การทำน้ำยางข้น จากน้ำยางธรรมชาติ

(The concentration of natural rubber latex)

พายับ นามประเสริฐ

น้ำยางข้นจากน้ำยางธรรมชาติ (concentrated natural rubber latex) ซึ่งในที่นี้จะเรียกว่า น้ำยางข้น หมายถึงน้ำยางที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางแห้ง (dry rubber content, DRC) ประมาณ 60% ซึ่งทำได้โดยการนำน้ำยางธรรมชาติจากต้นยางพารา ที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางแห้งประมาณ 30% มาผ่านกระบวนการต่าง ๆ โดยอาจใช้ความร้อน ไฟฟ้า สารเคมีหรือพลังงานกล ทำให้มีความเข้มข้นของเนื้อยางแห้งเพิ่มขึ้นเป็นประมาณ 60%

น้ำยางข้นนอกจากจะมีเนื้อยางแห้งสูงกว่าน้ำยางธรรมชาติประมาณหนึ่งเท่าตัวแล้ว ยังมีคุณสมบัติอื่น ๆ ที่ดีกว่า คือน้ำยางข้นจะมีคุณภาพค่อนข้างแน่นอน เนื่องจากองค์ประกอบที่ไม่ใช่ยางที่มีอยู่ในน้ำยางธรรมชาติ จะถูกกำจัดออกไปในระหว่างกระบวนการทำน้ำยางข้น และน้ำยางข้นยังสามารถเกาะยึดกับแบบพิมพ์ได้ง่ายกว่า และแน่นกว่าน้ำยางธรรมชาติด้วย นอกจากนั้นอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำยางเป็นวัตถุดิบมีความต้องการใช้น้ำยางที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางแห้งประมาณ 60% มากกว่าน้ำยางที่มีความเข้มข้นของเนื้อยางแห้ง 30% เช่น อุตสาหกรรมการทำยางฟองน้ำ (latex foam rubber) และถ้าพิจารณาในแง่เศรษฐศาสตร์การขนส่งน้ำยางข้น จะช่วยประหยัดค่าขนส่งได้ครึ่งหนึ่งของน้ำยางธรรมชาติอีกด้วย

วิธีการทำน้ำยางข้นมี 4 วิธีคือ 1) การระเหยน้ำออก (Evaporation) 2) การทำให้เกิดครีม (Creaming) 3) การใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuging) 4) การใช้กระแสไฟฟ้า (Electrodecentation) ซึ่งวิธีการระเหยน้ำออกเป็นการใช้ความร้อนระเหยเอาน้ำออกไปเท่านั้น ดังนั้นองค์ประกอบที่ไม่ใช่ยางจะไม่เปลี่ยนแปลง และการกระจายของขนาดเม็ดยาง (particle size distribution) ก็ไม่เปลี่ยนแปลงด้วย ส่วนที่เหลืออีก 3 วิธีนั้น องค์ประกอบที่ไม่ใช่ยางบางส่วนจะถูกกำจัดออกไป และการกระจายของขนาดเม็ดยางก็จะแตกต่างไปจากน้ำยางธรรมชาติที่นำมาผลิต เพราะขณะทำการผลิต องค์ประกอบที่มีขนาดเล็กจะถูกกำจัดออกไปด้วย

1. การระเหยน้ำออก (Evaporation)

เป็นการใช้พลังงานความร้อนทำให้น้ำระเหยไป เพื่อให้น้ำยางมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น ดังนั้นองค์ประกอบต่าง ๆ ของน้ำยางจะไม่เปลี่ยนแปลง และการกระจายของขนาดเม็ดยางก็ไม่เปลี่ยนแปลงด้วย

เครื่องมือที่ใช้ในการทำน้ำยางข้นวิธีนี้มีหลายแบบ แบบที่แสดงในรูปที่ 1 ถังใส่น้ำยางมีลักษณะเป็นทรงกระบอกนอน มีผนัง 2 ชั้น และมีแกนหมุนได้รอบตามแนวนอน ในถังใส่แท่งเหล็กกลวงยาวไปตามความยาวของถัง เมื่อถังหมุนรอบแกนแท่งเหล็กนี้ก็จะหมุนไปด้วย ซึ่งจะช่วยกวนน้ำยางให้มีความเข้มข้นสม่ำเสมอ ไม่ตกตะกอน และช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวของน้ำยางให้เกิดการระเหยได้เร็วขึ้น เมื่อน้ำยางได้รับความร้อนจากน้ำร้อนที่ผ่านไประหว่างผนังของถัง น้ำในน้ำยางจะระเหยกลายเป็นไอ ขณะเดียวกันลมเย็นที่เป่าผ่านไปในถังจะพาเอาไอน้ำออกไป

นอกจากนั้นยังมีแบบอื่นอีก เช่น แบบของ Metallgesellschaft Aktiengesellschaft โดยนำน้ำยางที่ผสมสารป้องกันการตกตะกอนและสารป้องกันการจับตัวกันแล้วมาทำให้ร้อนที่ 90°ซ. แล้วฉีดผ่านหัวฉีดให้เป็นฝอยเข้าไปในห้องระเหยที่ลดความดันลงเหลือเพียง $\frac{1}{10}$ ของความดันบรรยากาศ น้ำในน้ำยางจะระเหยกลาย

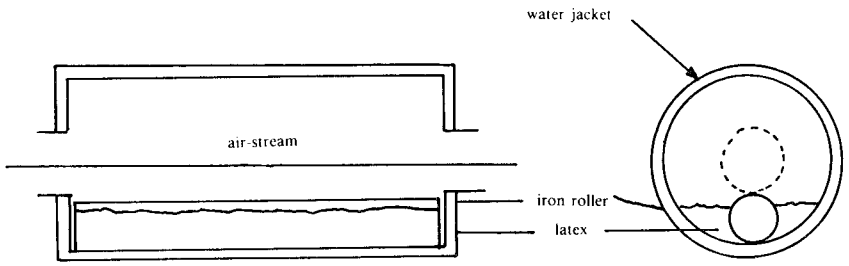

FIG. 1 Typical apparatus for concentrating natural rubber latex by evaporation, as envisaged by B.Pat. 244, 727

เป็นไอออกไป ซึ่งใน 1 ครั้งจะระเหยน้ำออกไปได้ประมาณ 7% ดังนั้นจะต้องทำซ้ำหลายครั้งเพื่อ ให้น้ำยางมีความเข้มข้นตามที่ต้องการ (ถ้าต้องการ ทำให้น้ำยางมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นจาก 35% เป็น 75% ต้องทำซ้ำถึง 11 ครั้ง)

ปัจจุบันแบบที่นิยมใช้กันคือ Luwa thin-layer หรือ Luwa turbulent-film evaporator ดังรูปที่ 2

โดยน้ำจะระเหยออกจากแผ่นฟิล์มบาง ๆ ของน้ำยางที่กำลังเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องใช้อุณหภูมิสูงมากนัก เครื่องทำให้น้ำยางข้นนี้เรียก concentrator ซึ่งประกอบด้วยถังยืนรูปทรงกระบอกที่แบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนหนึ่งจะอยู่บนอีกส่วนหนึ่ง และทางเข้าของน้ำยางจะอยู่ระหว่าง 2 ส่วนนี้ ส่วนบนเรียก separator ส่วนล่างเรียก evaporator ส่วนล่างจะทำหน้าที่ระเหยน้ำและส่วนบนจะทำหน้าที่แยกเอาไอน้ำออกไป ที่โรเตอร์ (rotor) ทั้งสองส่วนจะมีครีบติดอยู่โดยรอบขอบของครีบส่วนล่างจะอยู่ห่างจากผนังของถัง ซึ่งเป็นตัวถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำยางเพียง 0.03 ถึง 0.06 นิ้วเท่านั้น สำหรับถังส่วนบนซึ่งเริ่มตั้งแต่ทางเข้าของน้ำยางขึ้นไปนั้น ผนังด้านในจะทำเป็นครีบไว้ด้วย เมื่อน้ำยางเข้าไปในถังส่วนล่าง โรเตอร์จะหมุนและครีบของโรเตอร์จะกวนให้น้ำยางหมุนไปรอบ ๆ ผนังที่ร้อน น้ำยางซึ่งมีลักษณะเป็นฟิล์มบาง ๆ ที่กำลังเคลื่อนไหวอย่างรวดเร็วจะได้รับความร้อนจากผนังทำให้น้ำระเหยออกไปและไหลเป็นเกลียวลงไปตามผนังที่ร้อนสู่ทางออกด้านล่าง ส่วนน้ำจะระเหยขึ้นไปตามแนวแกนของโรเตอร์ สู่ถังส่วนบนและแยกออกไปได้ ขณะเดียวกันน้ำยางบางส่วนที่อาจถูกเหวี่ยงขึ้นไปอยู่ในส่วนของ separator จะไปกระทบกับครีบที่ผนังของถัง แล้วรวมตัวกันไหลลงมาในส่วน evaporator ข้อดีของ concentrator คือ น้ำยางจะถูกทำให้หมุนไปบนผนังของ evaporator เพียง 20 วินาทีเท่านั้น ก็จะไหลออกทางด้านล่าง ทำให้น้ำยางได้รับความร้อนไม่มากนัก

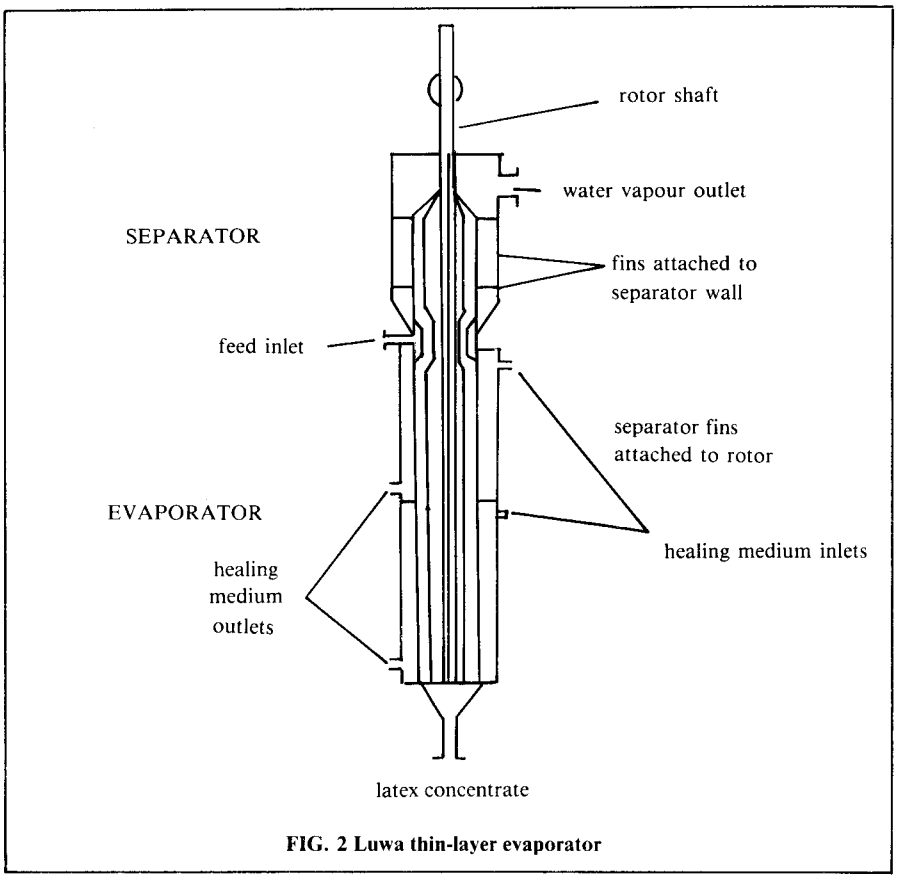

FIG. 2 Luwa thin-layer evaporator

2. การทำให้เกิดครีม (Creaming)

การทำน้ำยางให้เกิดเป็นครีม ทำโดยการเติมสารช่วยให้เกิดครีม (creaming agent) ซึ่งเป็นสารพวก hydrocolloids ที่ละลายน้ำได้ปริมาณเล็กน้อยลงไปในน้ำยาง นอกจากสาร hydrocolloids เช่น ammonium alginate แล้ว ถ้าเติมสบู่ลงไปเล็กน้อยด้วยจะช่วยเร่งให้ครีมเกิดเร็วขึ้น ถ้าเริ่มจากน้ำยางซึ่งมี ammonia ประมาณ 1% โดยน้ำหนัก เมื่อเติมสารช่วยให้เกิดครีมที่ละลายอยู่ในน้ำลงไป 0.1% กวนเป็นเวลา 1 ชม. แล้วทิ้งไว้อีกประมาณ 40 ชม. ครีมก็จะเกิดจนเต็มที่ แยกเอาหางน้ำยาง (skim) ออก ส่วนน้ำยางข้นที่ได้นำมาปรับปริมาณ ammonia เป็น 0.8% นำไปเก็บรวมไว้ในถังขนาดใหญ่อีกหลาย ๆ วัน เพื่อให้การเกิดครีมสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และการนำเอาน้ำยางข้นหลาย ๆ รุ่น (batch) มารวมกัน จะช่วยให้น้ำยางข้นมีคุณสมบัติสม่ำเสมอ หลังจากนั้นแยกเอาหางน้ำยางออกอีกครั้งหนึ่ง แล้วกวนน้ำยางข้นต่อไปอีก 1-2 วัน เพื่อให้น้ำยางข้นเป็นเนื้อเดียวกัน

จึงส่งออกจำหน่ายต่อไป

การทำน้ำยางข้นโดยวิธีทำให้เกิดครีม มีข้อดีคือ อุปกรณ์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์ง่าย ๆ และวิธีทำก็ง่าย ใช้แรงงานและพลังงานน้อย เนื้อยางที่สูญเสียไปกับหางน้ำยางค่อนข้างน้อย ข้อเสียคือเป็นวิธีการที่ช้าต้องใช้เวลามาก และการเกิดครีมจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำยางที่นำมาผลิตด้วย คุณสมบัติของน้ำยางข้นเกิดการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาระหว่างการเก็บและการขนส่ง นอกจากนั้นตลาดมีความต้องการใช้น้ำยางข้นที่ผลิตโดยวิธีใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuging) มากกว่า

สารที่ช่วยให้เกิดครีมและปริมาณที่ใช้

ชื่อสาร	ปริมาณที่ใช้, %
sodium alginate	0.211
methyl cellulose	0.292
locus bean gum	0.135
gum tragacanth	0.1
carageenin	0.091

3. การใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuging)

วิธีใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดในการผลิตน้ำยางข้น เป็นวิธีการทำให้เกิดครีมโดยไม่ต้องใช้สารเคมี เครื่องหมุนเหวี่ยงที่ใช้ทำน้ำยางข้นมีหลายแบบ แต่แบบที่นิยมใช้กันมากเป็นแบบของ de Laval ดังรูปที่ 3 (a) และ (b)

น้ำยางก่อนเข้าเครื่องต้องปรับปริมาณ ammonia เสียก่อน ปริมาณ ammonia นี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการเก็บน้ำยางหลังจากนำมาจากสวน ถ้านำน้ำยางจากสวนมาเข้าเครื่องทันที ใช้ปริมาณ ammonia เพียง 0.25% แต่ถ้านำน้ำยางมาเก็บไว้ 2 วัน แล้วจึงนำเข้าเครื่องควรใช้ปริมาณ ammonia 0.8% น้ำยางจะถูกส่งผ่านตัวควบคุมปริมาณ เพื่อควบคุมให้น้ำยางเข้าสู่ถังเครื่องหมุนเหวี่ยงอย่างสม่ำเสมอ แล้วน้ำยางจะไปที่หัวจ่าย (distributor) เพื่อจ่ายน้ำยางไปสู่ถังส่วนล่าง น้ำยางจะถูกหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วสูงผ่านรูเล็ก ๆ ไปตามชั้นโลหะจำนวนมากที่เรียงกันอยู่เป็นชั้น ๆ มีลักษณะคล้ายกรวย (separator discs) ชั้นโลหะนี้จะแยกน้ำยางข้นและหางน้ำยางออกจากกัน โดยน้ำยางข้นจะไหลขึ้นด้านบนเข้าหาจุดศูนย์กลางของการหมุนและไหลออกจากถังที่ช่องทางออกไปตามทางออกของน้ำยางข้น (cream gulley) ส่วนหางน้ำยางจะถูกหมุนเหวี่ยงออกจากจุดหมุนไปตามชั้นโลหะ ลงสู่ด้านล่างของถัง และไหลออกที่ช่องทางออก (orifices) ซึ่งมีสกรู (regulating screws) เป็นตัวควบคุมออกไปตามทางออกหางน้ำยาง (skim gulley) ถังเครื่องหมุนเหวี่ยงนี้จะหมุนด้วยความเร็วประมาณ 6,000 รอบต่อนาที ซึ่งความเร็วนี้จะทำให้เกิดอัตราเร่งหนีศูนย์กลางในระยะ 6 นิ้วจากจุดศูนย์กลาง ประมาณ 6,160 กรัม

ขณะเครื่องหมุนเหวี่ยงทำงานนั้น ความเข้มข้นของน้ำยางภายในเครื่องจะเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยปริมาณเนื้อยางแห้งในน้ำยางจะมากที่สุดที่จุดศูนย์กลางของการหมุนและจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อห่างออกไปจนถึงขอบถัง ดังนั้นในการออกแบบเครื่อง จะต้องให้น้ำยางที่ใส่เข้าไปในเครื่อง เริ่มถูกหมุนเหวี่ยงในถังบริเวณที่มีความเข้มข้นเท่ากับความเข้มข้นของน้ำยางที่ต้องการจะผลิต เพราะกระบวนการแยกน้ำยางข้นออกจากหางน้ำยางจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และได้น้ำยางที่มีความเข้มข้นตามความต้องการทันที ดังนั้นจึงต้องรีบนำน้ำยางข้นออกไปอย่างรวดเร็ว มิฉะนั้นน้ำยางจะมีความเข้มข้นมากเกินความต้องการ น้ำยางข้นที่เกิดขึ้นจะต้องรีบเคลื่อนต่อไปยังบริเวณที่มีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางน้อยและออกไปจากเครื่อง ส่วนหางน้ำยางที่ไหลผ่านเครื่องค่อนข้างยากจะผ่านไปในบริเวณที่มีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ สำหรับวัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนของเครื่องนั้น ชิ้นส่วนที่จะต้องสัมผัสกับน้ำยางอยู่เสมอ ควรทำจากวัสดุที่สามารถทนการกัดกร่อนของ ammonia อย่างอ่อนได้ และจะต้องไม่ปนเปื้อนกับน้ำยางด้วย เช่น ตัวถัง หัวจ่ายน้ำยาง ทางเดินของน้ำยางควรทำจากเหล็กเคลือบดีบุก ส่วนชิ้นโลหะที่ทำหน้าที่แยกน้ำยางข้นออกจากหางน้ำยาง (separator discs) และช่องทางออก (orifices) ของหางน้ำยางควรทำด้วยสแตนเลสสตีล

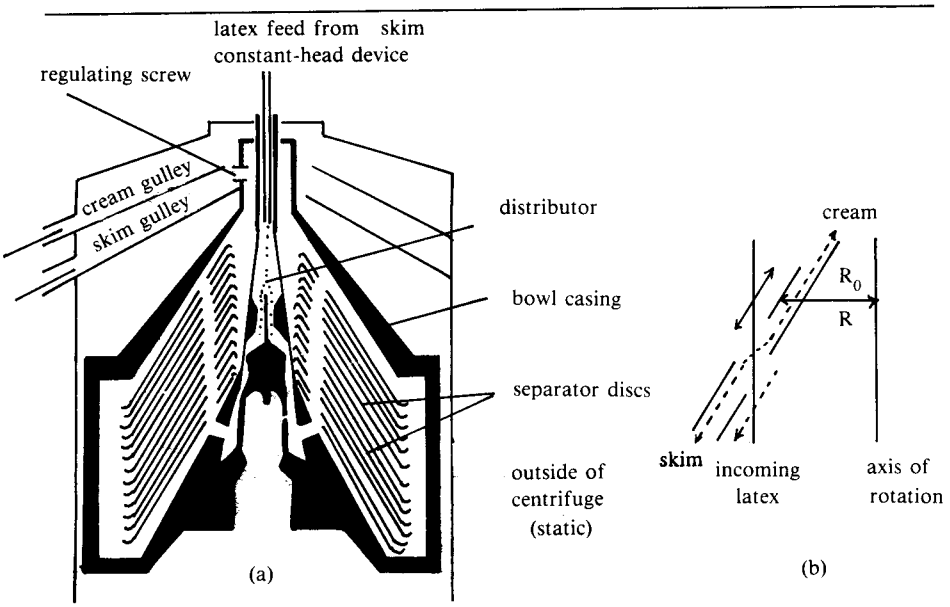

FIG. 3 (a) Diagrammatic section through bowl of de Laval centrifuge, illustrating path of latex (b) illustrating effect of separator discs

สิ่งสำคัญที่ควรคำนึงในการใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง

1. อัตราการไหลของน้ำยาง ถ้าน้ำยางไหลเข้าเครื่องช้า จะทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น น้ำยางข้นที่ได้จะมีความเข้มข้นมากขึ้น และน้ำยางข้นที่มีความเข้มข้นมากเกินไป อาจจะไปเกาะติดกับเครื่องได้

2. ความเร็วเชิงมุมของเครื่อง ถ้าเครื่องหมุนเร็วขึ้น ความเร็วเชิงมุมของเครื่องก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องเพิ่มขึ้นด้วย

3. ความยาวของสกรูควบคุม (regulating screws) การเลือกใช้สกรูควบคุมความยาวขนาดต่าง ๆ กัน ใส่ที่ช่องทางออกของหางน้ำยาง ทำให้สามารถควบคุมความหนาแน่นที่แตกต่างกันของน้ำยางข้นกับหางน้ำยางให้สมดุลย์ได้

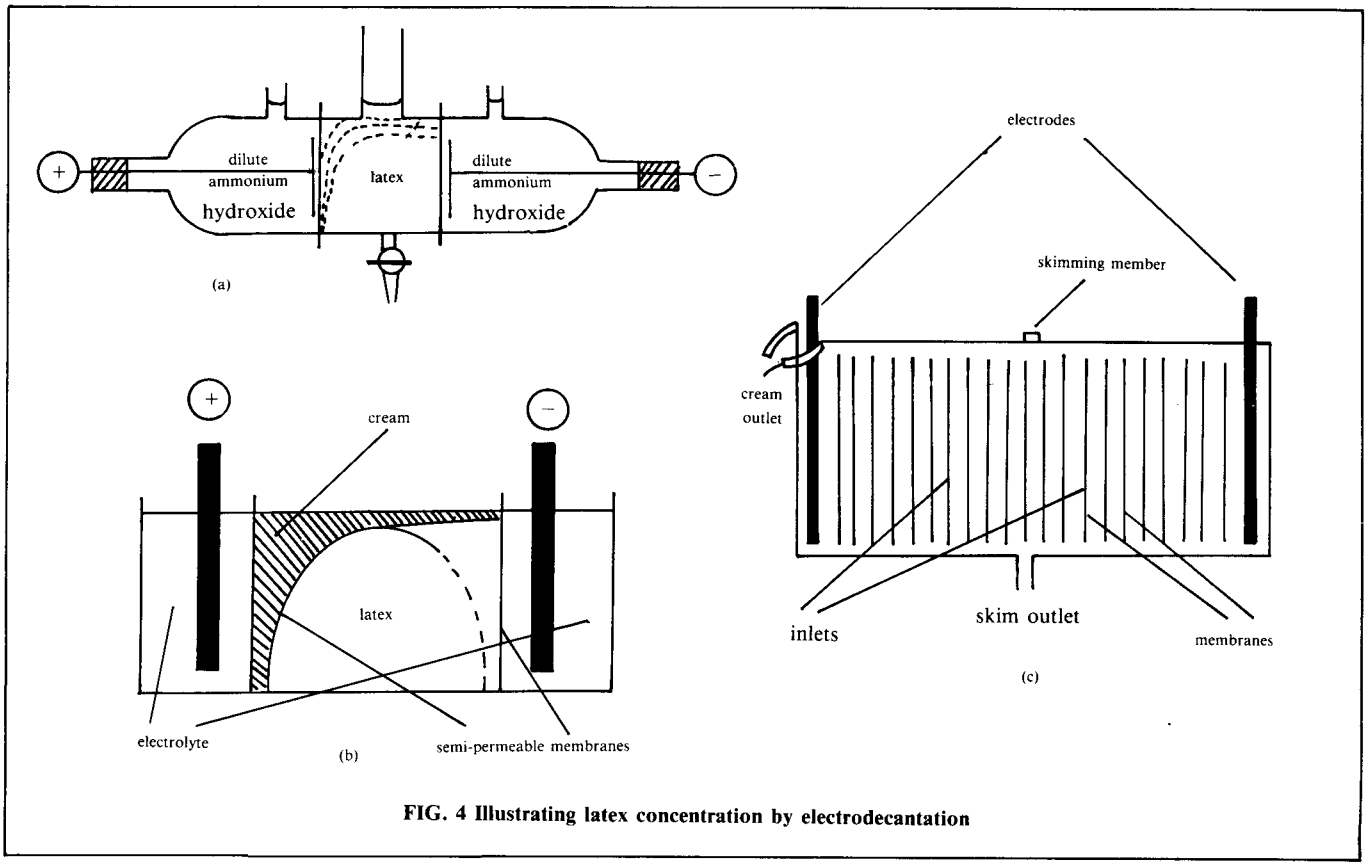

FIG. 4 Illustrating latex concentration by electrodecantation

คือสามารถควบคุมปริมาณยางแห้งในน้ำยางข้นให้สัมพันธ์กับหางน้ำยางได้นั่นเอง ถ้าสมมติว่าน้ำยางภายในเครื่องหมุนเหวี่ยงมีลักษณะคล้ายทรงกระบอก เนื่องจากแรงดึงดูดของโลกมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับความเร่งเนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ในสภาวะที่คงที่ (steady state) ความดันที่ช่องทางออกของน้ำยางข้นและหางน้ำยางจะมีค่าเท่ากัน แต่ช่องทางออกของน้ำยางข้นถูกกำหนดมาแน่นอนแล้ว ส่วนทางออกของหางน้ำยางสามารถปรับได้โดยการปรับความยาวของสกรูควบคุม ดังรูป 3(a) ถ้าใช้สกรูควบคุมขนาดสั้นทำให้ช่องทางออกของหางน้ำยางตามแนวราบเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้น้ำยางข้นและหางน้ำยางมีความหนาแน่นแตกต่างกันมากขึ้น โดยน้ำยางข้นจะมีเนื้อยางแห้งมากขึ้นและปริมาณหางน้ำยางก็มากขึ้นด้วย

ประสิทธิภาพของเครื่องหมุนเหวี่ยงพิจารณาได้จากอัตราส่วนของปริมาณน้ำยางที่เข้าเครื่องและปริมาณน้ำยางข้นที่ได้จากเครื่อง ดังนั้นถ้ากำหนดให้ c เป็นน้ำหนักของน้ำยางข้นที่มีเนื้อยางแห้ง C% ที่ได้จากเครื่องและ f เป็นน้ำหนักของน้ำยางที่มีเนื้อยางแห้ง F% ที่เข้าสู่เครื่อง ดังนั้นประสิทธิภาพของเครื่อง (E) จะเขียนได้ดังนี้

$$E = \frac{C.c}{F.f}$$

$$E = \frac{C(F-S)}{F(C-S)}$$

เมื่อ S = เปอร์เซนต์เนื้อยางแห้งในหางน้ำยางที่ออกจากเครื่อง ดังนั้นถ้าใช้ตัวเลขทั่ว ๆ ไปคือ

$$E = 30\%$$

$$C = 60\%$$

$$S = 5\%$$

จะได้ $E \simeq 0.90$ และ $\frac{c}{f} = \simeq 0.5$

ดังนั้นถ้าใช้น้ำยางธรรมชาติที่มีความเข้มข้น 30% และกระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพ 90% แล้ว จะได้น้ำยางข้น 60% และหางน้ำยาง 5% ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แต่ในอุตสาหกรรมจริง ๆ แล้วพบว่า ประสิทธิภาพของเครื่องมือจะน้อยกว่า 90% คือจะอยู่ที่ 85% เท่านั้น

4. การใช้กระแสไฟฟ้า (Electro-decantation)

วิธีทำน้ำยางข้นโดยใช้กระแสไฟฟ้า เป็นวิธีที่ได้มาจากการสังเกตพบของนายพอลลี่ (Pauli) ว่า เมื่อทำให้สารละลาย เช่น สารละลายกรดซิลิซิค (silicic acid) บริสุทธิ์ โดยวิธีแยกด้วยกระแสไฟฟ้า (electrodialysis) ระหว่าง semi-permeable membranes ที่วางอยู่ในแนวตั้ง บางครั้งเกิดการแยกของสารละลายออกเป็นชั้น ๆ ตามความเข้มข้น โดยชั้นที่มีความเข้มข้นมากจะอยู่ด้านบนสุด ถ้าสารที่ถูกกระจาย (dispersed material) มีความหนาแน่นน้อยกว่าตัวทำกระจาย (dispersion medium) และในทางตรงกันข้ามชั้นที่มีความเข้มข้นมากจะอยู่ด้านล่างสุด ถ้าสารที่ถูกกระจายมีความหนาแน่นมากกว่าตัวทำกระจาย ซึ่งปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นเนื่องจากอิทธิพลของกระแสไฟฟ้าและแรงดึงดูดของโลก ที่กระทำต่อสารที่ถูกกระจาย ดังรูปที่ 4 (a)

หลักการทำน้ำยางข้นโดยใช้กระแสไฟฟ้าแสดงได้ดังรูป 4 (b) ความแตกต่างของพลังงาน

จากขั้วไฟฟ้าทั้งสอง ทำให้เม็ดยางเล็ก ๆ ซึ่งมีประจุเป็นลบเคลื่อนที่เข้าหาขั้วไฟฟ้าบวก แต่เนื่องจากถูก semi-permeable membrane กั้นเอาไว้ และความแตกต่างของพลังงาน (potential gradient) ไม่มากนัก เม็ดยางจึงไปเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน (agglomerates) อย่างหลวม ๆ เกิดเป็นครีมอยู่ที่ผิวของ membrane และขณะเดียวกันก็เกิดเป็นชั้นของครีมขึ้นที่ผิวของภาชนะด้วย ดังนั้นจึงต้องสลับขั้วไฟฟ้าเป็นระยะ ๆ เพื่อให้เม็ดยางไปเกาะที่ผิวของ membrane สลับข้างกันไปเป็นการป้องกันไม่ให้ semi-permeable membrane เกิดการอุดตัน ซึ่งจะทำให้การเกิดครีมเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ยิ่งถ้าใช้พลังงานมาก ความแตกต่างของพลังงานก็จะมาก การสลับขั้วไฟฟ้าก็ต้องกระทำถี่มากขึ้น ในทางปฏิบัติพบว่าการสลับขั้วไฟฟ้าควรกระทำทุก 2 ถึง 10 นาที และเนื่องจากระบบมีความเฉื่อยสูง จึงไม่สามารถใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ จำเป็นต้องใช้ไฟฟ้ากระแสตรง

เครื่องมือสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมทำน้ำยางข้นโดยใช้กระแสไฟฟ้าของนายเมอร์ฟี (Murphy) ดังรูป 4 (c) อัตราเร็วในการแยกน้ำยางให้เป็นน้ำยางข้นและหางน้ำยาง จะเพิ่มขึ้นตามจำนวนของ semi-permeable membrane ที่อยู่ระหว่างขั้วไฟฟ้าทั้งสอง โดยกระแสไฟฟ้าจะทำให้น้ำยางข้นและหางน้ำยางแยกออกจากกันที่ผิวของ semi-permeable membrane แต่ละอัน เครื่องมือที่สร้างโดยนายแมดจ์ (Madge) มีการใช้แผ่น membrane ทั้งหมดถึง 150 แผ่น นอกจากนั้น ถ้าควบคุมให้น้ำยางเข้าสู่ถังอย่างสม่ำเสมอ และนำเอาน้ำยางข้นและหางน้ำยางที่เกิดขึ้นออกไปอย่างสม่ำเสมอแล้ว การแยกโดยวิธีนี้จะกระทำต่อเนื่องได้หลาย ๆ วัน โดยไม่ต้องหยุดเครื่องเลย การนำเอาน้ำยางข้นออกไปอย่างสม่ำเสมอ จะทำให้คุณภาพน้ำยางข้นสม่ำเสมอด้วย ในการป้อนน้ำยางเข้าสู่เครื่อง ต้องระมัดระวังไม่ให้เกิดกระแสคลื่นของน้ำยางภายในเครื่อง ตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับป้อนน้ำยางเข้าสู่เครื่องมือจะต้องผ่านทางรูด้านข้างซึ่งสูงจากก้นถังขึ้นมา $\frac{1}{3}$ ของความสูงแผ่น membrane ส่วนระดับของน้ำยางข้นควรควบคุมให้อยู่สูงกว่าแผ่น membrane ประมาณ 1 นิ้ว และมีพายคอยกวาดน้ำยางข้นออกไปทางขอบถัง ส่วนหางน้ำยางจะผ่านที่ควบคุมปริมาณออกทางด้านล่างของถัง ขั้วไฟฟ้าควรทำจากสแตนเลสและอยู่ที่บริเวณขอบถังทั้งสองข้าง มีที่ต่อสายไฟฟ้าและที่ระบายแก๊สที่เกิดขึ้นด้วย แผ่น membrane ใช้ cellophane โดยมีที่ยึดภายในถังและมีแท่งแก้วช่วยพยุงให้ตั้งตรง ตัวถังทำด้วยไม้ฉาบด้วยขี้ผึ้งหรือไข (wax) ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้น้อยมาก นายสตีเวนส์ (Stevens) กล่าวว่าใช้ประมาณ 20-60 วัตต์ ต่อชั่วโมงต่อการผลิตน้ำยางข้น 1 ปอนด์ ถ้าสมมติว่าใช้น้ำยางที่มีความเข้มข้น 35% และความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้า (voltage gradients) เท่ากับ 1 โวลต์ต่อ 1 เซนติเมตร ดังนั้นถ้าใช้เครื่องของ Murphy โดยคิดเพียงหน่วยเล็ก ๆ ของเครื่อง 1 หน่วย และให้มีพื้นที่ของ membrane เท่ากับ 100 ตารางฟุต ก็จะได้น้ำยางข้นประมาณ 2 แกลลอนต่อชั่วโมง แต่นายสตีเวนส์กล่าวว่าเขาเคยทำได้มากกว่า 7 แกลลอนต่อชั่วโมง

การควบคุมอุณหภูมิของถังน้ำยางเป็นสิ่งสำคัญมาก เพราะพลังงานไฟฟ้าจะทำให้อุณหภูมิของถังน้ำยางเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทำให้การนำไฟฟ้าของถังเพิ่มขึ้น เป็นผลให้สิ้นเปลืองกระแสไฟฟ้า และทำให้ผิวของ membrane เกิดการอุดตันได้ ดังนั้นถ้าอุณหภูมิห้องสูง ควรจะทำให้น้ำยางเย็นก่อนที่จะปล่อยเข้าสู่ถัง ในถังอาจเติมสารช่วยประจุลบ พวก anionic surface-active ลงไปเล็กน้อย เพื่อไปช่วยเพิ่มประจุลบให้กับน้ำยางซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพดีขึ้น

การทำน้ำยางข้นโดยใช้กระแสไฟฟ้านี้ หางน้ำยางจะมีเนื้อยางน้อยมาก ปกติจะไม่เกิน 1.5% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี centrifuge ซึ่งในหางน้ำยางจะมีเนื้อยางประมาณ 7% นอกจากนั้นวิธีนี้เหมาะสำหรับทำน้ำยางข้นที่ต้องการให้มีองค์ประกอบที่ไม่ใช่ยางต่ำ โดยการนำน้ำยางข้นที่ได้ไปทำให้เจือจาง และทำให้เข้มข้นใหม่ซ้ำหลาย ๆ ครั้ง น้ำยางข้นที่ได้เหมาะสำหรับใช้เคลือบเส้นลวดที่ต้องการให้มีความเป็นฉนวนไฟฟ้าสูง เนื่องจากหางน้ำยางมีปริมาณเนื้อยางเหลืออยู่น้อยมาก ดังนั้นการกระจายของขนาดเม็ดยางในน้ำยางข้น จะใกล้เคียงกับการกระจายของขนาดเม็ดยางในน้ำยางธรรมดามากกว่าน้ำยางข้นที่ได้จากการ centrifuge ข้อเสียของน้ำยางข้นที่ผลิตโดยการใช้กระแสไฟฟ้า คือ

1. ขบวนการเกิดขึ้นช้า
2. น้ำยางข้นที่ได้ไม่เหมาะที่จะนำไปทำฟองน้ำเหมือนกับน้ำยางข้นที่ได้จากการ centrifuge

เอกสารอ้างอิง

Blackley, D.C., **High Polymer Lapices**, Vol. 1, London ; Maclaren and Sons Ltd., 1966.