

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 มะม่วงมหาชนก

มะม่วงมหาชนก มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Mangifera indica* L. เป็นมะม่วงพันธุ์ใหม่ที่เกิดจากการผสมระหว่างมะม่วงพันธุ์ชั้นเซทกับมะม่วงพันธุ์หนังกกลางวัน มีผลแก่มีจุดประที่ผิวปานกลาง ผลดิบมีผิวเนียนเรียบสีเขียวอ่อน เนื้อผลดิบสีขาวเนื้อละเอียด มีเส้นใยน้อย รสชาติเปรี้ยวและมีกลิ่นขาง เนื้อผลสุกมีสีเหลืองอมส้ม เนื้อละเอียดมีเส้นใยน้อยและแน่น รสชาติหวานอมเปรี้ยว มีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ ประมาณ 15-18°Brix มีกลิ่นหอมและอุณหภูมิสุกกอม ผลมีขนาดกว้าง 6-8 cm ยาวประมาณ 15-18 cm หนาประมาณ 5-7 cm และมีน้ำหนักประมาณ 350-500 g ต่อผล เมล็ดแบนและมีส่วนของเนื้อที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ประมาณ 79% ของผล นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ คือ “น้ำมะม่วงมหาชนก” ซึ่งมีรสชาติดหวานอมเปรี้ยว อุดมไปด้วยวิตามินซี ป้องกันโรคหวัด และช่วยชะลอริ้วรอยก่อนวัยได้ด้วย (ระวี และเปรมปรี, 2542)

ผลผลิตมะม่วงในประเทศไทยปี 2552 มีผลผลิตออกสู่ตลาดประมาณ 2,469,814 ตัน (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2552) การส่งออกรวมมะม่วงของไทยแบ่งเป็น มะม่วงสด 24,000 ตัน มะม่วงกระป๋อง 18,000 ตัน มะม่วงอบแห้ง 600 ตัน และมะม่วงแช่แข็ง 1,700 ตัน ส่วนใหญ่มะม่วงสดส่งไปยังประเทศญี่ปุ่นซึ่งมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในปี 2552 มีการส่งออกมะม่วงมหาชนก 1,500 ตัน จากทั้งหมด 1.2 หมื่นตัน หรือ คิดเป็นส่วนแบ่งการตลาด 12.5% รองจากประเทศเม็กซิโก และฟิลิปปินส์ (มนตรี, 2552)

มะม่วงเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงโดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรต เส้นใยอาหาร วิตามิน และแร่ธาตุต่างๆ เช่น แคลเซียม และโพแทสเซียม คุณค่าทางโภชนาการของผลมะม่วงแสดงดังในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณค่าทางโภชนาการของเนื้อมะม่วงส่วนที่บริโภคได้ (ต่อปริมาณ 100 g)

ส่วนประกอบ (หน่วย)	ต่อปริมาณ 100 g
องค์ประกอบ	
น้ำ (g)	81.71
พลังงาน (kJ)	272
โปรตีน (g)	0.51
ไขมันทั้งหมด (g)	0.27
ถั่ว (g)	0.50
คาร์โบไฮเดรต (g)	17.0
เส้นใย (g)	1.8
น้ำตาล (g)	14.8
แร่ธาตุ	
แคลเซียม, Ca (mg)	10
เหล็ก, Fe (mg)	0.13
แมกนีเซียม, Mg (mg)	9
ฟอสฟอรัส, P (mg)	11
โพแทสเซียม, K (mg)	156
โซเดียม, Na (mg)	2
สังกะสี, Zn (mg)	0.04
ทองแดง, Cu (mg)	0.11
แมงกานีส, Mn (mg)	0.027
ซีลีเนียม, Se (mg)	0.0006
วิตามิน	
กรดแอสคอร์บิก (mg)	27.7
ไทอามีน (mg)	0.058
ไรโบฟลาวิน (mg)	0.057
ไนอาซิน (mg)	0.584
กรดแพนโทเทนิก (mg)	0.160
วิตามิน บี 6 (mg)	0.134

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ส่วนประกอบ (หน่วย)	ต่อปริมาณ 100 g
โฟเลตทั้งหมด (mg)	0.014
บีตาแคโรทีน (mg)	0.0445
แอลฟาแคโรทีน (mg)	0.017
เบตาคริปโทแซนติน (mg)	0.011
วิตามินเอ (IU)	765
วิตามินอี (mg)	1.12
ลิปิด	
กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (g)	0.066
กรดลอริก (g)	0.001
กรดไมริสติก (g)	0.009
กรดปาล์มิติก (g)	0.052
กรดสเตียริก (g)	0.003
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลเพียง 1 อัน (g)	0.101
16:1 undifferentiated (g)	0.048
18:1 undifferentiated (g)	0.054
กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 อัน (g)	0.051
18:2 undifferentiated (g)	0.014
18:3 undifferentiated (g)	0.037
โปรตีน	
ทริโตนเฟน (g)	0.008
ทรีโอนีน (g)	0.019
ไอโซลูซีน (g)	0.018
ลูซีน (g)	0.031
ไลซีน (g)	0.041
เมไทโอนีน (g)	0.005
ฟีนิลอะลานีน (g)	0.017
ไทโรซีน (g)	0.010

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ส่วนประกอบ (หน่วย)	ต่อปริมาณ 100 g
วาติน (g)	0.026
อาร์จินีน (g)	0.019
ฮิสติดีน (g)	0.012
อะลานีน (g)	0.051
กรดแอสพาร์ติก (g)	0.042
กรดกลูตามิก (g)	0.060
ไกลซีน (g)	0.021
โพรลีน (g)	0.018
เซรีน (g)	0.022

ที่มา: ดัดแปลงมาจาก USDA Agricultural Research Service (2008)

2.2 การแปรรูปน้ำมะม่วง

2.2.1 การแปรรูปน้ำมะม่วง

พวงศักดิ์ (2553) จากการศึกษาการแปรรูปเป็นน้ำมะม่วงพร้อมดื่ม เพื่อให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค และการยืดอายุการเก็บรักษาให้นานขึ้น มะม่วงหลายพันธุ์สามารถนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น พันธุ์โชคอนันต์ มะม่วงแก้ว มะม่วง 3 ปี พบว่า มะม่วงพันธุ์ 3 ปีสามารถนำมาผลิตเป็นน้ำมะม่วงพร้อมดื่ม ที่มีคุณภาพดี โดยมีสมบัติเด่น คือมีสีเหลืองเข้ม กลิ่นหอม รสชาติเปรี้ยวนำหวาน เหมาะสำหรับดื่มพร้อมน้ำแข็ง และสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานถึง 6 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง แต่มีข้อเสียคือให้ผลผลิตเพียงปีละครั้งเท่านั้น ซึ่งผู้ผลิตจะต้องรวบรวมผลมะม่วง และขูดเฉพาะเนื้อมาแช่เยือกแข็งไว้ แล้วทยอยนำมาผลิตเป็นน้ำมะม่วงพร้อมดื่ม สามารถนำมะม่วงพันธุ์มหาชนมาใช้ทดแทนได้ ซึ่งจะได้น้ำพร้อมดื่มที่มี สี สัน และรสชาติ ใกล้เคียงกับมะม่วงพันธุ์ 3 ปี และสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานถึง 6 เดือน โดยมีการเติมน้ำเชื่อมฟรักโทสในน้ำมะม่วง เนื่องจากน้ำมะม่วงพร้อมดื่มมีอายุการเก็บรักษาค่อนข้างสั้น และอยู่ในสภาพที่ยากต่อการขนส่งและจำหน่าย และมีปริมาณมาก จึงมีการแปรรูปให้เป็นผง ซึ่งจะสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานในสภาพการเก็บรักษาที่เหมาะสม มีน้ำหนักเบา ต้องการพื้นที่ในการเก็บรักษาน้อย ทำให้ลดค่าใช้จ่ายระหว่างการเก็บรักษาและขนส่ง (นิธิยา, 2544)

2.2.2 การแปรรูปน้ำมะม่วงผงโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย

เทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย เป็นวิธีการที่นิยมใช้สำหรับการทำแห้งสารละลายอินทรีย์ สารประเภทอิมัลชันและของเหลวชนิดต่างๆ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของผงแห้งมักใช้การอบแห้งแบบพ่นฝอยในอุตสาหกรรมทางเคมีและอาหาร การอบแห้งด้วยวิธีนี้นอกจากจะใช้สำหรับการทำแห้งอย่างรวดเร็วแล้ว ยังเป็นวิธีการที่มีประโยชน์มากในการลดขนาดและปริมาตรของเหลวอีกด้วย จากการวิจัยและพัฒนาที่ต่อเนื่องมา ทำให้วิธีการอบแห้งแบบพ่นฝอยกลายเป็นวิธีการทำแห้งที่มีประสิทธิภาพและนิยมนำมาทำแห้งให้กับผลิตภัณฑ์หลายชนิดในปัจจุบัน การอบแห้งแบบพ่นฝอยเป็นเทคนิคที่ใช้เพื่อระเหยน้ำออกจากของเหลวอย่างรวดเร็ว โดยอากาศร้อน กระบวนการนี้ประกอบไปด้วยการพ่นของเหลว ออกมาจนเป็นละอองขนาดเล็กเข้าผสมกับอากาศร้อนที่ไหลผ่านอย่างรวดเร็ว ทำให้น้ำที่อยู่ในละอองของเหลวระเหย ออกไปและได้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของผงแห้ง

กระบวนการอบแห้งแบบพ่นฝอย ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน (เอกคณัย, 2551) ดังนี้

1. การทำให้ของเหลวกระจายตัวเป็นละออง (atomization of feed) โดยอาศัยหัวฉีดพ่นแบบจานเหวี่ยง (rotary atomizer) หรือหัวฉีดพ่นด้วยความดัน (pressure nozzle)

1.1 หัวฉีดพ่นแบบจานเหวี่ยง (Rotary Atomizer) มีความเร็วรอบประมาณ 5,000-10,000 rpm ของเหลวที่ตกลงบนจานหมุนจะถูกเหวี่ยงออกด้านข้างกระจายเป็นละอองขนาดอนุภาคเฉลี่ยประมาณ 30-120 μm ซึ่งขนาดเฉลี่ยนี้จะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของของเหลวและความหนืด แต่จะแปรผกผันกับอัตราการหมุนและเส้นผ่านศูนย์กลางของจานหมุน

1.2 หัวฉีดพ่นด้วยความดัน (Pressure Nozzles Atomizer) อาศัยความดันสูงจากลมหรือแรงดัน ทำให้ของเหลวกระจายเป็นละอองฝอย อนุภาคที่ได้จะมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 120-250 μm โดยขนาดอนุภาคจะแปรผันตรงกับอัตราการไหลของของเหลวและความหนืด แต่จะแปรผกผันกับความดัน ขนาดของอนุภาคของเหลวจะใหญ่กว่าที่ได้จากวิธีฉีดพ่นแบบจานเหวี่ยง

2. การสัมผัสของละอองฝอยกับลมร้อน ทำให้เริ่มเกิดการระเหยของน้ำออกจากละอองของเหลว

3. การระเหยของละอองฝอยขณะเคลื่อนที่ไปกับกระแสลม

4. การแยกผลิตภัณฑ์แห้งจากกระแสลมร้อน โดยนิยมใช้ไซโคลน ทำให้ได้อาหารผงที่มี

ลักษณะแห้งออกมา

ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการผลิตอาหารผงด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอย ได้แก่

1. ความหนืด

ถ้าของเหลวมีความหนืดสูง (อาจเกิดจากการลดอุณหภูมิของของเหลว) จะทำให้ได้ละอองที่มีขนาดใหญ่ขึ้นในสภาวะเดียวกัน และหากมีความหนืดสูงมาก จะทำให้ของเหลวที่ฉีดออกมามีลักษณะคล้ายเส้นด้าย ทำให้อาหารไม่แห้งตามต้องการ ดังนั้นจึง ควรปรับความหนืดของของเหลวไม่ให้มีความหนืดสูงเกินไป

2. อัตราการไหลของของเหลว

ถ้าอัตราการไหลของของเหลวสูงขึ้นจะทำให้ได้ละอองที่หยาบขึ้น ทำให้ผงแห้งมีความชื้นสูง เนื่องจากเวลาที่สัมผัสกับลมร้อนน้อยเกินไป จึงควรควบคุมอัตราการไหลของของเหลวให้เหมาะสม

3. อัตราการไหลของอากาศ

หากอัตราการไหลลดลงจะทำให้เวลาที่ละอองอยู่ในห้องอบนานขึ้น ซึ่งจะทำให้สัมผัสกับอากาศร้อนนานขึ้น และเป็นผลให้ลดความชื้นได้ดีขึ้น แต่หากอัตราการไหลของของเหลวสูงและอัตราการไหลของอากาศต่ำเกินไป เมื่ออุณหภูมิไม่สูงเพียงพอก็อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นสูงและเกาะติดอยู่กับผนังของห้องอบได้

4. อุณหภูมิอากาศขาเข้า

การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศขาเข้าจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการระเหยได้ แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นกับอัตราการไหลของอากาศด้วย

2.3 ปัญหาการแปรรูปน้ำมะม่วงผงด้วยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอยและวิธีแก๊ซ

การผลิตน้ำมะม่วงผงด้วยการอบแห้งแบบพ่นฝอย เป็นวิธีที่นิยมเนื่องจากให้ปริมาณการผลิตสูงและรวดเร็ว แต่ มีข้อควรระวังที่เกี่ยวกับปัญหาการเกาะติดระหว่างกระบวนการอบแห้ง ทำให้ผลิตภัณฑ์เหนียวติดผนังของเครื่องอบ เนื่องจากน้ำมะม่วงเข้มข้นประกอบด้วยน้ำตาลที่มีมวลโมเลกุลต่ำ เช่น ฟรักโทส กลูโคส ซูโครส และวัตถุดิบที่มีกรดเป็นส่วนประกอบ (กรดซิตริก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาริก) น้ำผลไม้และน้ำผัก ถูกจัดอยู่ในจำพวกของวัตถุดิบที่มีความเหนียวและทำให้เป็นผงยาก (Paull and Chen, 1987; Li and Li, 1999) ทั้งนี้มีปัจจัยควบคุมพื้นฐานคืออุณหภูมิ การเปลี่ยนแปลงสถานะที่เรียกว่า กลาสทรานซิชัน (T_g) ถ้าหากอุณหภูมิการผลิตสูงกว่าค่า T_g อาหารจะอยู่ในสถานะเป็นของเหลวที่เหนียวหนืด หากต้องการทำให้อาหารเป็นผงแห้ง ต้องปรับอุณหภูมิการผลิตให้ต่ำกว่าค่า T_g หรือปรับให้ค่า T_g ให้สูงกว่าอุณหภูมิการผลิต น้ำตาลและกรดที่เป็นส่วนประกอบในลำไยมีสมบัติการเกิดกลาสทรานซิชันสูง ซึ่งหมายถึงการมีค่า T_g ต่ำนั่นเอง

(พิไลรัก และรัตนา, 2552) วิธีที่จะทำให้สามารถผลิตลำไยผงด้วยการอบแห้ง ได้นั้น สามารถทำได้ โดยต้องปรับค่า T_g ของน้ำลำไยให้สูงขึ้น โดยการเติมมอลโทเดกซ์ทรินเพื่อเพิ่มค่า T_g และป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์เกิดความเหนียว การผลิตผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ผงมักใช้มอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารลดการเกาะติดของอนุภาคผง (พีรพล, 2550) นอกจากนี้ยังสามารถแก้ปัญหาการเกาะติดของอาหารผงได้ โดยการเติมสารที่ช่วยทำให้แห้ง (drying aids) เช่น สารด้านการเกาะติด เช่น ไตรแคลเซียมฟอสเฟต (tricalcium phosphate) ซิลิกอนไดออกไซด์ (silicon dioxide) ซิลิเกต (silicates) เกลือของกรดสเตียริก (salts of stearic acid) และคาร์โบไฮเดรตดัดแปร (modified carbohydrates) สารเหล่านี้เติมลงไปเพื่อป้องกันไม่ให้ผลิตภัณฑ์เหนียวเกาะติดอุปกรณ์ หรือจับตัวเป็นก้อน ทำให้ผลิตภัณฑ์มีสภาพเป็นผงที่ไหลได้อย่างอิสระ การเติมอนุพันธ์ของแป้งที่ผ่านการย่อยสลายแล้ว (less hydrolysed starch derivatives) เช่น มอลโทเดกซ์ทริน (maltodextrin) ลงไปในวัตถุดิบที่มีลักษณะเหนียวสามารถแก้ไขปัญหาคาการเกาะตัวกัน (Bhandari *et al.*, 1997; Peleg and Hollenbech, 1984; Roos, 1995; Roos and Karel, 1991c; Roos *et al.*, 1996; Slade and Levine, 1994; Schwarz and Penn, 1948) และช่วยให้กระบวนการแห้งเกิดได้ดีขึ้น (Adhikari *et al.*, 2004) มอลโทเดกซ์ทริน มีสมบัติเฉพาะ ได้แก่ ความสามารถในการละลายน้ำได้ดี มีความหนืดต่ำที่ความเข้มข้นสูง เก็บรักษากลิ่นได้ดี และมีสีขาวขณะเป็นผง เมื่อละลายน้ำจะไม่มีสี ทำให้สีของผลิตภัณฑ์เมื่อคืนรูปแล้วมีความเด่นชัดขึ้น จากสมบัติดังกล่าวอุตสาหกรรมจึงนิยมนำมอลโทเดกซ์ทรินมาใช้ในกระบวนการอบแห้งผลิตภัณฑ์อาหารแบบพ่นฝอย นอกจากนี้มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า dextrose equivalent (DE) ต่ำ และมี T_g สูง ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ผงที่ผ่านการทำให้แห้งแล้ว มีความคงตัวสูง (Carolina *et al.*, 2006)

2.4 สารลดความเหนียว

มอลโทเดกซ์ทริน เป็น สตาร์ชที่ผ่านการไฮโดรไลซิสบางส่วนด้วยกรดหรือเอนไซม์ มอลโทเดกซ์ทรินที่ใช้ลดการจับตัว มักมีค่า dextrose equivalent (DE) น้อยกว่า 20 และประกอบด้วย (1, 4 และ 1, 6)- α -D-glucopyranose-linked residues (Nickerson *et al.*, 2006) ค่า DE คือ ค่า reducing power ของพอลิแซ็กคาไรด์หรือโอลิโกแซ็กคาไรด์ที่ได้จากแป้ง ซึ่งเป็นค่าที่เทียบ กับ D-glucose ในน้ำหนักฐานแห้ง โดยปกติมอลโทเดกซ์ทรินมีค่า $DE < 20$ ขณะที่ corn syrup solid มีค่า $DE \geq 20$ มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE แตกต่างกันจะมีสมบัติทางเคมีและกายภาพแตกต่างกัน เช่น ความสามารถในการละลาย อุณหภูมิเยือกแข็ง ความหนืด เป็นต้น อย่างไรก็ตามมอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE เหมือนกันอาจจะสมบัติแตกต่างกันก็ได้ขึ้นอยู่กับวิธีการย่อยสลาย ชนิดของแป้ง วัตถุดิบ (ข้าวโพด มันฝรั่ง และข้าว) และอัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกทินของแป้งนั้น (Klinkesorn *et al.*, 2004)

นอกจากนี้ยังมีการอบแห้งแบบพ่นฝอยน้ำผลไม้ชนิดอื่นๆ จากการศึกษาของ Bhandari *et al.*, (1997) ในการทำน้ำแบล็คเคอเรนที่ ราสเบอร์รี่ และแอ พริคอทพวง โดยการใช้มอลโทเดกซ์-ทรินที่มีค่า DE เท่ากับ 6 ที่อุณหภูมิขาเข้า 160°C ขาออก 90°C สัดส่วนของของแข็งในน้ำผลไม้ต่อมอลโทเดกซ์ทรินเท่ากับ 65:35, 60:40 และ 55:45 ตามลำดับ และจากการศึกษาการทำน้ำสับประคองโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE เท่ากับ 6 ปริมาณความชื้น 4% น้ำสับประคองเข้มข้น 75°Brix ปริมาณกรด 3.3% อุณหภูมิขาเข้า 150±3°C และอุณหภูมิขาออก 65±2°C อัตราส่วนของมอลโทเดกซ์ทรินต่อน้ำสับประคองเข้มข้น 50:50, 59:41, 60:40 และ 75:25 วัดปริมาณผลผลิตได้ 58.5, 50, 53 และ 45% ตามลำดับ และพบว่าผลิตภัณฑ์ มีความแห้งมากขึ้นและการเกาะติดลดลง เมื่อใช้มอลโทเดกซ์ทรินเป็นสารลดการเกาะติดของอนุภาคผง (Bhandari *et al.*, 1997)

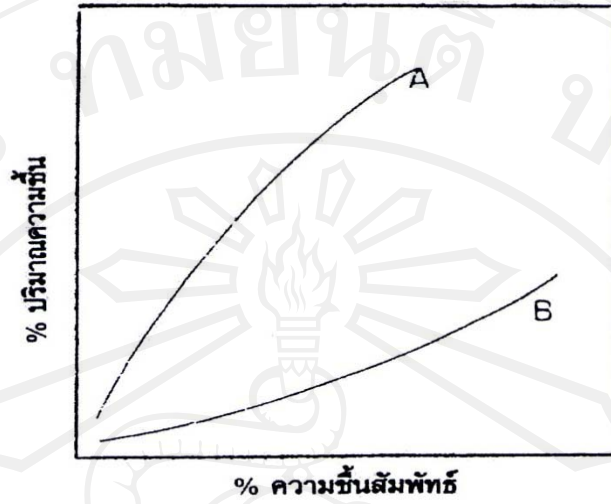
Milton (2005) ได้ศึกษาผลของมอลโทเดกซ์ทรินที่มีต่อโครงสร้างของมะม่วงผงโดยใช้วิธีอบแห้งแบบพ่นฝอยโดยใช้ปริมาณมอลโทเดกซ์ทรินและอุณหภูมิที่เหมาะสม คือปริมาณสัดส่วนมอลโทเดกซ์ทริน 12 g/g ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ อุณหภูมิลมร้อน 160°C และช่วงอัตราการไหลของลมร้อนระหว่าง 0.7 m³/min พบว่าอนุภาคของน้ำมะม่วงผงมีลักษณะเป็นของแข็งแห้งแบบอสัณฐาน ผลการศึกษา ของ สุชาดาและคณะ (2552) ศึกษาการแปรรูปน้ำมะม่วงผงโดยวิธีอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อทดแทนน้ำมะม่วงสดและเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ออกสู่ท้องตลาดในรูปแบบของน้ำมะม่วงผง โดยใช้มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE เท่ากับ 10 ปริมาณ 35% พบว่า มะม่วงน้ำดอกไม้ไม้สุก 1 ตัน ผลิตได้เนื้อมะม่วง 823.8±4.2 kg และได้น้ำมะม่วง 550±5 kg ได้ผลผลิตเป็นน้ำมะม่วงผง 91.71±0.11 kg ซึ่งผลผลิตน้ำมะม่วงผงที่ได้มีสมบัติ ด้านสี กลิ่น และสารอาหารที่สำคัญใกล้เคียงกับน้ำมะม่วงสด

เนื่องจากน้ำมะม่วงผงมีโครงสร้างทางกายภาพเป็นแบบอสัณฐาน และมีปริมาณน้ำตาลซึ่งมีโมเลกุลขนาดเล็กในปริมาณที่สูง ส่งผลให้สามารถเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจากแบบอสัณฐาน ซึ่งมีลักษณะเป็นผงแห้ง ให้เป็นของเหลวข้นหนืด และเกาะติดกันได้ (sticky state) เมื่ออยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (T_g) หรือเมื่อดูดซับความชื้นเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพและเคมี (Carolina *et al.*, 2006) ดังนั้นจึงควรมีการเติมมอลโทเดกซ์ทรินเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความแห้งมากขึ้นและการเกาะติดลดลง

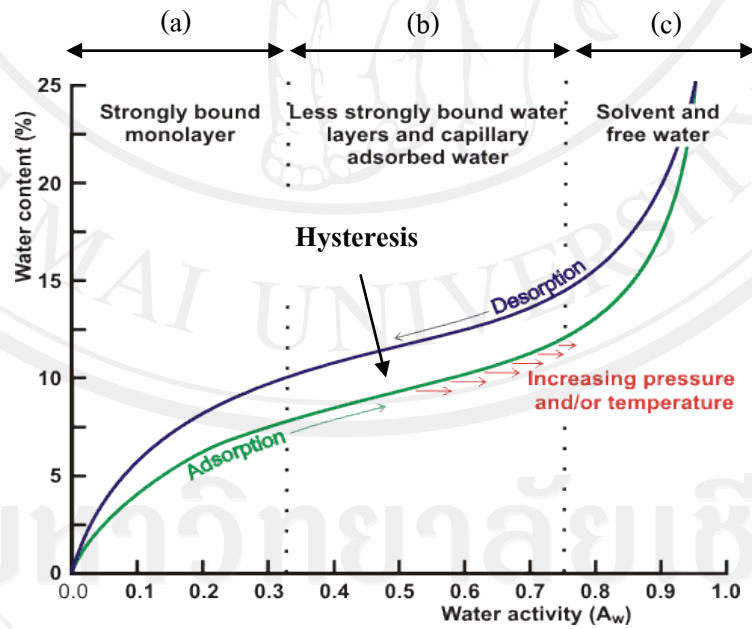
2.5 ซอร์ปชันไอโซเทอร์ม (Sorption isotherm)

ซอร์ปชันไอโซเทอร์ม คือ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำสมดุลในอาหาร และค่า a_w (นิธิยา, 2549) ซอร์ปชันไอโซเทอร์มเป็นข้อมูลที่สำคัญสำหรับอาหารที่มีความชื้นต่ำ ซึ่ง

สามารถนำไปประยุกต์เพื่อหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการทำแห้งหรือการดูดน้ำกลับ (rehydration) ใช้ในการประเมินเสถียรภาพของอาหารระหว่างการเก็บรักษา (Goula *et al.*, 2008) ซอร์ปชันไอโซเทอร์มโดยทั่วไปจะมีลักษณะ คล้ายอักษร S (sigmoidal shape) สามารถแบ่งเป็น 2 แบบคือ desorption isotherm และ adsorption isotherm โดยกระบวนการ desorption คือกระบวนการลดความชื้น ในขณะที่กระบวนการ adsorption คือกระบวนการเพิ่มความชื้น ซึ่งกระบวนการทั้งสองจะเกิดขึ้นได้เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและจะมีผลต่อค่า a_w ด้วยการศึกษา desorption isotherm ทำโดยการให้ความชื้นแก่อาหารที่ระดับความชื้นสัมพัทธ์สูงและหลังจากนั้นกำจัดความชื้นในภาชนะปิดที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัวอยู่ ซึ่งกราฟ desorption isotherm ใช้แสดงระดับความแห้งของอาหารที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นหรือความชื้นของอาหารที่ค่อยๆ ลดต่ำลงจนถึงจุดสมดุลกับสถานะแวดล้อมหรือความชื้นของอากาศขณะนั้น ดังนั้นจึงใช้ desorption isotherm สำหรับกระบวนการทำแห้ง สำหรับการศึกษา adsorption isotherm จะต้องทำให้ตัวอย่างอาหารแห้งก่อน หลังจากนั้นนำไปปรับความชื้นในภาชนะปิดที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัวที่เหมาะสม (Bell and Labuza, 2000) ซึ่งกราฟ adsorption หรือ resorption isotherm ใช้แสดงความชื้นของอาหารที่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นเนื่องจากอาหารนั้นมีความสามารถในการดูดความชื้นจากอากาศได้หากความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีค่าสูงกว่าค่า a_w ของอาหาร หากอาหารมีความสามารถในการดูดความชื้นได้มาก เส้นกราฟ adsorption isotherm จะมีความชันมาก อาหารประเภทนี้เรียกว่า hygroscopic product และถ้าอาหารไม่ไวในการดูดซับความชื้น เส้นกราฟจะมีความชันน้อย อาหารประเภทนี้เรียกว่า non-hygroscopic product ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ความแตกต่างระหว่าง adsorption และ desorption isotherm คือ ที่ความชื้นหนึ่งๆ ของอาหารค่า a_w ของ desorption isotherm จะต่ำกว่า adsorption isotherm หรือที่ค่า a_w หนึ่งๆ ปริมาณความชื้นของ desorption จะมากกว่า adsorption เสมอ ซึ่งกระบวนการทั้งสองจะไม่สามารถย้อนกลับได้ (irreversible process) จึงทำให้เกิดปรากฏการณ์ฮิสเทอรีซิส (hysteresis) ซึ่งแสดงความแตกต่างระหว่าง isotherm 2 ชนิดนี้ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 Adsorption isotherm ของสารประเภท hygroscopic product (A) และ non-hygroscopic product (B)
ที่มา: นิธิยา (2549)



รูปที่ 2.2 ซอร์ปชันไอโซเทอร์ม
ที่มา: Chaplin (2009)

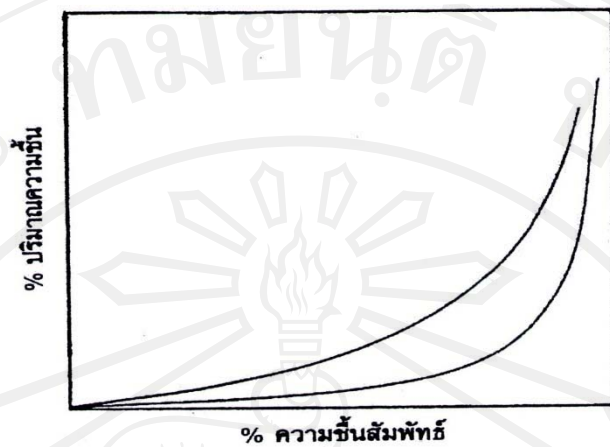
จากรูปที่ 2.2 สามารถแบ่งซอร์ปชันไอโซเทอร์มออกได้เป็น 3 ส่วนซึ่งจะแตกต่างกันตามปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอาหารหรือค่า a_w (นิธิยา, 2549)

ส่วนที่ 1 (a) เส้นกราฟจะค่อนข้างชัน ปริมาณความชื้นส่วนใหญ่เป็นน้ำชั้นเดี่ยว (mono-layer moisture) ซึ่งเป็นน้ำที่เกาะอยู่กับสารประกอบในอาหารอย่างเหนียวแน่น และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0-0.25 หรือ 0.3

ส่วนที่ 2 (b) เส้นกราฟค่อนข้างราบ สอดคล้องกับ capillary water ที่มีอยู่ในอาหารซึ่งเป็นน้ำที่กำจัดออกได้แต่ค่อนข้างยาก ถ้าปริมาณน้ำส่วนนี้ลดลงจะทำให้ค่า a_w ลดลงและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางเคมีส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในอาหารได้ ปริมาณความชื้นจะลดลงเหลือประมาณร้อยละ 3-7 ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารและอุณหภูมิ โดยมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.3-0.8

ส่วนที่ 3 (c) เป็นน้ำอิสระที่มีอยู่ในเนื้อเยื่ออาหารทั้งจากพืชและสัตว์ สามารถกำจัดออกได้โดยง่าย น้ำเหล่านี้จะทำหน้าที่เป็นตัวทำละลาย ถูกใช้สำหรับการเจริญของจุลินทรีย์และการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี อาหารจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 12-25 และมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.8-1.0

อาหารหลายชนิดมีลักษณะ adsorption isotherm ต่างจากรูปที่ 2.2 คือเส้นกราฟจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในช่วงแรกเมื่อค่า a_w เพิ่มขึ้นจัดเป็นอาหารจำพวก low hygroscopicity และเส้นกราฟจะชันขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงปลาย ซึ่งเป็นลักษณะของอาหารจำพวก high hygroscopicity ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งลักษณะ adsorption isotherm เช่นนี้เป็นสมบัติของอาหารที่มี ปริมาณน้ำตาลหรือเกลือสูงเนื่องจากมี capillary adsorption ต่ำ ดังนั้นอาหารใดที่มีสมบัติเป็น hygroscopic เมื่อมีความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย จะทำให้ปริมาณความชื้นในอาหารเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (นิธิยา, 2549)



รูปที่ 2.3 ซอร์ปชันไอโซเทอร์มของอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลหรือเกลือสูงและมี
Capillary adsorption ต่ำ
ที่มา: นิธิยา (2549)

การวิเคราะห์ลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มของอาหารมักทำที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตามผลของอุณหภูมิต่อซอร์ปชันไอโซเทอร์มจะให้ข้อมูลที่สำคัญ โดยแสดงให้เห็นช่วงอุณหภูมิระหว่างการเก็บรักษารวมถึงในช่วงกระบวนการผลิต อีกทั้งยังบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำอิสระกับอุณหภูมิ ณ ปริมาณความชื้นที่เท่ากัน อุณหภูมิส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำในอาหารและสมดุลไดนามิกส์ระหว่างไอน้ำและวัฏภาคที่ดูดซับ (adsorbed phase) สมดุลของน้ำจะลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นที่ค่า a_w คงที่ การเพิ่มอุณหภูมิเป็นผลให้โมเลกุลน้ำได้รับการกระตุ้นไปสู่ระดับพลังงานที่สูงกว่าและแตกพันธะออกจากส่วนที่น้ำยึดกับอาหารเป็นผลทำให้สมดุลของความชื้นลดลง อย่างไรก็ตามมีรายงานวิจัยพบว่าน้ำตาลที่ตกผลึกเช่นน้ำตาลกลูโคสในอาหารแห้งเป็นสาเหตุให้สมดุลของปริมาณความชื้น ณ อุณหภูมิต่างๆ แตกต่างกันที่ระดับค่า a_w สูงๆ (Barbosa-Cánovas and Vega-Mercado, 1996) Myhara and Sablani (2001) รายงานว่าปริมาณความชื้นสมดุลของลูกเกดที่มีน้ำตาลกลูโคสสูงหรือผลอินธพาล์มที่ระดับ a_w ต่ำจนถึง 0.55 จะลดลงเมื่ออุณหภูมิการเกิดซอร์ปชันเพิ่มขึ้นและที่ระดับ a_w สูงๆ ปริมาณความชื้นจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น

การศึกษาซอร์ปชันไอโซเทอร์มต้องทำในระบบปิดซึ่งมีการควบคุมสภาวะบรรยากาศให้มีความชื้นสัมพัทธ์คงที่ ซึ่งสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ถูกสร้างโดยการใช้สารละลายเกลืออิมิตัวต่างๆ ดังตารางที่ 2.2 ตัวอย่างอาหารที่ทราบน้ำหนักเริ่มต้นจะถูกเก็บไว้ในระบบนี้ ความชื้นของอาหารปรับตัวจนกว่าจะสมดุลกับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศที่เก็บรักษา โดยอาหารจะไม่มีน้ำหนัก

เพิ่มขึ้นหรือลดลงภายใต้การเก็บรักษาในสภาวะ สมดุล (Ramaswamy and Marcotte, 2006) โดยซอร์ปชันไอโซเทอร์มจะใช้ทำนายการเปลี่ยนแปลงความชื้น การกำหนดสภาวะการอบแห้ง การคัดเลือกรรจุภัณฑ์ เพื่อลดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและเคมี และให้ปลอดภัยจากการเจริญของจุลินทรีย์ (นักสิทธิ, 2546)

ตารางที่ 2.2 ค่า a_w ของสารละลายเกลือที่แตกต่างกันที่อุณหภูมิต่างๆ

สารละลายเกลืออิ่มตัว	a_w ที่อุณหภูมิต่างๆ (°C)			
	20	25	30	37
ลิเทียมคลอไรด์	0.12	0.11	0.11	0.11
โพแทสเซียมอะซิเตด	0.24	0.23	0.23	0.23
แมกนีเซียมคลอไรด์	0.33	0.33	0.32	0.31
โพแทสเซียมคาร์บอเนต	0.44	0.43	0.42	0.41
แมกนีเซียมไนเตรด	0.53	0.52	0.52	0.51
โซเดียมไนไตรท์	0.66	0.64	0.63	0.62
โซเดียมคลอไรด์	0.76	0.75	0.75	0.75
โพแทสเซียมโบรไมด์	0.84	0.83	0.82	0.81
โพแทสเซียมไนเตรท	0.94	0.93	0.92	0.91

ที่มา : Barbosa-Cánovas and Vega-Mercado (1996)

2.5.1 ความสำคัญของซอร์ปชันไอโซเทอร์มต่อเสถียรภาพของอาหาร

ซอร์ปชันไอโซเทอร์มเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทำนายความคงตัวของอาหารดังนี้

ก . ปฏิกริยาทางเคมีและเอนไซม์ในอาหาร

ปฏิกริยาทางเคมีของอาหาร เช่น การเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์ การเกิดออกซิเดชันของไขมัน การเสื่อมสลายของวิตามิน กิจกรรมของเอนไซม์ การเสถียรภาพของโปรตีน การเกิดเจลลิตินในเซชัน (gelatinization) ของแป้ง และการเกิดรีโทรกราเดชัน (retrogradation) ของแป้ง ความชื้นชั้นเดียวในอาหารสามารถทำนายได้จากข้อมูล Brunauer Emmett Teller isotherm (BET isotherm) ซึ่งนิยมใช้ในการพิจารณาเสถียรภาพของอาหารแห่งที่ระดับความชื้นดังกล่าว อัตราการเกิดปฏิกริยาทางเคมี เช่น การเกิดออกซิเดชันของไขมัน การเกิดสีน้ำตาลเนื่องมาจากปฏิกริยาที่ไม่ใช่เอนไซม์จะเกิดขึ้นน้อยมาก ตัวอย่างปริมาณความชื้นชั้นเดียวของอาหารที่วิเคราะห์จาก BET adsorption isotherm ณ อุณหภูมิต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณความชื้นชั้นเดียวของอาหารบางชนิด

ชนิดอาหาร	M_0 (g น้ำ / g ของแข็งแห้ง)	T (°C)
องุ่น	0.019	60
ซูโครส	0.057	47
บีทรูท	0.055	20
บีทรูท	0.045	35

ที่มา : Rahman (1995)

ความชื้นชั้นเดียวในอาหารจะทำให้มีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.2-0.4 ถ้าความชื้นชั้นเดียวสูงกว่านี้ผลิตภัณฑ์อาหารจะสูญเสียคุณภาพได้ เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีส่วนใหญ่จะเกิดขึ้นเมื่อ a_w มากกว่า 0.3 โดยน้ำจะมีอิทธิพลต่อการเกิดปฏิกิริยาเคมีดังต่อไปนี้

- เป็นสารที่เข้าร่วมทำปฏิกิริยา (reactant) เช่น การไฮโดรไลซิสของซูโครส
- น้ำทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของสารที่เข้าร่วมทำปฏิกิริยา โดยส่งผลต่อความหนืดของอาหาร
- น้ำทำให้เกิดพันธะไฮโดรเจนหรืออาจเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสารตัวอื่นๆ เช่น ส่งผลให้เกิดการออกซิเดชันของไขมัน โดยการเข้าล้อมรอบโลหะที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาหรือเกิดพันธะไฮโดรเจนของไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxides) กับน้ำ
- อาจก่อให้เกิดการรวมตัวของโปรตีนและการเปลี่ยนแปลงสภาพของน้ำตาลและแป้งจาก amorphous ไปเป็น crystalline ปฏิกิริยาทางเคมีเกี่ยวข้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำอิสระ เนื่องจากจะเพิ่มการเคลื่อนที่ของสารตั้งต้นที่เข้าทำปฏิกิริยา ยกเว้นปฏิกิริยาออกซิเดชันของไขมัน อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ต่ำที่สุดในอาหารจะมีค่า a_w ในช่วง 0.2-0.4 (Rahman, 1995)

ข . เสถียรภาพของรงควัตถุในอาหาร

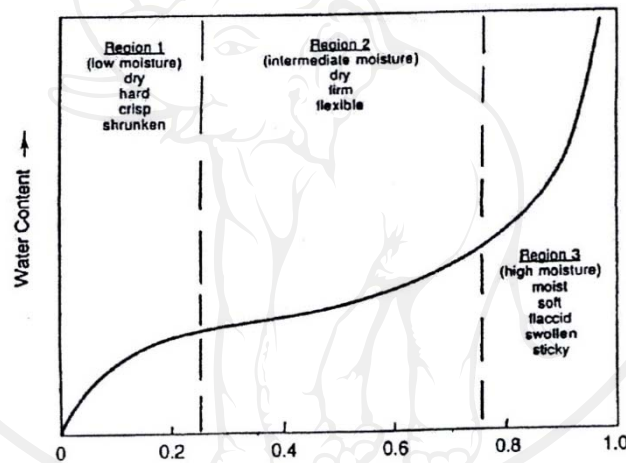
เสถียรภาพของรงควัตถุในอาหารขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจน แสง ปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ปริมาณโลหะหนัก a_w ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ เป็นต้น โดยรงควัตถุที่มีผลต่อสีของอาหาร เช่น คลอโรฟิลล์ แลโรทีนอยด์ แอนโทไซยานิน และบีตาเลน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสีหรือการเกิดสีน้ำตาลของอาหารแห้งในระหว่างการเก็บรักษาจะขึ้นอยู่กับค่า a_w และอุณหภูมิในการเก็บรักษา โดยอัตราการเกิดสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อมีค่า a_w เพิ่มขึ้นหรือความชื้นสูง (Rahman, 1995) การ

ควบคุมค่า a_w ในอาหารและอุณหภูมิการเก็บรักษาจึงเป็นวิธีที่ดีในการควบคุมปัญหาการเปลี่ยนแปลงของรงควัตถุและการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) (วิไล, 2546)

ค. ลักษณะด้านเนื้อสัมผัสของอาหาร

เนื้อสัมผัสของอาหารสัมพันธ์กับ ซอร์ปชันไอโซเทอร์มดังรูปที่ 2.4 โดยส่วนที่ 1 มีค่า a_w ต่ำ อาหารจะมีลักษณะแห้ง แข็ง กรอบและหดตัว ส่วนที่ 2 มีค่า a_w ปานกลาง อาหารจะมีลักษณะแห้ง แน่นเนื้อ และยืดหยุ่น ส่วนที่ 3 มีค่า a_w สูง อาหารจะมีลักษณะค่อนข้างชื้น อ่อนตัว นุ่มน้ำ (juicy) บวมน้ำ (swollen) และเกาะตัวกัน (Rahman, 1995)



รูปที่ 2.4 ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหารที่ระดับวอเตอร์แอกทิวิตีต่างๆ
ที่มา: Rahman (1995)

การเกาะตัวกันของอาหารเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพจากกลาส (amorphous glass) ไปเป็นของเหลวหนืด (amorphous rubber) ปริมาณความชื้นหรือค่า a_w มีผลต่อการเกาะติดกันของอนุภาค โดยทั่วไปอาหารที่มีปริมาณน้ำตาลสูงหากมีความชื้นเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่า a_w มากกว่า 0.4 การเชื่อมโยงระหว่างอนุภาคจะเกิดขึ้นเป็นผลทำให้เกิดการเกาะตัวกันของอนุภาค ดังนั้นเพื่อป้องกันปัญหาการเกาะตัวกันจึงต้องมีการศึกษาซอร์ปชันไอโซเทอร์มของส่วนผสม ของอาหาร (Bell and Labuza, 2000) และควบคุมค่า a_w ของอาหารให้ต่ำกว่าระดับที่มีการเกาะติดของอนุภาคของอาหาร

ง . การเจริญของจุลินทรีย์และการผลิตสารพิษในอาหาร

อาหารโดยส่วนใหญ่จะมี ค่า a_w อยู่ในช่วง 0.6-0.7 โดยแบคทีเรียส่วนใหญ่ ยีสต์และราจะเจริญเมื่อค่า a_w ของอาหารอยู่ในช่วง 0.9 (ตารางที่ 2.4) ดังนั้นซอร์ปชันไอโซเทอร์มสามารถทำนายปริมาณความชื้น ระดับสูงสุด ของอาหารที่สามารถเก็บรักษา ได้โดยไม่เกิดการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ โดยค่า a_w ของอาหารควรจะต้องต่ำพอที่จะยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

ตารางที่ 2.4 ระดับของค่า a_w ที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

a_w	a_w ที่สามารถยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในอาหาร
0.95	<i>Bacillus, Clostridium perfringens, Escherichia, Klebsiella, Proteus, Pseudomonas, Shigella</i> , ยีสต์บางชนิด
0.91	<i>Clostridium botulinum, Lactobacillus, Pediococcus, Salmonella, Serratia, Vibrio parahaemolyticus</i> ราและยีสต์บางชนิด
0.87	<i>Micrococcus</i> , ยีสต์ทุกชนิด
0.80	<i>Debaryomyces, Saccharomyces, Staphylococcus aureus</i>
0.75	แบคทีเรีย halophilic ส่วนใหญ่
0.65	ราจำพวก Xerophilic
0.60	ยีสต์จำพวก osmophilic ราบางชนิด
น้อยกว่า 0.5	ไม่มีจุลินทรีย์ชนิดใดเจริญได้

ที่มา: Bell and Labuza (2000)

2.5.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของซอร์ปชันไอโซเทอร์ม

อาหารแต่ละชนิดจะมีซอร์ปชันไอโซเทอร์มแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางกายภาพ องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณน้ำที่ขีดยึดอยู่ในอาหาร (วิไล, 2546) การศึกษาซอร์ปชันไอโซเทอร์มนั้นเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างซับซ้อนและใช้เวลานาน ดังนั้นจึงมีนักวิจัยคิดค้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการทำนายซอร์ปชันไอโซเทอร์ม ซึ่งจะช่วยให้มีการประหยัดเวลา และนำไปใช้ในการทำนายและควบคุมการเก็บรักษาของอาหารได้อย่างเหมาะสม แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับทำนายซอร์ปชันไอโซเทอร์ม สามารถ จำแนกได้ตามจำนวนตัวแปรที่มีในสมการ ดังต่อไปนี้ (Rahman, 1995)

2.5.2.1. Isotherms ประเภท 2 ตัวแปร ได้แก่

ก. แบบจำลองของ Smith

Smith (1947) เป็นแบบจำลองอย่างง่ายที่ใช้อธิบาย water sorption isotherm ของพอลิเมอร์ชีวภาพ (bio-polymers) ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ซึ่ง Becker and Sallans (1956) พบว่าสมการนี้ใช้ได้ดี ในกรณี desorption ของข้าวสาลี ที่มีค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.5-0.95 อย่างไรก็ตาม สมการนี้มีข้อจำกัดที่ว่าค่า a_w ต้องมากกว่า 0.31 หรือเหมาะสำหรับ a_w ช่วง 0.3-0.9 (Kumar and Siddaramaiah, 2007) สมการของ Smith ดังสมการ (1)

$$M_w = A + B \ln(1 - a_w) \quad (1)$$

เมื่อ M_w = ความชื้น (g น้ำ/g ของแข็งแห้ง)

A, B = ค่าคงที่

ข. แบบจำลองของ Oswin

Oswin (1946) ได้พัฒนาสมการเชิงเส้นอย่างง่าย ดังสมการ (2) พบว่าสมการนี้ใช้ได้ดีที่สุด สำหรับการอธิบายไอโซเทอร์มของอาหารที่มีโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบ และใช้ได้ดีสำหรับอาหารประเภทเนื้อและผักต่างๆ (Boquet *et al.*, 1978)

$$M_w = A \left[\frac{a_w}{1 - a_w} \right]^B \quad (2)$$

เมื่อ M_w = ความชื้น (g น้ำ/g ของแข็งแห้ง)

A, B = ค่าคงที่

ค. แบบจำลองของ Henderson

สมการนี้ใช้สำหรับอาหารที่ความชื้นสัมพัทธ์ที่สัมพันธ์กับปริมาณความชื้นสมดุล

$$M_w = \left[\frac{\ln(1 - a_w)}{-A} \right]^{1/B} \quad (3)$$

เมื่อ M_w = ความชื้น (g น้ำ/g ของแข็งแห้ง)

A, B = ค่าคงที่

ง. แบบจำลองของ Brunauer-Emmett-Teller (BET)

แบบจำลอง BET ถูกค้นพบโดย Brunauer *et al.* (1938) ไอโซเทอร์มของ BET ส่วนใหญ่จะใช้ที่ค่า a_w อยู่ระหว่าง 0.05-0.45 หรือเป็นช่วงซอร์ปชันไอโซเทอร์มที่เป็นเส้นตรง ดังสมการ (4)

$$M_w = \frac{M_0 k a_w}{(1 - a_w)[1 + (k - 1)a_w]} \quad (4)$$

M_0 = ปริมาณความชื้นชั้นเดียว (monolayer moisture) (g น้ำ/g ของแข็งแห้ง)

k = ค่าคงที่ที่สัมพันธ์กับความร้อนสุทธิทั้งหมดของ sorption

จ. แบบจำลองของ Halsey

Halsey (1948) ได้พัฒนาสมการ (5, 6) เพื่อใช้ทำนายในช่วงที่ BET ทำนายไม่ได้ โดยสามารถใช้ได้กับอาหารหลายชนิด ซึ่งองค์ประกอบของอาหารมีค่า a_w อยู่ในช่วง 0.1-0.8 ของ Halsey (1948)

$$M_w = \left[-\frac{A}{\ln a_w} \right]^{1/B} \quad (5)$$

$$\ln(M_w) = A + B\{\ln[-\ln(a_w)]\} \quad (6)$$

เมื่อ M_w = ความชื้น (g น้ำ/g ของแข็งแห้ง)

A, B = ค่าคงที่

ฉ. แบบจำลองของ Chung and Pfof

สมการของ Chung and Pfof (1967) เป็นแบบจำลองที่แสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระสำหรับ sorption isotherms ที่สัมพันธ์กับปริมาณความชื้น ดังสมการ (7)

$$M_w = -\frac{1}{B} \ln \left[-\frac{\ln a_w}{A} \right] \quad (7)$$

เมื่อ M_w = ความชื้น (g น้ำ/g ของแข็งแห้ง)

A, B = ค่าคงที่

ข. แบบจำลองของ Iglesias and Chirife

สมการของ Iglesias and Chirife (1978) เป็นแบบจำลอง ที่ออกแบบมาเพื่อใช้อธิบาย ลักษณะอาหารที่มีน้ำตาลสูง ดังสมการ (8)

$$\ln \left[M_w + \left(M_w^2 + M_{0.5w} \right)^{1/2} \right] = A a_w + B \quad (8)$$

$M_{0.5w}$ = ปริมาณความชื้นที่ a_w เท่ากับ 0.5

ช. แบบจำลองของ Caurie ดังสมการ (9)

$$\frac{1}{M_w} = \frac{1}{C_c M_0} \left(\frac{1 - a_w}{a_w} \right)^{2C_c / M_m} \quad (9)$$

เมื่อ C_c = ค่าคงที่ของ Caurie

M_0 = ปริมาณความชื้นชั้นเดียว (monolayer moisture) (g น้ำ/g ของแข็งแห้ง)

2.5.2.2. Isotherms ประเภท 3 ตัวแปร ได้แก่

ก. แบบจำลองของ Cubic

สมการโพลิโนเมียลกำลังสาม ใช้สำหรับอธิบายกราฟซอร์ปชันไอโซเทอร์มรูปโค้งกลับ
อย่างง่าย ดังสมการที่ 10

$$M_w = p_1 + p_2 a_w + p_3 a_w^2 + p_4 a_w^3 \quad (10)$$

กำหนดให้

p_i = ค่าคงที่ของ sorption isotherms

ข. แบบจำลองของ *Guggenheim-Anderson-de Boer (GAB)* เป็นสมการที่ใช้สำหรับวัตถุอาหารหลากหลายชนิดที่มีค่า a_w อยู่ในช่วงกว้าง ดังสมการ (11)

$$M_w = \frac{M_0 Y k a_w}{(1 - k a_w)(1 - k a_w + Y k a_w)} \quad (11)$$

เมื่อ M_0 = GAB monolayer moisture (g น้ำ/g ของแข็งแห้ง)

Y และ k = ค่าคงที่ซึ่งเป็นผลเนื่องจากอุณหภูมิ

2.5.2.3. Isotherms ประเภท 4 ตัวแปร ได้แก่

ก. แบบจำลองของ Peleg เป็นสมการ 4 ตัวแปรอย่างง่ายที่สุด ดังสมการ (12)

$$M_w = A a_w^C + B a_w^D \quad (12)$$

เมื่อ A, B, C และ D คือค่าคงที่ โดย $C < 1$ และ $D > 1$ สมการนี้ใช้ได้ทั้งกราฟ isotherm ที่เป็น polynomial และไม่เป็น polynomial เป็นสมการที่ดีกว่าสมการ GAB

Stenel (2004) ได้ศึกษา moisture sorption isotherm ของผงโยเกิร์ตที่ผ่านการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย โดยวัด adsorption และ desorption ของน้ำในผงโยเกิร์ตที่อุณหภูมิในช่วง 20-40°C และมีช่วง a_w จาก 0.40-0.99 พบว่า sorption capacity มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และสามารถใช้สมการหรือแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ถึง 4 แบบ (Chung-Pfost, 1967; Halsey, 1948; Henderson, 1952; Oswin, 1946) ในการอธิบาย adsorption และ desorption ของน้ำในผงโยเกิร์ต

ธัญนิษา (2552) ได้ศึกษาลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มของน้ำลำไยผงจากการทำให้แห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE 11 ปริมาณ 0.6 g/g ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำลำไย เพื่อใช้ในการทำนายคุณภาพระหว่างการเก็บรักษา โดยศึกษาอิทธิพลของระดับความชื้นสัมพัทธ์ ตั้งแต่ร้อยละ 0 ถึง 77 และอุณหภูมิในการเก็บรักษาที่ 5, 10, 25 และ 35°C และศึกษาผลของความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อคุณภาพทางเคมีกายภาพ และอุณหภูมิกลาสทรานซิชันของน้ำลำไยผง เพื่อทำนายลักษณะซอร์ปชันไอโซเทอร์มตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Oswin, Henderson, Halsey, Smith, BET และ GAB พบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Halsey เป็นแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับน้ำลำไยผง

การศึกษาศามารถในการดูดซับน้ำ (sorption isotherm) และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมะม่วงผงอันเนื่องมาจากอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในระหว่างการเก็บรักษาจึงมีความ

จำเป็นเพื่อวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ (interaction) ของน้ำและสารในอาหาร ทำให้ได้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์อาหาร ได้แก่ การทำให้แห้ง การผสม การบรรจุผลิตภัณฑ์ในบรรจุภัณฑ์ และการเก็บรักษาอาหาร ใช้ในการหาลักษณะ โครงสร้างของผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น พื้นที่ผิวจำเพาะ ปริมาตรของรูพรุน การกระจายขนาดของรูพรุน และความสามารถในการเป็นผลึก (crystallinity) และใช้ในการคัดเลือกความคงตัวของกลี้น สี เนื้อสัมผัส สารอาหาร และความคงตัวทางชีวภาพที่เหมาะสมหรือสูงสุดของอาหาร (Debnath *et al.*, 2002) ยังสามารถใช้ในการทำนายความชื้นสูงสุดที่สูงสุดในอาหารที่ควรควบคุมในระหว่างกระบวนการทำให้แห้งและการเก็บรักษา ทำนายการเปลี่ยนแปลงในความคงตัวของอาหาร (Stenel, 2004)

2.6 กลาสทรานซิชันและสมบัติการเกาะติดของอาหารแห้ง

อุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (Glass transition temperature; T_g) หมายถึง อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของอาหารจากที่มีโครงสร้าง ออสันฐาน (amorphous structure) หรือมีสถานะคล้ายแก้ว (glassy state) ไปเป็นสถานะของเหลวหนืดคล้ายยาง (rubbery state) ซึ่งความสามารถในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในสถานะคล้ายแก้วนั้นต่ำ เนื่องจากของผสมมีความหนืดสูง (ประมาณ 10^{12} Pa) (Silva *et al.*, 2006) โดยสามารถวิเคราะห์อุณหภูมิดังกล่าวได้ด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สมบัติเชิงความร้อน เช่น เครื่องสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ เป็นต้น ซึ่งการเปลี่ยนรูปแบบโครงสร้างที่สัมพันธ์กับความหนืด เช่น การเกาะติด (stickiness), การยืดหยุ่น (elasticity), การยุบตัว (collapse), การหดตัว (shrinkage) และการตกผลึก (crystallization) ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (Sopade *et al.*, 2007) นอกจากนี้ปฏิกิริยาทางเคมีสามารถเกิดได้ง่ายขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของสารในอาหารสามารถเคลื่อนที่ได้มากขึ้น ซึ่งส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของอาหาร มักจะใช้ค่า a_w และอุณหภูมิกลาสทรานซิชันเพื่อพิจารณาเสถียรภาพของอาหารในระหว่างการเก็บรักษา ผลิตภัณฑ์อาหารจะเสถียรมากที่สุดเมื่อความชื้นอยู่ในระดับความชื้นชั้นเดียว มีค่า a_w ในช่วง 0.1-0.3 หรือที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิกลาสทรานซิชัน (Goula *et al.*, 2008) อุณหภูมิกลาสทรานซิชันของคาร์โบไฮเดรตมักจะมีสัดส่วนผกผันกับน้ำหนักโมเลกุล โดย T_g ของกลูโคส กาแลกโทส ฟรักโทส มอลโทส และซูโครสมีค่าเท่ากับ 31, 32, 14, 87 และ 62°C ตามลำดับ (Bhandari, 1997) ระดับอุณหภูมิกลาสทรานซิชันขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุล และโครงสร้างเฉพาะของตัวถูกละลายและยังขึ้นอยู่กับปริมาณของตัวทำละลายที่ปรากฏ (Rahman, 1995) ค่า T_g ถูกนำมาใช้เป็นดัชนีคุณภาพทางเคมีกายภาพที่สามารถวิเคราะห์ความสามารถของกระบวนการผลิต คุณภาพ ความคงตัว และความปลอดภัยของอาหาร (Barbosa-Cánovas and Vega-Mercado, 1996) อุณหภูมิกลาส

ทรานซิชันของอาหารที่ผ่านการทำให้แห้ง เป็นตัวแปรสำคัญในการอธิบายกลไกของกระบวนการเปลี่ยนรูปในอาหาร และการควบคุมอายุการเก็บรักษาของอาหารนั้น (Omar and Roos, 2007)

2.7 สมบัติของอาหารผง

2.7.1 ความสามารถในการไหล (flowability)

การผลิตอาหารผงสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งคือต้องมีสมบัติในการไหล (flow property) ดีและสม่ำเสมอ ทั้งนี้เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพคงที่ นอกจากนี้ยังจะทำให้การผลิตเป็นไปได้อย่างรวดเร็วขึ้นอีกด้วย สามารถหาได้หลายวิธีได้แก่ การวัดมุมกอง การหาอัตราการไหล และคำนวณค่า compressibility วิธีที่นิยมมากที่สุดคือ การวัดมุมกอง (สุทิน และฤดี, 2552)

มุมกอง (angle of repose) ตามนิยามของ Terzaghi and Peck (1948) หมายถึง มุมกองระหว่างพื้นราบ และพื้นเอียงของกองวัสดุที่ถูกทำให้ไหลลงมาจากอุปกรณ์ที่จัดให้อยู่สูงเหนือพื้นราบ โดยใช้อุปกรณ์อย่างง่ายในการทำให้เกิดการไหลของวัสดุจากจุดที่อยู่เหนือพื้นราบจนกระทั่งมุมที่เกิดขึ้นคงที่ แล้วจึงวัดมุมกองของวัสดุแห้ง ค่ามุมกองของวัสดุแห้งที่มีค่าต่ำจะมีความสามารถในการไหลได้มากกว่าวัสดุแห้งที่มีค่ามุมกองที่สูงกว่า (Bodhimage, 2006)

มุมกองเป็นดัชนีชี้วัดความสามารถในการไหลของผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นผง Carr (1965) ได้แบ่งกลุ่มความสามารถในการไหลของอาหารผงโดยการวัดมุมกอง ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าความสามารถในการไหลของอาหารผง

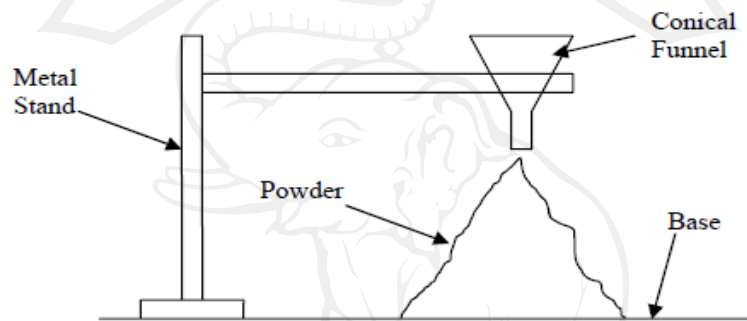
มุมกอง (°)	ความสามารถในการไหล
< 35	ไหลได้ดี
35 – 45	ไหลได้พอใช้
45 – 55	ไหลได้จำกัด
>55	ไม่ไหล

ที่มา : Carr (1965)

การวัดค่ามุมกองเป็นวิธีที่น่าเชื่อถือ รวดเร็ว และง่ายสำหรับการวัดความสามารถในการไหลของผงที่แตกต่างกัน โดยมุมกองที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีความสามารถในการไหลของผงได้อิสระกว่า ขณะที่มุมกองที่มีขนาดใหญ่กว่าบ่งชี้ว่าวัสดุมีความสามารถในการไหลได้ไม่ดี หรือมี การเกาะ

ตัวกันระหว่างอนุภาคได้ดีกว่า (cohesiveness) ซึ่ง ISO 3435 ได้ใช้วิธีวัดมุมกองสำหรับการวิเคราะห์การเกาะตัวกันระหว่างอนุภาคของวัสดุของแข็ง (Bodhimage, 2006)

อุปกรณ์สำหรับการวัด มุมกอง ประกอบด้วยกรวยแก้วที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของทางออกด้านปลายกรวยแก้วขนาด 0.9 cm ซึ่งถูกตรึงไว้บนขาตั้งโลหะดังรูปที่ 2.5 โดยทางออกด้านปลายกรวยแก้วจะอยู่สูงจากฐาน 6 cm ตาม ISO 3435/1 ปลายทางออกของกรวยแก้วจะถูกปิดไว้ และตัวอย่างผง 200 g จะถูกเทผ่านลงไป เมื่อปลายทางออกถูกเปิดออกวัสดุจะไหลออกไปสร้างเป็นรูปทรงกรวยบนฐาน (Bodhimage, 2006) ถ่ายภาพกองอาหารผงแล้ววัดมุมกองจากภาพ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 การวัดมุมกอง

ที่มา : Bodhimage (2006)



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการวัดมุมกอง

ที่มา : Bodhimage (2006)

จากรูปที่ 2.6 มุมกอน เป็นมุมระหว่างพื้นผิวของทรงกรวย และระนาบพื้นผิว ซึ่งคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้คือ $\tan \alpha = H/R$ เมื่อ H = ความสูงของรูปกรวย และ R = รัศมีของวงกลม (Leesawat *et al.*, 2004)

Shittu and Lawal (2007) ได้ศึกษาการวัดมุมกอนของตัวอย่างเครื่องดื่มโกโก้ผงปริมาณ 200 mL ในกระบอกตวง โดยนำกระบอกตวงไปแขวนบนชุดขาตั้งให้ปากของกระบอกตวงสูงจากพื้นผิวราบประมาณ 20 cm จากนั้นปล่อยให้ผงไหลอย่างอิสระภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก ซึ่งได้กอนโกโก้ผงบนพื้นผิวราบตามขวาง พบว่าค่ามุมกอนอยู่ในช่วง 25.0-37.7° เมื่อความชื้นและปริมาณน้ำตาลในเครื่องดื่มโกโก้ผง เท่ากับ 0.8-3.6% และ 52.4-90.5% ตามลำดับ แสดงว่าเครื่องดื่มโกโก้ผงมีความสามารถในการไหลที่ดี นอกจากนี้ Antoine *et al.* (2003) พบว่า มุมกอนของผงถั่วเหลือง มีค่าเท่ากับ 38.33° และ Carr index มีค่าเท่ากับ 26.72%

ปัจจัยที่มีผลต่อค่ามุมกอน คือสภาวะในการเก็บรักษาของผง ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงความชื้นของผงเพียงเล็กน้อยก็สามารถเพิ่มค่ามุมกอนได้มากกว่า 100% (Zou and Brusewitz, 2002) นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับขนาดอนุภาค และองค์ประกอบของพื้นผิวของอนุภาคผง โดยเฉพาะอย่างยิ่งผงที่มีไขมันเป็นองค์ประกอบของพื้นผิวสูง จะยับยั้งสมบัติของการไหล ตัวอย่าง เช่น หางนมผง (skim milk powder) มีการไหลได้ดีเมื่อเปรียบเทียบกับ นมผงปกติ (whole milk powder), ผงครีม (cream powder) และเวย์โปรตีน (whey protein concentrate) เนื่องจากพื้นผิวของ หางนมผงประกอบด้วยน้ำตาลแลคโทส และ โปรตีน ซึ่งมี ปริมาณของไขมันอยู่เล็กน้อย ขณะที่พื้นผิวของ นมผงปกติ ผงครีม และผงเวย์โปรตีน ประกอบด้วยไขมันอยู่สูง จึงมีความสามารถในการไหลลดลง (Kim *et al.*, 2005) และปริมาณไขมันยังมีผลอย่างมากต่อการเกาะตัวกันของนมผง โดยนมผงที่มีปริมาณไขมันที่พื้นผิวของอนุภาคมากกว่าก็จะส่งผลให้มีการเกาะตัวกันมากกว่าทำให้ความสามารถในการไหลของผลิตภัณฑ์นมผงมีค่าลดลง (Fitzpatrick *et al.*, 2007)

2.7.2 ความสามารถในการละลาย (Solubility)

สมบัติการละลายของผง สามารถวิเคราะห์ได้จากพฤติกรรมของผง (Barbosa-Canovas and Vega-Mercado, 1996) ดังนี้

1. Wettability คือ ความสามารถของอนุภาคของผงในการดูดซับน้ำบนพื้นผิวของอนุภาค และปัจจัยที่มีผลต่อ wettability ได้แก่ กระบวนการการเกาะกันเป็นก้อนของอนุภาคจำนวนของอนุภาคที่ดูดซับน้ำได้ พื้นผิวของอนุภาค หรือ การไม่มีอนุภาคที่ไม่เกาะกันเป็นก้อน
2. Sinkability คือ ความสามารถของผงในการจมลงไปในน้ำ หลังจากผงเกิดการดูดซับน้ำบนพื้นผิวของอนุภาค และถูกกระทบโดยความหนาแน่นของอนุภาค

3. Dispersibility หมายถึง ความสามารถของผง ในการกระจายตัวตลอดทั่วทั้งภายในน้ำ โดยไม่เกิดเป็นก้อน ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ dispersibility คือ การไม่มีของอนุภาคที่มีขนาดมากกว่า 250 μm หรืออนุภาคที่เกาะตัวกันเป็นก้อน

4. Solubility คือ อัตราการละลายหรือความสามารถในการละลายทั้งหมด โดยการไม่มีจุด และการบวมตัวอย่างรวดเร็วของอนุภาค เป็นปัจจัยที่กระทบต่อความสามารถในการละลาย

ความสามารถในการละลายมักวิเคราะห์เป็นค่าดัชนีการละลาย (Solubility index; SI) คือ ร้อยละของมวลแห้งของสารที่ละลายได้ใน supernatant (W_s) กับมวลแห้งของตัวอย่างทั้งหมด (W_0) (Mandala and Bayas, 2004) โดยใช้ตัวอย่างปริมาณ 5 g ใส่ใน centrifuge tube เติมน้ำ 50 mL ที่ อุณหภูมิ 30°C ปั่นที่ความเร็ว 3000 rpm นาน 10 นาที เท supernatant ใส่ใน aluminium can อบที่ อุณหภูมิ 105°C เวลานาน 24 ชั่วโมง (Shittu and Lawal, 2007)

$$SI(\%) = \frac{W_s}{W_0} \quad (13)$$

ปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการละลาย คือ ธรรมชาติของตัวถูกละลาย และตัวทำละลาย อุณหภูมิ ความดัน ขนาดของอนุภาค และการกวนผสม (Rahman, 1995)

ธัญนิชา (2552) ได้ศึกษาความสามารถในการละลายของน้ำลำไยผงจากการทำแห้งแบบพ่นฝอย โดยใช้มอลโทเดกซ์ทรินที่มีค่า DE 11 ปริมาณ 0.6 g/g ของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ในน้ำลำไย พบว่าน้ำลำไยผงเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5, 10, 25 และ 35°C มีความสามารถในการละลายอยู่ในช่วง 99.4-100% ซึ่งเป็นค่าการละลายที่สูงมาก ที่อุณหภูมิการเก็บรักษาสูงสุด คือ 35°C น้ำลำไยผงสามารถละลายได้สูงสุด เท่ากับ 100% เนื่องมาจากองค์ประกอบซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลเป็นส่วนใหญ่ และมอลโทเดกซ์ทริน ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรต ที่ละลายน้ำเกือบทั้งหมด งานวิจัยของโยษิตา (2551) พบว่าความสามารถในการละลายของแคปซูลสารสกัดสีในผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งที่ผ่านการอบแห้งโดยตู้อบสุญญากาศมีค่าการละลายที่สูงมาก เนื่องมาจากองค์ประกอบของแคปซูลสารสกัดสีในผลิตภัณฑ์น้ำผึ้งซึ่งประกอบด้วยผลิตภัณฑ์น้ำผึ้ง มอลโทเดกซ์ทรินและสารสกัดจากบีทรูทสามารถละลายในน้ำได้ทั้งหมด Cano-Chauca *et al.* (2005) ศึกษาผลของสารตัวกลางต่อโครงสร้างของมะม่วงผงโดยการอบแห้งแบบพ่นฝอย พบว่ามะม่วงผงที่มีปริมาณเซลลูโลส 9% ผสมมอลโทเดกซ์ทริน มีความสามารถในการละลายมากกว่า 90% ซึ่งมีค่าสูงกว่าการใช้กัมมะรายบี ก และ waxy starch เนื่องจากมอลโทเดกซ์ทรินสามารถละลายน้ำได้ดี