บทที่ 5

ทฤษฎีการเซนตริฟิวจ์

ปริชา ป้องภัย

การผลิตน้ำยางข้นโดยกระบวนการเซนตริฟิวจ์ เป็นวิธีหลักและเป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำยางข้นจากน้ำยางธรรมชาติ ความสำเร็จและประสิทธิภาพของกระบวนการนี้ ส่วนใหญ่เป็นผลจากการออกแบบและการพัฒนาเครื่องเซนตริฟิวจ์ที่ใช้กับน้ำยาง เครื่องที่มีชื่อเสียงและใช้งานกันอยู่อย่างแพร่หลายเช่นแบบ De Laval และ Westfalia ที่หมุนในแนวดิ่งเพื่อให้เกิดการปั่นหรือเหวี่ยงน้ำยางด้วยความเร็วสูง การทำงาน การป้อนน้ำยางและการแยกน้ำยางข้นดำเนินไปอย่างต่อเนื่องโดยตลอด

หลักการแยกอนุภาคยางออกจากส่วนที่เป็นน้ำคือซีรัม (Latex serum) เพื่อให้ได้น้ำยางที่มีความเข้มข้นสูงถึงร้อยละ 60 นั้น เป็นหลักการเดียวกัน หรือคล้ายคลึงกันกับกระบวนการทำให้อนุภาคยางแยกตัวออกมาเป็นครีมของเนื้อยาง (Creaming) กล่าวคือ การ Creaming เป็นวิธีแยกอนุภาคยางซึ่งมี ถ.พ. น้อยกว่าออกจากซีรัมที่มี ถ.พ. มากกว่า แล้วลอยตัวขึ้นสู่ผิวโดยกลไกของแรงโน้มถ่วง (Gravitational force) ของโลก กระบวนการนี้ดำเนินไปอย่างช้า ๆ ในขณะที่การแยกโดยเซนตริฟิวจ์ใช้แรงเหวี่ยงหรือแรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) เป็นตัวกระทำ ทำให้อนุภาคยางที่มี ถ.พ. ต่ำกว่า ถ.พ. ซีรัมเคลื่อนตัวเข้าสู่แกนหมุน จึงเกิดการแยกตัวออกจากซีรัมได้ การแยกตัวตามกระบวนการนี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เพราะความเร่งที่ดึงอนุภาคยางให้เคลื่อนที่นั้น มีค่าสูงกว่าความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงหลายพันเท่า

* ถ.พ. ความถ่วงจำเพาะ

น้ำยางที่มาจากสวนยางเป็นของเหลวที่อยู่ในสถานะที่เรียกว่า Dispersion คือ ประกอบด้วยของ 2 ชนิด หรือ 2 เนื้อหรือเฟส (phase) ได้แก่อนุภาคเนื้อยางที่เป็นสารแขวนลอย (Dispersed phase) กับส่วนที่เป็นน้ำซีรัมซึ่งเป็นเนื้อต่อเนื่อง (Continuous phase) หน้าที่ของเครื่องเซนตริฟิวจ์ได้แก่การแยกเนื้อทั้งสองของน้ำยางออกจากกัน โดยพยายามแยกเอาอนุภาคยางออกไปจากซีรัมให้ได้มากที่สุด และภายในระยะเวลาสั้นด้วย

โดยที่อนุภาคยางมีขนาดเล็กมาก การกระจายตัวอยู่ในซีรัมของอนุภาคยางจึงเป็นแบบที่ทุกอนุภาคเคลื่อนไหวไปมาแบบบราวเนียน (Brownian motion) อยู่ตลอกเวลาในลักษณะเดียวกับโมเลกุลของอากาศ ถึงแม้อนุภาคยางจะมี ถ.พ. น้อยกว่าเนื้อที่ตัวมันแขวนลอยอยู่ก็ตาม การเคลื่อนไหวแบบ จะขัดขวางไม่ให้อนุภาคยางแยกตัวลอยขึ้นสู่ผิวของน้ำยาง เว้นแต่จะทำการเติมสารที่ทำให้น้ำยางแยกตัวเป็นครีม (Creaming agent) บางชนิดลงไปเพื่อลดการเคลื่อนไหวแบบบราวเนียนของอนุภาคยางลงบ้างเท่านั้น อิทธิพลของแรงโน้มถ่วงจึงจะพอที่ที่จะทำให้เนื้อยางลอยแยกออกจากซีรัม ดังในการ Creaming ได้ ดังนั้นการเซนตริฟิวจ์จึงเป็นกระบวนการแยกอนุภาคยางออกจากซีรัมโดยไม่ใช้ Creaming agent แต่เป็นการเพิ่มแรงขับให้แยกจากกันให้สูงมาก ๆ นั่นเอง อาจกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า การเซนตริฟิวจ์เป็นการ Creaming ที่ความเร่งมหาศาลนั่นเอง

หลักทฤษฎีของการแยกเนื้อทั้งสองของน้ำยางอาศัยหลักของแรง 2 ชนิด คือ แรงเหวี่ยงหรือแรงสู่ศูนย์กลาง กับแรงต้านการเคลื่อนที่เนื่องจากความหนืด (Viscous drag) ในสภาวะที่อนุภาคเคลื่อนที่โดยไม่มีความเร่งนั้น แรงทั้งสองที่กระทำต่ออนุภาคมีค่าเท่ากันและไม่เกิดผลในการเอาชนะการเคลื่อนที่แบบบราวเนียนของอนุภาคยางได้

พิจารณากรณีทั่ว ๆ ไปที่อนุภาคของสารชนิดหนึ่งที่แขวนลอยอยู่ในของเหลว อนุภาคนี้จะถูกกระทำโดยแรงดึงดูดของโลกให้จมลงถ้ามี ถ.พ. มากกว่าของของเหลว หรือลอยตัวขึ้นสู่ผิวถ้ามี ถ.พ. น้อยกว่าของของเหลว ถ้าให้อนุภาคดังกล่าวมีเส้นผ่าศูนย์กลาง d เมตร มี

ความหนาแน่น s_1 กก/ม^3 ของเหลวที่อนุภาคอยู่มีความหนาแน่น s_2 กก/ม^3 และมีสัมประสิทธิ์ความหนืด e กก/ม-วินาที เราเขียนสมการแสดงขนาดของแรงพยุงกับแรงต้านเนื่องจากความหนืด ได้ดังนี้

(1) แรงพยุงตามกฎการโน้มถ่วง

$$F_g = (m_1 - m_2)g \qquad (1)$$

เมื่อ m_1 และ m_2 เป็นมวลของอนุภาคและของของเหลวที่มีปริมาตรเท่ากัน

(2) แรงต้านเนื่องจากความหนืดตามกฎของสโตค (Stoke's Law)

$$F_r = -6\text{pre}v_g \qquad (2)$$

เมื่อ v_g คืออัตราการแยกตัวของอนุภาค และ p = 22/7

ในสภาวะสมดุล จะได้ $F_g - F_r = 0$ (3)

นั่นคือ

$$v_g = (m_1 - m_2)g/6\text{ped} \qquad (4)$$

ถ้าอนุภาคมีรูปร่างเป็นทรงกลมรัศมี r จะได้

$$v_g = d^2(s_1 - s_2)g/18e \qquad (5)$$

$v_g = dR/dt$ เป็นอัตราการแยกตัวของอนุภาคออกจากของเหลว เมื่อ R เป็นระยะทางที่อนุภาคเคลื่อนที่ไปได้ ในกรณีของน้ำยาง v_g ก็คืออัตราการแยกตัวของอนุภาคยางออกจากซีรัม นั่นเอง

จากสมการ (5) จะเห็นได้ว่า อัตราการแยกตัวของอนุภาคขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพทั้งของอนุภาคกับของของเหลวที่อนุภาคแขวนลอยอยู่ ซึ่งสรุปได้ดังนี้

(1) อัตราการแยกตัวแปรตามรัศมีของอนุภาคยกกำลังสอง ($v_g \propto d^2$) หมายความว่า การแยกตัวจะเร็วขึ้นสำหรับอนุภาคมีขนาดใหญ่กว่า แสดงว่าอนุภาคโตจะแยกออกได้เร็วกว่าอนุภาคเล็ก และความเร็วนี้แปรตามเส้นผ่าศูนย์กลางยกกำลังสองด้วย เช่น อนุภาคที่โตเป็น 2 เท่า จะแยก

ได้เร็วกว่า 4 เท่า เป็นต้น

(2) อัตราการแยกตัวแปรตามผลต่างของความหนาแน่นของชีรัมกับอนุภาคยาง ($v_g \propto s$) หมายความว่า ความเร็วการแยกตัวขึ้นกับผลต่างระหว่างความหนาแน่นของเนื้อทั้งสอง ถ้าเนื้อทั้งสองมีความหนาแน่นเท่ากันหรือใกล้เคียงกันมาก แรงเหวี่ยงก็ไม่สามารถแยกให้ออกจากกันได้

(3) อัตราการแยกตัวแปรผูกพันกับสัมประสิทธิ์ความหนืด ($v_g \propto 1/e$) หมายความว่า ความหนืดเป็นอุปสรรคที่คอยขัดขวางการแยกตัวของอนุภาคยาง ถ้าซีรัมมีความหนืดมาก แรงฉุดหรือแรงต้านการเคลื่อนที่ของอนุภาคก็จะมาก อัตราการแยกตัวจะช้าลง แสดงว่าอัตราการแยกตัวขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของของเหลวด้วย นอกจากนี้ ความหนืดของของเหลวยังแปรผันตามอุณหภูมิด้วย ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความหนืดของของเหลวจะลดลง

ถ้าเรานำของเหลวที่กำลังพิจารณานี้ใส่ลงไปในภาชนะปิด แล้วหมุนภาชนะนั้นรอบแกนหมุนอันหนึ่งด้วยความเร็วรอบค่าหนึ่ง ถ้า a เป็นความเร่งของแรงเหวี่ยงที่เกิดขึ้น จะเห็นได้ว่า ความเร่งชนิดนี้แตกต่างไปจากความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง (g) กล่าวคือ a จะแปรตามความเร็วของการหมุน และแปรตามตำแหน่งจากแกนหมุนของอนุภาค และมีค่า ดังนี้

$$\text{แรงสู่ศูนย์กลาง} \quad F_{cf} = ma = mw^2r \qquad (6)$$

ดังนั้น ความเร่งที่ของอนุภาคถูกเหวี่ยง คือ

$$a = w^2r \qquad (7)$$

เมื่อ r เป็นความเร็วเชิงมุมของการหมุนของอนุภาค (เรเดียน/วินาที)

สำหรับอนุภาคที่อยู่ในสถานะสมดุลของการเคลื่อนที่ อาศัยสมการ (4) จะได้ความเร็วของการเคลื่อนที่ของอนุภาค ดังนี้

$$v = d^2(s_1 - s_2)w^2r/18e \qquad (8)$$

หรือ $$v = v_g Z \quad (9)$$

เมื่อ $$Z = w^2/g \quad (10)$$

ค่า Z เรียกว่า G-value เป็นค่าที่บ่งบอกว่าอัตราการแยกตัวของอนุภาคในสนามแรงเหวี่ยงสูงกว่าในสนามความโน้มถ่วงมากน้อยเพียงใด

จากความสัมพันธ์ตามสมการ (8) จะเห็นได้ว่า อัตราการแยกตัวของอนุภาคนั้น นอกจากจะขึ้นอยู่กับ ขนาดอนุภาค (d^2) ผลต่างระหว่างความหนาแน่น ($\rho_1 - \rho_2$) และความหนืด (μ) แล้ว การเหวี่ยงแบบเซนตริฟิวจ์นี้ อัตราการแยกตัวของมันยังขึ้นอยู่กับความเร็วรอบของการหมุนกับระยะห่างที่อนุภาคอยู่จากแกนหมุนด้วย จึงได้ปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพิ่มขึ้นอีก 2 ปัจจัย ดังนี้คือ

(4) อัตราการแยกตัวแปรตามรัศมีของการหมุน ($v \propto r$) หมายความว่า ถ้ารัศมีของการหมุนมีค่ามาก คือตำแหน่งที่อนุภาคอยู่ไกลจากแกนหมุนมาก การแยกตัวก็จะเกิดเร็วกว่าอนุภาคที่อยู่ใกล้แกนหมุน เพราะอนุภาคที่อยู่ไกลจะมีแรงเหวี่ยงสูงกว่า

(5) อัตราการแยกตัวแปรตามความเร็วเชิงมุมของการเหวี่ยงยกกำลังสอง ($v \propto w^2$) หมายความว่า การแยกขึ้นอยู่เป็นอย่างมากกับความเร็วรอบของการหมุนของเครื่องเซนตริฟิวจ์ เมื่อนำค่าความเร่ง a ของเครื่องเซนตริฟิวจ์กับความเร่ง g ของโลกมาเปรียบเทียบกัน จะช่วยให้มองเห็นประสิทธิภาพของการเซนตริฟิวจ์ได้ดีขึ้น ดังตัวอย่างต่อไปนี้ ถ้าความเร็วรอบของเซนตริฟิวจ์อยู่ที่ระดับ 6,000 rpm รัศมีของการหมุนเท่ากับ 15 ซ.ม. ค่า $g = 9.78\ m/s^2$ จะได้

ความเร็วเชิงมุม $w = 628\ rad/s$

ความเร่ง $a = 59{,}157\ m/s^2$

หรือ $a = 6{,}049\ g$

แสดงว่า ที่ความเร็วการหมุนระดับนี้ อนุภาคจะถูกแรงเหวี่ยงกระทำสูงกว่าแรงโน้มถ่วงของโลกกว่า 6,000 เท่า