การออกแบบและพัฒนาหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตจากยางธรรมชาติ

Product Design and Development for Traffic Delineator from Natural Rubber

สุภาพร ราชการกลาง

Supaporn Ratchakanklang

TS1920 ส74 2551 ฉ. 2
309623
6 ก.ค. 2551

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Master of Engineering in Chemical Engineering

Prince of Songkla University

2551

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การออกแบบและพัฒนาหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตจากยางธรรมชาติ

ผู้เขียน นางสาวสุภาพร ราชการกลาง

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชญานุช แสงวิเชียร)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรสา ภัทรไพบูลย์ชัย)

....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล)

คณะกรรมการสอบ

....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิริยะ ทองเรือง)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชญานุช แสงวิเชียร)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรสา ภัทรไพบูลย์ชัย)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุกฤทธิรา รัตนวิไล)

....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิตยา รัตนโสม)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี

....

(รองศาสตราจารย์ ดร.เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การออกแบบและพัฒนาหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตจากยางธรรมชาติ
ผู้เขียน	นางสาวสุภาพร ราชการกลาง
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
ปีการศึกษา	2550

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการออกแบบและทดสอบคุณสมบัติหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตจากยางธรรมชาติ หลักกั้นเส้นทางจราจรประกอบด้วยแท่งทรงกระบอกกลวงติดกับส่วนฐานวงกลม ส่วนฐานมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 200 มิลลิเมตร มีความสูง 56 มิลลิเมตร มีจุดยึด 3 จุด สำหรับใส่พุกเหล็กเพื่อยึดส่วนฐานให้ติดกับถนน ส่วนของทรงกระบอกกลวงมีความสูง 694 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 80 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 70 มิลลิเมตร ขึ้นรูปหลักกั้นเส้นทางจราจร โดยวิธีการอัดเบ้าด้วยยางเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ตามสูตรที่เหมาะสม โดยมีส่วนประกอบหลักคือ ยางธรรมชาติผสมพอลิโพรพิลีน ยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน ยางรีเคลม และ เขม่าดำ ขึ้นรูปหลักกั้นเส้นทางจราจรด้วยวิธีการอัดเบ้า ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ใช้เวลาการอบยาง 30 นาที ศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของหลักกั้นเส้นทางจราจร เช่น ความทนต่ออุณหภูมิ ที่ 5, 15, 25, 35, 45 และ 60 องศาเซลเซียส ความทนต่อการชนกระแทกที่ 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง และความทนต่อสภาพภูมิอากาศ จากผลการทดสอบพบว่า หลักกั้นเส้นทางจราจรสามารถโค้งงอได้ดีที่ทุกช่วงการทดสอบ 5-60 องศาเซลเซียส สามารถคืนตัวกลับได้อย่างรวดเร็วหลังการชนทุกช่วงความเร็วที่ทดสอบ 30-80 กิโลเมตร/ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่า ผลิตภัณฑ์หลักกั้นเส้นทางจราจรมีความทนต่อสภาพภูมิอากาศได้ดีในระยะเวลามากกว่า 252 วันโดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงและไม่พบรอยแตกร้าว อีกทั้งต้นทุนการผลิตของหลักกั้นเส้นทางจราจรในงานวิจัยนี้ยังมีราคาต่ำกว่าราคาขายของผลิตภัณฑ์ชนิดใกล้เคียงกันตามท้องตลาดอยู่ถึงเท่าตัว

Thesis Title	Product Design and Development for Traffic Delineator from Natural Rubber
Author	Miss Supaporn Ratchakanklang
Major Program	Chemical Engineering
Academic Year	2007

ABSTRACT

A design and testing of traffic delineator made from natural rubber was presented in this research. The traffic delineator was comprised of a hollow cylindrical tube connected to a circular base. The base has a diameter of 200 mm and a height of 56 mm. There are 3 holes at the base to present the stud bolt to be inserted into the base for mounting on roadways. The hollow cylindrical tube has a length of 694 mm, an outside diameter of 80 mm and an inside diameter of 70 mm. The traffic delineator was formed by compression molding using the suitable formula of thermoplastic elastomers (TPEs). Natural rubber/ polypropylene blends (NR/PP), polystyrene-modified natural rubber (SNR), reclaimed rubber (RR) and carbon black (CB) were main materials for thermoplastic elastomers preparation. The traffic delineator product could be assembled by a compression molding technique at 150°C with a cure time of 30 minutes. Mechanical properties such as temperature resistance (at 5, 15, 25, 35, 45 and 60°C), impact resistance (at 30, 40, 50, 60, 70 and 80 km/hr) and weather resistance of traffic delineator were studied and compared. It was found that the traffic delineator has a good flexibility at both low and high temperatures (5-60°C) and rebound to its original position when it was impacted at various speeds (30-80 km/hr). Furthermore, crack and deformation were not found when the traffic delineator was exposed to the atmosphere for more than 252 days. Manufacturing costs of the traffic delineator in this research was less than half of the sale price for similar products in the market.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ชญานุช แสงวิเชียร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ผศ.ดร.อรสา ภัทรไพบูลย์ชัย และ ผศ.ดร.สุภวรรณ ฎิระวณิชย์กุล กรรมการที่ปรึกษา ที่ให้การสนับสนุน คำแนะนำ คำปรึกษา การแก้ปัญหางานวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ดำเนินไปอย่างถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรในภาควิชาวิศวกรรมเคมีทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆจนทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. วราภรณ์ ตันรัตนกุล ประธานสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คุณ เศียร บัวแก้ว ช่างเทคนิคประจำสาขาวิชาฯ ตลอดจนบุคลากรในภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีพอลิเมอร์ ที่ให้ความรู้และคำแนะนำเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บริษัท โพลิเมอร์ อินโนเวชั่น จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสารเคมีและเครื่องมือต่างๆเพื่อเตรียมยางเทอร์โมพลาสติกสำหรับขึ้นรูปหลักกั้นเส้นทางจราจร

ขอขอบพระคุณ บริษัท เอเชี่ยน อิลาสโตพาร์ท จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆในขั้นตอนการอัดขึ้นรูปยางเทอร์โมพลาสติกสำหรับขึ้นรูปหลักกั้นเส้นทางจราจร

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยแห่งชาติ (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ข้าพเจ้าขอน้อมรำลึกถึงพระคุณของบิดาและมารดา สมาชิกในครอบครัว ที่ส่งเสริมและให้กำลังใจแก่ข้าพเจ้าในทุกๆด้านจนสำเร็จการศึกษา และสุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนๆทุกคนที่ให้คำแนะนำและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา

สุภาพร ราชการกลาง

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(10)
รายการภาพประกอบ	(12)
บทที่1 บทนำ	
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขอบเขตและวิธีการดำเนินการวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 โพลิเมอร์	4
2.1.1 ยาง	4
2.1.2 พลาสติก	4
2.2 ยางธรรมชาติ	6
2.3 ยางรีเคลม	9
2.4 สารเคมีสำหรับยาง	9
2.4.1 สารที่ทำให้ยางคงรูป	11
2.4.2 สารเร่ง	11
2.4.3 สารกระตุ้น	12
2.4.4 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ	13
2.4.5 สารตัวเติม	13
2.4.6 สารช่วยกระบวนการผลิต	13
2.4.7 สารอื่นๆ	14
2.5 การออกสูตรผลิตภัณฑ์ยาง	14
2.6 การผสมยางกับสารเคมี	17
2.6.1 เครื่องมือที่ใช้ในการบดผสม	17
2.6.1.1 เครื่องผสมระบบปิด	17

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.6.1.2 เครื่องบดผสมระบบเปิด 17

2.6.2 ขั้นตอนการบดผสม 19

2.7 กระบวนการขึ้นรูปยาง 19

2.7.1 การขึ้นรูปโดยวิธีการอัดเบ้า 20

2.7.2. การขึ้นรูปโดยวิธีการอัดรีด 21

2.7.3. การขึ้นรูปโดยวิธีการรีดเรียบ 21

2.8 พอลิโพรพิลีน 22

2.9 เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ 23

2.10 อุบัติเหตุจากการจราจร 24

2.11 หลักกั้นเส้นทางจราจร 24

2.12 สิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับหลักกั้นเส้นทางจราจร 26

2.12.1 สิทธิบัตร เลขที่ 6,014,941 26

2.12.2 สิทธิบัตร เลขที่ WO 2002/22962 A1 26

2.12.3 สิทธิบัตร เลขที่ WO 2005/017262 A2 27

2.13 การทดสอบคุณสมบัติของหลักกั้นเส้นทางจราจร 28

2.13.1 การทดสอบหลักกั้นเส้นทางจราจรตามวิธี National cooperative highway research program report 350N; CHRP-350 28

2.13.2 การทดสอบหลักกั้นเส้นทางจราจรตามสิทธิบัตรของสหรัฐอเมริกา เลขที่ 5,066,163 32

2.13.2.1 การทดสอบความทนต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำ 32

2.13.2.2 การทดสอบความแข็ง 32

2.13.2.3 การทดสอบความทนต่ออุณหภูมิ 32

2.13.3 การทดสอบหลักกั้นเส้นทางจราจรตามหน่วยงาน Ontario provincial standard specification; OPSS 2012 33

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 34

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	
3.1 สารเคมี	38
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	40
3.3 วิธีการทดลอง	40
3.3.1 การเตรียมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน	40
3.3.1.1 การติดตั้งอุปกรณ์	40
3.3.1.2 การเตรียมสารเคมี	41
3.3.1.3 วิธีการเตรียมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน	41
3.3.2 การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจร 4 รูปแบบ	42
3.3.2.1 การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจรแบบที่ 1	42
3.3.2.1 การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจรแบบที่ 2	43
3.3.2.3 การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจรแบบที่ 3	43
3.3.2.4 การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจรแบบที่ 4	44
3.3.3 การจัดสร้างแม่พิมพ์หลักกั้นเส้นทางจราจรแบบที่ 4	47
3.3.4 การเตรียมยางเทอร์โมพลาสติกสำหรับขึ้นรูปหลักกั้นเส้นทางจราจร	48
3.3.5 การขึ้นรูปหลักกั้นเส้นทางจราจร	49
3.3.6 การทดสอบคุณสมบัติของหลักกั้นเส้นทางจราจร	49
3.3.6.1 การทดสอบคุณสมบัติความทนต่ออุณหภูมิ	49
3.3.6.2 การทดสอบคุณสมบัติความทนต่อการชนกระแทก	51
3.3.6.3 การทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม	53
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 ผลการเตรียมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน	55
4.2 ผลิตภัณฑ์หลักกั้นเส้นทางจราจร	55
4.3 ผลการวิเคราะห์ผลการทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์หลักกั้นเส้นทางจราจร	56
4.3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่ออุณหภูมิ	56
4.3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อการชนกระแทก	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.3.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม	59
4.4 การวิเคราะห์วัตถุดิบในระดับห้องปฏิบัติการ	62
4.5 ประมาณต้นทุนการผลิตและระยะเวลาคืนทุน	63
4.5.1 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต	63
4.5.2 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน	63
บทที่ 5 บทสรุป	
5.1 การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจร	66
5.2 กระบวนการขึ้นรูปหลักกั้นเส้นทางจราจรในระดับอุตสาหกรรม	66
5.3 การทดสอบคุณสมบัติของหลักกั้นเส้นทางจราจร	66
5.3.1 การทดสอบความทนต่ออุณหภูมิ	66
5.3.2 การทดสอบความทนต่อการชนกระแทก	67
5.3.3 การทดสอบความทนต่อสภาพแวดล้อม	67
5.4 ประมาณต้นทุนการผลิตและระยะเวลาคืนทุน	67
5.5 ข้อเสนอแนะ	68
เอกสารอ้างอิง	69
ภาคผนวก	
ก วิธีการใช้งานเครื่องมือ	73
ข การคำนวณปริมาณสารเคมีสำหรับเตรียมยางเทอร์โมพลาสติก	76
ค คุณสมบัติเชิงกลของยางเทอร์โมพลาสติกตามสูตรสำหรับผลิตหลักกันเส้นทางจราจร	78
ง ข้อมูลผลการทดสอบคุณสมบัติของหลักกั้นเส้นทางจราจร	79
จ หลักกั้นเส้นทางจราจรเขียนภาพด้วยโปรแกรมภาพสามมิติ (Solid work program)	98
ประวัติผู้เขียน	101

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1. สมบัติเด่นและสมบัติด้อยของยางชนิดต่างๆ	5
2. แสดงส่วนประกอบต่างๆในน้ำยางสด	7
3. การใช้งานของสารตัวเร่งชนิดต่างๆ	12
4. ส่วนประกอบและปริมาณของยางและสารเคมีต่างๆในสูตรผลิตภัณฑ์ยางพื้นฐาน	15
5. แสดงหน้าที่และปริมาณการใช้สารเคมีต่างๆ	16
6. อัตราส่วนของสารเคมีสำหรับใช้ในการเตรียมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน	41
7. เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของหลักกั้นเส้นทางจราจร4 แบบ	46
8. แสดงสูตรการเตรียมยางเทอร์โมพลาสติก	49
9. แสดงผลการคำนวณความแรงของการชนกระแทก	57
10. แสดงผลการทดสอบความทนต่อการชนกระแทก	58
11. แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม	61
12. การวิเคราะห์ต้นทุนด้านวัตถุดิบในระดับห้องปฏิบัติการของหลักกั้นเส้นทางจราจร	62
13. การเปรียบเทียบราคาผลิตภัณฑ์หลักกั้นเส้นทางจราจรจากแหล่งต่างๆ	64
14. แสดงปริมาณสารสำหรับเตรียมยางเทอร์โมพลาสติก	76
15. แสดงค่า Volume of Compound	76
16. แสดงค่า Total Density, Total Mass of Brabender และ Multiplying Factor	77
17. แสดงน้ำหนักของสารสำหรับการผสมยางเทอร์โมพลาสติก	77
18. แสดงคุณสมบัติของยางเทอร์โมพลาสติก	78
19. ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่ออุณหภูมิที่ 5 องศาเซลเซียส ของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ตำแหน่งต่างๆ	80
20. ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่ออุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส ของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ตำแหน่งต่างๆ	81
21. ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่ออุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ตำแหน่งต่างๆ	82
22. ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่ออุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส ของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ตำแหน่งต่างๆ	83

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
23. ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่ออุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส ของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ตำแหน่งต่างๆ	84
24. ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่ออุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส ของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ตำแหน่งต่างๆ	85
25. แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อการชนกระแทก	86
26. แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม	87

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
1. สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ	6
2. เครื่องบดผสมระบบปิด	18
3. เครื่องบดผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง	18
4. ลำดับการผสมยางโดยทั่วไป	19
5. การขึ้นรูปโดยวิธีการอัดเบ้า	21
6. การขึ้นรูปโดยวิธีการอัดรีด	22
7. การขึ้นรูปโดยวิธีการรีดเรียบ	22
8. หลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตในทางการค้า	25
9 . หลักกั้นเส้นทางจราจรตามสิทธิบัตร เลขที่ 6,014,941	26
10. หลักกั้นเส้นทางจราจรตามสิทธิบัตร หมายเลข WO 2002/22962 A1	27
11. หลักกั้นเส้นทางจราจรตามสิทธิบัตร หมายเลข WO 2005/017262 A2	28
12. การทดสอบการชนหลักกันกระแทกตามวิธีทดสอบ NCHRP-350	29
13. การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเตรียมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน	40
14. การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจร แบบที่ 1	42
15. การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจร แบบที่ 2	43
16. การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจร แบบที่ 3	43
17. การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจร แบบที่ 4	44
18. แบบหลักกั้นเส้นทางจราจรที่เขียนแบบด้วยโปรแกรม ภาพสามมิติ (Solid work program)	47
19. แม่พิมพ์หลักกั้นเส้นทางจราจร	48
20. การเจาะรูและใส่พุกเหล็กลงไปในซีเมนต์	51
21. การทดสอบความทนต่ออุณหภูมิของหลักกั้นเส้นทางจราจร	51
22. ทิศทางการวิ่งของรถยนต์ที่พุ่งเข้าชนหลักกั้นเส้นทางจราจร	53
23. การชนกระแทกระหว่างรถยนต์กับหลักกั้นเส้นทางจราจร	53
24. การแบ่งพื้นที่เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจรเมื่อทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม	54
25. ยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีนก่อนอบแห้ง	55

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
26. หลักกั้นเส้นทางจราจร	56
27. ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่ออุณหภูมิ	57
28. หลักกั้นเส้นทางจราจรหลังถูกชนกระแทกที่ความเร็วต่างๆ	59
29. หลักกั้นเส้นทางจราจรตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน	60
30. หลักกั้นเส้นทางจราจรตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 140 วัน	60
31. หลักกั้นเส้นทางจราจรตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 252 วัน	61

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

สมาคมยางพาราไทยได้สรุปปริมาณการผลิตยางพาราประจำปี พ.ศ. 2549 ที่ผ่านมา พบว่าประเทศไทยสามารถผลิตยางพาราได้มากเป็นลำดับ 1 ของโลก คือสามารถผลิตได้ประมาณ 3.14 ล้านตัน รองลงมาคือประเทศอินโดนิเซียผลิตได้ 2.64 ล้านตัน และ ประเทศมาเลเซียผลิตได้ 1.28 ล้านตัน โดยประเทศไทยจะส่งออกยางพาราในรูปวัตถุดิบ เช่น ยางแผ่น ยางแท่ง และน้ำยางข้น ประมาณ 2.77 ล้านตัน จัดเก็บประมาณ 0.25 ล้านตัน และผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางใช้ภายในประเทศประมาณ 0.32 ล้านตัน (สมาคมยางพาราไทย, 2551) แต่ในทางกลับกันในแต่ละปีประเทศไทยต้องนำเข้าผลิตภัณฑ์ยางพาราจากต่างประเทศมีมูลค่ากว่า 6,000 ล้านบาท (สมนึกและคณะ, 2541) ดังนั้นหากประเทศไทยสามารถนำยางธรรมชาติมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางได้เองภายในประเทศและส่งออกผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูปนี้แทนยางธรรมชาติในรูปวัตถุดิบ จะทำให้ประเทศไทยมีรายได้เพิ่มมากขึ้น

การเพิ่มการใช้ยางธรรมชาติเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางในประเทศอาจทำได้สองแนวทาง คือการขยายการผลิตและการส่งออกสินค้าผลิตภัณฑ์ยางที่มีการผลิตอยู่แล้วในประเทศไทย เช่น ยางรถยนต์ ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย เป็นต้น และอีกแนวทางหนึ่งคือการขยายขอบเขตการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางใหม่ ๆ ที่ไม่เคยผลิตในประเทศ

ในโรงงานอุตสาหกรรมยาง เช่น อุตสาหกรรมผลิตยางรถยนต์ อุตสาหกรรมรองเท้ายาง อุตสาหกรรมชิ้นส่วนยางสำหรับเป็นอุปกรณ์ในเครื่องใช้ไฟฟ้า รถยนต์ และอื่นๆ จะมีการใช้ยางเป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งในกระบวนการผลิตจะมีเศษวัสดุยางที่เหลือใช้หรือยางคัดทิ้งเกิดขึ้น โดยปริมาณยางคัดทิ้งเหล่านี้จะมีปริมาณสูงขึ้นตามปริมาณการใช้วัตถุดิบ การกำจัดเศษยางคัดทิ้งถือเป็นเรื่องสำคัญอีกประการหนึ่ง หากมีการกำจัดไม่ถูกวิธีอาจก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมตามมาในภายหลัง การนำยางคัดทิ้งกลับนำมาใช้ใหม่จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถช่วยลดปริมาณขยะยาง ลดการเกิดปัญหามลภาวะ และลดต้นทุนการผลิตได้เป็นอย่างดี โดยวิธีการนำยางคัดทิ้งกลับมาใช้ใหม่สามารถดำเนินการได้โดยนำยางคัดทิ้งที่ผ่านกระบวนการการเชื่อมขวางของ

โมเลกุลแล้ว (cross linked rubber) มาผ่านกระบวนการแตกออกของโมเลกุลให้มีขนาดเล็กลง เพื่อให้สามารถใช้งานได้ เรียกยางคัดทิ้งที่ผ่านกระบวนการนี้ว่า ยางรีเคลม (reclaimed rubber) ซึ่งยังคงมีคุณสมบัติเชิงกลดี

ปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณยานพาหนะเพิ่มมากขึ้นทุกๆปี ส่งผลต่อความเสี่ยงในการเกิดอุบัติเหตุสูงขึ้นตามไปด้วย จากการรายงานของหน่วยงานเฝ้าระวังการบาดเจ็บรุนแรงระดับชาติ พ.ศ. 2545 พบว่า สาเหตุของการบาดเจ็บและการตายเกิดจากอุบัติเหตุขนส่งมากเป็นอันดับ 1 คิดเป็นร้อยละ 54.2 ของผู้บาดเจ็บ และคิดเป็นร้อยละ 67.4 ของผู้เสียชีวิต ซึ่งเป็นตัวเลขการสูญเสียที่สูงมาก และตามรายงานของสำนักอำนวยความปลอดภัยกรมทางหลวง ได้เก็บสถิติอุบัติเหตุบนถนนหลวงทั่วประเทศ ตลอดปี พ.ศ. 2549 มีรถเกิดอุบัติเหตุบนเส้นทางหลวงรวมทั้งสิ้น 12,918 ครั้ง ในจำนวนนี้มีถึงร้อยละ 43 เกิดความเสียหายทั้งทรัพย์สิน ชีวิต และร่างกาย เกิดจากอุบัติเหตุชนกับวัตถุอันตรายข้างทาง 3,695 ครั้ง เสียหลักพลิกคว่ำ 985 ครั้ง รถจักรยานยนต์ล้มคว่ำ 680 ครั้ง ชนวัตถุข้างถนน 65 ครั้ง มีผู้เสียชีวิตมากถึง 1,205 ศพ บาดเจ็บสาหัส 3,454 คน บาดเจ็บเล็กน้อย 7,586 คน สำหรับวัตถุอันตรายที่สุดริมถนนคือเสาไฟฟ้า เสาโทรศัพท์ ต้นไม้ รองลงมาก็คือคูน้ำ การ์ดเลน การ์ดเคเบิล และความชันของขอบถนน (วรพงษ์, 2551) จากรายงานที่กล่าวมานี้จะเห็นได้ว่าวัตถุอันตรายริมถนนเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่อทรัพย์สินและชีวิตของผู้ใช้เส้นทางจราจร หลักนำทางริมถนนที่ผลิตจากคอนกรีต แผงกั้นคอนกรีตที่ติดตั้งตรงกลางถนนหรือขอบถนน จัดเป็นวัตถุอันตรายริมถนนเช่นกัน เนื่องจากผลิตจากวัสดุปูนซีเมนต์ซึ่งมีความแข็งแรงมาก เมื่อเกิดการชนกระแทกจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อรถยนต์ หากสามารถนำหลักกั้นเส้นทางจราจรที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่นหรือหักงอได้ใช้แทนหลักนำทางหรือแผงกั้นคอนกรีต จะสามารถลดความรุนแรงและความเสียหายที่เกิดจากการชนกระแทกได้เป็นอย่างดี และนอกจากนี้สามารถนำไปใช้เป็นหลักแบ่งช่องทางจราจรตรงบริเวณทางแยกต่างๆในถนนที่มีพื้นที่จำกัด หรือบริเวณที่มีการจราจรหนาแน่นสามารถลดปัญหาการเฉี่ยวชนหลักกั้นเส้นทางจราจรที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อรถยนต์ได้

จากเหตุผลข้างต้นจึงได้มีแนวความคิดนำยางธรรมชาติ และยางรีเคลม ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตหลักกั้นเส้นทางจราจรที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่น ทนต่อแรงกระแทก และทนต่อสภาพภูมิอากาศ เพื่อส่งเสริมและพัฒนาความรู้ทางวิชาการเกี่ยวกับการออกแบบและผลิตหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ได้จากยางธรรมชาติ ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ยางใหม่ ๆ ลดความเสียหายจากอุบัติเหตุบนท้องถนน เพิ่มมูลค่าให้กับสินค้า และส่งเสริมการเกษตรภายในประเทศ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

เพื่อออกแบบและขึ้นรูปหลักกั้นเส้นทางจราจรจากยางธรรมชาติและทดสอบสมบัติของผลิตภัณฑ์

1.3 ขอบเขตและวิธีการดำเนินการวิจัย

1.3.1 รวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตจากยางธรรมชาติ

1.3.2 ออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจรและจัดสร้างแม่พิมพ์ตามแบบ

1.3.3 เตรียมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน ซึ่งทำหน้าที่เป็นสารช่วยให้เนื้อสารหลักคือยางธรรมชาติและพอลิโพรพิลีนผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้ดี ในขั้นตอนการเตรียมยางเทอร์โมพลาสติก

1.3.4 เตรียมยางเทอร์โมพลาสติกตามสูตรที่กำหนดในเครื่องผสมแบบปิดและเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง

1.3.5 ขึ้นรูปหลักกั้นเส้นทางจราจรด้วยยางเทอร์โมพลาสติกในเครื่องขึ้นรูปแบบอัดเบ้า (compression molding)

1.3.6 ทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์หลักกั้นเส้นทางจราจร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 นำยางคัดทิ้งกลับมาใช้ใหม่เพื่อลดปัญหาขยะยางและลดต้นทุนการผลิต

1.4.2 เพิ่มมูลค่าสินค้าให้กับยางพาราและเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกร

1.4.3 สามารถนำผลิตภัณฑ์หลักกั้นเส้นทางจราจรไปใช้ลดปัญหาความรุนแรงจากอุบัติเหตุบนถนนได้

1.4.4 มีความก้าวหน้าทางวิชาการและพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตจากยางธรรมชาติสู่ขั้นอุตสาหกรรมได้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 โพลิเมอร์ (Polymer)

โพลิเมอร์ คือ สสารที่มีโครงสร้างโมเลกุลเป็นสายโซ่ยาว หรือประกอบด้วยอะตอมนับหลายพันอะตอมมาเชื่อมต่อกัน แต่ละชนิดของโพลิเมอร์อาจมีสมบัติแตกต่างกันเนื่องจาก ขนาดโซ่ของโมเลกุลหรือโครงสร้างเคมีของหน่วยซ้ำที่ต่างกัน พอลิเมอร์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ ยาง (rubber) และ พลาสติก (plastic) (Nano Technology, 2551)

2.1.1 ยาง (Rubber)

ยาง (rubber) หรือ อิลาสโตเมอร์ (elastomer) เป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก เมื่อผ่านการทำปฏิกิริยาเชื่อมขวาง (crosslinking) โซ่พอลิเมอร์มีการยึดติดกันและเกิดความยืดหยุ่น (elasticity) เช่น ยางธรรมชาติ ซึ่งมีค่า Tg ประมาณ -70 องศาเซลเซียส ยางสังเคราะห์ชนิดต่าง ๆ ซึ่งมี Tg ตามโครงสร้างของโมเลกุล สมบัติเด่นและสมบัติด้อยของยางชนิดต่างๆ แสดงในตารางที่ 1

2.1.2 พลาสติก (Plastic)

พลาสติก หมายถึง สารประกอบอินทรีย์ที่สังเคราะห์ขึ้น ใช้แทนวัสดุธรรมชาติบางชนิด เมื่อเย็นจะแข็งตัว เมื่อถูกความร้อนก็อ่อนตัว บางชนิดก็แข็งตัวแบบถาวร มีหลายชนิด เช่น ไนล่อน และ ยางเทียม เป็นต้น

พลาสติก สมามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ประเภทที่ 1 คือ เทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) มีคุณสมบัติ คือ เมื่อถูกความร้อนแล้วจะหลอมตัวกลายเป็นของเหลว และขึ้นรูปใหม่ได้ เนื่องจากไม่มีโครงสร้างเป็นเครือข่าย (network) พลาสติกประเภทนี้สามารถนำมาผ่านกระบวนการรีไซเคิล (recycle) ได้โดยที่สมบัติเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ซึ่งจะสามารถทราบชนิดของพลาสติกได้จากเลขรหัสที่อยู่บนผลิตภัณฑ์นั้น พลาสติกชนิดนี้มีโครงสร้างเป็นสายยาวทำให้ทนต่อแรงดึงได้สูง เช่น พอลิธีน (polythene), พอลิไวนิลคลอไรด์ (polyvinyl chloride) หรือ พีวีซี (PVC), พอลิสไตรีน (polystylene), พอลิโพรพิลีน (polypropylene) และ ไนล่อน (nylon) ประเภทที่ 2 คือ เทอร์โมเซตติง (thermosetting) เป็นพลาสติกที่ถูกความร้อนแล้วไม่อ่อนตัวไม่อาจหลอม

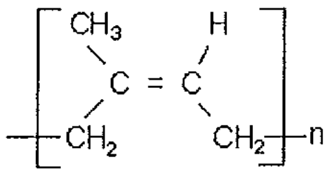
เหลวได้ใหม่เพราะเกิดการ เชื่อมขวาง หรือ crosslink ด้วยปฏิกิริยาเคมี และเกิดโครงสร้างแบบเครือข่ายที่แข็งแรง ทำให้ไม่อาจหลอมเหลวได้ เช่น ฟีโนลฟอร์มาดีไฮน์ เรซิน, ยูเรียฟอร์มาดีไฮด์ เรซิน และ เมลามีนฟอร์มาดีไฮด์ เรซิน

ตารางที่ 1 สมบัติเด่นและสมบัติด้อยของยางชนิดต่างๆ (กฤษฎา, 2548)

ยาง	สมบัติเด่น	สมบัติด้อย
butadiene rubber (BR)	ทนต่อการขัดสีสูงมาก	ทนต่อแรงดึงค่อนข้างต่ำ
chloroprene (CR)	ทนต่อเปลวไฟ กรด-ด่าง สภาพอากาศ โอโซน เหนียวติดกัน และทนน้ำมัน	ไม่ทนต่อตัวทำละลายที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ ตัวทำละลายที่มีความเป็นอะโรมาติก และฟอสเฟตเอสเทอร์
cis-1,4-polyisoprene (IR)	คุณภาพยางสม่ำเสมอ มีสิ่งเจือปนน้อย	ทนต่อแรงดึงต่ำกว่า NR เล็กน้อย ราคาสูงกว่า NR
ethylene propylene diene rubber (EPDM)	ทนต่อความร้อน ออกซิเจน และโอโซน	ไม่ทนต่อน้ำมัน การซึมผ่านของแก๊สสูง
isobutylene-isoprene rubber (IIR)	ทนต่อการซึมผ่านของแก๊ส ความร้อน ออกซิเจน และ โอโซน	เสียรูปหลังการกดอัดสูง ความยืดหยุ่นต่ำ และ การกระเด้งตัวต่ำ
natural rubber (NR)	ทนต่อแรงดึง มีความยืดหยุ่น ความร้อนสะสมต่ำ เหนียวติดกัน	ไม่ทนต่อความร้อน ออกซิเจน โอโซน และ น้ำมัน
nitrile rubber (NBR)	ทนน้ำมัน หักงอที่อุณหภูมิต่ำได้ดี	ไม่ทนต่อโอโซน ไม่ทนต่อตัวทำละลายที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ และตัวทำละลายที่มีความเป็นอะโรมาติกสูง
styrene butadiene rubber (SBR)	ทนต่อแรงกระแทก ทนต่อการสึกหรอ หักงอที่อุณหภูมิต่ำได้ดี	ไม่ทนต่อความร้อน ออกซิเจน โอโซน และ น้ำมัน

2.2 ยางธรรมชาติ (Natural rubber)

ยางธรรมชาติส่วนมากเป็นยางที่ได้มาจากต้นยาง hevea brazilliensis ซึ่งมีต้นกำเนิดจากลุ่มแม่น้ำอเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีคือ cis-1,4-polyisoprene กล่าวคือมี isoprene (C_5H_8) มาต่อกันเป็นโมเลกุลยาว หรือ $(C_5H_8)_n$ โดยที่ n' มีค่าตั้งแต่ 15-20,000 เนื่องจากส่วนประกอบของยางเป็นไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีขั้ว (แสดงดังภาพประกอบที่ 1) ดังนั้นยางจึงละลายได้ดีในตัวทำละลายไม่มีขั้ว เช่น เบนซิน เฮกเซน เป็นต้น โดยทั่วไปยางธรรมชาติมีโครงสร้างการจัดเรียงตัวของโมเลกุลแบบอสัณฐาน (amorphous) แต่ในบางสภาวะโมเลกุลของยางสามารถจัดเรียงตัวค่อนข้างเป็นระเบียบที่อุณหภูมิต่ำหรือเมื่อถูกยืด มันจึงสามารถเกิดผลึกได้ (crystallize) การเกิดผลึกเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (low temperature crystallization) จะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงยางก็จะอ่อนลงและกลับสู่สภาพเดิม ในขณะที่การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัว (strain induced crystallization) ทำให้ยางมีสมบัติเชิงกลดี นั่นคือยางมีความทนต่อแรงดึง (tensile strength) ความทนทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) และความทนต่อการขัดสี (abrasion resistance) สูง (Rubber Technology Unit, 2005)



ภาพประกอบที่ 1 สูตรโครงสร้างยางธรรมชาติ (Rubber Technology Unit, 2005)

น้ำยางสดที่ได้จากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวมีสภาพเป็นคอลลอยด์ ซึ่งอนุภาคของเม็ดยางจะแขวนลอยอยู่ในน้ำ สมบัติโดยทั่วไปของน้ำยางสดจะมีความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัม/มิลลิลิตร มีพีเอช ประมาณ 6.5-7.0 มีความหนืดประมาณ 12-15 เซนติพอยด์ มีส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 2

ถ้านำน้ำยางที่ได้นี้ไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยง (centrifuge) จนกระทั่งได้น้ำยางที่มีปริมาณยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็น 60 เปอร์เซ็นต์ เรียกว่า น้ำยางข้น (concentrated latex) การเติมสารแอมโมเนียลงไปจะช่วยรักษาสภาพของน้ำยางข้นให้เก็บไว้ได้นาน น้ำยางข้นส่วนหนึ่งจะถูกส่งออกสู่ตลาดต่างประเทศ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมถุงมือยางและถุงยางอนามัย เป็นต้น แต่เมื่อนำน้ำยางสดที่กรีดได้มาเติมกรดเพื่อให้อนุภาคน้ำยางจับตัวกันเป็นของแข็งแยกตัวจากน้ำ จากนั้นก็รีดยางให้เป็นแผ่นด้วยเครื่องรีด (two-roll mill) และนำไปตากแดด

เพื่อไล่ความชื้นก่อนจะนำไปอบรมควันที่อุณหภูมิประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน จะได้ยางแผ่นรมควัน

นอกจากยางแผ่นรมควันแล้ว อุตสาหกรรมส่วนใหญ่เริ่มเปลี่ยนมาใช้ยางแท่งหรือยางก้อนเป็นวัตถุดิบ ทั้งนี้เนื่องจากยางแท่งเป็นยางมีคุณภาพที่สม่ำเสมอกว่ายางแผ่นรมควัน ผ่านการทดสอบและจัดชั้นเพื่อรับรองคุณภาพตามหลักวิชาการ วัตถุดิบของการผลิตยางแท่ง ได้แก่ น้ำยางหรือยางแผ่นขึ้นอยู่กับเกรดของยางแท่งที่ต้องการผลิต เช่น ถ้าต้องการผลิตยางแท่งเกรด STR 5L ซึ่งมีสีจางมาก จำเป็นต้องใช้น้ำยางเป็นวัตถุดิบ หรือถ้าต้องการผลิตยางแท่งเกรด STR 20 ซึ่งเป็นเกรดที่มีสิ่งเจือปนสูงและมีสีเข้ม ก็อาจใช้ยางแผ่นหรือขี้ยางเป็นวัตถุดิบ เป็นต้น ส่วนกระบวนการผลิตยางแท่งค่อนข้างจะยุ่งยากต้องอาศัยเครื่องจักรที่มีราคาแพงและต้องมีการควบคุมคุณภาพอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นราคายางแท่งจึงสูงกว่าราคายางแผ่นรมควัน

ตารางที่ 2 แสดงส่วนประกอบต่างๆในน้ำยางสด

ส่วนประกอบในน้ำยางสด	ปริมาณสาร
ของแข็งทั้งหมด (total solid content, TSC)	27-48%
เนื้อยางแห้ง (dry rubber content, DRC)	25-45%
สารพวกโปรตีน	1-1.5%
สารพวกเรซิน	1-2.5%
ขี้เถ้า	1%
น้ำตาล	1%
น้ำ	ส่วนที่เหลือจนครบ 100%

ยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงมาก มีสมบัติเด่นหลายประการ โดยเฉพาะความยืดหยุ่น(elasticity) นั่นคือ เมื่อมีแรงดึงยางสามารถยืดตัวได้หลายเท่าของความยาวเดิม และเมื่อปล่อยแรงออกยางก็จะกลับคืนสู่รูปร่างและความยาวเดิม นอกจากนี้ยางยังมีสมบัติเด่นอื่น ๆ เช่น มีความเหนียว (toughness) และทนต่อการขัดสี (abrasion resistance) สูง เชื่อมต่อกับวัสดุอื่นได้ดี (good bonding) สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำและอากาศได้ เป็นต้น

ยางธรรมชาติถูกนำไปใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางต่างๆ มากมายเนื่องจาก

1. ยางธรรมชาติมีสมบัติเยี่ยมในด้านการทนต่อแรงดึง (tensile streng) แม้ไม่ได้เติมสารเสริมแรงและมีความยืดหยุ่นสูงมากจึงเหมาะที่จะใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ถุงมือยาง ถุงยางอนามัย ยางรัดของ เป็นต้น

2. ยางธรรมชาติมีสมบัติเชิงพลวัต (dynamic properties) ที่ดี มีความยืดหยุ่น (elasticity) สูง ในขณะที่มีความร้อนภายใน (heat build-up) ที่เกิดขณะใช้งานต่ำ และมีสมบัติการเหนียวติดกัน (tack) ที่ดี จึงเหมาะสำหรับการผลิตยางรถบรรทุก ยางล้อเครื่องบิน หรือใช้ผสมกับยางสังเคราะห์ในการผลิตยางรถยนต์ เป็นต้น

3. ยางธรรมชาติมีความต้านทานต่อการฉีกขาด (tear resistance) สูง ทั้งที่อุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูงจึงเหมาะสำหรับการผลิตยางกระเป๋าน้ำร้อน เพราะในการแกะชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ในระหว่างกระบวนการผลิตจะต้องดึงชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ในขณะที่ร้อน ยางที่ใช้จึงต้องมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดขณะร้อนสูง

อย่างไรก็ตามยางดิบเพียงลำพังจะมีขีดจำกัดในการใช้งาน เนื่องจากมีสมบัติเชิงกลต่ำ และลักษณะทางกายภาพจะไม่เสถียรขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ กล่าวคือยางจะอ่อนและเหนอะหนะเมื่ออุณหภูมิสูงและจะแข็งเปราะที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นจึงต้องผสมยางกับสารเคมี ต่างๆ โดยส่วนประกอบของสูตรยางมีดังนี้ (ภาสรี , 2549)

1. ยาง (rubber)
2. สารที่ทำให้ยางคงรูป (vulcanizing agents)
3. สารเร่ง (accelerator)
4. สารกระตุ้น (activator)
5. สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (anti-degradants)
6. สารตัวเติม (filler)
7. สารช่วยในการผลิต (processing aids)
8. สารกลุ่มอื่นๆ เช่น สารหน่วง (retarder) หรือ สารที่ทำให้เกิดฟอง (blowing agent)

หลังการบดผสมจะได้เป็นคอมปาวด์ และจะถูกนำไปขึ้นรูปในแม่พิมพ์ภายใต้ความร้อนและความดัน กระบวนการนี้เรียกว่า วัลคาไนซ์เซชัน (vulcanization rubber) ยางที่ผ่านการขึ้นรูปนี้เรียกว่า “ยางสุกหรือยางคงรูป” (vulcanized rubber) ซึ่งสมบัติของยางที่ได้นี้จะเสถียรไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก และมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น

2.3 ยางรีเคลม (Reclaimed rubber)

ยางรีเคลมเป็นยางที่ได้จากการนำผลิตภัณฑ์ยางเก่าที่ใช้แล้ว เช่นยางล้อรถยนต์ หรือยางเสียในระหว่างกระบวนการผลิตซึ่งเป็นยางที่คงรูปถูกนำกลับมาใช้ใหม่โดยอาศัยกระบวนการรีเคลม (reclaim process) เนื่องจากในยางรีเคลมมีสารตัวเติมอยู่ในปริมาณมากอยู่แล้ว การผสมยางรีเคลมเข้าไปในยางใหม่จึงช่วยลดทั้งเวลาและพลังงานที่ใช้ในการผสม นอกจากนี้ยังช่วยลดความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตอีกด้วย การใช้ยางรีเคลมจึงมีประโยชน์อย่างมากในการผสมยางที่ต้องใส่เขม่าดำในปริมาณมากเพื่อลดปัญหายางตายที่อาจเกิดขึ้นได้ถ้าอุณหภูมิของยางในระหว่างกระบวนการผลิตสูงเกินไป

ยางคอมปาวด์ที่ผสมยางรีเคลมจะมีกระบวนการผลิตที่ง่ายมากขึ้นสามารถอัดผ่านเครื่องอัดรีด (extruder) หรือรีดผ่านเครื่องรีดเรียบ (calender) ได้เร็วขึ้น ยางจะมีสมบัติความเป็นเทอร์โมพลาสติกน้อยลงนั่นคือยางสามารถรักษารูปร่างในระหว่างกระบวนการคงรูปได้ดี ด้วยเหตุนี้จึงนิยมใช้ยางรีเคลมเป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ (พงษ์ธร, 2548)

ยางรีเคลมที่นำมาวัลคาไนซ์โดยทั่วไปจะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึง ความกระเด้งและความต้านทานต่อการสึกหรอต่ำกว่ายางทั่วไปที่ไม่รีเคลม ตัวอย่างเช่นดอกยางรถยนต์ซึ่งมีความต้านทานต่อแรงดึงสูง 4,500 ปอนด์/ตารางนิ้ว และยืดได้ 550-650 เปอร์เซ็นต์ เมื่อทำเป็นยางรีเคลมแล้วจะมีความต้านทานต่อแรงดึงสูงเพียง 1,200-1,500 ปอนด์/ตารางนิ้ว และยืดได้ 300-400 เปอร์เซ็นต์ แต่มีสมบัติเด่นด้านการวัลคาไนซ์ได้เร็วกว่ายางปกติ และมีความทนทานต่อการออกซิไดซ์ดี อาจเป็นเพราะในกระบวนการทำยางรีเคลมอาจต้องผ่านกระบวนการออกซิเดชั่น การทำให้ร้อน การล้าง เป็นต้น จนกระทั่งยางเปลี่ยนแปลงต่อไปได้ยากแล้ว ตัวอย่างเช่น ยางรีเคลมซึ่งมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงเท่ากับ 1,050 ปอนด์/ตารางนิ้ว เมื่อนำไปอบให้ร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ก็จะมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงไม่เปลี่ยนแปลง (พรพรรณ, 2528)

2.4 สารเคมีสำหรับยาง

สารเคมีสำหรับยาง หมายถึง สารเคมีต่างๆที่ผสมลงไปในยางเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ยางที่คุณสมบัติตามต้องการ ยางที่ผสมสารเคมีแล้วไม่อาจนำไปใช้งานได้เว้นแต่สารเคมี เหล่านี้จะทำปฏิกิริยากับยางก่อนซึ่งสามารถเร่งได้ด้วยการให้ความร้อน ยางที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยากับสารเคมีเรียกว่า ยางไม่คงรูป (green compound หรือ uncured compound) ส่วนยางที่สารเคมีเข้าทำปฏิกิริยากับยางแล้วเรียกว่า ยางคงรูป (vulcanised rubber หรือ cured rubber) เนื่องจากเหตุผลในการผสมยางกับสารเคมี มี 4 ประการคือ (พรทิพย์, 2547)

1. เพื่อแก้ข้อเสียของยาง ซึ่งข้อเสียของยางมีดังนี้ คือ

ยางที่มีคุณสมบัติเป็นทั้งพลาสติก และ อิลาสติก สมบัติเป็นพลาสติก (plastic) คือความสามารถที่ยางจะพยายามรักษารูปร่างที่ได้เปลี่ยนไปตามแรงกระทำ ส่วนสมบัติเป็นอีลาสติก (elastic) คือความสามารถที่ยางพยายามจะรักษารูปร่างเดิมก่อนที่จะทำให้เปลี่ยนไปตามแรงกระทำ การที่ยางมีสมบัติเป็นทั้งพลาสติกและอีลาสติกนี้ ทำให้ไม่สามารถนำยางไปใช้งานได้โดยตรง

ยางเป็นเทอร์โมพลาสติก (thermoplastic) ที่อุณหภูมิต่ำยางจะแข็งกระด้าง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นยางจะนิ่มหรือเยิ้ม การมีสมบัติเป็นเทอร์โมพลาสติกทำให้ยางใช้งานได้ในช่วงอุณหภูมิที่จำกัด อุณหภูมิสูงประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส ยางจะนิ่มลง

ยางมีความแข็งแรงต่ำ ความต้านทานต่อแรงดึงต่ำ และความต้านทานต่อการสึกหรอต่ำ เนื่องจากความหนาแน่นเชื่อมโยงสูง สายโซ่เคลื่อนไหวอย่างจำกัดเนื่องจากเกิดโครงสร้างร่างแหที่แน่นหนา (tight network) ทำให้ไม่สามารถเคลื่อนไหวเพื่อกระจายพลังงานที่ได้รับ เป็นผลให้ความแข็งแรงของวัสดุต่ำ แตกหักง่าย

ยางสามารถละลายได้ง่ายในตัวทำละลายหลายชนิด เช่น โทลูอีน และ คาร์บอน-เททตระคลอไรด์ เป็นต้น

2. เพื่อเป็นตัวช่วยในขบวนการแปรรูปยาง ปกติยางดิบที่ยังไม่ผสมกับสารเคมีอะไร จะมีสมบัติเหนียวและทำให้ลำบากในการนำไปเข้าขบวนการต่างๆ เช่น การรีดยางให้เป็นแผ่นเรียบจากเครื่องรีดเรียบ (calender) หรือการทำท่อยาง เส้นยาง จากเครื่องอัดรีด (extruder) เป็นต้น ขบวนการเหล่านี้จะแสดงให้เห็นถึงความผิดปกติ หรือความสม่ำเสมอของยางเมื่อผ่านเครื่องรีดเรียบ และความผิดปกติในการพองตัวของยางเมื่อผ่านเครื่องอัดรีด แต่หลังจากที่ได้เติมสารเคมีบางชนิด เช่น สารตัวเติม สารช่วยในการแปรรูปยาง จะทำให้ผลิตผลที่ได้จากเครื่องรีดเรียบมีผิวเรียบ และสามารถจะลดปัญหาเกี่ยวกับความไม่สม่ำเสมอของแผ่นยางหรือการพองตัวของท่อยางเมื่อผ่านเครื่องอัดรีดได้

3. ทำให้ยางมีขอบเขตการใช้งานกว้างขึ้น จากความเหมาะสมในการผสมสารเคมีในยางจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางอย่างมาก และผลิตภัณฑ์ที่ได้เหล่านี้จะเปลี่ยนจากอ่อนไปจนถึงผลิตภัณฑ์ที่มีความสามารถในการทนความร้อน เช่น กระเป๋าน้ำร้อน และผลิตภัณฑ์ที่มีความแข็งมาก เช่น เปลือกหม้อแบตเตอรี่ต้องการสมบัติของผลิตภัณฑ์ยางอย่างไร ก็สามารถเลือกชนิดและปริมาณสารเคมีได้ตามวัตถุประสงค์

4. เพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต การนำยางมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ ถ้าใช้แต่เนื้อยางล้วนๆ จะทำให้ต้นทุนการผลิตสูงสามารถผสมสารอื่นที่มีราคาถูกลงไป เช่น พวกเคลย์ ไวติ้ง จะทำให้ลดต้นทุนการผลิตลง

สารเคมีที่ผสมในยางอาจจำแนกเป็นกลุ่มหลัก ๆ ได้ 7 กลุ่มดังนี้

2.4.1 สารที่ทำให้ยางคงรูป (Vulcanizing agents)

เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ต้องผสมลงไปในยาง เพื่อทำให้ยางเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ที่เรียกว่า ปฏิกิริยาวัลคาไนซ์เซชันหรือปฏิกิริยาคงรูป การวัลคาไนซ์จึงเป็นการเปลี่ยนยางที่อยู่ในสภาพไม่คงตัวทำให้เป็นยางที่มีรูปทรงได้ในลักษณะยืดหยุ่นหรือแข็งกระด้างโดยการใช้สารวัลคาไนซ์ ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมขวางของโมเลกุลตรงจุดที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา การเกิดปฏิกิริยาดังกล่าวจะส่งผลทำให้โมเลกุลของยางเกิดการเชื่อมขวางกันเป็นโครงสร้างตาข่ายสามมิติ ซึ่งทำให้ยางเปลี่ยนสภาพจากอ่อนนิ่ม เหนียวหนึบ และไหลได้แบบเทอร์โมพลาสติกไปเป็นยางคงรูปที่มีความยืดหยุ่นสูง มีความทนทานและมีคุณสมบัติที่มีความเสถียรไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิมากนัก การทำให้ยางคงรูปสามารถทำได้โดยการใช้รังสีที่มีพลังงานสูงโดยไม่จำเป็นต้องใช้สารวัลคาไนซ์ แต่วิธีการคงรูปเช่นนี้ต้องใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง และใช้ได้ดีเฉพาะกรณีที่ต้องการคงรูปยางที่บางๆเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ การทำให้ยางคงรูปด้วยรังสีที่มีพลังงานสูงจึงไม่เป็นที่นิยมใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ปัจจุบัน การคงรูปยางส่วนใหญ่เกิดจากการเติมสารกลุ่มที่ทำให้ยางคงรูป ซึ่งสารกลุ่มที่ใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ระบบใหญ่ๆ ได้แก่ ระบบที่ใช้กำมะถัน (sulphur) ระบบที่ใช้เปอร์ออกไซด์ (peroxide) และระบบที่ใช้สารเคมีอื่นๆ เช่น โลหะออกไซด์ เป็นต้น โดยที่ระบบการคงรูปด้วยกำมะถันเป็นระบบที่นิยมใช้กันมากที่สุดเนื่องจากเป็นระบบที่มีต้นทุนต่ำ การคงรูปเกิดขึ้นได้เร็ว (เมื่อใช้กำมะถันร่วมกับสารตัวเร่งปฏิกิริยาที่เหมาะสม) และยางคงรูปที่ได้นั้นมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี อย่างไรก็ตาม ระบบการคงรูปด้วยกำมะถันมีข้อจำกัดหลักคือ ไม่สามารถใช้ในการคงรูปยางที่ไม่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุลได้

2.4.2 สารเร่ง (Accelerator)

สารเร่งปฏิกิริยาหรือสารเร่งให้ยางคงรูป คือ สารเคมีที่เติมลงไปในยางในปริมาณเล็กน้อยเพื่อลดเวลาที่จะทำให้ยางคงรูป โดยการเร่งอัตราการเกิดปฏิกิริยาให้ยางคงรูปเร็วขึ้นหรือลดเวลาการวัลคาไนซ์ อุณหภูมิการวัลคาไนซ์ลดลง และปริมาณสารวัลคาไนซ์จะลดลงด้วย ซึ่งผลิตภัณฑ์จะมีความต้านทานต่อการตั้งทิ้งไว้ เป็นเวลานาน และสามารถลดการซึมออกมาที่ผิวหน้าของสารวัลคาไนซ์ลงได้ โดยทั่วไปมีการจำแนกสารตัวเร่งออกเป็นหมวดหมู่ตามลักษณะของโครงสร้างทางเคมีของสารตัวเร่งนั้นๆ ซึ่งสารตัวเร่งที่มีโครงสร้างทางเคมีต่างกัน จะมีอิทธิพลต่ออัตราการเกิดการเชื่อมขวางพันธะในยางต่างกัน ปัจจุบันสามารถแบ่งสารตัวเร่งออกเป็นกลุ่มแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การใช้งานของสารตัวเร่งชนิดต่างๆ (พงษ์ธร, 2548)

ชนิดสารตัวเร่ง	การใช้งานทั่วไป
อัลดีไฮด์-เอมีน (aldehyde –amine)	สารตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเร็ว ใช้ในยางรีเคลม และยางแข็ง (มีความเป็นพิษสูง)
เอมีน (amines)	สารตัวเร่งปฏิกิริยาแบบช้าที่มีผล delayed action ใช้ในยางธรรมชาติ
กัวนิดีน (guanidines)	สารตัวเร่งปฏิกิริยาทุติยภูมิที่นิยมใช้ร่วมกับสารตัวเร่งในกลุ่มไทอะโซล
ไทโอยูเรีย (thioureas)	สารตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเร็ว ใช้ในยาง CR EPDM CSM และ ECO (มีความเป็นพิษสูง)
ไทอะโซล (thiazoles)	สารตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเร็วปานกลาง ใช้ในยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ชนิดต่างๆ เช่น SBR IR NBR และ EPDM เป็นต้น
ไทยูแรม (thiurams)	สารตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเร็วที่สามารถแตกตัวให้กำมะถันได้ ใช้ในยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ชนิดต่างๆ เช่น SBR IR และ EPDM เป็นต้น
ซัลฟีนาไมด์ (sulfenamides)	สารตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเร็วที่มีผล delayed action ใช้ในยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ชนิดต่างๆ เช่น SBR IR และ EPDM เป็นต้น
ไดไทโอคาร์บาเมต (dithiocarbamates)	สารตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเร็วมาก ใช้ในยาง SBR และ IR
แซนเทต (xanthates)	สารตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเร็วมากที่สามารถทำให้ยางคงรูปได้ที่อุณหภูมิต่ำๆ ใช้ในยางธรรมชาติและ ยาง SBR

2.4.3 สารกระตุ้น (Activator)

สารกระตุ้น คือ สารเคมีที่เติมลงไปในยางเพื่อเพิ่มอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาคงรูป เนื่องจากสารเคมีในกลุ่มนี้จะเข้าไปกระตุ้นสารตัวเร่งให้มีประสิทธิภาพการทำงานสูงขึ้น ทำให้มีอัตราเร็วในการเกิดปฏิกิริยาคงรูปสูงขึ้น โดยทั่วไปสารกระตุ้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ สารอนินทรีย์ กรดอินทรีย์ และสารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่าง สารอนินทรีย์ที่ใช้เป็นสารกระตุ้นส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของโลหะ และออกไซด์ของตะกั่ว ซึ่งสารกระตุ้นที่สำคัญและนิยมใช้กัน

มากที่สุดในโรงงานอุตสาหกรรม คือ ซิงค์ออกไซด์ ส่วนออกไซด์ของตะกั่วส่วนใหญ่จะใช้ในกรณีพิเศษที่ต้องการให้ยางคงรูปมีความทนทานต่อการบวมตัวในน้ำสูงมากเท่านั้น สารกระตุ้นจำพวกกรดอินทรีย์ที่สำคัญ คือ สารพวกกรดไขมัน ได้แก่ กรดสเตียริก กรดปาร์มมิติก เป็นต้น สารกระตุ้นมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ เมื่อเติมเข้าไปในยางปริมาณเล็กน้อยจะทำให้ยางมีโมดูลัสสูงขึ้น และบางครั้งถ้าไม่มีสารกระตุ้นอาจทำให้ไม่มีการวัลคาไนซ์เกิดขึ้น ดังนั้นสารกระตุ้นจึงมีความจำเป็นในการทำให้ยางสุกได้อย่างสมบูรณ์ โดยทั่วไปสารกระตุ้นที่นิยมใช้ ได้แก่ กรดสเตียริก และซิงค์ออกไซด์

2.4.4 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ (Antioxidant & Antiozonant)

สารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาของออกซิเจน โอโซน และสภาพบรรยากาศ เป็นต้น เนื่องจากยางมีพันธะคู่ที่ง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยา และผลจากปฏิกิริยาดังกล่าวจะทำให้ผิวยางแตก ยางจะสูญเสียสภาพทางกายภาพ การเติมสารป้องกันการเสื่อมจะมีทั้งชนิดทำให้ผลิตภัณฑ์ยางเปลี่ยนสีได้ซึ่งเป็นสารป้องกันการเสื่อมโดยทั่วไปและมีประสิทธิภาพสูง และชนิดที่ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์ยางเปลี่ยนสี ตัวอย่างสารที่ป้องกันการเสื่อมสภาพ เช่น PBN, IPPD, DPPD และ BHT เป็นต้น

2.4.5 สารตัวเติม (Filler)

เป็นสารตัวเติมที่ใช้ผสมกับยาง อาจแบ่งตามความสามารถของสารได้เป็น 2 จำพวก คือ พวกที่ช่วยเสริมความแข็งแรง (reinforcing) และพวกที่ไม่ช่วยเสริมแรงแต่จะเติมเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต ตัวอย่างสารตัวเติม เช่น สารเขม่าดำ แคลเซียมคาร์บอเนต และซิลิกา เป็นต้น สารตัวเติมเขม่าดำสามารถผลิตโดยการเผาแก๊สธรรมชาติ น้ำมัน หรือของผสมของแก๊สธรรมชาติและน้ำมันเตา สารตัวเติมพวกไม่เป็นสีดำได้แก่ ดินขาว (clay) ไว้ติ้ง (whiting) และแป้งทัลค์ (talc) เป็นต้น สารเหล่านี้ไม่เพียงแต่ลดต้นทุนในการผลิตเท่านั้น ยังช่วยให้ยางที่ผสมสารเคมีเหล่านี้ง่ายต่อการผลิต ผลิตภัณฑ์ยางมีคุณสมบัติทางกายภาพดี และมีความจำเพาะกับยางสังเคราะห์

2.4.6 สารช่วยกระบวนการผลิต (Processing aids)

เป็นสารที่ช่วยให้ยางอยู่ในสภาพที่ง่ายต่อกระบวนการแปรรูป เช่นสารช่วยให้ยางนิ่ม โดยช่วยย่อยโมเลกุลยาง (peptizing agents) สารช่วยหล่อลื่นโมเลกุลยาง (plasticizers) สารช่วยเพิ่มสมบัติการเหนียวติดกันของยาง (tackifiers) สารช่วยหล่อลื่นลูกกลิ้งบดยาง (lubricants)

2.4.7 สารอื่น ๆ

การใช้สารอื่นๆขึ้นอยู่กับความต้องการสมบัติพิเศษบางประการในกระบวนการผลิตหรือตัวผลิตภัณฑ์ ได้แก่

1. สารย่อยโมเลกุลยาง (peptisers) เป็นสารที่ทำหน้าที่ย่อยโมเลกุลยางโดยทางเคมี ตัวอย่างเช่น peptone 22 (di-benzamidophenyl) disulphide

2. สารช่วยให้ยางมีความแข็งเพิ่มขึ้น (stiffeners) เป็นสารที่ทำหน้าที่ช่วยปรับความแข็งแรงให้กับยางที่มี plasticity ต่ำ หรือนิ่มมาก ต้องควบคุมปริมาณการใช้เพียงเล็กน้อย ตัวอย่างเช่น สารพวก dihydrazine sulphate ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงมาก

3. สารชะลอการเกิดเปลวไฟ (flame retardant) เป็นสารที่ทำให้ถูกติดไฟได้ยาก ได้แก่ สารอนุพันธ์ chlorinated และซิลิเนียม แต่สารในกลุ่มนี้เป็นพิษมากจึงต้องมีความระมัดระวังในการใช้งาน

4. สารที่ทำให้เกิดสีสันต่างๆ (colours and pigments) เป็นสารที่ให้สีสันในผลิตภัณฑ์ยาง ควรใช้สารเคมีตัวอื่นที่เติมในยางชนิดที่ไม่เปลี่ยนสี เช่นสารป้องกันยางเสื่อมสภาพ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการผิดเพี้ยนของสี ทำให้ได้สีที่ต้องการสม่ำเสมอ ตัวอย่างสารที่ทำให้เกิดสี ได้แก่ lithopone และ titanium dioxide

5. สารช่วยให้เกิดความเหนียวติดกัน (tackifying agents)

6. สารที่ทำให้เกิดฟอง (blowing agents) เป็นสารที่ให้แก๊ส ณ อุณหภูมิที่ยางเกิดการคงรูป จึงทำให้ยางที่ได้มีฟองพรุน สารที่ทำให้เกิดฟองพรุนสามารถแบ่งได้ตามชนิดของแก๊สที่ปล่อยออกมา เช่น โซเดียมคาร์บอเนตให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และสารอินทรีย์บางชนิดจะให้แก๊สไนโตรเจน ส่วนแอมโมเนียมคาร์บอเนตชนิดเม็ดจะให้แก๊สแอมโมเนีย ชนิดและขนาดของรูพรุนที่เกิดขึ้นในยางสามารถควบคุมได้ด้วยชนิดของสารที่ให้แก๊ส และอัตราการเกิดแก๊ส

7. สารเชื่อมติด (bonding agents) เป็นสารที่ช่วยปรับปรุงการเชื่อมขวางของยางติดกับเนื้อของเส้นใยชนิดต่างๆ เช่น rayon และ polyester เป็นต้น

8. สารระงับกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ (deodorants) ส่วนใหญ่เป็นสารพวก aromatic

2.5 การออกสูตรผลิตภัณฑ์ยาง

การออกสูตรยางเป็นสิ่งที่สำคัญมากต่อคุณภาพและต้นทุนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ การออกสูตรยางจำเป็นต้องมีความรู้เกี่ยวกับสมบัติของยาง หน้าที่และความจำเป็นของการใช้สารเคมีผสมยาง รวมทั้งต้องพิจารณาถึงราคาของสารเคมีที่จะใช้ว่าเหมาะสมหรือคุ้มกับการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ เพราะต้นทุนการผลิตก็เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงเป็นสิ่งแรกสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไป การออกสูตรผลิตภัณฑ์ยางแต่ละชนิดมีหลักเกณฑ์ในการพิจารณาดังนี้

1. เลือกกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้ผลผลิตที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการหรือตามมาตรฐาน

2. ใช้สารเคมีที่ทำให้ได้ผลผลิตที่ต้องการและเหมาะสมต่อกระบวนการผลิตที่เลือกใช้

3. พิจารณาใช้สูตรต้นทุนต่ำ

4. ศึกษาความเป็นไปได้และสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิต

5. ตรวจสอบความสม่ำเสมอของคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ควรมีความแตกต่างกันไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์

การใช้ปริมาณสารต่างๆในสูตรผลิตภัณฑ์ยางจะใช้ในสัดส่วนต่างๆ ต่อยาง 100 ส่วน การออกสูตรยางจะกำหนดปริมาณสารต่างๆ ในสัดส่วนต่อยาง 100 ส่วน (โดยน้ำหนัก) และเรียกเป็น phr หรือ pphr (part per hundred of rubber) แสดงส่วนประกอบและปริมาณของยางและสารเคมีต่างๆในสูตรผลิตภัณฑ์ยางพื้นฐาน ดังตารางที่ 4 และแสดงหน้าที่และปริมาณการใช้สารเคมีต่างๆ ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบและปริมาณของยางและสารเคมีต่างๆในสูตรผลิตภัณฑ์ยางพื้นฐาน (Rubber Technology Unit, 2005)

ส่วนประกอบ	ปริมาณ (phr)
ยาง (ชนิดเดียว หรือ 2 ชนิดขึ้นไป) (rubber)	100
กำมะถัน (sulphur)	2.5-3.5
สารกระตุ้น (activator)	1-5
สารเร่งให้ยางคงรูป (ชนิดเดียว หรือ 2 ชนิดขึ้นไป) (accelerator)	0.5-2.0
สารตัวเติม (filler)	(ตามที่ต้องการ)
สารทำให้ยางนิ่ม (plasticizer, peptizer)	5-10
สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (antidegradant)	1-2

ตารางที่ 5 แสดงหน้าที่และปริมาณการใช้สารเคมีต่างๆ (Rubber Technology Unit, 2005)

สมบัติที่ต้องการ	สารเคมี	ปริมาณการใช้ (phr)
สมบัติความยืดหยุ่น	สารทำให้ยางคงรูป (vulcanizing agents) สารกระตุ้น (activator) สารเร่ง (accelerator)	1-3.5 1-5 0.5-2.5
ป้องกันยางเสื่อมอันเนื่องจาก O_2และ O_3	สารป้องกันยางเสื่อม เช่น 6 PPD, flectol H, antioxidant 2246, wingstay L, vulkanox MB	1-4
เสริมความแข็งแรงให้ยาง	สารตัวเติมที่มีขนาดอนุภาคเล็ก เช่น เขม่าดำ (carbon black) เขม่าขาว (silica)	10-100
ลดความหนืดของยางดิบ	บดให้นิ่ม (mastication) หรือเติมสารย่อยยาง (chemical peptizer)	0.1-1.5
เชื่อมติดผ้า โลหะ และ กระเบื้อง	สารพวกเป็นตัวเชื่อม (bonding agent) และต้องทำความสะอาด หรือมีวิธีการพิเศษ treat ผิวของสิ่งที่ต้องการเชื่อม	2-10
สี	สีอนินทรีย์ หรือสีอินทรีย์	ความเข้มที่ต้องการ
ลดต้นทุน	สารตัวเติมชนิดราคาถูก ยางรีเคลม เศษยางคงรูป	10-200 , 10-100, 5-50
ฟองพรุน	สารฟู พวกอินทรีย์สาร หรืออนินทรีย์สาร	05.-20 5-30
ลดอันตรายจากการติดไฟ	สารลดการติดไฟ เช่น พวก phosphates, antimony salts, halogenated และ organics	1-20
ฉนวนกันไฟฟ้า	สารพวกไม่เป็นตัวนำไฟฟ้า เช่น สารตัวเติมพวกแร่ธาตุ น้ำมัน ไฮโดรคาร์บอน	5-50
กันไฟฟ้าสถิตย์	สารกันไฟฟ้าสถิตย์ เช่น พวกเอสเทอร์ที่มีขั้วเขม่าดำ	0.1-2.0, 1-5
ตัวนำไฟฟ้า	สารตัวนำไฟฟ้า เช่น เขม่าดำ อนุภาคโลหะและเกลือโลหะ	10-50
ป้องกันแบคทีเรีย	สารป้องกันเชื้อรา เช่น สารพวก chlorinated phenol	0.5-5.0

2.6 การผสมยางกับสารเคมี (Mixing)

การผสมยางกับสารเคมีเป็นกระบวนการกระจายตัวสารเคมี โดยไม่ทำให้เกิดการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน แต่ให้สารเคมีรวมเป็นเนื้อเดียวกันกับยางให้มากที่สุด การผสมยางที่ให้สารเคมีกระจายตัวที่ดี มีผลทำให้สมบัติทางกายภาพของยางเปลี่ยนแปลงดังนี้

1. ค่าความหนืดจะลดลง
2. ค่าความทนต่อแรงดึง (tensile strength) จะเพิ่มขึ้น
3. ค่าโมดูลัส (modulus) ลดลงเล็กน้อย
4. ความสามารถในการดึงยืดเพิ่มขึ้น
5. ความแข็งของยางลดลงเล็กน้อย
6. ความต้านทานต่อการสึกหรอเพิ่มมากขึ้น
7. ความร้อนภายใน (heat build up) ลดลง

2.6.1 เครื่องมือที่ใช้ในการบดผสม (Rubber Technology Unit, 2005)

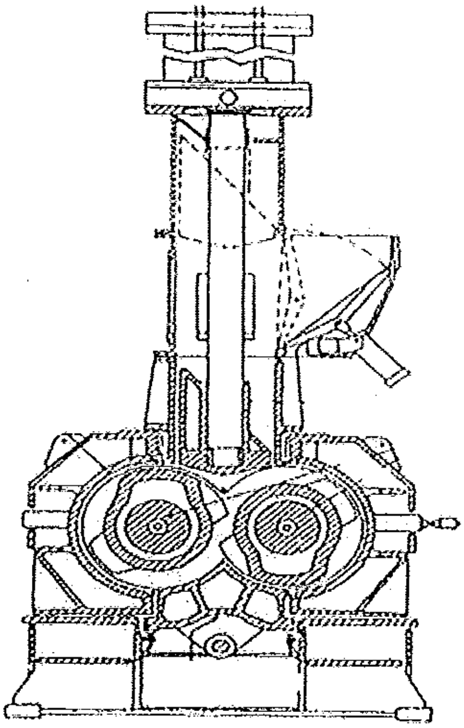
2.6.1.1 เครื่องผสมระบบปิด (Internal mixer)

เครื่องแบบนี้ที่พัฒนาขึ้นครั้งแรกคือ banbury แสดงดังภาพประกอบที่ 2 ช่องผสมภายในปิดได้สนิทและมีตัวหมุนรูปเกลียวสองตัวหมุนสวนทางกันอยู่ภายในด้วยความเร็วที่ต่างกันเล็กน้อย ปลายของตัวหมุนจะหมุนกวาดไปกับผิวช่องผสมทำให้เกิดแรงเฉือนต่อของผสม ที่ช่องระหว่างตัวหมุนจะเกิดการพับสลับกันไปมาของของผสม แกนกลางของตัวหมุนมีช่องสำหรับการไหลเวียนของน้ำหรือไอน้ำ ผิวของช่องผสมก็มีการควบคุมอุณหภูมิได้โดยการใช้ของไหลไหลเวียน ตัวหมุนจะหมุนด้วยความเร็ว 30-40 รอบ/นาที ของผสมที่ผสมเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจะถูกเปิดเอาออกทางด้านล่าง เครื่องสำหรับการผสมยาง 150 กิโลกรัมจะมีขนาดประมาณ 450 กิโลวัตต์ นั่นคือมีความต้องการพลังงาน 3 วัตต์/กรัม เวลาวงจรการผสมสั้นประมาณ 2-4 นาที แม้ว่าจะมีการหล่อเย็นด้วยน้ำแล้วอุณหภูมิของของผสมก็ยังเพิ่มขึ้น 30-60 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลาวงจรการผสม ของผสมที่ได้ออกมาจะมีลักษณะเป็นก้อน

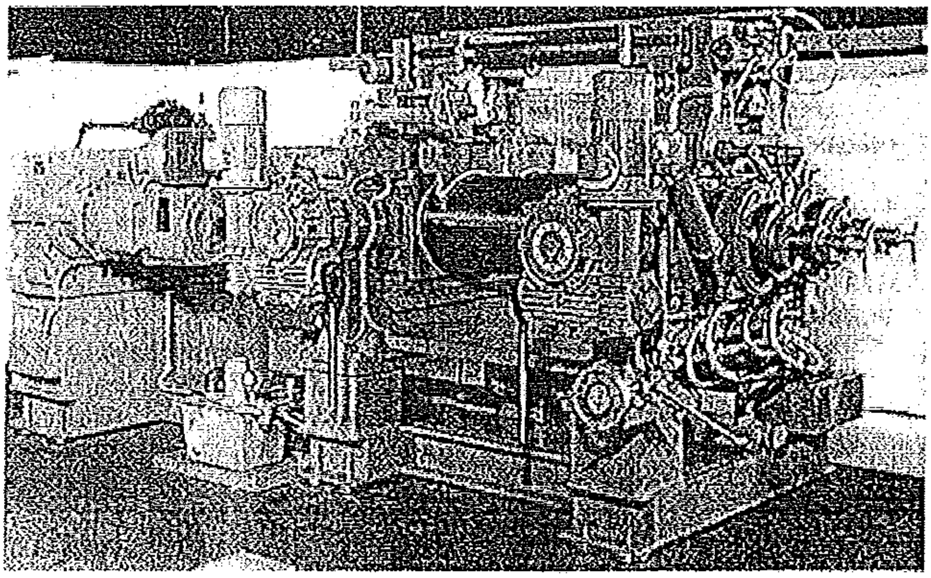
2.6.1.2 เครื่องบดผสมระบบเปิด

เครื่องบดผสมระบบเปิด เช่น เครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง เครื่องนี้ประกอบด้วยลูกกลิ้งสองตัว แสดงดังภาพประกอบที่ 3 มีแกนอยู่ในแนวนอนและมีช่องว่างห่างจากกันซึ่งปรับให้โพลิเมอร์และสารเคมีที่เป็นผงจะเกิดการผสมกันในช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง ลูกกลิ้งจะหมุนสวนทางกันและความเร็วต่างกันเพื่อให้วัสดุที่ถูกผสมและรีดเป็นแผ่นเกาะอยู่กับลูกกลิ้งตัวหนึ่ง การผสมเกิดจากแรงเสียดทานระหว่างวัสดุกับลูกกลิ้งซึ่งทำให้วัสดุไหลไปในทิศทางเดียวกับการหมุนของลูกกลิ้ง ลูกกลิ้งมีรูกลวงภายในสำหรับการควบคุมอุณหภูมิด้วยน้ำหรือไอน้ำหรืออาจมีตัวให้

ความร้อนแบบไฟฟ้าอยู่ภายใน ระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งสามารถปรับได้ ระหว่างทำการผสมแผ่นวัสดุซึ่งเกาะที่ผิวลูกกลิ้งจะถูกตัดและดึงออกและพับใส่เข้าไปใหม่เพื่อให้เกิดการผสมดีขึ้น



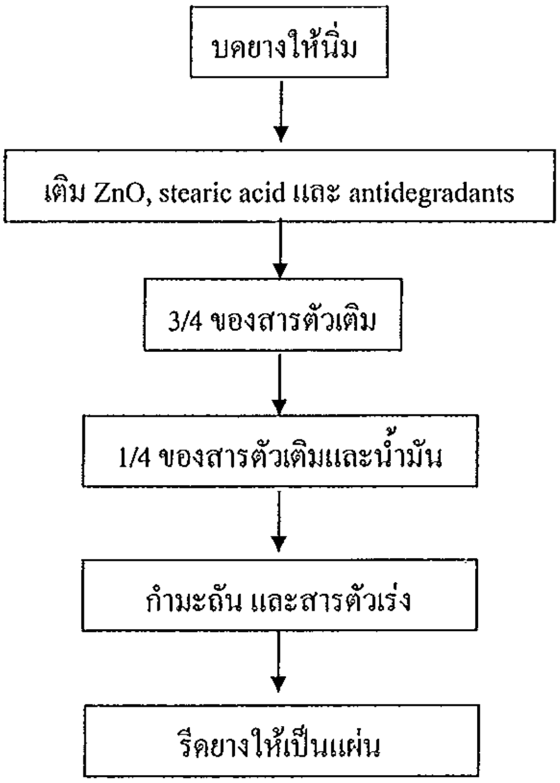
ภาพประกอบที่ 2 เครื่องบดผสมระบบปิด (Rubber Technology Unit, 2005)



ภาพประกอบที่ 3 เครื่องบดผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง (Rubber Technology Unit, 2005)

2.6.2 ขั้นตอนการบดผสม (Mixing step)

ในการบดผสมยางอย่างมีประสิทธิภาพและบดยางให้มีความสม่ำเสมอนั้น ลำดับขั้นตอนการเติมสารเคมีต่างๆ ต้องเป็นไปตามขั้นตอนอย่างถูกต้อง หลักการโดยทั่วไปคือ หลังจากการบดยางให้นิ่มก็จะเติมสารที่บดให้กระจายในเนื้อยางได้ยากก่อน เช่น ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) กรดสเตียริก (stearic acid) และ ผงเขม่าดำ (carbon black) เพราะช่วงนี้อุณหภูมิในการบดยังต่ำ และยางมีความหนืดสูง แรงกระทำเชิงกลจึงมีมาก จากนั้นจึงเติมสารตัวเติมที่ไม่เสริมแรง สารอื่นๆ และน้ำมัน สารที่แนะนำให้เติมลำดับสุดท้าย คือ สารตัวเร่งกำมะถัน (sulphur) และสารป้องกันยางตาย (scorch) ยางที่ได้หลังจากการผสมกับสารเคมีต่างๆ เรียบร้อยแล้ว จะถูกเรียกว่า ยางคอมปาวด์ (rubber compound) แสดงลำดับการบดผสมโดยทั่วไปดังภาพประกอบที่ 4



ภาพประกอบที่ 4 ลำดับการผสมยางโดยทั่วไป (Rubber Technology Unit, 2005)

2.7 กระบวนการขึ้นรูปยาง (Rubber Technology Unit, 2005)

การขึ้นรูปยางเป็นการนำยางที่ผ่านขั้นตอนการผสมยางแล้วมาทำให้เป็นรูปลักษณ์ของชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์หรือตัวผลิตภัณฑ์ เทคโนโลยีในการขึ้นรูปยางจำแนกเป็น 3 แบบ คือ

ฝ่ายหอสมุด
คุณหญิงหลง อรรถกระวีสุนทร

2.7.1 การขึ้นรูปโดยวิธีการอัดเบ้า (Compression molding)

เป็นเทคโนโลยีที่ง่ายที่สุดในบรรดาการขึ้นรูปทั้ง 3 แบบ เป็นการขึ้นรูปโดยนำเอายางผสมมาขึ้นรูปตามแม่พิมพ์ที่ออกแบบไว้แล้ว แสดงดังภาพประกอบที่ 5 การขึ้นรูปโดยวิธีนี้อาศัยความร้อนเข้าช่วยเพื่อให้ยางหล่อหลอมไปตามแบบของแม่พิมพ์ เสร็จแล้วจึงนำไปเข้าขั้นตอนการประกอบและตกแต่งเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป เทคโนโลยีการใช้แม่พิมพ์สามารถจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะได้แก่ การใช้แรงอัดหรือไฮดรอลิค (hydraulic compression) อัดเข้าสู่แม่พิมพ์และการใช้ระบบฉีด (injection) เข้าสู่แม่พิมพ์ การใช้ ไฮดรอลิคเป็นการนำเอายางที่ผสมแล้ว และคลี่ออกเป็นลักษณะแผ่นบางไปอัดตามแม่พิมพ์ด้านหนึ่งซึ่งมีลักษณะเป็นช่องตามรูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ โดยใช้แรงอัดไฮดรอลิคอัดประกบกับแม่พิมพ์อีกด้านหนึ่ง ความร้อนจะช่วยอัดยางเพื่อให้หลอมตัวภายในพิมพ์และปรับอุณหภูมิต่ำลงเพื่อให้ยางคงรูป ในขณะที่การใช้ระบบฉีด จะประกอบด้วยเครื่องที่ทำให้ยางนิ่มก่อนจากนั้นฉีดยางเข้าแม่พิมพ์ แล้วจึงปรับอุณหภูมิให้ต่ำลง ระบบฉีดเป็นเทคโนโลยีที่ให้ความละเอียดของชิ้นงานและสามารถทำงานได้รวดเร็วกว่าระบบไฮดรอลิค แต่ระบบฉีดใช้เงินลงทุนมากกว่า และต้องนำเครื่องจักรมาจากต่างประเทศเท่านั้น ผลิตภัณฑ์ยางซึ่งเป็นส่วนประกอบของอุตสาหกรรมก่อสร้างที่ใช้เทคโนโลยีการผลิตโดยวิธีการอัดเบ้า ได้แก่ ยางรองคอสะพาน ยางกันชน แผ่นยางเชื่อมรอยต่อสะพาน ยางปูพื้นสะพาน ยางปูพื้นอาคาร บล็อคยางปูพื้น และซีลยางบางชนิด เป็นต้น

ข้อดีของวิธีการอัดด้วยวิธีนี้ คือ

1. วัสดุไหลเป็นระยะทางสั้นจึงลดโอกาสที่จะเกิดความเค้นในผลิตภัณฑ์
2. วัสดุไม่เสียคุณสมบัติเชิงกลในการไหลผ่านทางเข้า
3. ผลิตภัณฑ์มีความสมดุลศูนย์ดี
4. อากาศและแก๊สสามารถหนีโดยผ่านช่องว่างระหว่างแบบตัวผู้ (male, force หรือ core) และโพรงแบบ (cavity)
5. แบบราคาถูกและต้องการค่าปรับปรุงรักษาต่ำเพราะช่วงการไหลสั้นทำให้มีการชะกร่อนน้อย
6. รูปแบบของแบบไม่ขึ้นต่อตำแหน่งของทางฉีดและทางวิ่ง
7. มีการสูญเสียวัสดุน้อยเพราะไม่มีทางฉีดและทางวิ่ง
8. ต้องการแรงยึดแบบต่อโพรงแบบน้อยกว่าวิธีอัดแบบชนิดอื่นดังนั้นจึงอัดผลิตภัณฑ์ได้มากชิ้นกว่าต่อแรงอัดเท่ากัน

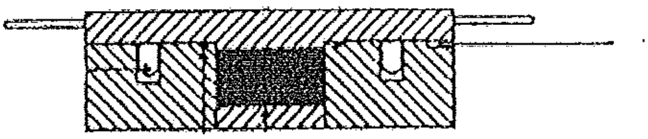
ข้อเสียของการอัดด้วยวิธีนี้ คือ

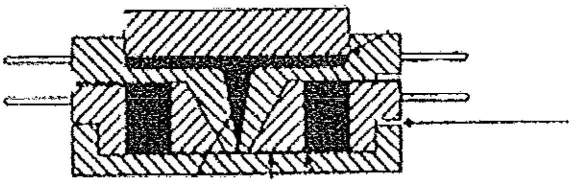
1. เวลาวงจรยาวโดยเฉพาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีผนังหนา

2. เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของความสูงแปรเปลี่ยนกับความหนาของครีบ

3. อาจเกิดความเสียหายกับแม่พิมพ์ตัวใน (insert) ซึ่งใส่ในแบบเพื่อทำการอัด

4. มีครีบซึ่งต้องทำการตัดออก





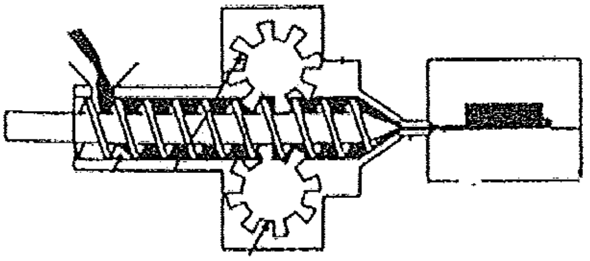
ภาพประกอบที่ 5 การขึ้นรูปโดยวิธีการอัดเบ้า (Rubber Technology Unit, 2005)

2.7.2 การขึ้นรูปโดยวิธีการอัดรีด (Extrusion)

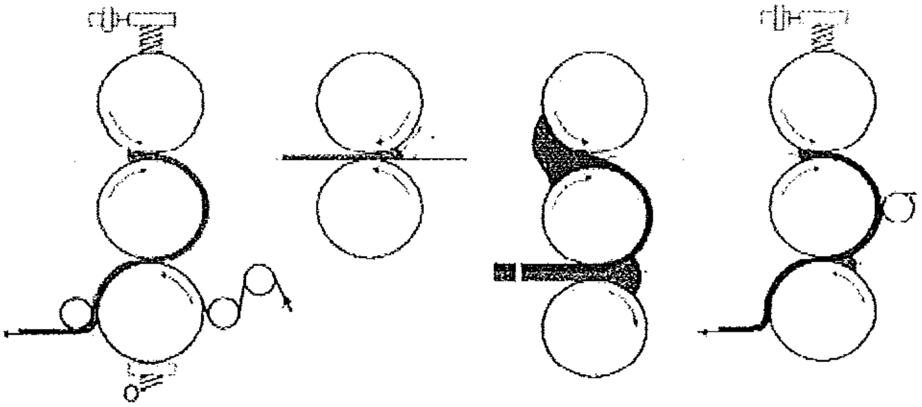
เป็นการนำเอายางผสมที่มีรูปร่างเป็นแผ่นยางไปเข้าเครื่อง เพื่อทำให้อ่อนตัวลง แล้วอัดเข้าสู่เบ้าที่ออกแบบไว้ ต่อจากนั้นจึงใช้แรงดันจากการหมุนของสกรู ผ่านแบบออกมาเป็นชิ้นงานที่มีความยาวในลักษณะต่อเนื่อง แสดงดังภาพประกอบที่ 6 ผลิตภัณฑ์ยางสำหรับการก่อสร้างที่ใช้เทคนิคนี้ได้แก่ แผ่นกันน้ำซึม ยางเชื่อมรอยต่อคอนกรีต ท่อยาง และซิลยางบางชนิด

2.7.3. การขึ้นรูปโดยวิธีการรีดเรียบ (Calendar)

เป็นการใช้เครื่องจักรที่มีลูกกลิ้งรีดยางผสมให้เป็นแผ่นเรียบ โดยแสดงการจัดเรียงตัวของลูกกลิ้งแบบต่าง ๆในภาพประกอบที่ 7 แล้วนำแผ่นยางไปฉาบหรือเคลือบด้วยวัสดุอื่นๆ เช่น ผ้าใบ แผ่นใยลวด แล้วฉาบด้วยยางอีกครั้งหนึ่งหลังจากนั้นจึงอบเพื่อให้คงรูป แล้วนำไปตัดตามขนาดที่ต้องการ เทคนิคในการผลิตนี้มักใช้ในการผลิตสายพาน ฝายยาง สายยางและท่อยาง เป็นต้น



ภาพประกอบที่ 6 การขึ้นรูปโดยวิธีการอัดรีด (Rubber Technology Unit, 2005)



(ก) (ข) (ค) (ง)

ภาพประกอบที่ 7 การขึ้นรูปโดยวิธีการรีดเรียบ (ก) แบบ 6 ลูกกลิ้ง (ข) แบบ 2 ลูกกลิ้ง (ค) แบบ 3 ลูกกลิ้ง (ง) แบบ 4 ลูกกลิ้ง (Rubber Technology Unit, 2005)

2.8 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene)

พอลิโพรพิลีน (polypropylene) เป็นพลาสติกในกลุ่มที่มีการใช้งานในปริมาณสูง เนื่องจากพอลิโพรพิลีนมีคุณสมบัติเชิงกลเด่นหลายประการ เช่น เป็นเทอร์โมพลาสติกที่มีลักษณะขุ่นมัวที่มีสภาพกึ่งผลึก ส่งผลให้มีความแข็งแรง มีความทนทานต่อแรงดึงได้สูง มีความเหนียวดีที่อุณหภูมิห้อง ทนทานต่อแรงกระแทกได้ดี มีความทนทานต่อสารเคมี มีคุณสมบัติความเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี มีความมันเงาสูง มีความแข็งแรงที่ผิวหน้าสูง ผิวหน้าจึงมีความทนทานต่อการขูดขีดได้ดี สามารถขึ้นรูปได้ง่าย มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.90-0.91 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร จึงมีน้ำหนักเบา มีจุดหลอมเหลวสูงประมาณ 165 องศาเซลเซียส จึงมีความทนทานต่อการเสียรูปที่อุณหภูมิสูง มีความทนทานต่อความร้อน น้ำร้อน หรือไอน้ำเดือดได้ และอุณหภูมิการใช้งานสามารถใช้ได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส ได้ นอกจากนี้สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิโพรพิลีนได้ดีขึ้นกว่าเดิมโดยการผสมผงแร่หรือยางเพื่อให้มีความต้านทานต่อแรงกระแทกได้

ดียิ่งขึ้น แต่พอลิโพรพิลีนไม่ค่อยเสถียรต่อแสงอัลตราไวโอเลตและตัวออกซิไดซ์ เนื่องจากในสายโซ่โมเลกุลมีไฮโดรเจนอะตอมเกิดพันธะกับ tertiary carbon ดังนั้น ก่อนนำพอลิโพรพิลีนไปใช้งาน จึงต้องมีการเติมสารเคมีประเภทป้องกันการเสื่อมสภาพ (antioxidant) และสารที่ทำให้เสถียรต่อแสงอัลตราไวโอเลต (ultraviolet stabilizer) ในปริมาณที่เหมาะสม

2.9 เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ (Thermoplastic elastomers: TPEs)

เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ หรือเรียกว่า ยางเทอร์โมพลาสติก เป็นวัสดุที่มีการรวมคุณสมบัติทางกายภาพของเทอร์โมพลาสติกกับอิลาสโตเมอร์เข้าด้วยกัน วัสดุประเภทนี้จะแสดงคุณสมบัติที่เป็นลักษณะทั่วไปของวัสดุที่มีความยืดหยุ่น แต่สามารถนำมาผ่านกระบวนการขึ้นรูปได้เหมือนกับวัสดุที่เป็นเทอร์โมพลาสติก และนอกจากนี้สามารถนำเศษวัสดุคัดทิ้งของยางเทอร์โมพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้สามารถใช้กระบวนการง่ายๆในการแปรรูปวัสดุยางเทอร์โมพลาสติกได้ เช่น ใช้เครื่องผสมภายในแบบปิด (internal mixer) หรือใช้เครื่องผสมแบบอัดรีด (extrusion) โดยคุณสมบัติของยางเทอร์โมพลาสติกมีหลากหลายตามองค์ประกอบของของผสมที่แปรผันไป

คุณสมบัติของยางเทอร์โมพลาสติกชนิดอ่อนนุ่ม (soft blends) จะขึ้นอยู่กับสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์สองชนิดที่มาผสมกัน โดยบริเวณของ hard phase มีลักษณะแข็งคล้ายแก้ว (glassy) หรือสามารถเกิดผลึกเล็กๆได้ (micro crystalline) เสมือนกับว่ามีการเชื่อมขวางเกิดขึ้น (pheudo-cross links) หรือเป็นจุดเชื่อมต่อกัน (tie-pionts) และปรากฏการณ์เหล่านี้จะหายไปตามการให้ความร้อนแก่ของผสมชนิดนั้นๆ ทั้งที่ ยางเทอร์โมพลาสติกมีความแตกต่างจากโคพอลิเมอร์ เนื่องจากยางเทอร์โมพลาสติกเป็นของผสมทางกายภาพของพอลิเมอร์สองชนิดที่ไม่เข้ากัน (incompatible polymer) ซึ่งมี hard phase จะเป็น dispersed particle ที่เล็กพอที่จะเกาะติดหรือยึดติดกับ matrix ได้เมื่อได้รับแรงจากภายนอกมากระทำ

ยางเทอร์โมพลาสติกที่เตรียมได้จากยางธรรมชาติ หรือที่เรียกว่า thermoplastic natural rubber (TPNR) สามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทได้แก่ thermoplastic polyolefin (TPO) และ thermoplastic vulcanizate (TPV) โดยที่ TPOs เป็นพอลิเมอร์ที่ผสมกันระหว่างยางเทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟิน อันได้แก่ พอลิเอทิลีน หรือ พอลิโพรพิลีน ผสมกับยางดิบ (unvulcanized natural rubber) มีลักษณะสัณฐานวิทยาเป็นแบบ co-continuous phase morphology ส่วน TPVs เกิดจากการผสมเทอร์โมพลาสติกพอลิโอเลฟินกับยางสุก (vulcanized natural rubber) ซึ่งยางจะเกิดการเชื่อมขวาง (crosslink) เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการผสม เรียกวิธีการเกิดการ

เชื่อมขวางนี้ว่า การวัลคาไนซ์แบบไดนามิกส์ (dynamic vulcanization) โดยจะมีเฟสยางกระจายอยู่ในเฟสของพลาสติก (Nakason, *et al.*, 2006)

2.10 อุบัติเหตุจากการจราจร

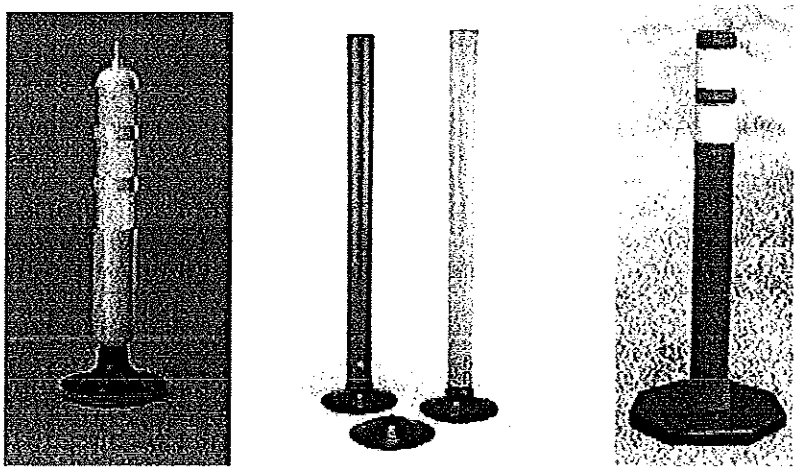
จากการรายงานขององค์การอนามัยโลก ในรอบปีที่ผ่านมา มีผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุบนท้องถนนทั่วโลกประมาณ 1.171 ล้านคน และมีผู้บาดเจ็บอีกมากกว่า 10 ล้านคน ในปัจจุบัน คาดว่าอีก 20 ปีข้างหน้า พ.ศ. 2563 จะมีการสูญเสียชีวิตจากอุบัติเหตุถึงปีละ 10 ล้านคนและบาดเจ็บมากกว่าปีละ 60 ล้านคน นอกจากนี้รายงานของธนาคารโลกได้สรุปความสูญเสียทางเศรษฐกิจอันเนื่องจากอุบัติเหตุบนท้องถนนปีละมากกว่า 4,300,000 ล้านบาท หรือร้อยละ 2-4 ของผลิตภัณฑ์มวลรวมของโลก สำหรับประเทศไทยในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา พบว่ามีอุบัติเหตุทางถนนเพิ่มขึ้นตลอด และจากการศึกษาของบริษัทที่ปรึกษา swe-road จากประเทศสวีเดน ซึ่งได้ศึกษาถึงความสูญเสียทางเศรษฐกิจทางถนนของประเทศไทย พบว่ามีอัตราความสูญเสียประมาณ 100,000 ล้านบาท/ปี หรือประมาณ 12 ล้านบาท/ชั่วโมง สาเหตุเกิดจากความไม่ตระหนักถึงความปลอดภัย (หนังสือพิมพ์ยวดยาน, 2546) จากบทความข้างต้นนี้ บ่งชี้ให้เห็นว่าสถิติการเกิดอุบัติมีเพิ่มขึ้นทุกปี และก่อให้เกิดความเสียหายทางชีวิตและทรัพย์สินเป็นอย่างมาก แนวทางที่สามารถช่วยลดความเสียหายเหล่านี้ได้ต้องมีองค์ประกอบหลายด้าน คือ ความไม่ประมาทของผู้ขับขี่ ความพร้อมของสภาพเครื่องยนต์ และเส้นทางจราจรที่ปลอดภัย

ตามรายงานของสำนักอำนวยความปลอดภัยกรมทางหลวง ได้เก็บสถิติอุบัติเหตุบนถนนหลวงทั่วประเทศ ตลอดปี พ.ศ. 2549 พบว่ามีรถเกิดอุบัติเหตุบนเส้นทางหลวงรวมทั้งสิ้น 12,918 ครั้ง ในจำนวนนี้มีถึงร้อยละ 43 เป็นความเสียหายทั้งทรัพย์สิน ชีวิต และร่างกาย เกิดจากอุบัติเหตุชนกับวัตถุอันตรายข้างทาง 3,695 ครั้ง เสียหลักพลิกคว่ำ 985 ครั้ง รถจักรยานยนต์ล้มคว่ำ 680 ครั้ง ชนวัตถุข้างถนน 65 ครั้ง มีผู้เสียชีวิตมากถึง 1,205 ศพ บาดเจ็บสาหัส 3,454 คน บาดเจ็บเล็กน้อย 7,586 คน สำหรับวัตถุอันตรายที่สุดริมถนนคือเสาไฟฟ้า เสาโทรศัพท์ ต้นไม้ รองลงมาก็คือคูน้ำ การ์ดเลน การ์ดเคเบิล และความชันของขอบถนน (วรพงษ์, 2551) จากรายงานที่กล่าวมานี้จะเห็นได้ว่าวัตถุอันตรายริมถนนเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากต่อทรัพย์สินและชีวิต

2.11 หลักกั้นเส้นทางจราจร (Traffic delineator)

หลักกั้นเส้นทางจราจรมีชื่อเรียกในทางการค้าที่แตกต่างกัน เช่น traffic delineator, delineator post, traffic delineator post และ flexible delineator post เป็นต้น โดยหลัก

กั้นเส้นทางจราจรเหล่านี้จะผลิตจากวัสดุ พลาสติก ยางเทอร์โมพลาสติก ยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์เป็นส่วนใหญ่ ถูกออกแบบให้สามารถยึดติดกับถนนทั้งแบบชั่วคราวและแบบถาวร ทำหน้าที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการจราจร ช่วยลดความรุนแรงจากการเกิดอุบัติเหตุ โดยหลักกั้นเส้นทางจราจรถูกติดตั้งบริเวณตรงกลางเส้นทางจราจร ทางแยก ลานจอดรถ และ บริเวณไหล่ทาง เป็นต้น ราคาจำหน่ายมีตั้งแต่ราคาถูกไปจนถึงแพง ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของหลักกั้นเส้นทางจราจร ตัวอย่างหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตในทางการค้า แสดงดังภาพประกอบที่ 8



(ก) (ข) (ค)

ภาพประกอบที่ 8 หลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตในทางการค้า

(ก) (Traffic and Praking Control, 2005) (ข) (Traffic and Praking Control, 2005) (ค) (Traffic Cones Online, 2008)

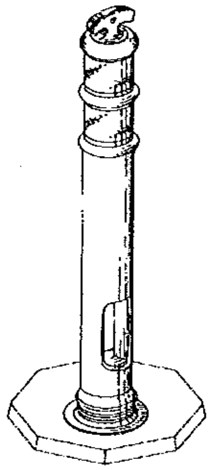
การผลิตหลักกั้นเส้นทางจราจรในประเทศไทยในทางการค้า ยังไม่ปรากฏแน่ชัด มีเพียงบริษัทตัวแทนจำหน่าย เช่น บริษัท สยามนครินทร์ จำกัด จำหน่ายหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตจากยางเทอร์โมพลาสติก ขนาดความสูง 70 เซนติเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร จำหน่ายในราคา 1,200 บาท/แท่ง ซึ่งเป็นราคาที่สูงมากเมื่อเทียบกับกรวยจราจรพลาสติกที่มีความสูงเช่นเดียวกันซึ่งจำหน่ายในราคาเพียง 380 บาท/แท่ง ราคาที่สูงเป็นเหตุผลหนึ่งที่หลักกั้นเส้นทางจราจรที่มีคุณสมบัติยืดหยุ่น สามารถหักงอได้ ยังไม่นิยมใช้ในประเทศไทย ส่วนใหญ่นิยมใช้กรวยจราจรที่ผลิตจากพลาสติก หลักนำทางที่ผลิตจากคอนกรีต และ แผงกั้นคอนกรีต เป็นต้น

2.12 สิทธิบัตรที่เกี่ยวข้องกับหลักกั้นเส้นทางจราจร

จากการสืบค้นสิทธิบัตรที่เกี่ยวกับการออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจร พบว่ามีสิทธิบัตรจำนวนมากที่กล่าวถึงการออกแบบและวิธีการทดสอบหลักกั้นเส้นทางจราจร ตัวอย่างเช่น

2.12.1 สิทธิบัตร เลขที่ 6,014,941 (Bent, 2000)

โดย Bent และคณะ จากประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นผู้คิดค้น ซึ่งมีข้อมูลโดยสังเขปดังนี้ หลักกั้นเส้นทางจราจรประกอบด้วยสองส่วน คือส่วนทรงกระบอกกลวงผลิตจากพลาสติกขึ้นรูปโดยวิธีการเป่า (blow molding) บริเวณทรงกระบอกส่วนบนติดแถบสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มความสามารถมองเห็นได้ชัดเจนในเวลากลางคืน และส่วนฐานรูปทรงแปดเหลี่ยมผลิตจากยางขึ้นรูปโดยวิธีการแบบอัดเบ้า (compression molding) ตรงกลางส่วนฐานมีช่องว่างวงกลมทำหน้าที่รองรับส่วนทรงกระบอก หลักกั้นเส้นทางจราจรตามสิทธิบัตรนี้เป็นหลักกั้นเส้นทางจราจรชนิดที่ไม่สามารถโค้งงอได้และยึดติดกับถนนแบบชั่วคราว แสดงดังภาพประกอบที่ 9

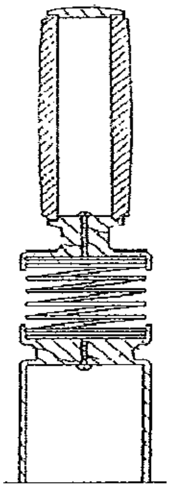


ภาพประกอบที่ 9 หลักกั้นเส้นทางจราจรตามสิทธิบัตร เลขที่ 6,014,941 (Bent, 2000)

2.12. 2 สิทธิบัตร เลขที่ WO 2002/22962 A1 (Paik Seong Su, 2002)

สิทธิบัตรนี้ถูกเผยแพร่จาก international application published under the patent cooperation treaty (PCT) แสดงดังภาพประกอบที่ 10 โดย Paik Seong Su จากประเทศเกาหลี เป็นผู้คิดค้น มีข้อมูลโดยสังเขปดังนี้ หลักกั้นเส้นทางจราจรประกอบด้วยสามส่วน คือส่วนแผ่นเพลทถูกหุ้มด้วยแถบสะท้อนแสงเพื่อเพิ่มความสามารถมองเห็นได้ชัดเจนในเวลากลางคืน ส่วนสปริงทำ

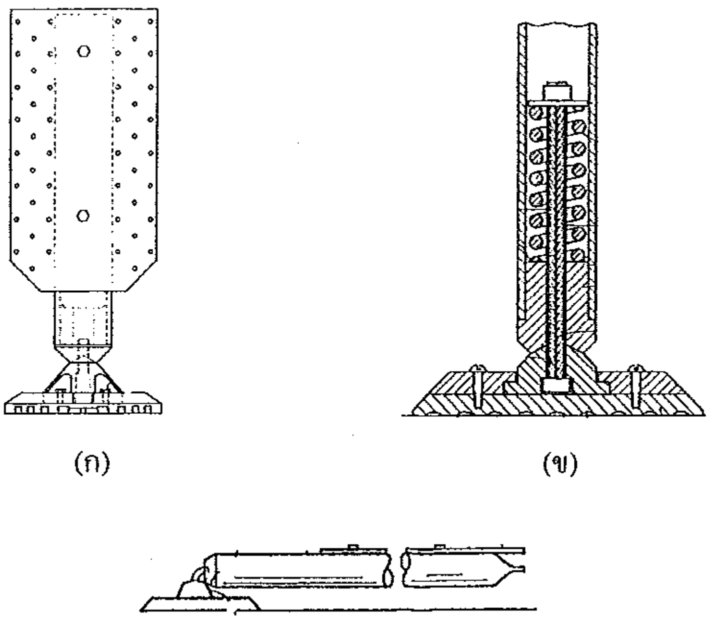
หน้าเชื่อมส่วนเพลทและส่วนส่วนฐานให้ยึดติดกันและเพิ่มความสามารถหักงอได้ดี และ ส่วนฐานซึ่งทำหน้าที่ยึดหลักกั้นเส้นทางจราจรให้ติดกับผิวถนน หลักกั้นเส้นทางจราจรตามสิทธิบัตรนี้เป็นหลักกั้นเส้นทางจราจรชนิดที่สามารถโค้งงอได้และยึดติดกับถนนแบบถาวร แสดงดังภาพประกอบที่ 10



ภาพประกอบที่ 10 หลักกั้นเส้นทางจราจรตามสิทธิบัตร เลขที่ WO 2002/22962 A1 (Paik Seong Su, 2002)

2.12.3 สิทธิบัตร เลขที่ WO 2005/017262 A2 (Clark and Coyle, 2005)

สิทธิบัตรนี้ถูกเผยแพร่จาก international application published under the patent cooperation treaty (PCT) โดย Clark, Richard O. และ Coyle, Timothy Andrew เป็นผู้คิดค้น มีข้อมูลโดยสังเขปดังนี้หลักกั้นเส้นทางจราจรประกอบด้วยสองส่วน คือส่วนทรงกระบอกและส่วนฐาน ทั้งสองส่วนยึดติดกันด้วยลวดสปริงที่ถูกฝังอยู่ภายใน ส่วนฐานจะทำหน้าที่รองรับส่วนทรงกระบอกให้ตั้งตรง และออกแบบให้มีจุดยึด 3 จุด สำหรับใส่พุกเหล็กเพื่อยึดหลักกั้นเส้นทางจราจรให้ติดกับผิวถนน หลักกั้นเส้นทางจราจรตามสิทธิบัตรนี้เป็นหลักกั้นเส้นทางจราจรชนิดที่สามารถโค้งงอได้และยึดติดกับถนนแบบถาวร แสดงดังภาพประกอบที่ 11



(ก) (ข)

(ค)

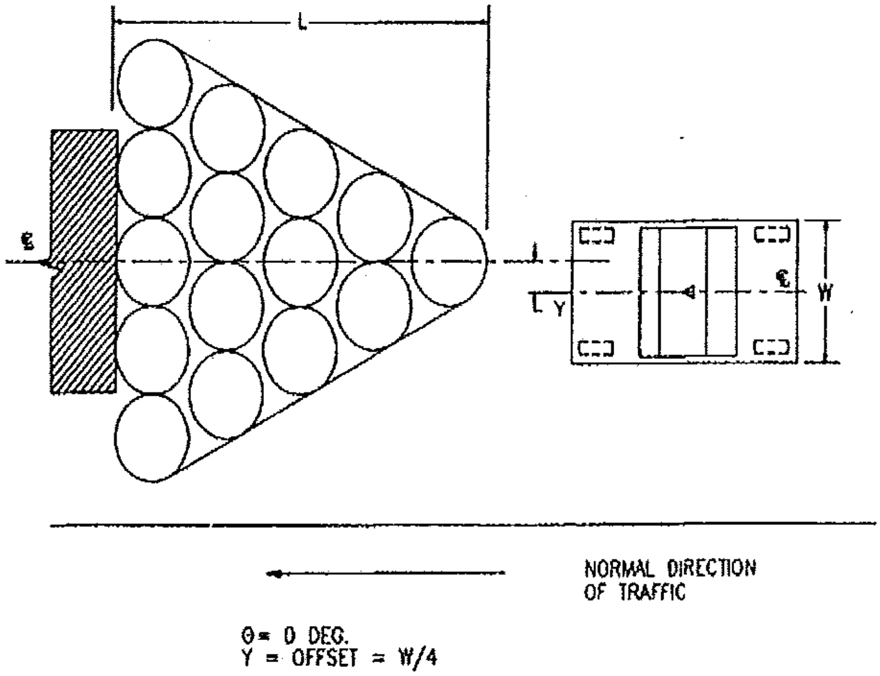
ภาพประกอบที่ 11 หลักกั้นเส้นทางจราจรตามสิทธิบัตร เลขที่ WO 2005/017262 A2 (ก) แสดงลักษณะภายนอกของหลักกั้นเส้นทางจราจร (ข) แสดงลักษณะภายในของหลักกั้นเส้นทางจราจร (ค) แสดงความสามารถหักงอได้ของหลักกั้นเนทางจราจร(Clark and Coyle, 2005)

2.13 การทดสอบคุณสมบัติของหลักกั้นเส้นทางจราจร

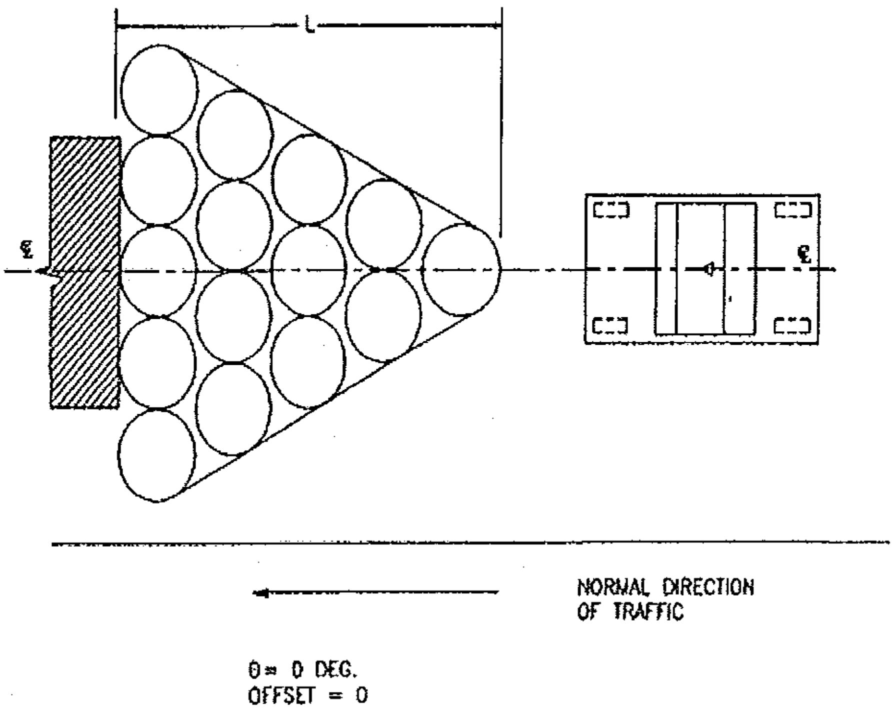
สำหรับการทดสอบผลิตภัณฑ์หลักกั้นเส้นทางจราจร สามารถปฏิบัติได้ตามวิธีทดสอบ national cooperative highway research program report 350 (Ross *et al.*, 1993) การทดสอบตามหน่วยงาน oregon depart of transportation (Oregon Department of Tranportation, 2004) ทดสอบตามสิทธิบัตร เลขที่ 5,066,163 (Whitater, 1990) และ ตามวิธีทดสอบของหน่วยงาน OPSS 2012 (Ontario Provincial Sandard Specification, 1984)โดยเนื้อหาจะกล่าวถึงการประเมินศักยภาพความปลอดภัยของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการจราจรบนทางหลวงและจะครอบคลุมถึงขั้นตอนการทดสอบและเกณฑ์การประเมินผลการทดสอบการชน

2.13.1 การทดสอบหลักกั้นเส้นทางจราจรตามวิธี National cooperative highway research program report 350: NCHRP-350

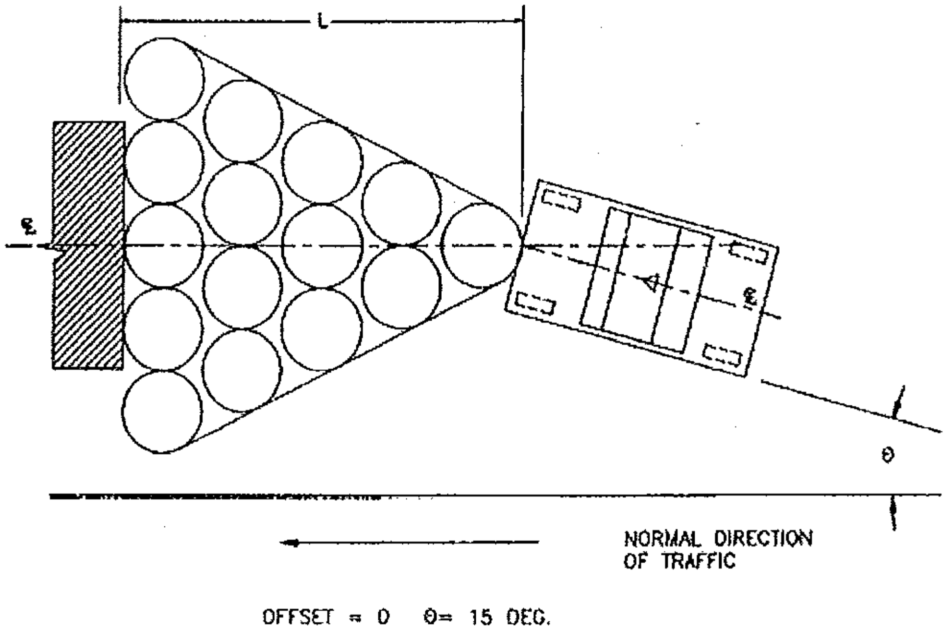
การทดสอบการชนหลักกันกระแทกตามวิธีทดสอบ NCHRP-350 จะทดสอบด้วยรถยนต์รุ่นต่างๆ โดยวิธีการทดสอบสามารถอธิบายได้ดังนี้ รถยนต์พุ่งเข้าชนหลักกันกระแทกด้วยความเร็ว ทิศทางการเอียงทำมุมกับขอบถนน และตำแหน่งการชนต่างๆ หลังจากนั้นประเมินความเสียหายที่เกิดขึ้น แสดงดังภาพประกอบที่ 12


L
℄
Y
℄
W
NORMAL DIRECTION
OF TRAFFIC
θ= 0 DEG.
Y = OFFSET = W/4

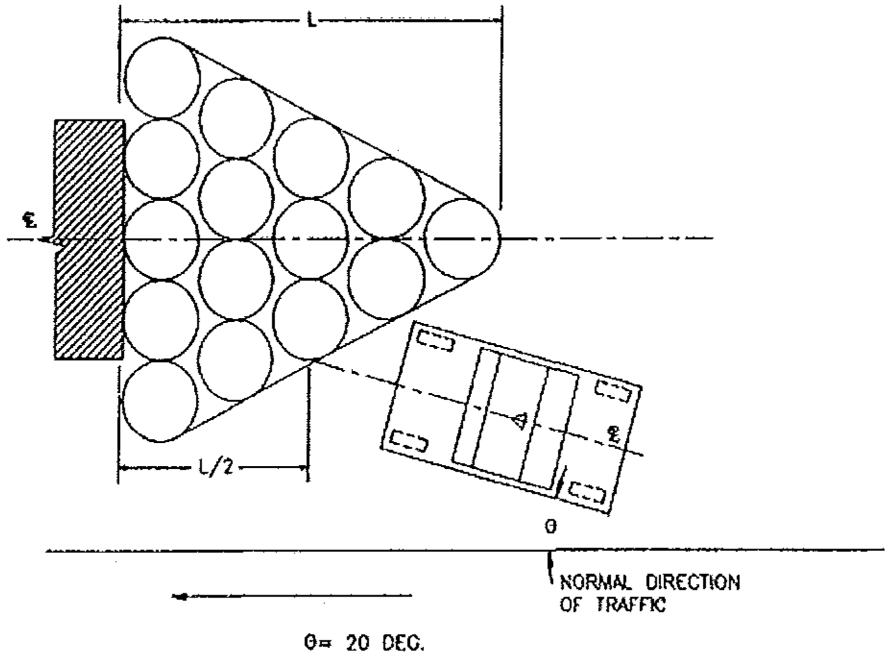
(ก)


L
℄
℄
NORMAL DIRECTION
OF TRAFFIC
θ= 0 DEG.
OFFSET = 0

(ข)



(ค)



(ง)

ภาพประกอบที่ 12 (ก) การทดสอบการชนหลักกันกระแทกตามวิธีทดสอบ NCHRP-350 ด้วย
รถยนต์รุ่น 700C รถยนต์พุ่งเข้าชนทำมุม 90 องศา กับตัวอย่างทดสอบ

และทำมุม 0 องศา กับขอบถนน ด้วยความเร็วค่าหนึ่ง เกิดการกระแทกระหว่างตำแหน่งกึ่งกลางของหลักกันกระแทกกับ ตำแหน่งด้านขวาจากแกนกลางของรถยนต์

(ข) การทดสอบการชนหลักกันกระแทกตามวิธีทดสอบ NCHRP-350 ด้วยรถยนต์รุ่น 700C รถยนต์พุ่งเข้าชนทำมุม 90 องศา กับตัวอย่างทดสอบและทำมุม 0 องศา กับขอบถนนด้วยความเร็วค่าหนึ่ง เกิดการกระแทกระหว่างตำแหน่งกึ่งกลางของหลักกันกระแทกกับตำแหน่งกึ่งกลางของรถยนต์

(ค) การทดสอบการชนหลักกันกระแทกตามวิธีทดสอบ NCHRP-350 ด้วยรถยนต์รุ่น 700C รถยนต์พุ่งเข้าชนทำมุม 90 องศา กับตัวอย่างทดสอบและทำมุม 15 องศา กับขอบถนน ด้วยความเร็วค่าหนึ่ง เกิดการกระแทกระหว่างตำแหน่งกึ่งกลางของหลักกันกระแทกกับตำแหน่งกึ่งกลางของรถยนต์

(ง) การทดสอบการชนหลักกันกระแทกตามวิธีทดสอบ NCHRP-350 ด้วยรถยนต์รุ่น 700C รถยนต์พุ่งเข้าชนทำมุม 90 องศา กับตัวอย่างทดสอบและทำมุม 20 องศา กับขอบถนน ด้วยความเร็วค่าหนึ่ง เกิดการกระแทกระหว่างตำแหน่งด้านข้างของหลักกันกระแทกกับตำแหน่งกึ่งกลางของรถยนต์ (Ross *et al.*, 1993)

โดยทำการประเมินความแรงของการชนกระแทก จากสมการที่ 1 (Ross *et al.*, 1993)

$$IS=\left(\frac{1}{2}\right)M(V\sin\theta)^2 \qquad (1)$$

โดยที่ IS คือ ความแรงของการชนกระแทก มีหน่วยเป็น จูล (J)

M คือ น้ำหนักของรถยนต์และผู้ขับขี่ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

V คือ ความเร็วของรถยนต์ มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที (m/s)

θ คือ มุมการชน (ทำมุมกับตัวอย่างทดสอบ) มีหน่วยเป็น ดีกรี (deg)

2.13.2 การทดสอบหลักกั้นเส้นทางจราจรตามสิทธิบัตรของสหรัฐอเมริกา เลขที่ 5,066,163 (Whitaker, 1990)

สามารถแบ่งขั้นตอนการทดสอบออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

2.13.2.1 การทดสอบความทนต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำ (Low temperature impact resistance)

เป็นการทดสอบความทนต่อแรงกระแทกของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่อุณหภูมิต่ำ -17.2 ถึง -12.22 องศาเซลเซียส (1-10 °F) เมื่อถูกกระแทกด้วยลูกตุ้มเหล็กหนักประมาณ 90.71 กิโลกรัม (200 ปอนด์) สูงจากพื้น 6 เมตร โดยการทดสอบต้องทำทันทีหลังจากนำหลักกั้นเส้นทางจราจรออกมาจากห้องควบคุมอุณหภูมิ

เกณฑ์การประเมินผล คือ หลังจากทำการทดสอบครบ 10 ครั้ง หลักกั้นเส้นทางจราจรต้องไม่มีรอยแตกร้าวหรือฉีกขาดจึงจะยอมรับได้

2.13.2.2 การทดสอบความแข็ง (Rigidity determination)

การทดสอบความแข็งของหลักกั้นเส้นทางจราจรจะทดสอบภายใต้น้ำหนักคงที่ โดยทำการทดสอบก่อนและหลังการทดสอบความทนต่อแรงกระแทกที่อุณหภูมิต่ำ (low temperature impact resistance) โดยวิธีการทดสอบสามารถแบ่งได้เป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การทดสอบในแนวนอน โดยนำหลักกั้นเส้นทางจราจรวางลงในแนวราบบนแท่นยึดที่ทำการยึดส่วนฐานให้คงที่ และส่วนปลายให้ยื่นพ้นออกมาจากบริเวณขอบแท่นยึด จากนั้นแขวนลูกตุ้มหนัก 0.907 กิโลกรัม (2 ปอนด์) บริเวณส่วนปลาย จากนั้นปล่อยลูกตุ้มที่ยึดกับส่วนปลายหลักเกิดการโค้งงอลงมาตามแรงโน้มถ่วง สังเกตการหักงอลงมาและวัดระยะการเปลี่ยนไปจากตำแหน่งเดิมของส่วนปลายมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 2 การทดสอบในแนวตั้ง โดยเมื่อดำเนินการในขั้นตอนที่ 1 เรียบร้อยแล้ว ให้วางหลักกั้นเส้นทางจราจรในแนวตั้ง ยึดส่วนฐานให้แน่น จากนั้นผูกลูกตุ้มเหล็กน้ำหนัก 0.907 กิโลกรัม (2 ปอนด์) บริเวณส่วนปลาย สังเกตการโค้งงอลงมาและวัดระยะการเปลี่ยนไปจากตำแหน่งเดิมของส่วนปลาย เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง

2.13.2.3 การทดสอบความทนต่ออุณหภูมิ (Temperature resistance)

เป็นการทดสอบความทนต่ออุณหภูมิของหลักกั้นเส้นทางจราจร โดยสามารถอธิบายวิธีการทดสอบได้ดังนี้ หลักกั้นเส้นทางจราจรถูกเก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส (140°F) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทดสอบความทนต่ออุณหภูมิโดยการหักงอหลักกั้นเส้นทางจราจรทำมุม 90 องศา กับแกน Y เป็นเวลา 1 นาที แล้วปล่อย จากนั้นบันทึก

การเปลี่ยนแปลงและเวลาการคืนตัวกลับ ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง โดยการทดสอบต้องเริ่มทำทันทีภายในเวลา 2 นาที หลังจากนำหลักกั้นเส้นทางจราจรออกจากห้องความคุมอุณหภูมิ และต้องทดสอบให้เสร็จสิ้นภายในเวลา 7 นาที

เกณฑ์การประเมินผล คือ

1. หลังจากทำการทดสอบหักงอหลักกั้นเส้นทางจราจรในแต่ละครั้งหลักกั้นเส้นทางจราจร ต้องคืนตัวกลับไปอยู่ในตำแหน่งเดิมและไม่มีรอยแตกร้าว

2. หากเกิดรอยแตกร้าวหรือการเปลี่ยนรูปทรงผลการทดสอบถือว่าไม่สามารถยอมรับได้

2.13.3 การทดสอบหลักกั้นเส้นทางจราจรตามหน่วยงาน Ontario provincial standard specification; OPSS 2012 (OPSS, 1984)

ศึกษาเกี่ยวกับหลักกั้นเส้นทางจราจร ซึ่งประกอบด้วย วัตถุดิบ ลักษณะของหลักกั้นเส้นทางจราจร และการทดสอบคุณสมบัติ

ในส่วนของการออกแบบนั้น OPSS 2012 กล่าวว่า หลักกั้นเส้นทางจราจรควรมีคุณสมบัติความยืดหยุ่น หักงอได้ สามารถทนต่อสภาพภูมิอากาศได้ดี มากกว่า 2 ปี สามารถคืนตัวกลับได้ดีเมื่อถูกชนกระแทกด้วยรถยนต์หนัก 2,000 กิโลกรัม เมื่อทดสอบที่อุณหภูมิสูงกว่า 5 องศาเซลเซียส วัสดุที่ผลิตคือพลาสติกที่สามารถหักงอได้ ที่มีความทนต่อแรงกระแทก ทนต่อแสงอัลตราไวโอเลต โอโซน และสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

การทดสอบความทนต่อความร้อน (heat resistance test) เป็นการทดสอบความทนทานต่ออุณหภูมิของหลักกั้นเส้นทางจราจร โดยสามารถอธิบายวิธีการทดสอบได้ดังนี้ หลักกั้นเส้นทางจราจรถูกเก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส (140°F) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทดสอบความทนต่ออุณหภูมิโดยการหักงอหลักกั้นเส้นทางจราจรทำมุม 180 องศา (แตกต่างจากวิธีการทดสอบตามสิทธิบัตรของสหรัฐอเมริกา เลขที่ 5,066,163 ซึ่งกำหนดมุมหักงอ 90 องศา) กับแกน Y ที่จุดกึ่งกลางของหลักกั้นเส้นทางจราจร เป็นเวลา 1 นาที แล้วปล่อย จากนั้นบันทึกการเปลี่ยนแปลงและเวลาการคืนตัวกลับ ทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง

เกณฑ์การประเมินผล คือ หลังจากทำการทดสอบหักงอหลักกั้นเส้นทางจราจรในแต่ละครั้ง หลักกั้นเส้นทางจราจรต้องสามารถคืนตัวกลับไปยังตำแหน่งเดิมภายในเวลา 30 วินาที และผิวหน้าไม่มีรอยแตกร้าว

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พนิตา (2549) ศึกษาสูตรที่เหมาะสมสำหรับผลิตหลักกั้นเส้นทางจราจรจากยางธรรมชาติที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยทำการแปรผันปริมาณสาร อันได้แก่ เนื้อสารหลัก (ยางแท่ง เกรด 20/พอลิโพรพิลีน) สารตัวเติม (ยางรีเคลมและเขม่าดำ) สารที่ช่วยให้ของผสมเข้ากันได้ (ยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน) สารวัลคาไนซ์ (กำมะถัน) และสารป้องกันการเสื่อมสภาพ (ไดฟีนิลพาราฟีนิลีนไดเอมีน) โดยทำการทดลองผสมสารต่างๆ ด้วยเครื่องมือผสมบราเบนเดอร์พลาสติคอร์เดอร์ ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ใช้ความเร็วรอบของโรเตอร์ 50 รอบ/นาที และขึ้นรูปของผสมที่ได้ด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบอัดเบ้า ที่อุณหภูมิ 140 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงทำการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล อันได้แก่ ความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อแรงฉีกขาด ความแข็ง ความกระเด้งตัว ความสามารถในการรับพลังงาน การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ความทนทานต่อการหักงอ และความทนทานต่อสภาวะอากาศและโอโซน เพื่อวิเคราะห์หาสูตรที่เหมาะสม โดยใช้คุณสมบัติเชิงกลด้านความทนทานต่อแรงดึงเป็นดัชนีบ่งชี้ความเหมาะสมของสูตรการทดลองเป็นหลัก ซึ่งพบว่า สูตรที่เหมาะสม คือ สูตรที่มีปริมาณยางแท่งผสมกับพอลิโพรพิลีนในอัตราส่วน 80/20, ปริมาณยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน 5 phr, ปริมาณยางรีเคลม 40 phr, ปริมาณเขม่าดำ 40 phr, ปริมาณซิงค์ออกไซด์ 5 phr, ปริมาณกรดสเตียริก 2 phr, ปริมาณไดเบนโซไทอะซิลไดซัลไฟด์ 2 phr, ปริมาณเตตระเมทิลไทยูแรมไดซัลไฟด์ 1.5 phr, ปริมาณไดฟีนิลพาราฟีนิลีนไดเอมีน 0.5 phr, ปริมาณขี้ผึ้ง 1 phr และปริมาณกำมะถัน 1 phr ซึ่งสูตรที่ได้นี้มีคุณสมบัติความทนต่อแรงดึงสูงที่สุด

สุจิรา (2548) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกจากยางธรรมชาติและพอลิโพรพิลีน โดยงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการเตรียมและสมบัติของยางธรรมชาติชนิดเทอร์โมพลาสติกระหว่างยางธรรมชาติ (NR) และพอลิโพรพิลีน (PP) หรือเรียกว่า ทีพีเอ็นอาร์ (thermoplastic natural rubber, TPNR) โดยได้เลือกสูตรผสมระหว่าง NR/PP ที่มีอัตราส่วนเท่ากับ 60/40 โดยน้ำหนัก TPNR สามารถเตรียมได้จากการนำยางธรรมชาติผสมใส่ในเครื่องผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง แล้วนำมาผสมกับ PP ในเครื่องผสมระบบปิด ที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส และความเร็วรอบโรเตอร์ 50 รอบ/นาที ด้วยเทคนิคการผสมแบบหลอมเหลว (melt blending) และการเชื่อมโยงแบบพลวัต (dynamic vulcanization) ขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดขึ้นรูป และเน้นการศึกษาผลของดรรชนีการไหล (melt flow index, MFI) ของ PP ระหว่าง MFI 3.5 และ MFI 10 และปรับปรุงสมบัติของ TPNR โดยใช้สารเชื่อมโยงไดคิวมิลเปอร์ออกไซด์ (DCP) สารตัดสายโซ่และสารช่วยผสม คือ ยางธรรมชาติที่ผ่านปฏิกิริยาการเติมไฮโดรเจน (hydrogenated natural rubber, HNR) โดยศึกษาสมบัติต่างๆ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยา

จากผลการทดลองพบว่า TPNR ที่เตรียมจาก PP MFI 3.5 และปริมาณ DCP 0.3 phr เป็นสูตรผสมที่เหมาะสมในการเตรียม TPNR จากนั้นนำไปศึกษาผลของความหนืดของยางผสมสูตรโดยการใช้สารตัดสายโซ่และผลของสารช่วยผสม HNR พบว่าการเติมสารตัดสายโซ่ทำให้สมบัติเชิงกลของ TPNR มีค่าลดลง จากการศึกษาผลของสารช่วยผสม HNR พบว่า HNR มีปริมาณ 1 และ 3 phr เป็นปริมาณที่เหมาะสมในการเตรียม TPNR ซึ่งให้ค่าความแข็งแรงดึงยังโมดูลัส และความแข็งกดมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดสูงขึ้น จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของ TPNR พบว่ามีการกระจายของ PP ใน TPNR ที่ไม่มีการเติมยาง HNR เมื่อนำ TPNR มาผ่านการขึ้นรูปใหม่ด้วยการฉีดขึ้นรูป ทำให้สมบัติเชิงกลมีค่าลดลงแต่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดสูงขึ้น จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC (differential scanning calorimeter) พบว่าการเติมสารเชื่อมโยงและสารช่วยผสม HNR ทำให้เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกของ PP ลดลง และจากการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DMTA (dynamic mechanical thermal analyzer) พบว่าให้อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Tg) สองค่า คือ ช่วงอุณหภูมิ -54 องศาเซลเซียส และ 10-20 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็น Tg ของยางผสมและ PP ตามลำดับ นอกจากนี้การศึกษาเรื่องของเวลาและขนาดของเครื่องผสมบราเบนเดอร์พลาสติคอร์เดอร์ที่ใช้ในการผสม TPNR พบว่าค่าความแข็งแรงดึงยังโมดูลัส และความแข็งกดมีค่าลดลง ในขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดมีค่าสูงขึ้นเมื่อเวลาในการผสมนานขึ้น และพบว่าเครื่องผสมขนาดใหญ่ให้ประสิทธิภาพในการผสมที่ดีกว่าเครื่องผสมขนาดเล็ก

เจริญ และคณะ (2547) ศึกษาเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากการผสมยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนโดยกระบวนการวัลคาไนซ์แบบไดนามิกซ์ กล่าวว่า เทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์เป็นวัสดุที่มีความสำคัญมากในปัจจุบัน เตรียมโดยการทำรีเอกตีฟเบลนด์ (reactive blending) ของยางและเทอร์โมพลาสติกโดยการเลือกคู่ผสมที่เหมาะสมมาทำการผสมแบบแบชโดยใช้เครื่องผสมระบบปิด หรือการผสมแบบต่อเนื่องด้วยเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ ในการเตรียมเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์โดยทั่วไปจะใช้ยางสังเคราะห์ที่มีเฟสอนุภาคเล็ก ๆ กระจายตัวอย่างต่อเนื่องในเฟสของเทอร์โมพลาสติก ในงานวิจัยนี้เลือกยางธรรมชาติหลายชนิด (ยางธรรมชาติอิพอกไซด์ ยางธรรมชาติมาลิเอต ยางธรรมชาติดิบ) ผสมกับพอลิโพรพิลีน โดยมีการดัดแปลงโมเลกุลของพอลิโพรพิลีนให้มีสภาพขั้วมากขึ้นโดยการทำปฏิกิริยากับสารมาเลอิกแอนไฮไดรด์และไดเมทิล ฟีนอลิก ทำการผสมองค์ประกอบต่าง ๆ ด้วยเครื่องผสมระบบปิด และเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ หลังจากได้คู่ผสมและอัตราส่วนการผสมที่เหมาะสมแล้วทำการวัลคาไนซ์เซชันแบบไดนามิกซ์ แล้วนำเทอร์โมพลาสติกแบบอิลาสโตเมอร์ที่เตรียมได้ไปทดลองทำการแปรรูปด้วยเทคนิคการฉีดเข้าเบ้า การอัดรีด และการอัดเบ้า

เพลินพิศ และ อัมพร (2540) ทำการศึกษาการนำผลิตภัณฑ์ยางที่เหลือใช้จากโรงงานทำยางรถยนต์มาใช้ใหม่ พบว่าจากการนำเอายางรถยนต์ที่เหลือใช้ในอุตสาหกรรมทำยางรถยนต์คือ air bag และ bladder มาผสมกับยางธรรมชาติเพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่นั้น ได้มีความพยายามนำยางที่เหลือใช้เหล่านี้มาทดแทนยางธรรมชาติให้มากที่สุด โดยนำยางที่เหลือใช้มาบดก่อนนำมาผสมกับยางธรรมชาติ พบว่าสามารถผสมกับยางธรรมชาติได้ดี แม้จะมีผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นบ้าง จากนั้นจึงนำไปทำการวัลคาไนซ์เซชันต่อไปโดยใช้อัตราส่วนของสารเคมีและชนิดของสารเคมีแตกต่างกันแยกออกเป็น 2 สูตร เพื่อเปรียบเทียบกัน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จาก 2 สูตรนี้จะมีความแข็งเพิ่มขึ้นและคุณสมบัติเชิงกลดี คือ ความทนต่อแรงดึง (tensile strength) และ ระยะยืดที่จุดขาด (elongation at break) ลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณส่วนผสมของ air bag หรือ bladder เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความทนทานต่อกรดกลับเพิ่มขึ้นและค่าการดูดน้ำลดลง นอกจากนี้ค่าการทนทานต่อการหักงอมีแนวโน้มลดลงหรือไม่เปลี่ยนแปลง ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับสูตรที่ใช้มากกว่าปริมาณยางรีเคลมที่ใช้

Hashim และ Ong (2002) ได้เตรียมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน (polystyrene modified natural rubber : SNR) ใช้เป็นสารที่ทำให้ของผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติมีความเข้ากันได้ดี และพบว่าของผสมที่เติมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีนปริมาณ 5-10% มีคุณสมบัติด้านความต้านทานต่อแรงดึงสูงกว่าของผสมที่ไม่เติมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน โดยทำการเตรียมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน จากสไตรีนปริมาณ 25% โดยน้ำหนัก และจากเนื้อยางแห้งประมาณ 75% โดยน้ำหนัก โดยให้เกิดปฏิกิริยาแบบ in situ polymerization ของสไตรีนในน้ำยางธรรมชาติที่มีการกำจัดโปรตีนออก (deproteinized natural rubberlatex: DPNR) ที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง จากนั้นทำยางให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จะได้ gum SNR และเมื่อนำยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีนไปผสมเป็นยางคอมปาวด์แล้วนำไปวัลคาไนซ์และทดสอบความทนทานต่อแรงดึงพบว่ายางที่ผสมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน จะมีค่าแรงดึงมากกว่ายางที่ไม่ผสมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน

Ismail และ Suryadiansyah (2002) ศึกษาเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์ของผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางธรรมชาติ และของผสมระหว่างพอลิโพรพิลีนกับยางที่นำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าของผสมชุดหลังมีสมบัติเชิงกลดีกว่านั่นคือมีความแข็งแรงต่อแรงดึง และยังโมดูลัสสูงกว่าของผสมในชุดแรก แต่จะมีค่าระยะยืดที่จุดขาดและความเสถียรต่อแรงบิดต่ำกว่าชุดแรก และทดสอบการแตกหักที่ผิวหน้าจากแรงดึงของของผสมชุดที่สองโดยเครื่อง scanning electron microscope (SEM) พบว่าต้องใช้พลังงานในการทำให้ชิ้นทดสอบแตกหักสูงกว่าของผสมชุดแรก

Radheshkumar และ Karger-Kocsis (2002) ได้ทำการศึกษาผลของยางรีเคลมที่มีขนาดอนุภาคอยู่ระหว่าง 0.4-0.7 มิลลิเมตร ต่อผลของผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low-density polyethylene: LDPE) เพื่อที่จะผลิตเป็นสารวัลคาไนซ์เชิงพลวัตที่เป็นเทอร์โมพลาสติก ซึ่งพบว่าการใช้ยางรีเคลมเป็นองค์ประกอบจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติความเป็นอิลาสติก (elasticity) และประสิทธิภาพเชิงกลต่อแรงดึง (tensile mechanical performance) โดยวิเคราะห์ว่าเป็นผลมาจากการพันกันระหว่างผิวหน้า (interfacial entanglement) และการเกิดร่างแหเชื่อมขวางร่วมกัน (co-cross-linking phenomena)

Malaika และ Amir (1989) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการบ่มเร่ง (aging) และคุณสมบัติเชิงกลของระบบผสมระหว่างยางธรรมชาติ ยางรีเคลม และพอลิโพรพิลีน พบว่า ผลของการแทนที่ยางธรรมชาติด้วยยางรีเคลมปริมาณครึ่งหนึ่งในของผสมระหว่างยางธรรมชาติกับ พอลิโพรพิลีนมีคุณสมบัติเชิงกลไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากนี้ของผสมระหว่างยางธรรมชาติ พอลิโพรพิลีน และ ยางรีเคลม มีพฤติกรรมคล้ายคลึงกับของผสมระหว่างยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีน คือทั้งสองระบบยังมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีอยู่เมื่อแปรรูปใหม่ได้ถึงสี่ครั้ง และยังสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงถึง 180 องศาเซลเซียส

บทที่ 3

สารเคมี อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

3.1 สารเคมี

3.1.1 กรดสเตียริก (stearic acid) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ เกรดอุตสาหกรรม จำหน่ายโดยบริษัทกิจไพบูลย์เคมี จำกัด

3.1.2 กำมะถัน (sulphur) ทำหน้าที่เป็นสารวัลคาไนซ์ เกรดอุตสาหกรรม จำหน่ายโดยบริษัทกิจไพบูลย์เคมี จำกัด

3.1.3 ขี้ผึ้ง (wax) ชื่อทางการค้า antilux ทำหน้าที่เป็นสาร antiozonant จำหน่ายโดยบริษัทกิจไพบูลย์เคมี จำกัด

3.1.4 เขม่าดำ (carbon black) เกรด N 330 ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม จำหน่ายโดยบริษัทกิจไพบูลย์เคมี จำกัด

3.1.5 แคลเซียมคลอไรด์ (calcium chloride) ผลิตโดยบริษัท May & Baker ประเทศอังกฤษ เตรียมในรูปสารละลายเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สำหรับเป็นสารช่วยจับตัวน้ำยาง

3.1.6 ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide: ZnO) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ เกรดอุตสาหกรรม จำหน่ายโดยบริษัทกิจไพบูลย์เคมี จำกัด

3.1.7 โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulphase) ผลิตโดยบริษัท Fluka Chemika ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ เตรียมในรูปสารละลายเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำหน้าที่เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ ใช้ในขั้นตอนการเตรียมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน

3.1.8 โซเดียมซัลเฟต (sodium sulphase) ผลิตโดยบริษัท Mallinckrodt Chemical Works ประเทศสหรัฐอเมริกาใช้กำจัดน้ำออกจากสไตรีนมอนอเมอร์

3.1.9 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) ผลิตโดยบริษัท Labscan Asia ประเทศไทย เตรียมในรูปสารละลายเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สำหรับใช้กำจัดสารยับยั้งปฏิกิริยาออกจากสไตรีนมอนอเมอร์

3.1.10 น้ำยางข้นชนิดแอมโมเนียสูง (high ammonia concentrated natural rubber latex) ผลิตโดยบริษัทจะนะน้ำยางข้น มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60.08 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณของแข็งทั้งหมด 61.56 เปอร์เซ็นต์

3.1.11 พอลิโพรพิลีน (polypropylene) ผลิตโดยบริษัทโกลบอลคอนเนคชั่น จำกัด มหาชน melt flow index เท่ากับ 12 กรัม/10 นาที

3.1.12 ยางแท่ง (block rubber) เกรด STR 20 จำหน่ายโดย บริษัท ลักกี้โฟร์ จำกัด

3.1.13 ยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน (polystyrene modified natural rubber: SNR) ทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เนื้อสารหลักสามารถผสมเข้ากันได้ดี เตรียมในห้องปฏิบัติการ

3.1.14 ยางรีเคลม (reclaimed rubber) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม ผลิตโดยบริษัทยูเนี่ยนพัฒนกิจ จำกัด

3.1.15 สไตรีนมอนอเมอร์ (styrene monomer) ผลิตโดยบริษัท Fluka Chemika ประเทศสวิตเซอร์แลนด์ มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.906 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

3.1.16 แอมโมเนียมเปอร์ออกไซด์ (ammonium peroxide) ผลิตโดยบริษัท Asia Pacific Specialty Chemicals ประเทศออสเตรเลีย เตรียมในรูปสารละลาย 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำหน้าที่เป็นสารตัวริเริ่ม

3.1.17 แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (ammonium hydroxide) ผลิตโดยบริษัท Mallinckrodt Baker ประเทศสหรัฐอเมริกา เตรียมในรูปสารละลายความเข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

3.1.18 DPPD (N,N′-diphenyl-p-phenylene diamine) ทำหน้าที่เป็นสาร antioxidant จำหน่ายโดย บริษัท ลักกี้โฟร์ จำกัด

3.1.19 MBTS (2,2′ dibenzothiazyl disulfide) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาเชื่อมขวาง จำหน่ายโดยบริษัท กิจไพบูลย์เคมี จำกัด

3.1.20 TMTD (tetramethylthiuram disulphide) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่งปฏิกิริยาเชื่อมขวาง จำหน่ายโดย บริษัท ลักกี้โฟร์ จำกัด

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.2.1 เครื่องมือผสมแบบปิด (internal mixer) ปริมาตรความจุ 75 ลิตร รุ่น YED-75A ประเทศไต้หวัน

3.2.2 เครื่องมือผสมแบบสองลูกกลิ้ง (two-roll mill) เส้นผ่านศูนย์กลาง 22 นิ้ว จำหน่ายโดยบริษัท Yong Fong Machinery Co. Ltd. ประเทศไต้หวัน

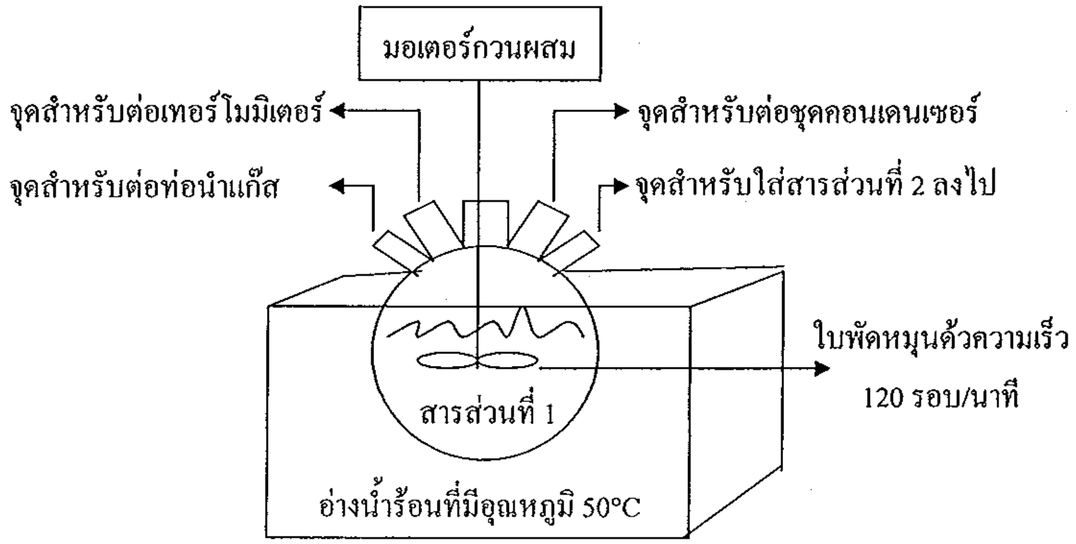
3.2.3 เครื่องมือการขึ้นรูปแบบกดอัด (compression molding) ขนาด 500 ตัน มีพื้นที่แผ่นเพลท 105×45 นิ้ว มีกำลังไฟฟ้า 82,536 วัตต์ จำหน่ายโดยบริษัท Lin Cheng ประเทศไต้หวัน

3.2.4 เครื่องมือการหาค่าเวลาคงรูป moving die rheometer รุ่น MDR 2000 (alpha technologies)

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน (polystyrene modified natural rubber: SNR) (พนิดา, 2549)

3.3.1.1 การติดตั้งอุปกรณ์ แสดงดังภาพประกอบที่ 13



ภาพประกอบที่ 13 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเตรียมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน

3.3.1.2 การเตรียมสารเคมี แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 อัตราส่วนสารเคมีสำหรับเตรียมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน (พนิตา, 2549)

สารเคมีส่วนที่ 1	
น้ำยางข้น	75 wt%
10 wt% สารละลายโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต	0.1 wt% ของสไตรีน
10 wt% สารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์	0.5 wt% ของสไตรีน
เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาณของแข็งทั้งหมด (total solid content) ให้ได้ประมาณ 40%	
สารเคมีส่วนที่ 2	
*สไตรีนมอนอเมอร์	25 wt%
2 wt% สารละลายแอมโมเนียมเปอร์ออกไซด์	0.02 wt% ของสไตรีน

3.3.1.3 วิธีการเตรียมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน

ขั้นตอนแรกทำการทดลองโดยเติมสารส่วนที่ 1 ลงในปฏิกรณ์ กวนด้วยอัตราเร็ว 120 รอบ/นาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน ควบคุมอุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเติมสารเคมีส่วนที่ 2 ที่ผสมเข้ากันดีแล้ว หยดลงในปฏิกรณ์ ปล่อยให้เกิดปฏิกิริยาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุด ลดอุณหภูมิลงที่ 30 องศาเซลเซียส จากนั้นจับตัวยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีนด้วยสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แล้วล้างด้วยน้ำสะอาด รีดยางให้เป็นแผ่น อบในตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักที่แน่นอน และจัดเก็บในอุปกรณ์ดูดความชื้น (desiccators) ที่อุณหภูมิห้อง

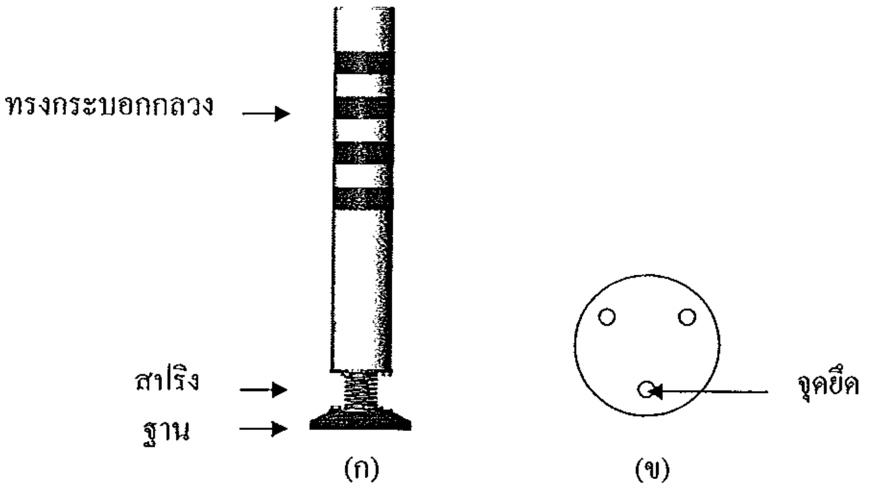
* หมายเหตุ : เนื่องจากสไตรีนมอนอเมอร์ที่มีจำหน่ายในทางการค้า มักมีการเติมสารยับยั้งเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาการพอลิเมอไรเซชันของสไตรีนมอนอเมอร์เอง การนำสไตรีนมอนอเมอร์มาใช้จึงต้องมีการสกัดสารยับยั้งออก โดยนำสไตรีนมอนอเมอร์ทางการค้าประมาณ 200 มิลลิลิตร ใส่ในกรวยแยก สารมีลักษณะเป็นของเหลวใสไม่มีสี จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ลงไปในกรวยแยกที่มีสไตรีนมอนอเมอร์อยู่แล้ว เมื่อทำการสกัดแล้วตั้งทิ้งไว้สักครู่ จะเกิดการแยกชั้นของสาร สารยับยั้งจะแยกออกมาละลายอยู่ในเฟสเดียวกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีลักษณะเป็นของเหลวมีสีชมพูอมส้มอยู่ในเฟสด้านล่าง ส่วนสไตรีนมอนอเมอร์มีลักษณะเป็น

ของเหลวสีเหลืองอยู่ในเฟสด้านบน ปล่อยสารละลายส่วนล่างออก จากนั้นเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ลงไป แล้วสกัดซ้ำอีกครั้ง หรือสกัดจนกว่าสารละลายชั้นล่างเปลี่ยนเป็นของเหลวใสไม่มีสี ปล่อยสารละลายส่วนล่างออกแล้วเทสไตรีนมอนอเมอร์ออกทางด้านบนลงในขวดรูปชมพู่ เติมสารโซเดียมซัลเฟตปริมาณ 20 กรัม ลงในขวดรูปชมพู่ที่มีสารสไตรีนมอนอเมอร์ วางทิ้งไว้พร้อมกับแกว่งเป็นครั้งคราว จากนั้นกรองสไตรีนมอนอเมอร์ด้วยการเทสารผ่านกรวยแก้วบุสำลี จะได้สไตรีนมอนอเมอร์ที่ไม่มีสารยับยั้งปลอมปน จากนั้นจัดเก็บสไตรีนมอนอเมอร์ที่ได้ ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

2.3.2 การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจร 4 รูปแบบ

จากการสืบค้นสิทธิบัตรเกี่ยวข้องกับการออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจรและมีจำหน่ายในปัจจุบัน จึงได้แนวคิดเกี่ยวกับการออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจร 4 รูปแบบ ดังนี้

2.3.2.1 การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจรแบบที่ 1 แสดงดังภาพประกอบที่ 14

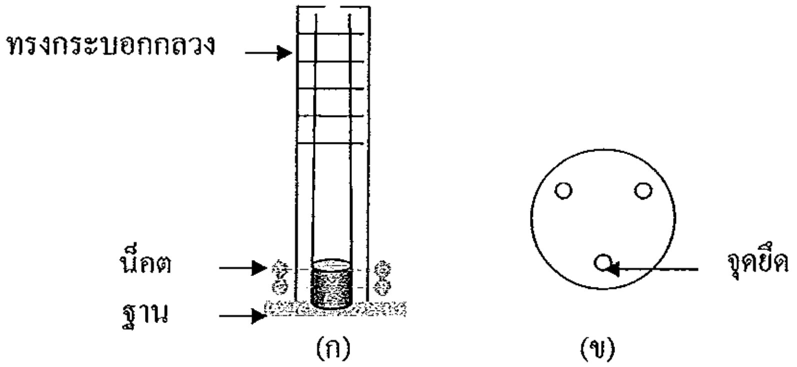


ภาพประกอบที่ 14 การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจร แบบที่ 1

จากภาพประกอบที่ 14 (ก) แสดงลักษณะของหลักกั้นเส้นทางจราจร ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นส่วนทรงกระบอกกลวงทำจากยางเทอร์โมพลาสติก ส่วนที่ 2 เป็นส่วนสปริงเหล็ก และ ส่วนที่ 3 เป็นส่วนฐานเหล็ก โดยสปริงทำหน้าที่เชื่อมต่อส่วนทรงกระบอกและส่วนฐานให้ติดกัน

จากภาพประกอบที่ 14 (ข) แสดงลักษณะส่วนฐานวงกลมมีจุดยึด 3 จุด สำหรับใส่พุกเหล็กเพื่อยึดหลักกั้นเส้นทางจราจรให้ติดกับผิวถนน และมีสปริงเป็นตัวเชื่อมระหว่างส่วนทรงกระบอกและส่วนฐาน

3.3.2.1 การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจรแบบที่ 2 แสดงดังภาพประกอบที่ 15

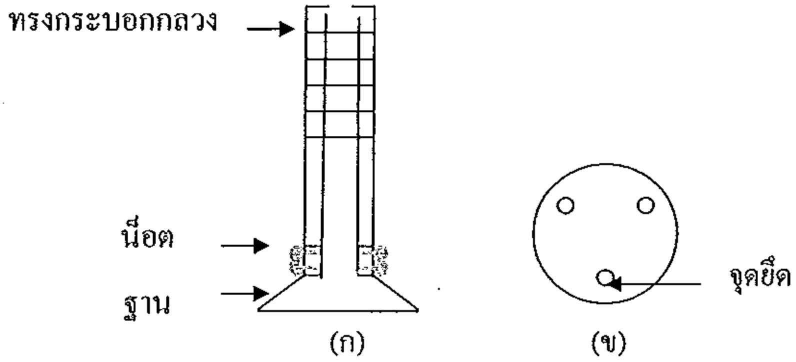


ภาพประกอบที่ 15 การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจร แบบที่ 2

จากภาพประกอบที่ 15 (ก) แสดงลักษณะของหลักกั้นเส้นทางจราจร ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นส่วนทรงกระบอกกลวงผลิตจากยางเทอร์โมพลาสติก และ ส่วนที่ 2 เป็นส่วนฐานเหล็ก ทั้งสองส่วนยึดติดกันด้วยน็อตจำนวน 4 ตัว

จากภาพประกอบที่ 15 (ข) แสดงลักษณะส่วนฐานวงกลม (ภาพมองจากด้านล่าง) มีจุดยึด 3 จุด สำหรับใส่พุกเหล็กเพื่อยึดหลักกั้นเส้นทางจราจรให้ติดกับผิวถนน

2.3.2.3 การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจรแบบที่ 3 แสดงดังภาพประกอบที่ 16

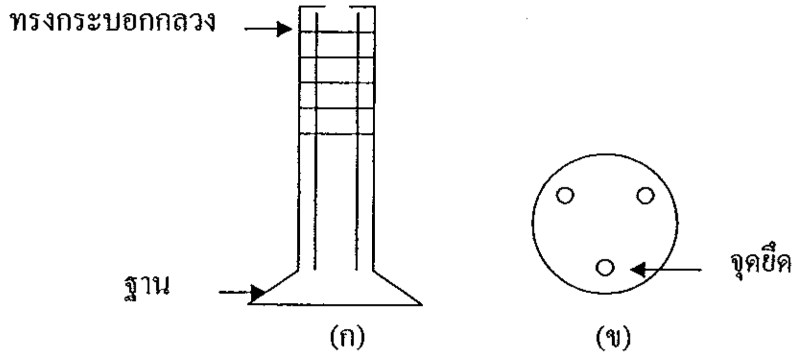


ภาพประกอบที่ 16 การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจร แบบที่ 3

จากภาพประกอบที่ 16 (ก) แสดงลักษณะของหลักกั้นเส้นทางจราจร ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 เป็นส่วนทรงกระบอกกลวง และ ส่วนที่ 2 เป็นส่วนฐาน โดยทั้งสองส่วนผลิตจากยางเทอร์โมพลาสติกและยึดติดกันด้วยน็อตจำนวน 4 ตัว

จากภาพประกอบที่ 16 (ข) แสดงลักษณะส่วนฐานวงกลม (ภาพมองจากด้านล่าง) มีจุดยึด 3 จุด สำหรับใส่พุกเหล็กเพื่อยึดหลักกั้นเส้นทางจราจรให้ติดกับผิวถนน

2.3.2.4 การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจรแบบที่ 4 แสดงดังภาพประกอบที่ 17



ภาพประกอบที่ 17 การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจร แบบที่ 4

จากภาพประกอบที่ 17 (ก) แสดงลักษณะของหลักกั้นเส้นทางจราจร ประกอบด้วยส่วนเสาทรงกระบอกกลวงยึดติดเป็นส่วนเดียวกันกับส่วนฐาน โดยทั้งสองส่วนจะผลิตจากยางเทอร์โมพลาสติก

จากภาพประกอบที่ 17 (ข) แสดงลักษณะส่วนฐานวงกลม (ภาพมองจากด้านล่าง) มีจุดยึด 3 จุด สำหรับใส่พุกเหล็กเพื่อยึดหลักกั้นเส้นทางจราจรให้ติดกับผิวถนน

แสดงการวิเคราะห์และเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของหลักกั้นเส้นทางจราจรทั้ง 4 แบบ ดังตารางที่ 7

วิเคราะห์ด้านความปลอดภัยต่อยานพาหนะและผู้ขับขี่ของหลักกั้นเส้นทางจราจรทั้ง 4 แบบ อาจกล่าวได้ว่าแบบที่ 4 น่าจะมีความปลอดภัยมากที่สุด เนื่องจากมีลักษณะเป็นเสาทรงกระบอกกลวงยึดติดเป็นส่วนเดียวกันกับส่วนฐานโดยไม่มีอุปกรณ์เชื่อมต่อจึงไม่มีปัญหาเรื่องของอุปกรณ์เหล่านั้นหลุดและกระแทกกับรถยนต์ ส่วนแบบที่ 1, 2 และ 3 อาจก่อให้เกิดความเสียหายภายหลังการชนกระแทกได้เนื่องจากมีอุปกรณ์การเชื่อมต่อ เช่น น็อต และสปริง เป็นส่วนประกอบ

วิเคราะห์ด้านความสามารถในการคืนตัวกลับของหลักกั้นเส้นทางจราจรทั้ง 4 แบบ ภายหลังการถูกชนกระแทก อาจแบ่งพิจารณาได้เป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 จุดหักงอเป็นส่วนสปริง ดังแบบที่ 1 และกรณีที่ 2 จุดหักงอเป็นส่วนยางเทอร์โมพลาสติก ดังแบบที่ 2, 3 และ 4 ความสามารถในการคืนตัวกลับกรณีที่ 1 น่าจะดีกว่ากรณีที่ 2 แต่อย่างไรก็ตามกรณีที่ 1 ยังมีความ

เสี่ยงต่อการเกิดอันตรายกับยานพาหนะอันเนื่องจากชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อซึ่งก่อให้เกิดอันตรายต่อรถยนต์และผู้ขับขี่ภายหลังการถูกชน ส่วนกรณีที่ 2 ความสามารถในการคืนตัวกลับอาจมีความเท่าเทียมกันเนื่องจากจุดหักงอเป็นยางเทอร์โมพลาสติก แต่แบบที่ 2 และ 3 ยังมีความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายกับยานพาหนะอันเนื่องจากชุดอุปกรณ์เชื่อมต่อ

วิเคราะห์ด้านต้นทุนอุปกรณ์การผลิตของหลักกั้นเส้นทางจราจรทั้ง 4 แบบ อาจแจกแจงได้ดังนี้ แบบที่ 1 ต้นทุนการผลิตประกอบด้วย การสร้างแม่พิมพ์ทรงกระบอก, การสร้างฐานเหล็ก และ อุปกรณ์เสริม เช่น สปริงและน็อต แบบที่ 2 ต้นทุนประกอบด้วย การสร้างแม่พิมพ์ทรงกระบอก, การสร้างฐานเหล็ก และ อุปกรณ์เสริม แบบที่ 3 ต้นทุนประกอบด้วย การสร้างแม่พิมพ์ทรงกระบอก, แม่พิมพ์ส่วนฐาน และ อุปกรณ์เสริม แบบที่ 4 ต้นทุนประกอบด้วย การสร้างแม่พิมพ์ทรงกระบอกซึ่งยึดติดเป็นส่วนเดียวกับส่วนฐาน ไม่มีค่าใช้จ่ายในเรื่องอุปกรณ์เสริมจึงสามารถลดต้นทุนอุปกรณ์การผลิตลงได้ทางหนึ่ง

วิเคราะห์ด้านความยากง่ายในการขึ้นรูปของหลักกั้นเส้นทางจราจรทั้ง 4 แบบ ขั้นตอนการขึ้นรูปในส่วนของทรงกระบอกกลวงตามแบบที่ 1, 2 และ 3 นั้นมีลักษณะเช่นเดียวกันกัน เนื่องจากมีรูปทรงลักษณะเช่นเดียวกัน ภายหลังการอัดขึ้นรูปจึงนำส่วนทรงกระบอกกลวงและส่วนฐานประกอบเข้าด้วยกันด้วยอุปกรณ์เชื่อมต่อ ส่วนแบบที่ 4 มีขั้นตอนการขึ้นรูปในส่วนของทรงกระบอกกลวงและส่วนฐานพร้อมกันเนื่องจากทั้งสองส่วนยึดติดเป็นชิ้นเดียวกันจึงอาจมีปัญหาเรื่องยางไหลไม่เต็มแม่พิมพ์ แต่สามารถแก้ไขได้โดยการตัดชิ้นยางเทอร์โมพลาสติกเป็นชิ้นขนาดเล็กๆ และใช้เทคนิคการจัดเรียงให้เนื้อยางให้มีความสม่ำเสมอทั่วทุกพื้นที่ของแม่พิมพ์ก่อนการอัดขึ้นรูป

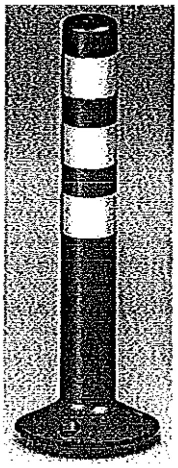
วิเคราะห์ด้านระยะเวลาการประกอบชิ้นงานของหลักกั้นเส้นทางจราจรทั้ง 4 แบบ พบว่าแบบที่ 4 ไม่ต้องประกอบชิ้นงาน สามารถลดระยะเวลาการผลิตซึ่งจะก่อให้เกิดผลดีแก่โรงงานได้เป็นอย่างดี

จากการวิเคราะห์ข้อดีและข้อเสียด้านความปลอดภัยต่อยานพาหนะและผู้ขับขี่ ความสามารถคืนตัวกลับ ต้นทุนอุปกรณ์การผลิตและอุปกรณ์เชื่อมต่อ ความยากง่ายในการขึ้นรูป และระยะเวลาการประกอบชิ้นงาน พบว่าหลักกั้นเส้นทางจราจรแบบที่ 4 น่าจะมีความเหมาะสมต่องานวิจัยในครั้งนี้ ดังนั้นหลักกั้นเส้นทางจราจรแบบที่ 4 จึงถูกเลือกเป็นแบบสำหรับผลิตและทดสอบคุณสมบัติของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตจากยางธรรมชาติ

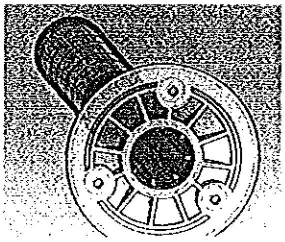
ตารางที่ 7 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของหลักกั้นเส้นทางจราจร4 แบบ

แบบที่	ข้อดี	ข้อเสีย
1	1. สามารถคืนตัวกลับได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากความยืดหยุ่นของสปริง 2. สิ้นเปลืองต้นทุนการจัดสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูปยางเทอร์โมพลาสติกเพียงชุดเดียว	1. มีความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายกับยานพาหนะอันเนื่องจากอุปกรณ์เชื่อมต่อ 2. สิ้นเปลืองต้นทุนด้านอุปกรณ์เชื่อมต่อ 3. สิ้นเปลืองต้นทุนการจัดสร้างฐานเหล็ก 4. สิ้นเปลืองเวลาการประกอบชิ้นงาน
2	1. สามารถคืนตัวกลับได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากความยืดหยุ่นของยางเทอร์โมพลาสติก 2. สิ้นเปลืองต้นทุนการจัดสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูปยางเทอร์โมพลาสติกเพียงชุดเดียว	1. มีความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายกับยานพาหนะอันเนื่องจากอุปกรณ์เชื่อมต่อ 2. สิ้นเปลืองต้นทุนด้านอุปกรณ์เชื่อมต่อ 3. สิ้นเปลืองต้นทุนการจัดสร้างฐานเหล็ก 4. สิ้นเปลืองเวลาการประกอบชิ้นงาน
3	1. สามารถคืนตัวกลับได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากความยืดหยุ่นของยางเทอร์โมพลาสติก 2. ไม่สิ้นเปลืองต้นทุนการจัดสร้างฐานเหล็ก	1. มีความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายกับยานพาหนะอันเนื่องจากอุปกรณ์เชื่อมต่อ 2. สิ้นเปลืองต้นทุนการจัดสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูปยางเทอร์โมพลาสติก 2 ชุด 3. สิ้นเปลืองต้นทุนด้านอุปกรณ์เชื่อมต่อ 4. สิ้นเปลืองเวลาการประกอบชิ้นงาน
4	1. มีความเสี่ยงต่อการเกิดอันตรายกับยานพาหนะอันเนื่องจากอุปกรณ์เชื่อมต่อน้อยกว่าแบบที่ 1, 2 และ 3 2. สามารถคืนตัวกลับได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากความยืดหยุ่นของยางเทอร์โมพลาสติก 3. สิ้นเปลืองต้นทุนการจัดสร้างแม่พิมพ์ขึ้นรูปยางเทอร์โมพลาสติกเพียงชุดเดียว 4. ไม่สิ้นเปลืองต้นทุนด้านอุปกรณ์เชื่อมต่อ 5. ไม่สิ้นเปลืองต้นทุนการจัดสร้างฐานเหล็ก 6. ไม่สิ้นเปลืองเวลาการประกอบชิ้นงาน	1. อาจมีปัญหาเรื่องการขึ้นรูปยางเทอร์โมพลาสติกเนื่องจากแม่พิมพ์มีส่วนทรงกระบอกและส่วนฐานเชื่อมต่อเป็นชุดเดียวกัน

แสดงภาพสามมิติของหลักกั้นเส้นทางจราจรแบบที่ 4 ดังภาพประกอบที่ 18



(ก)



(ข)

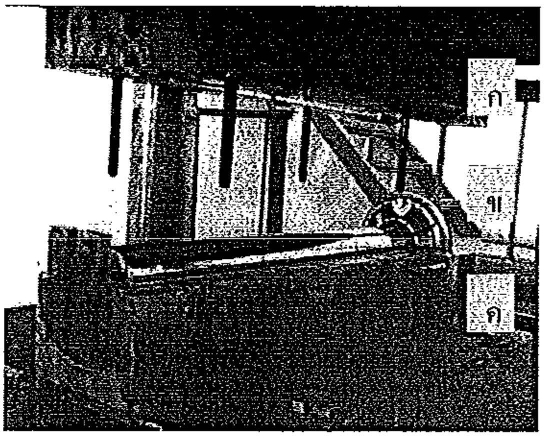
ภาพประกอบที่ 18 แบบหลักกั้นเส้นทางจราจรที่เขียนแบบด้วยโปรแกรม ภาพสามมิติ (solid work program)

จากภาพประกอบที่ 18 (ก) แสดงหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นทรงกระบอกกลวงและส่วนที่เป็นฐาน โดยทั้งสองส่วนเชื่อมต่อเป็นชิ้นเดียวกัน หลักกั้นเส้นทางจราจรมีความสูง 750 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 80 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 70 มิลลิเมตร บริเวณส่วนบนของทรงกระบอกกลวงมีช่องระบายอากาศ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 25 มิลลิเมตร และ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 15 มิลลิเมตร

จากภาพประกอบที่ 18 (ข) แสดงลักษณะภายในของส่วนทรงกระบอกกลวงโดยออกแบบให้มีลักษณะเป็นกระดูกงูเพื่อเสริมความแข็งแรงและเพิ่มความสามารถในการคืนตัวกลับให้กับหลักกั้นเส้นทางจราจร บริเวณส่วนฐานออกแบบให้มีลักษณะเป็นวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 200 มิลลิเมตร ส่วนฐานมีจุดยึด 3 จุด สำหรับใส่พุกเหล็กขนาด M10 (3/8 นิ้ว) เพื่อยึดหลักกั้นเส้นทางจราจรให้ติดกับถนนผิวถนน สำหรับมิติต่างๆของหลักกั้นเส้นทางจราจรแสดงใน ภาคผนวก จ

3.3.3 การจัดสร้างแม่พิมพ์หลักกั้นเส้นทางจราจรแบบที่ 4

แม่พิมพ์ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ แม่พิมพ์ตัวบน แม่พิมพ์ตัวกลาง และแม่พิมพ์ตัวล่าง แสดงดังภาพประกอบที่ 19



ภาพประกอบที่ 19 แม่พิมพ์หลักกั้นเส้นทางจราจร (ก) แม่พิมพ์ตัวบน (ข) แม่พิมพ์ตัวกลาง (ค) แม่พิมพ์ตัวล่าง

3.3.4 การเตรียมยางเทอร์โมพลาสติกสำหรับขึ้นรูปหลักกั้นเส้นทางจราจร

สูตรการเตรียมยางเทอร์โมพลาสติกสำหรับขึ้นรูปหลักกั้นเส้นทางจราจรแสดงดังตารางที่ 8 โดยในขั้นตอนแรกหลอมพอลิโพรพิลีนในเครื่องผสมแบบปิด (internal mixer) ที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส อัตราเร็วของโรเตอร์ 50 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นเติมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน ลงไปผสม 3 นาที เติมยางแท่งเกรด 20 ลงไปผสมจนของผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันเป็นเวลา 10 นาที เติมยางรีเคลมลงไปผสมต่อ 4 นาที หลังจากนั้นเติม เขม่าดำ ขี้ผึ้ง ซิงออกไซด์ และ กรดสเตรียริก ลงไปในเครื่องผสมตามลำดับ ทำการผสมต่ออีก 10 นาที ขั้นตอนที่สองเป็นการนำของผสมที่ได้ไปรีดเป็นแผ่นบางในเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง (two roll-mill) เติมสาร MBTS, DPPD, TMTD และ กำมะถัน ลงไปผสมตามลำดับ เมื่อสารผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันจะได้แผ่นยางเทอร์โมพลาสติก จัดเก็บยางเทอร์โมพลาสติกในอุปกรณ์ควบคุมความชื้นเพื่อรอการนำไปอัดขึ้นรูปด้วยวิธีการอัดเบ้า (compression molding) และนำยางเทอร์โมพลาสติกบางส่วนไปทดสอบหาค่า cure time ด้วยเครื่อง moving die rheometer (MDR) (แสดงคำนวณปริมาณสารในภาคผนวก ข และแสดงคุณสมบัติของยางเทอร์โมพลาสติกแสดงในภาคผนวก ค)

ตารางที่ 8 แสดงสูตรการเตรียมยางเทอร์โมพลาสติก (พนิดา, 2548)

สาร	ทำหน้าที่	phr
NR (natural rubber)	เนื้อสารหลัก	80
PP (polypropylene)	เนื้อสารหลัก	20
SNR (polystyrene-modified natural rubber)	สารช่วยผสม	5
RR (reclaimed rubber)	สารตัวเติม	40
CB (carbon black)	สารตัวเติม	40
ZnO (zinc oxide)	สารกระตุ้น	5
stearic acid	สารกระตุ้น	2
MBTS (2,2-dibenzothiazyl disulfide)	สารตัวเร่ง	2
TMTD (tetramethylthiuram disulphide)	สารตัวเร่ง	1.5
DPPD (N, N-diphenyl-p-phenylenediamine)	สารป้องกันการเสื่อมสภาพ	0.5
wax	สารป้องกันการเสื่อมสภาพ	1.0
S (sulphur)	สารวัลคาไนซ์	1.0

3.3.5 การขึ้นรูปหลักกั้นเส้นทางจราจร

เปิดเครื่องอัดและตั้งอุณหภูมิของเครื่องที่ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 200 ปอนด์/ตารางนิ้ว เพื่ออุ่นแม่พิมพ์ เมื่อแม่พิมพ์มีอุณหภูมิตามกำหนด ชั่งยางเทอร์โมพลาสติกให้มีน้ำหนักประมาณ 2 กิโลกรัม วางลงในแม่พิมพ์ จากนั้นนำแม่พิมพ์เข้าเครื่องอัด เริ่มดำเนินทำการอัดขึ้นรูปยางเทอร์โมพลาสติกและไล่อากาศ 2-3 ครั้ง จึงปล่อยให้ยางสุกตามเวลา cure time ซึ่งเท่ากับ 30 นาที เมื่อเวลาครบตามกำหนด ให้นำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ตัดแต่งให้สวยงาม จากนั้นนำไปเจาะรูบริเวณส่วนฐานทั้ง 3 รู และติดแถบสะท้อนแสงเพื่อให้มีความสามารถในการมองเห็นได้ดีในเวลากลางคืน

3.3.6 การทดสอบคุณสมบัติของหลักกั้นเส้นทางจราจร

3.3.6.1 ทดสอบคุณสมบัติความทนต่ออุณหภูมิ (Temperature resistance)

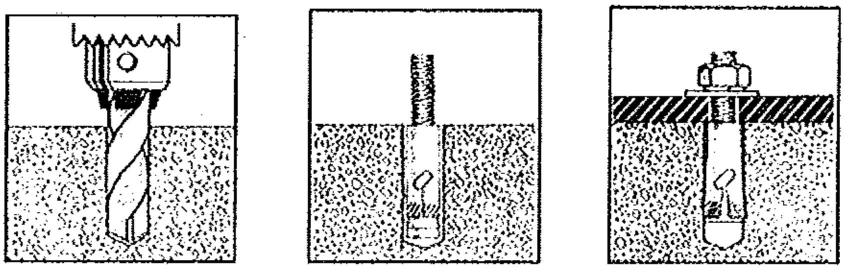
วิธีการทดสอบนี้ดัดแปลงมาจากสิทธิบัตรของสหรัฐอเมริกา เลขที่ 5,066,163 เป็นการทดสอบความทนต่ออุณหภูมิ ซึ่งเป็นการวัดความทนของหลักกั้นเส้นทางจราจรเมื่อถูกหักงอทำมุม 90 องศา กับแกน Y ที่อุณหภูมิ 5, 15, 25, 35, 45 และ 60 องศาเซลเซียส โดยแต่ละอุณหภูมิจะทำ

การหักงอที่ตำแหน่ง 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 เซนติเมตร (ระยะนี้วัดจากส่วนฐานขึ้นไป) โดยสามารถแบ่งการทดลองออกเป็นสามขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่หนึ่ง เตรียมฐานซีเมนต์ขนาด ความกว้าง 30 เซนติเมตร ความยาว 30 เซนติเมตร และความสูง 10 เซนติเมตร เจาะรูฐานซีเมนต์ ด้วยสว่านเบอร์ 11 จำนวน 3 รู แต่ละรูมีความห่างเท่ากับระยะห่างของรูที่ส่วนฐานของหลักกั้นเส้นทางจราจร จากนั้นสอดใส่พุกเหล็กเข้าไปในรู ให้ปลอกเสมอรูผิวซีเมนต์ แสดงดังภาพประกอบที่ 20

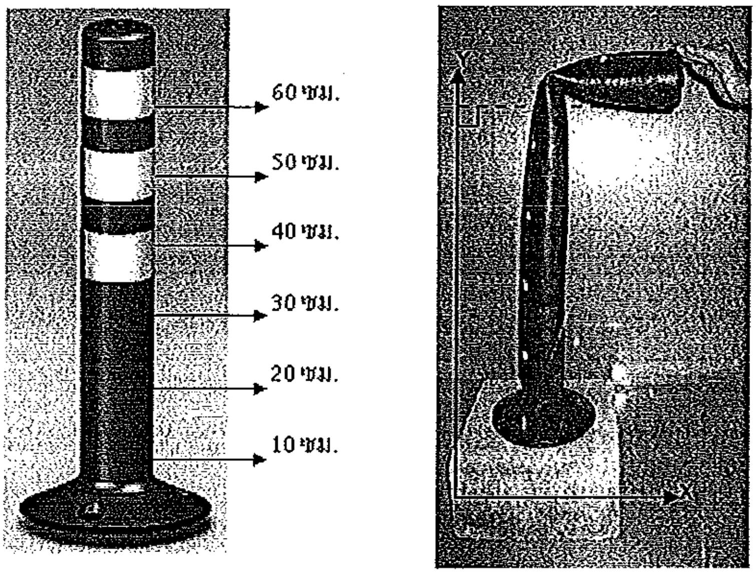
ขั้นตอนที่สอง แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 6 ชุด คือ ชุดที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 แต่ละชุดทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 5, 15, 25, 35, 45 และ 60 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งแต่ละชุดการทดลองประกอบด้วยหลักกั้นเส้นทางจราจรจำนวน 1 ชิ้น โดยหลักกั้นเส้นทางจราจรทั้ง 6 ชุด จะถูกกำหนดตำแหน่งที่ถูกหักงอ จำนวน 6 ตำแหน่ง คือ 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 เซนติเมตร (ระยะห่างจากส่วนฐานขึ้นไป) แสดงดังภาพประกอบที่ 21(ก)

ขั้นตอนที่สาม นำหลักกั้นเส้นทางจราจรชุดที่ 1 เก็บในห้องควบคุมอุณหภูมิที่ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำมาติดตั้งกับฐานที่เตรียมไว้ในขั้นตอนที่หนึ่ง วางหลักกั้นเส้นทางจราจรตามตำแหน่งรูที่เจาะ ใส่แหวนสปริงสลักเกลียวตัวเมียแล้วขันให้แน่นปลอกของพุกเหล็กจะยึดติดแน่นกับรูฐานซีเมนต์ แสดงดังภาพประกอบที่ 21(ข) การทดสอบการหักงอต้องทำการทดสอบทันที ภายในเวลา 2 นาที หลังจากนำหลักกั้นเส้นทางจราจรออกจากห้องควบคุมอุณหภูมิ โดยขั้นตอนการหักงอสามารถอธิบายได้ดังนี้ จับส่วนปลายของหลักกั้นเส้นทางจราจรเพื่อให้เกิดการหักงอทำมุม 90 องศา กับแกน Y (ขนานกับพื้นซึ่งกำหนดให้เป็นแกน X) ที่ตำแหน่ง 10 เซนติเมตร เป็นเวลา 1 นาที แล้วปล่อย บันทึกการเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร คือ จำนวนรอยแตกร้าว, เวลาการคืนตัวกลับ, มุมของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่กระทำกับแกน X แล้วทำการหักงอซ้ำอีกจำนวน 4 ครั้ง จากนั้นจึงทำการหักงอที่ตำแหน่ง 20, 30, 40, 50 และ 60 เซนติเมตร ตามลำดับ ทำการทดองเช่นเดียวกันนี้กับตัวอย่างชุดที่ 2 ถึง 6 โดยแต่ละชุดการทดลองต้องเสร็จสิ้นภายในเวลา 7 นาที หลังจากนำหลักกั้นเส้นทางจราจรออกจากห้องควบคุมอุณหภูมิ



(ก) (ข) (ค)

ภาพประกอบที่ 20 การเจาะรูและใส่พุกเหล็กลงไปในซีเมนต์ (ก) เจาะรูด้วยสว่าน (ข) การใส่พุกเหล็กเข้าไปในรู (ค) การใส่แหวนสปริงสลักเกลียวตัวเมียหลังติดตั้งหลักกั้นเส้นทางจราจร



(ก) (ข)

ภาพประกอบที่ 21 การทดสอบความทนต่ออุณหภูมิของหลักกั้นเส้นทางจราจร (ก) การแบ่งตำแหน่งจุดหักงอ (ข) การหักงอทำมุม 90 องศา กับแกน Y

2.3.6.2 การทดสอบคุณสมบัติความทนต่อการชนกระแทก (Impact resistance)

วิธีการทดสอบนี้ดัดแปลงมาจาก national cooperative highway research program report 350; NCHRP-350 โดยแบ่งชุดการทดลองออกเป็น 6 ชุด คือ ชุดที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 โดยทดสอบความทนต่อการชนกระแทกที่ความเร็ว 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ สามารถแบ่งการทดลองออกเป็นสามขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่หนึ่ง นำหลักกั้นเส้นทางจราจรชุดที่ 1 ติดตั้งบนผิวถนนโดยทำการเจาะรูถนนด้วยสว่านเบอร์ 11 จำนวน 3 รู แต่ละรูมีความห่างเท่ากับระยะห่างของรูที่ส่วนฐานของหลักกั้นเส้นทางจราจร จากนั้นสอดใส่พุกเหล็กเข้าไปในรูถนน ให้ปลอกเสมอรูผิวถนน วางหลักกั้นเส้นทางจราจรตามตำแหน่งรูที่เจาะ ใส่แหวนสปริงสลักเกลียวตัวเมียแล้วขันให้แน่น ปลอกของพุกเหล็กจะยึดติดแน่นกับรูถนน แสดงดังภาพประกอบที่ 20

ขั้นตอนที่สอง นำหลักกั้นเส้นทางจราจรติดตั้งบนผิวถนน ทดสอบความทนต่อแรงการชนกระแทก โดยทราบน้ำหนักรถและน้ำหนักผู้ขับขี่ที่แน่นอน (ในงานวิจัยนี้ใช้รถยนต์น้ำหนัก 1,800 กิโลกรัม น้ำหนักผู้ขับขี่ 75 กิโลกรัม) วิ่งขนานกับขอบถนน (รถทำมุม 90 องศากับหลักกั้นเส้นทางจราจร) แสดงดังภาพประกอบที่ 22 รถวิ่งที่ความเร็ว 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง พุ่งเข้าชนหลักกั้นเส้นทางจราจร โดยให้ตำแหน่งที่เกิดการชนกระแทกคือตำแหน่งกึ่งกลางของรถยนต์ แสดงดังภาพประกอบที่ 23 หลังจากถูกชนทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจรและรถยนต์ คือ จำนวนรอยแตกร้าวของหลักกั้นเส้นทางจราจร, ความเสียหายของส่วนฐาน, ลักษณะของแถบสะท้อนแสง, มุมการคืนตัวกลับของหลักกั้นเส้นทางจราจรเมื่อเทียบกับผิวของถนน (แกน X), ลักษณะของรถยนต์หลังการชนกระแทก และ คำนวณความแรงของการชนกระแทก ตามสมการที่ 1 แต่ละชุดการทดลองทดสอบ 3 ครั้ง

$$IS = \left(\frac{1}{2}\right) M (V \sin\theta)^2 \qquad (1)$$

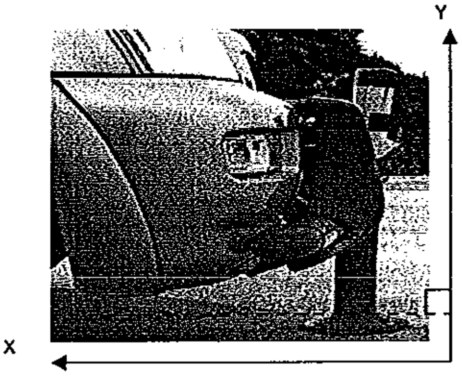
โดยที่ IS คือ ความแรงของการชนกระแทก มีหน่วยเป็น จูล (J)

M คือ น้ำหนักของรถยนต์และผู้ขับขี่ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม (kg)

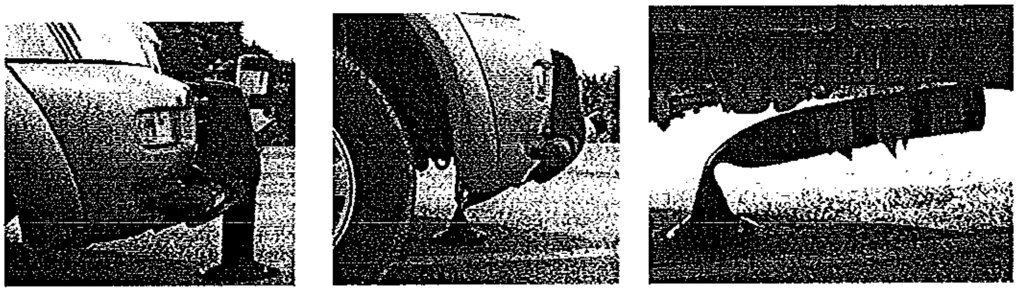
V คือ ความเร็วของรถยนต์ มีหน่วยเป็น เมตร/วินาที (m/s)

θ คือ มุมการชน (ทำมุมกับตัวอย่างทดสอบ) มีหน่วยเป็น ดีกรี (deg)

ขั้นตอนที่สาม ทำการทดสอบความทนต่อการชนกระแทกกับหลักกั้นเส้นทางจราจรชุดที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 ที่ความเร็ว 40, 50, 60, 70 และ 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ตามลำดับ พร้อมบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจรและรถยนต์ ตามการทดลองชุดที่หนึ่ง



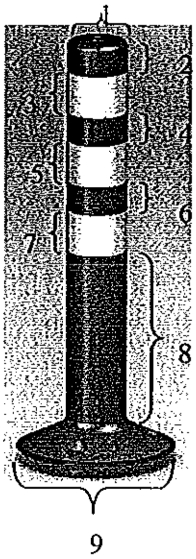
ภาพประกอบที่ 22 ทิศทางการวิ่งของรถยนต์ที่พุ่งเข้าชนหลักกั้นเส้นทางจราจร



ภาพประกอบที่ 23 การชนกระแทกระหว่างรถยนต์กับหลักกั้นเส้นทางจราจร

2.3.6.3 การทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม (Weather resistance)

ทำการแบ่งพื้นที่สังเกตการเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร จำนวน 9 จุด แสดงดังภาพประกอบที่ 24 นำไปวางยังที่มีอากาศถ่ายเทสะดวกและแสงแดดส่องถึง จากนั้นบันทึกการเปลี่ยนแปลง คือ ลักษณะของรอยแตกร้าว มุมของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่กระทำกับพื้น (แกน X) โดยทำการบันทึกการเปลี่ยนแปลงในทุก ๆ 7 วัน



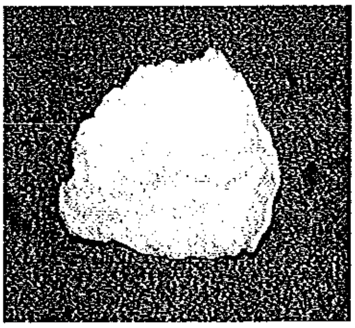
ภาพประกอบที่ 24 การแบ่งพื้นที่เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจรเมื่อทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลการเตรียมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน

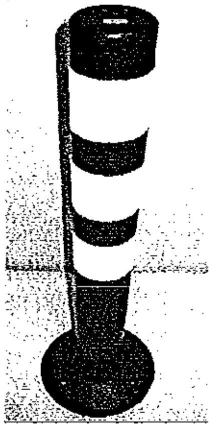
ธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน (SNR) มีลักษณะเป็นสีขาวขุ่น แสดงดัง ภาพประกอบที่ 25 เมื่อนำไปอบที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีนจะมีสีน้ำตาลเหลือง



ภาพประกอบที่ 25 ยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีนก่อนอบแห้ง

4.2 ผลิตภัณฑ์หลักกั้นเส้นทางจราจร

ผลิตภัณฑ์หลักกั้นเส้นทางจราจรภายหลังการขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเบ้า (compression molding) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ที่ความดัน 200 ปอนด์/ตารางนิ้ว เป็นเวลา 30 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีน้ำหนัก 1.6 กิโลกรัม/แท่ง มีสีดำเนื่องจากการเติมเขม่าดำซึ่งทำหน้าที่เป็นสารตัวเติมในขั้นตอนการเตรียมยางเทอร์โมพลาสติก ติดแถบสะท้อนแสงกลางคืนสีขาวจำนวน 3 แถบ เจาะรูบริเวณส่วนฐานจำนวน 3 รู ทำหน้าที่เป็นจุดยึดสำหรับใส่พุกเหล็กเพื่อยึดหลักกั้นเส้นทางจราจรให้ติดกับผิวถนน แสดงผลิตภัณฑ์หลักกั้นเส้นทางจราจร ดังภาพประกอบที่ 26



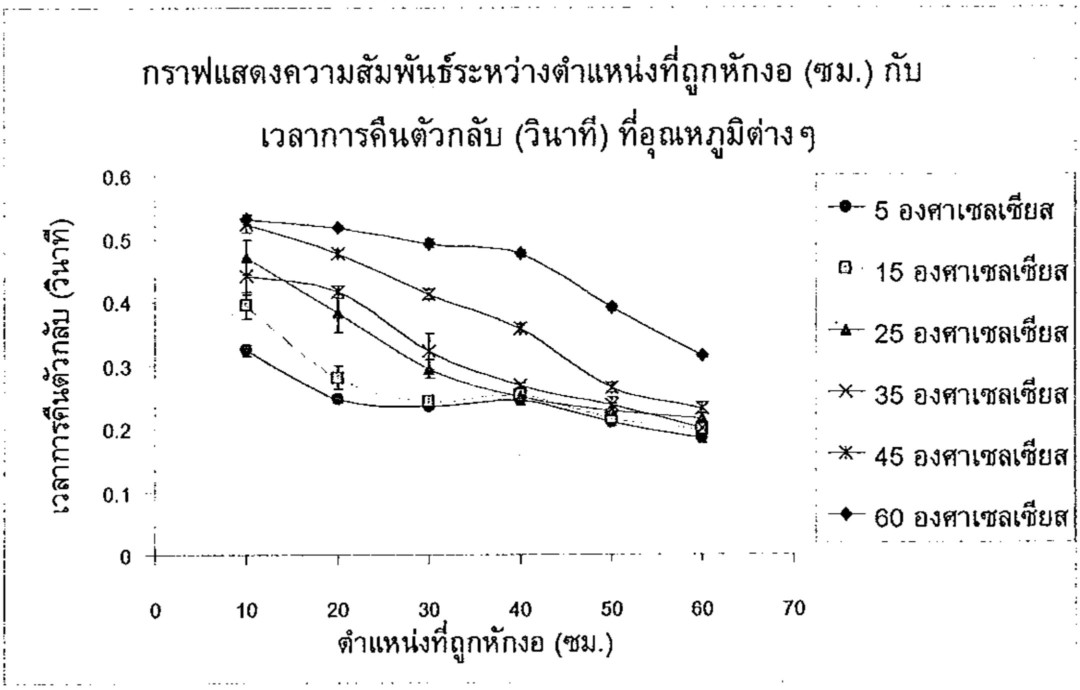
ภาพประกอบที่ 26 หลักกั้นเส้นทางจราจร

4.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์หลักกั้นเส้นทางจราจร

4.3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่ออุณหภูมิ (Temperature resistance)

การทดสอบความทนต่ออุณหภูมิของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตจากยางธรรมชาติที่อุณหภูมิ 5, 15, 25, 35, 45 และ 60 องศาเซลเซียส โดยแต่ละอุณหภูมิทำการทดสอบที่ตำแหน่ง 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 เซนติเมตร (วัดระยะจากส่วนฐานขึ้นไป) ผลการทดสอบแสดงดังภาพประกอบที่ 27

จากภาพประกอบที่ 27 สามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อพิจารณาเวลาการคืนตัวกลับของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ตำแหน่งการทดสอบเดียวกันแต่อุณหภูมิการทดสอบต่างกัน พบว่าหลักกั้นเส้นทางจราจรที่มีอุณหภูมิต่ำจะสามารถคืนตัวกลับได้เร็วกว่าหลักกั้นเส้นทางจราจรที่มีอุณหภูมิสูง อาจเนื่องจากยางธรรมชาติในยางเทอร์โมพลาสติกมีคุณสมบัติความเป็นอิลาสโตเมอร์ คือที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ยางแข็งมากขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิสูงขึ้นยางจะอ่อนตัวลง ส่งผลให้หลักกั้นเส้นทางจราจรที่มีอุณหภูมิต่ำสามารถคืนตัวกลับได้เร็วกว่าหลักกั้นเส้นทางจราจรที่มีอุณหภูมิสูง เมื่อพิจารณาเวลาการคืนตัวกลับของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่มีอุณหภูมิการทดสอบเดียวกันแต่มีตำแหน่งการหักงอต่างกัน พบว่าเมื่อเพิ่มตำแหน่งการหักงอสูงขึ้นจากส่วนฐานส่งผลให้เวลาการคืนตัวกลับของหลักกั้นเส้นทางจราจรจะลดลง และที่ทุกๆอุณหภูมิและทุกๆตำแหน่งการการทดสอบ พบว่าหลักกั้นเส้นทางจราจรสามารถคืนตัวกลับได้อย่างรวดเร็วภายในระยะเวลาต่ำกว่า 1 วินาที โดยไม่พบรอยแตกร้าวที่ผิวหน้าของหลักกั้นเส้นทางจราจร และหลักกั้นเส้นทางจราจรสามารถคืนตัวกลับตั้งตรงทำมุม 90 องศา กับพื้นที่ทดสอบ (แกน X)



ภาพประกอบที่ 27 ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่ออุณหภูมิ

4.3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อการชนกระแทก (Impact resistance)

ตารางที่ 9 แสดงผลการคำนวณความแรงของการชนกระแทก

ความเร็วของรถยนต์		น้ำหนัก (kg)		มุมการชน (deg)	ความแรงของชนกระแทก (kJ)
(km/hr)	(m/s)	รถยนต์	ผู้ขับ		
30	8.3	1,800	75	90	65.1
40	11.1	1,800	75	90	115.7
50	13.8	1,800	75	90	180.9
60	16.6	1,800	75	90	260.4
70	19.4	1,800	75	90	354.4
80	22.2	1,800	75	90	463.0

จากผลการทดสอบความทนต่อการชนกระแทกด้วยรถยนต์วิ่งทำมุม 90 องศา กับหลักกั้นเส้นทางจราจร ที่ความเร็ว 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง คำนวณความแรงของการชนกระแทกตามสมการที่ 1 แสดงผลการคำนวณดังตารางที่ 9 พบว่าเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความแรงของการชนกระแทกสูงขึ้นตามไปด้วย คือที่ช่วงความเร็วการทดสอบ 30-80 กิโลเมตร/ชั่วโมง หลักกั้นเส้นทางจราจรถูกชนกระแทกด้วยแรงขนาด 65-463 กิโลจูล

การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจรหลังถูกชนกระแทก แสดงดัง ตารางที่ 10 และ ภาพประกอบที่ 28 ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

ตารางที่ 10 แสดงผลการทดสอบความทนต่อการชนกระแทก

ความเร็ว (km/hr)	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร					การเปลี่ยนแปลงของรถยนต์
	รอยแตกร้าว	ลักษณะส่วนฐาน	ลักษณะแถบสะท้อนแสง	มุมของเสาทำกับผิวถนน (deg)		
				ก่อนชน	หลังชน	
30	ไม่พบ	ยึดติดกับผิวถนน	เล็กน้อย	90	90	ปกติ
40	ไม่พบ	ยึดติดกับผิวถนน	เล็กน้อย	90	90	ปกติ
50	ไม่พบ	ยึดติดกับผิวถนน	ปานกลาง	90	85	ปกติ
60	ไม่พบ	ยึดติดกับผิวถนน	ปานกลาง	90	80	ปกติ
70	ไม่พบ	ยึดติดกับผิวถนน	ปานกลาง	90	80	ปกติ
80	ไม่พบ	ยึดติดกับผิวถนน	มาก	90	80	ปกติ

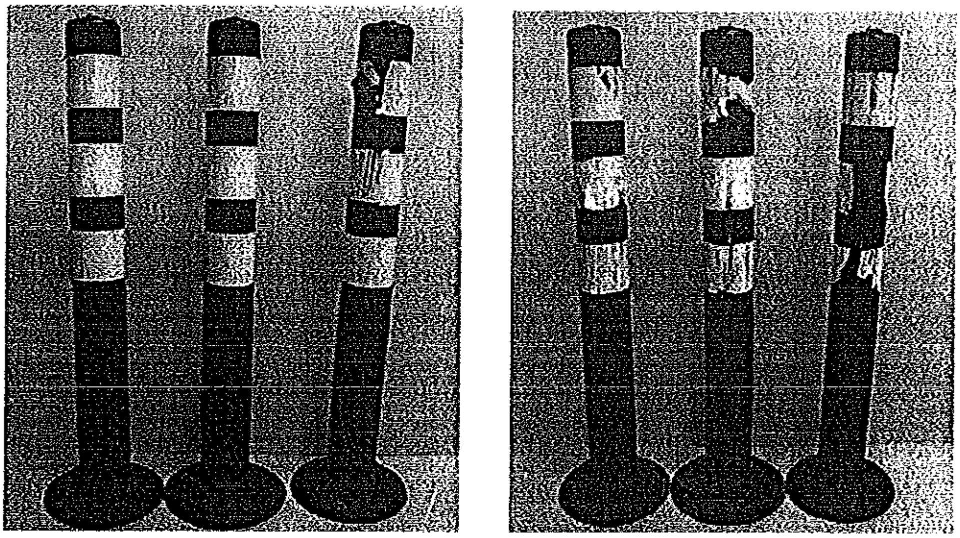
หมายเหตุ: เล็กน้อย หมายถึง แถบสะท้อนแสงไม่ฉีกขาดแต่มีรอยร้าว
ปานกลาง หมายถึง แถบสะท้อนแสงฉีกขาด 1แถบ
มาก หมายถึง แถบสะท้อนแสงฉีกขาด 2-3 แถบ

หลักกั้นเส้นทางจราจรหลังถูกชนที่ความเร็ว 30 และ 40 กิโลเมตร/ชั่วโมง ด้วยแรงขนาด 65.1 และ115.7 กิโลจูล ตามลำดับ พบว่าหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ทั้งสองความเร็วนี้ไม่มีรอยแตกร้าว ลักษณะของส่วนฐานยังคงยึดติดกับผิวถนน แถบสะท้อนแสงมีความเสียหายเล็กน้อย มุมการคืนตัวกลับ 90 องศา (deg) และรถยนต์อยู่ในสภาพปกติ

หลักกั้นเส้นทางจราจรหลังถูกชนที่ความเร็ว 50, 60 และ 70 กิโลเมตร/ชั่วโมง ด้วยแรงขนาด 180.9, 260.4 และ 354.4 กิโลจูล ตามลำดับ พบว่าหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ทั้งสาม

ความเร็วนี้ไม่มีรอยแตกร้าว ลักษณะของส่วนฐานยังคงยึดติดกับผิวถนน แถบสะท้อนแสงมีความเสียหายปานกลาง มุมการคืนตัวกลับ 80-85 องศา และรถยนต์อยู่ในสภาพปกติ

หลักกั้นเส้นทางจราจรหลังถูกชนที่ความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ด้วยแรงขนาด 463.0 กิโลจูล พบว่าหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ความเร็วนี้ไม่มีรอยแตกร้าว ลักษณะของส่วนฐานยังคงยึดติดกับผิวถนน แถบสะท้อนแสงมีความเสียหายมาก มุมการคืนตัวกลับ 80 องศา และรถยนต์อยู่ในสภาพปกติ

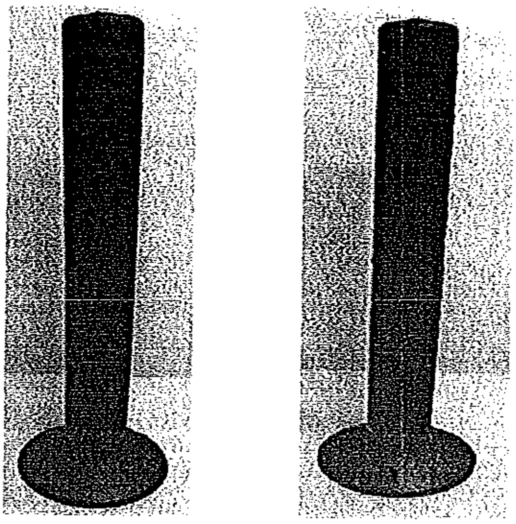


(ก) (ข) (ค) (ง) (จ) (ฉ)

ภาพประกอบที่ 28 หลักกั้นเส้นทางจราจรหลังถูกชนกระแทกที่ความเร็วต่างๆ
(ก) 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง (ข) 40 กิโลเมตร/ชั่วโมง (ค) 50 กิโลเมตร/ชั่วโมง (ง) 60 กิโลเมตร/ชั่วโมง
(จ) 70 กิโลเมตร/ชั่วโมง (ฉ) 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง

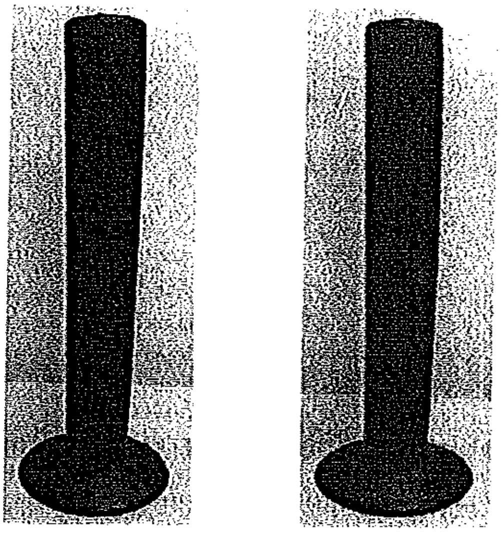
4.3.3 ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม (Weather resistance)

จากการทดสอบความทนต่อสภาพแวดล้อม (ตากแดด, ตากลม, ตากฝน) ในระยะเวลา 252 วัน พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 252 วัน หลักกั้นเส้นทางจราจรอยู่ในสภาพปกติ ไม่พบรอยแตกร้าวที่ผิวหน้าของหลักกั้นเส้นทางจราจร และหลักกั้นเส้นทางจราจรยังคงสามารถตั้งตรงทำมุม 90 องศา กับพื้น (แกน X) แสดงดังตารางที่ 11 และ แสดงในภาพประกอบที่ 29, 30 และ 31



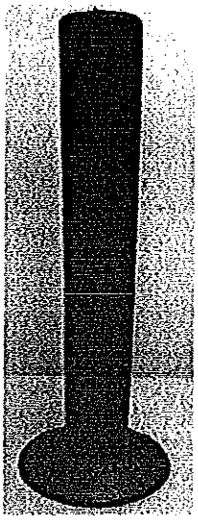
(ก) (ข)

ภาพประกอบที่ 29 หลักกั้นเส้นทางจราจรตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 7 วัน (ก) ตั้งในห้องธรรมดา (อุณหภูมิห้อง) (ข) ตั้งไว้กลางแจ้ง

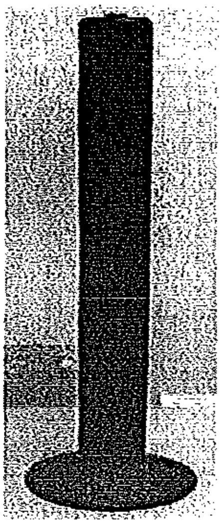


(ก) (ข)

ภาพประกอบที่ 30 หลักกั้นเส้นทางจราจรตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 140 วัน (ก) ตั้งในห้องธรรมดา (อุณหภูมิห้อง) (ข) ตั้งไว้กลางแจ้ง



(ก)



(ข)

ภาพประกอบที่ 31 หลักกั้นเส้นทางจราจรตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 252 วัน (ก) ตั้งในห้องธรรมดา (อุณหภูมิห้อง) (ข) ตั้งไว้กลางแจ้ง

ตารางที่ 11 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม

จำนวน (วัน)	ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล (นาฬิกา)	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร											อุณหภูมิอากาศ (°C)
		จำนวนรอยร้าว										มุมทำกับผิวถนน (deg)	
		จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	รวม		
28	12.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	30
56	12.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	39
84	12.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	33
112	12.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	38
140	12.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	38
168	12.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	37
196	12.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	39
231	12.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	38
252	12.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	39

4.4 การวิเคราะห์วัตถุดิบในระดับห้องปฏิบัติการ

การคำนวณต้นทุนด้านวัตถุดิบการผลิตหลักกั้นเส้นทางจราจรจำนวน 1 แท่ง ในระดับห้องปฏิบัติการ แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 การวิเคราะห์ต้นทุนด้านวัตถุดิบในระดับห้องปฏิบัติการของหลักกั้นเส้นทางจราจร

สารเคมี	สูตรยางเทอร์โมพลาสติก	ปริมาณสาร (กิโลกรัม/แท่ง)	ราคาสารเคมี (บาท/กิโลกรัม)	ราคา (บาท/แท่ง)
STR 20	80	0.808	115	92.92
PP	20	0.202	30	6.06
SNR	5	0.050	400	20.00
Reclaim rubber	40	0.404	35	14.14
Carbon black	40	0.404	55	22.22
ZnO	5	0.050	140	7.00
Stearic acid	2	0.020	57.5	1.54
MBTS	2	0.020	173	3.46
TMTD	1.5	0.015	113	1.70
DPPD	0.5	0.005	215	1.08
Wax	1	0.010	121	1.21
Sulphur	1	0.010	35	0.35
รวม				171.68

หมายเหตุ : ราคาสารเคมีสำรวจ ณ วันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2551

จากการคำนวณต้นทุนด้านวัตถุดิบและสารเคมี พบว่าราคาต้นทุนวัตถุดิบรวมมีค่าประมาณ 172 บาท/แท่ง หากต้องการผลิตในขั้นอุตสาหกรรมเพื่อการพานิชย์ สามารถลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลงได้อีก โดยการเตรียมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน (SNR) ด้วยสารเคมีเกรดอุตสาหกรรม เนื่องจากสารเคมีสำหรับเตรียมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีนจากการวิจัยในครั้งเป็นสารเคมีเกรดระดับห้องปฏิบัติการ จึงยังคงมีราคาที่สูง

4.5 ประมาณต้นทุนการผลิตและระยะเวลาคืนทุน

4.5.1 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิต

กำลังการผลิต	24	แท่ง/วัน*	
	24×30	แท่ง/เดือน	
	720	แท่ง/เดือน	(A)
กำลังไฟฟ้า	82,536	วัตต์**	
ค่าไฟฟ้า	178,278	บาท/เดือน***	
	178,278 / (A)	บาท/แท่ง	
	247.61	บาท/แท่ง	(B)
ต้นทุนวัตถุดิบ	172	บาท/แท่ง	(C)
ค่าแรงงาน	194	บาท/คน****	
	3	คน/วัน*	
	582	บาท/วัน	
	582/24	บาท/แท่ง	
	24.25	บาท/แท่ง	(D)
ต้นทุนการผลิต (B) + (C) + (D)	443.86	บาท/แท่ง	(E)

4.5.2 การวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุน

ราคาลงทุนสร้างแม่พิมพ์	99,510	บาท	(F)
กำหนดราคาจำหน่าย	500	บาท/แท่ง	(G)
กำไร (G) - (E)	56.14	บาท/แท่ง	(H)
กำไรต่อเดือน (H) × (A)	40,420.8	บาท/เดือน	(I)
ระยะเวลาคืนทุน (F) / (I)	2.46	เดือน	

หมายเหตุ : * การขึ้นรูปหลักกั้นเส้นทางจราจรจำนวน 1 แท่ง ใช้เวลาทำให้ยางสุก (cure time) 30 นาที และใช้เวลาการนำผลิตภัณฑ์ยางออกจากแม่พิมพ์และอุ่นแม่พิมพ์เพื่อเตรียมขึ้นรูปชิ้นถัดไปประมาณ 30 นาที ดังนั้น หลักกั้นเส้นทางจราจรจำนวน 1 แท่ง ใช้เวลาการผลิตประมาณ 1 ชั่วโมง โรงงานอุตสาหกรรมดำเนินงาน 24 ชั่วโมง/วัน (3 ช่วงเวลา/วัน และแรงงาน1 คน/ช่วงเวลา) จึงผลิตหลักกั้นเส้นทางจราจรได้จำนวน 24 แท่ง/วัน

** เครื่องขึ้นรูปยางแบบกดอัด (compression molding) ขนาด 500 ตัน มีกำลังไฟฟ้า 82,536 วัตต์

*** คำนวณค่าไฟฟ้าตามสมการที่ (2)

$$ค่าไฟฟ้า = \frac{W}{1000} \times A \times B \times C \qquad (2)$$

โดยที่ W = กำลังไฟฟ้า = 82,536 วัตต์

A = จำนวนชั่วโมงการใช้งาน = 24 ชั่วโมง

B = อัตราค่าไฟต่อหน่วย = 3 บาท

C = จำนวนวันที่ใช้งาน = 30 วัน

แทนค่าในสมการ (2) ดังนี้

$$พลังงานไฟฟ้า = \frac{82,536}{1000} \times 24 \times 3 \times 30 = 178,278 \qquad บาท$$

**** อัตราค่าจ้างแรงงานขั้นต่ำของจังหวัดนนทบุรี 194 บาท ปรับอัตราค่าแรงเมื่อวันที่ 1 มกราคม 2551(กระทรวงแรงงาน, 2551)

ตารางที่ 13 การเปรียบเทียบราคาผลิตภัณฑ์หลักกั้นเส้นทางจราจรจากแหล่งต่างๆ

ชื่อผลิตภัณฑ์	วัสดุ	แหล่งที่มา	ราคาจำหน่าย (บาท/แท่ง)
1. หลักนำทาง	คอนกรีต	กรมทางหลวงชนบท	400
2. หลักกั้นเส้นทางจราจร (delineator post)	ยางเทอร์โมพลาสติก	(Guardway.thomasnet, 1968)	895
3. หลักกั้นเส้นทางจราจร (flexible delineator post)	พลาสติก	(Trafficconesonline, 2008)	1,018
4. หลักกั้นเส้นทางจราจร (flexible delineator post)	ยางเทอร์โมพลาสติก	บริษัท สยามนครินทร์ จำกัด	1,200

หมายเหตุ: ราคาจำหน่ายผลิตภัณฑ์ลำดับที่ 1-4 สำรวจ ณ วันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2551

จากผลประมาณต้นทุนการผลิตและระยะเวลาคืนทุนของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตจากยางธรรมชาติในงานวิจัยนี้ พบว่ามีต้นทุนการผลิตประมาณ 443.86 บาท/แท่ง หากกำหนดราคาจำหน่าย 500 บาท/แท่ง จะใช้ระยะเวลาคืนทุน 2.46 เดือน หากต้องการให้มีระยะเวลาคืนทุนที่สั้นกว่านี้ สามารถกระทำได้โดยกำหนดราคาจำหน่ายหลักกั้นเส้นทางจราจรให้สูงกว่า 500 บาท/แท่ง โดยทั้งนี้อาจต้องคำนึงถึงราคาที่เหมาะสมทางตลาดด้วย

จากตารางที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบราคาจำหน่ายผลิตภัณฑ์หลักกั้นเส้นทางจราจรจากแหล่งต่างๆ ซึ่งถูกนำมาเปรียบเทียบกับหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตจากงานวิจัยนี้ซึ่งมีต้นทุนการผลิตประมาณ 443.86 บาท/แท่ง โดยมีราคาจำหน่ายที่สูงกว่าหลักนำทางคอนกรีต (ลำดับที่ 1) หากต้องการแข่งขันด้านการตลาดกับหลักนำทางคอนกรีตสามารถทำได้โดยกำหนดราคาจำหน่ายให้ใกล้เคียงกับหลักนำทางคอนกรีต แต่อาจต้องใช้ระยะเวลาการคืนทุนที่นานขึ้นและกำไรต่อเดือนน้อยลง แต่อย่างไรก็ตามแม้หลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตจากยางธรรมชาติจะมีต้นทุนการผลิตที่สูงกว่าหลักนำทางคอนกรีต แต่คาดว่าหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตจากยางธรรมชาติจะสามารถแข่งขันกับหลักนำทางคอนกรีตได้ อันเนื่องจากมีคุณสมบัติเด่นด้านความยืดหยุ่น น้ำหนักที่เบา การขนย้ายสะดวก ความเป็นไปได้ต่อการนำหลักกั้นเส้นทางจราจรที่เสียหายหรือเสื่อมสภาพกลับมาใช้ใหม่ และมีความเสี่ยงลดลงต่อการเกิดอันตรายกับยานพาหนะและผู้ขับขี่

และเมื่อเปรียบเทียบหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตจากธรรมชาติกับหลักกั้นเส้นทางจราจรที่จำหน่ายในปัจจุบัน (ลำดับที่ 2, 3 และ 4) พบว่าหลักกั้นเส้นทางจราจรจากงานวิจัยนี้มีราคาจำหน่ายที่ต่ำกว่าราคาทั้ง 3 แหล่ง และด้วยคุณสมบัติที่กล่าวแล้วข้างต้น จึงคาดว่าหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตจากยางธรรมชาติจากงานวิจัยนี้ จะสามารถแข่งขันกับหลักนำทางคอนกรีตและหลักกั้นเส้นทางจราจรที่จำหน่ายในปัจจุบันได้

บทที่ 5

บทสรุป

5.1 การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจร

การออกแบบหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตจากยางธรรมชาติโดยการวิเคราะห์จากคุณสมบัติด้านความปลอดภัย ความสามารถคืนตัวกลับ ต้นทุนอุปกรณ์การผลิต ความยากง่ายในการขึ้นรูป และระยะเวลาการประกอบชิ้นงาน พบว่า แบบที่ 4 น่าจะมีความเหมาะสมต่องานวิจัยในครั้งนี้ ดังนั้น แบบที่ 4 จึงถูกเลือกเป็นแบบสำหรับผลิตหลักกั้นเส้นทางจราจรในการศึกษาครั้งนี้ โดยหลักกั้นเส้นทางจราจรแบบที่ 4 ประกอบด้วยส่วนที่เป็นทรงกระบอกกลวงกับส่วนฐาน โดยทั้งสองส่วนเชื่อมต่อเป็นส่วนเดียวกัน หลักกั้นเส้นทางจราจรมีความสูง 750 มิลลิเมตร ส่วนทรงกระบอกกลวงมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 80 มิลลิเมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 70 มิลลิเมตร มีแถบสำหรับติดแถบสะท้อนแสงกลางคืนจำนวน 3 แถบ ส่วนฐานมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 200 มิลลิเมตร มีจุดยึดจำนวน 3 จุด สำหรับใส่พุกเหล็กขนาด 3/8 นิ้ว เพื่อทำหน้าที่ยึดส่วนฐานของหลักกั้นเส้นทางจราจรให้ติดกับผิวถนน

5.2 กระบวนการขึ้นรูปหลักกั้นเส้นทางจราจรในระดับอุตสาหกรรม

เตรียมยางเทอร์โมพลาสติกในเครื่องผสมแบบปิด โดยหลอมพอลิโพรพิลีนที่อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส อัตราเร็วของโรเตอร์ 50 รอบ/นาที เติมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีน, ยางแท่งเกรด 20, ยางรีเคลมลง, เขม่าดำ, ขี้ผึ้ง, ซิงออกไซด์ และ กรดสเตรียริก ลงไปในเครื่องผสมตามลำดับ นำของผสมที่ได้ไปรีดเป็นแผ่นบางในเครื่องบดผสมสองลูกกลิ้ง เติมสาร MBTS, DPPD, TMTD และ กำมะถัน ลงไปผสมตามลำดับ ขึ้นรูปหลักกั้นเส้นทางจราจรโดยวิธีการอัดเบ้า ที่อุณหภูมิ 150°C ความดัน 200 ปอนด์/ตารางนิ้ว เวลาการอบยาง 30 นาที

5.3 การทดสอบคุณสมบัติของหลักกั้นเส้นทางจราจร

5.3.1 การทดสอบความทนต่ออุณหภูมิ (Temperature resistance)

การทดสอบความทนต่ออุณหภูมิที่ 5, 15, 25, 35, 45 และ 60 องศาเซลเซียส เมื่อหลักกั้นเส้นทางจราจรถูกหักงอทำมุม 90 องศากับแกน Y ที่ตำแหน่ง 10, 20, 30, 40, 50 และ

60 เซนติเมตร พบว่าหลักกั้นเส้นทางจราจรที่มีอุณหภูมิต่ำจะสามารถคืนตัวกลับได้เร็วกว่าหลักกั้นเส้นทางจราจรที่มีอุณหภูมิสูง และเมื่อเพิ่มตำแหน่งการหักงอหลักกั้นเส้นทางจราจรให้สูงขึ้นจากส่วนฐาน พบว่าเวลาการคืนตัวกลับของหลักกั้นเส้นทางจราจรจะลดลง และที่ทุกๆอุณหภูมิและทุกๆตำแหน่งการการทดสอบหลักกั้นเส้นทางจราจรสามารถคืนตัวกลับได้อย่างรวดเร็วในระยะเวลาต่ำกว่า 1 วินาที โดยไม่พบรอยแตกร้าวที่ผิวหน้า และหลักกั้นเส้นทางจราจรสามารถคืนตัวกลับตั้งตรงทำมุม 90 องศา กับพื้นที่ทดสอบ (แกน X)

5.3.2 การทดสอบความทนต่อการชนกระแทก (Impact resistance)

การทดสอบความทนต่อการชนกระแทก ด้วยรถยนต์น้ำหนัก 1,800 กิโลกรัม น้ำหนักผู้ขับขี่ 75 กิโลกรัม วิ่งด้วยความเร็ว 30, 40, 50, 60, 70 และ 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง รถยนต์วิ่งทำมุม 90 องศา กับหลักกั้นเส้นทางจราจรหรือวิ่งขนานกับขอบถนน พบว่าที่ทุกๆความเร็วการทดสอบภายหลังการถูกชนกระแทก ไม่พบรอยแตกร้าวที่ผิวหน้าของหลักกั้นเส้นทางจราจร ส่วนฐานยึดติดกับถนน รถยนต์อยู่ในสภาพปกติ กรณีที่ความเร็ว 30-40 กิโลเมตร/ชั่วโมง แถบสะท้อนแสงเสียหายเล็กน้อย และหลักกั้นเส้นทางจราจรสามารถคืนตัวกลับทำมุม 90 องศา กับพื้นถนน กรณีที่ความเร็ว 50, 60 และ 70 กิโลเมตร/ชั่วโมง แถบสะท้อนแสงเสียหายปานกลาง และหลักกั้นเส้นทางจราจรสามารถคืนตัวกลับทำมุม 80-85 องศา กับพื้นถนน และกรณีที่ความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง แถบสะท้อนแสงเสียหายมาก และหลักกั้นเส้นทางจราจรสามารถคืนตัวกลับทำมุม 80 องศา กับพื้นถนน (แกน X)

5.3.3 การทดสอบความทนต่อสภาพแวดล้อม (Weather resistance)

การทดสอบความทนต่อสภาพแวดล้อมในระยะเวลา 252 วัน พบว่าเมื่อเวลาผ่านไป 252 วัน หลักกั้นเส้นทางจราจรยังคงอยู่ในสภาพปกติ ไม่พบรอยแตกร้าวที่ผิวหน้าของหลักกั้นเส้นทางจราจร และหลักกั้นเส้นทางจราจรยังคงตั้งตรงทำมุม 90 องศา กับพื้นถนน (แกน X)

5.4 ประมาณต้นทุนการผลิตและระยะเวลาคืนทุน

กระบวนการผลิตหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ผลิตจากยางธรรมชาติในงานวิจัยนี้ มีกำลังการผลิต 1 แท่ง/ชั่วโมง มีต้นทุนไฟฟ้าประมาณ 247.61 บาท/แท่ง มีต้นทุนวัตถุดิบประมาณ 171.68 บาท/แท่ง มีต้นทุนแรงงานประมาณ 24.25 บาท/แท่ง ดังนั้นต้นทุนรวมในการผลิตหลักกั้นเส้นทางจราจรในงานวิจัยนี้ประมาณ 443.86 บาท/แท่ง หากกำหนดราคาจำหน่ายประมาณ 500 บาท/แท่ง จะมีกำไรประมาณ 56.14 บาท/แท่ง และมีระยะเวลาคืนทุนประมาณ 2.46 เดือน

5.5 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ขั้นตอนการเตรียมยางธรรมชาติที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีนควรเตรียมในตู้ควันเพื่อป้องกันการฟุ้งกระจายของสารสไตรีน

5.5.2 ขั้นตอนการอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์หลักกั้นเส้นทางจราจรควรจัดวางยางเทอร์โมพลาสติกให้สม่ำเสมอทุกพื้นที่ของแม่พิมพ์ เพื่อให้ยางไหลได้เต็มแม่พิมพ์

5.5.3 ขั้นตอนการนำผลิตภัณฑ์หลักกั้นเส้นทางจราจรออกจากแม่พิมพ์ตัวกลาง ควรใช้แรงดันลมเป่าเข้าในช่องระบายอากาศส่วนบนของผลิตภัณฑ์หลักกั้นเส้นทางจราจรเพื่อให้ผลิตภัณฑ์หลักกั้นเส้นทางจราจรดันตัวออกจากแม่พิมพ์

5.5.4 ขั้นตอนการติดแถบสะท้อนแสงบนผิวหน้าหลักกั้นเส้นทางจราจร ควรใช้กระดาษทรายขัดผิวหน้ายางเทอร์โมพลาสติส่วนนั้นก่อนการติดแถบสะท้อนแสง และควรเลือกชนิดแถบสะท้อนแสงที่สามารถติดได้ดีกับยางเทอร์โมพลาสติกและทนต่อสภาพภูมิอากาศได้ดี

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงแรงงาน. 2551. อัตราค่าจ้างขั้นต่ำ (ตารางแสดงอัตราค่าจ้างขั้นต่ำใหม่ ซึ่งได้ประกาศให้มีผลใช้บังคับ ตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม 2551) [Online]. Available: http://www.mol.go.th/statistic_01.html. [Jan 4, 2008].

กฤษฎา สุชีวะ. 2548. เทคนิคการใช้ยางผสม, หน่วยเทคโนโลยียาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

เจริญ นาคะสรรค์, มนัส แซ่ด่าน, อาซีซัน แกสมาน และ อดิศัย รุ่งวิชานิวัฒน์. 2547. โทเมอร์พลาสติกอิลาสโตเมอร์จากการเบลนยางธรรมชาติกับพอลิโพรพิลีนโดยกระบวนการวัลคาร์ไนซ์แบบไดนามิกส์. วารสารพลาสติกเพื่อคุณ., 2 : 48.

พงษ์ธร แซ่อุย. 2548. สารเคมียาง. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปทุมธานี.

พนิตา สุมานะตระกูล. 2549. สูตรที่เหมาะสมสำหรับผลิตหลักกั้นเส้นทางเดินรถจากยางธรรมชาติที่นำกลับมาใช้ใหม่. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทสาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

พรทิพย์ ศรีโสภา. 2547. สารเคมีสำหรับยาง. [Online]. Available: www.dss.go.th/dssweb/starticles /files/pep_11_2547_additives_rubber.pdf. [27/1/2551].

พรพรรณ นิธิอุทัย. 2528. สารเคมีสำหรับยาง. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. ปัตตานี. 325-341.

เพลินพิศ บูชาธรรม และ อัมพร ชนะเทพา. 2540. การนำผลิตภัณฑ์ยางที่เหลือใช้จากโรงงานทำบทคัดย่องานวิจัยปี 2539-2540. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพ.

ภาสรี เล้งกิจเจริญ. 2549. เทอร์โมพลาสติกกับการประยุกต์ใช้งานในประเทศไทย. การอบรมเชิงวิชาการ ณ โรงแรม เจบี จ. สงขลา 16 กุมภาพันธ์ 2549.

วรพงษ์ นามสีฐาน. 2551. ปลูกต้นไม้ริมทางสร้างภูมิทัศน์บังแสงไฟส่องตา [Online]. Available: www.dailynews.co.th/web/html/popup_news/Default.aspx?Newsid=143936&NewsType=1&Template=1. [25/1/2551].

สุจิรา สารลึก. 2548. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของเทอร์โมพลาสติกอิลาสโตเมอร์จากยางธรรมชาติและพอลิพรอพิลีน. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโทสาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สมาคมยางพาราไทย. 2551. สถิติยางพารา[Online]. Available: http://www.thainr.com/stat/world_stat_pro_th.html. [23/2/2551].

สมนึก ทับพันธุ์, ธรรมวิทย์ เทอดอุดมธรรม, ภราดร ปรีดาศักดิ์, สัญชัย บูรณ์เจริญ และ นฤมล วิลาวรรณ. 2541. การศึกษาความเชื่อมโยงของอุตสาหกรรมยางที่เป็นส่วนควบคุมอุตสาหกรรมก่อสร้างและอิเล็กทรอนิกส์. ศูนย์วิชาการเศรษฐศาสตร์ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาตร์, กรุงเทพ.

หนังสือพิมพ์ยวดยาน. 2546. ภาครัฐดึงเอกชนระดมกำลังลดอุบัติเหตุ. หนังสือพิมพ์ยวดยาน ฉบับที่ 102 ประจำเดือน สิงหาคม .

Bent, B.C.. 2000. Traffic delineator. US. Patent No. 6,014,941. February 29.

Clark, R. O. and Coyle, T. A. 2005. Traffic delineator alignment system. US. Patent No. WO2005/017262 A1. February 24.

Hassan, A., Wahit, M.U. and Chee, C.Y. 2003. Mechanical and morphological properties of PP/NR/LLDPE ternary blend , Polym. Testing, 22 : 281-290.

Hashim, A.S. and Ong, s.k. 2002. Study on polypropylene/natural rubber blend with polystyrene-modified natural rubber as compatibilizer. Polym Int., 51(7) : 611-616.

Ismail, H. and Surydinsyah,J. 2002. Thermoplastic elastomers based on polypropylene/natural rubber and polypropylene/recycle rubber blend. Polym Testing., 21(4) : 389-395.

Malaika, S.AI. and Amir, E.J. 1989. Thermoplastic elastomers: Part III-Ageing and mechanical properties of natural rubber-reclaimed rubber/polypropylene systems and their role as solid phase dispersants in polypropylene/polyethylene blenb, Polym Degrad Stab, 26(1) : 31-41.

Nakason, C. Wannavilai, P. and Kaesaman, A. 2006. Effect of vulcanization system on properties of thermoplastic vulcanization based on epoxidized natural rubber/polypropylene blends, Polym Testing, 25 (1) : 34-41.

Nano Technilogy. 2551. พอลิเมอร์ (Polymer) [Online]. Available: http://www.jewelrymade.com/Business_ NANO/web/polemer.html

National Transportation Product Evaluation Program. 2004. Project work plan for laboratory testing and field evaluation of flexible surface mounted delineatoe posts [online]. Available : www.ntpep.org/ProfileCenter/GetAttachment.asp?Action=GetFile&FILE_ID=9. [Nov 18, 2005].

Ontario Provincial Standard Specification. 1984. Material specification for flexible delineator posts [Online]. Available: http://www.raqsb.mto.gov.on.ca/techpubs/ops.nsf/d37f5a16d8174 ffa85256d130066857f/bbbb2aca74aec4a98525706e00676abc/$FILE/OPSS2012%20Nov84. pdf. [Jan 3, 2007].

Oregon Department of Transportation. 2004. Standard guidelines for product review (delineators flexible) [Online]. Available: http://www.oregon.gov/ODOT/HWY/CONSTRUCTION /QPL/Docs/ DelineatorsFlexible.pdf. [Nov 22, 2005].

Paik, S. S. 2002. Traffic delineator. US. Patent No. WO 2002/22962 A1. March 21.

Radheshkumar, C. and Karger-Kocsis, J. 2002. Thermoplastic dynamic vulcanisates containing LDPE, rubber, and thermochemically reclaimed ground tyre rubber, Plast. Rubber Compos., 31(3): 99-105.

Ross, H.E., Sicking, D.L. and Zimmer, R.A. 1993. Recommended procedures for the safety performance evaluation of highway features. NCHRP Report 350., 1-64.

Rubber Technology Unit. 2005. ชนิดของยางและการใช้งาน [Online]. Available: www.rubber. sec.mahidol.ac.th/RTU/intormation3_1.htm. [Nov 23, 2005].

Traffic and Parking Control. 2005. Delineators [Online]. Available: www.tapconet.com/ posts5. html. [Nov 29, 2005].

Traffic Cone Online. 2008. Delineator post [Online]. Available: http://www.trafficconesonline. com/products/14026.htm. [Jan 30, 2008].

Whitaker, K. 1990. Resilient sign and guide post. US. Patent No. 5066,163. December 20.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการใช้งานเครื่องมือ

1. เครื่องมือบดสองลูกกลิ้ง (Two-roll-mill)

มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1.1 หมุนปุ่มเปิดสวิทซ์ไฟฟ้าเข้า

1.2 ปรับความกว้างของลูกกลิ้ง

1.3 กดปุ่มเริ่มการทำงาน (ลูกกลิ้งหมุน)

1.4 ใส่ยางลงไปรีดเป็นแผ่นบางแล้วเติมสารเคมีลงไปบดผสมตามต้องการ

1.5 กดปุ่มหยุดการทำงาน (ลูกกลิ้งหยุดหมุน)

1.6 หมุนปุ่มปิดสวิทซ์ไฟฟ้า

2. เครื่องมือการขึ้นรูปแบบอัดเบ้า (Compression molding)

มีขั้นตอนการใช้งานดังนี้

2.1 เปิด main switch

2.2 เปิดปุ่ม source power ไปที่ ON

2.3 เปิดปุ่ม heating ทั้งสองตัวไปที่ ON

2.4 ตั้งอุณหภูมิที่ต้องการทดสอบโดยการกด set แล้วกดตัวเลขอุณหภูมิแล้วกด set อีกครั้ง

2.5 กด setting เพื่อตั้งเวลาการอบ เวลาการกดแช่ และเวลาการกดย้ำครั้งแรก แล้วกด monitor enter สองครั้ง

2.6 วางชิ้นยางบนแม่พิมพ์และนำไปวางบนเครื่อง ขึ้นรูปแบบกด (compression molding)

2.7 หมุนสวิทซ์ไปที่ Auto เริ่มการทำงานของเครื่องโดยกด start เมื่อครบเวลาการกดอัด เครื่องจะหยุดโดยอัตโนมัติ

2.8 นำแม่พิมพ์ออกจากเครื่องอัดแล้วนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์

2.9 เมื่อต้องการปิดเครื่อง ให้หมุนสวิทซ์ไปที่ stop เพื่อหยุดการทำงาน

2.10 ปิดปุ่ม source power ไปที่ OFF

2.11 ปิดปุ่ม heating ทั้งสองตัวไปที่ OFF

2.12 ปิด main switch

3. เครื่องมือ Moving Die Rheometer รุ่น MDR 2000

มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

3.1 เสียบปลั๊กปั๊มลมแล้วเปิดวาล์วลม

3.2 เปิด breaker สีดำโดยการโยกไปที่ตำแหน่ง ON

3.3 กดปุ่มแดงของเครื่อง MDR 2000 ซึ่งอยู่ทางด้านข้างของเครื่อง

3.4 เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่อง printer

3.5 ภายในของเครื่อง MDR 2000 จะสว่าง ประตูของเครื่องจะเปิดขึ้น หน้าจอคอมพิมเตอร์จะแสดงคำว่า " ALPHA TECHNOLOGIES MDR 2000" และจะมีไฟสีแดงขึ้นที่ปุ่ม stand by

3.6 เข้าสู่โปรแกรม A 2000R

3.7 คลิก Data เลือก Compuond เลือก New เพื่อตั้งชื่อสารที่ต้องการทดสอบ คลิก OK แล้วคลิก search แล้วคลิกหาชื่อสารที่ตั้งไว้แล้ว จากนั้นให้คลิก test parameter แล้วใส่ parameter ที่ต้องการทดสอบ แล้วคลิก OK

3.8 คลิก Test เลือกคลิก manual test แล้วคลิก search แล้วคลิกหาชื่อสารที่ตั้งไว้แล้ว คลิก OK จากนั้นให้ใส่ชื่อ operator, shift และ batch แล้วคลิก OK ด้านล่างของหน้าจอคอมพิวเตอร์จะแสดงคำว่า "Please Activate the test" แสดงว่าเครื่องพร้อมที่จะทดสอบ

3.9 ใส่ชิ้นทดสอบที่มีน้ำหนักประมาณ 4-4.5 กรัม (ควรวางพลาสติกหุ้มทั้งด้านบนและด้านล่างเพื่อป้องกันยางติดเครื่องทดสอบ)

3.10 กดปุ่ม stand by ไฟสีแดงจะหายไป ให้รอจนกว่าไฟสีเขียวแสดงที่ปุ่ม ready

3.11 กดปุ่ม Platens แล้วประตูของเครื่องจะปิดลง

3.12 เมื่อเครื่องกำลังทำการทดสอบที่ด้านล่างของหน้าจอคอมพิวเตอร์จะแสดงคำว่า "test activate"

3.13 เมื่อครบตามเวลาที่ต้องการทดสอบ ประตูของเครื่องจะเปิดขึ้น แล้วจะพิมพ์กราฟแสดงผลการทดสอบออกมา

3.14 กดปุ่ม stand by แล้วนำชิ้นทดสอบออก ทำความสะอาดเครื่อง

3.15 กดปุ่ม Platens แล้วประตูของเครื่องจะปิดลง

3.16 กดปุ่มสีแดงของเครื่อง MDR 2000 ซึ่งอยู่ทางด้านข้างของเครื่อง เพื่อหยุดการทำงานของเครื่อง ตัว Platens ภายในของเครื่องจะยกขึ้น โดยที่ประตูภายในยังคงปิดอยู่และไฟภายในจะดับลง

3.17 ปิดคอมพิวเตอร์และเครื่อง printer

3.18 ปิด breaker สีดำโดยการโยกไปที่ตำแหน่ง OFF

3.19 ปิดวาล์วลมและถอดปลั๊กปั๊มลม

ภาคผนวก ข

การคำนวณปริมาณสารเคมีสำหรับเตรียมยางเทอร์โมพลาสติก

ตารางที่ 14 แสดงปริมาณสารสำหรับเตรียมยางเทอร์โมพลาสติก

Component	Mass (phr)	Density (g/cm^3)	Volume[(a)] (cm^3)
NR	80	0.92	86.96
PP	20	0.905	22.10
SNR	5	0.913	5.48
RR	40	1.19	33.61
CB	40	1.85	21.62
ZnO	5	5.57	0.90
Stearic acid	2	0.85	2.35
MBTS	2	1.51	1.32
TMTD	1.5	1.42	1.06
DPPD	0.5	1.20	0.42
Wax	1.0	0.90	1.11
S	1.0	2.07	0.48
Total	198		177.41

[(a)]Volume = (Mass) / (Density)

ตารางที่ 15 แสดงค่า Volume of Compound

Volume of Brabender (cm^3)	Fill Factor	Volume of Compound [(b)] (cm^3)
75,000	0.80	60,000

(b)Volume of Compound = (Volume of Brabender) × (Fill Factor)

ตารางที่ 16 แสดงค่า Total Density, Total Mass of Brabender และ Multiplying Factor

Total Density(c) (g/cm^3)	Total Mass of Brabender(d) (g)	Multiplying Factor(e)
1.12	67,200	339.39

(c)Total Density = (Total of phr) / (Total of Volume)

(d)Total Mass of Brabender = (Volume of Compound) × (Total Density)

(e)Multiplying Factor = (Total mass of Brabender) / (Total of Mass)

ตารางที่ 17 แสดงน้ำหนักของสารสำหรับการผสมยางเทอร์โมพลาสติก

Component	Mass(f) (g)	Mass(f) (kg)
NR (Natural Rubber)	27151.20	27.151
PP (Polypropylene)	6787.80	6.788
SNR (Polystyrene-Modified Natural Rubber)	1696.95	1.697
RR (Reclaimed Rubber)	13575.60	13.576
CB (Carbon Black)	13575.60	13.576
ZnO (Zinc Oxide)	1696.95	1.697
Stearic Acid	678.78	0.679
MBTS (2,2/ Dibenzothiazyl Disulfide)	678.78	0.679
TMTD (Tetramethylthiuram Disulphide)	509.085	0.509
DPPD (N, N/-Diphenyl-p-Phenylenediamine)	169.695	0.170
wax	339.39	0.339
S (Sulphur)	339.39	0.339
Total	67199.22	67.2

(f)Mass = (phr) × (Multiplying Factor)

ภาคผนวก ค

คุณสมบัติเชิงกลของยางเทอร์โมพลาสติกตามสูตรสำหรับผลิตหลักกั้นเส้นทางจราจร

ตารางที่ 18 แสดงคุณสมบัติของยางเทอร์โมพลาสติก (พนิตา, 2548)

คุณสมบัติ	วิเคราะห์ตามมาตรฐาน	ผลที่ได้
ความทนต่อแรงดึง (tensile strength)	ASTM D 412	21.51 MPa
ความทนต่อการฉีกขาด (tear strength)	ASTM D 624	72.62 KN/m
ความกระเด้งตัว (resilience)	ASTM D 2632	38
ความแข็ง (hardness)	ASTM D 2240	80.8
ความสามารถในการรับพลัง (toughness)	Polymer Science Learning Center	3062.85 $N.mm/mm^3$
ความทนต่อสภาพภูมิอากาศ (weather resistance)	-	80%
ความทนต่อโอโซน (ozone resistance)	ASTM D 1149	Good

ภาคผนวก ง

ข้อมูลผลการทดสอบคุณสมบัติของหลักกั้นเส้นทางจราจร

ตารางที่ 19 ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่ออุณหภูมิที่ 5 องศาเซลเซียส ของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ตำแหน่งต่างๆ

ตำแหน่งที่ถูกหักงอ	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร																		
	รอยร้าว (Grade)	จำนวนรอยร้าว						เวลาการคืนตัวกลับ (วินาที)							มุมของเสาหลังถูกหักงอ (องศา)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
10	0	-	-	-	-	-	-	0.3	0.31	0.33	0.34	0.34	0.324	0.018	90	90	90	90	90	90
20	0	-	-	-	-	-	-	0.24	0.24	0.24	0.25	0.26	0.246	0.009	90	90	90	90	90	90
30	0	-	-	-	-	-	-	0.24	0.23	0.24	0.23	0.23	0.234	0.005	90	90	90	90	90	90
40	0	-	-	-	-	-	-	0.23	0.23	0.25	0.26	0.25	0.244	0.013	90	90	90	90	90	90
50	0	-	-	-	-	-	-	0.2	0.2	0.2	0.22	0.23	0.21	0.014	90	90	90	90	90	90
60	0	-	-	-	-	-	-	0.18	0.17	0.17	0.2	0.2	0.184	0.015	90	90	90	90	90	90

ตารางที่ 20 ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่ออุณหภูมิที่ 15 องศาเซลเซียส ของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ตำแหน่งต่างๆ

ตำแหน่งที่ถูกหักงอ	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร																			
	รอยร้าว (Grade)	จำนวนรอยร้าว						เวลาการคืนตัวกลับ (วินาที)							มุมของเสาหลังถูกหักงอ (องศา)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
10	0	-	-	-	-	-	-	0.35	0.35	0.43	0.44	0.40	0.394	0.043	90	90	90	90	90	90
20	0	-	-	-	-	-	-	0.30	0.24	0.31	0.24	0.31	0.280	0.037	90	90	90	90	90	90
30	0	-	-	-	-	-	-	0.27	0.27	0.24	0.23	0.27	0.242	0.019	90	90	90	90	90	90
40	0	-	-	-	-	-	-	0.23	0.27	0.25	0.26	0.25	0.252	0.015	90	90	90	90	90	90
50	0	-	-	-	-	-	-	0.22	0.21	0.22	0.22	0.21	0.216	0.005	90	90	90	90	90	90
60	0	-	-	-	-	-	-	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.198	0.004	90	90	90	90	90	90

ตารางที่ 21 ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่ออุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส ของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ตำแหน่งต่างๆ

ตำแหน่งที่ถูกหักงอ	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร																			
	รอยร้าว (Grade)	จำนวนรอยร้าว						เวลาการคืนตัวกลับ (วินาที)							มุมของเสาหลังถูกหักงอ (องศา)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
10	0	-	-	-	-	-	-	0.42	0.43	0.47	0.52	0.54	0.470	0.053	90	90	90	90	90	90
20	0	-	-	-	-	-	-	0.33	0.34	0.36	0.40	0.48	0.382	0.061	90	90	90	90	90	90
30	0	-	-	-	-	-	-	0.25	0.32	0.28	0.31	0.31	0.294	0.029	90	90	90	90	90	90
40	0	-	-	-	-	-	-	0.24	0.26	0.24	0.24	0.27	0.250	0.014	90	90	90	90	90	90
50	0	-	-	-	-	-	-	0.20	0.21	0.24	0.25	0.24	0.228	0.022	90	90	90	90	90	90
60	0	-	-	-	-	-	-	0.20	0.22	0.23	0.20	0.23	0.216	0.015	90	90	90	90	90	90

ตารางที่ 22 ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่ออุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส ของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ตำแหน่งต่างๆ

ตำแหน่งที่ถูกหักงอ	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร																			
	รอยร้าว (Grade)	จำนวนรอยร้าว						เวลาการคืนตัวกลับ (วินาที)							มุมของเสาหลังถูกหักงอ (องศา)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
10	0	-	-	-	-	-	-	0.37	0.41	0.45	0.45	0.52	0.440	0.056	90	90	90	90	90	90
20	0	-	-	-	-	-	-	0.41	0.41	0.41	0.40	0.45	0.416	0.019	90	90	90	90	90	90
30	0	-	-	-	-	-	-	0.25	0.38	0.28	0.33	0.37	0.322	0.056	90	90	90	90	90	90
40	0	-	-	-	-	-	-	0.27	0.26	0.26	0.27	0.28	0.268	0.008	90	90	90	90	90	90
50	0	-	-	-	-	-	-	0.22	0.25	0.21	0.23	0.27	0.236	0.024	90	90	90	90	90	90
60	0	-	-	-	-	-	-	0.17	0.20	0.21	0.21	0.21	0.200	0.017	90	90	90	90	90	90

ตารางที่ 23 ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่ออุณหภูมิที่ 45 องศาเซลเซียส ของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ตำแหน่งต่างๆ

ตำแหน่งที่ถูกหักงอ	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร																		
	รอยร้าว (Grade)	จำนวนรอยร้าว						เวลาการคืนตัวกลับ (วินาที)							มุมของเสาหลังถูกหักงอ (องศา)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
10	0	-	-	-	-	-	-	0.50	0.49	0.53	0.54	0.55	0.522	0.026	90	90	90	90	90	90
20	0	-	-	-	-	-	-	0.47	0.46	0.48	0.49	0.48	0.476	0.011	90	90	90	90	90	90
30	0	-	-	-	-	-	-	0.40	0.42	0.42	0.39	0.43	0.412	0.016	90	90	90	90	90	90
40	0	-	-	-	-	-	-	0.35	0.34	0.36	0.37	0.37	0.358	0.013	90	90	90	90	90	90
50	0	-	-	-	-	-	-	0.24	0.27	0.26	0.27	0.28	0.264	0.015	90	90	90	90	90	90
60	0	-	-	-	-	-	-	0.20	0.24	0.23	0.24	0.25	0.232	0.019	90	90	90	90	90	90

ตารางที่ 24 ผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่ออุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส ของหลักกั้นเส้นทางจราจรที่ตำแหน่งต่างๆ

ตำแหน่งที่ถูกหักงอ	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร																			
	รอยร้าว (Grade)	จำนวนรอยร้าว						เวลาการคืนตัวกลับ (วินาที)							มุมของเสาหลังถูกหักงอ (องศา)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย	SD	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
10	0	-	-	-	-	-	-	0.51	0.53	0.52	0.54	0.55	0.53	0.016	90	90	90	90	90	90
20	0	-	-	-	-	-	-	0.5	0.52	0.51	0.53	0.52	0.516	0.011	90	90	90	90	90	90
30	0	-	-	-	-	-	-	0.5	0.51	0.49	0.47	0.49	0.492	0.015	90	90	90	90	90	90
40	0	-	-	-	-	-	-	0.48	0.47	0.49	0.46	0.48	0.476	0.011	90	90	90	90	90	90
50	0	-	-	-	-	-	-	0.41	0.38	0.4	0.39	0.37	0.39	0.016	90	90	90	90	90	90
60	0	-	-	-	-	-	-	0.34	0.31	0.32	0.29	0.31	0.314	0.016	90	90	90	90	90	90

ตารางที่ 25 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อแรงฟาดกระทบ

ความเร็ว (km/hr)	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร					การเปลี่ยนแปลงของรถยนต์
	จำนวนรอยแตกร้าว	ลักษณะของฐาน	ลักษณะของสติกเกอร์	มุมของเสาทำกับผิวถนน (องศา)		
				ก่อนชน	หลังชน	
30	-	ยึดติดกับผิวถนน	เล็กน้อย	90	90	กันชนมีรอยเปื้อนรถยนต์อยู่ในสภาพปกติ
40	-	ยึดติดกับผิวถนน	เล็กน้อย	90	90	กันชนมีรอยเปื้อนรถยนต์อยู่ในสภาพปกติ
50	-	ยึดติดกับผิวถนน	ปานกลาง	90	85	กันชนมีรอยเปื้อนรถยนต์อยู่ในสภาพปกติ
60	-	ยึดติดกับผิวถนน	ปานกลาง	90	80	กันชนมีรอยเปื้อนรถยนต์อยู่ในสภาพปกติ
70	-	ยึดติดกับผิวถนน	ปานกลาง	90	80	กันชนมีรอยเปื้อนรถยนต์อยู่ในสภาพปกติ
80	-	ยึดติดกับผิวถนน	มาก	90	80	กันชนมีรอยเปื้อนรถยนต์อยู่ในสภาพปกติ

หมายเหตุ: เล็กน้อย หมายถึง แถบสะท้อนแสงไม่ฉีกขาดแต่มีรอยร้าว
ปานกลาง หมายถึง แถบสะท้อนแสงฉีกขาด 1แถบ
มาก หมายถึง แถบสะท้อนแสงฉีกขาด 2-3 แถบ

ตารางที่ 26 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม

จำนวนวัน	ว/ด/ป	ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล (นาฬิกา)	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร											อุณหภูมิอากาศ (°C)	หมายเหตุ
			จำนวนรอยร้าว										มุมของเสากับผิวถนน (องศา)		
			จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	รวม			
0	29/5/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	30	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	37	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	35	ฝนไม่ตก
1	30/5/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	32	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	36	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	34	ฝนไม่ตก
2	31/5/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	30	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	36	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	32	ฝนไม่ตก
3	1/6/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	34	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	38	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	33	ฝนไม่ตก

ตารางที่ 26 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม

จำนวนวัน	ว/ด/ป	ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล (นาฬิกา)	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร											อุณหภูมิอากาศ (°C)	หมายเหตุ
			จำนวนรอยร้าว										มุมของเสากับผิวถนน (องศา)		
			จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	รวม			
4	2/6/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	33	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	35	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	29	ฝนตก
5	3/6/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	31	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	36	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	29	ฝนตก
6	4/6/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	31	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	35	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	28	ฝนตก
7	5/6/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	36	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	29	ฝนตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	29	ฝนตก

ตารางที่ 26 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม

จำนวนวัน	ว/ด/ป	ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล (นาฬิกา)	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร											อุณหภูมิอากาศ (°C)	หมายเหตุ
			จำนวนรอยร้าว										มุมของเสากับผิวถนน (องศา)		
			จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	รวม			
14	12/6/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	34	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	36	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	30	ฝนตก
21	19/6/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	29	ฝนตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	30	ฝนตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	32	ฝนไม่ตก
28	26/6/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	33	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	30	ฝนตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	28	ฝนตก
35	3/7/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	35	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	39	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	37	ฝนไม่ตก

ตารางที่ 26 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม

จำนวนวัน	ว/ด/ป	ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล (นาฬิกา)	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร											อุณหภูมิอากาศ (°C)	หมายเหตุ
			จำนวนรอยร้าว										มุมของเสากับผิวถนน (องศา)		
			จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	รวม			
42	10/7/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	34	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	37	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	34	ฝนไม่ตก
49	17/7/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	36	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	39	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	37	ฝนไม่ตก
56	24/7/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	35	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	39	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	37	ฝนไม่ตก
63	31/7/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	36	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	38	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	37	ฝนตก

ตารางที่ 26 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม

จำนวนวัน	ว/ด/ป	ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล (นาฬิกา)	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร											อุณหภูมิอากาศ (°C)	หมายเหตุ
			จำนวนรอยร้าว										มุมของเสากับผิวถนน (องศา)		
			จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	รวม			
70	7/8/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	33	ฝนตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	38	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	35	ฝนไม่ตก
77	14/8/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	35	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	39	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	38	ฝนไม่ตก
84	21/8/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	30	ฝนตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	33	ฝนตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	37	ฝนไม่ตก
91	28/8/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	34	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	39	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	37	ฝนไม่ตก

ตารางที่ 26 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม

จำนวนวัน	ว/ด/ป	ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล (นาฬิกา)	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร											อุณหภูมิอากาศ (°C)	หมายเหตุ
			จำนวนรอยร้าว										มุมของเสากับผิวถนน (องศา)		
			จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	รวม			
98	4/9/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	32	ฝนตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	30	ฝนตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	35	ฝนไม่ตก
105	11/9/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	35	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	38	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	36	ฝนไม่ตก
112	18/9/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	35	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	38	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	37	ฝนไม่ตก
119	25/9/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	32	ฝนตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	35	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	36	ฝนตก

ตารางที่ 26 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม

จำนวนวัน	ว/ด/ป	ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล (นาฬิกา)	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร											อุณหภูมิอากาศ (°C)	หมายเหตุ
			จำนวนรอยร้าว										มุมของเสากับผิวถนน (องศา)		
			จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	รวม			
126	2/10/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	32	ฝนตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	33	ฝนตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	35	ฝนไม่ตก
133	9/10/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	34	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	36	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	33	ฝนตก
140	16/10/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	34	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	38	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	37	ฝนไม่ตก
147	23/10/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	32	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	35	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	34	ฝนไม่ตก

ตารางที่ 26 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม

จำนวนวัน	ว/ด/ป	ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล (นาฬิกา)	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร											อุณหภูมิอากาศ (°C)	หมายเหตุ
			จำนวนรอยร้าว										มุมของเสากับผิวถนน (องศา)		
			จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	รวม			
154	30/10/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	32	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	35	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	34	ฝนไม่ตก
161	6/11/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	31	ฝนตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	33	ฝนตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	34	ฝนไม่ตก
168	13/11/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	30	ฝนตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	37	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	35	ฝนไม่ตก
175	20/11/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	33	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	38	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	35	ฝนไม่ตก

ตารางที่ 26 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม

จำนวนวัน	ว/ด/ป	ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล (นาฬิกา)	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร											อุณหภูมิอากาศ (°C)	หมายเหตุ
			จำนวนรอยร้าว										มุมของเสากับผิวถนน (องศา)		
			จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	รวม			
182	27/11/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	33	ฝนตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	34	ฝนตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	32	ฝนตก
189	4/12/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	33	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	35	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	34	ฝนไม่ตก
196	11/12/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	34	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	39	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	37	ฝนไม่ตก
203	18/12/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	31	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	37	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	36	ฝนไม่ตก

ตารางที่ 26 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม

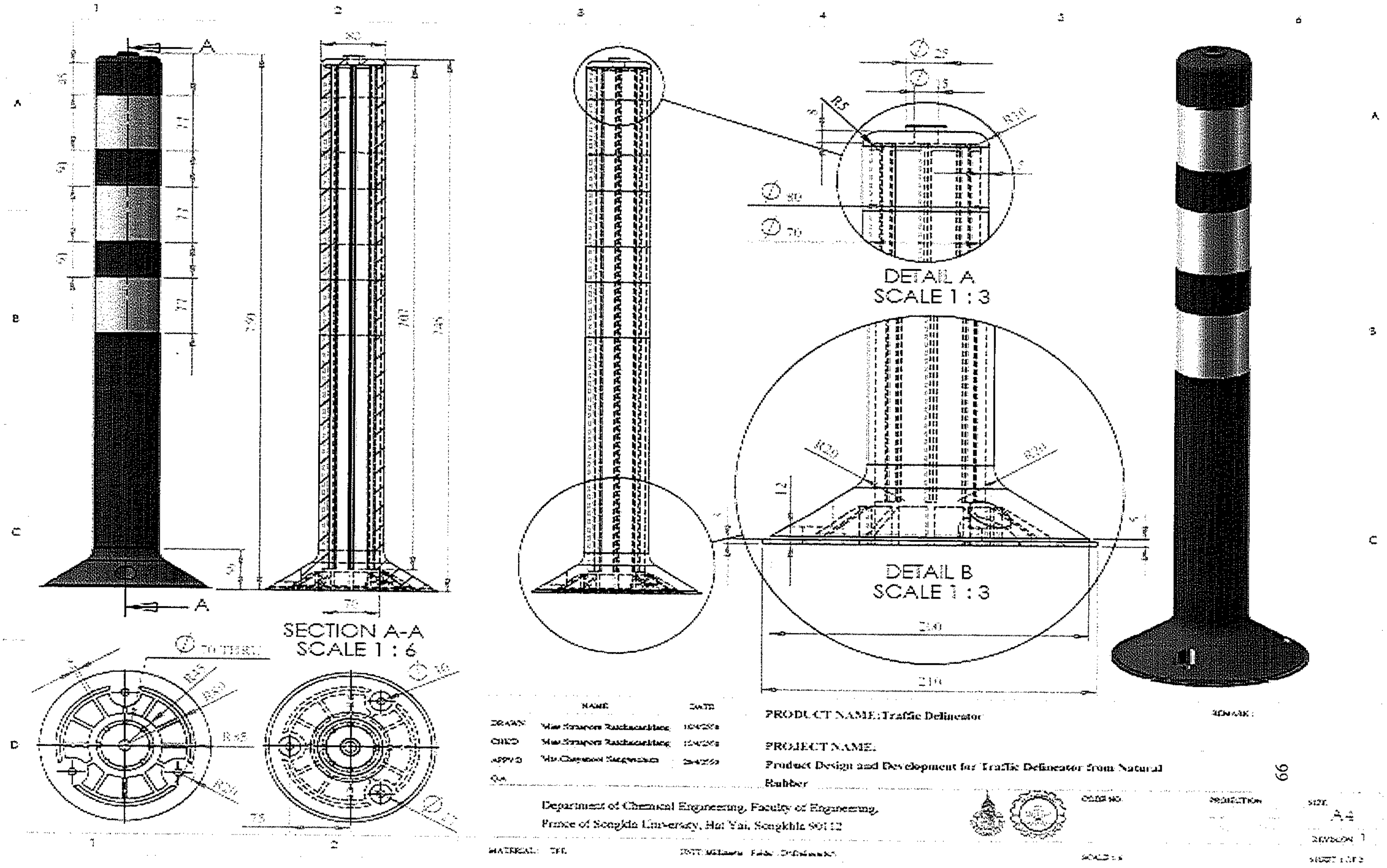
จำนวนวัน	ว/ด/ป	ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล (นาฬิกา)	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร											อุณหภูมิอากาศ (°C)	หมายเหตุ
			จำนวนรอยร้าว										มุมของเสากับผิวถนน (องศา)		
			จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	รวม			
210	25/12/2007	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	33	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	39	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	38	ฝนไม่ตก
217	1/1/2008	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	32	ฝนตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	33	ฝนตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	32	ฝนตก
224	8/1/2008	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	33	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	38	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	32	ฝนตก
231	15/1/2008	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	34	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	38	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	37	ฝนไม่ตก

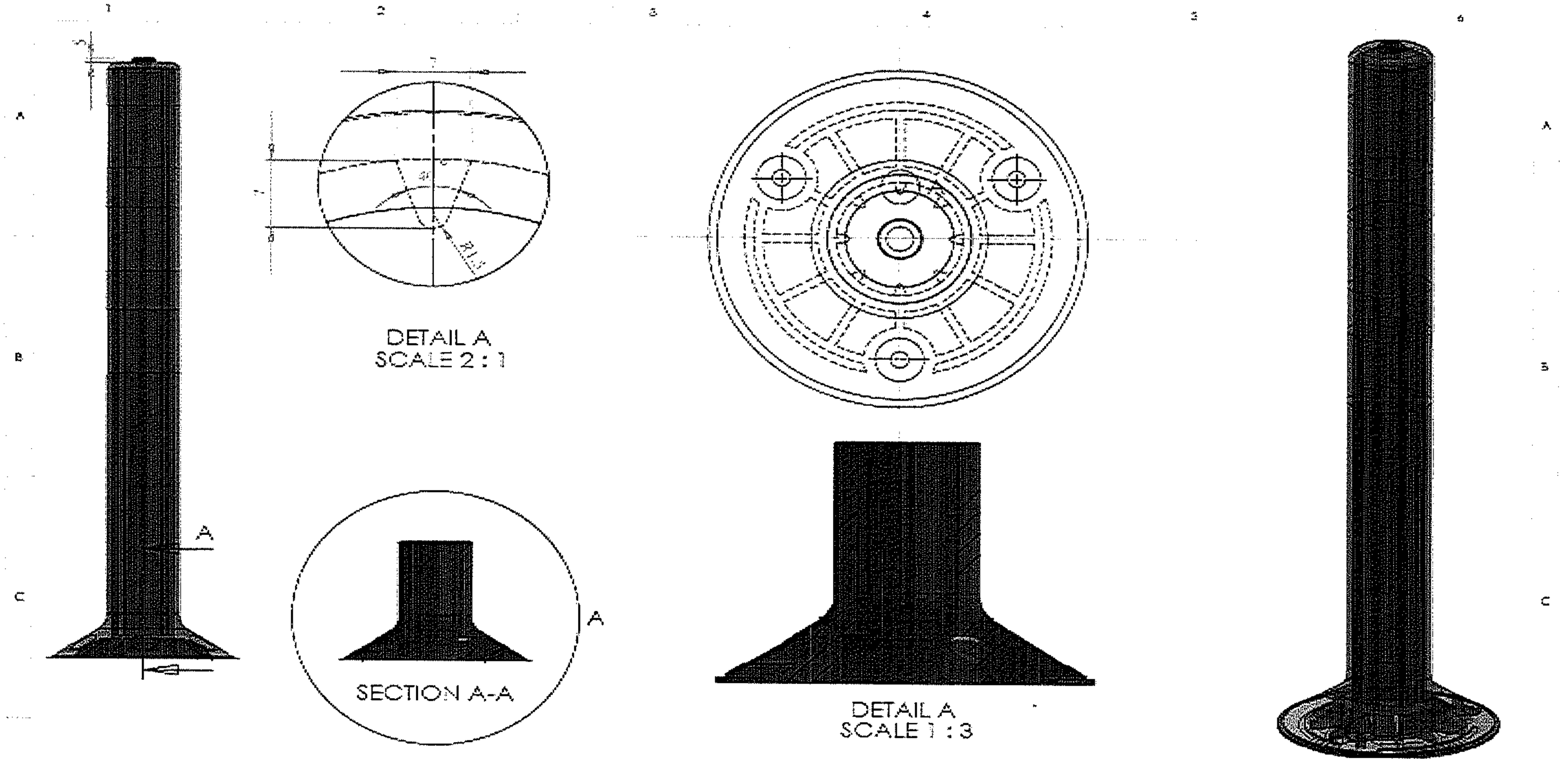
ตารางที่ 26 (ต่อ) แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อสภาพแวดล้อม

จำนวนวัน	ว/ด/ป	ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล (นาฬิกา)	การเปลี่ยนแปลงของหลักกั้นเส้นทางจราจร											อุณหภูมิอากาศ (°C)	หมายเหตุ
			จำนวนรอยร้าว										มุมของเสากับผิวถนน (องศา)		
			จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	จุดที่ 8	จุดที่ 9	รวม			
238	22/1/2008	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	34	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	38	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	36	ฝนไม่ตก
245	29/1/2008	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	32	ฝนตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	33	ฝนตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	36	ฝนไม่ตก
252	5/2/2008	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	34	ฝนไม่ตก
		12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	39	ฝนไม่ตก
		16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	38	ฝนไม่ตก

ภาคผนวก จ

หลักกั้นเส้นทางจราจรเขียนภาพด้วยโปรแกรมภาพสามมิติ (Solid work program)


SECTION A-A
SCALE 1 : 6
DETAIL A
SCALE 1 : 3
DETAIL B
SCALE 1 : 3
PRODUCT NAME: Traffic Delineator
PROJECT NAME:
Product Design and Development for Traffic Delineator from Natural Rubber
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,
Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112
A4



	NAME	DATE
DRAWN	[illegible]	[illegible]
CHKD	[illegible]	[illegible]
APPV'D	[illegible]	[illegible]
Q.A.		

PRODUCT NAME: Traffic Delineator (Trun)

PROJECT NAME:
Product Design and Development for Traffic Delineator from Natural Rubber

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering,
Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla 90112

REMARK:
CODE NO.
PROJECTION
SIZE A4
REVISION 1
MATERIAL: [illegible]
UNIT: [illegible]
SCALE: [illegible]
SHEET: [illegible]

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวสุภาพร ราชการกลาง

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4812077

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	**ชื่อสถาบัน**	**ปีที่สำเร็จการศึกษา**
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (เคมีอุตสาหกรรม)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2548

ทุนการศึกษา (ที่ได้รับในระหว่างการศึกษา)

1. ทุนค่าเล่าเรียนระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ภาคการเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2548
2. ทุนผู้ช่วยสอนระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ภาคการเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2548