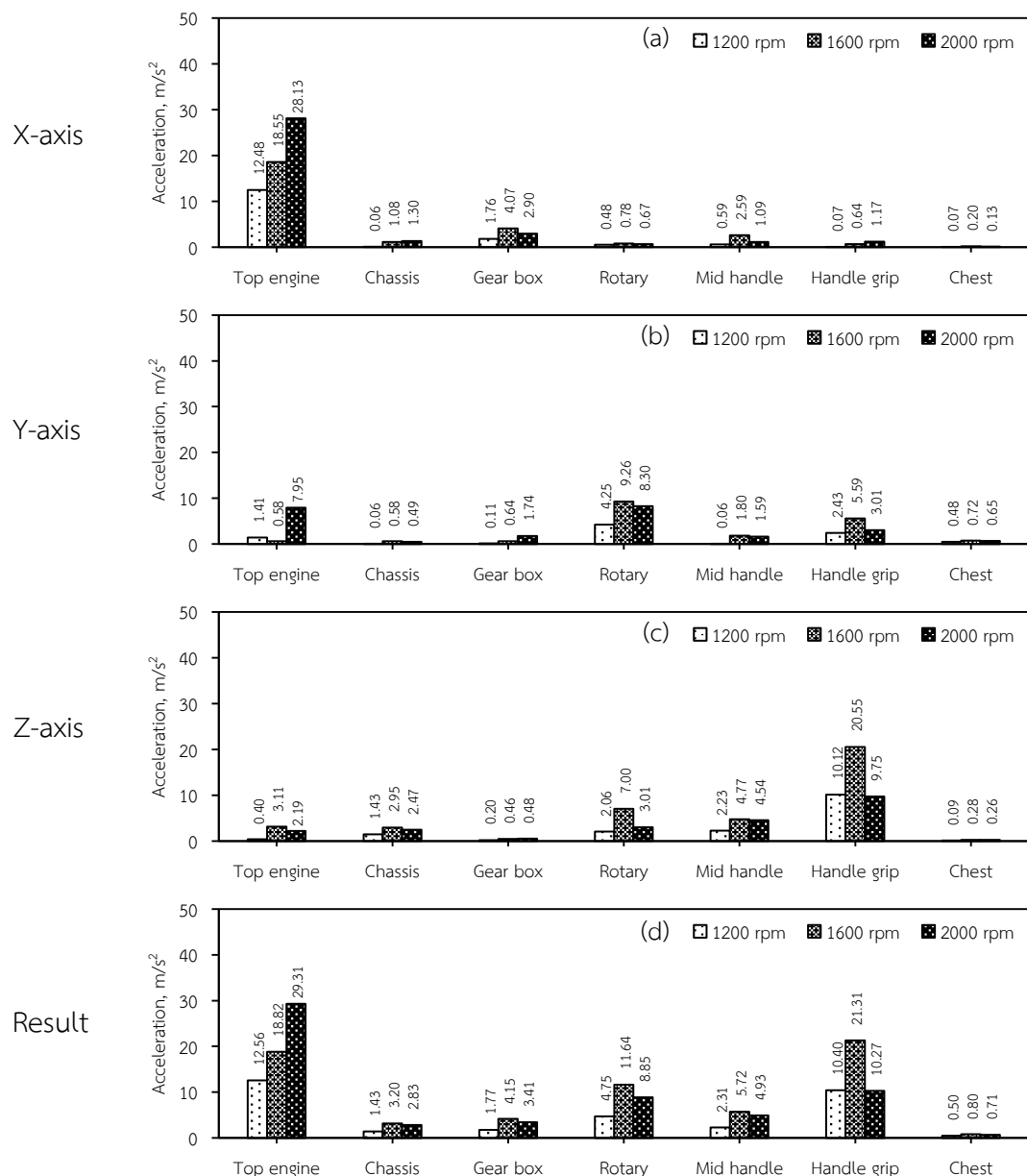
การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตามระหว่างกรณีล้อเหล็กและล้อยาง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 18 และ 19) แสดงให้เห็นว่าชนิดของล้อขับเคลื่อนไม่ส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 45 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ของรถไถเดินตามล้อเหล็กที่เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง

2.1.7 การเปรียบเทียบค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนในทางสถิติของการทดลองเงื่อนไขขณะรถไถเดินตามวังบนถนนลาดยาง (Transport on road condition)

อิทธิพลเนื่องจากความเร็วรอบเครื่องยนต์ ตำแหน่งต่างของรถไถเดินตาม และ ชนิดล้อขับเคลื่อนของรถไถเดินตาม จากการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 18) ค่าเฉลี่ยของความเร่งลัพธ์การสั่นสะเทือนสูงสุดปรากฏที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm และเกิดการสั่นสะเทือนน้อย



ภาพที่ 46 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ของรถไถเดินตามล้อยางที่เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง

ที่สุดที่ 1,200 rpm การวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ค่าความเร่งผลลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm เท่ากับ 5.25, 7.67 และ 9.55 m/s² ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางผนวกที่ ก7) แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์ส่งผลทำให้ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนสูงขึ้น จากการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของชนิดล้อรถไถเดินตามแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยความเร่งผลลัพธ์ของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อเหล็กและล้อยาง เท่ากับ 7.85 และ 7.13 m/s² ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าชนิดล้อรถไถเดิน

ตามไม่มีผลต่อการเกิดการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่แต่ละตำแหน่งบนรถไถเดินตาม แสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนทุกตำแหน่งบนรถไถเดินตามแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 18) โดยพบว่าตำแหน่งพืบบนเครื่องยนต์เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุด เนื่องจากเป็นแหล่งกำเนิดหลักของการสั่นสะเทือน และเกิดการสั่นสะเทือนต่ำสุดที่ตำแหน่งโครงเหล็กกรไถเดินตาม แสดงให้เห็นว่าลักษณะทางโครงสร้างของชิ้นส่วนต่างๆ ของรถไถเดินตามเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน

ตารางที่ 18 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของปัจจัย ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และชนิดล้อรถไถเดินตามที่มีผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามที่เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง

ชนิดล้อ	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)	ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม, m/s^2						
		Top engine	Chassis	Gear box	Rotary	Mid handle	Handle grip	Chest
ล้อเหล็ก	1,200	17.05	1.8	1.49	3.81	2.62	12.12	0.82
	1,600	22.01	1.84	2.21	5.9	3.8	15.19	0.81
	2,000	36.51	3.09	4.93	10.26	5.51	12.47	0.67
ล้อยาง	1,200	12.57	1.43	1.77	4.75	2.31	10.41	0.50
	1,600	18.82	3.19	4.15	1.63	5.72	21.31	0.80
	2,000	29.31	2.83	3.42	8.85	4.93	10.27	0.71
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก								7.85 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง								7.13 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1200 rpm								5.25 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 rpm								7.67 b
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm								9.55 c
ตำแหน่ง Top engine								22.71 f
ตำแหน่ง Chassis								2.36 b
ตำแหน่ง Gear box								3.00 bc
ตำแหน่ง Rotary								5.87 d
ตำแหน่ง Mid handle								4.15 c
ตำแหน่ง Handle grip								13.63 e
ตำแหน่ง Chest								0.72 a

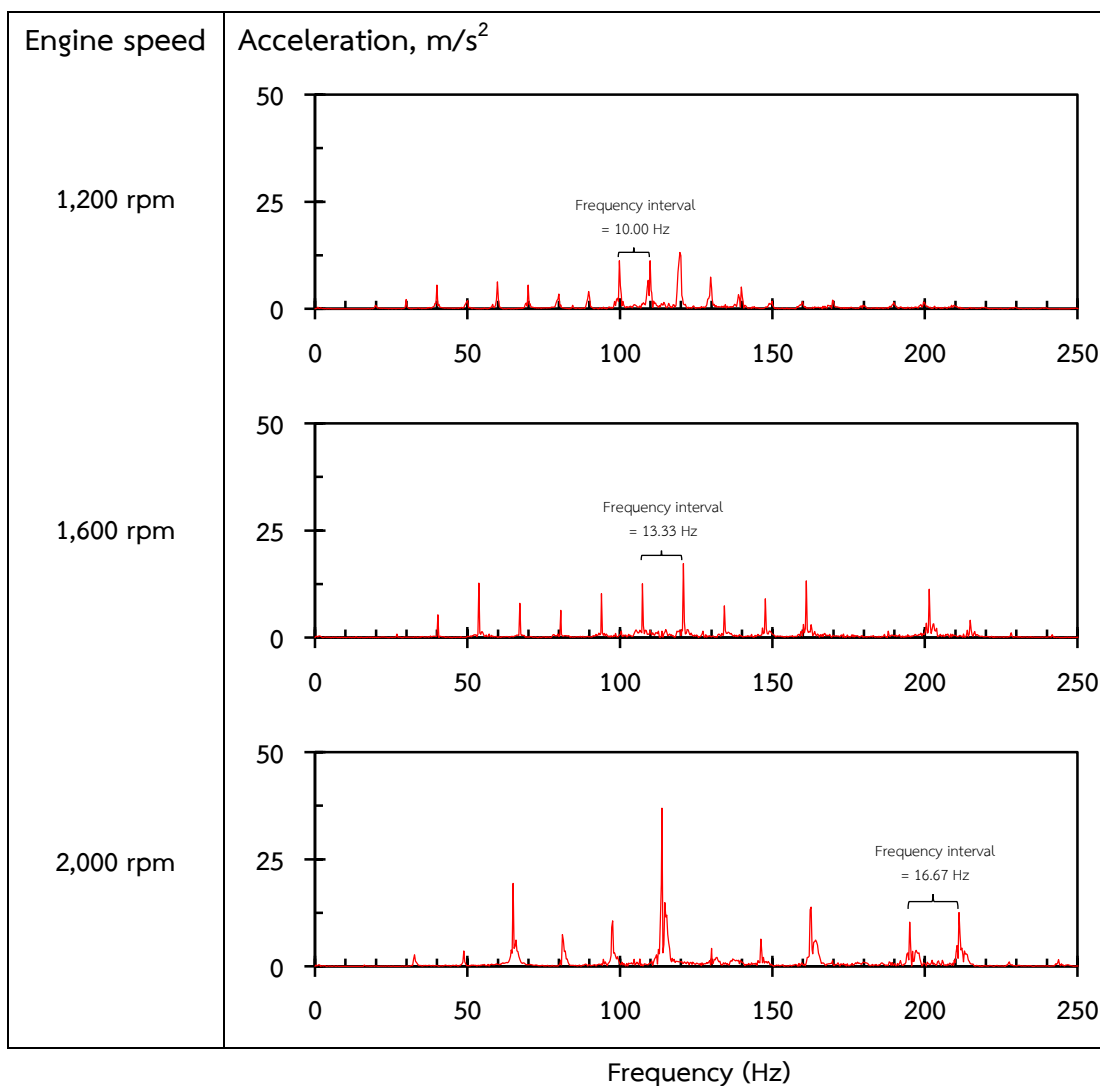
ตารางที่ 19 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของปัจจัย ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และชนิดล้อรถไถเดินตามที่มีผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ ของรถไถเดินตามที่ใช้เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง

ชนิดล้อ	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)	ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม, m/s^2						
		Top engine	Chassis	Gear box	Rotary	Mid handle	Handle grip	Chest
ล้อเหล็ก	1,200	17.05	1.8	1.49	3.81	2.62	12.12	0.82
	1,600	22.01	1.84	2.21	5.9	3.8	15.19	0.81
	2,000	36.51	3.09	4.93	10.26	5.51	12.47	0.67
ล้อยาง	1,200	12.57	1.43	1.77	4.75	2.31	10.41	0.50
	1,600	18.82	3.19	4.15	1.63	5.72	21.31	0.80
	2,000	29.31	2.83	3.42	8.85	4.93	10.27	0.71
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก		25.19 a	2.24 a	2.88 a	6.66 a	3.98 a	13.26 a	0.77 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง		20.23 a	2.48 a	3.11 a	5.08 a	4.32 a	14.00 a	0.67 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1200 rpm		14.81 a	1.62 a	1.63 a	4.28 a	2.47 a	11.27 a	0.66 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 rpm		20.42 a	2.52 ab	3.18 b	3.77 b	4.76 b	18.25 b	0.81 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm		32.91 b	2.96 b	4.18 b	9.56 b	5.22 b	11.37 a	0.69 a

2.2 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ ของรถไถเดินตามเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม (Transportation off road condition)

ภาพที่ 47 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือน (Frequency domain) ในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis) ที่ตำแหน่งพืบนเครื่องยนต์ กรณียรถไถเดินตามล้อเหล็ก (Cage wheels) เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรมจากสัญญาณ Time domain ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนมีขนาดสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) บริเวณพืบนเครื่องยนต์ ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนสูงสุด เท่ากับ 13.13, 17.30 และ 36.93 m/s^2 ตามลำดับ ซึ่งปรากฏที่ค่าความถี่การสั่นสะเทือน 119.63, 130.62 และ 130.62 Hz ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าแอมพลิจูดของการสั่นสะเทือนมีค่าสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น

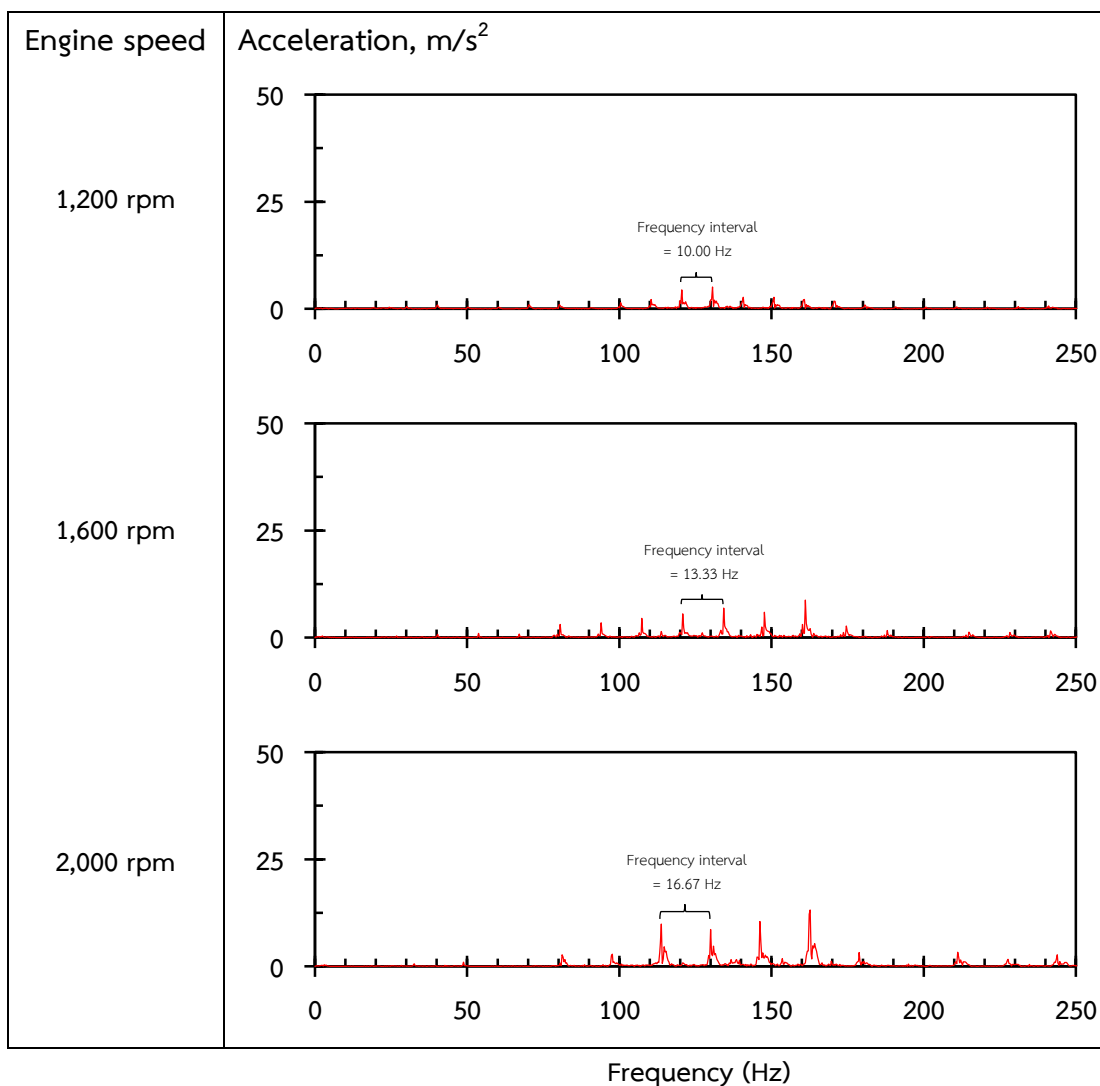
ภาพที่ 48 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) ที่ตำแหน่งพืบนเครื่องยนต์ กรณียรถไถเดินตามล้อเหล็ก เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600



ภาพที่ 47 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม

และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนสูงสุด เท่ากับ 5.08, 8.72 และ 13.15 m/s^2 ซึ่งปรากฏที่ความถี่ 130.62, 161.13 และ 162.66 Hz ตามลำดับ

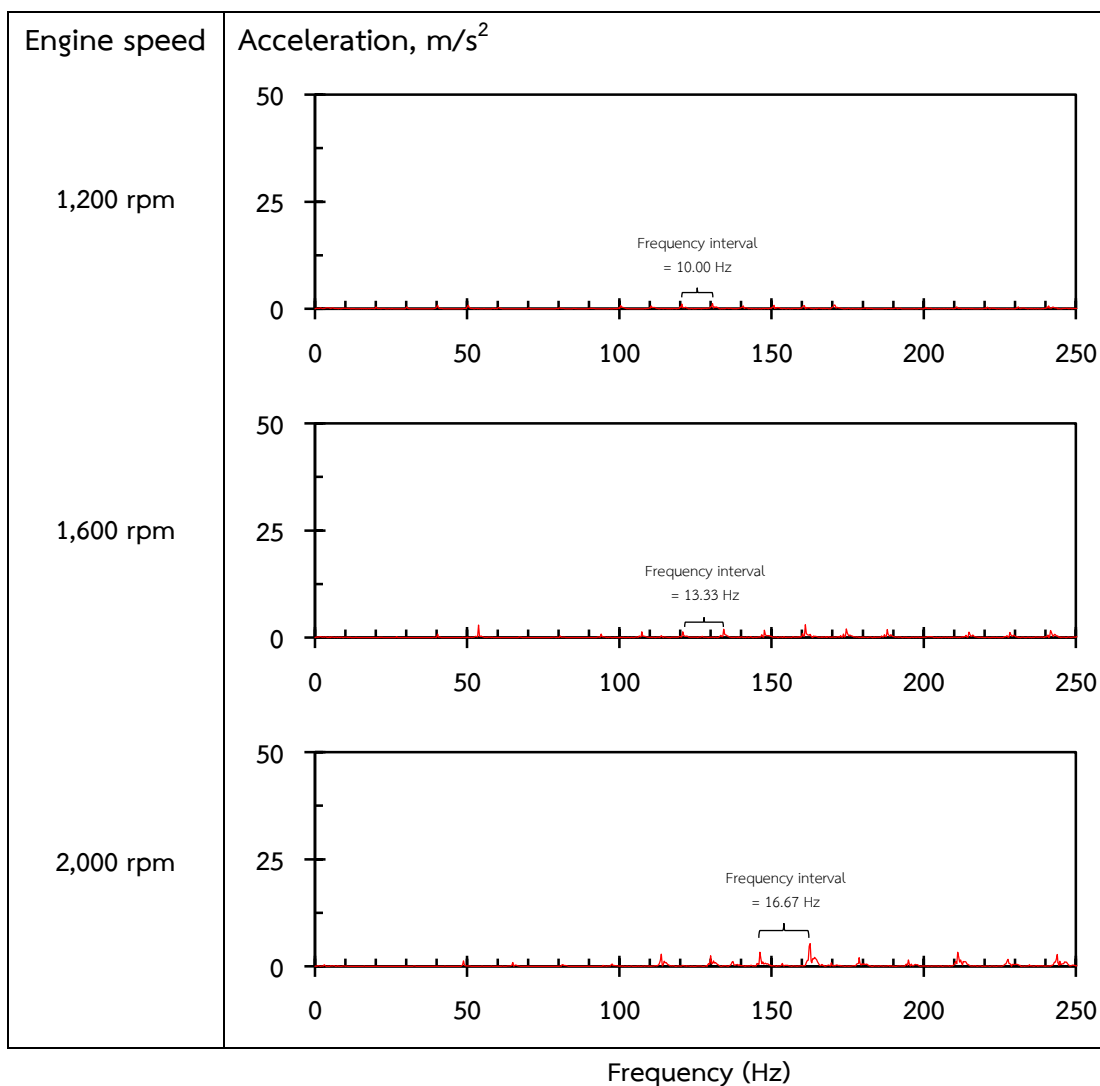
ภาพที่ 49 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็ก เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนผิวแปลงเกษตรกรรม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนสูงสุด เท่ากับ 1.23, 3.02 และ 5.34 m/s^2 ซึ่งปรากฏที่ความถี่ 130.62, 161.13 และ 162.66 Hz ตามลำดับ



ภาพที่ 48 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม

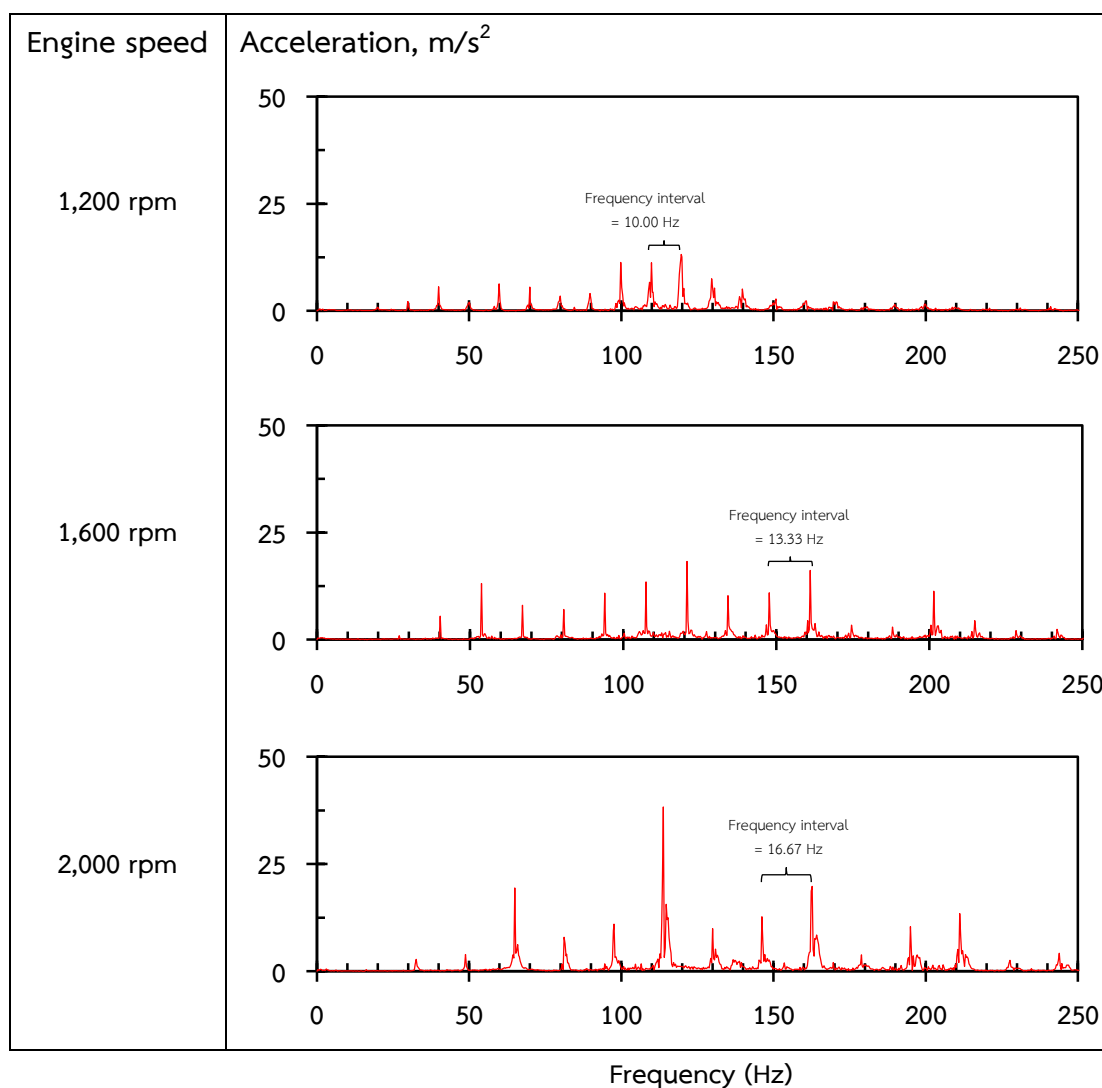
2.2.1 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ (Top engine) เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม

การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กพบว่า ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 19.03, 15.84 และ 35.99 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 51) และกรณีรถไถเดินตามล้อยางพบว่า ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 19.45, 21.68 และ 23.54 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 52) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากรณีรถไถเดินตามล้อยางค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 49 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) ที่ตำแหน่งพืบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม

กรณีล้อเหล็ก ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 18.83, 15.20 และ 34.84 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 2.64, 4.05 และ 8.69 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) เท่ากับ 0.78, 1.89 และ 2.48 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 51) เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทาง แสดงให้เห็นว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) และสั่นสะเทือนน้อยที่สุดในแนวดิ่งของรถไถเดินตาม (Z-axis) และพบว่าค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวาง (Y-axis) และแนวดิ่ง (Z-axis) ของรถไถเดินตาม สูงขึ้นเมื่อความเร็ว



ภาพที่ 50 สเปกตรัมของค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนพื้นผิวแปลงเกษตรกรรม

รอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) ไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

กรณีตัวอย่าง ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 19.12, 21.44 และ 23.50 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 3.42, 2.72 และ 0.84 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) เท่ากับ 0.98, 1.68 และ 0.92 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 52) เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางแสดงให้เห็นว่า เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม

ตารางที่ 20 ค่าความถี่และความเร่งการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุด เงื่อนไชรถไถเดินตามล้อเหล็ก เคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม

Position	Engine speed (rpm)	Dominant frequencies (Hz) and accelerations (m/s ²)				
		Hz	A _x	A _y	A _z	Resultant
Top engine	1,200	119.63	13.13	4.44	1.11	13.91
	1,600	130.62	17.30	5.55	1.36	18.22
	2,000	130.62	36.93	9.88	2.85	38.33
Chassis	1,200	40.28	0.06	0.05	1.30	1.30
	1,600	120.85	0.69	0.19	1.59	1.74
	2,000	113.83	1.12	0.95	2.32	2.75
Gear box	1,200	120.54	1.50	0.74	0.77	1.84
	1,600	53.71	4.53	0.82	3.10	5.55
	2,000	113.83	2.55	2.42	1.26	3.73
Rotary	1,200	118.71	0.20	3.35	0.52	3.40
	1,600	119.02	0.62	5.82	0.76	5.90
	2,000	134.58	1.76	15.31	3.64	15.83
Mid handle	1,200	88.81	0.69	1.04	2.11	2.45
	1,600	251.16	5.79	1.03	4.70	7.53
	2,000	250.24	4.61	0.66	2.88	5.48
Handle grip	1,200	39.37	0.45	2.49	8.14	8.52
	1,600	39.67	0.88	2.59	8.09	8.54
	2,000	33.57	0.98	3.62	9.51	10.22
Chest	1,200	0.31	0.34	0.13	0.05	0.37
	1,600	0.31	0.47	0.58	0.18	0.77
	2,000	0.61	0.29	0.56	0.10	0.64

และต่ำที่สุดในแนวดิ่ง และพบว่าค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตามและแนวดิ่ง ไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

ตารางที่ 21 ค่าความถี่และความเร่งการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุด เงื่อนไขรถไถเดินตามล้อยาง เคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม

Position	Engine speed (rpm)	Dominant frequencies (Hz) and accelerations (m/s ²)				
		Hz	A _x	A _y	A _z	Resultant
Top engine	1,200	114.34	19.12	3.42	0.98	19.45
	1,600	208.13	22.01	1.59	1.22	22.10
	2,000	116.98	24.55	1.61	2.20	24.70
Chassis	1,200	51.98	0.85	0.47	1.45	1.75
	1,600	55.54	0.23	0.19	3.23	3.24
	2,000	76.29	1.73	0.89	2.80	3.41
Gear box	1,200	51.98	3.28	0.13	0.61	3.34
	1,600	55.54	2.51	0.49	2.60	3.65
	2,000	52.69	5.28	0.12	0.93	5.36
Rotary	1,200	133.87	0.22	4.56	0.71	4.62
	1,600	158.69	1.45	11.72	2.35	12.04
	2,000	125.53	1.20	10.77	1.51	10.94
Mid handle	1,200	123.49	0.06	1.91	0.82	2.08
	1,600	251.16	5.04	0.93	3.05	5.96
	2,000	119.83	1.64	5.03	1.51	5.50
Handle grip	1,200	35.30	0.62	3.80	7.38	8.32
	1,600	52.80	1.71	2.90	9.94	10.49
	2,000	34.28	0.65	4.31	11.72	12.50
Chest	1,200	0.31	0.50	0.38	0.07	0.63
	1,600	0.31	0.42	0.21	0.08	0.48
	2,000	0.71	0.52	0.22	0.17	0.59

การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าความเร่งผลลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งพืบบนเครื่องยนต์ระหว่างกรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กและล้อยาง พบว่าขนาดความเร่งผลลัพธ์ของการสั่นสะเทือนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 22 และ 23) แสดงให้เห็นว่าชนิดของล้อขับเคลื่อนไม่ส่งผลทำให้เกิดการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกัน

2.2.2 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งโครงเหล็กรถไฟไถเดินตาม (Chassis) เนื่องจากการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม

การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งโครงเหล็กรถไฟไถเดินตามที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm กรณีสั่นสะเทือนรถไฟไถเดินตามล้อเหล็กพบว่า ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 1.48, 1.88 และ 2.56 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 51) และกรณีสั่นสะเทือนรถไฟไถเดินตามล้อยางพบว่า ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 1.63, 2.91 และ 3.12 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 52) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งโครงเหล็กรถไฟไถเดินตามสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น

กรณีล้อเหล็ก (ภาพที่ 51) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไฟไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 0.16, 0.77 และ 1.02 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไฟไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 0.11, 0.38 และ 0.85 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) เท่ากับ 1.47, 1.67 และ 2.19 m/s^2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางแสดงให้เห็นว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวดิ่ง และต่ำสุดในแนวขวางของรถไฟไถเดินตาม ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของทั้งสามทิศทางมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น

กรณีล้อยาง (ภาพที่ 52) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไฟไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 1.05, 0.20 และ 1.37 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไฟไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 0.46, 0.19 และ 0.94 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) เท่ากับ 1.16, 2.90 และ 2.64 m/s^2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางแสดงให้เห็นว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวดิ่ง และต่ำสุดในแนวขวางของรถไฟไถเดินตาม ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนทั้งสามทิศทางไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

ผลการทดลองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่ากรณีสั่นสะเทือนรถไฟไถเดินตามเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม โครงเหล็กรถไฟไถเดินตามเป็นตำแหน่งที่เกิดการสั่นสะเทือนน้อยที่สุด โดยมีการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวดิ่งทั้งกรณีล้อเหล็กและกรณีล้อยาง การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งโครงเหล็กรถไฟไถเดินตามระหว่างกรณีล้อขับเคลื่อนชนิดล้อ

หลักและล้อยาง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 22 และ 23) แสดงให้เห็นว่าชนิดของล้อขับเคลื่อนไม่ส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกัน

2.2.3 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเกียร์รถไถเดินตาม (Gear box) เนื่องจากการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม

การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเกียร์รถไถเดินตามที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm กรณีรถไถเดินตามล้อหลักพบว่า ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 1.98, 5.71 และ 3.60 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 51) และกรณีรถไถเดินตามล้อยางพบว่า ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 3.47, 3.38 และ 4.53 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 52) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเกียร์รถไถเดินตามไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

กรณีล้อหลัก (ภาพที่ 51) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 1.80, 4.76 และ 2.44 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 0.36, 0.78 และ 2.42 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) เท่ากับ 0.73, 3.05 และ 1.06 m/s^2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางแสดงให้เห็นว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม และเกิดการสั่นสะเทือนน้อยที่สุดในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) และพบว่าค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) ตามสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) และแนวดิ่ง (Z-axis) ของรถไถเดินตาม ไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

กรณีล้อยาง (ภาพที่ 52) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 3.37, 2.27 และ 4.46 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 0.54, 0.49 และ 0.15 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) เท่ากับ 0.60, 2.46 และ 0.80 m/s^2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางแสดงให้เห็นว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตามและต่ำที่สุดใน

แนวขวางของรถไถเดินตาม และพบว่าค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนทั้งสามทิศทางไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเกียร์รถไถเดินตามระหว่างกรณีล้อเหล็กและล้อยาง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 22 และ 23) แสดงให้เห็นว่าชนิดของล้อขับเคลื่อนไม่ส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกัน

2.2.4 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุน (Chain sprocket case of rotary) เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม

การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็ก (ภาพที่ 51) พบว่าค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 3.94, 9.37 และ 17.97 m/s^2 ตามลำดับ และกรณีรถไถเดินตามล้อยางพบว่าค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 5.59, 10.22 และ 10.02 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 52) จากผลการทดลองของกรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กแสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่วนกรณีรถไถเดินตามล้อยางไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

กรณีล้อเหล็ก (ภาพที่ 51) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 0.32, 0.08 และ 1.87 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 3.83, 9.15 และ 17.40 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Z-axis) เท่ากับ 0.86, 2.02 และ 4.07 m/s^2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางแสดงให้เห็นว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวขวางของรถไถเดินตาม รองลงมาคือแนวตั้ง และต่ำสุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนทั้งสามทิศทางมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น

กรณีล้อยาง (ภาพที่ 52) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 0.38, 1.36 และ 1.24 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 5.47, 9.84 และ 9.82 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Z-

axis) เท่ากับ 1.09, 2.41 และ 1.53 m/s^2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางแสดงให้เห็นว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวขวางของรถไถเดินตาม และต่ำที่สุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม และพบว่าค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนทั้งสามทิศทางไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์กับความเร็รรอบ

การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเพื่องโซ่เครื่องพรวนจอบหมุนระหว่างกรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กและล้อยาง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 22 และ 23) แสดงให้เห็นว่าชนิดของล้อขับเคลื่อนไม่ส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกัน

2.2.5 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งกึ่งกลางคันบังคับรถไถเดินตาม (Mid handle) เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม

การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งกึ่งกลางคันบังคับรถไถเดินตามที่ความเร็รรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กพบว่า ค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 2.58, 7.56 และ 9.04 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 51) และกรณีรถไถเดินตามล้อยางพบว่า ค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 5.05, 4.99 และ 3.89 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 52) ผลการทดลองของกรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กแสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือนมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเร็รรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่วนกรณีล้อยางไม่มีความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือนกับความเร็รรอบเครื่องยนต์

กรณีล้อเหล็ก (ภาพที่ 51) ที่ความเร็รรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 0.73, 6.17 และ 7.30 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 1.16, 0.90 และ 1.29 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) เท่ากับ 2.18, 4.27 และ 5.17 m/s^2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางแสดงให้เห็นว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม และต่ำที่สุดในแนวขวางของรถไถเดินตาม และพบว่าค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตามและแนวดิ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเร็รรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตามไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความเร็รรอบเครื่องยนต์

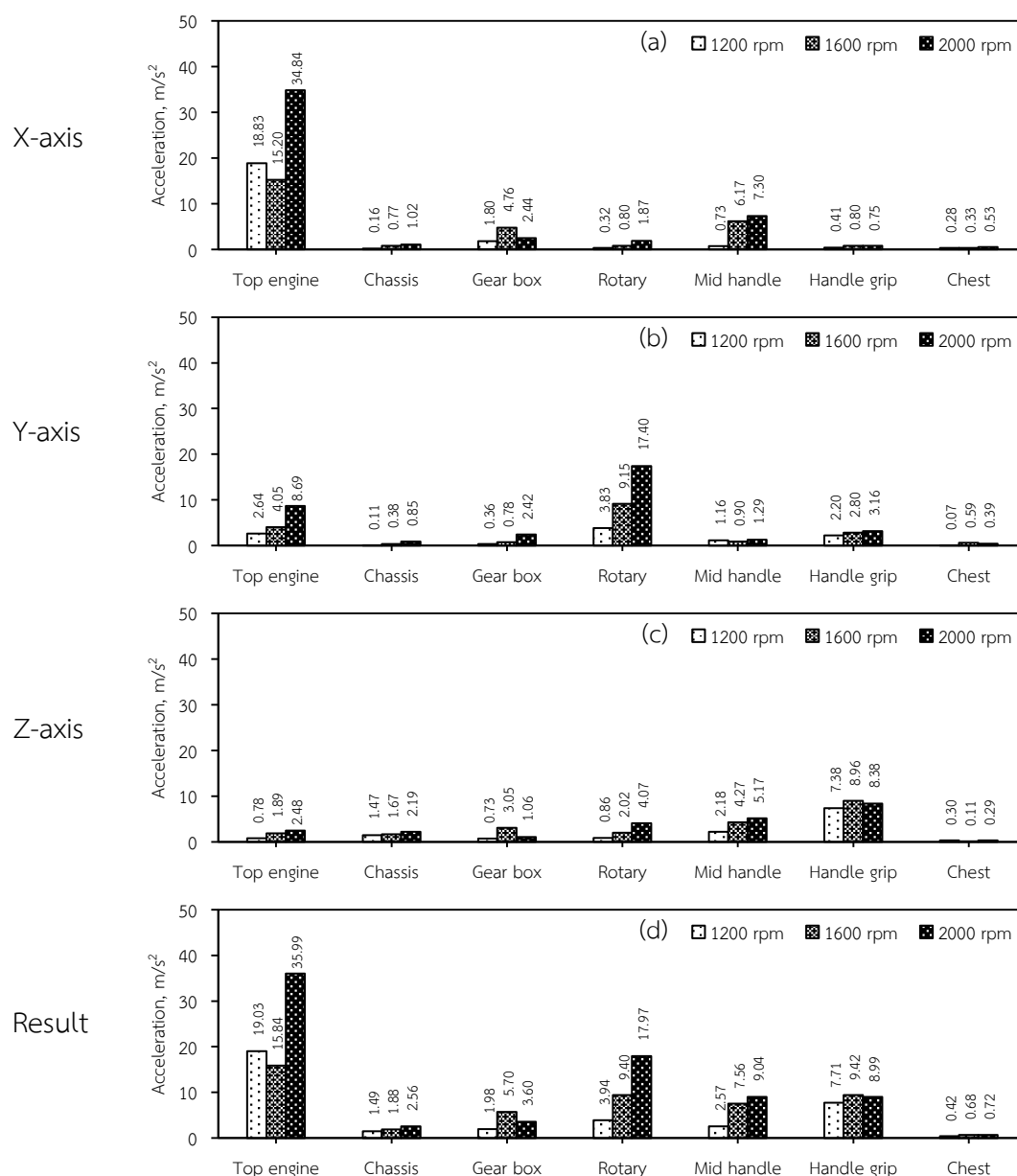
กรณีตัวอย่าง (ภาพที่ 52) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 0.24, 2.39 และ 1.07 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 4.81, 0.75 และ 2.96 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Z-axis) เท่ากับ 1.52, 4.31 และ 2.28 m/s^2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางแสดงให้เห็นว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวขวางของรถไถเดินตาม และต่ำที่สุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม และพบว่าค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนทั้งสามทิศทางไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งกึ่งกลางคันบังคับรถไถเดินตามระหว่างกรณีล้อเหล็กและล้อยาง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 22 และ 23) แสดงให้เห็นว่าชนิดของล้อขับเคลื่อนไม่ส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกัน

2.2.6 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตาม (Handle grip) เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม

การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตามที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กพบว่า ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 7.71, 9.42 และ 8.99 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 51) และกรณีรถไถเดินตามล้อยางพบว่า ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน เท่ากับ 8.29, 10.20 และ 9.78 m/s^2 ตามลำดับ (ภาพที่ 52) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

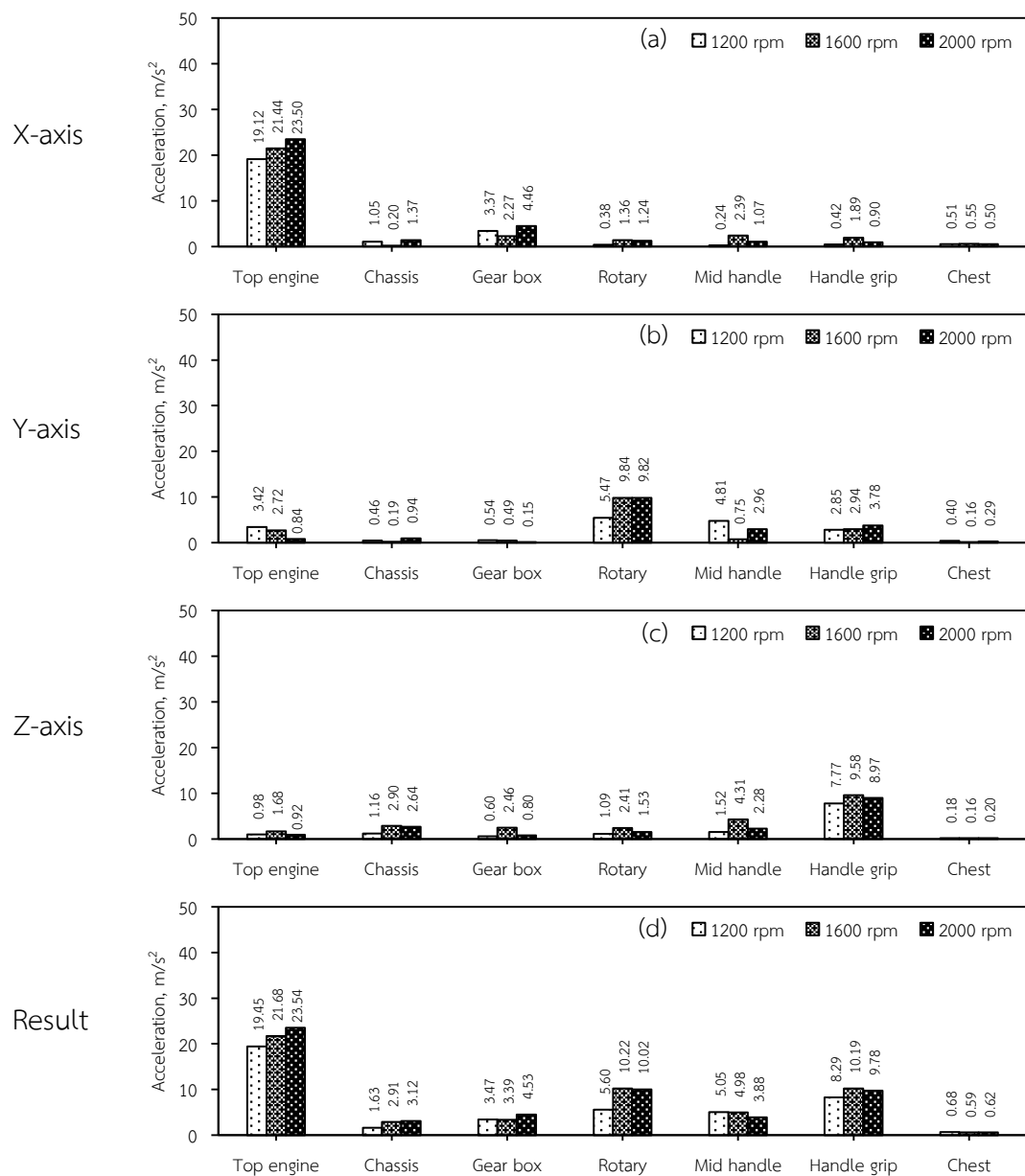
กรณีล้อเหล็ก (ภาพที่ 51) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 0.41, 0.80 และ 0.75 m/s^2 ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 2.20, 2.80 และ 3.16 m/s^2 ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Z-axis) เท่ากับ 7.38, 8.96 และ 8.38 m/s^2 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางแสดงให้เห็นว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวตั้งและต่ำที่สุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม และพบว่าค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตามมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม



ภาพที่ 51 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ของรถไถเดินตามล้อเหล็กที่เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม

และแนวโน้ม ไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

กรณีล้อยาง (ภาพที่ 52) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) เท่ากับ 0.42, 1.89



ภาพที่ 52 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ของรถไถเดินตามล้อยางที่เงื่อนไขวิ่งบนแปลง
เกษตรกรรม

และ 0.90 m/s² ตามลำดับ ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) เท่ากับ 2.85, 2.94 และ 3.78 m/s² ตามลำดับ และค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Z-axis) เท่ากับ 7.77, 9.58 และ 8.97 m/s² ตามลำดับ เมื่อพิจารณาค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางแสดงให้เห็นว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวตั้ง และต่ำที่สุดในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม และพบว่าค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตามมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม

และแนวโน้มไม่มีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนกับความเร็วรอบเครื่องยนต์

การวิเคราะห์ทางสถิติเปรียบเทียบค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตามระหว่างกรณีล้อเหล็กและล้อยาง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ตารางที่ 22 และ 23) แสดงให้เห็นว่าชนิดของล้อขับเคลื่อนไม่ส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกัน

2.2.7 การเปรียบเทียบค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนในทางสถิติของการทดลองเงื่อนไขขณะรถไถเดินตามวิ่งบนแปลงเกษตรกรรม (Transport off road condition)

อิทธิพลเนื่องจากความเร็วรอบเครื่องยนต์ ตำแหน่งต่างของรถไถเดินตาม และชนิดล้อขับเคลื่อนของรถไถเดินตาม จากการทดลอง (ตารางที่ 22) พบว่าเกิดค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนสูงสุดที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm และต่ำสุดที่ 1,200 rpm การวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm เท่ากับ 5.86, 7.46 และ 9.60 m/s^2 ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเร็วรอบเครื่องยนต์ส่งผลทำให้ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนสูงขึ้น ผลการทดลองของชนิดล้อขับเคลื่อนของรถไถเดินตาม จากการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อเหล็กและล้อยาง เท่ากับ 7.93 และ 7.35 m/s^2 ตามลำดับ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงให้เห็นว่าชนิดล้อขับเคลื่อนไม่มีผลต่อการเกิดการสั่นสะเทือน ผลการทดลองที่ตำแหน่งต่างๆ ของรถไถเดินตามเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติแล้วแสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งพบว่าตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุด เนื่องจากเป็นแหล่งกำเนิดหลักของการสั่นสะเทือน และเกิดการสั่นสะเทือนต่ำสุดที่ตำแหน่งโครงเหล็กกรรไกรไถเดินตาม แสดงให้เห็นว่าตำแหน่งต่างๆ ของรถไถเดินตามมีผลต่อการสั่นสะเทือน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในเงื่อนไขขณะรถไถเดินตามวิ่งบนถนนลาดยาง (ตารางที่ 25)

2.3 การเปรียบเทียบค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนในทางสถิติของการทดลองในเงื่อนไขรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ (Stationary condition), เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง (Transport on road condition) และเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม (Transport off road condition)

ตารางที่ 22 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของปัจจัย ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และชนิดล้อรถไถเดินตามที่มีผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่แต่ละตำแหน่งบนรถไถเดินตามขณะเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม

ชนิดล้อ	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)	ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม, m/s^2						
		Top engine	Chassis	Gear box	Rotary	Mid handle	Handle grip	Chest
ล้อเหล็ก	1,200	19.03	1.48	1.98	3.94	2.58	7.71	0.46
	1,600	15.84	1.88	5.71	9.37	7.56	9.42	0.69
	2,000	35.99	2.56	3.6	17.97	9.04	8.99	0.76
ล้อยาง	1,200	19.45	1.63	3.47	5.59	5.05	8.92	0.69
	1,600	21.68	2.91	3.38	10.22	4.99	10.2	0.61
	2,000	23.53	3.12	4.53	10.02	3.89	9.78	0.62
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก								
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง								
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1200 rpm								
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 rpm								
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm								
ตำแหน่ง Top engine								
ตำแหน่ง Chassis								
ตำแหน่ง Gear box								
ตำแหน่ง Rotary								
ตำแหน่ง Mid handle								
ตำแหน่ง Handle grip								
ตำแหน่ง Chest								

ผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ บนรถไถเดินตามที่เงื่อนไขรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยางและเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนพื้นผิวแปลงเกษตรกรรม ที่ตำแหน่งพวงมาลัยเครื่องยนต์, ตำแหน่งโครงเหล็ก โครงสร้างรถไถเดินตาม, ตำแหน่งกล่องฟืนเพื่อระบบส่งผ่านกำลังรถไถเดินตาม, ตำแหน่งกล่องฟืนเพื่อจอบหมุน และตำแหน่งกึ่งกลางคันบังคับรถไถเดินตาม ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 25) แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่เงื่อนไขรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่, เงื่อนไขการเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง และเงื่อนไขการเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตามพบว่าค่าเฉลี่ยของความเร่งลัพธ์การสั่นสะเทือนที่แต่ละเงื่อนไขสภาวะการทดลองแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และแสดงให้เห็นว่าสภาวะ

ตารางที่ 23 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของปัจจัย ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และชนิดล้อรถไถเดินตาม ที่มีผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม

ชนิดล้อ	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)	ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม, m/s ²						
		Top engine	Chassis	Gear box	Rotary	Mid handle	Handle grip	Chest
ล้อเหล็ก	1,200	19.03	1.48	1.98	3.94	2.58	7.71	0.46
	1,600	15.84	1.88	5.71	9.37	7.56	9.42	0.69
	2,000	35.99	2.56	3.6	17.97	9.04	8.99	0.76
ล้อยาง	1,200	19.45	1.63	3.47	5.59	5.05	8.92	0.69
	1,600	21.68	2.91	3.38	10.22	4.99	10.2	0.61
	2,000	23.53	3.12	4.53	10.02	3.89	9.78	0.62
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก		23.62 a	1.97 a	3.76 a	10.43 a	6.39 a	8.71 a	0.64 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง		21.55 a	2.55 a	3.79 a	8.61 a	4.64 a	9.63 a	0.64 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1200 rpm		19.24 a	1.56 a	2.73 a	4.77 a	3.82 a	8.32 a	0.57 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 rpm		18.76 a	2.40 b	4.55 b	9.80 b	6.28 b	9.81 b	0.65 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm		29.76 b	2.84 b	4.07 b	14.00 c	6.47 b	9.39 ab	0.69 a

ตารางที่ 24 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของเงื่อนไข Stationary, Transportation และ Tillage ที่มีผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม

ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม, m/s ²	
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก	7.93 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง	7.41 a
รถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่	7.40 a
รถไถเดินตามเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง	7.88 b
รถไถเดินตามเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม	7.73 ab
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1200 rpm	5.50 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 rpm	7.92 b
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm	9.58 c
ตำแหน่ง Top engine	21.87 g
ตำแหน่ง Chassis	2.33 b
ตำแหน่ง Gear box	3.31 c
ตำแหน่ง Rotary	8.51 e
ตำแหน่ง Mid handle	4.98 d
ตำแหน่ง Handle grip	12.18 f
ตำแหน่ง Chest	0.51 a

การทำงานต่างกันมีผลต่อการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตาม ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าเงื่อนไขขณะรถไถเดินตามวิ่งบนทางลาดยางเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดและเกิดการสั่นสะเทือนน้อยที่สุดในเงื่อนไขขณะรถไถเดินตามวิ่งบนแปลงเกษตรกรรม สาเหตุเนื่องจากผู้ควบคุมรถไถเดินตามจำเป็นต้องออกแรงควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ขณะรถไถเดินตามเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรมซึ่งมีความขรุขระ การออกแรงควบคุมรถไถเดินตามผ่านฝ่ามือบริเวณด้ามมือจับ เป็นสาเหตุทำให้การสั่นสะเทือนลดลงที่ด้ามมือจับ

ตารางที่ 25 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเงื่อนไข Stationary, Transportation และ Tillage ที่มีผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ ของรถไถเดินตาม

		ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม, m/s^2						
ตำแหน่งการวัดการสั่นสะเทือน		Top engine	Chassis	Gear box	Rotary	Mid handle	Handle grip	Chest
ชนิดล้อ	ล้อเหล็ก	22.88 a	2.39 a	3.43 a	8.83 a	5.23 a	12.20 a	0.52 a
	ล้อยาง	20.86 a	2.26 a	3.19 a	8.20 a	4.72 a	12.15 a	0.51 a
สภาวะการทำงาน	ขณะไม่เคลื่อนที่	20.16 a	2.27 a	3.14 a	8.49 a	5.30 a	12.24 b	0.18 a
	การเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง	22.80 a	2.44 a	3.00 a	7.51 a	4.19 a	14.51 c	0.72 b
	การเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม	22.64 a	2.28 a	3.79 a	9.54 a	5.44 a	9.78 a	0.64 b
ความเร็วรอบเครื่องยนต์	1200 rpm	16.13 a	1.91 a	2.35 a	4.62 a	3.00 a	10.04 a	0.49 a
	1600 rpm	19.86 b	2.40 b	3.46 b	9.21 b	5.60 b	14.38 b	0.54 a
	2,000 rpm	29.62 c	2.68 b	4.12 b	11.71 c	6.33 b	12.11 a	0.51 a

3. การสั่นสะเทือนในรถไถเดินตามขณะเครื่องพรวนจอบหมุนไถพรวนดิน (Tillage condition)

จุดมุ่งหมายของการศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนในรถไถเดินตามขณะที่เครื่องพรวนจอบหมุนไถพรวนดินคือเพื่อเข้าใจลักษณะการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม ผลของชนิดใบมีดจอบหมุน (ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ : B1, ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ : B2 และใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ : B3) ที่มีต่อการสั่นสะเทือน การส่งผ่านการสั่นสะเทือนไปสู่ผู้ควบคุมรถไถเดินตาม จำนวนชั่วโมงการทำงานที่ผู้ควบคุมทำงานได้อย่างปลอดภัย รวมทั้งอิทธิพลเนื่องจากความเร็วรอบเครื่องยนต์ จำนวนเที่ยวการไถ และชนิดล้อที่ส่งผลต่อการสั่นสะเทือน โดยทดลองที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000, 2,200 และ 2,400 rpm จำนวนเที่ยวการไถ 1 และ 2 เที่ยว และล้อรถไถเดินตามชนิดล้อเหล็กและล้อยาง

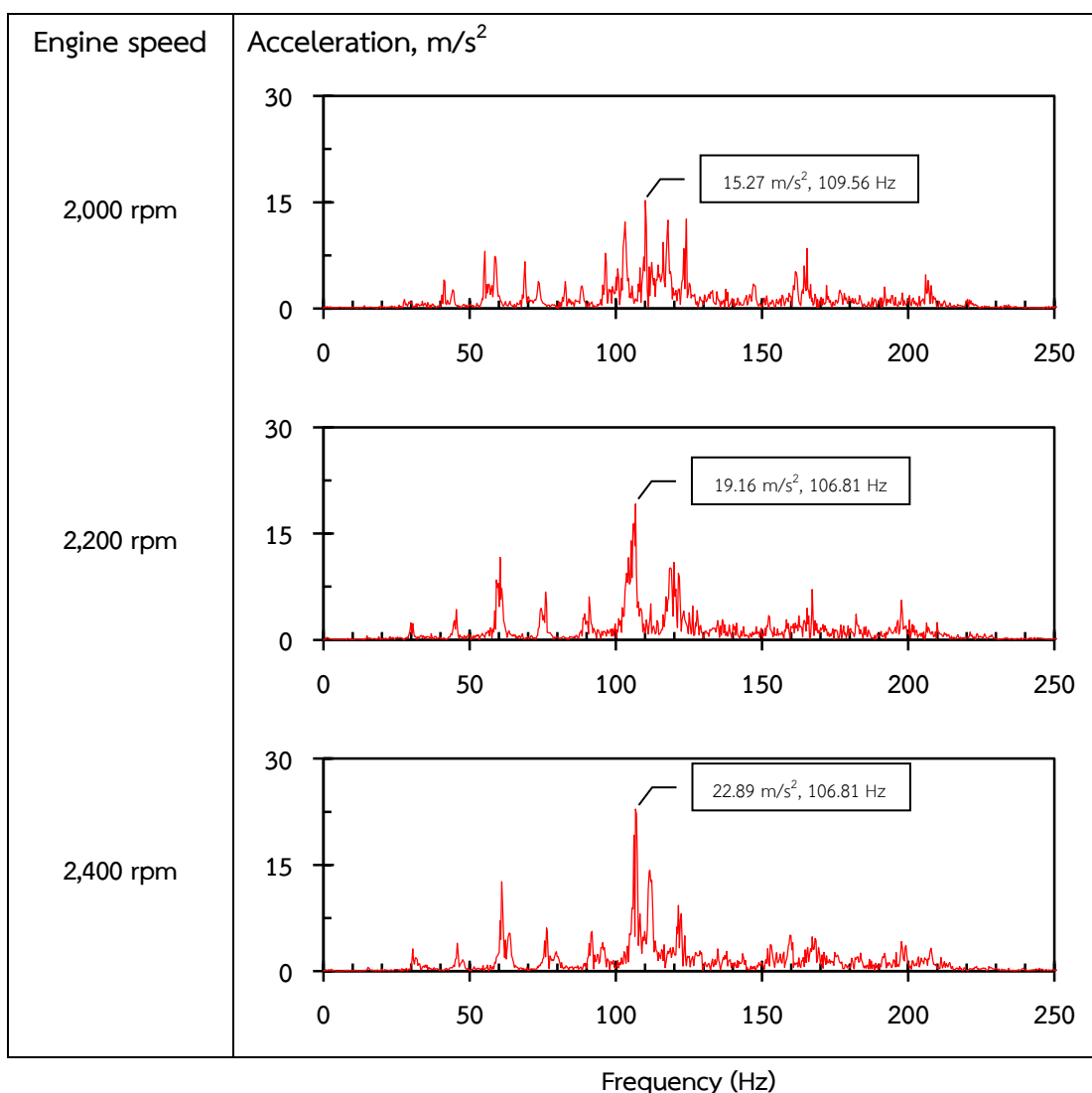
ตำแหน่งที่วัดการสั่นสะเทือนได้แก่ 1) ผิวบนเครื่องยนต์ต้นกำลัง 2) โครงเหล็กกรงไถเดินตาม 3) ห้องเพื่องโซ่เครื่องพรวนจอบหมุน 4) ด้ามมือจับ และ 5) หน้าอกผู้ควบคุมรถไถเดินตาม

3.1 ลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามขณะเครื่องพรวนจอบหมุนไถพรวนดิน

กรณีรถไถเดินตามเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรพร้อมกับเครื่องพรวนจอบหมุนกำลังไถพรวนดิน พบว่าภายหลังวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนในโดเมนเวลา (time domain) ด้วยวิธีการแปลงฟูริเยร์แบบเร็ว (Fast Fourier Transform : FFT) ลักษณะสัญญาณการสั่นสะเทือนในโดเมนความถี่ (Frequency domain) หรือสเปกตรัม (Spectrum) การสั่นสะเทือนมีรูปแบบสุ่ม (Random) ในทุกทิศทาง ดังแสดงด้วยภาพที่ 61 ถึง 63 สาเหตุเนื่องมาจากการสั่นสะเทือนขณะเครื่องพรวนจอบหมุนกำลังพรวนดินและขณะล้อยับเคลื่อนไปบนพื้นผิวแปลงเกษตรที่ขรุขระ ซึ่งแตกต่างจากสัญญาณการสั่นสะเทือนในโดเมนความถี่กรณีรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ (ภาพที่ 34 ถึง 36) และกรณีรถไถเดินตามเคลื่อนที่ (ภาพที่ 41 ถึง 43 และภาพที่ 47 ถึง 49) ซึ่งมีลักษณะสัญญาณแบบฮาร์มอนิก (harmonic) เนื่องด้วยเครื่องยนต์ต้นกำลังเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนเพียงแหล่งเดียว ภาพที่ 53, 54 และ 55 แสดงลักษณะสเปกตรัมการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ต้นกำลังซึ่งมีลักษณะสเปกตรัมแบบสุ่มทั้งในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) แนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) แนวตั้งของรถไถเดินตาม (Z-axis) ตามลำดับ ที่เงื่อนไขเครื่องพรวนจอบหมุนที่ติดตั้งชุดใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซีกำลังไถพรวนดินที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000, 2,200 และ 2,400 rpm ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ณ ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis) และสั่นสะเทือนน้อยที่สุดในแนวตั้ง (Z-axis) ของรถไถเดินตาม เช่นเดียวกับกรณีรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่และกรณีรถไถเดินตามเคลื่อนที่บนถนนและบนพื้นผิวแปลงเกษตรกรรม

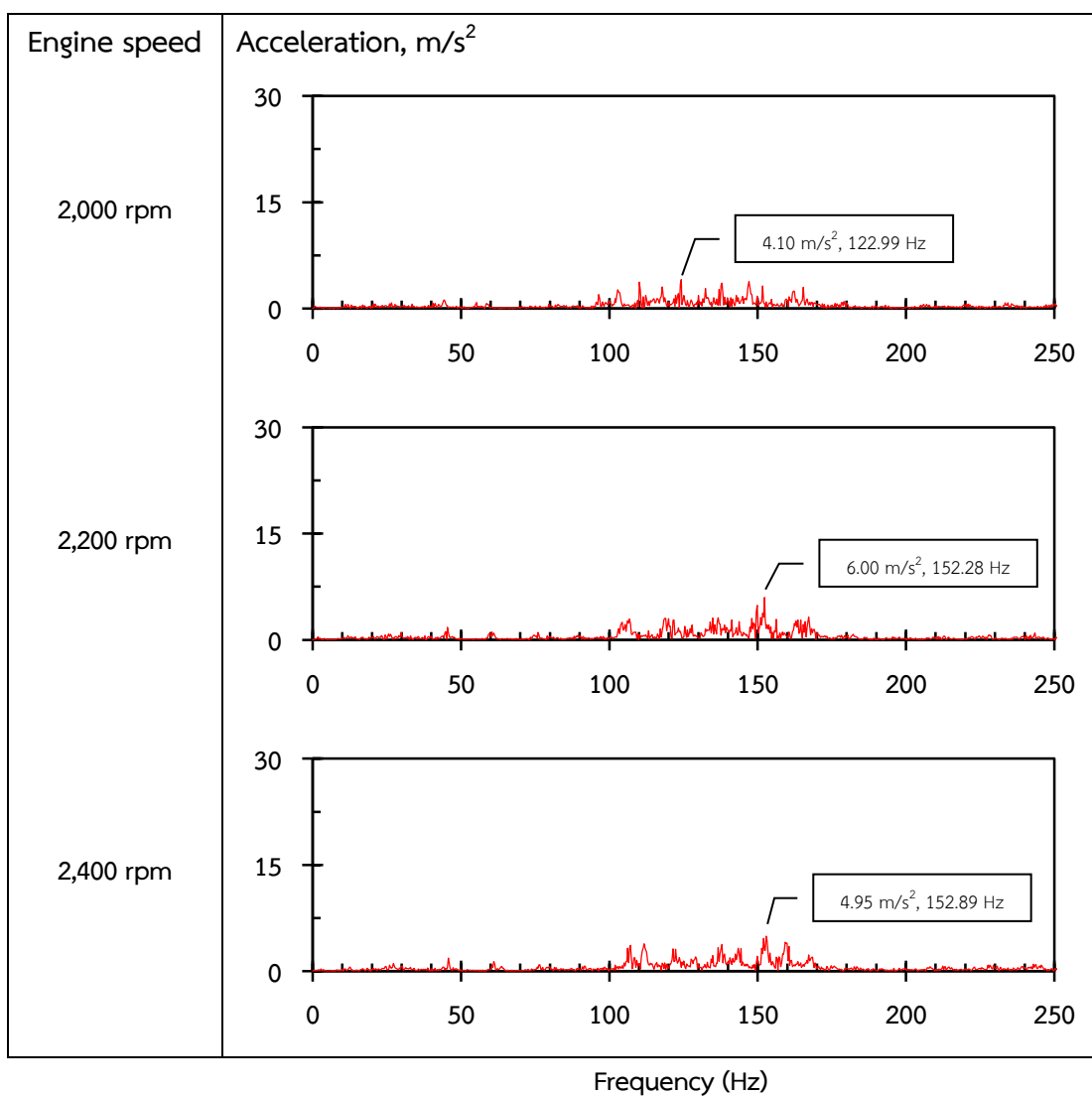
3.2 ความเร่งและความถี่ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ บนรถไถเดินตามขณะเครื่องพรวนจอบหมุนพรวนดิน

ผลการทดลองค่าความเร่งและความถี่บนรถไถเดินตามขณะเครื่องพรวนจอบหมุนไถพรวนดิน (ภาพที่ 57 ถึง 68 และตารางที่ 26 ถึง 37) ยังคงแสดงให้เห็นว่าขณะที่รถไถเดินตามวิ่งบนแปลงทดลองพร้อมกับเครื่องพรวนจอบหมุนไถพรวนดิน ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ต้นกำลัง ลำดับถัดมาคือการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเพื่องโซ่เครื่องพรวนจอบหมุนและด้ามมือจับ และเกิดการสั่นสะเทือนน้อยที่สุดที่ตำแหน่งโครงเหล็กกรงไถเดินตาม ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางรถไถเดินตาม (Y-axis) ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Z-axis) และความถี่การ



ภาพที่ 53 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-Axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไถพรวนดินเที่ยวที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ

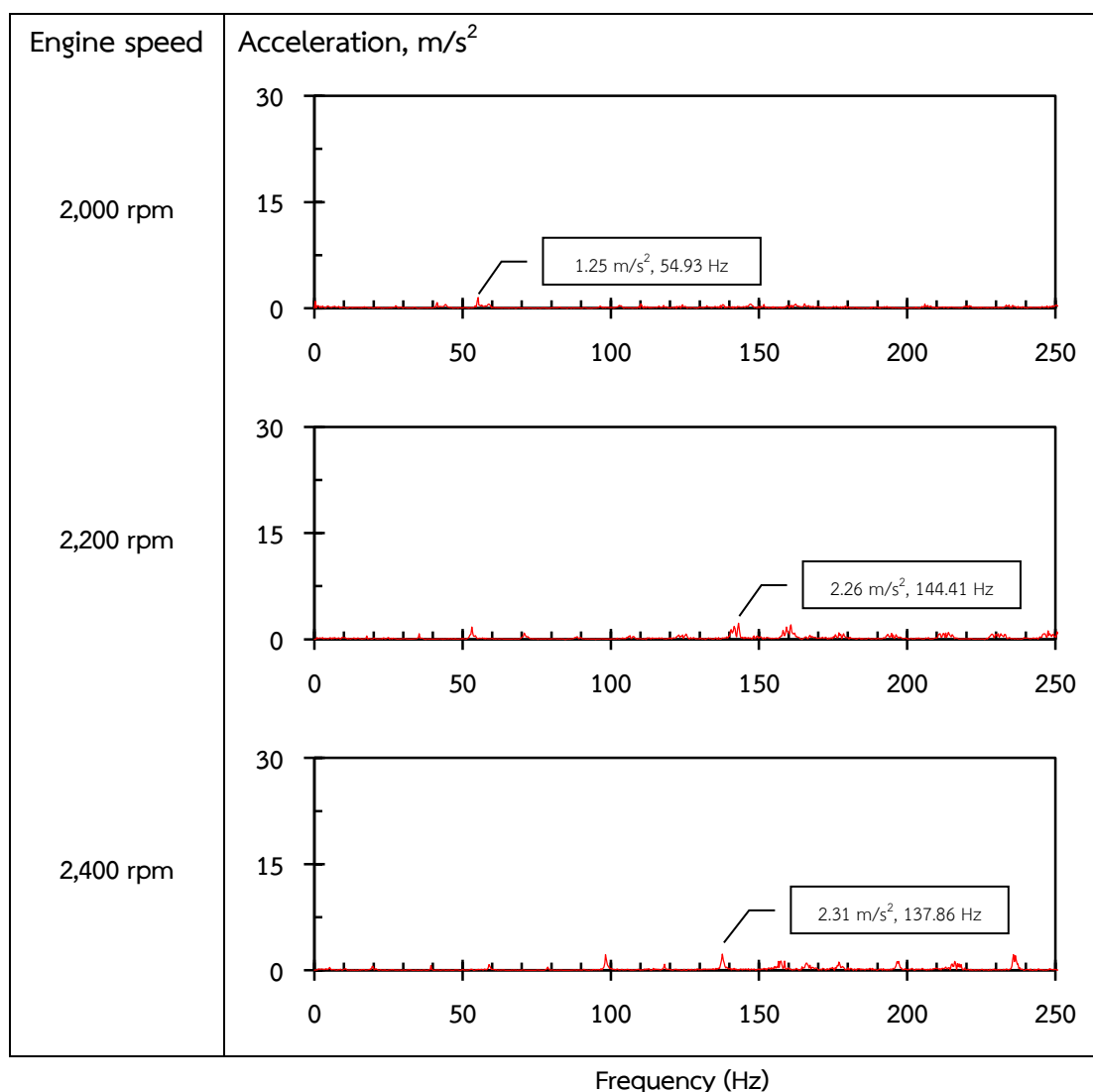
สั่นสะเทือน ถูกแสดงในตารางที่ 26 ถึง 37 แสดงให้เห็นว่าที่เงื่อนไขไถพรวนดิน ค่าความเร่งลัพธ์และความถี่ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ต้นกำลังเกิดขึ้น $15.73 - 53.65 \text{ m/s}^2$ และ $52.49 - 199.59 \text{ Hz}$ ตามลำดับ ค่าความเร่งลัพธ์และความถี่ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งโครงหลักรถไถเดินตามเกิดขึ้น $0.72 - 3.52 \text{ m/s}^2$ และ $31.74 - 212.10 \text{ Hz}$ ตามลำดับ ค่าความเร่งลัพธ์และความถี่ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องฟันเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุนเกิดขึ้น $5.54 - 30.15 \text{ m/s}^2$ และ $111.39 - 165.10 \text{ Hz}$ ตามลำดับ ค่าความเร่งลัพธ์และความถี่ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับเกิดขึ้น $3.29 - 11.94 \text{ m/s}^2$ และ $21.36 - 60.43 \text{ Hz}$ ตามลำดับ และค่าความเร่ง



ภาพที่ 54 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-Axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไถพรวนดินเที่ยวที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ

ลัทธิและความถี่ของการสั่นสะเทือนที่หน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามเกิดขึ้น $0.62 - 1.83 \text{ m/s}^2$ และ $0.31 - 10.38 \text{ Hz}$ ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 38) แสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งลัทธิของการสั่นสะเทือนที่แต่ละตำแหน่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการไถพรวนดินเที่ยวที่สองก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนในรถไถเดินตามสูงกว่าการไถพรวนเที่ยวแรกอย่างมี

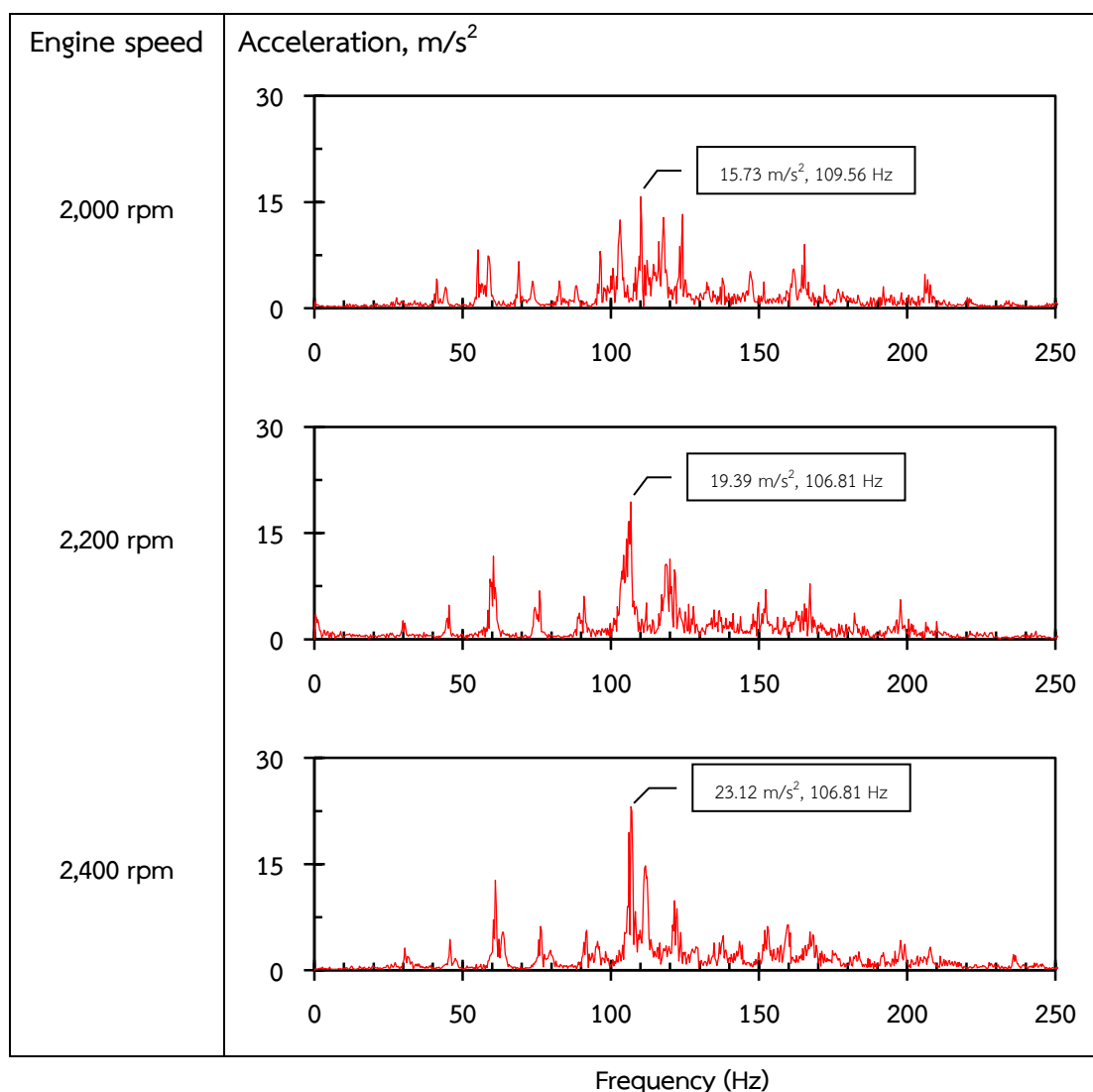


ภาพที่ 55 สเปกตรัมของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-Axis) ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไถพรวนดินเที่ยวที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ

นัยสำคัญ ขณะที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์และชนิดล้อรถไถเดินตามไม่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกันทางสถิติ

3.2.1 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ต้นกำลังที่เงื่อนไขไถพรวนดิน

กรณีรถไถเดินตามวิ่งบนแปลงทดลองพร้อมกับเครื่องพรวนจอบหมุนกำลังพรวนดิน ผลการทดลอง (ภาพที่ 57 ถึง 68 และตารางที่ 26 ถึง 37) และการวิเคราะห์ค่าความเร่งลัพธ์การสั่นสะเทือนทางสถิติแสดงให้เห็นว่าที่เงื่อนไขไถพรวนดินในเที่ยวที่สองเกิดการสั่นสะเทือนสูงกว่าการ



ภาพที่ 56 สเปกตรัมของค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ กรณีสถิตไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไถพรวนดินเที่ยวที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ

ไถพรวนดินเที่ยวแรกอย่างมีนัยสำคัญ (ตารางที่ 39) เมื่อพิจารณาการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางที่ผิวบนเครื่องยนต์ต้นกำลังยังคงแสดงให้เห็นว่าการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis) และเกิดการสั่นสะเทือนน้อยที่สุดในแนวตั้ง (Z-axis) ของรถไถเดินตาม เห็นได้อย่างชัดเจนว่าการเคลื่อนที่ในแนวระนาบของลูกสูบเครื่องยนต์ต้นกำลังซึ่งมีทิศทางเดียวกันกับแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตามยังคงเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ต้นกำลัง และเมื่อวิเคราะห์ทางสถิติการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทาง (X-axis, Y-axis และ Z-axis) ดังแสดงในตารางที่ 40 พบว่าปัจจัยความเร็วรอบเครื่องยนต์ต้นกำลังส่งผลต่อการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ต้นกำลังในทุกทิศทาง ปัจจัยจำนวนเที่ยวการไถพรวนส่งผลต่อการสั่นสะเทือนอย่าง

มีนัยสำคัญในแนวการเคลื่อนที่ (X-axis) และแนวขวาง (Y-axis) ของรถไถเดินตาม และปัจจัยชนิดใบมีดจอบหมุนส่งผลต่อการสั่นสะเทือนอย่างมีนัยสำคัญเฉพาะในแนวขวาง (Y-axis) ของรถไถเดินตาม

3.2.2 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งโครงเหล็กกรไถเดินตามที่เงื่อนไขไถพรวนดิน

ผลการทดลองที่เงื่อนไขไถพรวนดิน (ภาพที่ 57 ถึง 68 และตารางที่ 26 ถึง 37) ยังคงแสดงให้เห็นว่าเกิดการสั่นสะเทือนน้อยที่สุดที่ตำแหน่งโครงเหล็กกรไถเดินตาม พิจารณาจากค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่น้อยที่สุดเกิดขึ้นที่ตำแหน่งโครงเหล็กเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งอื่น ๆ บนรถไถเดินตาม เหตุผลเนื่องจากตำแหน่งที่วัดการสั่นสะเทือนเป็นตำแหน่งที่อยู่บนโครงเหล็กกรไถเดินตามและอยู่เหนือเพลาล้อรถไถเดินตามซึ่งเป็นฐานรองรับชนิดลูกกลิ้ง (roller support) และเมื่อพิจารณาค่าการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางพบว่า ณ ตำแหน่งโครงเหล็กกรไถเดินตามนี้เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวตั้ง (Z-axis) ของรถไถเดินตาม เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนดังแสดงในตารางที่ 41 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ได้แก่ จำนวนเที่ยวการไถพรวนดิน ชนิดล้อรถไถเดินตาม และใบมีดจอบหมุน

การวิเคราะห์ทางสถิติการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทาง (X-axis, Y-axis และ Z-axis) ดังแสดงในตารางที่ 42 พบว่าปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis) ได้แก่ ชนิดของล้อรถไถเดินตาม ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และชนิดใบมีดจอบหมุน ขณะที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์เป็นปัจจัยเดียวที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการสั่นสะเทือนในแนวขวาง (Y-axis) ของรถไถเดินตาม และชนิดใบมีดจอบหมุนเพียงปัจจัยเดียวที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการสั่นสะเทือนในแนวตั้ง (Z-axis) ณ ตำแหน่งโครงเหล็กกรไถเดินตาม

3.2.3 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุนเงื่อนไขไถพรวนดิน

ในขณะที่เครื่องพรวนจอบหมุนไถพรวนดินนั้น ผลการทดลอง (ภาพที่ 57 ถึง 68 และตารางที่ 26 ถึง 37) แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าที่ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุนเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวขวางรถไถเดินตาม (Y-axis) และสั่นสะเทือนน้อยที่สุดในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis) และไม่พบว่ามีแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเร่งการสั่นสะเทือนและความเร็วรอบเครื่องยนต์ เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความเร่งลัพธ์ของ

การสั่นสะเทือน (ตารางที่ 43) พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนอย่างมีนัยสำคัญ คือ ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และใบมีดจอบหมุน โดยพบว่าที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 rpm ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุด และขณะเครื่องพรวนจอบหมุนไถพรวนดิน ชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุด

การวิเคราะห์ทางสถิติค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางรถไถเดินตาม (Y-axis) ที่ตำแหน่งห้องพนักพิงเครื่องพรวนจอบหมุนดังแสดงในตารางที่ 44 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการสั่นสะเทือนคือ ความเร็วรอบเครื่องยนต์และใบมีดจอบหมุน โดยขณะที่ชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) ไถพรวนดินด้วยความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 rpm ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวขวางและแนวดิ่งของรถไถเดินตาม

3.2.4 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตามเงื่อนไขไถพรวนดิน

ผลการทดลองที่เงื่อนไขไถพรวนดิน แสดงให้เห็นว่า (ภาพที่ 57 ถึง 68 และ ตารางที่ 26 ถึง 37) ณ ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตามเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวดิ่ง (Z-axis) และเกิดการสั่นสะเทือนน้อยที่สุดในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 45) ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนแสดงให้เห็นว่าปัจจัยความเร็วรอบเครื่องยนต์ ต้นกำลังและใบมีดจอบหมุนส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือน และพบว่าค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนสูงสุด ขณะที่ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) กำลังไถพรวนดิน และค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนน้อยที่สุดปรากฏขึ้นในกรณีไถพรวนดินด้วยชุดใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1)

นอกจากนั้นผลการวิเคราะห์ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทาง (X-axis, Y-axis และ Z-axis) ดังแสดงในตารางที่ 46 ยังแสดงให้เห็นว่าเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในทุกทิศทางขณะที่ชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) ไถพรวนดิน

ตารางที่ 26 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขไรถไถเดินตามล้อเหล็ก
ไถพรวนดินเที่ยวที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ

Position	Engine speed (rpm)	Dominant frequencies (Hz) and accelerations (m/s ²)				
		Hz	A _x	A _y	A _z	Resultant
Top engine	2,000	109.56	15.27	3.73	0.65	15.73
	2,200	106.81	19.16	2.95	0.56	19.39
	2,400	106.81	22.89	3.23	0.05	23.12
Chassis	2,000	44.86	0.22	0.08	0.83	0.86
	2,200	113.22	0.23	0.21	0.65	0.72
	2,400	113.22	0.23	0.12	1.46	1.48
Gear box	2,000	55.24	2.61	0.40	1.52	3.05
	2,200	60.43	0.40	0.15	0.88	0.98
	2,400	61.04	1.52	0.09	0.82	1.73
Rotary	2,000	162.35	0.69	8.90	1.44	9.04
	2,200	160.52	0.44	11.59	1.80	11.74
	2,400	165.10	0.60	15.29	2.58	15.52
Mid handle	2,000	236.82	5.31	0.81	2.27	5.83
	2,200	237.43	6.29	0.84	2.33	6.76
	2,400	236.82	6.90	0.78	2.57	7.40
Handle grip	2,000	43.34	0.11	0.48	4.17	4.20
	2,200	42.42	0.49	0.98	4.99	5.11
	2,400	21.36	0.45	0.99	4.33	4.46
Chest	2,000	0.92	0.85	0.02	0.31	0.90
	2,200	0.61	0.64	0.28	0.15	0.71
	2,400	0.31	0.03	1.08	0.14	1.09

ตารางที่ 27 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขรถไถเดินตามล้อยาง
ไถพรวนดินเที่ยวที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ

Position	Engine speed (rpm)	Dominant frequencies (Hz) and accelerations (m/s ²)				
		Hz	A _x	A _y	A _z	Resultant
Top engine	2,000	111.69	40.36	10.03	1.65	41.62
	2,200	116.88	22.15	4.25	0.57	22.29
	2,400	115.66	21.93	5.44	0.83	22.61
Chassis	2,000	111.69	1.05	1.16	1.81	2.39
	2,200	116.88	0.62	0.45	1.03	1.28
	2,400	33.26	0.51	0.19	1.22	1.34
Gear box	2,000	111.69	2.13	2.31	1.43	3.45
	2,200	50.05	2.05	0.25	0.46	2.12
	2,400	49.74	2.14	0.22	0.48	2.20
Rotary	2,000	112.92	0.08	5.54	0.08	5.54
	2,200	151.37	0.30	14.16	2.28	14.35
	2,400	160.83	0.36	12.93	2.06	13.10
Mid handle	2,000	239.56	8.43	1.17	3.43	9.18
	2,200	242.62	7.27	2.83	1.34	7.92
	2,400	239.56	6.92	0.28	2.09	7.23
Handle grip	2,000	27.16	0.90	2.59	7.44	7.93
	2,200	35.10	1.05	1.65	5.23	5.58
	2,400	36.93	0.67	0.66	4.42	4.52
Chest	2,000	3.97	0.38	0.56	0.37	0.77
	2,200	1.53	0.78	0.33	0.37	0.92
	2,400	8.55	0.69	0.35	0.22	0.80

ตารางที่ 28 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขไรด์ไถเดินตามล้อเหล็ก
ไถพรวนดินเที่ยวที่ 2 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ

Position	Engine speed (rpm)	Dominant frequencies (Hz) and accelerations (m/s ²)				
		Hz	A _x	A _y	A _z	Resultant
Top engine	2,000	111.39	30.19	7.77	1.38	31.20
	2,200	70.80	18.41	1.71	0.88	18.51
	2,400	98.57	46.19	14.23	2.63	48.40
Chassis	2,000	31.74	0.60	0.08	1.46	1.58
	2,200	53.41	0.42	0.22	2.27	2.32
	2,400	157.78	1.41	1.38	2.81	3.43
Gear box	2,000	63.48	2.12	0.42	0.94	2.36
	2,200	53.10	2.79	0.63	1.48	3.22
	2,400	59.20	4.84	0.05	1.50	5.07
Rotary	2,000	159.00	0.99	18.65	3.48	19.00
	2,200	159.91	0.69	16.26	2.78	16.51
	2,400	159.61	0.74	11.95	2.19	12.17
Mid handle	2,000	246.28	4.69	1.15	2.24	5.32
	2,200	245.67	8.45	0.94	2.69	8.92
	2,400	248.41	5.03	0.92	1.09	5.23
Handle grip	2,000	31.74	0.98	2.47	6.66	7.17
	2,200	35.40	1.51	3.14	8.17	8.88
	2,400	60.43	0.68	0.94	4.35	4.50
Chest	2,000	0.31	0.10	1.14	0.08	1.15
	2,200	4.88	0.51	0.92	0.10	1.06
	2,400	0.31	0.29	0.67	0.20	0.76

ตารางที่ 29 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขไครตไถเดินตามล้อยาง
ไถพรวนดินเที่ยวที่ 2 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ

Position	Engine speed (rpm)	Dominant frequencies (Hz) and accelerations (m/s ²)				
		Hz	A _x	A _y	A _z	Resultant
Top engine	2,000	112.31	38.27	9.49	1.64	39.46
	2,200	123.29	21.38	10.74	1.53	23.97
	2,400	156.56	20.15	19.62	5.13	28.59
Chassis	2,000	113.83	0.83	0.65	1.45	1.79
	2,200	52.80	1.77	0.56	2.82	3.38
	2,400	57.37	0.67	0.19	1.23	1.41
Gear box	2,000	112.31	1.80	2.19	1.05	3.02
	2,200	52.80	5.05	0.68	0.76	5.15
	2,400	58.29	2.13	0.57	0.66	2.30
Rotary	2,000	159.91	0.33	17.20	2.94	17.45
	2,200	160.83	0.31	16.72	3.00	16.99
	2,400	162.05	0.50	14.32	2.61	14.56
Mid handle	2,000	247.19	7.26	1.07	2.40	7.72
	2,200	257.87	6.93	2.57	0.51	7.41
	2,400	248.72	6.72	0.97	1.13	6.88
Handle grip	2,000	47.91	0.88	0.87	4.42	4.59
	2,200	35.40	0.84	2.02	9.54	9.79
	2,400	43.34	0.45	0.43	3.23	3.29
Chest	2,000	4.58	1.30	1.23	1.19	2.15
	2,200	5.19	0.90	1.01	1.19	1.80
	2,400	5.49	0.76	1.65	0.21	1.83

ตารางที่ 30 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขไรถไถเดินตามล้อเหล็ก
ไถพรวนดินที่ยาวที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ

Position	Engine speed (rpm)	Dominant frequencies (Hz) and accelerations (m/s ²)				
		Hz	A _x	A _y	A _z	Resultant
Top engine	2,000	111.08	33.09	10.77	1.54	34.83
	2,200	71.41	24.18	1.63	1.07	24.26
	2,400	96.73	31.30	7.87	1.51	32.31
Chassis	2,000	112.00	0.95	1.42	2.62	3.13
	2,200	35.71	0.61	0.03	1.62	1.73
	2,400	197.45	1.00	0.22	1.07	1.48
Gear box	2,000	112.00	1.32	3.03	1.62	3.68
	2,200	53.41	2.94	0.37	1.32	3.24
	2,400	59.20	1.79	0.21	0.47	1.86
Rotary	2,000	157.47	0.52	19.06	2.87	19.28
	2,200	155.95	0.27	18.07	2.71	18.27
	2,400	160.22	0.24	15.82	2.35	16.00
Mid handle	2,000	260.62	3.59	0.31	0.40	3.63
	2,200	263.67	3.32	0.55	0.12	3.37
	2,400	250.55	6.33	1.69	2.85	7.14
Handle grip	2,000	31.74	0.78	2.20	5.78	6.23
	2,200	31.43	1.14	2.18	7.81	8.19
	2,400	32.65	0.72	1.51	6.56	6.77
Chest	2,000	0.31	0.77	0.17	0.40	0.88
	2,200	0.31	0.34	0.76	0.13	0.84
	2,400	0.92	0.98	0.20	0.47	1.11

ตารางที่ 31 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขรถไถเดินตามล้อยาง
ไถพรวนดินที่ยาวที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ

Position	Engine speed (rpm)	Dominant frequencies (Hz) and accelerations (m/s ²)				
		Hz	A _x	A _y	A _z	Resultant
Top engine	2,000	115.36	22.37	6.80	1.22	23.41
	2,200	196.23	22.51	4.56	2.51	23.10
	2,400	78.13	37.88	4.59	0.67	38.16
Chassis	2,000	115.97	0.69	0.66	1.66	1.92
	2,200	53.41	1.18	0.58	2.16	2.53
	2,400	136.72	1.26	1.09	2.09	2.67
Gear box	2,000	48.83	2.17	0.18	0.34	2.20
	2,200	53.41	4.10	0.33	0.70	4.17
	2,400	58.59	3.52	0.43	0.99	3.68
Rotary	2,000	161.44	0.59	13.55	1.83	13.69
	2,200	159.30	0.53	13.46	2.30	13.67
	2,400	156.86	0.57	13.48	2.18	13.67
Mid handle	2,000	251.77	9.29	2.04	3.72	10.21
	2,200	262.76	7.66	2.25	0.71	8.02
	2,400	250.24	12.99	2.59	4.90	14.12
Handle grip	2,000	32.35	0.43	2.11	7.84	8.13
	2,200	51.27	0.86	0.71	6.94	7.03
	2,400	50.66	0.58	0.41	3.80	3.87
Chest	2,000	4.27	0.38	0.26	0.66	0.80
	2,200	4.88	1.21	0.70	0.90	1.66
	2,400	5.19	0.72	1.09	0.50	1.40

ตารางที่ 32 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขไครตไถเดินตามล้อเหล็ก
ไถพรวนดินที่ยาวที่ 2 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ

Position	Engine speed (rpm)	Dominant frequencies (Hz) and accelerations (m/s ²)				
		Hz	A _x	A _y	A _z	Resultant
Top engine	2,000	112.00	27.94	10.47	0.02	29.84
	2,200	71.41	26.53	2.38	0.01	26.64
	2,400	97.96	51.98	13.27	0.01	53.65
Chassis	2,000	111.69	0.89	1.16	2.19	2.63
	2,200	35.40	0.60	0.06	1.55	1.66
	2,400	156.56	0.98	1.60	2.33	2.99
Gear box	2,000	112.00	1.40	2.41	1.10	3.00
	2,200	53.71	2.49	0.11	1.31	2.82
	2,400	58.59	3.83	0.19	1.24	4.03
Rotary	2,000	157.47	0.24	13.66	1.95	13.80
	2,200	164.49	0.36	11.80	2.08	11.99
	2,400	153.80	0.19	12.26	2.06	12.43
Mid handle	2,000	254.21	4.72	0.54	1.49	4.98
	2,200	260.62	3.37	0.15	0.53	3.41
	2,400	247.50	3.44	1.06	1.72	3.99
Handle grip	2,000	31.43	0.43	2.01	6.40	6.72
	2,200	36.01	0.59	1.89	5.29	5.65
	2,400	34.49	0.44	0.88	4.29	4.40
Chest	2,000	0.92	0.62	0.29	0.22	0.72
	2,200	6.10	0.15	0.13	0.41	0.46
	2,400	0.31	0.34	0.48	0.43	0.73

ตารางที่ 33 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขไรถไถเดินตามล้อยาง
ไถพรวนดินที่ยาวที่ 2 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ

Position	Engine speed (rpm)	Dominant frequencies (Hz) and accelerations (m/s ²)				
		Hz	A _x	A _y	A _z	Resultant
Top engine	2,000	114.14	32.97	9.38	1.69	34.32
	2,200	197.14	32.98	3.49	2.27	33.24
	2,400	159.61	30.82	22.07	3.52	38.07
Chassis	2,000	113.83	0.87	0.65	1.87	2.16
	2,200	53.71	1.95	0.70	2.73	3.43
	2,400	139.77	1.28	0.91	2.06	2.59
Gear box	2,000	48.83	2.46	0.43	0.76	2.61
	2,200	53.71	5.52	0.76	1.16	5.69
	2,400	59.81	2.97	0.60	0.39	3.05
Rotary	2,000	163.57	0.80	15.29	2.55	15.52
	2,200	162.96	0.44	12.39	1.72	12.52
	2,400	153.81	0.11	10.67	1.94	10.85
Mid handle	2,000	244.45	6.32	1.86	2.47	7.04
	2,200	249.63	4.55	2.25	0.75	5.13
	2,400	243.84	4.23	0.85	1.29	4.50
Handle grip	2,000	49.13	1.44	0.43	7.95	8.09
	2,200	54.02	2.11	0.43	7.42	7.73
	2,400	39.06	0.34	0.55	4.41	4.46
Chest	2,000	0.31	1.23	0.96	0.38	1.61
	2,200	0.92	0.17	0.98	0.09	1.00
	2,400	5.19	0.68	0.72	0.30	1.03

ตารางที่ 34 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขไรด์ไถเดินตามล้อเหล็ก
ไถพรวนดินที่ยาวที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ

Position	Engine speed (rpm)	Dominant frequencies (Hz) and accelerations (m/s^2)				
		Hz	A_x	A_y	A_z	Resultant
Top engine	2,000	113.53	33.28	12.37	2.10	35.57
	2,200	70.80	21.07	1.63	0.77	21.15
	2,400	97.96	34.10	10.11	1.94	35.62
Chassis	2,000	113.53	0.85	1.31	2.55	2.99
	2,200	35.40	0.74	0.12	1.87	2.01
	2,400	156.56	0.48	0.37	1.89	1.98
Gear box	2,000	113.53	2.62	3.43	0.88	4.40
	2,200	53.10	2.88	0.36	1.57	3.30
	2,400	58.59	2.77	0.15	0.73	2.87
Rotary	2,000	111.39	0.86	13.61	0.81	13.66
	2,200	161.44	1.48	29.78	4.48	30.15
	2,400	163.88	0.94	18.21	3.11	18.50
Mid handle	2,000	252.08	9.85	4.79	1.54	11.06
	2,200	233.15	8.05	1.31	4.32	9.23
	2,400	236.51	5.25	0.67	2.52	5.86
Handle grip	2,000	47.61	0.74	1.53	5.99	6.23
	2,200	53.71	1.99	1.24	6.61	7.01
	2,400	36.01	0.64	1.70	6.75	6.99
Chest	2,000	0.31	1.21	0.52	0.90	1.60
	2,200	0.92	0.74	0.37	0.45	0.94
	2,400	0.31	0.29	1.21	0.07	1.25

ตารางที่ 35 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขไรถไถเดินตามล้อยาง
ไถพรวนดินเที่ยวที่ 1 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ

Position	Engine speed (rpm)	Dominant frequencies (Hz) and accelerations (m/s^2)				
		Hz	A_x	A_y	A_z	Resultant
Top engine	2,000	112.61	35.06	6.72	1.19	35.72
	2,200	52.49	19.53	0.46	2.49	19.69
	2,400	76.90	21.85	2.52	0.27	22.00
Chassis	2,000	113.53	0.62	0.68	1.50	1.76
	2,200	52.49	1.96	0.79	2.82	3.52
	2,400	212.10	1.57	0.38	1.55	2.24
Gear box	2,000	48.22	2.51	0.67	0.90	2.75
	2,200	52.49	5.81	1.03	1.81	6.17
	2,400	499.27	3.09	0.13	0.44	3.12
Rotary	2,000	162.96	0.62	13.39	1.84	13.53
	2,200	158.39	0.29	18.34	2.85	18.56
	2,400	163.88	0.18	19.36	3.16	19.62
Mid handle	2,000	262.76	13.33	2.44	0.54	13.56
	2,200	257.87	10.23	2.48	0.65	10.55
	2,400	245.36	9.19	2.81	4.15	10.47
Handle grip	2,000	32.35	0.51	2.74	11.61	11.94
	2,200	35.10	0.39	1.26	6.94	7.06
	2,400	58.59	1.69	1.63	4.63	5.19
Chest	2,000	1.83	0.60	0.13	0.10	0.62
	2,200	0.92	0.66	0.68	0.04	0.95
	2,400	5.49	0.33	0.41	0.60	0.80

ตารางที่ 36 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขไรถไถเดินตามล้อเหล็ก
ไถพรวนดินที่ียวที่ 2 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ

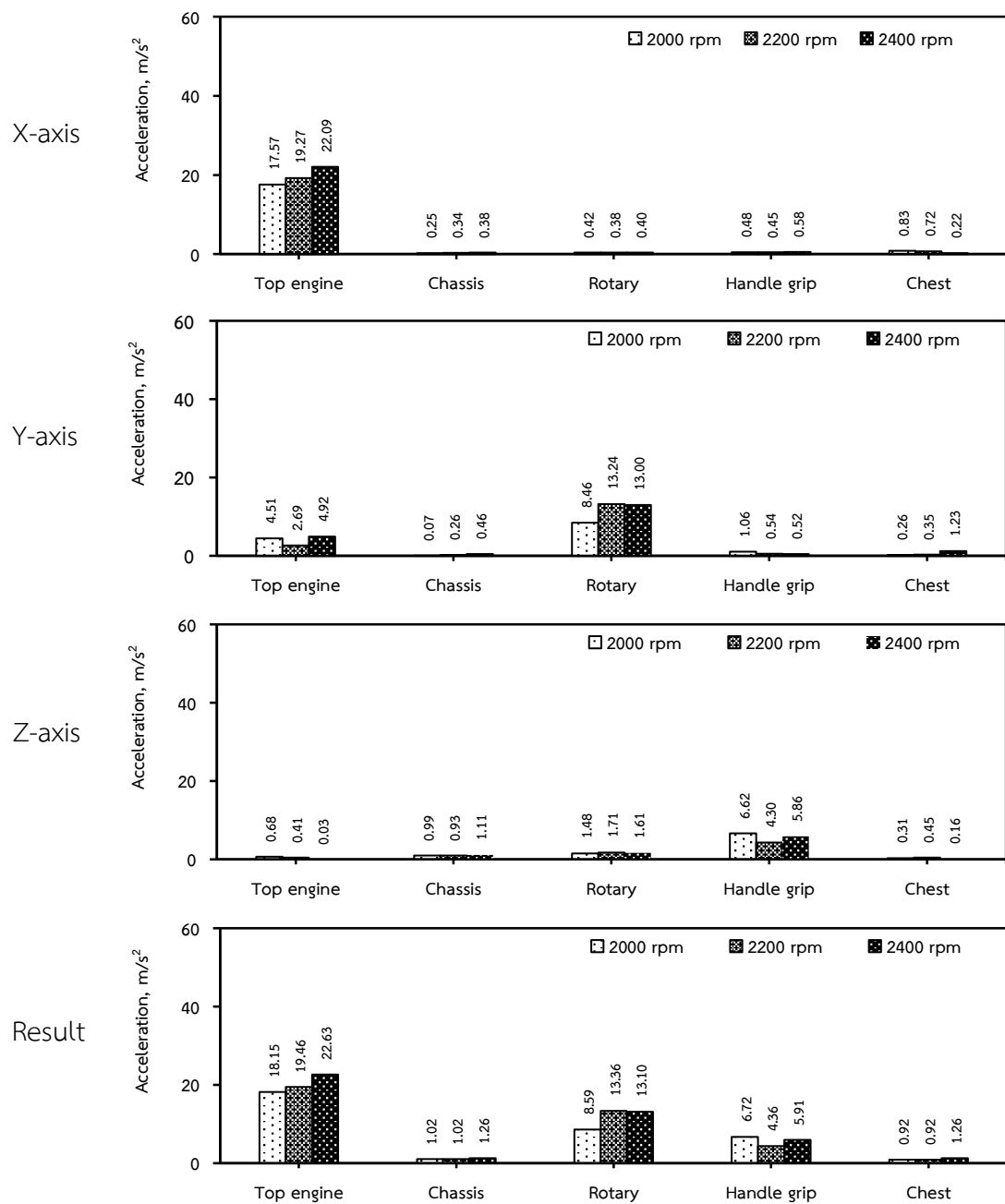
Position	Engine speed (rpm)	Dominant frequencies (Hz) and accelerations (m/s^2)				
		Hz	A_x	A_y	A_z	Resultant
Top engine	2,000	113.83	18.81	5.91	0.83	19.73
	2,200	164.19	23.25	6.53	1.77	24.21
	2,400	98.57	44.60	9.42	2.03	45.63
Chassis	2,000	113.83	0.54	0.80	1.25	1.58
	2,200	200.50	1.35	0.57	1.52	2.11
	2,400	157.78	0.59	0.40	1.65	1.80
Gear box	2,000	114.14	2.18	1.63	0.90	2.87
	2,200	54.63	4.21	0.31	1.55	4.50
	2,400	59.20	2.21	0.06	0.51	2.27
Rotary	2,000	158.39	0.92	14.25	2.10	14.43
	2,200	161.44	1.16	21.97	3.28	22.24
	2,400	164.19	0.77	12.75	2.12	12.95
Mid handle	2,000	264.89	4.19	0.36	0.58	4.25
	2,200	250.24	5.02	1.78	2.88	6.06
	2,400	253.60	4.23	0.85	1.52	4.57
Handle grip	2,000	31.74	1.00	2.14	5.88	6.34
	2,200	53.71	2.38	2.24	8.19	8.82
	2,400	36.62	1.88	2.56	10.30	10.78
Chest	2,000	0.31	0.29	0.67	0.39	0.83
	2,200	0.92	0.28	1.07	0.26	1.14
	2,400	10.38	0.53	0.65	0.04	0.84

ตารางที่ 37 ค่าความถี่และความเร่งของการสั่นสะเทือนที่แอมพลิจูดสูงสุดเงื่อนไขไรถไถเดินตามล้อยาง
ไถพรวนดินที่ียวที่ 2 โดยใช้ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ

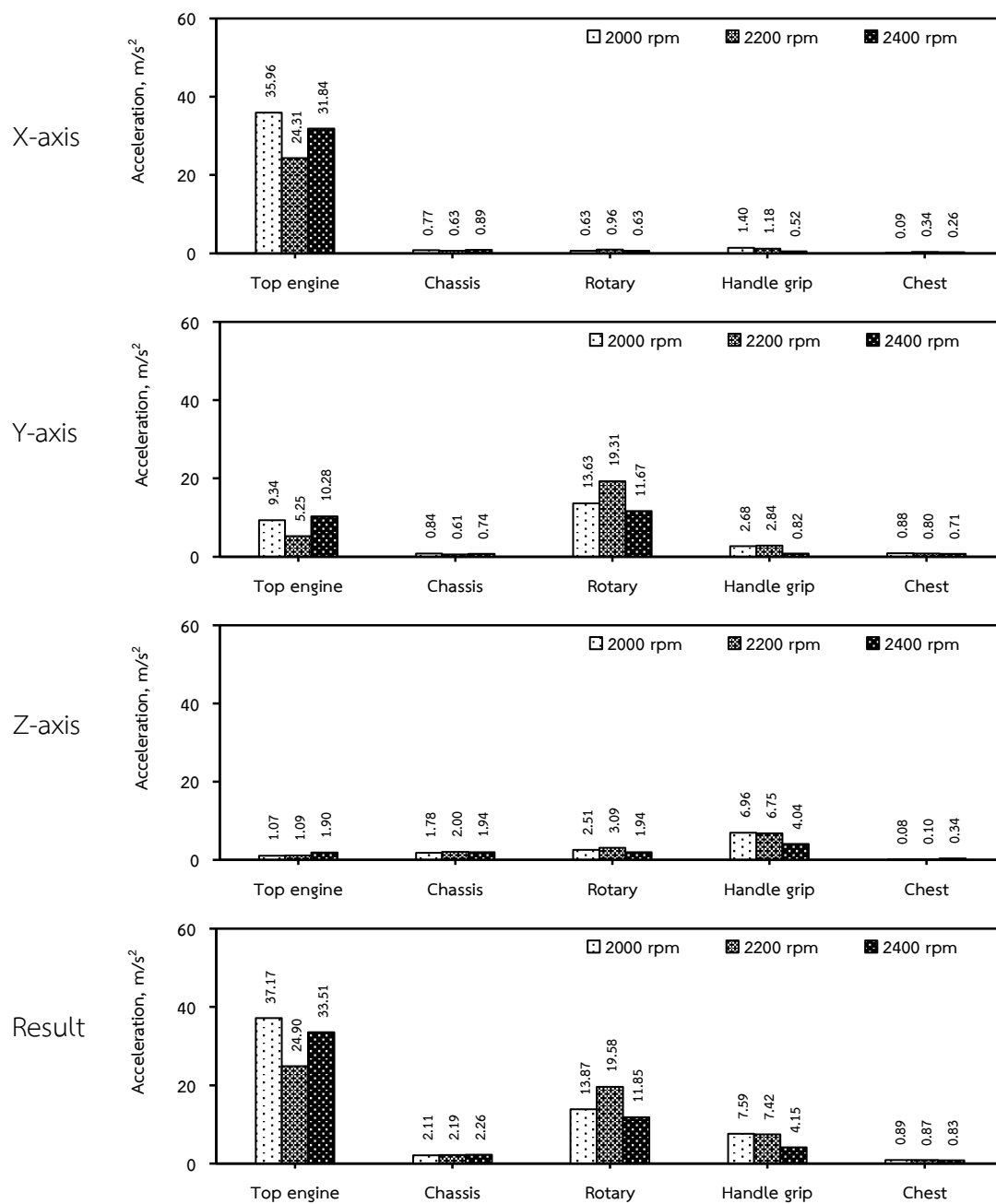
Position	Engine speed (rpm)	Dominant frequencies (Hz) and accelerations (m/s^2)				
		Hz	A _x	A _y	A _z	Resultant
Top engine	2,000	112.31	46.07	10.18	1.81	47.22
	2,200	199.59	27.44	4.19	2.40	27.86
	2,400	77.82	23.16	2.38	0.37	23.28
Chassis	2,000	112.31	0.70	0.79	2.05	2.31
	2,200	54.32	1.67	0.56	2.59	3.13
	2,400	58.29	0.68	0.22	1.31	1.49
Gear box	2,000	48.22	2.80	0.46	0.97	3.00
	2,200	54.32	4.99	0.38	0.61	5.04
	2,400	58.29	2.48	0.65	0.49	2.61
Rotary	2,000	158.39	0.10	10.69	2.02	10.88
	2,200	161.13	0.27	17.43	3.12	17.71
	2,400	164.80	0.75	17.72	2.78	17.95
Mid handle	2,000	251.77	13.39	4.14	5.92	15.21
	2,200	261.23	7.57	0.59	0.80	7.63
	2,400	251.16	13.63	4.26	5.91	15.45
Handle grip	2,000	31.74	1.75	2.32	8.45	8.94
	2,200	34.79	1.23	1.62	6.84	7.14
	2,400	36.32	1.57	2.24	9.79	10.16
Chest	2,000	1.83	0.12	1.21	0.14	1.22
	2,200	0.92	0.12	0.95	0.22	0.98
	2,400	1.83	0.12	0.57	0.27	0.64

ตารางที่ 38 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของปัจจัย ใบมีดจอบหมุน ความเร็วรอบเครื่องยนต์ เกี่ยวกับการไถพรวน และชนิดล้อรถไถเดินตาม ที่มีผลต่อค่าความเร่งลัพท์การสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามที่เงื่อนไขไถพรวนดิน

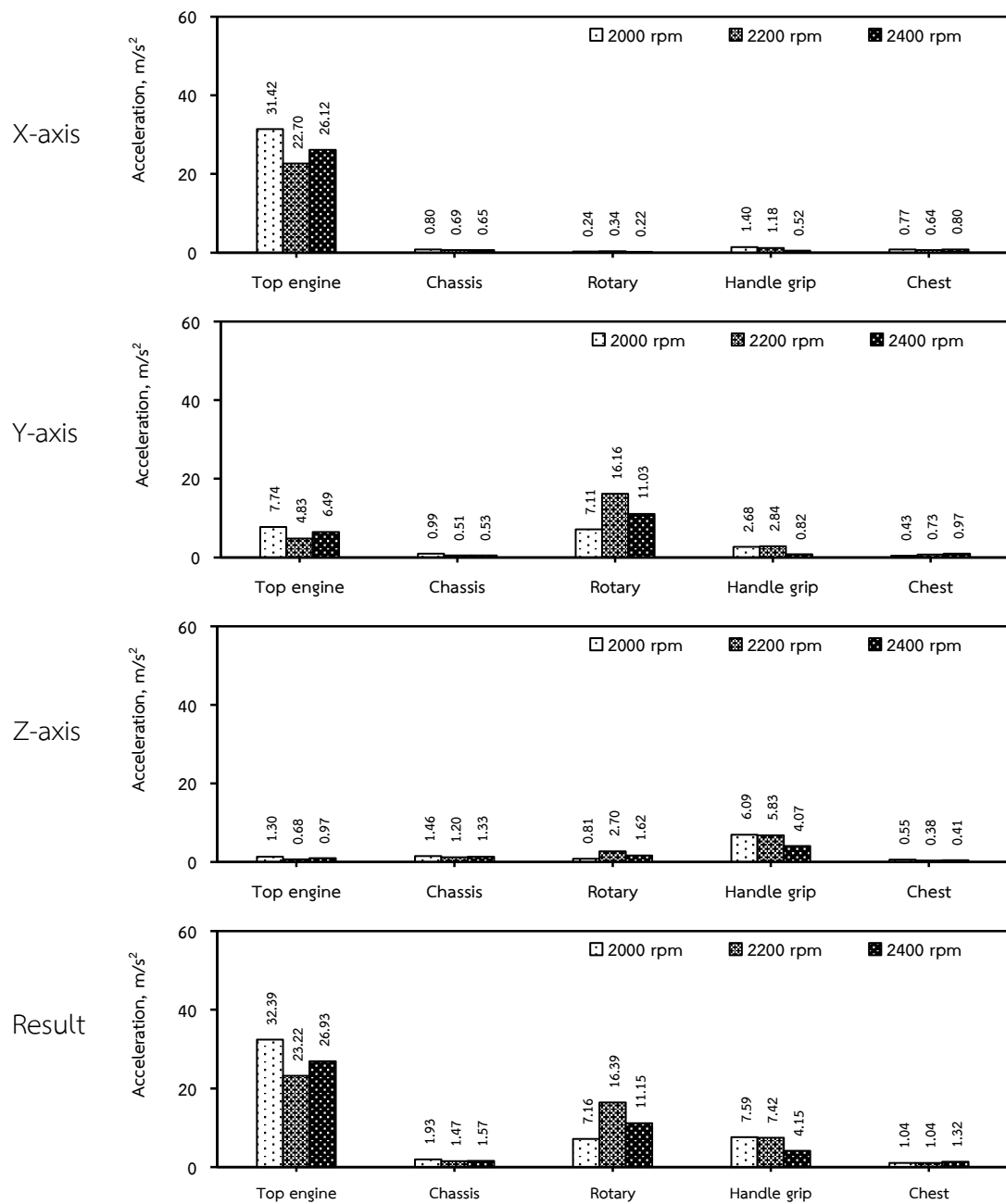
ใบมีดจอบหมุน	เกี่ยวกับการไถ	ชนิดล้อ	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)	ค่าความเร่งลัพท์การสั่นสะเทือน, m/s ²						
				Top engine	Chassis	Gear box	Rotary	Mid handle	Handle grip	Chest
ญี่ปุ่นรุ่นตัวสี 14 ใบ	1 st	ล้อเหล็ก	2,000	18.15	1.02	3.07	8.59	6.17	6.72	0.95
			2,200	19.46	1.02	2.37	13.36	7.35	4.36	0.94
			2,400	22.63	1.26	1.88	13.1	6.09	5.91	1.27
		ล้อยาง	2,000	32.39	1.93	2.65	7.16	7.29	6.46	1.09
			2,200	23.22	1.47	2.46	16.39	9.59	6.15	1.11
			2,400	26.93	1.57	2.54	11.15	6.71	4.26	1.36
	2 nd	ล้อเหล็ก	2,000	37.17	2.11	2.91	13.87	5.89	7.59	0.89
			2,200	24.9	2.19	3.20	19.58	8.07	7.42	0.88
			2,400	33.51	2.26	3.61	11.85	6.34	4.15	0.84
		ล้อยาง	2,000	48.75	2.48	3.88	17.1	7.32	5.53	1.45
			2,200	20.15	2.99	4.61	15.91	10.56	9.28	1.31
			2,400	42.01	2.06	3.00	15.99	6.98	3.98	1.71
ต้นแบบ 14 ใบ	1 st	ล้อเหล็ก	2,000	33.63	2.88	3.30	18.82	3.80	7.51	1.53
			2,200	22.12	1.66	3.46	16.08	4.85	7.48	0.86
			2,400	42.61	1.74	2.39	15.66	6.36	7.64	0.84
		ล้อยาง	2,000	27.84	2.25	2.37	12.17	7.54	7.29	1.17
			2,200	20.53	2.61	3.89	18.63	8.47	7.18	1.33
			2,400	31.88	2.28	2.89	12.34	11.46	6.41	1.01
	2 nd	ล้อเหล็ก	2,000	31.58	2.56	3.07	14.44	4.74	7.27	0.89
			2,200	25.74	1.82	2.7	17.29	4.24	6.19	0.64
			2,400	49.89	2.33	3.83	15.19	4.28	4.94	1.02
		ล้อยาง	2,000	31.61	2.68	2.69	12.84	6.63	9.24	2.15
			2,200	28.78	3.19	5.00	11.95	6.92	7.9	1.01
			2,400	34.85	2.61	2.74	14.07	6.13	6.39	1.01
ต้นแบบ 10 ใบ	1 st	ล้อเหล็ก	2,000	35.95	2.86	4.30	13.22	9.84	6.56	1.27
			2,200	23.20	1.90	3.20	27.70	7.99	6.77	0.93
			2,400	35.80	1.66	2.97	15.51	8.99	7.84	1.21
		ล้อยาง	2,000	28.53	1.46	2.20	12.37	11.47	12.87	0.85
			2,200	19.33	3.21	5.65	17.13	10.58	8.07	1.00
			2,400	20.37	1.85	3.04	17.82	9.34	5.40	0.84



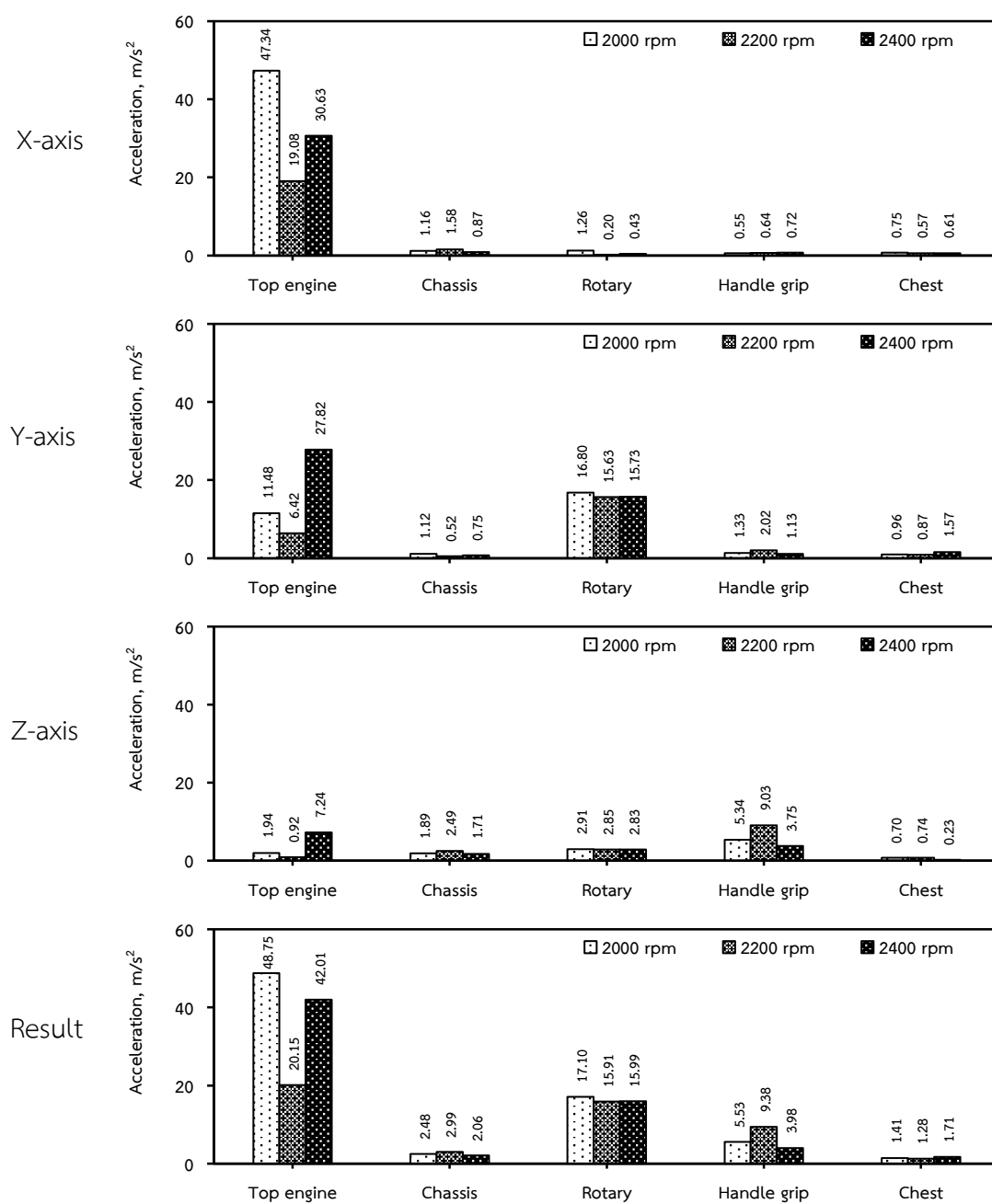
ภาพที่ 57 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไถพรวนดินเที่ยวที่ 1 ด้วยใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ



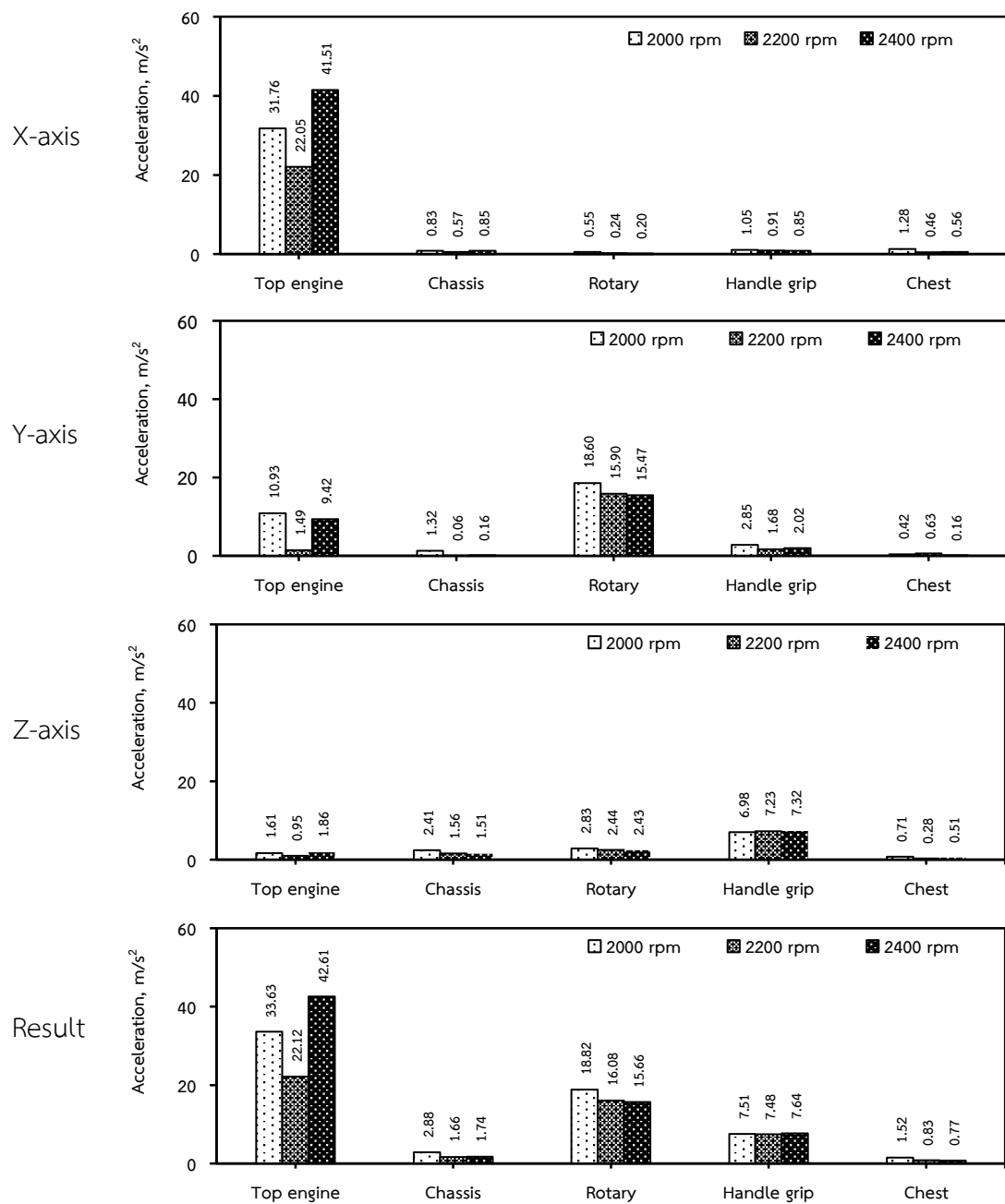
ภาพที่ 58 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไฟฟ้าพวณดินเที่ยวที่ 2 ด้วยใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ



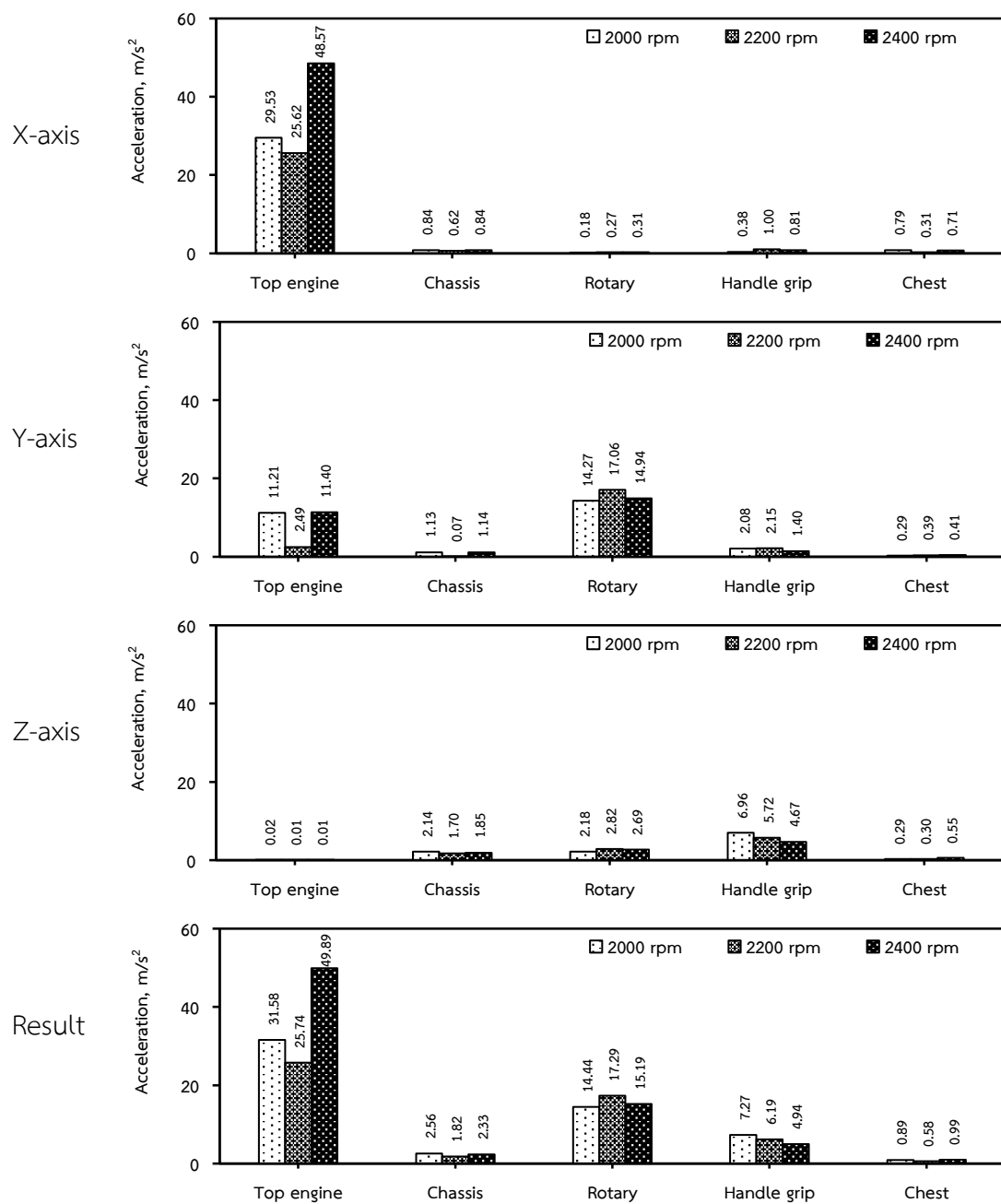
ภาพที่ 59 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อยางเส้นไขว้ไถพรวนดินเที่ยวที่ 1 ด้วยใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ



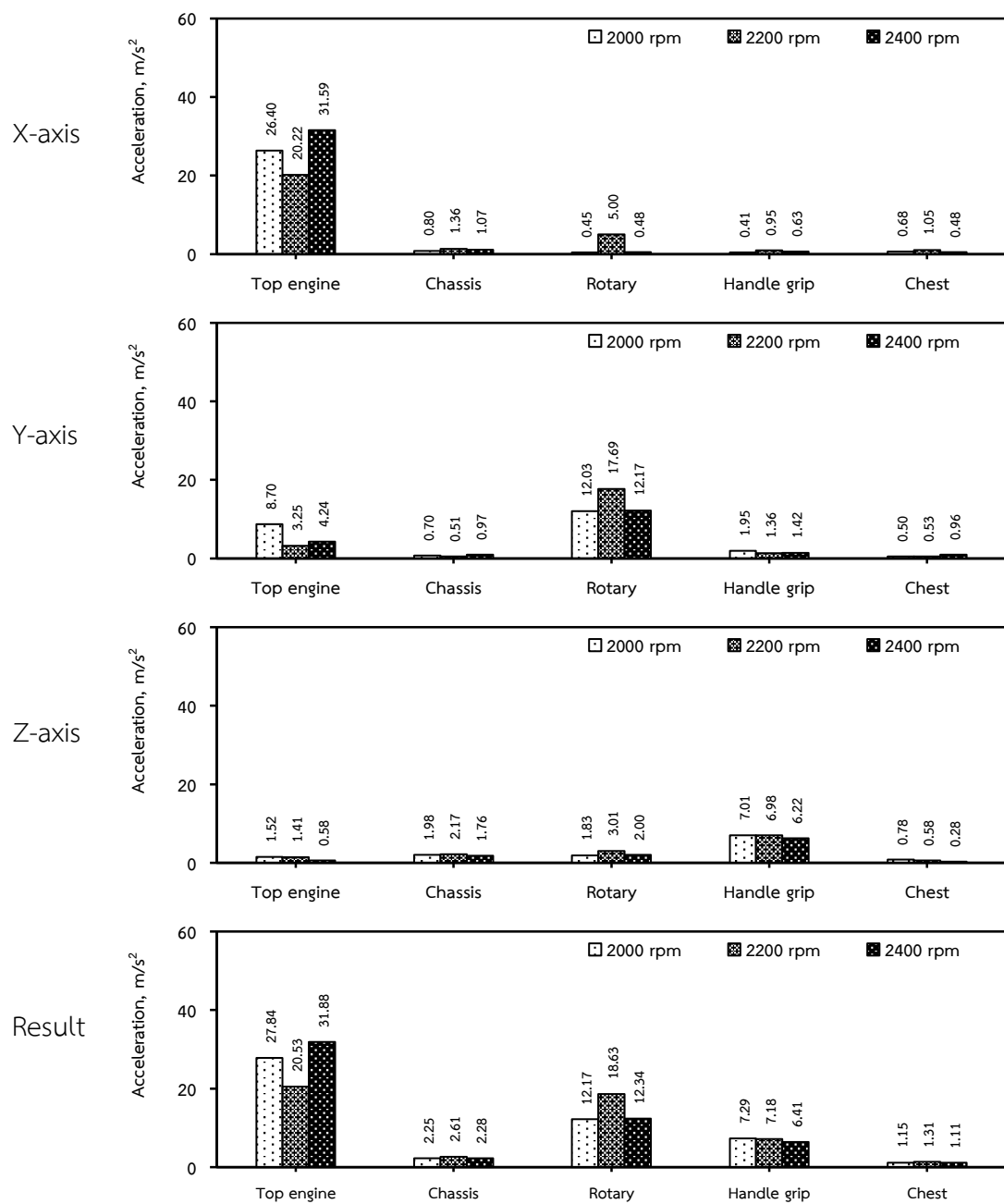
ภาพที่ 60 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อยางเสี้ยนไขไถพรวนดินเที่ยวที่ 2 ด้วยใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ



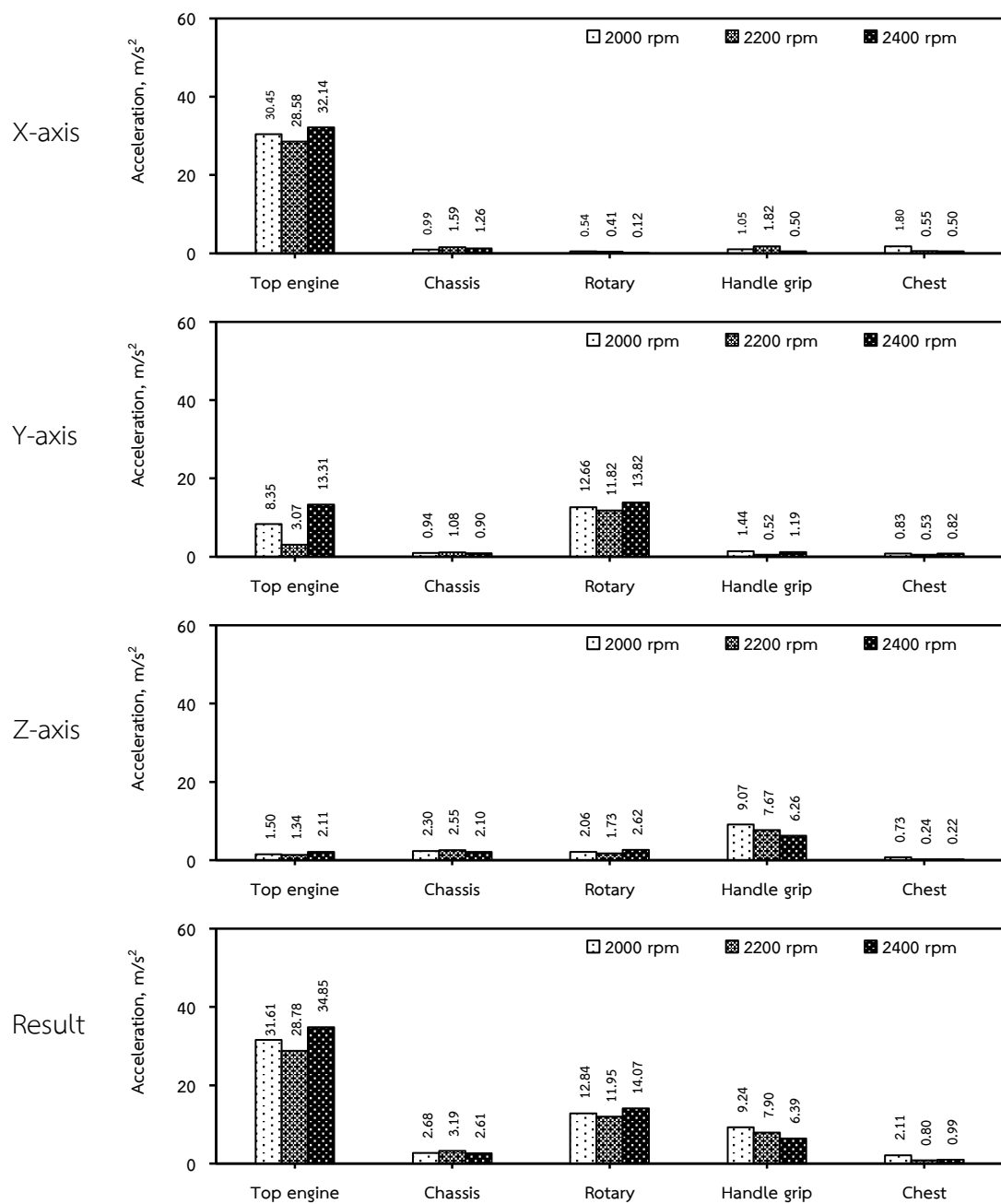
ภาพที่ 61 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไถพรวนดินเที่ยวที่ 1 ด้วยใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ



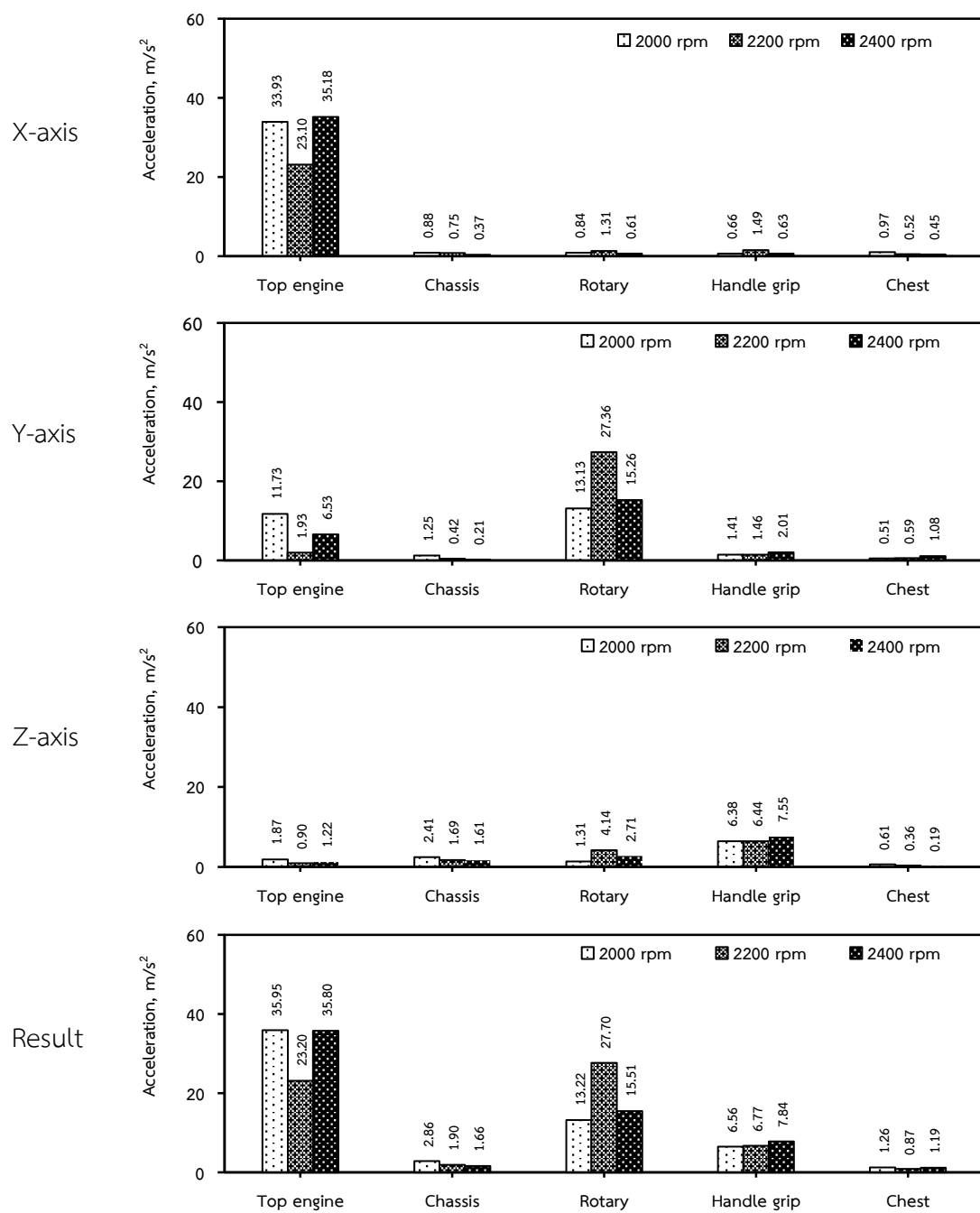
ภาพที่ 62 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไถพรวนดินเที่ยวที่ 2 ด้วยใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ



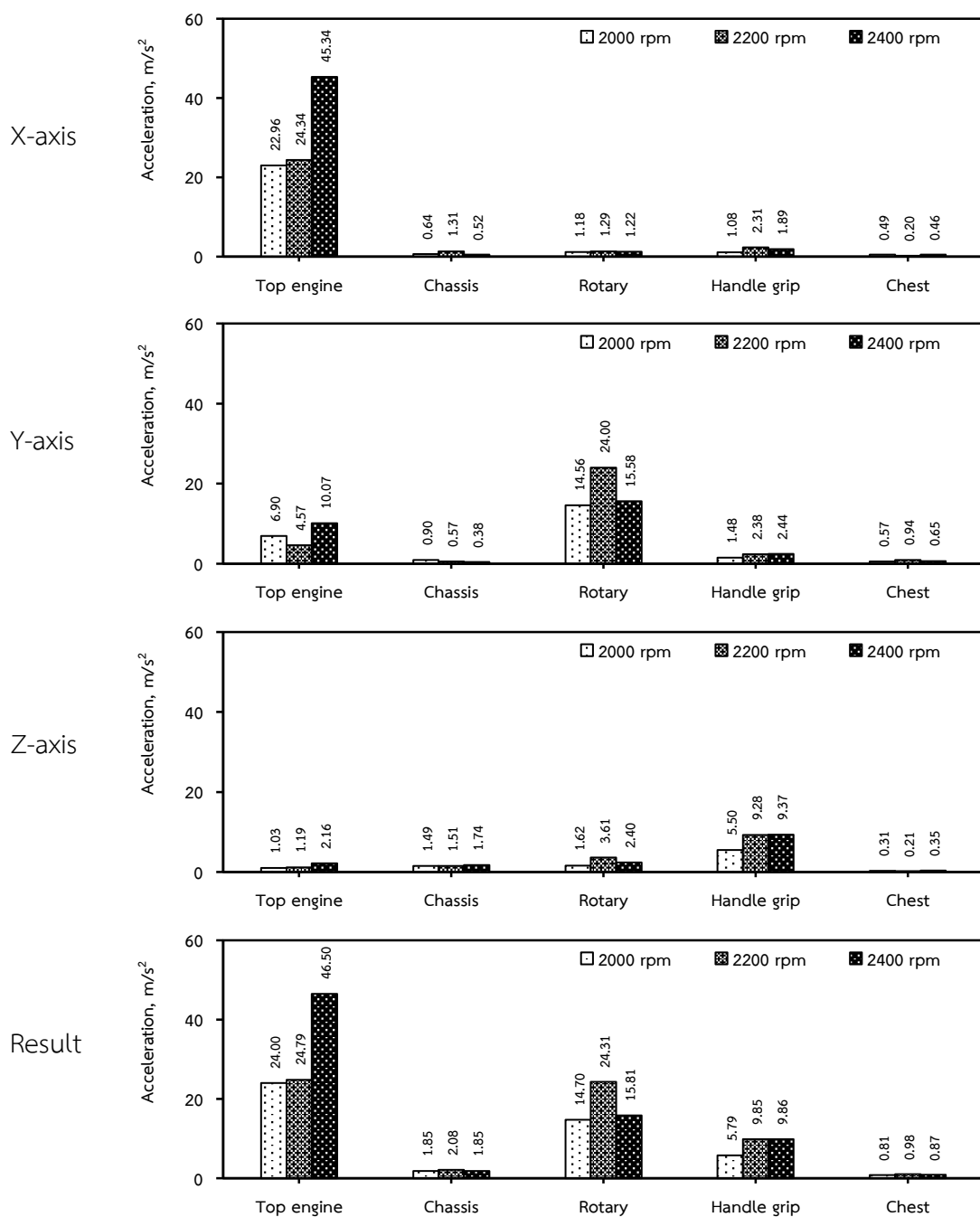
ภาพที่ 63 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อยางเงื่อนไขไถพรวนดินเดี่ยวที่ 1 ด้วยใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ



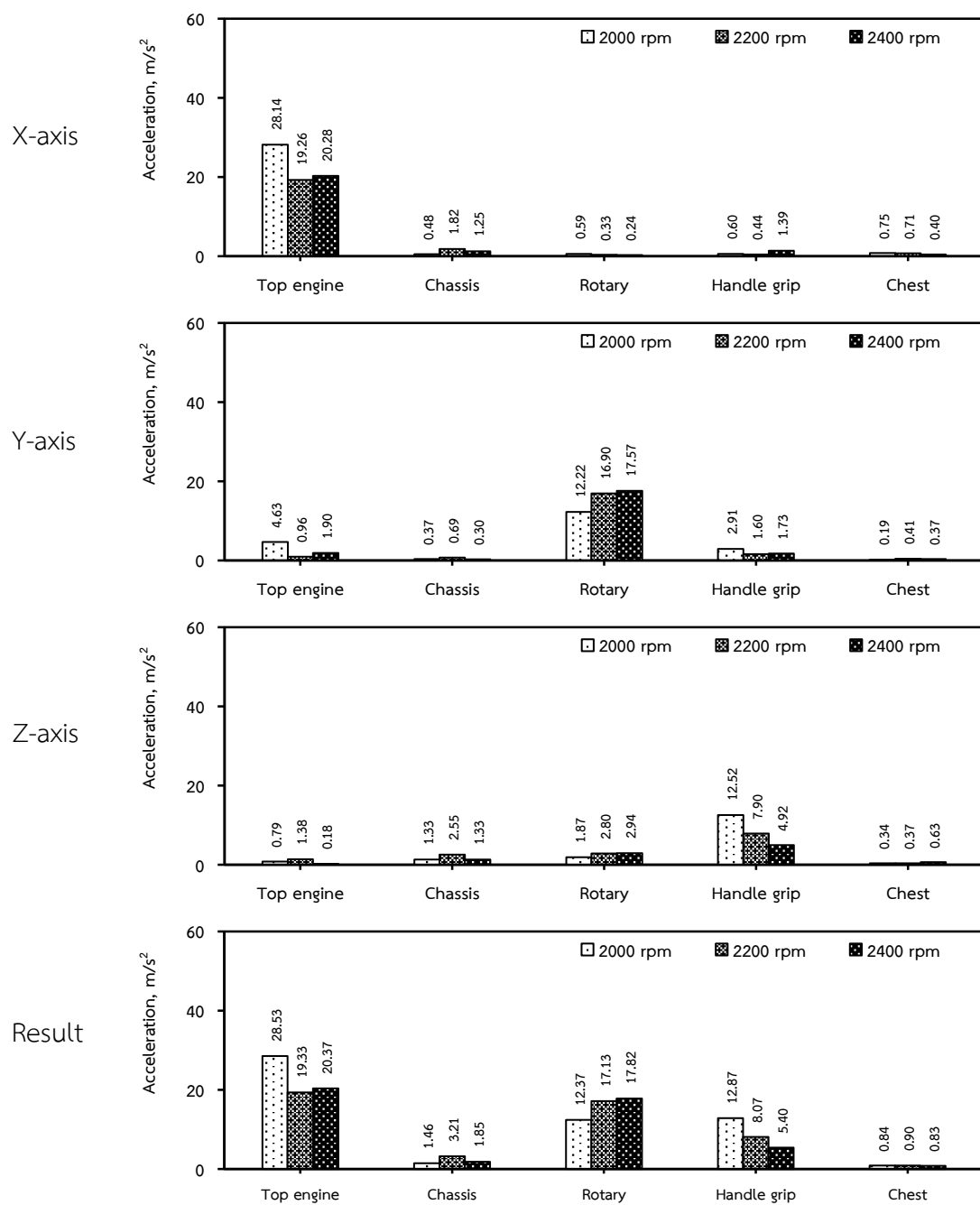
ภาพที่ 64 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อยางเส้นไขว้ไถพรวนดินเดี่ยวที่ 2 ด้วยใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ



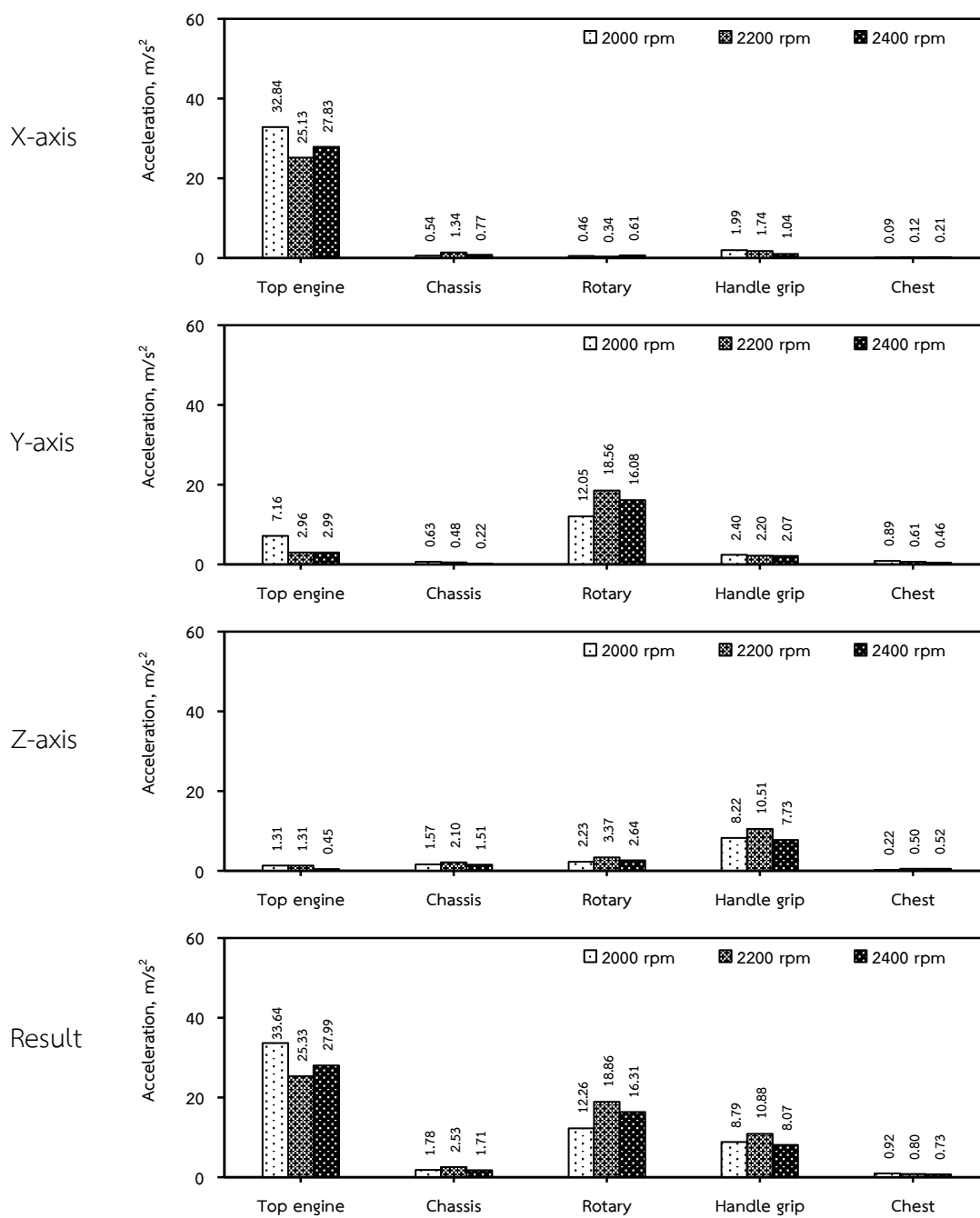
ภาพที่ 65 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไถพรวนดินเที่ยวที่ 1 ด้วยใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ



ภาพที่ 66 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อเหล็กเงื่อนไขไถพรวนดินเที่ยวที่ 2 ด้วยใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ



ภาพที่ 67 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อยางเงื่อนไขไถพรวนดินเดี่ยวที่ 1 ด้วยใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ



ภาพที่ 68 ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามล้อยางเอนไซไกวพรุนดินเที่ยวที่ 2 ด้วยใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ

ตารางที่ 39 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเร่งลัพธ์การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์
ต้นกำลังเงื่อนไขไถพรวนดิน

เที่ยวการไถ	ชนิดล้อ	ความเร็วรอบ เครื่องยนต์ (rpm)	ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง ผิวบนเครื่องยนต์ต้นกำลัง (Top engine), m/s ²		
			ใบมีดญี่ปุ่นรูปตัวซี	ใบมีดต้นแบบ	ใบมีดต้นแบบ
			14 ใบ (B1)	14 ใบ (B2)	10 ใบ (B3)
1 st	ล้อเหล็ก	2,000	18.15	33.63	35.95
		2,200	19.46	22.12	23.20
		2,400	22.63	42.61	35.80
	ล้อยาง	2,000	32.39	27.84	28.53
		2,200	23.22	20.53	19.33
		2,400	26.93	31.88	20.37
2 nd	ล้อเหล็ก	2,000	37.17	31.58	24.00
		2,200	24.90	25.74	24.79
		2,400	33.51	49.89	46.50
	ล้อยาง	2,000	48.75	31.61	33.64
		2,200	20.15	28.78	25.33
		2,400	42.01	34.85	27.99
ไถเที่ยวที่ 1					28.99 a
ไถเที่ยวที่ 2					32.84 b
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก					30.65 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง					29.12 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm					31.94 b
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 rpm					23.13 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,400 rpm					34.58 b
ใบมีดญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1)					29.11 a
ใบมีดต้นแบบ 14 ใบ (B2)					31.76 a
ใบมีดต้นแบบ 10 ใบ (B3)					28.79 a

ตารางที่ 40 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ต้นกำลังเรือนไขไถพรวนดิน

เที่ยวการไถ	ชนิดล้อ	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)	ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ต้นกำลัง (Top engine) , m/s ²									
			X-axis			Y-axis			Z-axis			
			B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3	
1 st	ล้อเหล็ก	2,000	17.57	31.76	33.93	4.51	10.93	11.73	0.68	1.61	1.87	
		2,200	19.27	22.05	23.10	2.69	1.49	1.93	0.41	0.95	0.90	
		2,400	22.09	41.51	35.18	4.92	9.42	6.53	0.03	1.86	1.22	
	ล้อยาง	2,000	31.42	26.4	28.14	7.74	8.70	4.63	1.30	1.52	0.79	
		2,200	22.70	20.22	19.26	4.82	3.25	0.96	0.68	1.41	1.38	
		2,400	26.12	31.59	20.28	6.49	4.24	1.90	0.97	0.58	0.18	
2 nd	ล้อเหล็ก	2,000	35.96	29.53	22.96	9.34	11.21	6.90	1.07	0.02	1.03	
		2,200	24.31	25.62	24.34	5.25	2.49	4.57	1.09	0.01	1.19	
		2,400	31.84	48.57	45.34	10.28	11.40	10.07	1.90	0.01	2.16	
	ล้อยาง	2,000	47.34	30.45	32.84	11.48	8.35	7.16	1.94	1.50	1.31	
		2,200	19.08	28.58	25.13	6.42	3.07	2.96	0.92	1.34	1.31	
		2,400	30.63	32.14	27.83	27.82	13.31	2.99	7.24	2.11	0.45	
ผลการเปรียบเทียบทางสถิติของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง						X-axis			Y-axis		Z-axis	
ไถเที่ยวที่ 1						26.25 a			5.38 a		1.01 a	
ไถเที่ยวที่ 2						31.25 b			8.62 b		1.48 a	
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก						29.72 a			6.98 a		1.00 a	
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง						27.79 a			7.02 a		1.50 a	
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm						30.69 b			8.56 b		1.22 ab	
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 rpm						22.80 a			3.33 a		0.97 a	
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,400 rpm						32.76 b			9.12 b		1.56 b	
ใบมีดญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1)						27.36 a			8.48 b		1.52 a	
ใบมีดต้นแบบ 14 ใบ (B2)						30.70 a			7.32 ab		1.08 a	
ใบมีดต้นแบบ 10 ใบ (B3)						28.19 a			5.19 a		1.15 a	

ตารางที่ 41 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเร่งลัพธ์การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งโครงเหล็กกรงไถ
เดินตามเงื่อนไขไถพรวนดิน

เที่ยวการไถ	ชนิดล้อ	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)	ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง โครงเหล็กกรงไถเดินตาม (Chassis), m/s ²		
			ใบมีดญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1)	ใบมีดต้นแบบ 14 ใบ (B2)	ใบมีดต้นแบบ 10 ใบ (B3)
1 st	ล้อเหล็ก	2,000	1.02	2.88	2.86
		2,200	1.02	1.66	1.90
		2,400	1.26	1.74	1.66
	ล้อยาง	2,000	1.93	2.25	1.46
		2,200	1.47	2.61	3.21
		2,400	1.57	2.28	1.85
2 nd	ล้อเหล็ก	2,000	2.11	2.56	1.85
		2,200	2.19	1.82	2.08
		2,400	2.26	2.33	1.85
	ล้อยาง	2,000	2.48	2.68	1.78
		2,200	2.99	3.19	2.53
		2,400	2.06	2.61	1.71
ไถเที่ยวที่ 1					1.99 a
ไถเที่ยวที่ 2					2.28 b
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก					1.95 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง					2.26 b
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm					2.16 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 rpm					2.22 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,400 rpm					1.93 a
ใบมีดญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1)					1.86 a
ใบมีดต้นแบบ 14 ใบ (B2)					2.38 b
ใบมีดต้นแบบ 10 ใบ (B3)					2.06 a

ตารางที่ 42 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางที่ตำแหน่งโครง
เหล็กรถไฟเดินตามเงื่อนไขรถไฟพรวนดิน

เที่ยวการไถ	ชนิดล้อ	ความเร็วรอบ เครื่องยนต์ (rpm)	ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง โครงเหล็กรถไฟเดินตาม (Chassis), m/s ²								
			X-axis			Y-axis			Z-axis		
			B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
1 st	ล้อเหล็ก	2,000	0.25	0.83	0.88	0.07	1.32	1.25	0.99	2.41	2.41
		2,200	0.34	0.57	0.75	0.26	0.06	0.42	0.93	1.56	1.69
		2,400	0.38	0.85	0.37	0.46	0.16	0.21	1.11	1.51	1.61
	ล้อยาง	2,000	0.80	0.80	0.48	0.99	0.70	0.37	1.46	1.98	1.33
		2,200	0.69	1.36	1.82	0.51	0.51	0.39	1.20	2.17	2.55
		2,400	0.65	1.07	1.25	0.53	0.97	0.30	1.33	1.76	1.33
2 nd	ล้อเหล็ก	2,000	0.77	0.84	0.64	0.84	1.13	0.90	1.78	2.18	1.49
		2,200	0.63	0.62	1.31	0.61	0.07	0.57	2.00	2.82	1.51
		2,400	0.89	0.84	0.52	0.74	1.14	0.38	1.94	2.69	1.74
	ล้อยาง	2,000	1.16	0.99	0.54	1.12	0.94	0.63	1.89	2.30	1.57
		2,200	1.58	1.59	1.34	0.52	1.08	0.48	2.49	2.55	2.10
		2,400	0.87	1.26	0.77	0.75	0.90	0.22	1.71	2.10	1.51
ผลการเปรียบเทียบทางสถิติของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง						X-axis		Y-axis		Z-axis	
ไถเที่ยวที่ 1						0.79 a		0.54 a		1.63 a	
ไถเที่ยวที่ 2						0.95 a		0.72 a		1.91 a	
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก						0.68 a		0.59 a		1.69 a	
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง						1.06 b		0.68 a		1.85 a	
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm						0.75 a		0.85 b		1.81 a	
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 rpm						1.05 b		0.48 a		1.87 a	
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,400 rpm						0.81 a		0.56 a		1.63 a	
ใบมีดญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1)						0.75 a		0.53 a		1.57 a	
ใบมีดต้นแบบ 14 ใบ (B2)						0.97 b		0.62 a		2.00 b	
ใบมีดต้นแบบ 10 ใบ (B3)						0.89 ab		0.75 a		1.74 a	

ตารางที่ 43 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเร่งลัพธ์การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่เครื่อง
พรวนจอบหมุนเงื่อนไขไถพรวนดิน

เที่ยวการไถ	ชนิดล้อ	ความเร็วรอบ เครื่องยนต์ (rpm)	ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่ เครื่องพรวนจอบหมุน (Chain sprocket case of rotary), m/s ²		
			ใบมีดญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1)	ใบมีดต้นแบบ 14 ใบ (B2)	ใบมีดต้นแบบ 10 ใบ (B3)
1 st	ล้อเหล็ก	2,000	8.59	18.82	13.22
		2,200	13.36	16.08	27.70
		2,400	13.10	15.66	15.51
	ล้อยาง	2,000	7.16	12.17	12.37
		2,200	16.39	18.63	17.13
		2,400	11.15	12.34	17.82
2 nd	ล้อเหล็ก	2,000	13.87	14.44	14.70
		2,200	19.58	17.29	24.31
		2,400	11.85	15.19	15.81
	ล้อยาง	2,000	17.10	12.84	12.26
		2,200	15.91	11.95	18.86
		2,400	15.99	14.07	16.31
ไถเที่ยวที่ 1					15.34 a
ไถเที่ยวที่ 2					15.69 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก					16.06 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง					14.47 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm					13.13 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 rpm					18.10 b
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,400 rpm					14.57 a
ใบมีดญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1)					13.67 a
ใบมีดต้นแบบ 14 ใบ (B2)					14.96 a
ใบมีดต้นแบบ 10 ใบ (B3)					17.17 b

ตารางที่ 44 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางที่ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุนเงื่อนไขไถพรวนดิน

เที่ยวการไถ	ชนิดล้อ	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)	ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุน (Chain sprocket of rotary), m/s ²								
			X-axis			Y-axis			Z-axis		
			B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3
1 st	ล้อเหล็ก	2,000	0.42	0.55	0.84	8.46	18.60	13.13	1.48	2.83	1.31
		2,200	0.38	0.24	1.31	13.24	15.90	27.36	1.71	2.44	4.14
		2,400	0.40	0.20	0.61	13.00	15.47	15.26	1.61	2.43	2.71
	ล้อยาง	2,000	0.24	0.45	0.59	7.11	12.03	12.22	0.81	1.83	1.87
		2,200	0.34	5.00	0.33	16.16	17.69	16.90	2.70	3.01	2.80
		2,400	0.22	0.48	0.24	11.03	12.17	17.57	1.62	2.00	2.94
2 nd	ล้อเหล็ก	2,000	0.63	0.18	1.18	13.63	14.27	14.56	2.51	2.18	1.62
		2,200	0.96	0.27	1.29	19.31	17.06	24.00	3.09	2.82	3.61
		2,400	0.63	0.31	1.22	11.67	14.94	15.58	1.94	2.69	2.40
	ล้อยาง	2,000	1.26	0.54	0.46	16.80	12.66	12.05	2.91	2.06	2.23
		2,200	0.20	0.41	0.34	15.65	11.82	18.56	2.85	1.73	3.37
		2,400	0.43	0.12	0.61	15.73	13.82	16.08	2.83	2.62	2.64
ผลการเปรียบเทียบทางสถิติของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง						X-axis		Y-axis		Z-axis	
ไถเที่ยวที่ 1						0.71 a		14.62 a		2.23 a	
ไถเที่ยวที่ 2						0.61 a		15.46 a		2.56 a	
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก						0.65 a		15.86 a		2.42 a	
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง						0.68 a		14.22 a		2.38 a	
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm						0.61 a		12.96 a		1.97 a	
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 rpm						0.92 a		17.80 b		2.85 c	
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,400 rpm						0.46 a		14.36 a		2.37 b	
ใบมีดญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1)						0.51 a		13.48 a		2.17 a	
ใบมีดต้นแบบ 14 ใบ (B2)						0.73 a		14.70 a		2.39 ab	
ใบมีดต้นแบบ 10 ใบ (B3)						0.48 a		16.94 b		2.63 b	

ตารางที่ 45 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของค่าความเร่งลัพท์การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตามเงื่อนไขไถพรวนดิน

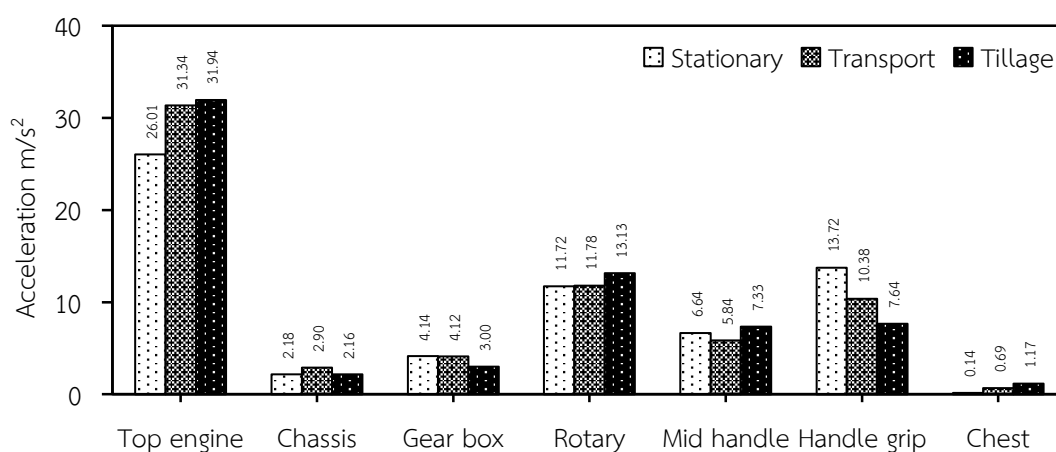
เที่ยวการไถ	ชนิดล้อ	ความเร็วรอบ เครื่องยนต์ (rpm)	ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง ด้ามมือจับรถไถเดินตาม (Handle grip), m/s ²		
			ใบมีดญี่ปุ่นรูปตัวซี	ใบมีดต้นแบบ	ใบมีดต้นแบบ
			14 ใบ (B1)	14 ใบ (B2)	10 ใบ (B3)
1 st	ล้อเหล็ก	2,000	6.72	7.51	6.56
		2,200	4.36	7.48	6.77
		2,400	5.91	7.64	7.84
	ล้อยาง	2,000	6.46	7.29	12.87
		2,200	6.15	7.18	8.07
		2,400	4.26	6.41	5.40
2 nd	ล้อเหล็ก	2,000	7.59	7.27	5.79
		2,200	7.42	6.19	9.85
		2,400	4.15	4.94	9.86
	ล้อยาง	2,000	5.53	9.24	8.79
		2,200	9.28	7.90	10.88
		2,400	3.98	6.39	8.07
ไถเที่ยวที่ 1					6.96 a
ไถเที่ยวที่ 2					7.40 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก					6.88 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง					7.45 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm					7.64 b
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 rpm					7.63 b
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,400 rpm					6.24 a
ใบมีดญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1)					5.98 a
ใบมีดต้นแบบ 14 ใบ (B2)					7.12 b
ใบมีดต้นแบบ 10 ใบ (B3)					8.40 c

ตารางที่ 46 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตามเงื่อนไขไถพรวนดิน

เที่ยวการไถ	ชนิดล้อ	ความเร็วรอบ เครื่องยนต์ (rpm)	ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง ด้ามมือจับรถไถเดินตาม (Handle grip), m/s ²									
			X-axis			Y-axis			Z-axis			
			B1	B2	B3	B1	B2	B3	B1	B2	B3	
1 st	ล้อเหล็ก	2,000	0.48	1.05	0.66	1.06	2.85	1.41	6.62	6.98	6.36	
		2,200	0.45	0.91	1.49	0.54	1.68	1.46	4.30	7.23	6.44	
		2,400	0.58	0.85	0.63	0.52	2.02	2.01	5.86	7.32	7.55	
	ล้อยาง	2,000	1.40	0.41	0.60	2.68	1.95	2.91	6.09	7.01	12.52	
		2,200	1.18	0.95	0.44	2.84	1.36	1.60	5.83	6.98	7.90	
		2,400	0.52	0.63	1.39	0.82	1.42	1.73	4.07	6.22	4.92	
2 nd	ล้อเหล็ก	2,000	1.40	0.38	1.08	2.68	2.08	1.48	6.96	6.96	5.50	
		2,200	1.18	1.00	2.31	2.84	2.15	2.38	6.75	5.72	9.28	
		2,400	0.52	0.81	1.89	0.82	1.40	2.44	4.04	4.67	9.37	
	ล้อยาง	2,000	0.55	1.05	1.99	1.33	1.44	2.40	5.34	9.07	8.22	
		2,200	0.64	1.82	1.74	2.02	0.52	2.20	9.03	7.67	10.51	
		2,400	0.72	0.50	1.04	1.13	1.19	2.07	3.75	6.26	7.73	
ผลการเปรียบเทียบทางสถิติของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง						X-axis			Y-axis		Z-axis	
ไถเที่ยวที่ 1						1.62 a			2.45 a		6.68 a	
ไถเที่ยวที่ 2						2.10 b			3.11 b		7.05 a	
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก						1.92 a			2.99 a		6.55 a	
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง						1.80 a			2.56 a		7.17 a	
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm						1.71 a			2.52 a		7.30 b	
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 rpm						2.18 b			2.96 b		7.31 b	
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,400 rpm						1.68 a			2.85 b		5.98 a	
ใบมีดญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1)						1.69 a			1.98 a		5.72 a	
ใบมีดต้นแบบ 14 ใบ (B2)						1.56 a			2.78 b		6.84 b	
ใบมีดต้นแบบ 10 ใบ (B3)						2.33 b			3.57 c		8.03 c	

4. อิทธิพลของประเภทการทำงานที่มีต่อการสั่นสะเทือนบนรถไถเดินตามที่ต่อพ่วงอุปกรณ์ไถจอบหมุน

พิจารณาผลการทดลองที่เงื่อนไขความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 รอบต่อนาที เพื่อศึกษาอิทธิพลเนื่องจากลักษณะการทำงาน ได้แก่ เงื่อนไขรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ (Stationary condition) เงื่อนไขรถไถเดินตามเคลื่อนที่ (Transportation condition) และเงื่อนไขไถพรวนดิน (Tillage condition) ที่มีต่อการสั่นสะเทือนบนรถไถเดินตามที่ต่อพ่วงเครื่องพรวนจอบหมุน ถูกแสดงในภาพที่ 69 พบว่าที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ (Top engine) และที่ห้องเฟืองโซ่อุปกรณ์ไถจอบหมุน (chain-sprocket case) เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดที่เงื่อนไขไถพรวนดิน ในขณะที่ตำแหน่งด้ามมือจับ (handle grip) เกิดการสั่นสะเทือนน้อยที่สุดที่เงื่อนไขไถพรวนดิน อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ผลทางสถิติ (ตารางที่ 47) แสดงให้เห็นว่าลักษณะการทำงาน (รถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ รถไถเดินตามเคลื่อนที่ และเงื่อนไขไถพรวนดิน) ไม่ส่งผลให้ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ต้นกำลังและที่ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่อุปกรณ์ไถจอบหมุนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และแสดงให้เห็นว่าที่ตำแหน่งด้ามมือจับของรถไถเดินตามเกิดการสั่นสะเทือนน้อยที่สุดที่เงื่อนไขไถพรวนดิน สาเหตุที่เงื่อนไขการไถพรวนดิน ณ ตำแหน่งด้ามมือจับเกิดการสั่นสะเทือนน้อยที่สุดเพราะขณะทดลองที่เงื่อนไขไถพรวนดิน ผู้ควบคุมรถไถเดินตามต้องออกแรงบังคับรถไถเดินตามให้เดินทางเป็นแนวตรงผ่านด้ามจับรถไถเดินตาม ส่งผลให้เกิดการดูดซับการสั่นสะเทือน ณ ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตามผ่านทางฝ่ามือผู้ควบคุมรถไถเดินตามและทำให้ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนมีขนาดน้อยที่สุด



ภาพที่ 69 ค่าเฉลี่ยการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ ของรถไถเดินตาม ที่เงื่อนไขรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ ขณะเคลื่อนที่ และขณะไถพรวนดิน

ตารางที่ 47 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของเงื่อนไข Stationary, Transportation และ Tillage ที่มีผลต่อค่าความเร่งลัพท์การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งต่างๆ ของรถไถเดินตาม ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm

เงื่อนไขการทดลอง	ชนิดล้อ	ค่าความเร่งลัพท์การสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม, m/s ²						
		Top engine	Chassis	Gear box	Rotary	Mid handle	Handle grip	Chest
ไม่เคลื่อนที่	ล้อเหล็ก	24.99	2.51	4.64	13.52	5.86	15.57	0.12
	ล้อยาง	27.02	1.84	3.63	9.91	7.42	11.86	0.16
วิ่งบนถนนลาดยาง	ล้อเหล็ก	36.51	3.09	4.93	10.26	5.51	12.47	0.67
	ล้อยาง	29.31	2.83	3.42	8.85	4.93	10.27	0.71
วิ่งบนแปลงเกษตรกรรม	ล้อเหล็ก	35.99	2.56	3.6	17.97	9.04	8.99	0.76
	ล้อยาง	23.53	3.12	4.53	10.02	3.89	9.78	0.62
ไถพรวนดินเที่ยวที่ 1 ใบมีด B1	ล้อเหล็ก	18.15	1.02	3.07	8.59	6.17	6.72	0.95
	ล้อยาง	32.39	1.93	2.65	7.16	7.29	6.46	1.09
ไถพรวนดินเที่ยวที่ 2 ใบมีด B1	ล้อเหล็ก	37.17	2.11	2.91	13.87	5.89	7.59	0.89
	ล้อยาง	48.75	2.48	3.88	17.10	7.32	5.53	1.45
ไถพรวนดินเที่ยวที่ 1 ใบมีด B2	ล้อเหล็ก	33.63	2.88	3.30	18.82	3.80	7.51	1.53
	ล้อยาง	27.84	2.25	2.37	12.17	7.54	7.29	1.17
ไถพรวนดินเที่ยวที่ 2 ใบมีด B2	ล้อเหล็ก	31.58	2.56	3.07	14.44	4.74	7.27	0.89
	ล้อยาง	31.61	2.68	2.69	12.84	6.63	9.24	2.15
ไถพรวนดินเที่ยวที่ 1 ใบมีด B3	ล้อเหล็ก	35.95	2.86	4.30	13.22	9.84	6.56	1.27
	ล้อยาง	28.53	1.46	2.20	12.37	11.47	12.87	0.86
ไถพรวนดินเที่ยวที่ 2 ใบมีด B3	ล้อเหล็ก	24.00	1.85	3.05	14.70	4.39	5.79	0.85
	ล้อยาง	33.64	1.78	2.50	12.26	12.83	8.79	0.94
ขณะไม่เคลื่อนที่		26.01 a	2.18 a	4.14 b	11.72 a	6.64 a	13.72 c	0.14 a
ขณะเคลื่อนที่		31.34 a	2.90 b	4.12 b	11.78 a	5.84 a	10.38 b	0.69 b
ที่เงื่อนไขไถพรวนดิน		31.94 a	2.16 a	3.00 a	13.13 a	7.33 a	7.64 a	1.17 c

5. ผลเนื่องจากรูปร่างใบมีดจอบหมุนที่มีต่อการสั่นสะเทือนในรถไถเดินตาม

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติขนาดของการสั่นสะเทือนที่แต่ละตำแหน่ง (ตารางที่ 38) ที่เงื่อนไขไถพรวนดิน แสดงให้เห็นว่าบริเวณผิวบนเครื่องยนต์เป็นตำแหน่งที่เกิดการสั่นสะเทือนสูงที่สุด ลำดับถัดมาคือตำแหน่งห้องเฟืองโซ่รถไถเดินตาม และด้ามมือจับและตำแหน่งกึ่งกลางคันบังคับ ขณะที่เกิดการสั่นสะเทือนน้อยที่สุด ณ ตำแหน่งโครงเหล็กกรไถเดินตามและห้องเกียร์ และเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือนที่แต่ละตำแหน่งบนรถไถเดินตามดังแสดงในตาราง

ที่ 39 ถึงตารางที่ 46 พบว่าปัจจัยชนิดใบมีดส่งผลต่อค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่อุปกรณ์ไถจอบหมุน ตำแหน่งกึ่งกลางคันบังคับ และตำแหน่งด้ามมือจับเท่านั้น ดังนั้นในการพิจารณาอิทธิพลเนื่องจากรูปร่างใบมีดจอบหมุนที่มีต่อการสั่นสะเทือนในรถไถเดินตาม จึงพิจารณาค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือนเฉพาะที่ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่อุปกรณ์ไถจอบหมุนและตำแหน่งด้ามมือจับเท่านั้น (ตารางที่ 43 และตารางที่ 45 ตามลำดับ) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าที่เงื่อนไขไถพรวน การสั่นสะเทือนขณะใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) ไถพรวนดินก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนสูงที่สุดที่ตำแหน่งด้ามมือจับ และเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่อุปกรณ์ไถจอบหมุน (ตารางที่ 43) แสดงให้เห็นว่าการไถพรวนดินด้วยชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1) และชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ (B2) และแสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งลัพท์การสั่นสะเทือนเนื่องจากการไถพรวนดินด้วยชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ (B2) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับไถพรวนดินด้วยชุดใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1)

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม (X-axis) แนวขวางของรถไถเดินตาม (Y-axis) และแนวดิ่งของรถไถเดินตาม (Z-axis) ดังแสดงในตารางที่ 44 พบว่าในระหว่างการไถพรวนดินด้วยใบมีดจอบหมุนทั้งสามชุด ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่ (X-axis) ของใบมีดจอบหมุนทั้งสามชุดไม่แตกต่างกันทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าในระหว่างที่ใบมีดจอบหมุนไถพรวนดิน รูปร่างของใบมีดจอบหมุนต้นแบบ B2 และใบมีดจอบหมุนต้นแบบ B3 ไม่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวาง (Y-axis) และแนวดิ่ง (Z-axis) ของรถไถเดินตาม ผลการวิเคราะห์ยังคงแสดงให้เห็นว่าในระหว่างการไถพรวนดิน ชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนสูงที่สุด อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในแนวขวาง (Y-axis) และแนวดิ่ง (Z-axis) ของรถไถเดินตาม และพบว่าค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวาง (Y-axis) และแนวดิ่ง (Z-axis) ของรถไถเดินตาม ขณะไถพรวนดินด้วยชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ (B2) ไม่แตกต่างทางสถิติเปรียบเทียบกับชุดใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นั้นหมายความว่าในกระบวนการไถพรวนดินส่วนตรงของใบมีดจอบหมุนต้นแบบไม่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนในทุกทิศทางแตกต่างจากส่วนตรงของใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี และเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวาง (Y-axis) และแนวดิ่ง (Z-axis) ของรถไถเดินตาม ที่เงื่อนไข ไถพรวนดินด้วยชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3)

เปรียบเทียบกับชุดใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1) และชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ (B2) พบว่าค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนขณะไถพรวนดินด้วยชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับชุดใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1) และชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ (B2) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 นั้นหมายความว่าส่วนปลายของใบมีดจอบหมุนต้นแบบ B3 ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนในแนวขวาง (Y-axis) และแนวดิ่ง (Z-axis) ของรถไถเดินตาม สูงกว่าใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี (B1) และใบมีดจอบหมุนต้นแบบ B2 เนื่องด้วยส่วนปลายของใบมีดจอบหมุนต้นแบบ B3 ที่มีความกว้างการไถพรวนดินต่อใบ 6.5 เซนติเมตร ซึ่งกว้างกว่าความกว้างการไถพรวนดินต่อใบของใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี (B1) และใบมีดจอบหมุนต้นแบบ B2 (ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซีและใบมีดจอบหมุนต้นแบบ B2 มีความกว้างการไถพรวนดินต่อใบ 4.5 เซนติเมตร)

6 การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งหน้าอกผู้ควบคุมรถไถเดินตาม

ผลการทดลองค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวขวางรถไถเดินตาม (Y-axis) ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนในแนวดิ่ง (Z-axis) และความถี่การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งหน้าอกผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะเครื่องพรวนจอบหมุนไถพรวนดินถูกแสดงในตารางที่ 48 และ 49 พบว่าที่เงื่อนไขไถพรวนดิน ค่าความเร่งลัพธ์และความถี่ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งหน้าอกผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะเครื่องพรวนจอบหมุนติดตั้งใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1) ไถพรวนดินเกิดขึ้น $0.71\text{--}2.15\text{ m/s}^2$ และ $0.31\text{--}8.55\text{ Hz}$ ตามลำดับ ขณะเครื่องพรวนจอบหมุนติดตั้งใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ (B2) ไถพรวนดินเกิดขึ้น $0.46\text{--}1.66\text{ m/s}^2$ และ $0.31\text{--}6.10\text{ Hz}$ ตามลำดับ และขณะเครื่องพรวนจอบหมุนติดตั้งใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B1) ไถพรวนดินเกิดขึ้น $0.63\text{--}1.60\text{ m/s}^2$ และ $0.31\text{--}10.38\text{ Hz}$ ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 50) ค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งหน้าอกผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะไถพรวนดิน แสดงให้เห็นว่าเกี่ยวกับการไถพรวนดิน ชนิดล้อยรถไถเดินตาม ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และชนิดของใบมีดจอบหมุนไม่ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งหน้าอกผู้ควบคุมรถไถเดินตามกับตำแหน่งอื่นๆ บนรถไถเดินตาม (ภาพที่ 69) แสดงให้เห็นว่าที่ตำแหน่งหน้าอกผู้ควบคุมรถไถเดินตามเกิดการสั่นสะเทือนต่ำที่สุด และผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 38) แสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่แต่ละตำแหน่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ

ตารางที่ 48 ความเร่งของการสั่นสะเทือนสูงสุดและความถี่ที่ตำแหน่งห้องเพื่องโซ่เครื่องพรวนจอบ
หมุนขณะที่ชุดใบมีดจอบหมุนไถพรวนดินเงื่อนไขล้อเหล็ก

Rotary	Engine speed	Dominant frequencies (Hz) and accelerations (m/s ²)				
	(rpm)	Hz	A _x	A _y	A _z	Resultant
การไถพรวนดินเที่ยวที่ 1						
ใบมีดจอบหมุน ญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1)	2,000	0.92	0.85	0.02	0.31	0.91
	2,200	0.61	0.64	0.28	0.15	0.71
	2,400	0.31	0.03	1.08	0.14	1.09
ใบมีดจอบหมุน ต้นแบบ 14 ใบ (B2)	2,000	0.31	0.77	0.17	0.40	0.88
	2,200	0.31	0.34	0.76	0.13	0.84
	2,400	0.92	0.98	0.20	0.47	1.10
ใบมีดจอบหมุน ต้นแบบ 10 ใบ (B3)	2,000	0.31	1.21	0.52	0.90	1.60
	2,200	0.92	0.74	0.37	0.45	0.94
	2,400	0.31	0.29	1.21	0.07	1.25
การไถพรวนดินเที่ยวที่ 2						
ใบมีดจอบหมุน ญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1)	2,000	0.31	0.10	1.14	0.08	1.15
	2,200	4.88	0.51	0.92	0.10	1.06
	2,400	0.31	0.29	0.67	0.20	0.76
ใบมีดจอบหมุน ต้นแบบ 14 ใบ (B2)	2,000	0.92	0.62	0.29	0.22	0.72
	2,200	6.10	0.15	0.13	0.41	0.46
	2,400	0.31	0.34	0.48	0.43	0.73
ใบมีดจอบหมุน ต้นแบบ 10 ใบ (B3)	2,000	0.31	0.29	0.67	0.39	0.83
	2,200	0.92	0.28	1.07	0.26	1.13
	2,400	10.38	0.53	0.65	0.04	0.84

ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งพบว่าที่ตำแหน่งโครงเหล็กกรงไถเดินตามและตำแหน่งหน้าอกผู้ควบคุมรถไถเดินตามไม่เกิดการสั่นสะเทือนที่แตกต่างกันทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอิทธิพลเนื่องจากสภาวะการทำงาน ขณะไม่เคลื่อนที่ ขณะเคลื่อนที่ และขณะไถพรวนดิน (ตารางที่ 47) แสดงให้เห็นว่าค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่

ตารางที่ 49 ความเร่งของการสั่นสะเทือนสูงสุดและความถี่ที่ตำแหน่งห้องเพื่องโซ่เครื่องพรวนจอบ
หมุนขณะที่ชุดไบริดจอบหมุนไถพรวนดินเงื่อนไขอย่าง

Rotary	Engine speed	Dominant frequencies (Hz) and accelerations (m/s ²)				
	(rpm)	Hz	A _x	A _y	A _z	Resultant
การไถพรวนดินเที่ยวที่ 1						
ใบมีดจอบหมุน ญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1)	2,000	3.97	0.38	0.56	0.37	0.77
	2,200	1.53	0.78	0.33	0.37	0.92
	2,400	8.55	0.69	0.35	0.22	0.80
ใบมีดจอบหมุน ต้นแบบ 14 ใบ (B2)	2,000	4.27	0.38	0.26	0.66	0.81
	2,200	4.88	1.21	0.70	0.90	1.66
	2,400	5.19	0.72	1.09	0.50	1.40
ใบมีดจอบหมุน ต้นแบบ 10 ใบ (B3)	2,000	1.83	0.60	0.13	0.10	0.63
	2,200	0.92	0.66	0.68	0.04	0.95
	2,400	5.49	0.33	0.41	0.60	0.80
การไถพรวนดินเที่ยวที่ 2						
ใบมีดจอบหมุน ญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1)	2,000	4.58	1.30	1.23	1.19	2.15
	2,200	5.19	0.90	1.01	1.19	1.80
	2,400	5.49	0.76	1.65	0.21	1.83
ใบมีดจอบหมุน ต้นแบบ 14 ใบ (B2)	2,000	0.31	1.23	0.96	0.38	1.61
	2,200	0.92	0.17	0.98	0.09	1.00
	2,400	5.19	0.68	0.72	0.30	1.03
ใบมีดจอบหมุน ต้นแบบ 10 ใบ (B3)	2,000	1.83	0.12	1.21	0.14	1.23
	2,200	0.92	0.12	0.95	0.22	0.98
	2,400	1.83	0.12	0.57	0.27	0.65

ตำแหน่งหน้าอกผู้ควบคุมรถไถเดินตามในแต่ละเงื่อนไขการทำงานของรถไถเดินตามแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งสภาวะการทำงานขณะไถพรวนดินเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุด (1.17 m/s²) รองลงมาคือสภาวะการทำงานขณะรถไถเดินตามเคลื่อนที่ (0.69 m/s²) และต่ำที่สุดในสภาวะรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ (0.14 m/s²) สาเหตุที่ทำให้สภาวะการทำงานขณะไถพรวนดินเกิดการสั่นสะเทือนสูงที่สุดเนื่องจากในแปลงเกษตรกรรมที่ทำการทดลองในเงื่อนไขไถพรวนดิน

เป็นพื้นที่ที่มีความขรุขระเนื่องจากการไถเตรียมดินก่อนการทดลอง ส่วนสาเหตุที่ทำให้สภาวะรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่เกิดการสั่นสะเทือนต่ำที่สุดนั้น เนื่องจากตัวของผู้ควบคุมรถไถเดินตามไม่ต้องเคลื่อนที่ตามตามรถไถเดินตามเหมือนกับสภาวะการทำงานขณะเคลื่อนที่ และขณะไถพรวนดิน ซึ่งการเดินของผู้ควบคุมรถไถเดินตามก็ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนด้วย

ตารางที่ 50 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของชนิดใบมีดจอบหมุน ความเร็วรอบเครื่องยนต์ จำนวนเที่ยวการไถพรวน และชนิดล้อขับเคลื่อนของรถไถเดินตาม ที่มีผลต่อค่าความเร่งการสั่นสะเทือน ที่ตำแหน่งหน้าอกผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะไถพรวนดิน

ค่าความเร่งการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม m/s^2				
เงื่อนไขการทดลอง	X-axis	Y-axis	Z-axis	Resultant
ไถเที่ยวที่ 1	0.68 a	0.57 a	0.44 a	1.09 a
ไถเที่ยวที่ 2	0.49 a	0.73 a	0.37 a	1.06 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก	0.54 a	0.60 a	0.34 a	0.99 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง	0.64 a	0.70 a	0.47 a	1.17 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm	0.78 b	0.56 a	0.37 a	1.17 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 rpm	0.52 a	0.62 ab	0.38 a	0.99 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,400 rpm	0.47 a	0.78 b	0.47 a	1.08 a
ใบมีดญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ, B1	0.55 a	0.81 b	0.37 a	1.15 a
ใบมีดต้นแบบ 14 ใบ, B2	0.77 b	0.54 a	0.45 a	1.13 a
ใบมีดต้นแบบ 10 ใบ, B3	0.45 a	0.61 a	0.38 a	0.95 a

7. การประเมินเวลาการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ควบคุมรถไถเดินตามเปรียบเทียบกับมาตรฐานจากสถาบันมาตรฐานแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (ANSI)

เนื่องด้วยการสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นขณะทำงาน ณ ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตาม เป็นปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม ดังนั้นจึงดำเนินการเปรียบเทียบค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนกับมาตรฐานจากสถาบันแห่งชาติสหรัฐอเมริกา (American National Standards Institute, ANSI S3.34-1986) เพื่อประเมินหาเวลาการทำงานที่เหมาะสมที่ผู้ควบคุมรถไถตามทำงานได้อย่างปลอดภัย เนื่องจาก ณ ตำแหน่งด้ามมือจับของรถไถเดินตาม เกิดการสั่นสะเทือนสูงที่สุดในแนวตั้ง (Z-axis) ของรถไถเดินตาม ดังนั้นในความเร่งของการสั่นสะเทือนใน

แนวดิ่ง (Z-axis) ที่ตำแหน่งด้ามมือจับของรถไถเดินตามจึงถูกนำมาใช้ในการประเมินเวลาการทำงานของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม

ค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนสูงที่สุดและค่าความถี่ในแนวดิ่ง (Z-axis) ของรถไถเดินตามถูกนำมาเขียนในกราฟมาตรฐาน ANSI S3.34-1986 เพื่อประเมินชั่วโมงการทำงานของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม ดังแสดงในภาพที่ 70 ถึงภาพที่ 74

การประเมินเวลาในการปฏิบัติงานของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม ที่เงื่อนไขรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ เงื่อนไขรถไถเดินตามเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง และเงื่อนไขรถไถเดินตามเคลื่อนที่บนแปลงทดลองดังแสดงใน ตารางที่ 51 และผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 52 และตารางที่ 53) พบว่าการการควบคุมรถไถเดินตามขณะรถไถเดินตามเคลื่อนที่ที่ปัจจัยความเร็วรอบเครื่องยนต์ ชนิดพื้นผิว และชนิดล้อรถไถเดินตาม ไม่ส่งผลต่อเวลาการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ควบคุมรถไถเดินตามที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าการควบคุมรถไถเดินตามขณะเคลื่อนที่ ผู้ควบคุมรถไถเดินตามสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยเฉลี่ยมากกว่า 4 ชั่วโมง แต่ไม่ควรทำงานต่อเนื่องนานเกิน 8 ชั่วโมง

การประเมินเวลาในการปฏิบัติงานของผู้ควบคุมรถไถเดินตามที่เงื่อนไขไถพรวนดิน (ตารางที่ 54) เปรียบเทียบกับมาตรฐาน ANSI S3.34-1986 และผลการวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางที่ 55) ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าผู้ควบคุมรถไถเดินตามสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยเฉลี่ยมากกว่า 4 ชั่วโมง แต่ไม่ควรทำงานต่อเนื่องนานเกิน 8 ชั่วโมง และไม่แสดงถึงแนวโน้มความสัมพันธใดๆ ระหว่างเวลาการทำงานอย่างปลอดภัยกับปัจจัยความเร็วรอบเครื่องยนต์ จำนวนที่หวัดการไถ และชนิดของล้อรถไถเดินตาม อย่างไรก็ตามผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าหากใช้ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) ไถพรวนดิน เวลาที่ผู้ควบคุมรถไถเดินตามสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องและปลอดภัยน้อยกว่าการใช้ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1) อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 51 เวลาการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ควบคุมรถไถเดินตามที่เงื่อนไขรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ และเงื่อนไขรถไถเดินตามเคลื่อนที่

เวลาการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม (ชั่วโมง/วัน)						
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)	ไม่เคลื่อนที่		เคลื่อนที่บนถนนลาดยาง		เคลื่อนที่บนแปลงทดลอง	
	ล้อเหล็ก	ล้อยาง	ล้อเหล็ก	ล้อยาง	ล้อเหล็ก	ล้อยาง
1,200	< 8	< 8	< 4	< 4	< 8	< 2
1,600	< 4	< 4	< 4	< 2	< 4	< 8
2,000	< 8	< 8	< 4	< 8	< 4	< 2

ตารางที่ 52 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเวลาการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ควบคุมรถไถเดินตามที่เงื่อนไขรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่เปรียบเทียบกับมาตรฐาน ANSI

เวลาการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม (ชั่วโมง/วัน)	
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200 rpm	8.00 b
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,600 rpm	6.00 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm	8.00 b
ล้อเหล็ก	7.11 a
ล้อยาง	7.56 a

ตารางที่ 53 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของเวลาการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ควบคุมรถไถเดินตามที่เงื่อนไขรถไถเดินตามขณะเคลื่อนที่เปรียบเทียบกับมาตรฐาน ANSI

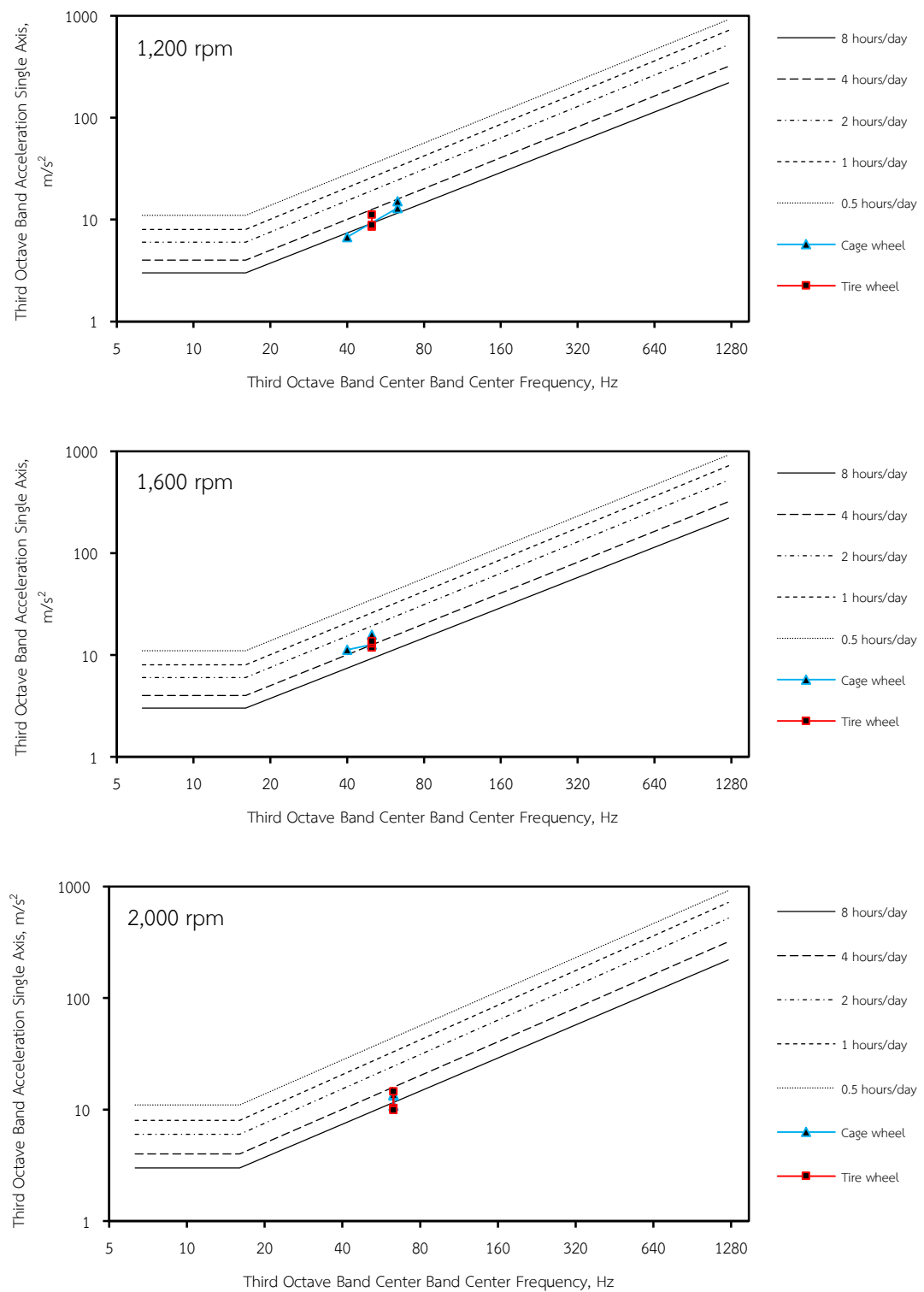
เวลาการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม (ชั่วโมง/วัน)	
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200 rpm	5.50 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,600 rpm	5.33 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm	5.83 a
การเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง	4.89 a
การเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม	6.22 a
ล้อเหล็ก	5.56 a
ล้อยาง	5.56 a

ตารางที่ 54 เวลาการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ควบคุมรถไถเดินตามที่เงื่อนไขไถพรวนดิน

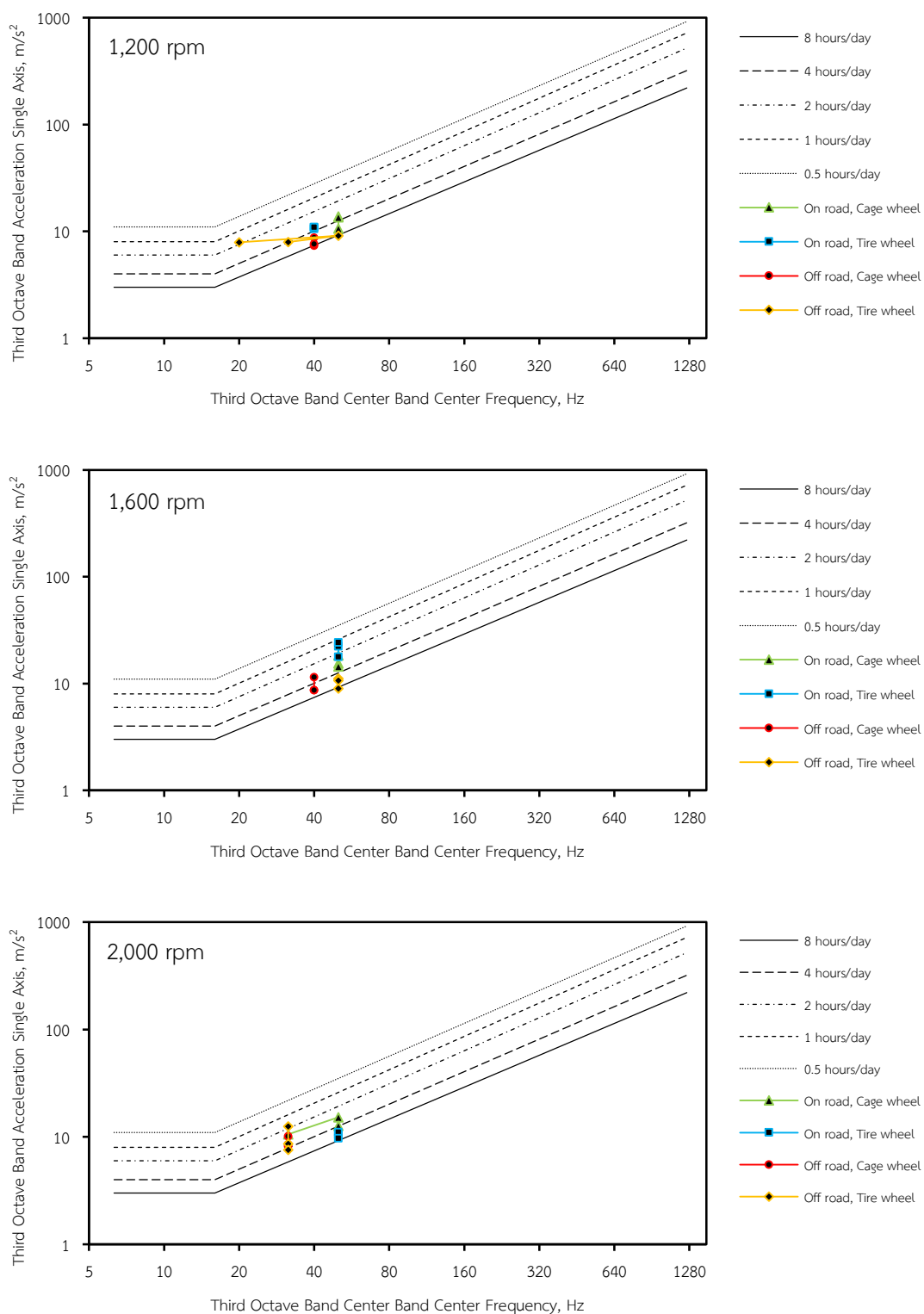
เวลาการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม (ชั่วโมง/วัน)					
ชนิดใบมีดจอบหมุน	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)	ล้อเหล็ก		ล้อยาง	
		ไถเที่ยวที่ 1	ไถเที่ยวที่ 2	ไถเที่ยวที่ 1	ไถเที่ยวที่ 2
ใบมีดจอบหมุน	2,000	< 4	< 8	< 4	< 8
ญี่ปุ่นรูปตัวซี	2,200	> 8	< 4	> 8	< 4
14 ใบ (B1)	2,400	< 8	> 8	> 8	< 8
ใบมีดจอบหมุน	2,000	< 4	< 4	< 4	< 4
ต้นแบบ	2,200	< 4	< 4	< 8	> 8
14 ใบ (B2)	2,400	< 4	< 4	< 4	< 4
ใบมีดจอบหมุน	2,000	< 8	< 8	< 2	< 4
ต้นแบบ	2,200	> 8	< 4	< 4	< 4
10 ใบ (B3)	2,400	< 4	< 4	< 4	< 4

ตารางที่ 55 การวิเคราะห์ทางสถิติของเวลาการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ควบคุมรถไถเดินตามที่เงื่อนไขไถพรวนดินเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ANSI

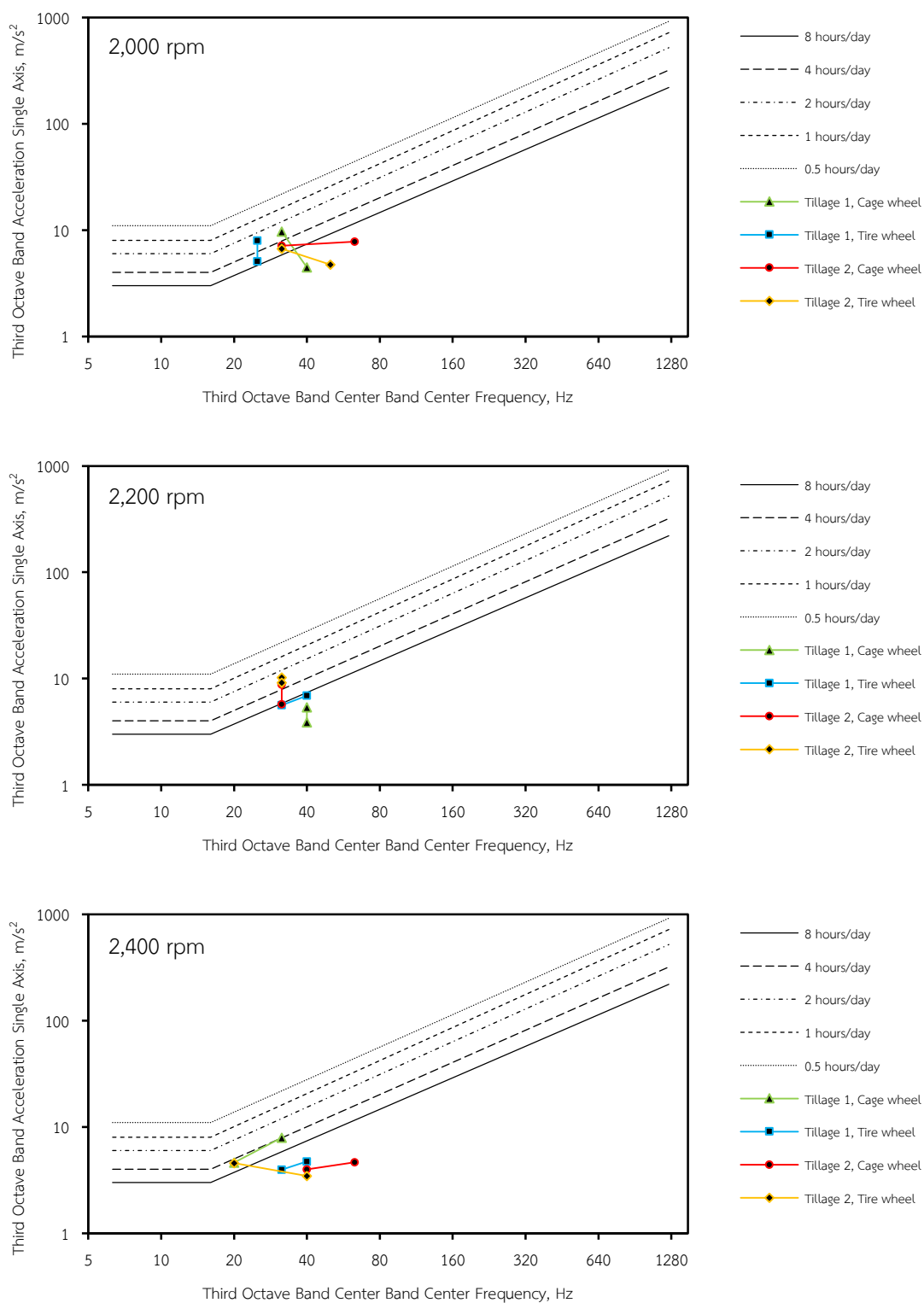
เวลาการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม (ชั่วโมง/วัน)	
ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ	7.17 b
ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ	6.33 ab
ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ	5.83 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200 rpm	6.17 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,600 rpm	6.50 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm	6.67 a
การไถพรวนเที่ยวที่ 1	6.56 a
การไถพรวนเที่ยวที่ 2	6.33 a
ล้อเหล็ก	6.78 a
ล้อยาง	6.11 a



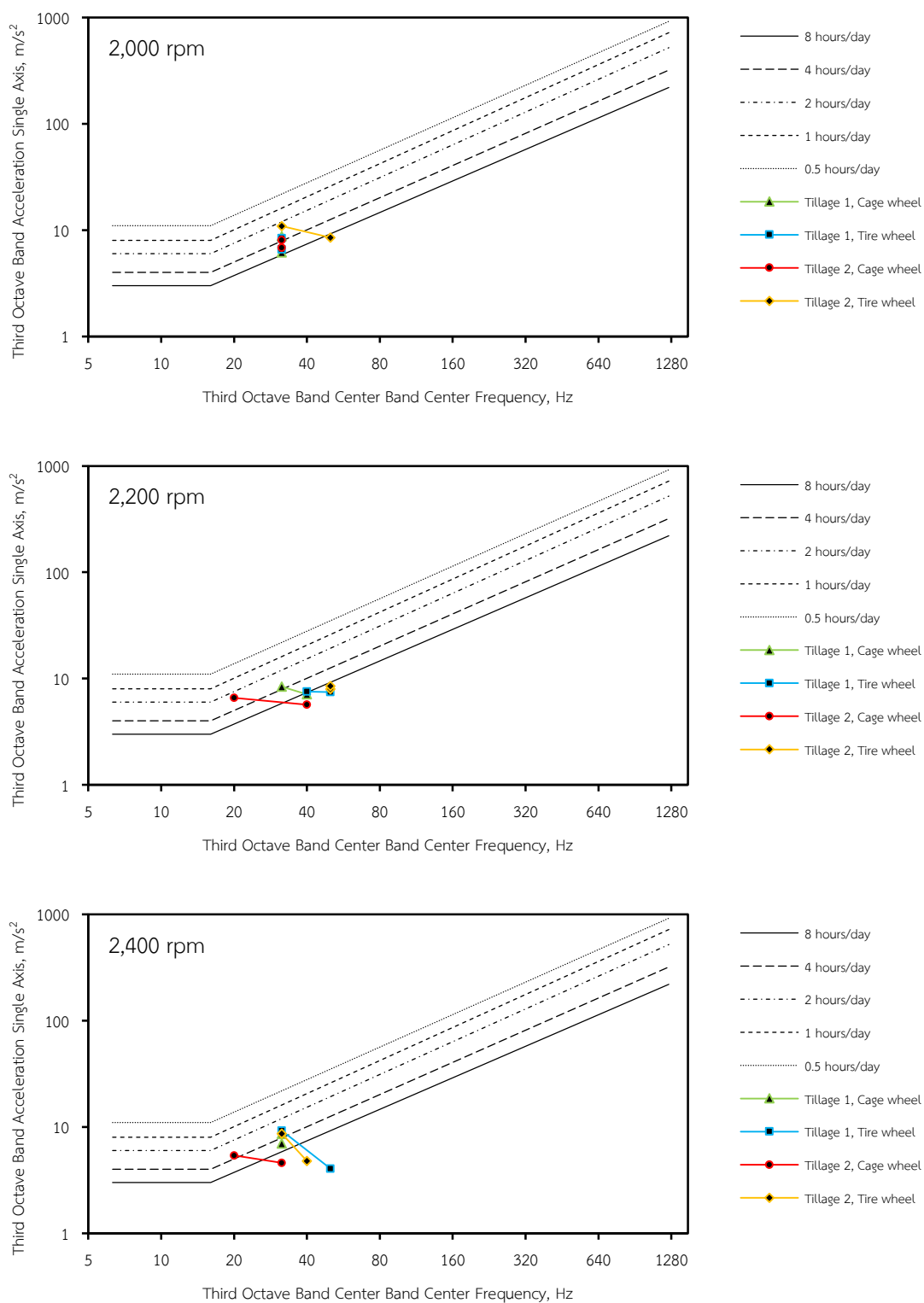
ภาพที่ 70 ค่ามาตรฐานความสั่นสะเทือนที่มือตามข้อเสนอแนะของ ANSI เจื่อนไซรกลไคเดินตามไม้เคลื่อนที่



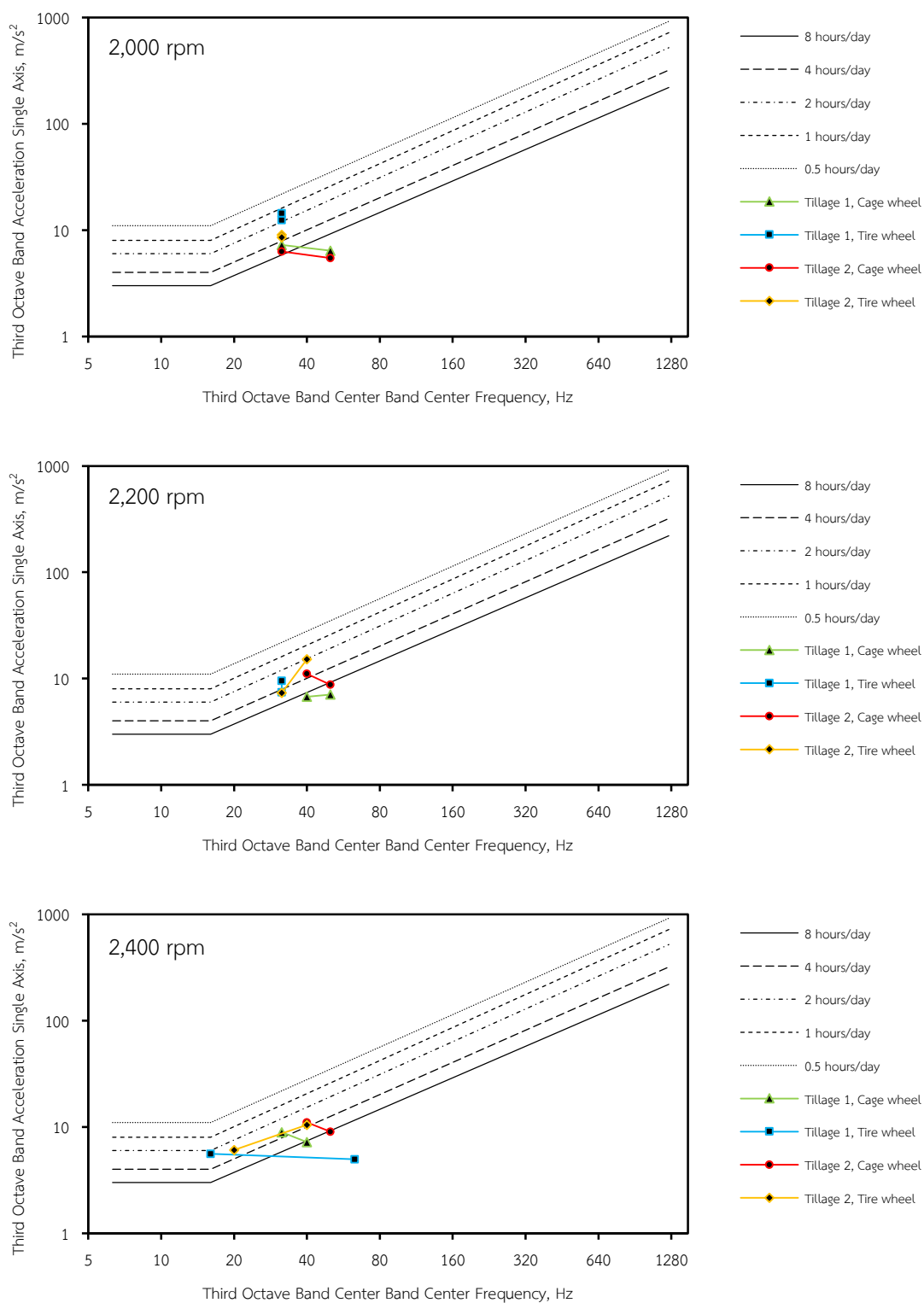
ภาพที่ 71 ค่ามาตรฐานความสั่นสะเทือนที่มือตามข้อเสนอแนะของ ANSI เจียนไฮรโดเจนตามเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง และแปลงเกษตรกรรม



ภาพที่ 72 ค่ามาตรฐานความสั่นสะเทือนที่มือตามข้อเสนอแนะของ ANSI เครื่องไถพรวนดินด้วยใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ



ภาพที่ 73 ค่ามาตรฐานความสั่นสะเทือนที่มือตามข้อเสนอแนะของ ANSI เครื่องไถพรวนดินด้วยใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ



ภาพที่ 74 ค่ามาตรฐานความสั่นสะเทือนที่มือตามข้อเสนอแนะของ ANSI เครื่องไถพรวนดินด้วย
ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ

8. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดิน (Mean soil clod diameter)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดินหลังการไถพรวนดินโดยชุดไถมีดจอบหมุน 3 ชุด ได้แก่ ชุดไถมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี (B1) ชุดไถมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ (B2) และชุดไถมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000, 2,200 และ 2,400 รอบต่อนาที จำนวนที่ไถ 1 และ 2 เทียว โดยทดสอบที่เงื่อนไขล้อยางและล้อเหล็ก และผลการวิเคราะห์ทางสถิติถูกแสดงด้วยตารางที่ 56 โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดินก่อนการทดลองเท่ากับ 88.71 มิลลิเมตร (ตารางผนวกที่ 2) ถึงแม้ว่าผลการทดลองจะแสดงให้เห็นว่าเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดินเล็กลงแต่ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าแต่ละเงื่อนไขความเร็วรอบเครื่องยนต์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดินหลังการไถพรวนดินไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ภายหลังจากการไถพรวนดิน 2 เทียว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดินเล็กกว่าไถพรวนดิน 1 เทียว และพบว่าการใช้รถไถเดินตามติดตั้งล้อยางในการไถพรวนดินทำให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดินเล็กกว่าการไถพรวนดินด้วยรถไถเดินตามติดตั้งล้อเหล็ก นอกจากนี้พบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดินภายหลังจากการไถพรวนดินด้วยชุดไถมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดินมีขนาดน้อยที่สุด และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดินมีขนาดโตที่สุดเมื่อไถพรวนดินด้วยชุดไถมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1) โดยที่ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดินหลังการไถพรวนด้วยชุดไถมีดจอบหมุนทั้งสามชุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 56 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของชุดไถมีดจอบหมุน ความเร็วรอบเครื่องยนต์ เทียว การไถพรวนดิน และชนิดของล้อขับเคลื่อน ที่มีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดินหลังการไถพรวนดิน

ชนิดล้อ	Engine Speed (rpm)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดิน, mm.					
		ไถมีดญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ		ไถมีดต้นแบบ 14 ใบ		ไถมีดต้นแบบ 10 ใบ	
		ไถเทียวที่ 1	ไถเทียวที่ 2	ไถเทียวที่ 1	ไถเทียวที่ 2	ไถเทียวที่ 1	ไถเทียวที่ 2
ล้อเหล็ก	2,000	44.32	35.65	34.65	28.37	21.77	18.84
	2,200	50.96	33.51	37.84	19.61	19.85	19.15
	2,400	62.09	33.03	40.73	23.05	19.9	20.18

ตารางที่ 56 (ต่อ)

ชนิดล้อ	Engine Speed (rpm)	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดิน, mm.					
		ใบมีดญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ		ใบมีดต้นแบบ 14 ใบ		ใบมีดต้นแบบ 10 ใบ	
		ไถเที่ยวที่ 1	ไถเที่ยวที่ 2	ไถเที่ยวที่ 1	ไถเที่ยวที่ 2	ไถเที่ยวที่ 1	ไถเที่ยวที่ 2
	2,000	29.95	27.49	29.12	23.36	18.37	20.37
ล้อยาง	2,200	38.77	19.45	25.55	19.86	20.16	16.4
	2,400	40.35	15.94	27.51	17.97	19.93	15.4
ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ							35.96 c
ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ							27.30 b
ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ							19.19 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm							27.69 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 rpm							26.76 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,400 rpm							28.01 a
การไถพรวนดินเที่ยวที่ 1							32.32 b
การไถพรวนดินเที่ยวที่ 2							22.65 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก							31.31 b
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง							23.66 a

ผลการทดลองและการสังเกตการณ์การไถพรวนดินขณะทดลองในแปลงแสดงให้เห็นว่าการ สั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับส่วนหนึ่งได้รับอิทธิพลจากการไถพรวนดินของแต่ชุดใบมีดจอบหมุน เนื่องด้วยขณะที่ชุดใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B3) กำลังไถพรวนดิน เมื่อชุดใบมีดจอบหมุน ญี่ปุ่นรูปตัวซี (B1) ไถพรวนก้อนดินที่มีขนาดใหญ่และแข็งซึ่งจะทำให้การไถพรวนดินหยุดชะงักใน ขณะเดียวกันนั้นชุดใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี (B1) จะทำหน้าที่เสมือนล้อรถไถเดินตามโดย พยายามหมุนดกถึงข้ามก้อนดินเหล่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงเกิดการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่ อุปกรณ์ไถจอบหมุนและด้ามมือจับน้อยกว่าและผู้ควบคุมรถไถเดินตามทำงานต่อเนื่องได้นานกว่า เมื่อ เปรียบเทียบกับการไถพรวนดินด้วยชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) ซึ่งไถพรวนดินได้สม่ำเสมอ เห็นได้ว่าการสั่นสะเทือนเกิดขึ้นขณะที่ใบมีดจอบหมุนกำลังตัดดิน พฤติกรรมดังกล่าวยังส่งผลถึง คุณภาพการไถพรวนดินของอุปกรณ์ไถจอบหมุน ซึ่งพบว่าชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) ไถ พรวนดินอย่างสม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพมากกว่าชุดใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1) และ ชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ (B2) โดยพิจารณาจากขนาดเฉลี่ยก้อนดินหลังการไถพรวนด้วยชุด

ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ B3 ที่มีขนาดเฉลี่ยก่อนดินเล็กกว่าขนาดเฉลี่ยก่อนดินหลังการไถพรวนดินด้วยชุดใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1) และชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ (B2)

9. อัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังผู้ควบคุมรถไถเดินตาม (Vibration transmissibility)

การศึกษาอัตราการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินปริมาณการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามที่ส่งผ่านมายังผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะทำงาน ซึ่งการสั่นสะเทือนสามารถที่จะส่งผ่านกำลังมาส่วนต่างๆของร่างกายได้ ต้นกำเนิดหลักของการสั่นสะเทือนคือ เครื่องยนต์ต้นกำลัง ความถี่และความแรงของการสั่นสะเทือนจะถูกส่งผ่านจากชุดมือจับรถไถเดินตามมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม

9.1 อัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะไม่เคลื่อนที่ (Stationary condition)

ผลการทดลองจากการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าอัตราการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะไม่เคลื่อนที่ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm เท่ากับ 2.51, 1.16 และ 1.05 % ตามลำดับ (ตารางที่ 57) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พิจารณาอิทธิพลเนื่องจากชนิดของล้อขับเคลื่อน แสดงให้เห็นว่าอัตราการส่งผ่านการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามกรณีล้อเหล็กและกรณีล้อยาง เท่ากับ 1.18 และ 1.97 % ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่า ความเร็วรอบเครื่องยนต์มีผลต่ออัตราการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม ซึ่งอัตราการส่งผ่านการสั่นสะเทือนสูงสุดปรากฏที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200 rpm และต่ำสุดที่ 2,000 rpm ส่วนชนิดของล้อขับเคลื่อนไม่มีอิทธิพลต่ออัตราการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะไม่เคลื่อนที่

9.2 อัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะเคลื่อนที่ (Transportation condition)

การวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยอัตราการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะเคลื่อนที่ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200, 1,600 และ 2,000 rpm เท่ากับ 6.11, 5.32 และ 6.43 % ตามลำดับ (ตารางที่ 58) ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมี

นัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พิจารณาอิทธิพลเนื่องจากชนิดของล้อขับเคลื่อนแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยอัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามกรณีล้อเหล็กและกรณีล้อยางเท่ากับ 6.24 และ 5.67 % ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลเนื่องจากสภาพพื้นผิวถนนแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยอัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามขณะเคลื่อนที่บนถนนลาดยางและบนแปลงเกษตรกรรมเท่ากับ 5.24 และ 6.67 % ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่า ความเร็วรอบเครื่องยนต์ และชนิดของล้อขับเคลื่อน ไม่มีอิทธิพลต่ออัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม ส่วนในเงื่อนไขสภาพภูมิประเทศในการวิ่งของรถไถเดินตาม พบว่าการบนแปลงเกษตรกรรมมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระจึงมีอัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามสูงกว่าการวิ่งบนถนนลาดยาง

ตารางที่ 57 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอิทธิพลของความเร็วรอบเครื่องยนต์ ชนิดล้อขับเคลื่อน ที่มีผลต่ออัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะไม่เคลื่อนที่

ความเร็วรอบเครื่องยนต์	ซ้ำการทดลอง	Vibration transmissibility, %	
		ล้อเหล็ก	ล้อยาง
1,200 rpm	1	0.73	4.36
	2	0.96	2.59
	3	3.38	3.05
1,600 rpm	1	0.77	1.26
	2	0.93	1.19
	3	1.64	1.18
2,000 rpm	1	0.55	1.23
	2	0.73	1.71
	3	0.90	1.16
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200 rpm			2.51 b
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,600 rpm			1.16 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm			1.05 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก			1.18 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง			1.97 a

ตารางที่ 58 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะรถไถเดินตามเคลื่อนที่

ความเร็วรอบเครื่องยนต์	ซ้ำการทดลอง	Vibration transmissibility, %			
		ถนนลาดยาง		แปลงเกษตรกรรม	
		ล้อเหล็ก	ล้อยาง	ล้อเหล็ก	ล้อยาง
1,200 rpm	1	10.86	4.82	4.06	7.22
	2	4.63	5.03	9.00	8.62
	3	4.58	3.61	3.84	7.01
1,600 rpm	1	3.86	4.10	8.36	5.74
	2	7.80	2.96	8.51	6.84
	3	3.23	3.98	4.27	4.24
2,000 rpm	1	7.19	9.61	5.78	5.42
	2	4.17	4.21	8.20	8.70
	3	4.13	5.54	9.89	4.35
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200 rpm					6.11 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,600 rpm					5.32 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm					6.43 a
บนถนนลาดยาง					5.24 a
บนแปลงเกษตรกรรม					6.67 b
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก					6.24 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง					5.67 a

9.3 อัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะไถพรวนดิน (Tillage condition)

พิจารณาอิทธิพลเนื่องจากใบมีดจอบหมุน การวิเคราะห์ทางสถิติ (ตารางผนวกที่ ก24) แสดงให้เห็นว่าอัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะไถพรวนดินโดยใช้ใบมีดจอบหมุน B1, B2 และ B3 เท่ากับ 20.37, 14.82 และ 11.55 % ตามลำดับ (ตารางที่ 59) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% พิจารณาอิทธิพลเนื่องจากความเร็วรอบเครื่องยนต์แสดงให้เห็นว่า อัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนขณะไถพรวนดินที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000, 2,200 และ 2,400 rpm เท่ากับ 15.43, 12.87 และ 18.44 %

ตามลำดับ (ตารางที่ 59) ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาอิทธิพลเนื่องจากการไถพรวนพบว่าอัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนของการไถพรวนเที่ยวที่ 1 และ 2 เท่ากับ 16.02 และ 15.14 % ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาอิทธิพลเนื่องจากชนิดของล้อขับเคลื่อนของรถไถเดินตามแสดงให้เห็นว่า อัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามกรณีล้อเหล็กและกรณีล้อยางเท่ากับ 14.18 และ 16.98 % ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่า เทียบของการไถพรวน และชนิดของล้อขับเคลื่อน ไม่มีอิทธิพลต่ออัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะไถพรวนดิน ส่วนในเงื่อนไขชุดใบมีดที่ใช้ไถพรวนดินพบว่าการไถพรวนดินด้วยชุดใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ มีอัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนสูงสุด และใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ มีอัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนต่ำสุด และเงื่อนไขความเร็วรอบเครื่องยนต์พบว่า ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,400 rpm มีอัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนสูงสุด และที่ 1,600 rpm มีอัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนต่ำสุด แสดงให้เห็นว่าชนิดของใบมีดจอบหมุนที่ใช้ไถพรวนดิน และความเร็วรอบเครื่องยนต์ มีอิทธิพลต่ออัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม ในเงื่อนไขขณะรถไถเดินตามไถพรวนดิน

9.4 การเปรียบเทียบในทางสถิติของอัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะไม่เคลื่อนที่ ขณะเคลื่อนที่ และขณะไถพรวนดิน

ค่าเฉลี่ยของอัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะไม่เคลื่อนที่ ขณะเคลื่อนที่ และขณะไถพรวนดิน ที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm ถูกแสดงโดยตารางที่ 60 การวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยของอัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนของทั้ง 3 เงื่อนไขการทดลอง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แสดงให้เห็นว่าเงื่อนไขในการทดลองมีอิทธิพลต่ออัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม ซึ่งเงื่อนไขขณะรถไถเดินตามไถพรวนดินมีอัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนสูงสุด (15.43 %) รองลงมาคือเงื่อนไขขณะรถไถเดินตามวิ่ง (6.43 %) และต่ำสุดในเงื่อนไขขณะรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ (1.05 %) เนื่องจากขณะรถไถเดินตามไถพรวนดินซึ่งพื้นผิวแปลงมีความขรุขระมากที่สุดเมื่อเทียบกับเงื่อนไขอื่นๆ ผู้ควบคุมรถไถเดินตามจึงต้องเคลื่อนไหวร่างกายเพื่อบังคับทิศทางรถมากกว่าเงื่อนไขการทดลองอื่นตามไปด้วย ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 59 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติของอัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามขณะไถพรวนดิน

ชนิดล้อ	Engine Speed (rpm)	Tillage	Vibration transmissibility, %					
			ใบมีดญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ		ใบมีดต้นแบบ 14 ใบ		ใบมีดต้นแบบ 10 ใบ	
			ไถเที่ยวที่ 1	ไถเที่ยวที่ 2	ไถเที่ยวที่ 1	ไถเที่ยวที่ 2	ไถเที่ยวที่ 1	ไถเที่ยวที่ 2
ล้อเหล็ก	2,000	1 st	20.24	14.90	13.12	9.97	23.95	12.14
		2 nd	10.01	7.24	22.94	12.63	12.71	15.24
	2,200	1 st	13.05	11.01	9.55	7.52	12.54	11.93
		2 nd	30.13	10.94	12.13	11.26	12.83	7.13
	2,400	1 st	22.74	15.73	15.21	15.46	16.61	7.25
		2 nd	18.31	22.56	6.29	22.11	12.60	10.43
ล้อยาง	2,000	1 st	8.99	43.59	9.25	18.54	4.90	12.78
		2 nd	26.14	10.80	22.06	23.89	7.31	6.93
	2,200	1 st	15.37	17.16	22.06	12.09	12.55	12.78
		2 nd	17.95	8.70	12.58	11.69	10.70	5.28
	2,400	1 st	16.51	51.87	21.66	21.66	14.29	5.93
		2 nd	43.93	31.03	11.02	11.02	14.41	13.89
	การไถพรวนดินเที่ยวที่ 1							16.02 a
	การไถพรวนดินเที่ยวที่ 2							15.14 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก							14.18 a	
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง							16.98 a	
ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1)							20.37 a	
ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ (B2)							14.82 a	
ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3)							11.55 b	
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm							15.43 ab	
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,200 rpm							12.87 a	
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,400 rpm							18.44 b	

ตารางที่ 60 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติอัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตามที่ใช้รถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ ขณะเคลื่อนที่ และขณะไถพรวนดิน

เงื่อนไขการทดลอง	ชนิดล้อ	Vibration transmissibility, %		
		ซ้ำที่ 1	ซ้ำที่ 2	ซ้ำที่ 3
ไม่เคลื่อนที่	ล้อเหล็ก	0.55	0.73	0.90
	ล้อยาง	1.23	1.71	1.16
วิ่งบนถนนลาดยาง	ล้อเหล็ก	7.19	4.17	4.13
	ล้อยาง	9.61	4.21	5.54
วิ่งบนแปลงเกษตรกรรม	ล้อเหล็ก	5.78	8.20	9.89
	ล้อยาง	5.42	8.70	4.35
ไถพรวนดินเที่ยวที่ 1 ไบมีด B1	ล้อเหล็ก	20.24	10.01	-
	ล้อยาง	8.99	26.14	-
ไถพรวนดินเที่ยวที่ 2 ไบมีด B1	ล้อเหล็ก	14.90	7.24	-
	ล้อยาง	43.59	10.80	-
ไถพรวนดินเที่ยวที่ 1 ไบมีด B2	ล้อเหล็ก	13.12	22.94	-
	ล้อยาง	9.25	22.06	-
ไถพรวนดินเที่ยวที่ 2 ไบมีด B2	ล้อเหล็ก	9.97	12.63	-
	ล้อยาง	18.54	23.89	-
ไถพรวนดินเที่ยวที่ 1 ไบมีด B3	ล้อเหล็ก	23.95	12.71	-
	ล้อยาง	4.90	7.31	-
ไถพรวนดินเที่ยวที่ 2 ไบมีด B3	ล้อเหล็ก	12.14	15.24	-
	ล้อยาง	12.78	6.93	-
ขณะไม่เคลื่อนที่				1.05 a
ขณะเคลื่อนที่				6.43 a
ขณะไถพรวนดิน				15.43 b

10. ความเร็วการเดินทางของรถไถเดินตาม (Forward speed)

ในการศึกษาลักษณะการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตามขณะเคลื่อนที่ (Transportation condition) ค่าเฉลี่ยของความเร็วการเดินทางของรถไถเดินตามถูกแสดงไว้ในตารางที่ 61 และขณะรถไถเดินตามไถพรวนดินด้วยชุดใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1) ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ (B2) ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) ค่าเฉลี่ยของความเร็วการเดินทางของรถไถเดินตามขณะไถพรวนดิน (Tillage condition) ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 62

ตารางที่ 61 ค่าเฉลี่ยของความเร็วการเดินทางของรถไถเดินตามขณะเคลื่อนที่

ความเร็วรอบ เครื่องยนต์ (rpm)	ค่าเฉลี่ยของความเร็วการเดินทางของรถไถเดินตาม (m/s)			
	ถนนลาดยาง		แปลงเกษตรกรรม	
	ล้อเหล็ก	ล้อยาง	ล้อเหล็ก	ล้อยาง
1,200 rpm	0.32	0.31	0.29	0.30
1,600 rpm	0.43	0.39	0.38	0.39
2,000 rpm	0.50	0.50	0.47	0.50
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,200 rpm				0.31
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,600 rpm				0.40
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm				0.49
บนถนนลาดยาง				0.41
บนแปลงเกษตรกรรม				0.39
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก				0.40
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง				0.40

ตารางที่ 62 ค่าเฉลี่ยของความเร็วการเดินทางของรถไถเดินตามขณะไถพรวนดิน

ชนิดล้อ	ความเร็วรอบ เครื่องยนต์ (rpm)	ค่าเฉลี่ยของความเร็วการเดินทางของรถไถเดินตาม (m/s)					
		ใบมีดญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ		ใบมีดต้นแบบ 14 ใบ		ใบมีดต้นแบบ 10 ใบ	
		ไถเที่ยวที่ 1	ไถเที่ยวที่ 2	ไถเที่ยวที่ 1	ไถเที่ยวที่ 2	ไถเที่ยวที่ 1	ไถเที่ยวที่ 2
	2,000	0.48	0.44	0.59	0.58	0.63	0.63
ล้อเหล็ก	2,200	0.62	0.65	0.76	0.80	0.81	0.81
	2,400	0.75	0.79	0.84	0.85	0.86	0.85

สรุปผลการทดลอง

1. ในสภาวะที่รถไถเดินตามไม่มีการเคลื่อนที่ พบว่าตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ต้นกำลังเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุด และพบว่าตำแหน่งโครงเหล็กเหนือเพลาล้อรถไถเดินตามซึ่งเป็นฐานรองรับรถไถเดินตามเกิดการสั่นสะเทือนน้อยที่สุด โดยที่ตำแหน่งที่เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในสภาวะที่รถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ 3 อันดับแรกโดยเรียงลำดับการสั่นสะเทือนจากมากไปน้อยคือ ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตาม และตำแหน่งห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุนตามลำดับ ในสภาวะที่รถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่พบว่าความเร็วรอบเครื่องยนต์เป็นปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนในทุกตำแหน่งของรถไถเดินตาม โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ และตำแหน่งห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุน โดยพบว่าเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้น ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ ตำแหน่งด้ามมือจับ และตำแหน่งห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุน เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม แนวตั้งของรถไถเดินตาม และแนวขวางของรถไถเดินตาม ตามลำดับ และชุดใบมีดจอบหมุนไม่ส่งผลต่อขนาดค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนในสภาวะที่รถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่

2. ขณะที่รถไถเดินตามเคลื่อนที่ พบว่าตำแหน่งที่เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุด 3 อันดับแรก โดยเรียงลำดับจากการสั่นสะเทือนมากไปน้อยคือ ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ต้นกำลัง ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุน และตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตาม ตามลำดับ โดยที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ยังคงเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการสั่นสะเทือนในแต่ละตำแหน่งบนรถไถเดินตาม และการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตามบนถนนลาดยางและบนแปลงเกษตรกรรมไม่ส่งผลให้เกิดการสั่นสะเทือนแตกต่างกันของรถไถเดินตาม ที่ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ ตำแหน่งด้ามมือจับ และตำแหน่งห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุน ยังคงเกิดการสั่นสะเทือนสูงสุดในแนวการเคลื่อนที่ของรถไถเดินตาม แนวตั้งของรถไถเดินตาม และแนวขวางของรถไถเดินตาม ตามลำดับ และชุดใบมีดจอบหมุนไม่ส่งผลต่อขนาดค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนในสภาวะที่รถไถเดินตาม

3. ขณะที่รถไถเดินตามไถพรวนดิน ยังคงพบว่าตำแหน่งที่เกิดการสั่นสะเทือนสูงสุด 3 อันดับแรก โดยเรียงลำดับจากการสั่นสะเทือนมากไปน้อยคือ ตำแหน่งผิวบนเครื่องยนต์ต้นกำลัง ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่เครื่องพรวนจอบหมุน และตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตาม ตามลำดับ ผลเนื่องจากรูปร่างใบมีดจอบหมุนที่มีต่อการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม พบว่าการสั่นสะเทือนขณะใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) ไถพรวนดินก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนสูงที่สุดที่ตำแหน่งด้ามมือจับ และเมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติของค่าความเร่งลัพธ์ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งห้องเฟืองโซ่อุปกรณ์จอบหมุน แสดงให้เห็นว่าการไถพรวนดินด้วยชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3)

ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เมื่อเปรียบเทียบกับชุดใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B2) และชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ (B2) โดยการไถพรวนดินด้วยชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) ก่อให้เกิดการสั่นสะเทือนสูงที่สุด รองลงมาคือ ชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ (B2) และชุดใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1) ตามลำดับ

4. การประเมินเวลาในการปฏิบัติงานของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม จากการทดลองพบว่า เจื่อนไชรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่สามารถทำงานได้นานที่สุด รองลงมาคือเจื่อนไชขณะรถไถเดินตามไถพรวนดิน และทำงานได้น้อยที่สุดในเจื่อนไชขณะรถไถเดินตามวิ่ง การการควบคุมรถไถเดินตาม เจื่อนไชการเคลื่อนที่พบว่า ปัจจัยความเร็วรอบเครื่องยนต์ ชนิดพื้นผิว และชนิดล้อรถไถเดินตาม ไม่ส่งผลต่อเวลาการทำงานอย่างปลอดภัยของผู้ควบคุมรถไถเดินตามที่แตกต่างกันทางสถิติ โดยที่การควบคุมรถไถเดินตามขณะเคลื่อนที่ ผู้ควบคุมรถไถเดินตามสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยเฉลี่ยมากกว่า 4 ชั่วโมง แต่ไม่ควรทำงานต่อเนื่องนานเกิน 8 ชั่วโมง ที่เจื่อนไชไถพรวนดินผู้ควบคุมรถไถเดินตามสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยเฉลี่ยมากกว่า 4 ชั่วโมง แต่ไม่ควรทำงานต่อเนื่องนานเกิน 8 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าหากใช้ใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) ไถพรวนดิน เวลาที่ผู้ควบคุมรถไถเดินตามสามารถทำงานอย่างต่อเนื่องและปลอดภัยน้อยกว่าการใช้ใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1)

5. อัตราร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม พบว่า เจื่อนไชขณะรถไถเดินตามไถพรวนดินมีอัตราการร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนสูงสุด รองลงมาคือ เจื่อนไชขณะรถไถเดินตามวิ่ง และต่ำสุดในเจื่อนไชรถไถเดินตามไม่เคลื่อนที่ เมื่อพิจารณาเจื่อนไชขณะรถไถเดินตามไถพรวนดินพบว่า ชุดใบมีดจอบหมุน และความเร็วรอบเครื่องยนต์ มีผลต่ออัตราการร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนมายังหน้าอกของผู้ควบคุมรถไถเดินตาม ซึ่งการไถพรวนดินด้วยชุดใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ มีอัตราการร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนสูงสุด และใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ มีอัตราการร้อยละการส่งผ่านการสั่นสะเทือนต่ำสุด

6. ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดินหลังการไถพรวนจากการทดลองพบว่า ภายหลังการไถพรวนดิน 2 เที้ยว ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดินเล็กกว่าไถพรวนดิน 1 เที้ยว และพบว่าการใช้รถไถเดินตามติดตั้งล้อยางในการไถพรวนดินทำให้ได้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยก้อนดินเล็กกว่าการไถพรวนดินด้วยรถไถเดินตามที่ติดตั้งล้อเหล็ก นอกจากนั้นพบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยภายหลังการไถพรวนดินด้วยชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยก้อนดินมีขนาดเล็กที่สุด และเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยก้อนดินมีขนาดโตที่สุดเมื่อไถ

พรวนดินด้วยชุดใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1) และยังพบว่าความเร็วรอบเครื่องยนต์ไม่มี
ผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดิน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

ชัยยะ พงษ์พานิช. **อันตรายจากเสียง การสั่นสะเทือน และความกดดันบรรยากาศ**. เอกสาร

ประกอบการสอนชุดวิชา อาชีวอนามัย หน่วยที่ 1 - 7 สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช. กรุงเทพฯ. ธีระการพิมพ์, 2529 : 185 – 187

ธัญญา นิยมภา, ศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล, วิชัย หมอชาติ, วรพงษ์ ทนงค์สุทธิ์, วนิตา พุ่มหอมรื่น,
ภูวดล ประมาณ และ เม หทุมสูติ. **เปรียบเทียบการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงระหว่างเครื่องมือไถ
จอบหมุนติดรถไถเดินตามที่ใช้ใบมีดจอบหมุนต้นแบบและใบมีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี.**
การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 10 ประจำปี 2552, นคร
ราชสีมา, หน้า 19 - 24

นิคม ธรรมปัญญา, **การศึกษาเปรียบเทียบชนิดของถูงมือเพื่อการลดค่าความสั่นสะเทือนของสว่าน
เจาะหิน**. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพฯ. 73น.

มนตรี พิรุณเกษตร, 2542. **วิศวกรรมการสั่นสะเทือน**. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด
(มหาชน). กรุงเทพฯ.

วินัย เวชวิทยาลัง, 2552. **เทคนิคการวัดและวิเคราะห์การสั่นสะเทือนเพื่องานบำรุงรักษา**. พิมพ์
ครั้งที่ 1. บริษัท เอ็มแอนด์อี จำกัด. กรุงเทพฯ.

ศักดิ์สิทธิ์ ตรีเดช. **ความร้อน แสงสว่าง เสียง ความสั่นสะเทือน กัมมันตภาพรังสี**. เอกสาร
ประกอบการสอนชุดวิชา อนามัยสิ่งแวดล้อม หน่วยที่ 8 – 15 สาขาวิทยาศาสตร์สุขภาพ
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาราช. กรุงเทพฯ. โรงพิมพ์สหมิตร, 2529 : 640 – 641

ศิริศักดิ์ เชิดเกียรติพล, ธัญญา นิยมภา, วรณวิสาข์ จันทระเดช, และ กฤษฎา แสงสุวรรณ. 2551.
**การศึกษาสมรรถนะเครื่องพรวนจอบหมุนสำหรับรถไถเดินตามที่ใช้ใบมีดจอบหมุน
ต้นแบบในแปลงสภาพดินแห้ง**. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย
ครั้งที่ 9 ประจำปี 2551, เชียงใหม่, หน้า 18 - 19

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2552. **ตัวชี้วัดเศรษฐกิจการเกษตรของประเทศไทย**. กระทรวงเกษตร
และสหกรณ์. หน้า 55.

หทัยเทพ วงศ์สุวรรณ, 2552. **การตรวจสอบความสั่นสะเทือนเครื่องจักร**. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน). กรุงเทพฯ.

อิสสยา ดำรงเกียรติสกุล. **การประเมินความปลอดภัยทั้งร่างกายของพนักงานขับรถจากการสั่นสะเทือนของยานยนต์**. วิทยานิพนธ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. 82น.

American National Standard : Guide for Measurement and Evaluation of Human Exposure to Vibration Transmitted to the Hand ANSI S3.43 – 1986. Newyork. 1986 : 1 - 10

Beeny, J. N., and D. C. P. Khoo. 1970. **Preliminary investigations into the performance of different shaped blades for the rotary tillage of wet rice soil**. Journal of Agricultural Engineering Research, 15(1) : 27 – 33.

Chertkiattipol, S. 2008. **Research and Development of Rotary Blade for Rotary Power Tiller under Different Soils in Thailand**. Doctoral Thesis, TJ1482 .S57, Kasetsart University, Bangkok, Thailand

Crolla, D. A.; Horton, d. n. l. and STAYNER, R. M. 1990. **Effect of tyre modelling on tractor ride vibration predictions**. Journal of Agricultural Engineering Research, 47(2) : 55 - 77.

Dewangan, K.N., Tewari, V.K., 2009. **Characteristics of hand-transmitted vibration of a hand tractor used in three operational modes**. International Journal of Industrial Ergonomics, 39 : 239–245

Gerke, F. G. and Hoang, D. L. 1981.**Tractor vibrations at the operators station**. Trans. ASAE 24 : 1131 - 1134.

Goglia, V., Gospodaric, Z., Filipovic, D., Djukic, I., 2006. **Influence on operator's health of hand transmitted vibrations from handles of a single-axle tractor**. Annals of Agricultural and Environmental Medicine 13 : 33 – 38.

Haack, M. 1965. **Human tolerance to vibrations in farm machines.** Agric. Engng 37 : 253 - 257.

Hornick, R. J. 1961. **Effects of tractor vibration on operators.** Agric. Engng 42 : 674 - 675, 696 - 697

International Organization for Standardization (ISO), **Mechanical vibration- Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration.** ISO 5349 - 1 (2001)

International Organization for Standardization (ISO), **Human response to vibration – Measuring instrumentation.** ISO 8041 (2005)

Kawamura, N. and Umeda, S. 1985. **Dynamic behavior of soil.** Journal of Agricultural Machinery, Japan 20 : 13 - 16.

Lines, J. A. 1987. **Ride vibration of agricultural tractors; transfer functions between the ground and the tractor body.** J. Agric. Engng Res. 37 : 81 - 91.

Mehta, C. R., P. S. Tiwari and A. C. Varshney. 1997. **Ride vibrations on a 7.5 kW power tiller.** Journal of Agricultural Engineering Research, 66(3) : 169 - 176.

Niyamapa, T. and chertkiattipol, S. 2010. **Development of blades for rotary tiller for use in Thai soils.** Journal of Food, Agriculture & Environment, 18(3&4) : 1336 - 1344.

Rao, B. K. N. and Jones, B. 1975. **Some studies on the measurement of head and shoulder vibration during walking.** Ergonomics 18(5) : 555 - 566.

Sakai, J. 1999. **Two-Wheel Tractor Engineering for Asian Wet Land Farming.** Shin - norinsha Co., Ltd., Tokyo.

Salokhe, V.M., Majumder, B., Islam, M.S., 1995. **Vibration characteristics of a power tiller.** Journal of Terramechanics 32 : 181 – 197.

Van Gerpen, H. W. 1956. **Evaluating tractor seating comfort.** Agric. Engng 37 : 673 - 676.

Ying, Y., Zhang, L., Xu, F., Dong, M., 1998. **Vibration characteristics and hand transmitted vibration reduction of walking tractor.** Transactions of the ASAE(American Society of Agricultural Engineers) 41 : 917 – 922.

ภาคผนวก

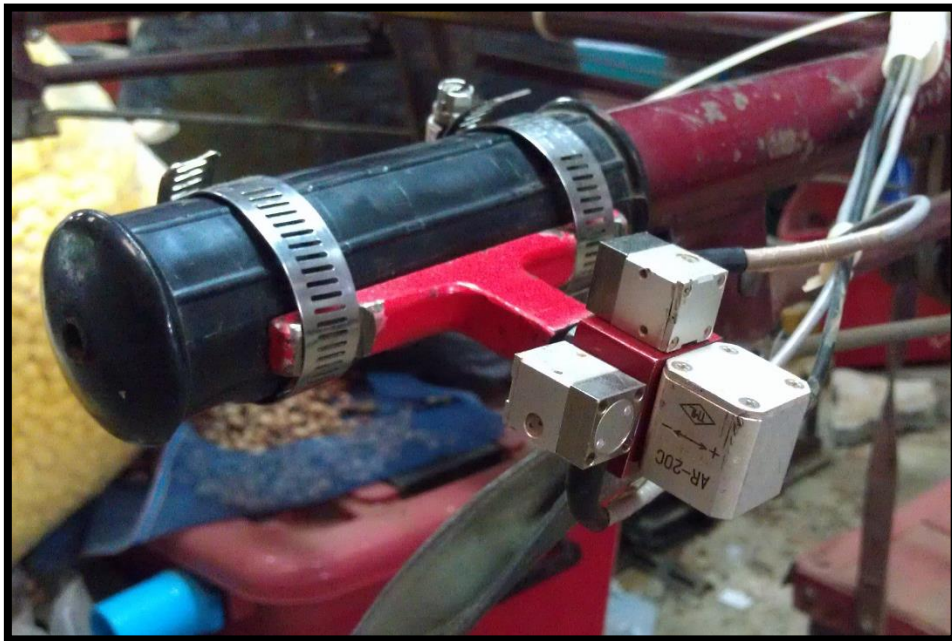
ภาคผนวก ก
ตารางการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางผนวกที่ ก1 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติค่าความเร่งลัพท์การสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจับรถไถเดินตามเงื่อนไขไม่เคลื่อนที่ เปรียบเทียบระหว่างมีและไม่มีผู้ควบคุมรถ

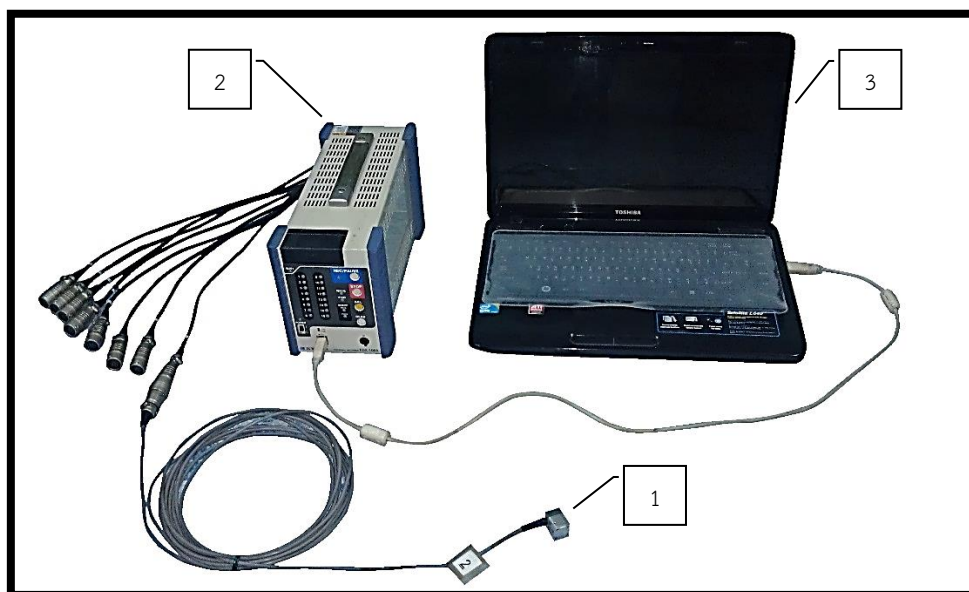
ชนิดล้อ	ความเร็วรอบเครื่องยนต์ (rpm)	ค่าความเร่งลัพท์ของการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม, m/s^2	
		มีผู้ควบคุมรถไถเดินตาม	ไม่มีผู้ควบคุมรถไถเดินตาม
ล้อเหล็ก	1,200	8.99	5.57
	1,600	9.80	9.66
	2,000	16.02	11.56
ล้อยาง	1,200	9.68	10.78
	1,600	12.89	5.94
	2,000	11.87	16.69
มีผู้ควบคุมรถไถเดินตาม			11.54 a
ไม่มีผู้ควบคุมรถไถเดินตาม			10.03 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็ก			10.27 a
ล้อขับเคลื่อนชนิดล้อยาง			11.31 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1200 rpm			8.75 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1600 rpm			9.57 a
ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 2,000 rpm			14.04 b

ภาคผนวก ข

ภาพการทดลอง และลักษณะดินหลังการทดลอง



ภาพผนวกที่ ข1 การติดตั้ง Accelerometer กับกล่องเหล็กรูปทรงลูกบาศก์



1. Accelerometer 2. Universal recorder รุ่น EDX-100A 3. Computer

ภาพผนวกที่ ข2 การติดตั้งอุปกรณ์วัดการสั่นสะเทือนกับเครื่องบันทึกข้อมูลแอนะล็อก และคอมพิวเตอร์



ภาพผนวกที่ ข3 การติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูลเอนกประสงค์ และคอมพิวเตอร์บริเวณหลังรถแทรกเตอร์



ภาพผนวกที่ ข4 การทดลองเงื่อนไขไรต์ไถเดินตามเคลื่อนที่บนถนนลาดยาง



ภาพผนวกที่ ข5 การทดลองเงื่อนไขไรถไถเดินตามเคลื่อนที่บนแปลงเกษตรกรรม



ภาพผนวกที่ ข6 การทดลองเงื่อนไขไรถไถเดินตามไถพรวนดิน

(a) รถไถเดินตามล้อเหล็ก



(b) รถไถเดินตามล้อยาง



ภาพผนวกที่ ข7 รถไถเดินตามล้อขับเคลื่อนชนิดล้อเหล็กและล้อยาง



ภาพผนวกที่ ข8 ลักษณะแปลงทดลองเงื่อนไขรถไถเดินตามไถพรวนดิน



Tillage 1st at 2,000 rpm



Tillage 2nd at 2,000 rpm



Tillage 1st at 2,200 rpm



Tillage 2nd at 2,200 rpm



Tillage 1st at 2,400 rpm



Tillage 2nd at 2,400 rpm

ภาพผนวกที่ ข9 สภาพดินหลังการไถพรวน เงื่อนไจรถไถเดินตามล้อย่างติดตั้งเครื่องพรวนจอบหมุน โดยใช้ชุดไ้มีดจอบหมุนญี่ปุ่นรูปตัวซี 14 ใบ (B1) ไถพรวนดิน



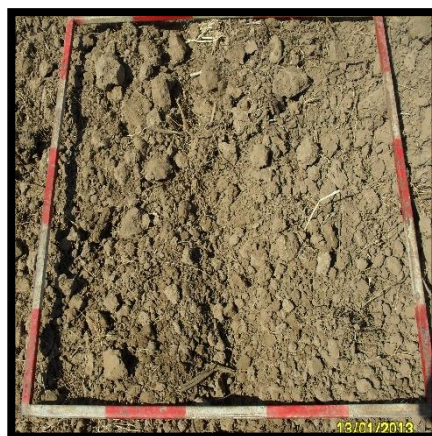
Tillage 1st at 2,000 rpm



Tillage 2nd at 2,000 rpm



Tillage 1st at 2,200 rpm



Tillage 2nd at 2,200 rpm



Tillage 1st at 2,400 rpm



Tillage 2nd at 2,400 rpm

ภาพผนวกที่ ข10 สภาพดินหลังการไถพรวน เงื่อนไขไรถไถเดินตามล้อย่างติดตั้งเครื่องพรวนจอบ
หมุนโดยใช้ชุดใบมีดจอบหมุนต้นแบบ 14 ใบ (B2) ไถพรวนดิน



Tillage 1st at 2,000 rpm



Tillage 2nd at 2,000 rpm



Tillage 1st at 2,200 rpm



Tillage 2nd at 2,200 rpm



Tillage 1st at 2,400 rpm



Tillage 2nd at 2,400 rpm

ภาพผนวกที่ ข11 สภาพดินหลังการไถพรวน เงื่อนไขรถไถเดินตามล้อยางติดตั้งเครื่องพรวนจอบ
หมุนโดยใช้ชุดไถมีดจอบหมุนต้นแบบ 10 ใบ (B3) ไถพรวนดิน

ภาคผนวก ค

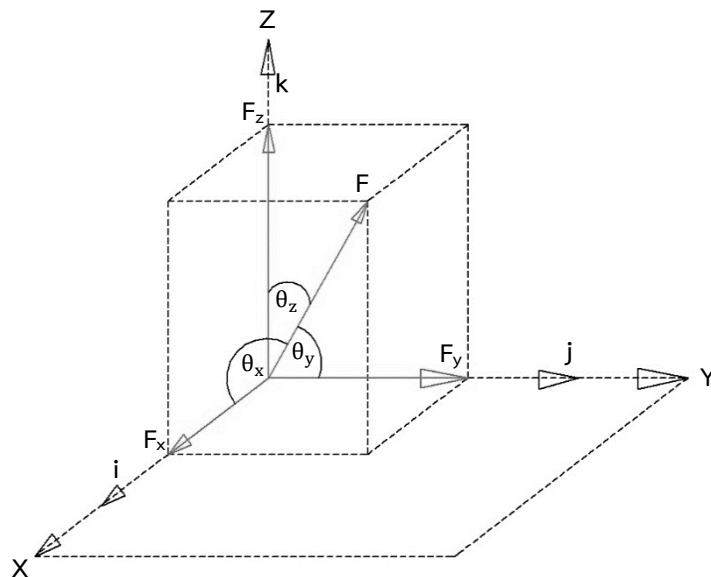
การแปลงค่าความแรงการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง Handle grip

1. การแปลงค่าความแรงการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่ง Handle grip ที่อยู่ในทิศทางของมาตรฐาน ISO 5349-1 ให้เป็นค่าความแรงการสั่นสะเทือนในทิศทางเดียวกันกับรถไถเดินตาม

การแปลงค่าความแรงของการสั่นสะเทือนในแต่ละทิศทางต้องอาศัยทฤษฎีพื้นฐานทางกลศาสตร์ในเรื่องของระบบแรง 3 มิติ แกนที่ใช้ คือ

- 1) แกน X โดยมีเวกเตอร์หนึ่งหน่วย คือ $\hat{i}$
- 2) แกน Y โดยมีเวกเตอร์หนึ่งหน่วย คือ $\hat{j}$
- 3) แกน Z โดยมีเวกเตอร์หนึ่งหน่วย คือ $\hat{k}$

วิธีการนี้ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้แรงย่อยในแนวตั้งฉากแต่ละแกนของแรงลัพธ์ F ซึ่งแรงย่อยในแนวแกน X คือ F_x และแรงย่อยในแนวแกน Y คือ F_y และแรงย่อยในแนวแกน Z คือ F_z ซึ่งแสดงดังภาพผนวกที่ ค1



ภาพผนวกที่ ค1 การแตกแรงย่อยของแรง 3 มิติ

จากภาพผนวกที่ ค1 แรง F สามารถแตกแรงย่อยได้สามแรง คือ

- 1) แรงในแนวแกน X คือ $F_x = F_x \hat{i}$
- 2) แรงในแนวแกน Y คือ $F_y = F_y \hat{j}$
- 3) แรงในแนวแกน Z คือ $F_z = F_z \hat{k}$

จึงเขียน F ได้เป็น $F = F_x\hat{i} + F_y\hat{j} + F_z\hat{k}$... (34)

ขนาดของ F หาได้จาก $|F| = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$... (35)

ขนาดของแรงในแต่ละแกนเป็นดังนี้

องค์ประกอบแรงในแนวแกน X มีค่า $F_x = |F| \cos \theta_x$... (36)

องค์ประกอบแรงในแนวแกน Y มีค่า $F_y = |F| \cos \theta_y$... (37)

องค์ประกอบแรงในแนวแกน Z มีค่า $F_z = |F| \cos \theta_z$... (38)

การแปลงค่าความเร่งของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งด้ามมือจักรถไถเดินตามในแต่ละทิศทางให้อยู่ในทิศเดียวกันกับทิศการสั่นสะเทือนของรถไถเดินตาม จากการวัดองศาของมุมที่เปลี่ยนแปลงไปจากทิศทางการสั่นสะเทือนในรถไถเดินตาม แสดงดังภาพผนวกที่ ค4

ค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) คำนวณโดยใช้สมการที่ 36 คือ

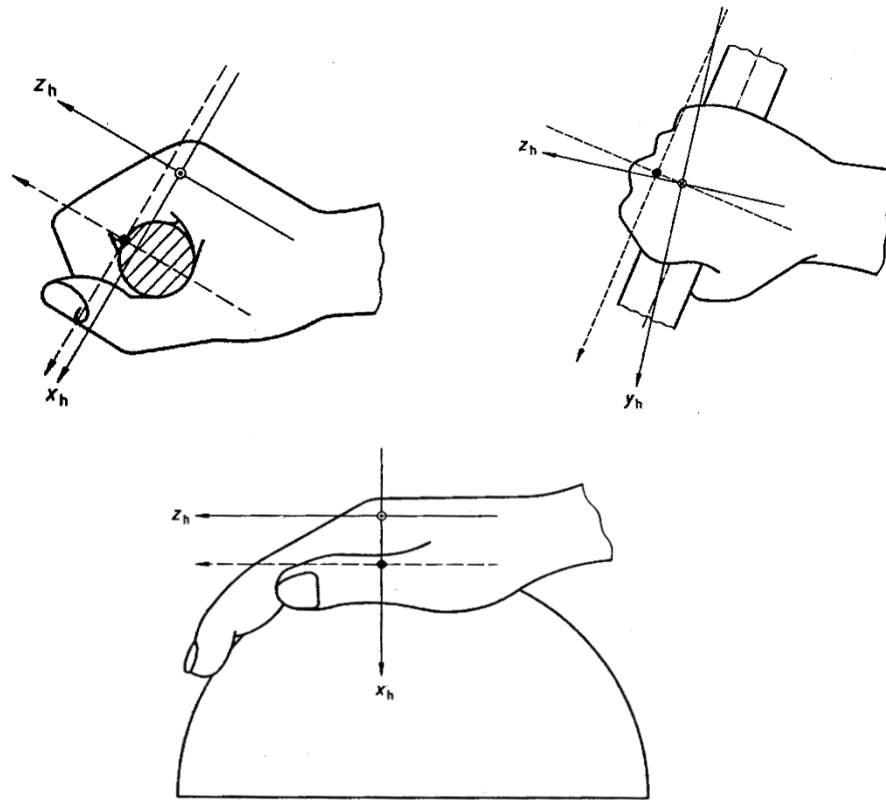
$$F_x = |F| \cos \theta_x = |F| \cos(5.86) \quad \dots (39)$$

ค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (Y-axis) คำนวณโดยใช้สมการที่ 37 คือ

$$F_y = |F| \cos \theta_y = |F| \cos(5.80) \quad \dots (40)$$

ค่าความเร่งการสั่นสะเทือนในแนวการเคลื่อนที่รถไถเดินตาม (X-axis) คำนวณโดยใช้สมการที่ 38 คือ

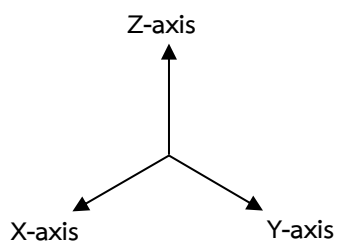
$$F_z = |F| \cos \theta_z = |F| \cos(5.92) \quad \dots (41)$$



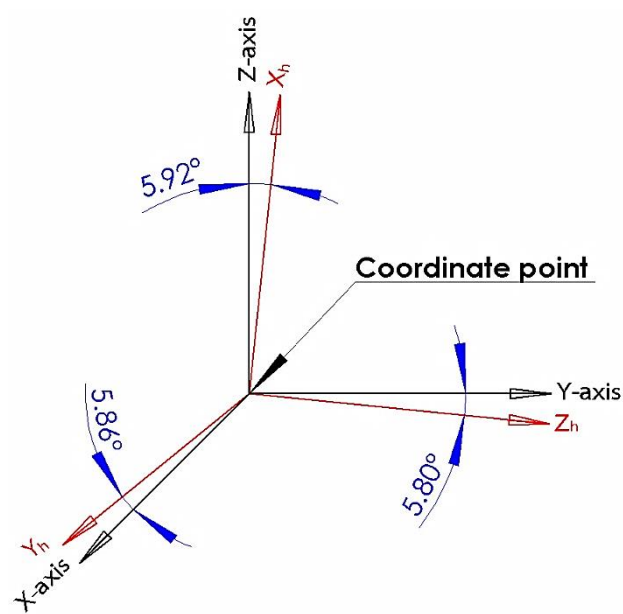
————— แนวการเคลื่อนที่ของมือ (Biodynamic coordinate system)
 - - - - - แนวแกนกึ่งกลาง (Basicentric coordinate system)

ภาพผนวกที่ ค2 การสัมพันธ์ในแนวแกนอ้างอิงต่างๆ ของมือตามมาตรฐาน ISO

ที่มา: ISO 5349-1, 2001



ภาพผนวกที่ ค3 การสัมพันธ์ในทิศทางต่างๆ ของรถไถเดินตาม



ภาพผนวกที่ ค4 องศาของมุมที่เปลี่ยนแปลงไปจากทิศทางการสั่นสะเทือนในรถไฟใต้ดินตาม

ภาคผนวก ง
ผลเก็บข้อมูลในแปลง

สภาพดินในแปลงทดลอง พื้นที่ทำการทดลองคือ แปลงทดลองภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน อ.กำแพงแสน จ.นครปฐม ดินที่ใช้ในการทดสอบเป็นดิน Clay loam ประกอบด้วย อนุภาคทราย (Sand) 30.43 %, อนุภาคทรายแป้ง (Silt) 41.73 % และอนุภาคดินเหนียว Clay 27.84 % ความต้านทานการแทงทะลุ (Cone index) เฉลี่ยวัดจากระดับผิวดินถึงระดับความลึก 20 cm. เท่ากับ 1.18 MPa ความชื้นเฉลี่ย ของดินในแปลง 10.17 % (d.b.) ความหนาแน่นมวลรวมสภาพแห้งเฉลี่ยของดินที่ระดับความลึก 10 cm. เท่ากับ 1.34 g/cm³ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของก้อนดินก่อนการทดลอง เท่ากับ 88.71 mm.

ตารางผนวกที่ ง1 สมบัติทางฟิสิกส์ของดินที่ใช้ทดลอง

Particle size	Distribution mm.	Percent
sand	0.05 - 2	30.43
Silt	0.002 - 0.05	41.73
Clay	<0.002	27.84

ตารางผนวกที่ ง2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยก้อนดินก่อนการทดลองเงื่อนไขไพรวันดิน

ดิน ตัวอย่าง	น้ำหนักดินที่ค้างอยู่บนตะแกรง (g.)						น้ำหนัก ดินรวม (g.)	N (mm.)	dsc. (mm.)
	A	B	C	D	E	F			
1	49	30	396	342	429	1,463	2,709	131.20	86.31
2	120	80	290	308	294	1,406	2,498	148.75	96.96
3	56	145	177	417	438	1,171	2,404	134.00	82.40
4	110	151	25	363	424	1,460	2,533	143.40	96.56
5	32	108	92	478	455	1,217	2,382	139.80	88.76
6	167	51	74	443	678	1,278	2,691	141.00	85.34
7	130	208	105	314	459	1,275	2,491	143.80	88.87
8	177	214	208	341	530	1,320	2,790	144.20	84.38
9	79	93	146	302	409	1,291	2,320	138.80	92.07
10	34	97	111	554	554	1,260	2,610	138.25	85.41
เฉลี่ย	95.40	117.70	162.40	386.20	467.00	1,314.10	2,542.80	140.32	88.71