



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การปรับปรุงการกระตังและความหิมของผลิตภัณฑ์วอลเลย์บอล
Volleyball with Improve Fell and Resilience

โดย ดร. ชลดา เลวิส และคณะ

กุมภาพันธ์ 2547

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ การปรับปรุงการกระเด็นและความนิ่มของผลิตภัณฑ์วอลเลย์บอล

คณะผู้วิจัย	สังกัด
ดร. ชลดา เลวิส	คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
นายณัฐพล บุญรังควร	บริษัทวิก้าบอลส์ แมนูแฟคเจอร์ริง จำกัด
นางสาวสมลักษณ์ หอมสิน	บริษัทวิก้าบอลส์ แมนูแฟคเจอร์ริง จำกัด
นายคุณากร โภคาลัย	บริษัทวิก้าบอลส์ แมนูแฟคเจอร์ริง จำกัด
นางสาวนิพาพรรณ เลี้ยวเจริญ	บริษัทวิก้าบอลส์ แมนูแฟคเจอร์ริง จำกัด

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

และ

บริษัทวิก้าบอลส์ แมนูแฟคเจอร์ริง จำกัด

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และบริษัทวีก้าบอลส์ แมนูแฟคเจอร์ริง จำกัด ที่ให้ทุนอุดหนุนในการวิจัย และขอขอบคุณพนักงานบริษัทวีก้าบอลส์ แมนูแฟคเจอร์ริง จำกัด ทุกคนที่มีส่วนร่วมในการพัฒนางานวิจัยนี้ โดยเฉพาะพนักงานแผนกวิจัยและพัฒนา ที่ทำงานกันอย่างเต็มที่ และขอขอบคุณนักกีฬาวอลเลย์บอลทีมชาติทุกคน ที่ให้ความอนุเคราะห์ทดสอบการเล่นลูกวอลเลย์บอลที่พัฒนาขึ้น

บทคัดย่อ

ทำการปรับปรุงลูกวอลเลย์บอลของบริษัทวีก้าบอลส์ แมนูแฟคเจอร์ริง จำกัด ให้มีคุณภาพตามมาตรฐานของ Federation International Volleyball (FIVB) โดยการปรับปรุงการกระเดื่องตัวของลูกบอลและผิวสัมผัสที่ดีของเปลือกหุ้ม พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มการกระเดื่องตัวของลูกบอลคือ ลูกบอลยางไน ซึ่งทำได้โดยใช้ยางไนที่มีอัตราส่วนของยางธรรมชาติสูง ปริมาณสารตัวเติมต้องไม่น้อยเกินไป และชนิดของด้ายพันลูกบอลยางไนมีผลอย่างชัดเจนต่อการกระเดื่องตัวของลูกบอล โดยด้ายพันที่เคลือบด้วยน้ำยางรีซอลซินอลฟอร์มัลดีไฮด์ ให้การกระเดื่องของลูกบอลที่เพิ่มขึ้น แต่มีราคาแพงและแหล่งผลิตน้อย กาวยางธรรมชาติที่ใช้ทาหรือแผ่นยางธรรมชาติที่ใช้หุ้มลูกบอลยางไนที่พันด้ายก่อนปะหนังทำให้การกระเดื่องของลูกบอลดีขึ้น และชนิดของหนังปะมีผลอย่างชัดเจนต่อการกระเดื่องตัวของลูกบอล รวมทั้งความรู้สึกในการเล่นของนักกีฬาทีมชาติ จากการพัฒนาและวิจัยนี้สามารถเตรียมลูกวอลเลย์บอลที่มีคุณภาพตามมาตรฐาน FIVB

Abstract

Improving the rebound resilience and feel of volleyballs manufactured by Vega Balls Manufacturing Company Limited to meet the FIVB standard volleyball was carried out. It was found that the rebound resilience of a rubber bladder increased with natural rubber content but not too high to promote gas permeability. Used filler concentration also affected the volleyball rebound resilience with too low amounts of filler surprisingly decreasing rebound resilience of a ball. The type of fiber thread winding over a rubber bladder significantly affected rebound resilience, especially that improved with resorcinol formaldehyde latex coated fiber. However, the RFL coated fiber is rather expensive and has limited producers. Applying natural rubber adhesive or a sheet of natural rubber on the wounded bladder also improved the resilience of the volleyball. Further, improved resilience and soft feel of the finished volleyball depended on a high quality cover segmented material. The developed volleyballs were play tested by Thai national volleyball players and found satisfactory, meeting the required FIVB standards.

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ.....	I
บทคัดย่อ.....	II
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 บทนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตและวิธีดำเนินวิจัย.....	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ชนิดของยาง.....	4
2.1.1 ยางฮาโลจิเนตบิวไทล์.....	4
2.1.2 ยางธรรมชาติ.....	7
2.2 ความกระด้างตัวของยาง.....	8
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความกระด้างตัวของยาง.....	9
2.3.1 อุณหภูมิและชนิดของยาง.....	9
2.3.2 ชนิดและปริมาณสารตัวเติม.....	10
2.3.3 ปริมาณกำมะถัน.....	12
2.3.4 ชนิดเครื่องทดสอบ.....	13
2.3.5 การเตรียมและขนาดชิ้นทดสอบ.....	14
2.3.6 ชนิดและปริมาณของ crosslink.....	15
2.3.7 เวลาในการวัลคาไนซ์.....	17
2.4 ลูกวอลเลย์บอล.....	18
3. วัสดุ อุปกรณ์ วิธีการทดลอง	
3.1 วัสดุ.....	19
3.2 อุปกรณ์การทดลอง.....	19
3.3 วิธีการทดลอง และทดสอบ.....	20
3.3.1 การศึกษาผลของปริมาณเขม่าดำต่อการกระด้างตัวของยางใน.....	20
3.3.2 การศึกษาผลของระบบการวัลคาไนซ์ต่อการกระด้างตัวของยาง.....	22
3.3.3 ผลของปริมาณเขม่าดำและชนิดด้ายพันลูกบอลยางในต่อการกระด้างตัว.....	23
3.3.4 การศึกษาการยืดยางและสูตรยางต่อการกระด้างตัว.....	24

3.3.5	อัตราส่วนยางเบลนด์ของสูตรยางที่มีผลต่อการกระแทงและการกักเก็บลมของลูกบอลยาง.....	27
3.3.6	ปัจจัยในการเตรียมลูกบอลยางกลางที่มีผลต่อการกระแทงตัว.....	29
3.3.6.1	ผลของชนิดกาวสำหรับทำยางกลางโดยการทา.....	29
3.3.6.2	ผลของชนิดของด้ายพันต่อการกระแทงของลูกบอลยางกลาง.....	30
3.3.6.3	สูตรยางในที่มีผลต่อการกระแทงตัวของลูกบอลยางกลาง.....	30
3.3.6.4	ผลของน้ำหนักยางในต่อการกระแทงตัวของลูกบอลยางกลาง.....	33
3.3.6.5	ผลของชนิดกาวพันด้ายต่อการกระแทงตัวของลูกบอลยางกลาง.....	34
3.3.6.6	ผลของจำนวนรอบพันด้ายต่อการกระแทงตัวของลูกบอลยางกลาง....	35
3.3.6.7	ผลของชนิดยางกลางต่อการกระแทงตัวของลูกบอลยางกลาง.....	35
3.3.7	ปัจจัยที่มีผลต่อการกระแทงและการใช้งานของลูกบอลสำเร็จรูป.....	37
3.3.7.1	ผลของชนิดกาวยางกลางและหนังปะ.....	37
3.3.7.2	การทดสอบการเล่นครั้งที่ 1	39
3.3.7.3	การผลิตลูกบอลโครงสร้างใหม่.....	40
3.3.7.4	การทดสอบการเล่นครั้งที่ 2	41
3.3.7.5	การปรับปรุงประสิทธิภาพของหนังปะชนิด DOVE	41
3.3.7.6	การทดสอบการเล่นครั้งที่ 3	44
3.3.7.7	การปรับปรุงประสิทธิภาพของหนังปะชนิด Kuraray	45
3.3.7.8	การทดสอบการเล่นครั้งที่ 4	46
4.	ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1	ผลของปริมาณเขม่าดำต่อค่าความกระแทงตัวของยางใน.....	47
4.2	ผลของระบบวัลคาไนซ์ต่อค่าความกระแทงตัวของยางใน.....	48
4.3	ผลของปริมาณเขม่าดำและชนิดด้ายพันต่อการกระแทงตัวของลูกบอลยางกลาง.....	49
4.4	ผลของการยืดยางและสูตรยางต่อการกระแทงตัว.....	53
4.5	ผลของอัตราส่วนยางเบลนด์ของยางในต่อการกระแทงและเก็บลมของลูกบอลยาง..	54
4.6	ปัจจัยในการเตรียมลูกบอลยางกลางที่มีผลต่อการกระแทงตัว.....	58
4.6.1	ผลของชนิดกาวสำหรับทำยางกลางโดยการทา.....	58
4.6.2	ผลของชนิดของด้ายพันต่อการกระแทงของลูกบอลยางกลาง.....	59
4.6.3	ผลของสูตรยางในต่อการกระแทงตัวของลูกบอลยางกลาง.....	60
4.6.4	ผลของน้ำหนักยางในต่อการกระแทงตัวของลูกบอลยางกลาง.....	61
4.6.5	ผลของชนิดกาวพันด้ายต่อการกระแทงตัวของลูกบอลยางกลาง.....	62
4.6.6	ผลของจำนวนรอบพันด้ายต่อการกระแทงตัวของลูกบอลยางกลาง.....	63
4.6.7	ผลของชนิดยางกลางต่อการกระแทงตัวของลูกบอลยางกลาง.....	63
4.7	การปรับปรุงคุณภาพลูกบอลเลย์บอลสำเร็จรูป.....	64

4.7.1	ผลของชนิดกาวยางกลางและหนังปะ.....	64
4.7.2	การทดสอบการเล่นครั้งที่ 1	66
4.7.3	การทดลองผลิตลูกบอลสำเร็จรูปโครงสร้างใหม่.....	68
4.7.4	การทดสอบการเล่นครั้งที่ 2.....	79
4.7.5	การปรับปรุงประสิทธิภาพของหนังปะชนิด Dove.....	81
4.7.6	การทดสอบการเล่นครั้งที่ 3.....	83
4.7.7	การปรับปรุงประสิทธิภาพของหนังปะชนิด Kuraray.....	85
4.7.8	การทดสอบการเล่นครั้งที่ 4.....	87
5.	สรุปผลการวิจัย	
5.1	สรุป.....	90
5.2	ข้อเสนอแนะในการทำวิจัย	90
	บรรณานุกรม.....	91
	ภาคผนวก.....	92
()	มาตรฐาน FIVB.....	92
()	ผลการวิเคราะห์ลูกวอลเลย์บอลของ Mikasa	

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 สัมประสิทธิ์การซึมแก๊สของยางต่าง ๆ	5
2.2 การเปรียบเทียบความดันลมในยางในรถยนต์ ที่ทำจากยางบิวไทล์ และยางธรรมชาติ ..	6
2.3 ความกระด้างตัวของยางวัลคาไนซ์ที่วัดโดยใช้เครื่องทดสอบต่างกัน.....	13
2.4 ผลของขนาดชั้นทดสอบ และการหาแบ่งทลคัมต่อความกระด้างตัวของยาง โดยทดสอบด้วย เครื่อง Schop.....	14
2.5 อัตราส่วนของการใช้กำมะถันในการ crosslink แต่ละชนิด.....	15
2.6 การจำแนกระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน.....	15
3.1 สูตรยางในที่ใช้ ในการทดลองแปรปริมาณเคมีดำ	21
3.2 สูตรยางที่ใช้ระบบวัลคาไนซ์ต่าง ๆ.....	23
3.3 ชนิดของด้ายที่ใช้กับจำนวนรอบพันด้าย เพื่อให้ได้น้ำหนักของด้ายประมาณ 30 กรัม..	24
3.4 สูตรยางศึกษาผลของการยืดยางต่อการกระด้างตัว.....	24
3.5 สูตรการผลิต Master Batch ยางโบรโมบิวไทล์ ด้วยเครื่องผสมแบบปิดขนาด 100 ลิตร	27
3.6 สูตรการผลิต MASTER BATCH เพื่อให้ได้ยางคอมปาวด์ที่อัตราส่วนยางเบลนด์ต่าง ๆ.	28
3.7 การเตรียมลูกบอลยางกลางที่ใช้กาวยางกลางต่างชนิดกัน.....	29
3.8 การเตรียมลูกบอลยางกลางที่ใช้ด้ายพันชนิดต่าง ๆ.....	30
3.9 สูตรยางในที่มีปริมาณยางธรรมชาติต่างกัน.....	31
3.10 การเตรียมลูกบอลยางกลางและการกระด้างของลูกบอลยางกลาง.....	32
3.11 การเตรียมลูกบอลยางกลางที่น้ำหนักต่าง ๆ.....	33
3.12 การเตรียมลูกบอลยางกลางโดยใช้กาวพันด้ายต่างชนิดกัน.....	34
3.13 การเตรียมลูกบอลยางกลางที่พันด้ายด้วยจำนวนรอบและชนิดเส้นด้ายที่ต่าง.....	35
3.14 สูตรยางกลาง TF-10 และ CF-10.....	36
3.15 การเตรียมลูกบอลยางกลางที่หุ้มด้วยยางกลางต่าง ๆ.....	37
3.16 การเตรียมลูกบอลสำเร็จรูปที่ใช้กาวยางกลางและหนังปะต่างชนิดกัน.....	38
3.17 การเตรียมลูกบอลสำเร็จรูปเพื่อทดสอบการเล่นด้วยนักกีฬาทีมชาติครั้งที่ 1.....	39
3.18 โครงสร้างการเตรียมลูกบอลโครงสร้างใหม่.....	40
3.19 การเตรียมลูกบอลสำเร็จรูปเพื่อทดสอบการเล่นด้วยนักกีฬาทีมชาติครั้งที่ 2.....	41
3.20 โครงสร้างลูกบอลเพื่อทดสอบหนัง Dove.....	44
3.21 โครงสร้างลูกบอลเพื่อทดสอบการเล่นครั้งที่ 3.....	45
3.22 โครงสร้างลูกบอลเพื่อทดสอบหนัง Kuraray.....	46
3.23 โครงสร้างลูกบอลที่ใช้ทดสอบการเล่นครั้งที่ 4.....	46

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
4.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์จากเครื่อง ODR ที่ 155 °C	47
4.2 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์จากเครื่อง ODR ที่ 155 °C	48
4.3 การกระเต็งของยางระบบการวัลคาไนซ์ต่าง ๆ.....	48
4.4 การกระเต็งตัวของลูกบอลลยางในสูตร BBC-187 พันด้วยด้ายชนิดต่าง ๆ.....	49
4.5 การกระเต็งตัวของลูกบอลลยางในสูตร 40-BBC พันด้วยด้ายชนิดต่าง ๆ.....	50
4.6 ค่า Rebound ของลูกบอลลยางในสูตร 30-BBC พันด้วยด้ายชนิดต่าง ๆ.....	51
4.7 Cure Characteristics และความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืด กับค่า Rebound.....	53
4.8 ลักษณะการวัลคาไนซ์และสมบัติของชั้นยางทดสอบที่มีปริมาณ BBX2/RSS3 ต่างกัน..	55
4.9 ค่าการกระเต็งตัวและการเก็บกักลมของลูกบอลลยางกลางที่สูตรยางในต่าง ๆ.....	58
4.10 การกระเต็งตัวของลูกบอลลยางกลางที่สูตรยางในต่าง ๆ.....	61
4.11 การกระเต็งตัวของลูกบอลลยางกลางที่น้ำหนักยางในต่าง ๆ.....	62
4.12 การกระเต็งตัวของลูกบอลลยางกลางที่ใช้กาวพันด้ายต่างชนิดกัน.....	62
4.13 การเตรียมลูกบอลลยางกลางที่พันด้ายด้วยจำนวนรอบและชนิดเส้นด้ายที่ต่างกัน และผล การกระเต็งตัว.....	63
4.14 การกระเต็งตัวของลูกบอลลยางกลางหุ้มด้วยยางกลางต่างกัน.....	64
4.15 การกระเต็งตัวของลูกบอลสำเร็จรูปเมื่อใช้กาวยางกลางและหนังปะต่างกัน.....	65
4.16 โครงสร้างของลูกบอลและการกระเต็งตัว.....	66
4.17 น้ำหนักยางใน น้ำหนักบอลพันด้าย น้ำหนักลูกบอลลยางกลาง เส้นรอบวง และ Out of roundness ของลูกบอลลยางกลาง.....	68
4.18 เส้นรอบวงของลูกบอลสำเร็จรูปก่อนอบ และหลังอบที่อุณหภูมิ 40-50 °C เป็นเวลา 20 นาที และน้ำหนักของลูกบอลสำเร็จรูป.....	69
4.19 การกระเต็งตัวของลูกบอลสำเร็จรูป.....	71
4.20 เส้นรอบวง และ Out of roundness ของลูกบอลลยางกลาง น้ำหนักลูกบอลสำเร็จรูป และ การกระเต็งตัวของลูกบอลสำเร็จรูป.....	72
4.21 สมบัติของหนัง Dove ที่ทำการพัฒนา.....	81
4.22 สมบัติของลูกบอลที่ปะด้วยหนัง Dove V3.....	82
4.23 โครงสร้างและสมบัติของลูกบอลใช้ทดสอบการเล่นครั้งที่ 3.....	83
4.24 ผลทดสอบลูกบอล P1 และ Mikasa MV200 เมื่อเล่นเป็นทีม.....	84
4.25 สมบัติของหนัง Kuraray.....	85
4.26 โครงสร้างและสมบัติของลูกบอลที่ปะหนัง Kuraray.....	86
4.27 ผลการทดสอบความคงทนของลูกวอลเลย์บอลโครงสร้าง Silver.....	89

รายการรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ปฏิกริยาฮาโลจิเนชันของยางโบรโมบิวไทล์.....	4
2.2 การซึมแก๊สของยางต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30-80°C.....	6
2.3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ	7
2.4 หลักการวัดการกระเดັงตัวของยางแบบปล่อยโลหะกระแทกยางโดยตรง.....	9
2.5 ผลของอุณหภูมิต่อความกระเดັงตัวของยาง	10
2.6 ของปริมาณเขม่าดำต่อการกระเดັงตัวของยางธรรมชาติที่อุณหภูมิ 50°C.....	11
2.7 ผลของขนาดอนุภาคเขม่าดำต่อความกระเดັงตัวของยาง.....	11
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระเดັงตัวของยางกับปริมาณการ crosslink.....	12
2.9 ผลของปริมาณกำมะถันต่อความกระเดັงตัวของยาง.....	13
2.10 ปริมาณของ crosslink ชนิดต่าง ๆ กับเวลาในการวัลคาไนซ์.....	16
2.11 ผลของปริมาณการ crosslink ต่อค่าความกระเดັงตัวของยางธรรมชาติที่ใช้ระบบวัลคาไนซ์ ต่างกัน.....	17
2.12 ผลของเวลาวัลคาไนซ์ต่อความกระเดັงตัวของยาง.....	18
3.1 ลักษณะเครื่อง Horizontal rebound resilience.....	22
3.2 ทำเครื่องหมายบนชิ้นทดสอบ แนวนอนและแนวตั้ง.....	26
3.3 ขนาดของท่อ PVC ที่ใช้เตรียมชิ้นทดสอบ.....	26
3.4 การเตรียมชิ้นทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืด (Elongation) และ ค่าการ กระเดັงตัว.....	26
4.1 ค่าการกระเดັงตัวของยางในที่ปริมาณเขม่าดำต่าง ๆ	47
4.2 การกระเดັงตัวของลูกบอลยางในสูตร BBC-187 พัดด้วยด้ายชนิดต่าง ๆ ตามวันทดสอบ.....	49
4.3 การกระเดັงตัวของลูกบอลยางในสูตร 40-BBC พัดด้วยด้ายชนิดต่าง ๆ ตามวันทดสอบ.....	50
4.4 ค่า Rebound ของลูกบอลยางในสูตร 30-BBC พัดด้วยด้ายชนิดต่าง ๆ ตามวันทดสอบ...	51
4.5 ค่า Rebound ของลูกบอลยางในสูตรต่าง ๆ พัดด้วยด้าย NY6-210 ตามวันทดสอบ.....	52
4.6 ค่า Rebound Resilience ของยางแต่ละสูตร ที่การยืดต่างกัน.....	54
4.7 เปรียบเทียบค่า Tensile strength ของยางที่มีปริมาณ BBX ต่างกัน.....	56
4.8 ค่า 200% Modulus และ 300% Modulus ของยางที่มีปริมาณ BBX2 ต่าง ๆ กัน.....	56
4.9 ค่า Rebound ที่ระยะยืดต่าง ๆ ของยางที่มีปริมาณ BBX2 ต่าง ๆ กัน.....	57
4.10 การกระเดັงตัวของลูกบอลยางกลางที่ใช้กาวยางกลางต่างชนิดกัน.....	59
4.11 การกระเดັงตัวของลูกบอลยางกลางที่พันด้ายต่างชนิดกัน.....	60

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

การกระเดັงตัวและความนึ่เมื่อมือกระทบ เป็นลักษณะที่สำคัญของลูกวอลเลย์บอล การกระเดັงตัวของวอลเลย์บอล มาจากลูกบอลยงที่มีอากาศอัดภายใน และความนึ่จะรู้สึกได้เมื่อดีสัมผัสกับวัสดุเปลือกหุ้มลูกบอลที่นึ่และลูกบอลยงภายในที่ไม่แข็งเกินไป ดังนั้นโดยปกติลูกวอลเลย์บอลจะประกอบด้วยสองส่วนหลักคือเปลือกหุ้มภายนอก และลูกบอลยงในอัดลม และมีการพันด้ายบนลูกบอลยงในเพื่อเพิ่มความแข็งแรง เปลือกหุ้มโดยปกติใช้แผ่นโฟมพีวีซี หรือพียู เพื่อความคงทนและนึ่ ปะติดบนลูกบอลยงในด้วยกาว ลูกบอลยงในทำจากยงที่มีความกระเดັงตัวสูงและมีการแพร่ผ่านของอากาศต่ำ เพื่อเก็บกักขังลมที่อัดภายในลูกบอล เส้นด้ายที่ใช้พันลูกบอลต้องเป็นด้ายที่แข็งแรงทนทาน ส่วนใหญ่จะใช้ด้ายไนลอน

บริษัทวิก้าบอลส์ แมนูแฟคเจอร์ริง จำกัด เป็นบริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์กีฬา ตั้งอยู่ใน เขตส่งออก นิคมอุตสาหกรรมบางปู มีเป้าหมายที่จะพัฒนาคุณภาพของลูกวอลเลย์บอลให้ได้ในระดับมาตรฐานสากล (FIVB) คือมีผลค่าแรงกระเดັงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน อีกทั้งยังมีความต้องการจะเพิ่มความนึ่ที่พื้นผิวของวอลเลย์บอล ซึ่งทำให้ผู้ใช้ไม่รู้สึ่กเจ็บมือ ขณะใช้งานผลิตภัณฑ์ ซึ่งการพัฒนาคุณภาพของลูกวอลเลย์บอลนี้จะทำให้เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขัน กับผู้ผลิตประเทศอื่นที่เป็นสากล และขยายผลไปถึงการเพิ่มตลาดรองรับภายในและนอกประเทศ นอกจากนี้ยังจะมีการนำยงพาราที่มีความกระเดັงตัวสูงมาใช้ ทำให้เพิ่มการแปรรูปผลิตภัณฑ์ยงพาราให้มีมูลค่าเพิ่มอีกด้วย

ดังนั้นการวิจัยและพัฒนาปรับปรุงการกระเดັงตัวและความนึ่ของลูกวอลเลย์บอลจึงเป็นการพัฒนาและวิจัยที่จะนำมาซึ่งความรู้ความเข้าใจ และความก้าวหน้าในกระบวนการผลิตยงและลูกวอลเลย์บอล ตั้งแต่สมบัติของวัสดุเริ่มต้น การเลือกชนิดยงและสารเติมแต่งที่เหมาะสมกับระบบการแปรรูป การวัลคาไนซ์ การเตรียมผลิตภัณฑ์ และเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ยงธรรมชาติซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ประเทศไทยผลิตได้ให้มากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อปรับปรุงการกระเดັงและความนึ่ของผลิตภัณฑ์วอลเลย์บอลให้ได้มาตรฐานสากล (FIVB)

1.3 ขอบเขตและวิธีดำเนินงานวิจัย

เป้าหมายจะเป็นการเตรียมลูกวอลเลย์บอลที่ประกอบด้วยสองส่วนหลักคือเปลือกหุ้มภายนอกและลูกบอลยงในพันด้วยเส้นด้าย ซึ่งจะยงต่อกระบวนการผลิต ต้นทุนไม่สูง อย่างไรก็ตาม การเตรียมลูกวอลเลย์บอลที่มีชั้นยงกลางระหว่างเปลือกหุ้มภายนอกและลูกบอลยงใน จะทดลอง

เปรียบเทียบไปด้วย ดังนั้นการวิจัยจะเริ่มด้วยการศึกษาสูตรยางในการทำลูกบอลยางใน โดยการศึกษาคความกระด้างตัวของยางวัลคาไนซ์ นั่นคือศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความกระด้างตัวของยางวัลคาไนซ์ คือ ชนิดของยางและการเบลนด์ยาง ชนิดและปริมาณของสารตัวเติม ระบบการวัลคาไนซ์ จากนั้นจึงเตรียมลูกบอลยางในที่มีขนาดและความหนาต่างๆ เพื่อศึกษาปัจจัยของขนาดและความหนาของยางในต่อการกระด้างตัว รวมทั้งศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลต่อการกักเก็บอากาศของลูกบอลยางใน นอกจากนี้การพันด้ายบนลูกบอลยางในยังเป็นตัวแปรที่น่าจะเป็นตัวแปรที่สำคัญอีกตัวแปรหนึ่ง โดยต้องศึกษาถึงชนิดและขนาดของเส้นด้าย จำนวนรอบในการพันด้าย ที่มีผลต่อการกระด้างตัว และความแข็งแรงของลูกวอลเลย์บอล สำหรับเปลือกหุ้มภายนอกจะศึกษาชนิดของเปลือกหุ้ม ความหนาแน่นของแผ่นโฟมพีวีซี ความหนาและน้ำหนักที่เหมาะสม

วิธีการดำเนินงาน (Methodology)

- 1.3.1 ศึกษาความกระด้างตัวของยางวัลคาไนซ์ โดยใช้เครื่องทดสอบ Rebound Tester และ ความทนทาน ต่อการดึง ด้วยเครื่องทดสอบ Tensile Tester โดยศึกษาปัจจัยดังนี้
 -) ชนิดของยางและการเบลนด์ ใช้ยางสองชนิดคือ ยางธรรมชาติ (NR) และยางโบรโมบิวไทล์ (BIIR) และนำมาเบลนด์กันในอัตราส่วน NR:BIIR ต่าง
 -) ชนิดและปริมาณของสารตัวเติม ใช้สารตัวเติม 3 ชนิดคือ เขม่าดำเกรดต่างๆ และ CaCO_3
 -) ระบบการวัลคาไนซ์และปริมาณพันธะเชื่อมขวาง (cross-link) โดยระบบการวัลคาไนซ์ ใช้ 3 ระบบ คือ ระบบปกติ ระบบเคมีอีวี และระบบอีวี
- 1.3.2 ศึกษาการเตรียมลูกบอลยางใน ทดสอบการกระด้างตัว โดยการปล่อยลูกบอลจากความสูงที่กำหนดให้ตกกระทบพื้นและวัดระยะทางที่ลูกบอลกระด้างตัวกลับคืน และการกักเก็บอากาศ (การรั่วซึม) ตามมาตรฐานสากล โดยใช้สูตรยางที่มีการกระด้างตัวที่ดีจากข้อ 6.1 เตรียมเป็นลูกบอลยางในที่มีความหนาต่างๆ ในช่วงที่ยอมรับได้
- 1.3.3 ศึกษาผลของจำนวนรอบการพันด้ายและชนิดและขนาดของเส้นด้าย ต่อการกระด้างตัว ความแข็งแรงของลูกบอลยางใน
- 1.3.4 ศึกษาผลของการมีชั้นยางกลางระหว่างลูกบอลยางในและเปลือกหุ้มภายนอก ต่อการกระด้างตัวของลูกวอลเลย์บอล
- 1.3.5 ศึกษาผลของวัสดุเปลือกหุ้มภายนอกของลูกบอลต่อการกระด้างตัวและความนิ่ม วัสดุที่ใช้คือแผ่นโฟมพีวีซี หรือ ฟิยูที่มีความหนาแน่นต่างๆ
- 1.3.6 เตรียมลูกวอลเลย์บอลและทดสอบสมบัติต่างๆ ให้ได้ตามมาตรฐานสากล

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้เทคโนโลยีการผลิตลูกบอลที่มีคุณภาพ และมีการนำยางธรรมชาติมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์มากขึ้น เป็นการพัฒนาระบบการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ได้ความรู้และยกระดับความสามารถของโรงงานในการพัฒนาและวิจัยเทคโนโลยียาง ที่สามารถจะพึ่งตนเองได้ในอนาคต และเกิดการร่วมมือที่ดีระหว่างเอกชนและภาครัฐในการที่จะพัฒนาองค์ความรู้ หรือนวัตกรรมใหม่ๆเกิดขึ้นต่อไปในอนาคต

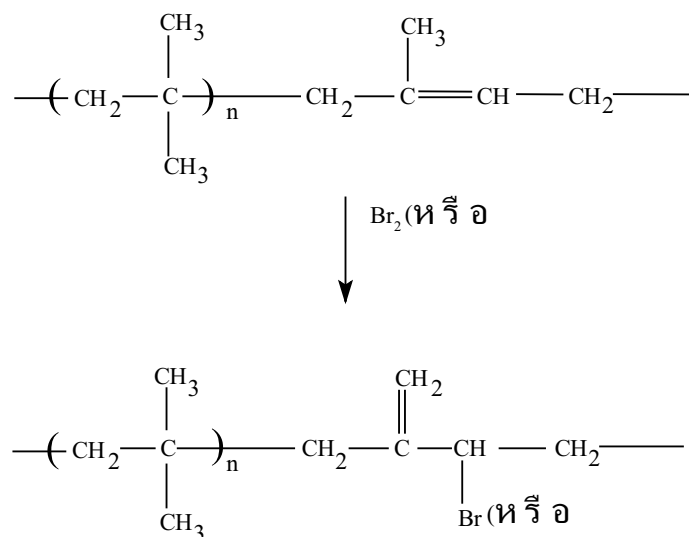
บทที่ 2

เอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชนิดของยาง

2.1.1 ยางฮาโลจิเนตบิวไทล์

ยางฮาโลจิเนตบิวไทล์ เตรียมจากยางบิวไทล์ธรรมดาโดยการทำปฏิกิริยากับโบรมีนหรือคลอรีน ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นที่หน่วยไอโซพรีน หลังจากทำปฏิกิริยาแล้วก็ยังคงมีความไม่อิ่มตัวอยู่เช่นเดิม แต่ตำแหน่งของพันธะคู่ได้เปลี่ยนแปลงไป ปฏิกิริยาต่อไปนี้แสดงตำแหน่งของการเกิดฮาโลจิเนต (Brydson, 1988)



รูปที่ 2.1 ปฏิกิริยาฮาโลจิเนชันของยางโบรมบิวไทล์

ยางฮาโลบิวไทล์โดยปกติมีคลอรีนอยู่ 1.1-1.3 % หรือมีโบรมีนอยู่ 1.9-2.1 % โดยน้ำหนัก (พรพรรณ, 2540) การทำฮาโลเจนเนชันทำให้เพิ่มความว่องไวของพันธะคู่ ทำให้เกิดการวัลคาไนซ์ได้เร็วขึ้น และฮาโลเจนที่เกาะอยู่นั้นยังเป็นจุดที่จะทำให้เกิดการวัลคาไนซ์โดยวิธีอื่นที่ไม่ใช่กำมะถันได้ด้วย กล่าวโดยส่วนรวมการใส่ฮาโลเจนเข้าไปในยางบิวไทล์ทำให้อัตราการวัลคาไนซ์ของยางบิวไทล์เพิ่มขึ้นทัดเทียมกับพวกยางธรรมชาติและยางเอสปีอาร์ การเบลนด์ยางฮาโลจิเนตบิวไทล์กับยางธรรมชาติหรือยางเอสปีอาร์จึงสามารถทำได้ดีขึ้น

สมบัติของยางฮาโลบิวไทล์โดยทั่วไปคล้ายกับยางบิวไทล์ นั่นคือเป็นยางที่สามารถตกผลึกได้ขณะที่ทำการยืด ทำให้มีความแข็งแรงสูง ดังนั้นไม่จำเป็นที่จะต้องใส่สารตัวเติมที่เสริมประสิทธิภาพ ที่จริงแล้ว การใช้เขม่าดำหรือซิลิกา ไม่ทำให้ค่าความต้านทานแรงดึงของยางเพิ่มขึ้น เพียงแต่รักษาความ

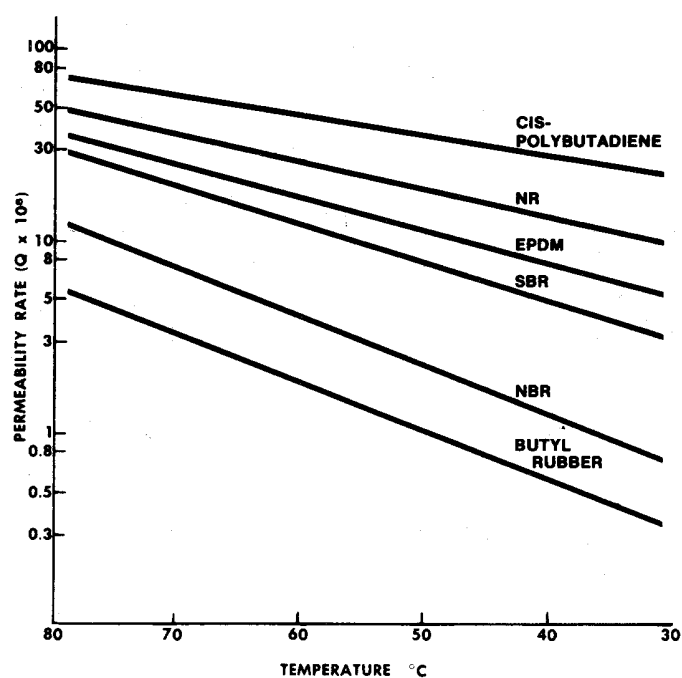
แข็งแรงไม่ให้ลดลงเท่านั้น ความต้านทานต่อการเสื่อมทดเทียบกับยางอีพียีเอ็ม และยังมีการซึมแก๊สดำอีกด้วย

การซึมแก๊สดำนี้เป็นสมบัติที่เด่นของยางบิวไทล์และยางโพรโมบิวไทล์ ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติสัมประสิทธิ์การซึมของแก๊สผ่านยางบิวไทล์เทียบกับยางอื่น ๆ และรูปที่ 2.2 แสดงรูปเปรียบเทียบการซึมอากาศของยางต่าง ๆ ที่แปรไปตามอุณหภูมิ ในจำนวนนี้ จะเห็นได้ว่ายางบิวไทล์มีการซึมผ่านของแก๊สน้อยที่สุด การทดลองดังกล่าวนี้ได้ทำโดยการใช้สูตรยางที่ปริมาณยางและสารตัวเติมเหมือนกัน

ตารางที่ 2.1 สัมประสิทธิ์การซึมแก๊สของยางต่าง ๆ (Whelan, 1981)

ชนิดของยาง	อุณหภูมิ °C	สัมประสิทธิ์การซึมของแก๊ส (10^{-8} ซม. ² วินาที ⁻¹ บรรยากาศ ⁻¹)			
		H ₂	N ₂	O ₂	CO ₂
ยางธรรมชาติ	25	37.4	6.1	17.7	99.6
ยางเอสปีอาร์	25	30.5	4.8	13.0	94.0
ยางไนไตรล์	25	12.1	0.8	2.9	23.5
ยางคลอโรพรีน	25	10.3	0.9	3.0	19.5
ยางบิวไทล์	25	5.5	0.2	1.0	3.9
ยางอีพียีเอ็ม	25	-	6.4	19.0	82.0
ยางซิลิโคน	20	-	200	400	160.0

ผลของการซึมแก๊สที่ต่ำของยางบิวไทล์ ทำให้ยางบิวไทล์ถูกนำไปใช้ในการทำเป็นยางในรถยนต์มาก การใช้ยางบิวไทล์ในการทำเป็นยางในรถ จะทำให้ความสามารถในการรักษาความดันของยางในได้นานขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 2.2 นี้



รูปที่ 2.2 การซึมแก๊สของยางต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 30-80°C ค่า Q เท่ากับปริมาตร ของอากาศ (ลบ.ซม.) ที่ผ่านตัวอย่างยางพื้นที่ 1 ตร.ซม. หน้า 1 ซม. ในเวลา 1 วินาที ที่ความดัน 1 บรรยากาศ (Whelan, 1981)

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบความดันลมในยางไนรยอนด์ ที่ทำจากยางบิวไทล์ และยางธรรมชาติ (Fusco, 1987)

ชนิดของยาง ใน	ความดันลดลง (ปอนด์/ตารางนิ้ว)			
	ความดันเริ่ม ต้น	1 อาทิตย์	2 อาทิตย์	1 เดือน
ยางธรรมชาติ	28	4.0	8.0	16.5
ยางบิวไทล์	28	0.5	1.0	2.0

อนุมูลเมทิลที่ติดอยู่กับแกนของพอลิเมอร์ทำให้สายโซ่โมเลกุลเคลื่อนไหวได้ยาก และจะกันไม่ให้แก๊สซึมผ่าน นอกจากนั้นแล้ว อนุมูลเมทิลยังทำให้ยางบิวไทล์มีความกระด้างตัวต่ำในช่วงอุณหภูมิกว้าง ต่ำกว่าและสูงกว่าอุณหภูมิห้อง

สำหรับค่าการจัดตัวจากแรงอัดของยางฮาโลบิวไทล์จะดีกว่ายางบิวไทล์ และค่าความต้านทานไฟฟ้าจะเร็วกว่า ทั้งนี้เพราะฮาโลเจนก่อให้เกิดผลพลอยได้ที่ละลายน้ำ

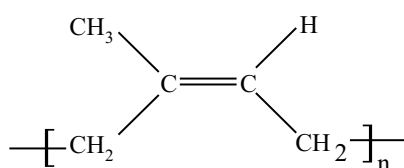
การใช้งานของยางฮาโลบิวไทล์ จะใช้ในกรณีที่ต้องการนำยางไปรวมวัลคาไนซ์พร้อม ๆ ไปด้วยยางอื่น ซึ่งยางบิวไทล์ธรรมดาจะทำได้ เพราะวัลคาไนซ์ช้าเกินไป เช่น ยางฮาโลบิวไทล์จะใช้ในกรณีทำเป็นยางบุภายใน (inner liner) ในยางรถยนต์ที่ไม่มียางใน (tubeless tyre) ส่วนยางบิวไทล์ธรรมดา จะใช้ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์เป็นยางเดี่ยวล้วน ๆ เช่น ถูกลมอบยาง (tyre curing bladder), ฉนวน ไฟฟ้า (electrical insulation), และ non curing sealant เป็นต้น

ปัจจุบัน ยางโบรโมบิวไทล์ได้นำมาใช้ เป็นยางมาตรฐานทั่วไปในยางรถที่ไม่มียางใน ในส่วนของยางบุภายใน และนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมยา, ยางในที่ใช้งานหนัก และยางท่อต่าง ๆ เป็นต้น

2.1.2 ยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นสารพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูง ($\overline{Mn}$) สูง เฉลี่ยประมาณสองแสนถึงห้าแสน (Subramaniam, 1980) มีการกระจายของน้ำหนักโมเลกุลกว้าง

ยางธรรมชาติมีสูตรโมเลกุลเป็น cis-1,4-polyisoprene



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างทางเคมีของยางธรรมชาติ โดยที่ n มีค่าตั้งแต่ 5,000 จนถึงประมาณ 15,000

ยางธรรมชาติมีความถ่วงจำเพาะ 0.934 ที่ 20 องศาเซลเซียส และจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อยางถูกยืดหรือเย็นตัวลง มีดรรชนีหักเหของแสงเท่ากับ 1.5215-1.5238 ที่ 20 องศาเซลเซียส (Hofmann, 1989)

โครงสร้างหลักที่มีผลกระทบต่อสมบัติของยาง คือ

ก) ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนล้วน ทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติไม่ทนน้ำมันปิโตรเลียมหรือน้ำมันพืช แต่จะเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดี

ข) พันธะคู่ที่ว่องไวในปฏิกิริยา ทำให้สามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยกำมะถัน และทำให้ยางทำปฏิกิริยาได้ง่ายด้วยออกซิเจนและโอโซน ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมของยางทำให้การออกสูตรยางธรรมชาติ จำเป็นต้องมีสารกันเสื่อม (Antioxidant) และสารต้านโอโซน (Antiozonant)

ค) โซโมเลกุลที่เคลื่อนไหวหึ่งออกไปมาได้ง่ายทำให้ยางธรรมชาติคงสภาพยืดหยุ่นได้ดี อาจจะสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก ยางธรรมชาติมีค่า T_g เท่ากับ -72°C ซึ่งต่ำกว่ายางสังเคราะห์อื่นๆ ยกเว้นเฉพาะยางบิวทาไดอินและยางซิลิโคนเท่านั้น (Hofmann, 1989)

ง) ความสม่ำเสมอในโครงสร้างโมเลกุล ทำให้ยางธรรมชาติสามารถดกผลึกได้เมื่อยืด ทำให้มีความต้านทานแรงดึงสูงมากและทำให้มีค่า green strength สูง และ tack ดี

จ) น้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้ยางแข็งเกินไปที่จะนำไปแปรรูปโดยตรง ดังนั้นต้องนำยางไปบด เพื่อให้ได้โมเลกุลเล็กลงก่อนนำไปใช้งาน

2.2 ความกระด้างตัวของยาง

เมื่อยางถูกกระทำให้ผิดรูป พลังงานจำนวนหนึ่งจะถูกป้อนให้แก่ยาง ส่วนหนึ่งของพลังงานดังกล่าวจะปล่อยกลับออกมาเมื่อยางคืนกลับสู่รูปร่างเดิม พลังงานที่เหลือจะสูญหายไปในเรื่องยางในรูปของความร้อน อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ยางเก็บไว้ได้กับพลังงานที่ป้อนเข้าไป เรียกว่า ความกระด้างตัว (resilience หรือ rebound resilience)

ความกระด้างตัวเป็นความสามารถของยางวัดค่าในชั้ และเป็นค่าที่ใช้แทนสมบัติเชิงพลวัตที่สำคัญประการหนึ่ง ซึ่งระยะการทดสอบเป็นเพียงครึ่งรอบวงจรเท่านั้น

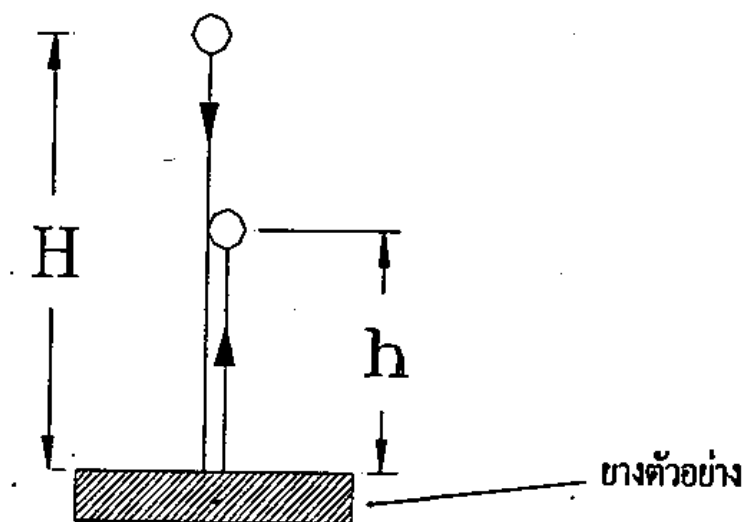
ถ้าปล่อยวัตถุมวล m จากความสูง H ลงไปกระทบแผ่นยางในแนวดิ่ง แล้วกระดอนกลับขึ้นมาได้ความสูง h ดังรูปที่ 2.4 จะได้

$$\begin{aligned}\text{พลังงานที่แผ่นยางได้รับ } E_i &= \text{พลังงานศักย์ของวัตถุที่ตกกระทบ} \\ &= mgH\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{พลังงานที่แผ่นยางคลายกลับออกมา } E_r &= \text{พลังงานจลน์ที่วัตถุถูกขับให้กระดอนกลับขึ้นไป} \\ &= \text{พลังงานศักย์ของวัตถุที่ความสูง } h \\ &= mgh\end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned}\text{Rebound Resilience, \%} &= [mgh/mgH] \times 100 \\ &= [h/H] \times 100\end{aligned}$$



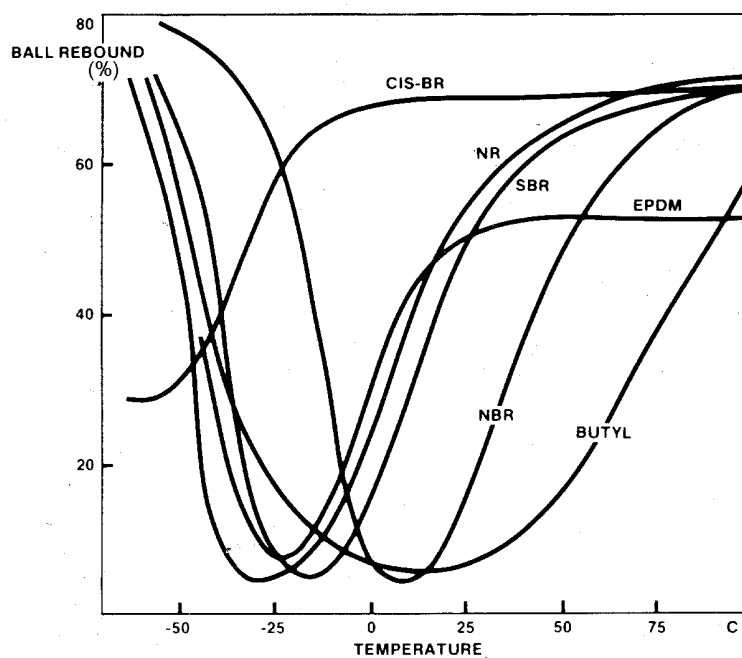
รูปที่ 2.4 หลักการวัดการกระเจิงตัวของยางแบบปล่อยโลหะกระแทกยางโดยตรง

ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า ค่าความกระเจิงตัวของยาง คืออัตราส่วนระหว่างความสูงของการกระเจิงต่อความสูงที่ตกกระทบนั่นเอง

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความกระเจิงตัวของยาง

2.3.1 อุณหภูมิและชนิดของยาง

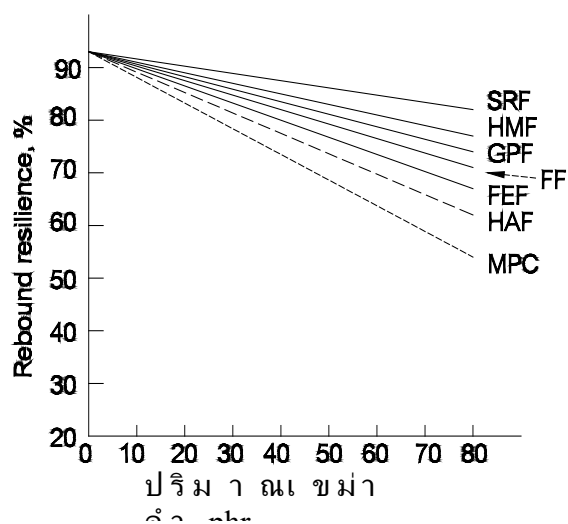
ค่าความกระเจิงตัวเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ ค่าที่ได้จะขึ้นกับว่า อุณหภูมิที่ทดสอบ จะห่างจากค่าอุณหภูมิที่แข็งคล้ายแก้ว (T_g) ของยางเท่าใด ที่อุณหภูมิห้อง ค่าความกระเจิงตัวของยางธรรมชาติจะสูงมากเนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวห่างจากค่า T_g ของยางธรรมชาติมาก (T_g ของยางธรรมชาติ = -72°C) ส่วน ยางอื่น ๆ ซึ่งมีค่า T_g สูง จะมีค่าความกระเจิงตัวต่ำที่อุณหภูมิห้อง ยางบิวไทล์เป็นยางที่ยกเว้น เนื่องจากมีค่า T_g ต่ำ มีค่าความกระเจิงตัวต่ำในช่วงอุณหภูมิที่กว้าง แต่ความกระเจิงตัวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิ เกิน 30°C ลูกสควอทซ์ ซึ่งมักทำจากยางบิวไทล์จะกระเจิงตัวต่ำ เมื่อเย็นและเมื่อเล่นไปนาน ๆ ลูกบอลจะร้อนขึ้น ๆ และความกระเจิงตัวจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว



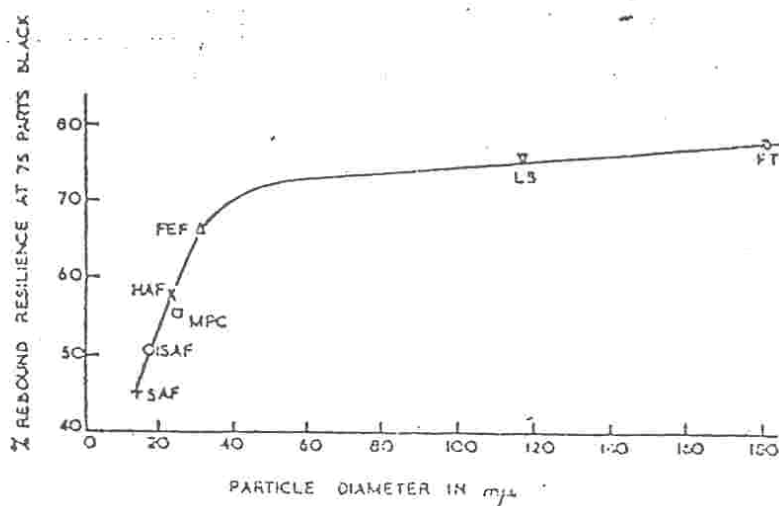
รูปที่ 2.5 ผลของอุณหภูมิต่อความกระด้างตัวของยาง (Gunter, 1981)

2.3.2 ชนิด และปริมาณสารตัวเติม

ปกติยางที่ใส่สารตัวเติมไม่ว่าตัวใดก็ตามจะทำให้ความกระด้างตัวของยางลดลง เนื่องจากสารตัวเติมจะเป็นตัวรับพลังงานจากการถูกกระทำ และมีความสามารถในการเก็บสะสมพลังงานในตัวมันเองได้ ยิ่งปริมาณสารตัวเติมเพิ่มขึ้นมากเท่าใด ความกระด้างตัวก็จะยิ่งลดลงมากเท่านั้น โดยเฉพาะถ้าขนาดอนุภาคของสารตัวเติมเล็ก ก็ยิ่งทำให้ความกระด้างตัวของยางลดลงมาก ดังแสดงในรูป 2.6 และ 2.7



รูปที่ 2.6 ผลของปริมาณขี้เถ้าต่อการกระเด็งตัวของยางธรรมชาติที่อุณหภูมิ 50°C (Leigh-Dugmore, 1961)

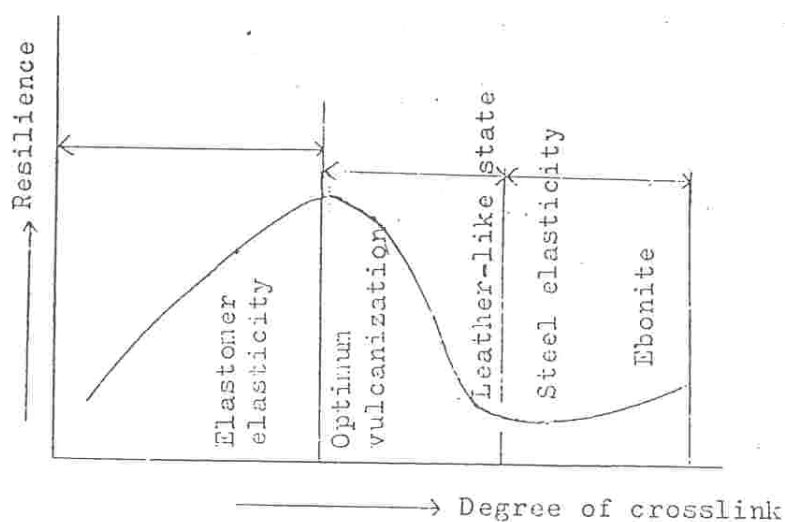


รูปที่ 2.7 ผลของขนาดอนุภาคขี้เถ้าต่อความกระเด็งตัวของยาง (พรพรรณ, 2528)

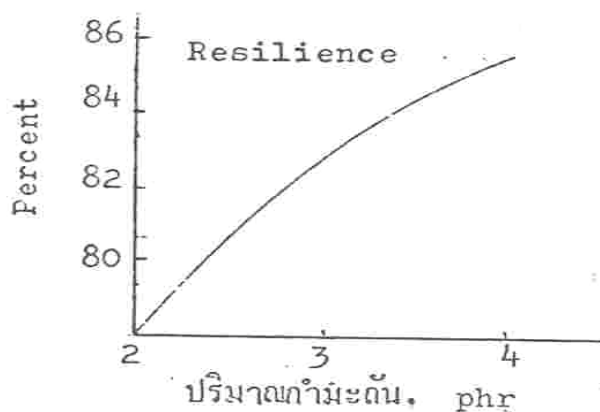
จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าเมื่อปริมาณเขม่าดำเพิ่มขึ้น จะทำให้ความกระด้างตัวของยางลดลงตามปริมาณเขม่าดำที่เพิ่มขึ้น โดยที่เขม่าดำที่มีขนาดเล็กที่สุด (SAF-Black) จะทำให้ความกระด้างตัวของยางลดลงมากที่สุด ส่วน FT-Black ซึ่งมีขนาดใหญ่ทำให้ความกระด้างตัวของยางลดลงน้อยที่สุด

2.3.3 ปริมาณกำมะถัน

การใช้กำมะถันในยาง ถ้ายิ่งมากขึ้นการ crosslink ก็เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยที่ปริมาณ crosslink มีผลต่อการกระด้างตัวของยาง ดังรูปที่ 2.8 และ 2.9



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการกระด้างตัวของยางกับปริมาณการ crosslink (พรพรรณ, 2528)



รูปที่ 2.9 ผลของปริมาณการฉีกต่อความกระด้างตัวของยาง (พรพรรณ, 2528)

จากรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่าปริมาณการฉีกตั้งแต่ 0-5 ส่วน จะทำให้ยางมีสภาพยืดหยุ่น ปริมาณการฉีกตั้งแต่ 5-15 ส่วน จะทำให้ยางแข็ง ทำให้การกระด้างตัวของยางลดลง

2.3.4 ชนิดและเครื่องทดสอบ

ในการทดสอบความกระด้างตัว การใช้เครื่องทดสอบที่ต่างกัน ความเร็วในการกระทบยาง และพลังงานที่กระทบยางจะแตกต่างกันด้วย ซึ่งอาจทำให้การวัดความกระด้างตัวของยางแตกต่างกันได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความกระด้างตัวของยางวัลคาไนซ์ที่วัดโดยใช้เครื่องทดสอบต่างกัน (Brown, 1979)

เครื่องทดสอบ	ความกระด้างตัว (%)			
	ยางธรรมชาติ	ยางเอสปีอาร์	ยางคลอโรพรีน	ยางบิวไทล์
Schop	70	47	42	8.5
Lupke	80	55	52	11
Dunlop	85	63	60	20
Tripsometer	87	63	58	23
G.-Healey	87	67.5	65.5	31.5

2.3.5 การเตรียมและขนาดของชิ้นทดสอบ

ความกระด้างตัวของยางแม้จะใช้เครื่องทดสอบเหมือนกัน แต่ถ้าความหนาของชิ้นทดสอบที่ใช้ทดสอบต่างกัน หรือการเตรียมชิ้นทดสอบไม่เหมือนกัน เช่นทาแป้งทาลค์ม หรือไม่ทา ก็จะทำให้ผลที่ได้แตกต่างกันไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ผลของขนาดชิ้นทดสอบ และการทาแป้งทาลค์มต่อความกระด้างตัวของยาง โดยทดสอบด้วยเครื่อง Schop (บุญธรรม และปรีชา, 2530)

ขนาดชิ้นทดสอบ		ความกระด้างตัว (%)	
เส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.)	ความหนา (มม.)	ไม่มีแป้ง	มีแป้ง
44.6	10.0	49.5	49.5
44.6	10.0	50	49.5
36.6	7.8	47	46
36.6	6.1	46	42
36.6	2.5	32	23.5
15.0	10.0	49	48.5
15.0	7.8	48	46.5
15.0	6.7	46	43
15.0	3.8	39	32
15.0	2.0	25	18
15.0	1.5	17	10.5

จากตารางที่ 2.4 จะเห็นว่าความหนาของชิ้นทดสอบมีผลอย่างมากต่อความกระด้างตัวของยาง โดยเมื่อความหนาเพิ่มขึ้น ความกระด้างตัวจะเพิ่มขึ้นด้วย และเมื่อพิจารณาความหนาที่ 10 มิลลิเมตร สำหรับชิ้นทดสอบที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 15.0 36.6 และ 44.6 มิลลิเมตร พบว่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่มีผลต่อความกระด้างตัวมากนัก ส่วนการทาหรือไม่ทาชิ้นทดสอบด้วยแป้งทาลค์ม นั้น ก็จะมีผลต่อความกระด้างตัวของยางเช่นกัน ซึ่งการทาแป้งทาลค์ม นั้น จะทำให้ค่าความกระด้างตัวน้อยกว่าการไม่ทาแป้งทาลค์ม

2.3.6 ชนิดและปริมาณของ crosslink

การทำให้ยางเกิดการ crosslink โดยการใช้กำมะถัน สารตัวเร่ง และสารกระตุ้นนั้น โดยปกติจะใช้ปริมาณกำมะถัน 2.5 phr และสารตัวเร่ง 0.5 phr ซึ่งพบว่าใน 1 crosslink จะใช้กำมะถัน 1-8 ตัว และอัตราส่วนของการใช้กำมะถันในการ crosslink จะเป็นดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 อัตราส่วนของการใช้กำมะถันในการ crosslink แต่ละชนิด (Southern, 1979)

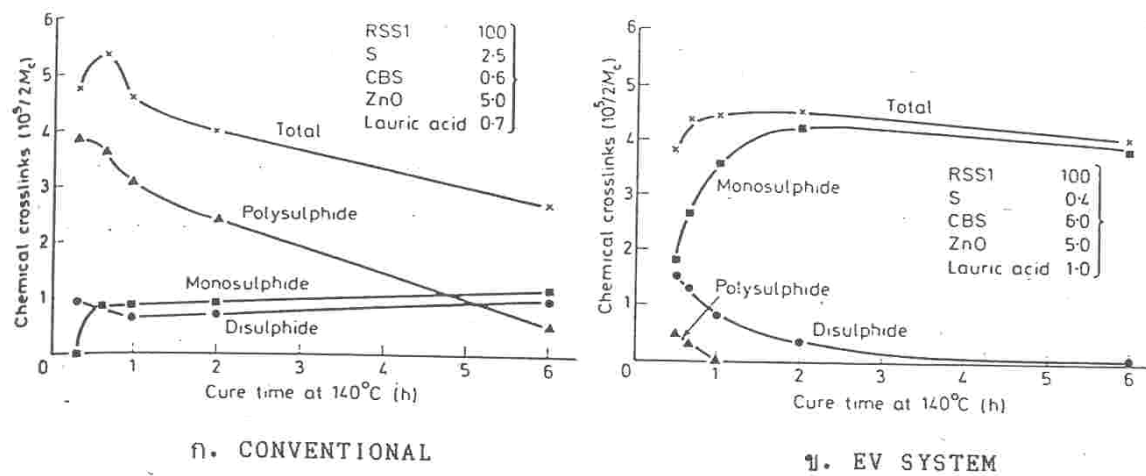
ชนิดของ crosslink	อัตราส่วนร้อยละ
Polysulphidic	70
Disulphidic	15
Monosulphidic	15

จะเห็นได้ว่า การใช้กำมะถันในการ crosslink ไม่มีประสิทธิภาพมากนัก จึงมีการปรับปรุงให้มีการใช้กำมะถันอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการเพิ่มสัดส่วนของสารตัวเร่งต่อกำมะถันให้สูงขึ้น ซึ่งผลของการปรับปรุงนี้ การ crosslink ส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 90 เป็น Monosulphidic crosslink วิธีการ crosslink แบบนี้เรียกว่าระบบอีวี (Efficiently vulcanized system, EV system) การใช้อัตราส่วนระหว่างกำมะถันกับสารตัวเร่งนั้นเป็นการกำหนดว่าระบบการวัลคาไนซ์นั้นจะเป็นระบบปกติ หรือแบบอีวี ถ้าหากอยู่ระหว่างนี้ก็จะเป็นระบบเคมีอีวี (Semi-efficiently vulcanized system, Semi-EV system) ปริมาณของกำมะถันและสารตัวเร่งทั้ง 3 ระบบ แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การจำแนกระบบการวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน

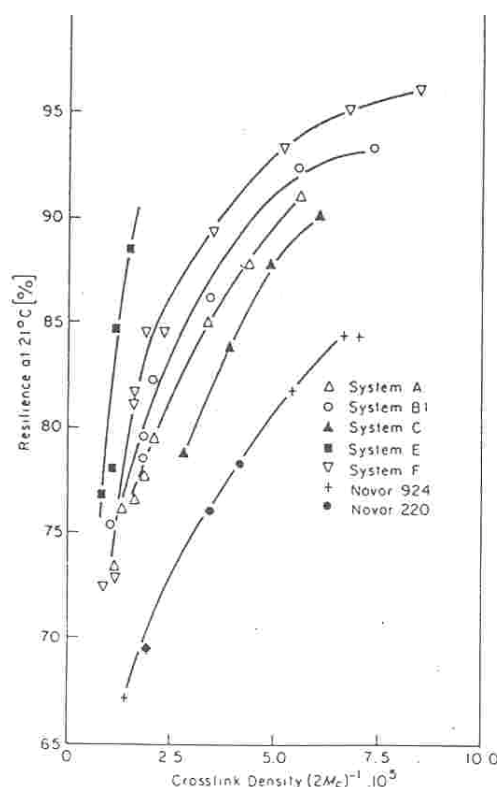
ระบบวัลคาไนซ์	กำมะถัน	สารตัวเร่ง
ปกติ	2.0-3.5	0.4-1.0
เคมีอีวี	1.0-1.7	1.0-2.5
อีวี	0.3-0.8	2.5-6.0

ซึ่งสามารถแสดงชนิดของ crosslink ที่เวลาในการวัลคาไนซ์ต่าง ๆ กันได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ปริมาณของ crosslink ชนิดต่างๆ กับเวลาในการวัลคาไนซ์ (Morrell, 1982)

ทั้งชนิดและปริมาณของการ crosslink จะมีผลต่อการกระด้างตัวของยาง ดังแสดงในรูปที่ 2.11

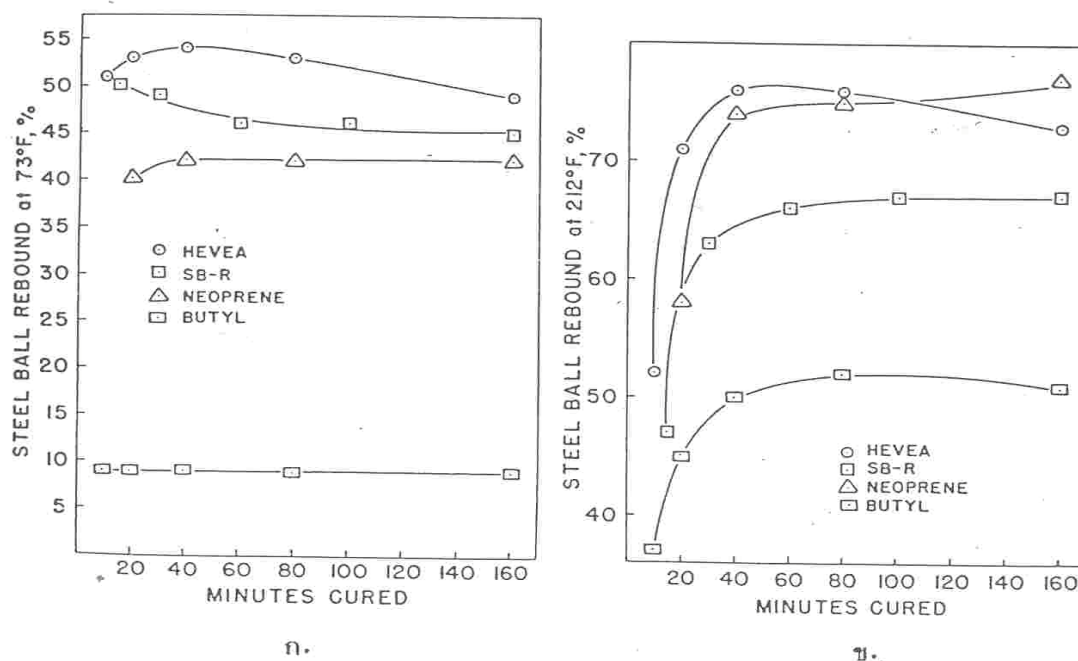


รูปที่ 2.11 ผลของปริมาณการ crosslink ต่อค่าความกระด้างตัวของยางธรรมชาติที่ใช้ระบบวัลคาไนซ์ต่างกัน (Southern, 1979)

A: Dicumyl peroxide B: Sulphur + CBS C: TMTD
 E: Sulphur + ZDMC F: Sulphur + Vulcafor EFA
 : Novor 924 : Novor 220

2.3.7 เวลาในการวัลคาไนซ์

ความยืดหยุ่นของยางซึ่งจะขึ้นอยู่กับ dynamic modulus และ internal friction แทบจะไม่ขึ้นอยู่กับเวลาวัลคาไนซ์เลยเมื่อทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง ดังรูปที่ 2.11 ก แต่ในกรณีที่ทำการทดสอบที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง ความยืดหยุ่นของยางจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเวลาในการวัลคาไนซ์เพิ่มขึ้น จนกระทั่ง optimum cure หลังจากนั้นความยืดหยุ่นของยางจะเปลี่ยนแปลงน้อยมากดังรูปที่ 2.12 ข



รูปที่ 2.12 ผลของเวลาวัลคาไนซ์ต่อความกระด้างตัวของยาง ก.ที่อุณหภูมิ 73 °F ข.ที่อุณหภูมิ 212 °F (Conant, 1964)

2.4 ลูกวอลเลย์บอล

การผลิต ลูกบอลกีฬา และลูกวอลเลย์บอล ที่มีรายงาน (US Pat. No. 4,187,134 U.S.Pat. No. 4,415,154 U.S.Pat. No. 4,598,909 U.S.Pat. No. 5,007,639 U.S.Pat. No. 1,803,121 U.S.Pat. No. 3,256,019 U.S.Pat. No. 3,512,77) โดยทั่วไปลูกวอลเลย์บอล ประกอบด้วยลูกบอลยางในพันด้วยเส้นด้าย จากนั้นหุ้มด้วยแผ่นยางหนาประมาณ 0.4-1.5 มม. นำเข้าเตาขึ้นพิมพ์หรือเพื่อปะชิ้นส่วนของเปลือกหุ้มภายนอก ปะชิ้นส่วนของวัสดุเปลือกหุ้มภายนอกที่ทำการแล้ว นำเข้าเตาอุณหภูมิ 90-150°C เพื่อให้ยางและกาววัลคาไนซ์ และมีรายงานการปรับปรุงลูกวอลเลย์บอลให้เมื่อใช้งานไม่เจ็บมือ โดยการใช้ชั้นยางกลางที่มีรูปร่างเป็นร่างแห waffle (US Patent 5,865,697) หรือการใช้ชั้นยางกลางที่เป็นโฟมยางฉาบบนผ้าใบ (U.S.Pat. No. 6,220,979) หรือการใช้จักรเย็บชิ้นส่วนวัสดุเปลือกหุ้มภายนอก (U.S.Pat. No. 6,206,794) อย่างไรก็ตามรายงานส่วนใหญ่จะไม่มีกล่าวถึงวัสดุยาง สูตรยาง และกาว เส้นใย หรือเปลือกหุ้ม ที่ใช้เตรียมส่วนประกอบต่างๆ ของลูกวอลเลย์บอล ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญที่จะผลิตลูกบอลให้ได้ตามสมบัติที่ต้องการ งานวิจัยนี้จึงจะทำการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตลูกวอลเลย์บอล เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาผลิตลูกวอลเลย์บอลให้มีสมบัติตามมาตรฐานสากล

บทที่ 3

วัสดุ อุปกรณ์ วิธีการทดลอง

3.1 วัสดุ

วัสดุที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

- 3.1.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber, NR)
- 3.1.2 ยางโบรโมบิวไทล์ (Bromobutyl Rubber, BIIR) ชื่อทางการค้า BBX2
- 3.1.3 เขม่าดำ (Carbon Black) เป็นสารตัวเติมเสริมประสิทธิภาพ (Reinforcing Filler
- 3.1.4 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc Oxide, ZnO) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น (Activator)
- 3.1.5 กรดสเตียริก (Stearic Acid) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น (Activator) สำหรับสารตัวเร่งในยาง มีลักษณะเป็นเกร็ดสีขาว
- 3.1.6 กำมะถัน (Sulphur) ทำหน้าที่เป็น Vulcanizing agent มีลักษณะเป็นผงสีเหลือง
- 3.1.7 Antioxidant ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเสื่อมของยาง
- 3.1.8 N-tert-butyl-2-benzothiazyl sulphenamide (TBBS) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่ง มีลักษณะเป็นเม็ดสีขาว
- 3.1.9 Tetramethyl thiuramdisulphide (TMTD) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่ง มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว
- 3.1.10 2-Mercaptobenzothiazole disulphide (MBTS) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่ง มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลืองอ่อน
- 3.1.11 Homogenising agent ทำหน้าที่ช่วยให้สารผสมกันได้ดี
- 3.1.12 CaCO_3 ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม ลดต้นทุน แปรรูปง่าย
- 3.1.13 Processing oil ทำหน้าที่ช่วยผสมสารได้ง่าย
- 3.1.14 Hydrocarbon resin ทำหน้าที่ช่วยเพิ่มการยึดติดและเหนียว
- 3.1.15 เส้นด้ายชนิดไนลอน และพอลิเอสเตอร์
- 3.1.16 หนึ่งปะลูกบอลชนิดพอลิยูรีเทน

3.2 อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

- 3.2.1 เครื่องบดยางสองลูกกลิ้ง (Two Roll Mill) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบดผสมยางและสารเคมีต่างๆเข้าด้วยกัน ลูกกลิ้งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว ความยาว 12 นิ้ว จำนวน 2 ลูก หมุนเข้าหากัน

3.2.2 เครื่องรีโอมิเตอร์แบบแผ่นหมุน (Oscillating Disk Rheometer, ODR) โรเตอร์เป็นแบบ Biconical Disk มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.3996 นิ้ว ซึ่งหมุนกลับไปมา 1 องศา ด้วยความถี่ 100 รอบต่อนาที ใช้สำหรับหา Scorch time และ Cure time ตั้งอุณหภูมิได้สูงสุด 200 องศาเซลเซียส

3.2.3 เครื่อง Compression Moulding เป็นเครื่องสำหรับอัดยางเข้าเบ้าพิมพ์ โดยใช้ระบบไฮดรอลิก ให้ความร้อนด้วยระบบไฟฟ้า

3.2.4 เครื่องวัดความแข็ง (Hardness Tester) ใช้แบบ Shore Durometer วัดความแข็งของยางทดสอบได้มีหน่วยเป็น Shore A

3.2.5 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensometer) เป็นเครื่องที่ใช้วัดแรงกด หรือดึงขึ้นทดสอบ มี Load cell เป็นตัวแปลงสัญญาณจากค่าแรงที่ได้ผ่านวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นค่าแรงดึงหรือแรงกด สามารถปรับความเร็วในการกดหรือดึงได้

3.2.6 Taber Abrader เป็นเครื่องวัดความทนทานต่อการขัดสีของยางและหนัง Taber Type Abrasion Tester ของ Gotech Testing Machine Inc. Model. GT-7012-T

3.2.7 Bursting Tester เครื่องวัดการทนแรงทะลุ ของ Gotech Testing Machine Inc. Model. 7013-AD

3.2.8 เครื่อง Horizontal Pendulum rebound resilience tester เป็นเครื่องวัดการกระเด็นตัวของแผ่นยาง

3.2.9 เครื่องรีดแผ่นยางสามลูกกลิ้ง (Calender) เป็นเครื่องเตรียมแผ่นยางในการทำยางใน

3.2.10 เครื่องอัดเบ้าลูกบอลเลย์บอล เป็นเครื่องอบสุกลูกบอล

3.2.11 เครื่องพันด้ายบนลูกบอล เป็นเครื่องพันด้ายบนลูกบอล

3.2.12 เครื่องช่วยปะหนังบนลูกบอล เป็นเครื่องช่วยให้การปะหนังสม่ำเสมอ

3.2.13 ตู้อบลูกบอล เป็นตู้อบอากาศร้อน ช่วยให้กาที่ทา ลูกบอลสุก

3.3 วิธีการทดลอง และทดสอบ

3.3.1 การศึกษาผลของปริมาณเคมีดำต่อการกระเด็นตัวของยางใน

ทำการผสมยางในสูตรแปรปริมาณ 30-50 phr ตามตารางที่ 3.1 ทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ด้วยเครื่อง ODR ที่อุณหภูมิ 155 °C จากนั้นอัดเบ้าแผ่นขึ้นทดสอบเพื่อทดสอบการกระเด็นตัวของยาง (Rebound) ด้วยเครื่อง Horizontal Pendulum rebound resilience tester

ตารางที่ 3.1 สูตรยางในที่ใช้ ในการทดลองแปรปริมาณเขม่าดำ

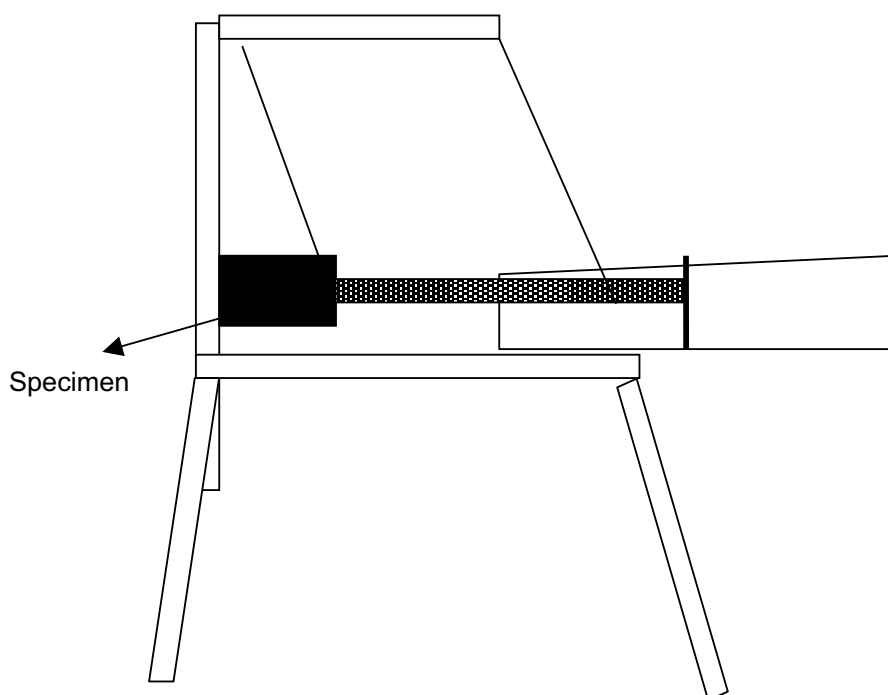
Chemical Name	BBC-187 Phr	40-BBC Phr	30-BBC phr
Bromo-Butyl rubber	79.77	79.77	79.77
Natural rubber	20.14	20.14	20.14
Homoginising agent	2.13	2.13	2.13
Carbon black N-550	25.18	20.00	15.00
Carbon black N-660	25.18	20.00	15.00
Light CaCO ₃	10.07	10.07	10.07
Processing oil	5.43	5.43	5.43
Hydrocarbon resin	3.34	3.34	3.34
Stearic acid	1.86	1.86	1.86
Zinc Oxide	4.97	4.97	4.97
Antioxidant	1.00	1.00	1.00
MBTS	0.9	0.90	0.90
TMTD	0.67	0.67	0.67
Sulphur	1.37	1.37	1.37
TOTAL	181.01	171.65	161.65

การทดสอบการกระเดັงตัวของแผ่นยางขึ้นทดสอบ

นำแผ่นยางวัลคาไนซ์วางที่ตำแหน่งวางขึ้นทดสอบที่เครื่อง Horizontal rebound resilience อ่านตำแหน่งเริ่มต้น (ถ้าขึ้นทดสอบได้มาตรฐาน ตำแหน่งเริ่มต้นคือศูนย์) (ดังรูปที่ 3.1) แล้วดึงแท่งเหล็กให้ไปที่ปลายสุด (ตำแหน่งหนึ่งร้อยเปอร์เซ็นต์) ปล่อยแท่งเหล็กกลับมากระทบกับแผ่นยาง อ่านค่าที่เหล็กกระเดັงตัวกลับครั้งแรก

การคำนวณ

$$\text{Rebound resilience (\%)} = \text{Final scale} - \text{Start scale}$$



รูปที่ 3.1 ลักษณะเครื่อง Horizontal rebound resilience

3.3.2 การศึกษาผลของระบบการวัลคาไนซ์ต่อการกระเด็งตัวของยาง

นำยางคอมปาวด์สูตร BBC-187 ในตารางที่ 3.1 ที่ยังไม่ผสมสารช่วยวัลคาไนซ์ มาผสมสารวัลคาไนซ์ 4 ระบบดังตารางที่ 3.2 จากนั้นนำยางที่ได้ไปทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ วัลคาไนซ์อัดขึ้นทดสอบ และทดสอบการกระเด็งตัวของยางด้วยเครื่อง Horizontal rebound resilience

ตารางที่ 3.2 สูตรยางที่ใช้ระบบวัลคาไนซ์ต่างๆ

สูตร	CON-1	CON-2	SEMI-EV	EV
BBC-187	161.69	161.69	161.69	161.69
BBX2	10	10	10	10
Stearic acid	0.45	0.45	0.45	0.45
ZnO	1.62	1.62	1.62	1.62
MBTS	2	-	0.94	1
TMTD	-	-	0.67	1
CZ	-	2	-	-
DPG	1	1	-	-
Sulphur	2.5	2.5	1.4	0.5

3.3.3 การศึกษาผลของปริมาณเขม่าดำและชนิดของด้ายพันต่อการกระดังตัวของลูกบอลยางกลาง

เตรียมยางคอมปาวด์ดังการทดลองที่ 3.3.1 แล้วนำไปรีดแผ่นด้วยเครื่อง calender โดยเมื่อนำไปตัดด้วยมีด 5VB ยางคอมปาวด์มีน้ำหนักอยู่ในช่วง 125-130 กรัม (วอลเลย์บอล เบอร์ 5) จากนั้นนำไปพียางใน ทำการวัลคาไนซ์ขึ้นรูปลูกบอลยางใน นำลูกบอลยางในที่ได้มาพันด้าย โดยแปรชนิดของด้าย คือ Nylon66 70D/1, Nylon6-210D, Nylon66-100D, Nylon66-70D/2, Nylon66-210D, PE20/1, PE40/1 (จำนวนรอบพันด้ายตามตารางที่ 3.3) ใช้น้ำหนักด้ายและกาวพันด้ายรวม 30-40 กรัม นำไปอบในกระบวนการอบยางกลางที่ 145-155 °C เป็นเวลา 8 นาที จากนั้นเก็บลูกบอลยางในไว้ที่อุณหภูมิทดสอบ 20 °C เป็นเวลาอย่างน้อย 12 ชั่วโมง นำมาวัดค่าการกระดังตัวของลูกบอลยางกลาง โดยนำลูกบอลปล่อยจากที่สูง 100 ซม. กระแทกแผ่นเหล็ก แล้ววัดความสูงที่ลูกบอลกระดังกลับหน่วยเป็นซม. และวัดค่าทุกวันเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของการกระดังตัวของลูกบอลยางกลาง

ตารางที่ 3.3 ชนิดของด้ายที่ใช้กับจำนวนรอบพันด้าย เพื่อให้ได้น้ำหนักของด้ายประมาณ 30 กรัม (1 รอบเครื่องใช้ความยาวของด้าย 0.439 เมตร)

ชนิดด้าย	น้ำหนัก (กรัม) ต่อ เมตร	จำนวนรอบพันด้าย (ใช้ด้าย 3 เส้น)
NY66-70D/1	0.0078	2,928
NY6-210D	0.0233	976
NY66-100D	0.0111	2,050
NY66-70D/2	0.0156	1,464
NY66-210D	0.0233	976
PE20/1	0.0295	771
PE40/1	0.0148	1,543
NY66-210D (non woven)	0.0260	876
NY66-100D (non woven)	0.0120	1,980

3.3.4 ศึกษาการยืดยางและสูตรยางต่อการกระเด็งตัว

ผสมยางตามสูตรในตารางที่ 3.4 ด้วยเครื่องผสมยางสองลูกกลิ้ง สูตรละ 500 กรัม นำมาทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ ด้วยเครื่อง Rheometer นำยางที่ได้ไปอัดเป็นแผ่นยางหนาประมาณ 0.5-1.0 mm. ตั้งแผ่นยางทิ้งไว้อย่างน้อย 12 ชั่วโมงก่อนการทดสอบ

ตารางที่ 3.4 สูตรยางศึกษาผลของการยืดยางต่อการกระเด็งตัว

	BBC30	N-TUBE	N-1	BBC187	B
Chemical					
RSS3	42.34	54.63	55	20.14	20.14
BBX2	30.79	45.53	45	79.77	79.77
SBR1502	26.9	-	-	-	-
HM501	2.53	2.03	2	2	2
N-330	20.18	-	-	-	-
N-550	-	23	20	25.18	25.18
N-660	-	23	20	25.18	25.18
Chemical	BBC30	N-TUBE	N-1	BBC187	B

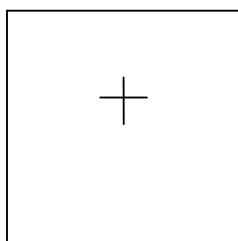
CLAY	80.83	-	-	-	-
B-201	50.04	9.78	10	10	10
SOIL	12.91	5.17	5	5.43	5.43
SP	2.91	-	1	-	-
P-66	1.82	-	-	-	-
TMTM	0.54	0.68	0.7	0.67	0.67
MBTS	-	-	-	0.9	0.9
CBS	1.82	-	-	-	-
DPG	-	0.68	0.6	-	0.6
ROSN	2.53	3.18	3	3	3
Factices	-	-	5	-	5
ZnO	4.04	8.68	5	4.97	4.97
Stearic acid	3.43	1.93	2	1.86	1.86
S	1.62	1.25	1.25	1.37	1.37

นำไปทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดและค่ากระเดັงตัว โดยนำแผ่นยางที่วัดระยะตรงกลางในแนวนอนและแนวตั้ง ให้มีระยะ 10 mm. (ตามรูปที่ 3.2) จากนั้นนำแผ่นยางวางบนท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 7.5 cm. หนา 0.5 cm.(รูปที่ 3.3) รััดขอบยางด้านนอกด้วยเข็มขัดเหล็ก (ตามรูปที่ 3.4) โดยต้องระวังไม่ให้ยางยืดตัวขณะรััดยาง นำท่อ PVC วางที่ตำแหน่งวางชั้นทดสอบที่เครื่อง Horizontal rebound resilience อ่านตำแหน่งเริ่มต้น (ตามรูปที่ 3.1) แล้วดึงแท่งเหล็กให้ไปที่ปลายสุด ปล่อยแท่งเหล็กกลับมากกระทบกับแผ่นยาง อ่านค่าที่เหล็กเดັงตัวกลับครั้งแรก ลบด้วยตำแหน่งเริ่มต้นเป็นค่า % rebound resilience ของยางที่ระยะยืด (Elongation) 0%

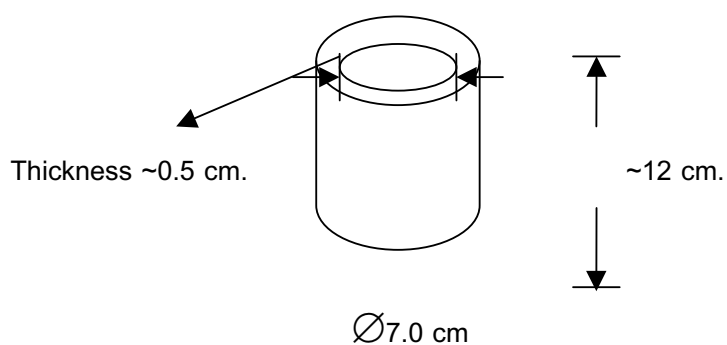
นำแผ่นยางแผ่นเดิมยืดตัวประมาณ 10% (11 mm.) ทั้งแนวนอนและแนวตั้ง รััดขอบยางด้วยเข็มขัดเหล็ก ต้องระวังระยะยืดตัวของยางเปลี่ยนขณะรััดแผ่นยาง วัดค่า Rebound resilience เช่นเดียวกับข้างต้น แต่ เป็นค่า Rebound resilience ที่ระยะยืด (Elongation) 10% ยางแผ่นเดิมยืดตัวออกไปอีกเป็นที่ระยะยืดต่างๆ วัดค่าเช่นเดียวกัน ถ้ากรณีที่ยื่นทดสอบเดิมเกิดรอยตำหนิ หรือรอยขาดจะเปลี่ยนแผ่นใหม่ สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาค่า Rebound resilience คือ

$$\text{Rebound resilience (\%)} = \text{Final scale} - \text{Start scale}$$

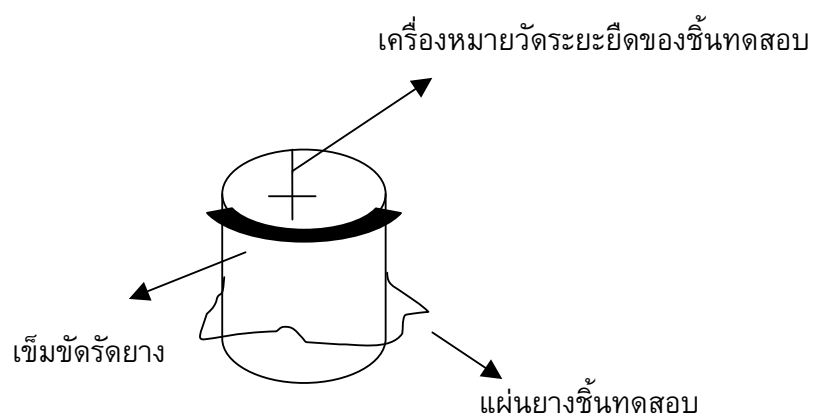
$$\text{Elongation (\%)} = (\text{Final distance} - \text{Start distance}) \times 100 / \text{Start distance}$$



รูปที่ 3.2 การทำเครื่องหมายบนชิ้นทดสอบ แนวนอนและแนวตั้ง



รูปที่ 3.3 ขนาดของท่อ PVC ที่ใช้เตรียมชิ้นทดสอบ



รูปที่ 3.4 การเตรียมชิ้นทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืด (Elongation) และ ค่าการกระเด็นตัว (Rebound resilience)

3.3.5 การศึกษาอัตราส่วนยางเบลนด์ของสูตรยางที่มีผลต่อการกระด้างและการกักเก็บลมของลูกบอลยาง

ผสมยางคอมปาวด์สูตร Butyl-100% นำไปผสมที่ BANBURY ขนาด 100 ลิตร โดยคำนวณให้มี fill factor = 0.75 แสดงน้ำหนักสารเคมีตามตารางที่ 3.5

นำยางคอมปาวด์ที่ได้คำนวณเป็นสูตรลูกบอลยางในอย่างละ 30 กิโลกรัม โดยแต่ละสูตรให้มีปริมาณ BBX2/RSS3 ที่ 100/0, 90/10, 80/20, 70/30, 60/40, 50/50 เตรียมแผ่นขึ้นทดสอบด้วยการอัดเบ้าเพื่อหาสมบัติการทนทานต่อการดึงและการกระด้างตัวของยาง ที่การยืดต่าง ๆ และยางคอมปาวด์อีกส่วนหนึ่งนำไปออกแผ่นยางด้วยเครื่อง Calender ออกเป็นยางในน้ำหนักที่ 90 ± 5 กรัม ตัดขนาด 198 ใช้ Ring gauge เบอร์ 201 เตรียมอย่างน้อย 10 ลูก อัดวัลคาไนซ์ยางใน แล้วพันด้วยด้ายชนิด NY66-100D จำนวนด้าย 2 เส้น พันรอบลูกบอลยางในจำนวน 1575 รอบ เคลือบกาวพันด้ายหนัก 7 กรัม ทากาวยาง ได้น้ำหนักลูกบอลยางกลางที่ 184-186 กรัม เส้นรอบวง 650-670 มิลลิเมตร ทดสอบการกระด้างตัวของลูกบอล และการเก็บกักลมโดยอัดลมเข้าลูกบอลด้วยความดัน 4.61 psi ตั้งทิ้งไว้ 7 วันแล้ววัดความดันที่เหลือ

ตารางที่ 3.5 สูตรการผลิต Master Batch ยางโพรโมบิวไทล์ ด้วยเครื่องผสมแบบปิดขนาด 100 ลิตร

(Material Code)	PHR	Banbury (KG.)
11-BBX2	50.00	37.80
N-550	25.00	18.90
N-660	25.00	18.90
14-B201	10.00	7.60
OILA	6.00	4.500
13-SP	1.00	0.760
13-ZNO	5.00	3.780
13-STAC	2.00	1.510
15-LX	3.00	2.270
TOTAL	127.000	96.020
S.G. (formular)	1.280	

ตารางที่ 3.6 สูตรการผสม MASTER BATCH เพื่อให้ได้ยางคอมปาวด์ที่อัตราส่วนยางเบลนด์ต่างๆ

วัตถุดิบ	100/0	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50
Masterbatch	127	127	127	127	127	127
BBX2	50	40	30	20	10	-
RSS 3	-	10	20	30	40	50
TMTM	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
MBTS	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Sulphur	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
Total	180	180	180	180	180	180

การทดสอบสมบัติการวัลคาไนซ์

ทำการทดสอบด้วยเครื่องรีโอมิเตอร์แบบแผ่นหมุน (ODR 2000) โดยใช้อุณหภูมิ 160°C เป็นเวลา 30 นาที โดยเครื่องทดสอบจะรายงานผลเป็นค่าแรงบิดต่ำสุด (M_L) ค่าแรงบิดสูงสุด (M_H) ค่า Scorch time (t_{s2}) และ 90% Cure time (t_{90})

การทดสอบสมบัติยางวัลคาไนซ์

นำยางคอมปาวด์ที่เตรียมได้มาอัดเข้าเพื่อเตรียมชิ้นทดสอบด้วยเครื่องอัดเข้าแบบไฮดรอลิก โดยใช้อุณหภูมิ 160°C ตามเวลา 90% cure time หลังจากนั้นนำชิ้นทดสอบที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติดังต่อไปนี้

การทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง

ทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D 412-98 โดยใช้ชิ้นทดสอบรูปตัวยาว ขนาดความยาว 115 มม. กว้าง 6 ± 0.4 มม. แล้วนำไปทดสอบด้วยเครื่อง Tensometer ที่อัตราการดึง 500 ± 50 มม./นาที รายงานผลเป็นแรงดึงต่อพื้นที่หน้าตัด (N/mm^2 หรือ MPa)

การคำนวณ

$$\text{Tensile strength} = F/A$$

โดย

F = แรงดึงที่ทำให้ชิ้นทดสอบขาด (N)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นทดสอบขณะยังไม่ยืด (mm^2)

การทดสอบความต้านทานต่อการยืด

ทำการทดสอบเหมือนการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงใน โดยอ่านระยะที่ชิ้นทดสอบสามารถยืดตัวได้จนขาด

การคำนวณ

$$\text{Elongation at break} = 100 \times (L - L_0) / L_0$$

โดย

L = ระยะที่ชิ้นทดสอบสามารถยืดตัวได้จนขาด (cm)

L_0 = ระยะกำหนดก่อนทำการทดสอบ (cm)

3.3.6 ปัจจัยในการเตรียมลูกบอลยางกลางที่มีผลต่อการกระเด็นตัว

3.3.6.1 ผลของชนิดกาวสำหรับทำยางกลางโดยการทา

ในการเตรียมลูกบอลยางกลาง หลังจากพันด้ายบนลูกบอลยางใน ขั้นตอนต่อไปคือการหุ้มด้วยยางกลางซึ่งอาจจะทำได้ด้วยการนำกาวมาทา หรือการหุ้มด้วยแผ่นยาง ซึ่งจะมีผลต่อการกระเด็นตัวของลูกบอล การทดลองนี้ทำการเปรียบเทียบชนิดของกาวที่นำมาทาหุ้มลูกบอลยางในหลังพันด้าย มีกาวคลอ-โรพรีน 3 ชนิดคือ CR Dongsung, CR Sic, CR DB และกาวคลอโรพรีนเบลนด์กับยางธรรมชาติ 2 สูตรคือ Blend 1 (ยางธรรมชาติ 10 phr) และ Blend 4 (ยางธรรมชาติ 40 phr) การเตรียมลูกบอลดังแสดงในตารางที่ 3.7 เมื่อได้ลูกบอลยางกลางแล้วนำไปทดสอบการกระเด็นตัวของลูกบอล

ตารางที่ 3.7 การเตรียมลูกบอลยางกลางที่ใช้กาวยางกลางต่างชนิดกัน

ชนิดยางใน	BBC187	BBC187	BBC187	BBC187	BBC187
φยางใน	198	198	198	198	198
น้ำหนักยางใน	90	90	90	90	90
ริงเกจ	201	201	201	201	201
ชนิดด้าย	NY66-100D	NY66-100D	NY66-100D	NY66-100D	NY66-100D
จำนวนด้าย	2N	2N	2N	2N	2N
รอบพันด้าย	1575	1575	1575	1575	1575
ชนิดกาวพันด้าย	winding glue	winding glue	winding glue	winding glue	winding glue
น้ำหนักกาวพันด้าย	7	7	7	7	7
น้ำหนักพันด้าย	15	15	15	15	15
ชนิดยางกลาง	CR Dongsung	CR Sic	CR DB	Blend 1	Blend 4
Process carcass	ทา	ทา	ทา	ทา	ทา
น้ำหนักยางกลาง	185	185	185	185	185
เส้นรอบวง (mm)	650-670	650-670	650-670	650-670	650-670

3.3.6.2 ผลของชนิดของด้ายพันต่อการกระด้างของลูกบอลยางกลาง

เมื่อได้ชนิดกาวยางกลางที่ดี จึงนำชนิดด้ายต่างๆ มาเตรียมลูกบอลยางกลางเมื่อศึกษาชนิดของด้ายพันที่มีผลต่อการกระด้างตัวของลูกบอลยางกลาง สมภาวะการเตรียมดังแสดงในตารางที่ 3.8 จากนั้นทดสอบการกระด้างตัวของลูกบอลยางกลาง

ตารางที่ 3.8 การเตรียมลูกบอลยางกลางที่ใช้ด้ายพันชนิดต่างๆ

ชนิดยางใน	BBC187	BBC187	BBC187	BBC187	BBC187	BBC187
ยางใน	198	198	198	198	198	198
น้ำหนักยางใน	89	89	89	90	90	90
ริงเกจ	201	201	201	201	201	201
ชนิดด้าย	NY66-100D RFL	NY66-100D	NY6-210D	NY6-210D RFL	PE20/1	PE4/1
จำนวนด้าย	2N	2N	2N	2N	2N	2N
รอบพันด้าย	1575	1575	732	732	570	1220
ชนิดกาวพันด้าย	winding glue	winding glue	winding glue	winding glue	winding glue	winding glue
น้ำหนักกาวพันด้าย	7	7	7	7	7	7
น้ำหนักพันด้าย	119	119	119	119	119	119
ชนิดยางกลาง	Blend 4	Blend 4	Blend 4	Blend 4	Blend 4	Blend 4
Process carcass	ทา	ทา	ทา	ทา	ทา	ทา
น้ำหนักยางกลาง	182	185	184	184	185	185

3.3.6.3 สูตรยางในที่มีผลต่อการกระด้างตัวของลูกบอลยางกลาง

จากการทดลองหัวข้อ 3.3.5 ผลของปริมาณยางธรรมชาติในลูกบอลยางในให้ผลที่ไม่ชัดเจนนัก แต่แนวโน้มคือการใช้ยางธรรมชาติที่มากขึ้นจะทำให้การกระด้างตัวของยางดีขึ้น การทดลองนี้จึงทำการทดลองซ้ำผสมยางในใหม่และทำการเตรียมลูกบอลยางกลาง ทดสอบการกระด้าง สูตรที่ใช้แสดงดังตารางที่ 3.9 จากนั้นเตรียมยางในสองขนาดคือ 198 และ 190 โดยใช้ริงเกจขนาดเดียวกันที่ 201 สมภาวะการเตรียมดังตารางที่ 3.10 โดยการทดลองนี้ทดลองมียางกลางหุ้มหลังพันด้าย เป็นแผ่นยางกลางสูตร carcass จากนั้นนำไปทดสอบการกระด้างของลูกบอลยางกลาง

ตารางที่ 3.9 สูตรยางในที่มีปริมาณยางธรรมชาติต่างกัน

	BBC187	BBC30	N2
Material	PHR	PHR	PHR
RSS3	20.14	42.34	55
BBX2	79.77	30.79	45
SBR1502	-	26.9	-
HM501	2	2.53	2
N-330	-	20.18	-
N-550	25.18	-	20
N-660	25.18	-	20
CLAY	-	80.83	-
B-201	10	50.04	10
SOIL	5.43	12.91	-
SP	-	2.91	1
P-66	-	1.82	-
TMTM	0.67	0.54	0.7
MBTS	0.9	-	-
CBS	-	1.82	-
DPG	-	-	0.6
ROSN	3	2.53	3
Factices	-	-	5
ZnO	4.97	4.04	5
STAC	1.86	3.43	2
S	1.37	1.62	1.25

ตารางที่ 3.10 การเตรียมลูกบอลลอยกลางและการกระตั้งของลูกบอลลอยกลาง

ชนิดยางใน	BBC187		BBC30		N2	
Øยางใน	198	190	198	190	198	190
น้ำหนักยางใน	81	79	80	80	80	80
ริงเกจ	201	201	201	201	201	201
ชนิดด้าย	66/100R	66/100R	66/100R	66/100R	66/100R	66/100R
จำนวนด้าย	2N	2N	2N	2N	2N	2N
รอบพันด้าย	1424	1424	1424	1424	1424	1424
ชนิดการพันด้าย	NR	NR	NR	NR	NR	NR
น้ำหนักการพันด้าย	7	7	7	7	7	7
น้ำหนักพันด้าย	15	15	15	15	15	15
น้ำหนักบอล+ด้าย	112	110	110	110	110	110
ชนิดยางกลาง	carcass	carcass	carcass	carcass	carcass	carcass
น้ำหนักยางกลาง	186	185	186	186	185	185

3.3.6.4 ผลของน้ำหนัวยางในการกระเดื่องตัวของลูกบอลยางกลาง

ทำการเตรียมลูกบอลยางกลางเพิ่มโดยให้ยางในมีน้ำหนักมากขึ้น ขั้นตอนการเตรียมดังตารางที่ 3.11 จากนั้นทดสอบการกระเดื่องตัวของลูกบอลยางกลางที่เตรียมได้

ตารางที่ 3.11 การเตรียมลูกบอลยางกลางที่น้ำหนักต่างๆ

ชนิดยางใน	N2	
Øยางใน	198	198
น้ำหนักยางใน	80	116
ริงเกจ	201	201
ชนิดด้าย	66/100R	66/100R
จำนวนด้าย	2N	2N
รอบพันด้าย	1424	1424
ชนิดทอพันด้าย	NR	NR
น้ำหนักทอพันด้าย	7	7
น้ำหนักพันด้าย	15	15
น้ำหนักบอล+ด้าย	110	146
ชนิดยางกลาง	carcass	carcass
น้ำหนักยางกลาง	185	185

3.3.6.5 ผลของชนิดการพันด้ายต่อการกระเดื่องตัวของลูกบอลยางกลาง

ทำการเตรียมลูกบอลยางกลางที่ใช้การพันด้ายพอลิยูรีเทน เปรียบเทียบกับกายทรงธรรมชาติที่ใช้ปกติ ขั้นตอนการเตรียมดังแสดงในตารางที่ 3.12 จากนั้นทดสอบการกระเดื่องตัวของลูกบอลยางกลางที่เตรียมได้

ตารางที่ 3.12 การเตรียมลูกบอลยางกลางโดยใช้การพันด้ายต่างชนิดกัน

ชนิดยางใน	N2	
Øยางใน	198	198
น้ำหนักยางใน	80	80
ริงเกจ	201	201
ชนิดด้าย	66/100R	66/100R
จำนวนด้าย	2N	2N
รอบพันด้าย	1424	1424
ชนิดการพันด้าย	NR	PU
น้ำหนักการพันด้าย	7	7
น้ำหนักพันด้าย	15	15
น้ำหนักบอล+ด้าย	110	110
ชนิดยางกลาง	carcass	carcass
น้ำหนักยางกลาง	185	184

3.3.6.6 ผลของจำนวนรอบพันด้ายต่อการกระเด็นตัวของลูกบอลยางกลาง

ทำการเตรียมลูกบอลยางกลางที่พันด้ายด้วยจำนวนรอบและชนิดเส้นด้ายที่ต่างกันดังตารางที่ 3.13 จากนั้นทดสอบการกระเด็นตัวของลูกบอลยางกลางที่เตรียมได้

ตารางที่ 3.13 การเตรียมลูกบอลยางกลางที่พันด้ายด้วยจำนวนรอบและชนิดเส้นด้ายที่ต่าง

ชนิดยางใน	N2	
Øยางใน	198	198
น้ำหนักยางใน	80	80
ริงเกจ	201	201
ชนิดด้าย	66/100R	66/100R
จำนวนด้าย	2N	2N+1PE
รอบพันด้าย	1424	900
ชนิดกาวพันด้าย	NR	NR
น้ำหนักกาวพันด้าย	7	7
น้ำหนักพันด้าย	15	15
น้ำหนักบอล+ด้าย	110	109
ชนิดยางกลาง	carcass	carcass
น้ำหนักยางกลาง	185	185

3.3.6.7 ผลของชนิดยางกลางต่อการกระเด็นตัวของลูกบอลยางกลาง

ทำการเตรียมลูกบอลยางกลางที่ใช้ชนิดยางกลางต่างกันมาคลุมลูกบอลหลังพันด้าย โดยชนิดยางกลางที่ใช้เพิ่มจาก carcass คือ CF-10 และ TF-10 สูตรยางกลางที่ใช้ดังตารางที่ 3.14 สภาวะการเตรียมลูกบอลยางกลางดังตารางที่ 3.15 จากนั้นทดสอบการกระเด็นตัวของลูกบอลยางกลางที่เตรียมได้

ตารางที่ 3.14 สูตรยางกลาง TF-10 และ CF-10

Material	TF-10	Material	CF-10	Carcass
RSS3	50	RSS3	100	100
BR0100	50	B201	15	15
VN3	5	A106	15	15
B201	20	VN3	12	12
ZNO	5	ZNO	4	4
STAC	2	STAC	2	2
SP	1	SP	1	1
TMTD	0.5	P66	0.5	0.5
MBT	0.5	DPG	0.47	0.47
LX	2	MBT	0.35	0.35
ROSN	1.5	LX	1.01	1.01
S	1.5	S	0.63	0.63
Factice	10	Factice	10	-

ตารางที่ 3.15 การเตรียมลูกบอลยางกลางที่หุ้มด้วยยางกลางต่างๆ

ชนิดยางใน	N2		N2		N2	
Øยางใน	198	190	198	190	198	190
น้ำหนักยางใน	79	80	80	80	80	80
ริงเกจ	201	201	201	201	201	201
ชนิดด้าย	Nylon 66/100R	Nylon 66/100R	Nylon 66/100R	Nylon 66/100R	Nylon 66/100R	Nylon 66/100R
จำนวนด้าย	2N	2N	2N	2N	2N	2N
รอบพันด้าย	1424	1424	1424	1424	1424	1424
ชนิดกาวพันด้าย	NR	NR	NR	NR	NR	NR
น้ำหนักกาวพันด้าย	7	7	7	7	7	7
น้ำหนักพันด้าย	15	15	15	15	15	15
น้ำหนักบอล+ด้าย	110	109	109	110	109	110
ชนิดยางกลาง	CF-10	CF-10	TF-10	TF-10	carcass	carcass
น้ำหนักยางกลาง	185	186	185	184	185	184

3.3.7 ปัจจัยที่มีผลต่อการกระเด็นและการใช้งานของลูกบอลสำเร็จรูป

3.3.7.1 ผลของชนิดกาวยางกลางและหนังปะ

ทำการเตรียมลูกบอลสำเร็จรูปที่มีชนิดหนังปะและกาวยางกลางที่ต่างกัน โดยมีโครงสร้างดังตารางที่ 3.16 จากนั้นทดสอบรูปร่างและการกระเด็นตัวของลูกบอลยางกลางที่เตรียมได้

ตารางที่ 3.16 การเตรียมลูกบอลสำเร็จรูปที่ใช้กาวยางกลางและหนังปะต่างชนิดกัน

	M1	M2	M3	M4
ชนิดยางใน	N2	N2	N2	N2
φยางใน	198	198	198	198
น้ำหนักยางใน	121	125	121	122
ริงเกจ	204	204	201	204
ชนิดด้าย	Nylon66-100D RFL	Nylon66-100D RFL	Nylon66-100D RFL	Nylon66-100D RFL
จำนวนด้าย	2N	2N	2N	2N
รอบพันด้าย	1424	1424	1424	1424
ชนิดกาวพันด้าย	Winding glue	Winding glue	Winding glue	Winding glue
น้ำหนักกาวพันด้าย	7	7	7	7
น้ำหนักพันด้าย	150	154	150	151
ชนิดยางกลาง	Blend 4	Blend 4	Blend 4	กาวจุ่มใน line
น้ำหนักยางกลาง (g)	186	186	186	186
น้ำหนักยางกลาง หลังตากาว	206	207	206	210
ชนิดของหนัง	Mikasa A / Mikasa B	Cordley	Dove	Dove
น้ำหนักหนังก่อนตากาว	68.5	84.6	66.6	73.8
น้ำหนักหนังหลังตากาว	78	97	77.6	84.9

3.3.7.3 การผลิตลูกบอลโครงสร้างใหม่

ทำการผลิตลูกบอลโครงสร้างใหม่ที่ได้จากการทดลองเล่น คือโครงสร้างคล้ายกับ vega9 ดังตารางที่ 3.18 โดยทำการผลิตครั้งแรก 30 ลูก และครั้งที่ 2 เป็น Pilot run ปริมาณ 300 ลูก พร้อมปะหนัง จากนั้นตรวจสอบ เส้นรอบวง น้ำหนัก และค่าการกระเด็ง

ตารางที่ 3.18 โครงสร้างการเตรียมลูกบอลโครงสร้างใหม่

	Item VU-52-207 W/Y/RB (TF-Gold) จำนวน 300 ลูก
ชนิดยางใน	N2
φยางใน	198
น้ำหนักยางใน	75-85
ริงเกจ	201
ชนิดด้าย	Nylon66-100D RFL
จำนวนด้าย	2N
รอบพันด้าย	1424
ชนิดกาวพันด้าย	Winding glue
น้ำหนักกาวพันด้าย	7
น้ำหนักพันด้าย	15
ชนิดยางกลาง	VB Carcass
น้ำหนักยางกลาง (g)	175-185
ชนิดของหนัง	Cordley
เส้นรอบวง (mm)	650-670
น้ำหนักสำเร็จรูป	260-280

3.3.7.4 การทดสอบการเล่นครั้งที่ 2

ทำการเตรียมลูกบอลสำเร็จรูปด้วยโครงสร้างต่างๆดังตารางที่ 3.19 โครงสร้างละสองลูก ทำการทดสอบการกระเด็นตัว และทดสอบการเล่นโดยนักกีฬาทีมชาติ

ตารางที่ 3.19 การเตรียมลูกบอลสำเร็จรูปเพื่อทดสอบการเล่นด้วยนักกีฬาทีมชาติครั้งที่ 2

โครงสร้างลูกบอลครั้งที่2	A	B	C	D
ชนิดของยางใน	N2	N2	ยางกลาง Mikasa MV200	Volleyball Mikasa MV200
น้ำหนักยางใน	75-85	75-85		
ชนิดเส้นด้าย	Nylon-100D RFL	Nylon-100D RFL		
จำนวนรอบพันด้าย	1424	1424		
ชนิดยางกลาง	VB Carcass	VB Carcass		
ชนิดของหนัง	Cordley	Mikasa MV200	Cordley	

โครงสร้างลูกบอลครั้งที่2	D1	D3	D4	D5	D9
ชนิดของยางใน	N2	BBC187	N2	N2	N2
น้ำหนักยางใน	115-120	115-120	115-120	115-120	115-120
ชนิดเส้นด้าย	Nylon-100D RFL	Nylon-100D RFL	Nylon-100D RFL	Nylon-100D RFL	Nylon-100D
จำนวนรอบพันด้าย	1424	1424	1424	1424	1424
ชนิดยางกลาง	F12	F12	VB Carcass	VB Carcass	VB Carcass
ชนิดของหนัง	Cordley	Cordley	Cordley	Dove	Cordley

3.3.7.5 การปรับปรุงประสิทธิภาพของหนังปะชนิด DOVE

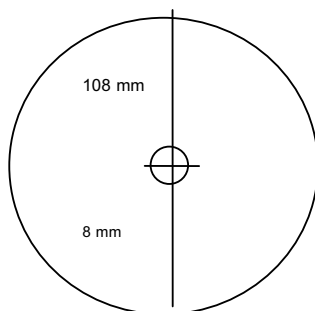
เป็นการทดลองพัฒนาหนังปะ Dove ให้มีความนิ่มละไม่ลื่น โดยบริษัทผู้ผลิตเป็นผู้พัฒนาและจัดเตรียมให้ จากนั้นทดสอบสมบัติทางกายภาพของหนัง คือ วัสดุที่ใช้ทำหนัง ชนิดของรองพื้น (Backing) น้ำหนัก การกระเด็นตัว (ทดสอบเช่นเดียวกับแผ่นยาง ด้วยเครื่อง Horizontal Rebound Tester) ความทนทานต่อการขีดสี และการทนแรงทะลุ (Bursting Strength)

การทดสอบทนต่อการขัดสี (Abrasion test)

การทดสอบการทนต่อการขัดสีทำการทดสอบโดยเครื่อง Taber Type Abrasion Tester ของ Gotech Testing Machine Inc. Model. GT-7012-T

ขั้นตอนการตรวจสอบ

1) ตัดตัวอย่างเป็นรูปวงกลมตามรูป โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางด้านนอก เท่ากับ 108 มิลลิเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 8 มิลลิเมตร ตัวอย่างมีความหนา 3 มิลลิเมตร



2) ตัวอย่างทำการควบคุมอุณหภูมิที่ $23 \pm 1^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ ที่ $65 \pm 2\%$ อย่างน้อย 48 ชั่วโมง ก่อนทดสอบ

3) ทำการทดสอบชิ้นตัวอย่างโดยเงื่อนไขในการทดสอบเป็นดังนี้

น้ำหนักที่กดขึ้นตัวอย่าง (Load cell left and right) = 250 กรัม

ความเร็วรอบ (Rotating Speed) = 60 รอบต่อวินาที

หินขัด (Grinding wheel) = No. S-26

จำนวนรอบที่ใช้ในการตรวจสอบ 2000 รอบและทำการตรวจสอบลักษณะการหลุดลอกของชั้นหนังและสีของตัวอย่างด้วยสายตาและน้ำหนักที่หายไปโดยคำนวณจาก

$$W = W_i - W_f$$

$$\text{Abrasive index} = (W_i - W_f) \times 1000 / N$$

โดยที่

W = น้ำหนักที่หายไป Weight loss

W_i = น้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่างก่อนการทดสอบ

W_f = น้ำหนักของชิ้นงานตัวอย่างหลังการทดสอบ

N = จำนวนรอบที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบการทนแรงทะลุ (Bursting Strength)

ใช้เครื่องทดสอบ Bursting Tester ของ Gotech Testing Machine Inc. Model. 7013-AD

ขั้นตอนการทดสอบ

1. เตรียมชิ้นทดสอบตัวอย่างให้มีขนาดประมาณขนาด A4
2. เสียบปลั๊ก เครื่อง Burst
3. หมุนล้อ counterclockwise ตามลูกศร unlock เพื่อยก plate บนขึ้น
4. ใส่ชิ้นงาน ดังรูป



- หมุนล้อ counterclockwise ตามลูกศร lock จนได้ค่าความดัน 100 psi
5. เปิดเครื่อง power switch ของ motor
 6. กดปุ่ม power ของ control panel และ กดปุ่ม STAND BY เพื่อ set เครื่อง
 7. กดปุ่ม STAND BY อีกครั้งหนึ่ง ให้ปุ่มแดงแสดงที่ Test
 8. ดึงที่จับ (handle) เข้าหาตัวผู้ทดสอบ เพื่อเพิ่มความดัน
 9. เมื่อได้ยินเสียง bursting ให้ผลักที่จับ (handle) ออกไปทันที จะปรากฏค่า Burst เป็นตัวเลขสีแดงที่แสดงค่าสูงสุดในการทำให้ชิ้นงานเสีย
 10. ทำการทดสอบชิ้นงาน จนครบทั้ง 4 มุม

หลังจากทดสอบสมบัติของหนัง ทำการเตรียมลูกบอลสำเร็จรูปจำนวน 6 ลูกดังโครงสร้างในตารางที่

3.20

ตารางที่ 3.20 โครงสร้างลูกบอลเพื่อทดสอบหนัง Dove

ชนิดยางใน	N2
ϕ ยางใน	198
น้ำหนักยางใน	115-120
ริงเกจ	201
ชนิดด้าย	Nylon66-100D (normal)
จำนวนด้าย	2N
รอบพันด้าย	1424
ชนิดกาวพันด้าย	Winding glue
น้ำหนักกาวพันด้าย	7
น้ำหนักพันด้าย	15
ชนิดยางกลาง	VB Carcass
น้ำหนักยางกลาง (g)	185
ชนิดของหนัง	Dove
เส้นรอบวง (mm)	650-670
น้ำหนักสำเร็จรูป	260-280

3.3.7.6 การทดสอบการเล่นครั้งที่ 3

การทดสอบการเล่นโดยนักกีฬาทีมชาติครั้งนี้ เป็นการทดลองใช้หนังจากการพัฒนาหนัง Dove และปรับโครงสร้างใหม่ให้คล้ายกับ Mikasa และแก้ปัญหาเส้นรอบวงของลูกบอลสำเร็จรูปที่ใหญ่เมื่อใช้ด้ายพันที่เคลือบ RFL ทำการเตรียมโครงสร้างลูกบอลต่างๆ ดังตารางที่ 3.21

ตารางที่ 3.21 โครงสร้างลูกบอลเพื่อทดสอบการเล่นครั้งที่ 3

	P1	P2	P3	SF3 (Vega9)
ชนิดยางใน	N2	N2	N2	N2
φยางใน	198	198	198	198
น้ำหนักยางใน	115-120	115-120	115-120	75-85
ริงเกจ	201	201	201	201
ชนิดด้าย	Nylon66-100D (normal)	Nylon66-100D (normal)	Nylon66 -100RFL	Nylon66- 100 RFL
จำนวนด้าย	2N	2N	2N	2N
รอบพันด้าย	1424	1424	1424	1424
ชนิดกาวพันด้าย	Winding glue	Winding glue	Winding glue	Winding glue
น้ำหนักกาวพันด้าย	7	7	7	7
น้ำหนักพันด้าย	15	15	15	15
ชนิดยางกลาง	VB Carcass	VB Carcass	VB Carcass	VB Carcass
น้ำหนักยางกลาง (g)	185	185	185	185
ชนิดของหนัง	Cordley	Cordley	Cordley	Cordley
เส้นรอบวง (mm)	650-670	650-670	650-670	650-670
น้ำหนักสำเร็จรูป	260-280	260-280	260-280	260-280

3.3.7.7 การปรับปรุงประสิทธิภาพของหนังปะชนิด Kuraray

เป็นการทดลองปรับปรุงหนังให้การสัมผัสเมื่อเล่นดีขึ้นโดยใช้หนังชนิดใหม่ คือหนังKuraray จำนวน 2 เกรด คือ ZWN-057 และ ZWN-056 ซึ่งบริษัทผู้ผลิตเป็นผู้พัฒนาให้ แล้วทำการทดสอบสมบัติของหนังเช่นเดียวกับการทดลองที่ 3.3.7.5 จากนั้นทำการเตรียมลูกบอลสำเร็จรูปจำนวน 4 ลูกดังโครงสร้างในตารางที่ 3.22

ตารางที่ 3.22 โครงสร้างลูกบอลเพื่อทดสอบหนัง Kuraray

ชนิดยางใน	N2
φยางใน	198
น้ำหนักยางใน	115
ริงเกจ	201
ชนิดด้าย	Nylon66-100D (normal)
จำนวนด้าย	2N
รอบพันด้าย	1424
ชนิดกาวพันด้าย	Winding glue
น้ำหนักกาวพันด้าย	7
น้ำหนักพันด้าย	139
ชนิดยางกลาง	VB Carcass
น้ำหนักยางกลาง (g)	183

3.3.7.8 การทดสอบการเล่นครั้งที่ 4

ทำการเตรียมลูกบอลสำเร็จรูปโดยใช้หนังปะต่างชนิดกันมีโครงสร้างดังตารางที่ 3.23 และนำไปทดสอบโดยนักกีฬาทีมชาติ จากนั้นและทำการทดสอบความคงทนของลูกบอล โดยนำไปยิงให้กระดอนกลับ และวัดค่าการกระเด็นตัวและเส้นรอบวงที่เปลี่ยนแปลง

ตารางที่ 3.23 โครงสร้างลูกบอลที่ใช้ทดสอบการเล่นครั้งที่ 4

โครงสร้างลูกบอลครั้งที่ 4	Gold	Silver	Bronze
ชนิดของยางใน	N2	N2	N2
น้ำหนักยางใน	110-120	110-120	110-120
ชนิดเส้นด้าย	Nylon-100D	Nylon-100D	Nylon-100D
จำนวนรอบพันด้าย	1424	1424	1424
ชนิดยางกลาง	VB Carcass	VB Carcass	VB Carcass
ชนิดของหนัง	Cordley (high quality)	Kuraray(high quality)	Duksung (medium quality)

บทที่ 4

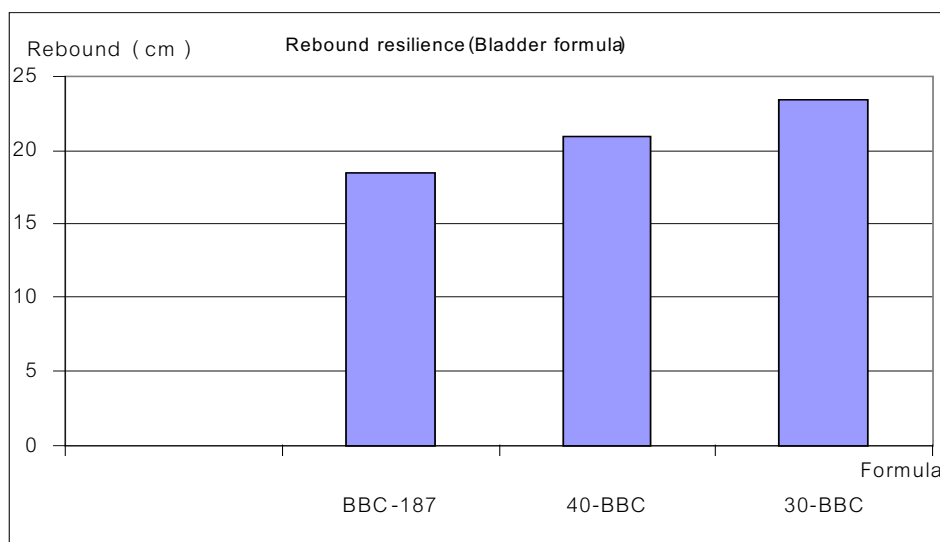
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลของปริมาณเขม่าดำต่อค่าความกระด้างตัวของยางใน

การทดลองนี้เป็นการพัฒนาสูตรยางในเบื้องต้นโดยการแปรปริมาณของเขม่าดำ 30-50 phr ดังรายละเอียดวิธีการทดลองตามหัวข้อ 3.3.1 ผลลักษณะการวัลคาไนซ์ดังตารางที่ 4.1 และการกระด้างตัวของแผ่นยางขึ้นทดสอบแสดงดังรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์จากเครื่อง ODR ที่ 155 °C

สูตรยาง	BBC-187	40-BBC	30-BBC
ML (lb-in)	62.3	6.10	5.59
MH (lb-in)	16.03	15.67	14.22
TS2 (mins)	2.34	2.59	3.15
T50 (mins)	3.29	3.43	4.01
T90 (mins)	5.17	4.59	5.26



รูปที่ 4.1 ค่าการกระด้างตัวของยางในที่มีปริมาณเขม่าดำต่างๆ (*Horizontal Pendulum rebound resilience testing method.)

จากตารางที่ 4.1 พบว่าปริมาณเขม่าดำมีผลต่อลักษณะการวัลคาไนซ์คือ scorch time สั้นลงเมื่อปริมาณของเขม่าดำมากขึ้น เนื่องจากความเป็นเบสของเขม่าดำ เวลา scorch time ลดลงประมาณหนึ่งนาที่เมื่อเขม่าดำเพิ่มขึ้น 20 phr ส่วน cure time เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก สำหรับการกระด้างตัวของยางขึ้นทดสอบนั้นเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณเขม่าดำลดลง อันเนื่องมาจากปริมาณยางที่มากขึ้นนั่นเอง

4.2 ผลของระบบวัลคาไนซ์ต่อค่าความกระด้างตัวของยางใน

นำยางคอมปาวด์จากการทดลองที่ 3.3.2 ที่ใช้ระบบวัลคาไนซ์ 3 แบบหลัก มาทดสอบลักษณะการวัลคาไนซ์ ผลที่ได้ดังตารางที่ 4.2 และการกระด้างตัวของแผ่นยางขึ้นทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ลักษณะการวัลคาไนซ์ของยางคอมปาวด์จากเครื่อง ODR ที่ 155 °C

สูตรยาง	CON-1	CON-2	SEMI-EV
ML (lb-in)	62.3	6.10	5.59
MH (lb-in)	16.03	15.67	14.22
TS2 (mins)	2.34	2.59	3.15
T50 (mins)	3.29	3.43	4.01
T90 (mins)	5.17	4.59	5.26

ตารางที่ 4.3 การกระด้างของยางระบบการวัลคาไนซ์ต่างๆ

<u>% Rebound</u>	CON-1	CON-2	SEMI-EV	EV
ชั้นที่ 1	17.3	17.7	16.9	16.0
2	16.5	16.7	16.4	16.0
3	16.5	16.4	16.3	16.5
	<u>Mean 16.8</u>	<u>Mean 16.9</u>	<u>Mean 16.5</u>	<u>Mean 16.0</u>

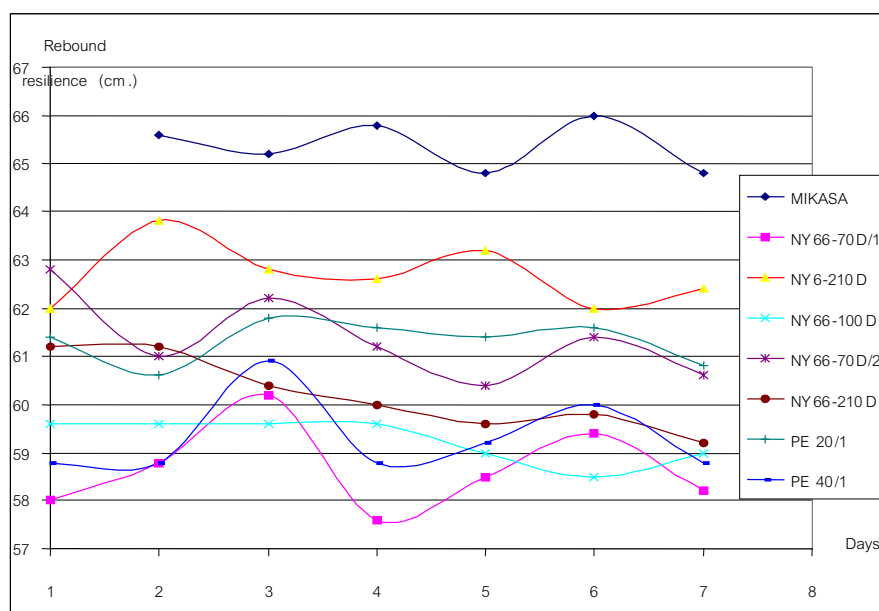
จากตารางที่ 4.3 พบว่าการกระด้างตัวของยางซึ่งเป็นยางเบลนด์ยางธรรมชาติกับยางโพลิเมอร์บิวไทล์ เมื่อใช้ระบบการวัลคาไนซ์ที่ต่างกันให้ผลที่ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยระบบปกติมีแนวโน้มให้การกระด้างที่ดีกว่า ซึ่งจะต่างจากทฤษฎีทั่วไปของยางเดี่ยว

4.3 ผลของปริมาณเขม่าดำและชนิดด้ายพันต่อการกระเด็งตัวของลูกบอลยางกลาง

เตรียมเป็นลูกบอลยางกลางมีด้ายพันชนิดต่างๆ โดยใช้สูตรยางในที่แปรปริมาณของเขม่าดำจากการทดลองที่ 3.3.1 ทั้งสามสูตร เปรียบเทียบผลการกระเด็งของลูกบอลยางกลางกับลูกบอลของ MIKASA ได้ผลการกระเด็งตัวดังตารางที่ 4.4-4.6 รูปที่ 4.2-4.4

ตารางที่ 4.4 การกระเด็งตัวของลูกบอลยางในสูตร BBC-187 พันด้วยด้ายชนิดต่างๆ (อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้น 60%)

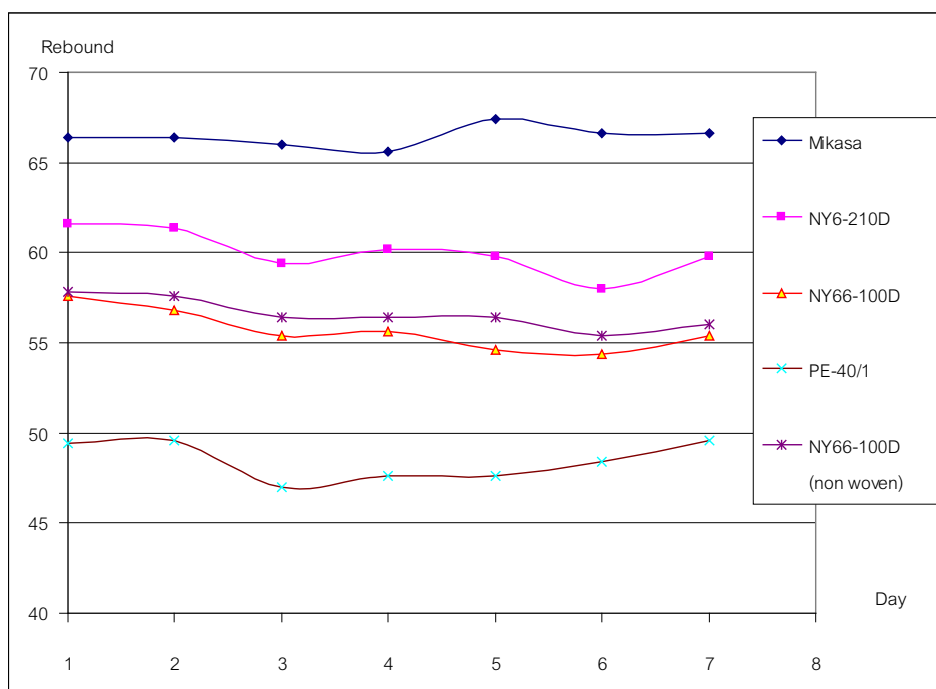
ชนิดของด้าย	น้ำหนัก ยางใน (กรัม)	น้ำหนักด้าย+ กาว (กรัม)	น้ำหนัก ยางกลาง (กรัม)	ค่า Rebound (cm.) ของวันที่ทดสอบ						
				1	2	3	4	5	6	7
NY66-70D/1	127	49	175.5	58	58.8	60.2	57.6	58.5	59.4	58.2
NY6-210D	126	44	169	62	63.8	62.8	62.6	63.2	62.0	62.4
NY66-100D	126	52	178.5	59.6	59.6	59.6	59.6	59	58.5	59
NY66-70D/2	126	43	170	62.8	61	62.2	61.2	60.4	61.4	60.4
NY66-210D	126	46	169.5	61.2	61.2	60.4	60	59.6	59.8	59.2
PE20/1	126	46	170.5	61.4	60.6	61.8	61.6	61.4	61.6	60.8
PE40/1	126	53	177.5	58.8	58.8	60.9	58.8	59.2	60	58.8
NY66-210D	128.5	35.5	164.5	59.4	59.2	61.2	59	61.4	59.2	58.2



รูปที่ 4.2 การกระเด็งตัวของลูกบอลยางในสูตร BBC-187 พันด้วยด้ายชนิดต่างๆ ตามวันทดสอบ

ตารางที่ 4.5 การกระเด็งตัวของลูกบอลยางในสูตร 40-BBC พั่นด้วยด้ายชนิดต่างๆ (อุณหภูมิที่ใช้ทดสอบ $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ความชื้น 60%)

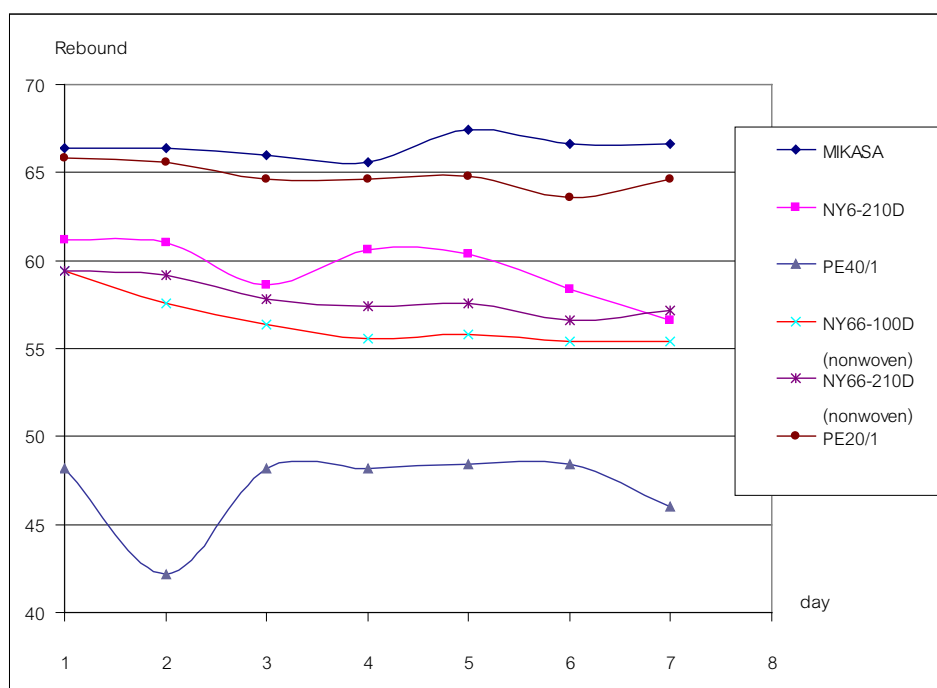
ชนิดของด้าย	น้ำหนัก ยางใน (กรัม)	น้ำหนักด้าย + กาว (กรัม)	น้ำหนัก ยางกลาง	ค่า Rebound (cm.) ของวันที่ทดสอบ						
				1	2	3	4	5	6	7
NY6-210D	120	40	164.0	61.6	61.4	59.4	60.2	59.8	58	59.8
NY66-100D	119	55	178.5	57.6	56.8	55.4	55.6	54.8	54.4	55.4
NY66-70D/2	117	รั่ว	-	-	-	-	-	-	-	-
NY66-210D	121	รั่ว	-	-	-	-	-	-	-	-
PE20/1	121	รั่ว	-	-	-	-	-	-	-	-
PE40/1	120	93	217	49.4	49.6	47	47.6	47.6	48.4	49.6
NY66-100D (non woven)	122	46	171.5	57.8	57.6	55	56.4	56.4	55.4	56



รูปที่ 4.3 การกระเด็งตัวของลูกบอลยางในสูตร 40-BBC พั่นด้วยด้ายชนิดต่างๆ ตามวันทดสอบ

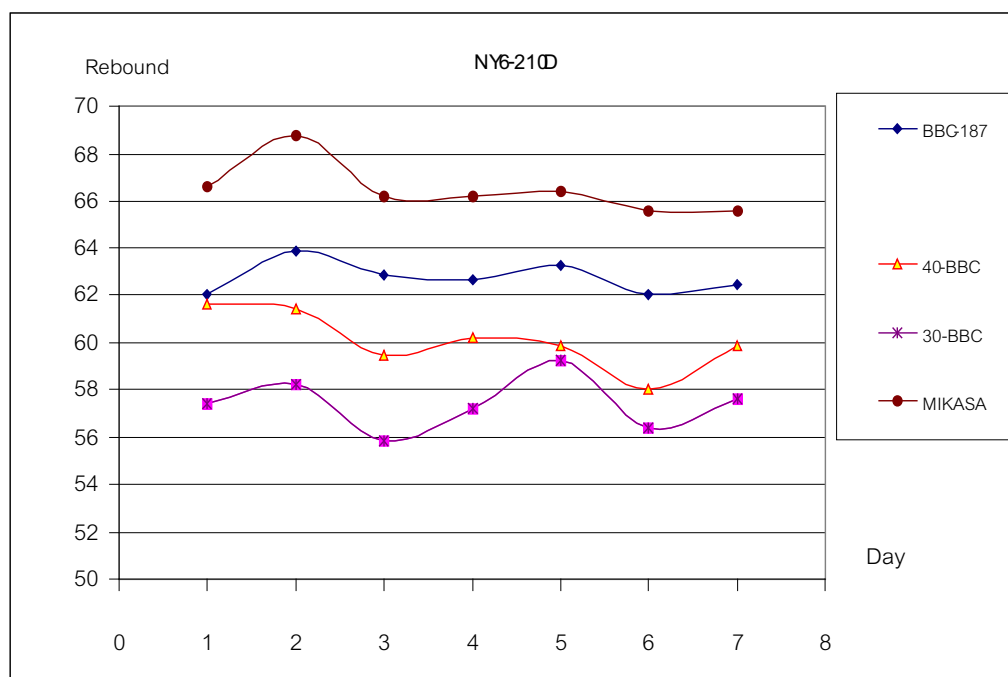
ตารางที่ 4.6 ค่า Rebound ของลูกบอลยางในสูตร 30-BBC พั่นด้วยด้ายชนิดต่างๆ

ชนิดของด้าย	น้ำหนัก ยางใน (กรัม)	น้ำหนัก ด้าย + กาว (กรัม)	น้ำหนัก ยางกลาง (กรัม)	ค่า Rebound (cm.) ของวันที่ทดสอบ						
				1	2	3	4	5	6	7
NY6-210D	117	51	170.5	61.2	61.0	58.6	60.6	60.4	58.4	56.6
NY66-100D	118	รั่ว	-	-	-	-	-	-	-	-
NY66-70D/2	118	59	179.5	รั่ว	-	-	-	-	-	-
NY66-210D	116	รั่ว	-	-	-	-	-	-	-	-
PE20/1	114	26	143.5	65.8	65.6	64.6	64.6	64.8	63.6	64.6
PE40/1	122	98	224	48.2	42.2	48.2	48.2	48.4	48.4	46.0
NY66-100D (non woven)	118	52	172.5	59.4	59.2	57.8	57.4	57.6	56.6	57.2
NY66-210D (non woven)	118	44	164.5	59.4	59.2	57.8	57.4	57.6	56.6	57.2



รูปที่ 4.4 ค่า Rebound ของลูกบอลยางในสูตร 30-BBC พั่นด้วยด้ายชนิดต่างๆ ตามวันที่ทดสอบ

จากตารางที่ 4.4-4.6 และรูปที่ 4.2-4.4 พบว่าลูกบอลยางในทั้งสามสูตร เมื่อพันด้วยด้ายชนิด NY6-210D จะให้การกระเด็นที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตามลูกบอลยางกลาง MIKASA มีการกระเด็นตัวที่สุด โดยที่วันที่ทดสอบมีผลต่อค่ากระเด็นตัวไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบสูตรยางต่างชนิดกันพันด้วยด้าย NY6-210D และพบว่าลูกบอลยาง BBC-187 (เขม่าดำ 50 phr) มีความกระเด็นตัวที่สูงกว่า 40-BBC และ 30-BBC ตามลำดับ ดังแสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ค่า Rebound ของลูกบอลยางในสูตรต่างๆ พันด้วยด้าย NY6-210 ตามวันทดสอบ

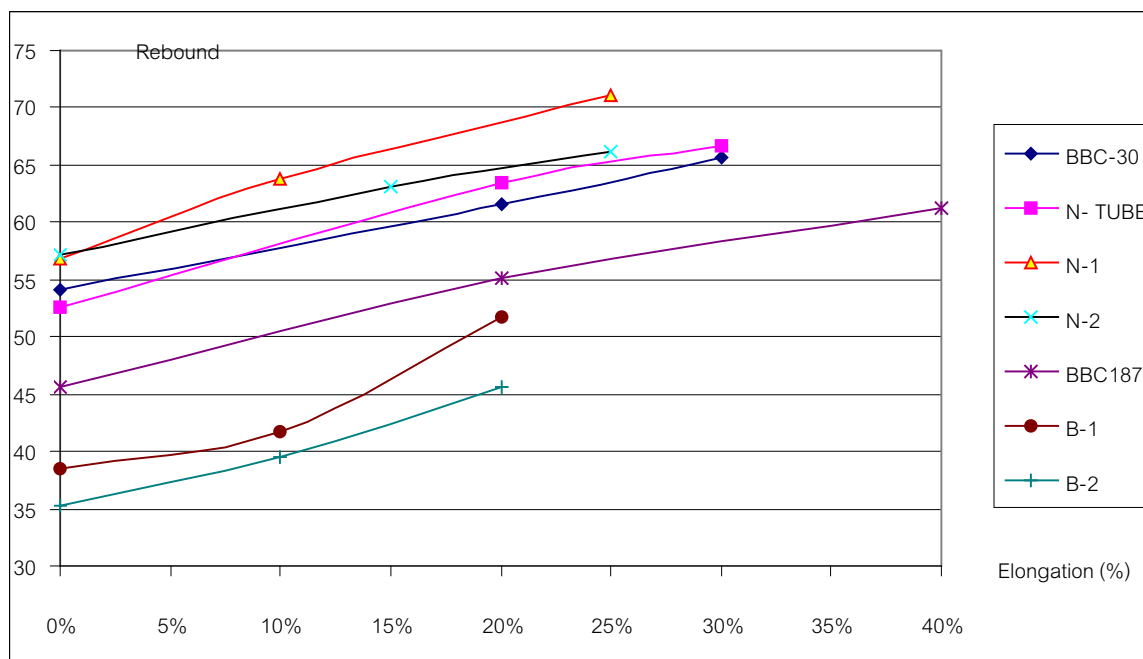
จะเห็นได้ว่าการทดสอบการกระเด็นตัวด้วยลูกบอล ให้ผลตรงข้ามกับการทดสอบการกระเด็นตัวด้วยชั้นทดสอบ โดยที่ลูกบอลยางกลางที่ใช้ยางในที่มีปริมาณเขม่าดำสูง (ปริมาณเนื้อยางต่ำ) ให้ค่าการกระเด็นที่ดีกว่า แสดงว่าการเตรียมเป็นลูกบอลยางที่ต้องมีการเติมลมให้ลูกบอลยางขยายตัวระดับหนึ่ง และการมีด้ายพันเสริมความแข็งแรง มีตัวแปรอื่นนอกเหนือจากปริมาณเนื้อยางส่งผลกระทบต่อการกระเด็นตัวของลูกบอลยาง การทดสอบกระเด็นโดยใช้ชั้นทดสอบเพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำนายการกระเด็นตัวของลูกบอลยางพันด้ายได้ การทดลองต่อไปจึงทำการทดลองหาผลของการยืดยางต่อการกระเด็นตัวของยาง เพื่อศึกษาว่าการเป่าลมลูกบอลทำให้ยางยืดตัวมีผลอย่างไรต่อการกระเด็นตัวของยาง

4.4 ผลของการยืดยางและสูตรยางต่อการกระเด็งตัว

ทำการเตรียมแผ่นยาง และยืดยางในขณะทดสอบการกระเด็งตัวของยาง ดังการทดลองที่ 3.3.4 ได้ผลความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืด (Elongation) กับค่า Rebound Resilience ของยางแต่ละสูตรแสดงได้ดังตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.6

ตารางที่ 4.7 Cure Characteristics และความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืด (Elongation) กับค่า Rebound

Properties	BBC-30	N - TUBE	N-1	N-2	BBC-187	B-1	B-2
Cure Properties							
ML (lb-in)	5.73	6.35	4.47	5.33	5.75	5.02	5099
MH (lb-n)	30.4	25.96	27.27	26.16	16.71	21.06	22.63
Ts2 (min)	1.45	2.23	1.17	1.1	2.14	1.38	1.42
Tc90 (min)	2.48	4.24	3.42	4.19	4.55	4.24	4.44
Rebound at							
Elongation 0%	54.2	52.7	56.7	57.2	45.6	38.5	35.3
Elongation 10 %	-	-	63.8	-	-	41.7	39.5
Elongation 15 %	-	-	-	63.1	-	-	-
Elongation 20%	61.6	63.5	-	-	55.2	51.67	45.6
Elongation 25%	-	-	71.0	66.3	-	-	-
Elongation 30%	65.6	66.7	-	-	-	-	-
Elongation 40%	-	-	-	-	61.3	-	-



รูปที่ 4.6 ค่า Rebound Resilience ของยางแต่ละสูตร ที่การยืดต่างกัน

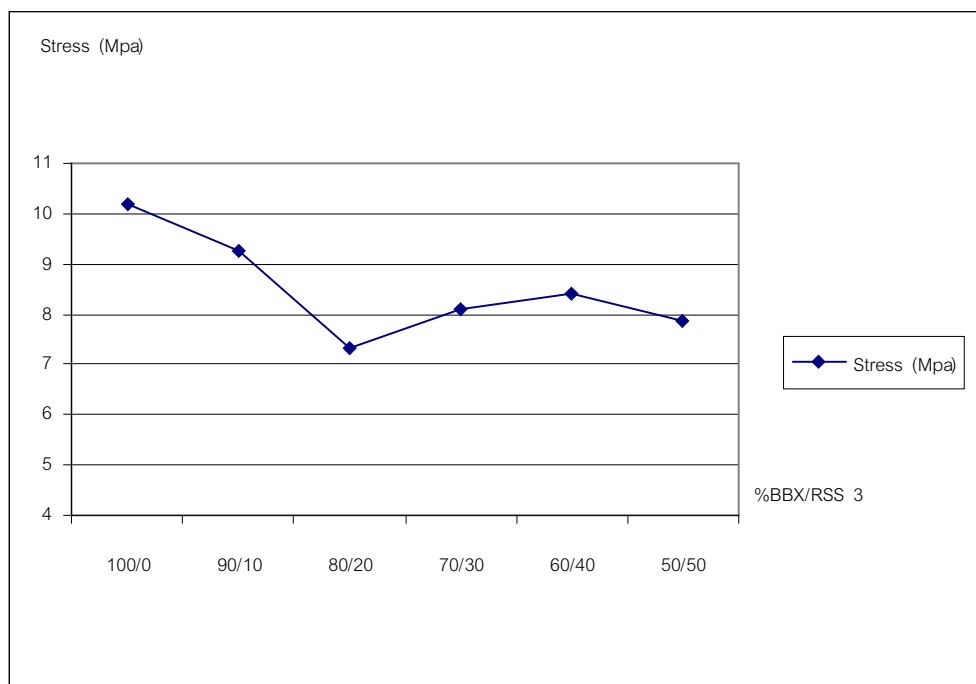
จะเห็นได้ว่าการยืดตัวของยาง (Elongation) เพิ่มขึ้นทำให้การกระด้างตัวเพิ่มขึ้นด้วย โดยที่สูตรยางมีผลอย่างมากต่อการกระด้างตัวของยาง และการใส่ Factices ในสูตรยางใน N-1 และ N-2 (สูตรเดียวกันทำซ้ำ) ทำให้ค่ากระด้างตัวเพิ่มขึ้นแต่ในยางใน BBC-187 ที่เติม Factices สูตร B-1 และ B-2 (สูตรเดียวกันทำซ้ำ) ไม่ทำให้ค่ากระด้างตัวเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่า Factices grade 2 ที่มีส่วนประกอบที่ไม่อิมัลชันมากจะเข้ากับยางธรรมชาติได้ดีกว่ายาง Bromobutyl (BBX2) ซึ่งอาจส่งผลให้เพิ่มค่าการกระด้างตัว และเห็นได้ชัดเจนว่าปริมาณยางธรรมชาติที่มากจะให้การกระด้างตัวที่ดี (สูตร N) อย่างไรก็ตามการทดลองนี้ใช้ขั้นตอนทดสอบในการทดลอง การทดลองต่อไปจึงทำการศึกษาด้วยลูกบอลยาง

4.5 ผลของอัตราส่วนยางเบลนด์ของยางในการกระด้างและการกักเก็บลมของลูกบอลยาง

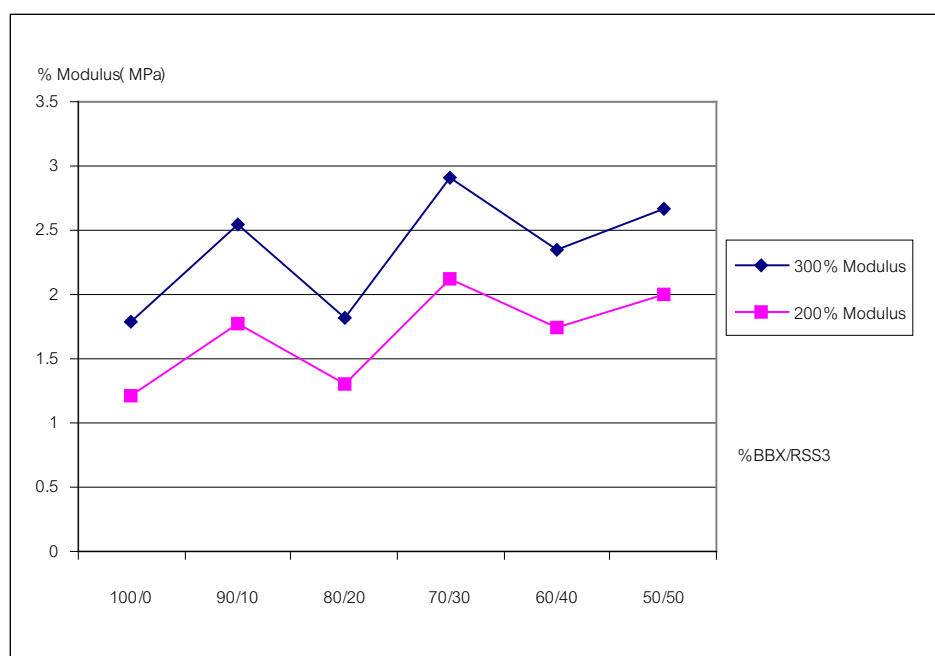
เตรียมแผ่นขึ้นทดสอบด้วยการอัดเข้าเพื่อหาสมบัติการทนทานต่อการดึงและการกระด้างตัวของยาง ที่การยืดยางต่างๆ ดังการทดลองที่ 3.3.5 สมบัติทางฟิสิกส์ของยางแผ่นขึ้นทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.7- 4.9

ตารางที่ 4.8 ลักษณะการวัลคาไนซ์และสมบัติของขึ้นยางทดสอบที่มีปริมาณ BBX2/RSS3 ต่างกัน

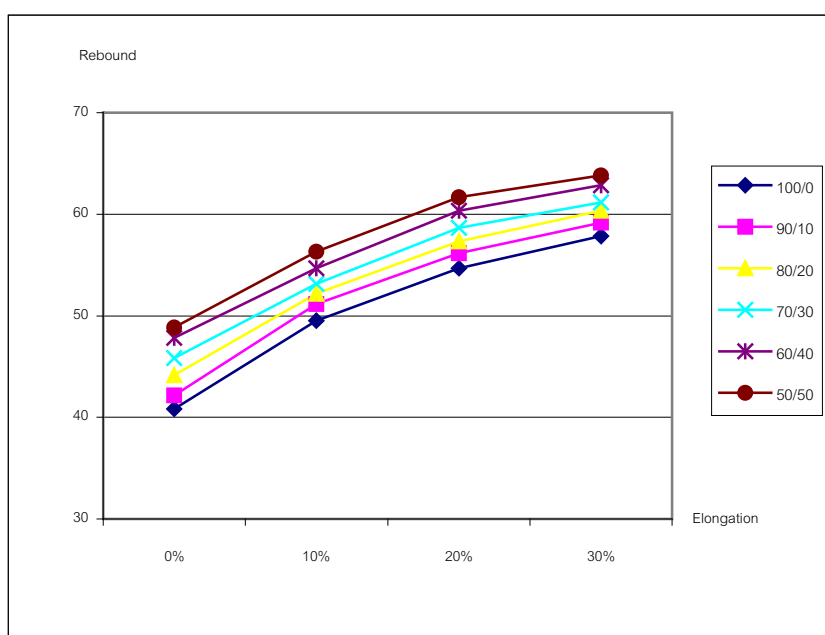
Properties	% BBX2/RSS3					
	100/0	90/10	80/20	70/30	60/40	50/50
Tensile strength (MPa)	10.18	9.26	7.34	8.082	8.4	7.85
Elongation at break (%)	1324	1028	1086	865	1053	920
200% Modulus	1.21	1.77	1.31	2.118	1.75	2
300% Modulus	1.79	2.54	1.82	2.902	2.35	2.67
Rebound Resilience						
Rebound at Elongation 0 %	40.83	42.16	44.16	45.83	47.83	48.83
Rebound at Elongation 10%	49.5	51.16	52.16	53.16	54.66	56.33
Rebound at Elongation 20%	54.66	56.16	57.33	58.66	60.33	61.66
Rebound at Elongation 30%	57.83	59.16	60.33	61.16	62.83	63.83
Properties						
TS2(mins)	2.52	2.07	2.05	2.22	2.22	2.24
TC50(mins)	2.5	2.27	2.31	2.58	3.09	3.26
TC90(mins)	5.35	5.15	5.05	5.16	5.37	5.56
ML(lb-in)	5.89	6.04	6.35	6.31	5.69	4.67
MH(lb-in)	9.83	11.07	12.16	13.73	15.19	15.6



รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่า Tensile strength ของยางที่มีปริมาณ BBX ต่างกัน



รูปที่ 4.8 ค่า 200% Modulus และ 300% Modulus ของยางที่มีปริมาณ BBX2 ต่างๆกัน



รูปที่ 4.9 ค่า Rebound ที่ระยะยืดต่างๆ ของยางที่มีปริมาณ BBX2 ต่างๆ กัน

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าค่าการกระด้างของยางเพิ่มขึ้นตามปริมาณยางธรรมชาติที่มากขึ้น เนื่องจากความยืดหยุ่นที่ดีกว่าของโครงสร้างโมเลกุลยาง และความต้านทานต่อแรงดึงมีแนวโน้มที่สูงขึ้นตามปริมาณยางธรรมชาติเช่นกัน เนื่องจากการมีพันธะคู่ที่ว่องไวต่อการเกิดการเชื่อมโยงของโมเลกุลของยางธรรมชาติที่มากกว่า ส่งผลให้ความต้านทานต่อการดึงเพิ่มขึ้นและความสามารถยืดลดลง สำหรับการยืดยางส่งผลต่อการกระด้างตัวคือที่สูตรเดียวกันการกระด้างตัวเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์การยืดแผ่นยาง และที่เปอร์เซ็นต์การยืดที่เท่ากันยางที่มียางธรรมชาติมากกว่าจะกระด้างตัวได้ดีกว่า นั่นคือหากใช้สูตรยางที่มียางธรรมชาติน้อยต้องยืดยางให้มากเพื่อให้ได้การกระด้างตัวที่ดี

ในการเตรียมแผ่นยางเพื่อทำลูกบอลลยางกลางพบว่าที่อัตราส่วน BBX2/RSS3 50:50, 60:40 และ 70:30 สามารถแปรรูปได้เพราะมีอัตราส่วนของยางธรรมชาติอยู่ค่อนข้างสูงจึงทำให้ Carbon black กระจายตัวใน compound ได้ดีกว่าอัตราส่วน 80:20, 90:10, 100:0 ซึ่งไม่สามารถนำมาใช้ในการทดลอง เนื่องจากยาง master batch BBX2 100% ที่นำมาทำการทดลองมีลักษณะคล้ายยาง scorch ซึ่งเกิดจาก BBX2 ผสมที่อุณหภูมิสูง ทำให้ยางเกิด gel ขึ้น และ Carbon black ที่มีปริมาณสูงจึงกระจายตัวในยางได้ยากรวมถึงในสูตรมี processing aid ค่อนข้างน้อย เมื่อนำ master batch BBX2 100 % มาทำการทดลองจึงเกิดปัญหาข้างต้น เมื่อนำมาเตรียมลูกบอลลยางกลางดังการทดลองที่ 3.3.5 ผลการทดสอบการกระด้างตัวและการเก็บกักลมโดยอัดลมเข้าลูกบอล ผลที่ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าการกระเดັงตัวและการเก็บกักลมของลูกบอลลยางกลางที่สุตรยางในต่าง ๆ

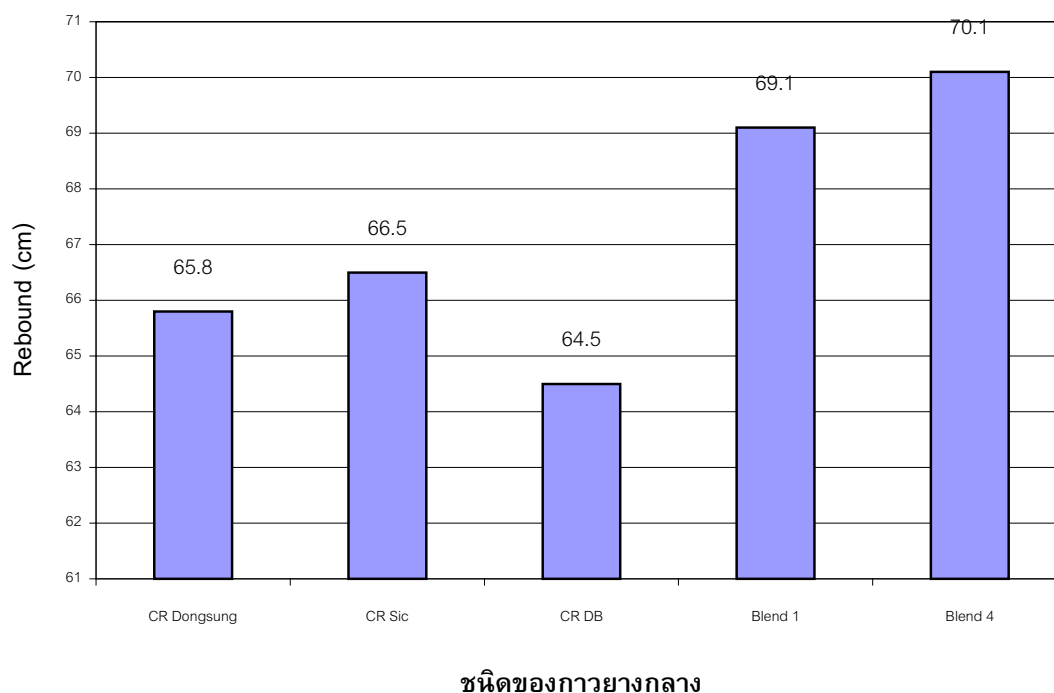
BBX2/RSS3 ในยางใน	70/30			60/40			50/50		
Rebound วันที่ 6 (cm)	71.4	71.2	71.0	70.8	72.4	72.6	71.6	72.2	72.6
Rebound วันที่ 7 (cm)	70.4	70.2	70.6	70.2	71.4	71.2	71.2	71.6	72.2
Rebound วันที่ 8 (cm)	70	70.6	70.2	70	70.4	70.4	70.6	71.4	70.6
Pressure (psi) วันที่1	4.61	4.61	4.60	4.60	4.61	4.61	4.60	4.61	4.60
Pressure (psi) วันที่ 7	4.34	4.38	4.35	4.35	4.32	4.24	4.25	4.39	4.20
Loss Pressure (psi)	0.27	0.23	0.25	0.25	0.29	0.37	0.35	0.22	0.40
Rebound เฉลี่ย (cm)	70.27			70.27			70.87		
Loss Pressure เฉลี่ย (psi)	0.25			0.30			0.32		

เห็นได้ว่า ที่อัตราส่วนยางธรรมชาติต่อยางโพรโมบิวไทล์ 50:50 จะให้ค่าการกระเดັงตัวสูงที่สุดทั้งนี้เนื่องมาจากยางในชนิดนี้มีอัตราส่วนของ NR ผสมมากถึง 50 % ซึ่งส่งผลให้มีค่าการกระเดັงตัวที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณของยางธรรมชาติที่เพิ่มขึ้นจาก 30 phr เป็น 50 phr มีผลต่อการกระเดັงตัวของลูกบอลลยางกลางน้อยมาก และจะมีผลต่อการเก็บกักอากาศที่ชัดเจน คือการเก็บกักลมลดลงเล็กน้อยเช่นกัน

4.6 ปัจจัยในการเตรียมลูกบอลลยางกลางที่มีผลต่อการกระเดັงตัว

4.6.1 ผลของชนิดกาวยสำหรับทำยางกลางโดยการทา

ในการเตรียมลูกบอลลยางกลาง หลังจากพันด้ายบนลูกบอลลยางใน ขั้นตอนต่อไปคือการหุ้มด้วยยางกลางซึ่งอาจจะทำได้ด้วยการนำกาวยมาทา หรือการหุ้มด้วยแผ่นยาง ซึ่งจะมีผลต่อการกระเดັงตัวของลูกบอล การทดลองนี้ทำการเปรียบเทียบชนิดของกาวยที่นำมาทาหุ้มลูกบอลลยางในหลังพันด้าย การเตรียมลูกบอลลยางแสดงในตารางที่ 3.7 และการกระเดັงตัวของลูกบอลลยางกลางที่เตรียมได้แสดงดังรูปที่ 4.10

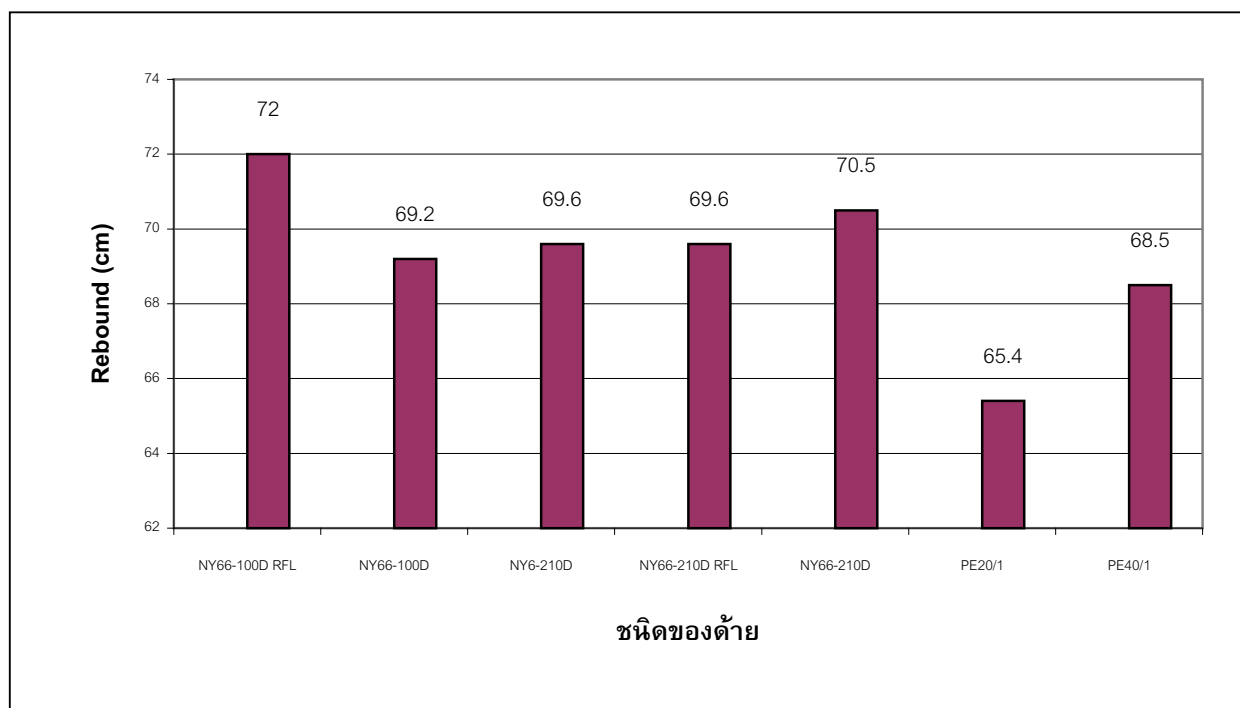


รูปที่ 4.10 การกระเดັงตัวของลูกบอลยางกลางที่ใช้กาวยางกลางต่างชนิดกัน

จากรูปที่ 4.10 เห็นได้ชัดเจนว่าชนิดของกาวยางกลางมีผลต่อการกระเดັงตัวของลูกบอลยางกลางมาก โดยที่กาวยางที่ใช้ยางธรรมชาติเบลนด์ จะให้การกระเดັงตัวที่ดีกว่ากาวยางคลอโรพรีน อย่างไรก็ตามพบว่ากาวยาง Blend 4 ที่ทาและหลังจากอบมีลักษณะเหนียวทำให้ขัดหยาบเพื่อจะปะหนังก

4.6.2 ผลของชนิดของด้ายพันต่อการกระเดັงของลูกบอลยางกลาง

เมื่อได้ชนิดกาวยางกลางที่ดี จึงนำชนิดด้ายต่าง ๆ มาเตรียมลูกบอลยางกลางเมื่อศึกษาชนิดของด้ายพันที่มีผลต่อการกระเดັงตัวของลูกบอลยางกลาง สภาวะการเตรียมดังแสดงในตารางที่ 3.8 ผลการกระเดັงของลูกบอลยางกลางดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การกระเด็งตัวของลูกบอลอย่างกลางที่พันด้ายต่างชนิดกัน

จากรูปที่ 4.11 พบว่าด้าย Nylon66-100 RFL ให้ค่ากระเด็งตัวสูงที่สุดรองลงมาคือ Nylon66-210D, Nylon66-210D RFL = Nylon6-210D, Nylon66-100D, PE40/1 และ PE20/1 ตามลำดับ โดยเมื่อเปรียบเทียบค่าการกระเด็งระหว่าง Nylon66-100 RFL คือด้าย Nylon66-100 ที่เคลือบด้วยน้ำยางรีซอลซินอลฟอร์มาลดีไฮด์ (RFL) กับ Nylon66-100D พบว่า Nylon ที่เคลือบ RFL ซึ่งจะช่วยให้การยืดตัวของด้ายและยางดีขึ้น ส่งผลให้ค่ากระเด็งตัวมากกว่าด้ายธรรมดาประมาณ 2 เซนติเมตร ซึ่งถือว่าค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตามด้าย Nylon66-100 RFL มีราคาแพง

Nylon ที่มีขนาด 210D ไม่สามารถเปรียบเทียบค่าการกระเด็งตัวได้อย่างชัดเจนเนื่องจากในการทดลองครั้งนี้ได้กำหนดน้ำหนักเส้นด้ายไว้ที่ 15 กรัม เมื่อพันด้ายด้วยด้ายขนาด 210 จะทำให้มีด้ายพันรอบบอลไม่สม่ำเสมอ

4.6.3 ผลของสูตรยางในต่อการกระเด็งตัวของลูกบอลอย่างกลาง

จากการทดลองหัวข้อ 4.3 ผลของปริมาณยางในลูกบอลยางในให้ผลที่ไม่ชัดเจนนัก แต่แนวโน้มคือการใช้ยางธรรมชาติที่มากขึ้นจะทำให้การกระเด็งตัวของยางดีขึ้น การทดลองนี้จึงทำการทดลองซ้ำผสมยางในใหม่และทำการเตรียมลูกบอลอย่างกลาง ทดสอบการกระเด็ง ดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.3.6.3 ผลการทดสอบการกระเด็งของลูกบอลอย่างกลางแสดงดังตาราง 4.10

ตารางที่ 4.10 การกระเด็นของลูกบอลอย่างกลางที่สุตรยางโนต่างๆ

ชนิดยางโน	BBC187		BBC30		N2	
Øยางโน	198	190	198	190	198	190
น้ำหนักยางโน	81	79	80	80	80	80
ริงเกจ	201	201	201	201	201	201
Rebound (cm) เฉลี่ย จาก 5 ลูก						
วันที่ 1		73.4	76	73.2	79.2	78
วันที่ 2	73.8	73.4	74.8	72.8	77	74.8
วันที่ 3	74.4	73.6	74.6	74	77	76

จะเห็นได้ว่าสุตรยางโนที่มีปริมาณยางธรรมชาติสูงจะให้การกระเด็นตัวของลูกบอลอย่างกลางที่สูงขึ้นอย่างชัดเจน และสิ่งที่น่าสังเกตคือยางโนขนาด 190 เมื่ออัดลมเป็นขนาด 201 เปรียบเทียบกับยางโนขนาดใหญ่ 198 อัดลมเป็นลูกบอลยางโนขนาด 201 เท่ากัน พบว่าลูกบอลอย่างกลางของยางโนขนาด 190 มีแนวโน้มให้ค่าการกระเด็นที่ต่ำกว่า ทั้งๆที่น่าจะถูกยึดมากกว่า และปริมาณการถูกยึดสัมพันธ์โดยตรงกับการกระเด็น อย่างไรก็ตามยางโนขนาด 190 น่าจะเบี๊ยมมากกว่ายางโน 198 ทั้งนี้เนื่องจากขณะยางโนขยายตัวจาก 190 เป็น 201 บริเวณตะเข็บและบริเวณจับเติมลมอาจเกิดการขยายตัวไม่เท่ากันซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ลูกบอลเบี๊ยมได้ และอาจจะมีผลต่อการกระเด็นตัว

4.6.4 ผลของน้ำหนักยางโนต่อการกระเด็นตัวของลูกบอลอย่างกลาง

จากผลการทดลองข้างต้นสุตรยางโนที่ให้การกระเด็นตัวของลูกบอลอย่างกลางที่ดีคือสุตร N2 ที่มีอัตราส่วนยางโบรโมบิวไทล์ต่อยางธรรมชาติที่ 45:55 การทดลองนี้ (หัวข้อ 3.3.6.4) จึงใช้ยางโนสุตร N2 และทดลองให้ยางโนมีน้ำหนักมากขึ้น ได้ผลการกระเด็นแสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 การกระดุ้งตัวของลูกบอลลอยกลางที่น้ำหนักยางในต่างๆ

ชนิดยางใน	N2		N2	
Øยางใน	198	198	198	190
น้ำหนักยางใน	80	80	116	115
Rebound (cm) เฉลี่ย จาก 5 ลูก				
วันที่ 1	79.2	79.2	74.0	74.2
วันที่ 2	77	77	72.6	73.68
วันที่ 3	77	77	-	-

พบว่าลูกบอลลอยกลางที่มียางในน้ำหนักน้อยกว่าจะให้การกระดุ้งที่ดีกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจาก การเตรียมลูกบอลลอยกลางมีแผ่นยางกลางที่เป็นยางธรรมชาติล้นมาหุ้มหลังพื้นด้าย ดังนั้นลูกบอลที่มียางในน้ำหนักน้อยจึงต้องเพิ่มยางกลางเพื่อให้น้ำหนักลูกบอลเท่ากัน จึงส่งผลให้ปริมาณของยางธรรมชาติที่ลูกมีมากกว่าลูกบอลที่ใช้ยางในน้ำหนักมากกว่า

4.6.5 ผลของชนิดกาวพื้นด้ายต่อการกระดุ้งตัวของลูกบอลลอยกลาง

ทำการเตรียมลูกบอลลอยกลางที่ใช้กาวพื้นด้ายพอลิยูรีเทน เปรียบเทียบกับกาวยางธรรมชาติที่ใช้ปกติ ขั้นตอนการเตรียมดังหัวข้อที่ 3.3.6.5 และการกระดุ้งตัวของลูกบอลลอยกลางดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 การกระดุ้งตัวของลูกบอลลอยกลางที่ใช้กาวพื้นด้ายต่างชนิดกัน

ชนิดกาวพื้นด้าย	NR1	NR2	PU1	PU2
Rebound (cm) เฉลี่ย จาก 5 ลูก				
วันที่ 1	79.2	79.2	76.2	75
วันที่ 2	77	77	75.4	73.4
วันที่ 3	77	77	75.2	76

จะเห็นได้ว่ากาวพันด้ายพอลิยูริเทรนไม่ได้เพิ่มค่าการกระเดັงตัวของลูกบอลยางกลาง และเป็นกาวที่หลังทาแล้วจะแข็ง และมีราคาแพงมาก ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับการนำมาใช้เป็นกาวพันด้าย

4.6.6 ผลของจำนวนรอบพันด้ายต่อการกระเดັงตัวของลูกบอลยางกลาง

ทำการเตรียมลูกบอลยางกลางที่พันด้ายด้วยจำนวนรอบและชนิดเส้นด้ายที่ต่างกัน ได้ผลการกระเดັงตัวดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 การเตรียมลูกบอลยางกลางที่พันด้ายด้วยจำนวนรอบและชนิดเส้นด้ายที่ต่างกัน และผลการกระเดັงตัว

ชนิดด้าย	Nylon66/100R	Nylon 66/100R	Nylon 66/100R	Nylon 66/100R
จำนวนด้าย	2N	2N	2N+1PE	2N+1PE
รอบพันด้าย	1424	1424	900	900
Rebound (cm) เฉลี่ย จาก 5 ลูก				
วันที่ 1	79.2	79.2	75.4	75.4
วันที่ 2	77	77	73.6	74.4
วันที่ 3	77	77	74.2	73.8

เห็นได้ว่าการพันด้าย 2N(Nylon 66/100RFL) + 1PE และ 2N(Nylon 66/100RFL) ที่น้ำหนัก 15 กรัมเท่ากันพบว่า โครงสร้างที่ใช้ด้าย 2N จะให้ค่าการกระเดັงสูงกว่า 2N + 1PE ทั้งนี้เนื่องจาก Nylon นั้นมีความสามารถในการยืดแล้วคืนกลับที่เดิม (elastic recovery) ได้สูงกว่า เส้นใย Polyester แต่เมื่อเปรียบเทียบกับในด้านความกลมแล้ว เส้นใย polyester จะช่วยให้ลูกบอลคงรูปได้ดีกว่า เนื่องจาก มีการดูดซึมความชื้นน้อยกว่า Nylon ทำให้ไม่เกิดการพองตัวแล้วเกิดการบิดเบี้ยว

4.6.7 ผลของชนิดยางกลางต่อการกระเดັงตัวของลูกบอลยางกลาง

ทำการเตรียมลูกบอลยางกลางที่ใช้ชนิดยางกลางต่างกันมาคลุมลูกบอลหลังพันด้าย โดยชนิดยางกลางที่ใช้เพิ่มจาก carcass คือ CF-10 และ TF-10 สูตรยางกลางที่ใช้ดังตารางที่ ให้ผลการกระเดັงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 การกระด้างตัวของลูกบอลยางกลางหุ้มด้วยยางกลางต่างกัน

ชนิดยางใน	N2		N2		N2	
Øยางใน	198	190	198	190	198	190
น้ำหนักยางใน	79	80	80	80	80	80
ริงเกจ	201	201	201	201	201	201
ชนิดยางกลาง	CF-10	CF-10	TF-10	TF-10	carcass	carcass
Rebound (cm) เฉลี่ย จาก 5 ลูก						
วันที่ 1	74.6	76.4	76.6	78	79.2	78
วันที่ 2	74.8	75.2	75.4	75.4	77	74.8
วันที่ 3	75.4	74.6	75.2	75.2	77	76

จากตารางที่ 4.14 พบว่าการกระด้างตัวของลูกบอลยางกลาง เมื่อใช้แผ่นยางกลางมาหุ้มชนิด CF-10 และ TF-10 ให้ค่าการกระด้างที่ต่ำกว่าการใช้ยางกลาง carcass

4.7 การปรับปรุงคุณภาพลูกวอลเลย์บอลสำเร็จรูป

จากผลการทดลองข้างต้น พบว่าสามารถพัฒนาลูกบอลยางกลางให้มีการกระด้างตัวที่ดีเทียบเท่ากับลูกบอลยางกลางของ MIKASA การทดลองต่อไปจึงเป็นการเตรียมลูกบอลสำเร็จรูปที่มีการปะหน้า เพื่อพัฒนาให้ลูกบอลมีการกระด้างที่ดี มีผิวสัมผัสที่ดี การนำไปเล่นสามารถควบคุมลูกได้ดี และมีกระบวนการผลิตที่ไม่ยุ่งยาก

4.7.1 ผลของชนิดกาวยางกลางและหนังปะ

จากการเตรียมลูกบอลยางสำเร็จรูปที่ใช้กาวยางกลางและหนังปะต่างชนิดกันดังการทดลองที่ 3.3.7.1 ขนาดของลูกบอลและการกระด้างตัวแสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 การกระด้างของลูกบอลยางกลางและสำเร็จรูปเมื่อใช้กาวยางกลางและหนังปะต่างกัน

ชนิดยางกลาง	Blend 4	Blend 4	Blend 4	กาวจุ่มใน line
ชนิดของหนัง	Mikasa A / Mikasa B	Cordley	Dove	Dove
ชนิดยางกลาง	Blend 4	Blend 4	Blend 4	กาวจุ่มใน line
เส้นรอบวงลูกบอลยางกลาง (mm)				
x	665	666	665	665
y	665	667	665	665
z	666	665	667	663
O/R	1	2	2	2
Rebound ของ ลูกบอลยางกลาง				
7/30/2003	72.2	72.2	72.4	73.6
7/31/2003	73	72.2	72.4	74.8
8/1/2003	72.6	72.8	72.4	75
น้ำหนักสำเร็จรูป	291	273.5	266.5	270
เส้นรอบวง(ลูกสำเร็จรูป) (mm)				
X	670	673	672	670
Y	671	673	675	671
Z	671	675	673	673
O/R	1	2	3	3
Rebound (ลูกบอลสำเร็จรูป)				
วันที่ 1	A 65 / B 65.3	65.2	69.3	68.5
วันที่ 2	A 63.3 / B 62.3	62.8	67.7	67.0
วันที่ 3	A 62.7 / B 61.7	62.7	66.8	66.2

จากผลการทดลองพบว่าลูกบอลยางกลางที่ใช้กาวจุ่มใน line การผลิตให้การกระด้างตัวที่ดีกว่ากาว Blend4 แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาปะหนังให้ค่าการกระด้างตัวที่ไม่ต่างกัน และเมื่อเปรียบเทียบการกระด้างตัวของลูกบอลสำเร็จรูปพบว่า หนัง Dove ให้ค่า rebound สูงกว่าหนัง Mikasa A, หนัง Cordley

และ Mikasa B ตามลำดับ สำหรับความกลมของลูกบอลวัดจากเส้นรอบวงทั้งสามแกนของลูกบอลและวัดค่าความบิดเบี้ยวของลูกบอล (out of roundness, O/R) โดยวัดค่าความต่างของเส้นรอบวงที่มากที่สุดกับที่ต่ำที่สุด ซึ่งค่าที่ยอมรับได้คือไม่เกิน 3.5 มิลลิเมตร พบว่ายอมรับได้ทั้งหมด

4.7.2 การทดสอบการเล่นครั้งที่ 1

จากการพัฒนาข้างต้นจนได้ลูกบอลสำเร็จรูปที่มีการกระเดื่องตัวที่ดีเทียบเท่ากับลูกบอล Mikasa การทดลองนี้จึงทำการผลิตลูกบอลที่มีโครงสร้างต่างๆดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.7.2 ได้ผลการกระเดื่องตัวดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 โครงสร้างของลูกบอลและการกระเดื่องตัว

	Vega1	Vega2	Vega3	Vega4	Vega5	Vega6	Vega7	Vega8	Vega9	Veg10	Veg11	Vega12
ชนิดยางใน	N2	N2	N2	N2	BBC187	BBC187	N2	N2	N2	N2	N2	N2
ยางใน	198	198	198	198	198	198	198	198	198	198	198	198
น้ำหนักยางใน	100	100	100	100	100	100	75-85	75-85	75-85	75-85	120	120
ริงเกจ	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201	201
ชนิดด้าย	Nylon66	Nylon66	Nylon66	Nylon66	Nylon66	Nylon66	Nylon66	Nylon66	Nylon66	Nylon66	Nylon66	Nylon66
	100D	100D			100D	100D	100D	100D	100D	100D	100D	100D
	RFL	RFL	100D	100D	RFL	RFL	RFL	RFL	RFL	RFL	RFL	RFL
จำนวนด้าย	2N	2N	2N	2N	2N	2N	2N	2N	2N	2N	2N	2N
รอบพันด้าย	1575	1575	1575	1575	1575	1575	1575	1575	1575	1575	1575	1575
ชนิดกาวพันด้าย	Winding glue	Winding glue	Winding glue	Winding glue	Winding glue	Winding glue	Winding glue	Winding glue	Winding glue	Winding glue	Winding glue	Winding glue
น้ำหนักกาวพันด้าย	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
น้ำหนักพันด้าย	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
ชนิดยางกลาง	Blend 4	Blend 4	Blend 4	Blend 4	Blend 4	Blend 4	VB Carcass	VB Carcass	VB Carcass	VB Carcass	กาวจุ่มใน line	กาวจุ่มใน line
น้ำหนักยางกลาง (g)	185	185	185	185	185	185	185	185	195	195	195	195
ชนิดของหนัง	Cordley	DOVE	Cordley	Cordley	Cordley	Cordley	Cordley	Cordley	DOVE	DOVE	DOVE	Cordley
Rebound (cm)	62.7	68.0	65.3	63.3	65.2	64.2	63.5	64.8	68.5	68.2	67.7	63.3
วันที่ 2	64.3	66.8	63.2	62.5	63.8	62.6	63.7	65.3	67.5	67.5	67.0	63.7
วันที่ 3	63.2	64.3	65	62.5	64.7	63.2	63.5	63.8	67.2	66.8	66.3	63.5

สำหรับลูกบอลของ Mikasa ที่นำมาใช้เปรียบเทียบคือ MikasaMV200 (เกรด A), MikasaMV210 (เกรด B) และ MikasaMV2001 (เกรด B) การกระเด็นตัวของลูกบอลมีค่าเท่ากับ 62.8, 63.2 และ 62.5 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อทดสอบโดยนักกีฬาทีมชาติพบว่า

1. เปรียบเทียบโครงสร้าง

$Vega7 > vega2 = vega9 > vega11 > vega5 > vega3 > vega1$

Vega2 ดีกว่า vega1 เนื่องจากน้ำหนักเบากว่า ซึ่งการมีน้ำหนักมากทำให้ต้องออกแรงควบคุมลูกมาก vega7 มีน้ำหนักดีกว่า vega2 และ vega3 เนื่องจากผิวนุ่มกว่า vega2 ควบคุมง่ายกว่า vega3

2. เปรียบเทียบชนิดหนัง

$MikasaMVP200 > MikasaMV2001 = Cordley vega7 > Dove vega9 > MikasaMV210$

เนื่องจากผิวของลูก MikasaMVP200 จะนุ่มกว่า โดยที่ MikasaMV2001 และ Cordley ให้ความนุ่มพอๆ กัน หนัง Dove มีความนุ่มน้อยและผิวลื่น MV210 มีผิวด้าน

3. เปรียบเทียบชนิดยางกลาง (เปรียบเทียบยาก)

กรณีแรงกระเด็น $vega9 > vega2 > vega11$

กรณีการควบคุม $vega9 = vega2 > vega11$

4. เปรียบเทียบชนิดเส้นด้าย (ดูไม่ออก)

เปรียบเทียบได้แค่น้ำหนักนั้นโดย $vega3 > vega1$ เนื่องจาก vega1 มีน้ำหนักมากทำให้ควบคุมการเล่นได้ยาก

5. เปรียบเทียบชนิดยางใน (ดูไม่ออก)

เปรียบเทียบได้แค่น้ำหนักเท่านั้น โดย $vega5 > vega1$ เนื่องจาก vega1 มีน้ำหนักมากทำให้ควบคุมการเล่นได้ยาก

6. เปรียบเทียบโครงสร้างที่ดีที่สุดกับ Mikasa

กรณีความนิ่มของหนัง $MVP200 > MVP2001 = Cordley vega7 > Dove vega9 > MV210$

กรณีการควบคุมลูก และการกระเด็น $Vega9 = MVP200 > MVP2001 > MV210$

ในด้านเสียงกระแทกนั้นลูกบอล Mikasa จะให้เสียงที่ทุ้มมากกว่า ส่วน vega9 จะให้เสียงที่แหลมมากกว่า

เมื่อเปรียบเทียบลูกที่ทำการพัฒนาแล้วกับลูก vega สูตรเดิม (BBC187) พบว่านักกีฬาเลือกที่จะเล่นลูกที่พัฒนามากกว่า ทั้งนี้โดยคำนึงถึงทิศทาง การควบคุม น้ำหนัก ความสมดุล และแรงกระเด็น โดยสรุปผลการทดสอบการเล่นโดยนักกีฬา ลูกที่ดีที่สุดคือโครงสร้าง vega9 เนื่องจากการควบคุมทิศทางที่ดีไม่ต้องออกแรงมากในการส่ง แต่ถ้าเป็นหนังแล้วนักกีฬาจะชอบหนัง Cordley มากกว่าหนัง Dove ดังนั้นถ้าจะเลือกทดลองผลิตปริมาณมาก ควรเลือกโครงสร้าง vega9 เนื่องจากการทำงานในการผลิตปกติอยู่แล้ว สำหรับหนังควรเลือกใช้หนัง Cordley เนื่องจากมีความนุ่มมากกว่า ส่วนหนัง Dove ควรมีการพัฒนาความนุ่มของหนังและการปะ รวมถึงลักษณะรอยย่น

4.7.3 การทดลองผลิตลูกบอลสำเร็จรูปโครงสร้างใหม่

ทำการทดลองผลิตลูก Volleyball โครงสร้างใหม่ vega9 แต่ใช้หนัง Cordley แทนหนัง Dove จำนวน 30 ลูก เพื่อดูความแปรปรวนในการผลิต ดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.7.3 ผลการทดสอบน้ำหนักยางใน น้ำหนักบอลพินด้าย น้ำหนักลูกบอลอย่างกลาง และเส้นรอบวงของลูกบอลอย่างกลาง ดังตารางที่ 4.17 ผลของเส้นรอบวงของลูกบอลสำเร็จรูปก่อนอบ และหลังอบที่อุณหภูมิ 40-50 °C เป็นเวลา 20 นาที และน้ำหนักของลูกบอลสำเร็จรูป ดังตารางที่ 4.18 และการกระด้างตัวของลูกบอลสำเร็จรูปดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.17 น้ำหนักยางใน น้ำหนักบอลพินด้าย น้ำหนักลูกบอลอย่างกลาง เส้นรอบวง และ Out of roundness ของลูกบอลอย่างกลาง

No.	น้ำหนักยางใน (กรัม)	น้ำหนักบอลพิน ด้าย (กรัม)	น้ำหนักยางกลาง (กรัม)	เส้นรอบวงของลูกบอลอย่างกลาง			O/R
				X	Y	Z	
1	83	111	181	659	659	661	2
2	80	109	184	655	657	657	2
3	82	109	184	657	658	658	1
4	83	110	183	657	657	659	2
5	83	110	186	656	657	657	1
6	83	111	184	657	658	657	1
7	83	111	185	656	657	659	3
8	82	111	184	661	659	661	2
9	82	110	186	655	656	656	1
10	82	110	186	657	658	658	1
11	82	111	185	656	658	658	2
12	82	110	183	658	657	657	1
13	82	111	183	657	659	658	2
14	82	110	183	655	656	656	1
15	82	109	184	657	657	659	2
16	82	109	182	657	655	657	2
17	82	110	185	655	655	657	2

18	83	109	184	654	654	656	2
19	83	109	184	654	654	656	2
20	82	109	183	656	657	657	1
21	82	109	186	657	657	658	1
22	82	110	186	654	657	657	3
23	85	110	184	655	657	656	2
24	85	110	186	657	656	658	2
25	85	110	185	654	655	655	1
26	85	112	186	656	658	656	2
27	84	109	185	655	656	656	1
28	83	109	184	656	655	656	1
29	83	109	185	655	653	657	4
30	84	109	183	657	658	658	1

ตารางที่ 4.18 เส้นรอบวงของลูกบอลสำเร็จรูปก่อนอบ และหลังอบที่อุณหภูมิ 40-50 °C เป็นเวลา 20 นาที และน้ำหนักของลูกบอลสำเร็จรูป

	ก่อนอบ			หลังอบ			
No.	Circumference (Finished ball)			Circumference (Finished ball)			น้ำหนักบอลสำเร็จรูป
	X	Y	Z	X	Y	Z	
1	671	672	672	667	668	668	270
2	672	673	673	665	666	666	265
3	671	673	672	663	665	665	269
4	673	676	673	664	667	665	267
5	668	670	670	662	664	664	268
6	672	674	674	664	666	666	269
7	676	676	675	667	666	666	268
8	671	671	671	665	667	667	269

9	673	675	673	668	668	669	265
10	670	670	671	665	665	666	271
11	669	670	671	664	664	666	268
12	672	671	672	665	664	665	267
13	670	672	672	663	664	664	266
14	668	671	670	664	666	666	269
15	670	672	672	665	667	667	269
16	668	669	670	663	664	664	272
17	674	679	674	665	664	665	266
18	674	674	674	664	666	665	265
19	671	671	673	666	667	667	268
20	670	671	670	665	667	666	269
21	671	671	671	666	667	667	268
22	675	675	675	667	667	667	265
23	673	675	673	663	665	665	266
24	671	673	671	665	665	666	268
25	670	672	672	663	663	664	269
26	670	670	670	662	663	664	271
27	672	672	672	662	664	664	265
28	670	672	672	662	662	662	268
29	673	673	674	665	665	666	266
30	671	673	671	663	665	665	270
Mean	671.30	672.53	672.10	664.40	665.37	665.57	267.87
SD	1.99	2.22	1.49	1.63	1.56	1.43	1.96
Max	676.00	679.00	675.00	668.00	668.00	669.00	272.00
Min	668.00	669.00	670.00	662.00	662.00	662.00	265.00

ตารางที่ 4.19 การกระเดื่องตัวของลูกบอลสำเร็จรูป

No.	Rebound (cm)						เฉลี่ย
	1	2	3	4	5	6	

1	64	65	65	65	65	65	64.83
2	64	65	65	65	66	66	65.17
3	65	65	66	67	66	67	66.00
4	66	67	67	68	68	68	67.33
5	64	65	65	65	66	66	65.17
6	65	65	66	65	66	65	65.33
7	66	66	66	67	66	67	66.33
8	66	67	67	67	68	67	67.00
9	65	66	67	66	67	67	66.33
10	65	65	66	65	65	65	65.17
11	65	65	66	66	65	66	65.50
12	66	67	67	67	68	67	67.00
13	66	67	68	68	68	67	67.33
14	65	66	66	67	67	66	66.17
15	65	65	66	66	67	67	66.00
16	65	66	67	67	67	67	66.50
17	66	66	67	67	68	68	67.00
18	65	66	67	67	68	67	66.67
19	66	67	67	67	68	67	67.00
20	65	65	66	67	67	67	66.17
21	66	65	67	68	67	68	66.83
22	66	67	67	67	68	68	67.17
23	66	66	67	67	68	67	66.83
24	66	65	66	67	67	68	66.50
25	65	66	66	67	67	67	66.33
26	67	66	68	67	68	68	67.33
27	66	66	67	68	68	68	67.17
28	66	66	67	67	66	67	66.50
29	65	66	65	67	66	67	66.00

30	65	65	66	66	67	67	66.00
Mean						Mean	66.36
SD						SD	0.73
Max						Max	67.33
Min						Min	64.83

จากผลการทดลองพบว่าลูกบอลที่ผลิตออกมามีเส้นรอบวงที่ใหญ่กว่ามาตรฐาน FIVB คือ มากกว่า 650-670 mm ดังนั้นจึงต้องนำลูกบอลไปอบที่อุณหภูมิ 40-50 °C เป็นเวลา 20 นาที เพื่อทำการลดขนาดลูก Volleyball ให้มีเส้นรอบวงตามมาตรฐาน FIVB จากนั้นเมื่อวัดการกระเด็นตัวทั้ง 30 ลูก พบว่ามีค่าประมาณ 66 cm ซึ่งอยู่ในระดับมาตรฐาน FIVB คือ 62-68 cm ความแปรปรวนไม่มากนัก

เมื่อเพิ่มการผลิตเป็น 300 ลูก เพื่อทดลองทำ Pilot run โดยผลิต Volleyball จำนวน 300 ลูก

ตารางที่ 4.20 เส้นรอบวง และ Out of roundness ของลูกบอลยางกลาง น้ำหนักลูกบอลสำเร็จรูป และการกระเด็นตัวของลูกบอลสำเร็จรูป

No.	Circumference (carcass)			O/R	น้ำหนักสำเร็จรูป	Rebound (cm)
	X	Y	Z			
1	669	671	670	2.0	265	
2	671	672	671	1.0	270	
3	669	670	670	1.0	274	
4	668	669	667	2.0	272	
5	671	670	672	2.0	274	
6	668	667	667	1.0	271	
7	671	671	672	1.0	272	
No.	Circumference (carcass)			O/R	น้ำหนักสำเร็จรูป	Rebound (cm)
8	668	669	668	1.0	272	
9	668	669	668	1.0	272	
10	667	668	666	2.0	272	
11	668	667	669	2.0	272	

12	666	668	668	2.0	272	
13	664	666	666	2.0	273	
14	664	663	662	2.0	274	
15	668	668	670	2.0	270	
16	664	666	665	2.0	274	
17	667	670	668	3.0	275	
18	664	666	665	2.0	270	
19	668	670	669	2.0	274	
20	669	670	669	1.0	273	
21	670	671	669	2.0	272	
22	671	670	672	2.0	274	
23	670	672	669	3.0	276	
24	669	670	670	1.0	273	
25	671	673	671	2.0	273	
26	666	668	668	2.0	275	
27	669	670	670	1.0	276	
28	671	672	672	1.0	276	
29	672	670	672	2.0	274	
30	670	672	672	2.0	273	
31	673	675	673	2.0	271	
32	668	669	667	2.0	274	
33	673	674	674	1.0	272	
34	668	668	668	0.0	273	
No.	Circumference (carcass)			O/R	น้ำหนักสำเร็จรูป	Rebound (cm)
35	669	669	667	2.0	271	
36	667	667	668	1.0	274	
37	670	668	670	2.0	276	
38	668	668	667	1.0	265	
39	668	669	667	2.0	274	

40	667	670	667	3.0	273	
41	668	669	669	1.0	275	
42	665	668	668	3.0	277	
43	669	668	668	1.0	277	
44	665	667	667	2.0	275	
45	670	668	670	2.0	271	
46	668	670	668	2.0	274	
47	670	671	670	1.0	274	
48	665	666	665	1.0	273	
49	667	668	665	3.0	277	
50	666	667	667	1.0	271	
51	666	668	667	2.0	273	
52	670	670	672	2.0	273	
53	670	670	671	1.0	268	
54	674	673	672	2.0	265	
55	672	673	673	1.0	269	
56	670	670	669	1.0	265	
57	672	673	674	2.0	269	
58	668	670	669	2.0	270	
59	669	668	668	1.0	276	
60	671	672	672	1.0	269	
61	671	671	671	0.0	268	63
No.	Circumference (carcass)			O/R	น้ำหนักสำเร็จรูป	Rebound (cm)
62	668	670	668	2.0	269	61
63	670	670	669	1.0	270	61
64	670	670	668	2.0	269	63
65	670	671	671	1.0	270	62
66	672	673	673	1.0	268	63
67	666	667	668	2.0	269	62

68	668	669	668	1.0	266	62
69	672	672	671	1.0	267	62
70	667	667	667	0.0	270	61
71	673	672	670	3.0	270	61
72	669	670	669	1.0	265	61
73	671	671	671	0.0	269	61
74	670	670	671	1.0	265	61
75	678	676	678	2.0	270	62
76	672	670	670	2.0	271	63
77	671	671	672	1.0	269	61
78	667	668	667	1.0	264	61
79	670	671	670	1.0	277	61
80	668	670	668	2.0	265	60
81	667	669	669	2.0	269	61
82	673	672	673	1.0	269	60
83	670	669	668	2.0	267	61
84	672	674	671	3.0	271	61
85	668	670	668	2.0	272	60
86	666	666	667	1.0	267	61
87	671	670	671	1.0	265	61
88	672	672	672	0.0	267	60
No.	Circumference (carcass)			O/R	น้ำหนักสำเร็จรูป	Rebound (cm)
89	668	670	668	2.0	268	60
90	668	667	668	1.0	265	61
91	672	670	672	2.0	269	62
92	672	672	673	1.0	271	61
93	667	668	667	1.0	270	61
94	672	673	672	1.0	271	61
95	667	666	667	1.0	271	60

96	669	668	667	2.0	268	62
97	673	674	674	1.0	268	60
98	670	671	670	1.0	270	60
99	670	670	671	1.0		62
100	671	672	671	1.0		61
101	670	672	670	2.0		62
102	668	670	668	2.0		61
103	672	673	672	1.0		62
104	670	669	671	2.0		62
105	673	673	674	1.0		61
106	671	671	670	1.0		60
107	670	670	670	0.0		60
108	673	673	674	1.0		60
109	669	671	669	2.0		60
110	666	667	668	2.0		60
111	669	669	668	1.0		61
112	668	670	668	2.0		61
113	667	668	667	1.0		60
114	668	668	669	1.0		60
115	671	670	670	1.0		61
No.	Circumference (carcass)			O/R	น้ำหนักสำเร็จรูป	Rebound (cm)
116	670	671	670	1.0		60
117	670	673	670	3.0		62
118	669	672	671	3.0		62
119	670	672	670	2.0		62
120	668	669	667	2.0		61
121	669	668	668	1.0		
122	668	669	669	1.0		
123	667	666	666	1.0		

124	666	667	666	1.0		
125	669	670	668	2.0		
126	670	671	671	1.0		
127	669	670	670	1.0		
128	669	670	670	1.0		
129	664	666	666	2.0		
130	669	670	669	1.0		
131	669	670	669	1.0		
132	669	671	669	2.0		
133	669	669	668	1.0		
134	668	669	667	2.0		
135	670	670	669	1.0		
136	670	671	669	2.0		
137	670	672	671	2.0		
138	667	668	668	1.0		
139	663	665	663	2.0		
140	669	670	669	1.0		
141	668	668	669	1.0		
142	672	671	670	2.0		
No.	Circumference (carcass)			O/R	น้ำหนักสำเร็จรูป	Rebound (cm)
143	667	666	667	1.0		
144	666	667	667	1.0		
145	670	669	670	1.0		
146	669	670	669	1.0		
147	665	665	666	1.0		
148	665	667	667	2.0		
149	666	668	668	2.0		
150	670	670	668	2.0		
151	666	666	664	2.0		

152	668	668	669	1.0		
153	668	669	668	1.0		
154	667	667	668	1.0		
155	668	670	669	2.0		
156	665	666	666	1.0		
Max	678	676	678	3	277	63
Min	663	663	662	0	264	60
Mean	668.94	669.59	669.13	1.49	270.98	61.10
SD	2.36	2.20	2.35	0.67	3.31	0.88

จากผลการทดลองผลิต ลูก Volleyball โครงสร้างใหม่ จำนวน 300 ลูก Item VU-52-207 W/Y/RB (TF-Gold) พบว่าลูกบอลที่ผลิตออกมามีเส้นรอบวงที่ใหญ่กว่ามาตรฐาน FIVB คือ มากกว่า 650-670 mm เนื่องจาก ด้าย RFL ให้ความยืดหยุ่นสูง จึงทำให้บอลขนาดใหญ่ , O/R อยู่ในมาตรฐาน คือ < 3.5 mm โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.49 mm การทดลองนี้ไม่ได้บอลลูกบอลอีกครั้งเพื่อลดขนาดของลูกบอลให้ได้มาตรฐาน พบว่าสำหรับการกระเดื่องตัวของลูกบอลสำเร็จรูปมีค่าเฉลี่ยประมาณ 61.10 cm ซึ่งอยู่ต่ำกว่ามาตรฐาน ของ FIVB คือ 62-68 cm เนื่องจากการวัด Rebound ควรวัดทั้ง 6 ด้านซึ่งจะใกล้เคียงกับค่า rebound ที่แท้จริง แต่เนื่องจากเวลาอันจำกัดทำให้วัดได้แค่ 1 ด้าน น้ำหนักของบอลสำเร็จรูปที่ได้อยู่ในช่วงมาตรฐานของ FIVB คือ 260-280 กรัม โดยค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 270.98 กรัม

4.7.4 การทดสอบการเล่นครั้งที่ 2

จากผลการทดสอบการเล่นโดยนักกีฬาทีมชาติครั้งที่ 1 และการผลิตปริมาณมาก ให้ผลยังไม่เป็นที่น่าพอใจนัก จึงทำการเตรียมลูกบอลใหม่ให้มีโครงสร้างคล้ายกับ Mikasa เปรียบเทียบกับโครงสร้างคล้ายกับ vega9 และการใช้เส้นด้ายพันต่างชนิดกันระหว่างด้าย Nylon-100D ชนิดเคลือบกับไม่เคลือบด้วย RFL ทดสอบเปรียบเทียบอีกครั้งเนื่องจากด้ายที่เคลือบด้วย RFL ให้การกระเดื่องที่ดี แต่จะทำให้เส้นรอบวงของลูกบอลใหญ่ และมีราคาแพง การหาแหล่งซื้อค่อนข้างยาก รายละเอียดโครงสร้างดัง การทดลองที่ 3.3.7.4 และนำไปทดสอบการเล่นโดยนักกีฬาทีมชาติได้ผลดังนี้

1. เปรียบเทียบชนิดของหนัง

B คือ ลูก Volleyball โครงสร้าง vega9 ปะด้วยหนังของ Mikasa MVP200

C คือ ลูก Volleyball ยางกลาง Mikasa MVP200 ปะหนัง Cordley

D คือ ลูก Volleyball Mikasa MVP200

จากผลการทดลองพบว่า C มีน้ำหนักหนัก และ Control ได้ยากกว่า B และ D ซึ่ง D มี Feeling ในการเล่นดีกว่า B และ C ตามลำดับ

2. เปรียบเทียบน้ำหนักยางใน

B คือ ลูก Volleyball ยางกลาง สูตร VB Carcass, (N2 75-85) RFL

D4 คือ ลูก Volleyball ยางกลาง สูตร VB Carcass, (N2 115-120) RFL

จากผลการทดลองพบว่า C และ D4 ให้แรงกระแทกพอๆกัน ในด้าน feeling และความนิ่ม D4 จะให้ความรู้สึกที่ดีมากกว่าเมื่อลูกกระทบลงบนมือ และให้ความรู้สึกที่เบากว่า แต่เมื่อเปรียบเทียบน้ำหนักที่แท้จริงพบว่า Cหนัก 270 และ D4 หนัก 269 กรัม ซึ่งต่างกันเพียงเล็กน้อย ดังนั้นน้ำหนักยางในจึงมีผลต่อการเล่น

3. เปรียบเทียบชนิดของเส้นด้าย

D4 คือ ลูก Volleyball ยางกลาง สูตร VB Carcass, (N2 115-120) RFL

D9 คือ ลูก Volleyball ยางกลาง สูตร VB Carcass, (N2 115-120) Non RFL

จากการเปรียบเทียบ ลูก Volleyball ระหว่าง D4 และ D9 พบว่า D4 จะให้ความยืดหยุ่น แรงกระแทกดีกว่า D9 ส่วนดี D9 จะให้ความรู้สึกแข็งมากกว่า

ดังนั้นด้าย RFL จึงมีผลต่อการเล่นของนักกีฬาซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้ลูกบอลมีแรงกระแทกและมีความยืดหยุ่นได้ดี

4. เปรียบเทียบชนิดของยางกลาง

D4 คือ ลูก Volleyball ยางกลาง สูตร VB Carcass, (N2 115-120) RFL

D1 คือ ลูก Volleyball ยางกลาง สูตร F12, (N2 115-120) RFL

จากการทดสอบพบว่ายางกลางสูตร VB Carcass และ F12 จะให้ค่า แรงกระแทกพอๆกัน ซึ่ง VB Carcass อาจให้ค่า สูงกว่าเล็กน้อย แต่ในด้าน Feeling ในการเล่นและควบคุม VB Carcass จะควบคุมดีกว่า

ดังนั้น ควรเลือก VB carcass ในการทำเนื่องจาก Process ได้ง่ายและมีให้อยู่ใน line

6. เปรียบเทียบชนิดของยางใน

D1 คือ ลูก Volleyball ยางกลาง สูตร F12, (N2 115-120) RFL

D3 คือ ลูก Volleyball ยางกลาง สูตร F12, (BBC187 115-120) RFL

จากการทดสอบพบว่า ยางในสูตร N2 จะให้แรงกระแทกและ Feeling ในการเล่น มากกว่า BBC187 รวมทั้งในการ Control Volleyball

7. เปรียบเทียบชนิดของหนัง

D4 คือ ลูก Volleyball ยางกลาง สูตร VB Carcass, (N2 115-120) RFL Cordley

D5 คือ ลูก Volleyball ยางกลาง สูตร VB Carcass, (N2 115-120) RFL DOVE

จากการเปรียบเทียบพบว่า D5 จะมีแรงกระแทกมากกว่า D4

ผิวของหนัง Dove มีลักษณะคล้าย Mikasa MVP 2001 หนังของ Mikasa จะมีความละเอียดมากกว่า

สีเป็นส่วนสำคัญในการเล่น โดยฝ่ายแรกจะเลือกเล่น D4 เนื่องจากมีสีสันทันที่นำดีดุด และ D4 ก็ให้ Feeling ในการเล่นที่ดีอยู่แล้ว

ฝ่ายที่สองเลือกเล่น D5 เนื่องจากมีแรงกระแทกดีกว่า ควบคุมทิศทางได้ดี และลักษณะหนังเหมือน MVP2001

8. เปรียบเทียบ Mikasa กับ Vega

MVP200, MVP2001, MV210

เปรียบเทียบ feeling MVP200 > MVP2001 > MV210

เปรียบเทียบ MVP200 กับ D4

การเล่นและการควบคุม และแรงกระแทกพอกัน(แทบไม่มีอะไรแตกต่าง) แต่หนังของ MVP200 จะดีกว่า เนื่องจากมีผิวที่ละเอียด ไม่ดูดซับเหงื่อ และให้ความรู้สึกดี

เปรียบเทียบ MVP200 กับ D5

MVP200 ดีกว่า D5

D5 หนักกว่า MVP200

MVP200 ควบคุมได้ง่ายกว่า D5 และ ออกแรงในการส่งน้อยกว่า

D5 กระแทกได้มาก และน้ำหนักเบาทำให้ Control ได้ยากกว่า MVP200

สรุป ส่วนประกอบหลักที่ดีที่สุด

น้ำหนักรยางใน 115-120

ชนิดยางใน N2

ชนิดยางกลาง VB Carcass

เส้นด้าย RFL

แนวทางในการดำเนินงานต่อไป

1. ปรับปรุงสูตรยางกลาง VB Carcass ให้มีความนิ่มขึ้น โดยอาจใส่ Blowing Agent ลงไปเพื่อเพิ่มความนิ่ม
2. ปรับปรุงหนังให้มีการดูดซับเหงื่อให้น้อย มีผิวละเอียด และ Tacky เพิ่มขึ้น
3. ปรับน้ำหนักรยางใน 115-120 และ ปรับปรุงสูตรยางใน
4. ปรับขนาดให้ลูกบอลเล็กลงโดย
 - 4.1 ลด ring gauge เช่น จาก 201 เป็น 200 หรือ 199
 - 4.2 ลดขนาดยางใน เช่น จาก 198 เป็น 195 หรือ 196
 - 4.3 เปลี่ยนขนาด Mold อยางกลาง จาก 206 เป็น 204

4.4 ปรับจำนวนรอบพันด้าย จาก1424 เป็น 1550 หรือ อื่นๆ

4.5 เพิ่ม Tension ให้กับเครื่องพันด้ายเพื่อให้ด้ายพันให้แน่นขึ้น

4.7.5 การปรับปรุงประสิทธิภาพของหนังปะชนิด Dove

จากผลการทดลองที่หนัง Dove ให้การกระเด็งตัวของลูกบอลสำเร็จรูปที่ดี แต่หนัง Dove มีความนุ่มน้อยและผิวลื่น จึงทำการพัฒนาหนัง Dove ได้ผลดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 สมบัติของหนัง Dove ที่ทำการพัฒนา

Properties	DOVE Version3	DOVE Version2	Dove Version1
ชนิดหนัง	หนังเทียม Polyurethane	หนังเทียม Polyurethane	หนังเทียม Polyurethane
ชนิด Backing	Micro fiber	Micro fiber	Micro fiber
น้ำหนัก	525.26 g/m ²	538.33 g/m ²	444.44 g/m ²
ความหนา	1.24	1.26 mm	1.2 mm
Rebound resilience	45 %	46 %	45%
Abrasion Tester	Loss weight 0.01 g	Loss weight 0.01 g	Loss weight 0.01 g
Bursting tester	16.72	16.855	16.85

จากการเปรียบเทียบ DOVE V3, DOVE V2 และ DOVE V1 พบว่า มีคุณสมบัติใกล้เคียงกัน แต่เมื่อทำการปรับปรุงด้าน Tacky ของ DOVE V2 เป็น DOVE V3 พบว่า ผิวของหนังมีความกระด้างมากขึ้น แต่สัมผัสไม่นุ่ม แต่ให้ผลด้านการกระเด็งตัวที่ดีดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 สมบัติของลูกบอลที่ปะด้วยหนัง Dove V3

Formula	1	2	3
ชนิดยางใน	N2	N2	N2
น้ำหนักยางใน	118	118	118
น้ำหนักพันด้าย	148	148	144
น้ำหนักยางกลาง	185	184	187
เส้นรอบวง(carass)			
X	650	652	653

Y	650	652	653
Z	651	652	655
O/R	1.0	0.0	2.0
Rebound (carcass)	72.6	73	72.8
น้ำหนัก(สำเร็จรูป)	267	270	272
เส้นรอบวง(สำเร็จรูป)			
X	654	656	652
Y	652	654	652
Z	653	654	652
O/R	2.0	2.0	0.0
Rebound (สำเร็จรูป)			
วันที่ 1	63.83	63.83	65.16
วันที่ 2	64.67	62.50	64.33
วันที่ 3	63.89	63.5	63.5

4.7.6 การทดสอบการเล่นครั้งที่ 3

จากการพัฒนาหนัง Dove และปรับโครงสร้างใหม่ให้คล้ายกับ Mikasa และจากปัญหาเส้นรอบวงของลูกบอลสำเร็จรูปที่ใหญ่เมื่อใช้ด้ายพันที่เคลือบ RFL การทดสอบการเล่นโดยนักกีฬาทีมชาติครั้งนี้ จึงทำการเปรียบเทียบโครงสร้างลูกบอลต่างๆ และผลการทดสอบดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 โครงสร้างและสมบัติของลูกบอลใช้ทดสอบการเล่นครั้งที่ 3

	P1	P2	P3	SF3 (Vega9)
ชนิดยางใน	N2	N2	N2	N2
φยางใน	198	198	198	198
น้ำหนักยางใน	115-120	115-120	115-120	75-85
ริงเกจ	201	201	201	201
ชนิดด้าย	Nylon66-100D (normal)	Nylon66-100D (normal)	Nylon66-100 RFL	Nylon66-100 RFL
จำนวนด้าย	2N	2N	2N	2N

รอบพันด้าย	1424	1424	1424	1424
ชนิดกาวพันด้าย	Winding glue	Winding glue	Winding glue	Winding glue
น้ำหนักกาวพันด้าย	7	7	7	7
น้ำหนักพันด้าย	15	15	15	15
ชนิดยางกลาง	VB Carcass	VB Carcass	VB Carcass	VB Carcass
น้ำหนักยางกลาง (g)	185	185	185	185
ชนิดของหนัง	Cordley	Dove	Cordley	Cordley
เส้นรอบวง (mm)	650-670	650-670	650-670	650-670
X	667	665	670	671
Y	668	666	672	672
Z	668	666	670	671
O/R	1.0	1.0	2.0	1.0
น้ำหนักสำเร็จรูป	274	273	273	278
Rebound	65.66	65.66	65.16	65.5

เปรียบเทียบลูก Volleyball

เมื่อทดสอบการเล่นโดยเปรียบเทียบกับลูกบอลของ Mikasa และ KC ได้ผลดังนี้

เปรียบเทียบกับ Mikasa MV200

จากการทดสอบพบว่า Mikasa MV200 ให้ความรู้สึกในการเล่นดีกว่า P1 และ P2 ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากควบคุมง่ายและหนังนุ่ม แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างลูก P1 และ P2 พบว่า ลูก P1 ให้ความรู้สึกในการเล่นดีกว่า P2 เนื่องจากหนังนุ่มกว่าและสามารถควบคุมทิศทางได้ดี ส่วนลูก P2 จะมีลักษณะผิวหนังที่กระด้าง และ กระด้างมากเกินไป สรุป MV200>P1>P2

เปรียบเทียบลูก Volleyball SF3 และ P1

P1 คือ N2 น้ำหนัก 115-120 Nylon 66 (Normal) หนัง Cordley

SF3 คือ N2 น้ำหนัก 75-85 Nylon 66 (RFL) หนัง Cordley

จากการทดสอบพบว่า แรงกระเด็นของ SF3 จะมีมากกว่า P1 ในด้านความรู้สึก P1 ดีกว่า SF3 ความนิ่มของลูกบอล พอๆกัน สรุป P1 > SF3

เปรียบเทียบชนิดของเส้นด้าย P1 และ P3

P1 คือ N2 น้ำหนัก 115-120 Nylon 66 (Normal) หนัง Cordley

P3 คือ N2 น้ำหนัก 115-120 Nylon 66 (RFL) หนึ่ง Cordley

จากการทดสอบพบว่าแรงกระแทก P3 มากกว่า P1 ในด้านการควบคุมลูกบอล P1 จะดีกว่า P3 ด้านความนุ่มให้ความรู้สึกพองๆกัน

เปรียบเทียบลูก Volleyball P1, P2 และ world tour (จาก บริษัท KC)

P1 คือ N2 น้ำหนัก 115-120 Nylon 66 (Normal) หนึ่ง Cordley

P2 คือ N2 น้ำหนัก 115-120 Nylon 66 (Normal) หนึ่ง DOVE

จากการทดสอบพบว่า ลูก P1 และ P2 ดีกว่า world tour ในด้าน feeling, แรงกระแทก ความนุ่ม สรุป P1, P2 > world tour (from KC)

เปรียบเทียบลูก Volleyball MV200 MV2001 และ P1

จากการทดสอบพบว่า หนึ่งของ MV200และMV2001 ให้ความรู้สึกที่ดีกว่า หนึ่ง P1 (Cordley) แต่ในด้านการ control ลูกมีลักษณะคล้ายๆกัน

ตารางที่ 4.24 ผลทดสอบลูกบอล P1 และ Mikasa MV200 เมื่อเล่นเป็นทีม

No.	Mikasa MV200 และ P 1	Comments
มด	Mikasa MV200 > P 1	ความนุ่มใกล้เคียงกันใช้ได้ MV200 ให้ 5 ดาว P1 ให้4ดาว
บอย	Mikasa MV200 > P 1	MV200 นุ่มกว่า, control ง่าย, P1 หนัก
แน๊บ	Mikasa MV200 $\cong$ P 1	พองๆกันดีทุกอย่าง แต่หนึ่ง MV 200 จะดีกว่า
รูด	Mikasa MV200 > P 1	หนึ่ง MV200 นุ่มกว่าเมื่อสัมผัส แต่การ control ใกล้เคียงกัน
วิฑูลย์	Mikasa MV200 > P 1	P1 ควรปรับปรุงหนึ่ง, P1 ให้4ดาว
เอ	Mikasa MV200 > P 1	MV200 ออกแรงส่งน้อยกว่า P1 แต่หนึ่ง P1 OK นุ่มกำลังดี

จะเห็นว่าลูกบอล โครงสร้าง P1 เป็นลูกบอลที่มีโครงสร้างที่ดีที่สุด ณ ขณะนี้ โดยมีโครงสร้างดังคือ ยางใน N2 น้ำหนัก 115-120 ด้ายพันชนิด Nylon 66 D100 (Normal) หนึ่ง Cordley เหตุที่ไม่เลือกหนึ่ง Dove เนื่องจาก หนึ่งที่พัฒนาถึง V3 มีความกระด้างและไม่นุ่ม หนึ่งปะแล้ว ยับเป็นบางแห่ง สำหรับเส้นด้ายเคลือบ RFL ให้แรงกระแทกสูง แต่ทำให้ลูกบอลมีเส้นรอบวงขยายมากเกินไป และ RFL มีราคาสูงมาก แหล่งผลิตน้อย จึงควรใช้ชนิดปกติที่ไม่เคลือบมากกว่า

4.7.7 การปรับปรุงประสิทธิภาพของหนึ่งปะชนิด Kuraray

จากผลการทดลองข้างต้นหนึ่งที่ใช้ปะทั้ง Cordley และ Dove ที่พัฒนา ยังให้ผลไม่เทียบเท่ากับ หนึ่งของ Mikasa การทดลองนี้จึงได้ใช้หนึ่งชนิดใหม่ คือชนิด Kuraray จำนวน 2 เกรด จากการทดสอบ

สมบัติของหนังดังรายละเอียดในหัวข้อ 3.3.7. 7 ได้ผลดังตารางที่ 4.25 และสมบัติของลูกบอลที่เตรียมได้ดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.25 สมบัติของหนัง Kuraray

Properties	ZWN-057	ZWN-056
น้ำหนัก (g/m^2)	538.89	580.56
ความหนา (mm)	1.41	1.49
Rebound resilience (%)	41.50	40.75
Abrasion tester (2000 cycle)	0.02	0.03
Bursting tester	29.15	28.03

ตารางที่ 4.26 โครงสร้างและสมบัติของลูกบอลที่ปะหนัง Kuraray

	1	2	3	4
ชนิดยางใน	N2	N2	N2	N2
ยางใน	198	198	198	198
น้ำหนักยางใน	115	117	116	116
ริงเกจ	201	201	201	201
ชนิดด้าย	Nylon66-100D (normal)	Nylon66-100D (normal)	Nylon66-100D (normal)	Nylon66-100D (normal)
จำนวนด้าย	2N	2N	2N	2N
รอบพันด้าย	1424	1424	1424	1424
ชนิดกาวพันด้าย	Winding glue	Winding glue	Winding glue	Winding glue
น้ำหนักกาวพันด้าย	7	7	7	7
น้ำหนักพันด้าย	139	140	140	140
ชนิดยางกลาง	VB Carcass	VB Carcass	VB Carcass	VB Carcass
น้ำหนักยางกลาง (g)	183	183	180	180
ชนิดของหนัง	ZWN-057	ZWN-057	ZWN-056	ZWN-056
เส้นรอบวง (mm)	650-670	650-670	650-670	650-670
X	666	663	666	664

Y	666	664	666	665
Z	664	664	667	665
O/R	2.0	1.0	1.0	1.0
น้ำหนักสำเร็จรูป	272	272	271	268
Rebound (cm)	1	2	3	4
วันที่ 1	63.0	63.5	64.5	64.3
วันที่ 2	63.5	64.0	64.7	64.5
วันที่ 3	62.3	62.7	63.5	63.0

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเปรียบเทียบสมบัติของหนัง Kuraray พบว่า ZNW-057 และ ZNW-056 มีน้ำหนักมากกว่าหนัง DOVE แต่สามารถควบคุมน้ำหนักลูกบอลให้อยู่ในช่วงมาตรฐาน FIVB ได้ ชนิดของ Backing ของ Kuraray เป็น Micro fiber เหมือนกับ DOVE แต่ Kuraray มีความอ่อนนุ่มมากกว่า ค่าการกระเด็งตัวของ Kuraray ต่ำกว่าหนัง Dove ประมาณ 3-4 % เมื่อทดสอบค่าความต้านทานต่อการสึกหรอ (abrasion) พบว่า ผิวหนังของ Kuraray มีความคงทนน้อยกว่า Dove เนื่องจากหนังมีลักษณะผิวที่นุ่มจึงทำให้มีความคงทนน้อยลง ทดสอบค่าทนแรงทะลุ (Bursting test) พบว่าหนัง Kuraray สามารถทนแรงทะลุได้ดีกว่าหนัง Dove ทดสอบการยืดติดของสี screen และ foil พบว่า หนัง Kuraray สามารถยืดติดได้ดีกับ สี screen และ foil ซึ่งทำการทดสอบโดย bouncing test

จากการผลิตลูก volleyball พบว่า หนัง ZNW-056 และ ZNW-057 โครงสร้างที่เลือกใน 1-4 ให้ค่าการกระเด็งตัว สูง 62-64 เซนติเมตร ตรงตามมาตรฐาน FIVB

4.7.8 การทดสอบการเล่นครั้งที่ 4

จากผลทดสอบ Volleyball โดยนักกีฬาครั้งที่ 3 พบว่าโครงสร้างที่ดีที่สุดคือ ยางใน N2, น้ำหนัก 110-120, พันด้าย Nylon100D 2N จำนวน 1424 รอบเครื่อง, ยางกลาง VB carcass, โดยหนังที่ใช้มี 2 ชนิดคือ หนัง Cordley (มีความนุ่มแต่ยังให้ผิวสัมผัสและการเล่นยังไม่เคียดกับ Mikasa ซึ่งหนัง Mikasa มีผิวสัมผัสที่เรียบและนุ่ม) และหนัง Dove (ให้แรงกระเด็งสูงแต่มีความแข็งกระด้างกว่าหนัง Mikasa)

สำหรับจากผลการทดลองที่ 4.7.7 มีหนังชนิดใหม่จาก Kuraray Item ZWN-057 ซึ่งโดยรวมหนังมีผิวสัมผัสคล้ายหนัง Mikasa จึงนำมาใช้เตรียมเป็น volleyball ดังรายละเอียดโครงสร้างในหัวข้อ 3.3.7.8 สำหรับหนัง Dove ไม่นำมาใช้เนื่องจากมีราคาแพง หนังปะยาก (ปะแล้วเกิดรอยเย็บได้ง่ายและมีความแข็งกระด้างในบางส่วน) เมื่อทดสอบการเล่นโดยนักกีฬาทิมาชาติได้ผลดังต่อไปนี้

เปรียบเทียบลูกบอล MV200, MVP2001 และ Vega new (silver)

Vega (silver) คือ ยางใน N2, น้ำหนักยางใน 110-120, ด้าย 2N Nylon100D, หนัง Kuraray (ZWN-057)

ความนิ่ม: MV200 > silver > MVP2001 นั่นคือ MVP 2001 แข็ง กว่า Silver และ MV200 ตามลำดับ

แรงกระเด็น: MV200 > silver > MVP2001

การควบคุม: MV200 > MVP2001 => silver

ความนิ่มของหนัง: MV200 ดีที่สุด หนัง silver เล่นได้ไม่แข็งมาก รู้สึกคล้ายกับ MVP2001

เปรียบเทียบบอล ITEM Gold, Silver และ Bronze ของบริษัท Vegaball

ความนิ่ม: Gold $\cong$ silver > bronze

Silver และ gold ให้ความนิ่มพอๆกัน แต่ silver ให้ความรู้สึกที่นำเล่นมากกว่า ส่วนลูก bronze มีความแข็งแค่สัมผัสก็รู้สึกได้

แรงกระเด็น: Gold > Silver > bronze

การควบคุม Silver ควบคุมได้ดีกว่า gold กับ bronze ตามลำดับ

หนัง silver ให้ความรู้สึกคล้ายกับหนัง Mikasa 2001 ซึ่งดีกว่า gold และ bronze

ดังนั้นลูก Volleyball โครงสร้างที่ดีที่สุดมีความใกล้เคียงกับ Mikasa MVP2001 แต่อาจจะมีข้อแตกต่างกันที่การควบคุมและผิวสัมผัสบ้างเล็กน้อย ซึ่งมีโครงสร้างดังต่อไปนี้

ยางใน N2 น้ำหนัก 110-120 กรัม

ด้าย Nylon100D 2 N จำนวน 1424 รอบ

ยางกลางสูตร VB Carcass

หนัง Kuraray Item ZWN057

เมื่อนำลูกวอลเลย์บอลโครงสร้าง Silver ทดสอบสมบัติความคงทน โดยนำไปทดสอบ bouncing Test ได้ผลผ่านมาตรฐาน ดังนี้

(Durability Test Report)

Type/Code: Volleyball Item Silver

Testing date: 16-12-46

Size: #5

Temp: 23 °C

Humidity: 69%

M/C No.: A.15.3

R.P.M. 380 RPM

Roller gap: 14.00 cm

Ball Pressure: 4.6 psi

Ball specification

Weight: 260-280 g

Pressure: 4.6 psi

Circumference: 650-670 mm

O/R: 3.5 mm.

Rebound: 62-68 cm.

ตารางที่ 4.27 ผลการทดสอบความคงทนของลูกวอลเลย์บอลโครงสร้าง Silver

จำนวน รอบ ทดสอบ	Weight (g)	Circumference (mm)				Circumference change (mm)			Rebound (cm)
		X	Y	Z	Max-Min	X	Y	Z	
0	269	664	663	663	1.0	0	0	0	66
2000	269	666	666	665	1.0	2	3	2	70
4000	269	667	666	666	1.0	3	3	3	72
6000	268	667	666	666	1.0	3	3	3	72
8000	268	667	666	667	1.0	3	3	4	72
10000	268	668	667	667	1.0	4	4	4	73
12000	268	668	667	667	1.0	4	4	4	73

Test Result: As Standard

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุป

การปรับปรุงการกระเต็งของลูกบอลเลย์บอล ทำได้โดยการปรับปรุงสูตรยางในให้มีการกระเต็งที่ดี โดยการใช้ปริมาณยางธรรมชาติที่สูง แต่ไม่สูงเกินไปเพราะจะทำให้การเก็บกักลมของลูกบอลไม่ดี ปริมาณของเขม่าดำ และระบบวัลคาไนซ์ต้องมากพอให้ยางมีความยืดหยุ่นที่ดี มีความทนทานต่อการดึงที่ดี เมื่อนำยางมาพันด้วยเส้นด้ายเพิ่มความแข็งแรง ทนทานและคงรูปนั้น พบว่าชนิดเส้นด้ายและจำนวนรอบของการพันมีผลต่อการกระเต็งตัวของยาง โดยที่ด้ายพันชนิด Nylon66-100D ให้การกระเต็งตัวของลูกบอลยางกลางที่ดีที่สุด โดยเฉพาะเมื่อเคลือบเส้นด้ายด้วยน้ำยางรีซอลซินอลฟอร์มาลดีไฮด์ จะทำให้การกระเต็งตัวของลูกบอลเพิ่มขึ้น แต่ต้นทุนการผลิตจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากราคาที่แพง และมีแหล่งผลิตน้อย สำหรับกาวที่นำมาทาลูกบอลหลังพันด้าย พบว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกปัจจัยหนึ่งในการเพิ่มการกระเต็งของลูกบอล การใช้กาวยางธรรมชาติจะช่วยเพิ่มการกระเต็ง แต่จะมีผลต่อการขัดหยابก่อนปะหนั้ หากไม่ใช้กาวทาสารเคมีใช้แผ่นยางกลางมาหุ้มลูกบอลที่พันด้ายแล้ว ซึ่งพบว่าเป็นการเพิ่มการกระเต็งตัวของลูกบอลที่ดี โครงสร้างของลูกบอลหรือนำหนักของยางใน ยางกลาง ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงมากในการเพิ่มการกระเต็งของลูกบอล สำหรับหนังที่นำมาปะนั้น ต้องพัฒนาหนังให้มีคุณภาพเพื่อให้ได้การสัมผัสที่ดี มีความทนทาน และยิ่งไปกว่านั้นชนิดของหนังยังมีผลต่อการกระเต็งตัวของลูกบอลสำเร็จรูปด้วย การทดสอบการเล่นด้วยนักกีฬา หรือการใช้งานจริงถือเป็นหัวใจในการพัฒนาคุณภาพของผลิต หากไม่มีการทดสอบการใช้งานจริง ก็จะไม่เห็นภาพที่สมบูรณ์

5.2 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป

การวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไปได้เป็นอย่างดี การพัฒนาต่อไปสามารถทำเพิ่มเติมในส่วนของการยางกลางหรือแผ่นยางกลางให้ดีขึ้น เพื่อการเล่นที่ดีขึ้น หรือสูตรยางในยังคงปรับปรุงต่อให้มีสมบัติของความยืดหยุ่นที่ดีขึ้น โดยยังคงสามารถปรับระบบวัลคาไนซ์ได้เพิ่มเติม

บรรณานุกรม

- พรพรรณ นิธิอุทัย. 2528. *สารเคมีสำหรับยาง*. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พรพรรณ นิธิอุทัย. 2540. *ยาง เทคนิคการออกสูตร*. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- บุญธรรม นิธิอุทัย และปรีชา ป้องภัย. 2534. *ปฏิบัติการเทคโนโลยีการยาง*. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- Brown, R.P., 1979. "Physical Testing of Rubber", Applied Science Publishers, London, p. 169.
- Brydson, J.A. 1988. Rubber materials and their compounds. *Elsevier Applied Science*.
London. : 82.
- Conant, F.S., 1964. "Vulcanization of Elastomers", G. Alliger and I.J. Djothun (Editor), Reinhold Publishing Corporation, New York, 1964, p. 99-100.
- Fusco, J.V., and Hous, P. 1987. "Butyl and Halobutyl Rubers", in "Rubber Technology", 3rd edition, Morton, M., editor, Van Nostrand Reinhold, New York, p. 290.
- Gunter, W.D., 1981. "In "Development of Rubber Technology-2", Whelan, A., and Lee, K.S., editors, Applied Science Publishers, p. 171.
- Holfmann, W. 1989. *Rubber Technology Handbook*. Hanser Publishers. Munich.
- Leigh-Dugmore, C.H., 1961. "Practice and Theory of Reinforcement", in "The Applied Science of Rubber", Naunton, W.J.S., editor, Edward Arnold publishers) Ltd., London, p. 486.
- Morrell, S.H., 1982. " Rubber Technology and Manufacture", C.M. Blow and C. Hepburn (Editor), Second Edition, Butterworth Scientific, London, p.177.
- Southern, E., 1979. "Elastomers: Criteria for Engineering Design", C.Hepburn and R.J.W. Reynolds (Editor), Applied Science Publishers, London, p.302.
- Subramaniam, A. 1980. Molecular Weight and Molecular Weight Distribution of Natural Rubber. *RRIM Technology Bulletin*. 4 : 6.
- US Pat. No. 4,187,134
- U.S.Pat. No. 4,415,154
- U.S.Pat. No. 4,598,909
- U.S.Pat. No. 5,007,639
- U.S.Pat. No. 1,803,121
- U.S.Pat. No. 3,256,019

U.S.Pat. No. 3,512,77

US Patent 5,865,697

U.S.Pat. No. 6,220,979

U.S.Pat. No. 6,206,794

Whelan, A. and Lee, K.S., editors, 1981. "Developments in Rubber Technology II", Applied Science Publishers. New York.

ภาคผนวก

- () มาตรฐาน FIVB
- () ผลการวิเคราะห์ลูกวอลเลย์บอลของ Mikasa