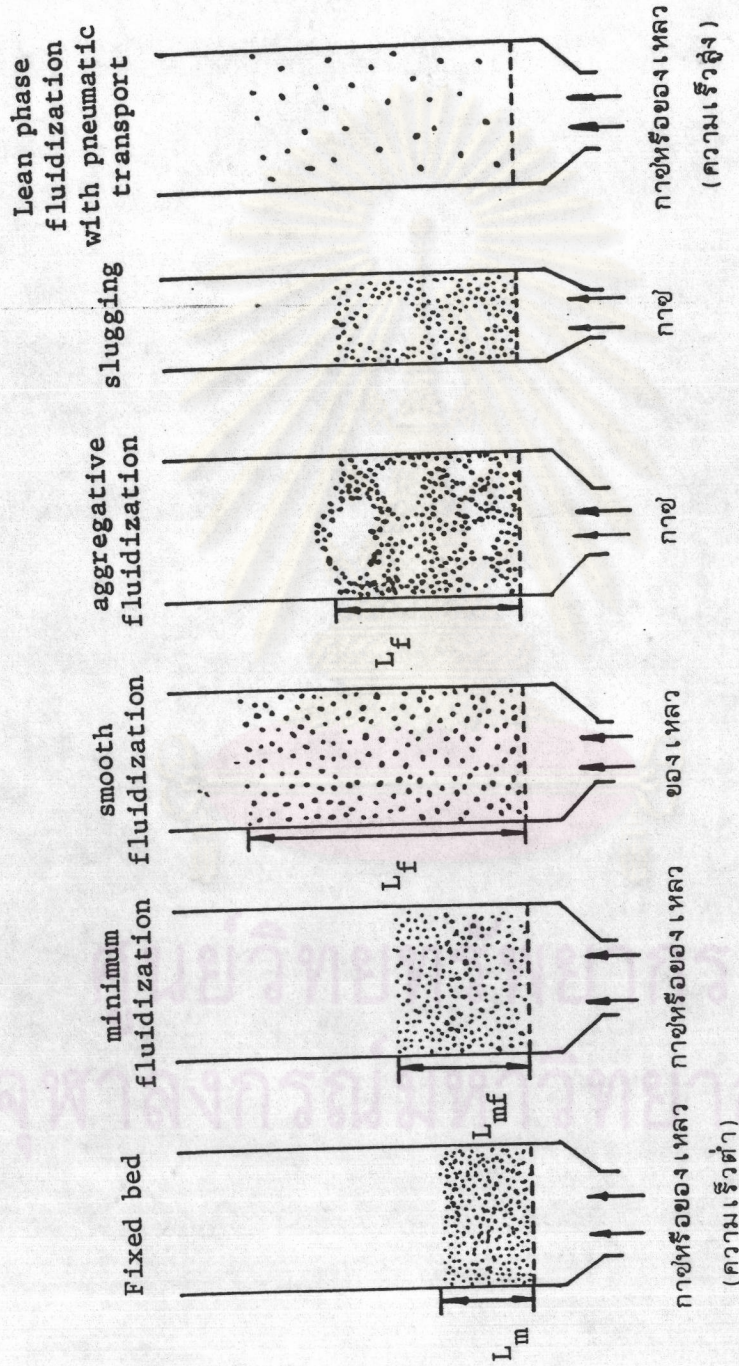




2.1 ลักษณะโดยทั่วไปของฟลูอิดไดซ์เบด (1,3)

เมื่อปล่อยของไหลให้ไหลผ่านกลุ่มอนุภาคของแข็ง (bed) ซึ่งบรรจุอยู่ในคอลัมน์ด้วยความเร็วต่ำ ๆ อนุภาคของแข็งจะไม่ขยับตัวเลย ลักษณะของเบดเช่นนี้เรียกว่า เบดนิ่ง (fixed-bed) ดังรูปที่ 2-1 แต่เมื่อค่อย ๆ เพิ่มความเร็วของของไหลให้มากขึ้นทีละน้อยจนถึงความเร็วระดับหนึ่ง กลุ่มอนุภาคของแข็งจะเริ่มขยับตัว และสั่นตัวอย่างเป็นระเบียบ และเมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้นจากระดับนี้อีกเพียงเล็กน้อย อนุภาคของแข็งจะแยกออกจากกัน และลอยตัวอย่างอิสระ ลักษณะดังกล่าวนี้เรียกว่า จุดเริ่มฟลูอิดไดซ์ (minimum fluidizing point) หลังจากจุดเริ่มฟลูอิดไดซ์นี้แล้ว ความเร็วของของไหลที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เบดขยายตัวมากขึ้นตามความเร็วของของไหล แต่อนุภาคของแข็งยังอยู่ชิดกันจนดูเหมือนว่าอนุภาคของแข็งเหล่านี้จับตัวกันเป็นกลุ่มก้อน ลักษณะเบดเช่นนี้เรียกว่า ฟลูอิดไดซ์เบดแบบหนาแน่น (dense-phase fluidizing bed) ถ้าความเร็วของของไหลเพิ่มมากขึ้นอีกจนเกือบจะพาอนุภาคของแข็งหลุดออกจากคอลัมน์ จะเรียกว่าฟลูอิดไดซ์เบดแบบเจือจาง (diluted-phase fluidizing bed) หลังจากเพิ่มความเร็วของของไหลอีกเล็กน้อย อนุภาคของแข็งจะหลุดลอยออกจากคอลัมน์ไป ซึ่งลักษณะเช่นนี้สามารถใช้ในการขนส่งของแข็งจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ เรียกว่า การขนส่งด้วยลม (pneumatic transportation)

ในกรณีที่ฟลูอิดไดซ์เบดมีของไหลเป็นกาซ ลักษณะของเบดขณะเกิดฟลูอิดไดซ์จะต่างจากลักษณะเบดที่ใช้ของเหลว เพราะเหตุว่าเมื่อความเร็วของกาซสูงกว่าความเร็วที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์ กาซส่วนหนึ่งยังคงทำหน้าที่ให้เกิดการลอยตัวของอนุภาคของแข็ง แต่อีกส่วนหนึ่งจะรวมตัวกันเกิดเป็นฟองกาซขึ้น ฟองกาซจะแทรกตัวขึ้นไปยังผิวหน้าของเบด และแตกตัวในที่สุด ในขณะที่ฟองกาซลอยตัวขึ้นนั้น จะทำให้อนุภาคของแข็งไหลจากด้านบนของฟองกาซลงมายังด้านล่างพร้อมกันนั้นยังมีอนุภาคของแข็งบางส่วนลอยติดตามฟองกาซขึ้นไปด้วย เป็นเหตุให้การเคลื่อนที่ของอนุภาคของแข็งภายในเบดเป็นไปอย่างสุ่มวนวุ่นวาย เบดชนิดนี้เรียกว่า aggregated bed ดังแสดงในรูปที่ 2-1



รูปที่ 2-1 สภาวะต่าง ๆ ของฟลูอิดไลซ์เบด

2.1.1 ความเร็วต่ำสุดของของไหลที่ทำให้เบตเกิดฟลูอิดเซชัน

ในขณะที่อนุภาคของแข็งเริ่มลอยตัวเป็นอิสระอยู่ อนุภาคของแข็งอยู่ในสภาวะของแรงล่องแรงที่กระทำกับอนุภาคของแข็งอย่างสมดุลกัน แรงทั้งล่องคือแรงที่เกิดจากน้ำหนักของอนุภาคของแข็งเอง และแรงพยุงจากของไหล (แรงเสียดทานร่วมกับแรงต้านของของไหล) เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้คือ

$$\text{แรงพยุง (แรงเสียดทาน + แรงต้าน)} = \text{น้ำหนักของอนุภาคของแข็ง}$$

$$\text{หรือ} \begin{bmatrix} \text{ความแตกต่าง} \\ \text{ของความดันใน} \\ \text{พื้นที่ภาคตัด} \\ \text{ขวางของเบต} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{พื้นที่ภาค} \\ \text{ตัดขวาง} \\ \text{ของคอลัมน์} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ปริมาตร} \\ \text{ของเบต} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{ส่วนของ} \\ \text{อนุภาค} \\ \text{ของแข็ง} \\ \text{ในเบต} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \text{ความถ่วง} \\ \text{จำเพาะของ} \\ \text{อนุภาค} \\ \text{ของแข็ง} \end{bmatrix}$$

ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$(\Delta P)(A_c) = W = (A_c L_{mf})(1-\epsilon_{mf}) \left[(\rho_s - \rho_g) \frac{g}{g_c} \right] \dots\dots(2-1)$$

จัดสมการ (2-1) ใหม่ ได้เป็น

$$\frac{\Delta P}{L_{mf}} = (1-\epsilon_{mf})(\rho_s - \rho_g) \frac{g}{g_c} \dots\dots(2-2)$$

Ergun⁽⁴⁾ ได้แสดงถึงความแตกต่างของความดัน (pressure drop) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากของไหลไหลผ่านเบต ณ จุดเริ่มฟลูอิดเซชันไว้ดังนี้คือ

$$\frac{\Delta P}{L_{mf}} g_c = \frac{150(1-\epsilon_{mf})\mu u_{mf}}{\epsilon_m^3 (\phi_s d_p)^2} + \frac{1.75(1-\epsilon_{mf})\rho_g u_{mf}^2}{\epsilon_{mf}^3 \phi_s d_p} \dots\dots(2-3)$$

จากสมการ (2-2) และ (2-3) นำมารวมกันจะได้

$$\frac{1.75}{\phi_s^3 \epsilon_{mf}^3} \left[\frac{d_p u_{mf} \rho_g}{\mu} \right]^2 + \frac{150(1-\epsilon_{mf})}{\phi_s^3 \epsilon_{mf}^3} \left[\frac{d_p u_{mf} \rho_g}{\mu} \right] = \frac{d_p^3 \rho_g (\rho_s - \rho_g) g}{\mu^2} \quad (2-4)$$

จากสมการ (2-4) สามารถคำนวณหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เบตเกิดฟลูอิดเซชัน (u_{mf}) ได้ ถ้าทราบคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ ของอนุภาคของแข็งและของไหล

สำหรับอนุภาคของแข็งขนาดเล็ก และการไหลมีค่า Re (Reynold number) ต่ำ ความแตกต่างของความดันส่วนใหญ่เกิดจากความหนืดของของไหล เราสามารถตัดเทอมแรกของ สมการ (2-4) ออกได้ และสมการ (2-4) จะเหลือเพียง

$$u_{mf} = \frac{(\phi_s d_p)^2 (\rho_s - \rho_g) g \epsilon_{mf}^3}{150 \mu (1 - \epsilon_{mf})} \quad Re_p < 20 \quad \dots\dots\dots (2-5)$$

สำหรับอนุภาคขนาดใหญ่ และค่า Re_p สูง เราสามารถตัดเทอมที่สองของสมการ (2-4) และจะ ได้ว่า

$$u_{mf}^2 = \frac{\phi_s d_p (\rho_s - \rho_g) g \epsilon_{mf}^3}{1.75 \rho_g} \quad Re_p > 1000 \quad \dots\dots\dots (2-6)$$

ในกรณีทั่วไป Wen และ Yu⁽⁵⁾ เสนอว่า

$$\frac{1}{\phi_s \epsilon_{mf}^3} \approx 14 \quad \text{และ} \quad \frac{1 - \epsilon_{mf}}{\phi_s^2 \epsilon_{mf}^3} \approx 11$$

ดังนั้น สำหรับอนุภาคขนาดเล็ก

$$u_{mf} = \frac{d_p^2 (\rho_s - \rho_g) g}{1650 \mu} \quad Re_p < 20 \quad \dots\dots\dots (2-7)$$

และสำหรับอนุภาคขนาดใหญ่

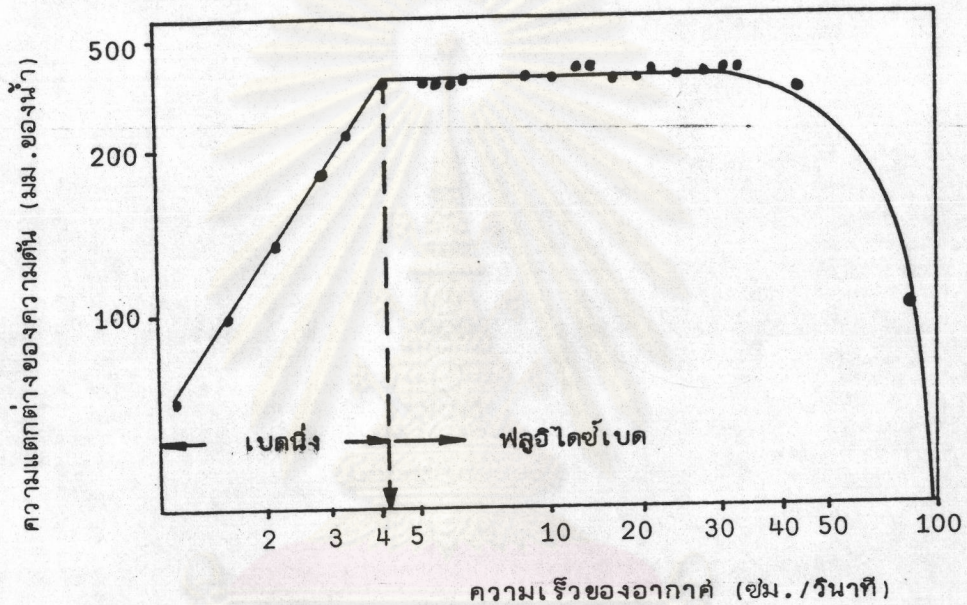
$$u_{mf}^2 = \frac{d_p^2 (\rho_s - \rho_g) g}{24.5 \rho_g} \quad Re_p > 1000 \quad \dots\dots\dots (2-8)$$

ดังนั้นการคำนวณความเร็วต่ำสุดของก๊าซที่ทำให้เมล็ดกาแฟในเบดเริ่มฟลูอิดไรซ์ ควรใช้สมการ (2-8)

2.1.2 ความแตกต่างของความดันของฟลูอิดไรซ์เบด

เมื่อพิจารณาสมการ (2-3) จะพบว่าความแตกต่างของความดันขึ้นอยู่กับความเร็วของของไหล เมื่อค่าความหนืดและขนาดของของแข็งมีค่าคงที่ รูปที่ 2-2 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของของไหลที่ไหลผ่านเบดที่เป็นของแข็ง และความแตกต่างของความดันของเบด โดยพบว่าที่ความเร็วของของไหลต่ำ ๆ ความแตกต่างของความดันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็ว ความแตกต่างของความดันจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วที่เพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่งความแตกต่างของความดันสูงสุด หลังจากนั้นถ้าหากเพิ่มความเร็วของการไหลมากขึ้น เบดซึ่งแต่เดิมอยู่กับที่ (fixed bed)

ก็จะเริ่มขยับตัว ความเร็วของของไหลตอนนี้เรียกว่า ความเร็วต่ำสุดของกาซที่ทำให้เบตเริ่ม
 ฟลูอิดไคซ์ และสัดส่วนช่องว่างของเบตขณะนี้คือ ϵ_{mf} และเมื่อความเร็วของของไหลเพิ่มขึ้นไป
 เรื่อย ๆ สัดส่วนช่องว่างก็จะเปลี่ยนไปเป็น ϵ_f แต่ค่าความแตกต่างของความดันจะคงที่อยู่เสมอ
 และจะลดต่ำลงเมื่อของแข็งเริ่มถูกของไหลพาออกจากคอสัมผัสไป ความเร็ว ณ จุดนี้เรียกว่า
 ความเร็วตกอิสระของอนุภาค



รูปที่ 2-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแตกต่างของความดันกับความเร็วของอากาศ
 (Shirai⁽⁶⁾)

2.2 การถ่ายเทความร้อนในฟลูอิดไคซ์เบต

การถ่ายเทความร้อนในฟลูอิดไคซ์เบตเป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลและ
 ของแข็งที่มีประสิทธิภาพมาก การแลกเปลี่ยนเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและทั่วถึง แฟกเตอร์ที่สำคัญ
 ในการถ่ายเทความร้อนคือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h_p) ซึ่งในการทดลองหาค่า
 สัมประสิทธิ์ดังกล่าว กระทำได้สองแบบ คือ การถ่ายเทความร้อนในช่วงที่ไม่แปรตามเวลา
 (steady state) และการถ่ายเทความร้อนในช่วงที่แปรตามเวลา (unsteady state)
 ในช่วงการถ่ายเทความร้อนที่ไม่แปรตามเวลา กาซร้อนไหลเข้าไปในเบตซึ่งถูกทำให้เย็นโดยใช้
 เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนติดตั้งอยู่ภายใน หรือโดยใส่เม็ดของแข็งที่เย็นเข้าไปแทนที่ของแข็งที่ร้อน
 เบตจะมีอุณหภูมิสม่ำเสมอตลอดทั้งเบต ยกเว้นในช่วงความสูงน้อย ๆ (1-2 เซนติเมตร) ใกล้ทาง

ที่ก๊าซร้อนไหลเข้า เนื่องจากเบตเข้าสู่สมดุลอย่างรวดเร็ว สิ่งไม่จำเป็นต้องวัดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างก๊าซและของแข็งที่ทางออกจากเบต ดังนั้นการทดลองการถ่ายเทความร้อนในช่วงที่ไม่แปรตามเวลาจึงวัดอุณหภูมิของก๊าซที่เปลี่ยนไปตรงช่วงใกล้กับทางเข้าของก๊าซ เพื่อจะหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

โดยไม่คำนึงถึงความร้อนที่สูญเสียไปกับผนังคอสมันน์ สมดุลย์ของพลังงานในช่วงความสูง dl คือ

$$(ความร้อนไหลเข้าโดยก๊าซ) - (ความร้อนไหลออกโดยก๊าซ) = (ความร้อนถ่ายเทไปยังของแข็ง)$$

เขียนเป็นสัญลักษณ์ได้คือ

$$-C_{pg} G_o dT_g = h_p a (T_g - T_s) dl \quad \dots\dots(2-9)$$

โดยสมมติให้การไหลของก๊าซเป็น plug flow เมื่ออินทิเกรตสมการ (2-9) จะได้

$$\ln \frac{T_g - T_s}{T_{g,in} - T_s} = - \frac{h_p a l}{G_o C_{pg}} \quad \dots\dots(2-10)$$

ความชันของกราฟแบบกึ่งลอการิทึมระหว่างฟังก์ชันของอุณหภูมิกับความสูง สามารถนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้

ในการทดลองการถ่ายเทความร้อนในช่วงที่แปรผันตามเวลา เราทราบอุณหภูมิของก๊าซร้อนขาเข้า อุณหภูมิของก๊าซขาออกเปลี่ยนไปตามเวลา โดยไม่คิดความร้อนที่สะสมโดยก๊าซ สมดุลความร้อนที่เวลาใด ๆ ในช่วงความสูง dl คือ

$$\left[\begin{array}{c} \text{ความร้อนไหลเข้า} \\ \text{โดยก๊าซ} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{c} \text{ความร้อนไหลออก} \\ \text{โดยก๊าซ} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{ความร้อนถ่ายเท} \\ \text{ไปยังของแข็ง} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{c} \text{ความร้อนที่สะสม} \\ \text{โดยของแข็ง} \end{array} \right]$$

เขียนเป็นสัญลักษณ์ได้ว่า

$$-C_{pg} G_o dT_g = h_p a (T_g - T_s) dl = \frac{C_{pg} G_o}{A_c} \cdot \frac{dT_g}{dt} \cdot dW \quad \dots\dots(2-11)$$

การแก้ปัญหาขั้นต่อไปขึ้นอยู่กับ การตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับการไหลของก๊าซว่าเป็นแบบ plug flow หรือ backmix flow

การใช้สมมติฐานของ backmix flow เราพิจารณาว่า เบตมีอุณหภูมิล่ม ๆ ล่มอทั่วทั้งเบต เพราะมีการผสมกันอย่างดีของของแข็งและก๊าซ สมดุลความร้อนรวมของระบบที่สัมพันธ์กับ

อัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของของแข็ง และความร้อนที่ก๊าซสูญเสียไปในการไหลผ่านเบตคือ

$$C_{pg} G_o (T_{g,in} - T_{g,out}) = h_p a L_f (T_{g,out} - T_s) \dots (2-12)$$

เมื่อตีฟเพื่อเรนซีเอทสมการ (2-12) แล้วแทนลงในสมการ (2-11) เพื่อกำจัด T_s และอินทิเกรตอีกครั้ง จะได้

$$\ln \frac{\Delta T_g}{\Delta T_{g,initial}} = - \frac{h_p a L_f C_{pg} G_o A_c}{W C_{ps} [h_p a L_f + C_{pg} G_o]} \cdot t \dots (2-13)$$

ในที่นี้
$$\Delta T_g = T_{g,in} - T_{g,out}$$

ถ้าพิจารณาการไหลของก๊าซเป็น plug flow จะให้ผลที่แตกต่างกัน อีกประการหนึ่งอุณหภูมิของของแข็งเปลี่ยนแปลงช้ามากเมื่อเทียบกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของก๊าซ ซึ่งถือว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงในช่วงที่ไม่แปรตามเวลา เมื่ออินทิเกรตสมการ (2-11) จะได้สมการ (2-10) ซึ่งแสดงเกรเดียนท์ของอุณหภูมิในเบตที่เวลาใด ๆ จากนั้นตีฟเพื่อเรนซีเอท แล้วแทนลงในสมการ (2-11) เพื่อกำจัด T_s และอินทิเกรตจะได้

$$\ln \frac{\Delta T_g}{\Delta T_{g,initial}} = \frac{C_{pg} G_o A_c}{W C_{ps}} \left[1 - \exp\left(\frac{-h_p a L_f}{C_{pg} G_o}\right) \right] t \dots (2-14)$$

ผลการทดลองที่ใช้สมมติฐานแบบ plug flow จะมีแนวโน้มนัยแบบเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2-3 ซึ่งสามารถเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ว่า

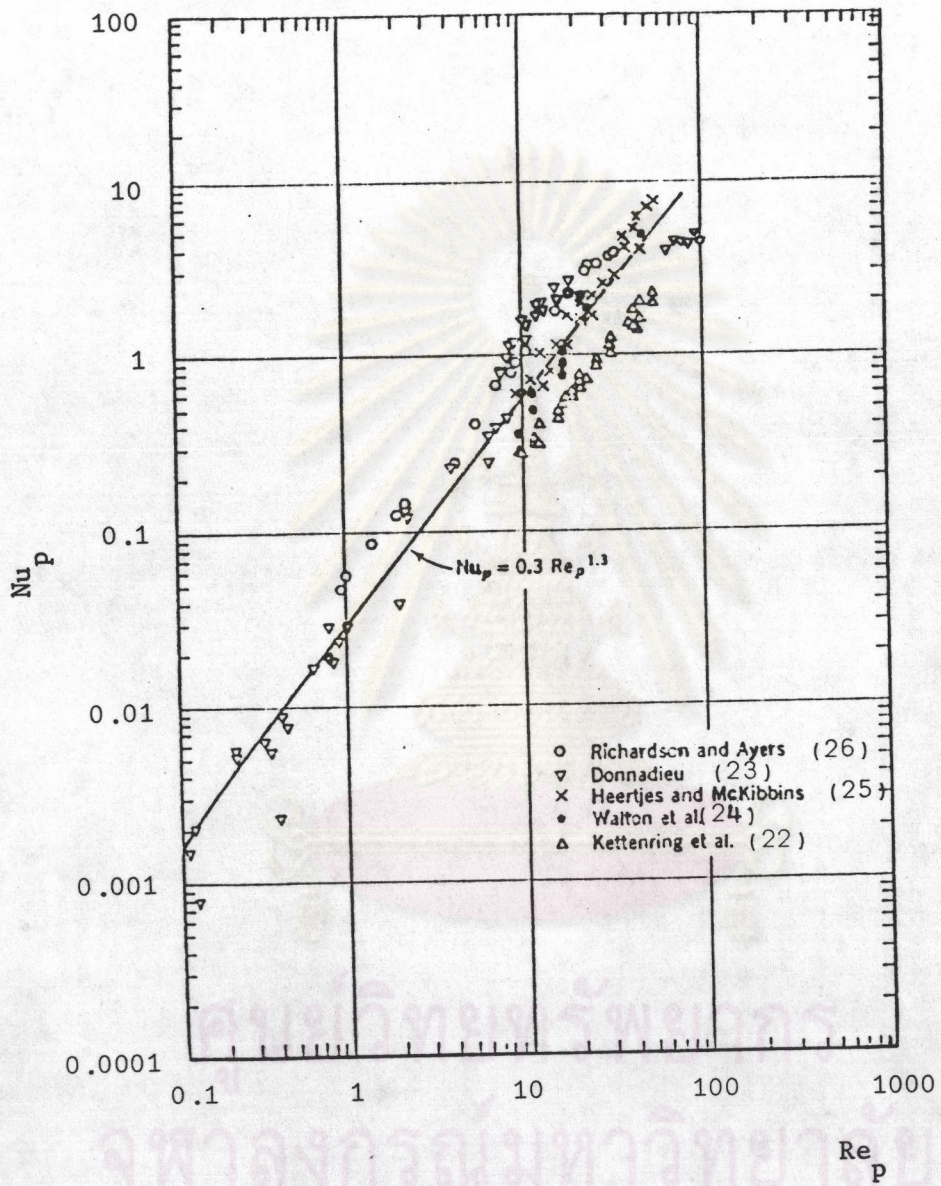
$$Nu_p = 0.3 Re_p^{1.3} \dots (2-15)$$

สมการ (2-15) เป็นกรณีของการเพิ่มอุณหภูมิของอนุภาคอย่างเดียว ถ้าเป็นกรณีของการอบแห้งอนุภาคในฟลูอิดซ์เบต ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างก๊าซกับอนุภาคสาม รตะประเมินได้จาก

$$Nu_p = 4 \times 10^{-3} Re_p^{1.5} \dots (2-16)$$

เมื่อ $10 < Re_p < 100$

เหตุผลที่ว่า Nu_p ในกรณีการอบแห้งมีค่าน้อยกว่าในกรณีเพิ่มอุณหภูมิก็คือเพราะเกิดการรวมตัวของอนุภาคนั้นเอง



รูปที่ 2-3 แสดงความสัมพันธ์ของค่าตัวเลข และค่าเรย์โนลด์จากข้อมูลของการทดลอง (Kothari⁽²⁷⁾)

2.3 อุณหภูมิของเบตที่เปลี่ยนไปตามเวลา

ในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเบตที่เปลี่ยนไปตามเวลา ทำได้โดยพิจารณา
 สัมดุลของพลังงาน

$$(ความร้อนที่กาชสูญเสียไป) = (ความร้อนที่อนุภาคของแข็งได้รับ)$$

หรือเขียนเป็นสัญลักษณ์ได้ว่า

$$A_c \rho_g u_o C_{pg} (T_{gi} - T_s) dt = A_c \rho_s (1 - \epsilon_m) L_m C_{ps} dT_s \dots\dots(2-17)$$

พรมแดนเริ่มต้นของสมการ (2-17) คือ

$$T_s = T_{s_o} \text{ ที่ } t = 0 \dots\dots(2-18)$$

แก้สมการที่ (2-17) จะได้

$$\frac{T_{gi} - T_s}{T_{gi} - T_{s_o}} = \exp \left[- \frac{\rho_g C_{pg}}{\rho_s C_{ps}} \cdot \frac{u_o}{(1 - \epsilon_m) L_m} \cdot t \right] \dots\dots(2-19)$$

ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเวลาที่ใช้ในการทำให้ของแข็งมีอุณหภูมิสูงขึ้นถึงจุดที่ต้องการเป็นสัดส่วนโดยตรง
 กับความสูงของเบต และเป็นสัดส่วนผกผันกับความหนาแน่นของกาช

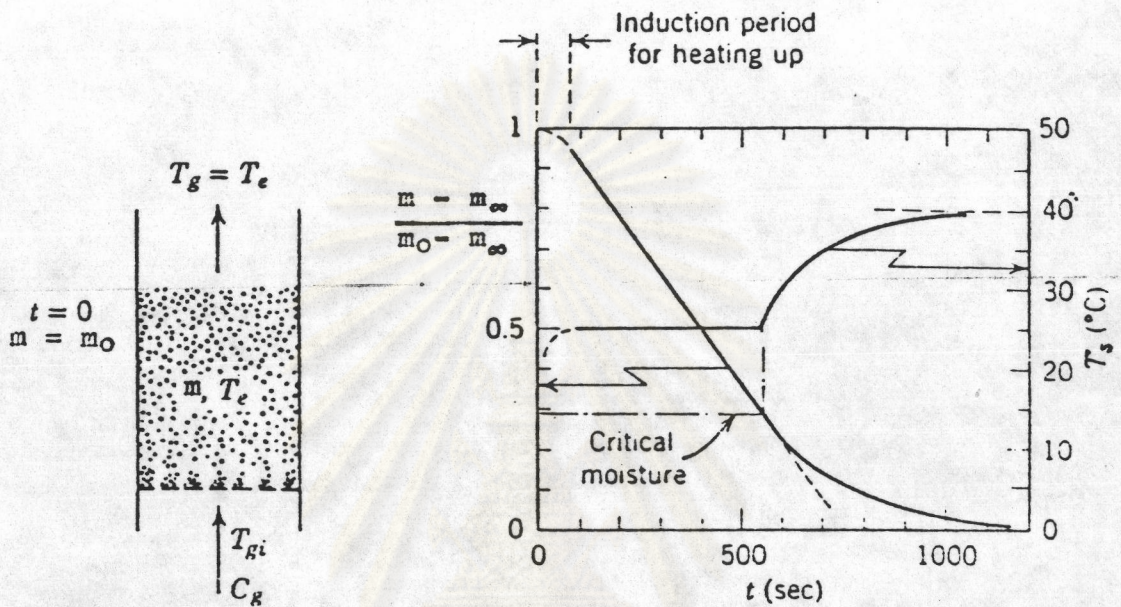
2.4 การอบแห้งของแข็งในระบบที่ไม่ต่อเนื่อง

การวิเคราะห์ขบวนการอบแห้งในฟลูอิดเบต มีความสลับซับซ้อนกว่าการถ่ายเทความร้อนมาก เพราะต้องคำนึงถึงความเร็วของการอบแห้งที่เป็นตัวควบคุมระบบ ซึ่งได้แก่

2.4.1 ความเร็วของการอบแห้งที่คงที่ หรือการถ่ายเทความร้อนเป็นตัวควบคุมระบบ

พิจารณาของแข็งที่มีอัตราส่วนความชื้น นํามาอบแห้งโดยใช้กาชร้อนที่อุณหภูมิเริ่มต้น

T_{gi} เป้าขึ้นทางด้านล่างของเบต ดังแสดงในรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 การอบแห้งของแข็งในระบบที่ไม่ต่อเนื่อง (แสดงความเร็วของการอบแห้งที่คงที่และที่ลดลง)

ถ้าของแข็งมีขนาดเล็กลง มีรูพรุนมาก และมีความชื้นอิสระ ของแข็งเหล่านี้จะถูกอบแห้งที่ความเร็วของการอบแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อนและมวลสารจะเข้าสู่สมดุลอย่างรวดเร็ว ดังนั้นเบตและก๊าซที่ไหลออกจากคอสัมผัสจะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิอิ่มตัวของก๊าซร้อนที่ไหลเข้าคอสัมผัส สำหรับกรณีที่ไม่มีการสูญเสียความร้อน ความชื้นที่เปลี่ยนไปในช่วงเวลาต่าง ๆ หาได้จากสมดุลของพลังงานคือ

$$\left[\begin{array}{l} \text{ความร้อนที่ก๊าซไหลเข้า} \\ \text{ในคอสัมผัสสูญเสียไป} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{ความร้อนที่ถ่ายเทไปยังของแข็ง} \\ \text{เพื่อทำให้น้ำกลายเป็นไอ} \end{array} \right]$$

เขียนเป็นสัญลักษณ์ได้ดังนี้

$$A_c \rho_g u_o C_{pg} (T_{gi} - T_e) dt = -A_c \rho_s L_m (1 - \epsilon_m) dm \dots (2-20)$$

ถ้าความชื้นในของแข็งมีค่ามากกว่าความชื้นวิกฤต ความเร็วของการอบแห้งจะมีค่าคงที่ สุ่มการ (2-20) จะเป็น

$$m_o - m = \frac{\rho_g}{\rho_s} \cdot \frac{C_{pg}(T_{gi} - T_e)}{\alpha} \cdot \frac{t}{(1 - \epsilon_m)L_m/u_o} \dots\dots(2-21)$$

เมื่อ $m_o > m > m_{cr}$

และ m_{cr} คือค่าความชื้นวิกฤต ซึ่งค่าความชื้นที่ต่ำกว่าค่านี้จะทำให้อัตราการอบแห้งลดลงเนื่องจากอิทธิพลของการแพร่ของของเหลว

จากสมการที่ (2-20) จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นในอนุภาคของแข็งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร็วของกาซไหลเข้า และเป็นสัดส่วนผกผันกับความสูงของเบต

2.4.2 ความเร็วของการอบแห้งที่ลดลง หรือการแพร่ของของเหลวเป็นตัวควบคุมระบบ

สำหรับเรซินและของแข็งอื่น ๆ ซึ่งเปื่อยขึ้นมาก หรือมีสารที่ระเหยง่ายอยู่ภายใน การแพร่ของความชื้นไปยังผิวจะมีอัตราช้ามากจนเป็นตัวควบคุมขบวนการอบแห้งทั้งหมด

การแพร่ของความชื้นในอนุภาคทรงกลม รัศมี R หาได้จากกฎของฟูเรียร์ คือ

$$\frac{\partial m}{\partial t} = D_m \frac{\partial^2 m}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial m}{\partial r} \dots\dots(2-22)$$

พรมแดนของระบบคือ

$$\begin{aligned} t = 0, \quad r = r, \quad m_m &= m_o \\ t = t, \quad r = 0, \quad \frac{\partial m}{\partial r} &= 0 \\ r = R, \quad m_m &= m_\infty \end{aligned} \dots\dots(2-23)$$

และค่าเฉลี่ยของความชื้นในของแข็งกำหนดให้เป็น

$$m = \int_{r=0}^R \frac{4\pi r^2 m_m dr}{\frac{4}{3}\pi R^3} \dots\dots(2-24)$$

แก้สมการที่ (2-22) จะได้

$$\frac{m - m_\infty}{m_o - m_\infty} = \frac{m_f}{m_{fo}} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left[-(n\pi)^2 \frac{D_m t}{R^2}\right] \dots\dots(2-25)$$

เมื่อ m_F คือความชันอิสระในของแข็ง

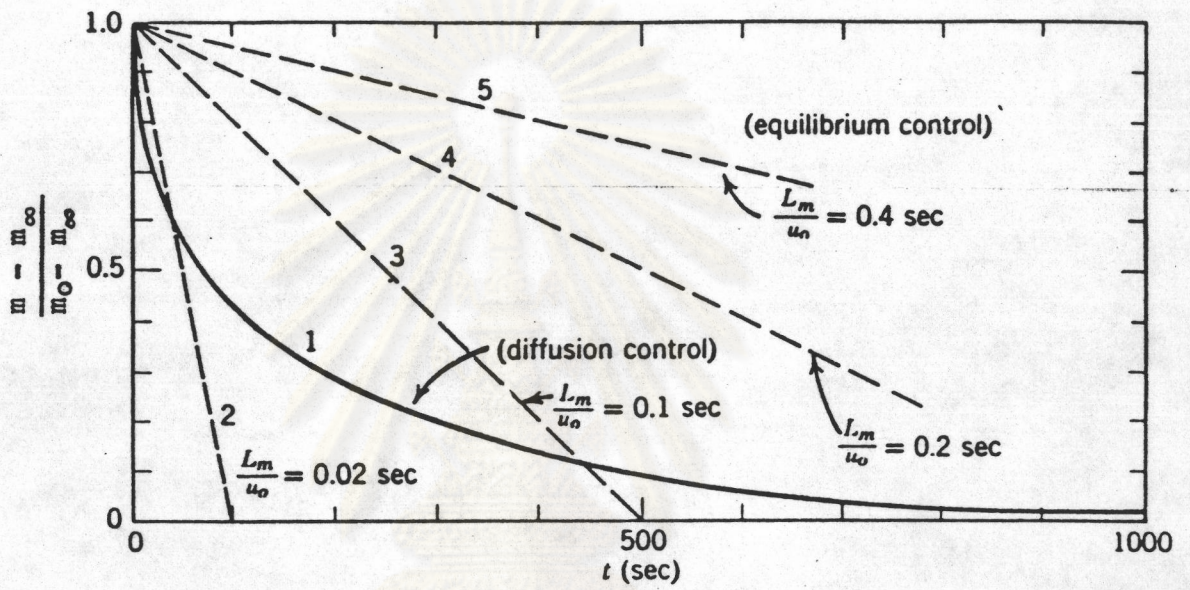
ถ้าการแพร่เป็นตัวควบคุมระบบ อัตราส่วนของความชันจะลดลงในลักษณะคล้ายกับเอกโปเนนเชียล และความเร็วของการอบแห้งสามารถหาได้จากความเร็วของการอบแห้งของของแข็งอนุภาคเดียว

2.4.3 ความชันวิกฤต และกรณีอินเทอร์มีเดียท

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชันที่ลดลงกับเวลาของขบวนการอบแห้งทั้งสองแบบ แสดงในรูปที่ 2-5 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเมื่อใดระบบจะเป็นกรณีการแพร่ควบคุมระบบ หรือเมื่อใดจะเป็นการถ่ายเทความร้อนเป็นตัวควบคุมระบบ หรือเป็นกรณีอินเทอร์มีเดียท ตัวอย่างเช่น ในเบตที่มีความลึกมาก ($L_m/u_o = 0.2 \text{ sec}$) การถ่ายเทความร้อนจะควบคุมระบบ เพราะความเร็วของการอบแห้งช้ากว่าความเร็วของการอบแห้งแบบการแพร่ควบคุมระบบ ในทางตรงข้าม ในเบตที่มีความลึกน้อย ($L_m/u_o = 0.02 \text{ sec}$) ขบวนการแพร่ช้ากว่า ดังนั้นจึงเป็นตัวควบคุมระบบในกรณีอินเทอร์มีเดียท ($L_m/u_o = 0.1 \text{ sec}$) ระบบเริ่มด้วยการถ่ายเทความร้อนเป็นตัวควบคุมระบบ แต่ที่เวลาประมาณ 400 วินาที ระบบจะเปลี่ยนเป็นการแพร่ควบคุมระบบ รูปที่ 2-5 มีค่าความชันวิกฤตประมาณ

$$\frac{m_{cr} - m_\infty}{m_o - m_\infty} \approx 0.1 \text{ สำหรับ } L_m/u_o = 0.1 \text{ sec}$$

และยังแสดงให้เห็นว่าความชันวิกฤตขึ้นกับความสูงของเบต และความเร็วของกาฬ เราจึงพอสรุปได้ว่า ความชันวิกฤตไม่ได้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของแข็งเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับสภาวะของการอบแห้ง และลักษณะของเบตด้วย



รูปที่ 2-5 แสดงขึ้นกำหนดความเร็วของการอบแห้งของแข็งในระบบฟลูอิดซ์เบดที่ไม่ต่อเนื่อง
ข้อมูลที่ใช้สำหรับกราฟนี้คือ

สมการ (2-20) $\rho_g / \rho_s = 5 \times 10^{-4}$, $m_0 - m_\infty = 0.5$, $C_{pg}(T_{gi} - T_e) / \mathcal{L} = 0.1$

สมการ (2-24) $D_m = 1 \times 10^{-6}$ ซม.²/วินาที, $d_p = 0.1$ ซม.

2.5 คุณสมบัติของเมสตีกาแฟในระหว่างการคั่ว⁽⁷⁾

การคั่วกาแฟเป็นขั้นตอนเกี่ยวกับการปรับปรุงกลิ่น และรสของกาแฟ โดยการให้ความร้อนแก่เมสตีกาแฟดิบเพื่อไล่ความชื้น อีกทั้งยังก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี และทางกายภาพ น้ำซึ่งอยู่ในรูปของความชื้นในเมสตีกาแฟจะระเหยเป็นไอออกจากเมสตีที่อุณหภูมิของเมสตีกาแฟประมาณ 100 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิของเมสตีสูงขึ้นไปถึง 180 องศาเซลเซียส จะเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน (pyrolysis) รวมถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในเมสตี ซึ่งจะเปลี่ยนสารประกอบอินทรีย์บางส่วนในเมสตีไปเป็นสารที่ให้กลิ่นและรส (aroma and flavor) เช่น เปลี่ยนโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไปเป็น อัลดีไฮด์, คีโตน, อัลกอฮอล์, เอสเทอร์ ฯลฯ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจาก pyrolysis บางชนิดเป็นแบบคายความร้อน (exothermic reaction) ทำให้เมสตีกาแฟมีอุณหภูมิสูงขึ้น เป็น 200-210 องศาเซลเซียส กาแฟที่ผ่านการคั่วจะมีน้ำหนักเบากว่ากาแฟดิบเริ่มต้น น้ำหนักที่หายไปอยู่ในช่วงร้อยละ 12-20 ขึ้นอยู่กับระดับของการคั่ว น้ำหนักที่หายไปนี้คิดเป็นน้ำหนักจากความชื้นร้อยละ 10-12 ในช่วงที่น้ำหนักหายไปอย่างรวดเร็ว เมสตีกาแฟจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล สีของเมสตีจะเข้มขึ้นเมื่อน้ำหนักหายไปมากขึ้น และในช่วงนี้จะเกิดการพองตัวของเมสตีกาแฟด้วย

จากการศึกษาถึงอัตราการหายไปของน้ำหนักของเมสตีกาแฟในขณะคั่ว พบว่ามี 2 อัตราเร็ว⁽⁷⁾ อัตราเร็วอันแรกเกิดจากการระเหยเป็นไอของน้ำออกจากเมสตีกาแฟ ซึ่งเกิดอย่างช้า ๆ อัตราเร็วที่สองเกิดจากไพโรไลซิส ซึ่งเกิดเร็ว นอกจากนี้ ยังพบว่าอัตราการเกิดกาซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 185 องศาเซลเซียส หรือ ณ เวลาที่น้ำหนักของเมสตีกาแฟหายไปร้อยละ 10 ซึ่งเป็นช่วงเริ่มต้นของไพโรไลซิส

ตารางที่ 2-1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของกาแฟดิบ ประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตประมาณร้อยละ 60 ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของกาแฟดิบ และโปรตีน คาเฟอีน ถ้ำ น้ำหนัก ฯลฯ

2.5.1 การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ

กาแฟที่ผ่านการคั่วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทำให้รูปร่าง ขนาด และคุณสมบัติทางกายภาพอื่น ๆ เปลี่ยนไป ได้แก่

2.5.1.1 น้ำหนักที่หายไปทั้งหมด (total weight loss)

โดยทั่วไปมีค่าประมาณร้อยละ 16-18 คิดเป็นน้ำหนักจากความชื้นร้อยละ 10-12 และเป็นน้ำหนักที่หายไปหลังการเกิดไพโรไลซิส ร้อยละ 4-6 องค์ประกอบ

ตารางที่ 2-1 องค์ประกอบทางเคมีของกาแฟดิบ (ไม่รวมความชื้น)*

| Classes and Components | Water Solubility | Per Cent of Green Coffee | | |
|---|--------------------------------|--------------------------|-----------------|----------------|
| | | Item | Total | Soluble |
| 1. Carbohydrates | | | 60 | |
| Reducing sugars | Soluble | 1.0 | | |
| Sucrose | " | 7.0 | | |
| Pectins | " | 2.0 | | |
| | | <u>10.0</u> | | 10 |
| Starch | Easily solubilized | 10.0 | | |
| Pentosans | " " | 5.0 | | |
| | | <u>15.0</u> | | .. |
| Hemi-celluloses | Hydrolyzable | 15.0 | | .. |
| Holo-cellulose | Non-hydrolyzable fiber | 18.0 | | |
| Lignin | " | 2.0 | | |
| | | <u>20.0</u> | | .. |
| 2. Oils | Insoluble | | 13 | .. |
| 3. Protein (N x 6.25) | Depends on per cent denatured | | 13 | 4 |
| 4. Ash as oxide | Depends on per cent hydrolyzed | | 4 | 2 |
| 5. Non-volatile acids | | | 8 | |
| Chlorogenic | Soluble | 7.0 | | |
| Oxalic | " | 0.2 | | |
| Malic | " | 0.3 | | |
| Citric | " | 0.3 | | |
| Tartaric | " | 0.4 | | |
| | | <u>8.2</u> | | 8 |
| 6. Trigonelline | Soluble | | 1 | 1 |
| 7. Caffeine (Arabica 1.0%, Robusta 2.0%) | Soluble | | <u>1</u> 100 | <u>1</u> 26 |

* Data averaged from Elder⁽⁹⁾, Lockhart⁽¹⁰⁾, Mabrouk and Deatherage⁽¹¹⁾, Merritt, C. et al.⁽¹²⁾, Winton and Winton⁽¹³⁾, and others.

ที่น้ำหนักหายไปมากที่สุดคือกรดคลอโรเจนิค (chlorogenic acid) กรดนี้ถ้ามีปริมาณลดลงจากร้อยละ 7 เหลือเพียงร้อยละ 4 จะมีผลต่อรสชาติของกาแฟมาก⁽⁸⁾ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นผลผลิตจากไฟโรไลซิสก็สูญเสียไปบางส่วน (อาจสูงถึงร้อยละ 2) แต่คาเฟอีนมีการสูญเสียไปเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

2.5.1.2 การเปลี่ยนแปลง pH

เกิดขึ้นเนื่องจากไฟโรไลซิสของคาร์โบไฮเดรตกลายเป็นกรดคาร์บอกซิลิก (carboxylic acid) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์กระจายอยู่ในเมล็ด ทำให้ pH ของกาแฟลดลงเป็น 5.5-4.9 ขึ้นอยู่กับชนิดของกาแฟ แต่ถ้าคั่วต่อไปเป็นเวลานาน pH จะกลับสูงขึ้น เพราะอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทำให้กรดสลายตัว และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก็ถูกขับออกไป

2.5.1.3 การเปลี่ยนสีและรสชาติ

สีของกาแฟที่เปลี่ยนแปลงหลังการคั่วเกิดขึ้นได้เพราะไฟโรไลซิสของคาร์บอนและโปรตีน แต่รสชาติเปลี่ยนแปลงเนื่องจากโปรตีนและกรดไขมันถูกไฮโดรไลซ์ไป

2.5.2 การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

ขบวนการไฟโรไลซิส ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของกาแฟอย่างมาก รวมถึงการเกิดสารประกอบใหม่ด้วย องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของกาแฟที่เกิดการเปลี่ยนแปลง ได้แก่

2.5.2.1 กรดที่ระเหยง่าย (volatile acids)

ในการศึกษากระบวนการคั่วกาแฟ สิ่งหนึ่งที่นิยมศึกษากันคือ ความสัมพันธ์ระหว่างกรดที่ระเหยง่าย กับอุณหภูมิของเมล็ด สีของเมล็ด และน้ำหนักที่หายไป Polin และ Aims⁽¹⁴⁾ พบว่าอัตราที่กรดระเหยง่ายถูกขับออกไปมีค่าสูงในขณะคั่ว และอัตราสูงสุดที่กรดระเหยง่ายถูกขับออกไปสามารถใช้เป็นเครื่องชี้ว่าเมื่อใดจึงจะหยุดการคั่ว

กรดฟอร์มิก และกรดอะซิติก (formic and acetic acids) ถูกขับออกมาในช่วงแรกของการคั่ว รวมทั้งกรดที่ไม่ระเหย (non-volatile acids) เช่น อัลดีไฮด์ คีโตน เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงปริมาณเหล่านี้มีผลต่อรสชาติมากกว่าสีของกาแฟหรืออุณหภูมิของเมล็ด อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ด้วยก๊าซโครมาโตกราฟีจะให้ผลที่แน่นอนกว่าการสังเกตการเปลี่ยนสี

กรดที่ระเหยง่ายจะมีปริมาณสูงที่สุดก่อนเกิดไพโรไลซิส แต่เมื่อทำการคั่วไปนาน ๆ สีของเมล็ดจะเข้มขึ้น ส่วนปริมาณกรดที่ระเหยง่ายจะลดลง การคั่วที่เหมาะสมจะมีกรดที่ระเหยง่ายอยู่ในระดับที่ให้อร่อยดี แต่ถ้าเกิดไพโรไลซิสมากเกินไป กรดที่ระเหยง่ายจะถูกขับออกหมด

2.5.2.2 น้ำตาลซูโครส

มีอยู่ประมาณร้อยละ 7 น้ำตาลซูโครสอาจจะถูกคาราเมลไลซ์ (caramelized) ได้สารโพลีเมอร์ หรือสลายตัวไปเป็นสารประกอบคาร์บอนสายสั้น ๆ (carbon short chain) ซึ่งอาจทำปฏิกิริยาต่อไปได้ผลิตภัณฑ์ที่ซับซ้อน หรืออาจทำปฏิกิริยากับโปรตีน เกิดสารประกอบที่ซับซ้อน (complex) ที่ให้อร่อยดี

เมื่อคั่วน้ำตาลออกจากซูโครส (dehydration) แล้วทำไฮโดรไลซ์ (hydrolyze) จะให้น้ำตาลเดี่ยวๆ แต่ถ้าคั่วน้ำตาล และทำโพลีเมอร์ไรซ์ (polymerize) จะได้สารที่ให้น้ำตาล หรืออาจถูกย่อยให้สารประกอบอินทรีย์ที่ระเหยง่าย น้ำ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2.5.2.3 กรดที่ไม่ระเหย (non-volatile acids)

กรดคาร์บอกซิลิก เป็นกรดที่ไม่ระเหยที่เกิดจากการสลายตัวของคาร์โบไฮเดรตเมื่อได้รับความร้อน กรดนี้มีผลต่อค่า pH ของกาแฟ

กรดฟีนอลิกมีอยู่ในปริมาณต่ำ ไม่มีผลต่อค่า pH แต่มีผลต่อรสและกลิ่นของกาแฟ

2.5.2.4 สารที่ระเหยง่าย (volatiles)

เป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นในกาแฟ เกิดจากการสลายตัวด้วยความร้อนของสารประกอบอินทรีย์บางตัว และถูกกักเก็บไว้ในเซลล์ของเมล็ด

สารที่ระเหยง่ายนี้แม้จะมีในปริมาณน้อย (ร้อยละ 0.04 ของน้ำหนักกาแฟ) ก็มีผลต่อรสชาติอย่างมาก สารที่ระเหยง่ายส่วนใหญ่เป็นอัลดีไฮด์ และคีโตนที่เกิดจากการแตกตัวของโปรตีน และคาร์โบไฮเดรตภายใต้ความร้อน

2.5.2.5 โปรตีน

มีอยู่ประมาณร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงของโปรตีนมีผลต่อรสชาติมาก โปรตีนที่ถูกเปลี่ยนสภาพจะมีความสามารถในการละลายน้ำลดลง แต่ไม่เป็นอุปสรรคต่อการสกัดในอุตสาหกรรม เพราะใช้สภาวะการสกัดที่รุนแรง

โปรตีนสามารถถูกไฮโดรไลซ์ต่อไปได้ เปปไทด์ กรดอะมิโน เอมีน ไตซ์ลไฟต์ ซึ่งถูกกักอยู่ใน เมล็ดกาแฟ และละลายออกมาเมื่อทำการสกัด การไฮโดรไลซ์โปรตีนนอกจากจะให้สารที่ ให้กลิ่นรสแล้ว ยังทำให้เกิดสารที่จะทำปฏิกิริยากับสารอื่น เกิดกลิ่นและรสได้เช่นกัน

2.5.2.6 คาเฟอีน (caffeine)

ไม่ละลายตัวในระหว่างการคั่ว แต่อาจมีบางส่วนระเหิดไปที่ 176 องศาเซลเซียส เมื่อลดอุณหภูมิของการคั่วลง การระเหิดก็จะน้อยลง กาแฟที่สกัดคาเฟอีน ออกไม่มีผลทำให้รสชาติเปลี่ยนไป

2.5.2.7 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

โดยปกติเมล็ดกาแฟไม่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ แต่เกิดขึ้นใน ระหว่างการคั่ว โดยมากเกิดจากการสลายตัวของกรดคาร์บอกซิลิกในกระบวนการไพโรไลซิส ให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณร้อยละ 1-2 กาแฟคั่วที่ยังมีไบบัค เก็บรักษาปริมาณกาซ- คาร์บอนไดออกไซด์ได้ดีกว่ากาแฟคั่วที่บดแล้ว เพราะมีพื้นที่ผิวสำหรับดูดความชื้น และปล่อยกาซ- คาร์บอนไดออกไซด์ออกป็น้อยกว่า ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่อยู่ในเมล็ดช่วยป้องกันการ- แพร่เข้าของอากาศและความชื้น และเป็นการยับยั้งการเกิดกลิ่นเหม็นหืน และยังเก็บรักษา ไตซ์น่านขึ้น

2.5.2.8 น้ำมัน

น้ำมันของกาแฟมีอยู่ร้อยละ 12 และในจำนวนนี้ร้อยละ 95 ไม่เปลี่ยน- แปลงขณะคั่ว แต่ไขมันของกาแฟที่มีกรดไขมันอิ่มตัวเป็นส่วนประกอบ เช่น glyceride จะถูก ไฮโดรไลซ์ไปเป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) และ กลีเซอริน (glycerine) เกิดกลิ่นกาแฟ เวลาชงกาแฟจะมีไขมันลอยอยู่ที่ผิว

ในการให้ความร้อน จะทำให้โปรตีนที่ปนอยู่กับไขมันเปลี่ยนไปจากเดิม ไขมันที่ถูกกักไว้จะถูกปล่อยออกมา และเกิดการรวมตัวกันเป็นหยด และในขณะคั่ว ผิวเมล็ด กาแฟจะอ่อนตัวลง ทำให้ไขมันทะลุออกมาได้ ผิวของเมล็ดกาแฟคั่วจึงเป็นมันเงา

นอกจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่กล่าวมานี้ ยังมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กลีโคแซ่ แป้ง pentosans ซึ่งมีได้กล่าวในรายละเอียด ตารางที่ 2-2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของกาแฟคั่ว

ตารางที่ 2-2 องค์ประกอบทางเคมีของกาแฟคั่ว (ไม่รวมความชื้น)*

| | Per Cent | |
|---|----------|------------|
| | Solubles | Insolubles |
| 1. Carbohydrates (53%) | | |
| Reducing sugars | 1-2 | ... |
| Caramelized sugars | 10-17 | 7-0 |
| Hemi-cellulose (hydrolyzable) | 1 | 14 |
| Fiber (not hydrolyzable) | ... | 22 |
| 2. Oils | ... | 15 |
| 3. Proteins ($N \times 6.25$); amino acids are soluble | 1-2 | 11 |
| 4. Ash (oxide) | 3 | 1 |
| 5. Acids, non-volatile | | |
| Chlorogenic | 4.5 | ... |
| Caffeic | 0.5 | ... |
| Quinic | 0.5 | ... |
| Oxalic, Malic, Citric, Tartaric | 1.0 | ... |
| Volatile acids | 0.35 | ... |
| 6. Trigonelline | 1.0 | ... |
| 7. Caffeine (Arabicas 1.0, Robustas 2.0%) | 1.2 | ... |
| 8. Phenolics (estimated) | 2.0 | ... |
| 9. Volatiles | | |
| Carbon dioxide | Trace | 2.0 |
| Essence of aroma and flavor | 0.04 | ... |
| Total | 27 to 35 | 73 to 65 |

* Data averaged from Elder⁽⁹⁾, Lockhart⁽¹⁰⁾, Mabrouk and Deatherage⁽¹¹⁾, Merritt, C. et al.⁽¹²⁾, Winton and Winton⁽¹³⁾, and others.

2.6 อิทธิพลของระดับของการคั่ว (Effect of degree of roasting)

เวลาที่ใช้ในการคั่วกาแฟมีผลต่อสีของกาแฟมาก รวมถึงคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีด้วย ตารางที่ 2-3 แสดงความสัมพันธ์ของร้อยละน้ำหนักที่หายไป กับสีที่เกิดขึ้น และชื่อของระดับของการคั่ว

ตารางที่ 2-3 แสดงความสัมพันธ์ของร้อยละน้ำหนักที่หายไปกับสีที่เกิดขึ้น (Sivetz⁽⁷⁾)

| ชื่อระดับของการคั่ว | ร้อยละน้ำหนักที่หายไป | สีของเมล็ดกาแฟคั่ว |
|------------------------|-----------------------|--------------------|
| cinnamon | 12 | reddish brown |
| medium high-city roast | 14 | deep brown |
| full city | 16 | dark brown |
| French | 18 | very dark brown |
| Italian | 20 | black burnt |

นอกจากนี้ ระดับของการคัวยังมีผลต่อคุณสมบัติอื่น ๆ ของกาแฟ คือ

2.6.1 ความเป็นกรด (acidity)

pH ของกาแฟขึ้นกับระดับของการคั่ว คือ

- คั่วอย่างอ่อน (light roasting) จะให้ความเป็นกรดสูง
- คั่วอย่างแก่ (dark roasting) จะให้ความเป็นกรดต่ำ

ถ้ากาแฟที่ได้มี pH ต่ำเกินไป (ปกติประมาณ 5) จะทำให้หมักที่เติมลงไปเวลาบรีก

เกิดการสับเป็นก้อน

2.6.2 สารละลายน้ำที่สกัดได้

ระดับของการคั่วมีผลต่อปริมาณสารละลายน้ำ (water solubles) ที่สกัดได้โดยการสกัดด้วยน้ำร้อน 100 องศาเซลเซียส จะได้อัตราที่ละลายน้ำดังนี้คือ

- สารที่ละลายน้ำ ร้อยละ 23 สำหรับ cinnamon และได้
- สารที่ละลายน้ำ ร้อยละ 21 สำหรับ full city

2.7 สารที่ละลายน้ำได้ (water-soluble substances)

ส่วนของกาแฟที่ละลายน้ำได้ เป็นกลุ่มสารที่มีความสำคัญมาก เพราะสารเหล่านี้เป็นส่วนที่ผู้บริโภคได้รับในการดื่มกาแฟ สารที่ละลายน้ำได้นี้จะละลายออกมาในน้ำเดือด ซึ่งจะมีปริมาณต่างกันตามแต่ชนิดของกาแฟและระดับของการคั่ว โดยทั่วไปกาแฟดิบมีปริมาณสารที่ละลายน้ำได้ประมาณร้อยละ 26 แต่สำหรับกาแฟพันธุ์โรบัสต้า จะมีปริมาณมากขึ้นอีกประมาณร้อยละ 2

การวิเคราะห์ปริมาณสารที่ละลายน้ำได้ เป็นการวิเคราะห์ทางเคมีอย่างหนึ่งที่จะบอกคุณภาพของกาแฟตัวได้ วิธีการวิเคราะห์มีด้วยกันหลายวิธี ได้แก่วิธีของ Novellier และคณะ⁽¹⁵⁾, วิธีของ Jakober และ Staub⁽¹⁶⁾ วิธีของ AOAC⁽¹⁷⁾ ซึ่งไม่ว่าจะใช้วิธีใด ก็จะได้ผลที่ใกล้เคียงกันมาก

ศูนย์วิทยพัชยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย