

ข้อมูลทางวิชาการ

2.1 ยางธรรมชาติ (Natural Rubber)

ยางธรรมชาติเป็นวัสดุที่ได้จากน้ำยางของต้นยาง แต่เดิมนั้นต้นยางเป็นพืชพื้นเมืองของทวีปอเมริกาใต้ แต่ทุกวันนี้กลับมีการปลูกมากที่สุดในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้แก่ ไทย มาเลเซีย อินโดนีเซีย และศรีลังกา เป็นต้น ต้นยางมีหลายพันธุ์ เช่น *dandelion*, *quayoule*, *golden rod* และ *osage orange* เป็นต้น สำหรับพันธุ์ไม้ที่สำคัญที่สุดได้แก่ พันธุ์ *Heavea brasiliensis* ซึ่งเป็นพันธุ์ที่ให้น้ำยางมากที่สุด เนื้อยางมีสมบัติดีกว่ายางชนิดอื่น ๆ มีต้นกำเนิดแถบลุ่มแม่น้ำอะเมซอนในทวีปอเมริกาใต้ แต่ปัจจุบันมีปลูกกันทั่วไปในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมทั้งทางภาคใต้ของประเทศไทยด้วย

2.1.1 น้ำยางธรรมชาติ การนำน้ำยางมาใช้ประโยชน์ทำโดยกรีดเปลือกไม้ของต้นยาง เมื่อกรีดยางผ่านเปลือกนอกของต้นยางด้วยมีดชนิดพิเศษ ให้เอียงลงจากซ้ายไปขวา ประมาณ 20-30 องศา กับแนวนอน จะมีน้ำยางซึมออกมาเป็นของเหลวมีสีขาวขุ่นข้น (คล้ายน้ำมัน) หรือสีครีม มีกลิ่นหอมเล็กน้อย มีความหนาแน่นระหว่าง 0.975 และ 0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มี pH ตั้งแต่ 6.5 ถึง 7.0 ความหนืดและส่วนประกอบต่าง ๆ ของน้ำยางจะเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุของต้นยาง ฤดูกาลกรีดยาง และวิธีการกรีดยาง เป็นต้น เมื่อนำน้ำยางไปตรวจสอบดูพบว่าในน้ำยางจะมีอนุภาคขนาดต่าง ๆ กัน แขนวลอยหรือกระจายตัว (disperse) อยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลว (dispersion medium) อนุภาคเหล่านี้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 5 ไมครอน และมีประจุเป็นลบ ซึ่งผลักกันตลอดเวลา จึงทำให้อนุภาคเหล่านี้สามารถแขวนลอย และคงสภาพเป็นยางเหลวอยู่ได้นาน จนกว่าจะมีสภาวะแวดล้อม และปัจจัยต่าง ๆ มารบกวน จนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง สำหรับส่วนของสารที่เป็นตัวกลางนั้น โดยทั่วไปเรียกว่า เซรั่ม (serum)

น้ำยางมีลักษณะเป็นสารละลายคอลลอยด์ (colloid) ชนิดไฮโดรโซล (hydrosol, สารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย) แต่มีลักษณะพิเศษกว่าไฮโดรโซลทั่วไป คือ น้ำยางมีลักษณะ

ก้ำกึ่งระหว่าง ไฮโดรฟิลิก (hydrophilic, ลักษณะที่เป็นสารละลายได้ง่ายเมื่อมีน้ำเป็นตัวทำละลาย) และ ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic, ลักษณะที่ไม่ชอบรวมกับน้ำ) จึงเกิดเป็นสารละลายได้ยากเมื่อมีน้ำเป็นตัวทำละลายแต่ลักษณะไฮโดรโฟบิกจะเด่นชัดกว่า นอกจากนี้ น้ำยางยังประกอบด้วยส่วนที่ไม่ใช่ยาง ได้แก่ สารพวกโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต อนุมูลของโลหะ เป็นต้น สารประกอบต่าง ๆ ในน้ำยาง แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้

1. ส่วนที่เป็นเนื้อยาง 35 %
2. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง 65 %
 - 2.1 ส่วนที่เป็นน้ำ 55 %
 - 2.2 ส่วนของลุตอยด์ (luteoid) และสารอื่น 10 %

ปริมาณเนื้อยางในน้ำยางธรรมชาติ อาจเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงตั้งแต่ 25-45 % ส่วนสารพวกโปรตีน ประมาณครึ่งหนึ่งละลายอยู่ในส่วนน้ำ อีกหนึ่งในสี่จะถูกคูดจับอยู่รอบ ๆ ผิวนอกอนุภาคของยาง และส่วนที่เหลือจะปะปนอยู่ในส่วนของลุตอยด์

1. ส่วนที่เป็นเนื้อยาง (rubber phase) เป็นส่วนที่ประกอบด้วย อนุภาคของสารไฮโดรคาร์บอนที่ได้จากหน่วยของไอโซพรีน (isoprene unit) เชื่อมต่อกัน (ยาง 1 โมเลกุลประกอบด้วยไอโซพรีน 2,000-5,000 หน่วย) แขนงลอยกระจัดกระจายอยู่ในของเหลว (เซรัม) ได้เป็นน้ำยางที่มีความหนาแน่นประมาณ 0.92 กรัมต่อมิลลิตร และอนุภาคยางมีรูปร่างทั้งทรงกลมและทรงรีคล้ายลูกแพร์ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.02-0.03 ไมครอน โมเลกุลมีขนาดใหญ่ไม่ละลายน้ำ และเมื่ออยู่ในสภาพของน้ำยางสด ผิวรอบอนุภาคจะถูกห่อหุ้มด้วยชั้นของสารพวกไขมันและโปรตีน

ส่วนประกอบของเนื้อยางแห้ง (dry rubber content) ได้แก่

- | | |
|--------------------------------|------|
| ยาง (ไฮโดรคาร์บอน) | 86 % |
| น้ำ (กระจายอยู่ในไฮโดรคาร์บอน) | 10 % |
| สารพวกไขมัน (lipid) | 3 % |
| สารพวกโปรตีน | 1 % |

นอกจากสารดังกล่าวแล้ว ยังมีโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โพแทสเซียม และทองแดง ปนอยู่ในส่วนของยางประมาณ 0.05 %

2. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง

2.1 ส่วนที่เป็นน้ำ (aqueous phase) หรือ ส่วนที่เรียกว่าเซรัมของน้ำยาง มี

ความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิตร ประกอบด้วยสารต่าง ๆ ดังนี้

- คาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นสารพวกแป้งและน้ำตาล สารเหล่านี้จะถูกแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นกรดไขมัน เช่น กรดฟอร์มิก กรดแอซิติก และกรดโพรพิโอนิก ทำให้น้ำยางเสียความคงตัว และจับตัวกันเป็นก้อน

- โปรตีน และกรดอะมิโนที่สำคัญ ได้แก่ แอลฟาไกลูโบลิน และอีวีน ซึ่งแอลฟาไกลูโบลิน จะเป็นส่วนที่พบมากในน้ำยางสด มีสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายในสารละลายของเกลือของกรด และของด่าง สำหรับโปรตีนชนิดอื่นจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำเพียงประมาณ 10,000 และเป็นโปรตีนชนิดที่เป็นผลึกจะสามารถละลายน้ำได้

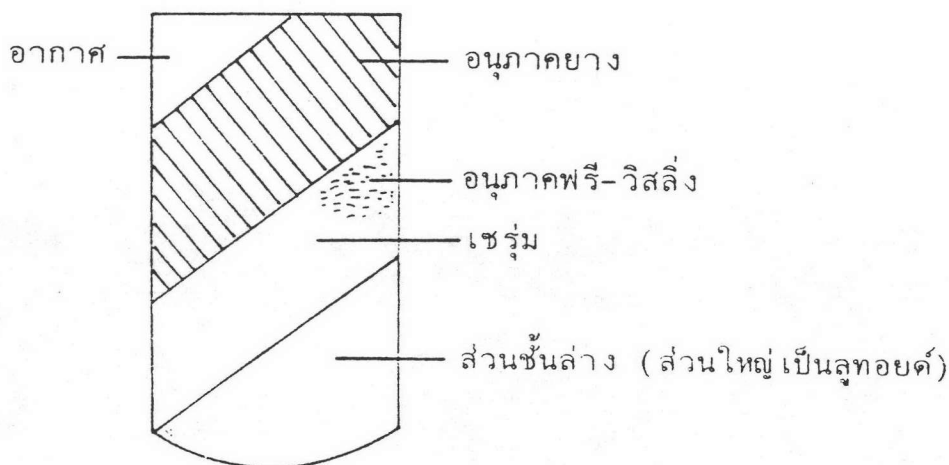
2.2 ส่วนของลูทอยด์และสารอื่น (lutoid and other particulate phases) ลูทอยด์ หรือที่เรียกกันว่า วิสคอยด์ (viscoid) เป็นส่วนประกอบในน้ำยางสดซึ่งถูกราชงานเป็นครั้งแรกโดย โฮแมน และ แวนกิลส์ (Homan and Van Gils) ในปี ค.ศ. 1948 เขาได้ทำการปั่นน้ำยางสด และพบว่าน้ำยางแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนหนึ่ง มีสีขาวประกอบด้วยอนุภาคของยางเป็นส่วนมาก อีกส่วนหนึ่งมีสีเหลืองแยกอยู่ชั้นล่าง ซึ่งมีอยู่ประมาณ 20-30 % ของปริมาณทั้งหมด จากการศึกษาพบว่า ส่วนชั้นล่างจะเป็นอนุภาคที่ไม่ค่อยเกาะกันแน่น มีความแตกต่างจากอนุภาคของยาง และเรียกว่า "ลูทอยด์" เพราะเข้าใจว่าเป็นตัวการทำให้เกิดสีเหลือง (มาจากคำว่า luteous ซึ่งแปลว่าสีเหลืองเข้ม) มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2-5 ไมครอน (ใหญ่กว่าอนุภาคของยาง) ปริมาณของลูทอยด์ในน้ำยางมีผลต่อความหนืด และเสถียรภาพของน้ำยางสด ลูทอยด์มีสมบัติการเกิดปฏิกิริยาออสโมติก (osmotic) ได้ง่าย ดังนั้นการเติมน้ำลงในน้ำยาง มีผลทำให้ลูทอยด์เกิดการบวมและพองตัว แล้วแตกออก ซึ่งเป็นผลให้ของเหลวภายในลูทอยด์ออกมาอยู่ในส่วนของเซรัม ทำให้น้ำยางมีความหนืดเพิ่มขึ้น

ในกระบวนการทำยางแท่ง และยางแผ่นรมควันนั้น จะมีขั้นตอนที่ต้องเติมน้ำลงไป เพื่อให้ให้น้ำยางเจือจาง ก่อนที่จะใส่กรดเข้าไปทำให้ยางจับตัวเป็นก้อน ดังนั้นจะมีส่วนของลูทอยด์ติดเข้าไปภายในก้อนยางที่มีการจับตัวด้วย ซึ่งจะมีผลกระทบต่อบรรยากาศของยาง เนื่องจากลูทอยด์มีสารโพลีอะโรมาติกอยู่ในของเหลวด้วย

นอกจากนี้ ในการกรีดยาง ถ้าลูทอยด์เกิดแตกออก จะมีผลให้ยางจับตัวออกต่อน้ำยางทำให้ยางหยุดไหลได้เช่นกัน ผลของลูทอยด์อีกประการหนึ่งคือ เมื่อทำการแปรรูปน้ำยางสดให้เป็นน้ำยางชั้น ด้วยการปั่น (centrifuge) นั้น จะต้องมีกรเติมแอมโมเนียเพื่อรักษาสภาพของน้ำยางซึ่งแอมโมเนียที่เติมลงไปนั้นจะเข้ารวมตัวกับลูทอยด์ และแมกนีเซียมฟอสเฟต

ตกตะกอนเป็นตะกอนสีน้ำตาลและสีขาว แยกออกมาจากเนื้อยาง และเกาะรวมกันอยู่ทางด้านล่างสุดของเครื่องปั่น ทำให้อัตราการทำงานของเครื่องปั่นลดลง ต้องคอยถอดออกมาล้างเอาตะกอนเหล่านี้ออก ในส่วนของชั้นล่างนี้ นอกจากมีสารพวกลูทอยด์อยู่แล้ว ยังมีสารอีกประเภทหนึ่ง ที่เรียกว่า "อนุภาคฟรี-วิสลิง" (Frey wysling) ซึ่งมีลักษณะกลม สีเหลืองเข้ม และมีอนุภาคใหญ่กว่าอนุภาคของยาง มีความหนาแน่นมากกว่าเล็กน้อย มีสารคาโรทีนอยด์ (carotinoid) ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เกิดสีเหลืองเข้มมาก หรือน้อย ขึ้นอยู่กับปริมาณของสารคาโรทีนอยด์นี้ การที่ส่วนชั้นล่างของน้ำยางมีสีเหลืองนั้น เนื่องจากอนุภาค ฟรี-วิสลิง ที่ติดอยู่ภายในส่วนนี้มากกว่าส่วนของลูทอยด์เอง น้ำยางชั้นที่ได้จากการปั่นโดยการเติมแอมโมเนีย จะไม่พบอนุภาคฟรี-วิสลิงอยู่ด้วย อาจเป็นเพราะอนุภาคเหล่านี้ ถูกแยกออกจากยาง และละลายอยู่ในส่วนของเซรัม

การปั่นน้ำยางสดโดยใช้ความเร็วสูง เช่น การปั่นด้วยเครื่องอัลตราเซนตริฟิวจ์ (ultracentrifuge) จะสามารถแยกน้ำยางออกเป็น 4 ชั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงชั้นน้ำยางหลังจากปั่นด้วยเครื่องอัลตราเซนตริฟิวจ์

(เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร, 2538ข)

2.1.2 การรักษาสภาพของน้ำยางธรรมชาติ

น้ำยางที่ได้จากต้นยาง เรียกว่า "น้ำยางสดจากสวน" (field latex) เมื่อน้ำยางถูกกรีดไหลออกจากต้นและถูกทิ้งไว้ชั่วระยะหนึ่ง ส่วนที่เป็นน้ำ จะค่อย ๆ ระเหยไป ทำให้น้ำยางข้นขึ้น หรือถ้าน้ำยางถูกรบกวนจนทำให้สารที่ห่อหุ้มเม็ดยางแตกออก เม็ดยางต่อเม็ดยางจะจับกันเป็นก้อนเล็ก ๆ และถ้าสารที่ห่อหุ้มแตกออกมาก ก็จับเป็นก้อนใหญ่ได้ ยิ่งถ้าใส่น้ำกรดลงไปจะ

ช่วยให้อ่างจับตัวเป็นก้อนได้เร็วขึ้น เพราะฉะนั้นถ้าไม่ได้เติมสารเคมีเพื่อป้องกันการจับตัวของเม็ดยางแล้ว น้ำยางสดจะคงสภาพอยู่ได้ไม่เกิน 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นก็จะจับตัวกันเป็นเม็ดเล็ก ๆ ที่เรียกว่า "เม็ดพริก" และจับตัวเป็นก้อนใหญ่ขึ้นอันเนื่องมาจากสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป ปัจจัยสำคัญ คือ ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่เพิ่มขึ้นในน้ำยาง อุณหภูมิ และสมบัติความคงตัวของน้ำยางแต่ละพันธุ์ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับธาตุโลหะที่มีอยู่ในน้ำยาง กับสารลู่ทอสดที่แตกออกเนื่องจากการกรีดเมื่อน้ำยางเสียเสถียรภาพไปนั้น พบว่าน้ำยางจะแยกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยางกับส่วนที่เป็นเซรัม ซึ่งภายหลังจะเกิดการบูดเน่า และมีกลิ่นเหม็น เนื่องจากการใช้อาหารของจุลินทรีย์ในน้ำยาง เพราะฉะนั้นสิ่งสำคัญที่ควรกระทำอันดับแรกคือ ภายหลังกรีดเอาน้ำยางออกจากต้นยางแล้ว ภายใน 2-3 ชั่วโมง จะต้องรีบเติมสารที่ใช้รักษาสภาพน้ำยางลงไป เพื่อควบคุมการเกิดกรดไขมัน รักษาหน้ายางให้สด และเป็นของเหลวอยู่เสมอ สารเคมีที่ใช้รักษาสภาพน้ำยางมีหลายชนิด ได้แก่ แอมโมเนีย คอสดิกโซดา (caustic soda) ฟอรัมาลดีไฮด์ (formaldehyde) โซเดียมไบซัลไฟท์ (sodium bisulphite) บอเรท (borate) ฟอสเฟท (phosphate) และออกซาเลท (oxalate) เป็นต้น แต่ในทางการค้านิยมใช้แอมโมเนียในระดับ 0.1, 0.2, 0.25, 0.3 และ 0.4 % (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) การใช้แอมโมเนียมีข้อดี คือ สามารถเติมลงในน้ำยางได้ง่าย และได้แอมโมเนียออกจากน้ำยางได้ง่ายอีกด้วย

2.1.3 การผลิตยางดิบ อุตสาหกรรมยางภายในประเทศจำแนกออกเป็นสองประเภท คือ อุตสาหกรรมผลิตยางดิบ (crude rubber) และอุตสาหกรรมการผลิตผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูป ซึ่งยางดิบที่ถูกผลิตขึ้นในประเทศไทยขณะนี้ ได้แก่ น้ำยางข้น และยางดิบแห้ง

น้ำยางข้น (concentrated latex) หมายถึงน้ำยางที่ผ่านการไล่น้ำออกไปบางส่วนให้มีเนื้อยางแห้งเพิ่มเป็น 60 % ของน้ำหนักน้ำยางทั้งหมด (เดิมมีเนื้อยางแห้งตามธรรมชาติประมาณ 30-40 %) น้ำยางสดจากต้นยาง ยังไม่เหมาะจะนำไปใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรม เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์เนื้อยางต่ำ ดังนั้นจึงมีวิธีการผลิตน้ำยางข้นในทางการค้าเพื่อแยกเอาส่วนที่ไม่ใช่ยางออกไป ทำให้เปอร์เซ็นต์เนื้อยางสูงขึ้น และง่ายต่อการรักษา การผลิตน้ำยางข้นในทางการค้าแบ่งออกเป็น 4 วิธี ดังต่อไปนี้

1. วิธีทำให้เกิดครีม เป็นวิธีเก่าที่สุดในการผลิตน้ำยางข้น โดยใช้สารที่ทำให้เกิดครีมหรือทำให้ส่วนที่เป็นยางลอยตัวแยกออกจากน้ำ (creaming agent) เติมลงในน้ำยางสด (ที่ผสมแอมโมเนียเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำยางจับเป็นก้อนมาแล้ว) สารพวกนี้ ได้แก่ โซเดียม หรือแอมโมเนียม อัลกิเนท (sodium or ammonium alginate) กวนให้เข้ากับยาง แล้วทิ้งไว้ประมาณ 10-12

วัน ส่วนที่เป็นยางจะลอยขึ้นมารวมกันอยู่ตอนบนของส่วนที่เป็นน้ำ ดังนั้นน้ำยางจะแยกออกเป็น 2 ชั้น ชั้นล่างเป็นน้ำที่มีส่วนประกอบของยางเพียงเล็กน้อย ส่วนชั้นบนจะเป็นครีมซึ่งมีเนื้อยางสูง ประกอบด้วยจำนวนของแข็ง (% Total solid content; % T.S.C.) ประมาณ 61.5 % และมีเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง 60 % น้ำที่อยู่ตอนล่างสามารถระบายออกได้ โดยจะเหลือน้ำยางตอนบนไว้ หลังจากนั้นให้เติมแอมโมเนียลงไปอีกครั้งเพื่อเป็นการรักษาสภาพน้ำยางชั้น แต่วิธีนี้ไม่นิยมทำกันเพราะยุ่งยากและสิ้นเปลืองเวลา

2. วิธีการใช้เครื่องปั่นแยก เป็นวิธีที่นิยมมากในปัจจุบัน น้ำยางชั้นที่ได้จากวิธีนี้นำไปทำผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูปได้ทุกชนิด เครื่องปั่นแยกที่ใช้คือเครื่องเซนตริฟิวจ์ (centrifuge) ซึ่งเรียกว่า latex separator หรือ latex concentrator โดยน้ำยางสดซึ่งเติมแอมโมเนียมาแล้วนี้ จะไหลผ่านท่อเข้าไปในถ้วยปั่นแยก และถูกเหวี่ยงขึ้นข้างบน แล้วไหลออกทางช่องออกตอนส่วนบนของเครื่อง ส่วนน้ำจะถูกแยกออกไปช่องข้างล่างอีกช่องหนึ่ง โดยวิธีนี้ น้ำยางจะถูกแยกออกเป็น 2 ทาง ทางหนึ่งเป็นน้ำยางชั้น ที่มีจำนวนของแข็งทั้งหมดประมาณ 61.5 % และเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง 60-62 % อีกทางหนึ่งเป็นน้ำที่มียางแห้งปนอยู่ราว 3-5 % เรียกว่าหางน้ำยาง (skim) ส่วนประกอบของเครื่องปั่นแยกนี้จะสัมผัสกับน้ำยางโดยตรงจึงควรมีความทนทานต่อการกัดกร่อน ของแอมโมเนีย ควรทำมาจากเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) ไม่ควรใช้โลหะพวกทองแดง ทองเหลือง ทองสัมฤทธิ์ และแมงกานีส เพราะจะทำให้ น้ำยางเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น

3. วิธีทำให้น้ำระเหย น้ำยางชั้นที่ได้จากวิธีนี้ มีสมบัติแตกต่างจากวิธีใช้เครื่องปั่นแยก วิธีการทำเป็นเพียงการระเหยเอา น้ำออก จากน้ำยางสดเพียงอย่างเดียวเท่านั้น จึงต้องเติมสารที่ทำให้ น้ำยางคงตัว และไม่ระเหิดได้ลงไป ได้แก่ กลู (glue) โปแตส หรือ สบู่ และป้องกันไม่ให้ผิวหนัง น้ำยางแห้ง หรือผิวหนังบริเวณที่มีการระเหยน้ำเกิดการจับตัว การผลิตทำโดยการร่อนน้ำยางตามปกติ พร้อมทั้งเติมสารที่ทำให้คงตัวลงไป เช่น โปแตส เข็มไฮดรอกไซด์ 0.05 % ของสบู่ ซึ่งทำจากน้ำมันมะพร้าว (potassium coconut oil soap) 2 % หลังจากนั้นทำให้น้ำระเหยด้วยความร้อน โดยผ่านน้ำร้อนเข้าไปในถัง 2 ชั้น ที่มีน้ำยางอยู่ภายใน ขณะที่ถึงบรรจุ น้ำยางหมุนไปรอบ ๆ นั้น อากาศภายในถังจะถูกดูดออกไป พร้อมกับพาน้ำที่ระเหยจาก น้ำยางออกไปให้เร็วที่สุด วิธีนี้จะได้น้ำยางชั้นที่มีจำนวนของแข็งทั้งหมด 70-75 % น้ำยางชั้นที่ได้มีความคงตัวสูง นำไปใช้ประโยชน์ได้โดยการผสมกับสารที่มีความหนืดสูง เช่น การทำกาวซีเมนต์ ราวถนน ทำดาตฟ้าเรือ เป็นต้น

4. วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า น้ำยางสดเป็นของเหลวประเภทคอลลอยด์ ซึ่งประกอบด้วย สารแขวนลอย หรืออิมัลชันของอนุภาคยางลอยตัวอยู่ในของเหลวที่เป็นตัวกลาง ซึ่งการเคลื่อนไหวของอนุภาคเหล่านี้ เกิดตามประจุไฟฟ้าที่มีอยู่ และจะเกิดอย่างต่อเนื่อง อนุภาคของยางที่มีประจุลบจะวิ่งเข้าหาขั้วบวกตลอดเวลา วิธีการนี้จะกระทำโดยการผ่านกระแสไฟฟ้าลงไปในทางน้ำยาง ทำให้เกิดความต่างศักย์ภายในเซลล์ อนุภาคยางจะเคลื่อนเข้าหาจากที่เป็นขั้วบวกซึ่งอยู่ใกล้ที่สุด ทำให้อนุภาคยางอยู่รวมตัวกันอย่างหนาแน่นจนเกิดเป็นน้ำยางข้นขึ้น นอกจากนี้อนุภาคยางสามารถลอยตัวขึ้นสู่ข้างบนซึ่งสามารถช้อนเอาน้ำยางข้นส่วนนี้ออกจากถังได้ วิธีนี้จะได้น้ำยางข้นที่มีจำนวนของแข็งทั้งหมดประมาณ 62-63 % และเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง 60 % หลังจากนั้นก็เก็บรักษาโดยเติมแอมโมเนียในอัตรา 0.7 % ของน้ำหนักยาง

ยางดิบแห้ง ได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพ และยางแท่ง TTR เป็นต้น

- ยางแผ่นรมควัน ประเทศไทยสามารถผลิตยางแผ่นรมควันได้ประมาณ 80% ของยางดิบที่ผลิตได้ทั้งหมด แบ่งเป็น 5 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

1. ทำความสะอาดน้ำยาง โดยนำน้ำยางมาผสมน้ำสะอาด 1 ส่วนต่อน้ำยาง 1 ส่วน หรืออาจใช้น้ำสะอาด 2 ส่วนต่อน้ำยาง 3 ส่วน กวนให้เข้ากัน แล้วนำไปกรองด้วยตะแกรงเบอร์ 40 กับ เบอร์ 60 นำน้ำยางที่กรองแล้ววางใส่ตะกวดเคียวซึ่งทำด้วยอลูมิเนียม หรือสังกะสี ตะกวดละ 5 ลิตร

2. ทำให้ง่ายจับตัวเป็นก้อน โดยใช้กรดฟอร์มิก (formic acid) ความเข้มข้น 90 % แล้วผสมน้ำให้เจือจางเหลือ 1 หรือ 2 % (อัตราส่วน 1 ช้อนแกง หรือ 8 ซี.ซี. ต่อน้ำ 2 กระป๋องนม หรือ 640 ซี.ซี.) ในการผสมต้องเทกรดลงในน้ำหลังจากนั้นผสมน้ำกรดเจือจาง 1 กระป๋องนมต่อน้ำยาง 1 ตะกวด กวนน้ำยางให้เข้ากับน้ำกรดโดยทั่วถึง กวนกลับไปกลับมาระมาณ 6 เทียว เมื่อน้ำยางในตะกวดหยุดนิ่ง กวาดฟองที่ลอยขึ้นออกให้หมดใช้ภาชนะ ปิดตะกวดยางให้มิดชิดกันฝุ่นละอองหรือสิ่งสกปรกตกลงในตะกวดทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที หลังจากยางจับตัวแล้ว ค่อย ๆ รินน้ำสะอาดลงในตะกวด เพื่อให้ยางที่จับตัวหลุดออกจากขอบตะกวด

3. รีดแผ่นยาง โดยล้างโต๊ะขนาดยางและเครื่องรีดยางด้วยน้ำสะอาด เทยางที่จับตัวเป็นก้อนลงบนโต๊ะโดยการคว่ำตะกวดเพื่อให้ยางหลุดออกมา แล้วจึงยกตะกวดขึ้น นวดก้อนยางนี้ด้วยมือหรือไม้ลูกกลิ้ง ให้ยางบางเสมอทั้งแผ่นให้เหลือความหนาประมาณ 1 เซนติเมตร นำยางที่นวดแล้วนี้เข้าเครื่องรีดยางหรือเครื่องทำแผ่นยางที่คล้ายเครื่องรีดปลาหมึก โดยผ่านเครื่องรีดเรียบ

(smooth roller) 2-3 ครั้ง จนยางเหลือความหนาประมาณ 3-4 มิลลิเมตร แล้วนำยางแผ่นที่ได้เข้าเครื่องรีดดอก (grooved roller) อีกครั้งหนึ่ง จะได้ยางแผ่นมีความหนาเฉลี่ย 2.8 ถึง 3.2 มิลลิเมตร ยางแผ่นจะปรากฏเป็นร่องเฉียงพาดทั่วแผ่นเพื่อเพิ่มเนื้อที่ในการรับความร้อนและการรมควัน ทำให้ยางสุกทั่วแผ่นเร็วขึ้น จากนั้นนำยางแผ่นนี้ไปล้างให้สะอาดในถัง หรือ บ่อแช่ยางที่เตรียมไว้ โดยมีน้ำไหลผ่านเข้าออกตลอดเวลา เพื่อไล่น้ำกรด และสิ่งสกปรก คราบน้ำมันจากเครื่องรีด แช่ไว้ 30 นาที หลังจากนั้นนำยางแผ่นขึ้นผึ่งไว้ในร่ม ที่มีลมผ่านสะดวก ซึ่งปราศจากฝุ่นละออง และล้างทำความสะอาด เครื่องมือ เครื่องใช้ในการทำยางแผ่น ให้คว่ำหรือตากแดดให้แห้ง เพื่อการใช้งานในครั้งต่อไป

4. การรมควันยาง ยางแผ่นดิบที่เตรียมโดยวิธีเบื้องต้นควรผึ่งให้แห้งก่อน ถ้ามีโรงรมหรือสามารถรมควันได้ก็ให้นำยางเข้าโรงรม หลังจากผึ่งไว้จนสะเด็ดน้ำดีแล้ว ประมาณ 3-4 ชั่วโมง สำหรับในวันแรกนั้นโรงรมควรมีอุณหภูมิต่ำประมาณ 48.9-51.7 องศาเซลเซียส และเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ เป็น 51.7-57.2 องศาเซลเซียส, 57.2-60.0 องศาเซลเซียส, 60.0-62.8 องศาเซลเซียส ในวันถัด ๆ ไป ตามลำดับ ในขณะที่อบ น้ำในแผ่นยางจะระเหยออกมาโดยทั่ว ๆ ไป การรมควันจะใช้เวลาประมาณ 4-7 วัน ขึ้นอยู่กับความชื้น ความหนาของแผ่นยาง และอุณหภูมิของโรงรม

5. การหีบห่อยางแผ่นรมควัน เมื่อได้ยางแผ่นรมควัน และทำการแบ่งชั้น หรือตัดเกรดแล้ว (ซึ่งแบ่งออกเป็น 7 เกรด ตามมาตรฐานสากล โดยอาศัยความสะอาดเป็นเกณฑ์) จะต้องหีบห่อตามข้อบังคับสากลโดยมีหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้

5.1 ยางแผ่นรมควันทุกชั้นจะต้องห่อด้วยยาง

5.2 ยางแต่ละห่อจะมีน้ำหนัก 224-250 ปอนด์ สำหรับประเทศไทย จะห่อให้น้ำหนักห่อละ 250 ปอนด์ (113.4 กิโลกรัม) และจะต้องห่อให้แน่น ยาง 1 ห่อ จะมีปริมาตรไม่เกิน 5 ลูกบาศก์ฟุต (0.142 ลูกบาศก์เมตร) ขนาดโดยทั่วไปคือ $20 \times 24 \times 18$ นิ้ว

5.3 ยางแต่ละมัดต้องห่อปิดทุกด้านและทุกมุมด้วยยางที่มีคุณภาพเท่ากัน หรือ สูงกว่า ถ้ายางแผ่นที่ใช้ห่อเป็นรูโหว่ จะต้องใช้ยางชนิดเดียวกันปิดทับอีกแผ่นหนึ่ง ห้ามใช้เหล็ก หรือ ลวดผูกมัดด้านในแผ่นยางที่ห่อหุ้ม

5.4 แผ่นยางที่ใช้ห่อหุ้มมัดยางทั้ง 6 ด้าน ต้องเรียบร้อยและฉาบทาด้วยสารละลายแป้ง ตามส่วนผสมของทางการ เพื่อใช้เป็นพื้นที่สำหรับประทับตรา ทำเครื่องหมายต่าง ๆ ด้วยสี เพื่อสะดวกในการขนส่งและตรวจรับ

5.5 การทำเครื่องหมายที่มีด่าง จะต้องเห็นได้ทั้ง 2 ด้าน ติดต่อกันตามหลักเกณฑ์

- ยางแผ่นผึ่งแห้ง คือยางแผ่นที่ทำให้แห้งโดยไม่จำกัดว่าเป็นอากาศร้อน หรือ อากาศธรรมดา มีขั้นตอนการผลิตเช่นเดียวกับยางแผ่นรมควันทุกประการเพียงแต่การควบคุมแต่ละขั้นตอนเป็นไปอย่างพิถีพิถัน และทำให้แห้งโดยไม่ต้องรมควัน ตามปกติจะผึ่งลมไว้ในที่ร่ม หรือในโรงอบ ความร้อนที่ปราศจากควัน และจะต้องไม่มีการเติมสารอื่นที่นอกเหนือไปจากสารที่ได้รับการยกเว้น เช่น สารฟอกสี "โซเดียมไบซัลไฟท์" (sodium bisulphite) และสารกันเชื้อรา "พาราไนโตรฟินอล" (paranitrophenol ,PNP) ในการทำจะต้องระวังเรื่องสีของยางให้มาก โดยให้มีสีจางเกือบเป็นสีขาวมากที่สุด เพราะจะสามารถนำไปใช้แทนยางเครพขาวที่มีราคาแพงได้ (ยางเครพขาวเหมาะจะนำไปทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการให้มีสีขาว หรือ โปรงแสง ได้แก่ ถุงมือแพทย์ หรือจุกนมสำหรับเด็ก เป็นต้น)

- ยางเครพ ส่วนใหญ่ที่ผลิตขึ้นในประเทศไทยเป็นเครพคุณภาพต่ำ การผลิตยางเครพขาว (Pale Crepe or White Crepe) หรือยางเครพที่มีคุณภาพดี ต้องมีโรงงานที่มีขนาดใหญ่หรือสามารถรวบรวมน้ำยางสดให้มีคุณภาพเดียวกันได้ ในปริมาณเพียงพอกับการป้อนโรงงานแต่ละวัน ปัจจุบันมีเพียงองค์การสวนยางนาบอนที่ผลิตเครพขาว และผลิตเพื่อจำหน่ายในประเทศ ยางเครพขาวทำมาจากน้ำยางสดโดยใช้ยากัดสีให้ขาวมากที่สุด และแยกน้ำออกให้หมดโดยใช้กรดฟอร์มิค แล้วรีดให้บางเหมือนกระดาษ ยางชนิดนี้จะมีราคาแพงกว่ายางดิบชนิดอื่น ๆ ใช้สำหรับทำยางที่ผสมสีขาว หรือสีอื่น ๆ ให้สีขาว ไม่ใส่สารกันเชื้อรา

- ยางแท่ง TTR ทำจากน้ำยาง และเศษก้อนยาง แต่แทนที่จะผลิตออกจำหน่ายในรูปเป็นแผ่น ๆ อย่างที่ทำกัน ก็ทำใหม่ โดยทำเป็นชิ้นเล็ก ๆ เสียก่อน แล้วอบด้วยความร้อนให้แห้งต่อจากนั้นจึงอัดเป็นแท่ง ๆ การผลิตจะต้องลงทุนสูงทั้งเครื่องจักร และเครื่องทดสอบเพื่อควบคุมคุณภาพ ปริมาณการผลิตจึงไม่สูงนัก ยางแท่ง TTR จะแบ่งเป็น 5 ชั้น ตามมาตรฐาน TTR ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ คือ

ยางแท่ง TTR ได้แก่ ยางที่อัดเป็นแท่งให้ได้น้ำหนักและขนาดแท่งยางโดยทั่ว ๆ ไป ดังนี้ คือ น้ำหนัก 33 1/3 กิโลกรัม ขนาด 670 × 330 มิลลิเมตร (26.5 × 13 นิ้ว) ยางแท่ง TTR แบ่งเป็น 5 ชั้น ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1

การระบุคุณภาพตามมาตรฐานยางแท่ง TTR

ที่มา: คู่มือมาตรฐานยางแท่ง TTR (กรมวิชาการเกษตร, 2523)

สมบัติ	ชั้นยาง TTR				
	TTR 5L	TTR 5	TTR 10	TTR 20	TTR 50
เปอร์เซ็นต์ผง (ใช้กรอง 325 เมช)					
ไม่เกิน	0.05	0.05	0.10	0.20	0.50
เปอร์เซ็นต์เถ้าไม่เกิน	0.60	0.60	0.75	1.00	1.50
เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน					
ไม่เกิน	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
เปอร์เซ็นต์สิ่งระเหย					
ไม่เกิน	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ดัชนีความอ่อนตัว (PRI)					
ไม่ต่ำกว่า	60	60	50	40	30
ค่าความอ่อนตัวเริ่มแรก (P_u)					
ไม่ต่ำกว่า	30	30	30	30	30
สียางวัดด้วย Lovibond					
ไม่เกิน	6.0	-	-	-	-

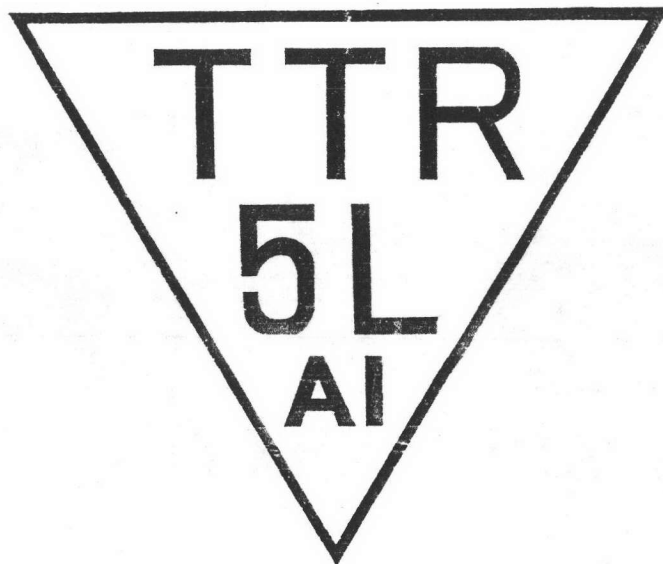
ตารางที่ 2.1 (ต่อ)
การระบุคุณภาพตามมาตรฐานยางแท่ง TTR

สมบัติ	ชั้นยาง TTR				
	TTR 5L	TTR 5	TTR 10	TTR 20	TTR 50
รหัสชั้นใช้สี	เขียวอ่อน	เขียวอ่อน	น้ำตาล	แดง	เหลือง
สีของพลาสติกที่ใช้ห่อแท่งยาง	โปร่งแสง	โปร่งแสง	โปร่งแสง	โปร่งแสง	โปร่งแสง
สีของแถบพลาสติกที่ใช้พันแท่งยาง	โปร่งแสง	สีขาว ทึบแสง	สีขาว ทึบแสง	สีขาว ทึบแสง	สีขาว ทึบแสง

สัญลักษณ์ที่ใช้สำหรับมาตรฐานยางแท่ง TTR ประกอบขึ้นด้วยตราสามเหลี่ยมด้านเท่า กลับฐานขึ้นข้างบน ภายในรูปสามเหลี่ยมด้านบนเป็นอักษร TTR ถัดลงมาเป็นอักษรและเลขแสดงชั้นยาง และล่างสุดเป็นอักษรรหัสประจำโรงงานผลิต ดังตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2.2 และเพื่อให้เกิดความสะดวกเมื่อมองเห็น จะได้ทราบชั้นยางแท่ง TTR และสามารถหาชั้นของยางได้โดยทันที จึงกำหนดให้ใช้สีที่พิมพ์สัญลักษณ์มาตรฐานยางแท่ง TTR เป็นสีเฉพาะในแต่ละระดับชั้นของยาง TTR ดังนี้

ชั้นยาง TTR	ใช้สี
5 L	เขียวอ่อน
5	เขียว
10	น้ำตาล
20	แดง
50	เหลือง

ยางแท่ง TTR 20 เป็นชั้นที่ผลิตมากที่สุดในประเทศไทย สำหรับประเทศมาเลเซีย และอินโดนีเซียจะผลิตยางแท่งในปริมาณที่สูงมาก มาเลเซียเน้นการผลิตยางแท่งคุณภาพสูง ขณะที่อินโดนีเซียให้ความสำคัญกับการผลิตยางแท่งระดับรองลงมา โดยเฉพาะอย่างยิ่งยางแท่ง TTR20 การที่ประเทศไทยผลิตยางแท่งปริมาณน้อยเนื่องจากการส่งออกยางธรรมชาติของไทยต้องพึ่งตลาดญี่ปุ่นประมาณ 50-70 % ของผลการผลิต และญี่ปุ่นเป็นผู้เชี่ยวชาญการใช้ยางรมควัน ประเทศไทยจึงเน้นการผลิตยางแผ่นรมควันมากกว่า (กรมวิชาการเกษตร, 2523)



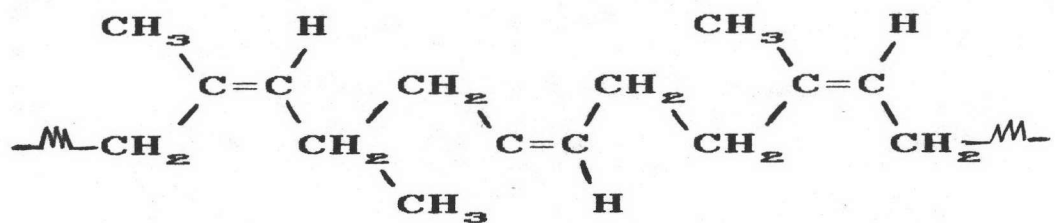
	อัตราส่วน
ยาด้านละ	200
กรอบหน้าด้านละ	3
สูง	173
อักษร TTR สูง	40
อักษรแสดงชั้นยางสูง	35
รหัสประจำตัวผู้ผลิตสูง	25
ตัวอักษรหนา	5

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างตราเครื่องหมาย TTR และอัตราส่วน
(กรมวิชาการเกษตร, 2523)

2.1.4 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ ยางธรรมชาติที่เป็นวัตถุดิบในเชิงพาณิชย์จัดเป็นวัสดุพอลิเอทิลีนที่มีความยืดหยุ่นทนทานต่อแรงดึงและแรงกระแทกได้ดี ยางธรรมชาติจะมีสมบัติด้าน resilience สูงกว่ายางสังเคราะห์ชนิดอื่น ๆ ยางธรรมชาติมีความถ่วงจำเพาะ 0.915-0.930 และตัวทำละลายของยางธรรมชาติ ได้แก่ แนฟทา โทลูอีน เบนซีน น้ำมันคาร์บอนไดซัลไฟด์ เป็นต้น ยางจะมีจุดอ่อนตัว (softening point) ประมาณ 120 องศาเซลเซียส มีความทนทานต่อน้ำ กรดเจือจาง ด่าง และเกลือได้ดี แต่กับออกซิเจน โอโซน แสงแดด และแสงอัลตราไวโอเล็ต จะสามารถทำลายยางธรรมชาติให้เกิดรอยแยก รอยแตก หรือเกิดการแตกหักได้ ปริมาณโอโซน 100 ppm สามารถทำลายยางธรรมชาติได้ภายในเวลา 2 นาที และถ้าจุ่มยางธรรมชาติในกรดไนตริก กรดซัลฟูริก กรดโครมิก ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และโซเดียมไฮโปคลอไรท์ ก็จะถูกทำลายอย่างรวดเร็ว ความต้านทานต่อน้ำมันของยางธรรมชาติมีค่าต่ำมาก

ยางธรรมชาติมีองค์ประกอบหลักเป็นพอลิเมอร์ที่เรียกว่า ยางไฮโดรคาร์บอน (rubber hydrocarbon) ยางธรรมชาติประกอบด้วยยางไฮโดรคาร์บอนนี้สูงถึงประมาณ 94% โดยน้ำหนักที่เหลือเป็นพวกสารปนเปื้อน ได้แก่ โปรตีน ไขมัน quebrachitol (monomethyl ether hexahydroxycyclohexane) และเกลืออนินทรีย์อื่น ๆ ยางธรรมชาติสามารถทำให้บริสุทธิ์ (เพื่อให้ได้ยางไฮโดรคาร์บอนเพียงอย่างเดียว) โดยการตกตะกอนแบบลำดับส่วนจากสารละลายที่เจือจางของยาง วิธีที่นิยมใช้ได้แก่ การใช้โทลูอีนเป็นตัวทำละลาย เมื่อละลายหมดแล้ว เติมนเมทานอลลงไป จะได้ยางไฮโดรคาร์บอนตกตะกอนออกมา (สารปนเปื้อนอื่น ๆ จะคงอยู่ในสารละลาย) ทำเช่นนี้หลาย ๆ ครั้ง ก็จะได้ยางไฮโดรคาร์บอนที่มีความบริสุทธิ์สูง

ยางไฮโดรคาร์บอนเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างทางเคมี ประกอบด้วยหน่วยที่ซ้ำ ๆ กันเป็น $(C_5H_8)_n$ มีการจัดเรียงตัวของโมเลกุลเป็นแบบ *cis* คือ หมู่ CH_3 ทุกหมู่อยู่ข้างเดียวกันของพันธะคู่โดยตลอด ดังนี้



rubber hydrocarbon (*cis*-arrangement)

ในปี ค.ศ. 1954 ได้มีการพิสูจน์ และยืนยันโครงสร้างของยางธรรมชาติ จากการนำ ไอโซพรีน (isoprene) มาพอลิเมอไรส์แบบ stereo specific ทำให้ได้ยางสังเคราะห์ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ ที่มีชื่อเรียกว่า *cis* 1,4-polyisoprene มีโครงสร้างเหมือนกับโครงสร้างของยางไฮโดรคาร์บอนในยางธรรมชาติ

แต่จากการวิจัยภายหลัง พบว่ายางไฮโดรคาร์บอนในยางธรรมชาตินั้นมีโครงสร้างเป็นแบบ *trans* 1,4-polyisoprene ปนอยู่บ้างเล็กน้อย มีหมู่ฟังก์ชัน ได้แก่ หมู่อัลดีไฮด์ 1-4 หมู่ต่อโมเลกุล หมู่เอพอกซี 30-60 หมู่ต่อโมเลกุล หมู่แลคโตน 3-4 หมู่ต่อโมเลกุล หมู่เอมีน 10 ถึง 30 หมู่ต่อโมเลกุล และหมู่ควบแน่นของอัลดีไฮด์ 100-400 หมู่ต่อโมเลกุล ทั้งนี้เนื่องจากยางไฮโดรคาร์บอนมีโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่กว่าหมู่ฟังก์ชันที่อาจพบในโครงสร้างจึงมีผลต่อสมบัติของยางธรรมชาติพอสมควร

ยางธรรมชาติประกอบด้วยโมเลกุลที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 50,000 ถึง 3,000,000 และประมาณร้อยละ 60 ของโมเลกุลเหล่านี้มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า 1,300,000 ยางธรรมชาติมีองค์ประกอบไม่สม่ำเสมอ แม้กระทั่งยางธรรมชาติที่มาจากน้ำยางต้นเดียวกันก็มีความแตกต่างกันในองค์ประกอบบ้างเล็กน้อย ทำให้ยางธรรมชาติมีสมบัติไม่สม่ำเสมอ เช่นเดียวกับวัสดุที่ได้จากธรรมชาติทั่วไป แต่โดยทั่วไปแล้วองค์ประกอบต่าง ๆ ของยางธรรมชาติ ก็จะอยู่ในช่วงที่กล่าวไว้ข้างต้น และจากการที่ยางไฮโดรคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักในยางธรรมชาติ ซึ่งมีอยู่มากถึงประมาณ 94 % ดังนั้นจึงมีอิทธิพลมาก และมีความสำคัญที่สุดต่อสมบัติของยางธรรมชาติ ดังนั้นเมื่อพูดถึงยางธรรมชาติจึงมักจะเข้าใจกันว่าหมายถึงยางไฮโดรคาร์บอน

เนื่องจากโมเลกุลของยางไฮโดรคาร์บอนมีโครงสร้างที่ไม่อิมิตัวอยู่เป็นจำนวนมากโดยมีพันธะคู่ 1 พันธะต่อคาร์บอน 5 อะตอม ยางธรรมชาติ จึงมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาต่าง ๆ โดยสามารถทำปฏิกิริยากับสารเคมีต่าง ๆ ทำให้ได้หมู่ฟังก์ชันใหม่ ๆ บนสายโซ่โมเลกุลตลอดจนสามารถเกิดปฏิกิริยาเชื่อมโองระหว่างโมเลกุลได้ดี จึงมีการนำหลักการดังกล่าวไปใช้ในการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติให้เหมาะกับการใช้งาน แต่ความว่องไวต่อปฏิกิริยาของยางธรรมชาติ ก็เป็นสาเหตุที่ทำให้ยางธรรมชาติเสื่อมสภาพเร็วขึ้นเมื่อทิ้งไว้ หรือ เมื่อนำไปใช้งาน ปฏิกิริยาสำคัญที่เกิดขึ้น ได้แก่ การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน การเกิดปฏิกิริยากับโอโซน และการแตกตัวของโมเลกุล เป็นต้น กลไกการเกิดปฏิกิริยาค่อนข้างสลับซับซ้อนหากต่อการศึกษาเท่าที่ค้นคว้ามาพอ สรุปได้ดังนี้ คือ

- ยางไฮโดรคาร์บอนมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ปฏิกิริยานี้จะเกิด

ได้ง่ายขึ้นถ้ามีโลหะ (เช่น แมงกานีส เหล็ก ทองแดง และโคบอลต์ เป็นต้น) ความร้อน แสง และความเครียดภายในเนื้อยาง (เกิดจากการหักงอของยางไปมา) ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันในยางไฮโดรคาร์บอน จะเกิดอยู่ในรูปของ free radical chain reaction และปฏิกิริยาดังกล่าวจะเป็นปฏิกิริยา autoxidation นั่นคือ ผลผลิตจากปฏิกิริยาจะกลายเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้นได้เอง และกลไกของปฏิกิริยาจะเป็นดังนี้ (เสาวรจน์ ช่างจุลจิตร์, 2538ค)

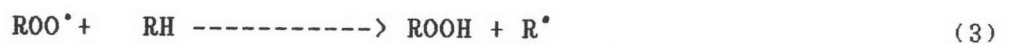
(1) ปฏิกิริยาเริ่มต้น โมเลกุลของยางไฮโดรคาร์บอนจะแตกออกเป็น 2 ฟรีแรดิคัล



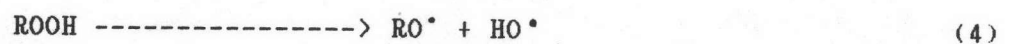
(2) ไฮโดรคาร์บอนแรดิคัล (R^\bullet) จะรวมตัวกับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว เกิดเป็นเปอร์ออกไซด์แรดิคัล (ROO^\bullet)



(3) เปอร์ออกไซด์แรดิคัล จะทำปฏิกิริยากับยางไฮโดรคาร์บอนได้ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ROOH) และไฮโดรคาร์บอนแรดิคัล (R^\bullet)



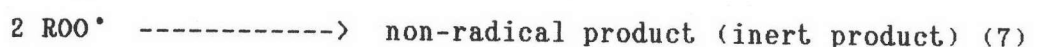
(4) ไฮโดรคาร์บอนแรดิคัล (R^\bullet) ที่ได้จะเกิดปฏิกิริยาเช่นเดียวกับปฏิกิริยาที่ (2) ส่วนไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (ROOH) จะสลายตัวดังนี้



หรือ



(5) ปฏิกิริยาลิ้นสุดดังนี้



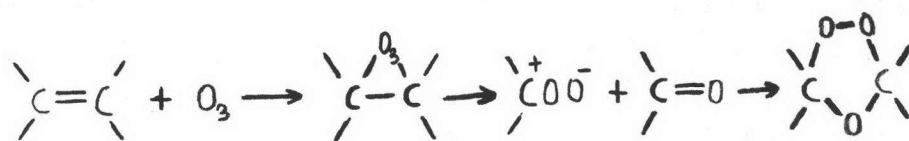
ปฏิกิริยาดังที่กล่าวมา แสง (โดยเฉพาะช่วงคลื่นอัลตราไวโอเล็ต) และความร้อน จะช่วยเร่งให้ปฏิกิริยาเริ่มต้นเกิดเร็วขึ้น ส่วนเกลือของโลหะ จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ให้เกิดเป็นฟรีแรดิคัล ทำให้ปฏิกิริยาเกิดต่อไปได้อีก โลหะหนักดังกล่าว ได้แก่ แมงกานีส เหล็ก ทองแดง และโคบอลต์ เป็นต้น

ยางธรรมชาติจะเสถียรขึ้นเมื่อเติมสารต้านอนุมูลอิสระไปหมด เมื่อยางนั้นถูกกลืนออกซิเจน

เข้าไปเพียงร้อยละหนึ่ง โดยน้ำหนักเท่านั้น และพบว่าน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของยางนั้นลดลงด้วย แสดงว่าต้องเกิดกระบวนการสลายโมเลกุล หรือปฏิกิริยาที่ทำให้โมเลกุลขาดลงอย่างแน่นอน นอกจากนั้น การเกิดออกซิเดชันยังสามารถเกิดตามจุดเชื่อมโอง (ด้วยกำมะถัน) เป็นผลให้จุดเชื่อมโองต่าง ๆ น้อยลง ทำให้ความยืดหยุ่นของยางลดลง (ซีซีวีธน์ เจนาวิชัย, 2526)

- การบดยางธรรมชาติในบรรยากาศปกติ (มีออกซิเจน) อาจเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ถ้าได้รับพลังงานกลและพลังงานความร้อนเพียงพอ ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของยางไฮโดรคาร์บอนแตกออก ทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง แม้การบดเพียงเล็กน้อย ก็สามารถจะทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลงได้ถึงหนึ่งในสิบ ของน้ำหนักโมเลกุลเริ่มแรก (เสาวรจน์ ช่างจุลจิตร, 2538ก)

- ยางไฮโดรคาร์บอนสามารถเกิดปฏิกิริยากับโอโซน เช่นเดียวกับการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ยางจะถูก attack ด้วยโอโซนที่ตำแหน่งพันธะคู่ ซึ่งอยู่ในสายโซ่โมเลกุล ดังนั้นยางที่ถูกวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถันจึงมีโอกาสถูกกระทำด้วยโอโซน เมื่อยางธรรมชาติถูกดึงให้ยืดออกในบรรยากาศแล้วตั้งทิ้งไว้ระยะหนึ่ง พบว่าจะเกิดรอยแตกที่เนื้อยางในแนวตั้งฉากกับทิศทางที่ตั้งยางนั้นไว้ การเกิดรอยแตกนี้เนื่องจากโอโซนเข้าทำปฏิกิริยากับยาง แต่การยืดยางแล้วทำให้เกิดรอยแตกนี้ จำเป็นต้องยืดให้มีความยาวเกินระยะหนึ่ง จึงจะพบรอยแตกเกิดขึ้น ซึ่งการยืดขนาดนั้นจะเรียกว่า "Threshold elongation" และถ้าความเข้มข้นของโอโซนมากขึ้น จะทำให้ยางแตกเร็วขึ้น ถึงแม้ปริมาณโอโซนในบรรยากาศจะมีน้อย คือประมาณ 1-10 ส่วนต่อร้อยล้านส่วน (pphm) ยังมีอิทธิพลทำให้ยางแตกได้ ในบรรยากาศของเมืองใหญ่ และเมืองหลวงซึ่งมีการใช้รถยนต์กันมาก จะทำให้ปริมาณโอโซนมากขึ้น กลไกของปฏิกิริยาระหว่างโอโซนกับยาง มีดังนี้ (เสาวรจน์ ช่างจุลจิตร, 2538ค)



- จากการวิจัย พบว่า โมเลกุลของยางไฮโดรคาร์บอนสามารถถูกทำลายได้บ้าง จากจุลินทรีย์บางชนิดซึ่งสามารถทำลายโมเลกุลได้ ทั้งยางธรรมชาติที่ไม่ได้ผ่านการวัลคาไนซ์ และที่ผ่านการวัลคาไนซ์ (Blake และ Kitchen, 1949; Blake, Kitchen และ Pratt, 1950; Blake, Kitchen และ Pratt, 1955) และยังสามารถทำลายโมเลกุลที่หุ้มฟีนิกซ์ซึ่งเกิดจากการออกซิเดชันได้อีกด้วย (Heap และ Morrell, 1968) ตัวอย่างจุลินทรีย์ที่กล่าวถึงกันบ่อยว่า

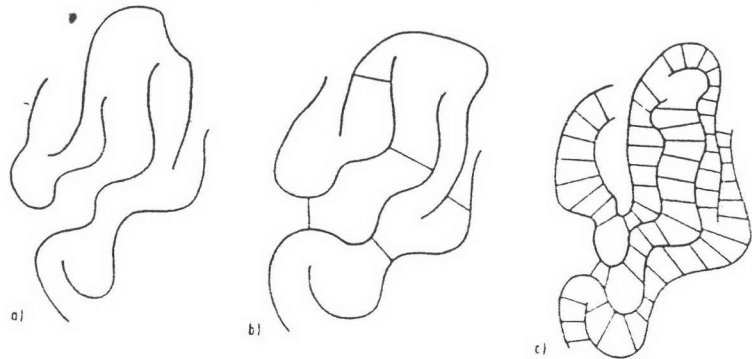
สามารถทำลายโมเลกุลของยางไฮโดรคาร์บอนได้ ได้แก่ พวกแบคทีเรีย เช่น *Actionmyces*, *Bacillus*, *Pseudomonas* และ *Thiobacillus* และพวกเชื้อรา เช่น *Aspergillus* และ *Penicillium* (Hawkins, 1972)

จากการที่โมเลกุลของไฮโดรคาร์บอนสามารถแตกตัวได้ดังกล่าว ประกอบกับการที่ยางธรรมชาติมีสารพวกโปรตีนและสารอินทรีย์อื่น ๆ ซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์เจริญอยู่ด้วย ทำให้ยางธรรมชาติที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงสมบัติ เสื่อมสภาพได้ง่ายเมื่อนำไปใช้งาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อต้องอยู่ในที่กลางแจ้ง หรือในสถานที่ที่ได้รับความชื้น ความร้อน และแสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงสมบัติของยางธรรมชาติ เช่น การทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันใหม่ขึ้นในโมเลกุลของไฮโดรคาร์บอน การเติมสารเติมแต่ง (additive) หรือ การเติมสารเสถียรภาพ (stabilizer) เป็นต้น เพื่อให้ยางธรรมชาติมีความทนทานต่อสิ่งแวดล้อมได้ดีขึ้น หรือมีสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานตามความต้องการมากขึ้น

2.1.5 การวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ เป็นกระบวนการเปลี่ยนยาง ซึ่งอยู่ในสภาพที่ไม่คงตัว ให้เป็นยางที่สามารถรักษารูปร่างได้ ในลักษณะยืดหยุ่น หรือ แข็งกระด้าง โดยการใช้น้ำสารวัลคาไนซ์ (vulcanizing agent) ซึ่งเป็นสารที่ทำให้เกิดการเชื่อมโองระหว่างโมเลกุลของยาง (crosslink) ตรงจุดที่ว่องไวต่อปฏิกิริยา สารวัลคาไนซ์ที่สำคัญสำหรับยางธรรมชาติคือ กำมะถัน (ยางสังเคราะห์ก็อาจใช้กำมะถัน หรือสารอื่น ๆ ตามแต่ชนิดของยางนั้น ๆ) การวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติด้วยกำมะถัน ทำให้เกิดการเชื่อมโองด้วยพันธะเคมี ระหว่างอะตอมของคาร์บอน และอะตอมของกำมะถัน ซึ่งสามารถเกิดได้หลายรูปแบบ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.3 และ 2.4

ปฏิกิริยาวัลคาไนเซชันซึ่งใช้กำมะถันและความร้อนเท่านั้นจะเกิดได้ช้ามากต้องใช้เวลาหลายชั่วโมง ยิ่งไปกว่านั้นยังต้องใช้กำมะถันเป็นจำนวนมากเกินความจำเป็น ซึ่งส่วนใหญ่จะสูญเสียไป โดยมีกำมะถันมาเชื่อมต่อกันเองเป็นสายยาว (ทำให้ x, y, a และ b ในสูตรข้างต้นมีค่ามากเกินไป) หรือมีจะนั้นจะออกมาในรูปของกำมะถันอิสระปะปนอยู่ในเนื้อหรือซึมมาอยู่ที่ผิวของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ จึงต้องเติมสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ (accelerator) ลงในยางโดยใช้ร่วมกับสารวัลคาไนซ์ ซึ่งจะช่วยลดเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ลงอย่างมาก อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น นอกจากนี้อุณหภูมิที่ใช้ก็ลดลงรวมทั้งปริมาณกำมะถันที่ใช้เพื่อให้ได้ยางที่มีสมบัติตามต้องการก็ลดลงด้วย ซึ่งจะทำการซึมของกำมะถันมาที่ผิวของผลิตภัณฑ์ลดลง นอกจากนี้ยังอาจต้องเติมสารกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ (activator) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพใน

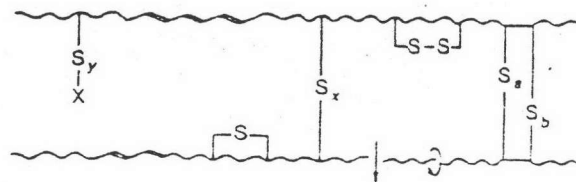
การทำงานของสารเร่งปฏิกิริยาคาไลซ์อีกด้วย



รูปที่ 2.3 การเชื่อมโยงโมเลกุลของยางธรรมชาติ

- a) Plastomer (thermoplastic); ไม่มีการเชื่อมโยง
- b) Elastomer (soft elastomer); มีการเชื่อมโยงเล็กน้อย
- c) Duromer (hard rubber, thermosetting plastic); มีการเชื่อมโยงอย่างหนาแน่น

(เสาวรจน์ ชำยจุลจิตร, 2538ข)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของยางที่ถูกละคายไนซ์ด้วยกำมะถัน

(x,y,a และ b = 1-9) X = accelerator fragment; ลูกศรโค้ง หมายถึง cis,trans-isomerized double , และลูกศรชี้ลงหมายถึง main chain scission

(เสาวรจน์ ชำยจุลจิตร, 2538ข)

การเชื่อมโองโมเลกุลของยาง จะทำให้ขนาดของโมเลกุลใหญ่ขึ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการวัลคาไนซ์แล้วจะมีสมบัติต่าง ๆ เปลี่ยนไป ได้แก่ การหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน การแข็งตัวเมื่อถูกกับความเย็น การละลายในตัวทำละลายต่าง ๆ เหล่านี้จะเกิดยากขึ้น นอกจากนี้ในด้านความแข็งแรง เช่น ความทนแรงดึง (tensile strength) ความแข็ง (hardness) ความทนต่อการขัดถู (abrasion resistance) ความทนทานต่อการสึกกร่อน (wear resistance) และการหักงอได้ของยางที่อุณหภูมิต่ำ (low temperature flexibility) จะเพิ่มขึ้น ส่วนความสามารถของก๊าซที่จะซึมผ่านยางได้จะลดลง และทำให้ช่วงอุณหภูมิของการใช้งานกว้างขึ้นด้วย ถึงแม้ว่าการวัลคาไนซ์จะสามารถทำได้หลายวิธี แต่กระบวนการเดิมที่พบโดย กูดเยียร์ ก็ยังคงเป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุดในอุตสาหกรรม

2.2 ยางskim (Skim Rubber)

"ยางskim" (skim rubber) หมายถึงยางธรรมชาติที่อยู่ในรูปของยางแห้งและผลิตมาจากทางน้ำยาง (skim latex) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำยางข้น (concentrated latex) โดยวิธีการปั่นแยก (Centrifugation)

ในอดีต การผลิตน้ำยางข้นของประเทศไทยมีน้อยมากคือประมาณ 0.21 % ของผลผลิตยางทั้งประเทศ และเป็นการผลิตเพื่อใช้ภายในประเทศเพียงอย่างเดียว ดังนั้นอุตสาหกรรมการผลิตยางธรรมชาติเกือบทั้งหมดจะถูกแปรรูปในรูปยางดิบแห้ง เช่น ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง และยางเครพ ทำให้ผลิตผลยางskimมีน้อยมาก การผลิตยางskimเริ่มเมื่อประมาณปี พ.ศ. 2511 ถึง พ.ศ. 2512 โดยบริษัทปัดตานีอุตสาหกรรม จำกัด ได้ทำการผลิตน้ำยางข้น ต่อมาจึงได้มีโรงงานผลิตน้ำยางข้นเพิ่มขึ้น เช่น คลองแฉะการยาง องค์การสวนยางนาบอน เป็นต้น แต่ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้นกลับเป็นที่กล่าวถึงกันมากที่สุด จากการสำรวจของกลุ่มอุตสาหกรรมยางดิบและทดสอบ ศูนย์วิจัยยางสงขลา เมื่อกลางปี พ.ศ. 2531 พบว่า มีเครื่องปั่นน้ำยางข้นในประเทศไทยทั้งสิ้น 230 เครื่อง มีผู้ประกอบการทั้งสิ้น 28 บริษัท ตั้งอยู่ใน 10 จังหวัด แบ่งเป็น 2 จังหวัดในภาคตะวันออก คือ ระยอง และจันทบุรี (7 บริษัท เครื่องปั่น 54 เครื่อง) และ 8 จังหวัดในภาคใต้ คือ ชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช ภูเก็ต ตรัง สงขลา ยะลา และปัทตานี (21 บริษัท) ซึ่งสามารถผลิตน้ำยางข้นได้ปีละประมาณ 220,800 ตัน และผลิตยางskimได้ปีละ 11,040 ตัน หรือประมาณ 1.5 % ของยางดิบที่ผลิตได้ทั้งหมดภายในประเทศ นับว่า

ยางสีกิมเริ่มเป็นที่สนใจกันมากขึ้น

2.2.1 องค์ประกอบของยางสีกิมและหางน้ำยางชั้น จากส่วนประกอบของน้ำยาง น้ำยางสดที่กรี๊ดได้จากต้นยางพารา จะอยู่ในสภาพของเหลว มีส่วนประกอบสำคัญคือ น้ำ กับ ของแข็ง ของแข็งนั้นก็แบ่งเป็นพวกยางและไม่ใช้ยาง ดังนี้ คือ

- น้ำ มีอยู่ประมาณ 65 % ของน้ำยาง ทำหน้าที่เป็นตัวกลาง ช่วยรักษาสถานะสาร ของแข็งให้แขวนลอยกระจายอยู่ทั่วไป

- ยาง มีอยู่ในน้ำไม่แน่นอน ประมาณ 25-45 % เป็นส่วนที่นำไปใช้ประโยชน์ทำให้จับตัวโดยการเติมกรด แล้วจึงแปรรูปเป็นวัตถุดิบพวกยางแผ่น ยางแท่ง ยางเครพ หรือในรูปแบบอื่น ๆ ที่มีชื่อขายในท้องตลาด เป็นวัตถุดิบที่ใช้ทำผลิตภัณฑ์ยางโดยตรง

- ส่วนที่ไม่ใช่ยาง จะประกอบด้วยพวก โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และเกลืออนินทรีย์ต่าง ๆ ส่วนนี้มีอยู่ทั้งสิ้นประมาณ 5 % ของน้ำยาง

2.2.2 การแยกตัวของน้ำยางเมื่อถูกปั่น การผลิตน้ำยางชั้นโดยวิธีปั่นเป็นการแยกยางซึ่งเป็นส่วนที่เบา (ความถ่วงจำเพาะ 0.92) ออกจากส่วนที่เป็นของเหลว ซึ่งเป็นส่วนที่หนักกว่า (ความถ่วงจำเพาะ 1.02) โดยอาศัยแรงเหวี่ยงของเครื่องตามรูปที่ 2.8 เมื่อน้ำยางสดป้อนสู่เครื่องปั่นแยก (หมายเลข 1) ส่วนที่เป็นยางจะเคลื่อนเข้าสู่ศูนย์กลาง แล้วลอยตัวสูงขึ้นจนเลขชั้นบนสุดของจานแยก ไหลผ่านรูปบนผนังด้านบนของหม้อปั่น แล้วออกไปยังรางส่งน้ำยางชั้น (หมายเลข 5) ส่วนนี้เรียกว่า "น้ำยางชั้น" สำหรับส่วนที่เป็นของเหลวรวมทั้งพวกของแข็งที่ไม่ใช่ยาง จะแยกเคลื่อนตัวไปยังผนังของหม้อปั่น และลอยตัวขึ้นไปด้านบนระหว่างผนังหม้อปั่นกับฝาครอบจานแยก ผ่านรูออกไปยังรางส่งหางน้ำยาง (หมายเลข 4) ของเหลวที่ผ่านช่องนี้เรียกว่า "หางน้ำยาง"

จากการศึกษาองค์ประกอบของ น้ำยางสด 100 กรัม น้ำยางชั้น 50 กรัม และหางน้ำยาง 50 กรัม พบว่ามีองค์ประกอบต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2

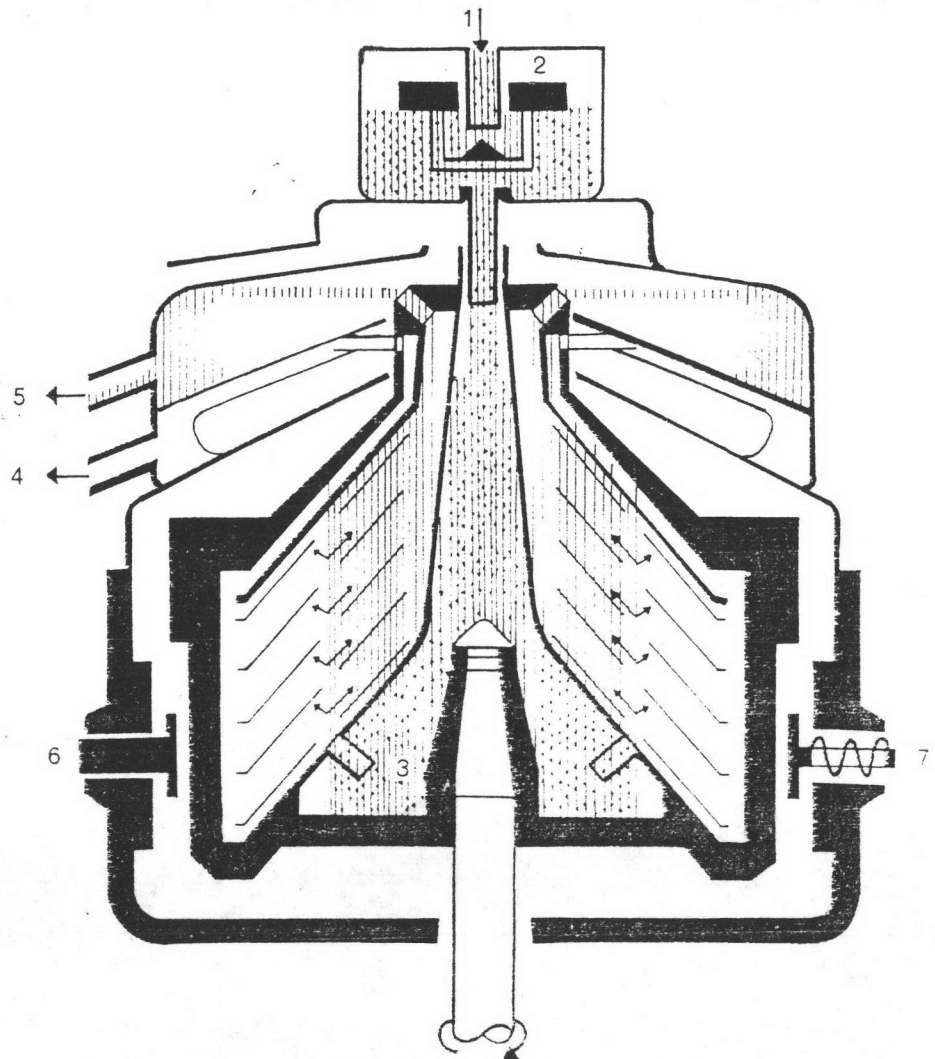
การแยกตัวขององค์ประกอบน้ำยางเมื่อถูกปั่น

ที่มา: รายงานการสัมมนามาตรฐานน้ำยางชั้นไทย (พลชิต บัวแก้ว, 2532)

องค์ประกอบ	น้ำยางสด 100 กรัม	น้ำยางชั้น 50 กรัม		หางน้ำยาง 50 กรัม	
	(กรัม)	(กรัม)	%	(กรัม)	%
DRC	32.5	30.00	60.00	2.50	5.0
TSC	36.0	30.75	61.50	5.25	10.5
TSC-DRC	3.5	0.75	1.50	2.75	5.5
Serum	64.0	19.25	38.50	44.75	89.5

DRC = Dry Rubber Content = ปริมาณเนื้อยางแห้ง

TSC = Total Solid Content = ปริมาณของแข็งทั้งหมด



รูปที่ 2.5 เครื่องปั้มน้ำยางชั้นผ่าตามแนวสยาว

1. ท่อรับน้ำยาง
2. หม้อพักและลูกลอยด์
3. ท่อจ่าย
4. ทางออกทางน้ำยาง
5. ทางออกน้ำยางชั้น
6. เบรคเชิงกล
7. เบรคแม่เหล็ก

(พลชิต บัวแก้ว, 2532)

2.2.3 หางน้ำยาง จะมีส่วนประกอบเนื้อยางแห้งประมาณ 3-7 % ขณะที่น้ำยางสดมีเนื้อยางอยู่ประมาณ 25-45 % ขณะเดียวกันมีพวกไม้ไผ่ยางปะปนในปริมาณสูง 5-10 % เหตุที่หางน้ำยางมีปริมาณของสารที่ไม่ใช่ยางสูงนั้น มี 2 ประการคือ

- ส่วนของน้ำหรือเซรัม (serum) ในหางน้ำยางประกอบด้วยโปรตีน และสารอื่น ๆ ละลายน้อยในปริมาณที่เท่ากับในน้ำยางสดก่อนการปั่นเป็นน้ำยางข้น แต่ปริมาณของเนื้อยางแห้งมีน้อยกว่ามาก จึงทำให้ปริมาณของสารที่ไม่ใช่ยางสูงขึ้น

- อนุภาคของยางในหางน้ำยางจะมีขนาดเล็ก ซึ่งทำให้มีพื้นผิวในการดูดซับสารที่ไม่ใช่ยางโดยเฉพาะโปรตีนได้มากกว่าอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ และโปรตีนมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าอนุภาคยาง จึงเกิดการเคลื่อนย้ายเข้าไปในส่วนของหางน้ำยางในระหว่างการปั่นแยกได้ดีกว่า

2.2.4 สมบัติของยางสีกิม สมบัติของยางสีกิมจะเกี่ยวข้องกับยางไฮโดรคาร์บอนและปริมาณของสารที่ไม่ใช่ยางซึ่งมีความแปรปรวนมาก และก่อให้เกิดปัญหาในการใช้งาน ยางสีกิมมีองค์ประกอบเป็นยางไฮโดรคาร์บอนอยู่ประมาณ 80 % ในขณะที่ยางดิบแห้งชนิดอื่น ๆ มียางไฮโดรคาร์บอนอยู่ประมาณ 94 % แต่เนื่องจากปริมาณสิ่งสกปรกในยางสีกิมมีอยู่ค่อนข้างต่ำมาก จึงเป็นข้อดีในการนำไปทำผลิตภัณฑ์ยางต่าง ๆ และเป็นการลดต้นทุนในการผลิต เนื่องจากมีราคาถูก ข้อเสียของยางสีกิมก็คือ มีโปรตีนสูงประมาณ 1.97 % ในขณะที่ยางดิบอื่นจะมีอยู่ประมาณ 0.5 % และเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็น นอกจากนี้ยังมีผลต่อการวัลคาไนซ์ยาง คือ จะทำให้ปฏิกิริยาการคงรูป (scorch) ของยางเกิดขึ้นเร็วกว่าปกติ ดังนั้น จึงไม่สามารถนำยางไปใช้ในกระบวนการขึ้นรูปได้ อย่างไรก็ตามแนวโน้มการเกิดการคงรูปเร็ว สามารถควบคุมได้ โดยการเลือกใช้สารเร่งชนิดที่เกิดปฏิกิริยาช้า (delayed action) วิธีการปรับปรุงคุณภาพของยางสีกิม ทำได้โดยการลดปริมาณโปรตีน จะส่งผลให้นำไปใช้ประโยชน์ได้กว้างขึ้น และเป็นการเพิ่มมูลค่าของยางสีกิมอีกด้วย

ปริมาณของสารต่าง ๆ ทั้งที่เป็นยางและไม่ใช่อายในยางสีกิมมีดังนี้

สาร	เปอร์เซ็นต์
1. ปริมาณไนโตรเจน	1.2 - 4.0
2. โปรตีน	7.5 - 25.0
3. ส่วนสกัดด้วยอะซิโตน	3.4 - 13.2
4. ปริมาณสารที่ไม่ใช่ยางทั้งหมด	10.9 - 38.2
5. ปริมาณเนื้อยางแห้ง	78.0 - 85.0

จากองค์ประกอบดังกล่าว เมื่อน้ำยางสกิมไปผลิตผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูป แล้ว จะทำให้ผลิตภัณฑ์ยางมีสมบัติบางอย่างไม่ดี เช่น

- การกระดอนต่ำ (low resilience)
- ความร้อนสะสมสูง
- มีความแข็งมากกว่ายางดิบมาตรฐานทั่วไป

ยางสกิมที่ผลิตจำหน่ายมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ

1. ในรูปของยางสกิมแท่ง (skim block rubber)
2. ในรูปของยางสกิมเครพ (skim crepe)
3. ในรูปของยางสกิมแผ่นรมควัน (skim smoked sheet)

2.2.5 การผลิตยางสกิม ยางสกิมเป็นผลผลิตพลอยได้จากการทำน้ำยางข้น ซึ่งเป็นส่วนที่เรียกว่า หางน้ำยาง โดยมีเนื้อยางแห้งประมาณ 3-7 % ดังนั้น วิธีการที่จะแยกเนื้อยางออกจากหางน้ำยางนั้นอาจทำได้หลายวิธีคือ

1. ใส่อมโมเนียให้เหลือน้อยกว่า 0.1 % โดยใส่กรดกำมะถัน เพื่อให้หางจับตัว การใช้กรดแยกยางออกจะได้ยางที่สะอาด แต่อย่างไรก็ตามยางที่ได้ยังมีปริมาณไนโตรเจนสูง
2. ใส่อมโมเนียในหางน้ำยางให้เหลือน้อยกว่า 0.1 % แล้วทิ้งไว้ให้ยางเกิดการจับตัวเองตามธรรมชาติ วิธีการนี้จะใช้เวลา 4-5 วัน ยางจึงจะจับตัวอย่างสมบูรณ์ แต่ระหว่างการจับตัวจะเกิดการบดเน่าทำให้มีกลิ่นเหม็น แต่คุณภาพของยางจะดีกว่ายางที่ผลิตจากวิธีที่ 1

3. ใส่อมโมเนียให้เหลือประมาณ 0.06 % แล้วเติมสาร Surfactant Aerosol GPG ลงในหางน้ำยางประมาณ 0.1 % ร่วมกับสารแคลเซียมคลอไรด์ปริมาณ 1 % จะทำให้ยางแข็งตัวภายใน 48 ชั่วโมง ใช้เวลาน้อยกว่าปล่อยให้ยางเกิดการจับตัวตามธรรมชาติและคุณภาพของยางที่ได้ดีกว่ายางที่จับตัวโดยใช้กรดตามวิธีที่ 1

หลังจากใส่อมโมเนียแล้ว จะนำก้อนยางที่ได้ไปผ่านกระบวนการผลิตเป็นยางสกิมชนิดต่าง ๆ ตามรูปแบบที่ต้องการ เช่น ยางสกิมเครพ ยางสกิมแท่ง ยางสกิมแผ่นรมควัน เป็นต้น (พลชิต บัวแก้ว, 2532)

2.3 การผสมสูตรยาง

เครื่องมือที่ใช้บดผสมยาง กับสารเคมีต่าง ๆ ทั้งในระดับห้องปฏิบัติการ และระดับโรงงาน แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เครื่องบดผสมระบบเปิด (open mill mixer) และ เครื่องบดผสมระบบปิด (internal mixer) โดยเครื่องมือแต่ละประเภทจะมีขนาดต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ให้เลือกใช้ตามความเหมาะสม

2.3.1 เครื่องผสมระบบเปิด เครื่องผสมระบบนี้เป็นแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-rolls mill) ประกอบด้วยลูกกลิ้ง 2 ลูก วางในแนวนอน ให้แกนของลูกกลิ้งขนานกัน (เครื่องผสมแบบ 2 ลูกกลิ้งแสดงไว้ในบทที่ 3 รูปที่ 3.1) ช่องว่างระหว่างลูกกลิ้ง (nip หรือ gap) สามารถปรับระยะได้ โดยลูกกลิ้งลูกหน้า(อยู่ใกล้ตัวผู้บด) จะมีสกรูสำหรับปรับให้เลื่อนเข้าออกได้ ลูกกลิ้งทั้งสองจะหมุนในทิศตรงกันข้าม ขนาดและความเร็วของลูกกลิ้งมีความสำคัญในการควบคุมให้ได้การกระจายที่ดี

การบดยางจะเริ่มต้นด้วยการ ผ่านชิ้นยางเข้าไปในช่องระหว่าง ลูกกลิ้งทั้งสองที่กำลังหมุน ปรับความกว้างของช่องเพื่อให้บดยางขณะผ่านไป เมื่อยางผ่านช่องระหว่างลูกกลิ้ง 3-4 ครั้ง ชิ้นยางเล็ก ๆ จะเริ่มเกาะติดเป็นแผ่นเดียวกัน และสามารถพันรอบลูกกลิ้งได้ ขณะเดียวกันก็จะยังมีกองยางอยู่เหนือช่องระหว่างลูกกลิ้ง และเพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอทั่วไปในเนื้อยาง จะต้องให้ยางผ่านลูกกลิ้งเข้าไปซ้ำมาหลายครั้ง ซึ่งทำได้โดยการใช้นักตัดยาง (mill knife) ตัดยางที่พันอยู่บนลูกกลิ้งลูกหน้าไปตามยาวประมาณ 3/4 ของความยาวลูกกลิ้ง ในขณะเดียวกันก็ใช้มืออีกข้างหนึ่งมีวนยางที่ถูกตัดเข้ามา โดยให้มีวนยางยังคงทาบอยู่บนผิวลูกกลิ้งจนกว่ากองยางที่ยังค้างอยู่บนช่องระหว่างลูกกลิ้งหมดไป จึงใส่มีวนยางที่ตัดไว้ กลับลงไปช่องระหว่างลูกกลิ้งใหม่ เมื่อยางพันรอบลูกกลิ้งอีกครั้งก็ให้ตัดยางที่พันรอบลูกกลิ้งซ้ำขวาสลับกัน จนกว่าจะแน่ใจว่า สารต่าง ๆ ผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับยางแล้ว

ขณะที่ยางถูกบดนั้น ยางจะแผ่กระจายบนผิวลูกกลิ้ง แต่จะแผ่ได้จำกัด เพราะมีแผ่นยึดอยู่บนหัวและท้ายของลูกกลิ้ง (guides) ซึ่งแผ่นทั้งสองนี้ ปรับให้เลื่อนเข้าออกได้ตามแนวยาวของลูกกลิ้ง นอกจากจะใช้แผ่นนี้ช่วยควบคุมปริมาณของยางขณะบดแล้ว ยังใช้ป้องกันไม่ให้ยางเปราะเปื้อนกับน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กับเครื่องบดผสมบริเวณส่วนปลายของลูกกลิ้งอีกด้วย ยางที่ผ่านช่องระหว่างลูกกลิ้งตอนแรก ๆ จะมีลักษณะร่วน และตกลงบนถาดรองรับได้ลูกกลิ้ง แต่เมื่อบดต่อไป ยางเริ่มอ่อนนุ่มลงพอที่จะจับตัวกันให้พันรอบลูกกลิ้ง ความยากง่ายที่ยางจะพันรอบลูกกลิ้งนั้น

ขึ้นกับชนิดของยางที่ใช้ การบดผสมยางธรรมชาติกับสารเคมีจำเป็นต้องบดยางล้วน ๆ ก่อน โดยตัดสลับซ้ายขวาและม้วนยางกลับเข้าไปในช่องระหว่างลูกกลิ้ง จนกว่ายางมีความอ่อนตัว หรือ มีพลาสติกติดตามต้องการ การบดยางให้อ่อนตัวก่อนนี้ เรียกว่า mastication ซึ่งเป็นการทำให้ยางที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เกิดการฉีกขาดของโมเลกุล ทำให้น้ำหนักโมเลกุลลดลง แม้การบดเพียงเล็กน้อย ก็สามารถจะให้น้ำหนักโมเลกุลลดลงได้ถึงหนึ่งในสิบของน้ำหนักโมเลกุลเริ่มแรก หากไม่ได้ผ่านการบดให้นุ่มเสียก่อน ก็จะยากต่อการพันรอบลูกกลิ้ง ต้องบดไปสักครู่ ยางจึงจะนุ่มลง และจะต้องบดไปนานเท่าใดนั้น ขึ้นกับความกว้างของช่องระหว่างลูกกลิ้ง และอุณหภูมิของลูกกลิ้งด้วย เมื่อยางเกาะพันรอบลูกกลิ้งตอนแรกนั้น จะมีลักษณะพื้นไม่เรียบทั่วผิวลูกกลิ้ง มีช่วงที่ขาดเป็นรูทั่วไป และเมื่อบดต่อไป ยางที่พันลูกกลิ้งจะเริ่มเรียบขึ้น จากนั้นจึงเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงบนกองยางเหนือช่องระหว่างลูกกลิ้ง กวาดสารที่หล่นลงบนภาคใต้ลูกกลิ้งใส่คืนกลับไปบด และเมื่อลูกกลิ้งหมุนไป ยางจะค่อย ๆ ดึงสารต่าง ๆ ติดลงไปบดผสมกัน ทำการตัดยางบนลูกกลิ้งตามที่ได้กล่าวมาแล้ว จนสังเกตเห็นสารต่าง ๆ ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับยาง ขึ้นสุดท้ายของการบดผสม แนะนำให้ม้วนยางผ่านช่องระหว่างลูกกลิ้งอีกประมาณ 6 ครั้ง โดยการปรับช่องระหว่างลูกกลิ้งให้แคบเข้า เพื่อรีดยางที่ผสมสารเคมีแล้วอย่างทั่วถึง แล้วจึงใช้มีดตัดยางไปตามความยาวของลูกกลิ้ง และจับแผ่นยางออกจากเครื่อง

การบดผสมยางกับสารเคมีอย่างมีประสิทธิภาพนั้น ลูกกลิ้งลูกหน้าจะหมุนช้ากว่าลูกกลิ้งลูกหลัง แต่ถ้าต้องการรีดยางเป็นแผ่นเรียบ ลูกกลิ้งทั้งสองก็ควรมีความเร็วเท่ากัน ความเร็วของลูกกลิ้งทั้งสองจะขึ้นกับวัตถุประสงค์ของการบดผสม สำหรับการบดผสมยางธรรมชาติกับสารเคมีนั้น อัตราส่วนความเร็วของลูกกลิ้งที่เหมาะสม คือ 1:1.25 (ลูกกลิ้งลูกหน้า:ลูกกลิ้งลูกหลัง)

เครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้ง เป็นเครื่องที่ต้องใช้กำลังมาก และจะเกิดความร้อนสูงขณะบดยาง ดังนั้น เพื่อป้องกันยางเกิดสีตัว (scorch) ขณะบดจึงต้องมีระบบหล่อเย็นโดยผ่านน้ำเย็นเข้าไปภายในส่วนของลูกกลิ้ง

ลูกกลิ้งบดยางจะต้องมีผิวหน้าแข็ง ทนทานต่อการใช้งาน โดยเฉพาะทนทานต่อมีดที่กดลงบนผิวลูกกลิ้งขณะบดยาง ดังนั้น ลูกกลิ้งบดยางจึงต้องทำจากเหล็กหล่อ (cast iron) อย่างดี และผิวหน้าต้องเรียบ เครื่องบดระบบเปิดมักติดตั้งระบบป้องกันอุบัติเหตุที่จะเกิดกับผู้ใช้ และกับเครื่องบดเอง โดยทำเป็นแผ่นเหล็กกันไม่ให้มือเลยเข้าไปในช่องระหว่างลูกกลิ้ง ซึ่งเหล็กกันนี้จะทำให้เครื่องหยุดทันทีที่มือหรือสิ่งหนึ่งสิ่งใดกระทบกับเหล็กกันแรง ๆ หรือติดตั้งระบบการหยุดของมอเตอร์เมื่อเครื่องถูกใช้งานเกินกำลัง และยังมีเครื่องทำให้ช่องระหว่างลูกกลิ้งเปิดออกเมื่อเกิด

การใช้งานเกินกำลังอีกด้วย

2.3.2 เครื่องบดผสมระบบปิด ใช้แทนระบบเปิดได้ เนื่องจากมีความคล่องตัว ผสมได้รวดเร็ว และกำลังการผลิตสูงกว่ามาก แต่มีราคาแพงมาก

เนื่องจากการใช้ยางรถยนต์เพิ่มมากขึ้น จึงเป็นสาเหตุของความต้องการเครื่องบดขนาดใหญ่ แต่การทำลูกกลิ้งขนาดใหญ่ ไม่ได้ทำให้การบดผสมยางกับสารเคมีปริมาณมาก ๆ มีประสิทธิภาพที่เพียงพอ ดังนั้น Banbury จึงได้คิดประดิษฐ์เครื่องมือดังกล่าวขึ้น และได้รับรางวัล The Goodyear Medal of the American Chemical Society ปี 1960 เนื่องในงานพัฒนาเครื่องบดระบบปิด

เครื่องบดระบบปิดที่ใช้กันในปัจจุบันนี้ นอกจากเครื่อง Banbury mixer แล้ว ยังมีเครื่อง Shaw Intermix ซึ่งเครื่องทั้งสองจะถูกใช้งานเพื่อวัตถุประสงค์เดียวกัน คือ เพื่อการบดผสมยางกับสารเคมีต่าง ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ และรวดเร็ว แต่มีหลักการทำงานของเครื่องต่างกัน (รูปที่ 2.6 และ 2.7 แสดงส่วนประกอบภายในของเครื่อง Banbury และ Shaw Intermix ตามลำดับ)

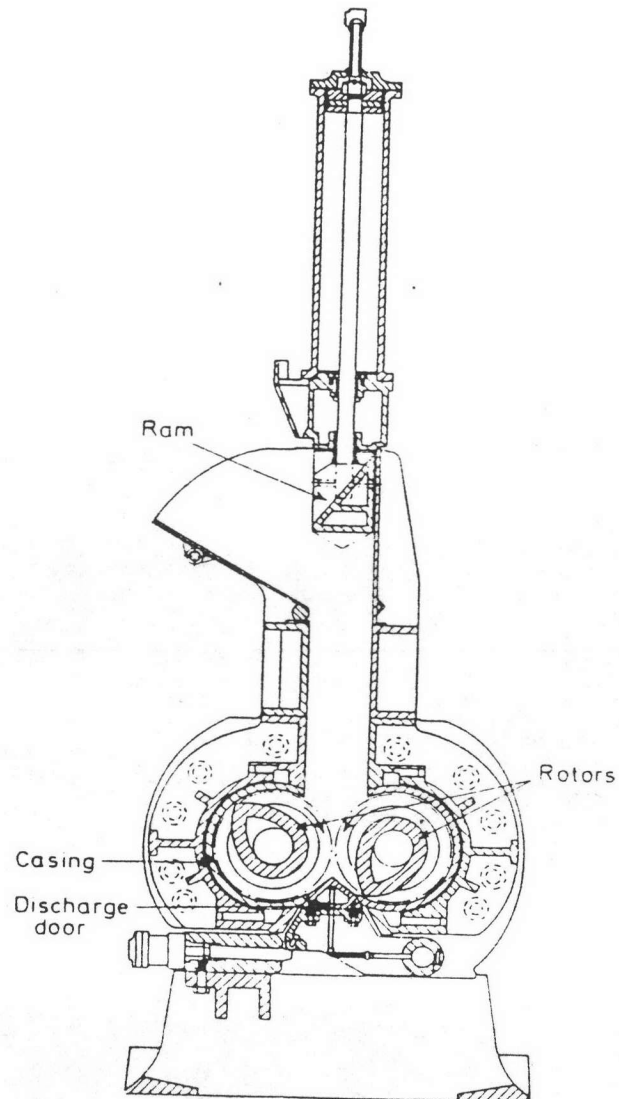
2.3.2.1 Banbury Mixer เครื่องชนิดนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่

1. ส่วนที่รับยางเข้าเครื่อง (feeding module) ประกอบด้วยช่องสำหรับป้อนยางและสารเคมี (feed hopper) เข้าไปบดผสม และมีช่องทรงกระบอกสำหรับเครื่องกระทบ (ram) ที่มีน้ำหนักเคลื่อนขึ้นลงเพื่อกดยางและสารต่าง ๆ ให้เข้าสู่ห้องบด (mixing chamber)

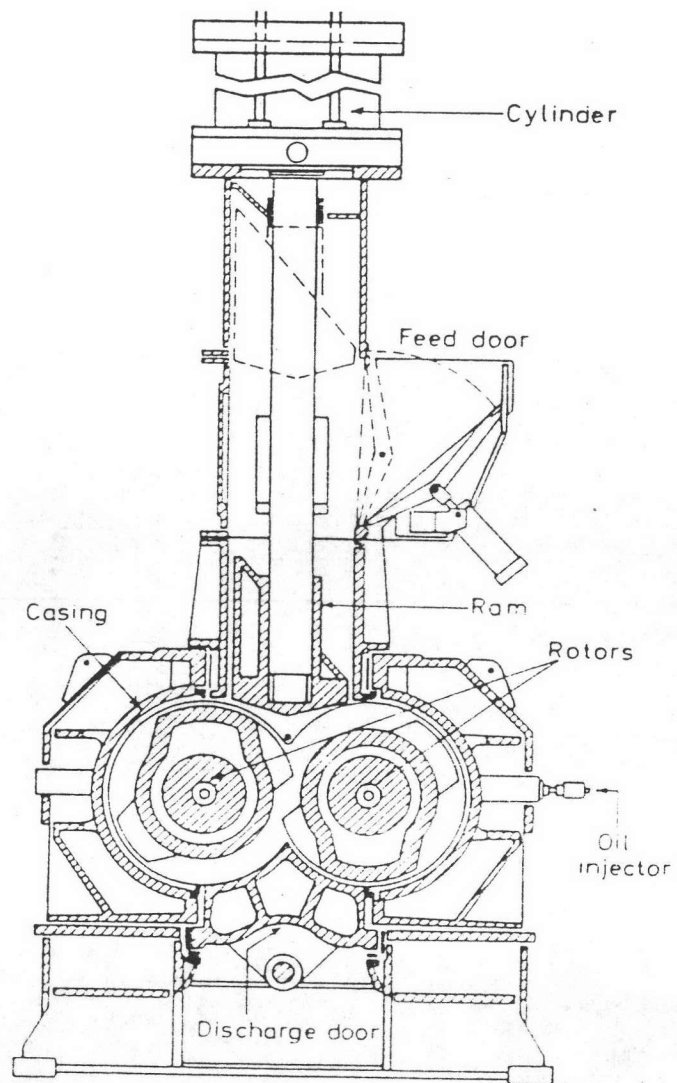
2. ส่วนที่บดผสมยาง (mixing module) ส่วนที่บดผสมยาง เป็นห้องบดซึ่งภายในมีโรเตอร์ (rotor) 2 ตัว เรียงขนานกันในแนวนอน และหมุนในทิศทางตรงกันข้ามด้วยความเร็วต่างกัน เพื่อให้ยางและสารเคมีต่าง ๆ ถูกเหวี่ยงอย่างสม่ำเสมอ ผิวของโรเตอร์มีลักษณะเป็นใบมีด (rotor blades) ซึ่งจะดันให้ยางและสารเคมีบดผสมกันที่กลางห้องบด และขณะเดียวกันใบมีดจะตัดยางด้วย เนื่องจากโรเตอร์หมุนด้วยความเร็วต่างกันจึงเกิดการบดจนวอดอย่างรุนแรงในห้องบด (intensive kneading action) พร้อมทั้งมีการควบคุมอุณหภูมิอย่างถูกต้อง จะทำให้ใช้เวลาในการบดสั้น และยางที่ได้มีคุณภาพดี

3. ส่วนที่ขับเครื่อง (driving module) จะควบคุมการทำงานของโรเตอร์ที่อยู่ภายในห้องบด และการเปิดปิดของประตู (discharge door) ที่อยู่ด้านล่าง เพื่อเปิดให้ยางที่บดผสมแล้วหล่นลงมา

2.3.2.2 Shaw Intermix เครื่อง Shaw Intermix ประกอบด้วย โรเตอร์ 2 ตัว เช่นเดียวกัน แต่จะมีส่วนอื่น หรือใบมีดที่ล็อกกันพอดีและหมุนด้วยความเร็วเท่ากัน แต่ละโรเตอร์ประกอบด้วยใบมีดใหญ่ 1 อัน และใบมีดเล็ก 2 อัน การหมุนแบบสกรูของใบมีดและ แรงเสียดทานที่เกิดระหว่างโรเตอร์ทั้งสอง ทำให้เกิดอาการบดขยาดคล้ายอาการบดขยาดในเครื่อง บดแบบ 2 ลูกกลิ้ง



รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบภายในของเครื่อง Banbury Mixer
(เสาวรจน์ ช่างจลจิตร, 2538ก)



รูปที่ 2.7 ส่วนประกอบภายในของเครื่อง Shaw Intermix
(เสาวรจน์ ช่างจลจิตร, 2538ก)

เครื่องบดผสมระบบปิด มีความเหมาะสม และจำเป็นกับการบดผสมในปริมาณมาก โดยเฉพาะการบดผสมที่มีส่วนผสมของพวกเขม่าดำ เพราะจะช่วยแก้ปัญหาการฟุ้งกระจายของเขม่าดำ สำหรับสารที่ทำให้ยางคงรูป เช่น กำมะถัน มักทำการผสมภายหลังการผสมสารอื่น ๆ แล้ว โดยนำมาบดกับกำมะถันด้วยเครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้งในภายหลัง เพื่อป้องกันการเกิด scorch และเมื่อบดผสมยางในเครื่องบดระบบปิดแล้ว มักนำยางมาเข้าเครื่องบดแบบ 2 ลูกกลิ้งอีกครั้ง เพื่อรีดยางเป็นแผ่นซึ่งเหมาะกับการขึ้นต่อไป

2.4 การใช้ปุ๋ยในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร

หลักในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร มีหลักการที่สำคัญคือ การขยายพื้นที่ทางการเกษตร และการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาใช้เพิ่มปริมาณและคุณภาพของผลผลิต วิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการเพิ่มผลผลิตคือการใช้ปุ๋ย

ปุ๋ย หมายถึง แร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ

1. ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยธรรมชาติ ปุ๋ยอินทรีย์ หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากสิ่งมีชีวิต แบ่งออกเป็นปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด

- ปุ๋ยคอก หมายถึงปุ๋ยที่ได้จากมูลสัตว์ เช่น หมู วัว ควาย เป็ด ไก่ ค้างคาว
- ปุ๋ยหมัก หมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากการหมักซากพืช สัตว์ มูลสัตว์ และขยะมูลฝอย

ต่าง ๆ

- ปุ๋ยพืชสด เป็นปุ๋ยที่ได้จากการปลูกพืชตระกูลถั่วลงไปแปลงเพาะปลูก เมื่อโตได้ขนาดก็ไถกลบลงไปในพื้นที่เพาะปลูก แล้วปล่อยให้ซากพืชเหล่านั้นเน่าเปื่อย

2. ปุ๋ยอนินทรีย์หรือปุ๋ยเคมี คือ ปุ๋ยที่ได้จากการสังเคราะห์แร่ธาตุ ให้มีแร่ธาตุอาหารตามที่พืชต้องการทั้งปุ๋ยเชิงเดี่ยว และปุ๋ยเชิงผสม ปุ๋ยเคมีแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.1 ปุ๋ยเชิงเดี่ยว คือ ปุ๋ยเคมีที่ให้แร่ธาตุที่พืชใช้เป็นอาหารเพียงอย่างเดียว เช่น ยูเรีย แคลเซียม ซุปเปอร์ฟอสเฟต หรือโพแทสเซียมคลอไรด์ ให้แร่ธาตุที่เป็นประโยชน์เพียงอย่างเดียว คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส หรือโพแทสเซียม ตามลำดับ

2.2 ปุ๋ยเชิงผสม คือ ปุ๋ยเคมีที่ได้จากการผสมปุ๋ยเคมีชนิดต่าง ๆ เข้าด้วยกัน เพื่อให้ได้แร่ธาตุตามต้องการมากกว่า 1 ชนิดขึ้นไป เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมฟอสเฟต ให้ธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เป็นต้น

สำหรับสมบัติที่แตกต่างระหว่างปุ๋ยอินทรีย์ และปุ๋ยอนินทรีย์ มีดังนี้ คือ

ปุ๋ยอินทรีย์	ปุ๋ยอนินทรีย์
1. ได้จากสิ่งมีชีวิตทั้งสด และซากที่ตายแล้ว	1. ได้จากการสังเคราะห์แร่ธาตุ
ตลอดจนมูลสัตว์	
2. สลายตัวได้ช้า พืชจึงดูดซึมไปใช้ได้ช้า	2. สลายตัวได้เร็ว พืชนำไปใช้ได้เร็ว
3. กำหนดปริมาณปุ๋ยและแร่ธาตุตามที่พืชต้องการ	3. กำหนดปริมาณที่ใช้และชนิดของแร่ธาตุ
ได้ยาก	ตามที่พืชต้องการได้ง่าย
4. มีราคาต่ำ	4. ราคาสูง
5. ทำให้ดินร่วนซุย	5. ใช้ติดต่อกันนาน ๆ จะทำให้ดินจับตัว
	แข็ง อากาศและน้ำถ่ายเทไม่สะดวก

แร่ธาตุที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช มี 16 ชนิด ที่สำคัญได้แก่ N, P, K, Mg, Ca, S, Zn, He, Cu, Mn, Mo, B, Cl แร่ธาตุที่พืชต้องการใช้ในการเจริญเติบโตนี้แบ่งตามความสำคัญได้เป็น

1. ธาตุอาหารหลัก ได้แก่ N, P, K เป็นธาตุที่พืชต้องการเป็นปริมาณซึ่งในดินมักจะมีแร่ธาตุดังกล่าวไม่เพียงพอ หรืออาจมีแร่ธาตุเหล่านี้อยู่ในรูปของสารประกอบที่พืชไม่สามารถนำไปใช้ได้ ด้วยเหตุนี้ในการทำปุ๋ยจึงต้องคำนึงถึงธาตุ N, P, K เป็นหลัก

2. ธาตุอาหารรอง เป็นปริมาณอาหารที่พืชต้องการรองลงมาจากธาตุ N, P, K ได้แก่ ธาตุแคลเซียม (Ca) แมกนีเซียม (Mg) และซัลเฟอร์ (S)

3. ธาตุอาหารเสริม เป็นธาตุอาหารที่พืชต้องการน้อย แต่ขาดไม่ได้ เพราะมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ในขบวนการต่าง ๆ เกี่ยวกับการดำรงชีพ ได้แก่ สังกะสี (Zn) เหล็ก (Fe) ทองแดง (Cu) แมงกานีส (Mn) โมลิบดีนัม (Mo) โบรอน (B) และคลอรีน (Cl)

สูตรของปุ๋ยหรือเกรดปุ๋ย (fertiliser analysis หรือ fertiliser grade) หมายถึงตัวเลขที่แสดงปริมาณร้อยละโดยมวลของธาตุอาหารหลักในปุ๋ย เช่น ปุ๋ยที่มีสูตร 12-10-8 หมายความว่าในปุ๋ยนี้มี ธาตุไนโตรเจน 12% โดยมวล ธาตุฟอสฟอรัสซึ่งอยู่ในรูปของ P_2O_5 10% โดยมวล และธาตุโปแตสเซียมซึ่งอยู่ในรูปของ K_2O 8% โดยมวล ส่วนที่เหลืออีก (100 - 12 - 10 - 8) 70 % โดยมวล เป็นสารอื่น ๆ ที่เติมลงไป เช่น ทราย ชอล์ก เปลือกถั่วลิสง หรือวัสดุอื่น ๆ

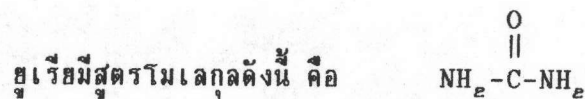
หลักเกณฑ์ในการใช้ปุ๋ย

1. ทั้งปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยอนินทรีย์ มีทั้งข้อดี และข้อเสีย ดังนั้นการเลือกใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือปุ๋ยอนินทรีย์อย่างใดอย่างหนึ่งเป็นการไม่ถูกต้อง ควรจะใช้ทั้งสองควบคู่กันไป แต่จะใช้ปุ๋ยชนิดใดมากหรือน้อยกว่ากันต้องขึ้นอยู่กับโครงสร้างของดินและชนิดของพืชที่ปลูก
2. ในการให้ปุ๋ยแก่พืชนั้นต้องให้อัตราที่เหมาะสม และตรงกับช่วงเวลาที่พืชต้องการ
3. ในการให้ปุ๋ยแก่พืชต้องทราบว่าพืชที่ปลูกต้องการแร่ธาตุใด เช่น พืชที่ต้องการใบต้องการธาตุไนโตรเจนมาก พืชที่ต้องการดอกก็ควรให้ธาตุฟอสฟอรัส พืชที่ต้องการหัวก็ให้ธาตุโปแตสเซียม แต่ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับช่วงอายุของพืช
4. ในการให้ปุ๋ยแก่พืช ถ้าใส่ปุ๋ยลงไปดินมากเกินไปพืชจะตาย เพราะสารละลายภายนอกเซลล์มีแรงดันออสโมติกสูงกว่าภายในเซลล์ น้ำจะแพร่ออกจากเซลล์ทำให้เซลล์เหี่ยว พืชก็จะตาย

การใส่ปุ๋ยเคมีภายในดินมาก ๆ เป็นเวลานานนั้น จะมีผลให้ดินมีสภาพเป็นกรด ทำให้ไม่เหมาะแก่การเพาะปลูก เพราะพืชส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตได้ดีในดินที่เป็นกรด หรือเบสอ่อน ๆ ในการสีที่ดินเป็นกรดเราแก้ไขได้โดยการเติมปูนขาว ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ปุ๋ยเคมีที่เติมลงไปดินมาก ๆ แล้วมีผลทำให้ดินเป็นกรดคือ ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต ปุ๋ยแอมโมเนียมคลอไรด์ และปุ๋ยยูเรีย

2.5 ปัญหาที่เกิดจากการใช้ปุ๋ยยูเรีย

ปุ๋ยยูเรียที่ใช้กันทั่วไปในการเกษตรมีสูตรของปุ๋ย คือ 46-0-0 หมายถึงมี ธาตุ N อยู่ร้อยละ 46 โดยมวลของปุ๋ยทั้งหมด ปุ๋ยยูเรียบริสุทธิ์จะประกอบด้วยยูเรีย 100% (มีธาตุ N ร้อยละ 46.66 โดยมวล) แต่ปุ๋ยยูเรียที่มีจำหน่ายทั่วไปจะมีสิ่งเจือปนบ้างเล็กน้อยจากกระบวนการผลิตปุ๋ยยูเรียที่มีความบริสุทธิ์สูงจะมีราคาแพงกว่าที่มีความบริสุทธิ์ต่ำ

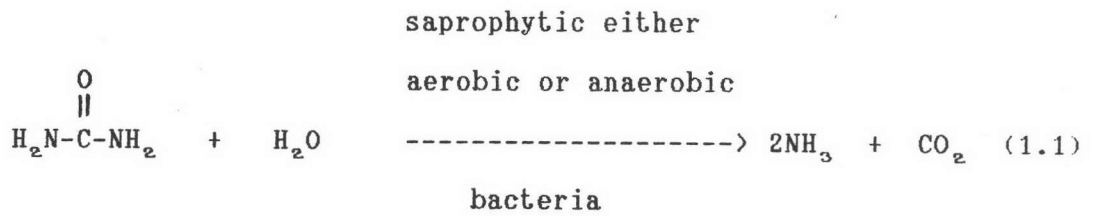


ปุ๋ยยูเรียที่ใช้กันทั่วไปมีลักษณะเป็นเม็ดกลมขนาดเล็กมากสีขาวขุ่น และเมื่อผ่านการขนส่ง เม็ดปุ๋ยมักจะแตกเป็นผงละเอียด ปุ๋ยยูเรียละลายน้ำได้ดีมาก

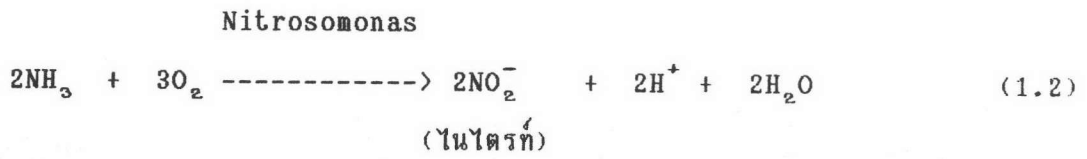
เนื่องจากปุ๋ยยูเรียให้ธาตุอาหารหลักกับพืชคือไนโตรเจนเพียงชนิดเดียวจึงเหมาะใช้กับพืชที่ต้องการเร่งการเจริญเติบโตของลำต้น และใบ เป็นพิเศษ ใช้กับพืชบางชนิด หรือใช้ในบาง

ช่วงการเจริญเติบโตของพืชที่ต้องการธาตุไนโตรเจนเป็นพิเศษ

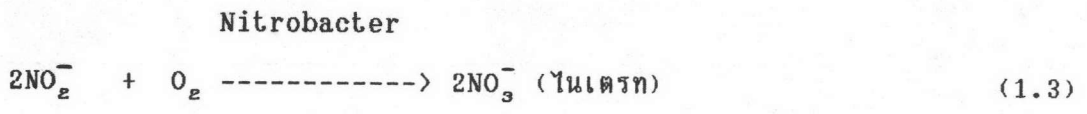
เมื่อมีการใช้ปุ๋ยยูเรีย ปุ๋ยยูเรียเมื่อสัมผัสกับความชื้นหรือน้ำ ยูเรียจะละลายออกมาอย่างรวดเร็ว และเมื่อพบกับแบคทีเรียในดินจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ 1.1



พืชสามารถนำแอมโมเนียที่เกิดไปใช้ในการสร้างโปรตีนในพืชได้ ปริมาณที่เกินความต้องการจะถูกออกซิไดส์โดย autotrophic nitrifying bacteria ไปเป็นไนไตรท์ และไนเตรทตามลำดับ ดังสมการ 1.2 และ 1.3



ไนไตรท์เป็นสารที่มีพิษต่อพืชคนและสัตว์ แต่ไม่สะสมอยู่ในดิน (หรือสะสมอยู่น้อยมาก) เพราะมีแบคทีเรียออกซิไดส์ไนไตรท์ต่อไปเป็นไนเตรท ดังสมการ 1.3



ไนเตรทที่เกิดขึ้นจะเป็นปุ๋ยสำหรับพืชต่อไป ซึ่งมักจะเกิดในปริมาณที่มากเกินความต้องการของพืช และจะถูกน้ำที่ไหลผ่านดินชะไป (เพราะดินไม่มีความสามารถที่จะยึดไว้) ทำให้ซึ่มลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน หรือลงสู่แหล่งน้ำต่าง ๆ ต่อไป นอกจากนี้ ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน ทั้งไนไตรท์ และไนเตรท สามารถถูกรีดิวซ์ไปเป็นแอมโมเนีย โดยขบวนการ denitrification แต่ปฏิกิริยาส่วนมากจะดำเนินต่อไป จนถึงได้ก๊าซไนโตรเจน ซึ่งจะหลุดไปสู่บรรยากาศ ทำให้เกิดการสูญเสียปุ๋ยในดิน นอกจากนี้ยังสูญเสียไปได้บ้าง ในรูปการระเหยของก๊าซแอมโมเนีย (กรรณิการ์ ศิริสิงห์, 2525)

จากการที่ปุ๋ยยูเรียละลายได้อย่างรวดเร็วทำให้พืชนำยูเรียไปใช้ได้ไม่ทันทำให้เกิดการสูญเสียปุ๋ย (องค์การอาหารและเกษตรกรรมแห่งสหประชาชาติ หรือ Food and Agriculture Organisation of the United Nations (FAO) ได้ประมาณการว่ายูเรียที่สูญเสียไปจาก

การใช้ปุ๋ยมีถึงประมาณ 40-70 % ของปุ๋ยที่ใช้) ยูเรียส่วนเกินที่ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน หรือ บนดิน ยิ่งก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่าง ๆ ได้แก่

- เกิดปรากฏการณ์ "eutrophication" ซึ่งเกิดจากการที่ไนเตรทซึ่งถูกชะล้างลงสู่ แหล่งน้ำทั่วไป จะไปเป็นสารอาหารช่วยในการเจริญเติบโตของพืชน้ำ เช่น สาหร่าย และวัชพืชน้ำอื่น ๆ ให้เจริญเติบโตมากผิดปกติ อย่างเช่นกรณีที่เรียกว่า "algae bloom" เป็นสาเหตุให้ระบบนิเวศเสียสมดุล สี กลิ่นของแหล่งน้ำเปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้สาหร่ายที่ปกคลุมผิวน้ำจะเป็นอุปสรรคต่อแสงและออกซิเจนที่จะลงสู่ใต้น้ำ สาหร่ายที่ตายทับถมเมื่อย่อยสลายก็จะทำให้ออกซิเจนของแหล่งน้ำลดลง และสาหร่ายบางชนิดเมื่อเน่าจะทำให้เกิดสารพิษได้

- ไนเตรทที่ซึมสู่แหล่งน้ำใต้ดิน (เช่น น้ำบาดาล) ซึ่งมีสภาพที่ขาดแคลนออกซิเจน จะมีแบคทีเรียในดินบางชนิด เช่น *Pseudomonas* นำเอา O_2 จากไนเตรทไปใช้ทำให้เกิดเป็นไนไตรท์ ซึ่งเป็นพิษก่อให้เกิดอันตราย เช่น โรค "methaemoglobinemia" ในทารก ซึ่งจะมีอาการเขียวช้ำตามตัว

- ในการบำบัดน้ำเสียที่มีไนเตรทเจือปนอยู่ในปริมาณมากพอ จะทำให้เกิดปัญหาจากตะกอนลอยตัว ก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัดน้ำเสียในขบวนการ activated sludge process

- น้ำดื่มที่มีไนเตรทในปริมาณที่เกินกว่า 10 มิลลิกรัมของไนโตรเจนต่อลิตร ก่อให้เกิดอันตรายได้

- เมื่อมีการใช้ปุ๋ยยูเรียเป็นเวลานาน ๆ จะมีการตกค้างของไนโตรเจนในดินในรูป NH_4^+ ซึ่งทำให้ดินมีความเป็นกรด และจับตัวแข็ง ทำให้ดินเสื่อมสภาพ

นอกจากปัญหามลพิษต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นแล้วยังเกิดปัญหาในการใช้งานด้านการเกษตร คือ เริ่มแรกเมื่อใส่ปุ๋ย ยูเรียจะละลายออกมาอย่างรวดเร็วทำให้ความเข้มข้นมีมากเกินไปเกินความต้องการ ถ้ามากพออาจทำลายต้นอ่อนของพืช และอาจยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชได้ เนื่องจากเซลล์พืชถูกทำลายจากแรงดันออสโมติก ต่อมาเมื่อยูเรียส่วนเกินถูกชะล้างไป ทำให้สูญเสียปุ๋ยไปอย่างรวดเร็วอาจเกิดปัญหาขาดแคลนสารอาหารของพืชได้อีก จากสาเหตุดังกล่าวทำให้การเจริญเติบโตของพืชไม่ดีเท่าที่ควร ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการควบคุมปริมาณการใช้ปุ๋ย และสิ้นเปลืองปุ๋ย

2.6 ความเป็นมาในการใช้ปุ๋ยชนิดควบคุมการปลดปล่อยสารอาหารของพืช

จากปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดกับการใช้ปุ๋ยยูเรียดังที่กล่าวมา ตลอดจนปัญหาจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่น ๆ ที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้อย่างรวดเร็ว จึงมีความพยายามจะควบคุมการปลดปล่อยสารอาหารของพืชจากปุ๋ยเหล่านี้ให้ค่อย ๆ ปลดปล่อยสารอาหารออกมาอย่างสม่ำเสมอ ที่สำคัญมีดังนี้

- แรกเริ่มใช้วิธีผลิตปุ๋ยยูเรียให้เม็ดปุ๋ยมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้ละลายได้ช้าลงบ้าง แต่ก็ยังมีการละลายได้รวดเร็วอยู่ ตัวอย่างปุ๋ยชนิดนี้เช่นปุ๋ยไซมูคตราเรือใบไวกิ่ง

- ต่อมามีการใช้วิธีเคลือบปุ๋ยยูเรียด้วยสารพวกกำมะถัน พบว่าสามารถควบคุมการปลดปล่อยยูเรียได้ดี แต่เม็ดปุ๋ยที่ได้มีความเปราะแตกง่าย และมีกระบวนการผลิตที่ซับซ้อนทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ปัจจุบันปุ๋ยชนิดนี้ยังมีการนำเข้าจากต่างประเทศอยู่ (Hepburn และ Arizal, 1988; Hepburn, Young และ Arizal, 1989)

- ในปี ค.ศ.1988 Hepburn และ Arizal (1988) นักวิจัยจาก Loughborough University of Technology แห่งสหราชอาณาจักร ได้ทดลองนำยางธรรมชาติมาผสมกับยูเรีย โดยทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง กำหนดให้อุณหภูมิของลูกกลิ้งอยู่ระหว่าง 85-95 องศาเซลเซียส โดยมีขั้นตอนดังนี้คือ

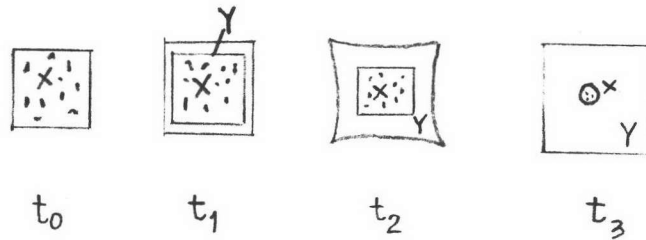
ขั้นตอนแรก บดผสมยางกับสารวัลคาไนซ์ และสารเร่งการวัลคาไนซ์ ได้แก่ ZnO , stearic acid , tetramethyl thiuram disulphide (TMTD), 2-mercaptobenzothiazole (MBT) และ sulphur

ขั้นตอนที่สองเติมยูเรียลงไปพร้อมกับเติม sealant ซึ่งได้แก่ natural rubber, polyethylene waste, aromatic oil (Dutrex 729 of Shell Chemicals), oleic acid และ microcrystalline paraffin wax

จากนั้นนำปุ๋ยตัวอย่างที่ได้ไปทำให้คงรูปที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส จากนั้นทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ตัดให้มีขนาดตามต้องการ แล้วนำไปวัดอัตราการปลดปล่อยยูเรีย จากปุ๋ยตัวอย่างโดยแช่ปุ๋ยตัวอย่างในถ้วยกลางที่เป็นน้ำกลั่น และทำการศึกษากิจกัผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่ออัตราการปลดปล่อยยูเรียจากปุ๋ยตัวอย่าง จากการทดลองได้ข้อสรุปที่น่าสนใจดังนี้

1. พบว่าปุ๋ยตัวอย่างจะประกอบด้วยยูเรียแพร่กระจายอยู่ในเมทริกซ์ของยาง เมื่อเม็ดปุ๋ยสัมผัสกับน้ำ เมทริกซ์ของยางจะเกิดการบวมน้ำทำให้ยูเรียค่อย ๆ ละลายและแพร่ผ่านเมทริกซ์

ของยางออกมา ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.8 ทำให้ป้อนตัวอย่างสามารถควบคุมการปลดปล่อยยาเรื้อรังได้



รูปที่ 2.8 แบบจำลองกระบวนการเปลี่ยนแปลงภายในเมทริกซ์ของยางซึ่งประกอบด้วยยาเรื้อรังแพร่กระจายอยู่; X = เมทริกซ์ของยางที่ประกอบด้วยยาเรื้อรัง (ของแข็ง)

Y = เมทริกซ์ของยางที่ประกอบด้วยยาเรื้อรังละลายอยู่ในเมทริกซ์ของยางซึ่งบวมน้ำอยู่

t = เวลาที่ผ่านไป โดยที่ $t_3 > t_2 > t_1 > t_0$

(Hepburn และ Arizal, 1988)

2. เม็ดป้อนที่ได้มีความทนทานต่อแรงกระแทก ไม่แตกหัก หรือ ร้าวซึมได้ง่าย เนื่องจากความยืดหยุ่นของยาง นอกจากนี้ยังมีกระบวนการผลิตที่ง่าย ไม่สลับซับซ้อน

3. ช่วงประมาณสัปดาห์แรกจะมีอัตราการปลดปล่อยค่อนข้างสูง เนื่องจากในช่วงแรกยาเรื้อรังซึ่งอยู่ที่บริเวณผิวของป้อนตัวอย่างสามารถละลายออกมาได้ง่าย

4. เมื่อความเข้มข้นของยาเรื้อรังในป้อนตัวอย่างเพิ่มขึ้น จะทำให้ป้อนตัวอย่างมีอัตราการปลดปล่อยยาเรื้อรังเพิ่มขึ้น

5. ถ้าใส่สาร sealant ในปริมาณความเข้มข้นต่ำ คือ มีความเข้มข้นโดยประมาณไม่เกิน 10 % โดยน้ำหนักของป้อนตัวอย่าง จะทำให้อัตราการปลดปล่อยของยาเรื้อรังเพิ่มขึ้น แต่ถ้าใส่มากกว่านั้น จะทำให้อัตราการปลดปล่อยยาเรื้อรังช้าลง และพบว่าเมื่อใช้ natural rubber เป็น sealant จะช่วยชะลอการปลดปล่อยยาเรื้อรัง ได้ดีกว่าใช้ microcrystalline paraffin wax ซึ่งดีกว่า oleic acid ดีกว่า Dutrex และดีกว่าการใช้ polyethylene waste เป็นสาร sealant ตามลำดับ

6. เมื่ออุณหภูมิของตัวกลางเพิ่มขึ้นจะทำให้อัตราการปลดปล่อยยาเรื้อรังเพิ่มขึ้น

7. อัตราการปลดปล่อยของยาเรื้อรังของป้อนตัวอย่างที่มีองค์การเชื่อมโฆงโมเลกุล 60 % มากกว่าอัตราการปลดปล่อยของป้อนตัวอย่างที่มีองค์การเชื่อมโฆงโมเลกุล 90 % เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

8. จากงานวิจัยได้พบว่า เกิดปัญหาในการหาปริมาณของสารวัลคาไนซ์ และสภาวะที่เหมาะสมในการวัลคาไนซ์ ที่จะทำให้ระยะเวลาในการคงรูปพอเหมาะกับการที่จะทำให้ผสมยูเรียให้ได้ในปริมาณที่มากพอและเข้ากับยางได้ดี โดยไม่เสียเวลาในการผสมสูตร

- ในปี ค.ศ. 1989 ได้มีการทดลองนำปุ๋ยตัวอย่างที่ได้จากการบดผสมยางกับยูเรียด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง มาทดสอบหาปริมาณยูเรียที่ถูกชะล้างด้วยน้ำ เปรียบเทียบกับปุ๋ยยูเรียที่ใช้กันทั่วไป ทำการทดลองจำลองสภาวะจริง โดยใช้คอลัมน์ที่บรรจุดินแล้วใส่ปุ๋ยไว้บนผิวดินพบว่าปุ๋ยตัวอย่างสามารถลดปริมาณยูเรียที่ถูกชะล้างไปกับน้ำได้ นอกจากนั้นยังมีการทดลองปลูกพืชโดยควบคุมสภาวะต่าง ๆ ในเรือนกระจกพบว่าพืชที่ใช้ปุ๋ยตัวอย่างจะมีการเจริญเติบโตที่ดีกว่าการใช้ปุ๋ยยูเรียโดยทั่วไป (Hepburn และคณะ, 1989)

- ในปี ค.ศ. 1990 Abo-Elela, Helaly และ Abdel Bary (1990) คณะวิจัยจากประเทศอียิปต์ได้มีการทดลองนำยางสดรีนบีวตะได้อื่นมาบดผสมกับปุ๋ยยูเรีย ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งโดยผลิตปุ๋ยตัวอย่าง 2 สูตร คือ สูตรแรกไม่ใส่สาร blowing agent (porofor BSH) ส่วนสูตรที่สองใส่สาร blowing agent แล้วทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่ออัตราการปลดปล่อยยูเรียของปุ๋ยตัวอย่าง จากผลการวิจัยได้ข้อสรุปดังนี้ คือ

1. จากการทดลองแช่ปุ๋ยตัวอย่างที่ได้ในตุ๊กกลางที่เป็นน้ำกลั่นพบว่าปุ๋ยตัวอย่างสามารถควบคุมการปลดปล่อยยูเรียได้ โดยปุ๋ยตัวอย่างสูตรที่ใส่สาร blowing agent มีอัตราการปลดปล่อยยูเรียสูงกว่าสูตรที่ไม่ใส่สาร blowing agent เล็กน้อย และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้อัตราการปลดปล่อยยูเรียสูงขึ้น

2. เมื่อทดลองแช่ปุ๋ยในตุ๊กกลางที่เป็นน้ำซึ่งมีคุณภาพต่างกัน ได้แก่ น้ำประปา น้ำจากแม่น้ำไนล์ ในประเทศอียิปต์ และน้ำบาดาล พบว่าปุ๋ยตัวอย่างสามารถควบคุมการปลดปล่อยยูเรียในน้ำเหล่านี้ได้ และอัตราการปลดปล่อยยูเรียของปุ๋ยตัวอย่างในตุ๊กกลางต่าง ๆ เรียงตามลำดับจากสูงไปต่ำ เป็นดังนี้ น้ำประปา > น้ำจากแม่น้ำไนล์ > น้ำบาดาล

- ในปี ค.ศ. 1992 Abdel-Barry และคณะ (1992) ซึ่งประกอบด้วยนักวิจัยจากประเทศอียิปต์ และประเทศเยเมน ได้ร่วมกันวิจัยนำยางธรรมชาติมาบดผสมกับยูเรียด้วยเครื่องบดผสมแบบสองลูกกลิ้ง นอกจากนั้นยังมีการเติมสารตัวเติมชนิดต่าง ๆ ลงไปในสูตรผสม และทำการศึกษาดังนี้ถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อการปลดปล่อยยูเรียจากปุ๋ยในตุ๊กกลาง (น้ำกลั่น) ได้ข้อสรุปดังนี้ คือ

1. เมื่อทดลองผลิตปุ๋ยตัวอย่าง โดยมีการเติมสารตัวเติมซึ่งได้แก่ carboxymethyl

cellulose (CMC) และ ดินเหนียว (clay) พบว่าปุ๋ยตัวอย่างสูตรที่เติม CMC จะมีอัตราการปลดปล่อยยูเรีย > สูตรที่เติม CMC + clay > สูตรที่ไม่มีสารตัวเติม > สูตรที่เติม clay ตามลำดับ

2. ปุ๋ยตัวอย่างสูตรที่เติมสารวัลคาไนซ์ จะมีอัตราการปลดปล่อย ช้ากว่าสูตรที่ไม่เติมสารวัลคาไนซ์

3. เมื่อความเข้มข้นของยูเรียในปุ๋ยตัวอย่างเพิ่มขึ้น อัตราการปลดปล่อยยูเรียจะเพิ่มขึ้น

- ในปี ค.ศ. 1993 Helaly และคณะ (1993) จากประเทศอียิปต์ได้ทดลองนำยางสไตรีนบิวตะไดอิน (SBR) มาบดผสมกับปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรท (NH_4NO_3) ด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง แล้วทำการศึกษาดังอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่ออัตราการปลดปล่อยแอมโมเนียมไนเตรทจากปุ๋ยตัวอย่างโดยแช่ปุ๋ยตัวอย่างในตุ๊กกลางที่เป็นน้ำกลั่น ได้ผลดังนี้ คือ

1. เมื่อ pH ของตุ๊กกลางเป็นกรดหรือเบส จะทำให้อัตราการปลดปล่อยแอมโมเนียมไนเตรทเพิ่มขึ้น

2. เมื่อมีสารตัวเติมได้แก่ ดินเหนียว (Clay) ในสูตรผสมปุ๋ยตัวอย่าง จะทำให้อัตราการปลดปล่อยแอมโมเนียมไนเตรทน้อยกว่า เมื่อไม่ได้เติมสารตัวเติม

3. เมื่ออุณหภูมิของตุ๊กกลางเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการปลดปล่อยแอมโมเนียมไนเตรทเพิ่มขึ้น

4. เมื่อความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนเตรทในปุ๋ยตัวอย่างเพิ่มขึ้น จะทำให้อัตราการปลดปล่อยแอมโมเนียมไนเตรทเพิ่มขึ้น

5. ในการใช้ยางสไตรีนบิวตะไดอิน (SBR) เป็นวัตถุเติมในการผลิตปุ๋ยตัวอย่าง พบว่าช่วยชะลอการปลดปล่อยแอมโมเนียมไนเตรทได้ดีกว่าการใช้ยางธรรมชาติ เนื่องจากหมู่ฟังก์ชันของ SBR จะช่วยกีดขวางการแพร่ผ่านของแอมโมเนียมไนเตรทออกมาจากเม็ดปุ๋ย