สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(15)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 ความสำคัญของปัญหาและแนวทางการวิจัย	2
1.3 การตรวจเอกสาร	3
1.4 วัตถุประสงค์	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.6 ขอบเขตการวิจัย	6
2. วิธีการผลิตที่ทำให้ยางชั้นในของล้อยางตันคงรูป	7
2.1 การผลิตยางล้อตัน	7
2.2 เครื่องม้วนยางแบบใหม่	12
2.3 วิธีการผลิตล้อยางตันเพื่อควบคุมยางชั้นในให้มีความคงรูปและสม่ำเสมอ	14
3. ทฤษฎี	21
3.1 แนวคิดเกี่ยวกับการสั่นสะเทือนของล้อยางตัน	21
3.1.1 ความกลมของล้อยาง	21
3.1.2 แรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตัน	22
3.1.3 สัญญาณการเคลื่อนที่ของแกนเพลาของเครื่องทดสอบความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตัน	25
3.1.4 สัญญาณการสั่นสะเทือน	26
3.2 อุปกรณ์ตรวจวัดการสั่นสะเทือน	27
3.2.1 ประเภทไม่สัมผัส (Not-contact displacement transducer)	27
3.2.2 ประเภทวัดความเร็ว (Velocity pickups)	30
3.2.3 ประเภทวัดความเร่ง (Accelerometer)	32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.4 หัวตรวจวัดประเภทใช้แสงเลเซอร์	35
3.3 การวัดความสั่นสะเทือนด้วยเลเซอร์สำหรับตรวจสอบความสมดุลแรงเหวี่ยง	35
3.4 การทดลองหาความไวของเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือน	37
3.5 การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือน	38
3.5.1 การประเมินค่าความรุนแรงของการสั่นสะเทือนของสัญญาณแบบรวม	39
3.5.2 การวิเคราะห์สัญญาณการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่	40
4. วิธีการวิจัย	41
4.1 ขั้นตอนและวิธีการวิจัย	41
4.1.1 กิจกรรมที่ 1: การทดลองผลิตล้อยางตันตัวอย่าง	41
4.1.2 กิจกรรมที่ 2: การตรวจสอบความสมมาตรของหน้าตัดยางชั้นในของล้อยางตันตัวอย่างขนาดใช้งานจริงที่ทดลองผลิตในโรงงาน	42
4.1.3 กิจกรรมที่ 3: การตรวจสอบความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างยางชั้นในและชั้นนอก	45
4.1.4 กิจกรรมที่ 4: ทดสอบความกลมของล้อยางตัน	46
4.1.5 กิจกรรมที่ 5: ทดสอบความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนล้อยางตัน	58
4.1.6 กิจกรรมที่ 6: การตรวจสอบความสมมาตรของหน้าตัดยางชั้นในของล้อยางตันที่ทำการผลิตจริงในสายการผลิตของโรงงาน	71
4.2 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย	73
4.3 เครื่องมือสำหรับการวิจัย	76
5. ผลการทดลองและการอภิปรายผล	77
5.1 ผลการตรวจสอบหน้าตัดยางชั้นในของล้อยางตันตัวอย่างขนาดใช้งานจริงที่ทดลองผลิตในโรงงาน	77
5.1.1 ผลการตรวจสอบความสมมาตรของหน้าตัดยางชั้นในของล้อยางตัวอย่างขนาดใช้งานจริงที่ทดลองผลิตในโรงงาน	78
5.1.2 ผลการทดสอบความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างยางชั้นในและยางชั้นนอก	79

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 ผลการทดสอบความกลมล้อยางตัน	81
5.2.1 การตรวจสอบความกลมของล้อยางที่ผลิตด้วยวิธีการที่ 1	82
5.2.2 การตรวจสอบความกลมของล้อยางที่ผลิตด้วยวิธีการที่ 2	87
5.2.3 การตรวจสอบความกลมของล้อยางที่ผลิตด้วยวิธีการที่ 3	90
5.2.4 การตรวจสอบความกลมของล้อยางที่ผลิตด้วยวิธีการที่ 4	93
5.2.5 การตรวจสอบความกลมของล้อยางที่ผลิตด้วยวิธีการที่ 5	96
5.2.6 การตรวจสอบความกลมของล้อยางมาตรฐานยี่ห้ออื่นๆ	99
5.3 ผลการตรวจสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตันในรูปการสั่นสะเทือน	120
5.3.1 การตรวจสอบสมดุลแรงเหวี่ยงของล้อยางที่ผลิตด้วยวิธีการที่ 1	121
5.3.2 การตรวจสอบสมดุลแรงเหวี่ยงของล้อยางที่ผลิตด้วยวิธีการที่ 2	124
5.3.3 การตรวจสอบสมดุลแรงเหวี่ยงของล้อยางที่ผลิตด้วยวิธีการที่ 3	126
5.3.4 การตรวจสอบสมดุลแรงเหวี่ยงของล้อยางที่ผลิตด้วยวิธีการที่ 4	128
5.3.5 การตรวจสอบสมดุลแรงเหวี่ยงของล้อยางที่ผลิตด้วยวิธีการที่ 5	130
5.3.6 การตรวจสอบสมดุลแรงเหวี่ยงของล้อยางมาตรฐานยี่ห้ออื่นๆ	132
5.4 ผลการตรวจสอบหน้าตัดยางชั้นในของล้อยางตัน	147
5.4.1 ผลการตรวจสอบความสมมาตรของหน้าตัดยางชั้นใน	148
6. บทสรุปและวิจารณ์ผล	150
6.1 การทดลองผลิตล้อยางตันตัวอย่าง	150
6.1.1 การทดลองวิธีการผลิตล้อยางตันในห้องปฏิบัติการ	150
6.1.2 การทดลองผลิตล้อยางตันตัวอย่างขนาดใช้งานจริงในโรงงาน	150
6.1.3 การตรวจสอบความสมมาตรของหน้าตัดยางชั้นในล้อยางตันตัวอย่างขนาดใช้งานจริงที่ทดลองผลิตในโรงงาน	151
6.1.4 การตรวจสอบความแข็งแรงในการยึดติดระหว่างชั้นในและชั้นนอกของล้อยางตันตัวอย่างขนาดใช้งานจริงที่ทดลองผลิตในโรงงาน	151

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
6.2 ความกลมของล้อยางตัน	152
6.3 ความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตัน	152
6.4 ความสมมาตรของหน้าตัดยางชั้นในของล้อยางตัน	153
6.5 ความกลมของล้อยางตันที่ส่งผลต่อความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุน	154
6.6 ความสมมาตรของยางชั้นในที่ส่งผลต่อความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุน	154
6.7 วิธีการผลิตต่อคุณภาพของล้อยางตัน	154
6.8 สรุปผลการทดลอง	155
6.9 ข้อเสนอแนะ	156
เอกสารอ้างอิง	157
ภาคผนวก	159
ก แบบอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นในงานวิจัย	160
ประวัติผู้เขียน	175

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ผลการทดสอบปรับเทียบหาความคลาดเคลื่อนของระยะการเคลื่อนที่ของชุดลูกกลิ้ง	51
4.2	แรงขันบีบที่ใช้ในการขันบีบกระทะล้อสำหรับล้อยางตัน และการขันยึดดุมล้อ	57
4.3	ผลการทดสอบช่วงการวัดของเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนที่ใช้เทคนิคทางแสงเลเซอร์	64
4.4	แสดงผลการเคลื่อนที่ของแกนเพลาของเครื่องทดสอบสมดุลการหมุนเพื่อหาค่า Repeatability ของวงจรทดสอบ	66
4.5	แสดงลักษณะจำเพาะของล้อยางตันที่ใช้ในการทดสอบ	73
4.6	แสดงรายการของล้อยางตันขนาด 6:00-9 Rim 4 ที่ใช้ในการทดสอบ	74
4.7	การแบ่งกลุ่มล้อยางตามวิธีการและยี่ห้อ	75
5.1	แสดงค่าเฉลี่ยของผลต่างและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของล้อยางในแต่ละวิธีการ	78
5.2	ตารางบันทึกผลการทดสอบแรงดึงและการคำนวณหาพื้นที่	79
5.3	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 1 ผลิตด้วยวิธีการที่ 1 ที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	83
5.4	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 2 ผลิตด้วยวิธีการที่ 1 ที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	85
5.5	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 3 ผลิตด้วยวิธีการที่ 1 ที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	86
5.6	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 7 ผลิตด้วยวิธีการที่ 2 ที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	88
5.7	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 9 ผลิตด้วยวิธีการที่ 2 ที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	90
5.8	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 4 ผลิตด้วยวิธีการที่ 3 ที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	90

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.9	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 11 ผลิตด้วยวิธีการที่ 3 ที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	93
5.10	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 5 ผลิตด้วยวิธีการที่ 4 ที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	93
5.11	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 10 ผลิตด้วยวิธีการที่ 4 ที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	96
5.12	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 6 ผลิตด้วยวิธีการที่ 5 ที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	96
5.13	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 8 ผลิตด้วยวิธีการที่ 5 ที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	99
5.14	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Bridgestone 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 12 เป็นล้อยางมาตรฐานที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	99
5.15	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Bridgestone 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 13 เป็นล้อยางมาตรฐานที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	102
5.16	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Bridgestone 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 14 เป็นล้อยางมาตรฐานที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	103
5.17	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Bergougnan 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 15 เป็นล้อยางมาตรฐานที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	105
5.18	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Bergougnan 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 16 เป็นล้อยางมาตรฐานที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	106
5.19	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Bergougnan 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 17 เป็นล้อยางมาตรฐานที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	108
5.20	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Tokai 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 18 เป็นล้อยางมาตรฐานที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	109

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.21	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Tokai 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 19 เป็นล้อยาง มาตรฐานที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	111
5.22	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Tokai 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 20 เป็นล้อยาง มาตรฐานที่ แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	112
5.23	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Komachi 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 21 เป็นล้อยาง มาตรฐานที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	114
5.24	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Komachi 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 22 เป็นล้อยาง มาตรฐานที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	115
5.25	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยาง Komachi 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 23 เป็นล้อยาง มาตรฐานที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างๆ	117
5.26	แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของรัศมีล้อยางตัน	118
5.27	แสดงค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของรัศมีล้อยางตันตามกลุ่มวิธีการผลิต	119
5.28	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 1 เป็นล้อที่ผลิตด้วยวิธีการที่ 1	122
5.29	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 2 เป็นล้อที่ผลิตด้วยวิธีการที่	123
5.30	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 3 เป็นล้อที่ผลิตด้วยวิธีการที่ 1	124
5.31	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 7 เป็นล้อที่ผลิตด้วยวิธีการที่ 2	125
5.32	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 9 เป็นล้อที่ผลิตด้วยวิธีการที่	126
5.33	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9	127

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.34	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 11 เป็นล้อที่ผลิตด้วยวิธีการที่ 3	128
5.35	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 5 เป็นล้อที่ผลิตด้วยวิธีการที่ 4	129
5.36	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 10 เป็นล้อที่ผลิตด้วยวิธีการที่	130
5.37	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 6 เป็นล้อที่ผลิตด้วยวิธีการที่ 5	131
5.38	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 8 เป็นล้อที่ผลิตด้วยวิธีการที่ 5	132
5.39	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Bridgestone 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 12 ซึ่งเป็นล้อยางมาตรฐาน	133
5.40	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Bridgestone 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 13 ซึ่งเป็นล้อยางมาตรฐาน	134
5.41	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Bridgestone 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 14 ซึ่งเป็นล้อยางมาตรฐาน	135
5.42	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Bergounan 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 15 ซึ่งเป็นล้อยางมาตรฐาน	136
5.43	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Bergounan 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 16 ซึ่งเป็นล้อยางมาตรฐาน	137
5.44	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Bergounan 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 17 ซึ่งเป็นล้อยางมาตรฐาน	138
5.45	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Tokai 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 18 ซึ่งเป็นล้อยางมาตรฐาน	139

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
5.46	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Tokai 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 19 ซึ่งเป็นล้อยางมาตรฐาน	140
5.47	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Tokai 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 20 ซึ่งเป็นล้อยางมาตรฐาน	141
5.48	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Komachi 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 21 ซึ่งเป็นล้อยางมาตรฐาน	142
5.49	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Komachi 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 22 ซึ่งเป็นล้อยางมาตรฐาน	143
5.50	แสดงผลการทดสอบสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยาง Komachi 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 23 ซึ่งเป็นล้อยางมาตรฐาน	144
5.51	ค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลาของเครื่องทดสอบในรูปการสั่นสะเทือนของล้อยางตัน	145
5.52	ค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลาของเครื่องทดสอบในรูปของการสั่นสะเทือนของล้อยางตันตามกลุ่มวิธีการผลิต	146
5.53	รายการของล้อยางตันที่ตัดตรวจสอบหน้าตัดยางชั้นใน	147
5.54	แสดงค่าเฉลี่ยผลต่างของระยะจากจุดกึ่งกลางถึงขอบยางชั้นในระหว่างด้านซ้ายและด้านขวา(อ้างอิงกลุ่มวิธีการผลิตจากตารางที่ 5.53)	148
5.55	แสดงค่าเฉลี่ยของผลต่างและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของล้อยางตันตามกลุ่มวิธีการผลิต	149

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงผังการผลิตล้อยางตันสองชั้น	7
2.2	การม้วนยางชั้นในด้วยเครื่องม้วนยาง	7
2.3	การพันยางชั้นในด้วยเครื่องม้วนยาง	8
2.4	ตัดแต่งขอบของล้อยางให้เสมอ	8
2.5	พันทับด้วยยางชั้นนอกครั้งสุดท้าย	8
2.6	ตัดแต่งขอบของล้อยางครั้งสุดท้าย	8
2.7	นำล้อยางใส่ในแม่พิมพ์	9
2.8	ตัดส่วนที่ล้นออกจากล้อ	9
2.9	ล้อที่เสร็จสมบูรณ์	9
2.10	แสดงความไม่สมมาตรของหน้าตัดยางชั้นใน	10
2.11	แสดงการม้วนขึ้นรูปล้อยางชั้นในด้วยเครื่องม้วนแบบเก่า	11
2.12	แสดงรูปเครื่องม้วนยางแบบเก่า	11
2.13	แสดงเครื่องม้วนยางแบบใหม่	12
2.14	เปรียบเทียบแกนกลางและลักษณะแขนที่ใช้อ้าท่อม้วนยางและช่องว่างระหว่างท่อแต่ละชิ้น	13
2.15	ลักษณะร่องตัว T และการติดตั้งท่อม้วนขนาดที่ใหญ่กว่า	13
2.16	ลูกกลิ้งที่ใช้รีดยางชั้นในให้แน่น	13
2.17	นำยางชั้นในที่ผ่านการม้วนขึ้นรูปมาชั่งให้ได้น้ำหนักตามที่กำหนด	15
2.18	แสดงการพันทับยางชั้นในด้วยยางชั้นนอกครั้งแรก	15
2.19	แสดงการพันทับยางชั้นนอกครั้งสุดท้าย	15
2.20	นำล้อยางที่ผ่านการม้วนขึ้นรูปมาชั่งให้ได้น้ำหนักตามกำหนด	15
2.21	แสดงการเก็บล้อยางที่ม้วนขึ้นรูปแล้วก่อนนำไปอบ	16
2.22	นำล้อยางมาวางในแม่พิมพ์ตัวล่าง	16
2.23	แสดงการประกบกันของแม่พิมพ์ตัวบนและตัวล่าง	16
2.24	แสดงการม้วนขึ้นรูปยางชั้นในด้วยเครื่องม้วนแบบใหม่	17

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพที่		หน้า
2.25	แสดงการพันทับยางชั้นนอกครั้งสุดท้าย	17
2.26	แสดงล้อยางชั้นในที่ม้วนขึ้นรูปเรียบร้อยแล้ว	18
2.27	แสดงแม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัดยางชั้นใน	18
2.28	แสดงการนำยางในวางในแม่พิมพ์ตัวล่าง	19
2.29	แสดงการอัดยางชั้นใน	19
2.30	แสดงยางชั้นในที่ไม่ได้อัดกับยางชั้นในที่ได้อัด	19
2.31	แสดงยางชั้นในที่ม้วนให้ไม่มีความสม่ำเสมอระหว่างชั้น	20
3.1	แสดงความไม่กลมของล้อยาง (ก) กระทะล้อไม่กลม (ข) เส้นรอบวงล้อยางไม่กลม	21
3.2	แสดงการเยื้องศูนย์ของล้อยาง	22
3.3	พื้นที่หน้าตัดของยางชั้นในไม่สม่ำเสมอ	22
3.4	แสดงล้อยางขาดสมดุลแรงเหวี่ยงขณะหมุน (unbalanced wheel)	22
3.5	ความไม่สมดุลแรงเหวี่ยงของล้อยางตันในระนาบ	23
3.6	หน่วยวัดการสั่นสะเทือน	26
3.7	แบบแสดงลักษณะการทำงานของ Eddy current displacement probe	28
3.8	ลักษณะสัญญาณของระบบ Eddy current displacement probe	28
3.9	แสดงลักษณะของโครงสร้างทั่วไปของหัวตรวจวัดประเภทความเร็ว	30
3.10	ลักษณะความไวของหัวตรวจวัดประเภทความเร็ว	31
3.11	ลักษณะโครงสร้างของหัวตรวจวัดประเภท Piezoelectric	33
3.12	ความไวของหัวตรวจวัดประเภท Piezoelectric	33
3.13	ลักษณะเปรียบเทียบค่าความไวของหัวตรวจวัดกับความถี่ธรรมชาติ	34
3.14	หลักการเครื่องวัด Vibration displacement ด้วยวิธีการขวางลำแสง	36
3.15	หลักการของเทคนิคทางแสงเลเซอร์	36
3.16	การทดลองหาความไวของเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนที่ใช้เทคนิคทางแสงเลเซอร์	37
3.17	แสดงการปรับเลื่อนปลายไมโครมิเตอร์บังลำแสง	37

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.18	ความไวของค่าการกระจัดวงจร (ก) ตามแนวแกนนอน (ข) ตามแนวแกนดิ่ง	38
3.19	กราฟประเมินความรุนแรงของการสั่นสะเทือน (ระยะการเคลื่อนที่ - ความเร็ว)	39
3.20	แสดงการสั่นสะเทือนจากหลาย ๆ สาเหตุ	40
3.21	แสดงการสั่นสะเทือนบนโดเมนความถี่	40
4.1	ขีดเส้นแบ่งล้อออกเป็น 8 ส่วนพร้อมขีดเส้นประ	42
4.2	การตัดล้อยางออกเป็น 2 ส่วน	43
4.3	ใช้เลื่อยตัดย่อยออกเป็น 10 ส่วน	43
4.4	หน้าตัดของล้อยางตันที่ทำการแบ่งส่วน	44
4.5	ใช้เวอร์เนียวัดระยะ	45
4.6	ชิ้นทดสอบความแข็งแรงยึดติด	46
4.7	เครื่อง Universal Testing Machine สำหรับทดสอบการดึง	46
4.8	เครื่องวัดความกลมล้อยางตัน	47
4.9	เครื่องวัดความกลมล้อยางและการปรับระดับ	48
4.10	แบบของดอกยางและหน้ายาง (ก) แบบ Profile HT (ข) แบบ Profile S	48
4.11	การวัดความกลมของล้อยางตันโดยใช้ไดอัลเกจสัมผัสหน้ายางโดยตรง	49
4.12	ชุดลูกกลิ้งที่ใช้วัดความกลมล้อยาง	49
4.13	แสดงการสัมผัสระหว่างล้อยางและชุดลูกกลิ้ง	50
4.14	การปรับเทียบหาความคลาดเคลื่อนของระยะการเคลื่อนที่ของชุดลูกกลิ้ง	50
4.15	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเคลื่อนที่จริงกับระยะการเคลื่อนที่ของชุดลูกกลิ้ง	52
4.16	กระทะล้อแบบสองซีก	53
4.17	อัดกระทะล้อเข้ากับล้อยางตัน	53
4.18	ขันแป้นเกลียวบีบกระทะล้อให้ประกบกัน	53
4.19	กระทะล้อแบบใหม่ (ก) กระทะล้อซีกด้านนอก (ข) กระทะล้อซีกด้านใน	54
4.20	ส่วนประกอบกระทะล้อแบบใหม่	54
4.21	ตรวจสอบระนาบของกระทะล้อ	55

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.22	ตรวจสอบระนาบของล้อยางตันหลังประกอบกับชุดทดสอบ	55
4.23	นำชุดลูกกลิ้งเข้ามาติดตั้งและตรวจสอบระดับ	55
4.24	แสดงการวัดความกลมของล้อยางตัน	56
4.25	เครื่องทดสอบความสมดุลแรงเหวี่ยงรอบแกนหมุนของล้อยางตัน	60
4.26	แสดงอุปกรณ์ของชุดวัดการเคลื่อนที่ของแกนเพลาด้วยเทคนิคทางแสงเลเซอร์	61
4.27	ระบบและขั้นตอนการวัดการสั่นสะเทือน	61
4.28	แสดงการเจาะและถ่วงน้ำหนัก	62
4.29	Machinery Vibration Severity Chart ในหน่วยเมตริก	63
4.30	การทดลองหาช่วงการวัดของเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนที่ใช้เทคนิคทางแสงเลเซอร์	64
4.31	แสดงช่วงการวัดของเครื่องมือวัดการสั่นสะเทือนที่ใช้เทคนิคทางแสงเลเซอร์	65
4.32	แสดงการประกอบล้อยางกับกระทะล้อด้านใน	67
4.33	แสดงการประกอบล้อยางกับกระทะล้อด้านนอก	67
4.34	แสดงการขันบีบกระทะล้อ	67
4.35	แสดงการติดตั้งและปรับระยะการบังลำแสง	67
4.36	แสดงปริมาณของลำแสงที่ปรับให้ส่องไปยังจอรับแสงเพียงครึ่งหนึ่ง	67
4.37	ตัวอย่างการแสดงผลทดสอบล้อยางตันบนโดเมนเวลา	68
4.38	ตัวอย่างการแสดงผลทดสอบล้อยางตันบนโดเมนความถี่	69
4.39	ตัวอย่างการแสดงผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของแกนเพลาในระนาบ	70
4.40	แสดงการแบ่งส่วนล้อยางตันเพื่อนำไปตัด	72
4.41	แสดง (ก) ยางเขียวที่ผ่านการพันแล้ว (ข) ยางตันที่ประกอบด้วยยางชั้นนอกและชั้นใน	73
4.42	ล้อยางตันสองชั้นขนาด 6:00 – 9 Rim 4 ยี่ห้อต่างๆ	75
5.1	แสดงตัวอย่างหน้าตัดของล้อยางตัน	77
5.2	ผลของวิธีการผลิตต่อความสมมาตรของยางชั้นในของล้อยางตัน	78
5.3	ความแข็งแรงยึดติดของแต่ละวิธีการผลิต	80

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
5.4	ความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 1 ผลิตด้วยวิธีการที่ 1 ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	82
5.5	ความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 2 ผลิตด้วยวิธีการที่ 1 ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	84
5.6	ความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 3 ผลิตด้วยวิธีการที่ 1 ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	85
5.7	ความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 7 ผลิตด้วยวิธีการที่ 2 ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	87
5.8	ความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 9 ผลิตด้วยวิธีการที่ 2 ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	89
5.9	ความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 4 ผลิตด้วยวิธีการที่ 3 ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	91
5.10	ความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 11 ผลิตด้วยวิธีการที่ 3 ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	92
5.11	ความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 5 ผลิตด้วยวิธีการที่ 4 ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	94
5.12	ความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 10 ผลิตด้วยวิธีการที่ 4 ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	95
5.13	ความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 6 ผลิตด้วยวิธีการที่ 5 ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	97
5.14	ความกลมของล้อยาง Pio-tyres 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 8 ผลิตด้วยวิธีการที่ 5 ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	98
5.15	ความกลมของล้อยาง Bridgestone 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 12 เป็นล้อยางมาตรฐานที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	100
5.16	ความกลมของล้อยาง Bridgestone 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 13 เป็นล้อยางมาตรฐานที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	101

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
5.17	ความกลมของล้อยาง Bridgestone 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 14 เป็นล้อยางมาตรฐาน ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	102
5.18	ความกลมของล้อยาง Bergougnan 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 15 เป็นล้อยางมาตรฐาน ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	104
5.19	ความกลมของล้อยาง Bergougnan 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 16 เป็นล้อยางมาตรฐาน ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	105
5.20	ความกลมของล้อยาง Bergougnan 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 17 เป็นล้อยางมาตรฐาน ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	107
5.21	ความกลมของล้อยาง Tokai 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 18 เป็นล้อยางมาตรฐาน ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	108
5.22	ความกลมของล้อยาง Tokai 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 19 เป็นล้อยางมาตรฐาน ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	110
5.23	ความกลมของล้อยาง Tokai 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 20 เป็นล้อยางมาตรฐาน ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	111
5.24	ความกลมของล้อยาง Komachi 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 21 เป็นล้อยางมาตรฐาน ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	113
5.25	ความกลมของล้อยาง Komachi 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 22 เป็นล้อยางมาตรฐาน ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	114
5.26	ความกลมของล้อยาง Komachi 6:00-9 Rim 4 ล้อที่ 23 เป็นล้อยางมาตรฐาน ที่แรงบีบขันกระทะล้อต่างๆ	116
5.27	ค่าเบี่ยงเบนความกลมของล้อยางตันที่แรงขันบีบกระทะล้อต่างกันแบ่งตามกลุ่มผลิต	119
5.28	แสดงค่าสั่นสะเทือนของแกนเพลาของเครื่องทดสอบขณะไม่มีภาระและมีภาระบนโดเมนความถี่	120
5.29	แสดงผลค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลาของเครื่องทดสอบในรูปแบบของการสั่นสะเทือน (Vibration Displacement) ของล้อยางตันสองชั้นตามหมายเลขล้ออ้างอิงจากตารางที่ 4.5	146

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
5.30	แสดงผลค่าการเคลื่อนที่ของแกนเพลาในรูปแบบของการสั่นสะเทือนของล้อยางตันตามกลุ่มวิธีการผลิต	147
5.31	แสดงผลการตรวจสอบความสมมาตรของหน้าตัดยางชั้นในของแต่ละวิธีการ	149