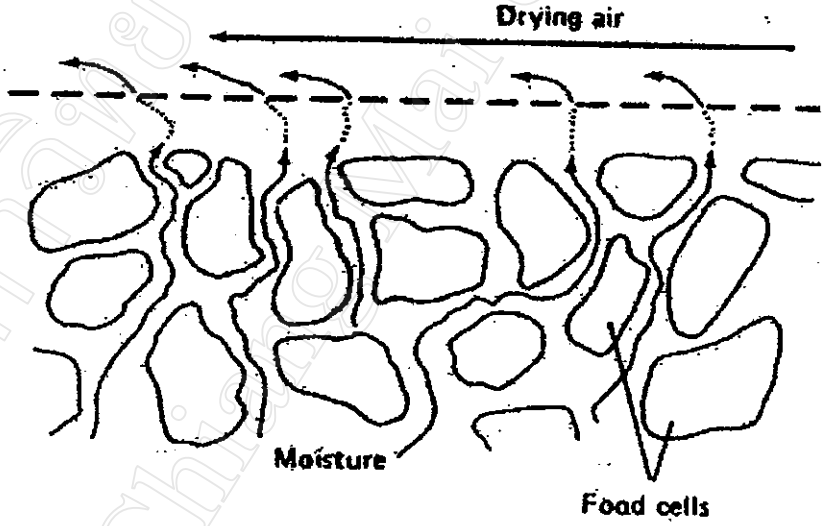
บทที่ 2

ตรวจเอกสาร

2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง

คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร (2543) ได้อธิบายการอบแห้ง (Drying) ว่าคือ การลดความชื้นของอาหารจนถึงระดับที่สามารถระงับการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ได้ คือ มีค่าวอเตอร์แอกทิวิตี (water activity, Aw) ต่ำกว่า 0.70 จึงจะสามารถเก็บรักษาได้นาน การลดความชื้นนั้นมีกลไกการทำแห้งคือ เมื่อลมร้อนพัดผ่านผิวอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหารและน้ำในอาหารจะระเหยออกด้วยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยอากาศร้อนที่เคลื่อนที่ ดังรูป 2.1



รูปที่ 2.1 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการลดความชื้น

ซึ่งจากสถาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหาร เป็นผลทำให้เกิดความแตกต่างของความดันไอขึ้น โดยอาหารด้านในจะค่อยๆมีความดันไอสูงขึ้น และจะต่ำลงเมื่อความชื้นของอาหารเข้าใกล้ความชื้นของอากาศแห้ง ซึ่งความแตกต่างที่

ว่านี้ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารขึ้น การเคลื่อนที่ของน้ำเมื่อได้รับพลังงานความร้อนจากภายในอาหารออกมามี 2 วิธี คือ

1. การเคลื่อนที่ของน้ำด้วยแรงผ่านช่องแคบ (capillary force)
   เป็นการเคลื่อนที่ผ่านช่องว่างระหว่างเซลล์ต่อเนื่องกันเป็นทางแคบๆ และเกิดแรงดันของน้ำขึ้นตามท่อ การเคลื่อนที่ของน้ำจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว
2. การเคลื่อนที่ของน้ำด้วยการแพร่ (Diffusion)
   เป็นการเคลื่อนที่ไม่มีช่องว่างระหว่างเซลล์ที่ต่อเนื่องเป็นทางแคบๆ โดยการเคลื่อนที่ของน้ำจะเกิดโดยการแพร่ผ่านเซลล์ทำให้การเคลื่อนที่เกิดขึ้นได้ช้า

เมื่อความร้อนถูกเป่าผ่านอาหารที่เปียกชื้น ความร้อนจะเกิดการถ่ายเทไปที่ผิวนอกของอาหาร ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (Latent heat of vaporization) ทำให้น้ำกลายเป็นไอและแพร่กระจายผ่าน Boundary film ของอากาศ และพาไอน้ำระเหยออกไป ทำให้บริเวณผิวนอกของอาหารจะมีความดันไอของไอน้ำลดลง เกิดความแตกต่างของความดันไอของน้ำระหว่างอากาศภายนอกกับความชื้นภายในอาหารเป็นแรงขับทำให้น้ำภายในอาหารเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวนอกของอาหาร โดยกลไกการเคลื่อนที่ของน้ำไปยังผิวหน้ามีดังต่อไปนี้ (นิธิยา, 2544)

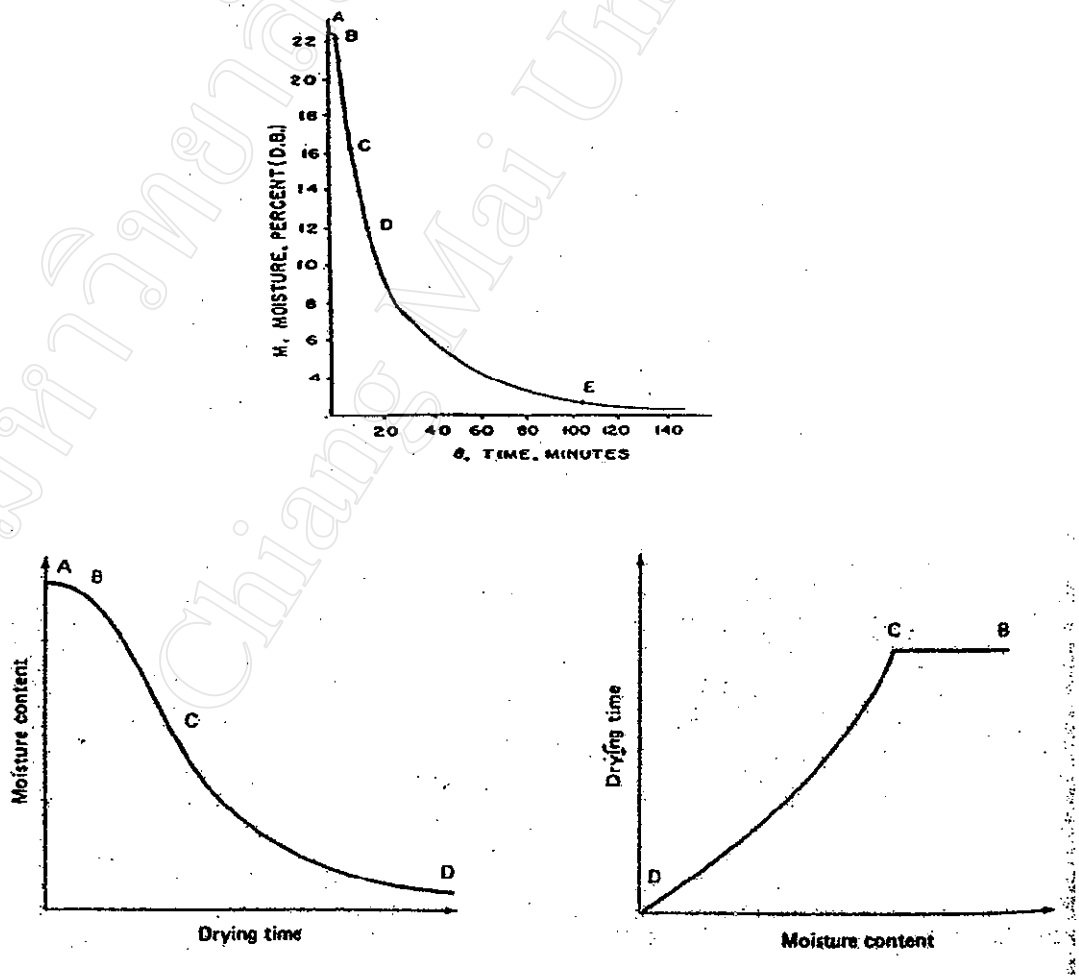
1. การเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงแคปิรารี (Capillary force)
2. การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหารส่วนต่างๆ
3. การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร
4. การแพร่ของไอน้ำในช่องว่างอากาศของอาหารเกิดจากความแตกต่างของความดันไอ

ดังแสดงในตาราง 2.1

ตารางที่ 2.1 การถ่ายเทมวลและความร้อนระหว่างการลดความชื้น (วิไล 2545)

โซนอาหาร	ชนิดการถ่ายเท	ชนิดการถ่ายเทความร้อน
ฟิล์มบาง	การแพร่ของไอน้ำ	การนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสี
เปลือกแข็ง	การแพร่ของไอน้ำ	การนำความร้อน การเคลื่อนที่ของไอน้ำ (การพาความร้อน)
โซนการระเหย	การแพร่ของไอน้ำ การแพร่ที่ผิวการไหลเนื่องจากแรงแคปิลารี	การนำความร้อน การเคลื่อนที่ของไอน้ำและน้ำ
ภายในอาหาร	การเคลื่อนที่เนื่องจากแรงแคปิลารี	การนำความร้อน

จากผลของการเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารมีผลต่ออัตราการทำแห้ง (การสูญเสียน้ำต่อหนึ่งหน่อยเวลา) โดย น้ำจะเคลื่อนที่จากด้านในของอาหารออกมาด้วยอัตราเร็วเท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากผิวหน้าของอาหาร จึงเรียกช่วงระยะเวลาในการลดความชื้นนี้ว่าเป็นช่วง อัตราการลดความชื้นคงที่ (Constant rate period) ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อช่วงอัตราการอบแห้งคงที่นี้ คือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม และช่วงต่อเนื่องไปจนถึงช่วงความชื้นวิกฤต (Critical moisture content) ซึ่งเป็นจุดที่อัตราการอบแห้งเริ่มเปลี่ยนแปลงจากอัตราการอบแห้งคงที่ไปเป็นอัตราการอบแห้งลดลง (Falling – rate period) เพราะอัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในอาหารมายังผิวหน้าจะต่ำกว่าอัตราการระเหยของน้ำไปยังอากาศรอบ ผิวหน้าของอาหารจึงแห้ง ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำในอาหารเคลื่อนที่ได้ช้าลง จึงเป็นช่วงที่อัตราการลดความชื้นใช้เวลานานที่สุด ดังแสดงในรูป 2.2



รูปที่ 2.2 Drying rate curve (Hall, 1980)

A – C = ระยะของการเพิ่มความร้อน

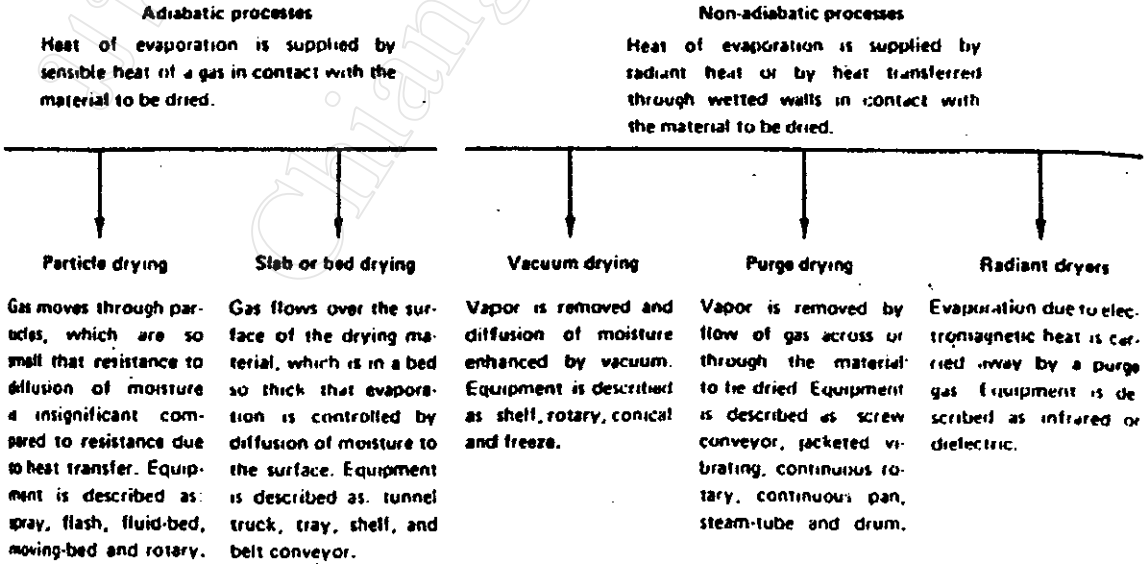
B – C = ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Drying rate constant)

C = จุดความชื้นวิกฤต

C – D = ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงระยะแรก (First falling – rate period)

D – E = ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงระยะที่สอง (secondary falling – rate period)

การทำแห้งจะสิ้นสุดลงเมื่อความชื้นของอากาศสมดุลใกล้เคียงกับความชื้นของอาหาร หรือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ เท่ากับ ค่าของ water activity ของอาหาร คูณ 100 โดยจะเรียกความชื้นในขณะนั้นว่า ความชื้นสมดุลย์ (Equilibrium Moisture Content, EMC) ในการทำแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งนั้น ได้มีแบ่งเครื่องอบแห้งออกเป็น 2 ชั้นใหญ่ และมี 5 ชั้นย่อย ดังแสดงในรูปที่ 2.3 (Dittman ,1997 อ้างโดย รุ่งนภา ,2535) สองชั้นใหญ่ได้แก่ กระบวนการอะเดียบาติก และนอน-อะเดียบาติก โดยเครื่องอบอะเดียบาติกจะให้ความร้อนของการกลายเป็นไอ และต่อมาจะพาไอที่ได้ออกจากผลิตภัณฑ์ ผิวของของแข็งจะลดอุณหภูมิต่ำลงเรื่อยๆ จนถึงอุณหภูมิอะเดียบาติก เซททูเรชั่น (adiabatic saturation) ของของเหลวบริสุทธิ์ และอุณหภูมินี้จะคงที่จนกระทั่งของแข็งไม่มีน้ำอิสระเหลืออยู่ ส่วนเครื่องอบแห้งแบบนอน-อะเดียบาติกนั้นความร้อนที่ผ่านเข้าไปในของแข็ง มาจากแหล่งอื่นนอกจากก๊าซความร้อน เช่นการแผ่รังสีหรือการนำความร้อนโดยการสัมผัสกับผิว



รูปที่ 2.3 การแบ่งชั้นของเครื่องอบแห้งด้วยกระบวนการอบแห้ง

ปัจจัยที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายน้ำนี้จะมีผลต่ออัตราเร็วการทำแห้ง ได้แก่

1. **ธรรมชาติของอาหาร** อาหารเนื้อโปร่งจะมีความสามารถในการเคลื่อนที่ของอาหารเร็วกว่าอาหารที่มีเนื้อแน่น อาหารที่น้ำตาลสูงจะเหนอะหนะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำทำให้แห้งช้า อาหารที่ถูกทำให้เซลล์แตกก็จะแห้งเร็ว

2. **ขนาดและรูปร่าง** ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก รูปร่างเหมือนกันแต่ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงสามารถแห้งได้เร็วกว่า แต่อาจจะช้าได้ถ้ามีการทับถมกันการระเหยก็จะเกิดได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศจึงระเหยได้ช้า

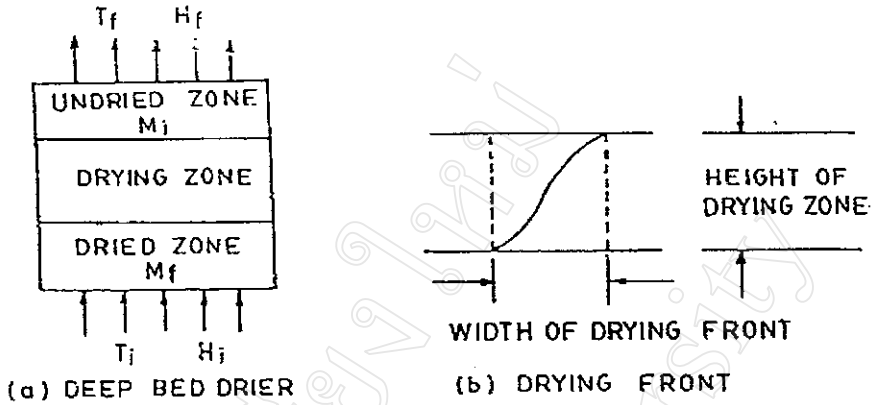
3. **ตำแหน่งของอาหารในเตา** อาหารจะสามารถลดความชื้นได้ดีก็ต่อเมื่อได้สัมผัสกับอากาศร้อนได้มากที่สุด

4. **ปริมาณอาหาร** ปริมาณอาหารที่มากเกินไปทำให้ข้างล่างไม่สามารถสัมผัสกับอากาศร้อนได้โดยตรง ต้องใช้การแพร่กระจายผ่านชั้นบนจึงทำให้แห้งได้ช้า

5. **ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน** อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากจะสามารถรับไอน้ำจากอาหารได้น้อย จึงมีผลต่ออัตราการทำแห้งคงที่

6. **อุณหภูมิของอากาศร้อน** อากาศที่มีความชื้นคงที่การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ ซึ่งมีผลต่ออัตราการอบแห้งคงที่ และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่ของน้ำดีขึ้นจึงมีผลต่ออัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนนั้น สิริชัย (2539) ได้กล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศปกติที่มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 60 – 75 นื่อให้ความร้อนแก่อากาศจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 60 – 70 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 15 – 25 % จะสามารถระเหยน้ำได้มากขึ้น

7. **ความเร็วของลมร้อน** ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไป เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงสามารถเคลื่อนย้ายไอน้ำได้ดีขึ้น นอกจากนั้นความเร็วลมทำให้กระแสลมปั่นป่วนอากาศจึงสามารถสัมผัสกับอาหารได้ดีขึ้น การเคลื่อนย้ายไอน้ำสามารถเกิดขึ้นได้เต็มที่ที่ความเร็วลม 4.066 เมตร/วินาที และความเร็วลมเป็นตัวส่งผลต่อการเกิด drying front ด้วยเช่นกัน ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นทำให้ drying front เคลื่อนที่ได้เร็วขึ้นเช่นกันและยังส่งผลถึงการเกิด drying zone ในแต่ละชั้นดังแสดงในรูปที่ 2.4 (Bala, 1997)



รูปที่ 2.4 การเกิด drying zone และ drying front

2.2 คุณสมบัติทางด้านอุตสาหกรรมเกษตร

วิไล (2543) ได้อธิบายไว้ว่า การเสื่อมเสียในอาหารเนื่องจากจุลินทรีย์จะเกิดได้เร็วกว่าปฏิกิริยาจากเอนไซม์หรือปฏิกิริยาเคมี ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆในระหว่างการเก็บรักษา แต่ในทุกกรณีที่น้ำเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดที่ควบคุมอัตราการเสื่อมเสียแต่ความรู้เรื่องปริมาณความชื้นในอาหารเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอในการคาดคะเนคุณภาพของอาหาร ซึ่งค่า วอเตอร์แอคทิวิตี้ (Aw) ของอาหารเป็นปริมาณน้ำที่จุลินทรีย์ เอนไซม์หรือปฏิกิริยาเคมีสามารถนำไปใช้ได้ ซึ่งสามารถช่วยในการคาดคะเนคุณภาพอาหารได้ดียิ่งขึ้น ค่าวอเตอร์แอคทิวิตี้ ก็คือ อัตราส่วนระหว่างความดันไอของน้ำในอาหารต่อความดันไอน้ำอิ่มตัวของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน หรือเรียกว่าค่า ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (Equilibrium relative humidity, ERH) ดังสมการต่อไปนี้

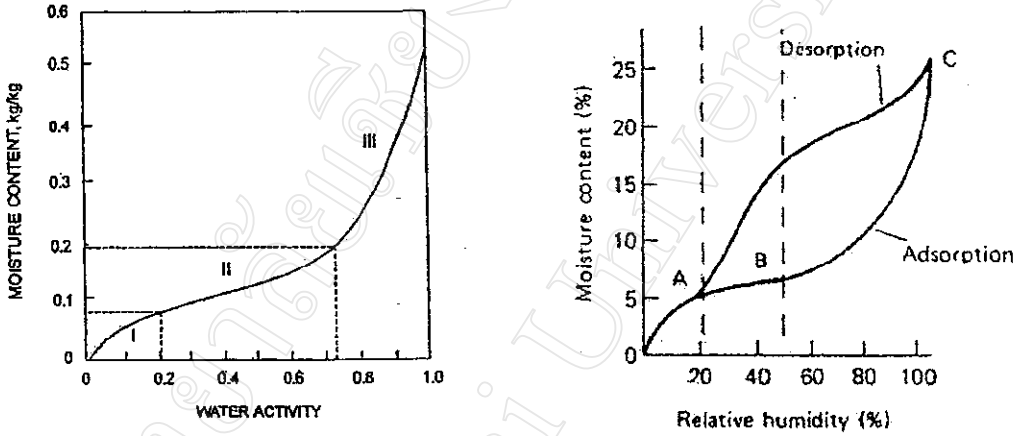
$$Aw = P / Po$$

P (Pa) = ความดันไอในอาหาร

Po (Pa) = ความดันไอน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน

ถ้าความชื้นสัมพัทธ์รอบอาหารต่ำกว่าในอาหารทำให้ Aw ที่ผิวหน้าของอาหารลดลง และในทางกลับกัน ค่า Aw ที่ผิวหน้าจะเพิ่มขึ้น เมื่อความชื้นสัมพัทธ์รอบๆอาหารสูงขึ้น ซึ่งการเคลื่อนที่ของไอน้ำจากอาหารรอบๆ ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นและองค์ประกอบของอาหารรวมทั้งอุณหภูมิและความชื้นของอาหาร เมื่ออุณหภูมิคงที่ปริมาณความชื้นของอาหารเปลี่ยนไปจนกว่าความชื้น

ในอาหารสมดุลกับไอน้ำในอากาศรอบๆ นั่นคือ อาหารจะไม่มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นหรือลดลงภายใต้การเก็บรักษาในสภาวะดังกล่าว เราเรียกปริมาณความชื้นดังกล่าวว่า ปริมาณความชื้นสมดุลของอาหารและเรียกความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศการเก็บรักษาว่า ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล นำมาแสดงในกราฟจะได้กราฟที่เรียกว่า ซอฟชันไอโซเทอมของน้ำ (water sorption isotherm) แสดงดังรูป 2.5 (Mujumdar, 2000)

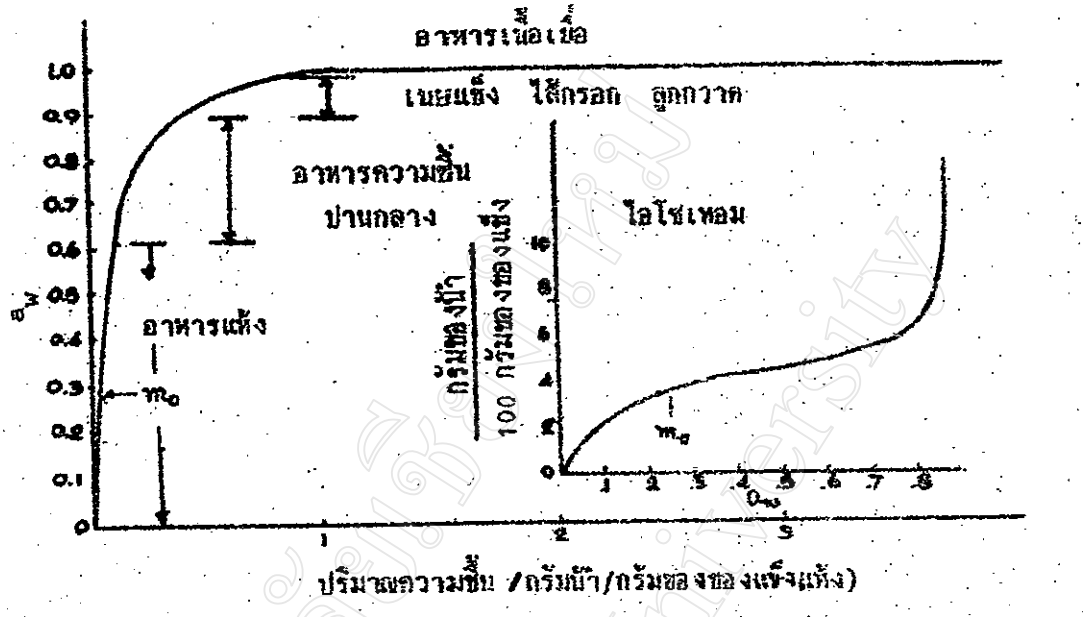


รูปที่ 2.5 ซอฟชั่นไอโซเทอมของน้ำ (Water sorption isotherm)

กราฟของไอโซเทอมเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง 3 ตัวแปรคือ

1. ความดันย่อยของส่วนประกอบในส่วนของแก๊ส
2. ความเข้มข้นของส่วนประกอบในส่วนที่เป็นของแข็ง
3. อุณหภูมิ

การหาไอโซเทอมของอาหารหาได้โดยนำอาหารที่ทราบปริมาณความชื้น และปล่อยให้เกิดความสมดุลในภาชนะปิดสนิท เพื่อหาความชื้นสัมพัทธ์สมดุลจะสามารถหาค่า Aw ได้โดยกราฟของไอโซเทอมอาหารจะมีลักษณะเป็น Sigmoid curve เป็นลักษณะกราฟเฉพาะสำหรับปริมาณความชื้นสมดุลกับค่า Aw ดังแสดงในรูป 2.6 เส้นกราฟไอโซเทอมมีประโยชน์มากในการทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้นในอาหาร (Labuza, 1984 อ้างโดย ไพโรจน์, 2539)



รูปที่ 2.6 แสดงความชื้นสมดุลกับ Aw ของอาหารและไอโซเทอมของอาหาร

การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง

การอบแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอาหารและสภาวะในการอบแห้ง ดังนี้

1. **การหดตัวของเนื้อสัมผัส**

การเสียน้ำทำให้เซลล์อาหารหดตัวจากผิวนอก ส่วนที่แข็งจะคงสภาพได้ส่วนที่อ่อนจะเว้าลงไป อาหารที่มีน้ำมากการหดตัวบิดเบี้ยวมาก การทำแห้งอย่างรวดเร็วจะหดตัวน้อยกว่าการทำแห้งอย่างช้าๆ ซึ่งการอบแห้งอย่างรวดเร็วโดยใช้อุณหภูมิความร้อนสูง วิไล (2543) พบว่า จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากกว่าการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิและอัตราการทำแห้งที่ต่ำกว่าซึ่งอุณหภูมิที่สูงทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีและปฏิกิริยาทางกายภาพที่ผิวหน้าของอาหารทำให้ผิวแห้งแข็งหรือเรียกกันว่าการเกิดผิวแห้งแข็ง (Case hardening) ซึ่งทำให้อัตราการลดความชื้นลดลงอาหารด้านในจะมีความชื้นมากกว่าด้านนอกที่มีลักษณะผิวหน้าแข็ง

2. **การเปลี่ยนแปลงสีและกลิ่น**

อาหารที่ผ่านการทำแห้งมักจะมีสีที่เข้มขึ้นเนื่องจากความร้อนหรือปฏิกิริยาทางเคมี การเกิดสีน้ำตาล ซึ่งอุณหภูมิและความชื้นของอาหารในช่วง 10 – 20 % จะมีผลต่อความเข้มของสีมาก จึงควรใช้อุณหภูมิต่ำในช่วงความชื้นนี้ ซึ่งอุณหภูมิสูงและความชื้นต่ำในชั้นผิวของอาหารแห้ง

จะทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลขึ้นระหว่างน้ำตาลกับกรดอะมิโนซึ่งจะทำให้ได้กลิ่นเฉพาะของอาหารอบ ในการเก็บรักษาลำไยอบแห้งให้ได้คุณภาพดี รัตนา (2539) ได้ศึกษาและพบว่า ถ้าเก็บลำไยอบแห้งไว้นานประมาณ 4 – 6 เดือนขึ้นไป ที่อุณหภูมิสูงลำไยอบแห้งจะเปลี่ยนสีเป็นสีเข้มขึ้น สาเหตุมาจากอุณหภูมิที่สูงเกินกว่า 25 องศาเซลเซียส จะเกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลจากการรวมตัวของกรดอะมิโน ที่มีอยู่ในผลลำไยทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเร็วขึ้น ดังนั้นลำไยที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องจึงเกิดสีน้ำตาลเข้ม เพื่อรักษาคุณภาพไม่ให้ลำไยมีการเปลี่ยนแปลงสีเป็นสีน้ำตาลเข้มนั้นจึงควรเก็บรักษาลำไยอบแห้งไว้ที่อุณหภูมิต่ำ

3. **การเกิดเปลือกแข็ง** (Case hardening)

ลักษณะการเกิดเปลือกแข็งหุ้มในส่วนที่ยังไม่แห้ง จะเกิดขึ้นในช่วงแรกที่มีการระเหยน้ำเร็วเกินไป ทำให้น้ำจากด้านในระเหยออกมาไม่ทัน หรือเกิดจากสารละลายน้ำตาล โปรตีน เคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิวหน้า สามารถเลี่ยงได้โดยการใช้อุณหภูมิต่ำและใช้อากาศที่มีความชื้นสูงเพื่อไม่ให้ผิวของอาหารแห้งจนเกินไป

4. **ความสามารถในการคืนรูป** (Reconstitutability)

อาหารบางชนิดต้องนำมาทำการคืนสภาพ แต่การคืนสภาพจะไม่สามารถคืนสภาพได้เหมือนเดิมเพราะเซลล์ของอาหารเสียความยืดหยุ่นของผนังเซลล์สตาร์ชและโปรตีนเสียความสามารถในการดูดซับไป ซึ่งอัตราเร็วและระดับความสามารถในการดูดซับน้ำอาจจะเป็นตัวชี้วัดคุณภาพของอาหารได้ อาหารแห้งที่ทำแห้งภายใต้สภาวะที่เหมาะสมมากกว่าจะเกิดความเสียหายน้อยกว่าและมีความสามารถในการคืนรูปดีกว่าอาหารที่ทำแห้งภายใต้สภาวะที่เหมาะสมน้อยกว่า (วิไล 2543) โปรตีน และแป้งจะถูกทำลายในระหว่างการลดความชื้นโดยเฉพาะในช่วงแรกของการอบแห้ง ที่สำคัญคือการที่เนื้อเยื่อของอาหารถูกทำลาย ดังนั้นการรักษาสภาพการดูดซับน้ำของอาหารแห้งเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด ซึ่ง อรุณี (2530) ได้อธิบายไว้ว่าสามารถแก้ไขได้โดยการปรับอุณหภูมิของช่วงต่างๆในการลดความชื้นให้เหมาะสมต่ออาหารที่ทำการลดความชื้น

5. **การเสียคุณค่าทางอาหารและสารระเหย**

จะเกิดการเสื่อมสลายของวิตามิน ซี และแครอทีนจากปฏิกิริยาออกซิเดชั่นไซโบฟลาวินจากแสง เทอะมีนจากความร้อน ยิ่งทำแห้งนานการสูญเสียยิ่งเพิ่มขึ้น โปรตีนจะเสื่อมเสียสภาพจากความร้อนมากเช่นกัน กลิ่นของอาหารลดลงเนื่องมาจากความร้อนที่ทำให้สารระเหยเกิดการสูญเสียไป ซึ่งผลของการใช้ความร้อนต่อการเกิดจุลินทรีย์นั้น วิไล (2545) รายงานว่าความร้อนทำให้โปรตีนเกิดการเสื่อมสภาพ กิจกรรมของเอนไซม์และแม็ทตาโบไลซึมของจุลินทรีย์ที่ถูกควบคุมโดยเอนไซม์จึงถูกทำลายลง โดยที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสนั้นแบททีเรียส่วนใหญ่ยังสามารถรอดชีวิตและเจริญเติบโตต่อไปได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงถึง 73 องศาเซลเซียสแล้วนั้น

จะสามารถป้องกันแบคทีเรียได้ ยกเว้นแบคทีเรียบางชนิดที่สามารถทนความร้อน ทั้งนี้เนื่องจากความร้อนสูงจะสามารถทำลาย Vegetative cell ของแบคทีเรียได้

มาตรฐานขนาดลำไยสด

กรมวิชาการเกษตร (2541) ได้กำหนดมาตรฐานเรื่องขนาดลำไยโดยใช้ขนาดของผลต่อกิโลกรัมในการพิจารณา หรือใช้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

ขนาด	จำนวนผล/กิโลกรัม	หรือ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง(มม.)
1	< 85		> 28
2	85 – 94		> 27 – 28
3	94 – 104		> 26 – 27
4	105 – 114		> 25 – 26
5	> 115		24 – 25

มาตรฐานของขนาดลำไยที่เกษตรกรใช้ในการคัดลำไยโดยใช้เครื่องคัดขนาดรูตะแกรงโดยมาตรฐานที่ได้จะแตกต่างไปจากมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร คือ แบ่งตามเกรดดังนี้ เกรด AA มีจำนวนผลน้อยกว่า 80 ผล/กิโลกรัม เกรด A มีจำนวนลำไย 80 – 94 ผล/กิโลกรัม และเกรด C มีจำนวนลำไย 93 – 114 ผล/กิโลกรัม (วีระ, 2541) แต่การคัดขนาดมาตรฐานด้วยเครื่องคัดขนาดของ สถาบันอาหาร (2541) นั้นจะสามารถแยกขนาดลำไยได้ 4 ขนาดดังนี้คือ

เกรด	A	มีขนาดผลโตกว่า	22	มิลลิเมตร
เกรด	B	มีขนาดผล	20 – 22	มิลลิเมตร
เกรด	C	มีขนาดผล	18 – 20	มิลลิเมตร
เกรด	D	มีขนาดผลน้อยกว่า	18	มิลลิเมตร

นอกจากนั้น สถาบันอาหาร (2541) ได้กล่าวถึงมาตรฐานขนาดลำไยที่มีขายในประเทศและมาตรฐานลำไยที่ส่งออก โดยแบ่งมาตรฐานไว้ดังนี้

มาตรฐานลำไยสำหรับตลาดในประเทศ

- เกรด เอ ขนาดใหญ่ จะมีจำนวนผล น้อยกว่า 75 ผล/กิโลกรัม
- เกรด บี ขนาดกลาง จะมีจำนวนผล 76 – 86 ผล/กิโลกรัม
- เกรด ซี ขนาดเล็ก จะมีจำนวนผล 86 – 95 ผล/กิโลกรัม

มาตรฐานลำไยสำหรับส่งออก

- Extra class : good quality มีจำนวนผล น้อยกว่า 70 ผล/กิโลกรัม

- Class I good quality มีจำนวนผล 71 – 80 ผล/กิโลกรัม
- Class II good quality มีจำนวนผล 81 – 90 ผล/กิโลกรัม

ปี 2545 ได้มีปัญหาลำไยอบแห้งล้นตลาดและราคาลำไยอบแห้งมีราคาที่ต่ำจึงมีการประกันราคาของลำไยอบแห้งและมีการจำนำลำไยอบแห้งขึ้น โดยมีการกำหนดคุณภาพของลำไยอบแห้งขึ้นมาตามโครงการแทรกแซงตลาดลำไย ปี 2545 ขึ้นจากประกาศขององค์การตลาดเพื่อเกษตรกร (2545) โดยมีการกำหนดคุณภาพลำไยอบแห้งดังต่อไปนี้

1. มาตรฐานลำไยอบแห้งทั้งเปลือก
   1.1 เกรด AA จะต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตรขึ้นไป
   1.2 เกรด A จะต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 22 – 24 มิลลิเมตร
   1.3 เกรด B จะต้องมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 19 – 21 มิลลิเมตร
2. คุณภาพ
   2.1 ลักษณะต้องเป็นลำไยอบแห้งทั้งเปลือก
   2.2 ระยะเวลาการอบต้องไม่น้อยกว่า 48 – 52 ชั่วโมง
   2.3 ต้องเป็นลำไยอบแห้งที่ผลิตได้ในฤดูกาลผลิตลำไยในปีนั้นๆ
   2.4 ต้องเป็นลำไยอบแห้งที่มีคุณภาพดี ไม่มีเชื้อราหรือเสื่อมคุณภาพ ลักษณะเปลือกต้องไม่มีรอยแตกร้าวหรือบุบเป็นรู เนื้อลำไยต้องเป็นสีเหลืองทอง ต้องไม่มีสีดำ (ที่เกิดจากการอบแล้วไหม้) เนื้อแห้งสนิท จับไม่มีเหนียวติดมือ เมล็ดกรอบแตกง่าย มีความชื้นของเนื้อลำไยอบแห้งไม่เกินร้อยละ 13.5
   2.5 ลำไยอบแห้งที่มีความชื้นของเนื้อลำไยเกินกว่าร้อยละ 13.5 หรือมีวัตถุอื่นเจือปนไม่รับฝากหรือจำนำ
   2.6 ลักษณะภายนอกของลำไยอบแห้งแต่ละผล จะมีรอยบุบได้ไม่เกินอัตราส่วนร้อยละ 15 ของพื้นที่ผิวลำไยอบแห้งแต่ละผล และมีจำนวนผลบุบไม่เกินร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก และยอมให้มีผลลำไยอบแห้งที่มีรอยบุบเกินร้อยละ 15 แต่ไม่เกินร้อยละ 20 ของพื้นที่ผิวลำไยอบแห้งแต่ละผล มีจำนวนไม่เกินร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก

ส่วนประกอบและองค์ประกอบทางเคมีของลำไย

นวลศรี (2543) ได้ศึกษาถึงองค์ประกอบทางเคมีและส่วนประกอบต่างๆของลำไยสดและลำไยแห้ง ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อลำไย เปลือกลำไย เมล็ดลำไย

และลำไยทั้งผลจะแสดงดังตารางที่ 2.3 ส่วน สถาบันอาหาร (2541) ได้รายงานองค์ประกอบทางเคมีของลำไยสดไว้ดังนี้

- soluble solids มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบ 3 อย่าง คือ กูลโคส, ฟรุตโตส, และซูโคส ในส่วนของลำไยแห้งจะมีน้ำตาลอยู่ประมาณ 70 %
- Organic acids ลำไยมีกรดอินทรีย์คือ กรดกลูโครนิค กรดมาริก และกรดซิติก เป็นส่วนองค์ประกอบ
- Amino acids ลำไยจะมีกรดอะมิโน 8 ชนิดที่เป็นองค์ประกอบดังต่อไปนี้ คือ alanine, glutamic acid, glycine, leucine, aspartic acid, arginine, methionine, และ valine
- Vitamin ลำไยมีวิตามินเป็นองค์ประกอบอยู่ 2 ชนิดได้แก่ Riboflavin (B2) และ Ascorbic acid (C) จะพบมากในลำไยสด

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของลำไยสดและลำไยอบแห้ง (นวลศรี, 2543)

ส่วนประกอบ	เนื้อลำไยสด (ร้อยละ)	เนื้อลำไยแห้ง (ร้อยละ)
ความชื้น	81.10	17.80
ไขมัน	0.11	0.40
โปรตีน	0.97	4.60
เส้นใย	0.28	1.60
เถ้า	0.56	2.86
คาร์โบไฮเดรต	16.98	31.18
ค่าพลังงานความร้อน (kcal/100g)	72.79	27.70
แคลเซียม (mg/100g)	5.70	2.39
เหล็ก	0.35	15.95
ฟอสฟอรัส	35.30	13.78
วิตามิน ซี	69.20	4.50
โซเดียม	-	20.12
โปตัสเซียม	-	3.03
ไนอาซีน	-	0.57
กรดแพนโทธินิค	-	0.375

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของลำไย

ส่วนประกอบ	%น้ำหนัก	%โปรตีน	%ไขมัน	%เส้นใย	%เถ้า	%ความชื้น	%คาร์โบไฮเดรต
เนื้อลำไย	75.59	4.89	0.04	0.05	0.79	81.00	16.23
เปลือกลำไย	8.98	7.86	0.85	18.70	5.83	21.61	31.15
เมล็ดลำไย	15.43	9.76	1.77	3.26	1.40	34.74	49.07
ลำไยทั้งผล	-	2.39	0.38	3.12	1.34	68.53	24.24

2.3 ปัญหาในการอบแห้งลำไยทั้งเปลือก

การผลิตลำไยอบแห้งแบบทั้งเปลือกนั้นมีปัญหาในการผลิตที่ไม่ได้คุณภาพ หรือมีคุณภาพที่ไม่แน่นอนทั้งนี้สาเหตุที่ทำให้ลำไยอบแห้งทั้งเปลือกไม่ได้คุณภาพตามที่ต้องการนั้น เกิดจากสาเหตุสำคัญ 2 ประการคือ

1. เครื่องอบแห้งที่ใช้ไม่มีความเหมาะสม และขาดประสิทธิภาพในการทำงานทำให้คุณภาพลำไยอบแห้งต่ำ
2. วิธีการปฏิบัติและกรรมวิธีการผลิตลำไยอบแห้งของเกษตรกรและผู้ประกอบการไม่เหมาะสมทำให้เกิดการสูญเสียของลำไยอบแห้ง

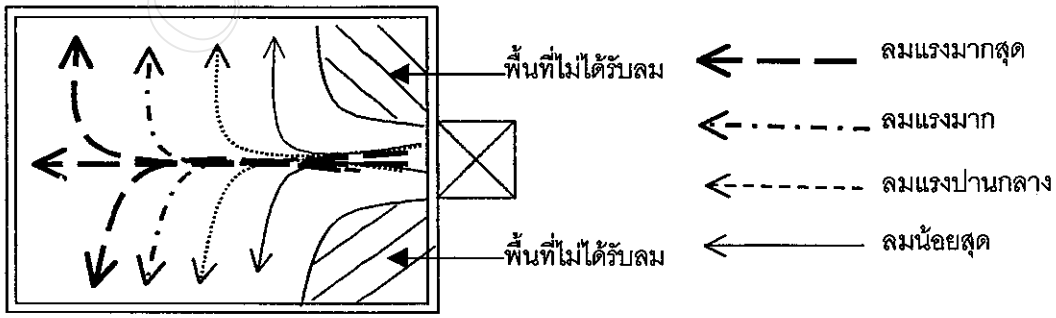
ดังนั้น ผู้ใช้เครื่องอบแห้งผลลำไยทั้งเปลือกจึงจำเป็นต้องมีความรู้ และความเข้าใจเกี่ยวกับวิทยาการและวิธีการปฏิบัติการอบแห้งลำไยทั้งเปลือกที่ถูกต้อง และสามารถเลือกใช้เครื่องอบแห้งให้มีความเหมาะสม (สถาบันอาหาร, 2541) ซึ่งลักษณะปัญหาที่เกิดขึ้นนี้สอดคล้องกับ สุนทรี (2543)ที่พบว่าปัญหาในการแปรรูปลำไยอบแห้งนั้นเกิดจากการขาดความรู้ ความเข้าใจ ความสามารถ และความเอาใจใส่ จึงทำให้ลำไยที่อบแห้งมีระดับคุณภาพที่ต่ำกว่ามาตรฐานไม่ตรงตามความต้องการของตลาด นั้นแสดงให้เห็นถึงความไม่มีมาตรฐานของลำไยอบแห้งตามที่ วิไล (2541) รายงานไว้ว่า ลำไยอบแห้งที่นำมาจำหน่ายในปัจจุบัน ไม่ได้มาตรฐานตรงตามที่ตลาดกำหนด ในเรื่องของขนาดลำไยที่ไม่ตรงตามเกรด ความชื้นของเนื้อลำไยที่สูงหรือแห้งเกินไป นอกจากนั้น การที่ลำไยอบแห้งมีสีไม่สม่ำเสมอกัน คือมีสีน้ำตาลอ่อนบ้างสีน้ำตาลเข้มบ้างหรือมีกลิ่นไหม้มีรสขม ซึ่งเกิดจากกระจายลมไม่ทั่วถึงและไม่มีความสม่ำเสมอทำให้ลำไยอบแห้งแห้งได้ไม่พร้อมกัน (รัตนาและคณะ, 2541)

ซึ่งปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้นเป็นปัญหาที่เกิดจากการขาดความรู้ความเข้าใจในการปฏิบัติการอบแห้งของตัวเกษตรกรและผู้ประกอบการเป็นส่วนใหญ่ แต่ปัจจัยที่มีส่วนทำให้ลำไยอบแห้งมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานและได้คุณภาพไม่แน่นอนนั้นเกิดได้จากตัวเครื่องอบแห้งและ

กรรมวิธีในการผลิตของแต่ละกรรมวิธีการผลิตด้วยเช่นกัน ซึ่งปัญหาส่วนใหญ่ที่สามารถพบได้ในการอบแห้งแต่ละครั้งสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้ คือ

- **ปัญหาในเรื่องอุณหภูมิ** เกษตรกรส่วนใหญ่ที่ทำการอบแห้งลำไยจะใช้อุณหภูมิในการอบแห้งประมาณ 90 – 70 องศาเซลเซียส (ดำรง, 2541) โดยในการอบแห้งจะใช้อุณหภูมิสูงในการลดความชื้นช่วงแรกและจะลดอุณหภูมิลงเมื่อระยะเวลาในการอบแห้งผ่านไป สถาบันอาหาร (2541) รายงานว่า ยิ่งเพิ่มอุณหภูมิสูงมากขึ้นยิ่งสามารถเพิ่มศักยภาพในการลดความชื้นมากขึ้นเช่นกัน แต่วิไล (2541) พบว่า การใช้อุณหภูมิที่สูงในการลดความชื้นอย่างรวดเร็วเกินไปจะทำให้เกิด ผิวแห้งแข็ง (Case hardening) จะเป็นผลทำให้อัตราการลดความชื้นต่ำลงเนื่องจากความชื้นจากภายในระเหยออกมาได้ยากขึ้น และยังเป็นการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์อีกด้วย เช่นเดียวกับ มนตรี (2543) ได้ศึกษาเรื่องพลังงานของเครื่องอบแห้งแบบไต้หวันกล่าวว่า การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศระหว่างอบแห้งและการเปลี่ยนแปลงช่วงของการอบแห้งนั้น ปริมาณความร้อนที่ได้รับจะมากเกินกว่าความต้องการเป็นสาเหตุของการสูญเสียพลังงาน ดังนั้นการใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับกรรมวิธีในการผลิตลำไยอบแห้งแต่ละกรรมวิธี Achariyaviriya et. al. (2000) เสนอว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งลำไยทั้งเปลือกน่าจะอยู่ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส

- **ปัญหาการกระจายลมในเครื่องอบ** เมื่อลมร้อนที่เป่าเข้ามาใน plenum chamber ด้วยความเร็วลมสูงทำให้เกิดการกระจายลมไม่ทั่วทั้งหมดของ plenum chamber โดยลมส่วนใหญ่ที่เข้ามาจะถูกพัดเป่าไปที่ส่วนท้ายของเครื่องอบแห้งและส่วนต้นใกล้กับทางเข้าของท่อลมนั้นจะมีไม่ค่อยมีลมร้อนไหลผ่านเป็นสาเหตุให้ลำไยอบแห้งเกิดความไม่สม่ำเสมอ ดังแสดงดังรูปที่ 2.7 ทั้งนี้การแก้ไขของเกษตรกรเบื้องต้นจะใช้ก้อนอิฐในการทำให้ลมร้อนที่เข้ามาใน plenum chamber กระจายลมได้ดีขึ้น โดยการวางวัสดุดังกล่าวกั้นทิศทางลมให้ลมมีการไหลเวียนทั่วทั้งเตาอบได้ดีขึ้น



รูปที่ 2.7 แสดงแผนผังการกระจายลมของเครื่องอบแห้งแบบที่เกษตรกรใช้ในปัจจุบัน

- **ปัญหาเรื่องชั้นความหนาของลำไยอบแห้ง** จากการศึกษาเรื่องชั้นความหนาของอุมาพร (2543), และ ศุภศักดิ์ (2544) พบว่าการอบแห้งโดยใช้ชั้นความหนา 60 เซนติเมตร ตามที่เกษตรกรใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้น ที่ชั้นความหนาขนาดนี้จะทำให้เกิดความแตกต่างของความชื้นในการอบแห้งอย่างชัดเจน และใช้ระยะเวลาในการอบแห้งนาน การที่ชั้นความหนาในการอบแห้งมากเกินไป สถาบันการอาหาร (2541) ระบุว่า ถ้าชั้นความหนาของลำไยมากเกินไปจะทำให้เกิดการแอ่นตัวของตะแกรงหรือเกิดการยุบตัว ซึ่งจะพบว่าบริเวณที่มีความหนาแน่นของลำไยมากลมจะสามารถผ่านไปได้ยากกว่าบริเวณมีความหนาแน่นของลำไยน้อยกว่า หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ามีการอั้นของลมทำให้การลดความชื้นได้ไม่ทั่วถึง

- **ปัญหาเรื่องความเร็วลม** เป็นปัญหาอีกอย่างหนึ่งที่ทำให้การลดความชื้นมีปัญหาทั้งนี้เนื่องจากความเร็วลมที่เหมาะสมในการอบแห้งลำไยแบบทั้งเปลือกนั้นที่เหมาะสมจริงๆยังไม่ทราบแน่ชัด แต่จากการรายงานของ Klongpanich (1991) พบว่า ยิ่งเพิ่มความเร็วลมมากขึ้นเท่าใดจะทำให้การลดความชื้นมีอัตราการลดความชื้นที่เร็วขึ้นตามด้วยเช่นกัน ซึ่งจะสอดคล้องกับ Uretir et. al. (1996), และไพบูลย์ (2532) ที่พบว่า ความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นทำให้อัตราการลดความชื้นสูงขึ้นในช่วงที่วัตถุดิบมีความชื้นสูง แต่ความเร็วลมจะไม่มีผลกระทบต่อช่วงอัตราการลดความชื้นลดลง หรือช่วงที่วัตถุดิบมีความชื้นน้อย และการใช้ความเร็วลมที่มากเกินไปทำให้เกิดความสูญเสียของพลังงานความร้อนมากในช่วงท้ายของการลดความชื้น แต่ความเร็วลมที่ต่ำเกินไปก็จะเกิดความไม่สม่ำเสมอของลมด้วยเช่นกัน (วิวัฒน์และชลธิส, 2533)

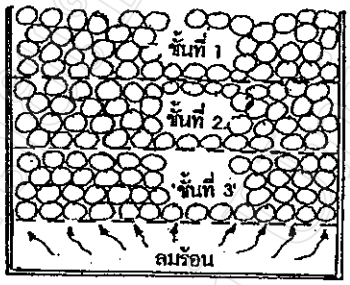
- **ปัญหาเรื่องระยะเวลาในการกลับลำไย** สาเหตุที่ต้องมีการกลับลำไยเนื่องจากชั้นล่างจะแห้งก่อนชั้นบน ดังนั้น เพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอของลำไยอบแห้งระหว่างการอบแห้งจึงต้องทำการกลับลำไย ซึ่งในปัจจุบันเกษตรกรส่วนใหญ่มักจะใช้ระยะเวลาในการกลับลำไย 12 – 15ชั่วโมง ดังแสดงในรูป 2.8 แต่จากการศึกษาของ ศุภศักดิ์ (2544) พบว่า การสลับลมสามารถทดแทนการกลับลำไยได้และการสลับลมถี่จะให้ผลของการลดความชื้นดีกว่าการสลับลมห่างเพราะการลดความชื้นลำไยจะมีความสม่ำเสมอทั่วทั้งหมดมากกว่า

- **ปัญหาเรื่องขนาดลำไย** เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การลดความชื้นลำไยไม่สม่ำเสมอกันทั่วทั้งหมด จากการศึกษาของ วีระ (2541), อุมาพร (2543), และศุภศักดิ์ (2544) พบว่า ลำไยขนาดใหญ่จะใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นนานกว่าลำไยที่มีขนาดเล็กกว่า ดังนั้นเพื่อจะให้ลำไยที่อบแห้งได้สม่ำเสมอกันมากขึ้นควรจะมีการแยกเกรดลำไยในการอบให้มีขนาดเท่ากันทั่วทั้งหมด

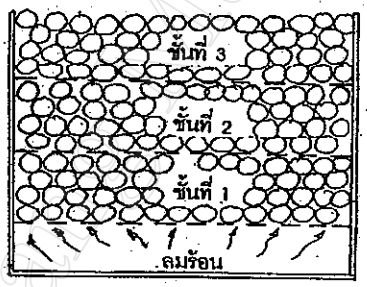
- **ปัญหาในเรื่องลำไยสด** จากการศึกษาและทำวิจัย ปัญหาที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่พบมากในการอบแห้งลำไยทั้งเปลือกก็เกิดจากตัวผลิตผลลำไยเอง คือการลำไยที่นำมาอบถูก

แมลงเข้าทำลายทำให้เกิดรูที่เปลือก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดคราบน้ำตาลไหมที่เปลือกเมื่อ อบแห้ง นอกจากนั้นถ้าลำไยที่นำมาอบแห้งไม่มีขั้วติดที่ผลลำไยที่อบแห้งก็จะแตกง่ายกว่าลำไยที่มี ขั้วติด

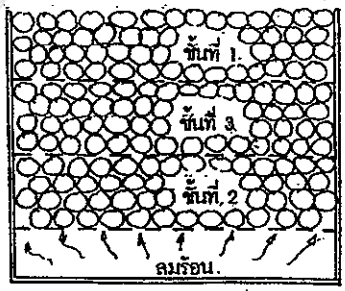
ซึ่งจากลักษณะปัญหาดังที่ได้กล่าวมานี้ เป็นปัญหาหลักที่ทำให้การอบแห้งลำไยให้ คุณภาพที่ไม่สม่ำเสมอ เพื่อที่จะทำให้กรรมวิธีการลดความชื้นลำไยได้มาตรฐานและคุณภาพลำไย ตรงตามที่ต้องการ จึงจำเป็นที่ต้องมีการศึกษาและค้นคว้าวิจัยเพื่อให้ได้มาตรฐานการอบแห้งลำไย ต่อไป



ชั่วโมงที่ 0 - 15



ชั่วโมงที่ 15 - 30



ชั่วโมงที่ 30 - 45

รูปที่ 2.8 ลักษณะการจัดเรียงและการสลับชั้นลำไยในกะบะของเครื่องอบแห้ง

2.4 กรรมวิธีการผลิตลำไย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาการอบแห้ง

งานพัฒนาสถาบันเกษตรกร (2540) ได้กล่าวถึงมาตรฐานและคุณลักษณะของลำไยอบแห้งว่า ลำไยอบแห้งทั้งเปลือก ต้องมีลักษณะภายนอกหลังทำการอบ คือ ผลต้องไม่มีรอยบุ๋มและรอยแตกบริเวณผิวของลำไย ผิวเป็นสีเหลืองน้ำตาลนวล ความชื้นของลำไยอบแห้งต้องมีความชื้นต่ำกว่า 18 เปอร์เซ็นต์ ต้องมีรสหวานไม่มีรสขมหรือไหม้ ลำไยอบแห้งต้องมีกลิ่นที่หอม วรรณิกา (2540) ได้ให้ข้อคิดเห็นไว้ว่า เนื้อลำไยอบแห้งแบบทั้งเปลือกที่ได้มาตรฐาน ต้องมีลักษณะ เนื้อเป็นสีน้ำตาล-แดง ถึง สีน้ำตาล-ดำ ไม่แข็งและไม่มีกลิ่นเหม็นไหม้ การอบลำไยจะทำให้สามารถเก็บรักษาได้นานมีคุณภาพของลำไยที่อบแห้งที่ดี และสามารถทนต่อการเกิดเชื้อราได้ นอกจากนั้น วิไล (2541) พบว่า ผู้ส่งออกส่วนใหญ่นิยมที่จะใช้ลำไยพันธุ์ดอ ในการอบแห้ง เพราะว่า เปลือกลำไยพันธุ์ดอจะมีสีผิวที่สวยกว่าพันธุ์อื่นๆ ซึ่งสอดคล้องกับ รัตนาและคณะ (2520) ที่ได้รายงานไว้ว่า ลำไยพันธุ์ดอ เมื่ออบแห้งแล้วจะให้สีผิวของเปลือกลำไยเป็นสีเหลืองซึ่งพันธุ์อื่นๆเมื่อทำการอบแห้งแล้วนั้นจะให้สีผิวของเปลือกออกเป็นสีคล้ำๆ

สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (2537) รายงานว่า การอบลำไยที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสไม่สามารถทำลายเชื้อราได้เพราะว่าลำไยเป็นผลไม้ที่มีความชื้นในเนื้อของผลสูงและมีปริมาณน้ำตาลสูง โดยมีค่า Aw (water activity) อยู่ในช่วง 0.85 - 1.00 จึงทำให้เกิดเชื้อราได้ง่าย เพื่อเป็นการป้องกันการเกิดของเชื้อรา การอบแห้งลำไยควรจะอบแห้งให้ลำไยมีค่า Aw ต่ำกว่า 0.8 จะสามารถป้องกันการเกิดราได้

กรรมวิธีในการผลิตลำไยอบแห้งทั้งในปัจจุบันและที่เคยใช้กันแต่เดิมมานั้นมีกรรมวิธีในการอบแห้งที่หลากหลายด้วยกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรรมวิธีของแต่ละกรรมวิธีการผลิตลำไยอบแห้ง อย่างเช่น รัตนา (2543) ใช้กรรมวิธีในการผลิตลำไยทั้งเปลือกโดยการลดอุณหภูมิลงเมื่อเวลาการลดความชื้นผ่านไป ในการอบแห้งเริ่มใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมงในช่วงแรกของการอบ จากนั้นทำการลดอุณหภูมิของอากาศลงเหลือ 75 องศาเซลเซียส อบต่อไปจนสิ้นสุดการลดความชื้นและเป่าลมเย็นจนลำไยอบแห้งเย็นลง จะได้ลำไยที่มีความชื้นประมาณ 18 – 20 %wb มีลักษณะสอดคล้องกับการอบลำไยให้ได้คุณภาพของ ประหยัด (2540) คือการอบลำไยทั้งเปลือกโดยใช้อุณหภูมิในการเริ่มต้น 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 18 ชั่วโมงและทำการลดอุณหภูมิให้ต่ำลงเหลือ 70 องศาเซลเซียส และทำการสลับชั้นบนลงแทนชั้นล่าง อบต่อเนื่องเป็นเวลา 18 ชั่วโมงแล้วทำการสลับอีกครั้งหนึ่ง ทำการสุ่มเพื่อตรวจคุณภาพลำไยถ้าได้คุณภาพแล้วก็สิ้นสุดการลดความชื้น ส่วนของบริษัท ลิขิตชีวัน จำกัด (2540) นั้น จะมีขั้นตอนในการอบแห้งลำไยทั้งเปลือกคือ จะแบ่งลำไยออกเป็น 3 ชั้นชั้นละเท่าๆกัน โดยจะเริ่มอบด้วยอุณหภูมิสูงถึง

90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดจะทำการกลับกองลำไยอบแห้งครั้งที่ 1 และเปลี่ยนอุณหภูมิลดลงเหลือ 80 องศาเซลเซียส อบต่อไปนาน 12 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดเวลาทำการกลับกองลำไยครั้งที่ 2 และลดอุณหภูมิในการลดความชื้นลำไยอบแห้งลงเหลือ 70 องศาเซลเซียส อบต่อไปอีก 12 ชั่วโมงหรือจนสิ้นสุดการลดความชื้น ระยะเวลาในการอบแห้งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาดลำไยที่ใช้อบแห้ง ในส่วนของการศึกษากรรมวิธีการ อบแห้งของเกษตรกรแถวอำเภอดอยหล่อโดย ดำรง (2541) พบว่า เกษตรกรร้อยละ 94.70 ใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นลำไยนานมากกว่า 40 ชั่วโมง โดยกรรมวิธีการอบของเกษตรกรนั้น จะใช้อุณหภูมิ 85 – 90 องศาเซลเซียสในช่วงการอบแห้งช่วงแรก เป็นระยะเวลาในการอบแห้งประมาณ 15 –18 ชั่วโมง ในช่วงที่ 2 ลดอุณหภูมิลงเหลือ 75 – 80 องศาเซลเซียส อบต่อเนื่องนาน 13 – 16 ชั่วโมงจนสิ้นสุดการลดความชื้น ซึ่งจะแตกต่างไปจากเกษตรกรในแถวอำเภอป่าซาง ที่ใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 80 องศาเซลเซียสนาน 18 ชั่วโมงแล้วจึงพลิกกลับกองลำไย จากนั้นลดอุณหภูมิของอากาศลงเหลือ 70 องศาเซลเซียส อบต่อไปนาน 16 ชั่วโมงจึงกลับกองลำไยครั้งที่ 2 จากนั้นเมื่อระยะเวลาผ่านไปจึงลดอุณหภูมิอากาศร้อนเหลือ 60 องศาเซลเซียส ใช้ระยะเวลาในการอบต่อเนื่องไปอีก 14 ชั่วโมงจนกว่าจะสิ้นสุดการทดลอง (ทองวัน, 2541) นอกจากนี้ เทคโนโลยีชาวบ้าน (2542) ได้ให้คำแนะนำในการอบแห้งลำไยทั้งเปลือกว่า ให้ใช้อุณหภูมิในการลดความชื้นลำไยช่วงแรกโดยใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 12 ชั่วโมง แล้วพลิกกลับกองลำไยลดอุณหภูมิในการอบแห้งลงเหลือ 75 องศาเซลเซียสอบต่อเนื่องไปอีก 12 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดหยุดการให้ลมร้อนและเป่าลมเย็นเข้าไป จากนั้นนำลำไยอบแห้งมาคัดเกรดแล้วนำมาอบต่อที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง แล้วลดอุณหภูมิลงเหลือ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 12 – 14ชั่วโมงติดต่อกันจนกว่าลำไยจะมีความชื้นประมาณ 18 – 20 % wb แต่การอบแห้งลำไยเพื่อให้ได้มาตรฐานของ สถาบันอาหาร (2541) นั้นจะควบคุมอุณหภูมิในการลดความชื้นอยู่ในระหว่าง 70 – 80 องศาเซลเซียส เมื่ออบลำไยได้ประมาณ 15 ชั่วโมง จะพลิกกลับครั้งที่ 1 โดยจะทำการพลิกเอาชั้นที่ 1 ลงมาอยู่แทนชั้นที่ 3 ส่วนชั้นที่ 3 จะขึ้นไปอยู่ชั้นที่ 1 และอบต่อไปอีก 15 ชั่วโมง เมื่อครบระยะเวลาในการอบอีก 15 ชั่วโมง จะทำการพลิกกลับลำไยครั้งที่ 2 โดยจะเอาลำไยที่อยู่ชั้นที่ 2 ลงไปอยู่ล่างสุดและเอาชั้นที่ 1 ขึ้นไปไว้บนสุด จากนั้นอบต่อไปจนสิ้นสุดการลดความชื้น

จากกรรมวิธีในการผลิตลำไยอบแห้งทั้งเปลือกดังที่กล่าวมาข้างต้น จะเห็นได้ว่า ยังไม่มีกรรมวิธีที่เป็นมาตรฐานในการผลิตลำไยอบแห้งทั้งเปลือกที่แน่นอน แต่จะเห็นได้ว่ากรรมวิธีในการ

ผลิตส่วนใหญ่จะใช้อุณหภูมิสูงในช่วงเริ่มต้นและจะลดอุณหภูมิลงเมื่อเวลาผ่านไป และจะนิยมใช้ระยะเวลาในการพลิกกลับลำไย ทุกๆ 12 – 15 ชั่วโมงเป็นส่วนใหญ่

รัตนาและคณะ (2520) ศึกษาเรื่องอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งลำไยแต่ละพันธุ์ โดยใช้อุณหภูมิ 140 องศาฟาเรนไฮต์ (60 องศาเซลเซียส), 150 องศาฟาเรนไฮต์ (65.5 องศาเซลเซียส) และที่อุณภูมิ 160 องศาฟาเรนไฮต์ (71.2 องศาเซลเซียส) ซึ่งในการอบลำไยพันธุ์ดออุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 140 องศาฟาเรนไฮต์ เป็นเวลา 40 ชั่วโมง จะสามารถลดความชื้นลำไยได้เหลือประมาณ 11 - 13 %wb

Sitthiphong (1989) ทำการทดลองอบลำไยทั้งเปลือกโดยใช้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งนาน 40 ชั่วโมง แต่เมื่อทำการทดลองเพิ่มอุณหภูมิเป็น 70 และ 80 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้ในการอบลดลงเหลือประมาณ 34 และ 18 ชั่วโมง อย่างไรก็ดีเมื่อเพิ่มอุณหภูมิมากขึ้นแม้ระยะเวลาในการอบแห้งจะลดลงแต่ผลิตผลที่ได้เกิดมีกลิ่นไหม้และไม่เป็นที่ต้องการของตลาด

ชูชาติและพิสิฐ (2540) ศึกษาเรื่องอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ พบว่า ถ้าใช้อุณหภูมิสูงความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ คือ อุณหภูมิประมาณ 85 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพันธ์ 20 % จะสามารถอบลำไยได้เร็วที่สุด แต่จะทำให้ลำไยอบแห้งไหม้ ดังนั้นเพื่อจะให้การอบลำไยได้เร็วขึ้นและไม่เกิดการไหม้ ควรลดอุณหภูมิเหลือประมาณ 70 องศาเซลเซียส เมื่อลำไยมีความชื้นประมาณ 60 %wb

วิวัฒน์และชลธิศ (2533) ทดลองอบลำไยทั้งเปลือกโดยใช้อุณหภูมิ 65 - 75 องศาเซลเซียส ด้วยเตาอบที่ใช้ก๊าซหุงต้ม ซึ่งใช้เวลาในการอบประมาณ 45 -50 ชั่วโมง แต่ยังถือว่าเป็นการอบที่ใช้ระยะเวลาในการอบนานอยู่ ส่วน พนอรัตน์ (2533) สามารถอบลำไยทั้งเปลือกให้แห้งด้วยเตาอบใบยาสูบโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาเพียง 34 ชั่วโมง วีระ (2541) ได้สำรวจการอบลำไยทั้งเปลือกของเกษตรกร โดยใช้เครื่องอบที่มีอุณหภูมิ 75 - 80 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 54 ชั่วโมง ที่ระดับชั้นความหนา 60 เซนติเมตร โดยใช้ลำไยในการอบทั้งสิ้น 2,000 กิโลกรัม พบว่า ลำไยที่ได้จากการ อบยังมีความชื้นไม่สม่ำเสมอ ยิ่งระดับความหนาของชั้นลำไยอบแห้งเพิ่มมากขึ้นระยะเวลาในการอบแห้งก็จะเพิ่มขึ้นตาม Klongpanich (1991) เปรียบเทียบระดับชั้นความหนาของลำไยในการอบแห้ง 3 ระดับ คือ 2.5 เซนติเมตร 25 เซนติเมตร และ 30 เซนติเมตร พบว่า ที่ระดับชั้นความหนาน้อยสุดจะมีอัตราการลดความชื้นเร็วที่สุด และเมื่อทำการทดลองเพิ่มชั้นความหนาของลำไยพบว่าต้องใช้ระยะเวลาในการอบเพิ่มขึ้น ซึ่งที่ชั้นความหนา 2.5 เซนติเมตร ใช้เวลา 18 ชั่วโมง เมื่อเพิ่มชั้นความหนาขึ้น

เวลาเพิ่มขึ้นเป็น 22 ชั่วโมงและ 31 ชั่วโมงตามลำดับ อุมาพร (2543) ได้ทำการทดลองและได้ผลในทำนองเดียวกัน โดยทำการอบแห้งลำไยทั้งเปลือกที่ชั้นความหนา 20 เซนติเมตร, 40 เซนติเมตร และ 60 เซนติเมตร และไม่มีการกลับระหว่างการอบ ผลการทดลอง ปรากฏว่า ที่ระดับชั้นความหนา 20 เซนติเมตร สามารถลดความชื้นได้ดีกว่าชั้นความหนาอื่นๆที่มีความหนามากกว่าที่อุณหภูมิและความเร็วลมเดียวกัน เพราะยิ่งชั้นความหนาเพิ่มมากขึ้นการลดความชื้นก็จะใช้เวลานานมากขึ้นและยังทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความชื้นด้านบนกับด้านล่างอีกด้วย ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนที่สุดที่ระดับความหนา 60 เซนติเมตร ในส่วนของ ศุภศักดิ์ (2544) ที่ได้ศึกษาในเรื่องชั้นความหนาที่ระดับชั้นความหนา 40 เซนติเมตร และ 60 เซนติเมตร พบว่า ลำไยชั้นล่างจะมีความชื้นลดลงเร็วกว่าชั้นกลางและชั้นบน อย่างไรก็ตาม เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ความชื้นสุดท้ายของลำไยอบแห้งทั้ง 3 ชั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และในการอบชั้นหนา 60 เซนติเมตรแม้จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งมากกว่าการอบที่ชั้นหนา 40 เซนติเมตรก็ตาม แต่ในด้านคุณภาพไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นการอบแห้งด้วยความลึก 60 เซนติเมตร จะดีกว่าในเรื่องของปริมาณการอบแห้งที่ได้ต่อครั้งของการอบแห้ง

ผลการศึกษาปัจจัยด้านอุณหภูมิ ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นพอสรุปได้ว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการอบลำไยทั้งเปลือกจะอยู่ที่ประมาณ 75 องศาเซลเซียส และที่ระดับชั้นความหนาที่เป็นไปได้ในการอบในทางการค้าอยู่ที่ 60 เซนติเมตร แต่จะต้องหาวิธีที่ทำให้ความชื้นมีความสม่ำเสมอทั้งหมดของแต่ละชุดที่ทำการอบ

ขนาดของผลลำไยก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่ง ที่ทำให้การอบลำไยแห้งไม่สม่ำเสมอ โดยลำไยที่มีขนาดเล็กจะมีอัตราการลดความชื้นที่สูงในช่วงแรกจึงสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าลำไยที่มีขนาดใหญ่ เมื่อใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่เท่ากัน (อุมาพร, 2543) ดังจะเห็นได้จากการทดลองของ วีระ(2541) ใช้ลำไยต่างขนาดในการอบแห้ง คือ ลำไยเกรด AA จะมีขนาดใหญ่ที่สุด (AA คือ ลำไยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางมากกว่า 25.2 มิลลิเมตรและมีจำนวนผล น้อยกว่า 80 ผลต่อกิโลกรัม) ใช้เวลาในการ อบแห้งประมาณ 54 ชั่วโมง ในขณะที่เกรด AB ซึ่งมีขนาดผลเล็กกว่า (AB คือลำไยที่คละระหว่าง A ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 25.1 ถึง 22.1 มิลลิเมตรและมีจำนวนผลระหว่าง 80 ถึง 94 ผลต่อกิโลกรัม กับ B ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 22.0 ถึง 19.4 มิลลิเมตรและมีจำนวนผล 93 ถึง 144 ผลต่อกิโลกรัม) ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่า คือใช้เวลาประมาณ 42 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาเรื่องขนาดของผลลำไยของ ศุภศักดิ์ (2544) ที่พบว่า อัตราการลดความชื้นของลำไยเกรด เอ และลำไยเกรด บี นั้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ แต่ที่ลำไยเกรด เอ ที่มีขนาดใหญ่กว่าใช้ระยะเวลาในการลดความชื้นนาน

กว่าลำไยเกรด บี ที่มีขนาดเล็กกว่า เนื่องมาจากลำไยเกรด เอ มีปริมาณความชื้นในผลิตผลมากกว่าลำไยเกรด บี

การพลิกกลับวัตถุดิบ เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยให้ผลิตผลมีคุณภาพดีขึ้น และใช้เวลาในการอบลดลง ดังที่ Klongpanich (1991) ได้พบว่า การอบแห้งลำไยชั้นหนาทำให้เกิดปัญหาการแห้งที่ไม่สม่ำเสมอ จึงได้เสนอแนะ ให้ใส่ลำไยลงในตะแกรงแล้วกลับหรือทำเป็นชั้นตะแกรงและสลับตะแกรงกันไปมา วิวัฒน์และชลธิส (2533) ได้ทดลองใส่ลำไยทั้งหมดลงในตะแกรงและพลิกกลับบ่อยๆ ในการอบลำไยทั้งเปลือก โดยการใส่ลำไยลงบนตะแกรงเป็นชั้นๆและสลับชั้นตะแกรงแทนการพลิกกลับ พบว่า การสลับชั้นตะแกรงให้ผลิตผลที่แห้งสม่ำเสมอและมีคุณภาพดีกว่าการพลิกกลับกองลำไย เพื่อเป็นการหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการกลับลำไยอบแห้ง วีระ (2541) ได้ทำการศึกษาระยะเวลาที่เหมาะสมในการกลับผลลำไยแต่ละขนาดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่า ลำไยเกรด AA เวลาที่ใช้ในการกลับที่เหมาะสม คือ 12 ชั่วโมง สำหรับเกรด AB ใช้เวลาน้อยกว่าเกรด AA 6 ชั่วโมง ส่วนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ลำไยเกรด AA และ AB ใช้เวลาในการกลับประมาณ 6 ชั่วโมงเท่ากัน โดยสามารถช่วยลดความชื้นได้เร็วขึ้น

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดความชื้นและทำให้ลำไยมีคุณภาพดีและสม่ำเสมอมากยิ่งขึ้นควรจะมีการหมุนเวียนของลมร้อนที่ดี พนอรัตน์ (2533) ได้ทดลองใช้เตาอบกระแสลมร้อนที่มีการหมุนเวียนดี ผลปรากฏว่าใช้เวลาในการอบแห้งลำไยเพียง 22 ชั่วโมงเท่านั้น เพื่อช่วยแก้ปัญหาในเรื่องความไม่สม่ำเสมอของลำไยอบแห้งทั้งเปลือกโดยการสลับทิศทางลมแทนการพลิกกลับกองหรือแทนการสลับกล่อง และศึกษาระยะเวลาในการสลับลมที่เหมาะสม ศุภศักดิ์ (2544) รายงานว่า การสลับลมถี่จะให้ผลในการลดความชื้นได้ดีกว่าการสลับลมที่ห่าง นั่นคือการสลับลมทุกๆ 6 ชั่วโมงจะให้ผลในการลดความชื้นดีกว่าการสลับลมทุกๆ 9 และ 12 ชั่วโมง เนื่องจากการลดความชื้นของลำไยอบแห้งมีความสม่ำเสมอกันทั่วทั้งหมดมากกว่า ทั้งนี้เพราะลมร้อนจากอากาศจะสัมผัสถูกส่วนที่เย็นที่สุดของลำไยในทุกๆครั้งที่ทำการสลับทิศทางลม

ด้านความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้ง Uretir et al. (1996) ศึกษาเรื่องความเร็วลมในการลดความชื้นแอปเปิ้ลที่ทำเป็นชิ้นลูกเต๋าในเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ ใช้ความเร็วลมในการอบอยู่ในช่วง 1.7 – 3.0 เมตร/วินาที และใช้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 78 – 94 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิและความเร็วลมมีผลกระทบต่ออัตราการลดความชื้นแต่ความเร็วลมจะไม่มีผลกระทบต่ออัตราการอบแห้งในช่วงที่ 2 สำหรับความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้งลำไยทั้งเปลือกนั้นยังมีความแตกต่างในการใช้กันอยู่ เช่น Sitthiphong (1989) ใช้ความเร็วลม 0.95 เมตร/วินาที ในการอบแห้งลำไยแบบทั้งเปลือก ส่วน อุมาพร (2543), ศุภศักดิ์ (2544) และ วีระ (2541) รายงานว่า

ใช้ความเร็วลมประมาณ 0.7 เมตร/วินาที ในการอบแห้ง ในขณะที่ Klongpanich (1991) รายงานว่ายิ่งความเร็วลมมากขึ้นเท่าใดการลดความชื้นยิ่งมีอัตราเร็วขึ้นตามไปด้วย อย่างไรก็ดี จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมายังไม่พบว่ามีการใช้ความเร็วลมเป็นตัวแปรในการศึกษาการอบแห้งลำไย

ปัจจัยสำคัญของการอบแห้งและปัญหาที่เกิดขึ้นในการอบแห้งเนื่องจากการกลับวัตถุดิบและการเป่าลมทางเดียวทำให้ความชื้นไม่สม่ำเสมอและไม่ได้มาตรฐานที่ดีพอ ทำให้ได้ลำไยที่มีคุณภาพไม่สม่ำเสมอทั้งชุดการทดลอง และใช้เวลาในการอบแห้งนาน ดังนั้นจึงเห็นว่าการนำวิธีการสลับลมร้อนแทนการกลับวัตถุดิบแบบเดิมที่ยังคงใช้กันอยู่ในปัจจุบัน และการเพิ่มและลดความเร็วลมในการอบแห้งมาศึกษาน่าจะสามารถแก้ปัญหาของการอบแห้งที่ต้องใช้นานและลดการสูญเสียคุณภาพของผลิตผลอันเนื่องมาจากการกลับ และยังสามารถเพิ่มคุณภาพของผลิตผลให้สม่ำเสมอขึ้นได้อีกด้วย

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University