

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการพื้นฐานของการอบแห้ง

การอบแห้ง (Drying) หมายถึงการใช้ความร้อนภายใต้สภาวะควบคุมเพื่อกำจัดน้ำส่วนใหญ่ที่อยู่ในรูปของอาหารโดยการระเหยน้ำหรือการระเหิดของแข็งในการอบแห้งแบบระเหิด(Freeze drying) วัตถุประสงค์ของการอบแห้ง คือการยืดอายุการเก็บรักษาอาหารโดยการลดค่าออกซิเดชันที่มีผลยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และเอนไซม์ นอกจากนั้นการลดน้ำหนักและปริมาณของอาหารยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและการขนส่ง เพิ่มความหลากหลายและความสะดวกให้แก่ผู้บริโภค อย่างไรก็ตามการทำแห้งทำให้เกิดการสูญเสียทั้งคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของอาหาร วัตถุประสงค์หลักของการออกแบบเครื่องอบแห้งคือ การหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการทำอาหารแต่ละชนิดให้แห้ง โดยมีการสูญเสียคุณภาพการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการน้อยที่สุด ตัวอย่างอาหารแห้งที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรมที่สำคัญได้แก่ น้ำตาล กาแฟ นม มันฝรั่ง แป้ง ถั่วลิสง ส่วนผสมสำหรับทำขนมปัง อาหารเข้าที่ทำมาจากธัญพืช ชา และเครื่องเทศ

2.1.1 ประโยชน์ของการทำแห้ง

1. ป้องกันการเน่าเสียจากเชื้อจุลินทรีย์ ปฏิกิริยาเคมี และเอนไซม์
2. ทำให้มีใช้ในยามขาดแคลนนอกฤดูกาล หรือในแหล่งห่างไกล
3. เก็บไว้ได้นานโดยไม่ต้องใช้ตู้เย็นให้เปลืองค่าใช้จ่าย
4. ลดน้ำหนักอาหารทำให้สะดวกในการบรรจุ เก็บรักษาและขนส่ง
5. ได้ผลิตภัณฑ์ใหม่เช่น ลูกเกด จากการทำองุ่นแห้ง
6. ให้ความสะดวกในการใช้เช่น กาแฟผงสำเร็จรูป

2.1.2 การถ่ายเทความร้อนและมวลสาร

ในการทำแห้งจะต้องมีการให้พลังงานแก่อาหาร ทำให้น้ำในอาหารเปลี่ยนสถานะเป็นไอแล้วเคลื่อนย้ายออกอาหาร แสงอาทิตย์เป็นพลังงานความร้อนจากธรรมชาติและกระแสลมที่พัดผ่านอาหารทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำ เนื่องจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์เนื่องจากพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ให้อุณหภูมิไม่สูงมากนักและกระแสลมธรรมชาติไม่สูงพอ ทำให้เกิดการตากแห้งต้องใช้เวลานาน ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเครื่องอบที่มีการให้พลังงานความร้อนในปริมาณที่ควบคุมได้และมีอุปกรณ์ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกจากผิวอาหารการถ่ายเทความร้อนและมวลสารเกิดได้เร็วอาหารจึงแห้งได้เร็วขึ้น การถ่ายเทความร้อนและมวลสารระหว่างการอบแห้งทำได้หลายวิธีคือ

1.การทำให้กระแสมร้อนเคลื่อนที่ผ่านอาหารกระแสมร้อนทำหน้าที่ให้ความร้อนและเคลื่อนย้ายไอน้ำ การถ่ายเทความร้อนแบบนี้เป็นแบบการพาความร้อน (Convection)

2.การแผ่อาหารเป็นชั้นบาง ๆ บนพื้นผิวที่ให้ความร้อน อาหารได้รับความร้อนแบบการนำความร้อน (Conduction) ทำให้ไอน้ำกระจายตัวสู่บรรยากาศเหนืออาหาร อาหารที่ร้อนจัดทำให้ไอน้ำกระจายตัวได้ดี อาหารจึงแห้งในเวลาสั้น ๆ จะมีระบบดูดอากาศออกจากผิวอาหารซึ่งทำให้สามารถลดความชื้นได้ต่ำลงอีกหรือไม่ต้องใช้อุณหภูมิที่สูงนัก

3.การให้ความร้อนแก่เครื่องอบด้วยการนำความร้อนหรือการแผ่รังสีร่วมกับการดูดอากาศที่มีไอน้ำออกไปควบแน่นข้างนอก

4.การปรับสภาพความดันและอุณหภูมิให้น้ำในอาหารกลายเป็นของแข็งที่ระดับต่ำกว่าจุดรวมสามสถานะ(Triple point) แล้วให้พลังงานความร้อนหรือลดความดันลงอีกทำให้เกิดการระเหิด น้ำเปลี่ยนสถานะจากของแข็งกลายเป็นไอโดยตรง วิธีการนี้เราเรียกว่าการทำแห้งด้วยการแช่เยือกแข็ง(Freeze drying)

กระบวนการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังวัสดุพร้อมกับการถ่ายเทความชื้นจากวัสดุไปยังอากาศ ซึ่งจะเกิดขึ้นที่ผิววัสดุและ / หรือภายในวัสดุ ในการอบแห้งวัสดุทั่ว ๆ ไปมักใช้อากาศร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้งโดยความร้อนส่วนใหญ่ถูกไปใช้ในการระเหยน้ำ ลักษณะของการอบแห้งแบ่งเป็น 3 ช่วงคือ

1. การใช้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ (Preheat period) ช่วงนี้เป็นช่วงเริ่มต้นให้ความร้อนแก่วัสดุเปียก เพื่อเป็นการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุและน้ำขึ้นจนถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet-bulb temperature) ของอากาศร้อน หากอัตราการให้ความร้อนสูงจะทำให้ช่วงนี้มีระยะสั้น และเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงการอบแห้งต่อไป ซึ่งมักจะมีระยะเวลานานกว่ามากอาจจะต้องคำนึงช่วงนี้ได้

2. ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ (Constant drying rate period) ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ได้แก่ ความเร็ว ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของอากาศร้อน ในช่วงนี้อุณหภูมิของวัสดุมีค่าคงที่ที่อุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศตลอดเวลาที่ภายในตัววัสดุตลอดจนถึงผิววัสดุยังมีความชื้นเหลืออยู่ในรูปของอิสระกระจายอยู่อย่างสม่ำเสมอ การถ่ายเทความชื้นระหว่างวัสดุกับอากาศจะเกิดขึ้นเฉพาะบริเวณรอบ ๆ ผิววัสดุเท่านั้น โดยอัตราเร็วของการอบแห้งจะมีค่าคงที่จนกระทั่งถึงจุดที่อัตราการอบแห้งเปลี่ยนแปลงจากอัตราคงที่ไปเป็นอัตราลดลง ซึ่ง ณ จุดนี้จะเรียกปริมาณความชื้นภายในวัสดุว่าปริมาณความชื้นวิกฤต (Critical moisture content) ซึ่งค่านี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ เช่น รูปร่าง ขนาด และสภาพแวดล้อม การอบแห้ง เป็นต้น

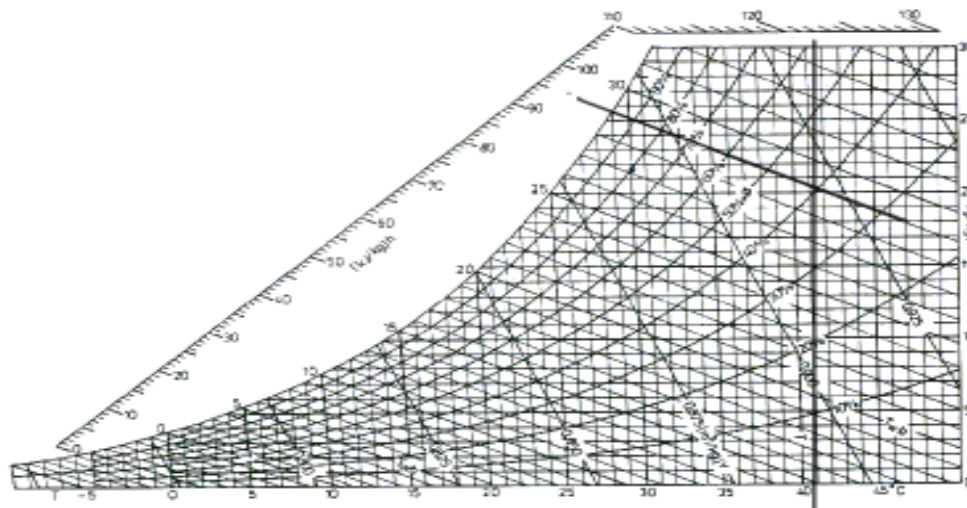
3. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling drying rate period) ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงความชื้นในรูปของน้ำที่ผิวของวัสดุจะระเหยหมดไป เพราะการถ่ายเทความชื้นในรูปของน้ำจาก

ภายในวัสดุเกิดขึ้นไม่ทันกับการระเหยของน้ำออกจากผิววัสดุ ดังนั้นผิวของวัสดุจะอยู่ในสภาพที่แห้ง และอุณหภูมิของวัสดุจะเริ่มสูงขึ้น อัตราการอบแห้งจะค่อย ๆ ลดลง การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของของเหลวจะเกิดขึ้นในระยะแรกขณะที่วัสดุยังมีความชื้นสูง เมื่อความชื้นลดต่ำลงมากแล้วน้ำอาจเคลื่อนที่ในรูปของไอน้ำ ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง พื้นที่ผิวอิมตัวจะลดลงเนื่องจากการเคลื่อนที่ของความชื้นภายในวัสดุไม่เพียงพอต่อการระเหย อัตราการอบแห้งลดลงในขณะที่พื้นที่ผิวไม่อิมตัวเพิ่มขึ้น จนพื้นที่ผิวทั้งหมดถึงสภาวะไม่อิมตัว การถ่ายเทความชื้นในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงไม่ได้เกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้น แต่เกิดขึ้นภายในเนื้อวัสดุด้วย การเคลื่อนที่ของความชื้นภายในวัสดุจะควบคุมอัตราการอบแห้ง กลไกที่ทำให้ความชื้นเคลื่อนที่ภายในผลิตภัณฑ์ คือ การเคลื่อนที่ของของเหลวด้วยแรงคาปิลลารี การแพร่ของของเหลว และการแพร่ที่ผิว ในระหว่างการอบแห้ง อุณหภูมิของวัสดุจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศร้อน และเมื่ออบแห้งต่อไปอุณหภูมิของวัสดุจะเท่ากับอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ใช้ออบแห้ง

การทำแห้งอีกแบบหนึ่งไม่เกี่ยวกับพลังงานความร้อนแต่เป็นการใช้ความดัน ออสโมติก ลดปริมาณน้ำออกจากชิ้นอาหาร ได้แก่ การทำผลไม้แช่อิ่ม เมื่อแช่ชิ้นผลไม้ในน้ำเชื่อม น้ำในอาหารจะเคลื่อนที่ออกมาที่น้ำเชื่อมข้างนอกและน้ำตาลเคลื่อนที่เข้าไปในชิ้นผลไม้จนความเข้มข้นของน้ำตาลภายนอกและภายในชิ้นผลไม้เท่ากันแต่วิธีนี้ยังเหลือน้ำในชิ้นผลไม้อีกมาก จึงนิยมเอาไปทำแห้งต่อ

2.1.3 การทำแห้งโดยการใช้อากาศหรือลมร้อน

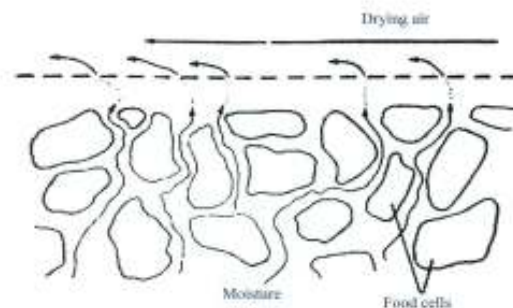
1. ไฮโครเมตริกส์(Psychometric) ความสามารถของอากาศที่จะกำจัดความชื้นออกจากอาหารขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอากาศปริมาณน้ำในอากาศแสดงได้ด้วยค่าความชื้นสมบูรณ์(Absolute humidity) ซึ่งมวลของไอน้ำหนึ่งหน่วยมวลของอากาศแห้ง หรือที่เรียกว่าปริมาณความชื้นหรือแสดงในรูปของความชื้นสัมพัทธ์(Relative humidity) มีค่าเป็น% ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างความดันย่อย(Partial pressure) ของไอน้ำในอากาศต่อความดันของไอน้ำอิมตัวที่อุณหภูมิเดียวกันและคูณด้วย 100 ไฮโครเมตริกซ์ เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ และความชื้นของอากาศ



ภาพที่ 2.1 กราฟไซโครเมตริกส์(Psychometric)

อุณหภูมิของอากาศที่วัดโดยกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์เรียกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง(Dry - bulb) และถ้าเอาผ้าเปียกหุ้มกระเปาะเอาไว้ความร้อนจะถูกกำจัดออกจากผ้าโดยการระเหยของน้ำ และอุณหภูมิจะลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง เรียกอุณหภูมิที่ต่ำกว่านี้ว่า อุณหภูมิกระเปาะเปียก(Wet bulb) ซึ่งสามารถใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองนี้ในการหาความชื้นสัมพัทธ์บนกราฟไซโครเมตริกซ์ได้ การเพิ่มอุณหภูมิหรือการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ ทำให้น้ำระเหยออกจากผิวที่เปียกเร็วขึ้น และทำให้อุณหภูมิลดลงมาก อุณหภูมิจุดน้ำค้าง(Dew point)เป็นอุณหภูมิที่อากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ (100 % RH) การทำให้อากาศเย็นลงกว่าจุดน้ำค้างจะทำให้เกิดการควบแน่นในอากาศ ส่วนเส้นกราฟทำให้เย็นแบบอะเดียบาติก (Adiabatic cooling line) เป็นเส้นกราฟที่เอียงขนานกันและตัดกราฟและแสดงให้เห็นว่าความชื้นสัมบูรณ์ในอากาศลดลงในขณะที่อุณหภูมิของอากาศนั้นสูงขึ้น

2. กลไกการทำแห้ง เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหารและน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่



ภาพที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง

สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอขึ้นอาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูงและค่อย ๆ ลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อไล่น้ำออกจากอาหาร น้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกดังต่อไปนี้

1. การเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงแคปิลารี
2. การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหารส่วนต่าง ๆ
3. การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร
4. การแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหารซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความดันไอ

อาหารแบ่งออกเป็นไฮโกรสโคปิก (Hygroscopic) และนอนไฮโกรสโคปิก (Non-hygroscopic) โดยอาหารประเภทไฮโกรสโคปิกเป็นอาหารที่มีค่าความดันไอย่อยแตกต่างกันขึ้นกับปริมาณความชื้นของอาหาร ส่วนอาหารประเภทนอนไฮโกรสโคปิกจะมีค่าความดันไอคงที่แม้ว่าจะมีความชื้นแตกต่างกัน หากความแตกต่างกันได้โดยการใช้อุณหภูมิของอากาศแห้ง (วิลเลียมส์, 2543)

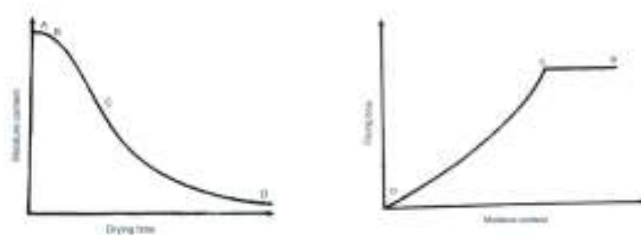
เมื่อนำอาหารมาใส่ในเครื่องทำแห้ง ช่วงเวลาสั้น ๆ ตอนเริ่มอบแห้งจะเป็นเวลาที่ใช้ในการทำให้ผิวหน้าของอาหารมีอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงกระเปาะเปียก แล้วจึงเริ่มการทำให้แห้งโดยน้ำจะเคลื่อนที่จากด้านในของอาหารออกมาด้วยอัตราเร็วคงที่ (Constant rate period) และช่วงต่อเนื่องไปจนถึงความชื้นวิกฤต (Critical moisture constant) แต่ในทางปฏิบัติ ผิวหน้าของอาหารจะค่อย ๆ แห้งด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน และอัตราการทำให้แห้งโดยรวมจะค่อย ๆ ลดลงในช่วงของอัตราเร็วคงที่ ดังนั้นจุดความชื้นวิกฤตของอาหารแต่ละชนิดจะไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของอาหารในเครื่องทำแห้ง อัตราการทำให้แห้ง ลักษณะที่สำคัญของอากาศแห้งที่ใช้ในการทำแห้งในช่วงอัตราเร็วคงที่ได้แก่

1. ต้องมีอุณหภูมิกระเปาะแห้งสูง
2. มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ
3. มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง

ฟิล์มอากาศที่อยู่รอบอาหารจะกีดขวางการถ่ายเทความร้อนและไอน้ำระหว่างการทำแห้ง ความเร็วของอากาศหรือลมจะเป็นตัวกำหนดความหนาของฟิล์ม ถ้าความเร็วลมต่ำเกินไป ไอน้ำจะเคลื่อนที่จากผิวหน้าของอาหารและยังคงอยู่รอบ ๆ อาหารทำให้มีความแตกต่างระหว่างความดันไอและอัตราการทำแห้งไม่สูงนัก ถ้าอุณหภูมิของอากาศแห้งต่ำหรือมีความชื้นสูงจะทำให้อัตราเร็วในการระเหยและการทำแห้งลดลง

เมื่อความชื้นของอาหารลดต่ำกว่าความชื้นวิกฤต อัตราการทำแห้งก็จะลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ที่ความชื้นสมดุล (ความชื้นในอาหารสมดุลกับความชื้นในอากาศแห้ง) หรือที่เรียกว่าเป็นช่วงอัตราการลดลง (Falling-rate period) อาหารแบบนอนไฮโกรสโคปิกจะมีช่วงอัตราการลดลงเพียงช่วงเดียว ในขณะที่อาหารแบบไฮโกรสโคปิกมี 2 ช่วง โดยในช่วงแรก ระบายของการระเหยจะเคลื่อนที่เข้ามาในอาหารและน้ำจะแพร่ผ่านอาหารแข็งเข้าไปยังอากาศแห้ง และจะลดลงเมื่อระบายของการระเหยเข้ามาถึงจุดศูนย์กลางของอาหารและความดันย่อยของน้ำลดต่ำกว่าความดันไออิ่มตัว ช่วงที่ 2 จะเกิดขึ้นเมื่อความดันย่อยของน้ำลดต่ำกว่าความดันไออิ่มตัวและเกิดการทำให้แห้งโดยการทำให้แห้ง

ในช่วงอัตราการลดลง อัตราการเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในอาหารมายังผิวหน้าจะต่ำกว่าอัตราการระเหยของน้ำไปยังอากาศโดยรอบ ผิวหน้าจึงแห้ง ช่วงนี้จะเป็นช่วงที่นานที่สุดของกระบวนการทำให้แห้งในอาหารบางชนิด เช่น การทำให้แห้งเมล็ดพืช ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นต่ำกว่าความชื้นวิกฤต ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการทำให้แห้งจะเปลี่ยนไปในช่วงอัตราการลดลง ปัจจัยที่สำคัญในช่วงแรกจะคล้ายคลึงกับในช่วงอัตราเร็วคงที่ แต่อัตราการถ่ายเทมวลจะค่อย ๆ กลายเป็นปัจจัยที่ควบคุมการทำให้แห้งที่สำคัญขึ้น



ภาพที่ 2.3 เส้นกราฟการทำให้แห้ง อุณหภูมิและความชื้นของอาหารแห้งจะคงที่และความร้อนทั้งหมดถูกถ่ายเทไปยังผิวอาหารด้วยการพาความร้อน

2.1.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำให้แห้ง

การทำแห้งคือ การเคลื่อนย้ายน้ำออกจากอาหาร ปัจจัยใด ๆ ที่มีผลต่อการเคลื่อนย้ายนี้จึงมีผลต่ออัตราเร็วการทำแห้ง ได้แก่

1. ธรรมชาติของอาหาร อาหารเนื้อโปรงมีการเคลื่อนที่ของของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในอาหารเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารเนื้อโปรงจึงแห้งได้เร็วกว่าอาหารเนื้อแน่น อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะเหนียวเหนอะหนะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจึงแห้งช้า อาหารที่มีการลวก นวดคลึง ทำให้เซลล์แตกจึงแห้งได้เร็วขึ้น

2. ขนาดและรูปร่าง ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักเช่น รูปร่างเหมือนกัน ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งได้เร็วกว่า แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศที่จะเกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ ถ้าชิ้นเล็กมากเกิดทับถมกันการระเหยเกิดได้เฉพาะที่ผิวสัมผัสกับอากาศ จึงเกิดได้ช้าทั้ง ๆ ที่พื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักมาก

3. ตำแหน่งของอาหารในเตา น้ำในอาหารที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่าหรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำอมระเหยได้ดีกว่า

4. ปริมาณอาหารต่อถาด ถ้าปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไป อาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสความร้อนหรือได้รับความร้อนจากถาดแล้ว แต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนออกมาได้ จึงแห้งช้า

5. ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มาก จะรับไอน้ำเพิ่มได้น้อย จึงมีผลในช่วงอัตราการทำอากาศแห้งคงที่

6. อุณหภูมิของอากาศร้อน ถ้าอากาศมีความชื้นคงที่ การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำจึงมีผลต่อการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้นจึงมีผลต่อช่วงการอบในช่วงอัตราการทำแห้งลดลงด้วย

7. ความเร็วของลมร้อน ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้น การเคลื่อนย้ายเกิดขึ้นเต็มที่ ๆ ความเร็วลม 224 เมตรต่อนาที นอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนของอากาศในเตา อากาศจึงสัมผัสอาหารได้ดีขึ้น

2.1.5 การเปลี่ยนแปลงของอาหารเนื่องจากการอบแห้ง

การอบแห้งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของอาหารมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับธรรมชาติของอาหารและสภาวะที่ใช้ในการอบแห้งคือ

1. การหดตัว การเสียน้ำทำให้เซลล์อาหารหดตัวจากผิวนอก ส่วนที่แข็งจะคงสภาพได้ในส่วนที่อ่อนกว่าจะเว้าลงไป อาหารที่มีน้ำมากจะหดตัวและบิดเบี้ยวมาก การทำแห้งอย่างรวดเร็วจะหดตัวได้น้อยกว่าการทำแห้งอย่างช้า ๆ

2. การเปลี่ยนสี อาหารที่ผ่านการทำแห้งมักมีสีเข้มขึ้นเนื่องจากความร้อนหรือปฏิกิริยาเคมี การเกิดสีน้ำตาลอุณหภูมิและช่วงเวลาที่อาหารมีความชื้น 10 -20 % มีผลต่อความเข้มของสี จึงควรหลีกเลี่ยงอุณหภูมิสูงในช่วงความชื้นนี้

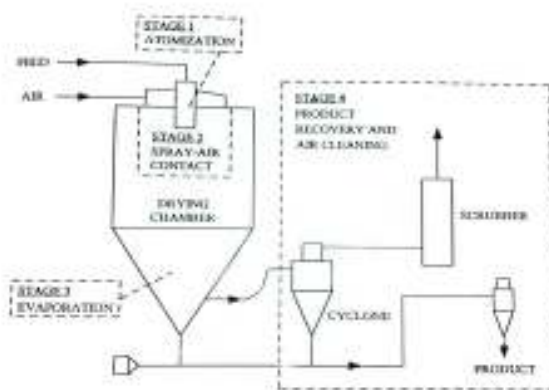
3. การเกิดเปลือกแข็ง เป็นลักษณะที่ผิวอาหารแข็งเป็นเปลือกหุ้มส่วนในที่ยังไม่แห้งไว้ เกิดจากช่วงแรกให้น้ำระเหยเร็วเกินไป น้ำจากด้านในเคลื่อนที่มาที่ผิวไม่ทัน หรือมีสารละลายของน้ำตาล โปรตีนเคลื่อนที่มาแข็งตัวที่ผิว สามารถหลีกเลี่ยงได้โดยไม่ใช้อุณหภูมิสูงหรือใช้อากาศที่มีความชื้นสูง เพื่อไม่ให้ผิวอาหารแห้งก่อนเวลาอันควร

4. การเสียความสามารถในการคืนสภาพ อาหารแห้งบางชนิดต้องมาคืนสภาพ แต่การคืนสภาพโดยการเติมน้ำจะไม่เหมือนเดิมเพราะเซลล์อาหารเสียความยืดหยุ่นของผนังเซลล์สตาร์ทและโปรตีนเสียความสามารถในการดูดน้ำอาหารที่แห้งด้วยการแช่เยือกแข็งจะมีความสามารถในการคืนสภาพมากที่สุด เพราะไม่ได้ใช้ความร้อนที่จะทำให้ลายผนังเซลล์หรือเปลี่ยนโครงสร้างของสตาร์ทและโปรตีน

5. การเสียคุณค่าอาหารและสารระเหย เกิดการเสื่อมสลายของวิตามินซีและแคโรทีน จาก ปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไรโบฟลาวินจากแสง ไทอะมินจากความร้อน ยิ่งใช้เวลาการทำแห้งนาน การสูญเสียก็ยิ่งมากโปรตีนมีการสูญเสียบางส่วนด้วยความร้อนเช่นเดียวกับการสูญเสียสารระเหย เนื่องจากความร้อนทำให้กลิ่นของอาหารแห้งลดน้อยลงหรือแตกต่างไปจากเดิม

2.2 การอบแห้งแบบพ่นฝอย

การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นวิธีการอบแห้งที่ใช้กับอาหารซึ่งใช้กับอาหารซึ่งอยู่ในสภาพของสารละลายที่เป็นเนื้อเดียว (Homogeneous solution) หรือสารละลายที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Non-homogeneous solution) โดยอาจอยู่ในรูปของของผสมระหว่างของแข็งและของเหลว (Slurry) หรือของเหลวกับของเหลว (Emulsion) หลักการอบแห้งคือการทำให้ของเหลวดังกล่าวแตกตัวเป็นละอองหรือหยดเล็ก ๆ (Droplet) แล้วผ่านไปในห้องอบแห้ง (Chamber) ซึ่งมีอากาศร้อนไหลผ่านเนื่องจากหยดอากาศมีขนาดเล็กมากประมาณ 100 – 200 μm การระเหยจึงเกิดขึ้นบนพื้นที่ผิวของหยดเล็ก ๆ อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาอบแห้งสั้น ๆ ประมาณ 1 – 10 วินาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งจะอยู่ในสภาพผงแห้ง ซึ่งคุณสมบัติและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถควบคุมและปรับเปลี่ยนได้ตามต้องการเช่น ปริมาณความชื้น รูปร่างและขนาดของอนุภาค ความหนาแน่นโดยรวม เป็นต้น การอบแห้งแบบพ่นฝอยนี้จะได้คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ดีหรือไม่ดีขึ้นกับประสิทธิภาพในการทำให้ของเหลวแตกตัวเป็นหยดเล็ก ๆ และขึ้นกับอัตราการถ่ายเทความร้อนของการสัมผัสระหว่างหยดของเหลวกับอากาศร้อนซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่เลือกใช้ในการอบแห้งนั่นเอง



ภาพที่ 2.4 ขั้นตอนของกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย

2.2.1 หลักการพื้นฐานของการอบแห้งแบบพ่นฝอย

เมื่อของเหลวถูกฉีดเป็นละอองฝอยให้สัมผัสกับอากาศร้อนภายในห้องอบแห้ง น้ำในอาหารจะระเหยไปอย่างรวดเร็ว จากนั้นผงแห้งจะถูกแยกออกจากลมร้อนเพื่อนำไปบรรจุต่อไป ภาพที่ 2.4 แสดงขั้นตอนของกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

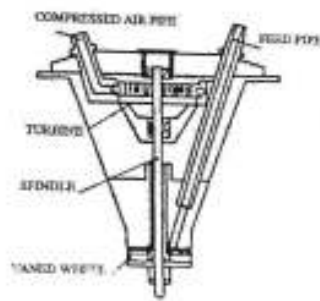
1. การทำให้ของเหลวมีขนาดเล็กหรือเป็นละอองฝอย (Atomization stage)

ขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญมากเนื่องจากทำให้เกิดพื้นที่ผิวในการระเหยซึ่งถ้ามีพื้นที่ผิวสูงก็จะสามารถระเหยนํ้าออกจากอาหารได้รวดเร็ว นอกจากนี้การทำให้เป็นอนุภาคเล็ก ๆ จะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเฉพาะทั้งขนาด รูปร่าง ตลอดจนความหนาแน่น เนื่องจากของเหลวมีขนาดเล็กลงซึ่งจะเพิ่มพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนได้มาก ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้มาก ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นหัวฉีด (Atomizer) ในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยจึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญส่วนหนึ่งซึ่งช่วยให้การอบแห้งเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดี หัวฉีดที่ใช้กับเครื่องอบแห้งพ่นฝอยแบ่งเป็น 3 ชนิด คือ

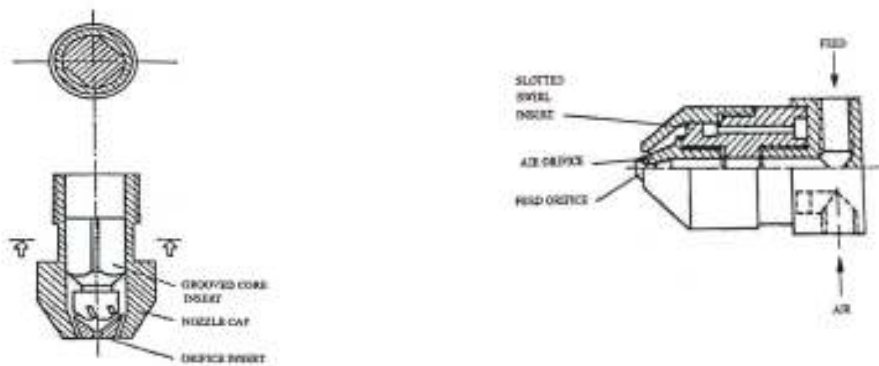
ก. หัวฉีดแบบหมุน (Rotary atomizer) ดังแสดงในภาพที่ 2.5(ก) ของเหลวที่สามารถใช้ได้อาจเป็นเนื้อเดียวกันหรือไม่เป็นเนื้อเดียวกันก็ได้ ลักษณะของหัวฉีดคล้ายจานหมุน อาหารจะถูกส่งไปยังศูนย์กลางของวงล้อที่หมุนด้วยความเร็วสูง ทำให้อาหารเหลวกระจายเป็นแผ่นบาง ๆ บนผิวของล้อแล้วถูกเหวี่ยงออกจากจานหมุนเป็นละอองฝอยขนาดเล็กมากตั้งแต่ 30–120 μm ประสิทธิภาพของหัวฉีดแบบนี้ขึ้นกับคุณสมบัติของของเหลวที่นำอบแห้งด้วย เช่น ความเข้มข้น ความหนืด อุณหภูมิของของเหลว เป็นต้น

ข. หัวฉีดแบบแรงดัน(Pressure nozzle) ดังแสดงในภาพที่ 2.5(ข) เป็นหัวฉีดที่ใช้สำหรับการอบแห้งที่มีกำลังการผลิตมาก ๆ จะให้ละอองของเหลวที่มีรูปร่างสม่ำเสมอ (Uniform) กว่าหัวฉีดแบบ Two-fluid nozzle ของเหลวจะถูกทำให้หมุนรอบแกนด้วยความเร็วสูงมากภายใต้ความดัน ซึ่งความดันที่ใช้อาจสูงถึง 1000 lb/in^2 ขนาดของอนุภาคที่ได้มีตั้งแต่ $120 - 250 \text{ }\mu\text{m}$ ขึ้นกับความดันและขนาดของหัวฉีดเหมาะสมสำหรับอาหารเหลวที่มีความหนืดสูง

ค. หัวฉีดแบบ (Two-fluid nozzle) ดังแสดงในรูปภาพที่ 2.5 (ค) ใช้กับการอบแห้งที่ต้องการอัตราการอบแห้งต่ำของเหลวจะกลายเป็นละอองฝอย เนื่องจากถูกอัดด้วยอากาศภายใต้ความดัน หัวฉีดแบบนี้ประกอบด้วยทางเข้าของอากาศและทางเข้าของเหลว ของเหลวจะถูกพ่นออกมาเป็นลำเล็ก ๆ เมื่อกระทบกับอากาศที่มีความดันสูงจะทำให้ของเหลวแตกตัวเป็นละอองมาก ความดันที่ใช้ประมาณ $5 - 6 \text{ lb/in}^2$



ก. หัวฉีดแบบหมุน (Rotary atomizer)



ข. หัวฉีดแบบแรงดัน (Pressure nozzle)

ค. หัวฉีดแบบ (Two-fluid nozzle)

ภาพที่ 2.5 หัวฉีดแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในการอบแห้งแบบพ่นฝอย

2. การสัมผัสระหว่างหยดของเหลวและอากาศร้อน (Spray-air contact stage)

ในขั้นตอนนี้หยดของเหลวจะสัมผัสกับอากาศร้อน เพื่อให้ น้ำในอาหารได้รับความร้อน มาทำให้เกิดการระเหยออกไป การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศร้อนเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง มากถ้าทิศทางการไหลของอากาศเหมาะสมก็จะทำให้การถ่ายเทความร้อนเกิดได้เร็วขึ้น ทั้งนี้ขึ้นกับ จุดประสงค์ของการอบแห้ง คุณสมบัติของสารละลาย รวมทั้งคุณภาพและลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ ต้องการ การสัมผัส ระหว่างหยดของเหลวและอากาศร้อนแบ่งได้ 3 แบบคือ

ก. การไหลในทิศทางเดียวกัน (Co-current flow) อาหารจะถูกพ่นฝอยใน ทิศทางเดียวกับอากาศร้อนดังแสดงในภาพที่ 2.6 (ก) วิธีนี้เหมาะสำหรับสารละลายอาหารที่ไม่ทนต่อ ความร้อน เนื่องจากเกิดการระเหยของน้ำได้อย่างรวดเร็ว อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะต่ำกว่าอุณหภูมิ ของอากาศร้อนที่ไหลออก

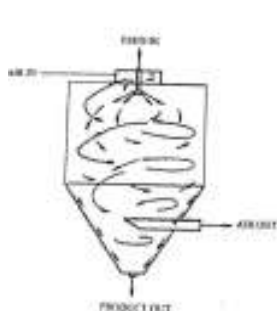
ข. การไหลสวนทางกัน (Counter-current flow) อาหารเหลวที่ถูกพ่นฝอย และอากาศร้อนจะไหลในทิศทางตรงกันข้าม ดังแสดงในภาพที่ 2.6 (ข) เริ่มจากหยดของเหลวที่มี อุณหภูมิต่ำแล้วจะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อย จนเท่ากับอุณหภูมิอากาศร้อน ลักษณะแบบนี้ทำให้เกิดการ ถ่ายเทความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะกับอาหารที่ทนต่อความร้อนสูง อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่ ได้จะสูงกว่าอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ไหลออก

ค. การไหลแบบผสมผสาน (Mixed flow) สารละลายและอากาศร้อนจะ มีทั้งไหลไปในทางเดียวกันและสวนทางพร้อมๆ กันดังแสดงในภาพที่ 2.6 (ค) อากาศร้อนที่ใช้ใน เครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยได้จากความร้อนสองประเภทคือ การทำให้ร้อนโดยตรง และโดยทางอ้อม ประเภทแรกเป็นการเผาไหม้เชื้อเพลิงได้อากาศร้อนแล้วนำไปใช้โดยตรง หรือได้จากขอลวดไฟฟ้าให้ ความร้อนกับอากาศ ข้อดีคือมีการสูญเสียความร้อนน้อย ส่วนประเภททำความร้อนโดยทางอ้อมได้ จากการให้อากาศไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ได้จากไอน้ำซึ่งจะมีการสูญเสียความร้อนมาก

3. ช่วงการระเหย (Evaporation stage)

การระเหยของน้ำออกจากอนุภาคอาหารที่ถูกพ่นฝอยเกิดขึ้นจากการถ่ายเทความร้อนและ การถ่ายมวลสาร การอบแห้งวิธีนี้จะแตกต่างจากการอบแห้งวิธีอื่นคือ การระเหยของน้ำจะเกิดขึ้น ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่เป็นส่วนมาก เนื่องจากอนุภาคอาหารมีความชื้นสูงมากและจะเกิดใน ทานองเดียวกันกับการระเหยของหยดน้ำบริสุทธิ์ กระบวนการถ่ายความร้อนและการถ่ายมวลเกิดขึ้น ดังนี้ อันดับแรกอนุภาคถูกทำให้ร้อนขึ้นหรืออุณหภูมิสูงขึ้นจากการนำความร้อน และการพาความร้อนซึ่งเกิดขึ้นที่ผิวของอนุภาคแล้วเปลี่ยนอยู่ในรูปของความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ จากนั้น ส่วนของไอน้ำจะถูกถ่ายเทมวลให้อากาศร้อนโดยการแพร่ (Diffusion) และโดยการพา (Convection) ออกไปจากผิวหน้าของอนุภาค อัตราการระเหยนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการได้แก่ อุณหภูมิของอากาศร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ หรือความดันไอ และคุณสมบัติในการถ่ายเทของอากาศ

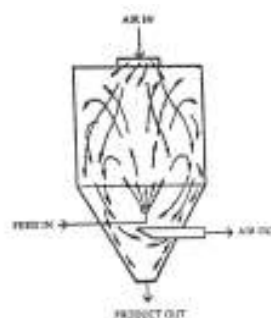
ขนาดอนุภาค ความเร็วลมของอากาศร้อน ตลอดจนคุณลักษณะหรือองค์ประกอบของส่วนประกอบที่เป็นของแข็งในอนุภาคด้วย



ก) การไหลในทิศทางเดียวกัน(Co-current flow)



ข) การไหลสวนทางกัน(Counter-current flow)



ค) การไหลแบบผสมผสาน (Mixed flow)

ภาพที่ 2.6 รูปแบบการไหลของสารละลายและอากาศร้อนในการอบแห้งแบบพ่นฝอย

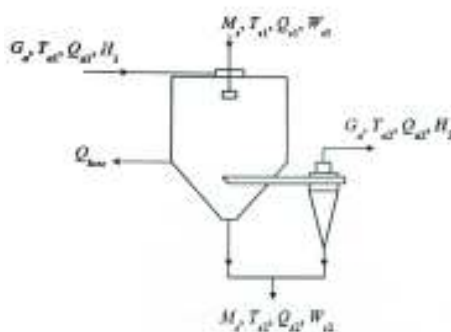
4. การแยกอาหารผงจากระบบการอบแห้ง (Product recovery stage)

เมื่อการระเหยน้ำออกจากหยดของเหลวเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว อาหารผงจะตกลงสู่ล่างของถังอบแห้งและถูกดูดออกมาตามท่อลมออก ซึ่งอาหารผงสามารถแยกออกจากอากาศร้อนด้วยระบบไซโคลน (Cyclone separator) โดยอาศัยแรงเหวี่ยงและการถ่ายเทโมเมนตัม

2.2.2 สมดุลความร้อนและสมดุลมวลสารของเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย

จากคุณสมบัติของอากาศที่ใช้ออบแห้งแล้วข้อมูลของผลิตภัณฑ์ สามารถคำนวณสมดุลความร้อนและสมดุลมวลสารของระบบการอบแห้งได้ เมื่อพิจารณาให้การเดินเครื่องอบแห้งเป็นไปอย่าง

ต่อเนื่องแบบไม่มีผลิตภัณฑ์สะสมในห้องอบแห้ง สามารถเขียนสมดุลมวลสารรอบเครื่องอบแห้งได้ว่า มวลของอากาศเข้าและมวลของสารป้อนในหนึ่งหน่วยเวลาเท่ากับมวลของอากาศที่ออกและมวลของผลิตภัณฑ์ ส่วนสมดุลความร้อนได้ว่า เอนทาลปีหรือค่าความร้อนของอากาศเข้าและสารป้อนในหนึ่งหน่วยเวลาเท่ากับความร้อนของอากาศออกและผลิตภัณฑ์ รวมกับความร้อนที่สูญเสียไปจากห้องอบแห้ง ภาพที่ 2.7 แสดงข้อมูลของการอบแห้งสำหรับการคำนวณสมดุลความร้อนและสมดุลมวลสาร ซึ่งในการคำนวณเอนทาลปีของอากาศเข้าและผลิตภัณฑ์จะใช้จุดเยือกแข็งของน้ำเป็นอุณหภูมิอ้างอิง



ภาพที่ 2.7 ข้อมูลของการอบแห้งสำหรับการคำนวณสมดุลความร้อนและสมดุลมวล

ให้	M_s	=	อัตราการป้อนของของแข็งในสารป้อน (kg dry solid/h)
	W_{s1}	=	อัตราส่วนความชื้นในสารป้อน (kg water/ kg dry solid)
	W_{s2}	=	อัตราส่วนความชื้นในผลิตภัณฑ์ (kg water/ kg dry solid)
	Q_{s1}	=	เอนทาลปีของสารป้อน (kcal/kg)
	Q_{s2}	=	เอนทาลปีของผลิตภัณฑ์ (kcal/kg)
	T_{s1}	=	อุณหภูมิของสารป้อน ($^{\circ}\text{C}$)
	T_{s2}	=	อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ ($^{\circ}\text{C}$)
	T_{a1}	=	อุณหภูมิของอากาศที่เข้าเครื่องอบแห้ง ($^{\circ}\text{C}$)
	T_{a2}	=	อุณหภูมิของอากาศที่ออกจากเครื่องอบแห้ง ($^{\circ}\text{C}$)
	G_a	=	อัตราการไหลของอากาศแห้ง (kg/h)
	H_1	=	อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่เข้าเครื่องอบแห้ง (kg water/kg dry air)
	H_2	=	อัตราส่วนความชื้นของอากาศที่ออกจากเครื่องอบแห้ง (kg water/kg dry air)

ดังนั้น สมดุลมวลสารของน้ำรอบเครื่องอบแห้ง ได้ว่า

$$\text{ความชื้นที่เข้าในสารละลายป้อน} = M_s W_{s1}$$

$$\text{ความชื้นที่เข้าในอากาศร้อน} = G_o H_1$$

$$\text{ความชื้นที่ออกในผลิตภัณฑ์แห้ง} = M_s W_{s2}$$

$$\text{ความชื้นที่ออกใน Exhaust drying air} = G_o H_2$$

เมื่อไม่มีผลิตภัณฑ์สะสมในห้องอบแห้งจะได้ว่า

$$\begin{aligned} \text{มวลที่เข้า} &= \text{มวลที่ออก} \\ \text{ดังนั้น } M_s W_{s1} + G_o H_1 &= M_s W_{s2} + G_o \quad \dots(1) \end{aligned}$$

$$\text{หรือ } M_s (W_{s1} - W_{s2}) = G_o (H_2 - H_1) \quad \dots(2)$$

สมดุลความร้อนรอบเครื่องอบแห้งจะได้ว่า

$$\text{เอนทาลปีของอากาศที่เข้าเครื่องอบแห้ง} = G_o Q_{o1}$$

$$\text{เอนทาลปีของสารละลายป้อน} = M_s Q_{s1}$$

$$\text{เอนทาลปีของอากาศที่ออกจากเครื่องอบแห้ง} = G_o Q_{o2}$$

$$\text{เอนทาลปีของผลิตภัณฑ์} = M_s Q_{s2}$$

$$\text{ความร้อนที่เข้า} = \text{ความร้อนที่ออก} + \text{ความร้อนที่สูญเสีย}$$

$$\text{ดังนั้น } G_o Q_{o1} + M_s Q_{s1} = G_o Q_{o2} + M_s Q_{s2} + Q_L \quad \dots(3)$$

$$\text{เมื่อ } Q_L = \text{ความร้อนที่สูญเสียจากเครื่องทำแห้ง (kcal/h)}$$

$$\text{คำนวณ } Q_L = UA (T_{o2} - T_{o0}) \quad \dots(4)$$

$$\text{เมื่อ } U = \text{สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยรวม (kcal/m}^2 \text{ h } ^\circ\text{C)}$$

$$A = \text{พื้นที่ผิวภายในห้องอบแห้ง (m}^2\text{)}$$

สำหรับห้องอบแห้งที่มีการหุ้มฉนวนอย่างดี ปริมาณความร้อนที่สูญเสียจะต่ำ ส่วนห้องอบแห้งที่ไม่มีการหุ้มฉนวนหรือห้องอบแห้งที่ออกแบบมาให้ผนังมีอุณหภูมิต่ำอยู่ตลอด (สำหรับผลิตภัณฑ์ที่ไวต่อความชื้นหรือไวต่อความร้อน) ปริมาณความร้อนที่สูญเสียจะสูง และเป็นเทอมที่มีความสำคัญในสมการที่ (3) เอนทาลปีของสารป้อนที่ถูกพ่นฝอยจะเท่ากับผลรวมของเอนทาลปีระหว่างของแข็งที่แห้งและความชื้น ดังนั้น

$$Q_s = C_{ps}(T_s - T_r) + W_s C_{pw} (T_s - T_r) \quad \dots(5)$$

$$\begin{aligned} \text{เมื่อ } Q_s &= \text{เอนทาลปีของตัวอย่าง (kcal/kg)} \\ C_{ps} &= \text{ความจุความร้อนของของแข็ง (kcal/kg}^{\circ}\text{C)} \\ C_{pw} &= \text{ความจุความร้อนของน้ำ (kcal/kg}^{\circ}\text{C)} \\ T_r &= \text{อุณหภูมิอ้างอิง (จุดเยือกแข็งของน้ำ) (}^{\circ}\text{C)} \end{aligned}$$

ในขณะที่เอนทาลปีของอากาศ หรือ Q_a (kcal/kg) คำนวณจาก

$$Q_a = (0.24 + 0.46 H_a)(T_a - T_r) + H_a \lambda \quad \dots(6)$$

เมื่อ λ = ความร้อนแฝงในการระเหยของน้ำที่จุดเยือกแข็ง มีค่าเท่ากับ 397.3 kcal /kg

2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

เนื่องจากการอบแห้งพ่นฝอยมีตัวแปรที่สามารถเลือกสภาวะการใช้งานได้หลายค่า ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังการอบแห้งที่มีคุณภาพแตกต่างกันไป เพื่อให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามต้องการต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การทำให้เกิดหยดของเหลวขนาดเล็ก (Atomization)

การเพิ่มพลังงานในการทำให้เกิดอนุภาคฝอยจะทำให้ได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กลงเมื่ออัตราการป้อนคงที่กล่าวคือ เมื่อเพิ่มความเร็วรอบหรือความดันของหัวฉีด หรืออัตราส่วนการไหลระหว่างอากาศกับของเหลวในหัวฉีด จะได้อนุภาคฝอยที่มีขนาดเล็กลง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นสูง

2. คุณสมบัติของสารป้อน

ถ้าเพิ่มปริมาณของแข็งในสารละลายป้อน โดยที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่ จะมีความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากเมื่อปริมาณของแข็งในอนุภาคที่พ่นฝอยเพิ่มขึ้นในขณะที่อัตราการระเหยนํ้ายังคงเดิม ดังนั้นอัตราส่วนความชื้นต่อของแข็งที่เหลืออยู่ในอนุภาคจะน้อยกว่าในกรณีที่ปริมาณของแข็งในสารละลายป้อนต่ำ ผลที่ได้ตามมาก็คือ ผลิตภัณฑ์มีความชื้นลดลง

3. อัตราการป้อน

การเพิ่มอัตราการป้อน โดยที่สภาวะการทำงานของหัวฉีดคงที่ มีผลทำให้อนุภาคที่พ่นฝอยมีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีขนาดใหญ่ด้วยและความหนาแน่นจะต่ำ และเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนโดยที่อัตราการไหลของอากาศร้อนเข้า และปริมาณความร้อนที่ให้ระบบคงที่ มีผลให้ความชื้นของผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้น

4. ชนิดของหัวฉีด

หัวฉีดแบบ Rotary และ Nozzle ที่แตกต่างกันมีความสามารถพ่นฝอยได้อนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกันซึ่งขึ้นกับการออกแบบและลักษณะเฉพาะของแต่ละเครื่อง หัวฉีดแบบ Rotary สามารถใช้งานได้ทั่วไป ส่วนหัวฉีดแบบ Nozzle จะให้อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า ดังนั้นการเลือกใช้งานขึ้นกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตว่ามีลักษณะเช่นใด

5. การออกแบบหัวฉีด

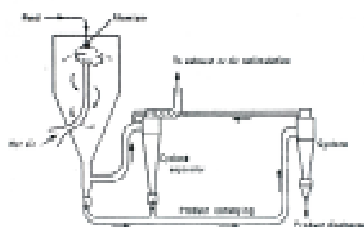
ในหัวฉีดแต่ละชนิดมีอุปกรณ์หลายส่วนที่สามารถออกแบบให้ใช้งานได้แตกต่างกันไป เช่น ระยะห่างระหว่างซี่ (Vane) จำนวน ความสูงและความกว้างของซี่ในหัวฉีดแบบ Rotary มีผลทำให้ได้อนุภาคที่พ่นฝอยออกมา มีลักษณะแตกต่างกัน

6. การไหลของอากาศ

การเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของอากาศมีผลต่อเวลาที่อยู่ในห้องอบแห้ง (Residence time) ของอนุภาคหรือเวลาที่ใช้ในการอบแห้งโดยตรง ถ้าอัตราการไหลของอากาศลงทำให้เวลาที่อยู่ในห้องอบแห้งของอนุภาคหรือเวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณน้ำที่ถูกระเหยมีมากขึ้น เป็นผลให้ประมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์ลดลง

7. อุณหภูมิในการอบแห้ง

ที่อัตราการไหลของอากาศคงที่ อุณหภูมิอากาศเข้าและอุณหภูมิอากาศออกมีผลต่ออุณหภูมิในการอบแห้ง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศเข้าเป็นการเพิ่มแรงขับ (Driving force) ของน้ำในอนุภาคที่จะระเหยออกไป เป็นผลให้ความสามารถในการระเหยน้ำของเครื่องอบแห้งเพิ่มขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อน (Thermal efficiency) ของการอบแห้ง ในสภาพการทำงานจริง ต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีประมาณความชื้นสุดท้ายค่าหนึ่งเท่านั้น เพื่อให้ได้คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีตามต้องการ ดังนั้นอุณหภูมิอากาศออกต้องอยู่ในช่วงที่กำหนดไว้แน่นอน บางกรณีต้องเลือกสภาวะการทำงานที่อุณหภูมิอากาศออกต่ำซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นสูง เพื่อป้องกันการรวมตัวหรือดูดความชื้นของผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บ



ภาพที่ 2.8 หลักการของเครื่องทำแห้งแบบฉีดฝอยทั่วไป

เครื่องทำแห้งแบบฉีดฝอยมีหลายขนาดตั้งแต่ขนาด โรงงานต้นแบบสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณน้อยแต่มูลค่าสูง เช่น เอมไซม์และกลี้น จนถึงขนาดของอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถผลิตนมผงได้ถึง 80,000 กิโลกรัมต่อวัน ข้อดีที่สำคัญของเครื่องนี้ คือ ใช้เวลาสั้น สามารถผลิตอาหารแบบต่อเนื่องในปริมาณมากได้ ใช้แรงงานต่ำ การใช้และดูแลรักษาง่าย แต่ข้อจำกัดคือ ใช้เงินลงทุนสูงและอาหารที่จะส่งเข้าต้องมีความชื้นสูงเพื่อให้มั่นใจว่าสามารถที่จะบีบเข้ามาในเครื่องอะตอมไมเซอร์ ได้ ทำให้ต้องใช้พลังงานเพื่อกำจัดความชื้นและเกิดการสูญเสียสารหอมระเหยสูง ปัจจุบันมีการนำเครื่องอบแห้งแบบสายพาน (Conveyer-band dryer) และเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์มาใช้แทนเครื่องทำแห้งแบบฉีดฝอย เนื่องจากมีความกะทัดรัดและประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่า

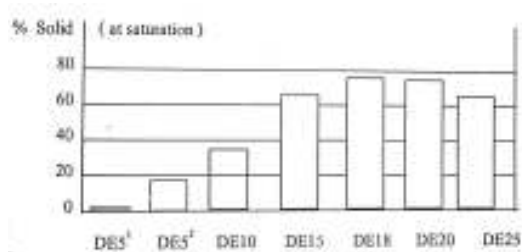
2.3 ตัวพา (Carrier)

ตัวพาที่ใช้ในการทำแห้งแบบพ่นฝอย หมายถึงสารเคมีที่ทำหน้าที่ เป็นวัตถุเจือปนอาหาร ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวขนส่งและกระจายสารเคมีบางอย่าง ที่สามารถถูกทำลายได้ง่ายด้วยความร้อน หรือเป็นสารพวกที่สามารถระเหยได้ง่าย เช่น สารเคมีที่เป็นองค์ประกอบของกลี้น รสชาติ สี วิตามิน หรือสารอาหารต่าง ๆ ในอาหาร โดยสารตัวพาทำหน้าที่ดักจับและกักเก็บสารเคมีเหล่านี้ไว้แทนที่ให้อาหารทำลายด้วยความร้อนหรือระเหยได้น้อยลง เมื่อนำอาหารผงนั้นไปคืนตัวด้วยการเติมน้ำ สีหรือกลี้นรสของอาหารเหล่านั้นถูกปล่อยออกมา ทำให้ลักษณะและคุณค่าของอาหารที่ได้คล้ายกับวัตถุดิบก่อนนำมาทำแห้ง นอกจากนั้นตัวพายังทำหน้าที่เพิ่มปริมาณของแข็งให้กับอาหารก่อนเข้าเครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการทำแห้ง เช่น อาหารที่มีปริมาณของแข็งต่ำหรือของแข็งส่วนใหญ่คือน้ำตาล หากทำแห้งจนเป็นผงแล้ว น้ำตาลเหล่านี้จะมีความเข้มข้นสูงชันมาก และสามารถดูดกลับความชื้นได้อย่างรวดเร็ว เหนียวติดภาชนะ หรือไม่สามารถทำให้เป็นผงได้ ดังนั้นตัวพาจะต้องทำหน้าที่เจือจางปริมาณน้ำตาลในผงให้มีความเข้มข้นลดลง สารที่มีคุณสมบัติเป็นตัวพาได้แก่ เดกตริน ,มอลโตเดกซ์ตริน,และนมผงขาดมันเนย เป็นต้น

2.4 มอลโตเดกซ์ตริน (Maltodextrin)

คือวัตถุเจือปนอาหารที่ได้จากการดัดแปลงทางสารเคมีของแป้งด้วยกระบวนการ Dextrinization โดยใช้ความร้อนหรือความร้อนกับกรด ได้สายโพลิเมอร์ของแซคคาไรด์ ประกอบด้วย D- glucose ยูนิทหลาย ๆ ยูนิทต่อกันด้วยพันธะชนิด อัลฟา 1 -4 และได้น้ำแป้งที่มีค่าสมมูลเดกซ์โตรส (Dextrose Equivalent หรือ DE) อยู่ในช่วง 10 -15 หรือต่ำกว่า 20 เรียกผลิตภัณฑ์นี้ว่า Maltodextrin ซึ่งถ้าต้องการผลิตเป็น Maltodextrin ผงก็โดยการนำไปผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ และนำมาทำให้แห้งด้วยการพ่นฝอย จะได้ Maltodextrin ผงที่มีความชื้นประมาณ 3-5 % มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 0.31 – 0.61 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

ปัจจุบันได้มีการนำ Maltodextrin มาใช้ในกระบวนการผลิตอาหารอย่างมากมาย เช่น ในกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย การผลิตครีมเทียม การผลิตชุปกึ่งสำเร็จรูป เนื่องจากมีข้อดีคือความสามารถในการละลายในน้ำเย็นได้ และให้ลักษณะที่ใส มีความหนืดน้อย เมื่อนำไปใช้กับกระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอยจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความคงตัว เช่นดูดความชื้นได้ต่ำ (Low Hygroscopic) โดยเฉพาะพวกที่มี DE ต่ำ ๆ ทำให้สามารถเก็บไว้ที่สภาพปกติได้นาน และเมื่อนำมาละลายน้ำจะมีความสามารถในการละลายได้สูง ความสามารถในการละลายจะขึ้นอยู่กับค่า DE ดังภาพที่ 2.9 การละลายเพิ่มมากขึ้นเมื่อมีค่า DE สูงขึ้นจาก DE 5 เป็น DE 18 จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง ค่าความหนืดของสารละลายจะลดลงเมื่อค่า DE สูงขึ้น และความหนืดยังขึ้นอยู่กับปริมาณมอลโตเดกซ์ตริน ในสารละลายนั้น ด้วยหากว่ามีปริมาณสูงความหนืดของสารละลายที่ได้ก็สูง จากการสำรวจเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า มีผู้วิจัยจำนวนมากได้ทำการศึกษาถึงวัตถุดิบอาหารชนิดต่าง ๆ พบว่า Maltodextrin เป็นวัตถุดิบอาหารที่เหมาะสมกับการอบแห้งแบบพ่นฝอยมากที่สุด



ภาพที่ 2.9 แสดงความสามารถในการละลายของมอลโตเดกซ์ตริน (Maltodextrin)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

(พูนศิริ ทิพย์เนตร, 2553, 3) ได้ทำการศึกษาการผลิตมะนาวผงสูตรเข้มข้นด้วยวิธีการทำแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อพัฒนาคุณภาพของมะนาวผงให้มีรสเปรี้ยวและกลิ่นคล้ายมะนาวสด โดยศึกษาอัตราส่วนปริมาณน้ำมะนาวผลดิบกับน้ำมะนาวผลสุกในการผลิตมะนาวผงที่เหมาะสมให้มีคุณสมบัติดังกล่าวและเปรียบเทียบมะนาวผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอยสูตรต่าง ๆ กับมะนาวผงของกลุ่มแม่บ้าน อ.ท่ายาง จ.เพชรบุรี โดยเปรียบเทียบจากผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพปริมาณวิตามินซี ปริมาณ กรดซิตริก ความเป็นกรด-เบส (pH) ความชื้น และการทดสอบความพึงพอใจโดยใช้ประสาทสัมผัส พบว่ามะนาวผงสูตรเข้มข้นสูตร 2 อัตราส่วนน้ำมะนาวผลดิบ 1 ต่อน้ำมะนาวผลสุก 2.3 ใช้ น้ำมะนาวผลดิบ 150 mL. ต่อน้ำมะนาวผลสุก 350 mL. และมอลโตเดกซ์ตริน (200 g) 12% brix มีลักษณะผงสีครีม รสเปรี้ยวและมีกลิ่นคล้ายมะนาวผลดิบมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบมะนาวผงสูตรเข้มข้นสูตร 2 กับมะนาวผงของกลุ่มแม่บ้านสูตร 1 และ 2 พบว่า น้ำมะนาวผงที่ได้จากการทำ

แห้งแบบพ่นฝอยมีปริมาณวิตามินซี (0.015 ± 0.000) น้อยกว่าน้ำมะนาวผงของกลุ่มแม่บ้าน อ.ท่าช้าง ทั้งสองสูตร (0.078 ± 0.000) แต่มีปริมาณกรดซิตริก (0.379 ± 0.003) และค่าความเป็นกรดมากกว่า ($\text{pH} = 2.55 \pm 0.01$) น้ำมะนาวผงของกลุ่มแม่บ้านสูตร 1 (2.90 ± 0.01) และสูตร 2 (2.64 ± 0.01) และจากผลการทดสอบความพึงพอใจโดยใช้ประสาทสัมผัสกับกลุ่มตัวอย่าง 20 คน พบว่าการยอมรับโดยรวมของมะนาวผงสูตรเข้มข้นสูตร 2 (3.20 ± 0.83) มีมากกว่ามะนาวผงของกลุ่มแม่บ้านสูตร 1 (2.80 ± 0.61) แต่น้อยกว่ามะนาวผงของกลุ่มแม่บ้านสูตร 2 เล็กน้อย (2.95 ± 0.51) และผลการทดสอบความพึงพอใจโดยใช้ประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์มะนาวผงพบว่าการยอมรับโดยรวมของมะนาวผงสูตรเข้มข้นสูตร 2 (3.40 ± 0.75) มีมากกว่ามะนาวผงของกลุ่มแม่บ้านสูตร 1 (2.80 ± 0.61) และสูตร 2 (3.05 ± 0.60)

(พรณจิรา วรสวัสดิ์, มณฑิรา นพรัตน์, ดวงพร ตั้งบำรุงพงษ์, และ สุเทพ อภินันท์จารุพงษ์, 2545, 257) ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตน้ำผักผลไม้รวมผง โดยใช้เครื่องอบแห้งแบบพ่นกระจาย และไมโครเวฟสุญญากาศ จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อนำน้ำผักผลไม้รวมมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแบบพ่นกระจายโดยศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าที่ระดับ 100, 110 และ 120 องศาเซลเซียส และปริมาณสารมอลโตเดกซ์ทริน ที่ระดับร้อยละ 13, 16 และ 19 โดยน้ำหนัก พบว่าการใช้อุณหภูมิลมร้อนขาเข้า 110 องศาเซลเซียส และปริมาณสารมอลโตเดกซ์ทรินโดยน้ำหนักจะทำให้ผลิตภัณฑ์ผงมีคุณสมบัติทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสดีที่สุด

(วันเพ็ญ สีหวงษ์, 2546) ได้ทำการศึกษาผลของมอลโตเดกซ์ทรินต่อคุณภาพมะนาวผงผลิตโดยกระบวนการทำแห้งแบบระเหิด โดยศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสมในการแปรรูปน้ำมะนาวด้วยเครื่องทำแห้งแบบระเหิด โดยใช้มอลโตเดกซ์ทริน D.E17 เป็นสารช่วยในการทำแห้งและเพิ่มมวลของผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาผลของมอลโตเดกซ์ทริน D.E17 ที่ความเข้มข้น 6 ระดับ (15 20 25 30 35 และ 40, w/w) เวลาที่ใช้ตั้งแต่แช่เยือกแข็งถึงทำแห้งรวม 14 ชั่วโมง พบว่าที่สภาวะความเข้มข้นของมอลโตเดกซ์ทริน 35 ให้น้ำเชื่อมผสมของมะนาวผงไม่เกาะตัวเป็นก้อน มีร้อยละของผลผลิตจากการทำแห้ง 36.84 ปริมาณวิตามินซี 0.96 (มก./ก) ปริมาณกรดในรูปของกรด ซิตริก 12.63 (w/w) มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 2.44 ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายได้ 15.6 บริกซ์ ปริมาณความชื้น 5.27 ค่าการละลาย 10 วินาที และค่าดัชนีการเกิดสีน้ำตาล 0.28 ผลการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสใน 3 ผลิตภัณฑ์ คือ ต้มยำไก่ น้ำปรุงรสสำหรับยำลูกชิ้น และ น้ำมะนาวพร้อมดื่ม พบว่าผู้ทดสอบชิมยอมรับตัวอย่างที่มีมะนาวผงเป็นส่วนผสมในปริมาณ 1.2 1.65 และ 5 ของปริมาณน้ำที่ใช้ในแต่ละผลิตภัณฑ์ ตามลำดับ

(สโรบล สโรชวิสิต, และ ชัยรัตน์ ตั้งดวงดี, 2554, 203) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการอบแห้งน้ำสับปะรดด้วยเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย และศึกษาผลของอุณหภูมิลมร้อนและปริมาณมอลโตเดกซ์ทริน (DE 10) ซึ่งใช้เป็นสารช่วยอบแห้ง ต่อคุณภาพของสับปะรดผงและน้ำสับปะรดคั้นรูปที่ความเข้มข้น 12.8 °บริกซ์ ออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล แปรรูปอุณหภูมิลมร้อนที่ 130 150

และ 170 °C และปริมาณมอลโตเด็กซ์ทรินที่ร้อยละ 37 40 และ 43 ของน้ำหนักแห้ง ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ผลการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นร้อยละ 2.04-3.64 มาตรฐานแห้ง และความสามารถในละลายมากกว่าร้อยละ 90 การเพิ่มอุณหภูมิความร้อนทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ผลผลิตลดลง และอุณหภูมิที่สูงเกินไป 170 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณสารฟีนอลิกลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

(วรรณิ มาวิมล, 2545) ได้ทำการศึกษาระบวนการทำแห้งน้ำมะนาว ได้ทดลองทำมะนาวผงโดยใช้วิธีทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยการทดลองได้ศึกษาการลดปริมาณความชื้นของน้ำมะนาวโดยนำผลมะนาวไปลวกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที ก่อนคั้นน้ำมะนาว พบว่าช่วยลดความชื้นของสารให้รสขมที่เปลือกมะนาวลงได้ การศึกษาสารตัวพาที่เหมาะสมต่อการทำแห้งแบบพ่นฝอย 3 ชนิด คือ มอลโตเด็กทริน กัมอารบิก และน้ำเชื่อมกลูโคส พบว่าการทำแห้งมะนาวผงโดยใช้สารตัวพาคือน้ำเชื่อมกลูโคสในสัดส่วนของน้ำมะนาวต่อน้ำเชื่อมกลูโคส DE 26 100:30 ให้ผลิตภัณฑ์มะนาวผงที่ดี แต่มะนาวผงที่ได้ต้องเติมกลิ่นมะนาวโดยการใช้น้ำมันหอมระเหยจากเปลือกมะนาวซึ่งได้จากการกลั่นด้วยไอน้ำ โดยเติมลงในผลิตภัณฑ์หลังการทำแห้ง