การวิจัยและพัฒนายางล้อตันทนน้ำมันสำหรับรถฟอร์คลิฟท์

ดร.วุฒิชัย ไทยเจริญ
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ

1. โครงสร้างของยางล้อตัน

ยางล้อตันเป็นผลิตภัณฑ์ยางล้อที่มีลักษณะการใช้งานที่เฉพาะ โดยส่วนใหญ่ยางล้อตันจะถูกนำไปติดตั้งกับรถฟอร์คลิฟท์สำหรับใช้งานในการขนถ่ายสินค้าที่มีน้ำหนักมากในบริเวณที่จำกัด เช่น ภายในโรงงาน หรือโกดังเก็บสินค้า

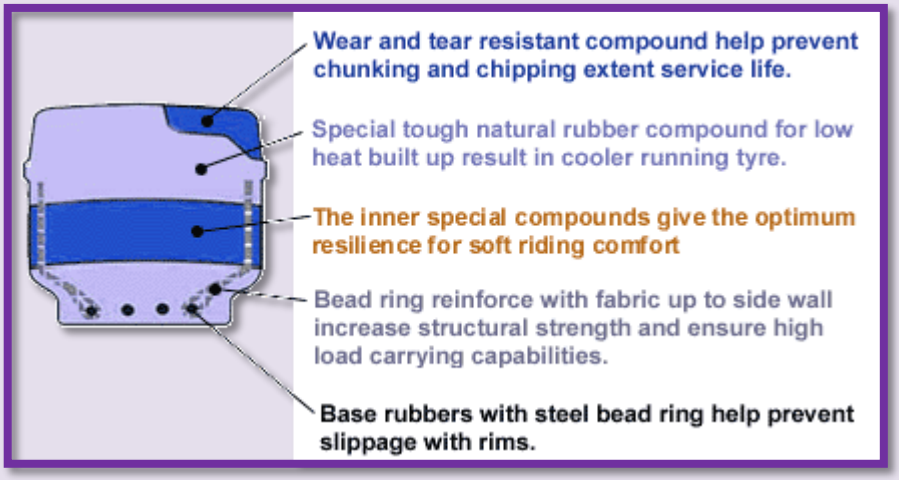
โครงสร้างโดยทั่วไปของยางล้อตันจะมีส่วนประกอบหลักๆ ดังต่อไปนี้ (ดูรูปที่ 1)

1. หน้ายาง (tread) หรือดอกยาง ทำหน้าที่ในการยึดเกาะกับพื้นผิวถนน ดังนั้นจึงต้องการสมบัติต้านทานการสึกหรอที่สูง และเนื่องจากหน้ายางเป็นส่วนที่มีการเสียรูปมาก ดังนั้นจึงต้องมีสมบัติด้านความร้อนสะสมที่ต่ำ นอกจากนั้นในกรณีของยางล้อตันที่ใช้งานในสภาวะที่ต้องสัมผัสกับน้ำมันยังต้องการหน้ายางที่มีสมบัติทนน้ำมันที่ดีกว่าหน้ายางของยางล้อตันทั่วไปอีกด้วย

2. ยางชั้นกลาง ทำหน้าที่ในการให้ความนุ่มนวลในการขับขี่ ยางชั้นกลางต้องมีสมบัติด้านการเกิดความร้อนสะสมต่ำ เนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นภายในยางชั้นกลางจะถ่ายเทออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ช้า ซึ่งในหลายกรณีก็เป็นสาเหตุให้ยางล้อตันเกิดการเสียรูปโดยการบวมหรือการระเบิดในขณะใช้งานได้ ถ้าเนื้อยางชั้นกลางที่ใช้ก่อให้เกิดความร้อนสะสมในปริมาณมากกว่าความสามารถในการระบายออกมาก

3. ยางชั้นใน ทำหน้าที่เป็นตัวยึดกับขอบกะทะล้อเพื่อคงรูปร่างของยางล้อตัน ดังนั้นยางชั้นในต้องมีความแข็งหรือมอดุลัสที่สูง เพื่อยึดยางล้อตันกับกะทะล้อไม่ให้มีการลื่นหลุดจากกัน ในบางกรณีอาจมีการใช้ไฟเบอร์เส้นสั้นช่วยในการเสริมแรงเพื่อเพิ่มความแข็งให้กับยางชั้นใน

4. วงขอบล้อ (bead) ทำขึ้นมาจากเส้นลวดแรงดึงสูง (high strength wire) แล้วนำมาขดเป็นวง และใช้เสริมแรงตามแนวขอบกะทะภายในยางชั้นใน เพื่อช่วยในการยึดยางชั้นในให้ติดกับกะทะล้อและป้องกันการลื่นหลุด



รูปที่ 1 ส่วนประกอบต่างๆ ของยางล้อตัน [www.mouldmate.com/Product/products.html]

2. กระบวนการผลิตยางล้อตัน

กระบวนการผลิตยางล้อตันจะมีขั้นตอนที่ง่ายและไม่ซับซ้อนซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

1. ขั้นตอนการผสมยาง
2. ขั้นตอนการสร้างยาง
3. ขั้นตอนการอบยางและการวัลคาไนซ์
4. ขั้นตอนการตรวจสอบ

1. <u>ขั้นตอนการผสมยาง</u>

ยางดิบ (ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์) และสารเคมีต่างๆ จะถูกนำไปบดผสมกันภายในเครื่องผสมยางแบบปิดที่มีการควบคุม อุณหภูมิ และเวลาตามที่กำหนดไว้ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ยางคอมพาวด์ที่มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีตามต้องการ ซึ่งสูตรที่ใช้ในการผสมจะมีอยู่มากมายแตกต่างกันไปตามหน้าที่ของส่วนประกอบที่จะนำไปผลิต

2. <u>ขั้นตอนการสร้างยาง</u>

กระบวนการสร้างยางล้อตันเป็นขั้นตอนของการนำยางคอมพาวด์สูตรต่างๆ มาประกอบเข้าด้วยกันตามลำดับโดยใช้เครื่องสร้างยาง ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะใช้การอุ่นยางคอมพาวด์ด้วย 2-roll mill และดึงยางคอมพาวด์ที่มีลักษณะเป็นแผ่นยาวออกมาพันทบกันเป็นรูปยางล้อที่มีลักษณะ ขนาด และน้ำหนักตามสัดส่วนโครงสร้างของยางที่ต้องการ ซึ่งรวมเรียกว่า โครงยางดิบ (green tyre) ที่พร้อมนำไปให้ความร้อนเพื่อให้เกิดการคงรูปต่อไป

3. <u>ขั้นตอนการอบยาง และการวัลคาไนซ์</u>

นำโครงยางดิบเข้าสู่แม่พิมพ์ยางล้อที่ติดตั้งอยู่บนเครื่องอบยาง (hot press) ที่มีการควบคุมเวลา อุณหภูมิ และความดัน ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ที่ค่อนข้างนาน ประมาณ 2 ชั่วโมงขึ้นไป ซึ่งเวลาในการอบขึ้นอยู่กับขนาดของยางล้อตัน โดยส่วนใหญ่อุณหภูมิในการอบยางจะอยู่ระหว่าง 130-140 องศาเซลเซียส

4. <u>ขั้นตอนการตรวจสอบ</u>

ยางทุกเส้นที่อบเสร็จแล้วจะต้องผ่านการตรวจสอบลักษณะภายนอก (appearance) และตำหนิต่างๆ ที่เกิดขึ้นกับตัวยาง รวมทั้งต้องมีการตกแต่งครีบยางและหนวดยางออกไป ก่อนที่จะส่งไปจำหน่าย

3. ที่มาของโครงการ

ผู้ประกอบการส่วนใหญ่จะใช้ยางธรรมชาติ (natural rubber; NR) และยางสังเคราะห์ชนิดสไตรีนบิวทาไดอีน (styrene butadiene rubber; SBR) และบิวทาไดอีน (butadiene; BR) เท่านั้นในการผลิตยางล้อตัน ซึ่งโดยธรรมชาติของยางเหล่านี้จะไม่สามารถทนต่อน้ำมันชนิดต่างๆ ที่มีสภาพขั้วต่ำได้ เช่น น้ำมันปิโตรเลียม น้ำมันจากพืชและสัตว์ชนิดต่างๆ ทำให้เมื่อนำยางล้อตันแบบปกติไปใช้งานในสภาวะที่ต้องสัมผัสกับน้ำมัน จะก่อให้เกิดปัญหาการบวมน้ำมันและการเสียรูปของยางล้อ ดังนั้นเพื่อเป็นการปรับปรุงสมรรถนะของยางล้อตันให้มีสมบัติเฉพาะที่ทนต่อการใช้งานในสภาวะที่ต้องมีการสัมผัสกับน้ำมัน เช่น น้ำมันจากสัตว์ในโรงงานแปรรูปและแช่แข็ง

เนื้อสัตว์และอาหารทะเล รวมถึงโรงงานที่เกี่ยวข้องกับการผลิตน้ำมันพืชต่างๆ โครงการนี้จึงมีเป้าหมายเพื่อพัฒนาต้นแบบยางล้อตันทนน้ำมัน โดยการใช้ยางสังเคราะห์ที่มีสมบัติทนน้ำมัน ได้แก่ ยางอะคริโลไนไทรล์บิวทาไดอีนหรือยางเอ็นบีอาร์ (acrylonitrile butadiene rubber; NBR) มาเป็นส่วนผสมหนึ่งในการผลิตยางล้อตัน

4. วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาต้นแบบยางล้อตันทนน้ำมันสำหรับใช้งานในสภาวะที่ต้องมีการสัมผัสกับน้ำมัน

5. การทดลอง

ในช่วงแรกของโครงการเป็นการพัฒนาสูตรดอกยาง (tread) สำหรับยางล้อตันทนน้ำมันในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งได้ดำเนินการวิจัยและพัฒนาที่ศูนย์วิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยางไทย ม.มหิดล (ศาลายา) ดำเนินการโดยปรับเปลี่ยนสัดส่วนปริมาณของยาง NBR ในการแทนที่ยางธรรมชาติ (NR) โดยมีสูตรที่ใช้ ดังนี้

1. NBR 0 หมายถึง ยางธรรมชาติ (NR) 80 phr ผสมกับยางบิวทาไดอีน (BR01) 20 phr (เป็นสูตรควบคุมที่ไม่มีการใส่ยางอะคริโลไนไทรล์บิวทาไดอีน (NBR))
2. NBR 20 หมายถึง ยางธรรมชาติ (NR) 60 phr ผสมกับยางบิวทาไดอีน (BR01) 20 phr และยางอะคริโลไนไทรล์บิวทาไดอีนเกรด DN3335 (NBR) 20 phr (เป็นสูตรที่มีการใส่ยางอะคริโลไนไทรล์บิวทาไดอีน (NBR) ลงไป 20 phr เพื่อแทนที่ยางธรรมชาติ)
3. NBR 25 หมายถึง ยางธรรมชาติ (NR) 55 phr ผสมกับยางบิวทาไดอีน (BR01) 20 phr และยางอะคริโลไนไทรล์บิวทาไดอีนเกรด DN3335 (NBR) 25 phr (เป็นสูตรที่มีการใส่ยางอะคริโลไนไทรล์บิวทาไดอีน (NBR) ลงไป 25 phr เพื่อแทนที่ยางธรรมชาติ)
4. NBR 30 หมายถึง ยางธรรมชาติ (NR) 50 phr ผสมกับยางบิวทาไดอีน (BR01) 20 phr และยางอะคริโลไนไทรล์บิวทาไดอีนเกรด DN3335 (NBR) 30 phr (เป็นสูตรที่มีการใส่ยางอะคริโลไนไทรล์บิวทาไดอีน (NBR) ลงไป 30 phr เพื่อแทนที่ยางธรรมชาติ)
5. NBR 40 หมายถึง ยางธรรมชาติ (NR) 40 phr ผสมกับยางบิวทาไดอีน (BR01) 20 phr และยางอะคริโลไนไทรล์บิวทาไดอีนเกรด DN3335 (NBR) 40 phr (เป็นสูตรที่มีการใส่ยางอะคริโลไนไทรล์บิวทาไดอีน (NBR) ลงไป 40 phr เพื่อแทนที่ยางธรรมชาติ)

จากนั้นจึงนำสูตรดอกยางทั้ง 5 สูตร มาผสมโดยใช้เครื่องผสมแบบปิด Brabender Plasticorder ขึ้นรูปเป็นชิ้นทดสอบ และทดสอบต่างๆ ดังนี้

1. สมบัติเชิงกล ได้แก่ ความแข็ง (hardness) ความทนต่อแรงดึง (tensile strength) ความยืด ณ จุดขาด (elongation at break) 100%มอดุลัส (100% modulus) ความทนต่อการฉีกขาด (tear strength) ความทนต่อการสึกกร่อน (abrasion resistance) วัดเป็นปริมาตรการสูญเสียตามวิธีของ Akron (Akron abrasion loss)
2. สมบัติเชิงพลวัต ได้แก่ ความร้อนสะสม (heat build-up)
3. สมบัติความทนต่อน้ำมัน (oil resistance) วัดเป็นปริมาตรที่เปลี่ยนแปลง (volume change) โดยใช้น้ำมัน Shell Tellus 100 ซึ่งเทียบเท่าน้ำมัน No.3 ตามมาตรฐาน ASTM D471

6. ผลการทดลอง

จากการทดสอบสมบัติเชิงกล เชิงพลวัต และสมบัติทนน้ำมัน ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า การเพิ่มสัดส่วนยาง NBR (เกรด DN3335) ลงไปแทนที่บางส่วนของยางธรรมชาติ จะทำให้ได้ดอกยางที่มีความแข็งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ความแข็งแรงเชิงกล (ความทนต่อแรงดึง) จะลดลงเล็กน้อย แต่มีสมบัติความทนต่อการสึกกร่อนและสมบัติความทนต่อน้ำมันที่ดีขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจะมีการเกิดความร้อนสะสมที่มากขึ้น จากผลทดสอบดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงได้เลือกสูตรยางที่มีสัดส่วนของยาง NBR 25 ส่วน เป็นสูตรดอกยางเพื่อนำไปทดลองสร้างต้นแบบยางล้อตัน ทั้งนี้เพื่อต้องการรักษาความสมดุลของสมบัติเชิงกล เชิงพลวัต และความทนน้ำมันของหน้ายาง

ตารางที่ 1 สมบัติเชิงกล เชิงพลวัต และการทนน้ำมันของดอกยางที่มีสัดส่วนของยาง NBR ต่างๆ

	NBR 0	**NBR 20**	**NBR 25**	**NBR 30**	**NBR 40**
สัดส่วนยางที่ใช้ในยาง คอมพาวด์ (phr)	NR 80 BR01 20 **NBR 0**	NR 60 BR01 20 **NBR 20**	NR 55 BR01 20 **NBR 25**	NR 50 BR01 20 **NBR 30**	NR 40 BR01 20 **NBR 40**
ความแข็ง (Shore A)	68 ± 1	69 ± 1	69 ± 1	70 ± 1	71 ± 1
ความทนต่อแรงดึง (MPa)	23.4 ± 0.6	22.0 ± 0.7	22.3 ± 0.4	21.6 ± 0.6	21.1 ± 0.3
ความยืด ณ จุดขาด (%)	420 ± 7	432 ± 8	441 ± 9	435 ± 12	431 ± 6
100% มอดุลัส (MPa)	3.9 ± 0.1	4.1 ± 0.1	4.2 ± 0.1	4.2 ± 0.1	4.3 ± 0.1
ความทนต่อการฉีกขาด (N/mm)	144 ± 7	135 ± 6	134 ± 3	137 ± 4	137 ± 6
ความทนต่อการสึกกร่อนตามวิธี Akron - ปริมาตรสูญเสีย (mm^3/1kc)	32 ± 1	30 ± 1	28 ± 1	26 ± 1	22 ± 1
ความร้อนสะสม (°C)	119	127	129	133	139
ความทนต่อน้ำมันที่ 100 °C, 72 ชั่วโมง - ปริมาตรที่เปลี่ยนแปลง (%)	98 ± 1	65 ± 1	60 ± 1	54 ± 1	48 ± 1

ในช่วงแรกของการวิจัยและพัฒนาต้นแบบยางล้อตันทนน้ำมัน คณะผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาและคัดเลือกสูตรดอกยางที่มีความเหมาะสมในการนำไปถ่ายทอดและทดลองผลิต โดยสูตรยางที่พัฒนาขึ้นมีสมบัติความทนต่อน้ำมันที่ดีขึ้นประมาณร้อยละ 40 เมื่อเทียบกับดอกยางแบบปกติ ซึ่งในขั้นตอนต่อไปจะเป็นการวิจัยและพัฒนาร่วมกับบริษัทผู้ผลิตยางล้อตันในการสร้างต้นแบบยางล้อตันเพื่อใช้ในการทดสอบวิ่งบนพื้นถนนเทียม เพื่อประเมินสมรรถนะด้านความทนทานของยางล้อตันทนน้ำมัน ซึ่งต้นแบบยางล้อตันทนน้ำมันแสดงในรูปที่ 2

รูปที่ 2 ต้นแบบยางล้อตันทนน้ำมันขนาด 7.00-12

การทดสอบสมรรถนะด้านความทนทานของยางล้อตันทนน้ำมัน ใช้เครื่องทดสอบ drum test โดยมีเงื่อนไขในการทดสอบดังนี้

- น้ำหนักที่กดทับยางล้อตันประมาณ 2.9 ตัน ซึ่งเท่ากับ 100% ของความสามารถสูงสุดในการแบกรับน้ำหนักของยางล้อตันขนาด 7.00-12 ที่ระบุไว้ตามมาตรฐานยางล้อตันทั่วไป
- ความเร็วคงที่ 10 กิโลเมตร/ชั่วโมง
- อุณหภูมิแวดล้อมยางล้อตันภายในเครื่อง drum test ประมาณ 38 องศาเซลเซียส

ในการทดสอบความทนทานของยางล้อตันได้ทำการเปรียบเทียบระหว่างยางล้อตันแบบปกติกับยางล้อตันทนน้ำมัน โดยยางล้อตันทั้งสองมีโครงสร้างเหมือนกัน คือประกอบด้วยยาง 3 ชั้น ได้แก่ ยางชั้นใน (ขอบกะทะ) ยางชั้นกลาง และหน้ายาง โดยในกรณีของยางล้อตันทนน้ำมันใช้หน้ายางที่เป็นยางคอมพาวด์ทนน้ำมันที่พัฒนาขึ้นแทนที่หน้ายางแบบเดิม ซึ่งผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลทดสอบความทนทานของยางล้อตันแบบปกติและยางล้อตันทนน้ำมัน

	ยางล้อตันแบบปกติ		**ยางล้อตันทนน้ำมัน**	
	เส้นที่ 1	**เส้นที่ 2**	**เส้นที่ 1**	**เส้นที่ 2**
เวลาที่วิ่งได้ก่อนยางล้อตันจะเกิดการเสียรูป (นาที)	**182**	**190**	**154**	**148**
เวลาเฉลี่ย (นาที)	186		151	

จากข้อมูลในตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่ายางล้อตันทนน้ำมันมีสมรรถนะด้านความทนทานน้อยกว่ายางล้อตันแบบปกติ โดยยางล้อตันทนน้ำมันสามารถวิ่งบน drum test ได้ประมาณ 2.5 ชั่วโมง ในขณะที่ยางล้อตันแบบปกติวิ่งได้ประมาณ 3.0 ชั่วโมง ทั้งนี้เนื่องจากหน้ายางของยางล้อตันมีสมบัติด้านการเกิดความร้อนสะสมที่มากกว่าหน้ายางปกติ ดังข้อมูลของการทดสอบความร้อนสะสมของยางคอมพาวด์ที่แสดงในตารางที่ 1 ซึ่งสมบัติดังกล่าวทำให้ยางล้อตันทนน้ำมันเกิดการบวมจากความร้อนสะสมที่เร็วกว่ายางล้อตันแบบปกติประมาณ 0.5 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามลักษณะการเสียสภาพของยางล้อตันทั้งสองแบบดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3 ถือว่าเป็นพฤติกรรม การเสียรูปแบบปกติของยางล้อตัน เนื่องจากไม่มีการหลุดล่อนของยางชั้นต่างๆ ออกจากกัน ซึ่งหมายความว่า ยางชั้นต่างๆ มีการยึดติดที่ดี การใช้สัดส่วนของยางสังเคราะห์ NBR ประมาณร้อยละ 25 ในสูตรหน้ายางทนน้ำมันไม่ส่งผลกระทบที่เสียหายต่อการยึดติดกันระหว่างยางชั้นหน้ายางและยางชั้นกลาง อีกทั้งระยะเวลา 2.5 ชั่วโมงที่ยางล้อตันทนน้ำมันสามารถวิ่งได้ ก็ถือว่าเป็นยางล้อตันที่มีความทนทานที่ดี สามารถนำไปใช้งานแบบปกติได้ทั่วไป เนื่องจากสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมมีแผนในการกำหนดสมรรถนะของยางล้อตันตามสภาวะการทดสอบดังกล่าวไว้ที่ 1.5 ชั่วโมงเท่านั้น ซึ่งเป็นค่าขั้นต่ำของยางล้อตันโดยทั่วไป

รูปที่ 3 ลักษณะการเสียสภาพจากการบวมแก้มของยางล้อตัน

7. สรุปผลการทดลอง

ในการพัฒนาต้นแบบยางล้อตันทนน้ำมัน โครงการนี้ได้เริ่มต้นด้วยการพัฒนาสูตรยางคอมพาวด์ในส่วนของหน้ายาง โดยการใช้ยางสังเคราะห์ NBR แทนที่ยางธรรมชาติบางส่วน ซึ่งจากการทดลองพบว่าสูตรหน้ายางที่ประกอบด้วยยาง NBR ร้อยละ 25 มีความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นส่วนของหน้ายาง เนื่องจากมีความสมดุลระหว่างสมบัติเชิงกล เชิงพลวัต และสมบัติทนน้ำมัน โดยยางคอมพาวด์ดังกล่าวมีสมบัติทนน้ำมันที่ดีกว่าหน้ายางปกติประมาณร้อยละ 40 เมื่อนำยางคอมพาวด์ดังกล่าวไปสร้างเป็นต้นแบบยางทนน้ำมันและทดสอบสมรรถนะด้านความทนทานด้วยเครื่อง drum test พบว่า ยางล้อตันทนน้ำมันสามารถวิ่งได้ประมาณ 2.5 ชั่วโมง ในขณะที่ยางล้อตันแบบปกติที่ไม่มีสมบัติทนน้ำมันวิ่งได้ประมาณ 3.0 ชั่วโมง ซึ่งความทนทานที่ลดลงดังกล่าวไม่น่าจะส่งผลต่อการใช้งานยางล้อตันทนน้ำมันในสภาพการใช้งานจริง เนื่องจากมาตรฐานความทนทานขั้นต่ำของยางล้อตันโดยทั่วไปอยู่ที่ 1.5 ชั่วโมง ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าโครงการนี้สามารถผลิตต้นแบบยางล้อตันทนน้ำมันที่สามารถนำไปใช้งานได้จริง ซึ่งจะได้ทำการทดสอบความสามารถในการทนน้ำมันและความทนทานในสภาวะการใช้งานจริงในโอกาสต่อไป

เอกสารอ้างอิง

1. Barlow, F.W., ‘Rubber Compounding: Principles, Materials, and Techniques’, Marcel Dekker, Inc., New York and Basel, 1988
2. Rodgers, B., ‘Rubber Compounding: Chemistry and Applications’, Marcel Dekker, Inc., New York and Basel, 2004
3. Ciullo, P.A., and Hewitt, N., ‘The Rubber Formulary’, Noyes publications, Norwich, New York, 1999
4. Chandrasekaran, V.C., ‘Essential Rubber Formulary: Formulas for Practitioners’, William Andrew Inc., Norwich, New York, 2007