บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 วัสดุเชิงประกอบ (Composites) [1]

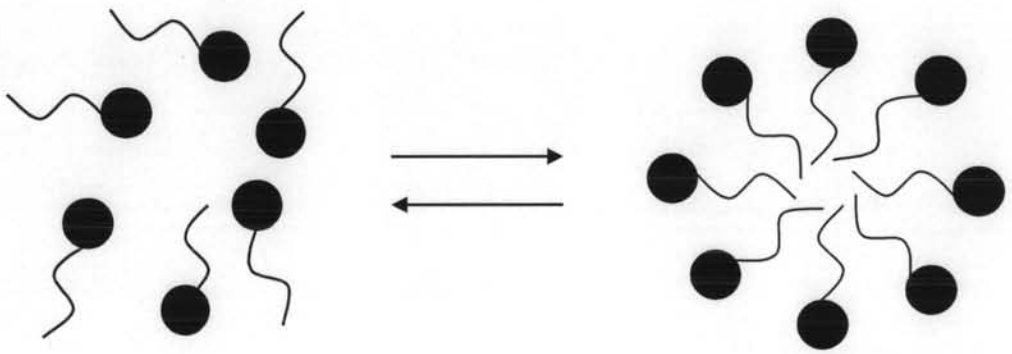
วัสดุเชิงประกอบถูกผลิตโดยการนำวัสดุสองชนิดมารวมกันและได้สมบัติที่ไม่สามารถได้มาจากวัสดุต้นแบบ วัสดุเชิงประกอบทำขึ้นเพื่อปรับปรุงสมบัติบางอย่างเช่น สมบัติในด้านความเหนียว ความแข็งแรง น้ำหนัก นำไปใช้ได้ในอุณหภูมิสูง การทนต่อการกัดกร่อน การนำความร้อน ความสามารถในการดูดซับเชื้อเพลิง

2.2 สารลดแรงตึงผิว (Surfactant) [2]

สารลดแรงตึงผิว มีโครงสร้างของโมเลกุลเป็นแบบแอมฟิฟิลิก (amphiphilic) ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่ชอบตัวทำละลาย และส่วนที่ไม่ชอบตัวทำละลาย ส่วนหนึ่งจะเป็นส่วนของไฮโดรฟิลิก (hydrophilic) คือส่วนที่ชอบน้ำอีกส่วนหนึ่งเป็น ไฮโดรโฟบิก (hydrophobic) คือส่วนที่ไม่ชอบน้ำ เมื่ออยู่ในสารละลายโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะสะสมอยู่บริเวณผิวของตัวทำละลายและส่งผลให้เกิดการลดค่าแรงตึงผิวของตัวทำละลายนั้น ค่าแรงตึงผิว (surface tension) มีหน่วยเป็น มิลลินิวตันต่อเมตร (mN/m) หรือ ไดน์ (dyne) โดยทั่วไปสารลดแรงตึงผิวสามารถทำหน้าที่ลดแรงตึงผิวระหว่างสองพื้นผิวที่ประจันกันได้ เช่น ลดแรงตึงผิวระหว่างของแข็งกับของเหลว ระหว่างของเหลวกับของเหลว และระหว่างของเหลวกับก๊าซ ค่าแรงตึงผิวระหว่างพื้นผิวของสารที่ประจันกันเรียกว่า ค่า interfacial tension

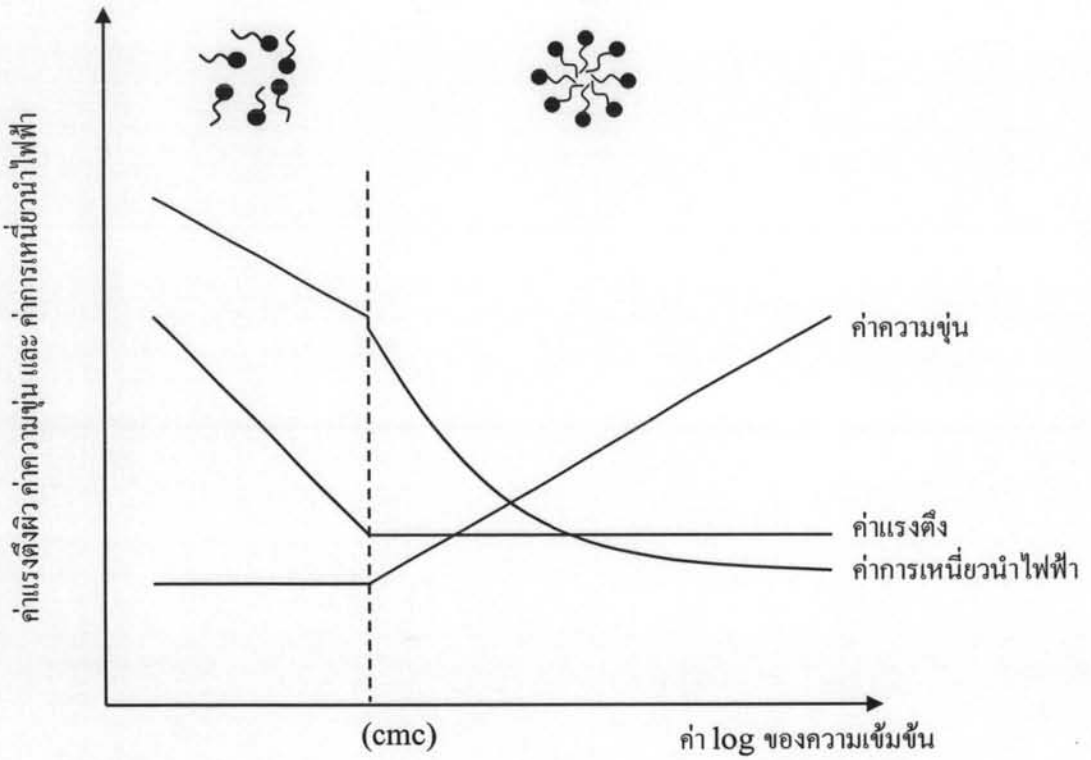
โครงสร้างโดยทั่วไปของสารลดแรงตึงผิวแสดงดังรูปที่ 2.1 ส่วนหัว (head group) คือ ส่วนที่ชอบน้ำ และไม่ชอบไขมันมีสมบัติมีขั้ว ส่วนหาง (tail group) คือส่วนที่ไม่ชอบน้ำ แต่ชอบไขมันและมีสมบัติไม่มีขั้ว เมื่อสารลดแรงตึงผิวมีความเข้มข้นสูงในตัวทำละลาย โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวจะหันส่วนที่ไม่ชอบตัวทำละลายเข้าหากัน ด้วยแรงขับสำหรับการรวมตัวของสารลดแรงตึงผิว (surfactant self-association) เกิดเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า ไมเซลล์ (micelle) ขึ้น ดังรูปที่ 2.2 ความเข้มข้น ณ จุดที่ทำให้โมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวมารวมตัวกันนี้เป็นสมบัติเฉพาะของสารลดแรงตึงผิวแต่ละชนิดเรียกความเข้มข้น ณ จุดนี้ว่า critical micelle concentration (CMC) ลักษณะการเกิดไมเซลล์ แสดงดังรูปที่ 2.2

รูปที่ 2.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของสารลดแรงตึงผิว



รูปที่ 2.2 การเกิดไมเซลล์ของโมเลกุลสารลดแรงตึงผิว

การเกิดไมเซลล์จะมีผลต่อค่าแรงตึงผิวของสารละลาย เมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในสารละลายเพิ่มขึ้น ค่าแรงตึงผิวของสารละลายจะลดลงจนถึงจุด Critical micelle concentration ค่าแรงตึงผิวของสารละลายจะไม่ลดลงอีก ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในสารละลายจะยังคงเพิ่มขึ้นอยู่ทั้งนี้ เนื่องจากโมเลกุลของสารลดแรงตึงผิวในสารละลยจะรวมตัวกันเป็นไมเซลล์ แต่เมื่อวัดค่าความขุ่นของสารละลายพบว่าค่าความขุ่นของสารละลายยังคงเพิ่มขึ้น ตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นของสารลดแรงตึงผิวดัง รูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวในสารละลายกับค่าแรงตึงผิว ค่าความขุ่น และค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าของสารละลาย

สารที่ละลายได้ยากในน้ำ เช่น สารอินทรีย์ประเภทไฮโดรโฟบิก ถ้านำไปละลายในสารละลายไมเซลล์ ขีดการละลายของสารอินทรีย์จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของสารอินทรีย์จะกระจัดกระจายเข้าไปอยู่ภายในไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิว และส่วนที่ไม่ชอบน้ำของสารลดแรงตึงผิวที่อยู่ภายในไมเซลล์จะทำหน้าที่เพิ่มการละลาย การละลายจะเพิ่มมากยิ่งขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวสูงกว่าค่า critical micelle concentration การละลายส่วนมากมักจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิว การใช้งานสารลดแรงตึงผิวในงานด้วนต่างๆ ได้แก่การทำเปียก (wetting agents), ตัวทำอีมัลสิไฟ (emulsifiers), ตัวกระจาย (dispersants), สารยับยั้งการสึกกร่อน (corrosion inhibitors), สารทำให้เกิดฟอง (foam boosters), สารลดฟอง (deformers), สบู่ (soaps), ดีเทอร์เจนท์ (detergents), ตัวทำละลาย (solubilizers), สารต้านไฟฟ้าสถิตย์ (antistatic agents), สารขึ้นรูปพลาสติก (plasticizers), และชื่อที่เรียกตามโครงสร้าง ได้แก่ แอมฟิไฟล์ (amphiphiles), แอมฟิพาธ (amphipaths) เป็นต้น

2.2.1 สารลดแรงตึงผิวธรรมชาติ (natural surfactants)

สารลดแรงตึงผิวสามารถพบได้ในธรรมชาติในสิ่งมีชีวิตทั่วไปและมีความสำคัญต่อสิ่งมีชีวิต เช่น ในเยื่อหุ้มเซลล์ที่มีฟอสโฟลิปิด (Phospholipids) ฟอสโฟลิปิดนี้จะทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวในเยื่อหุ้มเซลล์

ในน้ำนมไขมันส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปไตรกลีเซอไรด์ แต่มีจำนวนนอ้ยที่อยู่ในรูปฟอสโฟลิปิด และไดกลีเซอไรด์ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ช่วยให้อีมัลชั่นในนมเสถียร ในระหว่างกระบวนการย่อย อาหารจำพวกไขมันจะถูกทำให้เป็นอีมัลชั่นโดยฟอสโฟลิปิด หรือโมโนกลีเซอไรด์ จากนั้นเอนไซม์ไลเปส (lipase) จากตับอ่อนจะย่อยไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในรูปของอีมัลชั่นน้ำมันในน้ำ (oil/water) อีมัลชั่นนี้จะถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดไขมันอิสระและโมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งทั้งสองเป็นสารลดแรงตึงผิวที่แรงและสามารถเกิดไมเซลล์ร่วมกับเกลือน้ำดีได้เป็นไขมันละลายง่าย (solubilised fat) ที่จำเป็นซึ่งสามารถผ่านผนังลำไส้ได้ เกลือน้ำดีซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวนี้จะผลิตขึ้นในตับละนำไปเก็บไว้ในถุงน้ำดี สารลดแรงตึงผิวที่พบในระบบเลือดได้แก่ ซีรัมอัลบูมินซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารก่ออีมัลชั่นที่ดี และยังสารลดแรงตึงผิวที่ได้จากธรรมชาติอื่นๆ เช่น อคาเชีย (acacia), เจลาติน (gelatin), ลาโนลิน (lanolin), ขี้ผึ้ง (beeswax), และเลซิติน (lecithin) เป็นต้น

2.2.2 สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ (Synthetic surfactants)

การดำเนินกิจกรรมและกระบวนการต่างๆ ทั้งในบ้านเรือนและในโรงงานอุตสาหกรรมต้ออาศัยสารลดแรงตึงผิว ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวที่ได้จากการสังเคราะห์มากกว่าสารลดแรงตึงผิวที่ได้จากธรรมชาติ สารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ที่ผลิตได้จากปิโตรลียมเช่น ได้จากน้ำมันพืช น้ำมันสัตว์และไขมัน กรดไขมันและแอลกอฮอล์ คาร์โบไฮเดรต เป็นต้น โดยผ่านกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ตัวอย่างของสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ที่ดีที่สุดคือ ดีเทอร์เจนท์ (detergent) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทำความสะอาด โดยมีส่วนประกอบหลักเป็นสารลดแรงตึงผิว สบู่เป็นดีเทอร์เจนท์ที่มีปรากฏตั้งแต่สมัยโรมัน ในตอนแรกสบู่ถูกผลิตขึ้นภายในครอบครัว ต่อมาเมื่ออุตสาหกรรมขนสัตว์ได้เจริญเติบโตขึ้นเป็นผลให้มีโรงงานผลิตสบู่เพื่อเป็นการค้าขึ้นในศตวรรษที่ 13 แม้ว่าสบู่ยังคงมีมูลค่ามากและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มมากขึ้นแต่ก็มีการแนะนำสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ขึ้นในปี 1940 เป็นการเริ่มต้นของวิวัฒนาการของผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดทั้งในบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม ปัจจุบันทั่วโลกได้มีการใช้ผลิตภัณฑ์สารลดแรงตึงผิวประมาณ

1,000,000 ตันต่อปี ซึ่งนอกจากใช้ในบ้านเรือนแล้ว ในอุตสาหกรรมใหญ่ๆก็มีการใช้สารลดแรงตึงผิว เช่น อุตสาหกรรมการฟอกย้อม อุตสาหกรรมเส้นใย อุตสาหกรรมการถลุงแร่ อุตสาหกรรมน้ำมัน อุตสาหกรรมยาฆ่าแมลง อุตสาหกรรมยา และอุตสาหกรรมพลาสติก ซึ่งแต่ละชนิดเป็นอุตสาหกรรมหลัก และทั้งหมดต่างใช้สารลดแรงตึงผิว จึงจัดได้ว่าสารลดแรงตึงผิวมีบทบาทสำคัญยิ่งในทางเศรษฐกิจ

2.2.3 ชนิดของสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์

สารลดแรงตึงผิวส่วนใหญ่เป็นสารละลายซึ่งประกอบด้วยส่วนของโมเลกุลแอมฟิฟิลิก 2ส่วนได้แก่ ส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) เราสามารถจำแนกชนิดของสารลดแรงตึงผิว โดยอาศัยความแตกต่างในโครงสร้างของโมเลกุล ได้ดังนี้

1. กลุ่มชอบน้ำ (Hydrophilic)

สามารถแบ่งกลุ่มของสารลดแรงตึงผิวสังเคราะห์ตามโครงสร้สงของโมเลกุล ความแรงของขั้ว และประจุ ของกลุ่มที่ชอบน้ำหรือกลุ่มหัว (Head group)

1.1 Anionic surfactants (สารลดแรงตึงผิวประจุลบ) ตัวอย่างของสารลดแรงติงผิวกลุ่มนี้ประกอบด้วยสบู่ ($-CO_2$) และสารดีเทอร์เจนท์สังเคราะห์ในยุคต้นๆ ซึ่งประกอบด้วยซัลโฟเนต (sulphonates ($-SO^-_3$)) และซัลเฟต (sulphates ($-SO^-_4$)) ทั้งหมดยังคงเป็นสารลดแรงตึงผิวที่นิยมใช้ในการทำความสะอาด โดยที่ซัลโฟเนต (sulphonates) และซัลเฟต (sulphates) มีสมบัติเหนือกว่าคาร์บอกซิเลต (carboxylates) โดยสามารถทนต่ออิออนของโลหะในน้ำกระด้างได้ดีมาก

1.2 Cationic surfactants (สารลดแรงตึงผิวประจุบวก) มักจะเป็นพวกควอเทอร์นารีแอมโมเนียม (quaternary ammonium), อิมมิดาโซลิเนียม (imidazolinium) หรือสารประกอบอัลคิล ไพริดิเนียม (alkyl ammonium) ในทางปฏิบัติประจุบวกที่กลุ่มหัว (head group) ของมันจะทำให้สามารถจับกับประจุลบบนเส้นใย เช่น ฝ้าย และ ผม ได้แน่นมาก จึงนิยมใช้ในงานที่เกี่ยวกับผ้า และในครีมนวดผม

1.3 Zwitterionic surfactants หรือ Amphoteric surfactant เป็นสารลดแรงตึงผิวที่โครงสร้างของโมเลกุลประกอบด้วยทั้งประจุลบ และประจุบวก มีโครงสร้างของบีเทน (betaines ($-N^+ (CH_3)_2CH_2SO^-_3$)) หรือ ซัลโฟบีเทน ($-N^+ (CH_3)_2CH_2SO^-_3$)) สารประกอบกลุ่มนี้ให้ความละมุนต่อผิวหนังมากกว่า Anionic surfactants และระคายเคืองตาน้อยมาก จึงนิยมใช้กับแชมพูเด็ก

1.4 Non-ionic surfactants เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ไร้ประจุ ตัวอย่างที่สำคัญได้แก่ เอธทอกซิเลต (ethoxylate ($-(OCH_2CH_2)_nOH$)) ที่ใช้งานอย่างกว้างขวางสำหรับการชะล้าง โดยสามารถทำให้เกิดอีมัลชั่นที่อุณหภูมิต่ำ สารลดแรงตึงผิวในกลุ่มนี้ เรียกว่า สารประกอบเซมิโพลาร์ (semi-polar) เช่น amine oxides, sulphoxide และ phosphine oxides โครงสร้างของโมเลกุลส่วนใหญ่มักจะประกอบด้วยเอธิลีน ออกไซด์ (ethylene oxide chain) ซึ่งเป็นส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic part) ข้อดีของสารกลุ่มนี้คือ ไม่เป็นพิษ สามารถใช้ได้กับค่าความเป็นกรด-ด่างในช่วงกว้าง

1.5 Combination surfactants คือสารลดแรงตึงผิวที่รวมเอากลุ่มหัว (head group) ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นในข้อ 1.1, 1.2, 1.3 และ 1.4 ไว้ในสารลดแรงตึงผิวชนิดเดียว โดยทั่วไปจะรวมเอาทั้งกลุ่ม non-ionic และกลุ่ม anionic เข้าไว้ เช่น alkyl ethoxy sulphates ($-(OCH_2CH_2)_n OSO^-_3$) สารลดแรงตึงผิวในกลุ่มนี้มีความละมุนต่อผิวหนัง จึงมักใช้กับผลิตภัณฑ์ที่ผิวหนังมักสัมผัสด้วย เช่น น้ำยาล้างจาน และแชมพู

2. กลุ่มไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic group)

ส่วนนี้ของสารลดแรงตึงผิวจะเป็นส่วนหาง (tail group) และโดยทั่วไปจะเป็นกลุ่มไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ส่วนหางของสารลดแรงตึงผิวประเภทสบู่ มักจะเป็นกลุ่มอัลคิล (alkyl group) ที่อยู่ในรูปกรดไขมันที่ได้จากการย่อยไขมันและน้ำมัน ในยุคต้นๆ สบู่ประกอบด้วยอัลคิล เบนซีน ซัลโฟเนต (alkyl benzene sulphonates) ซึ่งเป็นกลุ่มอัลคิลที่มักจะมีกิ่งบนสายโซ่ สายอัลคิลที่มีกิ่งนี้จะย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก จึงยังคงตกค้างอยู่ในน้ำทิ้งที่บำบัดแล้วเป็นเหตุให้เกิดฟองในแม่น้ำลำธาร อย่างไรก็ดีได้มีการใช้อัลคิล เบนซีน ซัลโฟเนต ที่มีโครงสร้างเป็นสายตรงแทน ซึ่งสามารถย่อยสลายทางชีวภาพได้ และเพื่อให้ปลอดภัยต่อสภาวะแวดล้อมยิ่งขึ้น ได้มีการทำให้กลุ่มหาง (tail group) ของสบู่ปราศจากสารประกอบอะโรมาติก (aromatic) ซึ่งย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก

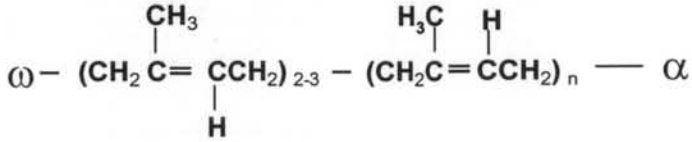
2.3 น้ำยางธรรมชาติ (Natural Rubber Latex) [3, 4]

พืชที่ให้ยางธรรมชาติเป็นไม้ยืนต้นขนาดใหญ่ เรียกว่า ต้นยางพารา มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า Hevea brasiliensis ซึ่งแต่เดิมมีอยู่เฉพาะในทวีปอเมริกาใต้เท่านั้น ต่อมาได้มีผู้นำมาปลูกในทวีปเอเชียและแอฟริกา เนื่องจากสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของต้นยางพารา ดังนั้น ปัจจุบันในแถบภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้จึงสามารถผลิตยางธรรมชาติได้มากกว่าร้อยละ 90 ของยางธรรมชาติที่ใช้ในโลก ที่เหลือได้มาจากแถบแอฟริกากลาง สำหรับประเทศไทยสามารถปลูกยางพาราได้งอกงามดีทั้งในภาคใต้และภาคตะวันออก ซึ่งโดยปกติจะปลูกพันธุ์พื้นเมืองแล้วต่อตาด้วยพันธุ์ที่ให้น้ำยางดี เมื่อต้นยางโตเต็มที่แล้วซึ่งมีอายุประมาณ 7 ปี ชาวสวนจะเก็บน้ำยางโดยการกรีดเปลือกของลำต้น (Tapping) ให้น้ำยางไหลซึมออกมา การกรีดยางจะทำในช่วงเวลากลางคืนก่อนรุ่งเช้า เพราะต้นยางจะให้น้ำยางมาก ในช่วงกลางวันจะให้น้ำยางน้อย และช่วงที่ฝนตกน้ำฝนจะปนกับน้ำยางในถ้วยรองน้ำยางทำให้ชาวสวนกรีดยางไม่ได้

น้ำยางที่ได้มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่นข้นคล้ายน้ำนม มีกลิ่นหอมเล็กน้อย เรียกว่า น้ำยางสด (rubber latex) ประกอบด้วยอนุภาคยางเล็กๆ แขวนลอยอยู่ในน้ำในลักษณะอิมัลชัน (emulsion) มีเนื้อของยางประมาณร้อยละ 25 ถึง 45 ขึ้นกับพันธุ์ของต้นยาง อายุของต้นยาง และฤดูกาล

2.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติเป็นสารประกอบในกลุ่มพอลิเมอร์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ ประกอบด้วยหน่วยย่อยชนิดเดียวที่ซ้ำๆกันเป็นจำนวนมาก โครงสร้างทางเคมีของหน่วยย่อยของยางธรรมชาติประกอบด้วยคาร์บอน 5 อะตอมและไฮโดรเจน 8 อะตอม C_5H_8 มีชื่อทางเคมีว่า ไอโซพรีน (isoprene) หน่วยย่อยดังกล่าวเมื่อเกิดการเชื่อมโยงเป็นโมเลกุลจะเรียงตัวกันในแบบ Cis-configuration เรียกชื่อโมเลกุลยางว่า cis-1,4-polyisoprene โดยจะแสดงโครงสร้างตามรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างโมเลกุลของยางธรรมชาติ

โดย ω และ α เป็นหมู่ฟังก์ชันที่ปลายโมเลกุลที่มีสมมติฐานว่าเป็นโปรตีน และกรดไขมันตามลำดับ

2.3.2 สมบัติและส่วนประกอบของน้ำยาง

น้ำยางสดจากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวหรือสีครีม ในทางเคมีจัดเป็นสารแขวนลอย มีความหนาแน่น 0.975 – 0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีค่า pH 6.5 – 7.0 ความหนืดมีค่าประมาณ 12-15 เซนติพอยส์ (อาจมีค่าไม่แน่นอน ขึ้นกับส่วนประกอบในน้ำยางนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น พันธุ์ยาง อายุยาง ฤดูกรีดยาง เป็นต้น) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000,000 รูปร่างของอนุภาคยางเป็นรูปกลม หรือ รูปลูกแพร์ น้ำยางจะมีขนาดอนุภาคต่างๆ กัน แขวนลอยหรือกระจายอยู่ในตัวกลางที่เป็นของเหลว (disperse medium) โดยอนุภาคเหล่านี้จะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กกว่า 5 ไมครอน และมีประจุลบผลักกันอยู่ตลอดเวลาจึงทำให้อนุภาคเหล่านี้สามารถแขวนลอย และคงสภาพเป็นยางเหลวอยู่ได้นานจนกว่าจะมีภาวะแวดล้อม และปัจจัยต่างๆ มารบกวนจนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

น้ำยางมีลักษณะเป็นสารละลายคอลลอยด์ (colloid) ชนิดที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย (hydrosol) แต่มีลักษณะพิเศษ คือ น้ำยางมีลักษณะกึ่งกลางระหว่างสารที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และสารที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) แต่ลักษณะไม่ชอบน้ำจะเด่นชัดกว่า โดยส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติแสดงได้ดังตารางที่ 2.1

เนื้อยางแห้งในน้ำยาง (dry rubber content, DRC) มีอยู่ประมาณร้อยละ 20-45 โดยน้ำหนัก ประกอบด้วยสารรับเบอร์ไฮโดรคาร์บอน (rubber hydrocarbon) ประมาณร้อยละ 92 ที่เหลือเป็นสารอื่นที่ไม่ใช่ยางปนอยู่ ได้แก่ โปรตีน ไกลโคไซด์ ไขมัน เกลือแร่ และเอนไซม์ สารที่ไม่ใช่ยางเหล่านี้แม้มีเพียงเล็กน้อย จะมีผลต่อการวัลคาไนซ์ (vulcanization) และสมบัติของยางเป็นอย่างมาก นอกจากนี้น้ำยางที่ได้ยังมีส่วนประกอบไม่แน่นอน จะเปลี่ยนไปตามฤดูกาล สภาพดินฟ้าอากาศ ชนิดของดิน พันธุ์ยาง การกรีดยาง ความยาวของรอยกรีด อายุของต้นยาง ความถี่ของการกรีดยาง ช่วงเวลาของการกรีดยาง การใช้สารเคมีเร่งน้ำยาง และปัจจัยประกอบอื่นๆ เช่น ในฤดูฝนจะมีน้ำฝนปนอยู่ในถ้วยรองน้ำยาง

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

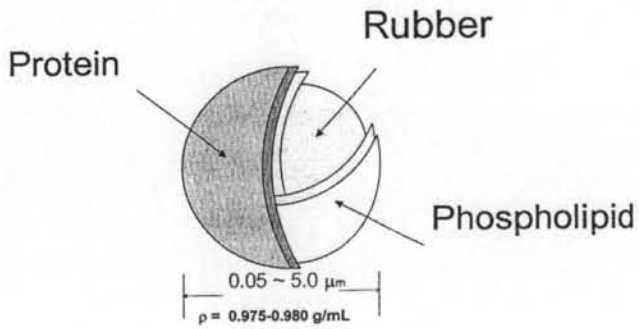
ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก)
ของแข็งทั้งหมด (Total Solid Content, TSC)	36
เนื้อยางแห้ง (Dry Rubber Content, DRC)	33
สารพวกโปรตีน	1 - 1.5
เถ้า	สูงถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำในปริมาณที่รวมกับสารอื่น ๆ แล้วเป็น	100

ส่วนประกอบต่างๆ ในน้ำยาง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

1. ส่วนที่เป็นเนื้อยาง 35 เปอร์เซ็นต์
2. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง 65 เปอร์เซ็นต์
   - 2.1 ส่วนที่เป็นน้ำ 55 เปอร์เซ็นต์
   - 2.2 ส่วนของลูทอยด์ และสารอื่น 10 เปอร์เซ็นต์

1. ส่วนที่เป็นเนื้อยาง

1.1 อนุภาคยาง อนุภาคยางแสดงดังรูปที่ 2.5 ถูกห่อหุ้มด้วยสารจำพวกไขมันและโปรตีน โดยโปรตีนจะอยู่ชั้นนอก และอาจมีโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โปแตสเซียม และทองแดงปะปนอยู่ปริมาณเล็กน้อย



รูปที่ 2.5 ลักษณะอนุภาคยางธรรมชาติ

1.2 โปรตีน ส่วนของสารพวกโปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงบริเวณผิวรอบนอกของอนุภาคยางมี อยู่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในยาง ส่วนที่เหลือประมาณ 50เปอร์เซ็นต์ จะอยู่ในชั้นน้ำ และอีก 25 เปอร์เซ็นต์จะปะปนอยู่ในส่วนของสารลูทอยด์ โปรตีนบนผิวของอนุภาคยางนี้มีส่วนประกอบของกำมะถัน (Cystine disulphide linkage) อยู่ประมาณ 5เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นขณะที่น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพ จะเกิดการบูดเน่าโดยโปรตีนส่วนนี้จะสลายตัวให้สารประกอบพวกไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารเมอร์แคปแทน (Mercaptan) ทำให้มีกลิ่นเหม็น

1.3 ไขมัน ไขมันซึ่งอยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยางและโปรตีน ส่วนใหญ่เป็นสารพวกฟอสฟอไลปิด ชนิด α-Lecithin เชื่อว่าทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวของอนุภาคยาง น้ำยางในสภาวะที่เป็นด่าง เช่น มีแอมโมเนียอยู่ (ประมาณ 0.6% ขึ้นไป) ฟอสฟอไลปิดจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันที่มีโมเลกุลยาว (Long chain fatty acid) ซึ่งจะรวมตัวกับแอมโมเนียกลายเป็นสบู่ ทำให้น้ำยางมีความเสถียรมากขึ้น

2. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง

2.1 ส่วนที่เป็นน้ำ หรือซีรัม ซีรัม (Serum) ของน้ำยาง มีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยสารต่างๆ คือ

1) คาร์โบไฮเดรต

2) โปรตีนและกรดอะมิโน

2.2 ส่วนของลูทอยด์และสารอื่นๆ

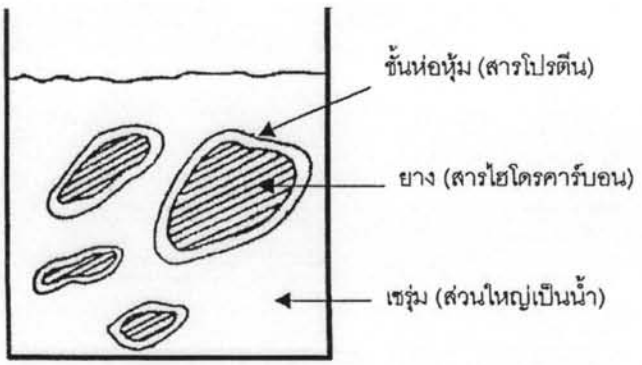
1) ลูทอยด์ เป็นอนุภาคค่อนข้างกลม ห่อหุ้มด้วยเยื่อบางๆ ภายในจะมีทั้งสารละลายและสารที่แขวนลอย ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตีน เนื่องจากถูกห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อชั้นเดียว สามารถเกิดการออสโมซิสได้ง่าย ดังนั้นการเติมน้ำลงในน้ำยางสด จะทำให้ลูทอยด์บวมและแตกง่าย ขณะที่ลูทอยด์เกิดการพองตัวมีผลทำให้น้ำยางมีความหนืดมากขึ้น และเมื่อลูทอยด์แตกความหนืดก็จะลดลง

2) อนุภาคเฟรย์-วิสลิ่ง (Frey Wyssling) เป็นสารที่ไม่ใช่ยางมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ายาง แต่ความหนาแน่นน้อยกว่า มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีผนังล้อมรอบสองชั้น มีปริมาณไม่มากนัก ประกอบด้วยสารเม็ดสีพวกคาโรตินอยด์ ซึ่งทำให้ยางมีสีเหลืองเข้ม สามารถรวมตัวกับแอมโมเนียและแยกตัวออกจากยางมาอยู่ในส่วนของเซรุ่ม

2.3.3 การเก็บรักษาสภาพน้ำยาง

น้ำยางสดที่ได้จากการกรีดยาง จะคงสภาพความเป็นน้ำยางอยู่ได้ช่วงระยะเวลาหนึ่ง ไม่เกิน 6 ชั่วโมง จากนั้นน้ำยางจะเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็กๆ คล้ายเม็ดพริก แล้วค่อยๆหนืดขึ้นอนุภาคยางจะเริ่มจับตัวเป็นก้อนใหญ่ขึ้น จนกระทั่งน้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพ โดยน้ำยางจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยาง และส่วนที่เป็นซีรัม ต่อมาน้ำยางจะเริ่มเกิดการบูดเน่า และมีกลิ่นเหม็น ปัจจัยสำคัญที่ทำให้น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพ คือ สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ การเจริญเติบโตของแบคทีเรียในน้ำยาง ความเสถียรของน้ำยางในแต่ละพันธุ์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณธาตุโลหะอิออนที่มีอยู่ในน้ำยาง และการแตกของสารลูทอยด์หลังการกรีดยาง ดังนั้นเพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยาง เพื่อไม่ให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกันเองตามธรรมชาติ จำเป็นต้องเติมสารเคมีลงในน้ำยางเพื่อเก็บรักษาน้ำยาง

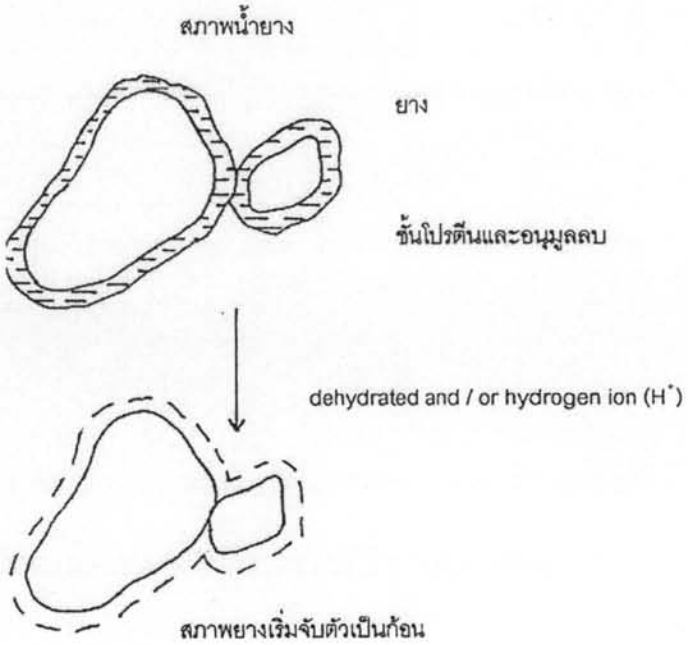
น้ำยางสดเป็นสารแขวนลอยที่มีส่วนของอนุภาคยาง แขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่าเซรุ่ม (Serum) ในน้ำยางมีส่วนของสารโปรตีน ส่วนหนึ่งของสารโปรตีนนี้จะดูดซับอยู่รอบผิวของอนุภาคยาง เปลือก ห่อหุ้มอนุภาคไว้ ดังรูปที่ 2.6 ชั้นห่อหุ้มนี้ มีความสำคัญต่อสถานะความคงตัว เพราะชั้นโปรตีนนี้ป้องกันไม่ให้แต่ละอนุภาคยางรวมกัน



รูปที่ 2.6 สถานะการเป็นสารแขวนลอยของน้ำยางสด

นอกจากนั้นชั้นโปรตีนจะห่อหุ้มทำหน้าที่รักษาสถานะการเป็นของเหลวให้น้ำยาง แล้วในชั้นโปรตีนยังมีอนุมูลลบของคาร์บอกซิเลต (carboxylate, $RCOO^-$) ซึ่งก่อให้เกิดการผลักกันระหว่างอนุภาคยาง นั่นคือน้ำยางคงสภาพเป็นของเหลวอยู่ได้ด้วยปัจจัยสำคัญ 2 ประการ คือ ชั้นโปรตีนที่ห่อหุ้มอนุภาคยาง และอนุมูลของคาร์บอกซิเลต

การเสียสภาพจากการเป็นของเหลวของน้ำยาง จะเกิดขึ้นเมื่อมีการทำลายปัจจัยสำคัญทั้งสองดังกล่าวข้างต้น เช่น การสูญเสียน้ำ (Dehydrated) ในชั้นของโปรตีน การทำลายอนุมูลลบของคาร์บอกซิเลต สภาพที่น้ำยางถูกกระทบกระเทือนดังกล่าวนี้ จะทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกับจับเป็นก้อนยาง เรียกว่า โคแอกกูลัม (coagulum) แยกจากส่วนของเซรุ่ม ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 น้ำยางเสียสภาพจับเป็นก้อนยาง

1 สมบัติของสารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยาง

1.1 มีสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่มีอยู่ในน้ำยาง เรียกสารนี้ว่า สารฆ่าแบคทีเรีย

1.2 เป็นสารที่เพิ่มเสถียรภาพของอนุภาคยางให้อยู่ในสภาพของคอลลอยด์ได้ โดยเพิ่มประจุระหว่างอนุภาคยาง และน้ำที่อยู่รอบๆผิวอนุภาคยาง ซึ่งผิวของอนุภาคยางมีประจุเป็นประจุลบ และมีฤทธิ์เป็นด่าง ดังนั้น สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางจึงควรมีฤทธิ์เป็นด่างหรือ เป็นพวกสารเสถียร

1.3 เป็นสารซึ่งสามารถทำให้อนุมูลของโลหะหนักไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา หรือเกิดการตกตะกอนเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำ เช่น อนุมูลของโลหะแคลเซียม หรือแมกนีเซียม เป็นต้น

1.4 มีความสามารถทำปฏิกิริยากับสารพวกคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีอยู่ในน้ำยางทำให้ไม่มีสารที่เป็นอาหารของแบคทีเรียเหลืออยู่

1.5 ต้องมีสมบัติไม่ทำให้คุณภาพของยางเปลี่ยน เช่น สียางเปลี่ยนไป

1.6 ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ กลิ่นไม่รุนแรงจนเกินไป สะดวก และปลอดภัยในการเก็บรักษา และการขนส่ง

1.7 ราคาถูก

2. ชนิดของสารเคมีที่ใช้เก็บรักษาน้ำยาง

สารเคมีที่ใช้เก็บรักษาน้ำยางสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามระยะเวลาในการเก็บรักษา คือ

2.1 สารเคมีเก็บรักษาน้ำยางในระยะสั้น

การเก็บรักษาน้ำยางโดยวิธีนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาน้ำยางให้คงสภาพในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ซึ่งอาจเป็นเพียง 2-3 วันเท่านั้น ก่อนที่จะนำน้ำยางมาแปรรูปเป็นยางแห้ง หรือ น้ำยางข้นต่อไป สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางชนิดนี้ เรียกว่า สารป้องกันการจับตัว ได้แก่แอมโมเนีย โซเดียมซัลไฟต์ ฟอร์มาลดีไฮด์ เป็นต้น

2.2 สารเคมีเก็บรักษาน้ำยางในระยะเวลานาน

สารเคมีชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้เพื่อเก็บรักษาน้ำยางข้น ให้คงสภาพเป็นของเหลวไม่ให้เกิดการบูดเน่า หรือ มีกลิ่นเหม็น น้ำยางอาจต้องถูกลำเลียงไปในระยะทางไกลๆ เช่น ส่งออกต่างประเทศ หรือ น้ำยางที่เก็บไว้ในคลังเก็บสินค้าก่อนนำมาใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ สารเคมีที่ใช้เก็บรักษาน้ำยางชนิดนี้ เรียกว่า สารรักษาสภาพน้ำยาง ได้แก่ แอมโมเนีย และแอมโมเนียใช้ร่วมกับสารเคมีอื่น สารเคมีที่ใช้ร่วมกันนี้ เรียกว่า สารรักษาสภาพน้ำยางทุติยภูมิ (Secondary Preservative) ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ โซเดียมเพนตะคลอโรฟีเนต เป็นต้น

2.3.4 การเสียเสถียรภาพของน้ำยาง (destability) [5]

1. ลักษณะของการเสียเสถียรภาพของน้ำยางที่เกิดขึ้นแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ

1.1 เกิดการรวมตัวของอนุภาคของยางอย่างรวดเร็วแล้วแยกตัวออกจากน้ำที่เป็นเซรุ่ม ที่มีลักษณะใส ซึ่งเรียกว่า โคแอกูเลชัน (coagulation) ตัวอย่างเช่น การจับตัวของน้ำยางด้วยกรดแก่ของการทำยางแผ่นจากน้ำยางธรรมชาติ

1.2 การเกิดการจับตัวของน้ำยางในลักษณะที่น้ำยางเปลี่ยนจากของเหลวไปเป็นองแข็งอย่างช้าๆ และได้ของแข็งที่มีปริมาตรเท่าเดิม ลักษณะของยางที่เป็นแบบเจล (gel) ซึ่งเราเรียกว่า เจลเลชัน (gelation) ปรากฏการณ์ที่ตามมาจากการจับตัวด้วยวิธีนี้คือ การหดตัวของยางที่บีบเอาเซรุ่มออกจากยางซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่าซีเนอรีซีส (syneresis) ทำให้ยางที่ได้หดตัวลงได้ ตัวอย่างการจับตัวแบบนี้คือ กระบวนการทำฟองน้ำแบบเจล ซึ่งการทำผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม (dipping) ซึ่งจะเห็นว่าฟองน้ำที่ได้จะมีขนาดเล็กกว่าเบ้าพิมพ์เสมอ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่อยู่ในยาง

1.3 การเกิดการจับตัวของอนุภาคยางที่เป็นเม็ดเล็กๆ ที่ยังกระจายอยู่ในน้ำเซรุ่มที่ขุ่นแบบ milky solution ซึ่งเราเรียกการจับตัวของยางแบบนี้ว่า ฟลอกคูเลชัน (flocculation) เนื่องจากการจับตัวแบบนี้ได้ยางที่จับเป็นลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ ดังนั้นบางครั้งเราก็เรียกการจับตัวของยางแบบนี้ว่า micro coagulation

2. สาเหตุที่ทำให้น้ำยางเกิดการเสียเสถียรภาพเกิดขึ้นได้ 2 สาเหตุใหญ่ๆ

2.1 สาเหตุจากผลทางกายภาพ

1) สภาพอากาศ

1.1) ความเย็น ปกติความเย็นจะไม่มีผลต่อเสถียรภาพของน้ำยางจนกระทั่งถึงจุดเยือกแข็งของน้ำ เช่น ในกรณีอากาศเย็นมากๆ อย่างในเขตอบอุ่น เมื่อน้ำยางถูกเก็บไว้ในอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็งของน้ำจะทำให้น้ำจับตัวเป็นน้ำแข็ง แยกตัวออกจากอนุภาคของยาง ทำให้อนุภาคของยางถูกผลักให้รวมตัวกระจายอยู่ในปริมาณของน้ำที่น้อยลงจะทำให้การกระทบกันของอนุภาคยางมีมากขึ้นเป็นผลให้ยางรวมตัวเป็นก้อนได้

1.2) ความร้อน ทำให้อุณหภูมิของยางสูงขึ้นซึ่งอุณหภูมิของยางสูงขึ้นไม่เป็นผลต่อเสถียรภาพของน้ำยาง จนกระทั่งถึงจุดเดือดของน้ำ หรือในกรณีที่มีสารพวก Non-ionic stabilizer ซึ่งเมื่ออุณหภูมิถึงจุด cloud point จะทำให้น้ำยางเสียเสถียรภาพได้

2) ผลจากการกระทบกันทางกล

การเกิดแรงเฉือน (Shear stress) รวมทั้งการปั่นป่วน เป็นผลทำให้เกิดการกระทบกันของอนุภาคยาง เมื่อบ่อยๆ เข้าจะทำให้แรงในการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นในอนุภาคยางเรื่อยๆ จนทำให้เกิดเสียเสียรภาพขึ้น

3) การระเหยน้ำ

การระเหยน้ำออกไม่เป็นผลทำให้อนุภาคของยางเสียเสถียรภาพโดยตรง แต่การระเหยน้ำออกมากจนทำให้อนุภาคของยางถูกอัดอยู่ในน้ำที่มีปริมาณน้อย ระยะห่างระหว่างอนุภาของยางมีน้อยมากจนทำให้เกิดการรวมมตัวของอนุภาคยางขึ้น แยกแผ่นหรือชั้นของยางออกจากน้ำ

4) อิทธิพลของกระแสไฟฟ้าหรือประจุไฟฟ้าจากขั้วไฟฟ้า

เนื่องจากอนุภาคของยางมีประจุลบอยู่รอบตัวของมัน ถ้าเอาขั้วบวกใส่เข้าไปในน้ำยาง อนุภาคยางจะวิ่งเข้าไปหาขั้วไฟฟ้าบวก ถ่ายประจุแล้วให้ตัวเองเป็นกลางทำให้เกิดการรวมตัวของน้ำยางได้

2.2 สาเหตุจากสารเคมี

สารเคมีที่ทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาคยาง ทำให้น้ำยางจับตัว แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1) สารเคมีที่ทำให้น้ำยางจับตัวอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากสารเคมีทำปฏิกิริยาโดยตรงกับอิเล็กตรอนที่อยู่รอบๆ อนุภาคยาง เช่น การเติมสารเคมีชนิดที่เป็นกรดลงในน้ำยาง สารเคมีกลุ่มนี้แบ่งได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ๆ ดังนี้

1.1) กรดแก่ ได้แก่ สารใดๆ ที่แตกตัวให้อนุมูลไฮโดรเจน ซึ่งอนุมูลนี้จะทำปฏิกิริยากับอนุมูลคาร์บอกซิเลตที่มีอยู่รอบๆ น้ำยาง มีผลทำให้เกิดเป็นกรดไขมัน ซึ่งไม่ละลาย

น้ำเป็นผลให้ชั้นของอนุมูลประจุที่อยู่รอบๆ อนุภาคของยางแฟบลง เกิดการจับตัวของอนุภาคของยางเป็นก้อนอย่างรวดเร็ว

$$RCO_2^{(-)} + H^{(+)} \text{ --------> } RCO_2H$$

ในกรณีของน้ำยางที่มีประจุบวก การเติมกรดลงไปเป็นการเสริมสภาพของเสถียรภาพให้กับน้ำยาง ในกรณีนี้จะใช้เติมสารพวกที่เป็นด่างลงในน้ำยางช่วยในการจับตัวของน้ำยาง เช่น กรณีการจับตัวของน้ำยางด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในน้ำยางสังเคราะห์

1.2) อนุมูลโลหะ มักจะทำให้ยางที่มีประจุลบเสียเสถียรภาพได้ อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากเกิดปฏิกิริยา 2 แบบ คือ หนึ่งเกิดจากอนุมูลโลหะกับอนุมูลคาร์บอกซิเลต ทำให้เกิดเป็นสบู่ของโลหะหนัก (Metallic soaps) ไม่ละลายน้ำ และไม่เกิดการไอโอไนซ์ (ionize) ซึ่งได้โลหะไฮดรอกไซด์ที่ไม่ละลายน้ำ และอาจเกิดตะกอนในน้ำได้

$$M^{n+} + n\,RCO^{-}_2 \text{ ---------> } (RCO_2)_nM$$

ทั้ง 2 ปฏิกิริยา มีผลทำให้น้ำยางเสียเสถียรภาพได้ ปฏิกิริยาแรกมีผลทำให้ชั้นของประจุรอบๆ อนุภาคยางเสียไป อีกปฏิกิริยาหนึ่งดูดเอาสารรักษาเสถียรภาพของน้ำยาง (Stabilizer) ตกตะกอนลงมาและยังทำให้เกิดการตกตะกอนร่วมกันของอนุภาคยางกับโลหะได้อีกด้วย

2) สารเคมีที่ทำให้น้ำยางจับตัวที่ไวต่อความร้อน สารเคมีที่ทำให้น้ำยางจับตัวเมื่อถูกความร้อน เป็นสารที่ไม่มีผลต่อเสถียรภาพของน้ำยางที่อุณหภูมิห้อง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้น้ำยางจับตัวอย่างรวดเร็ว ในกรณีที่อุณหภูมิเริ่มถึงจุดที่ยางจับตัว สารเคมีในกลุ่มนี้จะมีผลทำให้น้ำยางจับตัวแบบเจล (gelation) เพราะว่าการรวมตัวกระจายออกไปอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งหมดของน้ำยาง และการเกิดปฏิกิริยาเป็นไปทีละน้อย

3) สารเคมีที่ทำให้น้ำยางจับตัวอย่างช้าๆ สารเคมีนี้เป็นสารที่เมื่อเติมลงไปในน้ำยางแล้วจะค่อยๆ เกิดปฏิกิริยาและมีผลทำให้น้ำยางเสียเสถียรภาพไปอย่างช้าๆ และรวมตัวกันเป็นแบบเจล สารเคมีที่นิยมใช้ในระบบนี้มี

3.1) เกลือของกรดไฮโดรฟลูออโรไซลิซิกแอซิด

3.2) เกลือของกรดฟลูออโรอื่นๆ (Salts of fluoro acids)

3.3) สารอื่นๆ ที่เกิดปฏิกิริยาช้าๆ ได้

2.3.5 สารเคมีที่ใช้ผสมกับน้ำยาง

สารเคมีที่ใช้กับน้ำยาง และผลิตภัณฑ์น้ำยางมีหลายชนิด ซึ่งใช้ในหน้าที่ต่างๆกันในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะสารเคมีที่มีความจำเป็นในการทดลอง และสารเคมีที่เกี่ยวข้องเท่านั้น ซึ่งสามารถแบ่งได้ตามหน้าที่ของสารเคมี ดังนี้

1. สารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer)

เป็นสารที่รักษาความคงตัวของน้ำยาง ช่วยให้เติมสารอื่นๆ และดำเนินกระบวนการผลิตได้ ความคงตัวของน้ำยางขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ชั้นของน้ำยางที่ห่อหุ้มอนุภาคยาง และประจุไฟฟ้าบนอนุภาคยาง ในน้ำยางธรรมชาติจะใช้ แอมโมเนียมโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารรักษาประจุไฟฟ้าบนอนุภาคยาง สารเพิ่มความคงตัวสามารถแบ่งได้เป็นหลายประเภท ดังนี้

1.1 ประเภทมีประจุไฟฟ้าลบ

สารพวกนี้จะช่วยเพิ่มประจุไฟฟ้าลบ ช่วยผลักประจุ และพลังงานระหว่างอนุภาคยางกับส่วนที่เป็นน้ำ สารที่เพิ่มประจุลบบนอนุภาคยาง ได้แก่ พวกสบู่ของกรดไขมัน เช่น โปแตสเซียมโอลีเอต แอมโมเนียมลอเรต นอกจากนี้ยังมีพวกซัลเฟต และซัลโฟเนตของสารอินทรีย์ ตัวอย่างการแตกตัวของโปแตสเซียมโอลีเอต

$$KOle \longrightarrow K^{+} + Ole^{-}$$

โดยโปแตสเซียมโอลีเอตจะแตกตัวให้ทั้งประจุไฟฟ้าบวก และประจุไฟฟ้าลบ แต่เนื่องจากอนุมูล Ole^{-} เป็นสารไฮโดรคาร์บอนจะชอบอนุภาคยางซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนด้วยกัน ดังนั้น จะเกิดการรวมตัวกับอนุภาคยาง ทำให้มีประจุลบมากขึ้น

1.2 ประเภทมีประจุไฟฟ้าบวก

สารพวกนี้จะช่วยเพิ่มประจุไฟฟ้าบวก ซึ่งส่วนใหญ่ได้จากอนุมูลของแอมโมเนีย สารพวกนี้จะไม่ค่อยได้รับผลกระทบเนื่องจากอนุมูลของโลหะหนัก บางครั้งเมื่อใช้กับน้ำยางธรรมชาติจะเป็นสารลดความคงตัว ทั้งนี้ เนื่องจากในกระบวนการผลิตน้ำยางมีความคงตัวมากเกินไป

1.3 ประเภทที่ไม่มีประจุไฟฟ้า

เป็นสารที่ช่วยห่อหุ้มอนุภาคของน้ำยาง โดยทั่วไปจะมีสภาพเป็นกลาง การทำหน้าที่ไม่ขึ้นกับความเป็นกรด-เบสของน้ำยาง ดังนั้น แม้ว่า pH ของน้ำยางจะเปลี่ยนแปลง แต่น้ำยางจะคงตัวเสมอ

1.4 ประเภทที่มีทั้งประจุบวก และประจุลบ

เป็นสารที่อาจจะแสดงอนุภาคบวก หรือ ลบก็ได้ ขึ้นอยู่กับสถานะของความเป็นกรด-เบส ของตัวกลาง สำหรับน้ำยางธรรมชาติ ได้แก่ พวกโปรตีน ที่นิยมใช้มาก ได้แก่ พวก Caseine Ammonium Casenate เป็นต้น

2. สารในระบบวัลคาไนซ์ (Vulcanizing System)

2.1 สารที่ทำให้ยางวัลคาไนซ์ (Vulcanizing Agent)

1) ซัลเฟอร์ ซัลเฟอร์เป็นสารวัลคาไนซ์ ที่ใช้กันทั่วไปทั้งกับยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์ และต้องเป็นชนิดคุณภาพดี เนื้อละเอียดขนาดอนุภาคเล็ก ปริมาณการใช้ 0.5-2 ส่วน ต่อเนื้อยาง 100 ส่วน โดยเตรียมให้อยู่ในรูปดิสเพอร์ชัน

2) สารที่ให้ซัลเฟอร์ สารพวกนี้ได้แก่ พวกไทยูแรม พอลีซัลไฟด์ เช่น Tetramethyl Thiuram Disulphide (TMTD) สารพวกนี้อาจใช้อย่างเดียว หรือ ใช้ร่วมกับซัลเฟอร์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสมบัติทนความร้อนสูง ถ้าใช้ TMTD และZnO โดยไม่เติมซัลเฟอร์ ต้องใช้อุณหภูมิในการทำให้ยางคงรูปสูงถึง 140 องศาเซลเซียส

2.2 สารกระตุ้นปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ (Activator)

สำหรับน้ำยางจะใช้ ZnO เติมลงไปในน้ำยางเป็นขั้นตอนสุดท้ายของการผสมสารเคมีต่างๆ หรือ บางครั้งอาจเติมในขณะที่จะเริ่มการแปรรูปเป็นวัตถุสำเร็จรูป ทั้งนี้เนื่องจากการเติม ZnO ในน้ำยางจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น แล้วเกิดเป็นครีมแข็ง ปริมาณการใช้ จะใช้อยู่ในช่วงระหว่าง 0.2-2.0 ส่วน ต่อ เนื้อยางแห้ง 100 ส่วน การเพิ่มปริมาณ ZnO ในช่วง 0.1-2.0 ส่วน ต่อเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน จะทำให้ยางมีโมดูลัสสูงขึ้น ถ้าต้องการให้ยางมีความโปร่งแสง จะต้องใช้ปริมาณ ZnO ต่ำประมาณ 0.25 ส่วน ต่อ เนื้อยางแห้ง 100 ส่วน

2.3 สารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ (Accelerator)

สามารถแบ่งสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ออกเป็นกลุ่ม ดังนี้

1) กลุ่มไดไทโอคาร์บาเมท (Dithiocabamate) สารในกลุ่มนี้มีอยู่หลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันมากที่สุด ได้แก่ ซิงค์ไดเอทิล ไดไทโอคาร์บาเมท (Zinc Diethyl Dithiocarbamate, ZDEC) เป็นสารสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่ละลายน้ำปริมาณการใช้อยู่ระหว่าง 0.3-1.5 ส่วน ต่อ เนื้อยางแห้ง 100 ส่วน ZDEC จะเพิ่มอัตราเร็วของการคงรูปขึ้นอย่างชัดเจนในอุณหภูมิที่สูงกว่า 70 องศาเซลเซียส โดยที่ ZDEC จะไม่ทำให้น้ำยางเกิดการวัลคาไนซ์ขึ้นก่อน (Pre-Vulcanization) เมื่อเก็บน้ำยางที่ผสม ZDEC ไว้ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส หรือ ต่ำกว่า ดังนั้น ทำให้สามารถใช้น้ำยางที่ผสม ZDEC ในกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันได้ ข้อเสียของสารในกลุ่มนี้ คือ มีความว่องไวปฏิกิริยาต่อสารทองแดง ทำให้เมื่อผลิตภัณฑ์ยางสัมผัสสารที่มีทองแดงเป็นองค์ประกอบจะเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล

2) กลุ่มแซนเทต (Xanthate) สารกลุ่มนี้ว่องไวต่อปฏิกิริยามาก สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ที่อุณหภูมิห้อง มีกลิ่นรุนแรงมาก ได้แก่ พวก Sodium Isopropyl Xanthate (NaPX) และZinc Isopropyl Xanthate (ZnPX)

3) กลุ่มไทอะโซล (Thiazole) ตัวอย่างสารที่อยู่ในกลุ่มนี้ ได้แก่ Zinc salt of 2-Mercaptobenzothiazole (MZ ZnMBT) และ Cyclohemylamine salt of 2-Mercaptobenzothiazole (CMBT) นิยมใช้พวกที่ไม่ละลายน้ำกับน้ำยาง เช่น Zinc 2-Mercaptobenzothiazole (ZMBT) มีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่ละลายน้ำ ใช้ร่วมกันกับ ZDEC ปริมาณการใช้ คือ ZDEC 1 ส่วน ต่อ ZMBT 0.25-0.5 ส่วน ต่อ เนื้อยางแห้ง 100ส่วน นอกจากจะทำให้ค่าโมดูลัสของยางสูงขึ้นแล้ว ยังมีผลช่วยในการเสริมประสิทธิภาพการคงรูปโดยมีผลเร็วกว่าการใช้สารตัวเดียว

4) กลุ่มไทยูแรม (Thiuram) ตัวอย่างสารกลุ่มนี้ ได้แก่ Tetramethyl Thiuram Monosulfide (TS, TMTM) Tetramrthyl Thiuram Disulfide (TT, TMTD) และ Dipentamethylene Thiuram Hexasulfide (DPTH) พวกไทยูแรมไม่มีความว่องไวในปฏิกิริยาเพียงพอที่จะใช้กับ สารระบบ วัลคาไนซ์ เช่น ซัลเฟอร์ ได้ แต่อย่างไรก็ตามอาจใช้เป็นตัวช่วยพวกสารเร่งปฏิกิริยากลุ่มไดไทโอคาร์บาเมทได้

2.4 สารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidation)

สารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ใช้ในน้ำยางมี 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ ชนิดที่เป็นเอมีน (Amine) และชนิดที่เป็นฟีนอล (Phenol) โดยสารเหล่านี้เป็นสารที่เติมลงในผลิตภัณฑ์ยางเพื่อป้องกันการถูกออกซิไดซ์ของโมเลกุลยาง ที่นิยมใช้กันในผลิตภัณฑ์ถุงมือ

ยาง ได้แก่ พวกฟีนอล ซึ่งสารในตระกูลนี้จะไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนสี หรือ สีตก แต่การป้องกันจะสู้พวกตระกูลเอมีนไม่ได้

2.3.6 การเตรียมสารเคมีที่ใช้กับน้ำยาง [6, 7]

สารเคมีต่างๆ ที่จะผสมลงในน้ำยางเพื่อการผลิตวัตถุดิบสำเร็จรูปนั้น จำเป็นต้องเตรียมให้อยู่ในสถานะของเหลวเสียก่อน เพราะถ้าหากนำสารเคมีแห้งๆ และเป็นผงใส่ลงไปในน้ำยางโดยตรง จะไม่ได้ของผสมที่เหมาะในการทำผลิตภัณฑ์ สารเคมีจะตกตะกอน หรืออาจจะเกิดเป็นก้อนขึ้นในน้ำยาง และน้ำยางจะเกิดการจับตัวขึ้นในไม่ช้า จึงต้องเตรียมสารเคมีนั้นเป็นสารละลาย เป็นดิสเพอร์ชัน หรืออิมัลชัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสารนั้นๆ ว่าสามารถเตรียมเป็นสถานะใดได้ สารเพิ่มความคงตัวหรือสารพวกช่วยความเสถียรส่วนใหญ่ละลายน้ำ จึงเหมาะจะเตรียมเป็นสารละลายและเติมในสถานะสารละลายเจือจางลงในน้ำยาง สารพวกน้ำมันหรือของเหลวที่ไม่ละลายน้ำ ก็จะต้องเตรียมเป็นอิมัลชัน ส่วนสารพวกของแข็งทั้งหลายที่ไม่ละลายน้ำจะต้องเตรียมเป็นดิสเพอร์ชัน

1 การเตรียมสารละลาย

สารเคมีที่ใช้กันในสูตรการผสมน้ำยางและสามารถเตรียมเป็นสารละลายได้จะเป็นพวกสารต่างๆ ดังนี้ คือ

1.1 เบส เช่น โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ สารละลายแอมโมเนีย

1.2 สารละลายเคซีน (Casein)

1.3 สารละลายพวกซัลเฟต (Sulfate) และซัลโฟเนต (Sulphonate)

1.4 สารเร่งชนิดละลายน้ำได้ เช่น โซเดียมไดบิวทิลไดไทโอคาร์บาเมท

2 การเตรียมอิมัลชัน

สารเคมีที่มีสถานะเป็นของเหลวบางชนิดไม่ละลายน้ำ ได้แก่ สารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ และสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันบางชนิด สารเหล่านี้ต้องเตรียมเป็นอิมัลชัน โดยวิธีการและอุปกรณ์ที่เหมาะสม เช่น ใช้เครื่องผสม (Homogenizer) ที่สามารถปั่นและเกิดแรงเฉือนอย่างสูง ในตารางที่ 2.2 จะแสดงถึงส่วนประกอบของการเตรียม 50% อิมัลชัน

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของอิมัลชัน

ส่วนประกอบ	น้ำหนัก
สารของเหลว	50
สารละลาย 20% โพแทสเซียมโอลีเอต	7.5
น้ำ	42.5

ให้ทำการผสมของเหลวกับน้ำโดยใช้สาร Surface Active Solution แล้วผ่านเข้าไปในเครื่องปั่นที่มีความเร็วสูง เช่น เครื่อง Silversion Homogenizer หรือ Colloid Mill ด้วยแรงเฉือนของเครื่องจะทำให้สารละลายกระจายในน้ำและมีขนาดเล็ก (5-20 นาโนเมตร) ถ้าในกรณีที่สารมีความหนืดสูงมาก ควรอุ่นให้สารมีอุณหภูมิประมาณ 60-70°C ก่อนการปั่น

3 การเตรียมดิสเพอร์ชัน

สารเคมีจำพวกของแข็งมีความจำเป็นที่จะต้องเตรียมเป็นดิสเพอร์ชัน ก่อนเติมลงไปในน้ำยาง โยทั่วไปวิธีการเตรียมดิสเพอร์ชันสำหรับใช้งานน้ำยาง ขั้นแรก คือ การผสมสารที่เป็นผงกับน้ำ และใส่สารช่วยการกระจายหรือทำให้เกิดดิสเพอร์ชัน (Dispersing Agent) ตัวอย่างเช่น Dervan No.1 หรือวัลตามอล (Vultamol) จากนั้นจึงบดของผสมนี้ด้วยเครื่องมือบดย่อยสารเพื่อบดย่อยสารให้เล็กลง

3.1 ในการเตรียมดิสเพอร์ชัน นอกจากสารหลักดังกล่าวแล้ว ยังมีสารอื่นๆ ที่ใช้เฉพาะในกรณีที่การเตรียมดิสเพอร์ชันมีปัญหา ได้แก่

1) สารปรับสภาพความเป็นกรด-เบส ใช้ในกรณีที่สารเคมีบางตัวเป็นกรดจะต้องทำให้มีฤทธิ์เป็นเบสเหมือนน้ำยางก่อนที่จะเติมลงในน้ำยาง เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำยางเกิดการจับตัว ได้แก่ โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ และแอมโมเนีย

2) สารเพิ่มความคงตัว ใส่เพื่อให้สารเคมีมีสภาพผิวคล้ายกับน้ำยาง ทำให้เข้ากับน้ำยางได้ดี ได้แก่ เคซีน ซึ่งใส่อยู่ในรูปของสารละลายแอมโมเนีย และในบางครั้งอาจใช้สารเคมีที่เป็นกลาง ได้แก่ วัลคาสแทป แอล ดับบลิว (vulcastab LW)

3) สารเพิ่มความหนืด ใส่เพื่อให้สารผสมมีความหนืดสูงขึ้น ได้แก่ เมทิลเซลลูโลส (methyl cellulose) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxy methyl cellulose)

4) สารป้องกันการเกิดฟอง ใส่เพื่อลดการเกิดฟองในการบด จะทำให้การบดมีประสิทธิภาพสูงสุด ได้แก่ ซิลิโคน อิมัลชัน (Silicone emulsion)

5) สารป้องกันการเกิดตะกอนแข็ง ใส่เพื่อป้องกันการเกิดเป็นตะกอนแข็งของสาเคมี ได้แก่ เบนโทไนท์ เคลย์ (bentonite clay)

การเตรียมดิสเพอร์ชันของสารเคมีนั้น สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารหลักที่ต้องการเตรียมควรเป็นสัดส่วนธรรมดาง่ายๆ เพื่อความสะดวกในการคำนวณเปลี่ยนน้ำหนักของสารหลักให้เป็นน้ำหนักของดิสเพอร์ชันได้ และมักจะใส่สารเพิ่มความหนืดหรือสารป้องกันการตกตะกอนแข็ง ได้แก่ เบนโทไนท์ เคลย์ ลงไปด้วย ซึ่งสูตรการเตรียม 50% ดิสเพอร์ชัน จะเป็นดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ส่วนประกอบของดิสเพอร์ชัน

สารต่างๆ	น้ำหนัก (กรัม)
สารเคมี (Ingredient)	50.0
สารช่วยการกระจาย (Dispersing agent)	1.0
เบนโทไนท์ เคลย์ (Bentonite clay)	1.0
น้ำ	48.0

3.2 หลักสำคัญในการเตรียมดิสเพอร์ชัน

1) สัดส่วนโดยน้ำหนักของสารหลักที่ต้องการควรเป็นสัดส่วนธรรมดาง่ายๆ เช่น เป็น 2/3, 1/2, 1/3, 1/4 ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการคำนวณเปลี่ยนน้ำหนักของสารหลักให้เป็นน้ำหนักของดิสเพอร์ชันที่ได้

2) วิธีการโดยทั่วๆ ไปในการเตรียมสารผสม (dispersion slurry) เพื่อจะรวมสารละลายของตัวการทำให้เกิดดิสเพอร์ชัน (dispersing agents) และสารช่วยความคงตัว (stabilizers) กับน้ำเข้าด้วยกันก่อนแล้วจึงเติมลงในสารที่เป็นผงแห้งแล้วทำการกวนด้วยความเร็วสูง

3) การเตรียมซัลเฟอร์ดิสเพอร์ชัน มักมีปัญหาเกี่ยวกับความยุ่งยากที่จะทำให้ซัลเฟอร์แตกกระจาย และมีปัญหาซัลเฟอร์มักรวมตัวกันและตกตะกอนอย่างรวดเร็วหลังจากที่ได้ทำดิสเพอร์ชันไปแล้ว ดังนั้นในการเตรียมซัลเฟอร์ดิสเพอร์ชัน ควรใช้สารตัวการทำให้เกิดดิสเพอร์ชันปริมาณค่อนข้างมากคือ 2 ถึง 2.5 ส่วน ต่อ 100 ส่วนของซัลเฟอร์ และควรใช้สารช่วยความคง

ตัวอย่างน้อย 1 ส่วน สารช่วยความคงตัวอาจใช้พวกเคซีน และยังพบว่าเมื่อทำการบดซัลเฟอร์ดิสชัน ให้ได้ขนาดอนุภาคที่ละเอียดสำหรับการผลิตพวกยางยืด หรือพวกงานจุ่มแบบพิมพ์จะใช้เวลาค่อนข้างนาน ความจำเป็นอีกประการหนึ่งในการเตรียมซัลเฟอร์ดิสเพอร์ชัน คือการเติม Thickener เพื่อช่วยลดหรือชะลอการตกตะกอนโดยแนะนำให้ใช้เบนโทไนท์ เคลย์ การเติม Thickener แนะนำให้เติมภายหลังการเสร็จสิ้นการบดทำดิสเพอร์ชันแล้ว

4) การเตรียมดิสเพอร์ชันของสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์อาจเตรียมให้เข้มข้นได้ถึง 50% แต่ยกเว้นกรณีการเตรียมสารกลุ่มไดไทโดคาบาเมต หากเข้มข้นระดับนี้มักเกิดการรวมตัวและตกตะกอนได้ อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวกมักเตรียมดิสเพอร์ชันของสารเร่งปฏิกิริยาเข้มข้น 33% และใช้สารพวกไฮโดรคอลลอยด์ เช่น 1% ของเมทิลเซลลูโลสช่วยเสริมความคงตัวของดิสเพอร์ชันและเพื่อช่วยป้องกันการตกตะกอน

5) การเตรียม ZnO ดิสเพอร์ชัน อาจเตรียมโดยใช้บอลมิลหรือคอลลอยด์มิลหรือ อุลคราโซนิคมิลก็ได้ มักเตรียมให้ได้ดิสเพอร์ชันที่ละเอียดมาก โดยวิธีการของบอลมิล เมื่อต้องการใช้งานพวกจุ่มแบบพิมพ์หรืองานผลิตพวกยางยืด และใช้สบู่ของแอมโมเนียเป็นตัวการให้เกิดดิสเพอร์ชัน อย่างไรก็ตามควรต้องระวังการเกิด ZnO รวมตัวอันเนื่องมาจากปฏิกิริยาระหว่างอนุมูลของซิงค์แอมโมเนียกับอนุมูลของสบู่

6) การทำดิสเพอร์ชันของสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน มักมีปัญหายุ่งยากอันเนื่องด้วยสถานะการเป็นพวกเรซินของสารนี้ จึงได้มีการคิดหาวิธีการต่างๆ เพื่อจะแก้ปัญหาดังกล่าว ในบรรดาวิธีการต่างๆ นั้น การใช้สารเพิ่มพวกช้าต่อปฏิกิริยาและมีขนาดอนุภาคละเอียดมาเป็นตัวพา (carrier) ซึ่งในบรรดาสารที่เป็นตัวนำพาดังกล่าว เคลิโอไนเคลย์ เป็นสารที่ใช้ได้ผลดีที่สุด โดยใช้เคลิโอไนเคลย์ปริมาณที่เท่าๆ กับปริมาณของสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน คือใช้ถึง 50% และยังใช้สารตัวการทำให้เกิดดิสเพอร์ชันและใช้สารช่วยความคงตัวในปริมาณค่อนข้างสูงกว่าปกติ การเกิดดิสเพอร์ชันของสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเป็นไปได้ดังนี้คือ เมื่อสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดการแตกกระจายออก อนุภาคละเอียดของเคลย์จะฉาบรอบๆ อนุภาคสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งการฉาบดังกล่าวทำให้ไม่มีการรวมตัวระหว่างอนุภาคสารป้องกันการเสื่อมเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ได้แล้วแตกกระจายออกไปอีก

7) การเตรียมดิสเพอร์ชันของสารเพิ่ม เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต และเคลิโอไนท์เคลย์ มักเตรียมเข้มข้น 67% และในบางเกรดอาจเตรียมเข้มข้นถึง 75% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคและการกระจายของอนุภาคของสารเพิ่ม เนื่องด้วยในงานผลิตภัณฑ์บางชนิดต้องการใช้ปริมาณสารเพิ่มมาก จึงแนะนำให้เตรียมดิสเพอร์ชัน โดยใช้น้ำผสมเพียงเล็กน้อย อนึ่งสารเพิ่มทั่วๆ ไป มักมีขนาดอนุภาคละเอียด ซึ่งจะเกิดจับเป็นก้อนได้ง่าย จำเป็นต้องเตรียมดิสเพอร์ชัน

2.3.7 การแปรรูปยางธรรมชาติ

1 การผลิตน้ำยางข้น

การผลิตน้ำยางข้นได้จากการนำน้ำยางสดที่รักษาสภาพด้วย สารละลายแอมโมเนียหรือ สารละลายโซเดียมซัลไฟท์ แล้วนำมาปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง เพื่อแยกน้ำและสารอื่นๆ ที่ละลายอยู่ในน้ำออกไปบางส่วน จะได้น้ำยางแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1.1 น้ำยางข้น 60% (Concentrated latex) รักษาสภาพด้วย 0.7% สารละลายแอมโมเนียชนิดเข้มข้น หรือ 0.2% สารละลายแอมโมเนียชนิดเจือจาง ร่วมกับสารช่วยรักษาสภาพน้ำยาง

1.2 หางน้ำยาง (Skim latex) นำมาไล่แอมโมเนียแล้วเติมกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) แล้วผ่านกระบวนการรีดเครพ หรือตัดย่อย เพื่อผลิตเป็นสกิมเครพ หรือ สกิมบล็อก

2. การผลิตยางแผ่น

การผลิตยางแผ่นทำได้โดยการนำน้ำยางสดมากรองแยกสิ่งสกปรกแล้วทำให้จับตัวด้วยกรดฟอร์มิก หรือ กรดอะซิติก จากนั้นนำมานวด และรีดด้วยจักรรีดยางจนยางมีแผ่นหนาประมาณ 2-3 มิลลิเมตร แล้วนำไปผึ่งไว้ในที่ร่มจะได้ยางแผ่นดิบ (Unsmoked sheet, USS) ซึ่งสามารถนำมาแปรรูปต่อได้ 2 ทางคือ

2.1 ทำยางแผ่นผึ่งแห้ง โดยการอบด้วยลมร้อน อุณหภูมิ 45-65 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 3-5 วัน บรรจุหีบห่อเพื่อรอการจำหน่าย

2.2 ทำยางแผ่นรมควัน โดยการเข้าโรงรมควัน อุณหภูมิประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาประมาณ 4-10 วัน แล้วจัดชั้นด้วยสายตา บรรจุหีบห่อรอการจำหน่าย

3. การผลิตยางแท่ง

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยางแท่งใช้ได้ทั้งน้ำยางสดที่ต้องทำให้จับตัวเป็นก้อนก่อน และยางแห้งที่จับตัวแล้ว เช่น ยางแผ่นดิบ โดยมีขั้นตอนการผลิตแตกต่างกัน คือ

3.1 การใช้น้ำยางสด ทำได้โดยการนำน้ำยางสดมาเทรวมในถังรวมยางแล้วทำให้ยางจับตัวแล้วตัดเป็นก้อน จึงผ่านเข้าเครื่องเครพ จากนั้นย่อยยางเป็นเม็ดเล็กๆ แล้วจึงอบยางให้แห้งและอัดเป็นแท่งขนาด 33.3 กิโลกรัม

3.2 การใช้ยางแห้งที่จับตัวแล้ว สำหรับยางแผ่นดิบสามารถนำมาตัดแล้วอบแล้วอัดเป็นแท่งได้เลย ส่วนเศษยางต้องมารวมในถังรวมยางแล้วตัด ทำความสะอาด แล้วบรรจุใส่ถัง

รวมอีกครั้งก่อนผ่านเข้าเครื่องเครพ ย่อยยางเป็นชิ้นเล็กๆ จึงอบให้แห้งแล้วอัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยม ขนาด 33.3 กิโลกรัม

2.3.8 น้ำยางวัลคาไนซ์ (Prevulcanized Latex)

น้ำยางคงรูป หรือ น้ำยางวัลคาไนซ์ หรือ น้ำยางพรีวัลคาไนซ์ หมายถึง น้ำยางที่โมเลกุลยางเกิดพันธะเชื่อมโยง(Crosslinked) อันเนื่องมาจากการให้ความร้อนกับน้ำยางที่ผสมสารเคมีที่จำเป็นแล้ว

น้ำยางผสมสารเคมี (Compound Latex) หมายถึง น้ำยางที่ได้ผสมสารเคมีต่างๆแล้ว และส่วนใหญ่จะมีสารเคมีช่วยเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ (Accelerator) พวก Dithiocabamate อยู่ด้วย โดยปกติจะทำการผสมสารเคมีกับน้ำยางแล้วบ่ม หรือ เก็บไว้ (Muturation) ก่อนนำไปทำการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เนื่องจากน้ำยางที่ผสมสารเคมีส่วนใหญ่จะผสมสารเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ไว้ด้วย ดังนั้น ขณะบ่ม หรือ เก็บน้ำยางจึงอาจเกิดปฏิกิริยาวัลคาไนซ์บางส่วน ทำให้โมเลกุลยางเกิดพันธะเชื่อมโยงได้ ซึ่งการที่ยางจะคงรูปมาก หรือ น้อยเพียงใด จะขึ้นอยู่กับภาวะในการเก็บน้ำยางและความว่องไวของสารช่วยเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์

2.4 น้ำยางข้น (Concentrated Latex) [8]

2.4.1. การผลิตน้ำยางข้น

ปกติน้ำยางที่มากสวน จะมีปริมาณยางแห้งเพียง 25-45 เปอร์เซ็นต์ นอกนั้นส่วนใหญ่เป็นน้ำและมีสารของแข็งที่ไม่ใช่ยางบ้าง ฉะนั้นหากต้องการนำน้ำยางไปใช้ขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ไกลสวนยางหรือจากแหล่งยางธรรมชาติ จึงเป็นการไม่สะดวก นอกจากนั้นสารบางอย่างที่มีอยู่ในน้ำยาง ยังอาจมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ยางมีคุณภาพไม่ดี ด้วยเหตุผลเหล่านี้คือที่มาของการทำน้ำยางสดให้เป็นน้ำยางที่มีความข้นคือมีปริมาณน้ำยางแห้งเป็น 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่มีความเหมาะสมกับการนำไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ

วิธีการผลิตน้ำยางข้นที่ทำกันในเชิงการค้ามี 3 วิธีคือ วิธีระเหยน้ำ วิธีทำให้เกิดครีม วิธีปั่น และอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถทำเป็นการค้าได้เพราะไม่สะดวกและลงทุนสูง คือการใช้กระแสไฟฟ้าแยก สำหรับในประเทศไทย ปัจจุบันทำการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีการปั่นเพียงอย่างเดียว รายละเอียดของแต่ละวิธีมีดังต่อไปนี้

1. วิธีการระเหยน้ำ

น้ำยางสดจากสวนก่อนการทำให้ข้นโดยวิธีการระเหยน้ำจะต้องเติมสารที่ทำให้น้ำยางคงตัว (stabilizers) เช่น potassium soap เสียก่อน การระเหยน้ำออกจากน้ำยางจะเกิดขึ้นภายในถัง หรือภาชนะที่หมุนได้รอบๆ แกน ตามแนวนอนและถังนี้ถูกให้ความร้อนรอบๆถัง การระเหยน้ำจากน้ำยางจะทำให้ได้น้ำยางข้นซึ่งมีปริมาณเนื้อยาง 60% น้ำยางข้นที่ได้จากวิธีนี้มีความคงสภาพเป็นน้ำยางดีมาก จึงเหมาะสำหรับการที่จะต้องขนย้ายน้ำยางไปไกลๆ และเหมาะกับการนำไปผลิตวัตถุสำเร็จรูปประเภทที่ต้องใส่พวกสารเพิ่ม (filler) จำนวนมาก ตัวอย่างเช่น การผลิตกาว (latex cement) น้ำยางนี้เหมาะหรือใช้ได้ผลดี กรณีต้องการนำไปทำกาว ประเภทที่ว่าสารอื่นๆ ที่อยู่ในน้ำยางและความคงตัวของน้ำยางเป็นข้อได้เปรียบกับการทำกาวนั้นๆ

2. วิธีทำให้เกิดครีม

น้ำยางธรรมชาติไม่ว่าอยู่ในสถานะสด หรือสถานะที่มีการใส่สารเคมีรักษาสภาพน้ำยาง (preserved latex) ประกอบด้วยระบบของสารคอลลอยด์แบบอีมัลชัน (Colloidal emulsion) ของอนุภาคยางที่แขวนลอยอยู่ในตัวกลางที่เรียกว่า serum อนุภาคยางที่แขวนลอยอยู่ในเซรุมแสดการเคลื่อนไหวแบบ Brownian (คือการเคลื่อนไหวทุกทิศทางอย่างไม่มีระเบียบ) และการเคลื่อนไหวของอนุภาคยางในน้ำยางสดจะรวดเร็วกว่าการเคลื่อนไหวของอนุภาคยางในน้ำยางที่ใส่สารเคมีรักษาสภาพ เนื่องจากอนุภาคของยางมีความหนาแน่นน้อยกว่า serum ดังนั้นอนุภาคยางเหล่านี้จึงมีแนวโน้มลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำยางได้และตามกฎของ stockes อาจคำนวณหาอัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางตามสูตรต่อไปนี้

$$V = \frac{2/9g(d-d_1)r^2}{M}$$

เมื่อ V = อัตราการเคลื่อนที่ของอนุภาคยาง (มม./วินาที)

g = ความเร่งเนื่องด้วนแรงดึงดูดของโลก (ซม./วินาที^{2})

d = ความหนาแน่นของซีรัม (1.021 กรัม/ซม.^{3})

d_1 = ความหนาแน่นของอนุภาคยาง (0.91 กรัม/ซม.^{3})

r = รัศมีของอนุภาค (เฉลี่ย 0.5 ไมครอน)

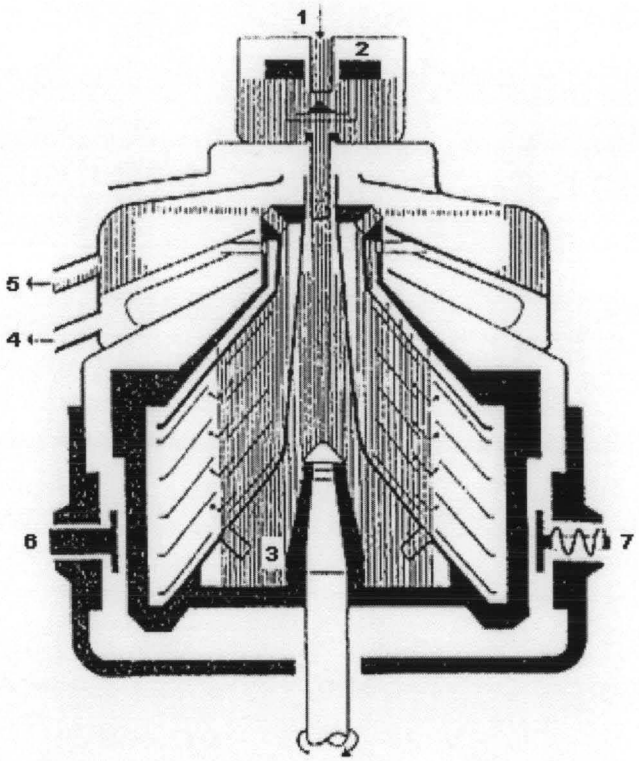
m = ความหนืดของซีรัม (ประมาณ 0.02 พอยส์)

จากสูตรดังกล่าวอาจคำนวณได้ว่าอนุภาคยางเคลื่อนที่ได้(ตามทฤษฎี)ประมาณเดือนละ 6 ซม. และเนื่องจากว่าความเร็วของเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับกำลังสองของรัศมีของอนุภาค ดังนั้นการแยกตัวของอนุภาคเกิดเป็นลักษณะครีมอยู่ผิวน้ำยางจะรวดเร็วขึ้นถ้าอนุภาคยางมีขนาดใหญ่ขึ้น และอนุภาคยางจะใหญ่โตขึ้นได้เมื่อเติมสารคอลลอยด์ที่จะไปทำหน้าที่พอกหรือเคลือบผิวของอนุภาคยาง สารนี้จึงเรียกว่าเป็นตัวการทำให้เกิดครีม (Creaming agent) ตัวอย่างสารพวกนี้ได้แก่ sodium alginate, locust bean gum, gum karaya, gum tragacanth เป็นต้น อนึ่งการผลิตน้ำยางข้นโดยวิธีทำให้เกิดครีมยุ่งยากและสิ้นเปลืองเวลา แต่เป็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับวิธีนี้ คือสามารถทำให้น้ำยางข้นที่ผลิตโดยวิธีนี้บริสุทธ์และมีโปรตีนน้อยลงเมื่อผ่านกรรมวิธีการทำให้เกิดครีมซ้ำหลายๆครั้ง

3. วิธีการปั่น

เนื่องจากน้ำยางธรรมชาติเป็นสารละลายที่จัดอยู่ในระบบคอลลอยด์ (Colloid system) ที่ประกอบด้วยส่วนของอนุภาคยาง (rubber particle) แขวนลอยกระจัดกระจายอยู่ในซีรัม อนุภาคยางเหล่านี้เคลื่อนไหวแบบไร้ทิศทาง (Brownian movement) และเนื่องจากอนุภาคยางมีความหนาแน่นน้อยกว่าซีรัม ดังนั้นอนุภาคยางจึงมีแนวโน้มที่จะลอยตัวสู่ผิวหน้าของน้ำยาง อัตราการเคลื่อนของอนุภาคยางขึ้นอยู่กับแรงดึงดูดของโลก ซึ่งสามารถเพิ่มแรงดึงดูดได้เป็น 2000 ถึง 3000 เท่าของแรงดึงดูดของโลก จึงสามารถเร่งการเคลื่อนที่ของอนุภาคยางได้ จากหลักการนี้จึงถูกนำมาพิจารณาสร้างเครื่องปั่นน้ำยางเพื่อการผลิตน้ำยางข้น

เครื่องผลิตน้ำยางข้น ผลิตจำหน่ายโดยหลายบริษัทเช่นบริษี Alfa-Laval ประเทศสวีเดน บริษัท Westfalia Separatro Co., ประเทศเยอรมัน และอีกสองบริษัทในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน เป็นต้น รูปที่ 2.8 แสดงถึงลักษณะหน้าตัดภายในของถังปั่นแบบ Alfa-Laval น้ำยางจะไหลเข้าทาง (1) ซึ่งอยู่ส่วนบนสุดของตัวเครื่อง ระดับของน้ำยางจะปรับให้คงที่โดย (2) น้ำยางไหลโดยแรงโน้มถ่วง (gravity) ไปที่จุดกลางของถังปั่นและแรงปั่นของเครื่องจะปั่นให้น้ำยางไหลไปตามรูของชุดจานแยก (3) จากนี้น้ำยางจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่มีน้ำหนัก (heavy phase) คือหางน้ำยาง (skim) ไหลออกสู่รอบนอกของถังปั่นและไปตามทางด้านบนของถังผ่านสกรู ปรับสู่ที่เก็บแยกหางน้ำยาง (4) ส่วนของน้ำยาง (concentration or cream) ซึ่งเป็นส่วนที่มีเนื้อยางจะไหลเข้าสู่กลางถังปั่นไปยังด้านบนถังเข้าสู่ที่เก็บ (5)



รูป 2.8 ภาพหน้าตัดตามยาวของเครื่องปั่นน้ำยางข้น

ปกติน้ำยางข้นที่ได้จากเครื่องปั่นจะมีความเข้มข้นปราณ 60 เปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง เครื่องปั่นน้ำยางขนาดเล็กๆ สามารถแยกน้ำยางสดได้ประมาณ 15 ลิตร/ชั่วโมง และเครื่องขนาดใหญ่แยกน้ำยางสดได้ 400-600 ลิตร/ชั่วโมง และปกติการเดินเครื่องปั่นจะสามารถเดินติดต่อกันได้อย่างมากครั้งละไม่เกิน 3 ชั่วโมง เพราะจำต้องหยุดเครื่องเพื่อทำความสะอาดล้างพวกตม (Sludge) ที่ติดอยู่ในเครื่อง

4. วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า

จากการที่ในสถานะของน้ำยาง อนุภาคแขวนลอยอยู่ในซีรัมต่างถูกห่อหุ้มด้วยคาร์บอก-ซิเลทไอออน (carboxylate ion, RCO_2^-) ที่เป็นประจุลบ ดังนั้นจึงสามารถที่จะอาศัยไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการแยกส่วนของเนื้อยางจากส่วนของซีรัมได้ โดยการวิธีการจุ่มขั้วไฟฟ้าที่เป็นขั้วบวกลงในน้ำยางที่ได้เติมสารเคมีช่วยทำให้น้ำยางคงตัวไว้ แล้วอนุภาคยางจะค่อยๆเคลื่อนที่ไปรวมอยู่ทางขั้วบวกและลอยตัวขึ้นสู่ผิวหน้าของน้ำยางในที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากความหนาแน่นของอนุภาคยางต่ำหว่าความหนาแน่นของซีรัม อย่างไรก็ตามวิธีการทำน้ำยางข้นโดยใช้ไฟฟ้านี้เป็นวิธีที่ยุ่งยากและไม่ประหยัดจึงไม่เป็นที่นิยม

2.4.2 การรักษาสภาพน้ำยางข้น

น้ำยางข้นที่ผลิตได้ต้องเติม หรือปรับแอมโมเนียรักษาสภาพน้ำยาง ปกติมีวิธีรักษาน้ำยางข้นจะมี 2 วิธี

1. รักษาด้วยปริมาณแอมโมเนียมาก ประมาณ 0.7 เปอร์เซ็นต์ต่อ น้ำหนักยาง เรียกน้ำยางชนิดนี้ว่า HA (High ammonia)

2. รักษาด้วยปริมาณแอมโมเนียต่ำ ประมาณ 0.2 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักยาง และมีสารบางชนิด TMTD/ZnO ในอัตราส่วน 0.025% หรือ ZDEC 0.01% จะเรียกน้ำยางชนิดนี้ว่า LA (Low ammonia)

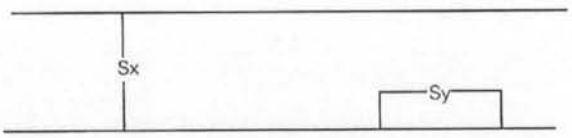
2.4.3 สมบัติน้ำยางข้น

สมบัติที่ใช้ระบุน้ำยางข้น คือ

1. ปริมาณสารของแข็งทั้งหมด (Total solid content, TSC)
2. ปริมาณเนื้อยางแห้ง (dry rubber content, DRC)
3. สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity, $\%NH_3$)
4. เวลาความคงตัวต่อเครื่องมือกล (mechanical stability time, MST)
5. จำนวนกรดไขมันที่ระเหยได้ (Volatile fatty acid number, VFA No.)
6. จำนวนโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Potassium hydroxide number,KOH No.)
7. ปริมาณก้อนยางจับตัว (coagulum content)
8. ปริมาณตม (sludge content)
9. กลิ่นและสี

2.5 การวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ [4]

วัลคาไนเซชัน คือ กระบวนการเปลี่ยนยางซึ่งมีสภาพไม่คงตัวให้เป็นยางที่มีสภาพคงตัว โดยใช้สารวัลคาไนซ์ (Vulcanizing agent) ในการทำให้เกิดการเชื่อมขวาง (crosslink) ระหว่างโมเลกุลของยาง ตรงตำแหน่งที่มีความว่องไวต่อปฏิกิริยา สารวัลคาไนซ์ที่สำคัญของยางธรรมชาติ คือ กำมะถัน ลักษณะการเชื่อมขวางโมเลกุลของยาง ด้วยพันธะเคมีระหว่าง C – S หรือ C – S – C ก็ได้ขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ และอาจจะเชื่อมโยงกันระหว่างโมเลกุล หรือภายในโมเลกุลเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.9



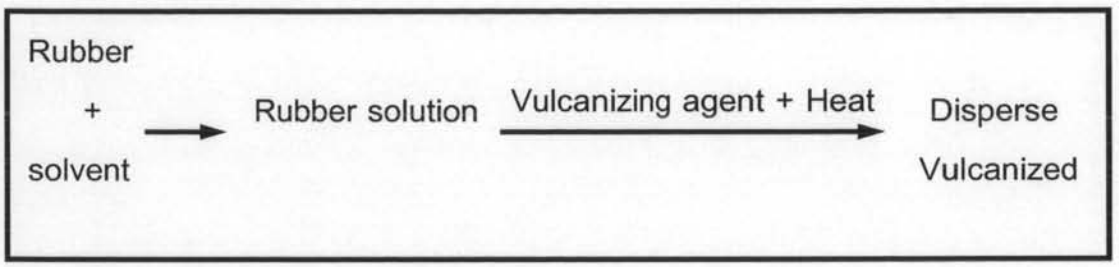
รูปที่ 2.9 การเชื่อมขวางโมเลกุลของยางด้วยกำมะถัน

กระบวนการวัลคาไนเซชันที่ใช้กำมะถันและความร้อนเท่านั้น ปฏิกิริยาจะเกิดช้ามาก ต้องใช้เวลาหลายชั่วโมง ยิ่งไปกว่านั้นยังต้องใช้กำมะถันเป็นจำนวนมากเกินความจำเป็น ซึ่งส่วนใหญ่จะสูญเปล่าไปโดยกำมะถันจะมาเชื่อมต่อกันเองเป็นสายยาว หรือออกมาในรูปของกำมะถันเสรี (Free sulphur) อยู่ในเนื้อยาง หรือซึมมาอยู่บนผิวของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้จึงต้องใช้ สารเร่งวัลคาไนซ์ (accelerator) ร่วมกับสารวัลคาไนซ์ เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการวัลคาไนซ์ (ทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น) นอกจากนี้ยังลดอุณหภูมิที่ใช้ลง รวมทั้งใช้กำมะถันน้อยลง ทำให้ลดการซึมของกำมะถันบนผิวของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ ยังต้องเติม สารกระตุ้นวัลคาไนซ์ (activator) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของสารเร่งวัลคาไนซ์อีกด้วย

การเชื่อมขวางของโมเลกุลจะทำให้โมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้ภายหลังการวัลคาไนซ์จะมีสมบัติเปลี่ยนไป เช่น ไม่หลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน และไม่แข็งตัวเมื่อได้รับความเย็น ความสามารถไนหารละลายลดลง อาจมีการบวมตัว (Swell) เท่านั้น ความทนแรงดึง (Tensile strength) ความแข็งแรง (Hardness) ความต้านทานการขัดถู (Abrasion resistance) ความต้านทานการสึกกร่อน (Wear resistance) และการหักงอที่อุณหภูมิต่ำๆ (Low temperature Flexibility) เพิ่มขึ้น แก๊สซึมผ่านยางได้น้อยลง และช่วงอุณหภูมิการใช้งานกว้างขึ้น

2.6 **ดิสเพอร์สวัลคาไนซ์** (Disperse Vulcanized)

ดิสเพอร์สวัลคาไนซ์ คือ การเตรียมยางในรูปของสารละลายแล้วทำการผสมสารวัลคาไนซ์ หลังจากนั้นทำให้เกิดการเชื่อมขวางที่อนุภาคของยางโดยการให้ความร้อน อาจเกิดการวัลคาไนซ์ไม่สมบูรณ์หากทำที่อุณหภูมิต่ำ กระบวนการผลิตน้ำยางดิสเพอร์สวัลคาไนซ์แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 กระบวนการผลิตน้ำยางดิสเพอร์สวัลคาไนซ์

2.7 สารตัวเติม

สารตัวเติม หมายถึง สารที่ใช้เสริมแรง หรือช่วยลดต้นทุนในการผลิต หรือปรับปรุงสมบัติทางกายภาพของยางให้ดีขึ้น เช่น เขม่าดำ แคลเซียมคาร์บอเนต และซิลิกา เป็นต้น

2.7.1 สารตัวเติมที่ใส่ลงไปในยาง เพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ ดังนี้

1. เพื่อลดต้นทุน โดยจะต้องมีราคาถูกกว่ายาง
2. เพื่อปรับปรุงเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพของยาง โดยทำให้ยางมีความแข็งเพิ่มขึ้น และมอดูลัสสูงขึ้น ส่วนสมบัติอื่น ๆ เช่น ความทนแรงดึง ความต้านทานการขัดถู จะเพิ่มขึ้นหรือลดลง ขึ้นกับชนิดของยาง และชนิดของสารตัวเติม
3. เพื่อช่วยลดปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต เช่น ทำให้ยางที่ผ่านการอัดรดมีผิวเรียบ หรือช่วยควบคุมความหนาในการทำยางแผ่น
4. เพื่อช่วยลดการพองตัวหรือบวมตัวของยางในน้ำมัน
5. เพื่อเพิ่มหรือยืดอายุการใช้งานของยาง เช่น ป้องกันแสงไม่ส่องผ่านเข้าไปในยาง

2.7.2 การแบ่งชนิดของสารตัวเติม

สามารถแบ่งตามการผลิตและตามลักษณะ คือ

1. สารตัวเติมที่มีตามธรรมชาติ หรือจากผลพลอยได้จากธรรมชาติ แล้วนำมาบดให้ละเอียด เช่น
   1) แคลเซียมคาร์บอเนตจากหินปูน เปลือกหอย และซอล์ค
   2) แคลเซียมและแมกนีเซียมซิลิเกตจากแป้งทัลคัม
   3) ซิลิกาอสัณฐาน (Amorphous Silica)
2. สารตัวเติมตามธรรมชาติที่ร่อนแยกความละเอียด เช่น คาโอลิน เป็นต้น

3. สารตัวเติมที่ได้จากวิธีการตกตะกอน เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ไฮเดรตซิลิกา โซเดียมอะลูมิเนียมซิลิเกต แคลเซียมซิลิเกต และไฮเดรตอะลูมิเนียมออกไซด์ เป็นต้น

4. สารตัวเติมที่อยู่ในรูปของเขม่า หรือผงฝุ่น เช่นเขม่าดำ ซิงค์ออกไซด์ และแมกนีเซียมออกไซด์

5. สารตัวเติมประเภทที่ทำปฏิกิริยาที่ผิว (Surface Modified Products) เป็นผลิตภัณฑ์ที่นำสารตัวเติมมาทำปฏิกิริยาที่ผิว เพื่อให้สารตัวเติมนั้นเกาะติดแน่นกับยาง ซึ่งทำให้ยางมีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต แป้งทัลคัม เป็นต้น

5.1 สารละลายโซเดียมซิลิเกต หรือกาวแก้ว

เป็นสารตัวเติมที่อยู่ในรูปคอลลอยด์ โดยมีส่วนประกอบดังนี้ คือ Na_2O: SiO_2 ในสัดส่วนต่าง ๆ กันขึ้นอยู่กับชนิดของโซเดียมซิลิเกต เวลาใช้งานต้องตกตะกอนโซเดียมซิลิเกตด้วยกรดซัลฟูริก เพื่อให้ได้ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2) ตามสมการ

$$6Na^{+} + 3SiO_3^{2-} + 2AlNH_4(SO_4)_2.12H_2O \longrightarrow 3NaSO_4 + Al_2(SiO_3)_3 + (NH_4)_2SO_4 + 24H_2O$$

จากนั้นนำโซเดียมซิลิเกตที่ได้ผ่านกระบวนการ Washing และบดให้ละเอียดก่อนนำมาใช้งาน

5.2 ซิลิกา (Silica)

ซิลกามีชื่อทางเคมีว่า ซิลิกอนไดออกไซด์ (Silicon Dioxide, SiO_2) และอาจมีน้ำในผลึกอยู่ด้วย ซิลิกาเป็นสารตัวเติมที่ไม่ใช่สีดำ (Nonblack Filler) ที่ดีที่สุด และนิยมใช้กันมาก เพราะเป็นสารตัวเติมที่เสริมความแข็งแรงให้กับยาง มักใช้กับผลิตภัณฑ์ยางพวกที่มีสีขาว หรือสีต่าง ๆ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

- ซิลิกาบด เป็นแร่ซิลิกาบด หรือทรายบดละเอียด มีอนุภาคต่ำกว่า 200 เมช (75,000 °A) ซึ่งเป็นขนาดที่หยาบ ไม่ช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับยาง แต่มีราคาถูกจึงนิยมใช้เป็นสารตัวเติมในยางทนความร้อน

- ซิลิกาที่ได้จากการตกตะกอน โดยการนำทรายมาละลายในด่างให้กลายเป็นสารประกอบซิลิกา จากนั้นจึงตกตะกอนเอาซิลิกาออกมาล้าง และทำให้แห้งจะได้ซิลิกาผง ซึ่งมีน้ำอยู่ในอนุภาคซิลิกาที่ได้มีขนาดตั้งแต่ 100 - 400 °A

- ซิลิกาที่เตรียมได้จากการเผาไหม้ ได้จากปฏิกิริยาระหว่าง $SiCl_4$ กับไอน้ำในเปลวไฟของไฮโดรเจน และออกซิเจนที่อุณหภูมิสูงประมาณ 14000 องศาเซลเซียส จะเกิดการสลายตัวให้ซิลิกาออกมา มีขนาดอนุภาคเล็กมาก จึงเสริมความแข็งแรง

2.8 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) [9]

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์ของคาร์บอนซึ่งเป็นตัวดูดซับชนิดหนึ่งมีลักษณะเป็นของแข็งสีดำ อาจอยู่ในรูปของผงหรือเม็ดได้ มีโครงสร้างเป็นรูพรุนขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวดูดซับสูงทำให้มีสมบัติการดูดซับที่ดีใช้ประโยชน์ในการกำจัดกลิ่น สี หรือแก๊ส โดยทั่วไปมักจะเลือกวัตถุที่นำมาใช้เป้าๆวัตถุดิบในการผลิตถ่านกัมมันต์ โดยเป็นของเหลือทิ้งหรือมีราคาถูก มีปริมาณคาร์บอนสูง มีปริมาณสารอนินทรีย์ต่ำ มีปริมาณเถ้าต่ำและมีความสะดวกในการนำมาใช้งาน เช่น ไม่สลายตัวเมื่อเก็บไว้นานๆโดยนำวัตถุดิบซึ่งส่วนใหญ่เป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น กะลามะพร้าว กะลาปาล์ม ทะลายปาล์ม มาผ่านกระบวนการกระตุ้นให้มีพื้นที่ผิวสูงมีปริมาณคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก มีความจุในการดูดซับสูงและมีรูพรุนขนาดเล็กเป็นจำนวนมาก

2.8.1 ลักษณะและชนิดของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์ หมายถึง สารดูดซับชนิดหนึ่งที่มีลักษณะเป็นของแข็งมีสีดำ อาจอยู่ในรูปผงหรือเม็ดก็ได้ โดยทั่วไปมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลัก
2. มีพื้นที่ผิวสูง
3. มีความจุในการดูดซับสูง
4. มีความว่องไวในการดูดซับสูง
5. มีรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก (Microporous Structure)

ชนิดของถ่านกัมมันต์ ขึ้นอยู่กับเกณฑ์การแบ่งดังนี้

1. แบ่งตามชนิดของการกระตุ้น

1.1 การกระตุ้นทางเคมี (Chemical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับผิวคาร์บอน ถ่านกัมมันต์ที่ได้มักเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดใหญ่ ตัวกระตุ้นที่ใช้ได้แก่ $ZnCl_2$ และ NaCl เป็นต้น

1.2 การกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activated carbon) เป็นถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการใช้แก๊สออกซิไดซ์เช่น ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ อากาศ ร่วมกับความร้อน ถ่านกัมมันต์ที่ได้มักเป็นถ่านกัมมันต์ที่มีรูพรุนขนาดเล็ก

2. แบ่งตามขนาดรูพรุนของถ่านกัมมันต์

2.1 ขนาดเล็ก (Micropore) คือถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนเล็กกว่า 1.5 นาโนเมตร มักใช้ในการดูดแก๊สหรือสารระเหย

2.2 ขนาดกลาง (Mesopore) คือถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนประมาณ 1.5 ถึง 200 นาโนเมตร มักใช้ประโยชน์ในปฏิกิริยาที่มีตัวเร่ง (Catalytic reaction) ใช้ดูดซับสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น ฟอกสี

2.3 ขนาดใหญ่ (Macropore) คือถ่านกัมมันต์ที่มีรัศมีของรูพรุนมากกว่ากว่า 200 นาโนเมตร โดยปกติไม่มีความสำคัญในการดูดซับสารต่างๆ แต่เป็นตัวช่วยให้สารที่ถูกดูดซับสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปยังรูพรุนขนาดเล็กได้ง่ายขึ้น มักนำไปใช้ประโยชน์ในการฟอกสีและการผลิตยา

3. แบ่งตามลักษณะของรูปร่าง

3.1 ประเภทผง เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ไม่น้อยกว่าร้อยละ 99 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นผง ใช้สำหรับฟอกสีและดูดกลิ่นในของเหลว

3.2 ประเภทเม็ด เป็นถ่านกัมมันต์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 นาโนเมตร ไม่เกินกว่าร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีลักษณะเป็นเม็ดซึ่งได้จากการอัดผ่านเครื่องอัด หรืออาจทำให้เป็นเกล็ดใช้สำหรับทำแก๊สให้บริสุทธิ์ หรือการทำตัวทำละลายที่ใช้แล้วให้บริสุทธิ์ นอกจากนี้ยังใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการปฏิกิริยาของแก๊ส และใช้ทำหน้ากากป้องกันแก๊สและไอพิษต่างๆ

4. แบ่งตามความหนาแน่นของถ่านกัมมันต์

4.1 ความหนาแน่นต่ำ มักใช้ประโยชน์ในภาวะที่เป็นสารละลาย เช่น ฟอกสีน้ำตาลหรือทำน้ำให้บริสุทธิ์

4.2 ความหนาแน่นสูง ใช้ในการดูดซับแก๊สหรือไอระเหย

2.8.2 โครงสร้างรูพรุนของถ่านกัมมันต์

เมื่อพิจรณาลักษณะผิวของถ่านกัมมันต์แล้วจะพบว่ามีลักษณะเป็นรูพรุนจำนวนมาก มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแตกต่างกัน รูพรุนเหล่านี้จะลึกเข้าไปในเนื้อของถ่านกัมมันต์ อย่างไม่เป็นระเบียบและความลึกไม่สม่ำเสมอ ลักษณะของรูพรุนเหล่านี้เปรียบได้กับหลอดแก้วขนาดเล็ก (Capillary tube) ที่เสียบเข้าไปในเนื้อถ่านกัมมันต์ โดยทั่วไปจะเรียกรูพรุนเหล่านี้ตามขนาด รูพรุน

ที่มีขนาดเล็กมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวจำเพาะ เชื่อว่าปริมาณของรูพรุนแต่ละขนาด หรือที่เรียกว่า การกระจายขนาดรูพรุน (Pore size distribution) จะขึ้นกับชนิดของวัสดุที่ใช้และวิธีการกระตุ้น

รูพรุนขนาดใหญ่จะเกิดขึ้นในช่วงการกระตุ้นด้วยแก๊สออกซิไดซ์ ซึ่งเป็นการกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆออกจากช่องว่างของถ่านที่ใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้น รวมทั้งเกิดการจัดเรียงและเคลื่อนย้ายอะตอมเพื่อให้เกิดช่องว่างที่มีอำนาจการดูดซับ รูพรุนที่มีขนาดใหญ่จะทำหน้าที่เป็นเพียงทางผ่านของสารถูกดูดซับเข้าไปยังรูพรุนขนาดเล็กจึงไม่มีผลต่อความจุในการดูดซับแต่จะมีผลต่ออัตราเร็วในการดูดซับ สำหรับรูพรุนขนาดกลางนั้นสามารถดูดซับโมเลกุลของของเหลวได้บ้าง แต่จะมีความสำคัญมากขึ้นเมื่อดูดซับที่ความดันสัมพัทธ์สูงๆ โดยทั่วๆไปถ่านกัมมันต์เกรดการค้าจะมีรูพรุนขนาดกลางประมาณ 200-300 ตารางเมตรต่อกรัม สำหรับรูพรุนขนาดเล็กมีหน้าที่ในการดูดซับจึงมีผลต่อความจุในการดูดซับ โดยเฉพาะการดูดซับที่มีความดันสัมพัทธ์ต่ำ ถ่านกัมมันต์จะมีรูพรุนขนาดเล็กประมาณร้อยละ 90 ถึง 95 ของพื้นที่ผิวทั้งหมด นอกจากนี้ยังพบว่า ความจุในการดูดซับยังขึ้นกับลักษณะและธรรมชาติของพื้นผิวด้วย กล่าวคือ ถ้าผิวของถ่านกัมมันต์เป็นเพียงระนาบพื้นฐาน (basal planes) ซึ่งไม่มีหมู่ฟังก์ชันนัลอื่นๆ การดูดซับจะเกิดจากแรงแวนเดอวาลหรืออาจเกิดจากไพอิเล็กตรอน แรงยึดเหนี่ยวทั้งสองเป็นแรงที่ค่อนข้างอ่อนแม้จะดูดซับได้แต่ก็มีโอกาสจะหลุดออกได้ง่าย แต่ถ้าเป็นผิวบริเวณที่มีหมู่ฟังก์ชันนัลการดูดซับจะเกิดจากแรงที่แข็งแรง โอกาสที่โมเลกุลของสารถูกดูดซับจะหลุดออกมาจึงมีน้อยกว่า หมู่ฟังก์ชันนัลบนผิวของถ่านกัมมันต์มี 2 ชนิดคือ พวกออกไซด์ของกรด ซึ่งพบมากในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตที่อุณหภูมิประมาณ 400 ถึง 500 องศาเซลเซียส และพวกออกไซด์ของเบส ซึ่งพบมากในถ่านกัมมันต์ที่ผลิตที่อุณหภูมิประมาณ 800 ถึง 1000 องศาเซลเซียส

2.8.3 การดูดซับของถ่านกัมมันต์

ความจุของการดูดซับของถ่านกัมมันต์ (Adsorption Capacity) จะขึ้นกับ พื้นที่ผิวทั้งหมด (total surface area) โครงสร้างรูพรุนในเนื้อถ่าน การมีฟังก์ชันนัล (functional group) กรุ๊ปต่างๆ บนผิวรูพรุนของถ่าน

ขนาดรูพรุนบริเวณผิวจะเป็นสิ่งหนึ่งที่กำหนดความจุในการดูดซับ โดยโครงสร้างทางเคมีที่ผิวถ่านกัมมันต์จะมีผลต่อสารที่ถูกดูดซับในกรณีที่สารนั้นมีขั้วหรือไม่มีขั้ว นอกจากนั้นตำแหน่งที่ว่องไวบริเวณผิวถ่านกัมมันต์จะเป็นสิ่งที่กำหนดชนิดของปฏิกิริยาเคมีที่ผิวถ่านกับโมเลกุลอื่น

ดังนั้นในการดูดซับของถ่านกัมมันต์จึงไม่ขึ้นกับพื้นที่ผิวอย่างเดียว ซึ่งถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวเท่ากันแต่ได้จากการเตรียมที่มีวิธีต่างกัน อาจเป็นวิธีการกระตุ้นที่ต่างกันก็สามารถให้ลักษณะการดูดซับ (Adsorption characteristics) ที่ต่างกัน ดังนั้นถ่านกัมมันต์ที่ดีจึงควรมีพื้นที่ผิวมากและมีขนาดรูพรุนที่เหมาะสมกับสปีชีส์ (species) ที่ถูกดูดซับ

ที่บริเวณผิวของถ่านกัมมันต์จะมีผลึกคาร์บอนอยู่ที่บริเวณผิวและขอบของผลึกคาร์บอนโดยจะมีตำแหน่งวาเลนซ์ที่เหลืออยู่จึงทำให้บริเวณดังกล่าวเป็นตำแหน่งที่ว่องไว จะเห็นได้จากการดูดซับทางเคมีที่บริเวณผิวถ่าน ธาตุที่ถูกดูดซับเข้ามาอาจเป็นออกซิเจนไนโตรเจน ไฮโดรเจน คลอรีน โบรมีน ไอโอดีน และซัลเฟอร์ ซึ่งเป็นการดูดซับแบบซับซ้อนที่บริเวณผิวจึงไม่สามารถเขียนกลไกการดูดซับออกมาในรูปแบบของสมการเคมีได้

เมื่อพิจรณาหมู่ฟังก์ชันนัลที่บริเวณผิวของถ่านกัมมันต์ พบว่าหมู่ฟังก์ชันนัลที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบมีความสำคัญมากที่สุด เมื่อตรวจสอบที่บริเวณผิวของคาร์บอนโดยใช้เอกซ์เรย์ พบว่าอะตอมของออกซิเจนจะสร้างพันธะกับอะตอมของคาร์บอน ซึ่งจะมีเป็นจำนวนใกที่บริเวณขอบของโมเลกุลคาร์บอนที่เกาะตัวเป็นอะโรแมติกโดยพันธะระหว่างออกซิเจนและไฮโดรเจนจะมีอิทธิพลมากที่สุดต่อลักษณะ

2.9 การดูดซับ (Adsorption) [10, 11]

การดูดซับ (Adsorption) คือ กระบวนการที่โมเลกุลของแก๊สไปเกาะติดบนพื้นผิวของของแข็งและปลดปล่อยพลังงานออกมา สารที่ไปเกาะติดบนพื้นผิวหน้าเรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนสารที่ตัวถูกดูดซับไปเกาะเรียกว่า ตัวดูดซับ (adsorbent) ซึ่งการเกาะติดบนพื้นผิวดังกล่าวสามารถจำแนกได้ เป็นการเกาะติดด้วยแรงกายภาพ หรือด้วยพันธะเคมี ขึ้นอยู่กับสมบัติของแก๊สที่ถูกดูดซับ และสมบัติของพื้นผิวตัวดูดซับ แรงกายภาพได้แก่แรงดึงดูดระหว่างมวลหรือระหว่างโมเลกุล และแรงดึงดูดระหว่างขั้วสำหรับกรณีที่โมเลกุลแก๊สที่ถูกดูดซับและพื้นผิวตัวดูดซับมีความเป็นขั้ว โดยทั่วไปการดูดซับด้วยแรงทางกายภาพเรียกว่า การดูดซับเชิงกายภาพ (physisorption) ซึ่งความสามารถในการดูดซับจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของระบบเพิ่มขึ้น ในกรณีที่การดูดซับเนื่องจากพันธะเคมี ซึ่งเป็นการใช้อิเล็กตรอนร่วมด้วยกันเรียกว่า การดูดซับเชิงเคมี (chemisorptions) อย่างไรก็ตามการดูดซับเชื้อเพลิงแก๊สโดยยางธรรมชาติไม่เกิดปฏิกิริยาเคมี จึงพิจารณาให้เป็นเพียงการดูดซับเชิงกายภาพเท่านั้น

การดูดซับแก๊ส มักอธิบายกันในรูปของพลังงานพื้นผิว (Surface Energy) ต่อหน่วยพื้นที่ของของแข็ง โดยปกติอะตอมและโมเลกุลของของแข็งจะยึดกันอยู่ด้วยแรงทางกายภาพอย่างเหนียวแน่นด้วยพันธะทางเคมี Valence (Chemical) Bond และแรง Van Der Waals โมเลกุลภายในของของแข็งแต่ละตัวจะถูกดึงดูดจากโมเลกุลอื่นที่อยู่รอบๆจึงเกิดการสมดุล แต่โมเลกุลที่ผิวของของแข็งจะไม่สมดุลเนื่องจากมีโมเลกุลอยู่ไม่รอบ จึงเหลือแรงลัพธ์ ซึ่งเป็นแรงดึงดูดโมเลกุลสารอื่นที่เข้ามาใกล้ แรงดังกล่าวทำให้เกิดพลังงานที่ผิวของโมเลกุลเรียกว่า Surface Energy เมื่อ Surface Energy ของของแข็งมีค่าสูงกว่าพลังงานจลน์ของโมเลกุลของแก๊สที่เคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวของของแข็งนั้นๆ โมเลกุลของแก๊สจึงถูกดูดซับไว้ที่ผิวของของแข็ง ตัวอย่างการดูดซับที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ เช่น เสื้อผ้าที่ดูดโมเลกุลของควันบุหรี่ ทำให้เสื้อผ้ามีกลิ่นบุหรี่เป็นต้น

2.9.1 จลนพลศาสตร์ของการดูดซับ (Kinetics Adsorption)

ลักษณะการดูดซับ หรือการส่งถ่ายมวลสารที่อยู่ภายในแก๊สไปยังพื้นผิวของของแข็งมีหลายขั้นตอน คือ

1. การถ่ายโอนมวลสารของสารที่ถูกดูดซับ จากบริเวณหนึ่งสู่บริเวณรอบนอกที่ใกล้กับพื้นผิวของสารดูดซับ (External Diffusion)

2. การถ่ายโอนมวลของสารที่ถูกดูดซับจากรอบนอกที่ใกล้กับพื้นผิวของสารดูดซับเข้าสู่พื้นผิวภายในรูพรุน (Pore) ของสารดูดซับ (Internal Diffusion)

3. การดูดซับ คือ การที่โมเลกุลที่อยู่ภายในรูพรุนถูกดูดซับจากแก๊สไปยังวัฏภาคของแข็ง ซึ่งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับสองขั้นตอนที่ผ่านมา ดังนั้น จึงสมมติว่า ภาวะสมดุลเกิดขึ้นระหว่าง วัฏภาคทั้งสองนี้

สมบัติที่สำคัญของตัวดูดซับ ได้แก่ ความพรุน เพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสภายใน นอกจากนี้สมบัติอื่น ๆ ของรูพรุนเช่น โครงสร้าง การจัดเรียงตัว ขนาด และความสม่ำเสมอล้วนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการดูดซับ

2.9.2 ปัจจัยที่มีผลกับความสามารถในการดูดซับแก๊ส

1. ตัวดูดซับ ชนิด ลักษณะทางกายภาพและทางเคมี เช่น พื้นที่ผิวสัมผัส ขนาดรูพรุน องค์ประกอบทางเคมี
2. ตัวถูกดูดซับ ชนิด ลักษณะทางกายภาพและทางเคมี เช่น ขนาดของโมเลกุล ความมีขั้วของโมเลกุล องค์ประกอบทางเคมี

3. ความดันหรือความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับ
4. ความเข้มข้นและสมบัติของแก๊สปนเปื้อนรอบๆ ตัวดูดซับ
5. ประสิทธิภาพของการดูดซับที่ต้องการ (Removal Efficiency Required)
6. อุณหภูมิ และความชื้นของอากาศที่มีแก๊สปนเปื้อนเจือปนอยู่
7. เวลาที่อยู่ในระบบ

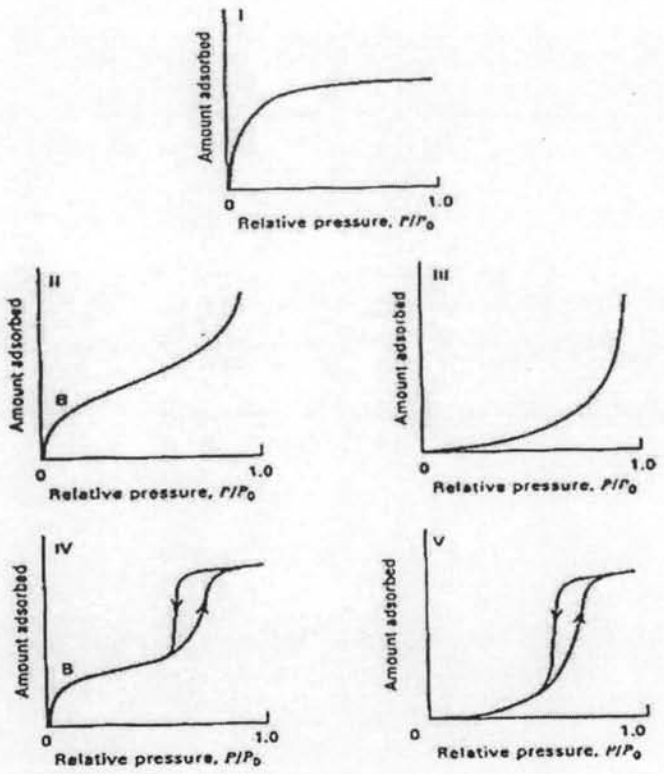
ปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมานั้นสามารถควบคุมได้ ยกเว้นอุณหภูมิ และความชื้น เพราะอากาศแต่ละวันจะมีค่าอุณหภูมิ และความชื้นแตกต่างกันไป

การดูดซับแก๊สที่ดีจะอยู่ในภาวะอุณหภูมิ และความชื้นต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิต่ำจะทำให้พลังงานจลน์ (Kinetic energy) ของตัวถูกดูดซับ และพลังงานที่จะใช้ในกระบวนการดูดซับจะต่ำลง และเมื่อความชื้นต่ำจะมีน้ำในอากาศที่จะเกาะตัวดูดซับน้อยลง ปริมาณน้ำที่เกาะตัวดูดซับทำให้พื้นที่สัมผัสแก๊สน้อยลง

2.9.3 สมดุลของการดูดซับ

ความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับ นอกจากจะขึ้นอยู่กับสมบัติของตัวดูดซับเอง เช่น จำนวนช่องว่าง หรือผิวที่ใช้ในการดูดซับแล้ว ยังขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความดันที่ใช้ในการดูดซับ ซึ่งสภาพของสมดุลหาได้จากการทดลอง โดยนิยมที่จะนำมาแสดงในลักษณะของ ไอโซเทอม (Isotherm) โดยเป็นเส้นแสดงปริมาณการดูดซับที่อุณหภูมิคงที่ แต่ความดันเปลี่ยนไป การดูดซับจะทำได้มากขึ้นถ้าความดันสูง และจะลดลงเมื่อความดันต่ำลง ข้อมูลอีกประเภทหนึ่งคือ ไอโซบาร์ (Isobar) ซึ่งจะแสดงปริมาณการดูดซับเมื่อความดันคงที่ แต่อุณหภูมิเปลี่ยนไป การดูดซับทำได้มากเมื่ออุณหภูมิต่ำ และจะน้อยเมื่ออุณหภูมิสูง

สมดุลการดูดซับแก๊สแต่ละชนิด ณ อุณหภูมิต่าง ๆ มักถูกเลือกใช้เป็นเกณฑ์ข้อหนึ่งสำหรับการเลือกชนิดตัวดูดซับที่สามารถดูดซับแก๊สได้ในอัตราที่ใกล้เคียงกัน ลักษณะสมดุลการดูดซับแก๊สจึงแบ่งออกเป็น 5 แบบดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะเส้นสมดุลการดูดซับ 5 แบบ

2.9.4 การวัดสมดุลการดูดซับ

ภายใต้ภาวะสมดุลของระบบการดูดซับ ปริมาณของสารถูกดูดซับที่ถูกดูดซับไว้จะสมดุลกับปริมาณสารถูกดูดซับนั้นที่อยู่ในวัฏภาคแก๊ส ซึ่งสามารถวัดได้โดยตรงด้วยวิธีเชิงปริมาตร (Volumetric Method) หรือวิธีเชิงน้ำหนัก (Gravimetric Method) หรืออาจวัดได้โดยทางอ้อมด้วยวิธีโครมาโทกราฟี (Chromatography) ซึ่งเหมาะสำหรับสารถูกดูดซับที่มีความเข้มข้นต่ำ หรือด้วยวิธีเชิงไดนามิก เรียกว่า วิธีไหลผ่านทะลุ (Breakthrough Method)

1. วิธีเชิงปริมาตร (Volumetric Method)

การวัดสมดุลการดูดซับ สามารถทำได้โดยการป้อนสารถูกดูดซับเข้าสู่ระบบการดูดซับที่เป็นระบบปิด ซึ่งทราบปริมาตรที่แน่นอน และสามารถควบคุมอุณหภูมิของระบบได้ โดยระบบมีภาวะเริ่มต้นใกล้ ๆ สูญญากาศสัมบูรณ์ และบรรจุตัวดูดซับสำหรับวัดสมดุล ซึ่งผ่านการคืนสภาพแล้ว (Regenerate) ปริมาณการดูดซับสามารถคำนวณได้จากผลต่างของปริมาณแก๊สถูกดูดซับที่ป้อนเข้า และเหลืออยู่ในระบบหลังการดูดซับเข้าสู่สมดุล ซึ่งพิจารณาได้จาก ความดันปริมาตร และอุณหภูมิของระบบ

2. วิธีเชิงน้ำหนัก (Gravimetric Method)

การวัดสมดุลการดูดซับ ทำได้เช่นเดียวกับวิธีเชิงปริมาตร แตกต่างกันที่ ปริมาณการดูดซับสามารถวัดได้โดยการชั่งน้ำหนักตัวดูดซับที่เปลี่ยนไป ณ ภาวะสมดุลในระบบปิดที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ภายใต้ภาวะเริ่มต้นที่ใกล้ ๆ สุญญากาศสัมบูรณ์ โดยเครื่องชั่งที่ใช้มีความแม่นยำสูง

3. วิธีโครมาโทรกราฟี (Chromatography)

ณ ภาวะความดันปกติ แก๊สถูกดูดซับปริมาณเพียงเล็กน้อย ถูกป้อนเข้าสู่หอดูดซับที่มีแก๊สพาไหลผ่านในช่วงเวลาสั้น ๆ (Pulse Injection) ซึ่งโครมาโทแกรมที่ได้จากการป้อนแก๊สถูกดูดซับเข้าสู่หอดูดซับ สามารถนำมาวิเคราะห์เวลาเฉลี่ยของตัวถูกดูดซับในหอดูดซับแบบถ่วงน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาค่าคงที่สมดุลการดูดซับ ซึ่งสอดคล้องกับไอโซเทิร์มเชิงเส้น

4. วิธีไหลผ่านทะลุ (Breakthrough Method)

ข้อมูลสมดุลการดูดซับ สามารถวัดได้โดยอาศัยเทคนิคการไหลผ่านทะลุหอดูดซับของแก๊สถูกดูดซับความเข้มข้นต่าง ๆ ภายใต้ภาวะอุณหภูมิที่กำหนด ณ ภาวะความดันคงที่ ซึ่งแก๊สถูกดูดซับจะถูกป้อนแบบต่อเนื่องเข้าผสมกับแก๊สพา เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่กำหนด ก่อนไหลผ่านหอดูดซับที่บรรจุตัวดูดซับไว้ ข้อมูลของสมดุล สามารถแสดงได้ด้วยเส้นโค้งไหลผ่านทะลุ โดยเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ กับเวลา ณ ตำแหน่งทางออกของหอดูดซับ

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

MacDonald, J. A. F. และ Quinn, D. F. [12] ศึกษาวัสดุประกอบที่เกิดขึ้นโดยการรวมตัวของพอลิไวนิลไอดีนกับน้ำยาง และถ่าน AX-21 ต่อมาทำการไพโรไรซิส ถ่านที่ทำให้มีก้อนขนาดใหญ่ที่มีความกระชับเหมาะสมในการใช้เป็นที่จัดเก็บเชื้อเพลิงแก๊ส วัสดุประกอบแสดงให้เห็นว่าโมเลกุลที่มีความยาวของน้ำยางสามารถทำให้เกิดช่องว่างข้างในขนาดใหญ่ที่ไม่ต้องการ และช่องว่างระหว่างอนุภาคภายในของถ่านกัมมันต์ และยังคงอยู่หลังผ่านการไพโรไรซิส ดังนั้นจึงควรมีการกำจัดช่องว่างบางส่วนที่เป็นปัญหาที่พบอย่างสม่ำเสมอเมื่อมีความต้องการที่จะจัดเก็บแก๊สให้ได้ในปริมาณที่มากต่อปริมาตรมาตรฐาน วัสดุประกอบที่ดีที่สุดถูกทำให้เกิดโดย 60% ของ superactive carbon และ 40% ของ polymer carbon โดย polymer carbon ได้มาจากน้ำยาง

Pike, M. [13] ศึกษาการเตรียมยางผงด้วยวิธีฉีดแห้ง (spray dried latex) โดยนำน้ำยางมาทำให้มีความเสถียรเพิ่มขึ้น แล้วทำให้เป็นครีม (creaming) ก่อนนำมาฉีดด้วยอากาศร้อนประมาณ 200 องศาเซลเซียส จนแห้งแล้วส่งไปเก็บ วิธีนี้ใช้เวลาเพียงไม่กี่วินาทีเท่านั้นก็จะได้ยางผงในที่สุด

Azaar, K. and coworkers [14] ศึกษาการบวมของแผ่นยาง EPDM รูปกลม โดยการดูดซับโทลูอีน กระบวนการนี้ถูกควบคุมโดยการแพร่ชั่วคราว และได้ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณ เปอร์ออกไซด์ เป็น 2, 10 และ 20 เปอร์เซ็น เพื่อใช้ในการรักษาสภาพแผ่นยาง EPDM พบว่าการใส่เปอร์ออกไซด์ปริมาณมาก จะทำให้จำนวน โทลูอีนที่ถูกดูดซับลดลง และความหนาของแผ่นยางจากการบวมจะไม่เป็นผลจากปริมาณเปอร์ออกไซด์ แต่มีผลมาจากเวลา

คัทลียา ชะโรจน์บวร [15] ศึกษาการถ่ายโอนสารอินทรีย์เข้าไปในยางธรรมชาติ โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตเป็นตัวพาเข้าไปในอนุภาคยาง แล้วทำให้ยางพองตัวขึ้น เกิดระยะห่างระหว่างสายโมเลกุลมากขึ้น แต่ไม่ทำให้เกิดการขาด หรือ ทำลายโมเลกุลยางให้สั้นลง โดยยางที่ดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตแล้วยังคงมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยใกล้เคียงกับยางเริ่มต้น เมื่อบดยางด้วยวิธีกลเป็นเวลา 15 นาที ความหนืดมูนนี่ และน้ำหนักโมเลกุลจะลดลงร้อยละ 20 และร้อยละ 32 ของค่าเริ่มต้น ตามลำดับ และทำให้ไขพาราฟิน และโพรพิลีนไกลคอลสามารถแทรกซึมเข้าไปในยางธรรมชาติมากขึ้น และจากการทดลองที่ภาวะต่างๆ พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อปริมาณการแทรกซึมของโพรพิลีนไกลคอล เพราะโพรพิลีนไกลคอล เป็นโมเลกุลมีขั้วขนาดเล็กที่สามารถแทรกซึมเข้าไปในยางธรรมชาติได้น้อยมากในภาวะปกติ ดังนั้น คาร์บอนไดออกไซด์ภาวะเหนือวิกฤตจึงเป็นตัวพาที่ดี ที่ช่วยให้โพรพิลีนไกลคอลแทรกซึมเข้าไปได้มากขึ้น

Chutima Chotiwatsin [16] ยางธรรมชาติเป็นไฮโดรคาร์บอนที่เป็นสายของพอลิไอโซพรีน มีสมบัติในการดูดซึมสารไฮโดรคาร์บอนได้ และการถ่ายโอนมวลของสารไฮโดรคาร์บอนเหลวเข้าสู่ยางธรรมชาติ จะทำให้เกิดการพองตัวของยางธรรมชาติ ซึ่งสามารถติดตามได้โดยการใช้ระบบทัศนภาพเข้ามาช่วยในการหาอัตราการพองตัวของยางที่เกิดขึ้น โดยวัดขนาดรัศมีของชิ้นตัวอย่างยางรูปแผ่นกลมที่เปลี่ยนไปกับเวลา เมื่อให้สารอินทรีย์เหลวแทรกซึมเข้าไปตามแนวรัศมี การถ่ายโอนมวลของสารไฮโดรคาร์บอนเหลวเข้าสู่ยางธรรมชาติ เป็นไปตามทฤษฎีการแทรกซึม (penetration theory) โดยอัตราการดูดซึมสารแปรผันกับรากที่สองของเวลา (t1/2) ผลการวิจัยทำให้สามารถเสนอพารามิเตอร์ใหม่คือ gamma เป็นดัชนีเฉพาะของสารแต่ละชนิดทำให้สามารถเปรียบเทียบอัตราการถ่ายโอนมวลของสารอินทรีย์เหลวเข้าสู่ยางธรรมชาติโดยเปรียบเทียบกับสาร aromatics ค่า gamma ของสารอินทรีย์ที่ใช้ทดสอบคือกลุ่ม aliphatics (C1-C8) aromatics (BTX) อีเทอร์

(THF) finear-alkyl benzene (LAB) แอลกอฮอล์ (isopropyl alcohol) ไกลคอล (2-ethyl-hexanediol และ propylene glycol) มีค่า gamma เท่ากับ 0.74, 1, 1.24, 1.32, 0.18, O.21 และ 0.23 ตามลำดับ

2.11 สมมุติฐานงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการผลิตอนุภาคยางให้มีความพรุนเพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับเชื้อเพลิง โดยความพรุนของอนุภาคยางที่ผลิตได้เกิดจากการที่สารไซรีนระเหยออกจากยางในขั้นตอนการเตรียมอนุภาคยาง และได้มีการใช้สารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ซึ่งเป็นสารเพิ่มความคงตัว (Stabilizer) จะช่วยให้อนุภาคยางที่ผลิตได้ไม่ติดกัน

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการดูดซับเชื้อเพลิงแก๊สด้วยสมมุติฐานที่ว่า สารไฮโดรคาร์บอนสามารถดูดซับสารไฮโดรคาร์บอนด้วยกันได้ โดยจะพบว่ายางธรรมชาติมีองค์ประกอบหลักเป็นสารไฮโดรคาร์บอน ดังนั้นจึงสามารถดูดซับเชื้อเพลิงแก๊สซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเช่นเดียวกันได้ และได้ทำการศึกษาผลของสารช่วยดูดซับต่อการดูดซับเชื้อเพลิงแก๊ส โดยสารช่วยดูดซับที่ใช้คือ ผงถ่านกัมมันต์ ซึ่งมีสมบัติที่ดีในการดูดซับเชื้อเพลิงแก๊ส ความสามารถในการดูดซับเชื้อเพลิงแก๊สของผงถ่านกัมมันต์จะขึ้นกับ พื้นที่ผิวทั้งหมด และโครงสร้างรูพรุนในเนื้อถ่านขนาดรูพรุนบริเวณผิวก็เป็นสิ่งหนึ่งที่กำหนดความจุในการดูดซับ