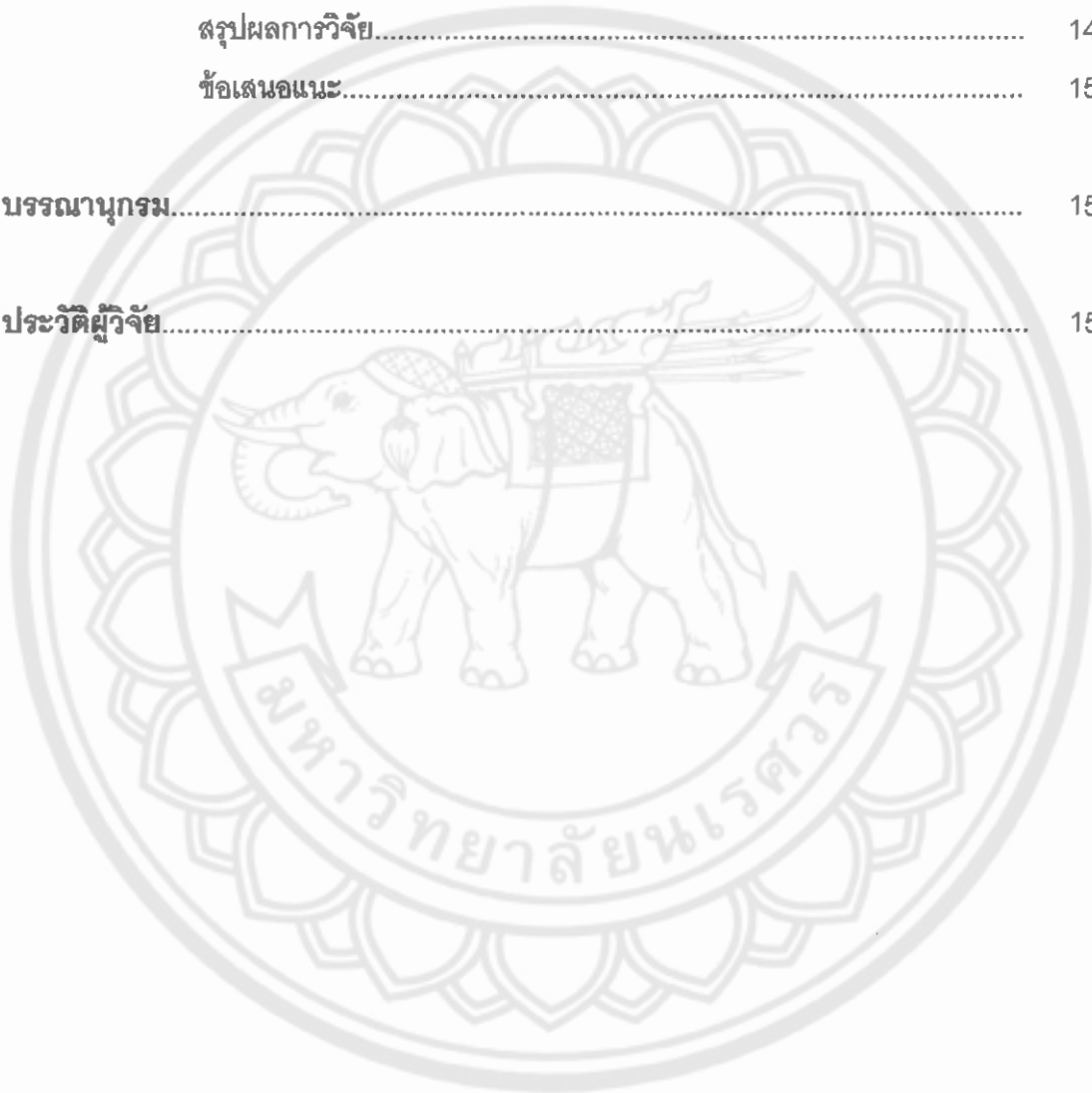


สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ.....	1
	ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
	จุดมุ่งหมายของการวิจัย.....	3
	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	3
	ขอบเขตของการวิจัย.....	3
	นิยามศัพท์เฉพาะ.....	4
2	เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	25
	การวิเคราะห์พื้นผิวแบบสุ่ม.....	27
	แบบจำลองยานพาหนะ.....	49
	แบบจำลองโครงสร้างพื้นฐาน.....	55
	ความสัมพันธ์พื้นผิวทาง ยานพาหนะ และโครงสร้างพื้นฐาน.....	66
	วิธีการพื้นผิวตอบสนอง.....	89
4	ผลการวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัย.....	106
	ผลตอบสนองของยานพาหนะ.....	107
	ผลตอบสนองของโครงสร้างพื้นฐาน.....	111
	การวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นพหุคูณ.....	121

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
5 บทสรุป.....	148
สรุปผลการวิจัย.....	148
ข้อเสนอแนะ.....	150
บรรณานุกรม.....	153
ประวัติผู้วิจัย.....	156



บัญชีตาราง

ตาราง		หน้า
1	แสดงค่าความถี่อัตราการมาถึงของเพลลาเปรียบเทียบกับตัวแปรไร้หน่วย ความเร็วยานพาหนะ และระยะห่างระหว่างเพลลาต่อความยาวของคาน..	19
2	แสดงค่าอัตราเร่งสูงสุดที่มีผลต่อความรู้สึกของผู้ใช้ยานพาหนะ ตามมาตรฐาน ISO 2631.....	54
3	แสดงค่าตัวแปรไร้หน่วยความถี่พื้นฐานของคานช่วงเดียว จำนวน 10 โหมด.....	82
4	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA).....	93
5	ความสัมพันธ์ของค่า RMS ระยะโค้งกึ่งกลางสะพาน และ ตัวแปรไร้หน่วย ระยะทางสหสัมพันธ์ $\frac{\Delta_c}{L}$ จำนวนตัวอย่างทดสอบ 10 ครั้ง.....	96
6	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA).....	97
7	แสดงความสัมพันธ์ของค่า RMS ระยะโค้งกึ่งกลางสะพาน ตัวแปรไร้หน่วย ระยะห่าง ระหว่างเพลลา (l/L) ตัวแปรไร้หน่วยระยะทางสหสัมพันธ์ (Δ_c/L) และตัวแปรไร้หน่วยความเข้มของไวนอยซ์ (q_0/L^3) จำนวนตัวอย่างทดสอบ 27 ครั้ง	99
8	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance, ANOVA).....	101
9	แสดงสมมติฐาน ตัวทดสอบสถิติ ช่วงวิกฤต และสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ สำหรับรูปแบบฟังก์ชันโพลิโนเมียล ลำดับที่ 1 ถึง 3.....	102
10	แสดงสมมติฐาน ตัวทดสอบสถิติ ช่วงวิกฤต สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และ p-value สำหรับรูปแบบฟังก์ชันโพลิโนเมียลลำดับที่ 1 ถึง 3 ของตัวแปร อิสระ (l/L) (Δ_c/L) และ (q_0/L^3) ที่ส่งผลต่อตัวแปรตาม $RMS[V(0.50L)]$ จำนวนตัวอย่างทดสอบ 27 ครั้ง.....	103
11	แสดงพารามิเตอร์ของตัวแบบ สมการถดถอยโพลิโนเมียลลำดับที่ 2 ของ ความสัมพันธ์ของตัวแปรอิสระ 3 ตัวแปร (l/L) (Δ_c/L) และ (q_0/L^3) ที่ส่งผลต่อ $RMS[V_{pp}/g]$	105

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง	หน้า
12 แสดงค่าอัตราการมาถึงของเพลลา ที่ความเร็ว และความยาวคานต่างๆ.....	113
13 แสดงตัวแปรตาม สมมติฐาน ตัวทดสอบสถิติ ช่วงวิกฤต สัมประสิทธิ์การ ตัดสินใจ และp-value ของ พารามิเตอร์ของระบบพื้นผิว จำนวนตัวอย่างทดสอบ 27 ครั้ง.....	122
14 แสดงพารามิเตอร์ของตัวแบบ สมการถดถอยโพลิโนเมียลลำดับที่ 2 ของพารามิเตอร์ของระบบพื้นผิว ของค่า $RMS[V_{pp}/g]$ $RMS[V(0.50L)]$ $RMS[M(0.50L)]$ และ $RMS[S(0.95L)]$	124
15 แสดงตัวแปรตาม สมมติฐาน ตัวทดสอบสถิติ ช่วงวิกฤต สัมประสิทธิ์การ ตัดสินใจ และp-value ของ พารามิเตอร์ของระบบโครงสร้างพื้นฐาน จำนวนตัวอย่างทดสอบ 9 ครั้ง.....	125
16 แสดงตัวแปรตาม สมมติฐาน ตัวทดสอบสถิติ ช่วงวิกฤต สัมประสิทธิ์การ ตัดสินใจ และp-value ของ พารามิเตอร์ของระบบโครงสร้างพื้นฐาน จำนวนตัวอย่างทดสอบ 121 ครั้ง.....	126
17 แสดงพารามิเตอร์ของตัวแบบ สมการถดถอยโพลิโนเมียลลำดับที่ 2 ของพารามิเตอร์ของระบบโครงสร้างพื้นฐาน ของค่า $RMS[V(0.50L)]$ $RMS[M(0.50L)]$ และ $RMS[S(0.95L)]$ จำนวนตัวอย่าง ทดสอบ 121 ครั้ง.....	127
18 แสดงโพลิโนเมียลลำดับที่ 1 ถึง 4 สมมติฐาน ตัวทดสอบสถิติ ช่วงวิกฤต สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และp-value ของ $RMS[V_{pp}/g]$ พารามิเตอร์ของระบบโครงสร้างพื้นฐาน จำนวนตัวอย่างทดสอบ 121 ครั้ง.....	128
19 แสดงพารามิเตอร์ของตัวแบบ สมการถดถอยโพลิโนเมียลลำดับที่ 3 ของพารามิเตอร์ของระบบโครงสร้างพื้นฐาน ของค่า $RMS[V_{pp}/g]$	130

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง		หน้า
20	แสดงตัวแปรตาม สมมติฐาน ตัวทดสอบสถิติ ช่วงวิกฤต สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และp-value ของ พารามิเตอร์ของระบบยานพาหนะ จำนวนตัวอย่างทดสอบ 81 ครั้ง.....	131
21	แสดงพารามิเตอร์ของตัวแบบ สมการถดถอยโพลิโนเมียลลำดับที่ 2 ของพารามิเตอร์ของระบบยานพาหนะ ของค่า $RMS[V_{pp}/g]$ $RMS[V(0.50L)]$ $RMS[M(0.50L)]$ และ $RMS[S(0.95L)]$	133
22	แสดงตัวแปรตาม สมมติฐาน ตัวทดสอบสถิติ ช่วงวิกฤต สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และp-value ของ ระบบการเคลื่อนที่ยานพาหนะบนโครงสร้างพื้นฐาน จำนวนตัวอย่างทดสอบ 2,187 ครั้ง.....	135
23	แสดงพารามิเตอร์ของตัวแบบ สมการถดถอยโพลิโนเมียลลำดับที่ 2 ของพารามิเตอร์ของการเคลื่อนที่ยานพาหนะบนโครงสร้างพื้นฐาน ของค่า $RMS[V_{pp}/g]$ $RMS[V(0.50L)]$ $RMS[M(0.50L)]$ และ $RMS[S(0.95L)]$	137
24	เปรียบเทียบค่า $RMS[V_{pp}/g]$ จากผลการทดลอง กับ ค่า $RMS[V_{pp}/g]$ จากสมการถดถอยในแต่ละกลุ่ม ที่ความเร็ว 150 – 350 km./hr.	139
25	เปรียบเทียบค่า $RMS[V(0.50L)]$ จากผลการทดลอง กับ ค่า $RMS[V(0.50L)]$ จากสมการถดถอยในแต่ละกลุ่ม ที่ความเร็ว 150 – 350 km./hr.	139
26	เปรียบเทียบค่า $RMS[M(0.50L)]$ จากผลการทดลอง กับ ค่า $RMS[M(0.50L)]$ จากสมการถดถอยในแต่ละกลุ่ม ที่ความเร็ว 150 – 350 km./hr.	140
27	เปรียบเทียบค่า $RMS[S(0.95L)]$ จากผลการทดลอง กับ ค่า $RMS[S(0.95L)]$ จากสมการถดถอยในแต่ละกลุ่ม ที่ความเร็ว 150 – 350 km./hr.	140

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตาราง

หน้า

28	แสดงโพลีโนเมียลลำดับที่ 2 และ 3 สมมติฐาน ตัวทดสอบสถิติ ช่วงวิกฤต สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ และ p-value ของ $RMS[V_{pp}/g]$ ระบบการเคลื่อนที่ยานพาหนะบนโครงสร้างพื้นฐาน จำนวนตัวอย่างทดสอบ 2,187 ครั้ง.....	143
29	เปรียบเทียบค่า $RMS[V_{pp}/g]$ จากผลการทดลอง กับ ค่า $RMS[V_{pp}/g]$ จากสมการถดถอยโพลีโนเมียล ลำดับที่ 2 และ 3 ระบบการเคลื่อนที่ยานพาหนะบนโครงสร้างพื้นฐาน ที่ความเร็ว 150 – 350 km./hr.	143
30	แสดงพารามิเตอร์ และช่วงความเชื่อมั่นของตัวแบบ สมการถดถอย โพลีโนเมียลลำดับที่ 2 ของพารามิเตอร์ของการเคลื่อนที่ยานพาหนะ บนโครงสร้างพื้นฐาน ของค่า $RMS[V_{pp}/g]$	145

บัญชีภาพ

ภาพ	หน้า
1 แสดงค่า DAF ของการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของคานสำหรับน้ำหนักบรรทุกและความเร็วขนาดต่างๆ.....	7
2 แสดงค่าการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งสูงสุดสำหรับอัตราส่วนค่าความหน่วงต่างๆ.....	7
3 แสดงแบบจำลองยานพาหนะทดสอบเพลาดียว.....	8
4 แสดงตัวอย่างข้อมูลของกระบวนการสุ่ม.....	9
5 แสดงฟังก์ชัน PSD ของความขรุขระของผิวทาง.....	10
6 แสดงค่า DAF ของแรงกระทำที่เพลาลังสะสม ที่ความเร็ว 140 กม./ชม. และที่ระดับความขรุขระต่างๆ.....	10
7 แสดงผลตอบสนองต่อคานในกรณีที่ $f_v = 0.08$ และ ค่าระยะห่างระหว่างเพลาคือความยาวคาน $l/L = 0.50$	12
8 แสดงค่าความถี่ของยานพาหนะที่ระดับความขรุขระและความเร็วต่างๆ.....	14
9 แสดงค่าความเร่งในแนวดิ่งและแนวราบของรถไฟ 1 ขบวน (ค่า L คือ หัวยรถจักร, T คือ ตู้สัมภาระ และ P คือห้องผู้โดยสาร).....	16
10 แสดงค่าคาดหวัง และ ค่าความแปรปรวน ของยานพาหนะในช่วงความเร็วสูง.	18
11 แสดงค่าคาดหวัง และ ค่าความแปรปรวนของโมเมนต์ภายใน.....	20
12 แสดงค่าการสั่นสะเทือน และ สเปกตรัมฟูเรียร์ ของพื้นผิวดิน จากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะที่ระดับความเร็ว 200 กม./ชม. โดยกำหนดระยะห่างจากศูนย์กลางรางรถไฟ 2.5, 5, 10 และ 20 เมตร ตามลำดับภาพ (จากบนลงล่าง).....	22
13 แสดงค่าความไม่สม่ำเสมอของพื้นผิว ในรูปแบบโดเมนเวลา.....	24
14 แสดงลำดับขั้นการศึกษาการเคลื่อนที่ของยานพาหนะบนโครงสร้างพื้นฐานด้วยวิธีการพื้นผิวตอบสนอง.....	26

บัญชีภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
15 แสดงเครื่องมือวัดความขรุขระของพื้นผิวทางบ่ม อินทิเกรเตอร์ (Bump Integrator, BI) (รูปบน) และแสดงตัวอย่างโปรไฟล์ของพื้นผิวถนนสายหนึ่งในประเทศไทย (รูปล่าง).....	29
16 แสดงระดับค่าดัชนีชี้วัดความขรุขระผิวทาง ตามประเภทของถนน.....	30
17 แสดงค่าความหนาแน่นกำลังสเปกตรัล ของผิวถนนสายหนึ่งในประเทศไทย....	31
18 แสดงเครื่องมือวัดความขรุขระของพื้นผิวระบบราง ของ Noptel's PSM-220...	32
19 แสดงค่าความขรุขระพื้นผิวและผลตอบสนองจากการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ	33
20 แสดงความไม่สม่ำเสมอของแนวทาง.....	33
21 แสดงฟังก์ชันแปลงรูปค่าสัมบูรณ์ยกกำลังสองของ ตัวแปร W_d และตัวแปร h_d ของลำดับชั้นที่หนึ่ง.....	35
22 แสดงฟังก์ชันแปลงรูปค่าสัมบูรณ์ยกกำลังสองของ ตัวแปร W_d และตัวแปร $\frac{\dot{h}_d}{r_f}$ ของลำดับชั้นที่หนึ่ง.....	36
23 แสดงฟังก์ชันแปลงรูปค่าสัมบูรณ์ยกกำลังสองของ ตัวแปร W_d และตัวแปร h_d ของลำดับชั้นที่สอง.....	37
24 แสดงค่า PSD และค่าความแปรปรวนร่วมของ $h_d(x_d)$	40
25 แสดงค่าฟังก์ชันสหสัมพันธ์ (Autocorrelation function) ของ $h_d(x_d)$	41
26 แสดงค่า PSD และค่าความแปรปรวนร่วมของ $h_d(t_d)$	42
27 แสดงค่าฟังก์ชันสหสัมพันธ์ (Autocorrelation function) ของ $h_d(t_d)$	44
28 แสดงค่า PSD และค่าความแปรปรวนร่วมของตัวแปรไร้หน่วย $h(t_d)$	45
29 แสดงค่า PSD และค่าความแปรปรวนร่วมของตัวแปรไร้หน่วยเวลา $h(t)$	47
30 แสดงค่าฟังก์ชันสหสัมพันธ์ (Autocorrelation function) ของตัวแปรไร้หน่วยเวลา $h(t)$	47
31 แสดงค่าความหนาแน่นกำลังสเปกตรัล ของพื้นผิวระบบรางที่ระดับความขรุขระต่างๆ เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานระบบรางของสหรัฐอเมริกา.....	48

บัญชีภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
32 แสดงยานพาหนะประเภทต่างๆ.....	49
33 แสดงแบบจำลองยานพาหนะแบบต่าง ๆ.....	51
34 แสดงแบบจำลองยานพาหนะสองเพลานึ่งคัน ลำดับชั้นความเป็นอิสระเท่ากับ 4	52
35 แสดงค่าระยะโก่งตัวของโครงสร้างพื้นฐานยกกระดัดแบ่งตามช่วงความยาวคาน	55
36 แสดงผลของแรงกระทำเคลื่อนที่ต่อคาน รูป (1) แสดงส่วนประกอบ และตำแหน่งของคาน รูป (2) แสดงแรงกระทำต่อชิ้นส่วนคาน.....	56
37 แสดงองค์ประกอบของคานช่วงเดียว.....	60
38 แสดงรูปแบบการสั่นสะเทือนจำนวน 10 โหมดของคานช่วงเดียว.....	62
39 แสดงองค์ประกอบของคานสองช่วง.....	63
40 แสดงรูปแบบการสั่นสะเทือนจำนวน 10 โหมดของคานสองช่วง.....	65
41 แสดงยานพาหนะ ระบบลำดับชั้นความเป็นอิสระหนึ่ง (Single Degree Of Freedom, SDOF) แบบสปริงเชิงเส้นบนพื้นผิวคานแบบยืดหยุ่น.....	67
42 แสดงยานพาหนะ ระบบลำดับชั้นความเป็นอิสระหนึ่ง (Single Degree Of Freedom, SDOF) ที่มีทั้งระบบกันสะเทือน และสปริงแบบต่อขนานบนพื้นผิวคานแบบยืดหยุ่น.....	69
43 แสดงยานพาหนะ ระบบลำดับชั้นความเป็นอิสระหนึ่ง (Single Degree Of Freedom, SDOF) ที่มีจุดสัมผัสเป็นมวลแข็งเกร็ง และมีระบบกันสะเทือน และสปริงต่อเชื่อมแบบขนานบนพื้นผิวคานแบบยืดหยุ่น....	72
44 แสดงยานพาหนะ ระบบลำดับชั้นความเป็นอิสระหนึ่ง แบบสปริงเชิงเส้นบนพื้นผิวคานช่วงเดียว.....	87
45 แสดงค่าเฉลี่ยของระยะโก่งกึ่งกลางคาน.....	87
46 แสดงยานพาหนะ ระบบลำดับชั้นความเป็นอิสระสอง.....	88

บัญชีภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
47 แสดงค่าเฉลี่ยของระยะโค้งกึ่งกลางคาน เมื่อ $f_v = 0.06$	88
48 แสดงผลตอบสนองต่อค่าระยะโค้งกึ่งกลางของโครงสร้างพื้นฐาน (1) กรณีค่า ความขรุขระพื้นผิวคงที่ และความเร็วเปลี่ยนแปลง (2) กรณีค่า ความเร็วคงที่ และค่าความขรุขระพื้นผิวเปลี่ยนแปลง.....	90
49 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน และRMS ความเร่งแนวดิ่งของห้อง ผู้โดยสาร ในช่วงความเร็ว 150 – 350 km./hr. $r_f = 0.015m^{-1}$ และ $L = 20m$	108
50 แสดงค่า RMS ความเร่งแนวดิ่งของห้องผู้โดยสาร ช่วงความขรุขระ $r_f = 0.015 - 0.025m^{-1}$ ความเร็วยานพาหนะ 350 km./hr. และ $L = 20m$	109
51 แสดงค่า RMS ความเร่งแนวดิ่งของห้องผู้โดยสาร ช่วงความยาวคาน $L = 20 - 30m$ ความเร็วยานพาหนะ 150 km./hr. และ $r_f = 0.015m^{-1}$	110
52 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน และRMS ของระยะโค้งกึ่งกลางคาน ในช่วงความเร็ว 150 – 350 km./hr. $r_f = 0.015m^{-1}$ และ $L = 20m$..	114
53 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน ของระยะโค้งกึ่งกลางคาน ช่วงความยาวคาน $L = 20 - 30m$ ความเร็วยานพาหนะ 350 km./hr. และ $r_f = 0.015m^{-1}$	115
54 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน ของโมเมนต์กึ่งกลางคานในช่วงความเร็ว 150 – 350 km./hr. $r_f = 0.015m^{-1}$ และ $L = 20m$	116
55 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน ของโมเมนต์กึ่งกลางคาน ช่วงความยาวคาน $L = 20 - 30m$ ความเร็วยานพาหนะ 350 km./hr. และ $r_f = 0.015m^{-1}$	117

บัญชีภาพ (ต่อ)

ภาพ		หน้า
56	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน ของแรงเฉือนโกัดฐานรองรับ ในช่วงความเร็ว $150 - 350 \text{ km./hr.}$ $r_f = 0.015m^{-1}$ และ $L = 20m$.	118
57	แสดงค่าเฉลี่ย ค่าความแปรปรวน ของแรงเฉือนโกัดฐานรองรับ ช่วงความยาวคาน $L = 20 - 30m$ ความเร็วยานพาหนะ 350 km./hr. และ $r_f = 0.015m^{-1}$	119

