

สำหรับยางธรรมชาติที่ได้จากต้นยางพาราพันธุ์ Hevea Brazillensis และพันธุ์ Guayule จะมีการต่อสายโมเลกุลเป็นแบบซิส ส่วนที่ได้จากยางพาราพันธุ์ Gutta-percha และพันธุ์ Balata จะมีการต่อสายโมเลกุลเป็นแบบทรานส์

แบบซิส หรือ แบบทรานส์จะต่างกันที่ความสามารถในการเรียงตัวให้เป็นระเบียบ ซึ่งจะทำให้เกิดการตกผลึกของยาง แบบทรานส์จะมีการตกผลึกได้เร็วกว่าที่อุณหภูมิห้อง ส่วนแบบซิส เมื่อโมเลกุลมีการจัดตัวจะเกิดการตกผลึกเพียงบางส่วน ดังนั้น แบบทรานส์จะแข็งที่อุณหภูมิห้อง ไม่มีสมบัติเป็นยาง แต่แบบซิสยังคงสมบัติเป็นยางอยู่ ยางพาราที่ปลูกในประเทศไทยส่วนมากเป็น ยางพาราพันธุ์ Hevea Brazillensis

จากสูตรโครงสร้างยาง จะเห็นว่ายางมีพันธะคู่ (Double Bond) และพันธะเดี่ยว (Single Bond) อยู่ในโมเลกุลคล้ายว่ามีทั้งส่วนแข็งและส่วนอ่อนอยู่ภายในโมเลกุล และการจัดเรียงตัวเป็นโมเลกุลยาวนี้ทำให้ยางมีสมบัติที่ยืดหยุ่นได้ การที่มีพันธะคู่ทำให้ไฮโดรเจนที่อยู่ใกล้กับพันธะคู่ (α -methylene hydrogen) นั้น มีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา และเป็นจุดที่ทำให้เกิดการเชื่อมโยง (Cross link) กับสารประกอบกำมะถัน หรือ เปอร์ออกไซด์ (Peroxide) ได้

การผลิตได้มาจากการกรีดต้นยางพารา ผลผลิตให้ออกมาในรูปของของเหลว มีสีขาวคล้ายน้ำมัน เรียกว่า “น้ำยางสด” ซึ่งจะมีเนื้อยางประมาณ 25 - 45 เปอร์เซ็นต์ ตามแต่ชนิดพันธุ์ยาง อายุของต้นยาง และฤดูกาล ยางธรรมชาติจัดจำหน่ายใน 2 รูปแบบใหญ่ ๆ คือ น้ำยาง และ ยางแห้ง

1. น้ำยาง น้ำยางสดมีน้ำมากเกินไป ไม่เหมาะกับการนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ และเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนส่ง จะต้องมีการนำน้ำออกจากน้ำยางสดก่อน จนเนื้อยางมีความเข้มข้นอยู่ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ น้ำยางที่ได้นี้เรียกว่า “น้ำยางข้น” ซึ่งมีลักษณะคล้ายน้ำมัน บุคเนาได้ แต่ป้องกันได้ด้วยการเติมสารเคมี เช่น แอมโมเนียลงไปผสมในน้ำยางสด

2. ยางแห้ง เมื่อนำน้ำออกจากน้ำยาง จะเหลือเป็นยางแห้ง จัดจำหน่ายอยู่ในหลายรูปแบบ คือ

2.1 ยางแผ่น

2.2 ยางเครพ

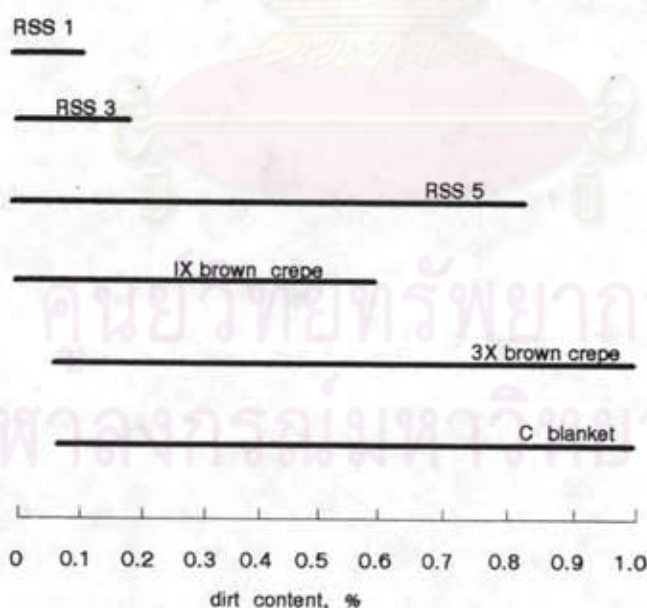
2.3 ยางแท่ง

2.1 ยางแผ่น ทำโดยการใส่น้ำกรดลงในน้ำยางสด จากนั้นนำไปรีดให้เป็นแผ่นนำไปล้างน้ำและทำให้แห้ง กระบวนการทำให้แห้งจะมีอยู่ 2 กระบวนการ คือ “การรมควัน” ยางที่ได้เรียกว่ายางแผ่นรมควัน (Ribbed Smoke Sheet ; RSS) และอีกกระบวนการหนึ่ง คือ “ใช้อากาศร้อนทำให้แห้ง” ยางที่ได้เรียกว่า ยางแผ่นไม่รมควัน (Air Dried Sheet ; ADS) ยางแผ่นรมควันแบ่งเป็นชั้นต่าง ๆ ตั้งแต่ 1 ถึง 5 โดยใช้สายคาดวัดความสปรกในแผ่นยางเป็นเกณฑ์ ชั้น 1 จะเป็นยางที่มีความสปรกของสิ่งแปลกปลอมน้อยที่สุด ส่วนยางแผ่นไม่รมควันจะมีชั้นเดียว ถ้าตัดชั้นจะนำไปทำเป็นยางแผ่นรมควันต่อไป

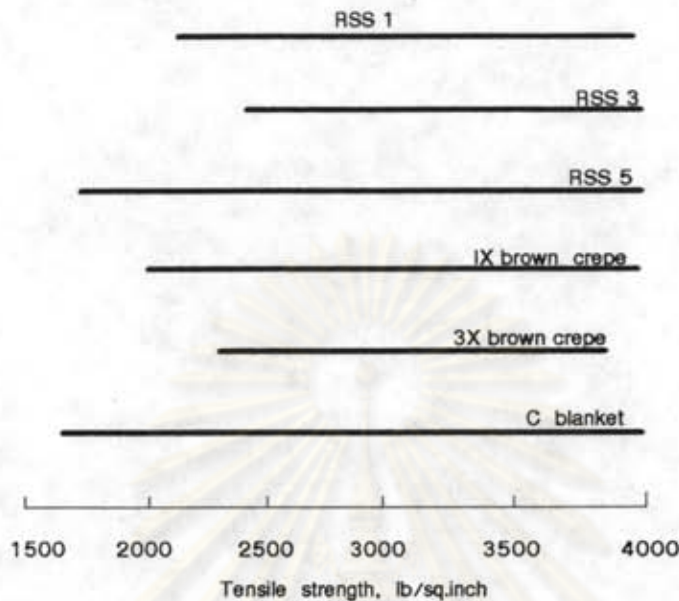
2.2 ยางเครพ เป็นยางที่ทำมาจากเศษยางกันด้วย เศษยางที่ติดอยู่ตามเปลือกไม้ เศษยางตามพื้นดิน เศษยางจากยางแผ่นรมควัน เป็นต้น โดยนำยางดังกล่าวมารีดในเครื่องเครพ (Creping Machine) พร้อมทั้งรดน้ำชะล้างเอาสิ่งสกปรกออกไปจากยาง นำยางที่ได้ไปผึ่งลมให้แห้ง ยางที่ได้เรียกว่ายางเครพ (Crepe Rubber)

ทั้งยางแผ่นและยางเครพ เป็นยางที่ใช้การจัดชั้นของยางด้วยสายคา วัดสิ่งสกปรกในยาง (Dirt) ว่ามีอยู่มากหรือน้อยเป็นช่วงกว้าง ๆ ทำให้สมบัติทางกายภาพ เช่น ความต้านทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ของยางกระจายตัวเป็นช่วงกว้างด้วย ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2 จากรูปจะพบว่าการจัดชั้นด้วยสายคาจะให้ผลที่ไม่แน่นอน ดังนั้น จึงมีวิธีในการจัดแบ่งชั้นยางตามสมบัติทางกายภาพของยาง การกำหนดจะทำได้เพื่อแบ่งชนิดของยางอีกประเภทหนึ่ง ได้แก่ ยางแท่ง

2.3 ยางแท่ง เป็นยางที่ผลิตขึ้นมาโดยนำยางมาทำให้อยู่ในรูปก้อนเล็ก ๆ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 - 3 มิลลิเมตร เพื่อให้ง่ายต่อการชะล้างสิ่งสกปรกออกไป และง่ายต่อการทำให้แห้ง ต่อจากนั้นยางก้อนเหล่านี้ผ่านการล้างด้วยน้ำให้สะอาด ทำให้แห้งด้วยอากาศร้อน ยางที่แห้งแล้วจะนำมาอัดเป็นแท่งที่มีขนาดมาตรฐาน คือ 330 x 670 x 150/180 มิลลิเมตรหนักก้อนละประมาณ 33.33 กิโลกรัม



รูปที่ 2.1 ปริมาณของสิ่งสกปรกในยางแผ่นและยางเครพ



รูปที่ 2.2 ความต้านทานต่อแรงดึงของยาง จากยางแผ่นและยางเครพ

จากรูปทั้งสองจะเห็นได้ว่า การจัดชั้นยางด้วยสายคาให้ผลที่แน่นอนไม่ได้ ดังนั้น จึงควรอย่างยิ่งที่จะต้องหาวิธีการจัดชั้นให้บังถึงลักษณะสมบัติทางฟิสิกส์ของยางได้ทันที ส่วนยางแท่งจะถูกแบ่งชั้นคุณภาพโดยยึดหลักของความสกปรก ปริมาณของเถ้า (Ash) ค่าดัชนีความอ่อนตัว ความต้านทานต่อการเสื่อมสลาย และอื่น ๆ มาตรฐานของยางแท่งแห่งประเทศไทย เรียกว่า Thai Tested Rubber (TTR) ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานยางแท่งแห่งประเทศไทย

กฎเกณฑ์	TTR 5L	TTR 5	TTR 10	TTR 20	TTR 50
ปริมาณความสกปรก (% โดยน้ำหนักสูงสุด)	0.05	0.05	0.10	0.20	0.50
ปริมาณเถ้า (% โดยน้ำหนักสูงสุด)	0.60	0.60	0.75	1.00	1.50
ปริมาณไนโตรเจน (% โดยน้ำหนักสูงสุด)	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
ปริมาณสารระเหย (% โดยน้ำหนักสูงสุด)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานยางแท่งแห่งประเทศไทย (ต่อ)

กฎเกณฑ์	TTR5L	TTR 5	TTR 10	TTR 20	TTR 50
ดัชนีความอ่อนตัว(PRI) (% ต่ำสุด)	60	60	50	40	30
ค่า Wallace Rapid Plasticity ต่ำสุดที่จุดเริ่มต้น (Po) ลี	30	30	30	30	30
(Lavibond scale [max])	6.0	-	-	-	-
รหัสสีที่ทำ	เขียวอ่อน	เขียวอ่อน	น้ำตาล	แดง	เหลือง
สีของพัสดุที่ห่อ	ใส	ใส	ใส	ใส	ใส
แถบสีบนบรรจุภัณฑ์	ใส	ขาวทึบ	ขาวทึบ	ขาวทึบ	ขาวทึบ

3. สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

3.1 ความต้านทานต่อแรงดึง เนื่องจากโมเลกุลของยางธรรมชาติมีความเป็นระเบียบสูงทำให้ยางมีการดกผลึกได้ง่ายเมื่อยืด ซึ่งเป็นตัวที่เสริมความแข็งแรงของยาง ทำให้ยางธรรมชาติมีความแข็งแรงในตัวเอง (โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 4,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

3.2 ความต้านทานต่อการฉีกขาด (Tear Strength) ยางธรรมชาติทนต่อการฉีกขาดได้ดีมาก โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากความเป็นผลึกของโมเลกุลของยางธรรมชาติ

3.3 ความทนทานต่อการสึกหรอ(Abrasion Resistance) มีความทนทานดีพอใช้

3.4 ความเป็นฉนวนไฟฟ้า มีค่าสูงมาก (100,000 โอห์มต่อเซนติเมตร)

3.5 การเสื่อมสภาพ (Ageing) ยางธรรมชาติเกิดการออกซิไดซ์ได้ง่าย จะมีการใส่สารแอนติออกซิแดนท์ในการผสมยาง และไม่ทนทานต่อโอโซน (O_3) ทำให้เกิดการรอยแตกได้ง่าย

3.6 ความทนทานต่อสารเคมี จะไม่ทนทานต่อน้ำมันปิโตรเลียม แต่มีความทนทานต่อของเหลวที่มีขี้ผึ้งได้ดี แต่จะไม่ทนต่อการดไนตริกและกรดกำมะถันเข้มข้น

3.7 อุณหภูมิการใช้งาน -70 ถึง 70 องศาเซลเซียส

3.8 ความกระด้างตัว (Resilience) มีความกระด้างตัวสูง มีความร้อนเกิดขึ้นต่ำ (Low heat build up)

3.9 การยึดติด (Tack) ดีมาก

ยางสไตรีนบิวทาไดอีน (Styrene Butadiene Rubber ; SBR)

เป็นโคพอลิเมอร์ (Co-polymer) ของสไตรีน กับ บิวทาไดอีน ชนิดที่มีการใช้งานโดยทั่วไป มีปริมาณบิวทาไดอีนประมาณ 76.5 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณของสไตรีนประมาณ 23.5 เปอร์เซ็นต์ ทำการพอลิเมอไรซ์ (Polymerize) ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และในปี

- ค.ศ. 1950 ได้มีการทำการพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิต่ำได้ (ที่ 5 องศาเซลเซียส) ทำให้ได้ยาง SBR ที่มีสมบัติที่ดีขึ้น เนื่องจากการเรียงตัวของสไตรีนในยางมีความสม่ำเสมอมากขึ้น โดยที่
- การพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส (Hot Rubber) แปรรูปได้ง่ายกว่า
 - การพอลิเมอร์ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (Cold Rubber) มีสมบัติทางกายภาพดีกว่า

1. การแบ่งชั้นของยาง SBR ยาง SBR แบ่งชั้นตามมาตรฐานสากล ได้ดังนี้

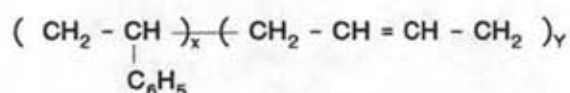
- SBR 1000 ชนิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชันที่อุณหภูมิสูง ("Hot" Emulsion)
- SBR 1100 "Hot" Black Masterbatch + Oil ≤ 14 phr.
- SBR 1500 ชนิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชันที่อุณหภูมิต่ำ ("Cold" Emulsion)
- SBR 1600 "Cold" Black Masterbatch + Oil ≤ 14 phr.
- SBR 1700 "Cold" Oil Masterbatch
- SBR 1800 "Cold" Oil Masterbatch + Oil > 14 phr.
- SBR 1900 "Emulsion" Resin Rubber Masterbatch
- SBR 2000 "Hot" Latices
- SBR 2100 "Cold" Latices

ตัวเลข 2 หน่วยสุดท้ายจะแบ่งย่อยออกไปอีก เช่น

- SBR 1500 มีค่าความหนืดมูเนย์ (Mooney Viscosity) 52 มีแอนติออกซิแดนท์ชนิดสแตนนิง (Staining)
- SBR 1502 มีค่าความหนืดมูเนย์ 52 ใช้แอนติออกซิแดนท์ชนิดนอนสแตนนิง (Non-Staining)
- SBR 1503 ใช้ทำเฉพาะสายเคเบิล
- SBR 1509 ชนิดแปรรูปง่าย มีค่าความหนืดมูเนย์ 34 ไหลง่ายและอัดรีด (Extrude) ได้ง่าย
- SBR 1712 มีค่าความหนืดมูเนย์ 52 ใช้ท่อนติออกซิแดนท์ชนิดสแตนนิง (Staining)

2. สมบัติทั่วไปของยาง SBR

- สูตรโครงสร้าง



- ค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) 0.93

- ความต้านทานต่อแรงดึง ยาง SBR เป็นยางที่มีความต้านทานต่อแรงดึงต่ำ (ประมาณ 400 - 450 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ดังนั้นในขณะผสมยาง SBR จึงจำเป็นต้องใช้ผงเขม่าดำเติมเพื่อเพิ่มค่าการทนต่อแรงดึงให้สูงขึ้น (ยางตามธรรมชาติ + ผงเขม่าดำชนิด HAF 50 ค่าการทนต่อแรงดึง 4200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ยาง SBR + ผงเขม่าดำชนิด HAF 50 ค่าการทนต่อแรงดึง 3200 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

- ความต้านทานต่อการฉีกขาด มีค่าต่ำมาก ยิ่งที่อุณหภูมิสูงจะยิ่งมีค่าความต้านทานต่อการฉีกขาดต่ำลง ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ยาง SBR จะดึงออกจากแม่ (mold) ไม่ได้ ยางธรรมชาติจะมีสมบัตินี้ดีกว่า และความต้านทานต่อการฉีกขาดที่อุณหภูมิสูง ก็มีค่าที่ดีกว่า ยาง SBR

- การเสื่อมสภาพ มีสมบัติที่ดีกว่ายางธรรมชาติเพียงเล็กน้อยเท่านั้น
- การยึดติด ยาง SBR จะมีการยึดติดและ Green strength ต่ำ
- ความทนทานต่อการสึกหรอ มีค่าสูงกว่ายางธรรมชาติประมาณ 10 - 20 เปอร์เซ็นต์ ยาง SBR ชนิดพอลิเมอไรซ์ที่อุณหภูมิต่ำ ที่ใส่ผงเขม่าดำในปริมาณที่เท่ากับที่ใส่ในยางธรรมชาติจะมีความทนทานต่อการสึกหรอเท่ากับยางธรรมชาติ แต่ยาง SBR ชนิดพอลิเมอไรซ์ที่อุณหภูมิต่ำ จะมีสมบัตินี้ดีกว่า และทนต่อการแตกของดอกยางดีกว่ายางธรรมชาติ
- อุณหภูมิการใช้งาน -60 ถึง 75 องศาเซลเซียส
- ฮิสเทอรีซิส (Hysteresis) ยางธรรมชาติมีค่าต่ำ แต่ยาง SBR มีค่าสูง ดังนั้นยาง SBR เมื่อใช้งานจะมีความร้อนที่สร้างขึ้นสูง (high heat build up) ยาง SBR จึงนิยมใช้ทำยางรถยนต์ส่วนบุคคลที่มีส่วนของดอกยางบาง ช่วยในการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นได้ดี
- ความต้านทานต่อสารเคมี มีสมบัติเหมือนกับยางธรรมชาติ
- ความเป็นฉนวนไฟฟ้า มีค่าความต้านทาน $\approx 10^{14} - 10^{15}$ โอห์มเซนติเมตร

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบสมบัติยางธรรมชาติและยาง SBR ชนิดต่าง ๆ

ชนิดยาง	NR	HOT SBR	HOT SBR	COLD SBR	OIL-COLD SBR
ปริมาณยาง(PHR)	100	100	100	100	137.5 (KGS)
MPC(PHR)	50	25	-	-	-
HMF(PHR)	-	25	-	-	-
HAF(PHR)	-	-	50	50	68 (KGS)
สมบัติ					
300% โมดูลัส (300% MODULUS)					
40 นาทีที่ 275°F	1100	600	1050	1150	1000
80 นาทีที่ 275°F	1400	800	1350	1500	1500
ความต้านทานต่อแรงดึง (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)					
40 นาทีที่ 275°F	3600	2100	1900	3300	2600
80 นาทีที่ 275°F	3900	2200	2100	3400	2800
% การยืดตัว (% ELONGATION)					
40 นาทีที่ 275°F	650	700	500	650	600
80 นาทีที่ 275°F	600	650	450	550	500
% การกระดอนตัว (% REBOUND) ที่อุณหภูมิห้อง					
55 นาทีที่ 275°F	65	56	53	59	55
% การกระดอนตัวที่ 212°F					
55 นาทีที่ 275°F	74	66	64	70	70
ปริมาณการสึกหรอ (ลูกบาศก์เซนติเมตรที่สูญเสีย)					
55 นาทีที่ 275°F	8.5	9.5	5.0	4.0	2.75

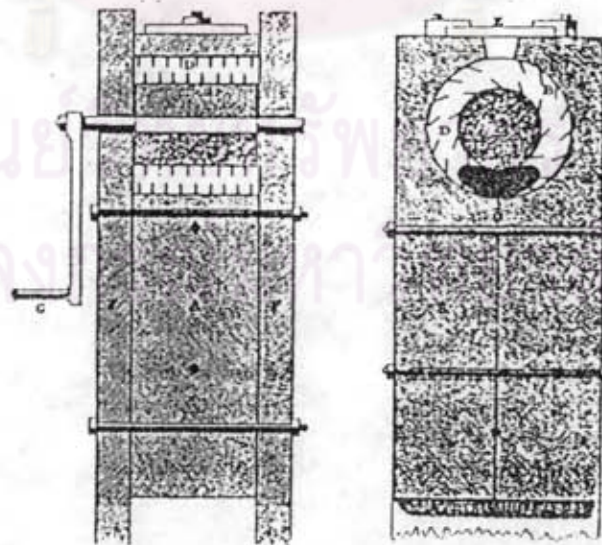
MPC , HMF , HAF เป็นชนิดของผงเคมีมาแบ่งชนิดตามวิธีการผลิตและขนาดของอนุภาค

การผสมยาง

1. การประดิษฐ์เครื่องผสมยาง

การผสมสารเคมีเข้าไปในยาง กระทำในขณะที่ยางอยู่ในสถานะเป็นพลาสติก (Plastic State) การเตรียมยางเพื่อให้มีความเหมาะสมเพื่อที่จะผสมสารเคมีเข้าไปและมีการกระจายจนเป็นเนื้อเดียวกันกับยาง จึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือฉีกยางหรือบดยางหรือนวดยาง ที่มีสถานะแข็งเหนียวให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลงจนสามารถเลื่อนไหลไปมาได้ แล้วจึงผสมสารเคมีหรือสารตัวเติมต่าง ๆ เข้าไป

ในปี ค.ศ. 1820 โทมัส แฮนคอค (Thomas Hancock) ได้ค้นพบปรากฏการณ์ที่เรียกว่ามัสติเคชันหรือ การบดยาง (Mastication) โดยการประดิษฐ์เครื่องนวดยาง (Masticator) เครื่องมือนี้ประกอบด้วยโลหะทรงกระบอกติดหมุดปลายแหลมเป็นซี่ ๆ โดยรอบต่อแกนให้หมุนอยู่ในถังปิดรูปทรงกระบอกที่ติดหมุดแหลมอยู่โดยรอบเช่นเดียวกัน เมื่อใส่ยางเข้าไปแกว่หมุนแกนกลางไปมา ยางจะถูกบดฉีกขนาดด้วยแรงกล ให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นและอ่อนนุ่มลง จนสามารถเติมสารเคมีลงไปผสมได้ (ดร. บุญธรรม นิธิอุทัย , รศ.พรพรรณ นิธิอุทัย และ ปรีชาปองภัย สารเคมีสำหรับยาง และ เทคนิคการออกสูตรยาง , 1987)



รูปที่ 2.3

เครื่องนวดยางของโทมัส แฮนคอค

อุปกรณ์ที่ใช้ผสมสารเคมีที่สำคัญและเป็นเครื่องมือหลักของโรงงานยางอีก 2 ชนิดคือ เครื่องบด 2 ลูกกลิ้ง (Two - Roll Mill) ซึ่งเป็นการผสมในระบบเปิดและเครื่องผสมระบบปิด ในปี ค.ศ. 1916 เฟรนเลย์ เอช. บานบุรี (FRENLEY H. BANBURY) ชาวสหรัฐได้ประดิษฐ์เครื่องผสมยางแบบปิดขึ้นและได้รับความนิยมแพร่หลายอย่างรวดเร็ว เพราะความสามารถในการผสมยางได้จำนวนมากและรวดเร็ว ตลอดจนมีความสะดวกในการปฏิบัติงานซึ่งเครื่องดังกล่าว นิยมเรียกกันว่า เครื่องบานบุรี

2. ประสิทธิภาพของการผสมยาง

ประสิทธิภาพของการผสมยางประกอบด้วยเป้าหมายหลัก 4 ประการคือ

1. ให้ได้สารประกอบยางที่มีคุณภาพดีที่สุดและตรงตามความต้องการ
2. สามารถควบคุมและรักษาสมบัติของสารประกอบยางไว้ได้อย่างสม่ำเสมอ

ทุก ๆ แบทช์

3. ให้ได้สารประกอบยางที่มีการกระจาย (Dispersion) ของสารเคมีดีที่สุด
4. ให้ได้ผลผลิตออกมาสูงสุด

เพื่อที่จะบรรลุผลตามเป้าหมายทั้ง 4 ประการ เกณฑ์ในการยุติผสมยาง (Discharge or Dumping Criteria) จึงมีความสำคัญมาก เพราะการผสมจะต้องดำเนินไปจนกระทั่งการกระจายตัวของผงสารเคมีมีการกระจายตัวอยู่ในระดับที่ต้องการ และ ในขณะเดียวกันรอบเวลาการผสม (Cycle Time) ต้องมีค่าสั้นที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

โดยที่การผสมเป็นกระบวนการการผลิตหน่วยหนึ่ง เมื่อมีสูตรยางแล้วก็จะเติมสารเคมีทั้งหมดเข้าไปในเนื้อยาง บดผงเคมีให้แตกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ที่มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ กระบวนการนี้เกี่ยวข้องกับปัญหาหลาย ๆ ด้าน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสภาวะของส่วนผสม และ ส่งผลกระทบต่อซึ่งกันและกัน ในระหว่างปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้

2.1 ปัจจัยของการผสมยาง (Rubber Mixing Factor)

พารามิเตอร์ของเครื่องผสม	<ul style="list-style-type: none"> - ความเร็วของใบพัด(Rotor) - ชนิดและรูปร่างของใบพัด - ช่องว่างระหว่างใบพัดกับห้องผสม(Chamber) - ประสิทธิภาพของการระบายความร้อน
สภาวะของการเดินเครื่อง	<ul style="list-style-type: none"> - อัตราการเฉือน(Shear Rate) - ความเค้นเฉือน (Shear Stress) - เวลาในการผสม - ขนาดการบรรจุ - อุณหภูมิ
สมบัติของสารประกอบยาง	<ul style="list-style-type: none"> - การกระจายของสารตัวเติม - ระดับความเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeniety) - สมบัติในการไหล (Flow Properties)

- คุณลักษณะการวัลคาไนซ์ (Cure Characteristics)
- การพอง(Die Swell)

สมบัติของผลิตภัณฑ์ - ความต้านทานต่อแรงดึง

- โมดูลัส
- การยืดตัว
- การโค้งงอ(Flexibility)
- ความทนทานต่อการฉีกขาด
- ความทนทานต่อการสึกหรอ

3. กระบวนการทางกายภาพของการผสม

การผสมสารเคมีเป็นกระบวนการที่พยายามเพิ่มการเข้ากัน (Incorporation) ระหว่างสารเคมีต่าง ๆ กับยางและเป็นการเพิ่มการกระจายของสารเคมีต่าง ๆ ในเนื้อยาง โดยไม่เกิดผลกระทบต่อสถานะทางกายภาพขององค์ประกอบของส่วนผสม ในการผสมในแต่ละแบบที่นั้น จะมีขั้นตอนในการผสม 4 ขั้นตอน คือ

3.1 การลดค่าความหนืด ML (1+4) ของยาง หรือการทำให้ยางนิ่มลง

3.2 การเติมสารเคมีเข้าไปในเนื้อยาง

3.3 การทำให้สารเคมีมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งก้อน ประสิทธิภาพของการกระจายจะดี ถ้าทำการผสมในภาวะที่มีความดันเฉือนสูง หรือที่ค่าความหนืดสูงซึ่งเกิดขึ้นต่อเมื่อ

3.3.1 มีสัดส่วนของสารตัวเติมสูง

3.3.2 ความหนืดของยางไม่ต่ำเกินไป

3.3.3 อุณหภูมิไม่สูงเกินไป

3.3.4 หลีกเลี่ยงการหล่อลื่นโดยการใส่น้ำมันในตอนท้ายของการผสม

3.4 เทยางที่ผสมแล้วออกจากเครื่องผสม

4. เกณฑ์ในการยุติการผสม

อุปสรรคประการหนึ่งในการศึกษากระบวนการผสมยางคือ เมื่อใดจึงจะสมควรหยุดการผสม และ เทยางออกจากเครื่องผสม โดยจะยึดเอาคุณภาพของสารประกอบยางหรือประสิทธิภาพของการกระจาย หรือเวลาที่ใช้ในการผสมจนถึงจุดที่ได้สมบัติตามต้องการ ทั้งนี้เพราะสมบัติเหล่านี้ไม่สามารถทำการวัดได้โดยตรงในขณะที่เครื่องกำลังทำการผสมยางอยู่ พารามิเตอร์ที่สามารถติดตั้งเครื่องมือวัดได้โดยตรงจึงมีเพียงเวลา อุณหภูมิ ค่าทอร์กของแรง และ กำลังเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ เกณฑ์ที่ใช้ในการยุติการผสม จึงมีอยู่ 5 เกณฑ์ ดังนี้

4.1 เวลาในการผสม (Mixing Time)

4.2 อุณหภูมิยางในเครื่องผสม

4.3 พลังงานที่ใช้ในการผสม (Mixing Energy)

4.4 กำลังงานที่ใช้ในการผสม (Mixing Power)

4.5 เวลาที่ผ่านความร้อน (Heat History) กับเกณฑ์ปลิกย่อยอื่น ๆ เช่น การพังเสีย หรือ การสังเกตการขยับตัวขึ้นลงของหัวแรม (Ram) เป็นต้น

5. ประเภทของสารประกอบยาง

สารประกอบยางสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทได้แก่

5.1 ยางมาสเตอร์แบทช์ (Masterbatch Compound) คือ การนำยางมาผสมกับองค์ประกอบต่าง ๆ รวมทั้งสารเคมีที่ต้องการในสูตรยกเว้นสารเคมีที่จะทำให้เกิดและเร่งหรือกระตุ้นให้เกิดการวัลคาไนซ์

5.2 ยางรีมิล (Remill Compound) คือ การนำยางมาสเตอร์แบทช์ มาผ่านเครื่องผสมยางอีกครั้งหนึ่งโดยไม่มีการเติมองค์ประกอบใด ๆ ลงไปอีก จุดประสงค์เพียงเพื่อจะให้ได้ยางมาสเตอร์แบทช์มีคุณภาพทางด้านกายภาพตรงตามความต้องการเท่านั้น

5.3 ยางไฟนัล (Final Compound) คือ การนำเอายางมาสเตอร์แบทช์ หรือ ยางรีมิลมาเติมสารเคมีที่จะทำให้เกิดหรือเร่งหรือกระตุ้นให้เกิดการวัลคาไนซ์ลงไปให้ครบตามสูตรที่กำหนด

5.4 ยางแมส (Mass Rubber) คือ การนำเอายางธรรมชาติมาผ่านเครื่องผสมยาง เพื่อให้ค่าความหนืดของยางมีค่าลดลงจนได้ตามที่ต้องการ

6. สูตรของสารประกอบยาง

ในการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางโดยทั่วไป ส่วนผสมของสูตร จะประกอบด้วยสารต่าง ๆ ดังนี้

- | | |
|--|--|
| 6.1 ยาง | - ยางธรรมชาติ |
| | - ยางสังเคราะห์ |
| | - ยางรีเคลม |
| 6.2 สารทำให้เกิดการวัลคาไนซ์ (Vulcanizing Agent) | - กำมะถัน (S_8) |
| | - สารอื่น ๆ (ขึ้นกับชนิดของยางที่ใช้ในสูตร) |
| 6.3 สารที่เร่งให้เกิดการวัลคาไนซ์ (Accelerator) | - สารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาช้า |
| | - สารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาปานกลาง |
| | - สารที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาเร็ว |
| 6.4 สารกระตุ้นสารเร่งการวัลคาไนซ์ (Activator) | - จำพวกสารอินทรีย์ |
| | - จำพวกสารอนินทรีย์ |
| 6.5 สารเพิ่ม (Filler) | - ผงเขม่าดำ ก. ช่วยเพิ่มความแข็งแรง |
| | ข. ไม่เพิ่มความแข็งแรง |
| | - พวงลีไม่ดำ ก. ช่วยเพิ่มความแข็งแรง |
| | ข. ไม่เพิ่มความแข็งแรง |
| | - เอกซ์เทนเดอร์ (Extender) |

- 6.6 สารช่วยในกรรมวิธีการผลิต (Processing Aid) - พวกช่วยฉีกขาดโมเลกุลของยาง
- พวกช่วยหล่อลื่นในโมเลกุลของยาง
- พวกช่วยให้สมบัติการเหนียวติดกันเองดีขึ้น
- 6.7 สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ (Age - Processing) - สเตนนิ่ง (Staining)
- นอนสเตนนิ่ง (Non - Staining)
- ต้านทานการแตก
- 6.8 สารอื่น ๆ

โดยปกติวิธีการใช้ปริมาณสารต่าง ๆ จะใช้ในสัดส่วนสารต่าง ๆ ต่อยาง 100 ส่วน เป็นเกณฑ์ (PHR : Parts per Hundred of Rubber) ดังนั้นสูตรพื้นฐานทั่วไปของผลิตภัณฑ์ยางจึงประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

องค์ประกอบ	ส่วน
ยาง	100
กำมะถัน	2.5 - 3.5
สารกระตุ้นสารเร่งการวัลคาไนซ์	1 - 5
สารเร่งการวัลคาไนซ์	0.5 - 1.5
สารเพิ่ม	ตามความต้องการ
สารช่วยทำให้ยางนิ่ม	5 - 10
สารป้องกันยางเสื่อมสภาพ	1 - 2

จากส่วนผสมของสารต่าง ๆ ตามสูตรพื้นฐานจะเห็นว่าปริมาณการใช้สารแต่ละชนิด จะไม่จำกัดในปริมาณที่แน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติของผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิต

7. ขั้นตอนของการผสมยางในปัจจุบัน



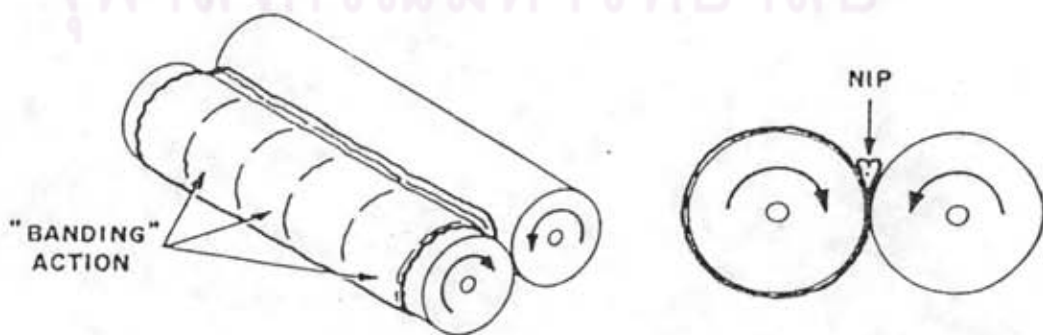
การผสมยางในเครื่องผสมบานบุรี

การผสมยางในเครื่องผสมบานบุรี (Banbury Mixer) เป็นการผสมแบบไม่ต่อเนื่อง (Batch) ที่สามารถผสมวัสดุที่มีความหนา เหนียว และ วัสดุที่ทำการผสมได้ยากภายในช่วงเวลาสั้น ๆ และ นิยมใช้เพื่อย่อย (Break Down) หรือ การผสมสารเคมีและสารตัวเติมลงไปเ็นยางและวัสดุจำพวกพลาสติก

สิ่งที่สำคัญที่สุดของเครื่องผสมบานบุรีแต่ละเครื่องได้แก่ ห้องผสม (Mixing - Chamber) ที่ประกอบด้วยใบพัด 2 ใบ ที่มีลักษณะการออกแบบมาเฉพาะตัวของเครื่องแต่ละเครื่อง หรือขึ้นกับบริษัทผู้ผลิต วัสดุที่จะทำการผสมจะใส่ไปในเครื่องทางด้านบน ใบพัดจะหมุนในทิศทางที่สวนทางกัน และด้วยความเร็วที่ไม่เท่ากัน ซึ่งขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าและเพิ่มความดันภายในห้องผสมด้วยการกดแท่นแรม (Plunger or Ram) ทางด้านบนของห้องผสมยางลงมาและจะปล่อยสิ่งที่ผสมกันแล้วออกมาทางประตูด้านล่างของเครื่อง

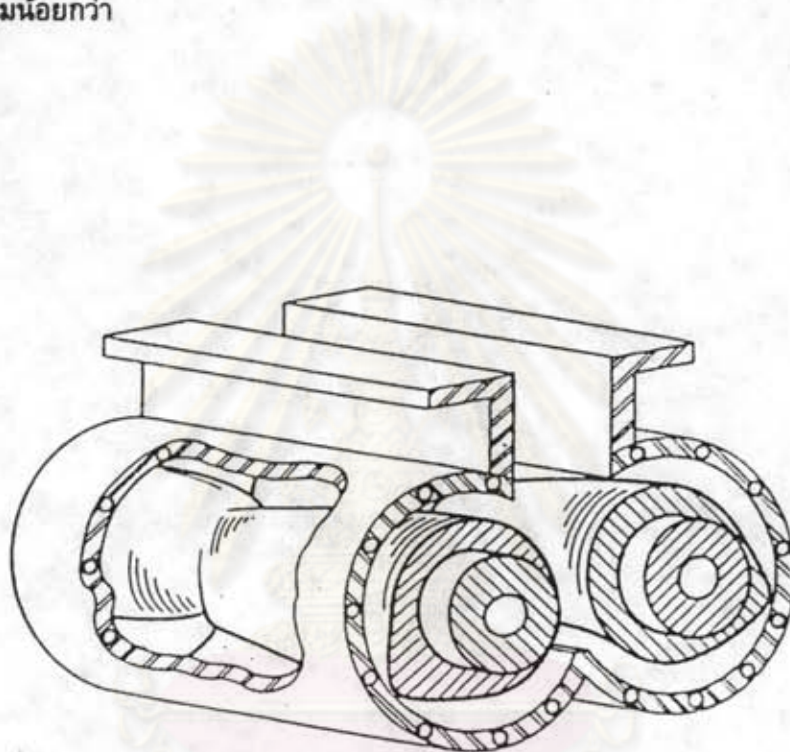
จุดประสงค์ของการผสมคือ การผสมองค์ประกอบ 2 สิ่ง หรือมากกว่า เข้าด้วยกัน และ ผสมให้กลายเป็นเนื้อเดียวกันพร้อมทั้งมีการกระจายตัวขององค์ประกอบต่าง ๆ อย่างสม่ำเสมอในทุก ๆ จุด ซึ่งในขณะที่เครื่องผสมทำให้เกิดการกระจายตัวที่ดีเครื่องก็จะต้องทำให้ขนาดขององค์ประกอบต่าง ๆ มีขนาดเล็กลงไปด้วย ในขณะที่เดียวกัน ความเร็วในการทำให้องค์ประกอบต่าง ๆ มีขนาดเล็กลง จะขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ที่มีต่อค่าความหนืดของสิ่งที่ทำการผสมอยู่ นั่นคือ จะเกิดการแตกหักและการขัดสีกันขององค์ประกอบที่ผสมอยู่ในยางทำให้เกิดทรงเสียดทาน และ การขัดสีกันเป็นผลให้องค์ประกอบต่าง ๆ มีขนาดเล็กและเริ่มกระจายตัว ซึ่งเป็นหลักการที่สำคัญของเครื่องผสมบานบุรี

การผสมยางเดิมที่ทำการผสมด้วยเครื่องผสมยางแบบเครื่องบด 2 ลูกกลิ้ง ดังแสดงในรูปที่ 2.4 การผสมจะเกิดขึ้นที่บริเวณช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งทั้ง 2 (Nip) แต่การผสมด้วยวิธีนี้มีข้อเสีย คือ ใช้เวลาในการผสมนานมากเพราะพื้นที่ที่จะเกิดการผสมมีน้อย และ องค์ประกอบมีโอกาสที่จะปลิวไปในอากาศได้มาก



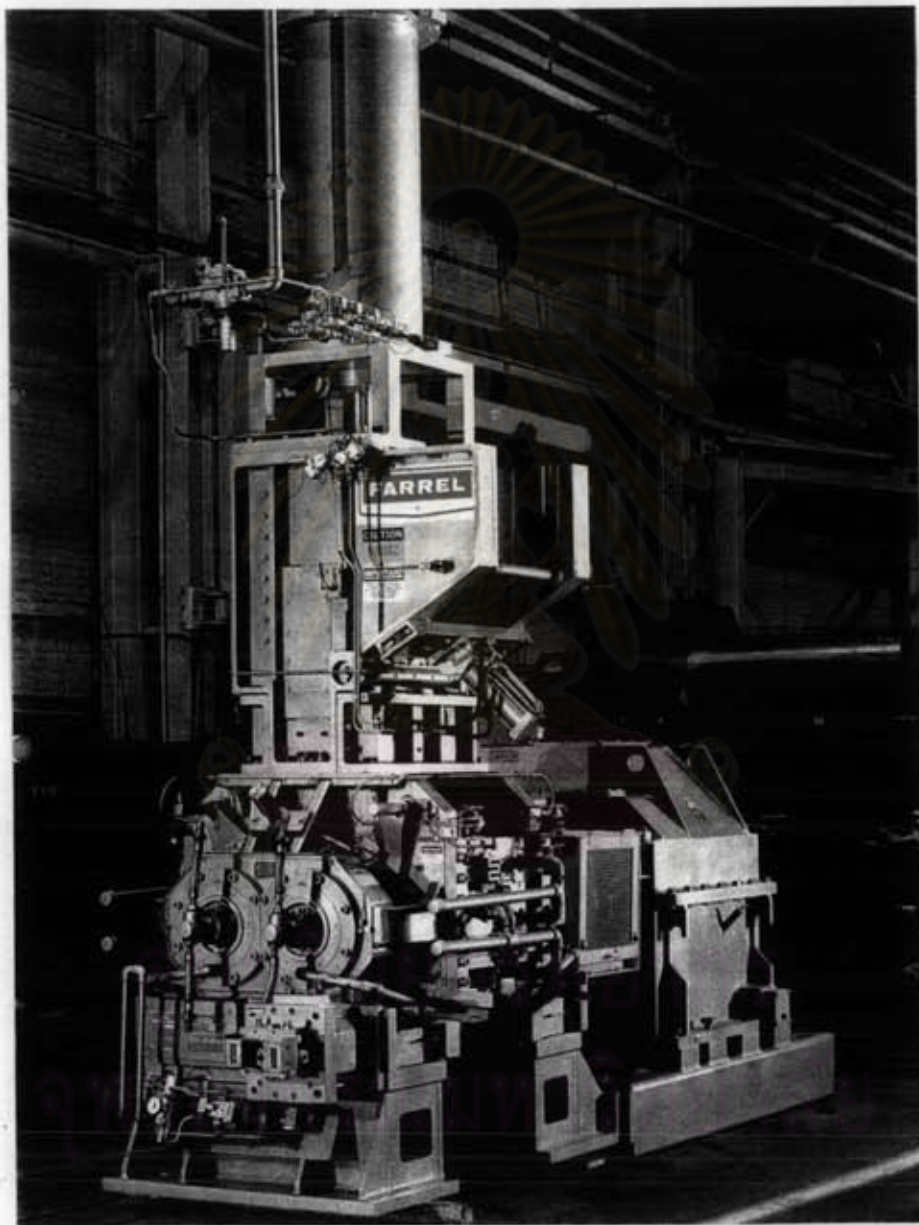
รูปที่ 2.4 แสดงการผสมด้วยเครื่องผสมแบบเครื่องบด 2 ลูกกลิ้ง

หลักการของเครื่องผสมบานบุรีก็พัฒนามาจากเครื่องผสมยางแบบเครื่องบด 2 ลูกกลิ้ง โดยจะมีใบพัดอยู่ 2 ชุด ภายในห้องผสมและหมุนไปในทิศทางที่สวนทางกันด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน (ทำให้เกิดแรงเสียดทานและแรงเค้นเฉือนเพิ่มขึ้น) ยิ่งไปกว่านั้น ใบพัดทั้ง 2 ชุด ยังอยู่ใกล้กับผนังของห้องผสมมากกว่าระยะของช่องระหว่างลูกกลิ้ง ทั้งสองของเครื่องบด 2 ลูกกลิ้งมาก ทำให้เครื่องผสมบานบุรีมีประสิทธิภาพในการผสมสูงกว่าเพราะมีพื้นที่ในการผสมมากกว่า จึงทำให้ใช้เวลาในการผสมน้อยกว่า



รูปที่ 2.5 ห้องผสมยางและใบพัดของเครื่องผสมบานบุรี

กลไกการผสมในเครื่องผสมบานบุรี จะเกิดขึ้นระหว่างปลายใบพัดและผนังของห้องผสม และที่บริเวณระหว่างใบพัดทั้งสองภายในห้องผสม ขณะที่การผสมด้วยเครื่องบด 2 ลูกกลิ้ง จะเกิดการผสมเฉพาะที่บริเวณช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งเท่านั้น แต่เครื่องผสมบานบุรีจะเกิดบริเวณการผสมได้ตลอดเวลาในขณะที่ใบพัดหมุน



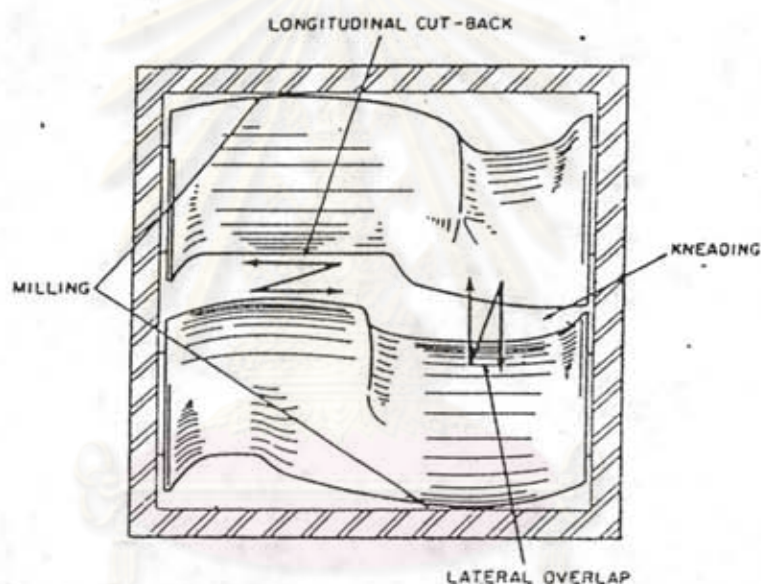
รูปที่ 2.6 แสดงเครื่องทดสอบบานบุรี

1. รูปแบบของการผสมในเครื่องผสมบานบุรี

ภายในเครื่องผสมบานบุรี จะเกิดรูปแบบของการผสมขึ้น 4 รูปแบบด้วยกันคือ

1.1 การบด (Milling)

เกิดจากการที่ชุดใบพัดกวาดวัสดุไปรอบ ๆ กับผนังของห้องผสม ซึ่งจะไม่เหมือนกับที่เกิดที่บริเวณช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งของเครื่องบด 2 ลูกกลิ้ง แต่จะมีประสิทธิภาพมากกว่า เนื่องจากมุมของใบพัดกับผนังห้องผสมจะมีค่ามากกว่ามุมของลูกกลิ้งในเครื่องบด 2 ลูกกลิ้ง ซึ่งวัสดุที่อยู่บริเวณด้านหน้าใบพัดจะเกิดการม้วนตัวทำให้เกิดทรงเนินขึ้นในระดับโมเลกุลที่อยู่กันเป็นชั้น ๆ ของยางทำให้เกิดการฉีกขาดของโมเลกุลอย่างจริงจัง ค่ามุมของชุดใบพัดที่อยู่บริเวณส่วนปลายของใบพัดที่มีความเหมาะสมจะได้มาจากการทดลอง



รูปที่ 2.7 แสดงรูปแบบของการผสมในเครื่องผสมบานบุรีกับตำแหน่งที่เกิดขึ้นภายในห้องผสม

1.2 การนวด (Kneading)

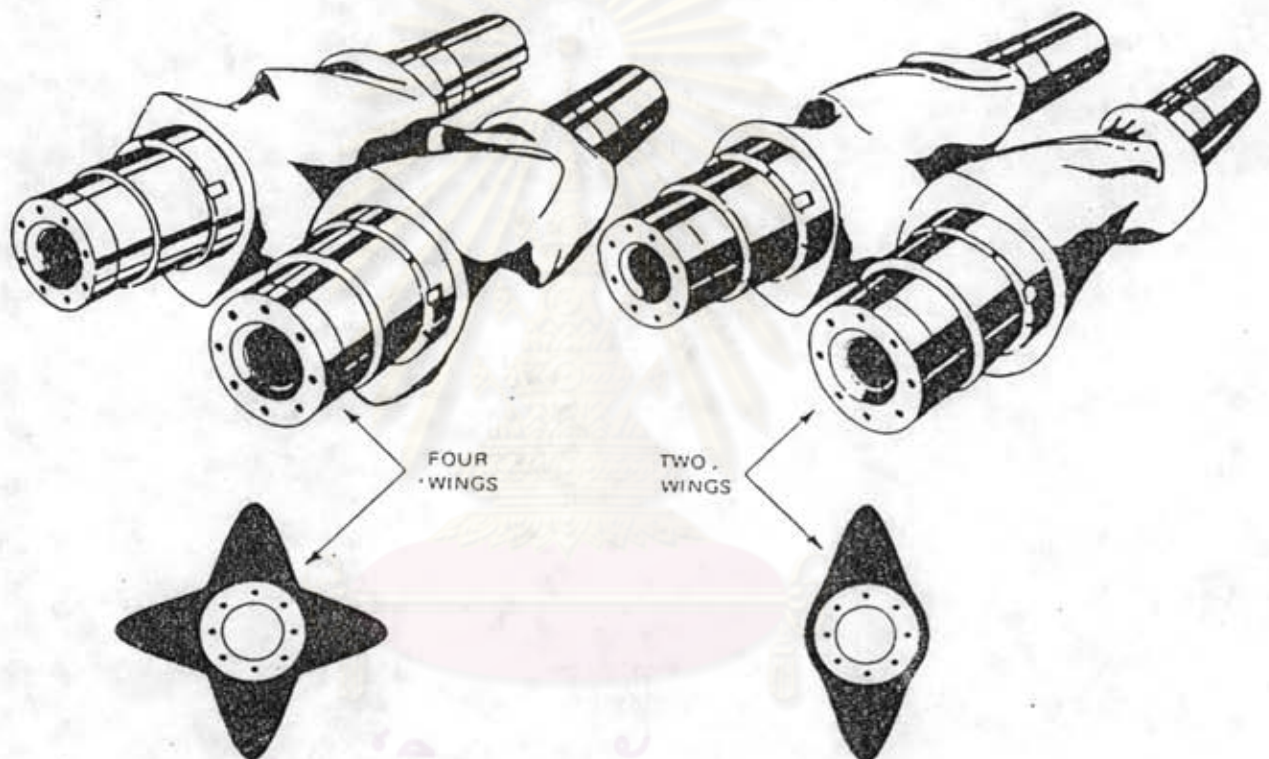
เกิดขึ้นเนื่องจากปลายใบพัด เมื่อวัสดุภายในห้องผสมเกิดเสียรูปทรงจากการบดและส่งผ่านไปยังบริเวณตอนกลางของห้องผสมและเกิดการคลายตัว เนื่องจากชุดใบพัดภายในเครื่องหมุนด้วยความเร็วที่ไม่เท่ากัน การส่งวัสดุเข้ามายังบริเวณตอนกลางห้องผสมจากใบพัดทั้งสองจึงมีปริมาณที่ไม่เท่ากัน ด้วยเหตุนี้ จะก่อให้เกิดแรงเฉือนขึ้น ระหว่างวัสดุที่อยู่ตรงกลางกับใบพัดทั้งสองภายในห้องผสมมีลักษณะคล้ายการนวดแป้ง

1.3 การตัดกลับตามแนวยาว (Longitudinal Cut - Back)

เกิดจากลักษณะการออกแบบให้ปลายของใบพัดมีลักษณะหมุนวน หรือเป็นเกลียว ซึ่งการออกแบบในลักษณะเช่นนี้ จะทำให้เกิดแรงที่จะผลักดันวัสดุภายในห้องผสมให้เคลื่อนที่ไปยังบริเวณตอนกลางของห้องผสม เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาในการผสมวัสดุบางส่วน จะมีการฉีกตัวออกจากบริเวณตอนกลางโดยใบพัดและเคลื่อนตัวไปรอบ ๆ ใบพัด จากนั้นกลับเข้าสู่บริเวณการผสมที่เกิดขึ้นจากส่วนปลายของใบพัดกับผนังห้องผสมในจุดที่ต่างไปจากจุดเดิม

1.4 การซ้อนทับกันทางด้านข้าง (Lateral Overlap)

เกิดโดยบางส่วนของวัสดุที่อยู่บริเวณด้านหน้าของใบพัด จะถูกดันเข้าไปยังอีกด้านหนึ่งของห้องผสม (ด้านตรงกันข้าม) และ จะเกิดลักษณะแบบนี้ที่บริเวณด้านหน้าของใบพัด จนกระทั่งวัสดุถูกดันกลับไปหาใบพัดที่เหลืออยู่อีกชุดหนึ่ง



รูปที่ 2.8 แสดงลักษณะของชุดใบพัดที่ใช้ในเครื่องผสมบานบุรี

รูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นถึงลักษณะของใบพัดในเครื่องผสมบานบุรี ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ แบบ 2 ปีก หรือ แบบ 4 ปีก (Two - wings or Four - wings Rotor) ใบพัดแบบ 4 ปีก ต้องการกำลังในการขับเคลื่อนมาก แต่ก็ให้กำลังในการผลิตสูงกว่า ไม่เพียงแต่ค่าเวลาในการผสมจะสั้นกว่าเท่านั้น ยังสามารถทำการผสมต่อครั้งได้ในปริมาณที่มากกว่าด้วย แต่ก็จะเกิดความร้อนขึ้นภายในห้องผสมมากเช่นกัน ใบพัดแบบ 2 ปีก จะใช้ในกรณีที่ไม่ต้องการใช้มอเตอร์ที่มีกำลังมาก และ ใช้สำหรับการผสมที่ไม่ต้องการให้เกิดความร้อนในการผสมขึ้นภายในห้องผสมอย่างรวดเร็ว

ระยะระหว่างปลายของชุดใบพัดกับผนังของห้องผสมจะมีระยะอยู่ระหว่าง $3/32$ นิ้ว ถึง $3/8$ นิ้ว ขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องผสม



รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะการผสม (บด) ที่เกิดขึ้นภายในเครื่องผสมพานบุรี

รูปที่ 2.9 แสดงถึงปรากฏการณ์การบดที่เกิดขึ้นภายในเครื่องผสมพานบุรี ในบริเวณแบงก์ (Bank) วัสดุที่อยู่ในบริเวณดังกล่าว จะถูกปลายของใบพัดผลักดันวัสดุเบียดไปกับผนังห้องผสมซึ่งจะทำให้เกิดแรงดันสูงมาก ก่อให้เกิดการพุ่งตัวออกไปของวัสดุทั้งในแนวด้านข้างและแนวยาว

จากรูปที่ 2.9 จะพบว่า ถ้าวัสดุถูกแบ่งออกเป็นชั้น ๆ ชั้นที่ติดอยู่กับผนังของห้องผสมจะมีแนวโน้มที่จะยึดติดกับผนังของห้องผสมและในขณะที่ชั้นที่ติดกับผิวของชุดใบพัด ก็จะมีแนวโน้มที่จะยึดติดกับผิวของใบพัดเช่นกัน ขณะที่ใบพัดมีการเคลื่อนที่แต่ผนังห้องผสมอยู่กับที่ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของชั้นวัสดุที่อยู่ระหว่างชั้นทั้งสอง เป็นการเคลื่อนที่ที่มีค่าความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างชั้นสูงมาก ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้จะทำให้เกิดการย่อยตัวของวัสดุที่ทำการผสมขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพของวัสดุที่มีขนาดใหญ่ และ ก่อให้เกิดการกระจายตัวขององค์ประกอบด้วย

การศึกษาที่ผ่านมา

ได้มีการศึกษาถึงการผสมยางด้วยเครื่องผสมพานบุรี โดยศึกษาเกณฑ์การเทยาง ดังมีรายละเอียดดังนี้โดย J.R. Mc .CARTY ในปี คศ. 1964

ความหมาย

การผสมด้วยเวลา (Time Mixing) เวลาในการผสมจะควบคุมโดยใช้นาฬิกาจับเวลา นับเป็นวิธีการควบคุมแบบแรกที่มีการพัฒนาขึ้น

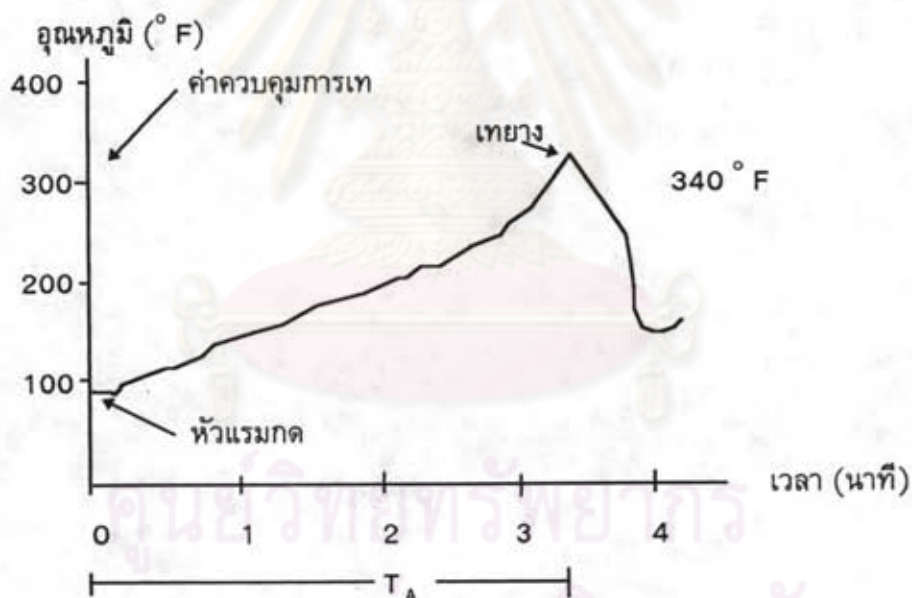
การผสมด้วยอุณหภูมิ (Temperature Mixing) ยางผสมจะยุติการผสม และจะเทออกจากเครื่องผสม เมื่อค่าอุณหภูมิของยางภายในห้องผสมมีค่าเท่ากับค่าที่ตั้งไว้

การผสมด้วยค่าพลังงาน (Energy Mixing) ยางผสมจะยุติการผสมและเทออกจากเครื่อง เมื่อค่าปริมาณของพลังงานที่ใช้ในการผสมมีค่าสะสมถึงค่าที่ตั้งไว้

การผสมด้วยกำลังงาน (Power Mixing) ยางผสมจะยุติการผสมและเทออกจากเครื่อง เมื่อค่ากำลังงานที่ใช้ในการหมุนใบพัดของมอเตอร์ ขณะทำการผสมยาง มีค่าน้อยกว่าค่าที่ตั้งไว้

1. การผสมด้วยอุณหภูมิ

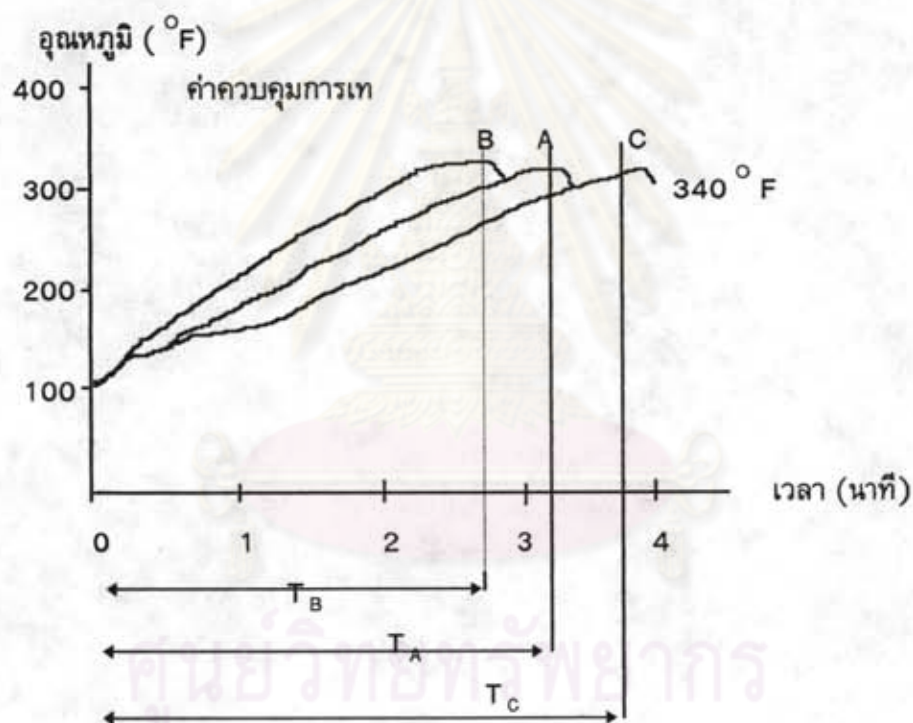
ยางตัวอย่างสูตร A ประกอบด้วยยาง ผงเขม่าดำ น้ำมัน และ สารเคมี ที่น้ำหนักใด ๆ ทำการผสมในเครื่องผสมบานบุรี ได้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิและเวลาดังแสดงในรูปที่ 2.10 T_A คือ ค่าเวลาที่ใช้ในการผสม โดยเริ่มนับจากทันทีที่หัวแรกกดลงจนกระทั่งอุณหภูมิของยางภายในห้องผสมมีค่าสูงถึงค่าที่ตั้งไว้



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิของยางในห้องผสมกับค่าเวลาการผสมของยางสูตร A

พิจารณาขงสูตร B เมื่อใช้ขงที่มีค้ความข้งมกกว้ที่ใช้ในสูตร A ที่สภาวะขงการผสมและองค์ประกอบเช่นเดียวกับที่ใช้ในสูตร A ผลปรากฏว้ ค้เวลาในการผสมขงสูตร B (T_B) มีค้ น้ยกว้ค้ T_A เนื่องขงในค้ตัวอย่างสูตร B มีค้ อัตราการเพิ่มข้ของค้ อุณหภูมิขงขงในห้องผสมเร็วกว้ในสูตร A

พิจารณาขงผสมสูตร C เมื่อใช้ขงที่มีค้ความข้ง น้ยกว้ที่ใช้ในสูตร A ที่สภาวะขงการผสมและองค์ประกอบเช่นเดียวกับที่ใช้ในสูตร A ผลปรากฏว้ ค้เวลาในการผสมขงสูตร C (T_C) มีค้ มกกว้ค้ T_A เนื่องขงในค้ตัวอย่างสูตร C มีค้ อัตราการเพิ่มข้ของค้ อุณหภูมิขงขงในห้องผสมช้ากว้ในสูตร A



รูปที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค้ อุณหภูมิขงขงในห้องผสม กับ ค้เวลาในการผสม ขงขงสูตร A, B และ C

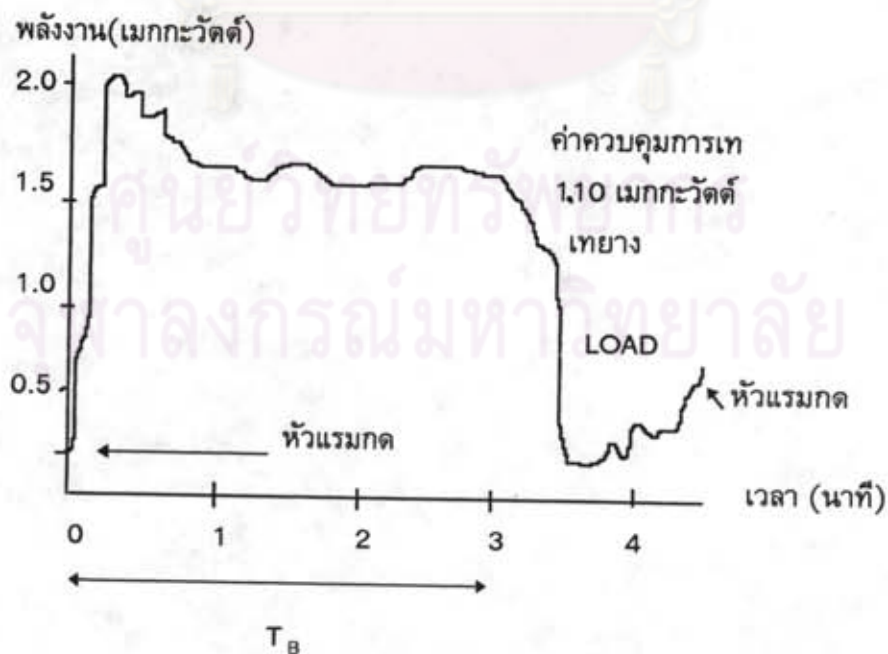
จุดประสงค์ของการผสมยางคือ ผสมและทำให้ผงเขม่าดำ สารเคมี และ น้ำมันมีการกระจายตัวที่มีความสม่ำเสมอ และทำให้ยางผสมที่ได้มีน้ำหนัก แต่จากรูปที่ 2.11 จะพบว่ายางที่มีค่าความแข็งน้อยกว่าจะใช้เวลาในการผสมมากกว่าปกติ และ ยางที่มีความแข็งสูง จะใช้เวลาในการผสมน้อยกว่าปกติ (ถ้ายึดเอาสูตร A คือ เวลาการผสมและความนุ่มที่ควรจะเป็น) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการควบคุมการผสมด้วยอุณหภูมิจะทำให้เกิดการเบี่ยงเบนในสมบัติของยางผสมที่ได้ เนื่องจากความเบี่ยงเบนของสมบัติของยางที่ใช้ในการผสม

2. การผสมด้วยพลังงาน

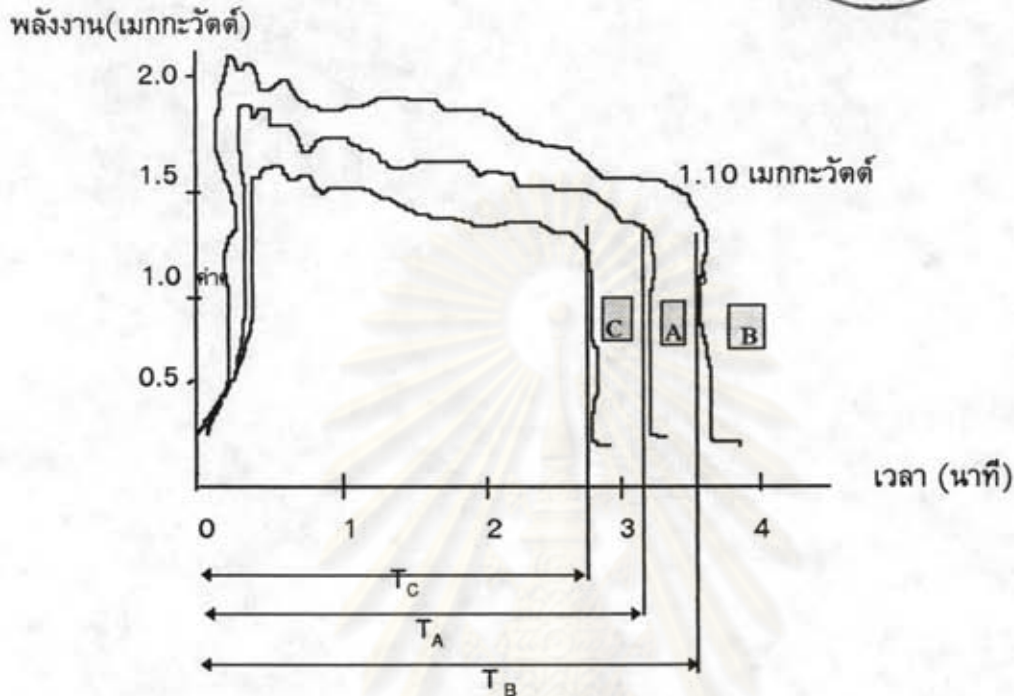
เพราะว่า การเพิ่มขึ้นของค่าอุณหภูมิของยางภายในห้องที่ทำการผสมนั้น เป็นผลโดยตรงมาจากการป้อนพลังงานเข้าไปนั่นเอง ดังนั้น การควบคุมการผสมด้วยพลังงานจึงได้ผลในการผสมคล้ายกับการควบคุมการผสมด้วยอุณหภูมิ

3. การผสมด้วยกำลังงาน

พิจารณาสูตรที่ใช้ในการผสม 3 สูตร ที่มีสภาวะในการผสมและอัตราส่วนของสูตรในการผสมเหมือนกัน ต่างกันที่ยาง ที่ใช้ในการผสม ทั้ง 3 สูตร ที่มีค่าความแข็งไม่เท่ากัน มีค่าความแข็งที่เปรียบเทียบกัน ดังนี้ B แข็งกว่า A แข็งกว่า C ($B > A > C$) ผลการทดลอง แสดงไว้ในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงาน กับ ค่าเวลา การผสมของยางสูตร A



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังงาน กับ ค่าเวลาในการผสมของยางสูตร A,B และ C

จากรูปที่ 2.13 จะพบว่า การควบคุมการผสมด้วยกำลังงาน จะปรับปรุงประสิทธิภาพในการผสมโดยจะลดการเบี่ยงเบนของสารประกอบของยาง ที่ได้ลงได้ (โดยยางที่มีค่าความแข็งมากที่สุดควรที่จะใช้เวลาในการผสมมากกว่าที่สุดด้วย) จากรูปที่ 2.13 พบว่า ค่าเวลาในการผสม $T_B > T_A > T_C$

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการควบคุมการผสมด้วยกำลังงานคือ จะป้องกันการเทียงออกจากเครื่องผสมยางก่อนที่เราต้องการได้อย่างไร เพราะในรอบของการผสมยางแต่ละครั้ง จะมีการยกหัวแรมขึ้นถึง 2 ครั้ง จะส่งผลให้ค่ากำลังงานที่ใช้ในการผสมมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว และ ในบางสูตร จะมีการเติมน้ำมันด้วย ซึ่งเมื่อเติมน้ำมันลงไปจะส่งผลให้การใช้ค่ากำลังงานในการผสมลดลงเช่นกัน