

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทฤษฎี

การศึกษาเกี่ยวกับการชะลอความเสียหายของกองเมล็ดข้าวเปลือกขึ้นด้วยการเป่าด้วยอากาศ แวดล้อมมีการค้นคว้ามากขึ้น ซึ่งมีผลงานที่แตกต่างกันออกไป งานวิจัยที่เกี่ยวข้องพอสรุปได้ดังนี้

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วาทัญ รอดประพัฒน์, (2547) ศึกษาอัตราการไหลของอากาศที่มีผลต่อคุณภาพข้าวเปลือก ขณะที่เก็บข้าวเปลือกไว้ในไซโลคอนกรีต ขนาดความจุ 682 ตัน พบว่าการใช้อัตราการไหลของอากาศ 0.1 และ 0.3 m³/min/m³ of paddy สามารถรักษาข้าวเปลือกให้อยู่ในเกณฑ์ดีทั้งสีและการงอก แต่ในกรณีที่ใช้อัตราการไหล 0.3 m³/min/m³ of paddy พบว่าสีของข้าวเปลือกมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสูง เปอร์ เซ็นต์การงอกลดลง และอัตราการไหลของอากาศไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว

ปัจจัยของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งที่มีต่อความขาวของเมล็ดข้าวหลังการสี ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความขาวของเมล็ดข้าวหลังการสีที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งพบว่าค่าความขาวของเมล็ดข้าวภายหลังการสีจะแปรผกผันกับอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งโดยที่อุณหภูมิ 40 oC จะมีค่าความขาวอยู่ที่ 50.5 และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งให้สูงขึ้นจนถึง 150 oC ค่าความขาวจะลดลงอยู่ที่ 45.1 สาเหตุที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากน้ำตาลที่มีอยู่ในข้าวได้รับความร้อน ซึ่งความร้อนดังกล่าวจะไปทำให้พันธะระหว่างโมเลกุลภายในน้ำตาลหลุดออกจากกันกลายเป็นน้ำตาลโมเลกุลต่ำ และเมื่อให้ความร้อนต่อพันธะภายในน้ำตาลโมเลกุลต่ำจะหลุดออกจากกัน และเกิดเป็นสารประกอบ คีโตน (Ketone) ซึ่งสารดังกล่าวเป็นสารที่ทำให้เกิดสีเหลืองในเมล็ดข้าว

เสริมพงษ์ อติเรกรัฐ, (2548) ได้ศึกษาการอบแห้งมะพร้าวหูดโดยใช้เครื่องอบแห้งลมร้อน ร่วมกับสารดูดความชื้น เปรียบเทียบกับการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนอย่างเดียว โดยใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 50 oC และ 60 oC ความเร็วลมที่ใช้ในการอบแห้งมีค่า 0.23, 0.5, 0.6 และ 0.7 m/s จากผลการทดลองพบว่าความชื้นของมะพร้าวหูดโดยใช้ลมร้อนร่วมกับสารดูดความชื้นพบว่าความชื้นจะลดลงได้เร็วกว่าการอบแห้งโดยใช้ลมร้อนเพียงอย่างเดียว และผลของอุณหภูมิตอบแห้งไม่ส่งผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งจากนั้นได้ทำการศึกษาอิทธิพลของความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้าห้องอบแห้งพบว่า การอบแห้งของทั้งสองระบบถ้าหากความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้าห้องอบแห้งมีค่าสูง

เกิน 29% RH จะส่งผลต่อคุณภาพสีของมะพร้าวหลังการอบแห้งอย่างชัดเจนโดยเฉพาะค่าความเหลืองที่มากจนสามารถสังเกตเห็นได้

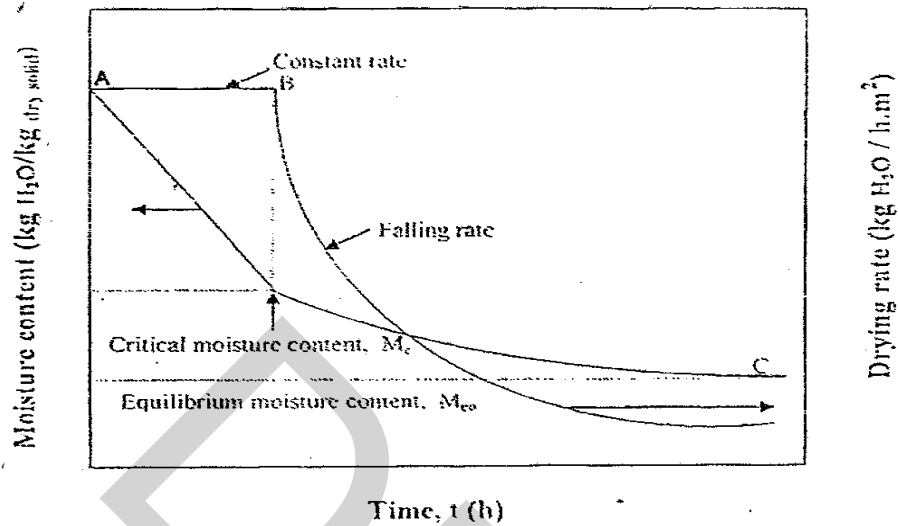
Tumambing J.A. and Driscoll, (1991) ได้พัฒนาแบบจำลองการอบแห้งข้าวเปลือกที่ความชื้นเริ่มต้นที่ 24% w.b. จนให้เหลือความชื้นสุดท้ายที่ 18% w.b. โดยพิจารณาการไหลของเมล็ดข้าวเป็นลูกสูบเพื่อทำนายเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ความชื้นของข้าวเปลือก และอุณหภูมิของอากาศหลังการอบแห้ง มีค่าเปลี่ยนแปลงตามความยาวของเครื่องอบแห้ง สภาวะที่ศึกษาคือ อุณหภูมิที่ 40 - 140 °C ความสูงของเบด 5 - 20 cm ความเร็วของอากาศแห้ง 1.5 - 2.0 m/s พบว่าอุณหภูมิของอากาศอบแห้งมีผลกระทบต่ออัตราการอบแห้งมากกว่าความสูงเบดข้าวเปลือก และความเร็วของอากาศอบแห้งภายในเบดไม่มีผลกระทบต่ออัตราการอบแห้งมากนัก

Nour and Jantan et al, (1969) ศึกษาอัตราการไหลของอากาศที่มีผลต่อคุณภาพข้าวเปลือกขณะที่เก็บข้าวเปลือกไว้ในไซโลคอนกรีต ขนาดความจุ 682 ตัน พบว่าการใช้อัตราการไหลของอากาศ 0.1 และ 0.3 m³/min/m³ of paddy สามารถรักษาข้าวเปลือกให้อยู่ในเกณฑ์ดีทั้งสีและการงอก แต่ในกรณีที่ใช้อัตราการไหล 0.3 m³/min/m³ of paddy พบว่าสีของข้าวเปลือกมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างสูง เปอร์เซ็นต์การงอกลดลง และอัตราการไหลของอากาศไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว

2.2 การอบแห้งด้วยอากาศร้อน

ในการอบแห้งวัสดุต่างๆ ไปนั้นมักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทในการอบแห้งวัสดุทั่วไปยังผิววัสดุ ความร้อนส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในการระเหยน้ำ โดยของเหลวที่อยู่ภายในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิวโดย Capillary Flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (Surface Force) ในขณะเดียวกันไอน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณผิววัสดุมายังกระแสนอากาศโดยการแพร่ อันเนื่องมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor Diffusion) และความดันไอ (Partial Pressure of Vapor) ที่แตกต่างระหว่างไอน้ำในวัสดุกับลมร้อน ถ้าผิวของวัสดุมีน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวก็จะคงที่ ซึ่งส่งผลให้อัตราการอบแห้งคงที่ด้วย ถ้าอุณหภูมิ, ความชื้น และความเร็ว ของลมร้อนมีค่าคงที่ และเมื่อผิวของวัสดุมีปริมาณน้ำลดลงมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่บริเวณผิวของวัสดุย่อมเปลี่ยนไป โดยที่อุณหภูมิจะสูงขึ้นและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวของวัสดุลดลง ซึ่งส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลงความชื้นที่อยู่ระหว่างการอบแห้งด้วยอัตราคงที่และอัตราการอบแห้งลดลงเรียกว่า ความชื้นวิกฤติอัตราการอบแห้งจะ

ค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งไม่เกิดความแตกต่างของความดันไอน้ำ จะเหลือความชื้นสุดท้ายเท่ากับ ความชื้นสมดุล ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และลดลง (Taechaparoj, 2003)

การอบแห้งของวัสดุด้วยอากาศร้อน สามารถแบ่งการอบแห้งได้เป็นสองช่วงคือ

- ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่
- ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

1. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant Rate Drying Period)

ช่วงนี้วัสดุยังมีความชื้นสูงอยู่ คือที่ผิวบริเวณวัสดุมีปริมาณน้ำอยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้นการถ่ายเทมวล และความชื้นระหว่างวัสดุ และอากาศเหมือนกับการถ่ายเทมวล และความชื้นที่เกิดขึ้นที่กระเปาะเป็ยกของเทอร์โมมิเตอร์ โดยการถ่ายเทความร้อนระหว่างผิววัสดุกับอากาศเป็นแบบการพาความร้อนและถ่ายเทมวลจะเกิดขึ้นพร้อมๆ กับการถ่ายเทความร้อน โดยการถ่ายเทมวลเกิดจากการแพร่ อันเนื่องมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุและที่ผิวอากาศรอบนอก

2. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling Rate Drying Period)

สำหรับช่วงที่สองเกิดขึ้นเมื่อวัสดุมีความชื้นลดต่ำลงจนถึงขั้นวิกฤติ ปริมาณน้ำที่ผิววัสดุจะลดลงมาก ส่งผลให้การถ่ายเทมวลและความชื้นไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะที่ผิววัสดุเท่านั้น แต่เกิดการถ่ายเทในเนื้อวัสดุด้วย การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในเนื้อวัสดุช้ากว่าการพาความร้อนจากผิววัสดุไปยังอากาศ ทำให้อัตราการแห้งลดลง อัตราการระเหยของน้ำเกิดจากการควบคุมโดยความต้านทาน

ต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำหนักในเนื้อวัสดุ ส่งผลให้อัตราการระเหยของน้ำลดลงและอุณหภูมิของวัสดุมีค่าสูงขึ้น

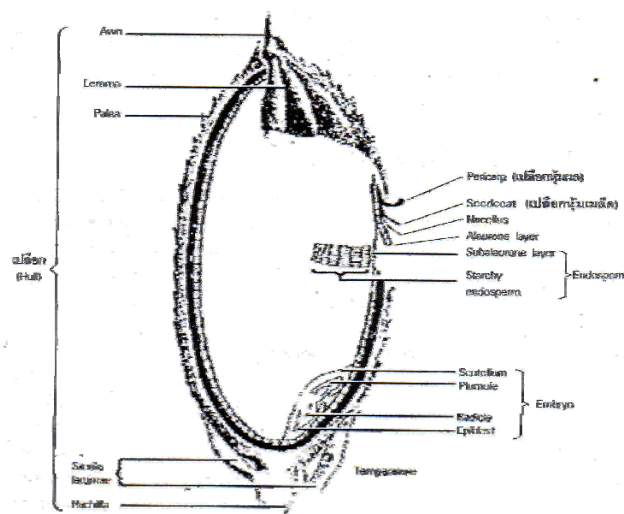
2.3 หลักการอบแห้งเมล็ดพืช

โดยทั่วไปมักจะใช้อากาศที่อุณหภูมิสูง และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ทั้งนี้สามารถอบแห้งได้อย่างรวดเร็วและได้ความชื้นของเมล็ดพืชต่ำตามที่ต้องการ ในขณะที่อากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านชั้นเมล็ดพืช จะเกิดการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลพร้อมกันความร้อนจากอากาศถ่ายเทไปยังเมล็ดพืช และทำให้น้ำที่บริเวณผิวของเมล็ดเข้าไปอยู่ในอากาศเป็นผลให้อากาศมีอุณหภูมิลดลงและมีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้น ส่วนเมล็ดพืชจะมีความชื้นต่ำลงและหากความชื้นลดลงมาพอแล้ว อุณหภูมิของเมล็ดพืชก็จะสูงขึ้นด้วยในที่สุดเมล็ดพืชก็จะมีอุณหภูมิเท่ากับอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง และเมื่อความชื้นลดลงจนถึงความชื้นสมดุลแล้วความชื้นของเมล็ดพืชก็จะไม่ลดลงอีก ในการอบแห้งโดยมากมักจะเลือกใช้อุณหภูมิสูงสุดที่สามารถทำการอบแห้งได้โดยที่คุณภาพของเมล็ดพืชไม่เกิดความเสียหาย เพราะจะทำให้การอบแห้งได้รวดเร็ว มีผลทำให้เครื่องอบแห้งข้าวมีขนาดเล็กทำให้การลงทุนต่ำ

2.4 ลักษณะทั่วไปของข้าว

2.4.1 โครงสร้างของข้าว

เมล็ดข้าวประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ 2 ส่วนคือ ส่วนที่ห่อหุ้มเรียกว่า แกลบ (hull หรือ husk) และส่วนที่รับประทานได้เรียกว่า ข้าวกล้อง (Caryosis หรือ Brown rice) ภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างภายในเมล็ดข้าว (กล้านรงค์ ศรีวรรค, 2543)

2.4.2 คุณภาพข้าว

คุณภาพข้าวมีความหมายครอบคลุมถึง คุณสมบัติทางกายภาพ และคุณสมบัติทางเคมีในการกำหนดมาตรฐานการส่งออก ปัจจุบันยังคงใช้คุณสมบัติทางกายภาพในการจำแนกเกรดของข้าวทุกชนิด โดยทั่วไปการพิจารณาคุณภาพข้าวจะพิจารณาจากข้าวเปลือกที่ได้จากการสี ซึ่งเกณฑ์ที่นิยมใช้คือ ร้อยละต้นข้าว และความขาวของข้าว โดยระดับความขาวยังไม่มีข้อกำหนดที่ชัดเจน เนื่องจากความต้องการของผู้บริโภคแต่ละประเทศไม่เหมือนกัน ในประเทศไทยยอมรับความขาวที่ระดับสูงกว่า 35 ซึ่งวัดจากเครื่อง Kett Whiteness Meter model C-300 (กล้านรงค์ ศรีรอด, 2543) การเปลี่ยนของสีเมล็ดข้าวโดยทั่วไปเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลในอาหาร ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง และปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง การเกิดสีเหลืองของข้าวเกิดจากปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์เกี่ยวข้อง ซึ่งยังมีการศึกษาอย่างชัดเจน นอกจากนี้เชื้อราบางพวกเช่น *Aspergillus*, *Curvularia* ที่เจริญเติบโตบนเมล็ดข้าว สามารถสร้างสีเหลืองได้ อันเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ข้าวเหลือง

2.4.3 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (Browning Reactions) มักจะเกิดขึ้นระหว่างการอบแห้งผลิตภัณฑ์ โดยส่วนใหญ่แล้วจะไม่ใช่ที่ต้องการ เพราะอาจทำให้รสชาติของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งไม่ดี ลักษณะสีภายนอกจะไม่น่าดู โดยการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลของอาหารที่เกิดขึ้นมีอยู่ 2 แบบ คือ

1. เกิดจากปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง เรียกว่า ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง (Enzymic Browning Reaction)
2. เกิดจากปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง เรียกว่า ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง (Nonenzymic Browning Reaction)

2.4.4 ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่มีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง

เมื่อผลไม้และผักมีรอยตำหนิหรือเสียหายซึ่งเกิดจากรอยขีด รอยปาก หั่น แฉ่แฉัง หรือเป็นโรคส่วนของเนื้อเยื่อที่มีรอยตำหนิมีเอนไซม์ที่มียังคงแอกทิฟอยู่เมื่อถูกกับอากาศจะเกิดเป็นสีน้ำตาล เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้ เป็นกลุ่มของเอนไซม์ซึ่งอาจเรียกชื่อรวมว่า ฟีนอลเลส (phenolase) เกิดการออกซิเดชันกับออกซิเจนในอากาศ

2.4.5 ปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่มีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง

ปฏิริยาการเกิดสีน้ำตาลนี้เกิดขึ้นเมื่ออาหารได้รับความร้อน มีการสูญเสียน้ำ (Dehydration) มีการสลายตัว (Degradation) และมีการรวมตัวกัน (Condensation) พัฒนาเป็นสารสีเหลืองจนถึงสีน้ำตาลและมีกลิ่นเฉพาะ การเกิดปฏิริยาสีน้ำตาลจะทำให้คุณค่าทางโภชนาการลดลงด้วย โดยปฏิริยานี้จะเกิดขึ้นที่อุณหภูมิสูงเช่น เกิดขึ้นในระหว่างการคั่วเมล็ดกาแฟ ถั่วลิสงและโกโก้ การไหม้ของน้ำตาล (Sugar Carmel) การทอด การอบเนื้อสัตว์ การปิ้ง การย่างและการเผาอาหารเป็นต้น โดยปฏิริยานี้แบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

1. ปฏิริยาคาเลเมลไลเซชัน (Caramlization) เป็นการให้ความร้อนสลายโมเลกุลของน้ำตาลให้แยกออก และเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันกลายเป็นสารสีน้ำตาล ปฏิริยานี้มีสารเริ่มต้นเป็นน้ำตาลเท่านั้น ปฏิริยาจะเกิดจะขึ้นกับโปรตีนในอาหารที่ไม่มีองค์ประกอบของสารประกอบไนโตรเจนเมื่อได้รับความร้อนที่สูงและมากเกินไป

2. ปฏิริยาเมลลาร์ด (Maillard Reaction) เป็นปฏิริยาที่เกิดขึ้นเมื่อมีองค์ประกอบของสารไนโตรเจนอยู่ เมื่อได้รับความร้อนที่สูงและมากเกินไป ซึ่งเกิดจากการทำปฏิริยากันระหว่างกรดอะมิโนไลซีนกับน้ำตาลที่ไวต่อการเกิดปฏิริยา ได้เป็นสารประกอบของพอลิเมอร์ของเมลานอยดินส์ (Melanoidins) ซึ่งมีสีน้ำตาลเข้ม ปฏิริยานี้จะเกิดขึ้นได้ดีเมื่ออาหารได้รับความร้อนที่อุณหภูมิสูง

2.5 การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของเมล็ดข้าวขณะเก็บรักษา

เมล็ดข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวที่รักษาไว้จะมีการเปลี่ยนแปลงภายในองค์ประกอบของเมล็ดข้าว ซึ่งมีผลสำคัญต่อคุณภาพในการขัดสี เนื่องจากลักษณะเนื้อสัมผัสของข้าวเปลี่ยนแปลงขณะเก็บรักษา การเปลี่ยนแปลงทางเคมี-กายภาพของเมล็ดข้าวขณะเก็บรักษา อาจมีผลมาจากการปรับสภาพ การละลาย และการเกิดเจลสตาร์ช และโปรตีนในเมล็ดที่สุกเต็มที่ให้กลายเป็นสารคงตัว และละลายในน้ำมากขึ้นมีผลทำให้เมล็ดข้าวแข็งขึ้นเมื่อนำข้าวสารที่เก็บรักษาไว้ในระยะหนึ่งแล้วนำมาหุงต้มจะพบว่าเมล็ดข้าวจะดูดซึมน้ำที่ใช้หุงต้มได้มากทำให้ปริมาตรของข้าวที่หุงสุกสูงกว่าการหุงข้าวใหม่ลักษณะข้าวสุกจะแข็ง และร่วนมากกว่าข้าวใหม่ ลักษณะของความคงตัวของเจลจะมีมากขึ้นและความหนืดจากการวัดด้วยเครื่องอะมิโลกราฟจะเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 2.1)

2.6 การระบายอากาศในกองข้าว

การระบายอากาศในกองข้าวเป็นวิธีหนึ่งในการลดความร้อนของกองข้าว โดยทั่วไปอากาศที่ใช้ในการระบายคือ อากาศแวดล้อมซึ่งมีอุณหภูมิ 25 °C พบว่าการระบายอากาศในกองข้าวเปลือก

สามารถใช้อัตราการไหลของอากาศค่อนข้างต่ำประมาณ $0.35 \text{ m}^3/\text{s}$ ของข้าวเปลือก เพื่อรักษาคุณภาพของข้าวเปลือกขึ้นไว้ได้นานกว่า 1 เดือน

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงของข้าวสารเก็บที่ $28 - 30^\circ\text{C}$
(ศศิเกษม ทองขงค์ และพรณี เดชกำแหง, 2530)

เวลาที่เก็บ (เดือน)	ข้าวสุกวัดความแข็ง ด้วยเครื่องอินสตรอน (กิโลกรัม)	ความคงตัวของเจล (มิลลิเมตร)	ความหนืดขึ้นจากเครื่องอะมิโลกราฟ(บี.ยู)		
			ความหนืด สูงสุด	จุดสุดท้าย ที่ 94°C	ทำให้เย็นที่ 50°C
0	7.4	65	541	395	703
1	7.5	60	592	379	750
2	8.4	54	620	400	793
3	8.8	53	652	440	830
4	8.8	52	649	426	835
5	8.6	50	678	441	851
6	8.4	56	-	-	-

2.7 การเกิดเจลาตินในเซชัน

ภายในเมล็ดข้าวเปลือกจะประกอบด้วยแป้งหรือสตาร์ชอยู่ที่ประมาณ 84 - 93% โดยมีมวลแห้งมีโปรตีนประมาณ 5 - 14% และไขมันประมาณ 3% มีการกระจายอยู่ทั่วเมล็ดข้าว ซึ่งในภาวะปกติแป้งข้าวสามารถดูดความชื้นได้ 12 - 14% โดยทั่วไปแล้วแป้งจะไม่ละลายน้ำเย็น เนื่องจากโมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxy group) จำนวนมากจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน แป้งมีคุณสมบัติเป็น hydrophilic จึงมีความสามารถดูดน้ำได้ เมื่อทำให้เปียกหรือทิ้งไว้ในบริเวณที่มีความชื้นสูง น้ำจะสามารถแพร่ผ่านเข้าไปในโมเลกุลแป้งได้โดยที่ไม่ทำลายโครงสร้างภายใน ทำให้แป้งเกิดการพองตัวแล้วจมนลง และถ้านำแป้งดังกล่าวไปให้ความร้อน พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ ขณะที่เม็ดแป้งเกิดการพองตัวทำให้เกิดการละลายและเกิดความหนืด ซึ่งลักษณะแป้งจะใส ส่วนอะมิโลสที่ละลายน้ำได้จะทำให้เกิดการพองตัวมากขึ้น และมีอะมิโลสบางส่วนแตกออกมาอยู่ในน้ำ จะเห็นเม็ดแป้งกระจายอยู่ในน้ำแป้งทำให้สารละลายเข้มข้นมากขึ้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาตินในเซชัน (Gelatinization) ช่วงอุณหภูมิที่เม็ดแป้งพองตัวอย่างรวดเร็วจนกระทั่งเป็นน้ำข้นเรียกช่วงนี้ว่า อุณหภูมิการเกิดเจล

(Gelatinization temperature range) ซึ่งปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดเจลลิตีในเซชันมีหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำแป้ง และขนาดของเม็ดแป้ง เมล็ดธัญพืชแต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชันของธัญพืชชนิดต่าง ๆ
(ศศิเกษม ทองยงค์ และพรณี เดชกำแหง, 2530)

ธัญพืช	อุณหภูมิ(°C)		
	เริ่มต้น	กึ่งกลาง	สุดท้าย
ข้าวโพด	62	66	70
ข้าวบาร์เลย์	51.5	57	59.5
ข้าวเจ้า	68	74.5	78
ข้าวไรย์	57	61	70
ข้าวสาลี	59.5	62.5	64
ถั่ว	57	65	70
มันฝรั่ง	58	62	66
มันสำปะหลัง	52	59	64

2.8 สมการสำหรับออกแบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง

2.8.1 การหา อัตราการป้อนของเมล็ดข้าวเปลือก (วุฒิกรณ จริยตันติเวทย์, 2548)

Hold up คือ $AL \rho_p$

(2.1)

Hold up คือ $F \times t$

(2.2)

ดังนั้น

F คือ Hold up / t

(2.3)

โดยที่ Hold up คือ ปริมาณข้าวเปลือกที่อยู่ในห้องอบ, kg

A คือ พื้นที่หน้าตัดของแผ่นกระจายอากาศ, m^2

L คือ ความสูงเบดในห้องอบแห้ง, m

ρ_p คือ ความหนาแน่นปรากฏของเมล็ดข้าวเปลือก, kg/m^3

F คือ อัตราการป้อนของเมล็ดข้าวเปลือก, kg/minute

t คือ เวลาที่เมล็ดข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้ง, minute

2.8.2 ความดันลดลงของอากาศในห้องอบแห้ง (วุฒิกรณ์ จริยตันติเวช, 2548)

$$\Delta P = L_1 (\rho_t - \rho_a) g \quad (2.4)$$

โดย ΔP คือ ความดันลดลงของอากาศในห้องอบแห้ง, Pa

ρ_t คือ ความหนาแน่นจริงของเมล็ดข้าวเปลือก, kg/m^3

ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศแวดล้อม, kg/m^3

L_1 คือ ความสูงของเบด, m

g คือ ความเร่งอันเนื่องมาจากแรงโน้มถ่วงของโลก, m/s^2

2.8.3 อัตราการไหลของอากาศ (เสรี สุภราทิษฐ์, 2542)

ความเร็วของอากาศไหลเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญมากในการอบแห้งแบบชั้นบาง กล่าวคือ ถ้าความเร็วของของไหลมากเกินไป จะเป็นการสิ้นเปลืองพลังงานโดยไม่จำเป็น

$$Q = VA \quad (2.5)$$

โดย Q คือ อัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านเบด, m^3/s

V คือ ความเร็วของอากาศที่ผ่านเบด, m/s

A คือ พื้นที่หน้าตัดของเบดที่อากาศไหลผ่าน, m^2

2.8.4 ความดันลดลง ณ จุดต่างๆ (เสรี สุภราทิษฐ์, 2542)

นอกจากความดันที่สูญเสียอันเนื่องมาจากแผ่นกระจายอากาศและในกองเมล็ดข้าวเปลือกแล้ว ยังมีการสูญเสียความดันที่เกิดจากอุปกรณ์ต่างๆ ด้วย

$$\frac{\Delta P}{\rho} = f \cdot \frac{(L)}{(D)} \cdot \frac{(V^2)}{(2)} \quad (2.6)$$

$$\Delta P = f \cdot \frac{(L)}{(D)} \cdot \frac{(V^2)}{(2)} \cdot \rho \quad (2.7)$$

$$\Delta P = k \cdot \left(\frac{V^2}{2} \right) \cdot \rho \quad (2.8)$$

โดย ΔP คือ ความดันลดลงของอากาศ, Pa

f คือ แฟกเตอร์ความเสียดทาน

k คือ แฟกเตอร์ความสูญเสียรอง

ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศร้อน, kg/m^3

L คือ ความยาวท่อ, m

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่อากาศไหลผ่าน, m

V คือ ความเร็วของอากาศภายในท่อ, m/s

ในการหาค่า k สามารถหาได้จากการเปิดตารางและการคำนวณโดยใช้สมการดังต่อไปนี้

- การหาค่า k ที่พื้นที่หน้าตัดเพิ่มขึ้นทันที

$$k = \left[1 - \left(\frac{D_{\text{in}}}{D_{\text{out}}} \right)^2 \right]^2 \quad (2.9)$$

- การหาค่า k ที่พื้นที่หน้าตัดค่อยๆ เพิ่มขึ้น

$$k = 2.6 \sin \frac{\theta \times 2}{2} \left[1 - \left(\frac{D_{\text{in}}}{D_{\text{out}}} \right)^2 \right] \quad (2.10)$$

- การหาค่า k ที่พื้นที่หน้าตัดค่อยๆ ลดลง

$$k = 0.8 \sin \frac{\theta \times 2}{2} \left[1 - \left(\frac{D_{\text{out}}}{D_{\text{in}}} \right)^2 \right] \quad (2.11)$$

โดย θ คือ ค่ามุมของท่อที่ลดลงหรือเพิ่มขึ้น, องศา
 D_{in} คือ เส้นผ่านศูนย์กลางทางเข้า, m
 D_{out} คือ เส้นผ่านศูนย์กลางทางออก, m

ในส่วนของการคำนวณหาค่า Reynolds Number (Re) และค่าแฟกเตอร์ความเสียดทาน (f) และค่าความขรุขระของผิวภายในท่อ (relative roughness of pipe, ε) ซึ่งสามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังนี้

เมื่อ
$$Re = \rho_a VD/\mu \quad (2.12)$$

โดย ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศแวดล้อม, kg/m^3
 V คือ ความเร็วของอากาศภายในท่อ, m/s
 D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อที่อากาศไหลผ่าน, m
 ε คือ ค่าความขรุขระของผิวภายในท่อ, m
 μ คือ ค่าความหนืดของอากาศร้อน, $N.s/m^2$

ในกรณีที่ท่อทางเดินอากาศไม่ใช่ท่อกลม ค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใช้ในการคำนวณจะใช้เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$D_h = \frac{4A}{P}; \text{สี่เหลี่ยมจัตุรัส} \quad (2.13)$$

โดย D_h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก, m
 A คือ พื้นที่หน้าตัดรูปสี่เหลี่ยม, m^2
 P คือ ความยาวรวมของทั้ง 4 ด้าน, m

สำหรับการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสีย (k) ที่เกี่ยวกับ ข้องอ, ข้อลด, ข้อเพิ่ม, วาล์ว และอุปกรณ์อื่นๆ หาได้จากความสัมพันธ์ต่างๆ ที่มีรูปแบบต่างกันขึ้นอยู่กับชนิด และรูปร่างลักษณะของอุปกรณ์แต่ละอย่างที่อากาศไหลผ่าน

- หาความดันตกที่เกิดขึ้นเนื่องจากแผ่นกระจายอากาศ มีค่าประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของความดันตกในห้องอบแห้ง จะได้ดังสมการ

$$\Delta P_a = 0.5 \Delta P \quad (2.14)$$

- หาความดันตกที่เกิดขึ้นเนื่องจากแผ่นตะแกรงดักฝุ่นมีค่าประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของความดันตกในห้องอบแห้ง

$$\Delta P_d = 0.3 \Delta P \quad (2.15)$$

โดย ΔP_a คือ ความดันตกที่แผ่นกระจายอากาศ, Pa
 ΔP_d คือ ความดันตกที่แผ่นตะแกรงดักฝุ่น, Pa
 ΔP คือ ความดันตกในเบด, Pa

2.9 การคำนวณหาความร้อน (วุฒิกรณ จริยตันติเวชย์, 2548)

ในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบชั้นบางนี้จะใช้ความร้อนจาก Heater โดยใช้พลังงานจากไฟฟ้า

สูตรคำนวณ

$$q = \rho_a \cdot Q_a \cdot C_a \cdot (T_{\max} - T_a) \quad (2.16)$$

โดย q คือ ปริมาณความร้อน, kw
 C_a คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศแวดล้อม, kJ/kg °C
 ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศแวดล้อม, kg/m³
 Q_a คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศแวดล้อม, m³/s
 T_a คือ อุณหภูมิอากาศแวดล้อม, °C
 T_{\max} คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง, °C

2.10 การคำนวณกำลังงานที่ใช้จริงของระบบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบชั้นบาง

(วุฒิกรณ จริยตันติเวช, 2548)

ในการออกแบบเครื่องอบแห้งแบบชั้นบางนี้จะใช้พลังงานไฟฟ้าในการป้อนให้กับเครื่องต้นกำลัง (มอเตอร์) ซึ่งจะต้องใช้สมการดังต่อไปนี้ในการคำนวณ

Power คือ $\Delta P \cdot Q$

(2.17)

โดย	Power	คือ กำลังงาน, W
	ΔP	คือ ความดันรวมทั้งระบบ, Pa
	Q	คือ อัตราการไหลในระบบ, m ³ /s