

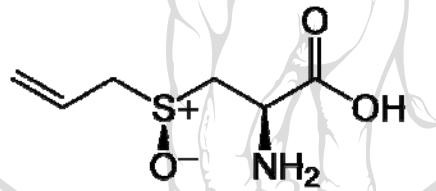
## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 กระเทียม

กระเทียมมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Allium sativum* Linn อยู่ในตระกูล *Liliaceae* ในกระเทียมประกอบด้วยสารประกอบกำมะถันได้แก่ S-allyl-L-cysteine sulfoxide, S-methyl-L-cysteine sulfoxide และ S-propyl-L-cysteine sulfoxide สารประกอบที่มีในกระเทียม ได้แก่ อัลลิอิน (Alliin) และอัลลิซิน (Allicin)

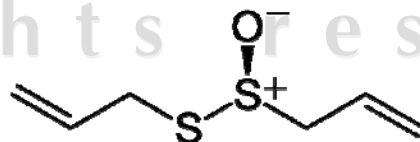
(1) อัลลิอิน (Alliin) เป็นสารประกอบที่มีมากที่สุดในกระเทียม เป็นสารที่เสถียร ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ละลายน้ำได้ มีการศึกษาเกี่ยวกับเอนไซม์อัลลิเนส (alliinase) ที่อยู่ในกระเทียม พบว่าเมื่อกระเทียมถูกบดขยี้ อัลลิอินจะถูกเปลี่ยนให้เป็น อัลลิซิน ไพรูเวท (Pyruvate) และแอมโมเนีย (Ammonia) (Chichester, 1976)



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสาร Alliin

ที่มา Iberl *et al.* (1990)

(2) อัลลิซิน (Allicin) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า อัลลิลซัลไฟด์-อัลลิลซัลไฟด์ (Allylsulfinyl-allyl sulfide) หรือไดอัลลิลไทโอซัลไฟเนต (diallyl thiosulfinate) เป็นสารที่ไม่เสถียร มีกลิ่นฉุนของกระเทียม ไม่มีสี อัลลิซินสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียหลายชนิดอย่างมีประสิทธิภาพและมีฤทธิ์เป็นยาปฏิชีวนะ (Antibiotics) (Lawson *et al.*, 1992)



รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างทางเคมีของสาร Allicin

ที่มา Iberl *et al.* (1990)

## 2.2 ประโยชน์ของกระเทียม

กระเทียมมีประโยชน์ทั้งในด้านการรักษาโรคและมีคุณค่าทางโภชนาการ ดังนี้

### (1) ประโยชน์ในด้านการรักษาโรค

กระเทียมมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียทั้งกรัมบวก (gram positive) และกรัมลบ (gram negative) ซึ่งประเภทหลังนี้เพนนิซิลินเองไม่สามารถยับยั้งได้ จึงมีผลการวิจัยและการใช้ในประเทศต่างๆ อย่างกว้างขวาง ในการบำบัดหรือป้องกันโรคต่างๆ ดังเช่น แก้ไอ ขับเสมหะ ท้องอืดเพื่อ ไอ-กรน ขับปัสสาวะ รักษาโรคผิวหนัง เป็นต้น มีการทำการสกัดกระเทียมสดด้วยแอลกอฮอล์ และกลั่นกระเทียมสดด้วยไอน้ำ ได้น้ำมันกระเทียมที่ประกอบด้วย สารเคมีผสมที่มีหมู่อัลลิล (allyl group) หมู่ที่ไม่อิ่มตัว (unsaturated group) และหมู่ซัลไฟด์ (sulfide group) (ลัดดาวัลย์, 2524) จากการใช้ น้ำมันกระเทียมไปผสมเป็นยา โดยมีน้ำมันกระเทียมร้อยละ 4 น้ำมันกระเทียมไปทำแห้งภายใต้สภาวะแช่แข็ง (Freeze drying) แล้วนำผงน้ำมันที่ได้มาผสมเป็นยา พบว่า ฤทธิ์ของยากงอยู่ได้นาน 6 เดือน และลดลงภายในเวลา 1 ปี (นวลจิรา และคณะ, 2522)

### (2) ประโยชน์ในด้านคุณค่าทางอาหาร

ในเนื้อกระเทียม 100 กรัม จะมีสารอาหารที่สำคัญ คือ โปรตีน 8.20 กรัม ไขมัน 0.16 กรัม คาร์โบไฮเดรต 18.64 กรัม และพวกแร่ธาตุต่างๆ เช่น แคลเซียม 12.80 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 194.90 มิลลิกรัม เหล็ก 1.27 มิลลิกรัม โซเดียม 5.90 มิลลิกรัม โปแตสเซียม 718.30 มิลลิกรัม นอกจากนี้มี วิตามินบีหนึ่ง 3.38 มิลลิกรัม บีสอง 0.28 มิลลิกรัม วิตามินซี 0.12 มิลลิกรัม และไนอาซีน 0.49 มิลลิกรัม ค่าพลังงานความร้อน 108.80 แคลอรี ต่อ 100 กรัม (นันทนา, 2526)

โดยทั่วไปกระเทียมจะได้รับความสนใจในด้านของการใช้เป็นเครื่องชูรส และแต่งกลิ่น ในการปรุงอาหารมากกว่า ทั้งนี้ เนื่องจากกลิ่นที่มีลักษณะเฉพาะตัวของกระเทียมนั่นเอง ดังนั้น การแปรรูปกระเทียม จะมีจุดมุ่งหมายเดียวกันกับการแปรรูป และถนอมผลิตภัณฑ์การเกษตร อื่นๆ ซึ่งปริมาณและราคาจะเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลผลิต และตามแหล่งผลิต หรือภูมิภาคของโลก ดังนั้นจึงมีการใช้เทคโนโลยีในการถนอมอาหาร โดยการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น กระเทียมดอง เครื่องดื่มจากกระเทียม กระเทียมตากแห้ง และกระเทียมผง เป็นต้น (เจียมจิต, 2527)

#### 2.2.1 กระเทียมดอง

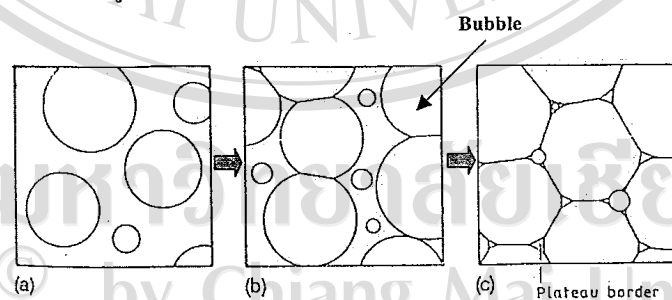
กระเทียมดองเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีการผลิตกันมาเป็นเวลานานแล้ว และนิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย มีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด กระเทียมดอง จะมีคุณค่าทางอาหารน้อยกว่ากระเทียมสด เมื่อผ่านการหมักดองแล้วก็จะทำให้สารอาหารบางตัวหายไป แต่หายไปปริมาณน้อยไม่แตกต่างกันมาก คนนิยมบริโภคกระเทียมดองเพราะว่ากระเทียมดองมีการปรุงแต่งรสชาติ

กลิ่นของกระเทียมคงมีน้อยกว่าในกระเทียมสด ส่วนประกอบได้แก่ กระเทียมสดที่ปอกเปลือกแล้ว 1000 กรัม น้ำส้มสายชู 2 ถ้วย น้ำตาลทรายขาว 1 ถ้วย เกลือป่น 3 ช้อนโต๊ะ น้ำปูนใส (ปูนแดง 1 ช้อนชา ต่อน้ำ 1 ลิตร) วิธีทำ แช่กระเทียมในน้ำปูนใสนาน 1 ชั่วโมง เอาขึ้นให้สะเด็ดน้ำ บรรจุขวด จากนั้นทำน้ำส้มผสมโดยผสมน้ำตาลทรายขาว เกลือ และน้ำส้มสายชู ตั้งไฟให้ละลาย เก็บขวดแล้วนำมารอง เทน้ำส้มผสมลงขวดบรรจุกระเทียม ปิดฝาเก็บไว้ 1-3 เดือนรับประทานได้ (เจียมจิต, 2527)

### 2.3 การเกิดโฟม (Foaming formation)

โฟมเป็นระบบคอลลอยด์ชนิดหนึ่งซึ่งเป็นการผสมกัน และอยู่ร่วมกันของก๊าซกับของเหลวหรือก๊าซกับของแข็ง โดยที่ก๊าซเป็นอนุภาคที่กระจายตัว (disperse phase) อยู่ในของเหลวหรือของแข็งซึ่งเป็นส่วนที่ต่อเนื่อง (continuous phase) และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของฟองอากาศประมาณ  $10^{-3}$  (Fennema, 1996) โดยแบ่งโฟมในเชิงคุณภาพออกเป็น 2 ประเภท (Dickinson, 1992) ได้แก่ Bubbly foams ในไอศกรีม และ Polyhedral foams ซึ่งโครงสร้างของฟองอากาศมีการจัดเรียงตัวคล้ายรวงผึ้ง เช่น ฟองเบียร์

อาหารที่มีสมบัติการเกิดโฟมต่ำจำเป็นต้องเติมสารก่อให้เกิดโฟม สารดังกล่าวนอกจากช่วยให้เกิดโฟมแล้ว ยังช่วยรักษาสภาพโฟมให้คงตัวอยู่ได้นานไม่เกิดการยุบตัว และการแตกของฟองอากาศ โดยเพิ่มความแข็งแรงให้กับ lamellae ซึ่งเป็นชั้นของเหลว ที่ชั้นกลางระหว่างฟองอากาศ ซึ่งกระจายตัวอยู่ในของเหลว และเมื่อจำนวนฟองอากาศเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจากการตีปั่นจนชั้นของ lamellae ทั้ง 3 ด้านมาบรรจบกันเป็นรูปปริซึม ซึ่งจะเรียกปริซึมนี้ว่า Plateau border (Fennema, 1996) ดังแสดงในรูปที่ 2.3



ที่มา : คัดแปลงจาก Fennema, 1996

รูปที่ 2.3 ลักษณะของฟองอากาศที่แทรกตัวอยู่ในของเหลวตั้งแต่เริ่มตีปั่นจนเกิดโฟมสมบูรณ์ (a-c) และ Plateau border คัดแปลงจาก (Fennema, 1996)

ปกติโมเลกุลของสารที่ก่อให้เกิดโฟมนั้นประกอบไปด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophile) ซึ่งเป็นพวกอนุโมลอิสระที่มีประจุอยู่เช่น  $\text{OH}^-$ ,  $\text{COO}^-$ ,  $\text{HN}_2^+$  และ  $\text{N}^+$  เป็นต้น และส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobe) ซึ่งเป็นส่วนของอนุพันธ์คาร์บอนอะตอมที่มีสายยาวๆ (aliphatic carbon chain) (สมบัติ, 2529) โดยคุณสมบัติที่สำคัญของสารที่ก่อให้เกิดโฟม คือ สามารถลดแรงตึงผิว (interfacial tension) ของของเหลวได้อย่างรวดเร็วและสามารถสร้าง viscoelastic film ที่ต้านทานการยุบตัวหรือการแตกของฟองอากาศได้ดี (Dickinson, 1995) ของเหลวที่บริสุทธิ์จะให้โฟมที่ไม่คงตัว ฟองอากาศที่ใส่ลงไปได้ผิวจะแตกตัวเมื่อของเหลวที่กั้นระหว่างฟองได้ระบายออกไป การใส่สารที่ก่อให้เกิดโฟมจะช่วยให้ฟองอากาศอยู่ตัวดีขึ้น สารชนิดนี้จะเข้าไปอยู่ในผิวสัมผัสระหว่างฟองอากาศ และของเหลวในลักษณะของชั้นบางๆ โดยปกติสารที่ก่อให้เกิดโฟมจะมีคุณสมบัติของสารช่วยกระจายไขมัน อย่างไรก็ตามโฟมจะแตกตัวได้ง่ายเมื่อมีการระเหยของของเหลวมีการสัมผัสกับฝุ่นละออง หรือมีการแพร่กระจายของแก๊สโดยเฉพาะแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ความคงตัวของโฟมเหมือนกับความคงตัวของอิมัลชัน ฉะนั้นสารอิมัลซิไฟเออร์ต่างๆจึงช่วยให้เกิดโฟมได้ดี โดยสารเหล่านี้จะทำให้เกิดชั้นของเหลวที่กั้นระหว่างฟองอากาศไว้ ความคงตัวของโฟม จะขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นของเหลวนี้ และอัตราการเร็วของการระบายของเหลวออกไปจากผิวของฟองอากาศ (ณรงค์, 2538)

### 2.3.1 กระบวนการทำให้เกิดโฟม

การทำให้เกิดโฟมเป็นขั้นตอนแรกของการทำแห้งแบบโฟมเมท เป็นระบบของสารแขวนลอยอย่างสมบูรณ์ของโฟมแก๊สในของเหลว ซึ่งแตกต่างจากโฟมของน้ำสบู่ซึ่งมีลักษณะเบาว่ามาก ลักษณะโฟมที่พึงประสงค์ในการอบแห้งแบบโฟมเมทจะต้องมีความคงตัวดีในระหว่างการอบแห้ง เพื่อให้โฟมยังคงมีลักษณะเป็นโฟมและแตกหักออกเป็นผงได้ง่าย อย่างไรก็ตามโฟมที่คงตัวในบรรยากาศปกติบางครั้งก็ไม่เหมาะสมสำหรับการอบแห้ง (Hart *et al*, 1963)

การก่อให้เกิดโฟมอย่างต่อเนื่องเกิดขึ้นได้โดยการเติมสารที่ทำให้คงตัว การเติมอากาศด้วยสัดส่วนที่ถูกต้อง การผสมของผสม 2 สถานะด้วยแรงเฉือนที่สูง และการทำให้โฟมเย็นลงเพื่อลดความร้อนที่เกิดจากการผสม ความหนาแน่นที่ถูกต้องของโฟม คือ ความหนาแน่นที่สูงที่สุดที่ทำให้เกิดโฟมที่คงตัว โดยทั่วไปอยู่ที่ประมาณ 0.4-0.6 กรัมต่อมิลลิลิตร ประกอบด้วยโฟมอากาศทรงกลม เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 0.1 มิลลิเมตรกระจายตัวอยู่ในของเหลว โฟมที่เบาซึ่งประกอบด้วยช่องว่างของแก๊สที่ใหญ่กว่าโดยมีผนังของเหลวที่เกือบจะแบนราบกันอยู่นั้นไม่เหมาะสมการเติมอากาศเข้าไปในโฟม ทำให้ผลิตภัณฑ์มีคุณภาพดีเท่ากับการใช้แก๊สเฉื่อย (Hart *et al*, 1963) Bates (1964) ศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการผลิตโฟมและความคงตัวของโฟมน้ำผลไม้เมื่อร้อนพบว่า ปัจจัยที่มีผลอย่างมากต่อการเกิดโฟมและความคงตัวของโฟม คือ ธรรมชาติทางเคมีของผลไม้ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ อัตราส่วนของเนื้อผลไม้ ชนิดของสารที่ก่อให้เกิดโฟม

ชนิดและความเข้มข้นของสารที่ทำให้โฟมคงตัว ส่วนปัจจัยที่มีความสำคัญน้อย คือ ความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดโฟม เวลาในการผสม และอุณหภูมิในการผสม ซึ่ง *Pointing et al. (1973)* รายงานว่า การเตรียมโฟมจะเตรียมในเครื่องผสมแบบต่อเนื่องและเติมสารที่ทำให้โฟมคงตัว ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 1 โดยน้ำหนักแห้งลงไป การตีโฟมเป็นการเติมอากาศเข้าไปในอาหารเหลว ซึ่งจะทำให้อาหารไม่เกาะตัวกันเป็นก้อน นำโฟมไปอบในเตาอบแห้งแบบสายพานต่อเนื่องในรูปแผ่นบางๆ โครงสร้างของโฟม และการจัดเรียงตัวของโฟมบนภาคที่เหมาะสมจะทำให้การอบแห้งเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว หรืออบแห้งในเตาอบแบบภาคต่อเนื่อง โฟมที่อบแห้งแล้วจะมีโครงสร้างเป็นรูพรุนอย่างมาก สามารถดูดโฟมแห้งให้เป็นผงซึ่งสามารถละลายน้ำได้ทันทีในน้ำเย็น ซึ่งจะรักษาคุณภาพของอาหารไว้ได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอาหารที่ไวต่อการเสื่อมคุณภาพด้วยความร้อน นอกจากอาหารที่เป็นของเหลวแล้ว อาหารที่แห้งอยู่แล้วยังสามารถนำมาละลายหรือทำให้เป็นสารแขวนลอยแล้วนำไปอบแห้งแบบโฟมเมท เพื่อให้ได้ของแข็งที่มีความหนาแน่นน้อยลง และมีการกระจายตัวได้ดีขึ้น

### 2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของโฟม (นิธิยา, 2543)

ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของโฟมแบ่งออกได้เป็น 5 ปัจจัย ได้แก่

1. การทำให้ของเหลวมีความหนืดสูงขึ้นจะทำให้โฟมมีความคงตัวมากขึ้น สารที่ช่วยเพิ่มความหนืดส่วนใหญ่เป็นพวกน้ำตาล และสารไฮโดรคอลลอยด์ สารพวกนี้นอกจากจะเพิ่มความหนืดแล้วยังลดแรงตึงผิวอีกด้วย
2. ของเหลวที่มีแรงตึงผิวต่ำจะช่วยทำให้ของเหลวมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นรอบๆ ฟองอากาศโดยไม่บีบตัวให้ฟองอากาศแตกตัวเร็วเกินไป ดังนั้นการเปลี่ยนแรงตึงผิวของฟิล์มสามารถทำให้เกิดโฟม หรือเกิดการยุบตัวของโฟมได้
3. ของเหลวต้องมีความดันไอต่ำ เพราะทำให้ของเหลวกลายเป็นไอได้ยาก หรือของเหลวจะระเหยได้ช้า ถ้าของเหลวมีความดันไอสูงจะกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว ทำให้ฟิล์มที่ล้อมรอบฟองอากาศบางลง และโฟมจะยุบตัว (bubble collapse)
4. การเกิดฟิล์มของอนุภาคฟองอากาศโฟมที่มีความคงตัว ฟิล์มที่เกิดขึ้นต้องมี degree of surface elasticity และ surface viscosity สูง
5. สารที่จะช่วยให้โฟมมีความแข็งตัว (rigidity) ที่ระหว่างผิวของก้ำซ และของเหลว เช่น โปรตีนที่มีอยู่ในอาหาร เมื่อทำให้เกิดโฟมโดยการตีโปรตีนจะเสียดสภาพขณะขณะตีจะช่วยให้โฟมมีความแข็งตัว และคงตัวมากขึ้นด้วย

### 2.3.3 วิธีการตรวจสอบคุณภาพของโฟม

คุณภาพของโฟมที่เกิดจากการตีปั่นส่วนผสมมีผลต่อสภาวะการอบแห้งและคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังอบแห้ง ดังนั้นจำเป็นต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของโฟมที่ได้ ดังนี้

#### 1. การวัดความหนาแน่นของโฟม (ดัดแปลงจากวิธีของ Akintoye and Oguntunde, 1991)

นำโฟมที่ต้องการวัดความหนาแน่น บรรจุลงในถ้วยพลาสติก บรรจุให้เต็มไม่ให้มีโพรงอากาศภายในถ้วยเกลี่ยโฟมที่สิ้นบริเวณปากถ้วยด้วยพายยาง เช็ดบริเวณรอบนอกถ้วยมิให้มีเศษโฟมเหลืออยู่ จากนั้นชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของถ้วยที่บรรจุโฟมนั้น นำมาคำนวณหาความหนาแน่นของโฟมดังนี้

$$\begin{aligned} \text{ความหนาแน่นของโฟม (กรัมต่อมิลลิลิตร)} &= \frac{\text{น้ำหนักของโฟม}}{\text{ปริมาตรของถ้วย}} \\ &= \frac{\text{น้ำหนักของถ้วยเมื่อบรรจุโฟม} - \text{น้ำหนักถ้วย}}{\text{ปริมาตรของถ้วย}} \end{aligned}$$

#### 2. การวัดความคงตัวของโฟม (Sauter and Montoure, 1972)

โดยบรรจุโฟมลงในกรวยกรองที่ทราบปริมาตร โดยรองรับของเหลวที่แยกตัวออกมาด้วยกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร ในช่วงเวลา 60 นาที บันทึกปริมาตรของของเหลวที่แยกออกมาทุกๆ 15 นาที

#### 3. ค่า overrun (Kirk and Sawyer, 1991)

โดยชั่งน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของส่วนผสมก่อนตีโฟม และน้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของโฟม และคำนวณหา overrun ดังนี้

$$\text{overrun} = \frac{\text{น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของส่วนผสม} - \text{น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของโฟม} \times 100}{\text{น้ำหนักต่อหน่วยปริมาตรของโฟม}}$$

### 2.4 เทคโนโลยีการทำแห้งแบบโฟมแมท (Foam –mat drying)

เป็นกระบวนการทำแห้งที่ต้องทำให้อาหารเหลวที่ต้องการทำให้แห้ง มีลักษณะเป็นโฟมที่คงตัวในระหว่างการทำแห้ง กระบวนการทำให้เกิดโฟมทำได้โดยการนำอาหารเหลวมาตีโดยใช้เครื่องตีความเร็วสูง เพื่อเป็นการเติมอากาศเข้าไปในอาหาร อาหารบางชนิด เช่น นํ้ามันไข่ขาว เมื่อนำมาตีสามารถเกิดโฟมขึ้นได้ เนื่องจาก อาหารเหล่านี้มีองค์ประกอบของโปรตีนและสารโมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งมีสมบัติทำให้เกิดโฟมและรักษาโฟมให้คงทนแข็งแรง แต่อาหารบางชนิด เช่น นํ้าส้มคั้น จำเป็นต้องมีการเติมสารก่อให้เกิดโฟมลงไปด้วย จึงจะได้โฟมที่คงทน จากนั้นโฟมที่ได้จะถูกลำไปเกลี่ยให้เป็นแผ่นบางบนถาด หรือสายพานแล้วจึงนำไปทำแห้ง ผลิตภัณฑ์ที่ได้

หลังจากการอบจะถูกนำไปคเป็นผง (รัตน, 2547) ซึ่ง Beristain *et al.* (1993) ได้ทดลองทำแห้ง น้ำดอกจาไมกาผง โดยวิธีโฟมเมทด้วยการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifiers) ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 0.1-0.4 โดยน้ำหนัก และมอลโตเด็คซ์ทริน (maltodextrin) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ลงไปในน้ำดอกจาไมกาเข้มข้น 15 องศาบริกซ์ เพื่อก่อให้เกิดโฟม ทดลองอบที่อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส และทำการอบแห้งในเตาอบลมร้อน พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการ อบคือ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 70 นาที และความหนาของโฟมเท่ากับ 4 มิลลิเมตร โดยมีความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์เป็นร้อยละ 3 ของน้ำหนักเปียก โดยผงที่ได้จากการอบแห้ง โดยวิธีโฟมเมทมีลักษณะปรากฏที่ดีกว่าผงที่ได้จากการทำแห้งแบบพ่นฝอย Bissett *et al.* (1963) ศึกษาการทำน้ำส้มผงโดยการอบแห้งแบบโฟมเมทน้ำส้มมีความเข้มข้น 59 องศาบริกซ์ ที่ถูกทำ เข้มข้นด้วยวิธีแช่แข็ง เปรียบความเข้มข้นของ modified soya protein ร้อยละ 16.7 และเมทริว-เซลลูโลส ร้อยละ 4.8 ผสมกันในอัตราส่วน 1 ต่อ 1 คิดเป็นร้อยละ 0.9 ของปริมาณของแข็งทั้งหมด อบแห้งที่อุณหภูมิ 71.1, 76.6 และ 82.2 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิ 71.1 องศาเซลเซียส เวลา 11.7- 26.2 นาที ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความชื้นเหลืออยู่ ร้อยละ 2.71-4.55 ที่อุณหภูมิ 76.6 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 10.5-13.1 นาที มีความชื้นร้อยละ 3.37-3.99 ที่อุณหภูมิ 82.2 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 8.8-13.1 นาที มีความชื้นร้อยละ 2.46-4.03 ถ้าใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่านี้ จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของ กลิ่น นอกจากนี้ Berry *et al.* (1965b) ได้ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้ำกรฟรุท โดยวิธีโฟมเมท ด้วยเตาอบแบบสายพาน ใช้เวลาอบแห้ง 8-26 นาที ที่อุณหภูมิ 71.1, 76.6, 82.2 และ 87.7 องศาเซลเซียส พบว่าควรใช้อุณหภูมิในการอบแห้งที่ 82.2 องศาเซลเซียส เวลาการอบแห้งนาน 18 นาทีหรือน้อยกว่านี้ จึงจะไม่มีการทำลายกลิ่น และรสชาติโดยความร้อน ถ้าใช้อุณหภูมิ 87.7 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาน้อยกว่า 12 นาที ความชื้นสุดท้ายประมาณร้อยละ 2-3.5 โดยใช้ โปรตีนถั่วเหลืองร้อยละ 0.4 โดยน้ำหนัก เป็นสารที่ก่อก่อให้เกิดโฟม และใช้เมทโรเซล (10 มิลลิปาสคาล.วินาที) ร้อยละ 0.17 โดยน้ำหนัก เป็นสารที่ทำให้โฟมคงตัว และ Brown *et al.* (1973) ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอบแห้งโดยวิธีโฟมเมท เพื่อลดภาระการทำงานของ เตาอบ โดยโฟมถูกทำให้เข้มข้นขึ้นด้วยเครื่องระเหยน้ำ ซึ่งทำให้น้ำผลไม้เข้มข้นสามารถดีให้เป็น โฟมที่แข็งแรง และมีความคงตัวมากขึ้น แต่ถ้าทำให้เข้มข้นมากเกินไปจะทำให้โฟมมีความ หนาแน่นมากเกินไป และทำให้ไม่สามารถดึงน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ได้หมดในระหว่างการอบแห้ง ความเข้มข้นของของแข็งที่ดีสำหรับมะเขือเทศ คือ ร้อยละ 30 และสำหรับส้ม คือ ร้อยละ 55 Karim and Wai (1999) ได้ทำการทดลองทำมะเฟืองผงโดยวิธีอบแห้งแบบโฟมเมท โดยเตรียม โฟมจากเนื้อมะเฟืองสด และใช้เมทโรเซล 65 เอชจี (Methocel 65 HG) เป็นสารก่อโฟมที่ความ เข้มข้นร้อยละ 0.1-0.4 โดยน้ำหนัก พบว่าที่ความเข้มข้นของเมทโรเซล 65 เอชจี ร้อยละ 0.4

โดยน้ำหนัก ค่า overrun และความคงตัวของโฟมมีค่าสูงสุด ซึ่งทั้ง 2 ค่านี้อาจแปรผันตามความเข้มข้นของ เมทโซเซล 65 เอชจี เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้งจาก 70 องศาเซลเซียสเป็น 90 องศาเซลเซียสจะลดเวลาในการทำแห้งลงถึง 30 นาที แต่อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนี้ ส่งผลให้เกิดสีน้ำตาลอ่อนและกลิ่นของมะเฟืองลดลง Sankat and Castaigne (2004) ศึกษาสภาวะการทำแห้งและคุณสมบัติของโฟมกล้วยสุก พบว่า ความหนาแน่นของโฟมกล้วยสุกอยู่ในช่วง 0.93-0.50 กรัมต่อมิลลิตร หลังจากตีปั่น 12 นาที โดยใช้โปรตีนถั่วเหลืองเป็นสารก่อโฟม 10 กรัมในส่วนผสม 100 กรัม พบว่าเป็นสารก่อโฟมที่ดี ในขณะที่ กลีเซอรอลโมโนสเตียเรต ไม่สามารถทำให้เกิดโฟมได้ ส่วน dream-whip และเจลาติน สามารถทำให้เกิดโฟมแต่ไม่คงตัว สำหรับในประเทศไทยมีงานวิจัยของ วังศรีและรัตนา (2543) ศึกษาความเข้มข้นของน้ำตาลไอและสารก่อให้เกิดโฟมที่เหมาะสมในการแปรรูปน้ำตาลไอผง พบว่าส่วนผสมน้ำตาลไอเข้มข้นที่เหมาะสมประกอบด้วย น้ำตาลไอร้อยละ 50 น้ำตาลไอแห้งร้อยละ 20 และน้ำตาลทรายร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก สารที่ก่อให้เกิดโฟมที่เหมาะสม คือ เมทโซเซล 65 เอชจี ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก ตีให้เกิดโฟมด้วยความเร็วสูงเป็นเวลา 15 นาที ทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ต่อมา ชันน์ (2545) ได้ศึกษาการผลิตน้ำตาลไอผงโดยวิธีอบแห้งแบบโฟมเมท โดยรายงานว่าการทำให้โฟมคงตัวที่เหมาะสมมากที่สุดคือ สารผสมของเมทโซเซล 65 เอชจีที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.13 โดยน้ำหนัก กับ สารกลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (Glycerylmonostearate, GMS) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.13 โดยน้ำหนัก อบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาที ที่อัตราเร็วลม 1 เมตรต่อวินาที ใช้ความหนาของโฟม 5 มิลลิเมตร เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทำแห้ง ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความชื้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนักแห้ง อรทัย (2547) ศึกษาสารก่อให้เกิดโฟมในน้ำมะเกลือสกัด โดยใช้สารก่อให้เกิดโฟม 3 ชนิด คือ เมทโซเซล กลีเซอรอลโมโนสเตียเรต (GMS) และคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (Carboxy methyl cellulose, CMC) และการใช้สารผสม 3 ชนิด คือ เมทโซเซล กับ GMS เมทโซเซล กับ CMC และ GMS กับ CMC ที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 พบว่าการใช้สารละลายเมทโซเซล กับ CMC ในปริมาณร้อยละ 47 โดยน้ำหนักของน้ำมะเกลือสกัด เป็นปริมาณที่เหมาะสมที่สุด โดยจะได้โฟมที่มีความหนาแน่น 0.44 กรัมต่อมิลลิตร และมีค่า overrun สูงร้อยละ 690.07 น้ำมะเกลือที่ได้มีคุณภาพดีสามารถขึ้นรูปได้สูงถึงร้อยละ 97.86 ละลายได้ภายในเวลา 2 นาที และผงแห้งมีความชื้นร้อยละ 2



### 2.4.1 ข้อดีของการทำแห้งแบบโฟมเมท (รัตน, 2527)

1. ใช้ได้ดีกับอาหารเหลวหรืออาหารกึ่งเหลวที่มีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง โดยยังสามารถรักษาสีและกลิ่นไว้ได้ ขณะที่กระบวนการทำแห้งอื่นๆ เช่น การทำแห้งแบบพ่นฝอย (spray drying) การทำแห้งแบบลูกกลิ้ง (drum drying) ไม่สามารถทำได้
2. เป็นการทำแห้งที่ใช้ระยะเวลาอบแห้งน้อยกว่ากระบวนการทำแห้งอื่นๆ ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำกว่าวิธีอื่น
3. คุณภาพของผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้ สามารถรักษาสี กลิ่น และความสามารถในการคืนรูปไว้ได้ดีกว่า การทำแห้งโดยใช้ลมร้อนแบบอื่นๆ และมีคุณภาพใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying)
4. ผลิตภัณฑ์อาหารที่ได้มีลักษณะเป็นผง มีน้ำหนักเบา และสามารถเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องได้ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำ

## 2.5 สมบัติของสารก่อโฟมและสารเพิ่มความคงตัวของโฟมที่เลือกใช้

### 2.5.1 สารก่อโฟม

สารที่ก่อให้เกิดโฟม หมายถึง สารที่มี surface active ต่ำใช้สำหรับเติมลงในอาหารเหลวเพื่อช่วยให้เกิดโฟมเมื่อนำไปตีในเครื่องตี สารที่ก่อให้เกิดโฟมที่เลือกใช้สำหรับอาหารควรมีคุณสมบัติ ดังนี้

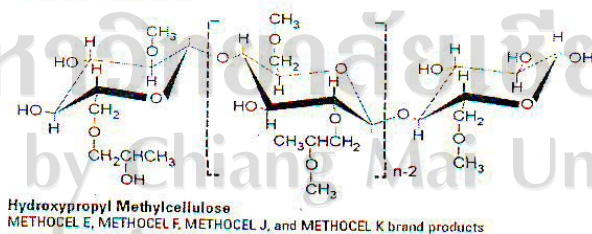
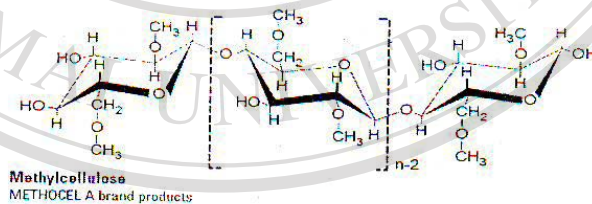
1. ต้องไม่มีรสชาติและไม่ทำปฏิกิริยากับอาหาร
2. สามารถทำให้เกิดโฟมได้ดีเมื่อใช้ในปริมาณต่ำและปลอดภัยสำหรับการบริโภค

สารที่ก่อให้เกิดโฟมที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้แก่

(1) **เมทโทเซล (Methocel)** เป็นสารช่วยให้โฟมคงตัวชนิดหนึ่ง โดยมีสายโพลิเมอร์ของเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบเคมีหลัก ไม่ว่องไวต่อปฏิกิริยา ลักษณะเป็นผงที่มีความบริสุทธิ์สูง และให้พลังงานต่ำ ไม่ให้กลิ่นรสกับอาหารที่ถูกเติมลงไปและใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เมทโทเซลสามารถละลายน้ำได้ มีคุณสมบัติเป็น สารยึดเกาะ (binders) สารช่วยให้เกิดการแขวนลอย (suspension agents) สารช่วยให้มีอิมัลชันคงตัว (emulsifier) สเตบิลไลเซอร์ (stabilizer) และสารป้องกันไม่ให้สารแขวนลอยแยกตัว (protective colloid) นอกจากนี้ยังแสดงคุณสมบัติเป็นสารหล่อลื่น รักษาความชื้นให้กับอาหาร และให้ความคงตัวกับอาหารระหว่างการแช่แข็ง และละลายน้ำแข็ง ที่สำคัญ คือ เมทโทเซลเป็นกัมที่มีคุณสมบัติเป็นเจลสามารถเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ (thermally gel) สามารถทำหน้าที่เป็นตัวลดแรงตึงผิว (surfactant) ทำให้เกิดสภาพฟิล์มขึ้น (film forming) ในอาหารได้ทั้งที่อุณหภูมิสูงและต่ำ ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีในการเป็นสารช่วยให้โฟมคงตัวในอาหารที่ต้องการทำแห้งแบบโฟม และสามารถแบ่งเมทโทเซลตามชนิดของ cellulose

ethers ภายในองค์ประกอบทางเคมีได้เป็น 2 ชนิด คือ methyl cellulose และ hydroxypropyl methyl-cellulose โครงสร้างทางเคมีของเมทโรเซลทั้ง 2 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2.4 มีโครงสร้างเป็น polymeric backbone cellulose ซึ่งมีโครงสร้างพื้นฐาน คือ anhydroglucose unit โดยความแตกต่างของเมทโรเซลชนิดต่างๆเกิดจากการผันแปรสัดส่วนของหมู่แทนที่ที่เป็น hydroxypropyl กับ methoxyl สัดส่วนดังกล่าวนี้จะทำให้ความสามารถในการละลาย ความหนืด และอุณหภูมิเริ่มเกิดเจล (thermal gel point) ของสารละลายเมทโรเซลแตกต่างกันออกไป

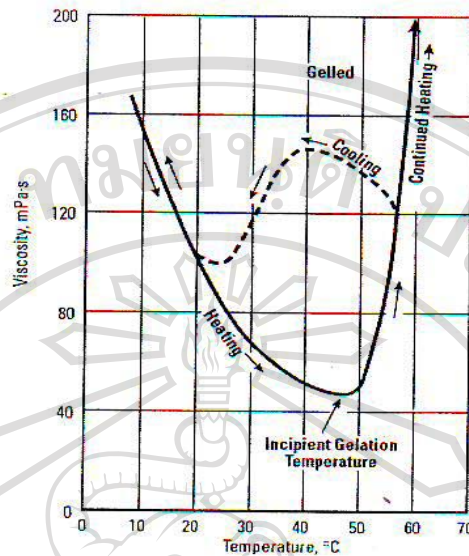
เมทโรเซลละลายน้ำที่อุณหภูมิห้องไม่ได้ แต่สามารถกระจายตัวได้ดีในน้ำร้อน ซึ่งต้องมีอุณหภูมิของน้ำสูงเกินค่าเฉพาะค่าหนึ่ง หลังจากเมทโรเซลกระจายตัวในน้ำ และทุกอนุภาคเปียกแล้วการละลายของเมทโรเซลจะเกิดขึ้นต่อเมื่อลดอุณหภูมิของน้ำให้ต่ำลง (รูปที่ 2.5) แสดงขั้นตอนการละลายของเมทโรเซล เมื่อโมเลกุลน้ำจับกับสายโพลิเมอร์เมทโรเซลอย่างสมบูรณ์ ทำให้เกิดการคลายตัวของสายโพลิเมอร์เมทโรเซล จากที่จับซ้อนเมื่อเริ่มต้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสายโพลิเมอร์จะปล่อยโมเลกุลของน้ำออกมา ทำให้ความหนืดลดลงไป จนกระทั่งอุณหภูมิสูงถึงจุดเริ่มเกิดเจล (incipient gelation temperature) สายโพลิเมอร์ที่ปราศจากน้ำนี้จะจับกัน และสารละลายเริ่มเกิดเจล ความแข็งแรงของเจลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่มีค่าความแข็งแรงต่อไปได้อีกเพียงเล็กน้อย หลังจากนั้นปฏิกิริยาจะเริ่มผันกลับ และความหนืดจะลดลงอย่างรวดเร็ว จนในที่สุดกราฟลดลงมาจนบรรจบกราฟเดิมเมื่อเริ่มต้นให้ความร้อน โดยกลไกนี้สามารถทำซ้ำได้อีกหลายครั้งตามต้องการ เพราะเจลของเมทโรเซล มีคุณสมบัติผันกลับได้ (reversible) (กัลยาณี, 2540)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของเมทโรเซล ชนิด methyl cellulose

และชนิด hydroxypropyl methyl cellulose

ที่มาจาก Dow Chemical Company (2002)



รูปที่ 2.5 ผลของการเพิ่มและลดอุณหภูมิต่อความข้นหนืดและการเกิดเจลของเมทโรเซล  
ที่มา Dow Chemical Company (2002)

(2) โปรตีนถั่วเหลือง (Soy protein) ถั่วเหลืองเป็นแหล่งโปรตีนที่ลงทุนต่ำ แต่ให้ผลผลิตที่สูง นอกเหนือจากการนำถั่วเหลืองมาใช้ทั้งเมล็ดแล้ว ยังมีการนำมาสกัดเป็นแป้งและโปรตีนในรูป soy protein concentrate และ soy protein isolate ผลผลิตโปรตีนเหล่านี้สามารถใช้เป็นส่วนผสมในอาหารได้ โดยอาจใช้ในปริมาณที่เล็กน้อย เพื่อจุดประสงค์บางอย่าง เช่น เป็นตัวอุ้มน้ำ จับกับไขมัน ปรับปรุงอายุการเก็บรักษา และเนื้อสัมผัสของโปรตีนหลายชนิด ทำให้เกิดเจล เป็นต้น (Tuley, 1996) ดังนั้น ถั่วเหลืองจึงเริ่มเป็นที่สนใจของทั้งผู้ผลิตและผู้บริโภคมากขึ้น ส่วนมากนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ประเภทเนื้อ และ เบเกอรี่

แป้งถั่วเหลือง (Soy flour) เป็นผลผลิตการนำเนื้อถั่วไปบดให้ละเอียด ทั้งนี้ในขั้นตอนการผลิตบางขั้นตอนจำเป็นต้องใช้ความร้อน เช่น การอบด้วยความร้อนเพื่อเอาเปลือกออกหรือการบด เป็นต้น ความร้อนมีผลต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ กลิ่น สี คุณค่าทางโภชนาการ และการละลายตัวของโปรตีน โดยทั่วไปแป้งถั่วเหลืองต้องมีความละเอียดที่สามารถผ่านตะแกรงที่มีขนาด 100 mesh (จำนวนของเส้นลวดต่อความยาวหนึ่งนิ้ว) ขึ้นไปได้ แต่ถ้าไม่ผ่านตะแกรงดังกล่าวจะเรียกว่า soy grit ซึ่งมีอยู่หลายขนาด คือ อนุภาคแบบหยาบ อนุภาคแบบปานกลางและอนุภาคแบบละเอียดผ่านตะแกรงขนาด 10-20, 20-40 และ 40-80 mesh ตามลำดับ แป้งถั่วเหลือง มีสีเหลืองนวล มีรสเหมือนกับ ถั่วเหลืองคั่ว มีคุณสมบัติในการดูดความชื้น และจับกับไขมันได้ดี นำไปใช้ประโยชน์ได้

หลายอย่าง ในกรณีทำขนมหวานช่วยให้ไขมันกระจายตัว และทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งอยู่เสมอ ใช้ทำอาหารเด็กอ่อนและอาหารเสริมโปรตีนหรือใช้ในการทำผลิตภัณฑ์จากเนื้อ โดยผสมกับเนื้อบดหรือใช้แป้งถั่วเหลืองร้อยละ 100 ผสมกับนม และไข่ ใช้แทนเนื้อ และปลาในอาหารได้ นอกจากนี้ยังใช้เติมลงในมัคกะโรนี เส้นบะหมี่ หรือก๋วยเตี๋ยว และในซูปต่างๆ เพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการให้สูงขึ้น (สมชาย, 2524) Soy protein concentrate เป็นรูปแบบของโปรตีนจากถั่วเหลืองที่เป็นผลพลอยได้จากการสกัดน้ำมันออกจากถั่วเหลือง คือ Defatted soy flakes ซึ่งจะนำมาผ่านกระบวนการกำจัดส่วนของน้ำตาล และเกลือแร่ ออก เพื่อเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีน ช่วยแก้ปัญหาการเกิดก๊าซในกระเพาะอาหาร (Flatulence) อีกทั้งช่วยปรับปรุงรสชาติได้ (Tuley, 1996) โดยประกอบด้วยโปรตีนอย่างน้อยร้อยละ 70 (Macrae *et al*, 1993) สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทตามวิธีที่ใช้ในการสกัด คือ Alcohol washed concentrate เป็นการสกัดด้วยสารละลายแอลกอฮอล์ ร้อยละ 60-80 ในน้ำ ซึ่งโปรตีนส่วนมากไม่ละลาย แต่น้ำตาล โอลิโกแซคคาไรด์จะละลายและถูกแยกออกมา และ Acid washed concentrate เริ่มจากน้ำ Defatted meal ที่แยกเอาตัวทำละลายออกแล้ว โดยใช้ Vacuum process มาปรับความเป็นกรด-ด่างด้วยกรด จนมีค่า pH ถึง 4.5 ซึ่งทำให้โปรตีนตกตะกอนและแยกเอาคาร์โบไฮเดรตที่ละลายได้ออกไป ส่วนที่เป็นตะกอนทำให้แห้งหรืออาจทำให้เป็นกลางก่อนทำให้แห้ง (Snyder and Kwon, 1993) จุดประสงค์ในการทำ soy protein concentrate เพื่อเพิ่มปริมาณโปรตีนในผลิตภัณฑ์ให้สูงขึ้น สามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนในมาร์การีน ไอศกรีม ช็อกโกแลต และเค้กได้ ทั้งยังช่วยปรับปรุงเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ด้วย soy protein concentrate ไม่ละลายน้ำ แต่สามารถกระจายตัวได้เมื่ออบเป็นผงละเอียดใช้ปรับปรุงรสชาติของเครื่องดื่มประเภทละลายได้ทันทีในอาหารประเภทเนื้อก็สามารถใช้ soy protein concentrate ได้ เช่น ในแฮมเบอร์เกอร์ ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันเป็นส่วนประกอบต่ำลง และช่วยประหยัดวัตถุดิบได้ แต่ก็ทำให้เกิดการหดตัวของผลิตภัณฑ์ (Tuley, 1996)

Soy protein isolate เป็นรูปแบบของโปรตีนจากถั่วเหลืองอีกชนิดหนึ่ง ที่นิยมผลิตกัน มีโปรตีนเป็นองค์ประกอบ อย่างน้อยร้อยละ 90 (Macrae *et al*, 1993) ได้จากการสกัดโปรตีนที่ละลายได้จาก Defatted meal ซึ่งต้องแยกเอาตัวทำละลายออกโดยใช้ Vacuum process ก่อน เพื่อคงความสามารถในการละลายของโปรตีนไว้ ส่วนการสกัดโปรตีนใช้สารละลายด่างเจือจาง (ค่า pH 9) ที่อุณหภูมิ 50-55 องศาเซลเซียส แล้วแยกเอาส่วนของของแข็ง ซึ่งเป็นพวกโปรตีนที่ไม่ละลายและคาร์โบไฮเดรตออกไป โดยใช้เครื่องเหวี่ยงและร่อนผ่านตะแกรง ส่วนโปรตีนที่ละลายได้จะปรับความเป็นกรด-ด่างเป็น 4.5 เพื่อทำให้โปรตีนตกตะกอนแยกส่วนเวย์จากถั่วเหลืองออกไป และล้างส่วนที่เป็นตะกอนด้วยแอลกอฮอล์ ขั้นตอนสุดท้ายคือทำให้แห้งโดยอาจใช้ Spray dried หรืออาจทำให้เป็นกลางก่อนทำให้แห้ง (Snyder and Kwon, 1993)

ทั้งนี้โปรตีนจะยังคงอยู่ในสภาพธรรมชาติ (Native) มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งความร้อนยังมีผลต่อ Functionality อื่นๆ เช่น การละลาย อย่างไรก็ตาม soy protein isolate ยังคงมีสมบัติในการคูลน้ำและรวมตัวกับไขมันดี จึงมีการใช้ในผลิตภัณฑ์เนื้อต่างๆ soy protein isolate มีบทบาทสำคัญในทางอุตสาหกรรมอาหาร โดยใช้เป็นตัวอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) แทน Caseinate โดย soy protein isolate จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ Caseinate และมีข้อได้เปรียบตรงที่ทนต่อการให้ความร้อนได้ดี แต่คุณสมบัติในการเกิดเจล เพื่อให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีเนื้อสัมผัสแน่นจะด้อยกว่า มีการใช้ประโยชน์ในเครื่องดื่มต่างๆ ยังมีข้อจำกัด เนื่องจากถ้าความเป็นกรด-ด่างต่ำโปรตีนถั่วเหลืองจะเกาะตัวกันได้ (ทัตดาว, 2545)

### 2.5.2 สารเพิ่มความคงตัวของโฟม (foam stabilizers)

สารเพิ่มความคงตัวของโฟมใช้สำหรับเติมในอาหารที่มีของแข็งที่ไม่ละลายอยู่ปริมาณน้อยหรือ มีความหนืดต่ำ เพื่อให้อาหารมีความหนืดเพิ่มขึ้นและตีให้เป็นโฟมที่ไม่ยุบตัวได้ง่าย ในการทำแก๊งอาหารที่มีปริมาณของแข็งน้อย ควรมีการเติมสารที่เพิ่มปริมาณของแข็งซึ่งมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มปริมาณของแข็งให้กับอาหารก่อนทำแก๊ง รักษากลิ่นของอาหารมีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำ ไม่มีกลิ่นรส และสามารถละลายได้ดี เช่น มอลโทเด็กซ์ตริน

(1) มอลโทเด็กซ์ตริน (Maltodextrin)  $((C_6H_{10}O_5)_nH_2O)$  คือ สายโพลิเมอร์ของแซ็กคาไรด์ที่มีคุณค่าทางอาหารประกอบด้วย D-glucose ยูนิท หลายๆ ยูนิท ต่อกันด้วยพันธะ (bonds) ชนิด alpha 1-4 และมีค่าสมมูลเด็กซ์โทรส (dextrose equivalent หรือ DE) ค่า DE หมายถึง ร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำตาลกลูโคสที่มีอยู่ในตัวอย่าง เมื่อใช้วิธีตรวจวัดโดยวิธีรีดักชัน (reduction) หรือหาได้จากสูตร ดังนี้ (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2543)

$$DE = \frac{\text{ปริมาณน้ำตาลกลูโคสที่วัดได้}}{\text{น้ำหนัก(ของแข็ง)ของตัวอย่าง}} \times 100$$

ค่า DE แปรผกผันกับขนาดโมเลกุล ค่า DE ของ anhydrous D-glucose เท่ากับ 100 ในขณะที่ค่า DE ของ native starch เท่ากับ 0 (Macrae *et al*, 1993) มอลโตเด็กซ์ตรินมีลักษณะเป็นผงสีขาว มีความหวานเล็กน้อยหรือไม่หวานเลยขึ้นอยู่กับค่า DE มีความชื้นร้อยละ 3-5 มีความหนาแน่นปรากฏ (bulk density) อยู่ในช่วง 0.31-0.61 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สามารถใช้มอลโตเด็กซ์ตรินได้ในปริมาณที่เหมาะสมกับชนิดของอาหาร และหน้าที่ของมอลโตเด็กซ์ตรินในอาหารนั้นๆ (generally recognized as safe) (Macrae *et al*, 1993 and Grain Processing Corporation, 1994) มอลโตเด็กซ์ตรินสามารถละลายได้ในน้ำที่อุณหภูมิห้อง สารละลายที่ได้อาจใสหรือขุ่นขึ้นกับชนิดของมอลโตเด็กซ์ตรินที่นำมาใช้ สารละลายที่ได้มีคุณสมบัติทางด้านความเป็นเนื้อ (body) และมีความหนืดที่สม่ำเสมอ เนื้อสัมผัสเรียบเนียนมีความสามารถในการดูดความชื้นต่ำโดยเฉพาะพวกที่มี

ค่า DE ต่ำๆมีจุดเยือกแข็งคงที่ และสามารถควบคุมการเกิดสีน้ำตาลได้เป็นอย่างดี นอกจากนั้นยังสามารถละลายได้ในอาหารที่เป็นของเหลวเช่น ซุป นม น้ำผลไม้ เป็นต้น โดยอาจเติมในลักษณะที่เป็นผงโดยตรง หรือนำมาละลายในน้ำก่อน (Furia, 1972) เมื่อเทพงมอลโทเด็กซ์ตรินออกมาจะไหลลงอย่างอิสระไม่เกาะติดกัน มนุษย์สามารถรับประทานมอลโทเด็กซ์ตรินอย่างปลอดภัย เพราะเอนไซม์ในลำไส้เล็กของมนุษย์จะย่อยมอลโทเด็กซ์ตรินให้เป็น D-glucose เช่นเดียวกับคาร์โบไฮเดรตทั่วไปมอลโตเทร็คตรินที่มี DE สูงจะมีความสามารถในการดูดความชื้น ความหนาแน่นปรากฏ ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล ค่าการละลาย ความใสของสารละลาย และความหวานสูงกว่ามอลโทเด็กซ์ตรินที่มี DE ต่ำ แต่จะมีความหนืดต่ำกว่า (Macrae *et al*, 1993) ความสามารถในการละลายของมอลโทเด็กซ์ตรินขึ้นอยู่กับค่า DE การละลายเพิ่มขึ้นเมื่อค่า DE มากขึ้นจาก DE 5 เป็น DE 18 จากนั้นจะค่อยๆลดลง พบว่าความหนืดของสารละลายจะลดลงเมื่อค่า DE สูงขึ้น และความหนืดยังขึ้นกับปริมาณมอลโทเด็กซ์ตรินในสารละลายนั้นๆด้วย หากมีปริมาณสูง ความหนืดของสารละลายที่ได้ก็สูงตามไปด้วย มอลโทเด็กซ์ตรินเป็นโมเลกุลใหญ่ที่สามารถถูกเอนไซม์กลุ่มอะมิเลสย่อยแล้วให้น้ำตาลมอลโตสได้ เช่น มอลโทไตรโอส (maltotriose) มอลโทเทตราโอส (maltotetraose) และมอลโทเพนทาโอส (maltopentaose) เป็นต้น การผลิตมอลโตเด็กซ์ตรินนั้นมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบขึ้นตอนเดียว และแบบสองขั้นตอน ดังนี้ (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2543)

1. การผลิตแบบขึ้นตอนเดียว เป็นการย่อยแป้งโดยกรดที่อุณหภูมิมากกว่า 105 องศาเซลเซียส หรือเอนไซม์อะมิเลส ที่อุณหภูมิ 82-105 องศาเซลเซียสแล้วหยุดปฏิกิริยา โดยปรับความเป็นกรด-ด่างหลังให้ความร้อน ทำการกรองแบบสุญญากาศโดยใช้สารช่วยกรอง ปรับกลิ่นสีโดยการบ่มแล้วกรองอีกครั้ง จากนั้นต้มระเหยให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นแล้วทำเป็นผงแห้งด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

2. การผลิตแบบสองขั้นตอน เป็นการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์อะมิเลส ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส และหยุดปฏิกิริยาโดยความร้อน 110-180 องศาเซลเซียส ขนาดของ DE จะได้ปริมาณ 2-5 จากนั้นก็ใช้เอนไซม์อะมิเลสอีกครั้งหนึ่ง หรืออีกชนิดหนึ่งที่ 85 องศาเซลเซียส จนได้ DE 5-20 จึงหยุดปฏิกิริยาโดยการปรับความเป็นกรดด่างหรือความร้อน จากนั้นทำการกรองแบบสุญญากาศโดยใช้สารช่วยกรอง ปรับกลิ่นสีของผงคาร์บอนแล้วกรอง และต้มระเหยให้มีความเข้มข้นสูงขึ้นและทำเป็นผงแห้งด้วยการทำแห้งแบบพ่นฝอย

ในอุตสาหกรรมอาหารมีการใช้มอลโทเด็กซ์ตรินในหลายหน้าที่ เช่น ใช้ใน salad dressing เพื่อแทนการใช้ไขมัน ใช้มอลโทเด็กซ์ตรินควบคู่กับ cellulose gum เพื่อป้องกันการเกิดผลึกขนาดใหญ่เมื่อทำการแช่เยือกแข็งผลิตภัณฑ์ ใช้เพิ่มปริมาณของแข็งให้กับวัตถุดิบก่อนที่จะนำเข้าไป

เครื่องทำแห้ง และยังช่วยลดการดูดความชื้นกลับในผลิตภัณฑ์ผงซึ่งมีน้ำตาลเป็นองค์ประกอบสูง เช่น น้ำผลไม้ผง เป็นต้น ทำให้ผลิตภัณฑ์ผงที่ได้สามารถไหลได้โดยสะดวก (Chronakis, 1988) บริษัท Grain Processing Corporation (1994) ซึ่งเป็นบริษัทผู้ผลิตมอลโทเด็กซ์ตริน ตรามอลทริน (maltrin) แนะนำให้ใช้มอลโทเด็กซ์ตรินที่มีค่า DE 9-12 เป็นตัวพาในการทำแห้งแบบพ่นฝอยของน้ำผลไม้และไซรัป ในช่วง DE นี้มอลโทเด็กซ์ตรินมีความสามารถในการละลายสูงที่สุดประมาณร้อยละ 30 (น้ำหนักแห้ง) และสารละลายที่ได้มีความข้นหนืดประมาณ 60 เซนติพอยส์ Hart *et al.* (1963) ได้รายงานถึงชนิดของสารเพิ่มความคงตัวของโฟมและวิธีการเตรียมสารก่อนนำมาใช้ ในช่วงแรกที่มีการพัฒนากระบวนการอบแห้งแบบโฟมเมท สารเพิ่มความคงตัวของโฟมที่นิยมใช้มากที่สุดคือ glyceryl monostearate (GMS) ซึ่งเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ มีวิธีการเตรียมสารก่อนนำมาใช้โดยการเติม GMS ลงในน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 5-10 โดยน้ำหนัก คนและเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 140-155 องศาฟาเรนไฮต์ หรือใช้เครื่องผสมทำให้ GMS กระจายตัวในน้ำ ที่อุณหภูมิ 170 องศาฟาเรนไฮต์ แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 130 องศาฟาเรนไฮต์ ในการใช้งานมีการใช้ GMS เป็นสารเพิ่มความคงตัวของโฟมในอาหารเหลวหลายชนิด ได้แก่ แอปปริคอต กล้วยแช่แข็ง กล้วยกระป๋อง น้ำเลมอนเข้มข้น กากน้ำตาล ถั่ว ลูกสาเก ฝักรั้ว ลูกพรุน สตรอเบอรี่ผสมน้ำตาล น้ำตาลชูโครส ผสมเจลาติน และน้ำมะเขือเทศเข้มข้น สารเพิ่มความคงตัวของโฟมที่นิยมใช้รองลงมาคือ solubilized soya protein ซึ่งเป็นสารที่ละลายได้ในน้ำ วิธีการเตรียมก่อนนำมาใช้คือ ละลาย solubilized soya protein ในน้ำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก มีรายงานการใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวของโฟมในน้ำองุ่นเข้มข้น น้ำเกรฟฟรุต น้ำส้ม น้ำสับปะรด นมถั่วเหลืองน้ำตาลชูโครส และน้ำตาลชูโครสผสมเพกติน เป็นต้น

## 2.6 วิธีการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์อบแห้งแบบโฟมเมท

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้งจะต้องมีความชื้นต่ำเพียงพอ เพื่อให้สามารถรักษาผลิตภัณฑ์นั้นไว้ได้นาน (น้ำส้มผง ต้องการให้มีความชื้นเหลืออยู่ประมาณร้อยละ 1 มะเขือเทศผง ต้องการให้มีความชื้นเหลืออยู่ ร้อยละ 2) การอบแห้งเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นต่ำระดับนี้จะต้องอบแห้งโดยใช้กระแสลมร้อนที่ไหลแบบสวนทางกับผลิตภัณฑ์ มีการเตรียมโฟมที่ดี และบรรจุในหีบห่อที่มีความชื้นต่ำ เมื่อผลิตภัณฑ์เย็นลงถึงอุณหภูมิ 37.8 องศาเซลเซียส จะต้องเก็บไว้ในห้องที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่าร้อยละ 15

ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งแล้วมีน้ำหนักเบามาก มีช่องว่างของแก๊สแทรกอยู่ในโครงสร้าง ทำให้มีความหนาแน่นต่ำ ปกติจะมีความหนาแน่น 0.3 กรัมต่อมิลลิเมตร เมื่อนำมาละลายจะปล่อยแก๊สออกทำให้เกิดโฟมขึ้นในผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคไม่ต้องการ ดังนั้นจึงมีการนำไปกดอัดเป็นแถบบางๆด้วยลูกกลิ้งที่อุณหภูมิเพียงพอ เพื่อทำให้เกิดการไหลแบบพลาสติกแถบบางดังกล่าวมี

ลักษณะเปราะแตกง่าย เมื่อถูกคนจะแตกเป็นเกล็ด อุณหภูมิของลูกกลิ้งที่ใช้ ขึ้นอยู่กับ ชนิดของผลิตภัณฑ์ และปริมาณความชื้น การใช้ลูกกลิ้งที่มีอุณหภูมิ 65.5 องศาเซลเซียส และ 93.3 องศาเซลเซียส จะไม่มีผลต่อกลิ่นรสและการอบแห้งอย่างมีนัยสำคัญ ในกรณีที่แถบอาหารติดแน่นกับลูกกลิ้งสามารถป้องกันได้โดยทาด้วย acetylated monoglyceride บางๆลงบนผิวหน้าลูกกลิ้ง เพื่อช่วยให้แกะแถบอาหารออกได้ง่าย ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นประมาณ 0.8 กรัมต่อมิลลิเมตร มีสีที่ดี ละลายหรือซึมซับน้ำได้ทันที และไม่มีฟอง ข้อจำกัดของการอัดแน่น คือ ต้องคำนึงว่าแม้การอัดแน่นจะทำให้ต้นทุนภาชนะบรรจุลดลง แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้อัตราการดูดซับน้ำลดลง ดังนั้น การอัดแน่นนั้นจึงเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องดำเนินการ เพราะผลิตภัณฑ์ที่เป็นโฟมหรือเป็นผง จะลอยอยู่ที่ผิวหน้าเมื่อชงละลายในน้ำ ซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Brown *et al*, 1973) ผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งแล้ว ควรมีความหนาแน่นประมาณ 0.1-0.8 กรัมต่อมิลลิเมตร โดยยังมีความหนาแน่นมากยิ่งขึ้นดี (Morgan, 1961) ผลิตภัณฑ์อบแห้งแบบโฟมเมท มีวิธีการเก็บรักษาเช่นเดียวกับการอบแห้งแบบอื่นๆ นั่นคือ น้ำผลไม้ผงจะต้องถูกป้องกันความชื้น โดยเฉพาะ เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิสูงกว่า 29.4 องศาเซลเซียส

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
Copyright© by Chiang Mai University  
All rights reserved