

บทที่ 2

วารสารปริทรรศน์

2.1 พืชที่ให้น้ำยาง

ในโลกนี้มีพืชที่ให้น้ำยางนับพันชนิด อยู่ในทวีปต่างๆ แต่น้ำยางจากแต่ละชนิดมีสมบัติแตกต่างกัน บางอย่างก็ใช้ทำอะไรไม่ได้เลย ถ้าจำแนกทางสมบัติของเนื้อยางในแง่ความยืดหยุ่นตัว สามารถจัดได้เป็น 2 พวกคือ พืชพวกที่ให้น้ำยางอย่างสมบูรณ์ และอีกพวกหนึ่งคือให้น้ำยางเหมือนกันแต่น้ำยางต่ำมากจนไม่อาจจะถือว่าเป็นยางอย่างสมบูรณ์เช่น ยางกัตตาเปอชา (*Gutta percha* คำว่า *Gutta* มาจาก *Getah* ภาษามลายูแปลว่ายาง) ยางเยลูดง และยางบาลาตา เป็นต้น ยางจากต้นพืชเหล่านี้มีความเหนียวอยู่บ้าง และมีแต่เพียงสูตรโมเลกุลเหมือนกันเท่านั้น แต่สมบัติของยางต่างกันมาก จะเอายางเยลูดงไปทำวัตถุสำเร็จรูปเช่น ยางรถยนต์ หรือรองเท้ายางอย่าง ยางต่างๆ ไปไม่ได้ แต่โดยที่มีปริมาณเรซินสูง จึงเหมาะที่จะใช้ทำหมากฝรั่งมากกว่า

ยางกัตตาเปอชา ได้มาจากต้นไม้ชื่อกัตตา (*Palaguium oblongifolium*) มีมากในอินโดนีเซียใช้สำหรับหุ้มสายเคเบิลได้น้ำ ยางเยลูดง มาจากต้นไม้ที่ให้น้ำยางหลายชนิดด้วยกันเช่น ต้นตีนเป็ด หรือต้นพญาสัตบรรณ (*Alstonia scholaris*) เป็นต้นไม้สูงถึง 25 เมตร วดรอบต้นไม้ได้ประมาณ 2 เมตร มีทั่วไปในแหลมมลายู และในอินโดนีเซีย อีกชนิดหนึ่งเป็นที่มาของยางเยลูดงเหมือนกันคือ จากต้นตีนเป็ดแดง (*Dyera costulata*) มลายูเรียกว่า เยลูดง ต้นที่ใหญ่มากมีขนาดสูงถึง 45 เมตร และลำต้นโดยรอบวัดได้ถึง 7.5 เมตร ต้นที่ใหญ่มากๆ กิ่งใหญ่กิ่งแรกจะสูงจากพื้นดินถึง 30 – 50 ฟุต อีกชนิดหนึ่งคือ ยางบาลาตา เป็นยางที่มาจากต้นไม้ที่อยู่ในอเมริกาใต้ตอนเหนือชื่อ *Mimusops balata* ถ้าได้ยางมาจากต้น *Achras sapota* ในอเมริกากลางซึ่งมียางเหนียวกว่ายางบาลาตาจะเรียกยางนั้นว่ายาง *chicle* (ผู้ทำหมากฝรั่งชายเลยนำเอาชื่อนี้มาใช้เป็นชื่อหมากฝรั่ง *Chiclets*) ต้นไม้ที่ให้น้ำยางดังกล่าวนี้มีอีกมากมาย

ยางที่มีอยู่ในต้นไม้อื่นๆ เช่น ยางคัสทิลลา ยางพิดัส ยางวายุยูเล่ และยางฮีเวีย เป็นต้น ชาวพื้นเมืองรู้จักใช้มานานแล้วเช่น ทำขูดปากแคบใส่น้ำ ทำรองเท้า ทำผ้ากันฝน ทำลูกบอลสำหรับเล่นเกมต่างๆ ตั้งแต่ก่อนที่โคลัมบัสจะไปพบอเมริกาหลายร้อยปี ทางด้านเอเชียก็เช่นกันก็มีต้นยางอยู่หลายชนิดเช่น *Ficus elustica* (อินเดียนเบอร์) และ *Ficus alba* เป็นต้น คงจะใช้ยางเหล่านี้ทำประโยชน์อยู่ก่อนนานแล้วเช่นกัน เมื่อโคลัมบัสไปพบอเมริกาเห็นชาวพื้นเมืองคือชาวอินเดียนแดง และชาวมายันเล่นเกมลูกบอลเป็นเกมสนุกอยู่แล้ว นับเป็นครั้งแรกที่ชาวยุโรปเริ่มรู้

จักยาง เมื่อชาวยุโรปรู้จัก และเห็นยางแล้วแต่ก็ยังไม่รู้จักวิธีที่จะนำเอาไปใช้ให้เป็นประโยชน์ ต้องรอต่อมาอีกหลายร้อยปีจึงค่อยรู้จักยางดีขึ้น และนำเอาไปใช้ทำประโยชน์ได้กว้างขวางขึ้น จนกลายเป็นปัจจัยสำคัญที่พัฒนาโลกให้ก้าวหน้ามาจนบัดนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งยางพารา *Hevea brasiliensis* มีบทบาทที่สำคัญอยู่มาก มากกว่าต้นยางชนิดใดๆ ทั้งหมด⁽¹⁾

ต้นยางฮีเวียส่วนมากให้น้ำยางน้อย เว้นแต่ *Hevea brasiliensis* เท่านั้นที่ให้เนื้อยางปริมาณมากที่สุด และ *Hevea brasiliensis* ในแหล่งอื่นๆ เช่น ในเปรู หรือตอนเหนือแม่น้ำอะเมซอนขึ้นไปก็ให้น้ำยางไม่มากเท่ากับที่แท็ปาจิออส ซึ่งเป็นที่เดียวกันกับที่เซอร์เฮนริคแฮมได้เก็บเอาเมล็ดมา ยางที่ได้จากต้นยางชนิดนี้ต่อมามีการซื้อขายกันมากที่เมืองท่าพารา ในลำน้ำอะเมซอน ประเทศบราซิลจึงนิยมเรียกยางที่ได้จากต้น *Hevea brasiliensis* ว่า "ยางพารา" หรือ "Para rubber" ในปัจจุบันนี้ได้ปลูกต้นยางพาราเป็นไม้สวนกันมาก นับว่าเป็นต้นไม้ที่น่าสนใจอย่างยิ่ง⁽²⁾

2.2 น้ำยางสด

น้ำยางสด เป็นส่วนของไซโตพลาสซึมที่อยู่ภายในท่อน้ำยางของต้นยางพารา สามารถทำให้ไหลออกมาจากท่อน้ำยาง โดยวิธีการกรีด หรือเจาะ จะพบนิวเคลียสจำนวนมากติดอยู่ข้างๆ ท่อน้ำยาง แต่ไม่ค่อยพบปะปนอยู่ในส่วนของน้ำยางหลังกรีด เป็นไปได้ว่านิวเคลียสนี้มีส่วนสำคัญในการควบคุมกระบวนการสร้างน้ำยางขึ้นมา

สำหรับส่วนของไมโทคอนเดรีย สามารถตรวจพบปริมาณจำนวนมาก ติดอยู่ภายในส่วนของท่อน้ำยางที่ยังอ่อนอยู่ แต่จะมีปริมาณลดลงเมื่อท่อน้ำยางอายุมากขึ้น ในน้ำยางซึ่งกรีดได้จากต้นยางจะพบไมโทคอนเดรียปริมาณน้อยมาก

ส่วนของท่อน้ำยาง มีลักษณะเป็นท่อที่เกิดจากเซลล์ต่อกัน โดยตรงปลายของแต่ละเซลล์จะทะลุถึงกัน และมีส่วนเชื่อมโยงถึงกันเป็นตาข่าย หากดูตามแนวตัดขวางของท่อน้ำยาง จะเห็นเป็นรูปค่อนข้างกลมเรียงอยู่รอบแกนของลำต้น แต่ถ้าดูตามแนวลำต้น จะพบท่อน้ำยางเรียงเป็นแนวยาวเชื่อมติดกันหลายๆ ท่อ ซึ่งท่อน้ำยางจากท่อหนึ่งสามารถไหลไปอีกท่อหนึ่งได้ และท่อน้ำยางจะไหลเวียนจากขวาไปซ้าย เมื่อท่อน้ำยางถูกตัดจากการกรีดยาง น้ำยางจึงไหลออกมาสู่ภายนอกเป็น น้ำยางสด

น้ำยางสดที่มาจากกรีดจากต้นยางพารา มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวเหมือนน้ำนม มีสภาพเป็นคอลลอยด์ หรือสารแขวนลอย มีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 0.975 ถึง 0.980 กรัมต่อมิลลิเมตร มีค่า pH ประมาณ 6.5 ถึง 7.0 ความหนืดของน้ำยางประมาณ 12-15 เซนติพอยส์ (น้ำ

บริสุทธิ์มีความหนืด 1 เซนติพอยส์) และอาจมีค่าแปรปรวน ขึ้นอยู่กับปริมาณของส่วนประกอบในน้ำยาง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีกเช่น พันธุ์ยาง อายุยาง ฤดูกาลกรีดยาง เป็นต้น

น้ำยาง มีลักษณะเป็นสารละลายคอลลอยด์ ชนิดไฮโดรโซล กล่าวคือเป็นสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย และมีอนุภาคยางลอยอยู่ แต่มีลักษณะพิเศษกว่าไฮโดรโซลทั่วไปคือ อนุภาคยางมีลักษณะทั้งชอบน้ำ (hydrophilic) กระจายได้ง่ายเมื่อมีน้ำเป็นตัวกลาง และไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) จึงไม่ยอมรวมกับน้ำ แต่ลักษณะไม่ชอบน้ำจะเด่นกว่า⁽⁴⁾

2.3 ส่วนประกอบของน้ำยาง

น้ำยางธรรมชาติ เป็นสารที่ไม่บริสุทธิ์ เมื่อกรีดยางต้นยาง มีปริมาณของเนื้อยางแห้งอยู่ระหว่างร้อยละ 25 ถึง 45 ความแตกต่างระหว่างปริมาณสารที่เป็นของแข็ง และสารที่เป็นเนื้อยางแห้งประมาณร้อยละ 3 (แต่เมื่อนำน้ำยางมาปั่นด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงแล้ว ความแตกต่างจะลดลงเหลือเพียงประมาณร้อยละ 1.5)

ส่วนประกอบต่างๆ ในน้ำยาง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ⁽¹⁾

1 ส่วนที่เป็นเนื้อยางร้อยละ	35
2 ส่วนที่ไม่ใช่ยางร้อยละ	65
2.1 ส่วนที่เป็นน้ำร้อยละ	55
2.2 ส่วนของลูทอยด์ และสารอื่นร้อยละ	10

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ⁽³⁾

ส่วนประกอบ	ร้อยละ
สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด	27 - 48
เนื้อยางแห้ง	25 - 45
สารพวกโปรตีน	1 - 1.5
สารพวกเรซิน	1 - 1.25
ซีไค้	สูงถึง 1
น้ำตาล	1
น้ำ	ส่วนที่เหลือจนครบ 100

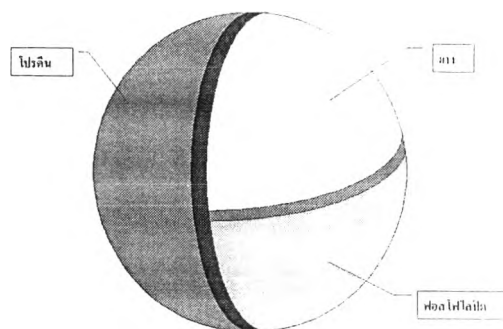
2.3.1 ส่วนของเนื้อเยื่อ

เนื้อเยื่อเป็นเม็ดเล็กๆ รูปร่างคล้ายลูกแพร์ หรือเรียกว่า globules ประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนประมาณร้อยละ 92 และสารอย่างอื่นที่มีไขมันอีกร้อยละ 8 ปนอยู่ สารที่มีไขมันดังกล่าวนี้ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เกลลิ่งแร้ เรซิน และเอ็นไซม์ สิ่งที่มีไขมันเหล่านี้แม้ว่าจะมีเพียงจำนวนเล็กน้อยแต่ก็มีอิทธิพลเป็นอย่างมากต่อการอบความร้อนให้คงรูป และต่อสมบัติอื่นๆ ของยางเป็นอย่างมาก⁽²⁾ ทั้งนี้เนื่องจากสารเหล่านี้สามารถเป็นตัวเร่ง และตัวกระตุ้นอย่างอ่อนๆ สำหรับการคงรูปของยางได้⁽⁵⁾

2.3.1.1 อนุภาคยาง

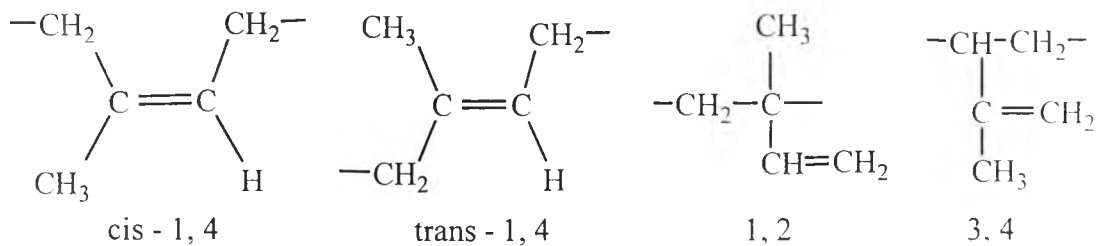
อนุภาคยางถูกห่อหุ้มด้วยสารจำพวกไขมัน และโปรตีน โดยโปรตีนนี้จะอยู่ชั้นนอก และอาจมีโลหะบางชนิดเช่น แมกนีเซียม โบแทสเซียม และทองแดงปะปนอยู่ปริมาณเล็กน้อยประมาณร้อยละ 0.5

โดยปกติอนุภาคยางจะแขวนลอยในน้ำ มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.92 กรัมต่อมิลลิลิตร ลักษณะอนุภาคยางเป็นรูปค่อนข้างทรงกลม มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันมากคือ อยู่ระหว่าง 0.02 ถึง 2 ไมโครเมตร (200 - 20,000 อังสตรอม) อนุภาคยางส่วนใหญ่จะมีขนาดเกิน 0.4 ไมโครเมตร (4,000 อังสตรอม) มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 1.2 ไมโครเมตร เมื่อนำน้ำยางสดมาปั่นด้วยความเร็วสูง พบว่าอนุภาคยางที่มีขนาดใหญ่จะแยกตัวออกจากชั้นน้ำขึ้นมาอยู่ด้านบนซึ่งสามารถแยกออกได้เป็นน้ำยางชั้น ส่วนอนุภาคยางที่มีขนาดเล็กจะปนอยู่กับหางน้ำยางสามารถแยกออกได้ โดยการทำให้จับตัวเป็นก้อนด้วยกรด⁽³⁾



ภาพที่ 2.1 ลักษณะอนุภาคยางธรรมชาติ

จากการศึกษาพบว่า ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีว่า พอลิไอโซพรีน $((C_5H_8)_n)$ ซึ่งได้จากหน่วยของไอโซพรีนต่อกันแบบหัวต่อหาง ข้อที่น่าสังเกตอีกอย่างคือ พอลิไอโซพรีนสามารถเกิดเป็นไอโซเมอร์ได้ ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 สูตรโครงสร้างแบบต่างๆ ของพอลิไอโซพรีน

ในทางทฤษฎี โครงสร้างทั้งหมดนี้สามารถเกิดกับพอลิไอโซพรีนได้ สำหรับตัวเลข 1,2 หรือ 1,4 หรือ 3,4 หมายถึง ตำแหน่งของคาร์บอนในแต่ละหน่วยที่จะต่อกับหน่วยอื่นๆ เพื่อให้โมเลกุลมีขนาดใหญ่ขึ้น และกรณี 1,4-พอลิไอโซพรีน จะเกิดมี สเตอริโอไอโซเมอร์แบบอื่นได้อีก เนื่องจากความไม่สามารถหมุนรอบพันธะคู่ได้ทำให้อะตอม หรือหมู่ที่มาต่อ อาจอยู่ด้านใดด้านหนึ่งของพันธะคู่ก็ได้ โครงสร้างที่เป็น ซีส-1,4 อะตอมของคาร์บอนทั้งตำแหน่งที่ 1 และ 4 จะอยู่ด้านเดียวกันของพันธะคู่ ส่วนโครงสร้างที่เป็น ทราน-1,4 อะตอมของคาร์บอนทั้งสองจะอยู่ด้านตรงข้ามกัน

จากการศึกษาด้วยรังสีเอ็กซ์ พบว่ายางธรรมชาติประกอบด้วยสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างเกือบทั้งหมดเป็น ซีส-1,4 ดังนั้น ชื่อทางเคมีที่แท้จริงของยางธรรมชาติคือ ซีส-1,4 พอลิไอโซพรีน และจากการค้นคว้าด้วยไออาร์ ก็ยืนยันว่า ยางธรรมชาติประกอบด้วย ซีส-1,4 พอลิไอโซพรีน ประมาณร้อยละ 97 และถ้าทุกโมเลกุลประกอบด้วยไอโซเมอร์เดียวกันหมด เรียกว่ามี "stereoregularity" โครงสร้างจึงมีความสม่ำเสมอ ดังนั้นเมื่อนำยางธรรมชาติไปดึงให้ยืดออกจะสามารถเกิดผลึก (crystallization) ได้ จึงทำให้ความทนแรงดึงของยางดิบ (gum tensile strength) มีค่าสูง

ยางธรรมชาติ เมื่อถูกทำให้คงรูปด้วยสารประกอบของกำมะถัน จะเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุล เนื่องจากมีพันธะคู่ที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาอยู่ภายในโมเลกุล

ยางฮีเวีย มีโครงสร้างเป็น ซีส-1,4 พอลิไอโซพรีน ส่วนยางกัตตาเปอร์ชา หรือยางบาลาต้า จะมีโครงสร้างเป็น ทราน-1,4 พอลิไอโซพรีน ซึ่งต้นกัตตาแปร์ชามีปลูกอยู่ในประเทศมาเลเซีย ส่วนต้นบาลาต้า มีปลูกอยู่ตามชายฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือของทวีปอเมริกาใต้ และประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งในทางการค้าไม่ค่อยมีความสำคัญ จะมีการใช้น้อย แต่เดิมใช้ทำฉนวนหุ้มสายเคเบิล

ได้น้ำ แต่ปัจจุบันใช้หุ้มลูกกอล์ฟ และกาวพิเศษบางชนิดเท่านั้น ทั้งนี้เพราะน้ำยางแข็งตัวเร็วมาก ในอากาศ⁽⁴⁾

2.3.1.2 โปรตีน

ส่วนของสารพวกโปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงผิวรอบนอกของอนุภาคยาง มีอยู่ประมาณร้อยละ 25 ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำยาง ส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 50 จะอยู่ในชั้นน้ำ และอีกร้อยละ 25 จะปะปนอยู่ในส่วนของสารลูทอยด์ โปรตีนส่วนที่อยู่ในน้ำยาง ส่วนใหญ่เป็นชนิด แอลฟาไกลูบูลิน และฮีวิน

ส่วนนอกสุดของอนุภาคยาง มีโปรตีนห่อหุ้มอยู่ประมาณร้อยละ 1 ของอนุภาคยาง ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนชนิด แอลฟาไกลูบูลิน ซึ่งไม่ละลายในน้ำมากนัก แต่ละลายในกรด ต่าง และเกลือ มีค่าจุดไอโซอิเล็กทริกที่ pH 4.8 อนุภาคยางจะรวมตัวกันอย่างรวดเร็วที่ pH ของแอลฟาไกลูบูลินละลายได้น้อยที่สุด สำหรับโปรตีนที่ห่อหุ้มผิวรอบนอกของอนุภาคยางซึ่งเป็นพวกฮีวินสามารถละลายในน้ำได้ มีค่าจุดไอโซอิเล็กทริกที่ pH 4.5 จะป้องกันอนุภาคยางมารวมตัวกัน เมื่อมีการสูญเสียน้ำเช่น การเติมแอลกอฮอล์ หรือกรดอะซิติก อนุภาคยางจะเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน แยกออกจากส่วนของซีรัม โปรตีนบนผิวของอนุภาคยางนี้ มีส่วนประกอบของกำมะถัน (cystine disulphide linkage) อยู่ประมาณร้อยละ 5 ดังนั้นขณะที่น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพ จะเกิดการบูดเน่า โดยโปรตีนส่วนนี้จะสลายตัวให้สารประกอบพวกไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารเมอร์แคปแทน ทำให้มีกลิ่นเหม็น⁽³⁾

2.3.1.3 ไขมัน

ไขมันซึ่งอยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยาง และโปรตีน ส่วนใหญ่เป็นสารพวกฟอสโฟไลปิด ชนิดแอลฟาเลซิทิน เชื่อว่าทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวของอนุภาคยาง⁽³⁾

น้ำยางในสภาวะที่เป็นด่างเช่น มีแอมโมเนียอยู่ (ประมาณร้อยละ 0.6 ขึ้นไป) ฟอสโฟไลปิดจะถูกไฮโดรไลซ์ เป็นกรดไขมันที่มีโมเลกุลยาว ซึ่งจะรวมตัวกับแอมโมเนียกลายเป็นสบู่ ทำให้น้ำยางมีความเสถียรยิ่งขึ้น แต่กรณีที่มีแอมโมเนียปริมาณน้อย (ประมาณร้อยละ 0.2 ในน้ำยาง) การไฮโดรไลซิส จะเกิดขึ้นน้อย การเพิ่มความเสถียรของน้ำยางจึงจำเป็นต้องเพิ่มสบู่ หรือสารอื่นที่ช่วยในการเก็บรักษาน้ำยางเพิ่มลงไป

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของเนื้อมายางแห้ง⁽³⁾

ส่วนประกอบ	ร้อยละ
เนื้อมายางไฮโดรคาร์บอน	86
น้ำ กระจายอยู่ในเนื้อมายาง	10
สารโปรตีน	1
สารพวกไขมัน	3

2.3.2 ส่วนที่ไม่ใช่มายาง

2.3.2.1 ส่วนที่เป็นน้ำ หรือซีรัม

ซีรัมของน้ำมายาง มีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยสารชนิดต่างๆ⁽³⁾ คือ

(1) คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารพวกแป้ง และน้ำตาลมีอยู่ในน้ำมายางประมาณร้อยละ 1 น้ำตาลส่วนใหญ่เป็นชนิดคิวบราซิทอลมีน้ำตาลชนิด กลูโคส ซูโครส ฟรุคโตส ปริมาณเล็กน้อย น้ำตาลเหล่านี้จะถูกแบคทีเรียใช้เป็นอาหาร เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายตัวให้กรดโมเลกุลที่มีขนาดเล็กๆ ทำให้น้ำมายางเกิดการสูญเสียสภาพ และรวมตัวเป็นก้อน กรดเหล่านี้เป็นกรดที่ระเหยได้ง่าย จึงเรียกชื่อว่า VFA (volatile fatty acid) ประกอบด้วย กรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และกรดโพรไพโอนิก เป็นต้น ดังนั้น ค่ากรดไขมันระเหยได้จึงเป็นตัวเลขที่บ่งถึงความสามารถในการรักษาสภาพของน้ำมายาง โดยน้ำมายางที่เก็บรักษาดีจะมีค่ากรดไขมันระเหยได้ต่ำประมาณ 0.01 ถึง 0.02 (ตามมาตรฐานสากลของน้ำมายางชั้น กำหนดให้มีค่ากรดไขมันระเหยได้ไม่เกิน 0.2 หน่วย)

(2) โปรตีน และกรดอะมิโน

โปรตีน และกรดอะมิโนเป็นส่วนที่อยู่ในซีรัมของน้ำมายาง มีค่าจุดไอโซอิเล็กทริกหลายค่า โปรตีนที่มีค่าจุดไอโซอิเล็กทริกสูงสามารถสลายตัวให้ประจุบวกได้ เป็นสาเหตุให้น้ำมายางสูญเสียสภาพ โปรตีนที่พบมากในน้ำมายางสด ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนประเภท อัลฟาไกลูบูลิน ซึ่งมีสมบัติของสารตรงผิวของโมเลกุลมีความว่องไว ดังนั้นโดยทั่วไปจะอยู่ระหว่างรอยเชื่อมต่อของน้ำ - อากาศ และน้ำมัน - น้ำ

2.3.2.2 ส่วนของลูทอยด์ และสารอื่นๆ

(1) ลูทอยด์

ลูทอยด์ เป็นอนุภาคค่อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.5 ถึง 3 ไมโครเมตร ห่อหุ้มด้วยเยื่อบางๆ ภายในเยื่อบางนี้ จะมีทั้งสารละลาย และสารที่แขวนลอย มีค่า pH 5.5 ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตีน โดยมีโปรตีนที่ละลายน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 3 และมีส่วนของโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 2 นอกจากนี้ยังมีส่วนของสารพวกพอสโพลิปิดแขวนลอยอยู่ประมาณร้อยละ 0.5 และมีสารพวกพอลิฟีนอลออกซิเดส ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ยางมีสีเหลือง หรือสีคล้ำเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ ลูทอยด์ห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อชั้นเดียวสามารถเกิดการออสโมซิส ได้ง่าย ดังนั้นการเติมน้ำลงในน้ำยางสด จะทำให้ลูทอยด์บวม และแตกง่าย ขณะที่ลูทอยด์เกิดการพองตัวมีผลทำให้น้ำยางมีความหนืดเพิ่มขึ้น และเมื่อลูทอยด์แตกความหนืดก็จะลดลง

ในสภาพของอากาศร้อน อุณหภูมิสูงขึ้นมีผลทำให้ลูทอยด์แตกได้เช่นกัน โดยของเหลวภายในลูทอยด์จะขยายตัว และแตกออก เมื่อลูทอยด์แตก ของเหลวภายในซึ่งเป็นสารแขวนลอยที่มีประจุบวก และอิออนของโลหะเช่น แคลเซียมอิออน และแมกนีเซียมอิออน จะปะปนรวมกันอยู่ในซีรัม ทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกัน ก่อให้เกิดการอุดตันของท่อน้ำยาง มีผลทำให้น้ำยางหยุดไหลหลังกรี๊ด ส่วนเนื้อเยื่อบางของลูทอยด์ที่แตกออก มีรูปร่างไม่แน่นอน จะเกิดจากการจับตัวกันเองเป็นก้อน ติดอยู่บนผิวนอกของอนุภาคยาง ทำใหยางมีขนาดโตขึ้น และเกิดการเคลื่อนที่ได้ช้าลง เป็นสาเหตุหนึ่งทำให้น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพได้ หากเติมแอมโมเนียลงไปให้น้ำยางสด จะพบว่าส่วนของลูทอยด์ และสารพวกโลหะแมกนีเซียมจะรวมตัวกับแอมโมเนีย เกิดการตกตะกอนเป็นตะกอนสีน้ำตาล และสีม่วง แยกตัวออกจากเนื้อยาง และเกาะรวมกันอยู่ด้านล่างสามารถแยกออกได้

(2) อนุภาคเฟรย์ - วิสลิ่ง (Frey wysling)

อนุภาคเฟรย์ - วิสลิ่ง เป็นสารไม่ใช่ยางมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ายาง แต่ความหนาแน่นน้อยกว่า มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีผนังล้อมรอบสองชั้น มีปริมาณไม่มากนัก ประกอบด้วยสารเม็ดสีพวกคาร์บอนอยด์ ซึ่งทำใหยางมีสีเหลืองเข้ม สามารถรวมตัวกับแอมโมเนีย และแยกตัวออกจากยางมาอยู่ในส่วนของซีรัม

หากนำน้ำยางสดมาปั่นด้วยความเร็วสูงประมาณ 20,000 รอบต่อนาที จะสามารถแยกน้ำยางออกได้ 4 ส่วน เรียงจากด้านบนถึงด้านล่างของภาชนะดังนี้

- 1 ส่วนของเนื้อยาง
- 2 อนุภาคเพรย์ - วิสลิ้ง
- 3 ซีรัม
- 4 ตะกอนสีเหลือง หรือขาว ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารพวกลูทอยด์

ส่วนของเนื้อยางอยู่ด้านบนสุด มีลักษณะเป็นครีมสีขาว เป็นอนุภาคของยาง อาจมีของแข็งอื่นเช่น อนุมูลของโลหะอื่นเจือปนบ้างเล็กน้อย

ส่วนที่อยู่ติดกับเนื้อยางมีลักษณะเป็นอนุภาคเช่นเดียวกับยางแต่มีสีเหลือง เป็นอนุภาคของ เพรย์ - วิสลิ้ง เวลาปั่นมักปนอยู่ในส่วนของซีรัม

ซีรัมจะมีสีใสปนเหลืองเป็นฟองง่าย ส่วนใหญ่ประกอบด้วย โปรตีน ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม ทองแดง และแมกนีเซียม

ส่วนที่อยู่ชั้นล่างสุด เป็นตะกอนสีเหลือง น้ำตาลคล้ำ หรือสีขาว ส่วนใหญ่เป็นสารพวกโลหะหนักเช่น แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และซีเด้า

2.4 น้ำยางข้น

น้ำยางสามารถนำไปแปรรูปเป็น ยางวัตถุดิบขั้นต้น (crude rubber) ได้หลายชนิด ขึ้นอยู่กับว่าจะต้องการนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายประเภทใด น้ำยางข้นก็จัดว่าเป็นยางวัตถุดิบขั้นต้นชนิดหนึ่ง นอกจากน้ำยางข้นแล้วยังมียางประเภทอื่นๆ อีกเช่น ยางแผ่น ยางแผ่นรมควัน ยางแผ่นผึ่งแห้ง ยางเครพ และยางแท่ง เป็นต้น

แต่ไม่ว่าการที่นำน้ำยางมาแปรสภาพให้เป็นอะไรต่อไปก็ตาม จะต้องกรองน้ำยางเอาฝุ่นผง และสิ่งสกปรกออกเสียก่อน มิฉะนั้นสิ่งที่ได้จากการแปรสภาพไปนั้นจะไม่อยู่ในมาตรฐาน แม้ว่าจะยังจำหน่ายได้ก็ตาม แต่เมื่อมีสิ่งสกปรกเจือปนแล้ว ย่อมถือกันว่าเป็นสินค้าชั้นเลว ราคาจะต่ำลง⁽¹⁾

น้ำยางข้นหมายถึง น้ำยางที่ผ่านการไล่น้ำออกไปบางส่วนเพื่อให้มีเนื้อยางแห้งเพิ่มเป็นร้อยละ 60 ของน้ำหนักน้ำยางทั้งหมด ปัจจุบันความต้องการน้ำยางข้นเพิ่มมากขึ้น จึงได้ปรับปรุงวิธีผลิตน้ำยางข้นให้มีสมบัติที่ดีขึ้น ผลิตภัณฑ์ซึ่งใช้น้ำยางข้นเป็นวัตถุดิบได้แก่ ผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม (dipping) แบบหล่อ (casting) แบบพ่น (spraying) แบบใช้แม่แบบ (molding) และแบบทา (spreading) เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากน้ำยางข้นได้แก่ ตุ๊กตาที่กลวง กาว สีทา ถูมือ ลูกโป่ง

ยางฟองน้ำ (latex foam rubber) และที่นอน เป็นต้น ดังนั้นการปรับปรุงสมบัติของน้ำยางชั้นจึงมีความสำคัญมาก

น้ำยางสดจากสวน ยังไม่เหมาะจะนำไปใช้งานในอุตสาหกรรม เนื่องจากมีร้อยละเนื้อยางต่ำ ดังนั้นจึงมีวิธีผลิตน้ำยางชั้นเพื่อแยกส่วนที่ไม่ใช่ยางออกไปทำให้อายุของเนื้อยางสูงขึ้น และง่ายต่อการเก็บรักษา

การผลิตน้ำยางชั้นในทางการค้าแบ่งออกเป็น 4 วิธีคือ

1. วิธีทำให้เกิดครีม
2. วิธีใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง
3. วิธีทำให้น้ำระเหย
4. วิธีการแยกด้วยไฟฟ้า

แต่จะขอกกล่าวเพียงวิธีการเดียว ซึ่งเป็นวิธีในการผลิตน้ำยางชั้นสำหรับใช้ในการทดลองนี้คือ วิธีใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง

วิธีใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง เป็นวิธีที่นิยมมากในปัจจุบัน น้ำยางชั้นที่ได้สามารถนำไปทำผลิตภัณฑ์ยางสำเร็จรูปได้แทบทุกชนิด เครื่องหมุนเหวี่ยงที่ใช้เรียกว่า latex separator หรือ latex concentrator เป็นการหมุนเหวี่ยงเพื่อแยกยางซึ่งเบากว่า (ความถ่วงจำเพาะ 0.92) ออกจากของเหลวที่หนักกว่า (ความถ่วงจำเพาะ 1.02) เครื่องหมุนเหวี่ยงที่ใช้มีหลักในการทำงานดังนี้ เมื่อน้ำยางสดซึ่งใส่แอมโมเนียมาแล้ว จะไหลผ่านท่อเข้าไปในถ้วยปั่นแยก และถูกเหวี่ยงขึ้นข้างบน และไหลออกตามช่องทางตอนบนของเครื่อง ส่วนที่ได้นี้เรียกว่า น้ำยางชั้น ส่วนของเหลวที่เหลือ รวมทั้งของแข็งที่ไม่ใช่ยาง จะถูกแยกออกทางช่องซึ่งอยู่ด้านล่าง ของเหลวที่ผ่านช่องนี้เรียกว่า หางน้ำยาง (skim rubber) โดยวิธีนี้ น้ำยางจะถูกแยกเป็น 2 ทาง ทางหนึ่งเป็นน้ำยางชั้นที่มีจำนวนของแข็งทั้งหมดประมาณร้อยละ 61.5 และมีเนื้อยางแห้งร้อยละ 60 อีกทางหนึ่งเป็นน้ำที่มียางแห้งปนอยู่ราวร้อยละ 3 – 5 ส่วนประกอบของเครื่องหมุนเหวี่ยงจะสัมผัสกับน้ำยางโดยตรง จึงต้องมีความต้านทานการกัดกร่อนของแอมโมเนีย ควรทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม ไม่ควรใช้โลหะทองแดง ทองเหลือง ทองสัมฤทธิ์ และแมงกานีส เพราะมีผลทำให้น้ำยางเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น⁽⁴⁾

2.5 การเก็บรักษาน้ำยาง

น้ำยางสดหลังจากการกรีดยางต้นยาง จะคงสภาพเป็นน้ำยางอยู่ได้ช่วงระยะเวลาหนึ่งไม่เกิน 6 ชั่วโมง ต่อจากนั้นน้ำยางจะเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็กๆ คล้ายเม็ดพริก แล้วค่อยๆ หนืดขึ้น

อนุภาคยางจะเริ่มจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น จนกระทั่งน้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพ โดยน้ำยางจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นเนื้อยาง และส่วนที่เป็นซีรัม ในเวลาต่อมา น้ำยางจะเริ่มเกิดการบุดเน่า และมีกลิ่นเหม็น

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้ น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพคือ สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ การเจริญเติบโตของแบคทีเรียในน้ำยาง ความเสถียรของน้ำยางแต่ละพันธุ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณธาตุโลหะไอออนที่มีอยู่ในน้ำยาง และการแตกของสารลูทอยด์หลังการกรีดยาง ดังนั้นเพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยาง ไม่ให้อนุภาคของเม็ดยางในน้ำยางเกิดการรวมตัวกันเองตามธรรมชาติ จึงใส่สารเคมีลงไปในน้ำยางเพื่อเก็บรักษาน้ำยาง⁽⁶⁾

2.5.1 สมบัติของสารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยาง

สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางควรมีสมบัติดังนี้

2.5.1.1 มีความสามารถ หรือยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ซึ่งมีอยู่ในน้ำยางอาจเรียกรวมกันว่า สารฆ่าแบคทีเรีย

2.5.1.2 เป็นสารที่เพิ่มความเสถียรของอนุภาคยางให้อยู่ในสภาพของคอลลอยด์ได้ โดยการเพิ่มประจุระหว่างอนุภาคยาง และน้ำที่อยู่รอบๆ ผิวอนุภาคยาง ผิวของอนุภาคยางมีสภาพของประจุเป็นลบ มีฤทธิ์เป็นด่าง ดังนั้นสารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางจึงควรมีฤทธิ์เป็นด่าง หรือเป็นพวกสารเสถียร

2.5.1.3 เป็นสารซึ่งสามารถทำให้อนุผลของโลหะหนักไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยา หรือเกิดการตกตะกอนเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำเช่น อนุผลของโลหะแคลเซียม หรือแมกนีเซียม เป็นต้น

2.5.1.4 มีความสามารถทำปฏิกิริยากับสารพวกคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีอยู่ในน้ำยาง ทำให้ไม่มีสารที่เป็นอาหารของแบคทีเรียเหลืออยู่

2.5.1.5 ไม่ทำให้คุณภาพของยางเช่น สีของยางเปลี่ยนแปลง

2.5.1.6 ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ กลิ่นไม่รุนแรงจนเกินไป สะดวก ปลอดภัยในการเก็บรักษา และขนส่ง

2.5.1.7 ราคาถูก

2.5.2 ชนิดของสารเคมีเก็บรักษาน้ำยาง

สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ตามระยะเวลาในการเก็บรักษา คือ

2.5.2.1 สารเคมีเก็บรักษาน้ำยางในระยะสั้น

การเก็บรักษาน้ำยางโดยวิธีนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาน้ำยางให้คงสภาพในช่วงระยะเวลาสั้นๆ ซึ่งอาจเป็นเวลาเพียง 2 - 3 วันเท่านั้น ก่อนที่จะนำน้ำยางนั้นมาแปรรูปเป็นยางแห้งหรือน้ำยางข้นต่อไป สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางนี้เรียกว่า สารป้องกันการจับตัว ได้แก่ แอมโมเนีย โซเดียมซัลไฟต์ ฟอรัมาลดีไฮด์ เป็นต้น

2.5.2.2 สารเคมีเก็บรักษาน้ำยางในระยะเวลานาน

สารเคมีชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้เพื่อเก็บรักษาน้ำยางข้น ให้คงสภาพเป็นของเหลวไม่ให้เกิดการบูดเน่าหรือมีกลิ่นเหม็น น้ำยางอาจต้องถูกลำเลียงไประยะทางไกลๆ เช่น ส่งออกสู่ต่างประเทศ หรือน้ำยางที่เก็บไว้ในคลังเก็บสินค้าก่อนนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์ สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางนี้เรียกว่า สารรักษาสภาพน้ำยาง ได้แก่ แอมโมเนีย และแอมโมเนียใช้ร่วมกับสารเคมีอื่น สารเคมีที่ใช้ร่วมกันนี้เรียกว่า สารรักษาสภาพน้ำยางทุติยภูมิ (secondary preservative) ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ กรดบอริก โซเดียมเพนตะคลอโรฟิเนต เป็นต้น

2.5.3 สารเคมีเก็บรักษาน้ำยางสดเพื่อทำน้ำยางข้น

น้ำยางสดสำหรับทำน้ำยางข้นจำเป็นต้องมีวิธีการเก็บ และรวบรวมน้ำยางให้ดี ไม่ให้แบคทีเรียที่มีอยู่ในบรรยากาศหรือตามเปลือกของต้นยางเข้าไปในน้ำยาง การป้องกันน้ำยางสูญเสียสภาพโดยการใส่แอมโมเนียลงไปในน้ำยาง หรือการใช้แอมโมเนียร่วมกับสารเคมีอื่น

2.5.3.1 แอมโมเนีย

แอมโมเนียสำหรับเก็บรักษาน้ำยางสดเพื่อทำน้ำยางข้น จำเป็นต้องมีปริมาณสูงพอที่จะระงับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ โดยใช้ปริมาณร้อยละ 0.1 ขึ้นไป หากใส่ต่ำกว่าร้อยละ 0.05 จะมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสูงขึ้น และกรดไขมันระเหยได้ของน้ำยางสูงขึ้นด้วย คาดว่าเนื่องจากการเพิ่มแอมโมเนียปริมาณเพียงเล็กน้อย ทำให้น้ำยางธรรมชาติซึ่ง

ปกติมีค่า pH เท่ากับ 6.5 เพิ่มขึ้นจนมีค่า pH สูงประมาณ 8 มีผลทำให้น้ำยางอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

ในทางปฏิบัติจะใส่ปริมาณร้อยละ 0.3 – 0.5

การเพิ่มปริมาณของแอมโมเนียในน้ำยาง มีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในน้ำยางลดลง ทำให้กรดที่ระเหยง่ายซึ่งเกิดจากแบคทีเรียย่อยสลายสารอาหารในน้ำยางจะมีค่าต่ำด้วย

โดยทั่วไปจะพบว่า เมื่อใช้ปริมาณแอมโมเนียเท่ากัน น้ำยางสดที่เก็บรวบรวมมาจากสวนยางขนาดใหญ่มีค่ากรดไขมันระเหยได้ต่ำกว่าน้ำยางที่เก็บรวบรวมมาจากสวนยางขนาดเล็ก เนื่องจากสวนยางขนาดใหญ่มักมีการสุกิบาลของน้ำยางสดที่ดีกว่า

เมื่อทำน้ำยางสดเป็นน้ำยางข้นแล้ว จำเป็นต้องมีการเก็บรักษาน้ำยางโดยใช้แอมโมเนียในปริมาณสูงขึ้น เช่น

ใช้แอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.7 ของน้ำยาง เรียกว่าน้ำยางข้นนี้ว่า แอมโมเนียสูง (HA) หรือ

ใช้แอมโมเนียปริมาณร้อยละ 0.2 ของน้ำยางร่วมกับสารเคมีช่วยอื่น เรียกว่าน้ำยางข้นนี้ว่า แอมโมเนียต่ำ (LA)

2.5.3.2 แอมโมเนียร่วมกับสารเคมีอื่น

การใช้แอมโมเนียปริมาณต่ำร่วมกับสารเคมีอื่น ซึ่งเรียกสารเคมีนี้ว่า สารรักษาสภาพน้ำยางทุติยภูมิ ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ โซเดียมเพนตะคลอโรฟิเนต กรดบอริก ซิงค์ไดอัลคิลไดไฮโอคาร์บาเมต (ZDC) เตตระเมทิลไทูเรมไดซัลไฟด์ (TMTD) เป็นต้น

(1) โซเดียมเพนตะคลอโรฟิเนต

สารนี้เรียกย่อๆ ว่า SPP เป็นสารที่ใช้ฆ่าแบคทีเรียได้ดี มีชื่อทางการค้าว่า santabrite ของบริษัท มอนซันโต

SPP เป็นที่รู้จักใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางมานานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2481 และเริ่มมีการจำหน่ายใช้ในทางการค้าในปี พ.ศ. 2504 สามารถป้องกันการจับตัวของน้ำยางได้ดี โดยใช้ร่วมกับแอมโมเนีย

น้ำยางข้นที่เก็บรักษาด้วยสารเคมีชนิดนี้ มีชื่อเรียกว่า LA – SPP

การเก็บรักษาน้ำยางข้นด้วยแอมโมเนียร่วมกับ SPP นั้น สามารถเก็บรักษาน้ำยางได้นาน น้ำยางมีความเสถียรสูง จนอาจมีปัญหในการนำน้ำยางนี้มาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์

ภัณฑ์ทำให้ยางมีสีคล้ำ นอกจากนั้นสารเคมี SPP ยังเป็นอันตรายต่อการนำมาทำผลิตภัณฑ์ประเภทอาหาร และยาด้วย จึงไม่นิยมใช้ในปัจจุบัน

(2) กรดบอริก

กรดบอริกใช้เป็นสารเก็บรักษาน้ำยางมานานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2499 ใช้ร่วมกับแอมโมเนียในการเก็บรักษาน้ำยางชั้น โดยเติมกรดลอริกลงไปใต้น้ำยางด้วยเพื่อให้มีน้ำยางมีความเสถียรขึ้น

น้ำยางชั้นที่เก็บรักษาโดยใช้สารเคมีนี้จะได้อย่างแผ่นสีจาง สวย แต่มีข้อเสียคือ ความเสถียรของน้ำยางต่อซิงค์ออกไซด์จะต่ำ ทำให้เมื่อนำยางนี้ไปทำเป็นผลิตภัณฑ์แล้วจะคงรูปช้าเพราะว่า ความเป็นกรดใต้น้ำยางทำให้การคงรูปช้า

น้ำยางที่เก็บรักษาด้วยสารเคมีนี้เรียกว่า LA – BA

(3) ซิงค์ไดออคไซด์ไฮโดรคาร์บาเมต (ZDC)

สารเคมีนี้เป็นที่รู้จักใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางมานานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2491 และมีการผลิตขึ้นเพื่อใช้ในการค้าในปี พ.ศ. 2497 ใช้เก็บรักษาน้ำยางชั้นร่วมกับแอมโมเนียปริมาณต่ำ และใส่กรดลอริกลงไปเพื่อทำให้ความเสถียรของน้ำยางเพิ่มขึ้น

น้ำยางที่เก็บรักษาโดยใช้สารเคมีนี้มีความเสถียรต่ำ ไม่สามารถเก็บได้นาน (ยกเว้นหากใส่กรดลอริกลงไปมาก)

น้ำยางที่เก็บรักษาน้ำยางด้วยสารเคมีนี้เรียกว่า LA – ZDC

(4) ซิงค์ออกไซด์

ซิงค์ออกไซด์มีการค้นคว้าเพื่อใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางมานานแล้วตั้งแต่ปี พ.ศ. 2508 เนื่องจากพบว่าการใช้แอมโมเนียปริมาณต่ำเพียงอย่างเดียวไม่สามารถควบคุมให้มีกรดไขมันระเหยได้คงที่ในระดับต่ำได้ จำเป็นต้องใส่สารเคมีอื่นร่วมด้วย

(5) ซิงค์ออกไซด์ร่วมกับเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์

สารเคมีนี้เริ่มมีการค้นคว้าเพื่อใช้ในการเก็บรักษายางมานาน ตั้งแต่ก่อนปี พ.ศ. 2518 โดยใช้ร่วมกับแอมโมเนีย

การเก็บรักษาน้ำยางชั้นโดยใช้สารเคมีทั้ง 3 ชนิดนี้ สามารถเพิ่มเวลาการเก็บรักษาให้นานขึ้นโดยปริมาณของซิงค์ออกไซด์ และเตตระเมทิลไทยแรมไดซัลไฟด์ ปริมาณสูงขึ้นไปเล็กน้อยเช่น

ใช้ปริมาณของแอมโมเนียร้อยละ 0.2 ร่วมกับซิงค์ออกไซด์ร้อยละ 0.05 และเตตระเมทิลไทูแรมร้อยละ 0.05 และจะต้องใส่กรดลอริกลงไปด้วยอีกร้อยละ 0.04 เพื่อให้ความเสถียรของน้ำยางสูงขึ้น

น้ำยางชั้นที่เก็บรักษาโดยใช้สารเคมีนี้ มีชื่อเรียกว่า LA – TZ

สารใช้ TMTD และซิงค์ออกไซด์ ร่วมกับแอมโมเนียเพื่อเก็บรักษาน้ำยางสดจะต้องมีความระมัดระวัง ในการใช้ เนื่องจากสาร TMTD และซิงค์ออกไซด์เป็นสารที่ทำให้โมเลกุลของยางเกิดพันธะทางเคมีได้ โดยหากใส่ปริมาณสูงเพียงพอจะทำให้ยางเกิดการจับตัวเป็นก้อนเม็ดเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วไปในน้ำยางที่อุณหภูมิสูง

2.6 สารเคมีผสมน้ำยาง

สารเคมีที่ใช้กับน้ำยาง และผลิตภัณฑ์น้ำยางมีหลายชนิดซึ่งใช้ในหน้าที่ต่างๆ กัน ในที่นี้จะกล่าวเฉพาะสารเคมีที่จำเป็นในการทดลอง และสารเคมีที่เกี่ยวข้องเท่านั้น ซึ่งพอจะแบ่งเป็นข้อได้ดังนี้⁽⁷⁾ คือ

2.6.1 สารคงรูป หรือตัวกระทำคงรูป

(1) กำมะถัน (sulphur)

สารตัวแรกที่สำคัญในการทำผลิตภัณฑ์ยางคือ กำมะถัน ซึ่งใช้เป็นตัวกระทำคงรูป การทำยางคงรูป หรือวัลคาไรซ์ในที่หมายถึง การเปลี่ยนแปลงสมบัติของยางจากการมีสมบัติของสภาพพลาสติกสูงไปเป็นยางที่มีสมบัติสภาพยืดหยุ่นสูงขึ้น ด้วยการเชื่อมต่อของโมเลกุลยางเป็นลักษณะ 3 มิติ ด้วยสารเคมีที่เหมาะสม

ปกติโมเลกุลของยางจะมีลักษณะเป็นสายตรง ไม่มีกิ่ง มีสมบัติเปลี่ยนแปลงได้ง่ายเนื่องจากความร้อนหนาว และแรงกระทำไม่เหมาะกับการใช้งาน เมื่อผ่านการคงรูปแล้วจะทำให้โมเลกุลของมันเชื่อมติดกันเป็นร่างแหใน 3 มิติ ทำให้มันเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ยากมีสมบัติยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นคือ เมื่อยืดออกด้วยแรงมันจะยืดตามแรงกระทำแต่เมื่อหยุดแรง (ปล่อย) มันจะกลับสู่สภาพเดิมของมัน ทำให้อย่างมีสมบัติเหมาะกับการใช้งาน

ลักษณะการเชื่อมโยงของโมเลกุลจะเป็นพันธะ C - C หรือพันธะ C - S - C ก็ได้ ขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ และอาจจะเชื่อมโยงกันระหว่างโมเลกุล หรือภายในโมเลกุลเดียวกัน ดังภาพที่ 2.3



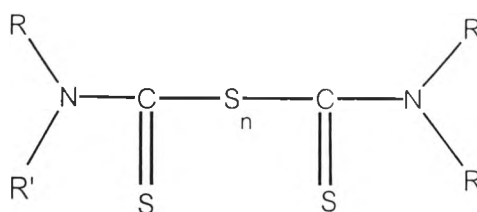
ภาพที่ 2.3 การเชื่อมโยงกันระหว่างโมเลกุล และภายในโมเลกุลเดียวกัน

กำมะถันเป็นสารเคมีคงรูปที่ใช้ได้ทั้งกับยางธรรมชาติ และยางสังเคราะห์เช่น พอลิไอโซพรีน สไตรีนบิวทาดิอีน ปริมาณที่ใช้ในน้ำยางประมาณ 0.5 - 2 ส่วน ต่อเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน (phr, part per hundred rubber) กำมะถันที่ใช้ในน้ำยางจะเป็นกำมะถันที่มีลักษณะ ที่ถูกบดให้ละเอียดมาก นอกจากกำมะถันแล้วยังมีสารอีกชนิดหนึ่งซึ่งเรียกว่า กำมะถันคอลลอยด์

กำมะถันเป็นสารเคมีที่ทำให้เป็นคอลลอยด์ได้ยาก เพื่อที่จะให้มันกระจายได้ง่ายขึ้น โดยทำให้เป็นคอลลอยด์ ในปี 1961 ได้พบว่าสารเคมีที่ได้จากการเผากำมะถัน กับเอทานอลอะมีน จะได้สารเคมีที่ละลายน้ำที่ใช้แทนกำมะถัน การเผากำมะถัน กับเอทานอลอะมีนที่ 100 องศาเซลเซียส จะให้สารที่มีกำมะถันอยู่ประมาณร้อยละ 7 - 9 และดูเหมือนว่าเมื่อละลายน้ำแล้วจะให้กำมะถันที่กระจายในน้ำ กับอนุมูลพอลิซัลไฟด์ และพบว่าเกลือของซิงค์อะมีน ที่ละลายน้ำได้เหมาะที่จะเป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยาแทนซิงค์ออกไซด์ ปฏิกิริยาที่ได้ให้ผลเท่ากันกับการใช้วิธีการทำยางคงรูปแบบมาตรฐานแต่ให้ผลดีในการเก็บรักษาน้ำยางผสมสารเคมี

(2) ไทยูเรมพอลิซัลไฟด์

ไทยูเรมพอลิซัลไฟด์ เป็นสารที่มีโครงสร้างโมเลกุลดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของไทยูเรมพอลิซัลไฟด์

อาจใช้เป็นสารคงรูปโดยไม่ต้องใช้กำมะถันก็ได้ วิธีนี้ให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติต้านทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน หรือในกรณีที่ต้องการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากทองแดง (copper catalysed oxidation)

การใช้ไทยแรมพอลิซัลไฟด์ และซิงค์ออกไซด์เป็นการทำอย่างคงรูปโดยไม่ต้องใช้กำมะถันมักจะใช้เฉพาะในกรณีอุณหภูมิสูงถึง 140 องศาเซลเซียส เท่านั้น ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าขนาด 100 องศาเซลเซียส จะให้ปฏิกิริยาช้ามากจนไม่เป็นที่น่าสนใจ ยกเว้นในกรณีใช้ ไทโอยูเรีย ช่วยกระตุ้น ปฏิกิริยาของการคงรูปของน้ำยางเร็วขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพที่ 100 องศาเซลเซียส

สมบัติการต้านทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน และการเก็บของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากยางที่ทำให้คงรูปด้วยสารเคมีไทยแรมที่มีไทโอยูเรีย เป็นสารกระตุ้นปฏิกิริยายังคงให้สมบัติการต้านทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน และการเก็บ และยังมิขัดแย้งขึ้น เมื่อใช้ป้องกันการเสื่อมสภาพ หรือเติมสารพวกไดโรไอคาร์บาเมตด้วย และยางที่ได้ยังคงสภาพการป้องกันการถูกออกซิไดส์ด้วยทองแดง

นอกจากนี้ยังมีสาร บิวทิลแซนโทรเจนไดซัลไฟด์ ที่ใช้ร่วมกับ ไดโรไอคาร์บาเมตในการทำอย่างคงรูปที่ไม่ต้องใช้กำมะถัน

(3) สารอื่นๆ

นอกจากทั้งสองกลุ่มที่กล่าวมาแล้วยังมีสารอื่นๆ ที่ทำให้ยางคงรูปเช่น เปอร์ออกไซด์ ชนิดที่เป็นอินทรีย์สาร และไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งจะไม่กล่าวในที่นี้

2.6.2 สารเร่งปฏิกิริยาของยาง (accelerator)

การทำยางให้คงรูปโดยใช้กำมะถันเพียงตัวเดียวจะพบว่าต้องใช้ปริมาณของกำมะถันสูง และยังทำให้ประสิทธิภาพของการทำปฏิกิริยาต่ำด้วย ดังนั้นจึงได้ใช้สารเคมีช่วยเร่งปฏิกิริยาของการคงรูป สารเคมีที่เร่งปฏิกิริยาการทำให้ยางคงรูปมีหลายชนิดด้วยกัน ในที่นี้จะอธิบายตามกลุ่มของสารเคมีบางกลุ่มที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ยางแบบจุ่มเท่านั้น

(1) ไดโรไอคาร์บาเมต

ไดโรไอคาร์บาเมตเป็นสารเคมีที่มีโครงสร้างดังภาพที่ 2.5 สารเคมีในกลุ่มนี้มีหลายตัวด้วยกัน แต่ที่นิยมใช้กันกับน้ำยางอย่างกว้างขวางมีซิงค์ไดเอทิลไดโรไอคาร์บาเมต (ZDEC) และซิงค์ไดบิวทิลไดโรไอคาร์บาเมต (ZBDC)

ที่ดีกว่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติด้านทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากการเก็บได้ดี สีไม่ตก ไม่เปลี่ยนสีของยาง

ปริมาณการใช้ร้อยละ 0.5 – 0.75 ร่วมกับกำมะถันร้อยละ 0.25 – 1 ถ้าใช้ร่วมกับสารเร่งตัวที่ 2 เช่น กลุ่มไทอะโซลร้อยละ 0 – 0.5

ZBDC เป็นผงสีเหลืองอ่อนไม่ละลายน้ำ ให้สมบัติการคงรูปของยางที่ช้ากว่า และปลอดภัยกว่า ZDC อุณหภูมิคงรูปที่ 95 – 110 องศาเซลเซียส ต้องใช้ซิงค์ออกไซด์ และกำมะถันเช่นเดียวกับ ZDC อาจไม่ใช้ซิงค์ออกไซด์ แต่ถ้าจะใช้สมบัติจะดีกว่า และสามารถเร่งปฏิกิริยาด้วยกลุ่มไทอะโซล

ปริมาณการใช้ร้อยละ 0.5 – 1.5 ในกำมะถันร้อยละ 0.25 – 1 อาจใช้ร่วมกับไทอะโซลร้อยละ 1 – 1.5

(2) ไทอะโซล

สารในกลุ่มไทอะโซลนี้มักจะทำให้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาคงรูปร่วมกับสารปฏิกิริยาตัวอื่นๆ เช่น ร่วมกับไดโอโคคาร์บาเมต ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีโมดูลัสดีขึ้น สารในตระกูลนี้ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมน้ำยางชั้นได้แก่ ซิงค์เมอร์แคปโตเบนซีไทอะโซล (ZMBT) มักใช้ควบคู่กับ ZDC ในปริมาณ ZDC 1 ส่วน ต่อ ZMBT 0.25 – 0.5 ส่วน ในเนื้อยาง 100 ส่วนโดยน้ำหนัก ผลของการใช้ ZMBT ร่วมกับ ZDC ทำให้สมบัติโมดูลัสของยางดีขึ้น แต่เวลาที่ใช้ในการคงรูปยังคงเท่าเดิม ความทนแรงดึงของยางที่ได้ของ ZDC เพียงอย่างเดียวจะไม่ค่อยมีผลต่อสมบัติความทนแรงดึงของยางแม้ว่าจะอบยางให้คงรูปนานเกินไป (over cure) กรณีของการใช้ ZMBT ร่วมกับ ZDC ในอัตรา 0.25 ต่อ 0.75 ก็ให้สมบัติการคงรูปเช่นเดียวกัน

ในกรณีที่ใช้ ZMBT ต่อ ZDC ในอัตราส่วน 0.5 ต่อ 0.5 ทำให้ค่าแรงดึงสูงมากกว่า ZDC อย่างเดียวมากที่สุดคงรูปพอดี แต่เมื่อยางถูกคงรูปมากขึ้นจะมีค่าตกลงมามาก

ส่วนค่าโมดูลัสที่ใช้ ZDC อย่างเดียว 1 ส่วน ต่อเนื้อยางแห้ง 100 ส่วน จะให้ผลโมดูลัสต่ำกว่าที่ใช้ควบคู่กับ ZMBT มาก

ลักษณะของสาร ZMBT เป็นผงสีขาว ไม่ละลายน้ำ

(3) ไทยูเรม

ในระบบกำมะถัน สารไทยูเรมเป็นสารเร่งปฏิกิริยาที่ตัวมันเองไม่ไวต่อปฏิกิริยา แต่เมื่อใช้ร่วมกับสารเร่งปฏิกิริยาไดโอโคคาร์บาเมตได้ สมบัติความทนแรงดึงของยางธรรมชาติที่ได้จากการใช้ปฏิกิริยา เตตระเมทิลไทยูเรมไดซัลไฟด์ (TMTD) เปรียบเทียบกับ ZDC ZMDC และ ZBDC จะเห็นได้ว่า TMTD ให้สมบัติความทนแรงดึงด้อยกว่าสารในตระกูลไดโอโคคาร์บาเมต ข้อดี

ของสารเคมีในตระกูลไทยแรมคือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการคงรูปด้วยสารเร่งปฏิกิริยาในตระกูลนี้ให้สมบัติทนต่อการเสื่อมสภาพได้ดีกว่า และไม่เกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากทองแดง (copper strain) ดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อของไดไฮโอคาร์บาเมต

ปัจจุบันได้ใช้สารไทยแรมร่วมกับสารไทโอยูเรีย ซึ่งให้สมบัติในการคงรูปดีขึ้น แต่ใช้ในอุณหภูมิต่ำกว่าประมาณ 70 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ต่ำมาก บางครั้งก็ใช้ประโยชน์ได้ไม่มากนัก การกระตุ้นปฏิกิริยาไทอะโซลเซน กรณีการใช้ เบนซีโทอะซิลไดซัลไฟด์ (MBTS) กับ ไทโคเอ็กซิลเบนซีโทอะซิลซัลฟิनाไมด์ (CBS) ด้วยไทโอยูเรีย ทำให้ปฏิกิริยาการคงรูปไวขึ้น ปฏิกิริยานี้ทำได้ 100 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นที่น่าสนใจในการพัฒนาสูตรส่วนผสมน้ำยางกับสารเคมีเพื่อให้แผ่นฟิล์มยางที่ได้ไม่เกิดการเสื่อมสภาพเนื่องจากทองแดงได้เพราะ สารเคมีเหล่านี้ไม่มีไดไฮโอคาร์บาเมต การเร่งปฏิกิริยาการคงรูปได้จากไดไฮโอคาร์บาเมตที่เกิดขึ้นระหว่างปฏิกิริยาของสารประกอบไทยแรม และพอลิซัลไฟด์

สารเคมีที่นิยมใช้ในตระกูลไทยแรมก็มี TMTD กับ เตตระเมทิลไทยแรมโมโนซัลไฟด์ (TMTM)

TMTD เป็นผงสีขาวไม่มีกลิ่น ไม่ละลายน้ำ ในน้ำยางธรรมชาติใช้ร้อยละ 0.5 - 1.5 ร่วมกับกำมะถันร้อยละ 0.5 - 2 แผ่นยางที่ได้จะมีลักษณะใส

TMTM เป็นผงสีเหลืองอ่อนๆ ไม่ละลายน้ำ ให้ปฏิกิริยาที่เริ่มต้นช้า แต่เร็วในยางธรรมชาติ ต้องใช้ร่วมกับซิงค์ออกไซด์ อาจใช้ปริมาณกำมะถันน้อยได้ ปริมาณใช้ในยางธรรมชาติ ถ้าเป็นสารเร่งตัวแรกจะใช้ร้อยละ 0.15 - 0.3 ร่วมกับกำมะถัน สำหรับให้ผลิตภัณฑ์ที่ทนต่อการเสื่อมสภาพใช้ TMTM ร้อยละ 2 - 3 ร่วมกับกำมะถัน กรณีใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาตัวที่ 2 จะใช้ร้อยละ 0.1 - 0.25 กับเมอร์แคปโตเบนซีโทอะโซล หรือไดเบนซีโทอะโซลไดซัลไฟด์ และกำมะถันร้อยละ 2 - 5

(4) สารเคมีเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ

นอกจากสารเคมีดังกล่าวข้างต้นแล้วยังมีสารเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ ที่ใช้ในปฏิกิริยาการคงรูปน้ำยางได้เช่น ไดฟีนิลควอนิดีน หรือสารในตระกูลควอนิดีน สามารถใช้ในปฏิกิริยาน้ำยางได้ ทำให้ปฏิกิริยาการคงรูปไม่มีค่าเสื่อมลงเมื่อเกิดการคงรูปนานขึ้น ผลของแรงต้านแรงดึงมีไม่มากนัก แต่นิยมใช้ในยางแห้งที่เป็นผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่มากกว่า ส่วนอีกตระกูลหนึ่งคือ แซนเทต ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เร็วมาก และใช้ในอุณหภูมิต่ำไม่เหมาะกับน้ำยางแบบจุ่ม

2.6.3 สารป้องกันการเสื่อมสภาพ

สารป้องกันการเสื่อมสภาพที่ใช้กับยางมี 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ ชนิดที่เป็นเอมีน และฟีนอล เป็นสารที่ใส่ลงไปในผลิตภัณฑ์ยางเพื่อป้องกันการถูกออกซิไดส์ของโมเลกุลของยางที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์ถุงมือยางจะเป็นพวกฟีนอล สารในตระกูลนี้ส่วนใหญ่ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนสี หรือสีตก แต่การป้องกันสู่ตระกูลเอมีนไม่ได้ สารในตระกูลนี้มีมากมาย ที่จะกล่าวนี้เป็นพวกที่อยู่ในกลุ่มอนุพันธ์ของฟีนอล ที่นิยมใช้ในผลิตภัณฑ์แบบจุ่ม

2 - 2' - เมทิลีน - บิส - (4 - เมทิล - 6 - เทอ - บิวทิลฟีนอล) เป็นผลึกสีขาวมีจุดหลอมเหลวที่ 125 - 133 องศาเซลเซียส ความถ่วงจำเพาะ 1.04 ไม่มีผลต่อการคงรูป ไม่เกิดการบวม (หมายถึง การที่สารเคมีเคลื่อนย้ายจากภายในออกมายังผิวนอกผลิตภัณฑ์ และตกผลึกบนผิวของผลิตภัณฑ์นั้นๆ สารตัวนี้ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์สีตก แต่จะให้ยางที่มีสีขาว เปลี่ยนสีเล็กน้อย เมื่อถูกแสง ปริมาณการใช้ร้อยละ 0.24 - 1.5 นอกจากสารเคมีนี้แล้วยังมี 2,2' - เมทิลีน - บิส - (4 - เอทิล - 6 - เทอ - บิวทิลฟีนอล) และ 4,4' - บิวทิลดีน - บิส - (6 - เทอ - บิวทิล - เอ็ม - คีโซล)

นอกจากนี้ยังมีสารเคมีที่ผลิตโดยบริษัท อิมพีเรียล เคมีคัล อินดัสเตียล จำกัด ในการค้าชื่อ ว่า Nonox WSL ซึ่งเป็นสารเคมีที่ไม่เปลี่ยนสีผลิตภัณฑ์ยางที่ได้ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนผสมของสารอัลคิลเลตฟีนอล ซึ่งมีสมบัติการป้องกันการเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อน และแสงอย่างกลางๆ เป็นของเหลวสีเหลืองไม่มีปัญหาเรื่องการทำให้กระจายในน้ำในลักษณะเป็นอิมัลชัน ใช้ในรูปอิมัลชันกับน้ำยาง และหยุดสารเคมีที่กระจายในน้ำจะแทรกเข้าในน้ำยางอย่างรวดเร็วเมื่อยังถูกทำให้แข็ง ปริมาณการใช้ร้อยละ 0.5 - 1

2.6.4 สารเพิ่ม และสี

จุดประสงค์ในการใช้สารเพิ่มในผลิตภัณฑ์จากน้ำยางเพื่อลดต้นทุนการผลิตอย่างเดียวไม่ช่วยให้เพิ่มสมบัติทางกายภาพเช่นเดียวกับการใช้คาร์บอนแบลคในยางแห้ง อาจใช้ดินขาว (kaolinite clay) เพื่อเพิ่มความแข็งเท่านั้น กรณีถุงมือทางการแพทย์จะไม่ใช้สารเพิ่มเลย แต่อาจใช้ในการผลิตถุงมือใช้งานบ้านได้

สี ที่ใช้ในน้ำยางเลือกได้ตามต้องการทั้งชนิดที่เป็นอินทรีย์สาร และอนินทรีย์สาร นอกจากนี้สารเพิ่มชนิดต่างๆ ยังสามารถใช้เป็นสีได้เช่น สีขาวใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ ไลโทโฟน ซิงค์ออกไซด์ ส่วนสีดำใช้คาร์บอนแบลค สำหรับผลิตภัณฑ์ถุงมือทางการแพทย์จะไม่ใส่สี

2.6.5 สารเสถียร และสารช่วยการผลิต

สารเสถียร เป็นสารเคมีตัวแรกที่ใส่ลงในน้ำยางผสมสารเคมีเพื่อเพิ่มความเสถียรภาพของน้ำยางก่อนที่จะเติมสารเคมีอื่นๆ เพื่อป้องกันการจับตัวของน้ำยาง สารเคมีในกลุ่มนี้มีหลายชนิด

ด้วยกัน บางครั้งสารตัวเดียวกันอาจทำหน้าที่หลายอย่างเช่น เป็นสารช่วยให้เกิดการกระจายของสารเคมี หรืออนุภาคของยางในน้ำให้ดีขึ้น ทำหน้าที่สารเสถียร และยังทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิวของน้ำกับสารเคมี หรือสารทำให้เปียก เป็นสารที่ทำให้เกิดฟอง การจำแนกสารนี้ตามหน้าที่จึงทำได้ยากเช่น สารที่มีชื่อการค้าว่า Vulcastab LW จะมีสมบัติเป็นทั้งสารอิมัลชัน สารเสถียร และสารทำให้เปียก สารเคมีในกลุ่มนี้มีทั้งที่เป็นอนุมูล การใช้สารต้องเลือกให้ถูกกับน้ำยาง ในกรณีน้ำยางธรรมชาติซึ่งมีอนุมูลเป็นลบ จะต้องเลือกให้เหมาะกับน้ำยางด้วย

นอกจากนี้ยังมีสารช่วยในการผลิตอื่นๆ คือ น้ำมันแร่ และเอสเทอร์ที่ไม่ระเหย ใช้เป็นสารช่วยให้เกิดความนุ่มในผลิตภัณฑ์ไซ และปิโตรเลียมเยลลี่ ใช้ในส่วนประกอบของน้ำยางผสมสารเคมีเพื่อให้ผิวของผลิตภัณฑ์เรียบตามต้องการ และยังสามารถช่วยลดฟองที่เกิดขึ้นด้วย

2.7 การแยกด้วยเยื่อแผ่น

กระบวนการเยื่อแผ่น เป็นกระบวนการที่ใช้เยื่อแผ่นเพื่อแยกสาร หรือเพิ่มความเข้มข้นหรือทำสารให้บริสุทธิ์ขึ้น สำหรับสารละลาย หรือแก๊สผสม กระบวนการเยื่อแผ่นสังเคราะห์ถูกค้นพบมานานกว่า 30 ปีแล้ว และมีการพัฒนาขึ้นมาเป็นลำดับ จนปัจจุบันนี้มีการใช้กระบวนการเยื่อแผ่นหลายกระบวนการในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยอาจนำไปใช้แทนกระบวนการแยกอื่นๆ หรือใช้เสริมในกระบวนการเดิม หลักการสำคัญของกระบวนการเยื่อแผ่นคือ จะต้องมีความเข้มข้นที่ทำให้ของผสม หรือสารละลายไหลผ่านเยื่อแผ่น หรือเกิดการแยก เช่น ผลต่างของความเข้มข้น หรือผลต่างของความดัน ถ้าจะให้คำจำกัดความ อาจอธิบายได้ว่า เยื่อแผ่นคือ ตัวกลางซึ่งอาจเป็นฟิล์มบางๆ หรือหยดขนาดเล็กมากๆ ที่ทำหน้าที่กั้นระหว่าง 2 เฟส โดยทั่วๆ ไป เยื่อแผ่นเป็นของแข็ง และอาจเป็นของเหลว ลักษณะที่สำคัญที่สุดของเยื่อแผ่นคือ มีสมบัติในการเลือกผ่านสารหนึ่งมากกว่าสารอื่น (semi – permeable / permselective) การเลือกผ่านสารเป็นผลมาจากโครงสร้างทางเคมี หรือทางกายภาพของเยื่อแผ่น ซึ่งอาจพิจารณาได้จากการมีสัมพรรคภาพ ของเยื่อแผ่นต่อสารนั้นๆ หรือจากขนาดรูพรุน หรือจากการมีประจุของเยื่อแผ่น เป็นต้น เยื่อแผ่นที่ใช้งานอยู่ทั้งหมดเป็นเยื่อแผ่นที่มีการสังเคราะห์ หรือผลิตขึ้น ไม่ใช่เยื่อแผ่นตามธรรมชาติ⁽⁸⁾

2.8 ข้อดีของกระบวนการเยื่อแผ่น

กระบวนการเยื่อแผ่นมีข้อได้เปรียบกระบวนการแยกอื่นๆ ตัวอย่างเช่น⁽⁸⁾

2.8.1 เป็นการแยกตามขนาดของโมเลกุล รูปร่าง หรือชนิดของประจุ ซึ่งทำให้สามารถดำเนินการที่อุณหภูมิปกติ (ยกเว้นการกลั่นผ่านเยื่อแผ่น) จึงเหมาะสำหรับแยกสารที่อาจเสื่อมสภาพเพราะความร้อนได้

2.8.2 กระบวนการเยื่อแผ่นส่วนใหญ่ใช้พลังงานในการแยกค่อนข้างต่ำเพราะ สามารถแยกได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนเฟส ตัวอย่างเช่น สำหรับกระบวนการแยกเกลือของน้ำกร่อย หรือน้ำทะเล ถ้าใช้ซอสไมซิสกลับ หรืออิเล็กโทรไดอะไลซิส จะมีข้อได้เปรียบทางด้านพลังงานกว่าการกลั่น หรือการต้มระเหย ทำให้ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องถูกกว่าวิธีอื่นๆ

2.8.3 ไม่ก่อให้เกิดของเหลือทิ้งเพราะ กระบวนการเยื่อแผ่นทำให้สามารถแยกผลิตภัณฑ์ที่ต้องการได้ สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งส่วนที่ซึมผ่าน และส่วนที่ถูกกั้นไว้ ตัวอย่างเช่น ในการผลิตน้ำสะอาดจากน้ำทะเล ได้ส่วนซึมผ่านคือ น้ำจืด ส่วนสารละลายเกลือเข้มข้นสามารถนำไปต้มระเหย ตกผลึก เพื่อผลิตเกลือ หรือในการบำบัดน้ำทิ้งบางชนิดที่ได้น้ำสะอาดกลับไปใช้ในกระบวนการ และได้ผลิตภัณฑ์เข้มข้นซึ่งใช้ประโยชน์ต่อไปได้

2.8.4 สามารถขยายขนาดจากระดับต้นแบบให้เป็นระดับอุตสาหกรรมได้ไม่ยาก เนื่องจากชุดเยื่อแผ่นมีลักษณะเป็นชุด (modular) หรือหน่วยที่เรียกว่า โมดูล และสามารถนำหน่วยย่อยๆ มาต่อกันเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการแยก

2.8.5 สามารถดำเนินการแบบกะ หรือแบบต่อเนื่อง ตลอดจนถึงติดตั้งระบบควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติได้ไม่ยาก อีกทั้งการเดิน – หยุด เครื่องในแต่ละครั้ง สามารถทำได้ทันที ไม่ต้องใช้เวลานาน

2.8.6 มีขนาดกระทัดรัดไม่เปลืองพื้นที่เพราะ ชุดอุปกรณ์เยื่อแผ่นมีการออกแบบให้มีพื้นที่ในการกรองต่อหน่วยปริมาตรของอุปกรณ์สูง

2.8.7 มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ไม่ต้องซ่อมแซม เนื่องจากไม่มีกลไกที่เคลื่อนไหว ซึ่งเป็นสาเหตุของการสึกกร่อน หรือพัง ได้ง่าย ทำให้ค่าซ่อมบำรุงต่ำ

2.9 ชนิดของเยื่อแผ่น

การแบ่งชนิดของเยื่อแผ่นนั้น ยังไม่มีการแบ่งที่ชัดเจนลงไปว่าจะแบ่งในลักษณะใด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับเกณฑ์ในการแบ่งของแต่ละบุคคลว่าจะมองสมบัติทางด้านใดเป็นหลัก แต่อย่างไรก็ตาม เราอาจแบ่งชนิดของเยื่อแบบกว้างๆ ออกเป็น 5 ชนิด⁽⁹⁾ ดังนี้

2.9.1 เยื่อแผ่นรูพรุนจุลภาค (isotropic microporous membranes)

เยื่อรูพรุนจะเป็นโครงสร้าง และทำหน้าที่เหมือนกับการกรองโดยปกติทั่วไปคือ มันจะมีโครงสร้างแข็งที่เป็นช่องว่างอยู่อย่างมากโดยจะกระจายแบบสุ่ม และมีรูที่เชื่อมต่อกัน อย่างไรก็ตามขนาดรูที่แตกต่างกันของเยื่อเหล่านี้ปกติจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างต่ำที่เล็กที่สุดอยู่ในช่วง 0.01 – 10 ไมโครเมตร อนุภาคทั้งหมดที่มีขนาดใหญ่กว่ารูที่มีขนาดใหญ่ที่สุดจะถูกกันออกไปทั้งหมด แต่ถ้าอนุภาคมีขนาดเล็กกว่าขนาดรูที่ใหญ่ที่สุด แต่ใหญ่กว่ารูที่มีขนาดเล็กที่สุดอนุภาคนี้ก็จะถูกกันทิ้งออกไปเพียงบางส่วน ตามการกระจายของขนาดรูของเยื่อ ส่วนอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดรูที่เล็กที่สุดจะสามารถผ่านทะลุเยื่อชนิดนี้ไปได้ ดังนั้นการแยกตัวถูกละลายโดยเยื่อรูพรุนนี้หลักการจะเป็นหน้าที่ของขนาดโมเลกุล และการกระจายของขนาดรู โดยทั่วไปก็คือว่า โมเลกุลที่มีขนาดแตกต่างกันเพียงเท่านั้นที่จะสามารถมีผลในการแยกโดยเยื่อรูพรุน ตัวอย่างเช่น ในกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน และไมโครฟิลเตรชัน

2.9.2 เยื่อแผ่นแบบแน่น (nonporous dense membranes)

เยื่อแบบแน่นเป็นแผ่นฟิล์มที่มีเนื้อทึบ ซึ่งการซึมผ่านจะอาศัยการถ่ายโอนโดยการแพร่ภายใต้แรงขับเคลื่อนจากความดัน ความเข้มข้น หรือเกรเดียนต์ศักย์ทางไฟฟ้า การแยกสารละลายที่มีหลายองค์ประกอบจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราการถ่ายโอนที่เกิดขึ้นในเยื่อ ซึ่งอธิบายได้ด้วยค่าสภาพแพร่ได้ และสภาพละลายได้ของวัสดุที่ผลิตเยื่อ สมบัติที่สำคัญของเยื่อแบบแน่นก็คือ สารขนาดเท่ากันที่ซึมผ่านอาจจะถูกแยกได้ด้วย ความแตกต่างของความเข้มข้นในวัสดุที่นำมาผลิตเยื่อ (เช่น สภาพละลายได้ที่ต่างกันเยื่อ) กระบวนการแยกแก๊ส เพอเวปพอเรชัน และออสโมซิส

มันกลับจะนำเยื่อแบบแน่นนี้มาใช้ในการแยก อย่างไรก็ตามโดยปกติเยื่อแบบนี้มีโครงสร้างเยื่อเป็นแบบไม่สมมาตรเพื่อทำให้ฟลักซ์มีค่าที่ดีขึ้น

2.9.3 เยื่อประจุไฟฟ้า (electrically charged membranes)

เยื่อประจุไฟฟ้าสามารถเป็นได้ทั้งเยื่อแบบแน่น หรือแบบรูพรุน แต่โดยทั่วไปส่วนใหญ่จะเป็นแบบรูพรุน โดยที่ผนังของรูจะมีประจุของไอออนบวก หรือลบ ยึดติดอยู่ เยื่อที่มีประจุไอออนบวกจะเรียกว่า เยื่อแลกเปลี่ยนประจุลบ เพราะว่าเยื่อชนิดนี้จะยึดประจุลบในของไหลที่อยู่แวดล้อม และเช่นเดียวกันเยื่อที่มีไอออนประจุลบจะเรียกว่า เยื่อแลกเปลี่ยนประจุบวก การแยกด้วยเยื่อประจุไฟฟ้านี้หลักสำคัญคือการกีดกันไอออนที่มีประจุชนิดเดียวกันกับประจุที่ติดอยู่กับเยื่อออกไป แต่อย่างไรก็ตาม ก็ยังมีความสำคัญน้อยกว่ามากถ้าเทียบกับผลของขนาดรูพรุน การแยกที่เกิดขึ้นมีผลมาจากประจุ และความเข้มข้นของไอออนในสารละลาย ตัวอย่างเช่น ไอออนเวเลนซ์เดี่ยว จะมีผลในการถูกกัมน้อยกว่า ไอออนเวเลนซ์คู่ และในสารละลายที่มีความแข็งแรงของไอออนสูงสภาพเลือกได้จะลดลง เยื่อประจุไฟฟ้าจะนำมาใช้ในการแยกสารละลายอิเล็กโทรไลต์สำหรับกระบวนการอิเล็กโทรไดอะไลซิส

2.9.4 เยื่อไม่สมมาตร (asymmetric membranes)

อัตราการถ่ายโอนของสารต่างๆ ผ่านเยื่อชนิดนี้จะเป็นสัดส่วนกลับ กับความหนาของเยื่อ อัตราการถ่ายโอนที่สูงเป็นข้อดีของกระบวนการแยกด้วยเยื่อสำหรับความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นจึงต้องผลิตเยื่อที่มีความบางมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ การคิดค้นเทคนิคประดิษฐ์ฟิล์มของเยื่อโดยปกติจะมีข้อจำกัดในเรื่องของการผลิตให้มีความแข็งแรงในเชิงกล ซึ่งฟิล์มที่ปราศจากข้อบกพร่องนี้ควรจะมี ความหนา 20 ไมโครเมตร การพัฒนาเทคนิคประดิษฐ์เยื่อเพิ่มเติมเป็นที่มาของโครงสร้างเยื่อแบบไม่สมมาตร ซึ่งเป็นความก้าวหน้าครั้งสำคัญทางด้านเทคโนโลยีเยื่อในระหว่างช่วง 30 ปีที่ผ่านมา เยื่อไม่สมมาตรประกอบด้วยชั้นพื้นผิวที่มีความบางมากๆ ถูกรองรับด้วยตัวรองรับที่เป็นแบบรูพรุน หรือเป็นแบบเนื้อแน่น ที่มีความหนามากกว่า ชั้นผิว และตัวรองรับอาจเป็นวัสดุชนิดเดียวกัน หรือต่างชนิดกันก็ได้ สมบัติการแยก และอัตราการซึมผ่านจะขึ้นอยู่กับชั้นพื้นผิว ส่วนตัวรองรับจะทำหน้าที่เพียงช่วยในทางกลเท่านั้น ข้อดีของเยื่อชนิดนี้ก็คือ จะมีปริมาณฟลักซ์สูง ทำให้เกือบทั้งหมดของเยื่อที่ใช้ในทางการค้าเป็นเยื่อชนิดนี้

2.9.5 เยื่อเซรามิก โลหะ และของเหลว (ceramic metal and liquid membranes)

จากการอธิบายความหมายที่ผ่านมา เยื่อจะผลิตจากวัสดุพอลิเมอร์ประเภทอินทรีย์สาร ซึ่งเยื่อที่ใช้ในทางการค้าจะเป็นวัสดุประเภทพอลิเมอร์เป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามความสนใจใน

การผลิตเยื่อจากวัสดุอื่นๆ เพิ่มมากขึ้น เยื่อเซรามิก เป็นเยื่อรูพรุนจุลภาคระดับพิเศษ ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการอัลตราฟิลเตรชัน และไมโครฟิลเตรชัน ในกรณีที่ต้องการวัสดุที่ทนทานต่อตัวทำละลาย และเสถียรภาพความร้อน เยื่อโลหะแน่น เช่น เยื่อพอลลาเตียมถูกนำมาใช้ในการแยกแก๊สไฮโดรเจนจากแก๊สผสม และนำมาใช้เป็นตัวรองรับ หรือ กรณีสีลของเหลวอิมัลชันไฟด์ก็นำมาใช้ในกระบวนการถ่ายโอนเพื่อให้เกิดการเชื่อมต่อ และมีความสะดวกมากยิ่งขึ้น

2.10 กระบวนการแยกแก๊ส

การใช้เยื่อแผ่นโพลิเมอร์ในการแยกแก๊สเริ่มมีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมประมาณ 20 ปีที่ผ่านมา แต่เนื่องจากประสบปัญหาการพัฒนาเยื่อแผ่นที่มีประสิทธิภาพในแง่ของฟลักซ์ และความสามารถในการแยกที่ให้ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ดังนั้น การแยกแก๊สจึงเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างใหม่ แต่ก็มีศักยภาพสูง และสามารถแข่งขันได้กับกระบวนการแยกแก๊สแบบปกติที่ใช้อยู่เช่น กระบวนการโครโอเจนิค การดูดซับ และการดูดกลืน เป็นต้น⁽⁸⁾

การแยกแก๊สมีความแตกต่างจากกระบวนการเยื่อแผ่นอื่นๆ คือ ไข่แยกของผสมในสถานะแก๊สไม่ใช่สารละลายของเหลว ทั้งสารป้อน และสารซึมผ่านอยู่ในสถานะแก๊ส โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ แบบแรกคือ การซึมผ่านของแก๊ส ซึ่งโมเลกุลของแก๊ส หรือไอผ่านเยื่อแผ่นแบบแน่น ด้วยกลไกการละลาย – การแพร่ (solution – diffusion mechanism) แรงขับเคลื่อนในการแยกคือ ความดัน หรือความดันย่อย ซึ่งอาจต่ำเพียง 100 กิโลปาสคาล หรือสูงถึง 10 เมกะปาสคาล แบบที่สองคือ การแพร่ของแก๊ส เป็นการแยกแก๊สผ่านเยื่อแผ่นรูพรุนขนาดเล็ก ซึ่งแรงขับเคลื่อนอาจเป็นผลต่างของความเข้มข้น หรือความดันย่อยก็ได้ ตัวอย่างของแบบที่สองคือ การเพิ่มความเข้มข้นไอโซโทปของยูเรเนียม ส่วนในอุตสาหกรรมการใช้งานส่วนใหญ่เป็นแบบการซึมผ่านของแก๊ส ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เติบโตเร็ว⁽⁸⁾ ตัวอย่างเช่น การแยกไฮโดรเจนจากแก๊สผสมในภาวะเหนือวิกฤติ (ไนโตรเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และมีเทน) การแยกแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำจากแก๊สธรรมชาติ การเพิ่มแก๊สไนโตรเจน หรือออกซิเจนจากอากาศ การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารปนเปื้อนอื่นๆ จากกระบวนการผลิตแก๊สธรรมชาติ ซึ่งกระบวนการแยกดังที่กล่าวไปแล้วก็สามารถนำเยื่อมาใช้งานได้เป็นอย่างดี⁽¹⁰⁾

2.11 การถ่ายโอนแก๊สในเยื่อ

2.11.1 การถ่ายโอนแก๊สในเยื่อรูพรุน

ในการแยกแก๊สโดยใช้เยื่อรูพรุนเรียกว่า การแพร่ของแก๊ส แรงขับเคลื่อนในการเคลื่อนที่ผ่านรูพรุนของโมเลกุลอาจเป็นผลต่างของความเข้มข้น หรือความดันย่อย และยังสามารถแบ่งย่อยออกเป็น 3 กรณีคือ 1. ถ้ารูพรุนของเยื่อแผ่นใหญ่กว่าโมเลกุลของแก๊สมาก โมเลกุลของแก๊สภายใต้ความดันสามารถเคลื่อนที่ผ่านรูพรุนด้วยกลไกที่เรียกว่า Poiseuille flow หรือ viscous flow โมเลกุลของแก๊สจะชนกันเองมากกว่าที่จะชนกับผนังรูพรุน จะทำให้โมเลกุลของแก๊สทุกชนิดผ่านเยื่อแผ่นได้เท่าๆ กัน จะไม่เกิดการแยก 2. ถ้ารูพรุนของเยื่อแผ่นมีขนาดเล็กกว่าระยะทางเฉลี่ยที่โมเลกุลของแก๊สเคลื่อนที่ได้โดยไม่ชนกัน (mean free path) โมเลกุลจะเคลื่อนที่ผ่านรูพรุนด้วยกลไกการแพร่ชนิดเซ็น (Knudsen diffusion) โดยจะชนกับผนังมากกว่าที่จะชนกันเอง พลิกซ์ของการแพร่คำนวณได้จาก⁽¹¹⁾

$$J_i = \frac{\pi \epsilon r^2 D_k \Delta P}{RT \pi} \quad (2.1)$$

เมื่อ J_i คือ อัตราการถ่ายเทมวลของแก๊สในหน่วย โมล/วินาที

ϵ คือ จำนวนรูพรุน

r คือ รัศมีรูพรุนในหน่วย เมตร

D_k คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ชนิดเซ็น

ΔP คือ ความดันต่างในหน่วย ปาสคาล

R คือ ค่าคงที่แก๊ส เท่ากับ 8.314 ลบ.เมตร ปาสคาล/โมล เคลวิน

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ในหน่วย เคลวิน

τ คือ ตัวแปรความคดเคี้ยวของรูพรุน

l คือ ความหนาเยื่อแผ่นในหน่วย เมตร

จากกลไกดังกล่าว แก๊สที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำจะแพร่ผ่านเยื่อได้เร็วกว่าแก๊สที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ทำให้เกิดการแยก (สัมประสิทธิ์การแพร่แปรผกผันกับรากที่สองของน้ำหนักโมเลกุล) และ 3. รูพรุนของเยื่อแผ่นมีขนาดเล็กมาก ทำให้แก๊สที่มีโมเลกุลใหญ่กว่าไม่สามารถผ่านได้ และเรียกกลไกนี้ว่า การคัดขนาด (molecular sieving)⁽⁸⁾

ในทางปฏิบัติ การผลิตเยื่อที่มีขนาดรูพรุนเล็กพอที่จะกักกันโมเลกุลของแก๊สได้นั้นทำได้ยาก เนื่องจากโมเลกุลของแก๊สมีขนาดเล็กกว่าโมเลกุลของตัวถูกละลายอื่นๆ มาก นอกจากนี้ การแยกแก๊สโดยเยื่อรูพรุนยังมีข้อจำกัดตรงที่ค่าการแยกต่ำ ทำให้ไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ การใช้งานเชิงการค้าของวิธีการแพร่แก๊สจึงมีอยู่อย่างเดียวนั่นคือ การเพิ่มความเข้มข้นยูเรเนียมเฮกซะฟลูออไรด์ ($^{235}\text{UF}_6$) ซึ่งมีราคาแพงมาก โดยแยกออกจาก $^{238}\text{UF}_6$ มีค่าการแยกต่ำมากคือ 1.0064 โรงงานที่ดำเนินการ (ใช้เยื่อรูพรุนเซรามิก) อยู่ที่เมืองโตรคัสติน ประเทศฝรั่งเศส

2.11.2 การถ่ายโอนแก๊สในเยื่อแน่น

กลไกของการแยกแก๊สโดยเยื่อแน่นไม่พอรุน จะมีพื้นฐานต่างจากของเยื่อรูพรุน ซึ่งแก๊สถูกแยกโดยความแตกต่างในด้านของน้ำหนักโมเลกุลขณะที่มันทั้งหลายเดินทางในรูพรุนโดย การแพร่ชนิดเซ็น ในเยื่อไม่มีรูโมเลกุลแก๊สละลาย และแพร่ในเยื่อแน่น ดังนั้นกลไกของการซึมคือ การพิจารณาถึงการประกอบกันเข้าของ 3 ขั้นตอน⁽¹¹⁾ คือ 1.การดูดซึม (absorption) หรือการดูดซับ (adsorption) ที่ขอบเขตของกระแสะเข้า 2.การแพร่ผ่านเยื่อ 3.การไม่ละลาย หรือการระเหยจากขอบเขตของกระแสะออก กลไกการละลาย – การแพร่⁽¹²⁾คือการเคลื่อนที่โดยความแตกต่างในแง่ของอุณหพลศาสตร์ ที่กระแสะเข้า และกระแสะออกของผิวหน้าเยื่อ ความแตกต่างของการเคลื่อนไหวมีสาเหตุจากความเข้มข้นที่ต่างกันนำไปสู่การแพร่ในทิศทางที่จะลดความเคลื่อนไหว

สภาพซึมได้ที่แตกต่างกัน ไม่เพียงแต่จะมีผลจากการแพร่ (การเคลื่อนไหว) ที่แตกต่างกันของแก๊สชนิดต่างๆ เพียงอย่างเดียว แต่ความแตกต่างในอันตรกิริยา ในแง่เคมีกายภาพ ของชนิดของแก๊สเหล่านี้ กับพอลิเมอร์ก็มีผลด้วย การอธิบายโดยสรุปสามารถจัดให้อยู่ในรูปต่อหน่วยปริมาตรของเยื่อ โดยจะขึ้นอยู่กับว่าเยื่ออยู่ในภาวะเหนียว หรือต่ำกว่าค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน ก็คืออยู่ในภาวะยืดหยุ่น (rubbery) หรือภาวะแก้ว (glassy) ซึ่งการเสนอพฤติกรรมกรซึมได้ในเยื่อแน่นของทั้งสองแบบจะแตกต่างกัน

สำหรับพอลิเมอร์ที่มีภาวะยืดหยุ่น หรืออยู่เหนียวอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g) พฤติกรรมกรซึมได้สัมพันธ์กับปรากฏการณ์ต่างๆ สำหรับกรณีความเข้มข้นต่ำของแก๊สที่มีมวลโมเลกุลต่ำในพอลิเมอร์ภาวะยืดหยุ่น กฎเฮนรี่ (Henry's law) คือ การสันนิษฐานโดยทั่วไปที่ใช้ประยุกต์เพื่ออธิบาย สภาพละลายได้ของแก๊สในพอลิเมอร์

$$C = Sp \quad (2.2)$$

ซึ่ง C คือ ความเข้มข้นของแก๊สในพอลิเมอร์ในหน่วย ลบ.ซม. (STP) / ลบ.ซม.พอลิเมอร์

S คือ ค่าคงที่สภาพละลายของเฮนรี เป็นค่าเฉพาะตามชนิดของพอลิเมอร์ และคู่แก๊สในหน่วย ลบ.ชม. (STP) / (ลบ.ชม.พอลิเมอร์ – ชม.ปรอท)

p คือ ความดันแก๊สแทรกซึมในหน่วย เซนติเมตรปรอท

ความเข้มข้นแก๊สในพอลิเมอร์สัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงกับความดันย่อยภายนอก อย่างไรก็ตามการเบี่ยงเบนทั้งด้านบวก และด้านลบ จากความสัมพันธ์นี้สังเกตได้ที่ความดันแก๊สสูงๆ ค่าสภาพละลายได้ที่ภาวะมาตรฐานคือ 10^{-2} ลบ.ชม.แก๊ส / ลบ.ชม.พอลิเมอร์ หรือแก๊ส 1 โมเลกุล / 10^3 นิวตัน ลบ.ม. ของพอลิเมอร์

การแพร่ของแก๊สผ่านพอลิเมอร์ยึดหยุ่น ปกติจะอธิบายด้วยกฎข้อแรกของฟิกซ์

$$Q = -D \left(\frac{dC}{dx} \right) \quad (2.3)$$

ซึ่ง Q คือ ฟลักซ์การซึมได้ในหน่วย ลบ.ชม. (STP) / (วินาที – ตร.ชม.)

D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ หรือสภาพแพร่ของชนิด (แก๊ส) ที่ซึมได้ในหน่วย ตร.ชม. / วินาที

C คือ ความเข้มข้นเฉพาะส่วนของแก๊สในเยื่อ หน่วย ลบ.ชม. (STP) / ลบ.ชม. พอลิเมอร์

x คือ ทิศแกนของการซึมได้ในแผ่นพอลิเมอร์ หน่วย เซนติเมตร

ภายใต้สถานะคงตัว (steady - state) สำหรับค่าสภาพแพร่คงที่ค่าหนึ่ง สามารถอินทิเกรตจากกระแสขาเข้า (จุด 0) ไปยังกระแสขาออก (จุด 1) ของพื้นผิวเพราะว่า Q เป็นค่าคงที่

$$Q[x_0 - x_1] = -D[C_0 - C_1] \quad (2.4)$$

หรือ

$$Q = -D[C_0 - C_1] / [x_0 - x_1] \quad (2.5)$$

ซึ่งอาจเขียนใหม่ได้เป็น

$$Q = D \frac{C_0 - C_1}{l} \quad (2.6)$$

โดยที่ C_0 และ C_1 คือ ความเข้มข้นของแก๊สที่ผิวของเยื่อด้านความดันสูง และความดันต่ำ ตามลำดับ

l คือความหนาของเยื่อ

แทนสมการ (2.2) ในสมการ (2.6) จะได้

$$Q = DS \frac{(p_0 - p_1)}{l} = P \frac{(p_0 - p_1)}{l} \quad (2.7)$$

โดยที่ p_0 และ p_1 คือ ความดันย่อยภายนอกของแก๊สที่ข้างความดันสูง และความดันต่ำของเยื่อ ตามลำดับ

P คือ สภาพให้ซึมได้ อธิบายโดยสมการที่ให้อ้างต่อไปนี้

$$P = DS \quad (2.8)$$

สภาพให้ซึมได้ อยู่ในหน่วย บาร์เรอ (Barrers) ซึ่ง 1 บาร์เรอคือ 10^{-10} ลบ ซม. (STP) ซม. / (ตร.ซม. - วินาที - ซม.ปรอท) ค่านี้จะคิดในภาวะที่เป็นอุณหภูมิ และความดันมาตรฐาน (STP) คือ คิดที่อุณหภูมิ 273.15 เคลวิน และความดัน 1 บรรยากาศ

ในกรณีของเยื่อไม่สมมาตร หรือเยื่อประกอบ (composite membrane) ความหนาอย่างผล (effective thickness) มีค่าน้อยมาก ซึ่งน้อยกว่าความหนาจริงๆ ของเยื่อ ซึ่งไม่อาจจะบ่งได้ ดังนั้น ค่าสภาพให้แก๊สซึมได้ของเยื่อเหล่านี้ จะทำให้อยู่ในรูปของค่า เพอเมอแอนซ์ (permeance) คือ P/l

ทั้ง P และ D สามารถอธิบายได้ในการทดลองเดียวกันโดยการวัด "time lag" สำหรับความดันที่เพิ่มขึ้นด้านความดันต่ำของเยื่อ หลังจากให้ความดันสูงในอีกข้างหนึ่ง time lag สัมพันธ์กับเวลาที่ต้องการเพื่อให้แก๊สเข้าสู่ภาวะสมดุลในการดึงแก๊สออกจากเยื่อ และให้ค่าดังนี้

$$\theta = l^2/6D \quad (2.9)$$

ซึ่ง θ คือ time lag

l คือ ความหนาของเยื่อ

D คือ สภาพแพร่ได้

time lag หาจากการลากเส้นตรงของกราฟระหว่างความดัน และเวลาตัดแกนเวลา หลังจากถึงภาวะคงที่ การลากเส้นตัดแกนเวลาทำให้ได้ค่าจากการวัดเป็นเวลาจุดตัดนี้มันเอง

สภาพให้ซึมได้หาได้จากความชันของเส้นตรงของกราฟ และสภาพละลายได้ สามารถคำนวณจากการหารสภาพให้ซึมได้ด้วยสภาพแพร่

สำหรับทุกชนิดของแก๊ส สัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมได้ P เป็นอิสระจากความดัน สำหรับทุกจุดประสงค์ในการใช้งาน และสมการ (2.7) สามารถเขียนในรูป

$$P = \frac{Ql}{p_0 - p_1} = \frac{Ql}{-(p_1 - p_0)} = \frac{Ql}{-\Delta p} \quad (2.10)$$

อย่างไรก็ตาม ถ้ามีผลกระทบจากภาวะแก๊สไม่อุดมคติ สมการ (2.10) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$P = \frac{Ql}{-\Delta f} \quad (2.11)$$

โดยที่ Δf คือ ความแตกต่างของฟูกาซิตีของแก๊สระหว่างข้างกระแสภาเข้า และขาออกของเยื่อ

สำหรับสัมประสิทธิ์ของกฎข้อแรกของฟิสิกส์จะขึ้นกับความเข้มข้น สมการ (2.3) สามารถเขียนได้ใหม่เป็น

$$Q = -D(C) \left(\frac{dC}{dx} \right) \quad (2.12)$$

ซึ่งนำไปแทนในสมการ (2.11) ได้เป็น

$$P = -D(C) \left[\frac{dC}{dx} \right] / [(f_2 - f_1)/l] \quad (2.13)$$

แม้ว่า $D(C)$ และ dC/dx เปลี่ยนแปลงตลอดช่วงความหนาของเยื่อ แต่ค่าผลลัพธ์ของทั้งสองค่าจะต้องคงที่ ที่ความหนาใดๆ เพราะว่า สภาพให้ซึมได้อยู่ในภาวะคงที่ อธิบายโดยสมการ (2.10) คือจะต้องทำให้ภาวะของกระแสภาเข้า และกระแสภาออกคงที่

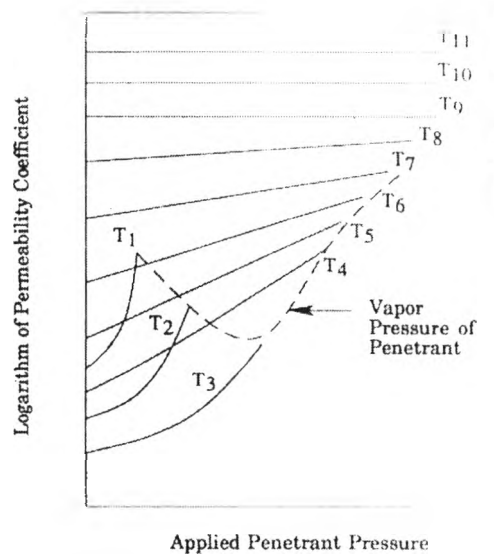
ทำการแยกตัวแปรในสมการ (2.13) และหลังจากนั้นก็ทำการอินทิเกรต

$$(P/l) \int dx = \int_{f_1}^{f_2} D(C) dC / (f_2 - f_1) \quad (2.14)$$

โดยใช้กฎลูกโซ่ ที่ข้างขวามือ เมื่อกระแสขาออกมีค่าฟูกาซิทีใกล้เคียงศูนย์ และทำการอินทิเกรต

$$P = \left[\int_1^2 D(C) dC / C_2 \right] \left[\frac{C_2}{f_2} \right] = [D][S] \quad (2.15)$$

ดังนั้นสภาพให้ซึมได้สามารถอธิบายได้ด้วยการอินทิเกรตให้สู่ภาวะปกติของผล ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การแพร่เฉลี่ย D (average diffusion coefficient) และสัมประสิทธิ์สภาพละลายได้ของผล S (effective solubility coefficient) ปัจจัยทางสภาพละลายอยู่ในเงื่อนไขทางอุณหพลศาสตร์ และขึ้นกับปฏิสัมพันธ์ของพอลิเมอร์ - ตัวที่แทรกเข้าไปภายใน และสภาพควมแน่นของตัวที่แทรกเข้าไป ปัจจัยสภาพเคลื่อนไหวคือ การวัดความถี่ว่าเป็นอย่างไร บนช่วงเวลาเฉลี่ย ปริมาตรช่องว่างพอเพียงในการที่แก๊สจะแทรกซึมต่อไป สามารถทำให้มันกระโดดไปได้ไกลผ่านเยื่อ กับแก๊สที่มีจุดเดือดสูง ที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิวิกฤต จะแสดงพฤติกรรมเป็นแก๊สไม่อุดมคติ ซึ่งสภาพให้ซึมได้จะเพิ่มขึ้นกับผลของความดันที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่สภาพละลายคงที่ ผลของอุณหภูมิต่อสภาพแพร่ได้ และสภาพละลายได้ของแก๊ส โดยปกติจะแสดงผลตรงกันข้ามกัน นั่นก็คือว่าสภาพแพร่ได้เพิ่ม และสภาพละลายได้จะลด เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ผลของอุณหภูมิต่อสภาพให้ซึมได้คือ เป็นผลที่ประกอบด้วยทั้งสองส่วน ภายใต้ภาวะปกติที่พบส่วนใหญ่ ผลต่อสภาพแพร่จะมีมากกว่า และสภาพให้ซึมได้ก็จะเพิ่มกับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามบางครั้งอุณหภูมิที่ต่ำ ทำให้สภาพละลายสามารถกลับมามีอิทธิพลสูงขึ้นได้เช่นเดียวกัน ดังจะเห็นได้จากภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 สภาพให้ซึมได้ขึ้นกับความดัน และอุณหภูมิ⁽¹¹⁾

2.11.3 สภาพเลือกได้ (selectivity)

ค่าสภาพเลือกได้ หรือเรียกได้อีกอย่างว่าค่าการแยก (separation factor) ซึ่งในการแยกแก๊สผสม 2 ชนิดออกจากกัน ความสามารถในการแยกของเยื่อแผ่นบอกได้จากค่านี้⁽⁸⁾ โดยที่

$$\alpha(A/B) = \frac{y(A)_p / y(B)_p}{y(A)_f / y(B)_f} \quad (2.16)$$

โดย $y(A)_p, y(B)_p$ คือ เศษส่วนเชิงโมลของแก๊ส A และ B ในสารซึมผ่าน

$y(A)_f, y(B)_f$ คือ เศษส่วนเชิงโมลของแก๊ส A และ B ในสารป้อน

อย่างไรก็ตามค่าการแยกของแก๊ส A และ B อาจจะเขียนเป็นสูตรอย่างง่ายในเทอมของค่าการแยกอุดมคติ (ideal separation factor) ซึ่งมักจะนำมาใช้แสดงผลแทนค่าสภาพเลือกได้ ดังนี้

$$\alpha^*(A/B) \equiv \frac{P(A)}{P(B)} = \frac{D(A)}{D(B)} \cdot \frac{S(A)}{S(B)} \quad (2.17)$$

ซึ่งอัตราส่วน $D(A)/D(B)$ และ $S(A)/S(B)$ เรียกว่า สภาพเลือกได้การแพร่ (diffusivity selectivity) และสภาพเลือกได้การละลาย (solubility selectivity) ตามลำดับ ดังนั้นอัตราส่วนเหล่านี้จึงเป็นการสนับสนุนว่าสภาพเลือกได้ เป็นผลมาจากความแตกต่างในสภาพแพร่ได้ และสภาพละลายได้ของแก๊ส A และ B ในพอลิเมอร์

จากสมการแสดงให้เห็นว่าค่าสภาพแพร่ได้ และสภาพละลายได้มีความสำคัญมาก และขึ้นอยู่กับชนิดของเยื่อแผ่น ดังนั้นชนิด และโครงสร้างเยื่อแผ่นที่เหมาะสมกับแก๊สที่ต้องการแยกจึงเป็นสิ่งจำเป็น

ค่าการแยกที่กล่าวถึงนี้ เนื่องจากเป็นค่าอุดมคติ ทำให้บางครั้งค่าการแยกของแก๊สผสมหลายชนิดไม่เท่ากับค่าอุดมคติเพราะ ที่ความดันย่อยสูง อาจเกิด plasticization ซึ่งหมายถึงการที่โมเลกุลของแก๊สมีสัมพรรคภาพกับเยื่อ ทำให้เยื่อพองตัวมีสภาพการซึมผ่านสูงขึ้น แต่การเลือกผ่านในรูปของค่าการแยกลดลง นอกจากนี้ค่าการแยกจริงยังขึ้นอยู่กับอัตราส่วนความดัน $P(A)_p/P(A)_f$ ที่ความดันในการป้อนสูง หรือ $P(A)_p/P(A)_f$ มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ประสิทธิภาพในการแยกในรูปของฟลักซ์ หรืออัตราการซึมผ่านสูงสุดแต่ค่าการแยกลดลง การทำให้เกิดแรงขับเคลื่อน จึงอาจเป็นการให้ความดันด้านป้อนสูง และ/หรือ ให้ความดันขาออกต่ำเช่น เป็นสูญญากาศ

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kim, T.H.; Koros, W.J.; Husk, G.R.; and O'Brien, K.C. (1987)⁽¹²⁾ แก๊สธรรมชาติที่นำมาใช้งานมีส่วนประกอบที่สำคัญคือไนโตรเจนปนอยู่ประมาณร้อยละ 5 – 15 ซึ่งการมีเยื่อที่ยอมให้ไนโตรเจนผ่านในขณะที่กั้นมีเทนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ผ่านที่ความดันสูง การเพิ่มค่าความร้อนของแต่ละแก๊สที่ใช้โดยไม่จำเป็นต้องอัดความดันจะทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นข้อดีอย่างหนึ่ง แต่ในความเป็นจริงมิได้เป็นอย่างนั้นการซึมผ่านของไนโตรเจนจะมีค่าต่ำกว่ามีเทนในเกือบจะทุกชนิดของพอลิเมอร์ ในการทดลองนี้ได้มีการสังเคราะห์ชุดของพอลิเมอร์ซึ่งเรียกว่า reverse permselectivity ของไนโตรเจนที่มากกว่ามีเทน เยื่อที่สังเคราะห์ทำมาจากพอลิอิมิดพวกอะโรมาติก จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อชี้แจงสาเหตุของปรากฏการณ์ที่ไม่ปกตินี้ สภาพให้ซึมได้ของไนโตรเจน และค่าสภาพเลือกได้ของไนโตรเจนต่อมีเทนถูกนำเสนอ

Koros, W.J.; Story, B.J.; Jordan, S.M.; O'Brien, K.; and Husk, G.R. (1987)⁽¹³⁾ แสดงถึงข้อดี และข้อด้อยของเยื่อชนิดต่างๆ ที่ใช้ในการแยกแก๊ส มีการเปรียบเทียบระหว่างเยื่อทึบและเยื่อไม่สมมาตรหลายชนิดที่ถูกทำขึ้นมา โครงสร้างของเยื่อจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ด้วย ในงานวิจัยนี้พิจารณาเปรียบเทียบระหว่างการใช้พอลิเมอร์ที่เป็นสถานะยึดหยุ่น และสถานะแก้ว เป็นอันดับแรก ตามด้วยการหาภาวะที่เหมาะสมของเยื่อสถานะแก้ว ในด้านของค่าสภาพให้ซึมได้ และค่าสภาพเลือกได้ หลักการหาวัสดุที่เหมาะสมคิดในพื้นฐานของอุณหภูมิวัดและสมบัติการถ่ายโอนทางจลนพลศาสตร์ของพอลิเมอร์

Stern, S.A.; Shah, V.M.; and Hardy, B.J. (1987)⁽¹⁴⁾ ศึกษาสภาพให้ซึมได้สำหรับแก๊สอีเลียม ออกซิเจน ไนโตรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน อีเทน และโพรเพน ในเยื่อซิลิโคนพอลิเมอร์ 12 ชนิด ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และความดันเพิ่มขึ้นจนถึง 9 บรรยากาศ ค่าสภาพให้แก๊สซึมได้สำหรับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และโพรเพน ทดลองที่ 10 และ 55 องศาเซลเซียสด้วย นอกจากนี้ยังหาค่าสภาพแพร่ได้เฉลี่ย และสภาพละลายได้ของแก๊ส ทั้ง 3 ชนิด ในซิลิโคนพอลิเมอร์ 6 ชนิด ที่อุณหภูมิ 10 35 และ 55 องศาเซลเซียส การเพิ่มหมู่ฟังก์ชันที่โซ่หลัก และโซ่ข้างของซิลิโคนพอลิเมอร์มีผลให้ค่าสภาพให้ซึมได้ของแก๊สที่ซึมผ่านลดลง ซึ่งจะได้ว่า ค่าสภาพแพร่ได้และสภาพละลายได้ก็จะลดลงด้วย โดยที่สภาพละลายได้จะลดลงในจำนวนที่น้อยกว่ามาก การเพิ่มหมู่ฟังก์ชันที่โซ่หลักมีผลต่อค่าสภาพให้ซึมได้น้อยกว่าการเพิ่มในโซ่ข้างเมื่อหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่เดียวกัน ค่าสภาพเลือกได้ของเยื่อซิลิโคนสำหรับแก๊ส A เทียบกับแก๊ส B คือ อัตราส่วนสภาพให้ซึม

ได้ $P(A)/P(B)$ อาจจะมีเพิ่ม หรือลดขึ้นกับหมู่ฟังก์ชันที่แทนเข้าไปว่าต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอสำหรับเยื่อซีลีโคนที่มีสภาพให้ซึมได้สูง สภาพเลือกได้จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนสภาพละลายได้ $S(A)/S(B)$ และเยื่อที่มีสภาพให้ซึมได้ต่ำ สภาพเลือกได้จะขึ้นอยู่กับทั้ง อัตราส่วนสภาพแพร่ได้ $D(A)/D(B)$ และอัตราส่วนสภาพละลายได้ $S(A)/S(B)$ สำหรับแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ผ่านเยื่อซีลีโคนจะสามารถทำให้ สภาพให้ซึมได้ และสภาพเลือกได้เพิ่มขึ้นได้เมื่อเติมหมู่ฟลูออรีน เนื่องมาจากจะเป็นการทำให้สภาพละลายได้ของคาร์บอนไดออกไซด์ในพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น

Barrie, J.A.; and Sagoo, P. (1989)⁽¹⁵⁾ ได้ทำการศึกษาการดูดซึม และการแพร่ของแก๊สโพรเพนช่วงอุณหภูมิ 35 – 55 องศาเซลเซียส ในยางธรรมชาติกราฟท์พอลิสไตรีน ซึ่งกิ่งของพอลิสไตรีนมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และมีค่าดัชนีวียวิทซ์ใกล้เคียงกัน ทั้งค่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน และค่าความสามารถในการดูดซึมของพอลิสไตรีนมีค่าลดลงสัมพันธ์กับน้ำหนักโมเลกุลที่สูงของพอลิสไตรีน สภาพซึมได้ที่ขึ้นกับองค์ประกอบของโคพอลิเมอร์ที่ถูกนำเสนอบนโดยการถ่ายโอนในภาวะต่อเนื่องเมื่ออยู่ในเฟสกระจายส่วนที่ไม่ซึมผ่าน ไม่สามารถใช้ได้ดึ้นัก ผลที่ได้มีค่าสม่าเสมอตามหลักสัจฐานวิทยา ซึ่งค่าที่ได้จะเปลี่ยนเมื่อองค์ประกอบของโคพอลิเมอร์เปลี่ยนแปลงไป

Delaney, M.S.; Reddy, D.; and Wessling, R.A. (1990)⁽¹⁶⁾ เยื่อที่เป็นพอลิเมอร์จะแสดงความสัมพันธ์ที่ผกผันระหว่างสภาพเลือกได้ของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สไนโตรเจน และสภาพให้ซึมได้ของแก๊สออกซิเจน การใช้ตัวนำพาออกซิเจนสามารถช่วยแก้ไขอุปสรรคในเรื่องนี้ได้ การรวมตัวของแก๊สออกซิเจนกับองค์ประกอบเชิงซ้อนของโคบอลต์ในพอลิเมอร์สถานะแก้ว ทำให้ค่าสภาพเลือกได้ระหว่างแก๊สออกซิเจน และแก๊สไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้น การรวมตัวนำพาออกซิเจนให้ผสมกับแกนหลังของพอลิเมอร์เป็นกิ่งที่ห้อยอยู่ ทำให้ค่าสภาพเลือกได้ของแก๊สออกซิเจนต่อแก๊สไนโตรเจนมีค่าที่ดีขึ้น ค่าสภาพเลือกได้ที่ดีขึ้นนั้นเป็นผลมาจากการเดินทางของแก๊สออกซิเจนที่ผ่านได้ง่ายขึ้น และการถ่ายโอนของแก๊สไนโตรเจนถูกยับยั้งไว้ ค่าสภาพเลือกได้ของแก๊สออกซิเจนจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณขององค์ประกอบเชิงซ้อนของโคบอลต์ และการลดความดันย่อยของแก๊สออกซิเจน การถ่ายโอนของแก๊สออกซิเจนในพอลิเมอร์เหล่านี้ สามารถอธิบายได้ด้วยแบบจำลอง dual – mode ออกซิเจนที่เชื่อมต่อกับตัวนำพาจะแพร่ไปอย่างช้าๆ แต่จะมีค่าสัมประสิทธิ์สภาพละลายได้สูงมาก เยื่อเหล่านี้จะมีปัญหาในเรื่องของอายุการใช้งานคือ ค่าสภาพเลือกได้ของแก๊สออกซิเจนจะมีค่าลดลง กับเวลาของการปล่อยแก๊สออกซิเจนที่นานขึ้น ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้ตัวนำพาแก๊สออกซิเจนที่มีเสถียรภาพมากกว่านี้ เพื่อให้สามารถนำเยื่อเหล่านี้มาใช้งานในทางการค้าได้

Naito, Y.; Mizoguchi, K.; Terada, K.; and Kamiya, Y. (1991)⁽¹⁷⁾ กระบวนการของงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์ในการวิเคราะห์ผลของความดันต่อการซึมของแก๊สผ่านพอลิเมอร์กึ่งผลึก ที่ภาวะอุณหภูมิเหนือกลาสทรานซิชัน โดยแก๊สที่ใช้ในกระบวนการจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโมเลกุลใกล้เคียงกัน แต่มีความแตกต่างกันในด้านของสภาพละลายได้ พอลิเมอร์ 2 ชนิดคือ พอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีน ถูกเลือกมาทำการศึกษาผลของความดันต่อสภาพให้ซึมได้สำหรับแก๊ส 10 ชนิด ในช่วงความดัน 1 – 130 บรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส สำหรับพอลิเมอร์ ค่าลอการิทึมของสัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมได้จะเป็นเส้นตรงกับความดันสำหรับแก๊สแต่ละชนิด โดยจะมีความชันเป็นลบในกรณีของแก๊สที่ละลายได้น้อย (ฮีเลียม นีออน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และอาร์กอน) และความชันเป็นบวกสำหรับแก๊สที่ละลายได้สูง (มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และไนตรัสออกไซด์) การวิเคราะห์ความชันเหล่านี้ได้รับการสนับสนุน โดยนำเสนอวิธีการของความดันอุทกสถิตยศาสตร์ และการซึมผ่านที่ขึ้นกับความดัน จะถูกนำมาอธิบายสำหรับหลักการพื้นฐานที่ใช้ในการอธิบายผลการทดลองคือ กลไกการซึมผ่านของแก๊สในฟิล์มยางภายใต้ความดันสูง

Wijmans, J.G.; and Baker, R.W. (1995)⁽¹⁸⁾ แบบจำลองการละลาย – การแพร่ มีการพัฒนามานานกว่า 20 ปี และเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง ในการนำมาอธิบายการถ่ายโอนในกระบวนการไดอะไลซิส ออสโมซิสผันกลับ การซึมผ่านของแก๊ส และเพอแวปพอเรชัน ในงานวิจัยนี้จะทำการพิสูจน์สมการปรากฏการณ์สำหรับการถ่ายโอนในกระบวนการที่กล่าวไปแล้ว โดยใช้แบบจำลองการละลาย – การแพร่ โดยเริ่มจากภาวะขั้นพื้นฐานนั่นคือ พลังค์มีความสัมพันธ์เป็นสัดส่วนกับเกรเดียนต์ในศักย์ทางเคมี การนำเสนอมีการพิสูจน์ให้เห็นทั้งทางตรง และทางอ้อม ถึงความมีเหตุผลของแบบจำลอง พร้อมๆ กับการอภิปรายสรุปผลของการผ่าน ระหว่าง การละลาย – การแพร่ การไหลผ่านรูในการแยกระดับนาโน และการซึมผ่านแก๊ส ของเยื่อ

Chen, S.H.; Lee, M.H.; and Lai, J.Y. (1996)⁽¹⁹⁾ เยื่อพอลิซิลลอกเซนอิมิด (PSI) เตรียมขึ้นเพื่อศึกษาการแยกแก๊สออกซิเจน และไนโตรเจน โดยศึกษาผลของการเติมซิลลอกเซนลงในพอลิอิมิด เพื่อให้สภาพให้ซึมได้ของเยื่อดีขึ้น พอลิซิลลอกเซนอิมิดเตรียมขึ้นจากไพโรเมลลิทิด ไดแอนไฮไดรด์ (PMDA) 4,4' - ออกซีไดอะนิลีน (ODA) และ เอมีน – เทอร์มิเนต พอลิไดเมทิลซิลลอกเซน (PDMS) จากการศึกษาพบว่าปริมาณ PDMS มีบทบาทสำคัญในการรวมกลุ่มของสายพอลิซิลลอกเซนอิมิด ผลของส่วนประกอบของเยื่อ กับสภาพให้ซึมได้ของแก๊ส และค่าสภาพเลือกได้ (O_2 / N_2) วัดที่อุณหภูมิ 35 65 95 และ 125 องศาเซลเซียส ความดันต่าง 1 บรรยากาศ และเพิ่มความดันขาเข้าจาก 1 บรรยากาศ ถึง 9 บรรยากาศ ที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียส เมื่อแบบ

จำลองการละลาย-การแพร่ อธิบายได้ว่า การเพิ่มปริมาณ PDMS จะเพิ่มสภาพให้ซึมได้ของแก๊ส และค่าสภาพแพร่ได้ของแก๊ส เมื่อปริมาณ PDMS สูงกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก กลไกการแยกแก๊สขึ้นอยู่กับ การแพร่ของแก๊สมากกว่าการละลาย

Johnson, T.; and Thomas, S. (1999)⁽²⁰⁾ งานวิจัยนี้ศึกษาถึงสมบัติการถ่ายโอนแก๊สบริสุทธิ์ของยางธรรมชาติ (NR) ยางธรรมชาติอีพอกซีไดออกไซด์ (ENR) และยางธรรมชาติผสมยางธรรมชาติอีพอกซีไดออกไซด์ โดยแก๊สที่ใช้ในการศึกษาสภาพให้ซึมได้ของพอลิเมอร์บริสุทธิ์ และพอลิเมอร์ผสมนี้คือ แก๊สไนโตรเจน และแก๊สออกซิเจน นอกจากนี้ยังได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพเลือกได้ของแก๊สออกซิเจน – แก๊สไนโตรเจน กับอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g) ด้วย ผลการศึกษาพบว่ายางธรรมชาติจะมีค่าสภาพให้ซึมได้ของทั้งแก๊สไนโตรเจน และแก๊สออกซิเจนสูงสุด แต่ยางธรรมชาติอีพอกซีไดออกไซด์ร้อยละ 50 โดยโมล จะให้ค่าสภาพเลือกได้ของแก๊สออกซิเจน-แก๊สไนโตรเจนสูงสุด ในการผสมยางธรรมชาติ กับยางธรรมชาติอีพอกซีไดออกไซด์เข้าด้วยกัน จะทำให้ค่าสภาพให้แก๊สซึมได้มีค่าลดลง เมื่อสัดส่วนโดยปริมาตรของยางธรรมชาติอีพอกซีไดออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้น ในขณะที่สภาพเลือกได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนโดยปริมาตรของยางธรรมชาติอีพอกซีไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น อีกทั้งยังได้มีการนำแบบจำลองการซึมผ่านในตัวกลางเนื้อผสม ของแมกซ์เวลล์ (Maxwell) และเบอร์กแมน (Bruggeman) มาเปรียบเทียบ กับผลการทดลองในส่วน of ยางธรรมชาติผสมยางธรรมชาติอีพอกซีไดออกไซด์ และสภาพให้ซึมได้ของแก๊สบริสุทธิ์

Andrio, A.; Compan, V.; Reis – Nunes, R.C.; Lopez, M.L.; and Riande, E. (2000)⁽²¹⁾ งานวิจัยนี้รายงานถึงผลของอุณหภูมิ และความดันต่อค่าสัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมได้ ค่าสัมประสิทธิ์สภาพแพร่ได้ และค่าสัมประสิทธิ์สภาพละลายได้ ของแก๊สไนโตรเจน แก๊สออกซิเจน และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ในยางธรรมชาติเสริมแรงด้วยเซลลูโลสที่มีจำนวนแตกต่างกัน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สออกซิเจน และแก๊สไนโตรเจน ในวัสดุผสมนี้มีค่าน้อยกว่าในยางธรรมชาติ กราฟที่นำเสนอผลของความดันด้านขาเข้าต่อค่าสัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมได้ แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่ความดันต่ำกราฟจะมีลักษณะหงายขึ้นตามการลดลงของความดัน และที่อุณหภูมิเท่ากัน ได้แสดงให้เห็นเช่นเดียวกันว่า ผลของความดันด้านขาเข้าต่อค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ เป็นไปในลักษณะเดียวกันกับสัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมได้ โดยผลการทดลองทั้งหมด จะถูกอธิบายในเชิงของการเปลี่ยนในปริมาตรเสรีของเยื่อพอลิเมอร์

Reis-Nunes, R.C.; Compan, V.; and Riande, E. (2000)⁽²²⁾ งานวิจัยนี้รายงานถึงการถ่ายโอนของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สออกซิเจน และแก๊สไนโตรเจน ในเยื่อสัณฐานของยาง

ธรรมชาติคงรูปเสริมแรงด้วยเซลลูโลส ค่าสัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมได้ของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สออกซิเจน และแก๊สไนโตรเจน ในเยื่อที่มีองค์ประกอบของเซลลูโลสร้อยละ 25 ทำการวัดที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 15 เซนติเมตรปรอท จะมีค่าประมาณหนึ่งในสามของ ค่าที่วัดได้จากยางธรรมชาติ ในภาวะ และแก๊สชนิดเดียวกัน สำหรับที่อุณหภูมิเท่ากัน ได้แสดงการ เปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์สภาพให้ซึมได้ และค่าสัมประสิทธิ์สภาพแพร่ได้ของแก๊สชนิดต่างๆ กับความดัน ซึ่งจากความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่มีความดันต่ำลงจะมีความชื้นเพิ่มขึ้นอัน เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงในปริมาตรเสรี การวิเคราะห์ลักษณะสภาพให้ซึมได้ของเยื่อในทฤษฎี ปริมาตรเสรี เสนอว่าการถ่ายโอนแก๊สถูกขัดขวางทั้งในเฟสเซลลูโลส และองค์ประกอบของอินเตอร์ เฟสเซลลูโลส - ยาง

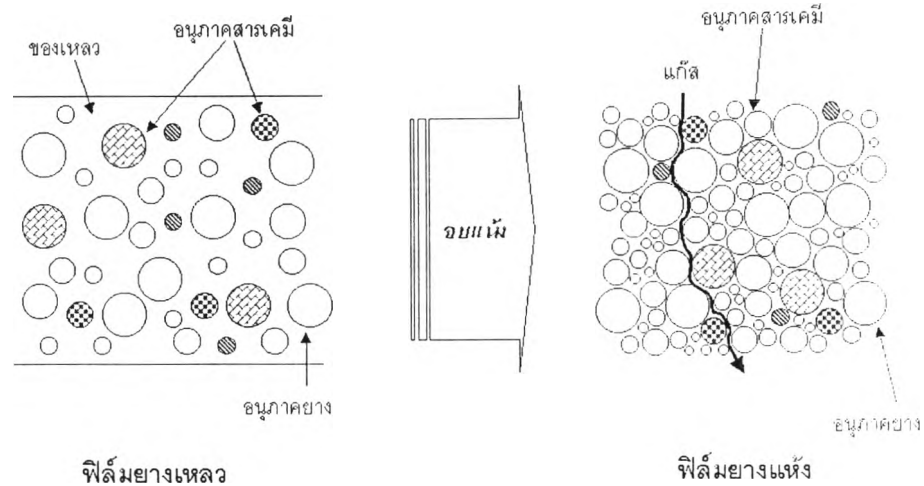
2.13 สมมุติฐานของงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีสมมุติฐานที่สนใจในการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ข้อคือ สมมุติฐานในการเกิด फिल्मยาง และสมมุติฐานการถ่ายโอนแก๊สผ่าน फिल्मยาง โดยมีรายละเอียดของข้อสมมุติฐานดังนี้

2.13.1 การเกิด फिल्मยาง

ในการเกิด फिल्मที่เตรียมจากน้ำยางธรรมชาติซึ่งมีลักษณะเป็นอนุภาคแขวนลอยอยู่ในของเหลว โดยขนาดของอนุภาคยางจะมีขนาดแตกต่างกันตั้งแต่ขนาดเล็ก จนถึงขนาดใหญ่ การระเหย น้ำออกจะทำให้อนุภาคยางที่มีขนาดต่างๆ กัน เข้ามาใกล้ แล้วจับตัวกันเป็นแบบสุ่ม ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคยางที่จับตัวกันในลักษณะเป็นช่องว่างที่คดเคี้ยวระหว่างอนุภาคยาง โดยช่องว่างที่เกิดขึ้นนี้มีทั้งกว้าง และแคบ ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาคยางบริเวณนั้นว่าจะมีขนาดใหญ่ หรือเล็ก และการจัดเรียงอนุภาคยางที่เกิดขึ้น

สำหรับในกรณีเป็นน้ำยางธรรมชาติผสมสารเคมีก็จะมีลักษณะในการเกิด फिल्मเช่นเดียวกัน แต่นอกจากอนุภาคยางแล้ว ยังมีอนุภาคสารเคมีซึ่งจะมีขนาดแตกต่างกัน กระจายแทรกอยู่ระหว่างอนุภาคยางด้วย ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 แสดงสมมุติฐานการเกิดฟิล์มยางธรรมชาติผสมสารเคมี

2.13.2 การถ่ายโอนแก๊สผ่านฟิล์มยาง

จากสมมุติฐานของการเกิดฟิล์มยางดังกล่าวข้างต้น ทำให้เกิดสมมุติฐานของการถ่ายโอนแก๊สผ่านฟิล์มยางที่มีช่องว่างกล่าวคือ แก๊สต่างชนิดกันที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน เมื่อผ่านเข้าฟิล์มยางซึ่งมีช่องว่างดังกล่าว จะเกิดการแพร่ผ่านเยื่อไปได้ในอัตราที่ต่างกันเพราะ โมเลกุลที่พลังงานต่างกัน จะเคลื่อนที่ไปได้ในระยะทางที่ไม่เท่ากัน โดยโมเลกุลที่มีพลังงานจลน์น้อยกว่าเคลื่อนที่ผ่านได้ช้ากว่า เนื่องจากสูญเสียพลังงานไปกับการพุ่งชนโมเลกุลอื่น และผนังของช่องว่าง แก๊สที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีพลังงานจลน์สูงกว่าแก๊สที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า (ที่อุณหภูมิเดียวกัน) ทำให้ฟิล์มยางที่เกิดขึ้นสามารถแยกแก๊สชนิดต่างๆ ออกจากกันได้