บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

2.1.1 ช่วงเพิ่มอุณหภูมิวัสดุ (Heat up Period)

ในช่วงแรกของการอบแห้งความร้อนที่ให้กับวัสดุจะอยู่ในรูปของความร้อนสัมผัส โดยทำให้อุณหภูมิของวัสดุสูงขึ้นจนถึงจุดเดือดของน้ำในวัสดุ ซึ่งจะเป็นช่วงที่ใช้ปริมาณความร้อนสูง และถ้า Degree of superheat ไม่สูงพอจะทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำที่ผิววัสดุ ซึ่งจะทำให้ความชื้นในวัสดุเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณไอน้ำกลั่นตัวจะขึ้นอยู่กับ Thermal diffusivity ของวัสดุ ($\alpha = k/\rho c_p$) ความชื้นในวัสดุ และ Degree of superheat

2.1.2 ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant Drying Rate Period)

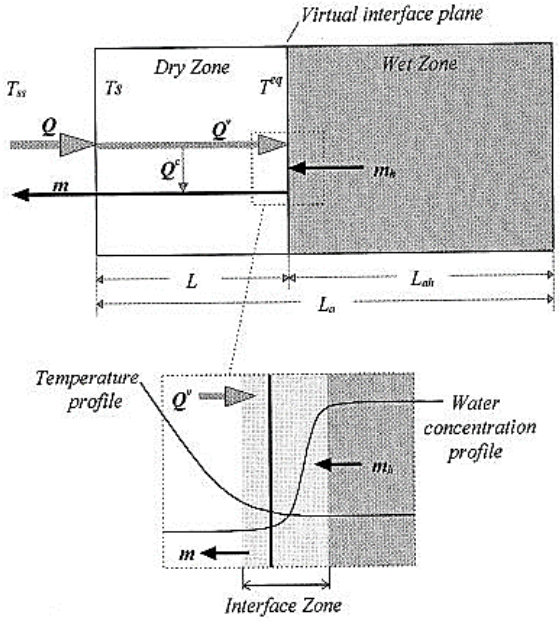
ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่สำหรับการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง เป็นการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลที่เกิดขึ้นเฉพาะที่รอบๆ ผิวของวัสดุ การนำความร้อนจะผ่านจากไอน้ำไปยังที่ผิวด้านนอกของวัสดุ โดยมีผลต่างของอุณหภูมิระหว่างไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับผิววัสดุเป็นตัวผลักดัน และเนื่องจากโดยรอบวัสดุเต็มไปโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ดังนั้นการถ่ายเทความชื้นที่ผิวด้านนอกจึงไม่ได้เกิดจากการแพร่เหมือนกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อน แต่เกิดจากการระเหยน้ำที่ผิวด้านนอกของวัสดุไปในทันทีโดยมีกลไกการพามวลของน้ำมาจากภายในวัสดุ อุณหภูมิของวัสดุจะคงที่ที่จุดเดือดของน้ำที่ความดันในระบบจนกระทั่งความชื้นของวัสดุลดลงถึงความชื้นวิกฤต ความร้อนที่ถ่ายเทโดยการพาจากไอน้ำร้อนยวดยิ่งไปยังวัสดุมีค่าเท่ากับความแตกต่างของเอนทัลปีของไอน้ำร้อนยวดยิ่ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.3 ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Drying Rate Period)

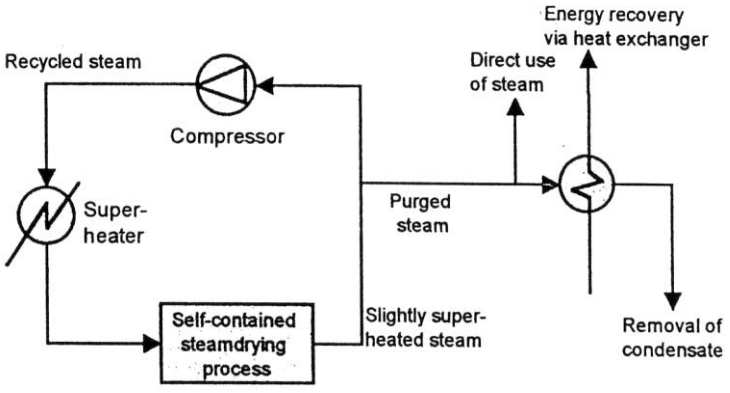
ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงความชื้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤต การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้น อัตราการอบแห้งลดลงจะเกิดเมื่อปริมาณน้ำในวัสดุมีน้อยลง ทำให้ชั้นวัสดุซึ่งถัดจากผิวด้านนอกแห้ง เรียกว่า ชั้นแห้ง (Dry layer) การนำความร้อนจะผ่านจากไอน้ำไปยังผิวด้านนอกของวัสดุชั้นแห้งและภายในวัสดุชั้นเปียกหรือโซนเปียก (Wet zone) ตามลำดับ ดังภาพที่ 2.1 โดยมีผลต่างของอุณหภูมิระหว่างไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับแต่ละโซนดังกล่าวในวัสดุเป็นตัวผลักดัน ในกรณีของการถ่ายเทความชื้นจะเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณชั้นแห้ง

โดยการระเหยน้ำในชั้นแห้งไปในทันที โดยมีผลต่างของความดันไอน้ำร้อนยวดยิ่งและความดันไอในวัสดุเป็นตัวผลักดัน ชั้นแห้งจะแผ่ขยายเข้าไปยังโซนเปียก ภายในโซนเปียกจะไม่มีการระเหยเกิดขึ้น นอกจากนี้ชั้นแห้งยังเพิ่มความต้านการนำความร้อน ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง



ภาพที่ 2.1 ลักษณะทางกายภาพของชั้นแห้งและโซนเปียกในการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Elustondo et al., 2001)

ในระหว่างการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ไอน้ำจะต้องมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดควบแน่นของน้ำตลอดเวลาเพื่อป้องกันการควบแน่นของไอน้ำบนผิววัสดุ อย่างไรก็ตาม ในช่วงแรกอาจมีการควบแน่นของไอน้ำที่ผิววัสดุเมื่อเริ่มใส่วัสดุเข้าไปในห้องอบแห้ง ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขโดยให้ความร้อนแก่วัสดุก่อนทำการอบแห้ง



ภาพที่ 2.2 ระบบการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (Deventer and Hejimans, 2001)

จากภาพที่ 2.2 แสดงตัวอย่างระบบอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ผ่านห้องอบแห้งจะนำกลับมาใช้ใหม่ในระบบ ส่วนไอน้ำที่ระเหยจากวัสดุยังมีความร้อนอยู่ คือความร้อนแฝงที่เกิดจากการระเหย ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นตัวกลางในระบบได้ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้สูงขึ้น จากนั้นไอน้ำจะไหลเวียนผ่านการเพิ่มความร้อน ปริมาณน้ำที่ระเหยที่มากเกินพอและอุณหภูมิยังสูงอยู่ อาจนำไปใช้ในงานอื่น ๆ ได้อีก ซึ่งเป็นการนำพลังงานกลับมาใช้อย่างมีประสิทธิภาพ

การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนั้นได้นำมาใช้ในการอบแห้งอาหารมากขึ้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นได้ว่าการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งนั้นให้อัตราการอบแห้งสูงและทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการเสื่อมคุณภาพที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยลมร้อน ส่วนข้อดีในแง่ของคุณภาพของผลิตภัณฑ์นั้นมีดังนี้

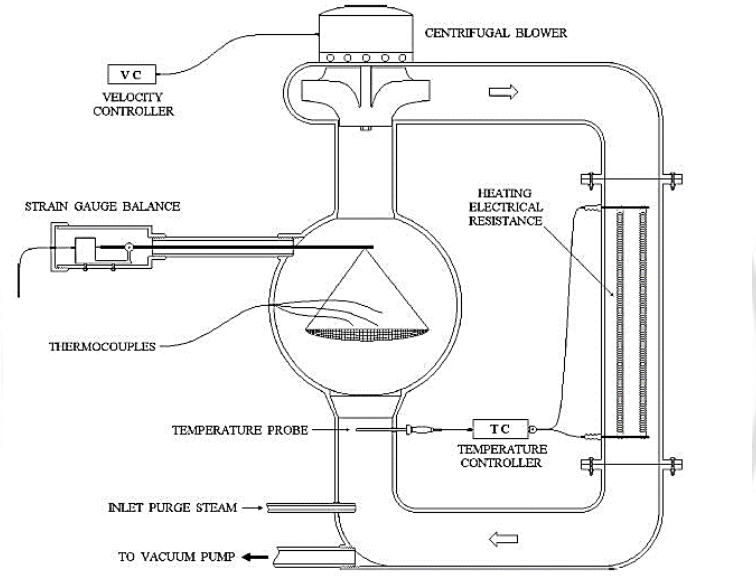
1. ไม่เกิดปฏิกิริยายาออกซิเดชั่น (เช่น การเกิดสีน้ำตาล การเกิดออกซิเดชั่นของไขมัน) เนื่องจากไม่มีออกซิเจนในกระบวนการอบแห้ง
2. สามารถลดการแข็งบริเวณผิวของผลิตภัณฑ์ (Case hardening) ได้ เนื่องจากสามารถดึงเอาน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้อย่างรวดเร็ว
3. ความเป็นรูพรุนที่สูงเนื่องจากไอน้ำที่อยู่ในผลิตภัณฑ์นั้นระเหยออกมาได้เร็ว ทำให้การหดตัวน้อย และสามารถคืนกลับสภาพเดิมเมื่อเติมน้ำได้เร็วมาก

อย่างไรก็ตาม ข้อจำกัดของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งคือไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่มีความไวต่อความร้อนที่สูง เช่น ผักและผลไม้ เพราะว่าผักและผลไม้ส่วนมากจะเกิดความเสียหายเมื่อใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้ง และการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันบรรยากาศนั้นต้องใช้อุณหภูมิที่สูงในการอบแห้ง การใช้ระบบความดันต่ำร่วมกันการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งหรือ เรียกว่า การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำจะช่วยลดอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำลงซึ่งผลที่ได้ คือสามารถรักษาสี คุณค่าทางโภชนาการ การหดตัวและเนื้อสัมผัสได้ดี

ความดันไอของไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีความสำคัญในการอบแห้ง เนื่องจากเป็นตัวกำหนดจุดเดือดของน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ ในกรณีที่ความดันไอน้ำประมาณ 1 bar เท่ากับความดันบรรยากาศ ซึ่งอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำประมาณ 100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ใช้จะต้องมากกว่า 100 องศาเซลเซียส การอบแห้งวิธีนี้ไม่เหมาะกับวัสดุที่ไวต่อความร้อนดังที่กล่าวมา เพราะคุณภาพของวัสดุมีการสูญเสีย แต่สามารถปรับปรุงและพัฒนาการใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเพื่ออบแห้งวัสดุที่ไวต่อความร้อน Elustondo et al. (2002) ได้ทดลองทำการอบแห้ง กล้วย แอปเปิล มันสำปะหลัง มันฝรั่ง ไม้ และกุ้ง โดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำกว่าบรรยากาศ (SAPSS : sub atmospheric pressure

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

superheated steam) และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายการอบแห้งและเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองกับการทดลองโดยใช้ความดันช่วง 0.1 – 0.2 บรรยากาศ (Boiling point 45 – 60 องศาเซลเซียส) และใช้อุณหภูมิอบแห้งของไอน้ำร้อนยวดยิ่งสูงกว่าจุดเดือดในช่วง 60 – 90 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถอบแห้งได้ดีโดยเฉพาะวัสดุที่มีรูพรุนการคายน้ำออกจะง่ายและช่วยลดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรได้ และแบบจำลองสามารถทำนายได้ดีกับทุกวัสดุที่ทำการทดลองส่วนการลดความดันทำได้โดยติดตั้งปั๊มสุญญากาศที่ห้องอบแห้ง



ภาพที่ 2.3 ระบบการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำ (Elustondo et al., 2002)

จากภาพที่ 2.3 แสดงตัวอย่างเครื่องอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำมีส่วนประกอบสำคัญ คือ ห้องอบแห้ง ปั๊มสุญญากาศและถังพักไอน้ำโดยมีแหล่งกำเนิดไอน้ำที่ใช้โดยทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมเป็นตัวป้อนไอน้ำเข้าเครื่องอบแห้ง หลักการของเครื่องอบแห้งนี้คือแหล่งกำเนิดไอน้ำส่งไอน้ำมาและพักไว้ในถังพักไอน้ำ เพื่อลดความดันไอน้ำลงจากระดับสูงให้เหลือประมาณ 1 – 2 bar จากนั้นจึงปล่อยไอน้ำเข้าสู่ห้องอบแห้งซึ่งอยู่ในสภาวะสุญญากาศอย่างช้า ๆ โดยไอน้ำอิ่มตัวจะเปลี่ยนสถานะเป็นไอน้ำร้อนยวดยิ่ง ซึ่งสามารถใช้เป็นตัวกลางในการอบแห้งได้และมีพัดลมเป็นอุปกรณ์ช่วยในการกระจายไอน้ำให้สม่ำเสมอในห้องอบแห้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 ความชื้นในวัสดุ (Moisture Content, M)

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลวัสดุชื้นหรือมวลวัสดุแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบคือ

2.2.1 ความชื้นมาตรฐานเปียก

นิยมใช้ในเชิงพาณิชย์ โดยทั่วไปจะอ้างถึงในภาพของเปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

$$M_W = \frac{(w - d)}{w} \qquad (2.1)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, เศษส่วน

w คือ มวลของวัสดุ, kg

d คือ มวลของวัสดุแห้งที่ไม่มีความชื้น, $kg_{\text{dry product}}$

2.2.2 ความชื้นมาตรฐานแห้ง

นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎีเพราะมวลแห้งจะมีค่าคงที่ตลอดการอบแห้ง

$$M_d = \frac{(w - d)}{d} \qquad (2.2)$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง, เศษส่วน

2.2.3 ความชื้นสมดุล (Equilibrium Moisture Content, M_{eq})

เมื่อทำการอบแห้งวัสดุโดยใช้สภาวะอากาศคงที่ เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ ความชื้นของวัสดุจะลดต่ำลงจนกระทั่งความชื้นในวัสดุมีความดันไอเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่รอบ ๆ และอุณหภูมิของวัสดุก็เท่ากับอุณหภูมิของอากาศรอบ ๆ เรียกว่า ความชื้นสมดุล ซึ่งความชื้นสมดุลจะขึ้นอยู่กับ ชนิดของวัสดุ อุณหภูมิ และวอเตอร์แอคติวิตี้ (Water activity) ในวัสดุ

2.3 จลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง (Drying Kinetics)

2.3.1 สมการจลนพลศาสตร์การอบแห้งทางทฤษฎี (Theoretical Drying Equation)

กลไกการอบแห้งวัสดุที่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน ซึ่งอยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงมีกระบวนการพื้นฐานที่สำคัญ คือ กระบวนการถ่ายเทความร้อนที่ผิวภายนอกของผลิตภัณฑ์จะมีการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศร้อน ทำให้น้ำที่ผิวของผลิตภัณฑ์ระเหยกลายเป็นไอออกไป และกระบวนการเคลื่อนย้ายของน้ำในผลิตภัณฑ์เมื่อน้ำที่ผิวของผลิตภัณฑ์ระเหยออกไปจะทำให้น้ำที่อยู่ภายในของผลิตภัณฑ์มาที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นน้ำที่ผิวก็จะกลายเป็นไอระเหยออกไป (Luikov, 1966)โดยมีรูปแบบสมการทั่วไป คือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla^2 DM \qquad (2.3)$$

เมื่อ M คือ ค่าความชื้นของวัสดุ, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

D คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น, m^2/h

t คือ เวลาอบแห้ง, h

จากสมการ (2.3) Crank (1975) ได้หาความสัมพันธ์ของสมการอัตราการอบแห้งแบบชั้นบางของวัสดุทรงกลม (sphere) จะได้สมการจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งสำหรับการแพร่ความชื้นของวัสดุดังสมการ (2.4)

$$\overline{MR} = \left(\frac{6}{\pi^2}\right)\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n}\exp(-n^2\pi^2 Dt/r^2) \qquad (2.4)$$

เมื่อ $\overline{MR}$ คือ อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ยโดย $\overline{MR} = \frac{M - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}}$

M_{in} คือ ความชื้นเริ่มต้น, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

M_{eq} คือ ความชื้นสมดุล, เศษส่วนมาตรฐานแห้ง

t คือ เวลาอบแห้ง, h

D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น, m^2/h

r คือ รัศมีของทรงกลม, m

2.3.2 สมการจลนพลศาสตร์การอบแห้งกึ่งทฤษฎี *(Semi-Theoretical Drying Kinetic Equation)*

สมการจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งกึ่งทฤษฎี สามารถสร้างสมการง่าย ๆ โดยการสมมติอัตราการอบแห้งภายใต้สภาวะคงที่แปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลต่างของความชื้นของผลิตภัณฑ์และความชื้นสมดุล ข้อสมมุติฐานดังกล่าวคล้ายกับกฎการเย็นตัวของ Newton

$$\frac{dM}{dt} = -k\left(M - M_{eq}\right) \qquad (2.5)$$

เมื่อ k คือ ค่าคงที่ของการอบแห้ง, h^{-1}

เมื่อกำหนดให้เงื่อนไขเริ่มต้น $M(0) = M_{in}$ และ $M(t) = M$ โดยการอินทิเกรตสมการที่ (2.5) จะได้

$$\int_{M_{in}}^{M_{(t)}} \frac{1}{M - M_{eq}}\, dM = -\int_0^t k\, dt \qquad (2.6)$$

$$\ln\left(\frac{M_{(t)} - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}}\right) = -kt \qquad (2.7)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

และเมื่อแทนค่า $\overline{MR} = \left(\frac{M_{(t)} - M_{eq}}{M_{in} - M_{eq}} \right)$ ลงในสมการที่ (2.7) จะได้

$$\overline{MR} = \exp(-kt) \qquad (2.8)$$

ค่าคงที่ของการอบแห้ง (k) เป็นคุณสมบัติเฉพาะของผลิตภัณฑ์หนึ่ง ๆ ภายในช่วงสภาวะอากาศอบแห้งและวัสดุอบแห้งที่ทำการทดลองเท่านั้น สมการกึ่งทฤษฎีนี้จะสามารถใช้ได้ดีต่อเมื่อวัสดุอบแห้งมีลักษณะใกล้เคียงกับการทดลองเท่านั้น

2.3.3 สมการจลนพลศาสตร์การอบแห้งเอมไพริเคิล (Empirical Drying Equation)

สมการจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งเอมไพริเคิล คือ สมการที่สร้างจากแนวโน้มข้อมูลการทดลองสำหรับเมล็ดพืชและผลิตภัณฑ์ในช่วงอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศอบแห้งหนึ่งๆ ซึ่งพบว่าสามารถใช้ทำนายอัตราการอบแห้งได้ดี แต่มีข้อจำกัดในเรื่องเงื่อนไขในการอบแห้งที่ต้องตรงกับสภาวะการทดลอง สำหรับสมการจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งเอมไพริเคิลที่นิยมใช้ คือ สมการ Page (1949) มีรูปแบบสมการ

$$MR = \exp(-kt^n) \qquad (2.9)$$

เมื่อ k, n คือ ค่าคงที่

2.4 สัมประสิทธิ์การแพร่ปรากฏ (Effective Diffusion Coefficient)

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ปรากฏ (D_{eff}) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญในกระบวนการอบแห้ง ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ปรากฏจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแตกต่างของความดันไอภายในและภายนอกของวัสดุเป็นสำคัญ เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งวัสดุจะทำให้ค่าความดันไอภายในและภายนอกแตกต่างกันมากขึ้น ถ้าความดันไอภายนอกต่ำกว่าความดันไอภายในวัสดุ จะทำให้น้ำภายในวัสดุซึมผ่านออกมาได้ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ปรากฏจะแปรผันตามอุณหภูมิของวัสดุ ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่ปรากฏกับอุณหภูมิ อธิบายได้ตามรูปแบบสมการของ Arrhenius ดังนี้

$$D_{eff} = D_o \exp\left[-\frac{E_a}{RT_{abs}} \right] \qquad (2.10)$$

เมื่อ D_o คือ Arrhenius factor , m^2/h

E_a คือ Energy of activation kJ/mol

R คือ ค่าคงที่สากลของก๊าซ (8.314 kJ/mol. K)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5 คุณภาพของผลิตภัณฑ์

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและเกี่ยวข้องทั้งการถ่ายเทมวลสารและการถ่ายเทความร้อนโดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนั้นเกิดทั้งทางกายภาพและทางโครงสร้าง คุณภาพสุดท้ายที่ได้จากการอบแห้งอาหารส่วนหนึ่งก็ขึ้นกับคุณภาพตอนเริ่มต้น นอกจากนี้ยังขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการอบแห้งด้วย

2.5.1 การหดตัว (Shrinkage)

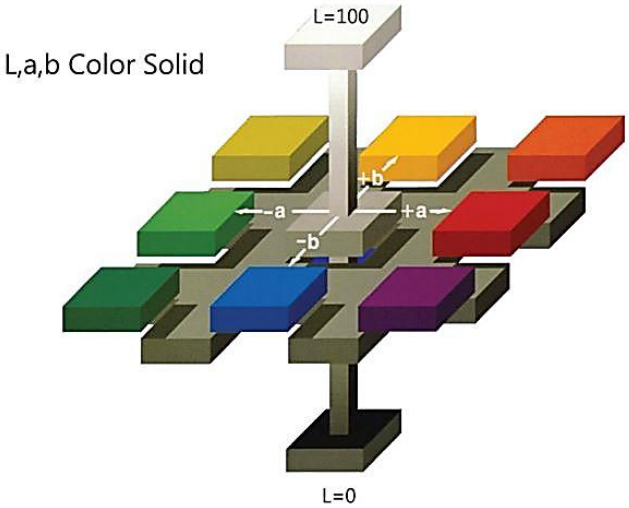
ความชื้นจะมีการเคลื่อนย้ายตัวระหว่างการอบแห้ง ซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในและทำให้เกิดการหดตัวของผลิตภัณฑ์ โดยการหดตัวอาจจะเกิดขึ้นเนื่องจาก 2 เหตุผล อย่างแรกเนื่องจากเมื่อโครงสร้างที่เคยมีน้ำอยู่ แล้วน้ำหายไปหรือมีอากาศเข้ามา เนื้อเยื่อไม่สามารถที่จะยึดโครงข่ายของโครงสร้างทั้งหมดไว้ได้ อย่างที่สองคือ เกิดการพังทลายของโครงสร้างภายใน กรณีนี้ที่ผิวของผลิตภัณฑ์จะแข็งตัว ซึ่งในกรณีนี้แม้โครงสร้างภายในของผลิตภัณฑ์จะพังทลาย ปริมาตรส่วนใหญ่อาจเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเท่านั้น

2.5.2 สี (Color)

คุณสมบัติทั้งทางเคมีและทางกายภาพของอาหารจะเปลี่ยนแปลงไปหลังการอบแห้ง เม็ดสีพวกแคโรทีนอยด์และแอนโธไซยานินจะซีดจางลงถ้าใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลานาน หรือใช้สารบางชนิดในการอบแห้งเพื่อยับยั้งปฏิกิริยาของเอนไซม์ เช่น รมควันด้วยกำมะถัน จะทำให้สีของอาหารซีดจางลง เป็นต้น ซึ่งในการวิเคราะห์คุณภาพของอาหารโดยการวัดสีนั้นก็มีหลายวิธีแต่ที่นิยมใช้กัน คือ การวัดสีด้วยเครื่องวัดสี ColorQuest 2 Colorrimeter จะได้ค่าสีในระบบฮันเตอร์ (Hunter Lab) โดย

ค่าสี	L คือ ความสว่าง	เมื่อ +L แสดงถึงสีขาว
		เมื่อ –L แสดงถึงสีดำ
	a คือ ค่าสีแดง/เขียว	เมื่อ +a แสดงถึงสีแดง
		เมื่อ -a แสดงถึงสีเขียว
	b คือ ค่าสีเหลือง/น้ำเงิน	เมื่อ +b แสดงถึงสีเหลือง
		เมื่อ -b แสดงถึงสีน้ำเงิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.4 แผนภาพสีของระบบ Hunter color

2.5.3 เนื้อสัมผัส (Texture)

ลักษณะทางเนื้อสัมผัสในอาหารเป็นผลประกอบกันของคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ ซึ่งรวมไปถึงขนาดรูปร่าง จำนวน และการจัดเรียงตัวของโครงสร้างของสารนั้น ๆ ดังนั้นลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารจึงมีความจำเป็นและสำคัญอย่างมากต่อการยอมรับของผู้บริโภค ลักษณะเนื้อสัมผัสอาหารใช้เป็นตัวชี้ถึงลักษณะส่วนประกอบและโครงสร้างภายในอาหารซึ่งคุณภาพสำคัญของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ความเหนียวนุ่มหรือความยืดหยุ่นรวมทั้งความแข็งและลักษณะเนื้อสัมผัสแบบต่าง ๆ เป็นลักษณะที่ซับซ้อนซึ่งอาจใช้ความรู้สึกโดยสัมผัสทางปาก (Mouth Feeling) หรือมีเทคนิคการวัดแบบ Mechanical Analysis Test เช่นCompression Test, Stress Relaxation Tests, Creep Tests และ Dynamic Mechanical Analysis Test ซึ่งค่าที่วัดได้จะอยู่ในรูปของ Applied Force แบบต่าง ๆ เช่น Stress, Strain, Shear Force, Rupture Force หรือ Elastic Modulus สามารถแปรค่านั้นเป็นความเหนียว ความแข็ง หรือความกรอบได้โดยวิธี Texture Profile Analysis

2.5.4 การคืนตัว (Rehydration)

การคืนตัวไม่ใช่ปฏิกิริยาย้อนกลับของการอบแห้ง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงด้านลักษณะเนื้อสัมผัส การเคลื่อนที่ของตัวทำละลายและการสูญเสียสารระเหยไม่สามารถเกิดแบบย้อนกลับไปเหมือนเดิมได้ ความร้อนสามารถลดระดับการคืนตัวและความยืดหยุ่นของผนังเซลล์ทำให้โปรตีนจับตัวกันและลดความสามารถในการอุ้มน้ำ อัตราเร็วและระดับของการคืนตัวอาจจะใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพของอาหารได้ อาหารที่แห้งภายใต้สภาวะที่เหมาะสมมากกว่าจะเกิดความเสียหายน้อยกว่าและดูดคืนน้ำได้เร็วกว่าอาหารที่ทำแห้งที่สภาวะเหมาะสมน้อยกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved