

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ยอ และการใช้ประโยชน์

ยอ (Indian Mulberry) หรือ Noni เป็นพืชสมุนไพรที่มีคุณค่า ทั้งในแง่ของการใช้เป็นอาหารและยา ชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Morinda citrifolia* Linn. อยู่ในวงศ์ Rubiaceae ยอรู้จักกันดีในแถบหมู่เกาะโปลินีเซีย และฮาวายในชื่อ โนนี (Noni) ยอเป็นพืชพื้นเมืองในประเทศเขตร้อน เช่น มาเลเซีย ออสเตรเลีย โปลินีเซีย อินเดีย ฟิlipปินส์ เป็นต้น สำหรับประเทศไทยมีชื่อเรียกตามท้องถิ่น เช่น ยอ ยอบ้าน (ไทยภาคกลาง) มะดาเลื่อ (ไทยภาคเหนือ) แยมใหญ่ (กระเหรี่ยงในแม่ฮ่องสอน) ยอเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง มีทั้งยอป่าและยอบ้าน ยอบ้านขึ้นได้ในดินแทบทุกชนิดปลูกง่ายแต่จะเจริญเติบโตได้ดี ในที่มีความชุ่มชื้น เติบโตได้เองตามธรรมชาติ ผลเป็นทรงกลมหรือทรงรี ผิวเป็นปุ่ม ๆ รอบผล ผลอ่อนมีสีเขียวพอแก่จะมีสีขาวอมเขียวหรือออกเหลือง ขนาดผลกว้างประมาณ 2.5-5 เซนติเมตร ยาว 4-10 เซนติเมตร (ชารดา, 2545)

มีการใช้ประโยชน์จากยอในรูปแบบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ต้น ใช้เป็นส่วนผสมกับสมุนไพรชนิดอื่น ๆ เพื่อแก้วิธโรค

ใบ กินแก้กระษัย หรือคั้นเอาน้ำใช้สระผมฆ่าเหา ทาแก้โรคเก๊าท์ แก้อาการปวดตามข้อของนิ้วมือ นิ้วเท้า และถ้าใช้ผสมกับสมุนไพรอื่นจะเป็นยาแก้วิธโรค

ดอก เป็นส่วนผสมของสมุนไพรชนิดอื่นเพื่อแก้วิธโรค

ราก แก้กระษัย เป็นยาระบาย ใช้ผสมยารักษาวิธโรค รากของต้นยอนี้ใช้เป็นสีย้อมผ้าได้ โดยที่ต้นยอนั้นจะต้องมีอายุราว ๆ 3-4 ปี ถ้าหลังจากนี้แล้วคุณภาพของสีจะเสื่อมลง

ผล มีรสเผ็ดและร้อน ช่วยขับลม บำรุงธาตุ เจริญอาหาร ผสมยาแก้สะอึก อมแก้เหงือกเปื่อย ระดูเสีย ฟอกเลือด ขับน้ำคาวปลา แก้เสียงแหบแห้ง แก้ตัวเย็น แก้ร้อนในอก แก้กระษัย แก้อาเจียน นอกจากนี้ยังนำมาหมักหรือต้มกับน้ำรับประทานก็ได้ บางคนนิยมนำมาจิ้มกับน้ำผึ้งรับประทาน (พันธิร์, 2546)

สำหรับผลยอซึ่งมีการใช้ประโยชน์กันค่อนข้างแพร่หลาย ส่วนใหญ่นำมาเตรียมในรูปของน้ำผลยอ ในน้ำผลยอสดที่ได้จากการคั้นน้ำผลยอสุก โดยกรองผ่านผ้าขาวบาง มีปริมาณน้ำอยู่สูงถึง 91 % และไม่มีไขมันเป็นส่วนผสม (ตาราง 2.1)

ตาราง 2.1 ส่วนประกอบหลักที่อยู่ในน้ำลูกยอสด

ส่วนประกอบ	ปริมาณ
ความชื้น (% w/w)	91.0
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid) (% w/w)	9.0
เถ้าทั้งหมด (Total ash) (% w/w)	0.56
กรดทั้งหมด (Total titratable acidity) (% v/w)	0.94
กรดที่ระเหยไม่ได้ (Fixed acidity) (% v/w)	0.56
กรดที่ระเหยได้ (Volatile acidity) (% v/w)	0.56
น้ำตาลทั้งหมด (Total sugar) (% w/w)	5.457
ไขมัน (Crude fat) (% w/w)	ไม่พบ
ไนโตรเจนทั้งหมด (Total nitrogen) (% w/w)	0.12
โปรตีนทั้งหมด (Crude protein) (% w/w)	0.73
Formal number	15.0
เส้นใย (Crude fiber) (% w/w)	0.03
วิตามินซี (% v/w)	26.7
แคลเซียม (mg/sample 100 g)	43.7
คาร์โบไฮเดรต (ไม่รวมเส้นใย) (% w/w)	7.68
คาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (% w/w)	7.71
พลังงานความร้อน (kcal/sample 100 g)	33.64

ที่มา : สุพรรณิกา, 2544

ได้มีการศึกษาวิจัยสารสำคัญที่มีประโยชน์ในผลยอ ซึ่งพบสารที่สำคัญต่าง ๆ ดังนี้

### สารสำคัญที่มีในผลยอ

#### 1) Proxeronine, Enzyme Proxeronase และ Xeronine

##### หน้าที่

- ซ่อมแซมผนังเซลล์ของอวัยวะทั่วร่างกาย
- ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ โดยการจับตัวกับกรดอะมิโนในการสร้างโปรตีน และเสริมการทำงานของโปรตีนให้มีคุณภาพสูงสุด
- เร่งการฟื้นตัวของเซลล์ที่เสียหายทั่วร่างกายรวมทั้งตับอ่อน
- เป็นสารตั้งต้นของฮอร์โมน Melatonin ช่วยทำให้การนอนหลับเป็นไปอย่างสมดุล
- ออกฤทธิ์จับกับตัวรับของสารเอ็นเคอร์ฟิน (Endorphin receptor)
- กระตุ้นการสร้างเม็ดเลือดขาว และการสร้างภูมิคุ้มกัน (antibody)

##### ประโยชน์

- ช่วยให้ร่างกายแข็งแรง
- ลดระดับน้ำตาลในเลือดของคนไข้เบาหวาน เนื่องจากมีการซ่อมแซมของตับอ่อน
- ช่วยให้นอนหลับสบาย และสะสมพลังงานได้เต็มที่ ซึ่งมีผลให้เมื่อตื่นนอนร่างกายจะสดชื่น
- ช่วยให้เกิดความรู้สึกที่เป็นสุข และอารมณ์สดชื่นกระปรี้กระเปร่า
- เพิ่มภูมิต้านทานโรคให้ดีขึ้นเพื่อต่อต้านเชื้อโรค ด้านมะเร็ง

#### 2) Scopoletin

##### หน้าที่

- มีผลต่อสมอง และอารมณ์
- ขยายหลอดเลือดโดยตรง และเสริมฤทธิ์กับสาร Serotonin (เซโรโทนิน) ในร่างกายในการควบคุมการหด และขยายตัวของหลอดเลือดแดง
- ต่อด้านการอักเสบ ต่อด้านสารฮิสตามีน (Histamin)
- ต่อด้านเชื้อแบคทีเรีย และเชื้อรา

### ประโยชน์

- ลดความดันโลหิต
- จิตใจสงบ
- ลดอาการปวด และการอักเสบที่เกิดขึ้นทั่วร่างกาย เช่น ปวดศีรษะ ปวดเก๊าท์ เอ็นอักเสบ ฯลฯ ลดอาการของโรคภูมิแพ้
- ป้องกันร่างกายจากการติดเชื้อแบคทีเรีย และเชื้อรา

### 3) สารชนิดอื่น ๆ ในผลอยังมีอีกหลายชนิดที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย (ตาราง 2.2)

ตาราง 2.2 ชนิดของสารสำคัญอื่น ๆ ในผลอย หน้าที และประโยชน์ของสารเหล่านั้น

ชนิดสาร	หน้าที่	ประโยชน์
Anthraquinone	ควบคุมและยับยั้งเชื้อโรคในระบบทางเดินอาหาร เช่น <i>Escherichia Coli</i> , <i>Salmonella</i> , <i>S. aureus</i>	ป้องกันการติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร
Damnacathal	- ยับยั้งการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ปกติไม่ให้ กลายเป็นเซลล์มะเร็ง - ยับยั้งการเติบโตของเซลล์มะเร็ง	ป้องกันการเกิดโรคมะเร็ง
Terpenes	- ช่วยให้เซลล์ขับถ่ายสารพิษต่าง ๆ ออกไปนอกร่างกาย	ชะลอความเสื่อมของเซลล์
Phytonutrients	เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ	ชะลอความเสื่อมของเซลล์ ชะลอความแก่ ป้องกันการตีบตันของหลอดเลือดแดง อัมพาต ลดการเกิดโรคหัวใจ อัมพฤกษ์
Dietary fiber	ช่วยจับโคเลสเตอรอล	ช่วยลดระดับโคเลสเตอรอล และระดับน้ำตาลในเลือด
Amino acids	มีกรดอะมิโน 17 ชนิด	สร้างโปรตีน ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอ

ที่มา : พันธรัตน์, 2546

## 2.2 การลวกผักและผลไม้

การลวกเป็นการถ่ายเทความร้อน โดยการพาและการแผ่รังสีจากน้ำร้อนหรือไอน้ำไปยังวัตถุดิบ วัตถุประสงค์ของการลวก คือ

1) ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ (enzyme inactivation) ในผักผลไม้หลายชนิดมีเอนไซม์พอลิฟีนอลออกซิเดส (polyphenoloxidase, PPO) เมื่อรวมตัวกับสับสเตรตในสถานะที่มีออกซิเจนจะทำให้เกิดสีน้ำตาลในผักผลไม้ ส่งผลให้คุณภาพของผักผลไม้ต่ำลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผักผลไม้อบแห้งหรือแช่เยือกแข็ง ดังนั้นก่อนนำไปอบแห้งหรือแช่เยือกแข็ง ต้องนำมาลวกเสียก่อน เพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งและแช่เยือกแข็งไม่สูงพอที่จะทำลายเอนไซม์ หากผักผลไม้ไม่ผ่านการลวกจะเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะทางด้านประสาทสัมผัส (sensory characteristic) และคุณภาพทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเก็บรักษา

เอนไซม์สำคัญอื่น ๆ ที่มีผลกระทบต่อคุณภาพด้านการบริโภคและคุณค่าทางโภชนาการของผักและผลไม้ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี กลิ่น และรสชาติของผักผลไม้ ได้แก่ เอนไซม์ไลพอกซิจีเนส (lipoxygenase) พอลิกลาแล็กตูโรเนส (polygalacturonase) และคลอโรฟิลเลส (chlorophyllase) และมีเอนไซม์อีก 2 ชนิด ที่พบในผักหลายชนิดที่ทนต่อความร้อนได้ดีคือ เอนไซม์แคแทเลส (catalase) และเพอร์ออกซิเดส (peroxidase) เอนไซม์เหล่านี้ใช้เป็นตัวชี้บ่งประสิทธิภาพของการลวก โดยเฉพาะเอนไซม์เพอร์ออกซิเดสมีความคงตัวมากกว่าเอนไซม์แคแทเลส หากตรวจวัดเอนไซม์ activity ในผักที่ผ่านการลวกแล้วไม่พบ activity ของเอนไซม์เพอร์ออกซิเดส แสดงว่าเอนไซม์อื่น ๆ ถูกทำลายหมดแล้ว

2) จุดประสงค์อื่น ๆ ผลของการลวกยังช่วยทำลาย และลดจำนวนจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่บนผิวของอาหาร ช่วยให้เก็บรักษาอาหารได้นานขึ้น ก่อนนำไปใช้แปรรูปในขั้นตอนต่อไป นอกจากนี้การลวกยังทำให้เนื้อเยื่อของผักผลไม้นุ่มลง ช่วยให้สามารถบรรจุลงในภาชนะบรรจุได้ง่ายและช่วยไล่อากาศออกจากช่องว่างระหว่างเซลล์ของเนื้อเยื่อ

วิธีการลวกอาจทำได้โดยใช้ไอน้ำร้อน หรือจุ่มลงในน้ำเดือดก็ได้ วัตถุประสงค์ที่ผ่านการลวก โดยการใช้น้ำ (steam blanching) จะทำให้มีสารอาหารคงเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์มากกว่าการใช้ น้ำร้อน (hot water blanching) ส่วนการทำให้เย็นลงภายหลังการลวก อาจใช้วิธีพ่นด้วยอากาศเย็น หรือลมเย็น หรือจุ่มลงในน้ำเย็นก็ได้ (นิธิยา, 2544)

### 2.2.1 ผลของการลวกต่อคุณภาพอาหาร

ในการลวกผักและผลไม้สิ่งสำคัญคือ เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการลวก เนื่องจากความร้อนที่มากเกินไปจะทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสนุ่มลง และสูญเสียรสชาติของอาหาร ดังนั้นต้องมั่นใจว่ามีการใช้ความร้อนและเวลาที่เหมาะสมในการทำลายเอนไซม์ ซึ่งการลวกจะมีผลต่อคุณภาพของอาหารต่าง ๆ ดังนี้

1) การสูญเสียสารอาหาร แร่ธาตุและวิตามินที่ละลายได้ในน้ำ และส่วนประกอบอื่น ๆ ที่จะละลายได้ในน้ำจะหายไปในช่วงขั้นตอนการลวก ซึ่งจะสูญเสียเนื่องจากการชะล้างออกไป และถูกทำลายด้วยความร้อน อาจเกิดออกซิเดชันบ้างเล็กน้อย การสูญเสียวิตามินจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความแก่ - อ่อน และพันธุ์ของวัตถุดิบที่ใช้ วิธีการเตรียม การหั่นชิ้น รูปร่างและขนาดชิ้นวัตถุดิบ อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของชิ้นวัตถุดิบ วิธีการลวกที่ใช้ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ลวก และอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อวัตถุดิบที่ใช้ทั้งขั้นตอนการลวกและการทำให้เย็น เป็นต้น

2) สีและกลิ่นรสอาหาร การลวกจะทำให้สีของวัตถุดิบบางชนิดดีขึ้น เพราะเป็นการกำจัดอากาศและฟุ้งละอองที่ผิววนอกออกไป ทำให้ความยาวคลื่นและแสงสะท้อนเปลี่ยนไป เวลาและอุณหภูมิที่ใช้ก็มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารสีในวัตถุดิบ การเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ความเข้มข้น 0.125% โดยน้ำหนัก หรือแคลเซียมออกไซด์ลงในน้ำที่ใช้ลวก จะช่วยป้องกันไม่ให้คลอโรฟิลล์ ถูกทำลาย ทำให้ผักยังคงมีสีเขียวเช่นเดิม

ปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (enzymatic browning reaction) ซึ่งจะเกิดขึ้นของแอปเปิล มันฝรั่ง และมะเขือ ภายหลังจากปอกเปลือกหรือหั่นชิ้น สามารถป้องกันได้โดยจุ่มลงในสารละลายน้ำเกลือ 2% โดยน้ำหนัก ก่อนนำไปลวก หากภาวะที่ใช้ในการลวกถูกต้อง ผักและผลไม้จะมีกลิ่นและรสชาติเปลี่ยนไปน้อยมาก หากภาวะที่ใช้ไม่เหมาะสม เช่น ลวกไม่เพียงพอ จะทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติระหว่างการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อาหารแห้งและอาหารแช่เยือกแข็งได้

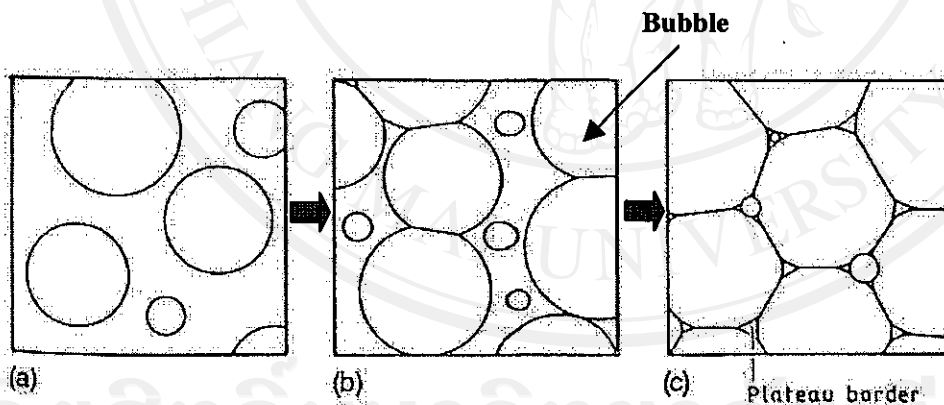
3) ลักษณะเนื้อสัมผัส การลวกมีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ทำให้ผักและผลไม้มีเนื้อเยื่อนุ่ม ช่วยให้บรรจุลงในภาชนะบรรจุได้ง่าย แต่สำหรับอาหารอบแห้งและแช่เยือกแข็ง การลวกทำให้สูญเสียลักษณะเนื้อสัมผัสไปด้วย วัตถุดิบบางชนิดอาจรักษาลักษณะเนื้อสัมผัสของเนื้อเยื่อให้คงแข็งแรงอยู่ได้ โดยการเติมแคลเซียมคลอไรด์ลงในน้ำที่ใช้ลวก แต่ผลไม้น้ำไปแช่เยือกแข็งจะไม่ผ่านการลวก

### 2.3 การเกิดโฟม (Foaming formation)

โฟมเป็นระบบคอลลอยด์ชนิดหนึ่งที่เป็นารผสม และอยู่ร่วมกันของก๊าซกับของเหลวหรือ ก๊าซกับของแข็ง โดยที่ก๊าซเป็นอนุภาคที่กระจายตัว (disperse phase) อยู่ในของเหลวหรือของแข็ง ซึ่งเป็นส่วนต่อเนื่อง (continuous phase) และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของฟองอากาศประมาณ  $10^3$  เมตร (Fennema, 1996) โดยแบ่งโฟมในเชิงคุณภาพออกเป็น 2 ประเภท (Dickinson, 1992) ได้แก่

1. Bubbly foams เช่น ไอศกรีม
2. Polyhedral foams โครงสร้างของฟองอากาศมีการจัดเรียงคล้ายรวงผึ้ง เช่น ฟองเบียร์

อาหารที่มีคุณสมบัติการเกิดโฟมต่ำจำเป็นต้องเติมสารก่อให้เกิดโฟม สารดังกล่าวนอกจากช่วยให้เกิดโฟมแล้ว ยังช่วยรักษาสภาพโฟมให้คงตัวอยู่ได้นานไม่เกิดการยุบตัว และการแตกของ ฟองอากาศ โดยเพิ่มความแข็งแรงให้กับ lamellae ซึ่งเป็นชั้นของเหลวที่ชั้นกลางระหว่างฟองอากาศ ซึ่งกระจายตัวอยู่ในของเหลว และเมื่อจำนวนฟองอากาศเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จากการตีปั่นจนชั้นของ lamellae ทั้ง 3 ด้านมาบรรจบกันเป็นรูปปริซึมซึ่งจะเรียกปริซึมนี้ว่า Plateau border (Fennema, 1996) (ภาพ 2.1)



ที่มา : ดัดแปลงจาก Fennema, 1996

ภาพ 2.1 ลักษณะของฟองอากาศที่แทรกตัวอยู่ในของเหลวตั้งแต่เริ่มตีปั่นจนเกิดโฟมที่สมบูรณ์

(a- c) และ Plateau border

ปกติโมเลกุลของสารที่ก่อให้เกิดโฟมนั้นประกอบไปด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophile) ซึ่งเป็นพวกอนุโมลอิสระที่มีประจุอยู่เช่น  $\text{OH}^-$ ,  $\text{COO}^-$ ,  $\text{HN}_2^+$  และ  $\text{N}^+$  เป็นต้น และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ

(hydrophobe) ซึ่งเป็นส่วนของอนุพันธ์คาร์บอนอะตอมที่มีสายยาว ๆ (aliphatic carbon chain) (สมบัติ, 2529) โดยคุณสมบัติที่สำคัญของสารที่ก่อให้เกิดโฟม คือ

1. สามารถลดแรงตึงผิว (interfacial tension) ของของเหลวได้อย่างรวดเร็ว
2. สามารถสร้าง viscoelastic film ที่ต้านทานการยุบตัวหรือการแตกของฟองอากาศได้ดี (Dickinson, 1995)

ของเหลวที่บริสุทธิ์จะให้โฟมที่ไม่คงตัว ฟองอากาศที่ใส่ลงไปได้ผิวจะแตกตัวเมื่อของเหลวที่กั้นระหว่างฟองได้ระบายออกไป การใส่สารที่ก่อให้เกิดโฟมจะช่วยให้ฟองอากาศอยู่ตัวดีขึ้น สารชนิดนี้จะเข้าไปอยู่ในผิวสัมผัสระหว่างฟองอากาศ และของเหลวในลักษณะของชั้นบาง ๆ โดยปกติสารที่ก่อให้เกิดโฟมจะมีคุณสมบัติของสารช่วยกระจายไขมัน อย่างไรก็ตามโฟมจะแตกตัวได้ง่ายเมื่อมีการระเหยของของเหลว มีการสัมผัสกับฝุ่นละออง หรือมีการแพร่กระจายของแก๊ส (โดยเฉพาะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์) ความคงตัวของโฟมเหมือนกับความคงตัวของอิมัลชัน ฉะนั้นสารอิมัลซิไฟเออร์ต่าง ๆ จึงช่วยให้เกิดโฟมได้ดี โดยสารเหล่านี้จะทำให้เกิดชั้นของเหลวกั้นระหว่างฟองอากาศไว้ ความคงตัวของโฟมจะขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นของเหลวนี้ และอัตราความเร็วของการระบายของเหลวออกจากผิวของฟองอากาศ (Jeronimidis, 1988 : ฌรงค์, 2538)

#### ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของโฟม

1. การทำให้ของเหลวมีความหนืดสูงขึ้นจะทำให้โฟมมีความคงตัวมากขึ้น สารที่ช่วยเพิ่มความหนืดส่วนใหญ่เป็นพวกน้ำตาล และสารไฮโดรคอลลอยด์ สารพวกนี้นอกจากจะเพิ่มความหนืดแล้วยังลดแรงตึงผิวอีกด้วย
2. ของเหลวที่มีแรงตึงผิวดำ จะช่วยทำให้ของเหลวมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นรอบ ๆ ฟองอากาศ โดยไม่บีบตัวให้ฟองอากาศแตกเร็วเกินไป ดังนั้นการเปลี่ยนแรงตึงผิวของฟิล์มสามารถทำให้เกิดโฟมหรือเกิดการยุบตัวของโฟมได้
3. ของเหลวต้องมีความดันไอต่ำ เพราะทำให้ของเหลวกลายเป็นไอได้ยาก หรือของเหลวจะระเหยได้ช้า ถ้าของเหลวมีความดันไอสูงจะกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว ทำให้ฟิล์มที่ล้อมรอบฟองอากาศบางลง และโฟมจะยุบตัว (bubble collapse)
4. ขึ้นอยู่กับการเกิดฟิล์มของอนุภาคฟองอากาศ โฟมที่มีความคงตัวฟิล์มที่เกิดขึ้นต้องมี degree of surface elasticity และ surface viscosity สูง
5. ขึ้นอยู่กับสารที่จะช่วยให้โฟมมีความแข็งตัว (rigidity) ที่ระหว่างผิวของก๊าซ และของเหลว เช่น โปรตีนที่มีอยู่ในอาหาร เมื่อทำให้เกิดโฟมโดยการตี โปรตีนจะเสียสภาพขณะตีจะช่วยทำให้โฟมมีความแข็งตัว และคงตัวมากขึ้นด้วย (นิธิยา, 2543)



### วิธีการตรวจสอบคุณภาพของโฟม

เนื่องจากคุณภาพของโฟมที่เกิดจากการตีปั่นส่วนผสม มีผลต่อสภาวะการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง ดังนั้นจำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของโฟมที่ได้

#### 1) การวัดความหนาแน่นของโฟม

บรรจุโฟมลงในจานอะลูมิเนียมที่มีปริมาตร 40 มิลลิลิตรด้วย spatula หรือกระบอกลีดพยายามไม่ให้มีโพรงอากาศภายในถ้วย เกลี่ยโฟมที่ล้นบริเวณปากถ้วย และเช็ดบริเวณรอบนอกถ้วยไม่ให้มีเศษโฟมเหลือติดอยู่ ชั่งน้ำหนักที่ได้ต่อปริมาตรที่ทำการวัด (LaBelle, 1966 : รัตนา, 2547)

#### 2) การวัดความคงตัวของโฟม

บรรจุโฟมลงในกรวยกรองที่ทราบปริมาตร ปิดฝา เพื่อป้องกันการระเหย โดยรองรับของเหลวที่แยกตัวออกมาด้วยกระบอกลงขนาด 100 มิลลิลิตร ในช่วงเวลา 60 นาที บันทึกปริมาตรของของเหลวที่แยกออกมาทุก ๆ 15 นาที (Sauter and Montoure, 1972)

#### 3) การวัดค่า overrun ของโฟม (Karim and Wai, 1999)

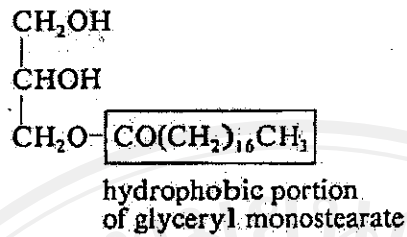
ชั่งน้ำหนักส่วนผสม (น้ำผลไม้+สารก่อโฟม) ที่มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ซึ่งบรรจุในกระบอกลงขนาด 100 มิลลิลิตร และชั่งน้ำหนักโฟมที่ปริมาตรเดียวกัน โดยทำการชั่งซ้ำ 3 ครั้งต่อการผสม นำค่าที่ได้ทั้ง 3 ชั่งมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปใช้ในการคำนวณ

สูตรการคำนวณ % overrun (Kirk and Sawyer, 1991)

$$\% \text{ overrun} = \frac{(\text{Volume of foam} - \text{Volume of mixture}) \times 100}{\text{Volume of mixture}}$$

สารที่ก่อให้เกิดโฟมที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่

1) กลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (glyceryl monostearate) กลีเซอรอลโมโนสเตียเรตเป็นโมโนกลีเซอรอลที่ได้จากการเอสเทอร์รีไฟ หมู่ไฮดรอกซิลของกลีเซอรอลด้วยกรดสเตียริก (stearic acid) โดยมีส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) (ภาพ 2.2)



ที่มา : คัดแปลงจาก Fox and Cameron, 1970

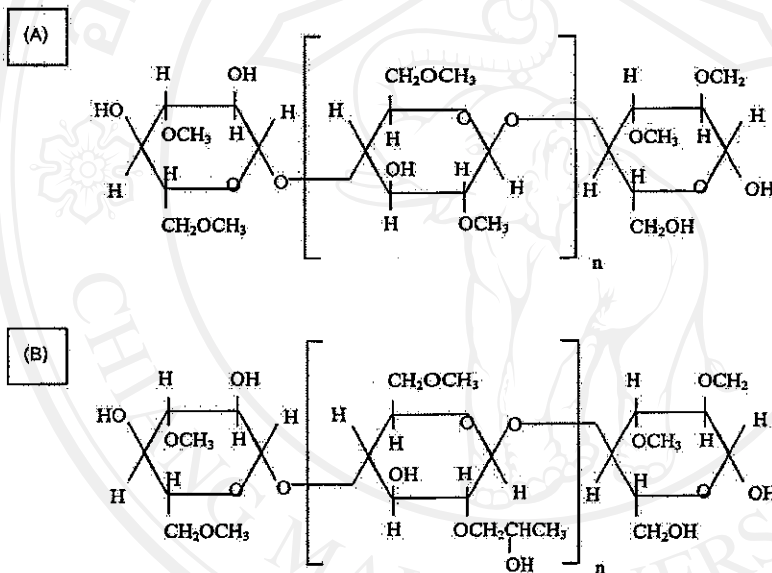
ภาพ 2.2 โครงสร้างทางเคมีของ GMS

2) เมโทเซล (Methocel) เป็นสารช่วยให้โพลีเมอร์ตัวชนิดหนึ่ง โดยมีสายโพลิเมอร์ของเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบเคมีหลัก ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา ลักษณะเป็นผงที่มีความบริสุทธิ์สูง และให้พลังงานต่ำ ไม่ให้กลิ่นรสกับอาหารที่ถูกเติมลงไป และใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

Methocel สามารถละลายน้ำได้ มีคุณสมบัติเป็น สารยึดเกาะ (binders) สารช่วยให้เกิดการแขวนลอย (suspension agent) สารช่วยให้มีลชั้นคงตัว (emulsifier) สเตบิลไลเซอร์ (stabilizer) และสารป้องกันไม่ให้สารแขวนลอยแยกตัว (protective colloid) นอกจากนี้ยังแสดงคุณสมบัติเป็นสารหล่อลื่น รักษาความชื้นให้กับอาหาร และให้ความคงตัวกับอาหารระหว่างการแช่แข็งและละลายน้ำแข็ง ที่สำคัญคือ Methocel เป็นกัมที่มีคุณสมบัติเป็นเจลสามารถเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ (thermally gel) สามารถทำหน้าที่เป็น ตัวลดแรงตึงผิว (surfactant) ทำให้เกิดสภาพฟิล์มขึ้น (film forming) ในอาหารได้ ทั้งที่อุณหภูมิสูงและต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีในการเป็นสารช่วยให้โพลีเมอร์ในอาหารที่ต้องการทำแห้งแบบโพร และสามารถแบ่ง Methocel ตามชนิดของ cellulose ethers ภายในองค์ประกอบทางเคมีได้เป็น 2 ชนิดคือ methyl cellulose (MC) และ hydroxypropyl methyl cellulose (HPMC) โครงสร้างทางเคมีของ Methocel ทั้ง 2 ชนิด (ภาพ 2.3) มีโครงสร้างเป็น polymeric backbone cellulose ซึ่งมีโครงสร้างพื้นฐานคือ anhydroglucose unit โดยความแตกต่างของ Methocel ชนิดต่าง ๆ เกิดจากการผันแปรสัดส่วนของหมู่แทนที่ที่เป็น hydroxypropyl กับ methoxyl สัดส่วนดังกล่าวนี้จะทำให้ความสามารถในการละลาย ความหนืด และอุณหภูมิเริ่มเกิดเจล (thermal gel point) ของสารละลาย Methocel แตกต่างออกไป

Methocel ละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องไม่ได้ แต่สามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำร้อน ซึ่งต้องมีอุณหภูมิของน้ำสูงเกินค่าเฉพาะค่าหนึ่ง หลังจาก Methocel กระจายตัวในน้ำและทุกอนุภาคเปียกแล้ว การละลายของ Methocel จะเกิดขึ้น ต่อเมื่อลดอุณหภูมิของน้ำให้ต่ำลง เมื่อโมเลกุลน้ำจับกับสายโพลิเมอร์ Methocel อย่างสมบูรณ์ ทำให้เกิดการคายตัวของสายโพลิเมอร์ Methocel จากที่

ซับซ้อนเมื่อเริ่มต้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสายโพลิเมอร์จะปล่อยโมเลกุลของน้ำออกมา ทำให้ความหนืดลดลงไปจนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึงจุดเริ่มเกิดเจล (incipient gelation temperature) สายโพลิเมอร์ที่ปราศจากน้ำนี้จะจับกันและสารละลายเริ่มเกิดเจล ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ แต่มีค่าความแข็งแรงต่อไปได้อีกเพียงเล็กน้อย หลังจากนั้นปฏิกิริยาจะเริ่มผันกลับและความหนืดจะลดลงอย่างรวดเร็ว จนในที่สุดกราฟลดลงมาจนบรรจบกราฟเดิมเมื่อเริ่มต้นให้ความร้อน โดยกลไกนี้สามารถทำซ้ำได้อีกหลายครั้งตามต้องการ เพราะเจลของ Methocel มีคุณสมบัติผันกลับได้ (reversible) (กัลยาณี, 2540)



ที่มา : Dow Chemical Company, 1962

ภาพ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของ Methocel ชนิด methylcellulose (A) และชนิด hydroxypropyl methylcellulose (B)

ในการทำแห้งอาหารที่มีปริมาณของแข็งน้อย ควรมีการเติมสารที่เพิ่มปริมาณของแข็ง ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งให้กับอาหารก่อนทำแห้ง รักษากลิ่นของอาหาร มีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ ไม่มีกลิ่นรส และสามารถละลายได้ดี เช่น มอลโทเด็ทซ์ทริน

**มอลโทเด็กซ์ทริน (maltodextrin)** มอลโทเด็กซ์ทริน  $[(C_6H_{10}O_5)_N \cdot H_2O]$  เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซ์สตาร์ชโดยใช้ความร้อน และกรดหรือเอนไซม์ หรือใช้ควบคู่กันทั้งกรดและเอนไซม์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการไฮโดรไลซิสได้แก่ D-glucose maltose oligosaccharides และ polysaccharides (ภาพ 2.4) โดยมีค่าสมมูลเดกซ์โตรส (dextrose equivalent หรือ DE) ซึ่งเป็นค่าการไฮโดรไลซ์ ต่ำกว่า 20 (โดยตรวจสอบจาก total reducing power ของน้ำตาลทั้งหมด) มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ระหว่าง polysaccharides และ oligosaccharides (Chronakis, 1988)

มอลโทเด็กซ์ทริน มีลักษณะเป็นผงสีขาว มีความหวานเล็กน้อยหรือไม่หวานเลยขึ้นอยู่กับค่า DE มีความชื้น 3 – 5 % มีความหนาแน่นปรากฏ (bulk density) อยู่ในช่วง 0.31 – 0.61 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถละลายได้ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง สารละลายที่ได้อาจใสหรือขุ่นขึ้นกับชนิดของมอลโทเด็กซ์ทรินที่นำมาใช้ สารละลายที่ได้มีคุณสมบัติทางด้านความเป็นเนื้อ (body) และมีความหนืดที่สม่ำเสมอ เนื้อสัมผัสเรียบเนียน มีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ (low hygroscopicity) โดยเฉพาะพวกที่มีค่า DE ต่ำ ๆ มีจุดเยือกแข็งคงที่ และสามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลได้เป็นอย่างดีนอกจากนั้นยังสามารถละลายได้ในอาหารที่เป็นของเหลวเช่น ชุป นม น้ำผลไม้ เป็นต้น โดยอาจเติมในลักษณะที่เป็นผงโดยตรงหรือนำมาละลายในน้ำก่อน (Furia, 1972)

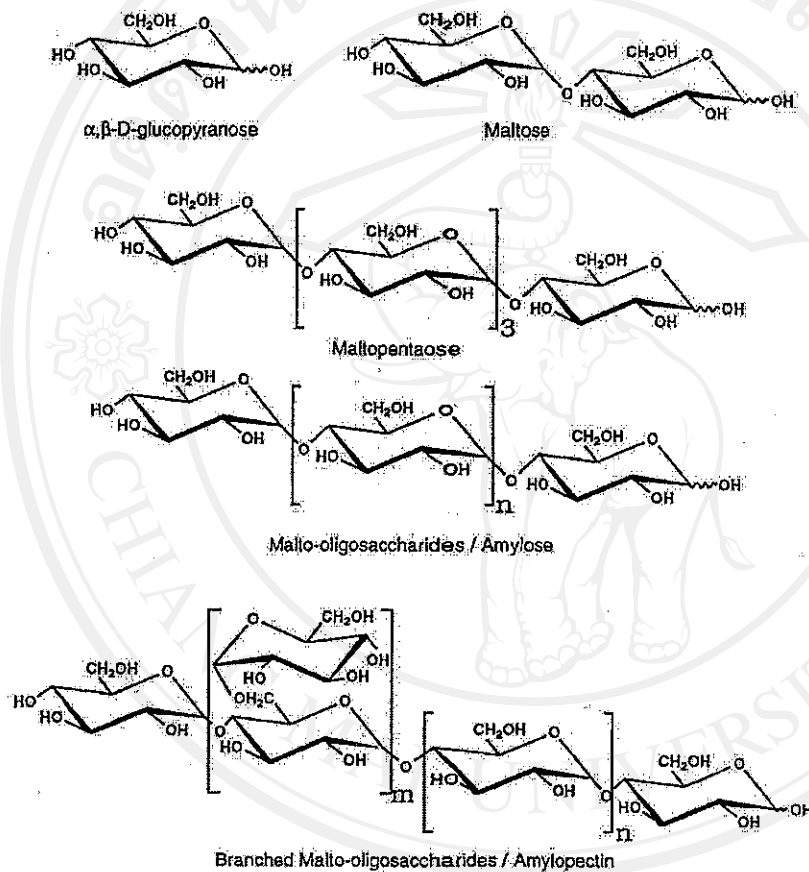
ในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้มอลโทเด็กซ์ทรินในหลายหน้าที่ เช่น ใช้ใน salad dressing เพื่อแทนการใช้ไขมัน ใช้มอลโทเด็กซ์ทรินควบคู่กับ cellulose gum เพื่อป้องกันการเกิดผลึกขนาดใหญ่เมื่อทำการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ ใช้เพิ่มปริมาณของแข็งให้กับวัตถุดิบก่อนที่จะนำเข้าเครื่องทำแห้ง และยังช่วยลดการดูดความชื้นกลับในผลิตภัณฑ์ผงซึ่งมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง เช่น น้ำผลไม้ผง เป็นต้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้สามารถไหลได้โดยสะดวก (Chronakis, 1988)

#### 2.4 การผลิตเครื่องดื่มผงโดยวิธีอบแห้งแบบโฟมแมท (Production of powder beverage by foam-mat drying)

การผลิตเครื่องดื่มผง โดยการเติมอากาศหรือก๊าซอื่นแก่น้ำผลไม้หรือของเหลวเข้มข้นเพื่อก่อให้เกิดโฟมที่มีความคงตัวก่อนนำไปอบแห้ง เรียกว่าการทำแห้งแบบนี้ว่า “Foam-mat drying” (Morgan, 1961)

**การทำแห้งแบบโฟมแมท (Foam-mat drying)** การทำแห้งแบบโฟมแมท เป็นกระบวนการทำแห้งที่ต้องทำให้อาหารเหลวที่ต้องการทำให้แห้ง มีลักษณะเป็นโฟมที่คงตัวในระหว่างการทำแห้ง กระบวนการทำให้เกิดโฟมทำได้โดยการนำอาหารเหลวมาตีโดยใช้เครื่องตีความเร็วสูงเพื่อเป็นการเติมอากาศเข้าไปในอาหาร อาหารบางชนิด เช่น นม ไข่ขาว เมื่อนำมาตีสามารถเกิด

โพลีแซ็กคาไรด์ เนื่องจากอาหารเหล่านี้มีองค์ประกอบของ โปรตีนและสาร โมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งมีสมบัติ ทำให้เกิดโฟมและรักษาโฟมให้คงทนแข็งแรง แต่อาหารบางชนิด เช่น น้ำส้มคั้น จำเป็นต้องมีการ เติมน้ำตาลเพื่อให้เกิดโฟมลงไปด้วย จึงจะได้โฟมที่คงทน จากนั้นโพลีแซ็กคาไรด์ที่ได้จะถูกนำไปเปลี่ยนให้เป็น แผ่นบางบนถาด หรือสายพานแล้วจึงนำไปทำแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้หลังจากการอบจะถูกนำไปกด เป็นผง

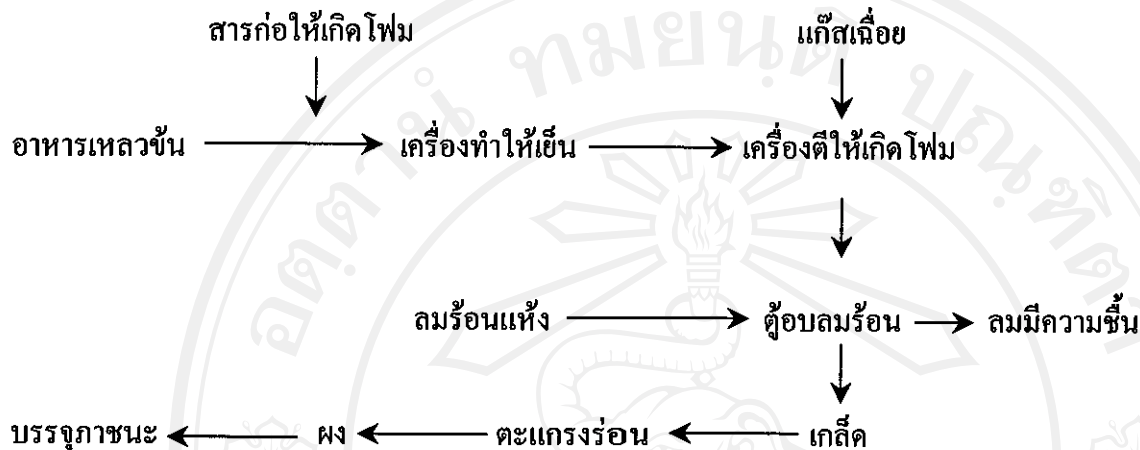


ที่มา : Kearsley and Dziedzic, 1995

ภาพ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของส่วนประกอบหลักในส่วนผสมมอลโทเด็กซ์ทริน (maltodextrin mixture)

เนื่องจากการทำแห้งแบบโพลีเมทอนั้น ต้องนำโพลีแซ็กคาไรด์ของอาหารเหลวมาหยอดเป็นเส้นยาว ลงบนถาดหรือสายพานก่อนนำเข้าอบแห้ง ลักษณะของโพลีแซ็กคาไรด์จะเป็นโพลีแซ็กคาไรด์ที่มีลักษณะเป็นรูพรุน ที่ประกอบด้วยฟองอากาศรูปทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 24 ไมครอนจำนวนมาก กระจายอยู่ในชั้นของเหลวคล้ายรังผึ้ง มีความหนาแน่นของโพลีแซ็กคาไรด์มากที่สุด 0.6 กรัมต่อมิลลิกรัม และ

ความหนาแน่นต่ำที่สุด 0.1 กรัมต่อมิลลิลิตร ทำให้โฟมมีความแข็งแรง ไม่ยุบตัวระหว่างการทำแห้ง ส่งผลให้แห้งเร็วและผลิตภัณฑ์ที่ได้มีลักษณะเปราะแตกหักง่ายสะดวกต่อการชูดออกจากถาดหรือสายพาน (รัตนานา, 2547)



ที่มา : ดัดแปลงจาก Brown, A.H., Vanardel, W.B., and Morgan, A.I., Jr., 1973 : รัตนานา, 2547

ภาพ 2.5 กระบวนการทำแห้งแบบโฟมเมท

#### ข้อดีของกระบวนการทำแห้งแบบโฟมเมท

1. ใช้ได้ดีกับอาหารเหลวหรืออาหารกึ่งเหลวที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบอยู่สูง โดยยังสามารถรักษาสีและกลิ่นไว้ได้ ขณะที่กระบวนการทำแห้งอื่น ๆ เช่น การทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum drying) ไม่สามารถทำได้
2. เป็นการทำแห้งที่ใช้ระยะเวลาอบแห้งน้อยมาก น้อยกว่ากระบวนการทำแห้งอื่น ๆ ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำกว่าวิธีอื่น
3. คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารแห้งที่ได้ สามารถรักษาสี กลิ่น และความสามารถในการคืนรูปไว้ได้ดีกว่า การทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบอื่น ๆ และมีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying)
4. ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้มีลักษณะเป็นผง มีน้ำหนักเบา และสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำ (รัตนานา, 2547)

#### คุณสมบัติของอาหารผงที่มีผลต่อการคืนรูป

1. ความสามารถในการดูดซึมของผิวอาหาร ถ้ามีพื้นที่ผิวมาก ซึ่งรวมถึงขนาดของอนุภาคที่เพิ่มขึ้นจากการเกาะกันเป็นก้อนเล็ก (agglomerate) จะช่วยในการดูดซึมของเหลวได้ดี

2. การจมน้ำ ขนาดของอนุภาคที่ใหญ่และความหนาแน่นที่สูง จะทำให้จมน้ำได้เร็ว
3. การกระจายตัว อาหารผงที่มีการกระจายตัวดี จะมีความสามารถในการดูดซึมของผิวอาหาร และคุณสมบัติการจมน้ำได้ดี
5. ความสามารถในการละลาย ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี และลักษณะทางกายภาพของอาหารแต่ละชนิด ซึ่งมีผลโดยตรงจากสภาวะในการทำแห้ง (Brennan, 1994)

### อุปกรณ์ที่ช่วยในการทำแห้งแบบโฟมเมท

#### 1) เครื่องอบแห้งแบบสายพาน (Belt dryer)

โฟมจะถูกเกลี่ยลงบนสายพานสแตนเลส และเคลื่อนที่ผ่านลมร้อนหรือไอน้ำขึ้นกับชนิดของสายพาน โดยสายพานที่มีรูจะเคลื่อนที่ผ่านลมร้อน ในขณะที่สายพานที่ไม่มีรูจะเคลื่อนที่ผ่านทั้งลมร้อนและไอน้ำ หลังจากนั้นต้องทำให้อาหารเย็นลงโดยใช้อากาศแห้ง ซึ่งจะทำให้ลอกแผ่นโฟมอาหารออกได้ง่ายและสมบูรณ์ ก่อนจะถึงส่วนที่แยกโฟมออกจากสายพานซึ่งเป็นส่วนที่ควบคุมความชื้นไว้ (Johnson and Peterson, 1974)

#### 2) เครื่องอบแห้งแบบถาด (Tray dryer)

ระบบการอบแห้งชนิดนี้ จะใช้ถาดหรือวัตถุอื่นที่สามารถให้ผลิตภัณฑ์อาหารสัมผัสกับอาหารร้อนในห้องที่ปิด (enclosed space) ถาดที่วางผลิตภัณฑ์ในตู้ (cabinet) หรือห้องปิด จะสัมผัสกับอากาศร้อน เพื่อให้การทำแห้งดำเนินต่อไป การเคลื่อนที่ของอากาศเหนือผิวของผลิตภัณฑ์ด้วยความเร็วสูง เพื่อให้แน่ใจว่าการถ่ายเทมวลและความร้อนดำเนินไปด้วยประสิทธิภาพสูง การปรับปรุงเครื่องอบแห้งแบบ cabinet จะทำโดยการติดตั้งสูญญากาศภายในห้อง เพื่อรักษาความดันไอในที่ว่างรอบ ๆ ผลิตภัณฑ์ให้ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ การลดความดันเช่นนี้จะทำให้อุณหภูมิที่ความชื้นของผลิตภัณฑ์ระเหยลดลงด้วย ซึ่งจะทำให้การปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีขึ้น โดยทั่วไปเครื่องอบแห้งแบบถาด จะทำงานในลักษณะเป็นกะ และมีข้อเสียในเรื่องการอบแห้ง ผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในระบบ จึงต้องมีการหมุนถาดของผลิตภัณฑ์ เพื่อช่วยให้การปรับปรุงการทำแห้งให้สม่ำเสมอขึ้น (รุ่งนภา, 2535)

#### 3) เครื่องอบแห้งแบบคราเตอริง (Cratering dryer)

ตู้อบแบบนี้ดัดแปลงจากตู้อบแบบถาด (Tray dryer) วิธีนี้โฟมถูกทำให้มีความหนาประมาณ  $1/6 - 1/18$  นิ้ว บนถาดสแตนเลสที่มีรูพรุน ถาดสแตนเลสบรรจุโฟมเคลื่อนที่เข้าสู่ตู้อบลมร้อน อากาศร้อนจากด้านล่างของเตาเป่าผ่านรูพรุนของถาดขึ้นมาที่ความเร็วลมประมาณ 350 - 400 ฟุตต่อนาที โดยมีทิศทางการเคลื่อนที่ของถาด เมื่อถาดเคลื่อนที่ขึ้นสู่ชั้นบนของตู้อบ อากาศร้อนถูกเป่าเข้าสู่ระหว่างทางที่ถาดเคลื่อนที่ขึ้นสู่ชั้นบนด้วยความเร็ว 30 ฟุตต่อนาที และที่ชั้นบนด้วยความเร็ว 60 ฟุตต่อนาที ในลักษณะสวนทางกับการเคลื่อนที่ของถาด การจัดเรียงแบบนี้ทำให้น้ำระเหยออก

ไปอย่างรวดเร็ว ในช่วงแรกประมาณ 80 % และจะมีการสูญเสียความชื้นที่เหลือในช่วงที่กระแสมเคลื่อนที่สวนทางกับการเคลื่อนที่ของถาด จากนั้นถาดอาหารถูกส่งมาในส่วนของการทำงานให้เย็นโดยเป่าลมเย็นที่กำจัดความชื้นในอากาศแล้ว เพื่อสะดวกต่อการเอาโฟมออกจากถาด (รัตนา, 2547)

ในช่วงแรกของการพัฒนากระบวนการทำแห้งแบบโฟมเมท สารก่อให้เกิดโฟมที่สำคัญคือ glyceryl monostearate (GMS) ซึ่งทำให้เกิดโฟมที่คงตัวในอาหารหลายชนิด ได้แก่ แอปเปิ้ลคอกเทล แช่แข็ง น้มน้ำมันเข้มข้น กากน้ำตาล ถั่ว ลูกสาเก ฝรั่ง ลูกพรุน สตรอเบอรี่ผสมน้ำตาล น้ำตาลซูโครสผสมเจลาติน น้มน้ำเชื่อมเข้มข้น และอาหารอื่น ๆ อีกหลายชนิดแสดงในตาราง

2.3-2.4

ตาราง 2.3 ชนิดของสารก่อโฟมในน้ำผลไม้เมืองร้อน

Product	°Brix	Pulp (%)	Foaming agent	Concentration (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )
Pineapple	45	10	A, B	0.1,0.06	0.28
Passion fruit	17	40	A, B	0.5,0.25	0.33
Guava puree	8	52	A, B	0.1,0.25	0.31
Mango puree	14	-	C	1.0	0.33
Papaya puree	14	-	C	0.5	0.37

Foaming agent :  
 A = modified soybean protein (Gunther D-100)  
 B = methocel 90 HG 400 cps.  
 C = glycerol monostearate

ที่มา : ดัดแปลงจาก Bates, 1964

## 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลขอยับเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าต่อสุขภาพมากซึ่งในน้ำผลขอยับนั้นมีแร่ธาตุ โปแตสเซียมอยู่ 56.3 mEq/L มีค่าใกล้เคียงกับที่พบในน้ำส้ม และน้ำมะเขือเทศ (Mueller *et al.*, 2000) นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งของวิตามินซีซึ่งมีอยู่ 155 มิลลิกรัมของกรดแอสคอบิกต่อ 100 กรัม (Shovic and Whistler, 2001) และ terpenes (Peerzada *et al.*,1990)



ตาราง 2.4 สภาวะที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์บางชนิดในการทำแห้งแบบโฟมเมท

Commodity	Soluble Solids (%)	Additive <sup>a</sup>	Additive (% dsb)	Foaming Temp (°F)	Foam Density (g/ml)	Foaming Time (min)
Apricot	32	A	1.1	32	0.43	10
Apple juice	47.2	C&D	0.10, 0.02	100	0.15	10
Applesauce	20	E	1.5	70	0.25	10
Frozen banana	21	A	1.0	40	0.40	20
Canned banana	18	A&L	1.0, 10.0	70	0.40	20
Beef extract	54	J	-	70	0.32	8
Coffee extract	47	C	1.0	70	0.20	10
Coffee extract	30	K, G&A	1.0, 1.0, 1.0	70	0.30	15
Flour, all purpose	35	H	1.0	70	0.25	20
Grape juice concentrate	46	B&I	1.0, 0.2	70	0.25	4
Grapefruit juice	39	B&I	2.0, 0.45	70	0.17	11
Lemon juice concntrate	60	A	1.0	70	0.25	5
Milk, whole	42	J	-	70	0.35	10
Molasses	85	A	0.3	70	0.50	3
Orange juice	50	B&I	0.8, 0.2	40	0.30	20
Pea	18	A	5.5	70	0.40	15
Pear	13	A	7.7	70	0.21	5
Pineapple juice	46	B	1.0	70	0.28	2
Potato, white	19	A	1.6	70	0.52	3
Squash	12	F&G	2.6, 0.2	70	0.55	35
Prune	35	A	0.5	70	0.40	9
Prune whip	34.5	E	2.3	70	0.36	5
Soya bean milk	24.4	B&H	4.0, 0.5	32	0.23	10
Strawberry + 1/3×sugar	40	A	1.5	70	0.28	10
Sucrose	70	B	1.0	70	0.31	5
Sucrose+10% gelatin	33	A	1.0	100	0.14	5
Sucrose+6% pectin	53	B	1.0	70	0.29	5
Tea	45	C	1.0	70	0.25	5
Tomato paste	30	A	1.0	70	0.40	4

<sup>a</sup> Additives:

- A. Glyceryl monostearate
- B. Solubilized soya protein
- C. Sucrose monopalmitate
- D. Sucrose monolaurate

E. Egg albumin

F. Sorbitan monostearate

G. Polyxyethylena sorbitan monostearate

H. Methylcellulose, 8000 cps

I. Methylcellulose, 10 cps

J. No additive

K. Guar gum

L. Tapioca starch

ที่มา : Hart *et al.*, 1963

Sang *et al.* (2000) ได้ทำการวิเคราะห์หาสารเคมีในผลขอที่ผ่านการทำแห้งแบบเยือกแข็ง โดยการสกัดแบบ butanol fraction พบสาร glycoside ชนิดใหม่ ได้แก่ 2,6-di-O-(beta-D-glucopyransyl)-1-O-nonanoyl-beta-D-glucopyranose, 6-O-(beta-D-glucopyransyl)-1-O-octanoyl-beta-D-glucopyranose, 6-O-(beta-D-glucopyransyl)-1-O-hexanoyl-beta-D-glucopyranose และ 3-methylbut-3-enyl 6-O-beta-D-glucopyransyl-beta-D-glucopyranoside เช่นเดียวกับ Wang *et al.* (2000) ได้ทำการวิเคราะห์หาสารในผลขอโดยใช้วิธี MS (Mass Spectrometry) และ NMR (Nuclear magnetic resonance) จากผลการทดลองพบสาร glycoside เช่นเดียวกับผลการทดลองของ Sang *et al.* (2000) แต่ในรายงานไม่ได้กล่าวถึง 2,6-di-O-(beta-D-glucopyransyl)-1-O-nonanoyl-beta-D-glucopyranose และยังได้มีการวิเคราะห์หาสารให้กลิ่นในผลขอสุกโดยใช้วิธี Solid Phase Microextraction และ Purge-and-Trap ในการแยกสารให้กลิ่น และใช้ GC-MS (Gas chromatography-Mass Spectrometry) และ GCO (Gas chromatography organoleptic) ในการระบุชนิดของสารประกอบให้กลิ่นที่แยกได้ในผลขอสุก พบสารประกอบให้กลิ่นที่สำคัญได้แก่ octanoic acid hexanoic acid methyl ester ethyl esters และยังมีสารประกอบพวก sulfur methanethiol และ dimethyldisulfide (Wei *et al.*, 2001)

ผลิตภัณฑ์เส้นใยอาหารจากผลขอมีการผลิตโดยนำผลขอมาล้างให้สะอาด และทำการแยกน้ำและเนื้อออกจากกัน โดยเนื้อที่ผ่านการแยกน้ำออกแล้วจะถูกพาสเจอร์ไรซ์และเข้าสู่กระบวนการทำแห้ง และนำไปผสมกับน้ำ สารให้ความหวาน สารให้กลิ่น สารสี และส่วนผสมที่มีคุณค่าทางโภชนาการ (Wadsworth *et al.*, 2001) นอกจากนี้เนื้อของผลขอที่สามารถนำมาแปรรูปแล้วยังสามารถนำส่วนอื่น เช่น เมล็ดมาสกัดน้ำมันหอมระเหย (essential oil) โดยนำเมล็ดของผลขอที่ถูกด และผ่านการทำแห้งซึ่งมีความชื้นน้อยกว่า 10% มารีดเพื่อแยกน้ำมันออก ส่วนกากที่เหลือนำมาทำละลายในเฮกเซน (hexane) หลังจากนั้นให้ความร้อนจนสมบูรณ์ และทำการระเหยตัวทำละลายออกไปที่หลัง น้ำมันที่ได้นั้นจะนำมาผ่านกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ (refining) ฟอกสี (bleaching) และกำจัดกลิ่น (deodorizing) เพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระ และสารที่ไม่ต้องการออกไป นอกจากนี้ยังมีการเติม Tocopheryl acetate Propyl gallate TBHQ (Tert-butyl hydroquinone) หรือ BHT (Butylated hydroxy toluene) ในระหว่างการผลิต และการบรรจุ เป็นสารกันหืนในน้ำมันอีกด้วย

Bissett *et al.* (1963) ศึกษาการทำน้ำส้มผองโดยวิธีอบแห้งแบบโฟมเมท น้ำส้มมีความเข้มข้น 59 Brix<sup>o</sup> ที่ถูกทำเข้มข้นด้วยวิธีแช่แข็ง เตรียมความเข้มข้นของ modified soya protein 16.7% และ methylcellulose 4.8% ผสมกันในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 คิดเป็น 0.9% ของปริมาณของแข็งทั้งหมด อบแห้งที่อุณหภูมิ 160 170 และ 180 องศาฟาเรนไฮด์ พบว่าที่อุณหภูมิ 160 องศาฟาเรนไฮด์ ใช้เวลา 11.7-26.2 นาที มีความชื้น 4.55-2.71% ว่าที่อุณหภูมิ 170 องศาฟาเรนไฮด์

ใช้เวลา 10.5-13.1 นาที มีความชื้น 3.99-3.37% ว่าที่อุณหภูมิ 180 องศาฟาเรนไฮด์ ใช้เวลา 8.8-13.1 นาที มีความชื้น 4.03-2.46% ถ้าใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่านี้จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของกลิ่น

Beristain *et al.* (1991) ทดลองทำแห้งน้ำสับประรดโดยวิธีโฟมเมท พบว่าสถานะของโฟมที่เหมาะสมในการทำแห้งคือ ความเข้มข้นของน้ำสับประรด 25 °Brix ใช้ Sorbac 60-Polisorbac 80 เป็นสารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้น 0.285% ของสารลดแรงตึงผิวต่อปริมาณของแข็งทั้งหมด ใช้เวลาในการตีขึ้นโฟม 7 นาที อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส โดยความหนาของโฟมที่ทำการทดลองคือ 3 5 และ 10 มิลลิเมตร พบว่าสถานะในการอบแห้งที่เหมาะสมคือที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และความหนาของโฟม 5 มิลลิเมตร ผลผลิตแห้งที่ได้มีความชื้น 3% ผลการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องใน multilayer plastic film ไม่เกิดสีน้ำตาล และไม่พบการเจริญของราในระหว่างการเก็บรักษา ส่วนการทดสอบทางด้านประสาทสัมผัสผู้บริโภคยอมรับในผลิตภัณฑ์ 95%

Beristain *et al.* (1993) ได้ทดลองทำน้ำดอกกระเจียบแดงโดยวิธีโฟมเมทด้วยการเติม Emulsifiers (0.1-0.4% โดยน้ำหนัก) และ Maltodextrin (5% โดยน้ำหนัก) ลงไปในน้ำดอกกระเจียบแดงเข้มข้น 15 °Brix เพื่อก่อให้เกิดโฟม การอบแห้งทำในเตาอบลมร้อน พบว่าสถานะที่เหมาะสมในการอบคือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 70 นาที และความหนาของโฟมเท่ากับ 4 มิลลิเมตร โดยมีความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์เป็น 3% (น้ำหนักเปียก) โดยผงที่ได้จากการอบแห้งโดยวิธีโฟมเมทมีลักษณะปรากฏที่ดีกว่าผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย

Karim and Wai (1999) ทดลองทำมะเฟืองผงโดยวิธีอบแห้งแบบโฟมเมท เตรียมโฟมจากเนื้อมะเฟืองสด และใช้ Methocel 65 HG เป็นสารก่อโฟมที่ความเข้มข้น 0.1-0.4% พบว่าที่ความเข้มข้นของ Methocel 65 HG 0.4% ค่า Overrun และความคงตัวของโฟมมีค่าสูงสุด ซึ่งทั้ง 2 ค่านี้จะแปรผันตามความเข้มข้นของ Methocel 65 HG เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งจาก 70 องศาเซลเซียสเป็น 90 องศาเซลเซียสจะลดเวลาในการทำแห้งลงถึง 30 นาที แต่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนี้ส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลอ่อน และกลิ่นของมะเฟืองลดลง

ชนันท์ (2545) ศึกษาการผลิตน้ำตาลไอศกรังโดยวิธีอบแห้งแบบโฟมเมท พบว่าสารที่ทำให้โฟมคงตัวที่เหมาะสมที่สุด คือ สารผสมของ Methocel 65 HG ความเข้มข้น 0.13% กับ glyceryl monostearate ความเข้มข้น 0.13% โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 50 นาที ความเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที ความหนาของโฟม 5 มิลลิเมตรเป็นสถานะที่เหมาะสมในการทำแห้ง ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้น 3% โดยน้ำหนักแห้ง

Falade *et al.* (2003) ได้ศึกษาการทำแห้งแบบโฟมเมทของ cowpea ที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 22% 25% และ 28% ใช้ glyceryl monostearate และ egg albumin เป็นสารก่อโฟมที่ระดับความเข้มข้น 2.5% 5.0% 7.5% 10.0% 12.5% และ 15% โดยน้ำหนัก เวลาที่ใช้ในการตีโฟม 3 6 9 12 15 18 และ 21 นาที อุณหภูมิในการเกิด โฟม 15 25 และ 35 องศาเซลเซียส และทำแห้งที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 นาที พบว่าหลังจากนาที่ที่ 9 และ 21 ในการตีให้อากาศ ของการใช้ glyceryl monostearate และ egg albumin เป็นสารก่อ โฟมตามลำดับ ในขณะที่โฟมที่เกิดจากการเติม egg albumin ไม่มีความคงตัวระหว่างการทำแห้ง

Sankat and Castaigne (2004) ศึกษาสภาวะการทำแห้ง และคุณสมบัติของโฟมกล้วยสุก พบว่า ความหนาแน่นของโฟมกล้วยสุกอยู่ในช่วง 0.93-0.50 กรัมต่อมิลลิลิตร หลังจากตีปั่น 12 นาที โดยใช้โปรตีนถั่วเหลือง (soy protein) เป็นสารก่อโฟม 10 กรัมในส่วนผสม 100 กรัม ในขณะที่ glyceryl monostearate ไม่สามารถทำให้เกิดโฟมได้ ส่วน dream whip และ gelatine สามารถทำให้เกิดโฟม แต่ไม่คงตัว

Ismail and Revathi (2004) ทำการศึกษาอุณหภูมิ และเวลาในการลวกพริกแดงบด ที่สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดส (peroxidase) และไลพอกซีจีเนส (lipoxygenase) ที่อุณหภูมิและเวลาในการลวกต่าง ๆ กัน โดยใช้หม้อ steam-jacketed พบว่าอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลาในการลวก 6 นาที สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ได้อย่างสมบูรณ์