

บทที่ 2

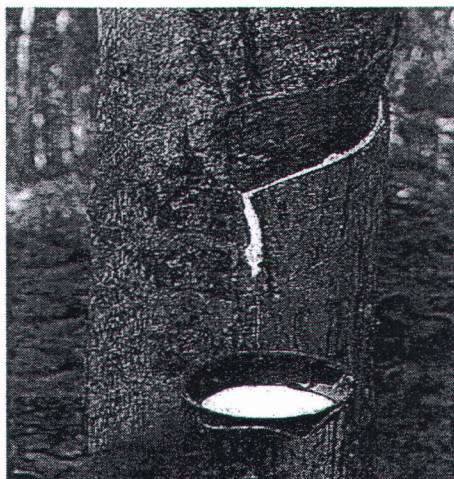
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 น้ำยางธรรมชาติ (natural rubber)

น้ำยางธรรมชาติเป็นน้ำยางจากต้นไม้ยืนต้น มีชื่อเรียกอีกชื่อหนึ่งคือยางพาราหรือต้นยางพารา ยางพารามีถิ่นกำเนิดบริเวณลุ่มน้ำอเมซอน ประเทศบราซิล และเปรู ทวีปอเมริกาใต้ ซึ่งชาวอินเดียนแดงเผ่ามายัน ในอเมริกากลาง ได้รู้จักการนำยางพารามาใช้ก่อนปี พ.ศ. 2000 โดยการจุ่มเท้าลงในน้ำยางดิบเพื่อทำเป็นรองเท้า ส่วนเผ่าอื่น ๆ ก็นำไปใช้ประโยชน์ในการทำผ้ากันฝน ทำขวดใส่น้ำ เบะทำลูกบอลลอยเล่นเกมส์ต่าง ๆ เป็นต้น จนกระทั่งคริสโตเฟอร์ โคลัมบัสได้เดินทางมาสำรวจทวีปอเมริกาใต้ ในระหว่างปี พ.ศ. 2036-2039 และได้พบกับชาวพื้นเมืองเกาะไฮติที่กำลังเล่นลูกบอลลอยซึ่งสามารถกระดอนได้ ทำให้คณะผู้เดินทางสำรวจประหลาดใจจึงเรียกว่า "ลูกบอลผีสิง"

ต่อมาในปี พ.ศ. 2279 นักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศสชื่อชาลส์ มาริเดอลา คอนดามีน (Charles Merie de la Condamine) ได้ให้ชื่อเรียกยางตามคำพื้นเมืองของชาวไมกาว่า "คาโอชู" (Caoutchouc) ซึ่งแปลว่าต้นไม้อ่อนให้ และให้ชื่อเรียกของเหลวที่มีลักษณะข้นขาวคล้ายน้ำมันซึ่งไหลออกมาจากต้นยาง เมื่อกรีดเป็นรอยแผลว่า ลาเท็กซ์ (latex) และใน พ.ศ. 2369 ฟาราเดย์ (Faraday) ได้รายงานว่ายางธรรมชาติเป็นสารที่ประกอบด้วยธาตุคาร์บอนและไฮโดรเจน มีสูตรเคมีคือ C_5H_8 หลังจากนั้นจึงได้มีการปรับปรุงสมบัติของยางพาราเพื่อให้ใช้งานได้กว้างขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์

แหล่งผลิตยางธรรมชาติที่ใหญ่ที่สุดในโลกคือ แถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้คิดเป็นร้อยละ 90 ของแหล่งผลิตทั้งหมด ส่วนที่เหลือมาจากแอฟริกากลาง ซึ่งพันธุ์ยางที่ผลิตในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ คือ พันธุ์ฮีเวียบราซิลเลียนซิส (Hevea brasiliensis) ดังแสดงในรูป 2.1



รูปที่ 2.1 ต้นยางพาราพันธุ์ฮีเวียบราซิลเลียนซิส (*Hevea brasiliensis*)

ยางพารามีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศ 3 ด้าน คือ

1. พื้นฟูเศรษฐกิจของประเทศ เนื่องจากยางพาราเป็นพืชที่ทำรายได้ให้ประเทศจำนวนมาก กล่าวคือ ในปี พ.ศ. 2543 มีมูลค่ารวม 134,143 ล้านบาท เฉพาะการส่งออกยางซึ่งเป็นวัตถุดิบ 60,743 ล้านบาท เป็นสินค้าที่อยู่ใน 10 อันดับแรกของการส่งออก
2. การกระจายรายได้ของเกษตรกรชาวสวนยางที่มีอาชีพทำสวนยางพารามีกว่า 6 ล้านคนทั่วประเทศ ยางพารา จึงเป็นพืชที่ทำให้มีการกระจายรายได้ให้เกษตรกร เป็นจำนวนมาก ตั้งแต่ภาคใต้ภาคตะวันออกและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
3. เกษตรกรมีรายได้แน่นอนและเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาจากสถิติยางพาราตั้งแต่ปี พ.ศ. 2509 ซึ่งผลิตเฉลี่ย 60 กก./ไร่/ปี เมื่อมีการปลูกทดแทนด้วยยางพันธุ์ดีจนถึงปัจจุบัน ในปี พ.ศ. 2543 ผลิตเฉลี่ยเพิ่มขึ้นถึง 268 กก./ไร่/ปี เพิ่มขึ้น 4 เท่าตัว ในช่วง 35 ปี ทำให้เกษตรกรชาวสวนยางมีรายได้จากการทำสวนยางเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ ยังเป็นพืชที่ปลูกแล้ว มีรายได้สม่ำเสมอเกือบตลอดทั้งปี ราคาผันผวน ไม่มากนักจึงสร้างรายได้ที่แน่นอน ให้แก่เกษตรกร ผู้ปลูกยางมากกว่าปลูกพืชชนิดอื่นๆ

2.2 สมบัติทั่วไปของยางธรรมชาติ

ยางธรรมชาติมีชื่อทางเคมีคือ ซิส-1,4-พอลิไอโซพรีน (cis-1,4-polyisoprene) เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนล้วน ทำให้มีสมบัติไม่ทนต่อน้ำมัน แต่เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี ใน 1 โมเลกุลจะประกอบด้วยหน่วยของไอโซพรีน (C_5H_8) มาต่อกันเป็นสายโซ่ยาวแบบเส้นตรงใน 1 หน่วยไอโซพรีนจะมีพันธะคู่และหมู่แอลฟาเมทิลีนที่วงไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ทำให้สามารถวัลคาไนซ์ได้ด้วยกำมะถัน และทำให้ยางทำปฏิกิริยาได้ง่ายด้วยออกซิเจนและโอโซน ทำให้ยางเกิด

การเชื่อมสภาพได้ง่ายเช่นเดียวกัน ดังนั้นการออกสูตรยางจำเป็นจะต้องมีแอนติออกซิแดนท์และแอนติโอโซนแชนท์ร่วมด้วย(พรพรรณ นิธิอุทัย, 2540) ยางธรรมชาติมีสายโซ่ที่เคลื่อนไหวหักงอไปมาได้ง่าย ทำให้ยางธรรมชาติคงสภาพยืดหยุ่นได้ดี มีอุณหภูมิของการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วประมาณ -72°C สามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิต่ำมาก สำหรับความสม่ำเสมอในโครงสร้างโมเลกุล ทำให้ยางธรรมชาติสามารถตกผลึกได้เมื่อยืด การเกิดผลึกเนื่องจากการยืดตัวยังทำให้ยางคงรูปมีสมบัติเชิงกลดีขึ้น นั่นคือ ยางจะมีความทนทานต่อแรงดึง ความทนทานต่อการฉีกขาด และความต้านทานต่อการขูดถูสูงขึ้น ยางธรรมชาติมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยสูง อยู่ในช่วง 200,000 ถึง 400,000 (พงษ์ธร แซ่ฮุย, 2547) และมีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลกว้างมาก ทำให้ยางแข็งเกินไปที่จะนำไปแปรรูปโดยตรง จะต้องมีการบดยาง ก่อนที่จะนำไปใช้ในกระบวนการผลิต

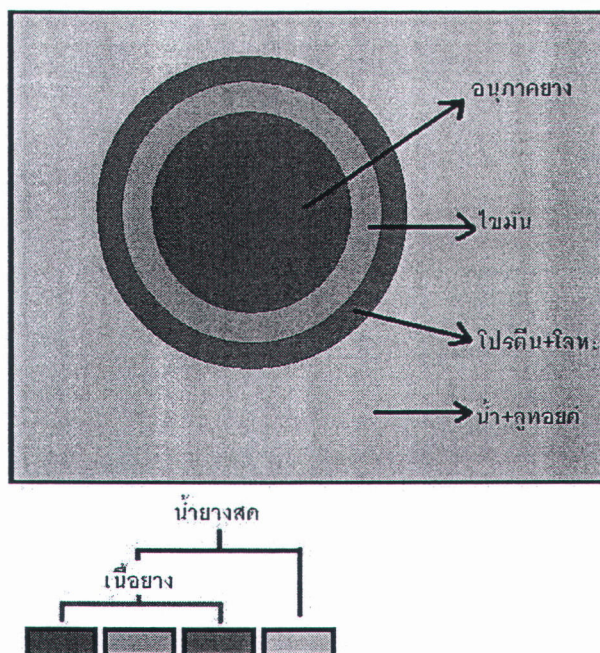
2.3 ส่วนประกอบของน้ำยาง

น้ำยางที่กรี๊ดได้จากต้นจะเรียกว่าน้ำยางสด (field latex) น้ำยางที่ได้จากต้นยางมีลักษณะเป็นเม็ดยางเล็ก ๆ กระจายอยู่ในน้ำ (emulsion) มีลักษณะเป็นของเหลวสีขาว มีสภาพเป็นคอลลอยด์ มีปริมาณของแข็งประมาณร้อยละ 30-40 pH 6.5-7 น้ำยางมีความหนาแน่นประมาณ 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร มีความหนืด 12-15 เซนติพอยส์ ส่วนประกอบในน้ำยางสดแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน(โกศล จริงสูงเนิน, 2528) คือ

1. ส่วนที่เป็นเนื้อยาง	35	เปอร์เซ็นต์
2. ส่วนที่ไม่ใช่ยาง	65	เปอร์เซ็นต์
2.1 ส่วนที่เป็นน้ำ	55	เปอร์เซ็นต์
2.2 ส่วนของลูทอยด์และสารอื่น	10	เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2547)

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



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของน้ำยางธรรมชาติ

2.3.1 ส่วนของเนื้อยาง

ก. อนุภาคยาง

อนุภาคยางถูกห่อหุ้มด้วยสารจำพวกไขมันและโปรตีน โดยโปรตีนนี้จะอยู่ชั้นนอกและอาจมีโลหะบางชนิด เช่น แมกนีเซียม โพแทสเซียม และทองแดงปะปนอยู่ปริมาณเล็กน้อย ประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (บุญธรรม นิธิอุทัย และคณะ, 2539)

โดยปกติอนุภาคยางจะแขวนลอยในน้ำ ประกอบด้วยสารประกอบพวกไฮโดรคาร์บอน มีชื่อโครงสร้างทางเคมีว่า ไอโซพรีน (cis-1, 4 polyisoprene) มีความหนาแน่นเท่ากับ 0.92 กรัมต่อมิลลิลิตร ลักษณะอนุภาคยางเป็นรูปค่อนข้างทรงกลม มีขนาดอนุภาคแตกต่างกันมาก คือ อยู่ระหว่าง 0.04 - 4 ไมครอน (400-40000 อังสตรอม) อนุภาคยางส่วนใหญ่จะมีขนาดเกิน 0.4 ไมครอน (4000 อังสตรอม) มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 1 ไมครอน เมื่อนำน้ำยางสดมาปั่นด้วยความเร็วสูงพบว่า อนุภาคยางที่มีขนาดใหญ่จะแยกตัวออกจากชั้นน้ำขึ้นมาอยู่ด้านบน ซึ่งสามารถแยกออกได้เป็นน้ำยางข้น ส่วนอนุภาคยางที่มีขนาดเล็กจะปะปนอยู่กับหางน้ำยาง สามารถแยกออกโดยการทำให้จับตัวเป็นก้อนด้วยกรด

ข. โปรตีน

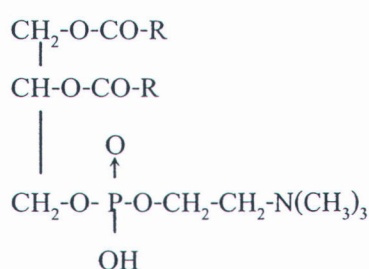
ส่วนของสารพวกโปรตีนที่ห่อหุ้มอยู่ตรงผิวรอบนอกของอนุภาคยางมีอยู่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของโปรตีนทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำยาง ส่วนที่เหลือประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ จะอยู่ในชั้นน้ำ และอีก 25 เปอร์เซ็นต์จะปะปนอยู่ในส่วนของสารลูทอยด์ โปรตีนส่วนที่อยู่ในน้ำยางส่วนใหญ่เป็น ชนิดแอลฟาไกลูบูลิน และฮีวิน (α -Globulin และ Hevein)

ส่วนนอกสุดของอนุภาคยางมีโปรตีนห่อหุ้มอยู่ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของอนุภาค ยาง(สุรศักดิ์ สุทธิสงค์, 2532) ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนชนิดแอลฟาไกลูบูลิน ซึ่งไม่ละลายในน้ำกลั่น แต่ ละลายในกรด ด่าง และเกลือ มีค่า Isoelectric point ที่ pH เท่ากับ 4.8 ดังนั้นอนุภาคยางจะ รวมตัวกันอย่างรวดเร็วที่ pH ของแอลฟาไกลูบูลิน ละลายน้อยที่สุด (บุญธรรม นิธิอุทัยและคณะ, 2539) สำหรับโปรตีนที่ห่อหุ้มผิวรอบนอกของอนุภาคยางซึ่งเป็นโปรตีนพวกฮีวิน สามารถละลาย ในน้ำได้ (บุญธรรม นิธิอุทัยและคณะ, 2539) มีค่า Isoelectric point ที่ pH เท่ากับ 4.5 จะป้องกัน อนุภาคยางมารวมตัวกันเมื่อมีการสูญเสีย น้ำ เช่น การเติมแอลกอฮอล์ หรือกรดอะซิติก อนุภาค ยางจะเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อนเรียก Coagulum แยกออกจากส่วนของเซรุ่ม

โปรตีนบนผิวของอนุภาคยางนี้ มีส่วนประกอบของกำมะถัน (Cystin disulphide linkage) อยู่ประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นขณะที่น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพ จะเกิดการบุดเน่า โดยโปรตีนส่วนนี้จะสลายตัวให้สารประกอบพวกไฮโดรเจนซัลไฟด์ และสารเมอร์แคปแทน (Mercaptan) ทำให้มีกลิ่นเหม็น (บุญธรรม นิธิอุทัยและคณะ, 2539)

ค. ไขมัน (Lipid)

ไขมันซึ่งอยู่ระหว่างผิวของอนุภาคยางและโปรตีน ส่วนใหญ่เป็นสารพวกฟอสโฟไลปิด ชนิด α -Lecithin มีสูตรโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.3 ทำหน้าที่ยึดโปรตีนให้เกาะอยู่บนผิวของ อนุภาคยาง R ในสูตรโครงสร้าง คือ Heptadecyl ($C_{17}H_{35}$) หรือ Heptadenyl ($C_{17}H_{33}$)



รูปที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของ α -Lecithin (บุญธรรม นิธิอุทัยและคณะ, 2539)

น้ำยางในสภาวะที่เป็นต่าง เช่น มีแอมโมเนียอยู่ (ประมาณ 0.6% ขึ้นไป) ฟอสโฟไลปิดจะถูกไฮโดรไลซ์เป็นกรดไขมันที่มีโมเลกุลยาว (Long chain fatty acid) ซึ่งจะรวมตัวกับแอมโมเนียกลายเป็นสบู่ ทำให้น้ำยางมีความเสถียรยิ่งขึ้น แต่กรณีที่มีแอมโมเนียปริมาณน้อย (ประมาณ 0.2% ในน้ำยาง) การไฮโดรไลซิสจะเกิดขึ้นน้อย การเพิ่มความเสถียรของน้ำยางจึงจำเป็นต้องเพิ่มสบู่ หรือสารอื่นที่ช่วยในการเก็บรักษาน้ำยางเพิ่มลงไป

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของเนือยางแห้ง (บุญธรรม นิธิอุทัยและคณะ, 2539)

ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์
เนือยางไฮโดรคาร์บอน	86
น้ำ กระจายอยู่ในเนือยาง	10
สารโปรตีน	1
สารพวงไขมัน	3

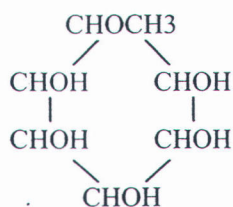
2.3.2 ส่วนที่ไม่ใช่น้ำยาง

1. ส่วนที่เป็นน้ำ หรือเซรัม

เซรัม (serum) ของน้ำยาง มีความหนาแน่นประมาณ 1.02 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยสารชนิดต่างๆ คือ

ก. คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นสารพวงแป้งและน้ำตาล มีอยู่ในน้ำยางประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลส่วนใหญ่เป็นชนิดคิวบาซิทอล (Quebrachitol) แสดงดังรูปที่ 2.4 มีน้ำตาลชนิดกลูโคส ซูโครส ฟรุคโตส ปริมาณเล็กน้อย (บุญธรรม นิธิอุทัยและคณะ, 2539)



รูปที่ 2.4 สูตรโครงสร้างของน้ำตาลควิบริทอล (บุญธรรม นิธิอุทัยและคณะ, 2539)

น้ำตาลเหล่านี้จะถูกแบคทีเรียใช้เป็นอาหาร เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายตัวให้กรดโมเลกุลที่มีขนาดเล็กๆ (Short chain fatty acid) ทำให้น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพและรวมตัวเป็นก้อน กรดเหล่านี้เป็นกรดที่ระเหยได้ง่าย จึงเรียกชื่อว่า VFA (Volatile fatty acid) ประกอบด้วยกรดฟอร์มิก กรดอะซิติก และกรดโพรไพโอนิก เป็นต้น ดังนั้นค่า VFA จึงเป็นตัวเลขที่บ่งถึงความสามารถในการรักษาสภาพของน้ำยาง โดยมาตรฐานสากลของน้ำยางชั้น กำหนดให้มีค่า VFA ไม่เกิน 0.2 หน่วย

ข. โปรตีนและกรดอะมิโน

โปรตีนและกรดอะมิโนเป็นส่วนที่อยู่ในธรรมชาติของน้ำยาง มีค่า Isoelectric point หลากค่า โปรตีนที่มีค่า Isoelectric point สูงสามารถสลายตัวให้ประจุบวกได้ เป็นสาเหตุให้น้ำยางสูญเสียสภาพ โปรตีนที่พบมากในน้ำยางสด ส่วนใหญ่เป็นโปรตีนประเภทอัลฟาไกลูบูลิน (โกศล จริ่งสูงเนิน, 2528) ซึ่งมีคุณสมบัติของสารตรงผิวของโมเลกุลมีความว่องไว (Surface active) ดังนั้นโดยทั่วไปจะอยู่ระหว่างรอยเชื่อมต่อของน้ำ-อากาศ และน้ำมัน-น้ำ

2. ส่วนของลูทอยด์และสารอื่นๆ

ก. ลูทอยด์

ลูทอยด์ เป็นอนุภาคค่อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 ถึง 3 ไมครอน ห่อหุ้มด้วยเยื่อบางๆ ภายในเยื่อบางนี้ จะมีทั้งสารละลายและสารที่แขวนลอย มีค่า pH เท่ากับ 5.5 ส่วนใหญ่ประกอบด้วยโปรตีน โดยมีโปรตีนที่ละลายน้ำอยู่ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ และมีส่วนของโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำอยู่ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีส่วนของสารพวกฟอสโฟไลปิดแขวนลอยอยู่ประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ (สุรศักดิ์ สุทธิสงค์, 2532) และมีสารโพลีฟีนอลออกซิเดส ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ยางมีสีเหลืองหรือสีคล้ำเมื่อสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศ

ลูทอยด์ ห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อชั้นเดียวสามารถเกิดการออสโมซิส (Osmosis) ได้ง่าย (สุรศักดิ์ สุทธิสงค์, 2532) ดังนั้นการเติมน้ำลงในน้ำยางสด จะทำให้ลูทอยด์บวมและแตกง่าย ขณะที่ลูทอยด์เกิดการพองตัว มีผลที่ให้น้ำยางมีความหนืดเพิ่มขึ้น และเมื่อลูทอยด์แตกความหนืดก็จะลดลง

ในสภาพของอากาศร้อน อุณหภูมิสูงขึ้นมีผลทำให้ลูทอยด์แตกได้เช่นกัน โดยของเหลวภายในลูทอยด์จะขยายตัวและแตกออก เมื่อลูทอยด์แตก ของเหลวภายในซึ่งเป็นสารแขวนลอยที่มีประจุบวก และไอออนของโลหะ เช่น แคลเซียมไอออน และแมกนีเซียมไอออน จะปะปนรวมกันอยู่ในเซรุ่ม ทำให้อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกัน ก่อให้เกิดการอุดตันของท่อน้ำยาง (Yip และคณะ, 1975) มีผลทำให้น้ำยางหยุดไหลหลังกรีต (Southorn, 1969) ส่วนเนื้อเยื่อบางของลูทอยด์ที่แตกออก มีรูปร่างไม่แน่นอน จะเกิดจากการจับตัวกันเองเป็นก้อน ติดอยู่บนผิวนอกของอนุภาคยาง ทำให้อย่างมีขนาดโตขึ้นและเกิดการเคลื่อนที่ได้ช้าลงเป็นสาเหตุหนึ่งทำให้น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพได้

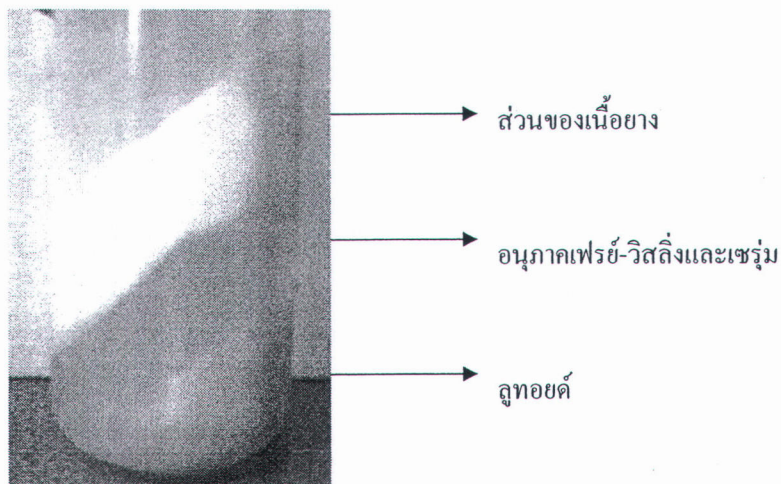
หากเติมแอมโมเนียลงไปในน้ำยางสด จะพบว่า ส่วนของลูทอยด์และสารพวกโลหะแมกนีเซียมจะรวมตัวกับแอมโมเนีย เกิดการตกตะกอนเป็นตะกอนสีน้ำตาลและสีม่วง แยกตัวออกจากเนื้อยาง และเกาะรวมกันอยู่ด้านล่างสามารถแยกออกได้

ข. อนุภาคเฟรย์ – วิสลิ่ง (Frey- wysssling)

อนุภาคเฟรย์-วิสลิ่ง เป็นสารไม่ใช่ยางมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่ายาง แต่ความหนาแน่นน้อยกว่า มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีผนังล้อมรอบสองชั้น มีปริมาณไม่มากนัก ประกอบด้วยสารเม็ดสีพวกคาร์บอนอยด์ ซึ่งทำให้อย่างมีสีเหลืองเข้ม (โกศล จริ่งสูงเนิน, 2528) สามารถรวมตัวกับแอมโมเนียและแยกตัวออกจากยางมาอยู่ในส่วนของเซรุ่ม

หากนำน้ำยางสดมาปั่นด้วยความเร็วสูง ดังรูปที่ 2.5 จะสามารถแยกน้ำยาง ออกได้ 4 ส่วน เรียงจากด้านบน ถึงด้านล่างของภาชนะ ดังนี้ (สุรศักดิ์ สุทธิสงค์, 2532)

1. ส่วนของเนื้อยาง
2. อนุภาคเฟรย์-วิสลิ่ง
3. เซรุ่ม
4. ตะกอนสีเหลืองหรือขาว ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารพวกลูทอยด์



รูปที่ 2.5 การแยกส่วนประกอบของน้ำยางซึ่งปั่นด้วยความเร็วสูง (Kanyawararak, 2005)

ส่วนของเนื้อยาง อยู่ด้านบนสุด มีลักษณะเป็นครีมสีขาว เป็นอนุภาคของยาง อาจมีของแข็งอื่น เช่น อนุมูลของโลหะอื่นเจือปนบ้างเล็กน้อย

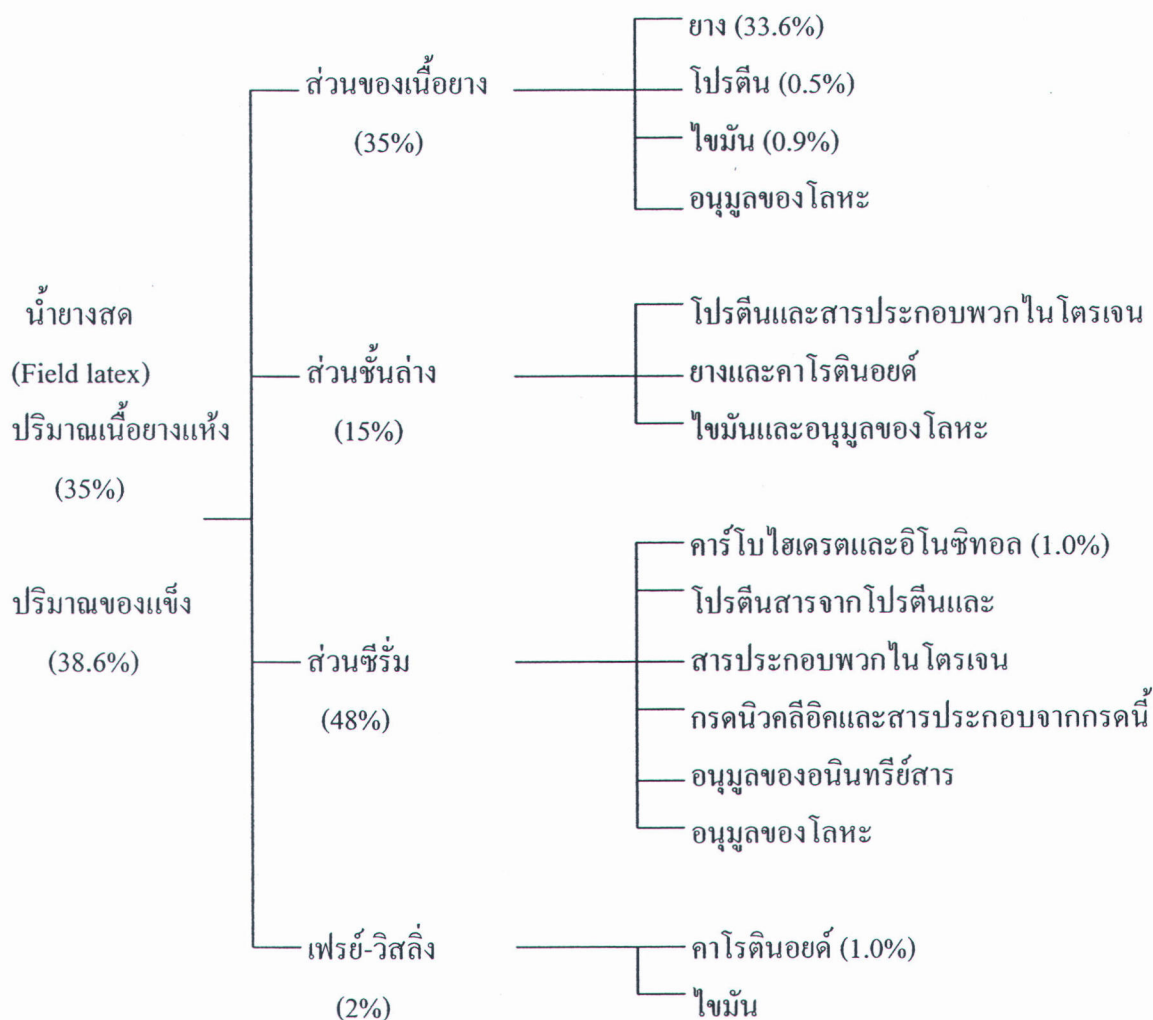
ส่วนที่อยู่ติดกับเนื้อยางมีลักษณะเป็นอนุภาคเช่นเดียวกับยางแต่มีสีเหลือง เป็นอนุภาคของเฟรย์-วิสลิง เวลาปั่นมักปนอยู่ในส่วนของเซรัม

เซรัมจะมีสีใสปนเหลืองเป็นฟองง่าย ส่วนใหญ่ประกอบด้วย โปรตีน ฟอสฟอรัส ไปแตส เซียม ทองแดง และแมกนีเซียม

ส่วนที่อยู่ชั้นล่าง เป็นตะกอนมีสีเหลือง น้ำตาลคล้ำ หรือสีขาว ส่วนใหญ่เป็นสารพวกโลหะหนัก เช่น แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส และซีลีเนียม



สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	
ห้องสมุดงานวิจัย	
วันที่.....	9 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน.....	247631
เลขเรียกหนังสือ.....	



รูปที่ 2.6 แสดงส่วนประกอบต่างๆของน้ำยางสดหลังการปั่นแยก (โกศล จริงสูงเนิน, 2528)

น้ำยางจัดเป็นสารแขวนลอย เพราะมีอนุภาคยางแขวนลอยปนอยู่ ซึ่งหากตั้งน้ำยางทิ้งไว้นานพอ น้ำยางและน้ำจะเกิดการแยกชั้นออกจากกัน องค์ประกอบส่วนใหญ่ของน้ำยางสดคือ น้ำ ซึ่งมีประมาณ 50-80 เปอร์เซ็นต์ และมีเนื้อยางเพียง 20-45 เปอร์เซ็นต์ ทำให้น้ำยางสดไม่เหมาะจะนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ และไม่นิยมขนส่งน้ำยางในรูปน้ำยางสด เนื่องจากสิ้นเปลืองค่าขนส่ง โดยทั่วไปน้ำยางสดจะถูกนำไปผ่านกระบวนการปั่นเหวี่ยงให้ได้น้ำยางข้นที่มี เนื้อยางประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ก่อนจะนำไปใช้ผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ หรือขนส่ง

โดยทั่วไปน้ำยางสดที่ออกมาจากต้นยางจะคงสภาพความเป็นน้ำยางได้ไม่เกิน 3-6 ชั่วโมง เนื่องจากแบคทีเรียในอากาศ และจากเปลือกของต้นยางจะลงไปปนน้ำยาง และกินสารอาหารที่อยู่ในน้ำยาง เช่น โปรตีน น้ำตาล เป็นต้น ทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว แต่สิ่งที่เกิดขึ้นจากการย่อยของแบคทีเรียคือ ก๊าซชนิดต่าง ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซมีเทน และกรดไขมันระเหยได้ (volatile fatty acid) เมื่อปริมาณกรดที่ระเหยง่ายในน้ำยางเพิ่มมากขึ้น น้ำยางจะเกิดการสูญเสียสภาพ ส่งผลได้จากการที่น้ำยางจะค่อยๆ มีความหนืดมากขึ้น เพราะอนุภาคยางเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็กๆ และค่อยขยายเป็นก้อนใหญ่ขึ้น จนน้ำยางสูญเสียสภาพ เกิดการบูดเน่า และมีกลิ่นเหม็น ซึ่งอัตราการเกิดกระบวนการทั้งหมดจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นเรื่องอุณหภูมิ สภาพแวดล้อม ความคงตัวของน้ำยาง พันธุ์ยาง ฯลฯ

แบคทีเรียย่อยน้ำตาลในน้ำยาง ทำให้เกิด Volatile Fatty Acid (VFA) ดังนั้น VFA คือ เลขที่บอกถึงความสามารถในการรักษาสภาพของน้ำยาง

การใส่ NH_3 ในน้ำยางจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและเพิ่มประจุลบให้อนุภาคยางจะพบว่าน้ำยางสดจะประกอบไปด้วยอนุภาคยางประมาณ 33% และมีอนุภาคของแข็งอื่นๆประมาณ 3% เป็นสารปนเปื้อนที่ปนมาจากแร่ธาตุในดิน ซึ่งสารปนเปื้อนดังกล่าวจะปนเปื้อนอยู่ในเนื้อยางและใน serum

2.4 การเก็บรักษาน้ำยาง (เสาวนีย์ ก่อวุฒิกุลรังสี, 2547)

2.4.1 ความจำเป็น

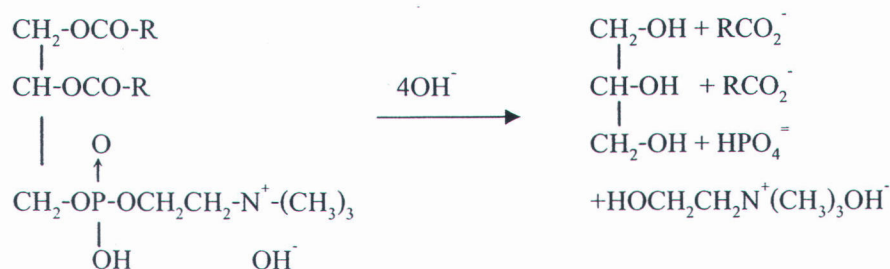
น้ำยางสดหลังจากกรีตจากต้นยาง จะคงสภาพเป็นน้ำยางอยู่ได้ช่วงระยะเวลาหนึ่งไม่เกิน 3 ชั่วโมง ต่อจากนั้นน้ำยางจะเริ่มจับตัวเป็นเม็ดเล็กๆ คล้ายเม็ดพริก แล้วค่อยๆ หนืดขึ้น อนุภาคยางจะเริ่มจับตัวกันเป็นก้อนใหญ่ขึ้น จนกระทั่งน้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพ โดยน้ำยางจะถูกแยกออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นเนื้อยางและส่วนที่เป็นเซรัม ในเวลาต่อมา น้ำยางจะเริ่มเกิดการบูดเน่า และมีกลิ่นเหม็น

2.4.2 สาเหตุการสูญเสียสภาพของน้ำยาง

ปัจจัยสำคัญที่ทำให้น้ำยางเกิดการสูญเสียสภาพ คือ สภาพแวดล้อม อุณหภูมิ การเจริญเติบโตของแบคทีเรียในน้ำยาง ความเสถียรของน้ำยางแต่ละพันธุ์ซึ่งเกี่ยวข้องกับปริมาณธาตุโลหะไอออนที่มีอยู่ในน้ำยางและการแตกของสารลูทอยด์หลังการกรีตยาง (โกศล จริงสูงเนิน, 2528)

1. หลังจากกรดไขมันและน้ำย่อยไหลออกจากต้นยางแล้ว แบคทีเรียในอากาศและจากเปลือกของต้นยางจะลงไปบนน้ำยาง เพื่อกินสารอาหารซึ่งไม่ใช่ยาง เช่น น้ำตาล และโปรตีนเป็นต้น ปริมาณแบคทีเรียในน้ำยางจะเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการที่แบคทีเรียกินสารอาหารในน้ำยางและเกิดการย่อยสลายให้สารซึ่งเป็นกรดที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก มีความยาวโซ่สั้น (Short chain fatty acid) ซึ่งเป็นกรดที่ระเหยง่าย เรียก VFA (Volatile fatty acid) กรดระเหยง่ายที่เกิดขึ้นนี้มีจำนวนมาก ทำให้มีผลต่อค่า pH ของน้ำยางเปลี่ยนไปด้วย น้ำยางจึงเกิดการสูญเสียสภาพ อนุภาคยางรวมตัวกันเป็นก้อน (John, 1974)

2. สารประกอบพวกไลปิดซึ่งมีอยู่ในน้ำยาง สามารถถูกไฮโดรไลซิสกลายเป็นอนุมูลของกรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ความยาวของโซ่ยาว (Long chain fatty acid) เช่น พวกลีซิทิน ฟอสโฟไลปิด ชนิด α -Lecithin ซึ่งเกาะอยู่บนผิวของอนุภาคยางเกิดการไฮโดรไลซิส (Blackley, 1966) ดังสมการ



รูปที่ 2.7 การไฮโดรไลซิสของฟอสโฟไลปิดชนิด α -Lecithin

อนุมูลกรดที่เกิดขึ้นนี้ ได้แก่ กรดสเตียริก กรดโอเลอิก และกรดอะมิโน เป็นต้น จะเข้าไปแทนที่โปรตีนซึ่งห่อหุ้มตรงผิวของอนุภาคยาง ต่อจากนั้นโลหะไอออนซึ่งมีอยู่ในน้ำยาง เช่น แคลเซียมไอออน หรือแมกนีเซียมไอออน จะเข้าไปทำปฏิกิริยากับกรดไขมันตรงผิวของอนุภาคยาง ทำให้เกิดเป็นเกลือของโลหะซึ่งไม่ละลายน้ำ น้ำยางจึงเกิดการสูญเสียสภาพ อนุภาคยางรวมตัวเป็นก้อน (Woo, 1973)

3. การสูญเสียสภาพของน้ำยาง อาจเกิดจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ที่สลายโปรตีนซึ่งเรียกว่า Coagulase เมื่อสารนี้ทำปฏิกิริยากับโปรตีนที่ห่อหุ้มผิวนอกของอนุภาคยางจนเกิดการสลายตัวไป ทำให้ผิวของอนุภาคยางเกิดการสูญเสียสภาพ อนุภาคยางเกิดการรวมตัวกันเป็นก้อน ดังนั้น เพื่อป้องกันการสูญเสียสภาพของน้ำยาง ไม่ให้อนุภาคของเม็ดยางในน้ำยางเกิดการรวมตัวกันเองตามธรรมชาติ จึงใส่สารเคมีลงไปบนน้ำยางเพื่อเก็บรักษาน้ำยาง

2.4.3 สมบัติของสารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยาง

สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางควรมีสมบัติดังนี้

1. มีความสามารถหรือยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ซึ่งมีอยู่ในน้ำยาง อาจเรียกลักษณะนี้ว่า bactericide
2. เป็นสารที่เพิ่มความเสถียรของอนุภาคยางให้อยู่ในสภาพของคอลลอยด์ได้ โดยการเพิ่มประจุระหว่างอนุภาคยางและน้ำที่อยู่รอบๆผิวอนุภาคยาง ผิวของอนุภาคยางมีสภาพของประจุเป็นลบ มีฤทธิ์เป็นด่าง ดังนั้นสารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางจึงควรมีฤทธิ์เป็นด่าง หรือเป็นสารพวก Stabiliser
3. เป็นสารที่สามารถทำให้อนุผลของโลหะหนักไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา หรือเกิดการตกตะกอนเป็นเกลือที่ไม่ละลายน้ำ เช่น อนุผลของโลหะแคลเซียมหรือแมกนีเซียม เป็นต้น
4. มีความสามารถทำปฏิกิริยากับสารพวกคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีอยู่ในน้ำยางทำให้ไม่มีสารที่เป็นอาหารของแบคทีเรียเหลืออยู่
5. ไม่ทำให้คุณภาพของยาง เช่น สีของยางเปลี่ยนไป
6. ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ใช้ กลิ่นไม่รุนแรงจนเกินไป สะดวกและปลอดภัยในการเก็บรักษาและขนส่ง
7. ราคาถูก

2.4.4 ชนิดของสารเคมีเก็บรักษาน้ำยาง

สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ตามระยะเวลาในการเก็บรักษา คือ

1. สารเคมีเก็บรักษาน้ำยางในระยะสั้น (Short Term Preservative)

การเก็บรักษาน้ำยางโดยวิธีนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อรักษาน้ำยางให้คงสภาพในช่วงระยะเวลานั้นๆ ซึ่งอาจเป็นเวลาเพียง 2-3 วันเท่านั้น ก่อนที่จะนำน้ำยางนั้นมาแปรรูปเป็นยางแท่งหรือน้ำยางข้นต่อไป สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษาน้ำยางนี้เรียกว่า สารป้องกันการจับตัว (Anticoagulant) ได้แก่ แอมโมเนีย โซเดียมซัลไฟด์ ฟอรัมาลดีไฮด์ เป็นต้น

2. สารเคมีเก็บรักษาน้ำยางในระยะเวลานาน (Long Term Preservative)

สารเคมีชนิดนี้ส่วนใหญ่จะใช้เพื่อเก็บรักษาน้ำยางข้น ให้คงสภาพเป็นของเหลวไม่ให้เกิดการบูดเน่าหรือมีกลิ่นเหม็น น้ำยางอาจต้องถูกไล่เลียงไประยะทางไกลๆ เช่น ส่งออกสู่ต่างประเทศ หรือน้ำยางที่เก็บไว้ในสต็อก ก่อนนำมาใช้ทำผลิตภัณฑ์ สารเคมีที่ใช้ในการเก็บรักษา

น้ำยำนี้นี้ เรียกว่า สารรักษาสภาพน้ำยาง (Preservative) ได้แก่ แอมโมเนีย และแอมโมเนียใช้ร่วมกับสารเคมีอื่น สารเคมีที่ใช้ร่วมกันนี้เรียกว่า Secondary preservative ได้แก่ ซิงค์ออกไซด์ ที่เอนิมที่ดี กรดบอริก โซเดียมเพนตะคลอโรฟิเนต เป็นต้น

2.4.5 สารเคมีเก็บรักษาน้ำยางสดเพื่อทำน้ำยางข้น

น้ำยางสดสำหรับทำน้ำยางข้น จำเป็นต้องมีวิธีการเก็บและรวบรวมน้ำยางให้ดี ไม่ให้แบคทีเรียที่มีอยู่ในบรรยากาศหรือตามเปลือกของต้นยางเข้าไปในน้ำยาง การป้องกันน้ำยางสูญเสียสภาพโดยการใส่แอมโมเนียลงไปน้ำยางหรือการใช้แอมโมเนียร่วมกับสารเคมีอื่น

1. แอมโมเนีย

แอมโมเนียสำหรับเก็บรักษาน้ำยางสดเพื่อทำน้ำยางข้น จำเป็นต้องมีปริมาณสูงพอที่จะระงับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ โดยใช้ปริมาณ 0.1 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป หากใส่ต่ำกว่า 0.05 เปอร์เซ็นต์ จะมีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียสูงขึ้น และ VFA ของน้ำยางสูงขึ้นด้วย คาดว่าเนื่องจาก การเพิ่มแอมโมเนียปริมาณเพียงเล็กน้อย ทำให้น้ำยางธรรมชาติซึ่งปกติมีค่า pH เท่ากับ 6.5 เพิ่มขึ้นจนมีค่า pH สูงประมาณ 8 มีผลทำให้น้ำยางอยู่ในสภาพที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

2. แอมโมเนียร่วมกับสารเคมีอื่น

จากจุดด้อยต่างๆ ของแอมโมเนีย ทำให้มีการพัฒนาสารเคมีชนิดต่างๆ ขึ้นมาเพื่อใช้แทนหรือใช้ร่วมกับแอมโมเนีย เพื่อลดผลกระทบจากจุดด้อยของแอมโมเนีย การใช้แอมโมเนียปริมาณต่ำร่วมกับสารเคมีอื่น ซึ่งเรียกสารเคมีนี้ว่า Secondary preservative ซึ่งสารเคมีชนิดอื่นที่นิยมใช้ร่วมกับแอมโมเนียในการรักษาสภาพน้ำยางสดคือ สารเตตระเมทิลไทอูรัมไดซัลไฟด์หรือทีเอ็มทีดี (tetramethylthiuram disulphide, TMTD) กับซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide) การนำสารเคมีทั้งสองชนิดมาใช้ ทำให้สามารถลดปริมาณการใช้แอมโมเนียลงเหลือร้อยละ 0.2-0.5 โดยน้ำหนักได้

2.5 สารเคมีที่ใช้จับตัวกับแมกนีเซียมในน้ำยาง

สารเคมีที่จับตัวกับแมกนีเซียมแล้วได้ตะกอนมีหลายชนิดแต่ที่โรงงานเลือกใช้คือ ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (DAHP) เพราะสามารถจับกับแมกนีเซียมอ่อนได้ดี มีราคาถูก และหาง่าย คุณสมบัติทั่วไปของ DAHP แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติทั่วไปของไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (wikipedia, 2009 : online)

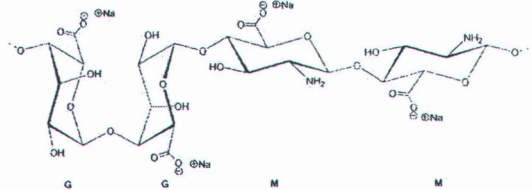
สูตรโครงสร้าง	$\left[\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O} - \text{P} - \text{O}^- \\ \\ \text{OH} \end{array} \right] \left[\text{NH}_4^+ \right]_2$
สูตรโมเลกุล	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$
มวลโมเลกุล	132.07 g/mol
ลักษณะทางกายภาพ	เป็นผงสีขาว
ความหนาแน่น	1.619 g/cm ³
จุดหลอมเหลว	155 °C
ละลายได้ใน	แอลกอฮอล์, อะซิโตน และ แอมโมเนีย(ของเหลว)

2.6 สารเคมีที่ทำให้อนุภาคยางจับตัวกัน

สารเคมีที่ทำให้อนุภาคยางจับตัวกันแล้วทำให้อนุภาคยางมีขนาดใหญ่ขึ้น และไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพของน้ำยาง ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ โซเดียมแอลจีเนต (Sodium Alginate) ถือเป็น creaming agent ชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นสารประกอบของโซเดียมของ alginic acid เป็นสารธรรมชาติที่เตรียมจากสาหร่ายทะเล มีอีกชื่อหนึ่งว่า Kelgin ส่วนใหญ่จะเป็นสารใช้เพิ่มปริมาณเพิ่มความหนืดและเพิ่มความคงตัวใน emulsion และอาหารประเภทนม โลหะแคลเซียมจะทำให้สารละลาย sodium alginate ตกตะกอนเป็น hydrated calcium alginate และกรดอิสระ alginic acid ตามปกติจะต้องเติมสารกันบูดในสารละลาย sodium alginate ด้วยทุกครั้ง คุณสมบัติทั่วไปของโซเดียมแอลจีเนตแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงคุณสมบัติทั่วไปของโซเดียมแอลจินेट

(sciencelab,2005 : online)

สูตรโครงสร้าง	
สูตรโมเลกุล	$(C_6H_7NaO_6)_n$
มวลโมเลกุล	216 g/mol
ลักษณะทางกายภาพ	เป็นผงสีขาวครีม
ความหนาแน่น	1.59 g/cm ³
จุดหลอมเหลว	>300°C (572°F)
ละลายได้ใน	น้ำร้อน, น้ำเย็น

2.7 การผลิตน้ำยางชั้น

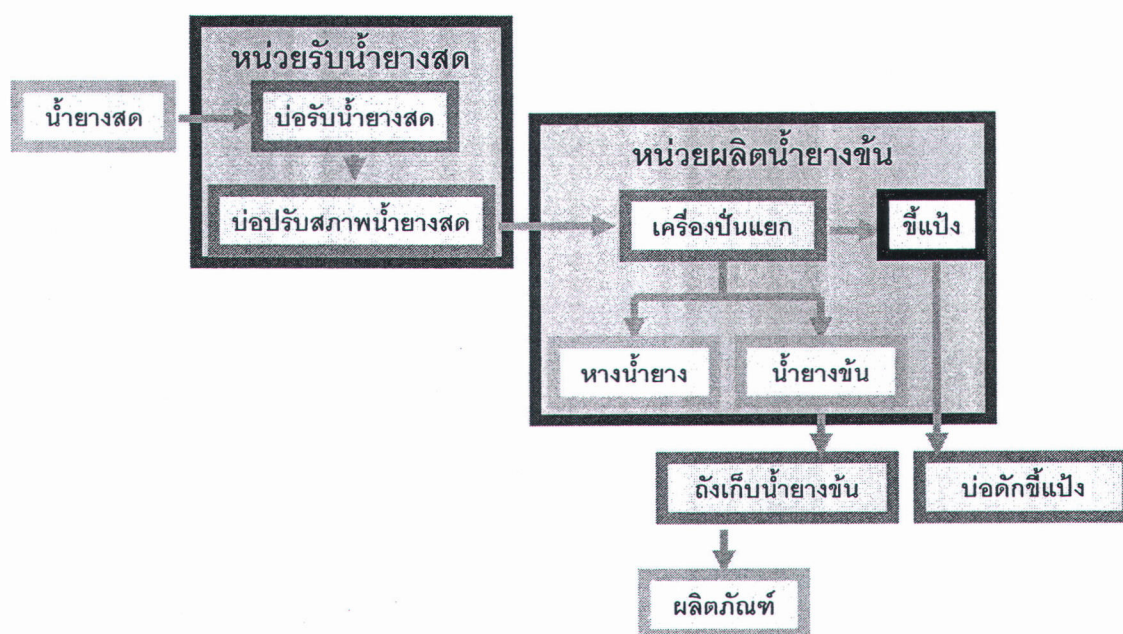
การนำยางธรรมชาติไปใช้งานมีอยู่ 2 รูปแบบคือ รูปแบบน้ำยาง และรูปแบบยางแห้ง ในรูปแบบน้ำยางนั้นน้ำยางสดจะถูกนำมาแยกน้ำออกเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของ เนื้อยางชั้นตอนหนึ่ง ก่อนด้วยวิธีการต่าง ๆ แต่ที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมคือวิธีปั่นโดยใช้เครื่องเซนตริฟิวส์ การผลิตน้ำยางชั้นมี 4 วิธี คือ

1. วิธีระเหยน้ำ
2. วิธีทำให้เกิดครีม (creaming)
3. วิธีปั่น (centrifuging)
4. วิธีแยกด้วยไฟฟ้า (electrodecantation)

การผลิตน้ำยางชั้นจากน้ำยางสดของโรงงานนี้ ใช้วิธีการปั่น มีขั้นตอนตามแผนการผลิตน้ำยางชั้น (ดูรูปที่ 2.8) เริ่มจากน้ำยางสดได้จากสวนยางจำเป็นต้องมีการรักษาสภาพน้ำยางให้คงสถานะเป็นน้ำยาง โดยเติมสารเคมีป้องกันน้ำยางจับตัว (NH_3 /TMTD/ ZnO) ลงไป เมื่อน้ำยางสดเข้าโรงงานผลิตน้ำยางชั้นจะทำการกรองผ่านร่อนขนาด 80 mesh ลงสู่ถังรวมและนำตัวอย่างน้ำยางมาทำการทดสอบหาปริมาณเนื้อยางแห้ง โดยน้ำยางสดควรมีเนื้อยางไม่น้อยกว่า 25% หลังจากนั้นรีบผ่านแก๊สแอมโมเนียสู่ น้ำยางประมาณเกินกว่า 0.4% ของน้ำยาง เติมได้

แอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต(DAHP) แล้วกวนด้วยความเร็วรอบ 30 rpm เป็นเวลา 40 นาที ปล่อยให้น้ำยางตกตะกอนประมาณ 8 ชั่วโมง ตะกอนเหล่านี้จะถูกแยกออกจากน้ำยาง (น้ำยางสดก่อนนำไปปั่นควรมีแมกนีเซียมน้อยกว่า 170 ppm on total solid) เมื่อปั่นแล้วควรมีแมกนีเซียมไม่เกิน 20 ppm on total solid และนำตัวอย่างน้ำยางนี้ไปทดสอบหาจำนวนกรดไขมัน เพื่อให้แน่ใจว่าน้ำยางนี้ได้รับการรักษาสภาพพอเพียงที่จะนำไปผลิตเป็นน้ำยางชั้นได้ น้ำยางที่มีการรักษาสภาพดีพอ จะต้องมีความหนาแน่นกรดไขมันระเหยได้ไม่เกินกว่า 0.05 และน้ำยางที่มีจำนวนกรดไขมันระเหยได้สูงกว่านี้จะไม่ใช่ผลิตน้ำยางชั้น

หลังจากนั้นนำน้ำยางไปปั่นเหวี่ยงได้น้ำยางชั้น 60% (Concentrated latex) กับหางน้ำยาง (Skim latex) ส่วนของน้ำยางชั้น 60% มีการรักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย (NH_3) กรณีใช้แอมโมเนีย 0.7% ต่อน้ำหนักยางจะได้น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (High ammonia, LA) ในส่วนของหางน้ำยางจะถูกนำมาจับตัวเนื้อยางที่ยังเหลืออยู่ด้วยกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) แล้วผ่านเครื่องรีดเครฟ หรือตัดย่อย ทำสกินเครฟ หรือสกินบล็อกตามลำดับ

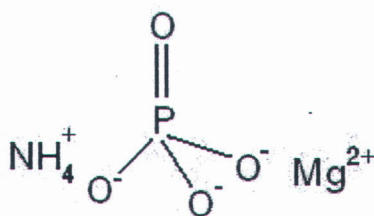


รูปที่ 2.8 แสดงขั้นตอนการผลิตน้ำยางชั้นในโรงงาน

การกำจัดสารปนเปื้อนซึ่งเป็นโลหะ $[Mg^{2+}, Ca^{2+}]$ ใน Serum

เนื่องจากปริมาณ Ca^{2+} ใน Serum มีน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณ Mg^{2+} ดังนั้นจึงจำกัดเฉพาะปริมาณ Mg^{2+} เท่านั้น

การกำจัด Mg^{2+} ทำได้โดยการเติม DAHP (HPO_4^{2-}) ไปจับกับ Mg^{2+} ดังปฏิกิริยา



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างทางโมเลกุลของซีแพ้ง

ข้อมูลเพิ่มเติม

1. ใช้สารละลาย DAHP 10%wt
2. อนุภาคยางมีขนาดประมาณ 0.4 – 4 ไมครอน
3. น้ำยางสดมีความหนาแน่นระหว่าง 0.975-0.980 กรัมต่อมิลลิลิตร
4. น้ำยางสดมีความหนืดประมาณ 12 – 15 centipoise
5. แมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ($MgNH_4PO_4$, ซีแพ้ง) มีความหนาแน่น 1.71 g/cm³
6. แมกนีเซียมแอมโมเนียมฟอสเฟต ($MgNH_4PO_4$, ซีแพ้ง) มีมวลโมเลกุล 137.31

2.8 การกวน (Mixing)

ลักษณะการกวนของใบกวนต่างๆ จะมีอยู่ 2 แบบ คือ การกวนแบบ Axial-Flow และการกวนแบบ Radial-Flow โดยที่ใบกวนที่สามารถทำให้สารผสมกันอย่างทั่วถึงได้นั้นจะมีคุณสมบัติการกวนทั้ง Axial และ Radial-Flow

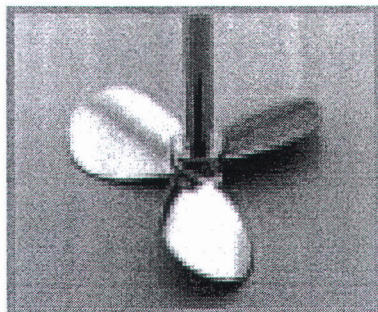
ข้อมูลที่สำคัญในการเลือกตัวกวน คือ

- 1) ตัวกวนต้องเป็นแบบ Low-shear agitator
เพื่อทำให้อนุภาคยางในน้ำยางสดมีความเสถียร (Stability)
- 2) สารผสมเป็น liquid-liquid phase

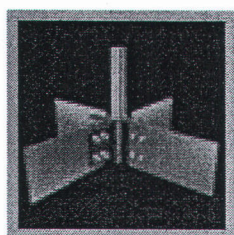
3) ความเร็วรอบของตัวกวนต้องช้าๆ (ปัจจุบันอยู่ที่ 30 rpm)
เพื่อรักษาเสถียรภาพของอนุภาคยาง

ประเภทของตัวกวน แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ

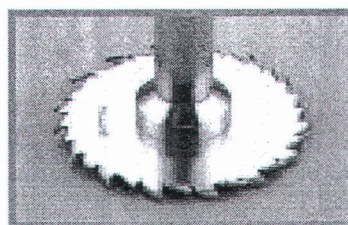
1. Propellers



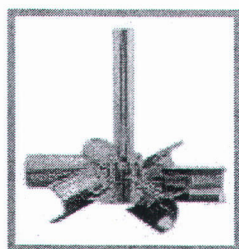
2. Turbines



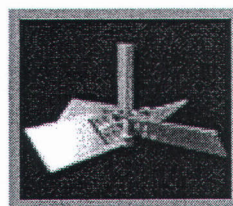
Simple Straight-blade turbine



Disk turbine

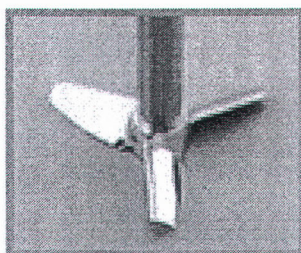


CD-6 blade turbine

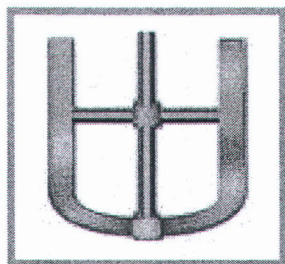


Pitch-blade turbine

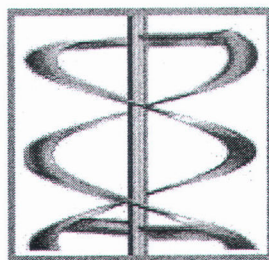
3. High-efficiency impellers



4. Impeller for highly viscous liquids



Helical ribbons



Anchors

คุณสมบัติของตัวกวน

Propellers มีทิศทางการกวนแบบแนวแกน (Axial-flow)

มีอัตราการหมุนอยู่ที่ 400 ถึง 1200 rpm

Turbines เหมาะกับสารที่มีความหนืดต่ำ

Simple Straight-blade turbine (บริษัทใช้อยู่ในปัจจุบัน)

มีการปั่นกวนเฉพาะแนวรัศมี (Radial-Flow)

มีอัตราการหมุนอยู่ที่ 20 ถึง 150 rpm

Disk turbine

ให้แรงเฉือนสูง

เหมาะสำหรับสารผสมระหว่างแก๊สกับของเหลว

CD-6 blade turbine

เหมาะสำหรับสารผสมเฟสแก๊ส

Pitch-blade turbine

มีการหมุนกวนสารทุกทิศทาง (Axial & Radial-Flow)

High-efficiency impellers

ตัวกวนชนิดนี้ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการผสมสารที่มีความหนืดต่ำ

เป็นรูปแบบที่พัฒนามาจาก Pitch-blade turbine

Impellers for highly viscous liquids สำหรับการกวนสารความหนืดสูง

Helical ribbons ใช้ที่ความหนืด 25,000 Pa.s

Anchors คุณภาพต่ำกว่า helical ribbon มีการถ่ายเทความร้อนสูงได้ดี

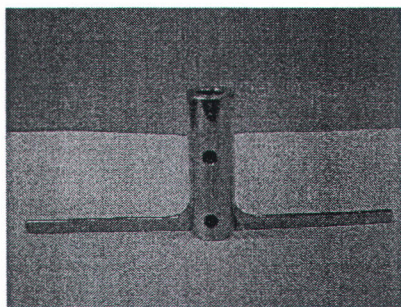
ตัวกวนที่มีคุณสมบัติตรงตามความต้องการ คือ ตัวกวนชนิด Turbine ประเภท Simple

Straight-blade turbine และ Pitch-blade turbine และ ตัวกวนชนิด High-efficiency impellers

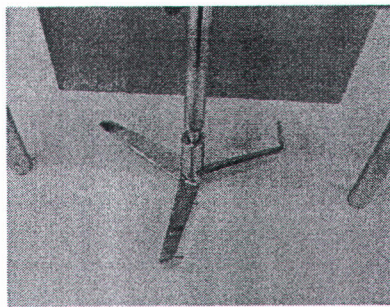
เนื่องจากตัวกวนประเภท High-efficiency impellers เป็นตัวกวนที่พัฒนาขึ้นจากตัวกวนชนิด

Turbine ประเภท Pitch-blade turbine ดังนั้นจึงเลือกใช้ตัวกวนชนิด High-efficiency impellers

ดังรูป 2.10



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.10 แสดงตัวกวนที่ใช้ในการทดลอง

ก. ชนิด Simple Straight-blade turbine (ปัจจุบันโรงงานใช้อยู่)

ข. ชนิด High-efficiency impellers

ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดตะกอนซีแพ้ง

1. ชนิดของสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนแมกนีเซียมในน้ำยางสด

สารเคมีที่ใช้ตกตะกอนแมกนีเซียมมีหลายตัว เช่น ไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต $((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$ หรือเรียกว่า DAHP, โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) , โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO_3) และพวกเกลือฟอสเฟต เป็นต้น แต่ในระดับอุตสาหกรรมบางส่วนใหญ่ใช้สาร DAHP เป็นสารเคมีในการตกตะกอนแมกนีเซียมในน้ำยางสด เพราะเป็นสารที่มีความสามารถในการตกตะกอนแมกนีเซียมได้ดี ราคาถูก และหาได้ง่าย

2. ชนิดของตัวกวน

ตัวกวนที่ดีที่สามารถทำให้สารผสมกันอย่างทั่วถึงได้นั้นจะต้องมีคุณสมบัติการกวนทั้ง Axial และ Radial-Flow เพราะจะทำให้สาร DAHP เข้าทำปฏิกิริยากับแมกนีเซียมในน้ำยางสดได้ดี และได้ตะกอนซีแพ้งที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งตัวกวนชนิดที่มีคุณสมบัติดังกล่าวคือตัวกวนชนิด High-efficiency impellers

3. ความเร็วรอบในการกวน

ความเร็วรอบในการกวนที่เหมาะสมมีผลต่อการเกิดตะกอนซีแพ้ง เพราะถ้าใช้ความเร็วรอบในการกวนต่ำจะทำให้โอกาสในการเข้าทำปฏิกิริยาของสาร DAHP กับแมกนีเซียมมีน้อย แต่ถ้าใช้ความเร็วรอบในการกวนสูงเกินไปจะทำให้อนุภาคของตะกอนซีแพ้งที่มีขนาดใหญ่แตกออกเป็นขนาดเล็กลงเนื่องจากแรงเฉือนจากตัวกวน (Edmond และคณะ, 2001)

4. เวลาที่ใช้ในการกรอง

เวลาที่ใช้ในการกรองมีผลต่อการเกิดตะกอนที่เป่ง เพราะถ้าใช้เวลาในการกรองน้อย สาร DAHP มีโอกาสในการเข้าทำปฏิกิริยาน้อยทำให้ได้ตะกอนที่เป่งที่มีขนาดเล็ก และปริมาณน้อย แต่ถ้าใช้เวลามากไปจะทำให้อนุภาคของตะกอนที่เป่งที่มีขนาดใหญ่โดนแรงเฉือนจากตัวกรองแตกออกเป็นขนาดเล็กลงได้เช่นกัน (Edmond และคณะ, 2002) ดังนั้นเวลาที่เหมาะสมในการกรองจึงมีผลต่อการเกิดตะกอนที่เป่ง

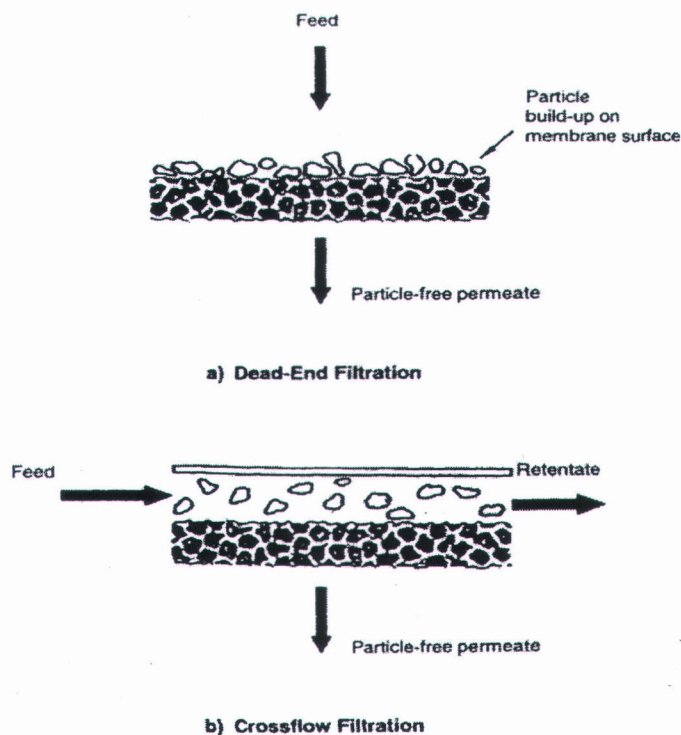
2.9 การกรอง

การกรองคือการแยกอนุภาคของแข็งออกจากของเหลวโดยอาศัยแรงขับ (Driving force) ให้สารแขวนลอยไหลผ่านตัวกลางที่มีรูพรุน (Porous medium) ที่สามารถกักอนุภาคของแข็งไว้ได้ อนุภาคของแข็งจะสะสมอยู่บนแผ่นกรองในรูปแบบเค้ก (Cake) ในขณะที่ของเหลวจะไหลผ่านแผ่นกรองเรียกว่าฟิลเตรทหรือของเหลวใส (Clear filtrate)

ประเภทของการกรองแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. การกรองแบบป้อนตั้งฉากกับแผ่นกรอง (dead-end filtration) การกรองแบบ dead-end เป็นการป้อนสารละลายในทิศทางที่ตั้งฉากกับเยื่อแผ่น ดังรูปที่ 2.11 ทำให้เกิดการสะสมของอนุภาคบนผิวเยื่อแผ่น ซึ่งเรียกว่า เค้ก (cake) การสะสมของเค้กทำให้ความต้านทานการไหลเพิ่มขึ้นตามเวลาของการกรอง และทำให้ค่าฟลักซ์ (flux) ผ่านเยื่อแผ่นลดลงอย่างรวดเร็ว การกรองแบบ dead-end เหมาะสำหรับการกรองสารละลายประกอบด้วยอนุภาคขนาดเล็ก และมีความเข้มข้นต่ำ งานวิจัยทั่วไปที่ต้องการทดสอบสมบัติของเยื่อแผ่นมักใช้การกรองแบบ dead-end เนื่องจากเป็นระบบที่ใช้ปริมาตรของสารละลายน้อยและความเข้มข้นของสารละลายต่ำ

2. การกรองแบบป้อนขนานกับแผ่นกรอง (crossflow filtration) เป็นการกรองแบบป้อนสารละลายขนานกับเยื่อแผ่นหรือตั้งฉากกับทิศทางการไหลของเพอร์มิเอต ดังรูปที่ 2.11 การกรองแบบนี้มีผลดีคือ เกิดแรงเฉือนทำให้สารละลายกวาดอนุภาคออกจากผิวหน้าเยื่อแผ่น ทำให้เกิดการสะสมของเค้กเพียงบางๆ เท่านั้น การลดลงของฟลักซ์ไม่มากเท่ากับการกรองแบบ dead-end จึงเหมาะสำหรับการกรองสารละลายที่มีความเข้มข้นสูง



รูปที่ 2.11 ประเภทการกรองตามทิศทางการไหลของสารแขวนลอย

ข้อดีของกระบวนการกรอง

กระบวนการกรองมีข้อได้เปรียบกระบวนการแยกอื่นๆ คือ

1. เป็นการแยกตามขนาดของอนุภาค (หรือรูปร่าง หรือชนิดของประจุ) ซึ่งทำให้สามารถดำเนินการที่อุณหภูมิปกติ จึงเหมาะสมสำหรับการแยกสารที่อาจเสื่อมสภาพเนื่องจากความร้อนได้
2. กระบวนการกรองส่วนใหญ่ใช้พลังงานในการแยกค่อนข้างต่ำ เนื่องจากสามารถแยกได้โดยไม่ต้องเปลี่ยนสถานะ
3. สามารถขยายขนาดจากระดับต้นแบบให้เป็นระดับอุตสาหกรรมได้ง่าย
4. สามารถดำเนินการแบบไม่ต่อเนื่อง หรือแบบต่อเนื่อง ตลอดจนถึงติดตั้งระบบควบคุมการปฏิบัติการไม่ยาก
5. เป็นกระบวนการที่มีขนาดกะทัดรัดไม่เปลืองพื้นที่ เพราะอุปกรณ์การกรองมีการออกแบบให้มีพื้นที่ในการกรองต่อหน่วยปริมาตรของการกรองสูง

ปัจจัยที่มีผลต่อการกรอง

1. ความดัน ความดันในระบบจะแปรผันตรงกับค่าฟลักซ์ของสารแขวนลอยที่สามารถผ่านเยื่อแผ่นได้ ซึ่งค่าฟลักซ์นี้จะบอกถึงประสิทธิภาพการกรองโดยแสดงในรูปปริมาตรของเพอร์มิเอตที่ผ่านรูพรุนของเยื่อแผ่นดังสมการที่ 1 จากสมการเมื่อเพิ่มความดัน ฟลักซ์ของการกรองเพิ่มสูงขึ้นด้วยจนถึงจุดๆหนึ่ง ความดันจะไม่มีผลต่อค่าฟลักซ์เนื่องจากเกิดความต้านทานของอนุภาคที่สะสมที่ผิวหน้าของเยื่อแผ่น

$$J_v = \frac{\Delta P_{TM}}{\mu R_T} \quad (1)$$

2. ความหนืดของของไหล เมื่อความหนืดของของไหลมีค่าสูงทำให้อัตราการกรองลดลง ดังนั้นในกระบวนการกรองที่มีความหนืดสูงจึงควรลดความหนืดก่อนทำการกรอง อาจทำได้โดยการเจือจางหรือการเพิ่มอุณหภูมิให้กับของไหลนั้น เพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าความหนืดมีค่าลดลง

3. ความเร็วในกระแสนวนกลับ โดยค่า K สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลจะเพิ่มขึ้นและแปรผันตรงกับค่าความเร็วในกระแสนวนกลับซึ่งอยู่ในเทอมของเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ดังสมการที่ (2)

$$Sh = \frac{Kd}{D_v} = A Re^B Sc^{1/3} \quad (2)$$

เมื่อเพิ่มความเร็วในกระแสนวนกลับจะทำให้ความหนาของชั้นขอบเขตลดลง ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลจะมีค่าเพิ่มขึ้น

4. ความหนาของเค้ก เมื่อดำเนินการกรองทำให้เกิดการสะสมของอนุภาคที่ผิวหน้าของตัวกรองทำให้มีความหนามากขึ้นส่งผลให้อัตราการกรองมีค่าลดลง

5. ชนิดของตัวกรอง มีผลต่อความต้านทานของตัวกรอง ตัวกรองที่มีขนาดของรูพรุนขนาดเล็กจะมีค่าความต้านทานของตัวกรองที่สูงกว่าตัวกรองที่มีรูขนาดใหญ่ แต่ประสิทธิภาพในการแยกก็สูงขึ้นด้วย

6. ขนาดของอนุภาค อนุภาคที่มีขนาดเล็กจะทำให้อัตราการกรองลดลง เนื่องจากอนุภาคขนาดเล็กอาจไปอุดตันภายในรูพรุนของตัวกรอง

7. ความสามารถในการกักเก็บของเยื่อแผ่น (รีเจคชัน, Rejection, σ) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการกักเก็บสารของเยื่อแผ่นโดยสามารถแสดงในรูปของเปอร์เซ็นต์รีเจคชันดังสมการที่ (3)

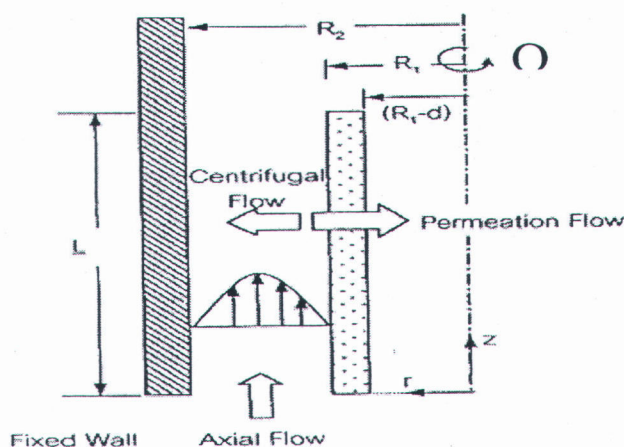
$$R = \sigma \times 100 \quad (3)$$

$$\sigma = 1 - (C_p / C_B) \quad (4)$$

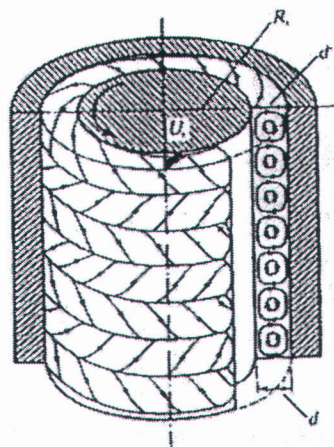
ถ้าเยื่อแผ่นมีความสามารถในการกักเก็บอย่างสมบูรณ์ค่า σ จะเท่ากับ 1

2.10 การกรองด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้ (Rotating filtration)

เมื่อของไหลไหลเข้าสู่ปริมาตรวงแหวนระหว่างทรงกระบอกสองชั้น ทรงกระบอกชั้นในมีการหมุนและทรงกระบอกชั้นนอกหยุดนิ่งกับที่ โดยทรงกระบอกชั้นในมีตัวกรองห่อหุ้มอยู่ เมื่อทรงกระบอกชั้นในมีการหมุนจะเกิดการไหลของของไหล 3 ทิศทาง ดังรูปที่ 2.12 การไหลในแนวแกน (Axial flow) การไหลในทิศทางการหมุนเหวี่ยง (Centrifugal flow) และการไหลผ่านตัวกรองในแนวรัศมี (permeation flow) รูปที่ 2.13 แสดงลักษณะการไหลของของไหลระหว่างทรงกระบอกชั้นในและชั้นนอก เนื่องจากมีแรงหมุนเหวี่ยงที่เกิดจากการหมุนของทรงกระบอกชั้นในทำให้ของไหลบริเวณที่อยู่ใกล้ผนังของทรงกระบอกชั้นในมีแรงหมุนเหวี่ยงสูง จึงเคลื่อนที่ออกจากผนังของทรงกระบอกชั้นในไปยังทรงกระบอกชั้นนอกที่อยู่ติดกัน เกิดเป็นการไหลลักษณะเป็นวงแหวนรอบๆ ผนังของทรงกระบอกชั้นใน เรียกการไหลในลักษณะนี้ว่า การหมุนวนของเทย์เลอร์ (Taylor vortice) การกรองด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้ จะเกิดการหมุนวนของเทย์เลอร์บริเวณผิวหน้าของตัวกรอง ทำให้เกิดแรงเฉือนตลอดผิวหน้าของตัวกรอง ทำให้อนุภาคที่เกาะบริเวณผิวตัวกรองลดลง ดังนั้นฟลักซ์จึงมีค่าสูงขึ้น



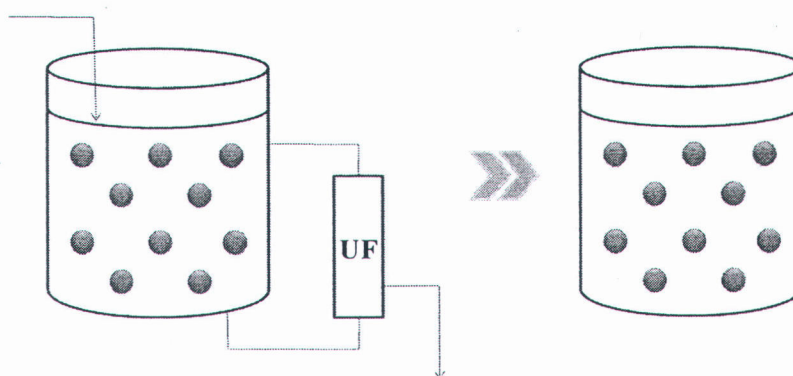
รูปที่ 2.12 ทิศทางการไหลของของไหลในกระบวนการกรองด้วยเครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้



รูปที่ 2.13 การหมุนวนแบบเทย์เลอร์ (Taylor vortex)(Hermert van, P.A.,1987)

2.11 กระบวนการไดอะฟิลเตรชัน (Diafiltration) (Leos, 1996)

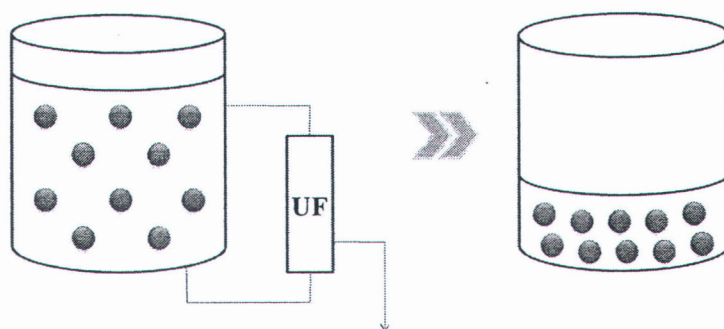
กระบวนการไดอะฟิลเตรชันเป็นเทคนิคหนึ่งของการกรอง ที่ขณะดำเนินการมีการเติมน้ำหรือสารละลายบัฟเฟอร์ (Buffer) เข้าไปในสารละลายป้อนเพื่อทดแทนเพอมีเอทที่ถูกแยกออกไปโดยอาจเติมเป็นช่วงๆ หรือเติมอย่างต่อเนื่อง ถ้าสารป้อนกำหนดมีปริมาตรเริ่มต้น V_0 และประกอบด้วยสารอนุภาคขนาดใหญ่ (ที่ไม่สามารถผ่านเยื่อแผ่นได้) และสารอนุภาคขนาดเล็กที่ผ่านเยื่อแผ่นได้ เมื่อเติมน้ำลงไปจะทำให้ความเข้มข้นของสารอนุภาคขนาดใหญ่คงที่ และพาสารอนุภาคขนาดเล็กที่กระจายตัวในน้ำสามารถผ่านเยื่อแผ่นได้มากขึ้น ดังนั้นวัตถุประสงค์หลักของการใช้ไดอะฟิลเตรชันก็เพื่อกำจัดสารอนุภาคขนาดเล็กออกจากสารอนุภาคขนาดใหญ่ให้ได้มากที่สุด โดยความเข้มข้นของสารอนุภาคขนาดใหญ่ในถังป้อนยังคงเท่าเดิม เพราะโดยปกติจะเติมน้ำเท่ากับเพอมีเอทที่ถูกแยกออก หรือถ้าเป็นการทำแบบต่อเนื่องหมายความว่าอัตราการป้อนน้ำเท่ากับอัตราการไหลของเพอมีเอตดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การดำเนินการแบบไดอะฟิลเตรชัน

2.12 กระบวนการคอนเซนเตรชัน (Concentration)

เทคนิคการทำคอนเซนเตรชันหรือการทำให้เข้มข้น โดยทั่วไปกระบวนการทำให้เข้มข้นนี้จะใช้ในการทำให้สารที่มีอนุภาคขนาดใหญ่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ด้วยการผ่านไปในตัวกลางแยกหรือตัวกรอง อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่ารูของตัวกรองและของเหลวบางส่วนจะถูกแยกออก ส่วนอนุภาคที่มีขนาดใหญ่และของเหลวที่เหลือจะถูกส่งกลับไปในถังพักก็จะมีมีความเข้มข้นของอนุภาคใหญ่ที่สูงขึ้นดังรูปที่ 2.15

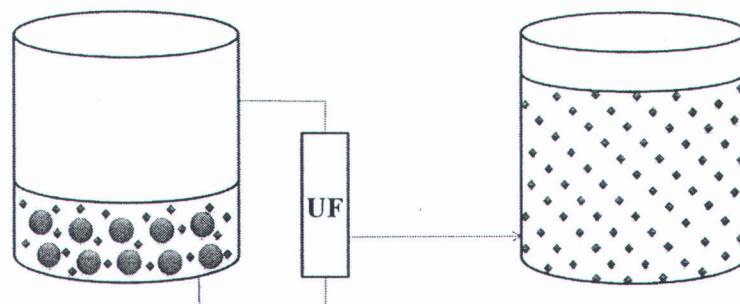


รูปที่ 2.15 การดำเนินงานแบบคอนเซนเตรชัน

2.13 กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ (Purification)

กระบวนการเพียวริฟิเคชัน เป็นการทำให้สารบริสุทธิ์ขึ้น โดยอาศัยเทคนิคที่ประยุกต์รวมระหว่างเทคนิคไดอะฟิลเตรชันและเทคนิคคอนเซนเตรชัน เพื่อใช้ในการกระบวนการแยกสารอนุภาคขนาดเล็กออกจากอนุภาคขนาดใหญ่และทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเข้มข้นมากขึ้นดังรูปที่ 2.16 การใช้เทคนิคทำให้สารบริสุทธิ์นั้น สิ่งที่ต้องนำมาพิจารณาคือ การดำเนินการระหว่างการทำไดอะฟิลเตรชันและคอนเซนเตรชัน เช่นจะทำไดอะฟิลเตรชันที่ปริมาตรของสารละลายแล้วจึงทำคอนเซนเตรชันเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารแขวนลอย หรือต้องทำคอนเซนเตรชันให้เข้มข้นเท่าใดแล้วจึงทำไดอะฟิลเตรชัน ไม่ว่าจะการเลือกทำกระบวนการใดก่อนหรือหลัง ก็จะทำให้ความเข้มข้นสุดท้ายของสารอนุภาคขนาดใหญ่และสารอนุภาคขนาดเล็กในสายรีเทนเททเท่ากัน ทั้งสองวิธีจะให้ค่าฟลักซ์ที่ต่างกัน การเลือกทำไดอะฟิลเตรชันที่ความเข้มข้นของสารอนุภาคขนาดใหญ่มีค่าต่ำจะให้ฟลักซ์ของการกรองที่มีค่าสูง แต่ในกระบวนการต้องใช้ปริมาตรของสารที่เติมมากตามไปด้วย การทำไดอะฟิลเตรชันที่ความเข้มข้นของสารอนุภาคขนาดใหญ่สูงจะใช้ปริมาตรของสารละลายที่เติมน้อย แต่จะให้ฟลักซ์ของการกรองที่มีค่าต่ำ ดังนั้นการเลือกภาวะที่เหมาะสมของการทำ

ไดอะฟิลเตรชันจึงอยู่ระหว่างความเข้มข้นของสารอนุภาคขนาดใหญ่ที่เริ่มต้นกับความเข้มข้นของสารอนุภาคขนาดเล็กสุดท้าย เพื่อให้ใช้เวลาของการดำเนินงานมีค่าน้อย



รูปที่ 2.16 การดำเนินงานแบบเพียวรีฟิเคชัน

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนแมกนีเซียม

ลักษณะพร ธาราชีวิน และคณะ(2004) ศึกษาโครงสร้างของยางธรรมชาติจากยางพารา-การวิเคราะห์หมู่ปลายแอลฟา พบว่ายางธรรมชาติมีหมู่ฟังก์ชันที่จุดเริ่มและปลายสายไซ หรือคือ ปลายไอเมก้าและแอลฟาซึ่งต่ออยู่กับโมเลกุลโปรตีนและฟอสฟอลิปิดตามลำดับ ที่ปลายสายไซทั้งสองพบว่าเป็นจุดกำเนิดของสายไซแบบกึ่งก้านและเจลแบบอ่อน (soft-gel) การเกิดสายไซแบบกึ่งก้านที่ปลายไอเมก้ามีเหตุผลสนับสนุนจากการพบกรดไขมันประมาณสองโมลและฟอสฟอรัสอะตอมประมาณหนึ่งโมลต่อหนึ่งสายไซของยางซึ่งไม่ขึ้นกับน้ำหนักโมเลกุล หมู่ปลายของโมเลกุลยางคาดว่าเป็นหมู่ฟอสเฟตและไดฟอสเฟตที่ต่อกับโมเลกุลของฟอสฟอลิปิดโดยพันธะแมกนีเซียมไอออนและพันธะไฮโดรเจน ในสถานะของแข็งพบฟอสฟอรัสประมาณสองถึงสามอะตอมต่อสายไซยาง กึ่งก้านของสายไซยางเกิดจากการเกิด micelle โดยพันธะไฮโดรเจนและพันธะไอออนิก ระหว่างหมู่ฟอสฟอลิปิดและหมู่ฟอสเฟต แมกนีเซียมไอออน เตตระเมทิลไทูแรมไดซัลไฟด์ (TMTD) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต (DAHP) เป็นจุดกำเนิดเพิ่มเติมของการเกิดสายไซยางแบบกึ่งในน้ำยางสดและน้ำยางแอมโมเนียที่ถูกเก็บเป็นเวลานานจึงสามารถสรุปได้ว่าโมเลกุลของยางเชื่อมต่อกับหมู่ฟอสเฟตและไดฟอสเฟตที่ปลายไอเมก้า สายไซแบบกึ่งก้านเกิดจากการรวมตัวของฟอสฟอลิปิดโดยพันธะไฮโดรเจนหรือพันธะไอออนิก

2.15 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแรงเฉือนต่อขนาดอนุภาค

Edmond และคณะ(2001) ศึกษาผลของแรงเฉือนต่อขนาดอนุภาคของโปรตีน และการแยก α -lactalbumin ออกจากโปรตีนโดยการตกตะกอน ทำการทดลองในถังกวนแบบ Batch ในระดับ laboratory scale ทำให้ตกตะกอนและจับตัวกันเป็นก้อนของอนุภาคโปรตีนโดยการเติม

กรด ต่อมาได้ทำการทดลองที่ระดับ pilot scale บนฐานของพลังงานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร พบว่าเมื่อใช้ความเร็วรอบในการกวนต่ำ ทำให้เกิดแรงเฉือนต่ำ อนุภาคโปรตีนที่จับตัวเป็นก้อนจะสามารถคงตัวอยู่ได้นานโดยไม่แตกเป็นก้อนเล็ก ซึ่งอนุภาคโปรตีนจะมีความแข็งแรงทนต่อการแตกตัวและต้านแรงเฉือน แต่เมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการกวนสูงขึ้นหรือกวนแบบ turbulent ทำให้มีแรงเฉือนสูง อนุภาคโปรตีนที่จับตัวเป็นก้อนใหญ่จะแตกออกเป็นอนุภาคขนาดเล็กลง เนื่องจากแรงเฉือนทำให้โครงสร้างของอนุภาคโปรตีนไม่แข็งแรง จึงแตกออกเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กลง อย่างไรก็ตามเวลาในการกวนมีผลต่อขนาดของอนุภาค และปริมาณของ α - lactalbumin ที่สกัดได้ แต่ความเร็วในการกวนไม่มีผลต่อการสกัด α - lactalbumin ออกจากโปรตีน

Edmond และคณะ(2002) ศึกษาการการจับตัวเป็นก้อนและตกตะกอนของโปรตีนด้วยการเติมกรดใน Vessel แบบ Batch โดยการปั่นกวนด้วยความเร็วรอบที่แตกต่างกัน ทำการทดลองที่ระดับ laboratory scale และ pilot scale บนฐานของพลังงานต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร พบว่าความเร็วรอบของเครื่องปั่นเหวี่ยงมีผลต่อการตกตะกอนของอนุภาคโปรตีน โดยเมื่อเพิ่มความเร็วรอบมากขึ้นจะทำให้มีแรงเฉือนจากใบพัดกวนมากขึ้นส่งผลทำให้ขนาดอนุภาคที่จับตัวเป็นก้อนแตกออกเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กลงกระจายอยู่ในถังกวน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงของอนุภาคโปรตีนที่มาจับตัวกันโดยการเติมกรด และ เวลาในการกวน ซึ่งถ้าใช้เวลาในการกวนมากขึ้นจะทำให้อนุภาคมีขนาดเล็กลง โดยเวลาเริ่มต้นอนุภาคโปรตีนจะจับตัวเป็นก้อนใหญ่และตกตะกอนลงสู่ก้นถัง แต่เมื่อเริ่มกวนเพียง 10 นาทีแรก พบว่าอนุภาคโปรตีนเริ่มแตกออกกลายเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กลงทั้งในระดับ laboratory scale และ pilot scale

2.16 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้เครื่องกรองชนิดเยื่อแผ่นหมุนได้

Kuzunori และคณะ(1993) ศึกษาการกรองเซลล์ยีสต์ในภาวะที่มีการให้อากาศและภาวะที่ไม่มีการให้อากาศด้วยเครื่องกรองชนิดตัวกรองเซรามิกซ์หมุนได้ พบว่าการกรองที่ภาวะที่มีการให้อากาศมีค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์สูงกว่าภาวะที่ไม่มีการให้อากาศ เนื่องจากการกรองแบบที่มีการให้อากาศนั้นจะมีฟองอากาศขนาดเล็กเกิดขึ้นบนผิวของตัวกรอง ทำหน้าที่ป้องกันการเกิดชั้นเค้ก และส่งผลให้ความต้านทานของการกรองลดลง โดยทดลองมีวัตถุประสงค์ที่จะทำให้ *Corynebacterium glutamicum* และ *Propionibacterium freudenreichii* เข้มข้นขึ้น การทดลองนี้ใช้ถึงหมักที่ต่อกับเครื่องกรองชนิดตัวกรองเซรามิกซ์หมุนได้ พบว่าไม่มีปัญหาเรื่องการอุดตัน ผลการทดลองพบว่าความเข้มข้นสุดท้ายของเซลล์ *Corynebacterium glutamicum* และ *Propionibacterium freudenreichii* เท่ากับ 120 และ 53 กรัมเซลล์แห้งต่อลิตรตามลำดับ

Tanja และคณะ(1999) ศึกษาการถ่ายโอนโปรตีนและปริมาณของของไหลด้วยกระบวนการกรองแบบไมโครฟิวเตรชัน โดยทำให้ของไหลเกิดการหมุนวนแบบไม่คงที่เรียกว่า การหมุนวนแบบดิน (Dean vortice) ที่ภาวะเพอร์มิชันฟลักซ์คงที่ และศึกษาโดยใช้โมดูลที่มีการเรียงตัวแบบเกลียว (Helical module) และโมดูลที่มีการเรียงตัวแบบเส้นตรง พบว่าโมดูลที่มีการเรียงตัวแบบเกลียวมีความสามารถในการกรองสูงกว่าโมดูลที่มีการเรียงตัวแบบเส้นตรง (Linear module) ถึง 19 เท่า ซึ่งในสายป้อนประกอบไปด้วยโบวีนซีรัมอัลบูมิน (BSA) ที่ความดันคร่อมตัวกรองคงที่ ร่วมกับการทำไดอะฟิลเตรชันพบว่าเครื่องกรองที่ใช้โมดูลที่มีการเรียงตัวแบบเกลียว ให้ค่าเพอร์มิเอชันฟลักซ์สูงกว่าการกรองที่ใช้โมดูลที่มีการเรียงตัวแบบเส้นตรงถึงร้อยละ 18-43 และความเข้มข้นของยีสต์ที่ได้จากการกรองมีค่าเท่ากับ 45 กรัมของน้ำหนักแห้ง

ปราณี กิตติอนงค์(2543) ศึกษาการแยกเศษออกจากผลิตภัณฑ์ภายในเซลล์เพื่อกำจัดความขมโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุน โดยเปรียบเทียบการกรองยีสต์โฮโมจีเนท และยีสต์ออกโตไลเซท ใช้ตัวกรองเซรามิกที่มีรูพรุนขนาด 0.2 ไมโครเมตร ความดัน 0.3 บาร์ อัตราการไหลของสายป้อน 35 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วรอบในการหมุนตัวกรอง 600 รอบต่อนาที พบว่าอัตราการผลิตโปรตีนที่ได้จากการกรองยีสต์ออกโตไลเซทมีค่าสูงกว่าการกรองยีสต์โฮโมจีเนทประมาณ 8 เท่า ร้อยละการกำจัดความขมที่ได้เท่ากับ 80 ทำการศึกษาการเพิ่มอัตราการผลิตโปรตีนจากการกรองยีสต์ออกโตไลเซท โดยศึกษาผลของอัตราการไหลของสายป้อน และผลของความเร็วในการหมุนของตัวกรอง โดยใช้ความเข้มข้นของยีสต์เท่ากับ 20 กรัมต่อลิตร และความดัน 0.3 บาร์ พบว่าอัตราการผลิตโปรตีนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเร็วในการหมุนตัวกรอง และลดอัตราการไหลของสายป้อน โดยที่อัตราการไหลของสายป้อนเท่ากับ 11 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วรอบในการหมุนตัวกรอง 1000 รอบต่อนาทีจะให้อัตราการผลิตโปรตีนสูงสุดเท่ากับ 379 กรัมต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ความขม 644 มิลลิกรัมไอโซ-แอลฟาแอลคิตต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ผลได้ของของแข็ง 37.79 เปอร์เซ็นต์ การเก็บเกี่ยวโปรตีนร้อยละ 59.66 ปริมาณโปรตีน 0.354 กรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ความขม 0.6 มิลลิกรัมไอโซ-แอลฟาแอลคิตต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ร้อยละการกำจัดความขมเท่ากับ 68.14

กิตติพงษ์ รัตนภรณ์(2544) ศึกษาการแยกโปรตีนออกจากผลเนื้อในเมล็ดมะขามโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้ โดยมีขอบเขตของตัวแปรที่ทำการศึกษาคือ ความเข้มข้นของสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขาม ความดันคร่อมตัวกรอง ความเร็วรอบในการหมุนตัวกรอง ระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองกับผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอก ที่อัตราการไหลของสายป้อน 38 ลิตรต่อชั่วโมง พบว่าการกรองสารแขวนลอยผงเนื้อในเมล็ดมะขามด้วยเครื่องกรองชนิดหมุนได้ที่เหมาะสมคือ ความเข้มข้นของสารแขวนลอย 20 กรัมต่อลิตร ความเร็วรอบในการ

หมุนตัวกรอง 1700 รอบต่อนาที ความดันคร่อมตัวกรอง 0.16 บาร์และระยะห่างระหว่างผิวหน้าของตัวกรองกับผนังด้านในของทรงกระบอกชั้นนอกเท่ากับ 0.008 เมตร ได้ค่าฟิลเตรชันฟลักซ์เท่ากับ 9534 ลิตรต่อตารางเมตรชั่วโมง ค่าร้อยละการกำจัดโปรตีนและค่าร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์เท่ากับ 74.36 และ 40.36 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณโปรตีน ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ และปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 9.7, 66.41 และ 5.1 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และมีผลได้ของการผลิตผลิตภัณฑ์เท่ากับร้อยละ 29.03 โดยน้ำหนัก

สุชุม ภูมรินทร์วรกุล(2546) ศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคไดอะฟิลเตรชันและเทคนิคคอนเซนเตรชันเพื่อแยกโปรตีนออกจากผงเนื้อในเมล็ดมะขามโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้ พบว่าฟลักซ์ของการกรองมีค่าลดลงเมื่อปริมาตรของสารแขวนลอยลดลง ความบริสุทธิ์ของพอลิแซคคาไรด์ในผลิตภัณฑ์มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าร้อยละการกำจัดโปรตีนในผลิตภัณฑ์ที่เติมเอนไซม์มีค่าร้อยละการกำจัดโปรตีนที่สูงกว่ากรณีที่ไม่เติมเอนไซม์ 96.7 เทคนิคไดอะฟิลเตรชัน พบว่าฟลักซ์ของการกรองมีค่าลดลงและเริ่มคงที่เมื่อเติมในการทำไดอะฟิลเตรชันแบบต่อเนื่องมากกว่า 3 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน และเมื่อเติมน้ำ 5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน ความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์ ร้อยละการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์และร้อยละการกำจัดโปรตีนในกรณีที่ไม่เติมเอนไซม์เท่ากับ 85.98 , 37.15 และ 61.6 และกรณีที่เติมเอนไซม์เท่ากับ 93.35, 47.86 และ 88.12 ตามลำดับ เมื่อนำสองเทคนิคนี้มาผสมกัน จากผงเนื้อในเมล็ดมะขามเริ่มต้น 20 กรัม จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนัก 5.3247 กรัม มีผลได้ของผลิตภัณฑ์ร้อยละ 26.62 ประกอบด้วยโพลีแซคคาไรด์ 5.0479 กรัม โปรตีน 0.0927 กรัม ความบริสุทธิ์ของโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 96.17 มีการสูญเสียโพลีแซคคาไรด์ร้อยละ 62.06 และการกำจัดโปรตีนร้อยละ 97.47

Richard และคณะ(2001) ศึกษาการกรองโดยใช้เครื่องกรองชนิดหมุนได้พบว่าสามารถป้องกันการอุดตันของตัวกรองได้ดีการกรองแบบทั่วไป นอกจากนี้ยังพบว่าเครื่องกรองชนิดหมุนได้จะทำให้เกิดการหมุนวนแบบเทย์เลอร์ ทำให้เกิดแรงเฉือนบนผิวของตัวกรอง ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการป้องกันการเกิดการอุดตัน โดยการหมุนวนแบบเทย์เลอร์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนรอบการหมุนของตัวกรอง

2.17 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการกรองด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน

Andersen และ Bojgaard(1988) ได้ทำซีลเทียมจากเมล็ดพืชที่มีโปรตีนในเมล็ดอย่างน้อย 30% โดยการแยกโปรตีนด้วยกระบวนการอัลตราฟิลเตรชันร่วมกับเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน เริ่มจากนมถั่วเหลืองผ่านเข้าเครื่องกรองแบบอัลตราฟิลเตรชันด้วยอัตรา 4000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ความดัน 4 บาร์ ไหลเหนือเยื่อแผ่นที่ 30 ลิตรต่อเพลท่อนาที ได้ฟลักซ์เฉลี่ย 24 ลิตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง หลังจากนั้นทำไดอะฟิลเตรชันโดยเติมน้ำ 3200 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะได้สายพอลิเอท 6123 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะมีน้ำหนักแห้งประมาณ 1-1.5% และสายรีเทนเทท 1070 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะมีน้ำหนักแห้งประมาณ 21-23% นำสายรีเทนเททมาให้ความร้อนและระเหยน้ำที่สูญญากาศด้วยอัตรา 550 กิโลกรัมต่อชั่วโมง จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายคือซีลจากถั่วเหลือง 527 กิโลกรัมต่อชั่วโมง

Anne และคณะ(2002) ได้ศึกษาการแยกเจลาตินจากสารละลายที่ได้จากหนังปลาโดยการทำไดอะฟิลเตรชันแบบต่อเนื่องร่วมกับการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชัน โดยเตรียมความเข้มข้นสารเจลาติน อยู่ในช่วงร้อยละ 0.01-12 โดยน้ำหนัก พบว่า ฟลักซ์ของการกรองเมื่อพีเอชน้อยกว่า 3.5 มีค่าประมาณ 160 ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง สำหรับที่พีเอชมากกว่า 3.5 ฟลักซ์จะมีค่าต่ำกว่ามากโดยลดลงมาอยู่ที่ 20 ลิตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง ส่วนการเพิ่มความดันนั้นทำให้ฟลักซ์มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สำหรับผลของความเข้มข้น การเพิ่มความเข้มข้นทำให้ฟลักซ์ของการกรองมีค่าลดลง การเติมน้ำลงไปในการละลายเท่ากับ 0.6 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน (ปริมาตรสารละลายเจลาติน 2 ลิตร ปริมาตรน้ำที่เติม 1.2 ลิตร) สามารถลดปริมาณเกลือที่อยู่ในสารละลายได้ร้อยละ 33 เมื่อใช้ปริมาตรของน้ำ 3.5 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชันจะลดปริมาณเกลือในสารละลายเจลาตินได้มากกว่าร้อยละ 90

Larry(2003) ได้รายงานเปรียบเทียบการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชันด้วยเทคนิคไดอะฟิลเตรชัน โดยเปรียบเทียบรูปแบบการเติมสารละลายในกระบวนการระหว่างการเติมสารละลายแบบกะกับการเติมสารละลายแบบต่อเนื่อง โดยแยกโมเลกุล 2 ขนาด โมเลกุลขนาดเล็กและสารละลายสามารถผ่านรูตัวกรองได้ สำหรับการทำให้แบบกะนั้นทำโดยเริ่มจากสารละลายเริ่มต้น เติมสารละลายบัฟเฟอร์ 1 เท่าแล้วกรองลดปริมาตรลงเหลือเท่ากับปริมาตรสารละลายเริ่มต้น ถือว่าเป็น 1 ปริมาตรไดอะฟิลเตรชัน จากนั้นเติมสารละลายบัฟเฟอร์และทำให้แบบเดิมไปเรื่อยๆ สำหรับการทำให้แบบต่อเนื่องนั้นทำโดยควบคุมปริมาตรสารละลายให้คงที่ตลอดเวลาโดยการเติมสารละลายบัฟเฟอร์ลงไป จากผลการทดลองพบว่า การทำไดอะฟิลเตรชันแบบต่อเนื่องให้ผล

ร้อยละการแยกโมเลกุลขนาดเล็กได้ดีกว่าการทำแบบกะ โดยสามารถแยกโมเลกุลขนาดเล็กได้มากกว่าร้อยละ 99 โดยใช้ปริมาตรในการทำไดอะฟิลเตรชันเท่ากับ 5 ปริมาตร แต่การทำแบบกะนั้นจะแยกโมเลกุลขนาดเล็กได้มากกว่า ร้อยละ 99 ต้องใช้ปริมาตรในการทำไดอะฟิลเตรชันมากกว่า 7 ปริมาตร