บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

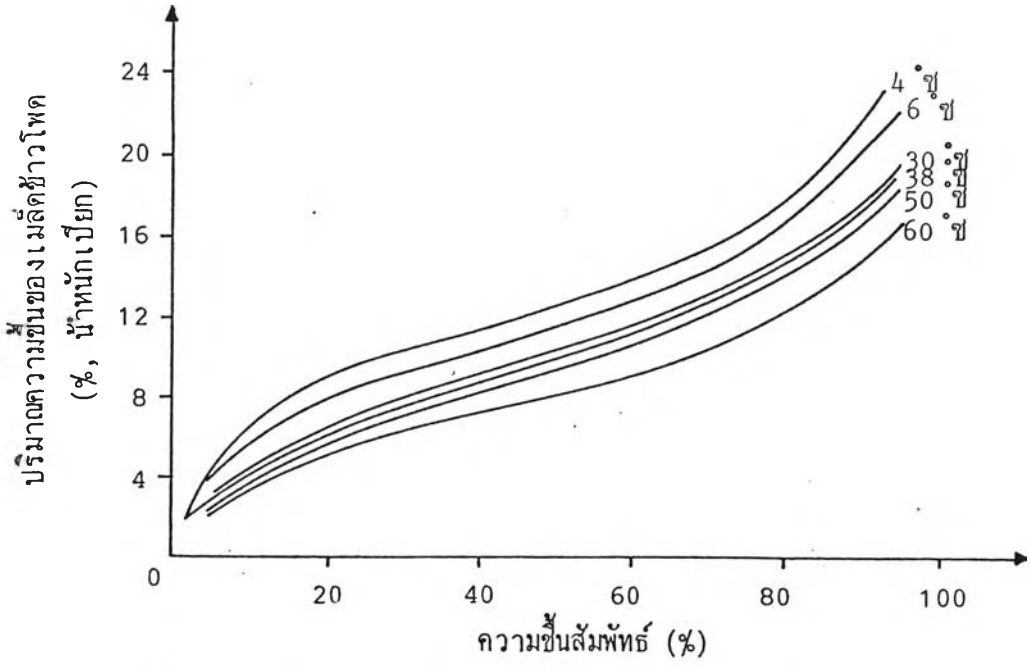
2.1 การอบแห้ง (drying)

2.1.1 ความชื้นสมดุล (Equilibrium moisture content)

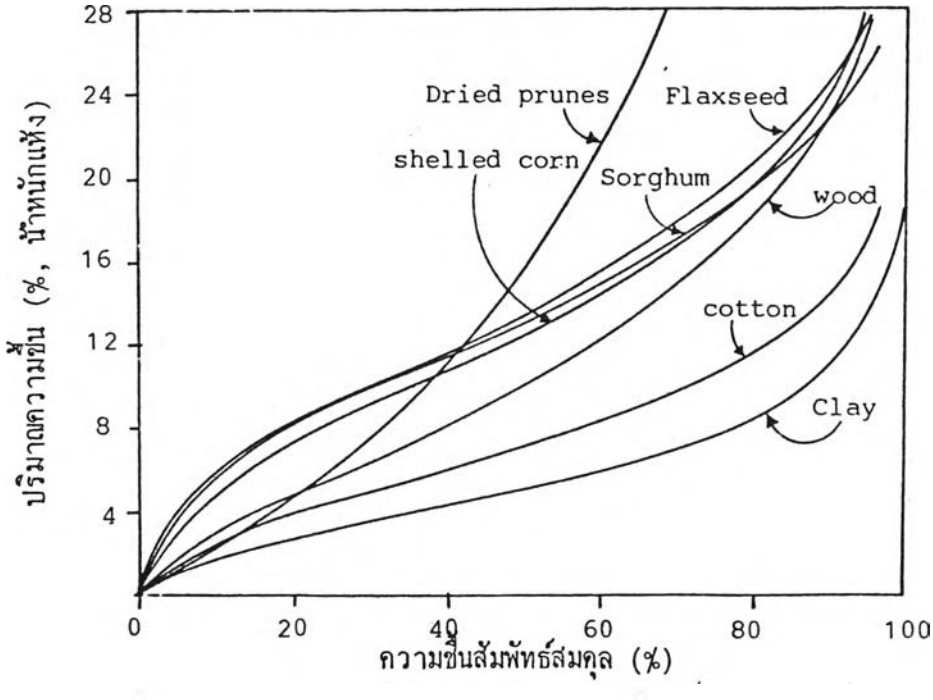
โดยทั่วไปการแบ่งประเภทของวัสดุตามคุณสมบัติของการอบแห้งได้ 2 ประเภท คือ ประเภทแรก วัสดุที่ผ่านการอบแห้งสามารถอบแห้งจนกระทั่งไม่มีความชื้นหลงเหลืออยู่ในวัสดุเลย (non-hygroscopic) เช่น ทราย ส่วนประเภทหลังวัสดุจะสามารถแลกเปลี่ยนความชื้นกับอากาศแวดล้อมได้ ทำให้ไม่สามารถอบแห้งจนมีความชื้นเป็นศูนย์ได้ ซึ่งคุณสมบัตินี้เรียกว่า Hygroscopic เช่น พวกเมล็ดธัญพืชต่าง ๆ แต่วัสดุเหล่านี้จะมีค่าความชื้นสมดุล ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อความชื้นภายในวัสดุมีความดันไอเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่รอบ ๆ ค่านี้จะขึ้นกับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิ และความชื้น เป็นต้น (5)

เมล็ดพืชและวัสดุอาหารส่วนใหญ่จะมีค่าความชื้นสมดุลไอโซเทอม (Equilibrium moisture isotherm) ดังรูปที่ 2.1 และ 2.2 ถ้าสังเกตจะพบว่า ที่ความชื้นสัมพัทธ์เดียวกัน ค่าความชื้นสมดุลในเมล็ดข้าวโพดลดลงเมื่ออุณหภูมิของอากาศเพิ่มขึ้น (6,7)

การเข้าสู่ความชื้นสมดุลเป็นไปได้ 2 ทางคือ วัสดุจะคายความชื้นให้แก่อากาศที่อยู่รอบ ๆ จนเข้าสู่ความชื้นสมดุล ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การคายความชื้น (Desorption) หรือวัสดุดูดความชื้นจากอากาศจนเข้าสู่ความชื้นสมดุลเรียกว่า การดูดซับความชื้น (Adsorption) ในวัสดุชนิดเดียวกันที่อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่ที่ค่าหนึ่ง จะมีการเข้าสู่สมดุล 2 ทางไม่เท่ากัน ทำให้เกิดความแตกต่างของค่าความชื้นสมดุลที่เรียกว่า Hysteresis (รูปที่ 2.3) และตามปกติแล้วค่าความชื้นสมดุลจะเกิดจากการคายความชื้น และค่านี้จะมีค่าสูงกว่าการดูดซับความชื้นเสมอ (8)

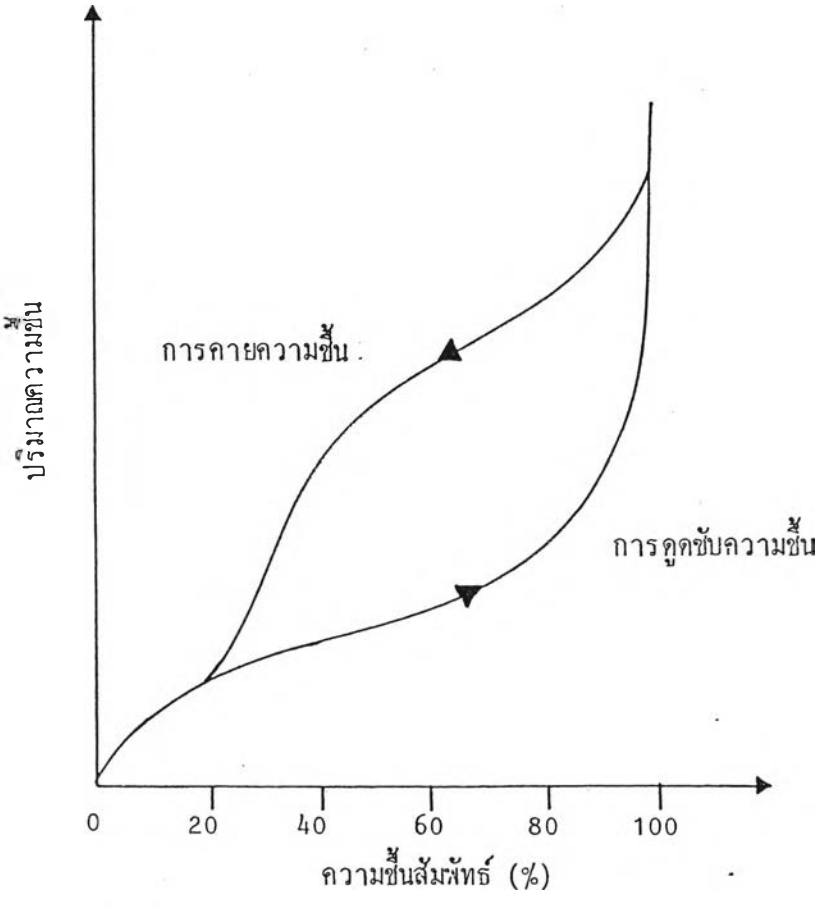


รูปที่ 2.1 ปริมาณความชื้นสมดุลของเมล็ดข้าวโพดที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน



รูปที่ 2.2 เส้นความชื้นสมดุลของวัสดุต่าง ๆ ที่อุณหภูมิ 25 °ซ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 การเข้าสู่ความชื้นสมดุลสำหรับเมล็ดพืช

2.1.2 กลไกการอบแห้ง

การอบแห้ง (drying) เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ต้องการอบแห้งโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง เช่น วิธีการพา การนำ การแผ่รังสี หรือทั้งสามแบบผสมกัน (9) เพื่อทำให้น้ำหรือของเหลวที่อยู่ในเนื้อวัสดุระเหยออกมาอยู่ในรูปของไอ โดยความร้อนที่ได้รับจะเป็นความร้อนแฝงของการระเหย จากหลักการดังกล่าว งานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคฟลูอิไดเซชันมาใช้ในการอบแห้ง โดยอาศัยลักษณะของการเกิดฟลูอิไดเซชัน นั่นคือ เมื่อเมล็ดพืชสัมผัสโดยตรงกับอากาศร้อนที่ไหลผ่านเข้าไปในเบดแล้ว ทำให้เมล็ดพืชมีคุณสมบัติคล้ายของไหลเกิดการลอยตัวขึ้น ดังนั้นถ้าเมล็ดพืชเมล็ดใดแห้งก่อน มันก็จะไหลออกจากเครื่องได้เองโดยไม่ต้องอาศัยแรงงานคนหรือเครื่องกลชนิดใด ๆ ดังเช่น การผึ่งแดด หรือการอบแห้งแบบถาด (Tray) แต่สิ่งสำคัญของการใช้เทคนิคนี้ก็คือ เมล็ดพืชสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศร้อนได้อย่างสม่ำเสมอและทั่วตลอดทั้งในเมล็ดพืชเองและภายในเบด (10)

การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการอบแห้งแบบการผึ่งแดด และการใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชัน (3,10,11,12)

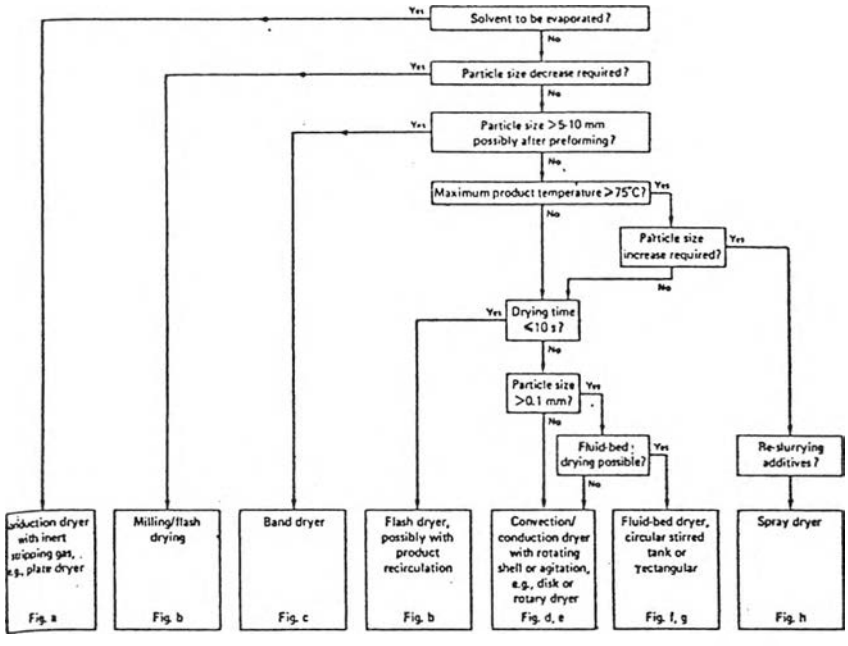
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการอบแห้งแบบการผึ่งแดด

ข้อดี	ข้อเสีย
1. ไม่มีอันตรายจากไฟ	1. ขึ้นกับสภาพลมฟ้าอากาศ
2. ค่าใช้จ่ายต่ำ	2. การตากต้องใช้เวลานาน อาจทำให้เมล็ดพืชเสียหายจากเชื้อรา
3. ดูแลรักษาง่าย	3. ใช้พื้นที่ในการตากมาก ทำให้เสียพื้นที่เพาะปลูกไปโดยเปล่าประโยชน์
	4. ต้องใช้แรงงานในการเก็บและนำออกตาก

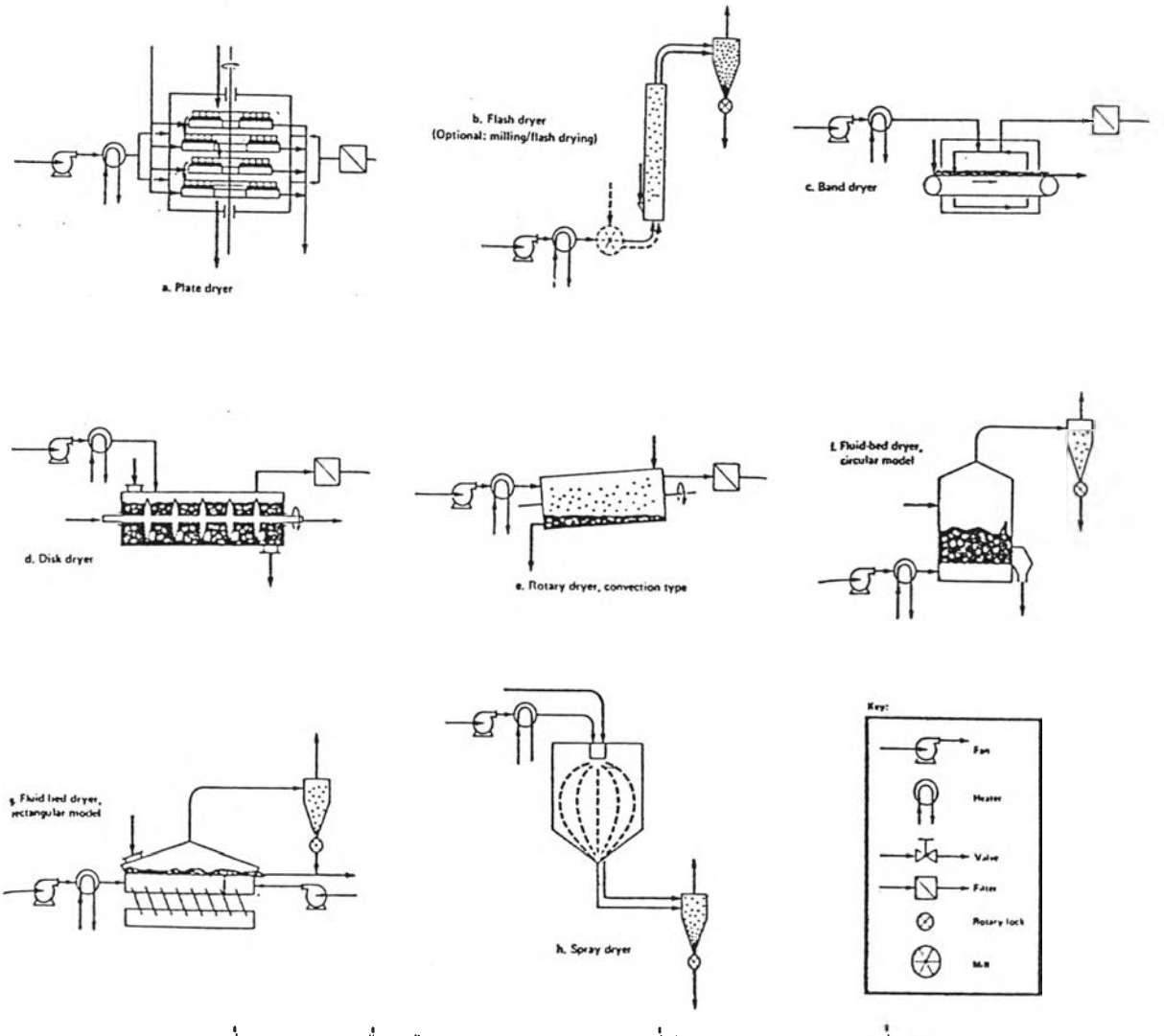
ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของการอบแห้งแบบใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชัน

ข้อดี	ข้อเสีย
1. เครื่องมือสามารถสร้างแบบขนาดไม่ใหญ่โตมากนัก ทำให้ไม่เปลืองเนื้อที่ในการติดตั้ง	1. เสียค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง
2. พลังงานถูกนำไปใช้อย่างทั่วถึง เพราะเมล็ดข้าวโพดสัมผัสกับอากาศร้อนโดยตรงได้ทั้งหมด	2. ต้องดูแลรักษา
3. เวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะสั้นและรวดเร็ว	3. มีอันตรายจากไฟ
4. เป็นวิธีที่สามารถทำได้อย่างต่อเนื่อง เพราะเมล็ดข้าวโพดจะมีลักษณะคล้ายของเหลวที่ไหลได้ เมื่ออยู่ในลักษณะฟลูอิไดซ์เบด ทำให้การควบคุมเป็นไปได้ง่าย	4. อธิบายการไหลของอากาศร้อนได้ยาก อาจเป็นการไหลแบบปล๊กหรือเกิดฟองก๊าซ
5. ในฟลูอิไดซ์เบดข้าวโพดจะถูกกวนและผสมอย่างรุนแรง ทั้งในแนวดิ่งและแนวนอนโดยกระแสอากาศร้อนที่ไหลผ่านเบด จึงถือว่าเกิดการผสมอย่างสมบูรณ์ และไม่ต้องคำนึงถึงการกระจายของความชื้นหรือการกระจายของอุณหภูมิในเมล็ดข้าวโพด ส่วนการไหลของข้าวโพดระหว่างจุดป้อนเข้าและปากทางออก สามารถประมาณได้เป็นแบบผสมอย่างสมบูรณ์กับข้าวโพดที่กำลังถูกฟลูอิไดซ์ในขณะเดียวกับถูกปล่อยออก	5. การผสมกันอย่างดีของข้าวโพดในเบด ทำให้เวลาที่อยู่ในตัวเครื่องของข้าวโพดแต่ละเมล็ดไม่เท่ากัน
6. พื้นที่สัมผัสระหว่างข้าวโพดกับอากาศร้อนมีมากกว่าการอบแห้งแบบวิธีอื่นเมื่อใช้ข้าวโพดจำนวนเท่ากัน จึงมีประโยชน์ต่อการขยายงาน	
7. อุณหภูมิของเบดจะสม่ำเสมอและสามารถควบคุมได้ตลอดเวลา ถึงแม้จะเป็นการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิวิกฤตของข้าวโพดนั้น	
8. สามารถอบแห้งได้ตลอดทั้งปี	
9. ข้าวโพดที่ผ่านการอบแห้งแบบนี้จะมีคุณภาพดีและสะอาด	

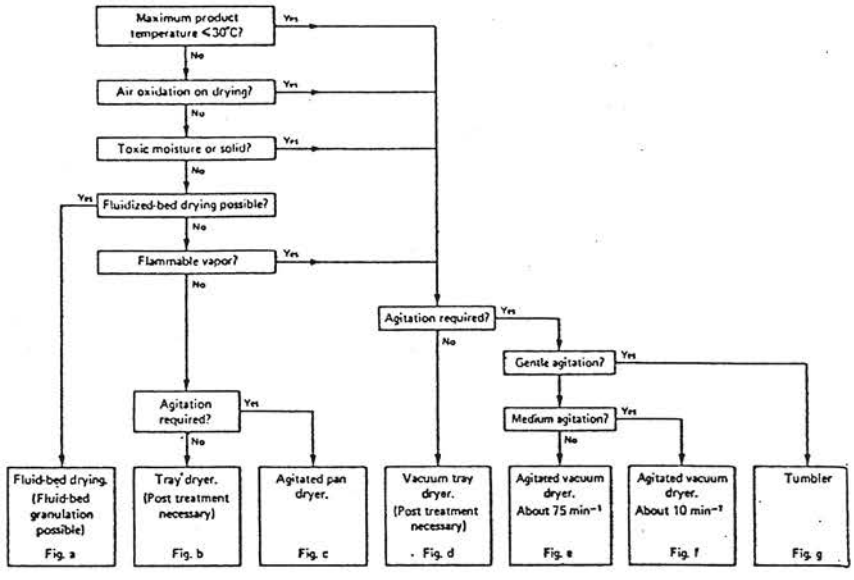
นอกจากนี้เมื่อทำการศึกษาคุณลักษณะของการอบแห้งแบบต่าง ๆ โดยเปรียบเทียบในแง่วัสดุที่เหมาะสม สภาวะต่าง ๆ ที่ใช้เงื่อนไขต่าง ๆ ตลอดจนหลักการทำงาน พบว่าเครื่องอบแห้งที่เหมาะสมกับการอบแห้งพวกเมล็ดพืช ได้แก่ เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด ซึ่งดูได้จากรูปที่ 2.4-2.7 และตารางที่ 2.3 (13,14)



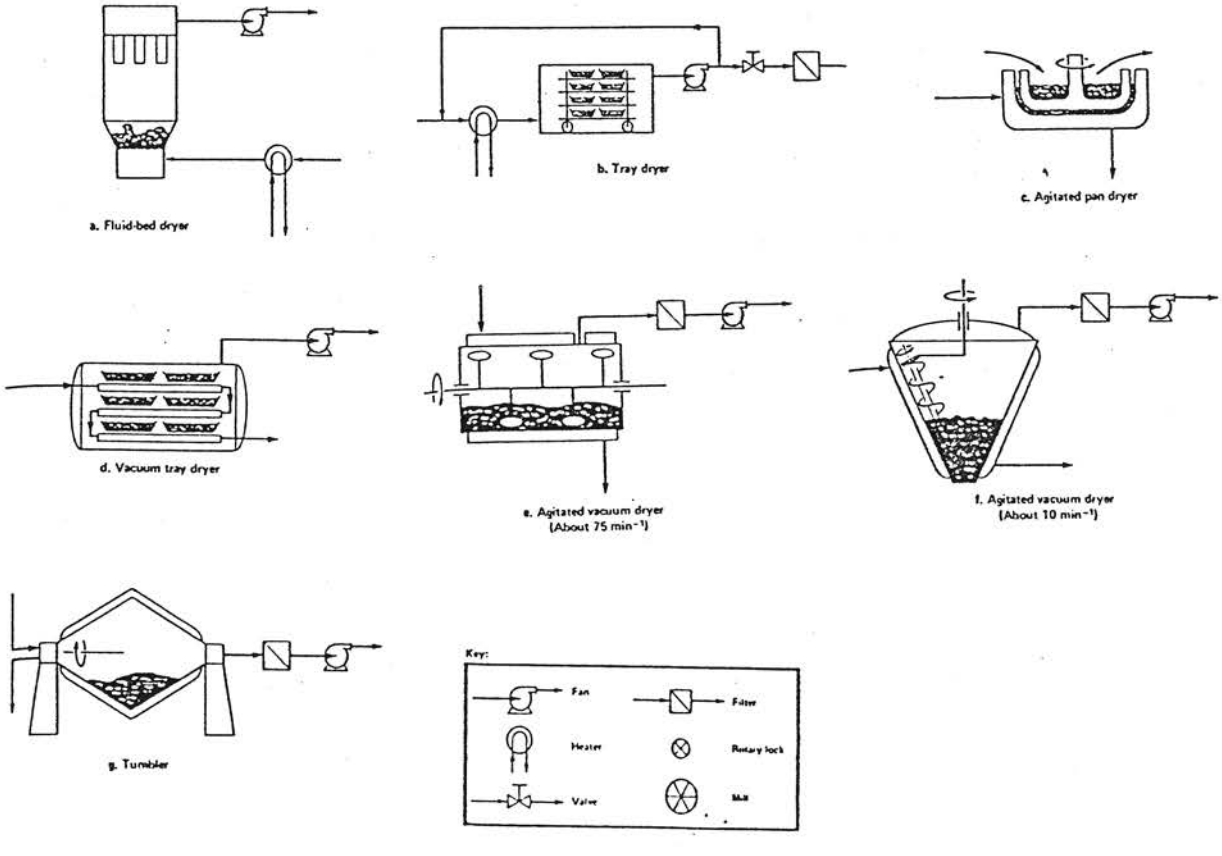
รูปที่ 2.4 หลักการเลือกเทคนิคฟลูอิไดเซชันในการอบแห้งแบบที่ 1



รูปที่ 2.5 เครื่องมืออบแห้งแบบต่าง ๆ ที่มีในการอบแห้งแบบที่ 1



รูปที่ 2.6 หลักการเลือกเทคนิคฟลูอิไดเซชันในการอบแห้งแบบที่ 2



รูปที่ 2.7 เครื่องมืออบแห้งแบบต่าง ๆ ที่มีในการอบแห้งแบบที่ 2

ตารางที่ 2.3 หลักการเลือกเทคนิคฟลูอิไดเซชันในการอบแห้งโดยอาศัยกระบวนการอบแห้ง

<table>
<tr><th>การอบแห้งแบบทางตรง</th><th colspan="3">การอบแห้งแบบทางอ้อม</th></tr>
<tr><td>อากาศร้อนจะสัมผัสโดยตรงกับผิววัสดุที่ใช้อบแห้งในรูปของความร้อนแฝง</td><td colspan="3">อากาศร้อนจะสัมผัสกับผิววัสดุทางอ้อมในรูปของการแผ่รังสี หรือผนังของเครื่องอบแห้ง</td></tr>
<tr><td><u>การอบแห้งแบบ Particle</u>
อากาศร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านวัสดุเร็วมาก จนทำให้ความต้านทานการแพร่ความชื้นมีค่าน้อยกว่าความต้านทานการถ่ายเทความร้อนมาก เช่น Spray, Flash, Fluid-bed, Moving-bed และ Rotary</td><td><u>การอบแห้งแบบ Slab หรือ Bed</u>
อากาศร้อนจะไหลผ่านผิวหน้าวัสดุนานเพียงพอที่จะทำให้เกิดการแพร่ความชื้นจากข้างในมาที่ผิวหน้าวัสดุ เช่น Tunnel truck, Tray, Shelf และ Belt conveyor</td><td><u>การอบแห้งแบบสูญญากาศ</u>
ในระบบสูญญากาศจะทำให้ไอน้ำที่ระเหยออกและการแพร่ของความชื้นเกิดเร็วขึ้น เช่น Shelf, Rotary, Conical และ Freeze</td><td><u>การอบแห้งแบบ Purge</u>
อากาศร้อนจะไหลผ่านวัสดุในลักษณะไหลตัดหรือไหลผ่าน เช่น Screw conveyor, Jacketed vibrating, Continuous rotary, Continuous pan, Steam-tube และ Drum</td><td><u>การอบแห้งแบบการแผ่รังสี</u>
อากาศร้อนที่ใช้อบแห้งจะมาจากความร้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic) เช่น Infrared หรือ Dielectric</td></tr>
</table>

ในกระบวนการอบแห้งแบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ

2.1.2.1 <u>ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant-rate period)</u> ในช่วงนี้อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าคงที่ตลอด และวัสดุจะมีน้ำอยู่เป็นจำนวนมากที่ผิว ทำให้ความร้อนทั้งหมดที่วัดสุได้รับถูกนำไปใช้ในการระเหยความชื้นออกจากวัสดุเท่านั้นสำหรับวัสดุที่ไม่มีรูพรุน (non-porous) (7) แต่ถ้าเป็นวัสดุที่มีรูพรุน (porous) น้ำที่ระเหยจะมาจากภายในของวัสดุ การกระจายความชื้นที่ผิวหน้าวัสดุจะมีค่าคงที่ นั่นแสดงว่าอัตราการระเหยของความชื้นที่ผิวหน้ามีค่าเท่ากับอัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในมาที่ผิวหน้า ฉะนั้นตัวควบคุมให้อัตราการอบแห้งคงที่ จะเป็นอัตราการระเหยของความชื้นที่ผิวหน้าของวัสดุเท่านั้น (9)

กลไกการเคลื่อนที่ของความชื้นจะไม่ขึ้นกับธรรมชาติของวัสดุนั้น ๆ แม้ว่าอุณหภูมิที่ผิวยังคงคงที่ แต่ระดับอุณหภูมิขึ้นกับวิธีการส่งผ่านความร้อนไปยังผิว ถ้าความร้อนส่งผ่านโดยการพา การนำ และการแผ่รังสี อุณหภูมิของผิวจะอยู่ระหว่างอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อนกับจุดเดือดของน้ำ แต่ถ้าความร้อนส่งผ่านโดยการพาอย่างเดียวเท่านั้น อุณหภูมิที่ผิวจะเข้าใกล้อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อน ในกรณีหลังจะเป็นการนำความร้อนทั้งหมดที่ได้จากก๊าซร้อนมาใช้ในการระเหยน้ำที่ผิว ดังนั้นทำให้สามารถทำสมดุลระหว่างอัตราการส่งผ่านความร้อนไปยังวัสดุและอัตราการระเหยของไอจากผิว ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ (7)

$$\frac{dW}{d\Theta} = f_v A (p_s - p_a)$$

$$= \frac{fA (t_A - t_s)}{h_{fg}} \qquad \text{——————————(1)}$$

2.1.2.2 <u>ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling-rate period)</u>

โดยทั่วไปพวกธัญญพืช (Agricultural product) จะมีแต่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น เนื่องจากความชื้นที่บริเวณผิวหน้าจะระเหยไปเกือบหมดแล้ว ตั้งแต่ยังเป็นฝักแก่ก่อนเก็บเกี่ยวจากต้น เช่น ข้าวโพด ช่วงนี้จะเริ่มที่จุดปริมาณความชื้นวิกฤต (Critical moisture content) ซึ่งเป็นจุดสุดท้ายของช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ และความชื้นในรูปของน้ำที่ผิวจะระเหยออกไป เนื่องจากอัตราการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในเนื้อวัสดุมาที่ผิวช้ากว่าอัตราการการระเหยของความชื้นจากผิววัสดุ ดังนั้นผิวของวัสดุจะอยู่ในสภาพที่แห้งและอุณหภูมิของวัสดุของวัสดุจะเริ่มสูงขึ้น ทำให้อัตราการอบแห้งค่อย ๆ ลดลง ที่เป็นเช่นนี้เพราะปริมาณความร้อนที่ได้รับจะใช้ในการระเหยความชื้นและเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุอีกด้วย (7,9)

ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงนี้จะแบ่งออกได้เป็น 2 ระยะคือ ระยะแรกเป็นบริเวณการอบแห้งของผิวที่ไม่อิ่มตัว เนื่องจากความชื้นที่ผิวซึ่งระเหยทั้งหมดไม่สามารถรักษาสภาพอิ่มตัว โดยการเคลื่อนที่ของความชื้นจากภายในเนื้อวัสดุได้อีกต่อไป ดังนั้น อัตราการอบแห้งในบริเวณอิ่มตัวจะลดลง ทำให้อัตราอบแห้งที่ผิวทั้งหมดลดลงด้วย ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อระยะนี้จะขึ้นกับตัวแปรภายนอก เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความชื้น และอัตราการไหลของอากาศ แต่ไม่ขึ้นกับธรรมชาติของวัสดุ ส่วนระยะที่สอง เป็นบริเวณที่การเคลื่อนที่ของความชื้นภายในเป็นตัวควบคุม (ตัวแปรภายนอกจะไม่มีผลอีกต่อไป) เป็นระยะที่ผิวจะมีความชื้นลดลงอย่างมาก เนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำภายในออกมาที่ผิวช้ามาก จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้อัตราการอบแห้งลดลงอย่างรวดเร็ว ช่วงเวลาที่อัตราการอบแห้งลดลงสิ้นสุดลงเมื่อความชื้นเป็นศูนย์ ซึ่งเกิดขึ้นกับวัสดุประเภท non-hygroscopic แต่ถ้าความชื้นของวัสดุสมดุลกับความดันย่อยของอากาศบริเวณรอบ ๆ จะเกิดกับวัสดุประเภท hygroscopic (7,9,15)

ดังนั้นเมื่อการแพร่ของเหลว (liquid diffusion) เป็นตัวควบคุมอัตราการอบแห้ง การเคลื่อนที่ของความชื้นภายในเนื้อวัสดุมาสู่ภายนอก จะมีลักษณะคล้ายกับการนำความร้อน จึงสามารถนำสมการคณิตศาสตร์มาประยุกต์ใช้ดังนี้

ภายในวัสดุ

$$\left(\frac{1}{A}\right)\left(\frac{\partial Q}{\partial \theta}\right) = -\frac{D_v \gamma}{100}\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right) \qquad \text{——————(2)}$$

ที่ผิววัสดุ

$$-D_v\gamma \frac{\partial M}{\partial x} = S\,(M_s - M_e)\gamma \qquad \text{——————(3)}$$

$$\frac{\partial M}{\partial x} = D_v \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} \qquad \text{——————(4)}$$

สมการคณิตศาสตร์ข้างต้นเป็นสมการอนุพันธ์ที่ระดับหนึ่งและสองซึ่ง Newman ได้หาผลลัพธ์ของสมการดังกล่าวข้างบน โดยตั้งสมมติฐานไว้ว่า ที่บรรยากาศคงที่วัสดุจะมีอัตราการแพร่ของน้ำคงที่ ไม่เกิดการหดตัวเมื่อคายน้ำออกไป และถ้าวัสดุมีรูปร่างทรงกลม ผลลัพธ์ที่ได้เป็น

$$\frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \frac{6}{\pi^2}\left[e^{\frac{-D_v \theta \pi^2}{\bar{x}^2}} + \frac{1}{9} e^{\frac{-9 D_v \theta \pi^2}{\bar{x}^2}} + \frac{1}{25} e^{\frac{-25\ D_v \theta \pi^2}{\bar{x}^2}} + \ldots \right] \quad \text{——(5)}$$

เทอม exponential ทางขวามือมีค่าน้อยลงตามลำดับ จนสามารถตัดเทอมทางท้าย ๆ ได้ จะเหลือสมการเพียง

$$\frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \frac{6}{\pi^2} e^{\frac{-D_v \theta \pi^2}{\bar{x}^2}} \qquad (6)$$

สมการ (6) นี้สามารถประยุกต์ใช้กับวัสดุที่มีรูปร่างแตกต่างกัน เพียงแต่เปลี่ยนเทอม $D_v \frac{\pi^2}{\bar{x}^2}$ เท่านั้น (7)

2.1.3 <u>ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง</u>

2.1.3.1 <u>ความเร็วของอากาศร้อน</u> (16)

การอบแห้งที่ต้องการความรวดเร็ว เราจะต้องผ่านอากาศที่มีอุณหภูมิสูงพอสมควรเข้าไปในชั้นของวัสดุ อากาศร้อนจำนวนนี้จะทำหน้าที่อย่างน้อย 2 อย่าง ในเวลาเดียวกัน กล่าวคือ ประการแรก ความร้อนที่มีอยู่ในอากาศถูกถ่ายเทให้กับวัสดุ เพื่อทำให้วัสดุคายความชื้นแล้วในวัสดุมีอุณหภูมิสูงขึ้น หรือไปเพิ่มพลังงานให้กับน้ำที่อยู่ภายในวัสดุ ประการที่สอง อากาศจะช่วยพาเอาความชื้นหรือไอที่ซึมผ่านมาที่ผิวของวัสดุหลุดไปรอบ ๆ กับอากาศ

ถ้ากระบวนการนั้นเป็นแบบฟลูอิไดเซชันด้วยแล้ว อากาศส่วนนี้ยังทำหน้าที่พยุงให้วัสดุลอยตัวอยู่ในชั้น หรือเบดของเครื่องอบแห้งนั้นอีกด้วย ครั้นวัสดุแห้งจนมีน้ำหนักเหลืออยู่น้อย อากาศก็สามารถพัดพาเอาวัสดุนั้นออกจากเครื่องอบแห้งมายังภาชนะบรรจุตรงทางออกของเครื่องได้อีกประการหนึ่ง

การพิจารณากลไกการทำงานในการอบแห้งที่เกิดกับเมล็ด-ข้าวโพด ตามรูปที่ 2.8 มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่หนึ่ง พลังความร้อนจากอากาศผ่านมายังชั้นของอากาศบาง ๆ ที่อยู่รอบ ๆ ผิวหน้าของเมล็ดข้าวโพด

015284

ขั้นตอนที่สอง ความร้อนผ่านชั้นอากาศบางมาแล้วจะถึงผิวหน้าของเมล็ดข้าวโพด

ขั้นตอนที่สาม พลังงานความร้อนผ่านทะลุชั้นผิวหน้าก็จะค่อย ๆ ถ่ายเทให้กับเนื้อชั้นในของเมล็ดข้าวโพดจนถึงจุดตรงกลางภายในเมล็ดข้าวโพด

ขั้นตอนที่สี่ ความชื้นที่อยู่ภายในเนื้อเมล็ดข้าวโพด หลังจากได้รับพลังงานความร้อน สมดุลที่มีครั้งแรกถูกเปลี่ยนไป ความชื้นจะค่อย ๆ ซึมผ่านชั้นเนื้อภายใน

ขั้นตอนที่ห้า ความชื้นหรือไอน้ำจะซึมผ่านชั้นเนื้อภายใน มาถึงผิวหน้าของเมล็ดข้าวโพด

ขั้นตอนที่หก เป็นขั้นตอนที่ความชื้นหรือไอน้ำแพร่ผ่านมาถึงชั้นฟิล์มบาง ๆ ของอากาศ

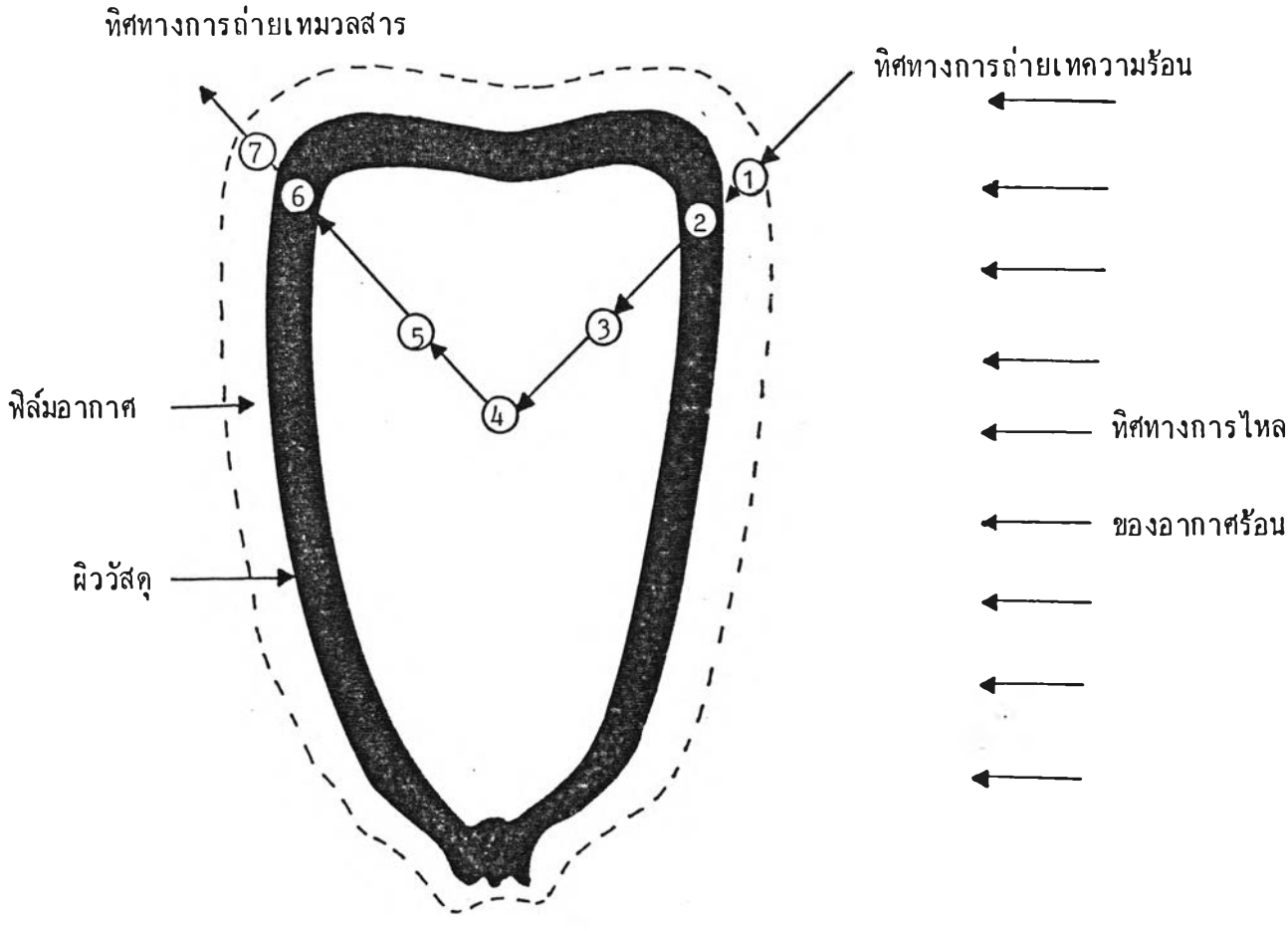
ขั้นตอนที่เจ็ด ความชื้นหรือไอน้ำจะแพร่ผ่านพ้นชั้นฟิล์มบาง ๆ ของอากาศสู่บรรยากาศหรือกระแสอากาศที่พัดผ่าน

แต่ละขั้นตอนมีความยากง่ายของการซึมผ่านของน้ำหรือไอน้ำไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางกายภาพของแต่ละวัสดุ

ความชื้นที่ซึมผ่านทางด้านผิวหน้าของเมล็ดข้าวโพดจะถูกอากาศร้อนพัดพาไป ทำให้ความชื้นจากภายในของเมล็ดข้าวโพดก็ซึมผ่านออกมาแทนที่ ถ้าเพิ่มความเร็วของอากาศร้อนมากขึ้น อัตราการซึมผ่านของความชื้นจะสูงขึ้น อย่างไรก็ตามอัตราการซึมผ่านย่อมต้องช้ากว่าอัตราการพาเอาความชื้นไปจากผิวหน้า หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ อัตราการซึมผ่านหรือการแพร่กระจายของความชื้นมีขีดจำกัด ระบบการอบแห้งจึงถูกควบคุมด้วยอัตราการซึมผ่านเนื้อของวัสดุ

2.1.3.2 <u>เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง</u> (17)

การใช้เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชนั้น ระยะเวลาในการอบมีผลต่อการเจริญของเชื้อรา ความแข็งแรงของเมล็ด และความสามารถในการงอกของเมล็ด ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการอบถ้าไม่เหมาะสมจะทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำในเมล็ดมายังผิวไม่สม่ำเสมอ ทำให้เกิดการแตกหักของผิวเมล็ดอันเนื่องจากการหดตัวไม่เท่ากันระหว่างเนื้อเยื่อภายในเมล็ดและเปลือกหุ้ม



(1) ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนที่ฟิล์มอากาศ (Film heat transfer resistance)

(2) ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนที่ผิววัสดุ (Skin heat transfer resistance)

(3) ความต้านทานการถ่ายเทความร้อนภายในวัสดุ (Internal heat transfer resistance)

(4) บริเวณที่น้ำเริ่มระเหยจากภายในสู่ภายนอก (Evaporation of water content)

(5) ความต้านทานการถ่ายเทมวลสารภายในวัสดุ (Internal mass transfer resistance)

(6) ความต้านทานการถ่ายเทมวลสารที่ผิววัสดุ (Skin mass transfer resistance)

(7) ความต้านทานการถ่ายเทมวลสารที่ฟิล์มอากาศ (Film mass transfer resistance)

รูปที่ 2.8 ความต้านทานต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นต่อการถ่ายเทความร้อนและมวลสารในการอบแห้ง

2.1.3.3 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative humidity) (17,18)

ที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์อากาศเดียวกัน เมล็ดพืชจะมีความชื้นภายในที่แตกต่างกัน ขึ้นกับว่าเปลือกหุ้มเมล็ดเป็นชนิดใด เช่น ลักษณะเป็นรูพรุน (porous) ไม่เป็นรูพรุน (nonporous), hygroscopic, non-hygroscopic, เซลลูโลสมีจำนวนมากหรือน้อย หรือองค์ประกอบของเมล็ดมากหรือน้อย เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมัน เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 2.4 ถ้านำเมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นสูงกว่าร้อยละ 12.5 ทิ้งผึ่งอากาศไว้ที่ที่มีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 แล้ว ในที่สุดก็จะได้ความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 12.5 ส่วนอีกกรณีหนึ่ง ถ้าเมล็ดข้าวโพดมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 12.5 จะทำให้เมล็ดดูดความชื้นที่มีในอากาศเข้าไปภายในจนมีความชื้นถึงร้อยละ 12.5 แล้วจึงหยุด ดังนั้นผู้ที่ทำหน้าที่ควบคุมการระบายอากาศในถังไซโลเก็บเมล็ดข้าวโพด ต้องทำความเข้าใจกับเรื่องนี้ให้ดี เนื่องจากถ้าเก็บเมล็ดข้าวโพดที่ความชื้นร้อยละ 15 ซึ่งดีอยู่แล้ว การระบายอากาศเมื่ออากาศภายนอกมีความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 จะทำให้เมล็ดเพิ่มความชื้นเป็นร้อยละ 19 ซึ่งเป็นความชื้นที่สูงเกินต้องการ

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศกับความชื้นในเมล็ดพืช ที่อุณหภูมิ 25 °ซ

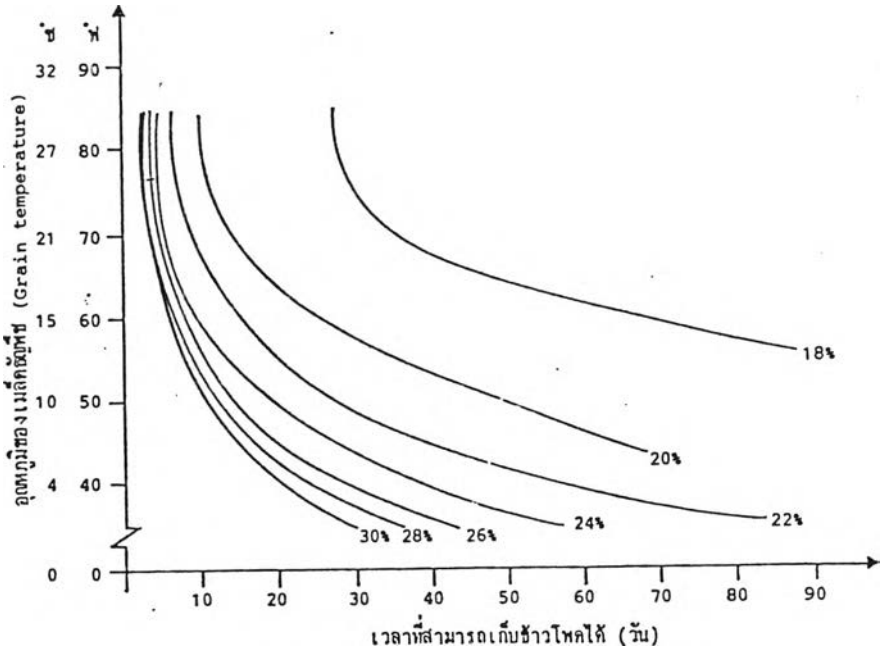
ชนิดเมล็ดพืช	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (%)					
	15	30	45	60	75	90
1. ข้าว	5.5	8.0	10.0	12.0	14.0	17.5
2. ข้าวโพด	6.5	8.5	10.5	12.5	15.0	19.0
3. ข้าวฟ่าง	6.5	8.5	10.5	12.0	15.0	19.0
4. ถั่วเหลือง	-	6.5	7.5	9.5	13.0	19.0
5. ถั่วลิสง	2.5	4.0	5.5	7.5	10.0	13.0
6. ฝ้าย	-	6.0	7.5	9.5	11.5	-
7. กะหล่ำปลี	3.5	4.5	6.0	7.0	9.0	-
8. พริก	6.0	7.0	8.0	9.0	11.0	-
9. ผักกาดหอม	4.0	5.0	6.0	7.0	9.0	-
10. มะเขือเทศ	6.0	7.0	8.0	9.0	11.0	-
11. แตงโม	6.0	7.0	8.0	9.0	10.5	-

2.1.3.4 อุณหภูมิอากาศร้อน (17,18)

อุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้อบแห้งอยู่ในช่วงไหนจะคำนึงถึงว่าเมล็ดข้าวโพดเป็นสิ่งมีชีวิต ฉะนั้นการอบที่อุณหภูมิสูงอาจทำลายหรือทำให้สุก หรือทำให้เมล็ดร้าวซึ่งเกิดจากความเค้น (stress) ภายในเมล็ด ซึ่งทำให้ผิดวัตถุประสงค์ของการอบ ส่วนอุณหภูมิที่ใช้อบแห้งพวกเมล็ดพืชขึ้นกับการนำผลผลิตไปใช้งาน เช่น

เมล็ดพืชไว้ทำพันธุ์	42 °ซ
เมล็ดพืชไว้ทำน้ำมันพืชหรือแป้ง	60 °ซ
เมล็ดพืชไว้ทำอาหารสัตว์	100 °ซ

ในรูปที่ 2.9 ได้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและความชื้นของเมล็ดข้าวโพด รวมทั้งจำนวนวันที่สามารถเก็บเมล็ดข้าวโพดได้โดยเสียเนื้อข้าวโพดประมาณร้อยละ 0.5 และไม่เน่าหรือเกิดรา พบว่าที่อุณหภูมิ 32 °ซ ข้าวโพดที่มีความชื้นร้อยละ 24 จะอยู่ได้ไม่เกิน 5 วัน ส่วนที่ความชื้นร้อยละ 18 จะอยู่ได้ถึง 1 เดือน แต่ถ้าเก็บเมล็ดข้าวโพดที่มีความชื้นไว้เฉย ๆ ที่อุณหภูมิ 4 °ซ มิได้หมายถึงว่าจะสามารถยืดอายุออกไปได้อีก 20 วัน แต่การลดอุณหภูมิลง 5 °ซ จะเป็นเพียงช่วยยืดอายุครึ่งหลังให้ยืดออกไปได้อีกเพียง 10 วันเท่านั้น



รูปที่ 2.9 เวลาที่สามารถเก็บข้าวโพดได้ที่ความชื้นและอุณหภูมิต่าง ๆ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 ความเป็นมาของข้าวโพด

2.2.1 ที่มาของข้าวโพด

ข้าวโพดมีชื่อสามัญว่า คอร์น (corn) ชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่าซีเมียส (zeamays) ในทวีปอเมริกาชาวพื้นเมืองหรือชาวเผ่าอินเดียนแดงเรียก เมส (maize) ข้าวโพดเป็นพืชตระกูลเดียวกับหญ้า มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกากลาง สามารถปลูกได้ดีในเขตอบอุ่น คนไทยรู้จักปลูกข้าวโพดมานาน แต่การเพาะปลูกส่วนใหญ่อาศัยน้ำจากฝนธรรมชาติเพียงอย่างเดียว ซึ่งปกติเฉลี่ยโดยทั่ว ๆ ไป ทั้งประเทศฝนตกนานประมาณ 9 เดือน เนื่องจากข้าวโพดเป็นพืชที่มีอายุการเก็บเกี่ยวสั้น (ประมาณ 90-100 วัน) ทำให้เกษตรกรสามารถปลูกข้าวโพดได้ปีละ 2 ครั้ง โดยทำการปลูกข้าวโพดรุ่นที่ 1 ในราวเดือนเมษายนถึงพฤษภาคม และเก็บเกี่ยวประมาณเดือนกรกฎาคมถึงกันยายน จังหวัดที่ปลูกในรุ่นที่ 1 นี้มี เพชรบูรณ์ ลพบุรี สระบุรี นครราชสีมา นครสวรรค์ เลย และพิษณุโลก เป็นต้น รุ่นที่ 2 เริ่มปลูกในราวเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม และเก็บเกี่ยวประมาณเดือนตุลาคมถึงพฤศจิกายน จังหวัดที่ปลูกในรุ่นนี้ได้แก่ นครราชสีมา สระบุรี ลพบุรี นครสวรรค์ เป็นต้น (19) สำหรับสภาวะอากาศของภาคกลางที่มีอิทธิพลต่อฤดูการปลูกและเก็บเกี่ยวของพืชได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.5 (20)

ข้าวโพดที่ปลูกในประเทศไทยแบ่งออกเป็น 5 ประเภทคือ (21)

2.2.1.1 ข้าวโพดไร่ชนิดหัวแข็ง (Flint corn) มีลักษณะเมล็ดกลมแข็งใส เมื่อแห้งจะไม่บุบเพราะขอบนอกเป็นแป้งแข็ง เป็นที่นิยมปลูกมากในขณะนี้ เพราะมีน้ำหนักดี อายุสั้น ไม่ค่อยดูดความชื้นเมื่อแห้งจัด เหมาะสำหรับปลูกที่ที่มีความชื้นสูง

2.2.1.2 ข้าวโพดไร่ชนิดหัวบุบ (Dent corn) เมล็ดเมื่อแก่จะบุบตรงกลางและมีสีขาว เพราะมีแป้งมาก ขนาดฝักใหญ่กว่าชนิดแรก แต่แน่นน้อยกว่าทำให้น้ำหนักต่อถังน้อยกว่า และพบว่ามอดและแมลงชอบมากกว่าชนิดแรก

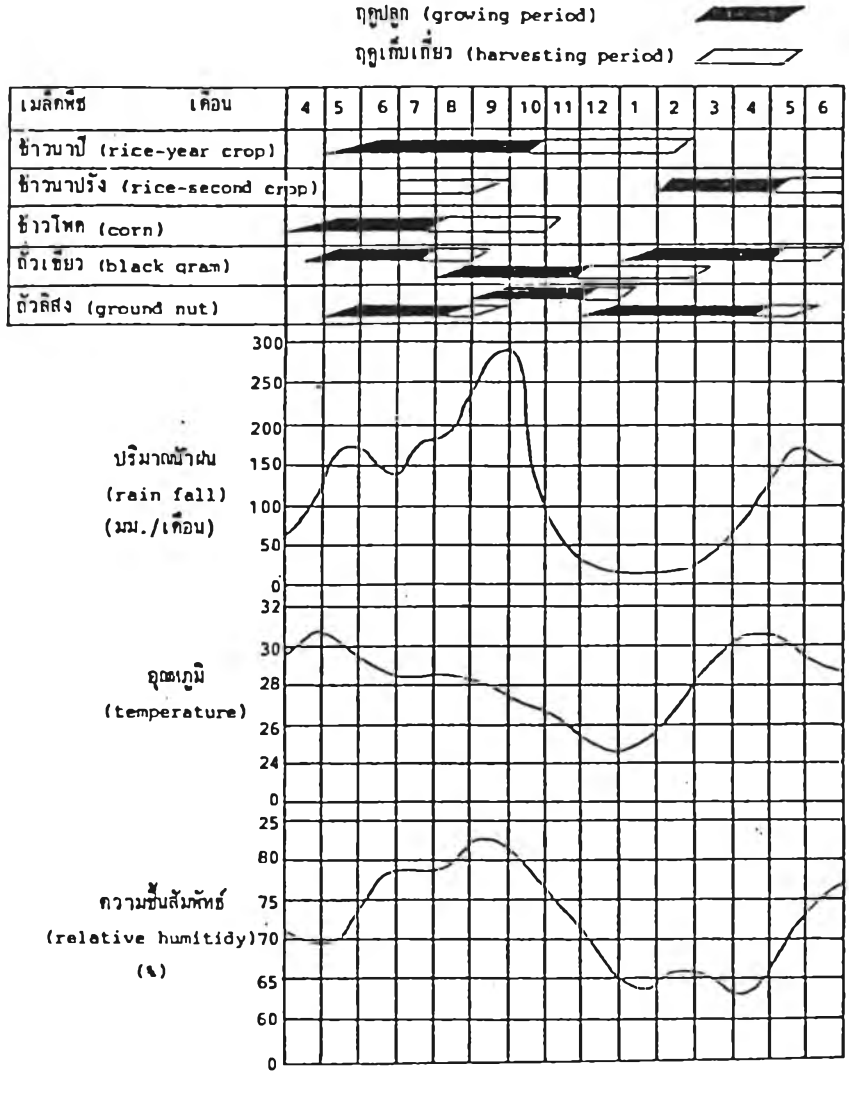
2.2.1.3 ข้าวโพดข้าวเหนียว (Waxy corn) มีแป้งคล้ายมันสำปะหลัง อายุค่อนข้างสั้น ต้นเล็ก ฝักดก เปลือกหุ้มเมล็ดบาง เมื่อรับประทานจะไม่ค่อยติดฟันเหมือนข้าวโพดหวาน

2.2.1.4 ข้าวโพดหวาน (Sweet corn) เป็นข้าวโพดที่ปลูกเพื่อรับประทานฝักสดโดยเฉพาะ แป้งในเมล็ดจะเปลี่ยนเป็นน้ำตาลได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อน

ฉะนั้นการปลูกจึงควรปลูกที่มีอากาศหนาวจึงจะได้ผลดี

2.2.1.5 ข้าวโพดคั่ว (Pop corn) ลักษณะเมล็ดเล็ก ผิวนอกแข็งแกร่ง ภายในเป็นแป้งและอุ้มความชื้นได้มาก เมื่อถูกความร้อนความชื้นภายในจะขยายตัวเบ่งระเบิดออก ทำให้เนื้อภายในพองออกกว่าเดิมหลายเท่า

ตารางที่ 2.5 ฤดูการปลูกและเก็บเกี่ยวของพืชบางอย่างและสภาวะของอากาศทางภาคกลาง (Growing and harvesting periods of some crops and climatic conditions of the Southern region)



2.2.2 ลักษณะโครงสร้างและคุณสมบัติต่าง ๆ (6,22,23)

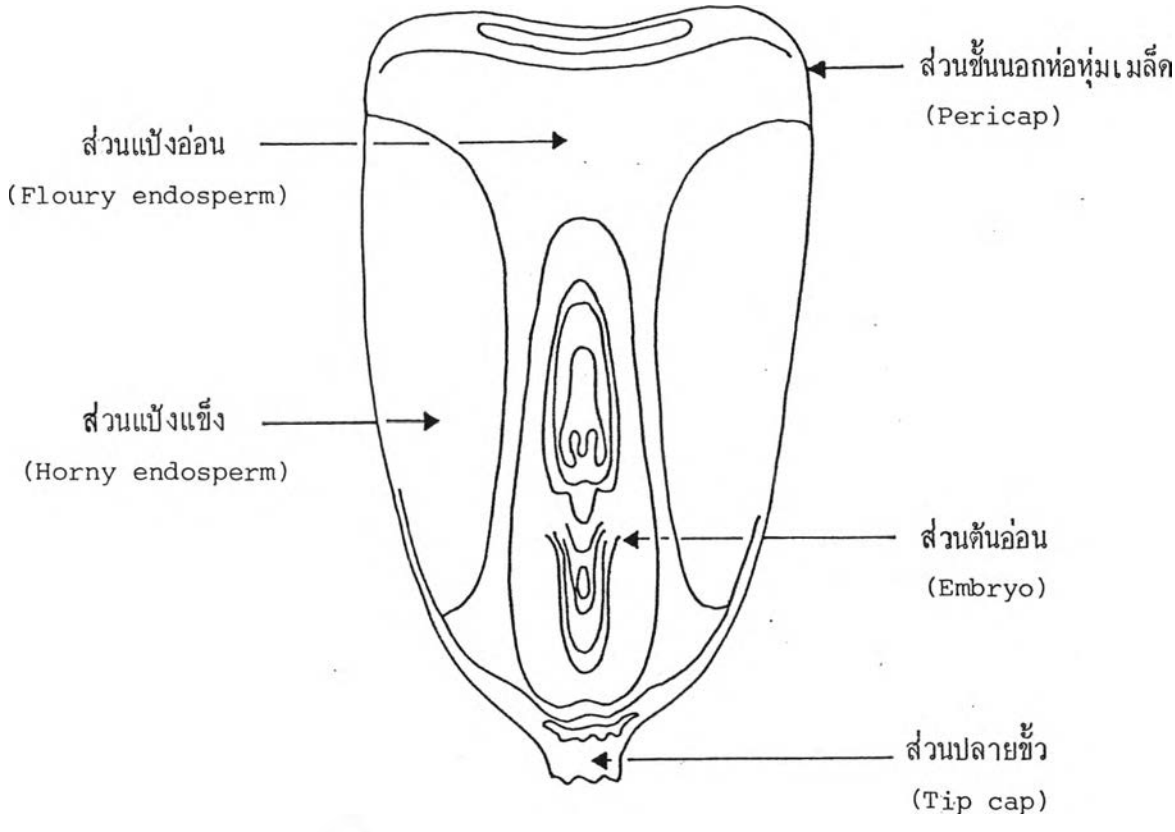
โครงสร้างของเมล็ดข้าวโพดที่เจริญเต็มที่แล้ว จะประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญ 4 ส่วน (รูปที่ 2.10) ดังมีรายละเอียดดังนี้

2.2.2.1 ส่วนชั้นนอกที่ห่อหุ้มเมล็ด (Pericap, Hull หรือ Bran) เป็นเปลือกชั้นนอกสุดใช้หุ้มเมล็ด ลักษณะของเซลเป็นแห่งยาวอัดกันแน่น ส่วนนี้มีประมาณร้อยละ 5.3 โดยน้ำหนักของเมล็ดทั้งหมด

2.2.2.2 ส่วนต้นอ่อน (Embryo หรือ Germ) ส่วนต้นอ่อนจะมีประมาณร้อยละ 11.9 โดยน้ำหนักของเมล็ดทั้งหมด ถ้าเป็นข้าวโพดที่มีน้ำมันมากตรงส่วนนี้ก็จะสูงขึ้นตาม ต้นอ่อนยังแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็น Scutellum มีประมาณร้อยละ 90 ของต้นอ่อน ทำหน้าที่เก็บอาหารระหว่างการงอก และส่วนที่สองเป็น Embryonic axis เป็นส่วนเติบโตต่อไปเป็นหน่อ

2.2.2.3 ส่วนแป้ง (Endosperm) เป็นส่วนสะสมอาหารพิเศษนอกเหนือจากใบเลี้ยงมีประมาณร้อยละ 81.9 โดยน้ำหนักของเมล็ดทั้งหมด แบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแป้งแข็ง (Horny endosperm, Starch-gluten หรือ Hard starch) จะมีโปรตีนมากกว่าในส่วนแป้งอ่อนร้อยละ 1.5-2.0 และอีกส่วนหนึ่งคือ ส่วนแป้งอ่อน (Floury endosperm หรือ Soft starch) เม็ดแป้งในส่วนนี้จะอัดกันแน่นทำให้มีผิวเรียบและเม็ดเล็ก

2.2.2.4 ส่วนปลายขั้ว (Tip cap) เป็นเนื้อเยื่อที่เมล็ดข้าวโพดติดกับซังข้าวโพดมีประมาณร้อยละ 0.83 โดยน้ำหนักของเมล็ดทั้งหมด ลักษณะเป็นรูปดาว ยืดหยุ่นได้อ่อนนุ่ม สามารถดูดซึมน้ำได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.10 ลักษณะโครงสร้างของเมล็ดข้าวโพด

2.2.3 การเก็บรักษาเมล็ดข้าวโพด

การเก็บเมล็ดข้าวโพดให้อยู่ในสภาพที่ปลอดภัยจากเชื้อราและแมลงจะขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ความชื้นในเมล็ด ช่วงเวลาที่เก็บเกี่ยว ภาชนะบรรจุ และการหายใจของเมล็ดพืช

2.2.3.1 ความชื้นในเมล็ด

เป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดของการเก็บรักษา ความชื้นในเมล็ดควรจะมีขนาดเท่าใดขึ้นกับช่วงเวลาที่ต้องการเก็บกักไว้เป็นหลัก ดังตัวอย่าง ถ้าต้องการเก็บรักษาข้าวโพดไว้ในระยะเวลาไม่เกิน 1 ปี ความชื้นของเมล็ดข้าวโพดจะมีได้ไม่ควรเกินร้อยละ 13 โดยน้ำหนัก แต่ถ้าต้องการเก็บรักษาให้นานถึง 5 ปี ความชื้นในเมล็ดไม่ควรเกินร้อยละ 11 โดยน้ำหนัก เป็นต้น รายละเอียดของความชื้นสำหรับการเก็บรักษาของเมล็ดพืชต่าง ๆ ได้รวบรวมไว้ในตารางที่ 2.6 (6) นอกจากนี้ระดับความชื้นต่าง ๆ ที่มีอยู่ในเมล็ดพืชยังมีผลต่อการเจริญเติบโต การเก็บเกี่ยว และระบบการหายใจของเมล็ดพืชอีกด้วย ดังแสดงรายละเอียดไว้ในตารางที่ 2.7 (24)

ตารางที่ 2.6 ปริมาณความชื้นระหว่างเก็บเกี่ยวและเก็บรักษา

เมล็ดพืช	ความชื้นสูงสุดระหว่างเก็บเกี่ยว	ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับเก็บเกี่ยวเพื่อให้เสียหายน้อยที่สุด	ความชื้นปกติที่มักเก็บเกี่ยว	ความชื้นสำหรับเก็บรักษา	
				1 ปี	5 ปี
ข้าวบาร์เลย์	30	18-20	10-18	13	11
ข้าวโพด	35	28-32	14-30	13	10-11
ข้าวโอ๊ต	32	15-20	10-18	14	11
ข้าว	30	25-37	16-25	12-14	10-12
ข้าวไรย์	25	16-20	12-18	13	11
ข้าวฟ่าง	35	30-35	10-20	12-13	10-11
ข้าวสาลี	38	18-20	9-17	13-14	11-12

ตารางที่ 2.7 ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น ณ ระดับความชื้นต่าง ๆ ของเมล็ดพืช

ระดับความชื้น (%)	ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น
35-80	เป็นช่วงที่เมล็ดพืชกำลังเจริญเติบโต ยังไม่ควรเก็บเกี่ยว
18-40	เมล็ดแก่เต็มที่แล้ว ทำให้อัตราการหายใจสูงขึ้น และเสียหายง่ายจากเครื่องเก็บเกี่ยว นวด หรือถ้าเก็บรวมกันมาก ๆ จะมีความร้อนเกิดขึ้น แมลงและเชื้อราเจริญได้ดี
13-18	อัตราการหายใจยังคงสูง ทำให้เกิดความร้อน ความชื้นและคาร์บอนไดออกไซด์ได้ง่าย การเจริญของแมลงและเชื้อราดี แต่เมล็ดจะไม่เสียหายจากการใช้เครื่องทุ่นแรงต่าง ๆ
10-13	สามารถเก็บที่อุณหภูมิปกติได้ประมาณ 6-18 เดือน แมลงชอบทำลายเมล็ด และเมล็ดเสียหายง่ายจากเครื่องทุ่นแรง
8-10	สามารถเก็บไว้ได้ 1-3 ปี แมลงทำลายน้อย แต่เมล็ดจะเสียหายจากเครื่องทุ่นแรงง่ายขึ้น
4-8	ความชื้นพอดีกับการเก็บในภาชนะที่อากาศผ่านเข้าออกไม่ได้
0-4	ความชื้นขนาดนี้อาจทำลายการฟักตัวของเมล็ดพืชบางชนิดได้
33-60	เมล็ดจะงอกเมื่อมีการดูดซึมน้ำจากภายนอกเข้าไปใหม่

2.2.3.2 ช่วงเวลาที่เก็บเกี่ยว (25)

ตามปกติชาวไร่จะเก็บผลิตผลเมล็ดพืชเมื่อแก่เต็มที่ ดังนั้น ความชื้นภายในเมล็ดไม่สูงมากนัก แต่อยู่ในสภาวะสมดุลกับความชื้นในอากาศ ถ้าชาวไร่เก็บเกี่ยวในขณะที่ความชื้นอากาศไม่สูงและอุณหภูมิของอากาศค่อนข้างสูง ก็จะได้เมล็ดพืชที่มีความชื้นพอเหมาะที่จะใช้เวลาตากแห้งหรืออบแห้งสั้นลง ถ้าเก็บเกี่ยวในขณะที่มีความชื้นสูงหรือหลังฝนตกใหม่ ๆ โอกาสที่เชื้อราจะเจริญเติบโตมีมากและแมลงเข้าทำลายได้ง่ายอีกด้วย

2.2.3.3 ภาชนะบรรจุ (25,26)

การเก็บรักษาเมล็ดพืชชาวไร่มักใช้กระสอบปานเป็นภาชนะบรรจุ เพราะมีช่องว่างสูง ยืดหยุ่นได้ง่าย ทั้งนี้เพราะเมล็ดพืชมีการหายใจคายและหรือดูดความชื้นจากอากาศได้ ดังนั้นการมีช่องว่างมากนี้ทำให้อากาศจากภายนอกแพร่ผ่านกระสอบเข้าไปให้เมล็ดพืชใช้หายใจได้ คาร์บอนไดออกไซด์และความชื้นที่ปล่อยออกมาจะสามารถผ่านออกสู่ภายนอกได้สะดวก นอกจากนั้นควรบรรจุเมล็ดพืชที่อบแห้งแล้วในขณะที่ผึ่งลมจนมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของสถานที่เก็บ มิฉะนั้นจะเกิดการควบแน่นของหยดน้ำจนทำให้เกิดความชื้นสูง ทำให้เชื้อราเจริญเติบโตได้

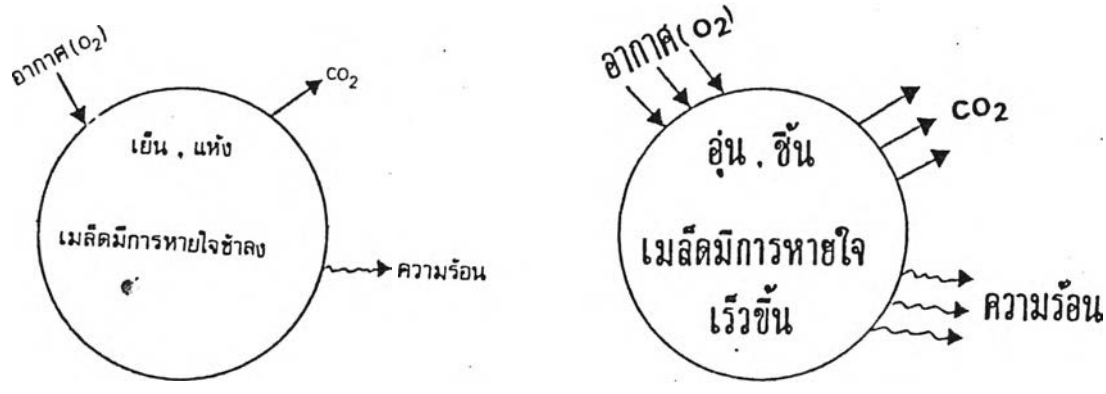
2.2.3.4 การหายใจของเมล็ดพืช (6,25)

การที่เมล็ดพืชใช้ขยายพันธุ์ได้ เนื่องจากภายในมีเซลล์ของต้นอ่อนอยู่ส่วนหนึ่ง ดังนั้นการที่จะสามารถเก็บรักษาเมล็ดพืชไว้นาน ๆ ได้ก็เพราะเซลล์ของต้นอ่อนเหล่านั้นยังมีชีวิตอยู่ ระหว่างที่เก็บรักษาไว้นี้เซลล์ของต้นอ่อนยังมีการหายใจ โดยรับออกซิเจนจากอากาศ แล้วคายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา ซึ่งบางครั้งอาจพาความชื้นออกไปด้วย ออกซิเจนที่เซลล์นำไปใช้นั้นเป็นการใช้สำหรับการสันดาปกับส่วนแป้งของ Endosperm ดังสมการข้างล่างนี้

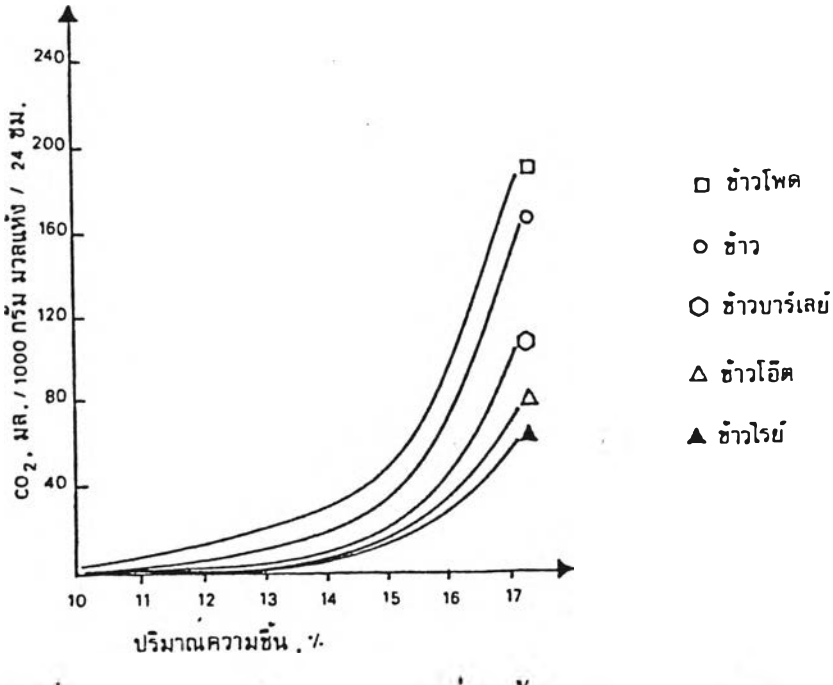
$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 677.2 \text{ กิโลแคลอรี}$$

การสันดาปของออกซิเจนกับแป้งจะได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้วยังได้ความร้อนเพิ่มขึ้นอีกส่วนหนึ่งด้วย ดังนั้นถ้าเก็บกักเมล็ดพืชไว้รวมกันมาก ๆ ภายในกองจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อย ๆ ถ้าอุณหภูมิอากาศรอบนอกสูงและปริมาณออกซิเจนเพียงพอปฏิกิริยาข้างบนเกิดได้ดีขึ้น แต่ถ้าอุณหภูมิของอากาศรอบนอกต่ำ อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะช้าลง

ดังนั้นที่เก็บกักเมล็ดพืชจึงควรให้มีอากาศถ่ายเทได้ดี อุณหภูมิภายในที่เก็บกักไม่ควรสูงเกินไป ซึ่งจะทำให้การหายใจเป็นไปอย่างช้า ๆ การเจริญเติบโตของต้นอ่อนย่อมไม่เกิดขึ้น (รูปที่ 2.11) ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการปลดปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเมล็ดพืชหลายชนิดที่ความชื้นต่าง ๆ กัน แสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 ภาวะการหายใจของเมล็ดพืช



รูปที่ 2.12 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น ณ อุณหภูมิ 38 °ซ ในเมล็ดพืชที่มีความชื้นต่าง ๆ กัน

2.2.4 วิธีตรวจความชื้นของเมล็ดพืช (9)

ในการหาปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชนั้น สามารถหาได้ 2 แบบคือ

2.2.4.1 การวัดความชื้นทางวิชาการ

การวัดความชื้นของเมล็ดพืชนั้น ส่วนมากคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

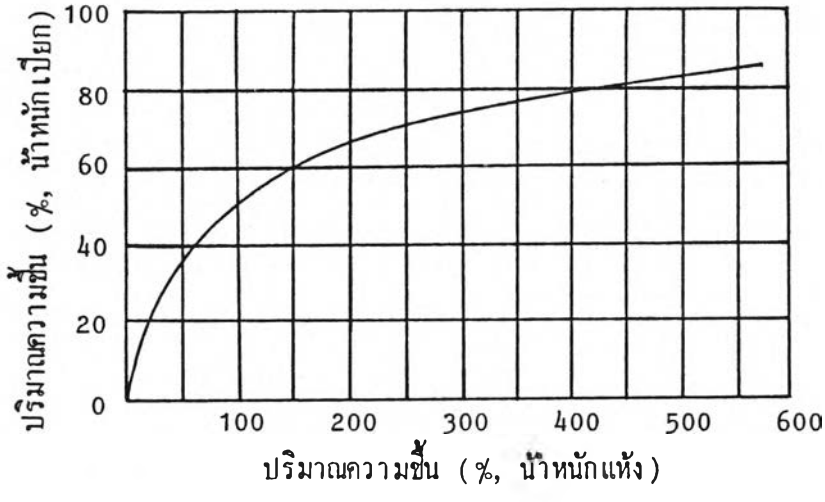
2.2.4.1.1 การวัดโดยน้ำหนักเมล็ดพืชที่ชื้นเป็นหลัก (Wet basis) จะคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{W_d}{1 + W_d} \times 100$$

2.2.4.1.2 การวัดโดยใช้น้ำหนักเมล็ดพืชแห้งเป็นหลัก (Dry basis) ซึ่งตัวหารของสมการมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับปริมาณความชื้นในเมล็ดพืช ดังแสดงในสมการ

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{W_w}{1 - W_w} \times 100$$

ความสัมพันธ์ระหว่างการหาความชื้นของเมล็ดพืชที่ชื้นและแห้งเป็นหลัก แสดงไว้ในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างการวัดความชื้นโดยใช้มาตรฐานต่างกัน

2.2.4.2 การตรวจความชื้นของกสิกร

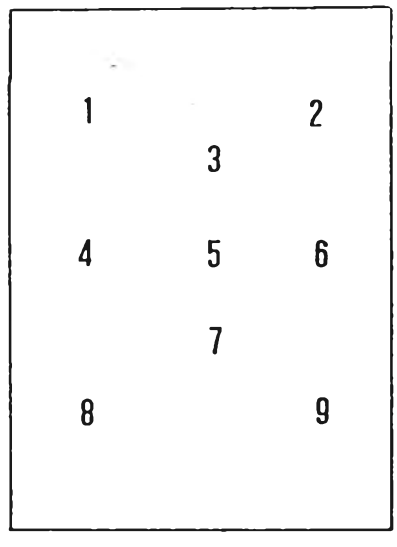
การซื้อข้าวโพดต้องมีการตรวจความชื้นก่อนซื้อเสมอ ดังนั้น การวัดความชื้นของเมล็ดข้าวโพดนั้น วิธีที่ดีและแน่นอนที่สุดจะต้องอาศัยเครื่องวัดไฟฟ้า ซึ่งเครื่องมือชนิดนี้จะมีราคาค่อนข้างแพง เนื่องจากต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ และจะมีใช้ตามห้องทดลองของทางราชการและโรงอบของพ่อค้าบางรายเท่านั้น โดยทั่ว ๆ ไปแล้วพ่อค้าหรือกสิกรมักจะอาศัยตรวจสอบความชื้นด้วยความชำนาญ และเคยชินที่ปฏิบัติกันเป็นประจำซึ่งเป็นวิธีที่สะดวกและรวดเร็ว ถึงแม้ว่าความชื้นที่คาดไว้อาจจะคาดเคลื่อนไปบ้างก็ตาม เช่น ใช้สายตาฟังเสียงเมื่อเขย่าเมล็ด เนื่องจากเมล็ดข้าวโพดที่แห้งและเปียกจะมีลักษณะแตกต่างกันพอที่จะสังเกตได้ (ตารางที่ 2.8)

ตารางที่ 2.8 การตรวจความชื้นในการซื้อข้าวโพดของพ่อค้าจังหวัดต่าง ๆ

วิธีตรวจ (%)	จังหวัด							เฉลี่ยทุกจังหวัด
	ลพบุรี	นครสวรรค์	พิจิตร	พิษณุโลก	สระบุรี	นครราชสีมา	อุดรธานี	
1. สายตา (ชำนาญ)	100	20	45	25	81	40	100	59
2. จับดู - ลื่นแห้ง - ฝืดชื้น	-	50	5	8	-	10	-	10
3. ไม้แทง - แห้งลึก	-	-	26	17	-	10	-	8
4. มือล้วงในกระสอบ ถ้าร้อนจะชื้น	-	10	5	42	-	-	-	8
5. ใช้ขบหรือกัดเมล็ด	-	-	14	-	6	25	-	6
6. ชั่ง	-	20	-	8	6	5	-	6
7. เครื่องวัด	-	-	5	-	7	-	-	2
8. ฟังเสียงเขย่า ถ้าดังจะแห้ง	-	-	-	-	-	10		1
รวม	100	100	100	100	100	100	100	100

2.2.5 การสุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวโพด (27)

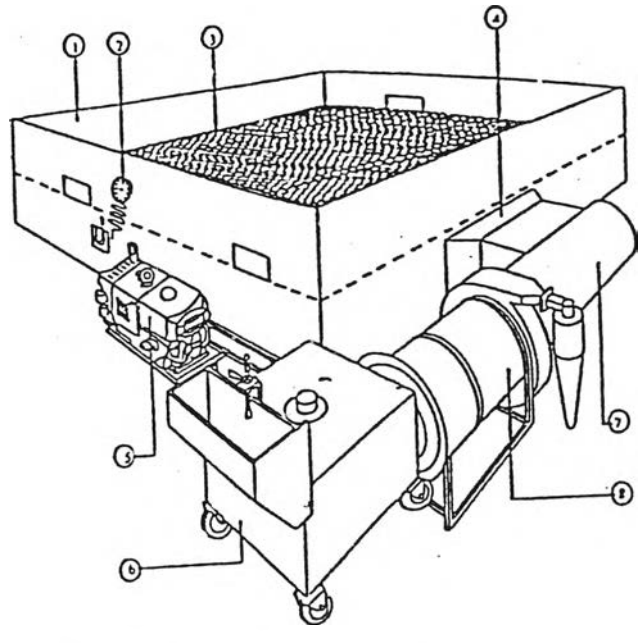
ในการเลือกตัวอย่างกลุ่มย่อยจากกลุ่มใหญ่ เพื่อตรวจความชื้นและการวิเคราะห์หาปริมาณแอฟลาทอกซิน จะใช้วิธีสุ่มตัวอย่างซึ่งดัดแปลงมาจากวิธีของ International Association of Seed Crushes โดยข้าวโพด 1 กระสอบ จะทำการสุ่มตัวอย่างตามจุดต่าง ๆ จุดละประมาณ 100 กรัม ทั้งสองด้านของกระสอบเป็นทั้งหมด 18 จุด ประมาณ 2 กิโลกรัม เพื่อตรวจความชื้นและสุ่มตัวอย่างเพื่อการวิเคราะห์หาปริมาณแอฟลาทอกซิน (รูปที่ 2.14)



รูปที่ 2.14 การสุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวโพด

2.3 ผลงานวิจัยในอดีต

กองเกษตรวิศวกรรมได้ออกแบบเครื่องอบเมล็ดพืช-1 ที่เหมาะสำหรับการใช้เศษวัสดุทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิง เช่น แกลบ อุณหภูมิอากาศร้อนที่ใช้อยู่ในช่วง 43-49 °ซ ปริมาณอากาศร้อน 30 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก เวลาที่ใช้อบไม่เกิน 6 ชั่วโมง จะสามารถอบข้าวเปลือกเต็มที่ได้ไม่เกิน 2000 กก. แต่การควบคุมอุณหภูมิอากาศร้อนทำได้ลำบากมาก เนื่องจากอัตราการเผาไหม้ไม่สม่ำเสมอ และในอากาศร้อนจะมีความชื้นที่เกิดจากการสันดาปของเชื้อเพลิง ทำให้ประสิทธิภาพของการลดความชื้นลดลง เครื่องมือแสดงไว้ในรูปที่ 2.15 (28)

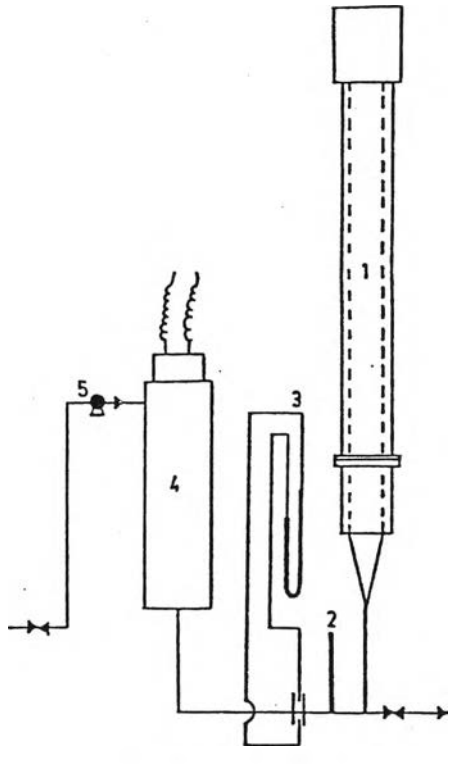


รูปที่ 2.15 เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชของกองเกษตรวิศวกรรม

ส่วนประกอบของเครื่องมือ

1. กะบะใส่เมล็ดพืช
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. คะแกรง
4. ท่อผ้าใบ
5. เครื่องยนต์
6. เตาเผาแกลบ
7. ท่อลม
8. พัดลม

อดิศร พิพัฒวนิช และ สาวิตรี บิณฑสันต์ ได้ศึกษาการนำเทคนิคฟลูอิไดเซชันมาอบแห้งเมล็ดพืช เช่น ข้าวโพดและถั่วเขียว โดยนำเมล็ดพืชที่มีความชื้นสูงบรรจุในหอทดลองปล่อยอากาศจากเครื่องอัดอากาศผ่านเครื่องทำความร้อนแล้วเข้าไปในเบด ความเร็วอากาศร้อนที่ใช้จะเป็น 1.25 เท่าของความเร็วต่ำสุดของการเกิดฟลูอิไดซ์ ส่วนการควบคุมอุณหภูมิอากาศให้คงที่ทำได้ยาก เพราะอากาศจากเครื่องอัดอากาศมีขนาดไม่สม่ำเสมอ อุณหภูมิที่ใช้จะมีค่าเป็นช่วง ๆ เช่น 80-86 °ซ และ 115-125 °ซ การใช้อุณหภูมิสูงเพื่อทำให้น้ำที่ผิวของเมล็ดพืชระเหยได้เร็ว แล้วยังช่วยให้อัตราการซึมผ่านของความชื้นจากภายในมาสู่ภายนอกเป็นไปอย่างรวดเร็ว ดังแสดงเครื่องมือในรูปที่ 2.16 (29)

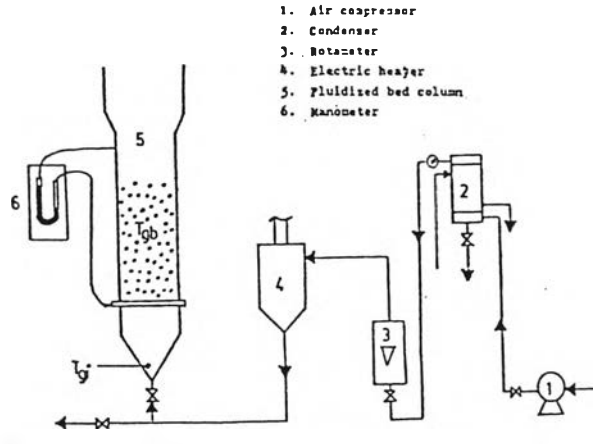


รูปที่ 2.16 เครื่องฟลูอิไดเซชันสำหรับการอบแห้งเมล็ดธัญญพืช

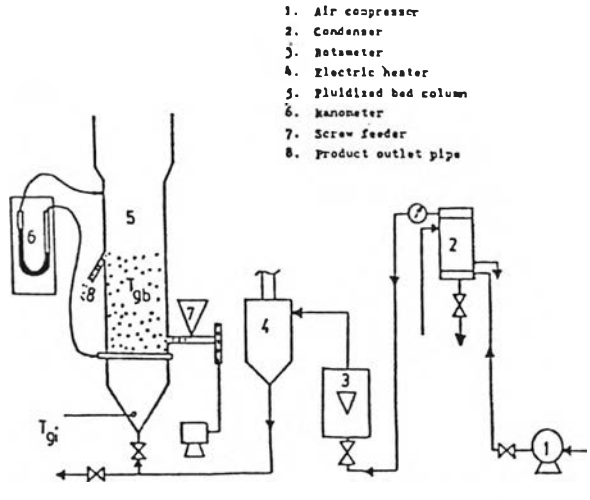
<u>ส่วนประกอบของเครื่องมือ</u>

1. ฟลูอิไดซ์เบดคอลัมน์
2. เทอร์โมมิเตอร์
3. มานอมิเตอร์
4. แหล่งผลิตอากาศร้อน
5. เครื่องอัดอากาศ

รัตนา ศานติยานนท์ ศึกษาเกี่ยวกับการทำงานของเครื่องมือทั้งแบบไม่ต่อเนื่องและแบบต่อเนื่องเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการใช้เทคนิคฟลูอิไดซ์เบดทำข้าวนึ่งให้แห้ง จากผลการทดลองพบว่า การทำข้าวนึ่งให้แห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพสูง ควรเป็นระบบที่มีการป้อนข้าวอย่างต่อเนื่อง เพราะทำได้สะดวกรวดเร็ว ข้าวที่ได้มีคุณภาพดี สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ อุณหภูมิอากาศร้อน 183 °ซ อัตราการไหลของอากาศ 0.65 กิโลกรัมต่อวินาทีต่อตารางเมตร และอัตราการผลิตข้าวนึ่ง 31.6 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ดังแสดงเครื่องมือในรูปที่ 2.17 และ 2.18 (30)

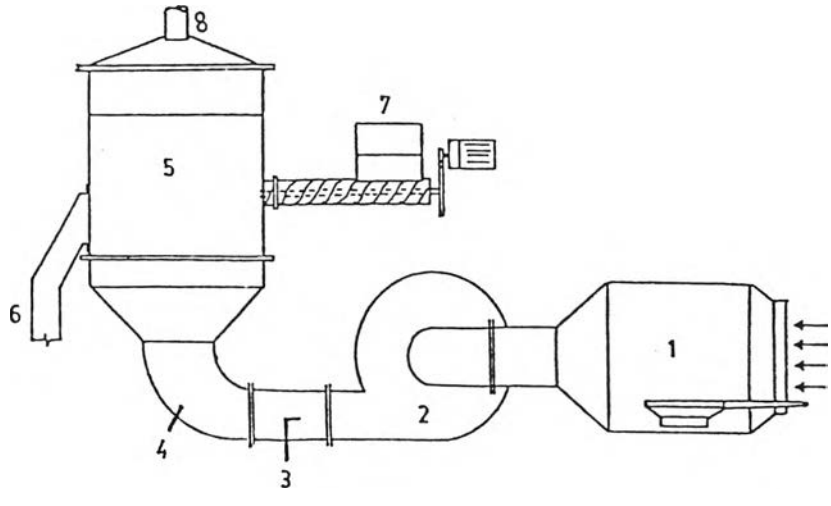


รูปที่ 2.17 เครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดแบบไม่ต่อเนื่อง



รูปที่ 2.18 เครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดแบบต่อเนื่อง

สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์ และ กษิรา บิลมาศ ศึกษาการใช้เครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดแบบขั้นเดียว ลดความชื้นข้าวโพดจากความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 18-22 (น้ำหนักเปียก) พบว่าที่ความชื้นเริ่มต้นร้อยละ 18 และ 21 สามารถลดความชื้นได้ตรงตามความต้องการของตลาดคือ ร้อยละ 14.5 และ 13 สำหรับการเก็บรักษา แต่ประสิทธิภาพทางความร้อนของเครื่องมือยังต่ำ คือ มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 6 สาเหตุจากการสูญเสียความร้อนไปกับอากาศร้อนที่ออกจากเครื่องซึ่งมีอุณหภูมิสูง และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ รวมทั้งเป็นเหตุให้ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งสูง ดังแสดงเครื่องมือในรูปที่ 2.19 (31)



รูปที่ 2.19 เครื่องอบแห้งเมล็ดธัญพืชแบบฟลูอิไดซ์เบดชั้นเดียว

ส่วนประกอบของเครื่องมือ

1. เครื่องผลิตอากาศร้อน
2. เครื่องเป่าอากาศ
3. ปิทอตทิว
4. เทอร์โมคับเปิลวัดอุณหภูมิ
5. ตัวเครื่องอบแห้ง
6. ทางออกเมล็ดข้าวโพด
7. เครื่องป้อนเมล็ดข้าวโพด
8. เทอร์โมคับเปิลวัดอุณหภูมิอากาศร้อนออก

2.4 ที่มาของสารพิษแอฟลาทอกซิน

2.4.1 แอฟลาทอกซินในข้าวโพด

แอฟลาทอกซินสามารถเกิดขึ้นได้กับข้าวโพดทุกระยะ จากเชื้อราที่มีอยู่ในอากาศ เช่น ขณะเจริญเติบโตหรือหลังเก็บเกี่ยวหรือจะระหว่างเก็บรักษา ตลอดจนขณะลำเลียง โดยเฉพาะประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตร้อน สภาวะของอุณหภูมิ และความชื้นเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราที่สร้างสารพิษแอฟลาทอกซิน แต่โดยทั่ว ๆ ไป แล้วปริมาณของแอฟลาทอกซินจะไม่เกิน 1,000 ppb ส่วนแนวโน้มของการเกิดสารพิษนี้ต่อข้าวโพดก่อนเก็บเกี่ยวมีน้อยมาก (32)

ปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินที่พบในอาหารชนิดต่าง ๆ จากท้องตลาดในประเทศไทย แสดงในตารางที่ 2.9 (33) ส่วนเปอร์เซ็นต์ของแอฟลาทอกซินในข้าวโพดของช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง (2528-2529) ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.10 (27)

ตารางที่ 2.9 ปริมาณสารพิษแอฟลาทอกซินที่พบในอาหารชนิดต่าง ๆ จากท้องตลาดในประเทศ

อาหาร	จำนวนอาหารที่มีแอฟลาทอกซิน (%)	ปริมาณแอฟลาทอกซิน (ไมโครกรัม/อาหาร 1 กิโลกรัม)			
		ค่าเฉลี่ยในอาหารทุกชนิด		ค่าเฉลี่ยเฉพาะอาหารที่มีแอฟลาทอกซินทั้งหมด	ค่าสูงสุด
		B_1	ทั้งหมด		
ถั่วลิสง	49	425	750	1,530	12,256
ข้าวโพด	35	93	140	400	2,730
พริกแห้ง	11	9	14	125	966
กุ้งและปลาแห้ง	5	5	8	166	772
ถั่วเขียว	5	1	1	16	172

ตารางที่ 2.10 เปอร์เซ็นต์ของแอฟลาทอกซินในข้าวโพดของช่วงฤดูฝนและฤดูแล้ง (2528-2529)

ฤดู	จำนวนตัวอย่าง	ค่าเฉลี่ยแอฟลาทอกซิน (ppb)	ระดับแอฟลาทอกซินในแต่ละตัวอย่าง (%)		
			< 20 ppb	< 30 ppb	< 50 ppb
ฤดูฝน 2528	65	206	3	5	14
ฤดูแล้ง 2529	63	51	15	34	61

i17410113

2.4.2 กำเนิดแอฟลาทอกซิน (32)

เชื้อราที่ก่อให้เกิดสารพิษ แบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ

2.4.2.1 ราทั่วไป (Field fungi) เป็นพวกที่ชอบขึ้นกับต้นพืชหรือเมล็ดพืชที่กำลังเติบโตหรือโตแล้ว มักเกิดที่ความชื้นร้อยละ 22-25

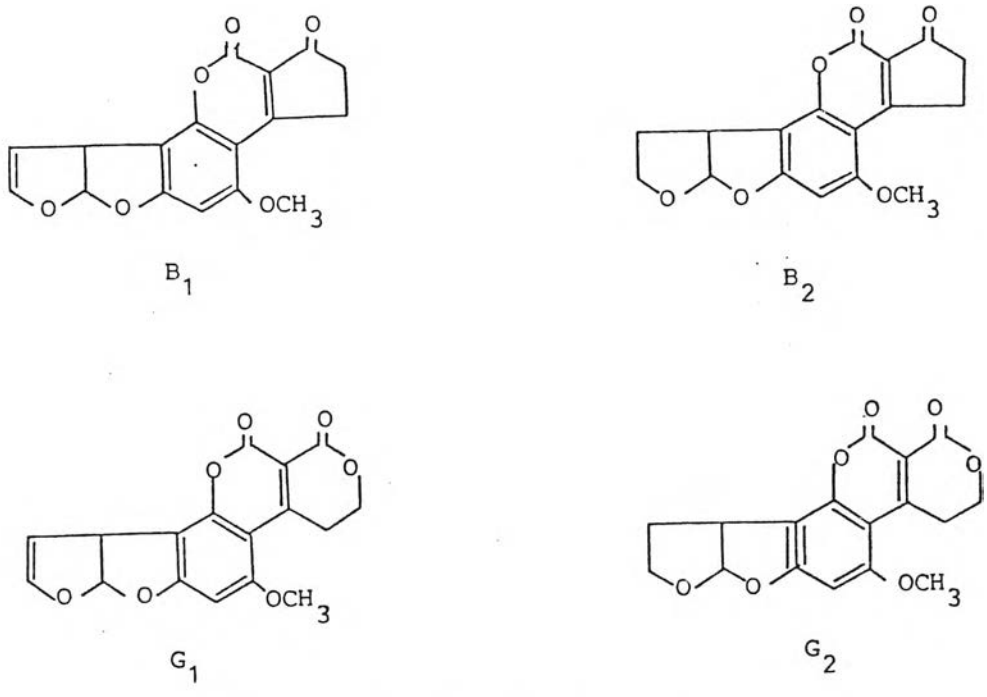
2.4.2.2 ราเก็บ (Storage fungi) เป็นพวกที่ขึ้นกับพืชหลังจากเก็บเกี่ยว และสามารถเจริญได้ดีบนเมล็ดพืชหรือเมล็ดพืชที่เก็บไว้ในยุ้งฉางที่มีความชื้นพอสมควร เชื้อราพวกนี้ชนิดที่สำคัญคือ Aspergillus flavus ซึ่งเป็นราที่ผลิตแอฟลาทอกซินได้มาก

2.4.2.3 ราทำลาย (Advance decay) พวกนี้มีน้อย อาจพบได้ขณะที่พืชยังไม่ได้เก็บเกี่ยว มีความสำคัญน้อยในการเกิดสารพิษต่าง ๆ

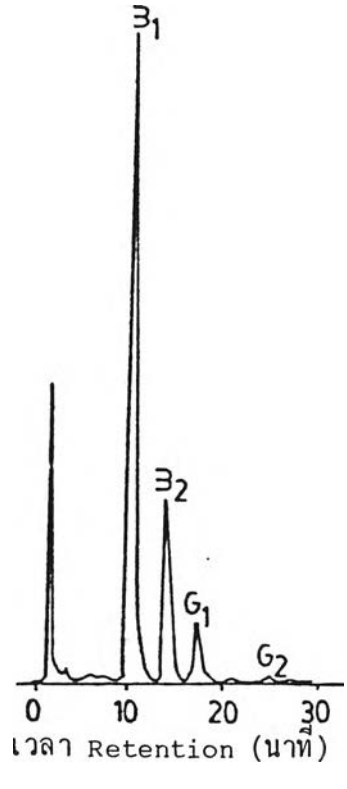
2.4.3 คุณสมบัติทั่วไป (32,34,35,36,37)

แอฟลาทอกซินเป็นสารพิษที่เกิดจากเชื้อราที่มีตามธรรมชาติ ทั้งในดินและอากาศ มีโครงสร้างหลักเป็น Coumarin nucleus เชื่อมต่อกับ Bifuran ring และเท่าที่ศึกษาแอฟลาทอกซินจะมีทั้งหมด 12 ชนิด ได้แก่ B_1, G_1, B_2, G_2, B_{2a}, G_{2a}, M_1, M_2, P_1, Q_1, R_0 และ GM_1 แต่ที่พบโดยทั่ว ๆ ไปในอาหารส่วนใหญ่จะมีเพียง 4 ชนิดคือ B_1, B_2, G_1 และ G_2 ทั้ง 4 ชนิดมีโครงสร้างที่คล้ายคลึงกัน แสดงในรูปที่ 2.20 พบว่าแอฟลาทอกซิน B_1 แตกต่างจาก B_2 ตรงที่บอนด์คู่ (double bond) ที่วงที่ 1 และแตกต่างจาก G_1 ตรงไม่มีกลุ่มแลคโตน (lactone group) ในวงที่ 5 ความรุนแรงของสารพิษจะมากน้อยขึ้นกับสูตรโครงสร้างทางเคมี กล่าวคือ แอฟลาทอกซินที่มีบอนด์คู่ในวงที่ 1 และไม่มีกลุ่มแลคโตนในวงที่ 5 นั้น จะเกิดพิษอย่างเฉียบพลันและเกิดมะเร็งในตับ เป็นไปตามลำดับ ดังนี้ $B_1 > G_1 > B_2 > G_2$ และพบว่า B_1 เป็นชนิดที่มีพิษร้ายแรงที่สุด และมีพิษเป็น 2 เท่าของ G_1 ทั้งยังมีปริมาณมากกว่าอีก 3 ชนิดด้วย

แอฟลาทอกซินเป็นสารที่มีคุณสมบัติการเรืองแสงภายใต้แสง Fluorescence ที่ exite 365 นาโนเมตร และ emission 425 นาโนเมตร ซึ่งเป็นสภาวะที่แอฟลาทอกซิน B_1 สามารถดูดกลืนแสงได้ดีที่สุด (รูปที่ 2.21) พวกที่เรืองแสงสีน้ำเงิน ได้แก่ แอฟลาทอกซินกลุ่ม B และ M ส่วนพวกที่เรืองแสงสีเขียว ได้แก่ แอฟลาทอกซินกลุ่ม G และคุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์อื่นของแอฟลาทอกซินแสดงไว้ในตารางที่ 2.11



รูปที่ 2.20 โครงสร้างของแอฟลาทอกซินชนิดต่าง ๆ



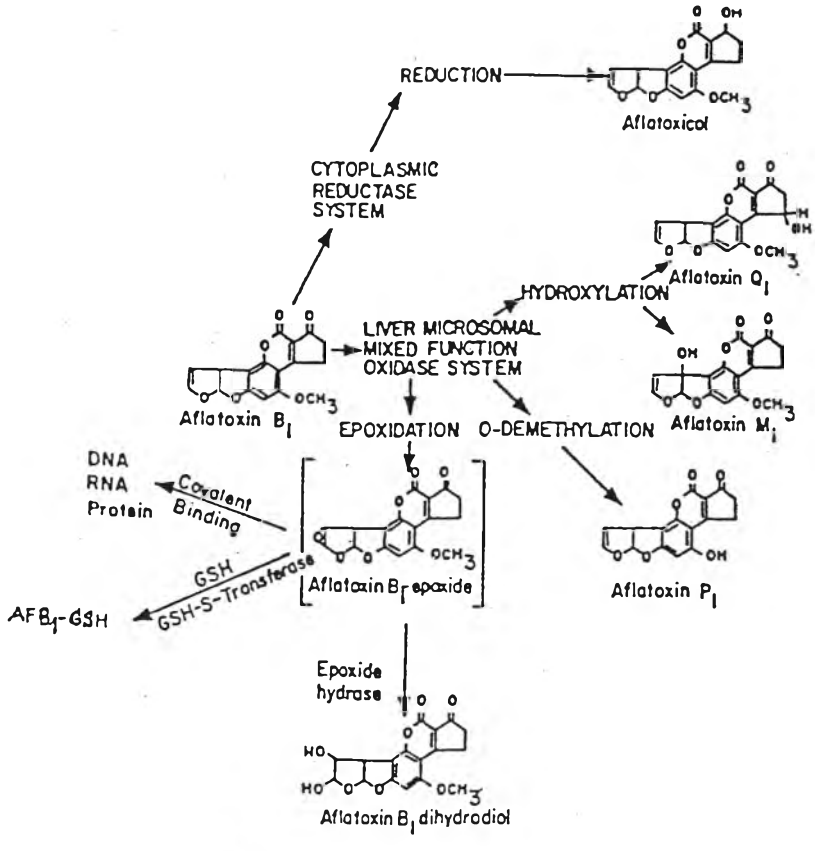
รูปที่ 2.21 โครมาโตแกรมของแอฟลาทอกซินชนิดต่าง ๆ

ตารางที่ 2.11 คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของแอฟลาทอกซินชนิดต่าง ๆ

แอฟลาทอกซิน	สูตรโมเลกุล	นน.โมเลกุล	จุดหลอมเหลว (°ซ)	คุณสมบัติการเรืองแสง	
				ตัวทำละลาย	ความยาวคลื่นที่ปล่อย (นาโนเมตร)
B_1	$C_{17}H_{12}O_6$	312	268-269	MeOH	430
				EtOH	430
				$CHCl_3$	413
B_2	$C_{17}H_{14}O_6$	314	286-289	MeOH	430
				EtOH	430
				$CHCl_3$	413
G_1	$C_{17}H_{12}O_7$	328	244-246	MeOH	450
				EtOH	450
				$CHCl_3$	430
G_2	$C_{17}H_{14}O_7$	330	237-240	MeOH	450
				EtOH	450
				$CHCl_3$	430

2.4.4 การออกฤทธิ์ของแอฟลาทอกซิน (38,39)

ตัวแอฟลาทอกซิน B_1 เองไม่เป็นพิษ แต่เมื่อได้รับเข้าไปจะถูกเอนไซม์ในไซโตซอลของตับเปลี่ยนให้กลายเป็นแอฟลาทอกซิคอล (Aflatoxicol) และเอนไซม์ในไมโครโซมเปลี่ยนเป็น Q_1, M_1, P_1 และ B_1-อีพอกไซด์ ซึ่ง B_1-อีพอกไซด์จะจับกับเบสกวานีนในโมเลกุลของ DNA เป็นเวลานาน ทำให้การสังเคราะห์ RNA และโปรตีน (protein) ถูกยับยั้ง จึงเป็นสาเหตุทำให้เกิดมะเร็งในตับ (รูปที่ 2.22)



รูปที่ 2.22 วงจรชีวิตของแอฟลาทอกซิน B_1

2.4.5 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดสารพิษแอฟลาทอกซินในข้าวโพด (32,40,41)

ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเกิดแอฟลาทอกซินในข้าวโพดมีหลายสาเหตุมาประกอบกัน คือ

2.4.5.1 ชนิดของรา เชื้อราแต่ละชนิดมีความสามารถสร้างแอฟลาทอกซินแตกต่างกัน แต่เชื้อรา Aspergillus flavus เป็นชนิดที่สร้างแอฟลาทอกซินได้มากกว่าชนิดอื่น ๆ แต่การที่ไม่พบเชื้อรา Aspergillus flavus เจริญอยู่ก็ไม่ได้หมายความว่า จะปลอดภัยจากแอฟลาทอกซิน เพราะถึงเชื้อราจะถูกทำลายหรือตายไป ตัวแอฟลาทอกซินก็ยังคงอยู่ในผลิตผลนั้น

2.4.5.2 ชนิดของอาหาร อาหารที่เป็นแหล่งไนโตรเจน เช่น เกลือแอมโมเนียมซัลเฟต จะช่วยให้เชื้อราสร้างแอฟลาทอกซินได้ดีกว่าเกลือแอมโมเนียมชนิดอื่น ๆ ส่วนเกลือแร่ เช่น Zn^{2+} ถ้ามีปริมาณมากจะทำให้ปริมาณแอฟลาทอกซินเพิ่มขึ้น แต่ถ้าเกลือแร่นี้ลดลงจะทำให้สารพิษนี้มีปริมาณลดลงตามไปด้วย

2.4.5.3 อุณหภูมิ ราเก็บเป็นเชื้อราที่ผลิตแอฟลาทอกซินได้มากที่สุด โดยสามารถเกิดได้ตั้งแต่อุณหภูมิ 4-46 °ซ แต่อุณหภูมิที่เกิดสารพิษนี้ได้ดีที่สุดคือ 25-35 °ซ

2.4.5.4 ความชื้น สภาพใดก็ตามที่อากาศมีความชื้น เชื้อราสามารถเกิดได้ทั้งสิ้น แต่ราเก็บจะชอบขึ้นที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 85 ขึ้นไป เพื่อช่วยในการสร้างสปอร์ซึ่งเป็นส่วนแพร่พันธุ์

2.4.5.5 แสง คลื่นบางขนาดของแสงเป็นตัวกระตุ้นให้ราเติบโตเร็วขึ้น

2.4.5.6 ออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดยทั่วไปการเติบโตของราต้องการออกซิเจนในอากาศค่อนข้างสูง แต่สามารถทนอยู่ได้ในอากาศที่มีออกซิเจนต่ำและมีคาร์บอนไดออกไซด์สูง แต่ถ้าความเข้มข้นของออกซิเจนลดลงร้อยละ 5-1 ราจะเจริญช้าและทำให้ผลิตสารพิษได้น้อยลง

2.4.5.7 เวลา ถ้าสภาวะแวดล้อมเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อรา การสร้างแอฟลาทอกซินโดยเชื้อรา Aspergillus flavus จะเกิดภายใน 48 ชั่วโมง

2.4.5.8 จุลินทรีย์ จุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่เกิดในพวกเมล็ดธัญพืชนั้นมีปฏิกิริยาต่อกัน เช่น เชื้อราพวก Bacillus หรือ Aspergillus niger ขัดขวางการเติบโตของ

เชื้อรา Aspergillus flavus

2.4.5.9 การสุกของเมล็ดพืช โดยทั่วไปเซลล์ของเมล็ดพืชจะตายไปหลังเก็บเกี่ยว และเชื้อราจะขึ้นบนเซลล์ที่ตายแล้ว ส่วนเมล็ดพืชที่ยังไม่สุกงอมเซลล์จะเป็นอยู่และใช้เวลานานกว่าจะตายไม่เหมือนกับเมล็ดที่สุกงอม ถ้าปล่อยให้สุกงอมนานเท่าไรแล้วจึงเก็บเกี่ยว ก็เท่ากับทำให้อัตราการเกิดสารพิษมีแนวโน้มมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นจึงควรรีบเก็บเกี่ยวอย่ารอให้เมล็ดสุกงอมนานเกินไป

2.4.6 การทำลายแอฟลาทอกซินบนเครื่องแก้ว (37)

สารเคมีที่สามารถทำลาย B_1 และ G_1 จะเป็นสารพวกออกซิไดส์ (oxidizing agent) เช่น เบนโซอิล เปอร์ออกไซด์ (Benzoyl peroxide) ออสเมี่ยม เต็ตตร็อกไซด์ (Osmium tetroxide) และไอโอดีน (Iodine) เป็นต้น ส่วนพวกโซเดียม ไฮโปคลอไรด์ (NaOCl) โปแตสเซียม เปอร์แมงกาเนต ($KMnO_4$) เทตระบอเรต ($Na_2B_4O_7.10H_2O$) และไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์กับเมตาบอเรต ($NaBO_2.H_2O_2 3H_2O$) จะสามารถทำลายแอฟลาทอกซินได้ทั้ง 4 ชนิด (B_1, B_2, G_1 และ G_2) แต่จะนิยมใช้โซเดียมไฮโปคลอไรด์ (NaOCl) ในห้องปฏิบัติการเพื่อป้องกันไม่ให้ผู้ทดลองได้รับแอฟลาทอกซินเข้าไป