

## บทที่ 2

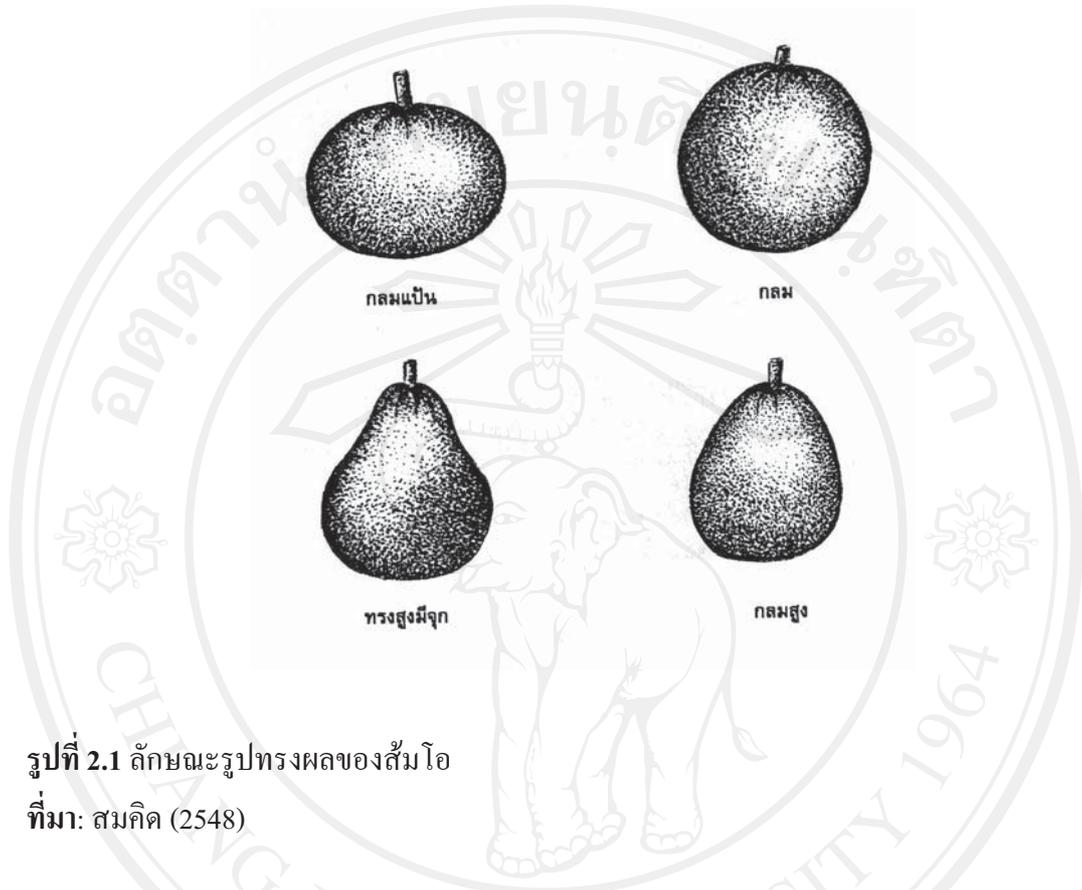
### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ส้มโอ

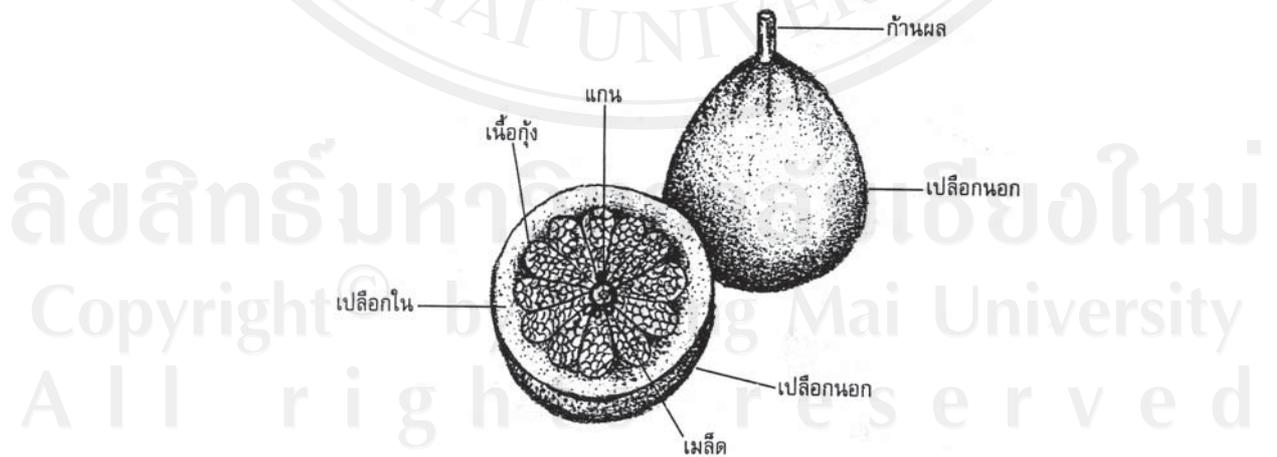
##### 2.1.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ของส้มโอ

ส้มโอเป็นผลไม้ขนาดใหญ่ที่สุดในบรรดาผลไม้ตระกูลส้ม มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Citrus grandis* Linn. หรือ *Citrus maxima* Merr. อยู่ในวงศ์ Rutaceae และมีชื่อสามัญเรียกหลายชื่อ เช่น Pummelo, Pomelo, Shaddock และ Barbados เป็นต้น ส้มโอมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ดังนี้ (สมคิด, 2548)

ส้มโอเป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กถึงขนาดกลาง ทรงต้นโปร่ง สูงประมาณ 6-15 เมตร ใบมีขนาดค่อนข้างใหญ่และหนา แผ่นใบมีรูปร่างเป็นโล่หรือคล้ายรูปไข่ สีของใบเป็นสีเขียวเข้มเป็นมัน มีดอกขนาดใหญ่ โดยเป็นดอกสมบูรณ์เพศ อาจเกิดเป็นดอกเดี่ยวหรือดอกช่อบริเวณซอกใบ แต่ละช่อมีดอกจำนวน 2-20 ดอก ผลส้มโอมีขนาดค่อนข้างใหญ่ รูปทรงของผลมีหลายแบบ เช่น กลมแป้น กลมมน และกลมสูง เป็นต้น บางพันธุ์มีจุดคล้ายผลสาลี่หรือผลฝรั่ง (รูปที่ 2.1) มีขนาดของเส้นรอบวงด้านกว้างบริเวณกลางผลประมาณ 30-57 เซนติเมตร ผลขณะยังอ่อนจะมีสีเขียว เมื่อผลแก่หรือสุกจะมีสีเหลือง โครงสร้างสำคัญของพืชตระกูลส้มแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ เปลือกชั้นนอก (exocarp หรือ flavedo) หนาประมาณ 1.5-2.0 เซนติเมตร มีลักษณะเหนียวและมีต่อมน้ำมัน (oil gland) กระจายอยู่ทั่วไปตามผิวผล เปลือกชั้นใน (mesocarp หรือ albedo) มีลักษณะอ่อนนุ่ม มีสีขาวหรือสีชมพูตามลักษณะประจำสายพันธุ์ ตรงกลางผลมีแกนแต่บางพันธุ์ไม่มี และเนื้อ (endocarp หรือ rag) มีสีขาว สีเหลืองอ่อน หรือสีชมพูจนถึงสีแดง แต่ละผลมีกลีบประมาณ 12-14 กลีบ เนื้อของแต่ละกลีบแยกออกจากกันได้ง่าย โดยเนื้อที่รับประทานได้มีลักษณะเป็นเส้นยาวยาวอัดรวมตัวกัน เรียกว่า กุ้ง ภายในกุ้งจะมีน้ำบรรจุอยู่ ซึ่งมีรสหวานหรือหวานอมเปรี้ยว จำนวนเมล็ดในผลมีน้อยและมีหลายขนาด เมล็ดมีสีขาวอมเหลือง ผิวเมล็ดมีลักษณะเป็นร่องเล็กๆ โดยเมล็ดจะอยู่รวมกันตรงกลางผล ส่วนประกอบและภาพตัดขวางของผลส้มโอ แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ลักษณะรูปทรงผลของส้มโอ  
ที่มา: สมคิด (2548)



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบและภาพตัดขวางของผลส้มโอ  
ที่มา: สมคิด (2548)

### 2.1.2 พันธุ์ส้มโอ

พันธุ์ส้มโอที่ปลูกในประเทศไทยมีอยู่หลายพันธุ์ บางพันธุ์ก็มีลักษณะใกล้เคียงกันแต่ปลูกคนละท้องถิ่น จึงเรียกชื่อแตกต่างกันไป โดยพันธุ์ที่นิยมปลูกเพื่อการค้า มีดังนี้ (สมคิด, 2548)

ก) พันธุ์ขาวพวง ผลมีขนาดใหญ่ปานกลาง น้ำหนักผลเฉลี่ย 1,771 กรัม ทรงผลกลมสูงเล็กน้อย หัวจุกสูงมีกีบ มีเส้นผ่าศูนย์กลางผลประมาณ 18 เซนติเมตร ผิวผลเรียบมีสีเขียวอมเหลือง เปลือกหนาปานกลาง สีของเปลือกในและผนังกลีบมีสีขาว ส่วนเนื้อมีสีขาวอมเหลือง มีรสหวานอมเปรี้ยว แหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ จังหวัดนครปฐม สมุทรสาคร ราชบุรี และปราจีนบุรี

ข) พันธุ์ขาวทองดี หรือทองดี ผลมีขนาดใหญ่ปานกลาง น้ำหนักผลประมาณ 940-1,060 กรัม ทรงผลกลมแป้น ไม่มีจุก เส้นผ่าศูนย์กลางผลประมาณ 14-16 เซนติเมตร หัวมีจิบเล็กน้อย ผิวผลเรียบมีสีเขียว เปลือกค่อนข้างบาง สีของเปลือกใน ผนังกลีบและเนื้อมีสีชมพูอ่อน มีรสหวานสนิท แหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ จังหวัดนครปฐม สมุทรสาคร และราชบุรี

ค) พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ผลมีขนาดค่อนข้างใหญ่ น้ำหนักผลเฉลี่ย 1,800 กรัม ทรงผลกลม มีจุกแต่เห็นไม่ชัดเจนเหมือนพันธุ์ขาวพวง เส้นผ่าศูนย์กลางผลประมาณ 17 เซนติเมตร ผิวผลเรียบมีสีเขียวเข้ม เปลือกค่อนข้างหนา สีของเปลือกในและผนังกลีบมีสีขาว เนื้อมีสีเหลืองอมน้ำตาลหรือสีน้ำผึ้ง มีรสหวานอมเปรี้ยว แหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ จังหวัดนครปฐม สมุทรสาคร และราชบุรี

ง) พันธุ์ขาวใหญ่ ผลมีขนาดใหญ่ น้ำหนักผลประมาณ 1,200-2,300 กรัม ทรงผลกลมสูง มีจุก เส้นผ่าศูนย์กลางผลประมาณ 14-19 เซนติเมตร ผิวผลเรียบมีสีเขียวอมเหลืองเปลือกหนาปานกลาง สีของเปลือกในและผนังกลีบมีสีขาว เนื้อมีสีขาวอมเหลือง มีรสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย แหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ จังหวัดนครปฐม สมุทรสาคร สมุทรสงคราม และเชียงใหม่

จ) พันธุ์ขาวแป้น ผลมีขนาดใหญ่ปานกลาง ทรงผลกลมแป้นแต่ไม่เป็นเหมือนพันธุ์ขาวทองดี ไม่มีจุก เส้นผ่าศูนย์กลางผลประมาณ 12-15 เซนติเมตร ผิวผลเรียบมีสีเหลืองอ่อนหรือเหลืองอมเขียว เปลือกหนา สีของเปลือกในและผนังกลีบมีสีขาว เนื้อมีสีขาวอมเหลือง มีรสหวานอมเปรี้ยว แหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ จังหวัดนครปฐม และราชบุรี

ฉ) พันธุ์ข้าวหอม ผลมีขนาดใหญ่ปานกลาง น้ำหนักผลประมาณ 800-2,300 กรัม ทรงผลกลม ไม่มีจุก ก้นผลเรียบ เส้นผ่าศูนย์กลางผลประมาณ 12-16 เซนติเมตร ผิวผลเรียบมีสีเขียวอมเหลืองเล็กน้อย เปลือกค่อนข้างบาง สีของเปลือกในและผนังกลีบมีสีขาว เนื้อมีสีขาวอมเหลือง มีรสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย แหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ จังหวัดนครปฐม สมุทรสาคร และราชบุรี

ช) พันธุ์ข้าวแดงกวาง ผลมีขนาดใหญ่ปานกลาง น้ำหนักผลประมาณ 816-1,580 กรัม ทรงผลกลมแป้น ไม่มีจุก ก้นผลปานจนถึงเว้าเล็กน้อย เส้นผ่าศูนย์กลางผลประมาณ 14-16 เซนติเมตร ผิวผลเรียบมีสีเขียว เปลือกหนา สีของเปลือกในและผนังกลีบมีสีขาว เนื้อมีสีขาวอมเหลือง มีรสหวานอมเปรี้ยวเล็กน้อย แหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ อำเภอสรรคบุรี อำเภอวัดสิงห์ และอำเภอโนนรมย์ จังหวัดชัยนาท นครสวรรค์และอุทัยธานี

ซ) พันธุ์ท่าข่อย ผลมีขนาดใหญ่ ทรงผลกลมสูง ก้นผลเรียบจนถึงเว้าเล็กน้อย หัวมีจิบเล็กน้อย ไม่มีจุก เส้นผ่าศูนย์กลางผลประมาณ 15-18 เซนติเมตร ผิวผลเรียบมีสีค่อนข้างเหลือง เปลือกหนา สีของเปลือกในและผนังกลีบมีสีชมพู เนื้อมีสีชมพูอ่อน มีรสหวานอมเปรี้ยว แหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ จังหวัดพิจิตร พิษณุโลกและเขตภาคเหนือตอนล่าง

ฌ) พันธุ์ท่าข่อยบุญองค์พิจิตร ผลมีขนาดใหญ่ น้ำหนักผลประมาณ 1,500-2,100 กรัม ทรงผลกลมแป้น ก้นผลเรียบจนถึงเว้าเล็กน้อย หัวมีจิบเล็กน้อย เส้นผ่าศูนย์กลางผลประมาณ 15.7 เซนติเมตร ผิวผลเรียบมีสีค่อนข้างเหลือง สีของเปลือกในและผนังกลีบมีสีชมพู เนื้อมีสีชมพูอ่อน มีรสหวานอมเปรี้ยวและมีกลิ่นหอมเฉพาะตัว แหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ จังหวัดพิจิตร และพิษณุโลก

ญ) พันธุ์หอมหาดใหญ่ ทรงผลกลมคล้ายพันธุ์ข้าวหอม แต่ผลมีขนาดเล็กกว่า น้ำหนักผลประมาณ 1,000-1,500 กรัม ก้นผลเรียบ เส้นผ่าศูนย์กลางผลประมาณ 15 เซนติเมตร ผิวผลหยาบ สัมไอต้นสาวเปลือกจะหนา หากเป็นสัมไอต้นแก่เปลือกจะบาง สีของเปลือกในและผนังกลีบมีสีชมพู เนื้อมีสีชมพูเข้มถึงสีแดง มีรสหวานอมเปรี้ยว แหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา

ฎ) พันธุ์ปัดตาเวีย ผลมีขนาดใหญ่ปานกลาง ทรงผลกลมแป้น ก้นผลแบนเรียบ หัวมีจิบเล็กน้อย เส้นผ่าศูนย์กลางผลประมาณ 14-16 เซนติเมตร ผิวผลเรียบมีสีเขียวอมเหลือง เปลือกในค่อนข้างบางและมีสีขาว เนื้อมีสีขาวอมเหลืองถึงชมพูอ่อน มีรสจืด แหล่งปลูกที่สำคัญได้แก่ จังหวัดชุมพร สุราษฎร์ธานี นครศรีธรรมราช และสงขลา

ฎ) พันธุ์ทับทิม ผลมีขนาดปานกลาง น้ำหนักผลประมาณ 840-1,120 กรัม ทรงผลกลมสูง เล็กน้อย มีจุก ก้นผลเรียบถึงเว้าเล็กน้อย เส้นผ่าศูนย์กลางผลประมาณ 13-17 เซนติเมตร ผิวผลเรียบ มีสีเขียวอมเหลือง เปลือกค่อนข้างหนา ผนังกลีบสีชมพู เนื้อมีสีชมพูเกือบแดงคล้ายสีทับทิม มีรสค่อนข้างเปรี้ยวมากกว่าส้ม ไอพันธ์อื่นๆ แต่เมื่อแก่จัดรสเปรี้ยวจะลดลงบ้าง แหล่งปลูกที่สำคัญ ได้แก่ จังหวัดนนทบุรี

จ) พันธุ์กรุ่น ผลมีขนาดปานกลางถึงใหญ่ ทรงผลกลมสูง หัวมีจิบเล็กน้อย ไม่มีจุก ก้นผล เว้าเล็กน้อย เส้นผ่าศูนย์กลางผลประมาณ 15-18 เซนติเมตร ผิวผลเรียบมีสีเขียวอมเหลือง เปลือก ค่อนข้างบาง เปลือกในและผนังกลีบสีขาวอมชมพู เนื้อมีสีเหลืองอ่อน มีรสเปรี้ยวอมหวาน แหล่ง ปลูกที่สำคัญได้แก่ อำเภอนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี

ข) พันธุ์ขาวพ้อม หรืออีพ้อม ผลมีขนาดใหญ่ ทรงผลกลมสูง เส้นผ่าศูนย์กลางผล 15 เซนติเมตร เปลือกหนา ผนังกลีบสีขาว ส่วนเนื้อมีสีชมพูอ่อน มีรสหวานปานกลาง แหล่งปลูกที่ สำคัญได้แก่ อำเภอสามพราน อำเภอนครไชยศรี จังหวัดนครปฐม สมุทรสาคร และนนทบุรี

### 2.1.3 สถานการณ์การปลูกและตลาดของส้มโอภายในและต่างประเทศ

ส้มโอเป็นผลไม้ตระกูลส้มที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ เนื่องจากมีผู้นิยมบริโภคกันอย่าง แพร่หลายทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ส้มโอสามารถปลูกและเจริญเติบโตได้ดีในทุกภูมิภาค ของประเทศไทย โดยปลูกได้ในดินเกือบทุกชนิด ทั้งยังโตเร็ว ดูแลรักษาง่าย และให้ผลได้ตลอด ทั้งปี ทำให้ส้มโอเป็นผลไม้ส่งออกที่สำคัญของประเทศ (สมคิด, 2548) ซึ่งสำนักงานเศรษฐกิจ การเกษตรได้ทำการเปรียบเทียบผลการผลิตและการค้าส้มโอทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2550-2552 แสดงดังตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 ปริมาณการผลิตส้มโอทั้งประเทศปี พ.ศ. 2550-2552

รายการ	ปี พ.ศ.		
	พ.ศ. 2550	พ.ศ. 2551	พ.ศ. 2552
1. จำนวนครัวเรือน	65,638	65,579	65,455
2. เนื้อที่ให้ผล (ไร่)	200,965	203,123	200,987
3. ผลผลิต (ตัน)	308,079	320,122	305,500
4. ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)	1,533	1,576	1,578
5. ต้นทุนการผลิต (บาท/ตัน)	6,036	6,728	6,756
6. ราคาที่เกษตรกรขาย (บาท/ตัน)	8,370	10,060	12,090

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2553)

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการค้าส้มโอทั้งประเทศปี พ.ศ. 2550-2552

รายการ	ปี พ.ศ.		
	พ.ศ. 2550	พ.ศ. 2551	พ.ศ. 2552
1. ส่วนแบ่งตลาดโลก (%)	0.89	1.05	1.08
2. ส่งขายในประเทศ (ตัน)	298,008	308,904	293,500
3. ส่งออกต่างประเทศ (ตัน)	10,071	11,218	12,000
4. มูลค่า (ล้านบาท)	119.95	109.23	100.00

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2553)

ตลาดของส้มโอมีทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ โดยตลาดภายในประเทศ ได้แก่ ตลาดท้องถิ่นในจังหวัดต่างๆ และตลาดขายส่งสี่มุมเมือง เป็นต้น ส่วนตลาดของส้มโอในต่างประเทศ ได้แก่ ประเทศฮ่องกง สิงคโปร์ มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย อเมริกา แคนาดา และ

ในยุโรป ปัจจุบันตลาดต่างประเทศเริ่มขยายไปทางตะวันออกกลาง เช่น บาร์เรน ซาอุดีอาระเบีย คูเวต และโอมาน เป็นต้น (สมคิด, 2548; สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553)

#### 2.1.4 คุณค่าทางโภชนาการของส้มโอ

ส้มโอเป็นไม้ผลที่มีรสชาติดีทำให้เป็นที่นิยมของผู้บริโภค ทั้งยังมีให้เลือกหลายสายพันธุ์ นอกจากนั้นยังเป็นผลไม้ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง (สมคิด, 2548) โดยคุณค่าทางโภชนาการของส้มโอ แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณค่าทางโภชนาการของส้มโอต่อน้ำหนัก 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณ
พลังงาน (แคลอรี)	39
คาร์โบไฮเดรต (กรัม)	9.5
โปรตีน (กรัม)	0.7
ไขมัน (กรัม)	0.3
เส้นใย (กรัม)	0.4
แคลเซียม (มิลลิกรัม)	27
ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัม)	22
เหล็ก (มิลลิกรัม)	0.5
วิตามินเอ (หน่วยสากล)	50
วิตามินบีหนึ่ง (มิลลิกรัม)	0.05
วิตามินบีสอง (มิลลิกรัม)	0.02
วิตามินซี (มิลลิกรัม)	53
ไนอาซิน (มิลลิกรัม)	0.3

ที่มา: ชูเกียรติ (2526)

## 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของกากพีชตระกูลส้มและสารให้รสขมในพีชตระกูลส้ม

### 2.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกากพีชตระกูลส้ม

กากพีชตระกูลส้มมีองค์ประกอบหลัก ได้แก่ น้ำ น้ำตาล เส้นใยอาหาร กรดอินทรีย์ กรดอะมิโนและโปรตีน แร่ธาตุ น้ำมันและไขมัน ฟลาโวนอยด์และวิตามิน ซึ่งองค์ประกอบเหล่านี้จะพบในปริมาณแตกต่างกันขึ้นกับชนิดและส่วนของพีชตระกูลส้ม เช่น น้ำพีชตระกูลส้ม (juice) เปลือกชั้นใน (albedo) เปลือกชั้นนอก (flavedo) กาก (rag) เนื้อ (pulp) และเมล็ด (seeds) เป็นต้น (Braddock, 1999; Fernandez-Ginés *et al.*, 2004) Marin *et al.* (2005) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของส่วนต่างๆ ของของเหลือจากพีชตระกูลส้ม พบว่า ในแต่ละส่วนของพีชตระกูลส้ม และในแต่ละชนิดของของเหลือจากพีชตระกูลส้มมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของของเหลือจากพีชตระกูลส้ม

ชนิดและส่วนของพีชตระกูลส้ม	องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ โดยน้ำหนักแห้ง)					
	เถ้า (Ash)	น้ำตาล (Sugar)	ไขมัน (Fat)	โปรตีน (Protein)	ฟลาโวนอยด์ (Flavonoid)	เส้นใยอาหาร (Dietary fiber)
Grapefruit (whole)	8.09	8.02	0.52	12.51	3.04	52.25
Satsuma (peel)	5.05	10.07	1.59	7.50	5.09	53.16
Lemon (peel)	2.52	6.52	1.51	7.00	12.54	51.71
Lemon (pulp)	2.54	9.01	3.09	8.72	4.52	77.35
Sweet orange (peel)	2.56	9.57	4.00	9.06	4.50	78.66
Sweet orange (pulp)	2.55	6.04	1.52	6.55	11.00	51.67

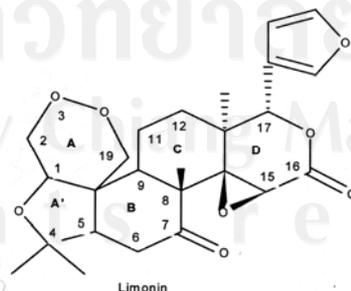
ที่มา: คัดแปลงจาก Marin *et al.* (2005)

### 2.2.2 สารให้รสขมในพืชตระกูลส้ม

ความขม (bitterness) ในพืชตระกูลส้มเป็นปัญหาที่สำคัญในการผลิตผลิตภัณฑ์จากส้ม ซึ่งสารที่ทำให้เกิดรสขมในพืชตระกูลส้มพบมากในส่วนของเปลือก (peel) กาก (rag) ผนังกลีบ (segment membrane) แกน (core) เนื้อ (pulp) เมล็ด (seeds) และน้ำพืชตระกูลส้ม (juice) เป็นต้น โดยทั่วไปสามารถแบ่งสารให้รสขมในพืชตระกูลส้ม เป็น 2 กลุ่ม คือ

#### ก) ลิโมนอยด์ (limonoids)

เป็นกลุ่มอนุพันธ์ของไตรเทอร์พีน ลิโมนอยด์ที่สำคัญคือ ลิโมนิน (limonin) ซึ่งมีโครงสร้างทางเคมี แสดงดังรูปที่ 2.3 เป็นสารที่ทำให้ความขมมากแม้จะมีความเข้มข้นต่ำเพียง 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ลิโมนินมีสูตรทางเคมี คือ  $C_{26}H_{30}O_8$  น้ำหนักโมเลกุล 470.52 กรัมต่อโมล ลิโมนินละลายได้ในกรดอะซิติก และคลอโรฟอร์ม ละลายน้ำได้เล็กน้อย แต่จะละลายน้ำได้เพิ่มขึ้นเมื่อมีน้ำตาลและเพคติน ลิโมนินเกิดขึ้นในระหว่างการสกัดน้ำส้มโดยลิโมนเอท เอริง แลคโตน (Limonate A-ring lactone) ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีรสขมและละลายน้ำได้ เกิดเอสเทอริฟิเคชัน (esterification) โดยการเหนี่ยวนำด้วยเอนไซม์และถูกเร่งปฏิกิริยาด้วยกรด แล้วเปลี่ยนโครงสร้างเป็นลิโมนินซึ่งมีรสขมในระหว่างการพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurize) หรือการระเหยน้ำส้ม ความร้อนช่วยเร่งปฏิกิริยานี้ให้เกิดเร็วขึ้น ลิโมนินพบในส่วนของเปลือกชั้นใน ผนังกลีบ และเมล็ด ซึ่งเป็นส่วนที่มีปริมาณลิโมนินมากที่สุด (สุวรรณ และคณะ, 2547) Wilson and Crutchfield (1968) ได้รายงานถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณลิโมนินกับระดับความขมในผลไม้ตระกูลส้ม ดังนี้ ปริมาณลิโมนิน 3-6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คือ ไม่ขม, 7-9 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คือ ขมน้อย, 10-23 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คือ ขม และ 24-30 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คือ ขมมาก



รูปที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของลิโมนิน (limonin)

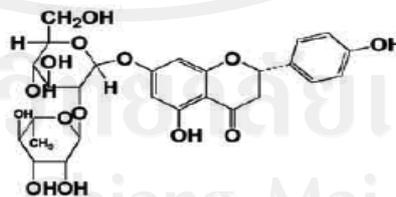
ที่มา: Roy and Saraf (2006)

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณลิโมนินในพืชตระกูลส้ม สามารถทำได้หลายวิธี เช่น วิธีสเปกโตรสโกปี (spectroscopy) แก๊ส โครมาโตกราฟี (Gas Chromatography, GC) ทินเลเยอร์ โครมาโตกราฟี (thin-layer chromatography, TLC) เอนไซม์ลิงค์ อิมมูโนแอสเสย์ (enzyme-linked immunoassay, EIA) เรดิโอ อิมมูโนแอสเสย์ (radio immunoassay, RIA) และไฮเพอร์ฟอร์แมน-ลิควิด โครมาโตกราฟี (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) ซึ่งการวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC เป็นวิธีที่นิยมใช้หาปริมาณลิโมนินกันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำผลไม้ พืชตระกูลส้ม (Kimball, 1991)

### ข) ฟลาโวนอยด์ (flavonoids)

เป็นสารประกอบกลุ่มพอลิฟีนอล ซึ่งประกอบด้วยวงอะโรมาติกตั้งแต่ 2 วงขึ้นไป โดยมีการจับกับคาร์บอนและ aromatic hydroxyl แสดงคั้งรูปที่ 2.4 โดยทั่วไปอยู่ในรูปของไกลโคไซด์ โดยฟลาโวนอยด์ที่สำคัญ คือ นารินจิน (naringin) และเฮสเพอริดิน (hesperidin) นารินจินมีสูตรทางเคมี คือ  $C_{27}H_{32}O_{14}$  น้ำหนักโมเลกุล 580.54 กรัมต่อโมล นารินจินละลายได้ใน อะซิโตน แอลกอฮอล์ และกรดอะซิติก ละลายในน้ำเย็นได้เล็กน้อย แต่ละลายได้ดีในน้ำอุ่น นารินจินพบมากในเปลือกชั้นใน (Pichaiyongvongdee and Haruenkit, 2009) ระดับการรับ รสขม ของนารินจิน ผู้บริโภคจะสามารถรับรสขมได้ก็ต่อเมื่อมีปริมาณนารินจินประมาณ 700 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัมขึ้นไป (อรพิน, 2534)

Naringin



รูปที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของนารินจิน (naringin)

ที่มา: Majo *et al.* (2005)

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณนารินจินในพืชตระกูลส้ม สามารถทำได้หลายวิธีเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ปริมาณลิโมนิน เช่น การวิเคราะห์ด้วยสเปกโตรโฟโตเมตริก (spectrophotometric)

ตามวิธีของ Davis (1947) โดยหลักการของวิธีนี้คือ ฟลาวาโนน (flavanones) จะทำปฏิกิริยากับ แอลคาไรน์ ไดเอทิลีน ไกลคอล (alkaline diethylene glycol) แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร และวิธีการวิเคราะห์ด้วยวิธี HPLC (Kimball, 1991)

### 2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณสารให้รสขม

ปริมาณของสารให้รสขมในพืชตระกูลส้มจะผันแปรไปขึ้นกับปัจจัยหลายชนิด ดังนี้

1. ช่วงเวลาในการเก็บเกี่ยว มีผลต่อปริมาณสารให้รสขมในพืชตระกูลส้ม กล่าวคือ เมื่อเก็บเกี่ยวผลไม้ในช่วงต้นฤดูหรือผลยังมีอายุน้อยอยู่ จะมีปริมาณสารให้รสขมมาก แต่ถ้าเก็บในช่วงปลายฤดูหรือเมื่อผลแก่ ปริมาณสารให้รสขมจะลดลง (Albach *et al.*, 1981) ลัดดาและคณะ (2548) ศึกษาปริมาณลิโมนินและนารินจินในเนื้อส้มโอพันธุ์ทองดี ขาวน้ำผึ้ง และขาวใหญ่ที่มีอายุการเก็บเกี่ยวต่างกัน โดยวิเคราะห์ที่อายุการเก็บ 7, 8 และ 9 เดือน พบว่า ปริมาณลิโมนินและนารินจินจะลดลงเมื่ออายุการเก็บเกี่ยวเพิ่มมากขึ้น

2. ชนิดและสายพันธุ์ ผลไม้ต่างชนิดกันจะมีปริมาณสารให้รสขมแตกต่างกัน หรือผลไม้ชนิดเดียวกันแต่คนละสายพันธุ์ก็จะมีปริมาณสารให้รสขมต่างกันด้วย ลัดดาและคณะ (2548) ศึกษาปริมาณลิโมนินและนารินจินในเนื้อส้มโอพันธุ์ต่างๆ 8 พันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ขาวใหญ่ ขาวน้ำผึ้ง ขาวแดงขาว ขาวหอม ขาวแป้น ทองดี ท่าข่อย และพื้นเมืองเชียงใหม่ โดยใช้เทคนิค HPLC พบว่า มีปริมาณลิโมนินอยู่ในช่วง 6.82-32.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพันธุ์ขาวแดงขาวมีปริมาณลิโมนินมากที่สุด คือ 32.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ส่วนนารินจินมีปริมาณอยู่ในช่วง 200.84-578.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม โดยพันธุ์พื้นเมืองเชียงใหม่มีปริมาณนารินจินมากที่สุด คือ 578.76 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม

3. ส่วนต่างๆ ของผลไม้ พบว่า เมล็ดเป็นส่วนที่มีปริมาณลิโมนินมากที่สุด และเปลือกเป็นส่วนที่มีปริมาณนารินจินมากที่สุด ดังนั้นถ้าปอกเปลือกหรือแยกเมล็ดออกก่อนจะทำให้สารให้รสขมส่วนใหญ่ถูกขจัดออกไปพร้อมกับเปลือกและเมล็ด (อรพิน, 2534) จึงมีสารให้รสขมเหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์น้อยลง Pichaiyongvongdee and Haruenkit (2009) ทำการศึกษาปริมาณลิโมนินและนารินจินในส่วนต่างๆ ของส้มโอ 7 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ขาวน้ำผึ้ง ทองดี ขาวแป้น ขาวใหญ่ ท่าข่อย ขาวแดงขาว และปัตตาเวีย พบว่า เมล็ดเป็นส่วนที่มีปริมาณลิโมนินมากที่สุด รองลงมาคือ เปลือกชั้นใน เปลือกชั้นนอก และน้ำ โดยพบปริมาณลิโมนินอยู่ในช่วง

1,375.31-2,615.30, 133.58-352.72, 130.16-295.49 และ 10.07-29.62 มิลลิกรัม ต่อ กิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนนารินจินพบมากที่สุดในเปลือกชั้นใน รองลงมาคือ เปลือกชั้นนอก ผนังกลีบ เมล็ด และน้ำส้มโอ โดยพบปริมาณนารินจินอยู่ในช่วง 10,065.06-28,508.01, 2,483.96-8,964.21, 1,799-4,369.50, 257.87-426.66 และ 242.63-386.45 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม ตามลำดับ

4. สภาพะในการบีบคั้นน้ำผลไม้ ถ้าใช้แรงบีบคั้นต่ำจะมีปริมาณสารให้รสขมในน้ำผลไม้ต่ำ แต่ถ้าใช้แรงบีบคั้นสูงก็จะมีปริมาณสารให้รสขมเพิ่มสูงขึ้นด้วย เพราะแรงบีบคั้นจะทำให้เนื้อเยื่อถูกกระทบกระเทือน ทำให้สารให้รสขมถูกสกัดออกมาได้มาก ในเชิงอุตสาหกรรม การควบคุมแรงบีบคั้นทำได้ยากเพราะถ้าหากใช้แรงบีบคั้นต่ำ ปริมาณน้ำผลไม้ที่คั้นได้นั้นจะน้อยลงไปด้วย นอกจากนั้นระยะเวลาในการสัมผัสของเนื้อเยื่อกับน้ำผลไม้มีผลต่อปริมาณสารให้รสขมด้วยเช่นกัน ดังนั้นควรแยกเนื้อเยื่อออกจากน้ำผลไม้โดยเร็วที่สุด เนื่องจากสามารถช่วยลดปริมาณสารให้รสขมได้ ซึ่งทำให้รสขมในน้ำผลไม้ลดลง (สุวรรณ และคณะ, 2547)

#### 2.4 การลดความขม

การลดความขม (debittering) เป็นกระบวนการสำคัญในการควบคุมคุณภาพ ทั้งยังช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์จากพืชตระกูลส้ม (Hernandez *et al.*, 1992; Chien *et al.*, 2001) การลดความขมสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ตัวดูดซับ การใช้เอนไซม์และจุลินทรีย์ การปรับพีเอช การสกัดด้วยน้ำ การสกัดด้วยเอทานอล การใช้วัตถุเจือปน และการใช้เปลือกไข่ เป็นต้น ซึ่งการเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับข้อจำกัดและความเหมาะสมของแต่ละวิธี

ณัฐฐา และคณะ (2540) ศึกษาการลดปริมาณลิโมนินในน้ำส้มเขียวหวานโดยใช้เปลือกไข่ พบว่า สภาพที่สามารถลดปริมาณลิโมนินในลังกวนได้มากที่สุด คือ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พีเอช 3-5 ระยะเวลา 1 ชั่วโมง เปลือกไข่ขนาด 60-80 เมช (180-250 ไมโครเมตร) ปริมาณเปลือกไข่ 15 กรัมต่อน้ำส้มเขียวหวาน 100 มิลลิลิตร โดยที่สภาพดังกล่าวสามารถลดปริมาณลิโมนินจาก 11.39 เหลือ 7.8 มิลลิกรัมต่อ กิโลกรัม คิดเป็นร้อยละการลดลงของปริมาณลิโมนินเท่ากับ 31.50 โดยน้ำหนัก

นิธิมา (2546) ศึกษาการลดความขมในผงเปลือกส้มโดยวิธีการสกัด 3 วิธี คือ การสกัดด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 30, 40, 50 และ 60 องศาเซลเซียส (อัตราส่วนเปลือกต่อน้ำเท่ากับ 1:50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) การสกัดด้วยการปรับพีเอชของตัวอย่างเป็น 7, 8 และ 9 และการสกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 35, 55, 75 และ 95 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการลดความขมทั้ง 3 วิธี พบว่า การลดความขมด้วยการปรับพีเอชเป็น 7 สามารถลดสารให้รสขมในผงเปลือกส้มได้ดีที่สุด และมีคะแนนการยอมรับรวมสูงสุด ( $p \leq 0.05$ )

สุพัตรา (2547) ศึกษาการลดปริมาณลิโมนินในน้ำส้มเขียวหวานโดยใช้ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง โดยทดสอบด้วยไคโตซานใน 3 ลักษณะ คือ เมมเบรน ชั้นเคลือบอัดแน่น และการกวนผสมด้วยเกล็ดไคโตซานในน้ำส้ม พบว่า การกวนผสมด้วยเกล็ดไคโตซานเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด โดยสภาวะที่เหมาะสม คือ ใช้เกล็ดไคโตซานขนาด 500-850 ไมโครเมตร กวนผสมกับน้ำส้มด้วยอัตราส่วนปริมาณเกล็ดไคโตซานต่อปริมาตรน้ำส้มเท่ากับ 1 ต่อ 20 กวนที่ความเร็ว 40 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 นาที ให้ประสิทธิภาพในการลดปริมาณลิโมนินจาก  $4.1 \pm 0.2$  เหลือ  $2.7 \pm 0.3$  มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม คิดเป็นร้อยละการลดลงของปริมาณลิโมนินเท่ากับ  $32.7 \pm 8.9$  โดยน้ำหนัก

สุวรรณ และคณะ (2547) ศึกษาผลของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ต่อระดับความขมของนารินจินในน้ำมะนาว พบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ นำผลมะนาวมาผ่านความร้อนในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล ที่ระดับอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที โดยมีปริมาณนารินจินลดลงมากที่สุด คือ เหลือประมาณ 102 มิลลิกรัมต่อลิตร

Chien *et al.* (2001) ศึกษาประสิทธิภาพของเอนไซม์นารินจินเนส (naringinase) และเอนไซม์ผสมระหว่าง  $\alpha$ -L-rhamnosidase และ  $\beta$ -D-glucosidase ในการย่อยนารินจินในน้ำเกรฟฟรุต พบว่า การย่อยนารินจินด้วยเอนไซม์นารินจินเนสใช้ระยะเวลา 50 นาที ส่วนการย่อยนารินจินด้วยเอนไซม์ผสมระหว่าง  $\alpha$ -L-rhamnosidase และ  $\beta$ -D-glucosidase ใช้ระยะเวลาในการย่อยน้อยกว่าคือ 30 นาที โดยเอนไซม์  $\alpha$ -L-rhamnosidase เปลี่ยนนารินจินเป็นพรูนิ (prunin) ซึ่งเป็นสารที่มีรสขมเล็กน้อย จากนั้นพรูนิจะถูกย่อยด้วยเอนไซม์  $\beta$ -D-glucosidase เปลี่ยนเป็นนารินจินิน (naringenin) ซึ่งเป็นสารที่ไม่มีรสขม

Maria *et al.* (2002) ศึกษาการลดปริมาณลิโมนินและนารินจินในน้ำผลไม้โดยใช้ตัวดูดซับชนิดต่างๆ ได้แก่ activated diatomaceous earth, activated granular carbon (20-40 mesh) และ amberlite neutral resins (XAD-4, XAD-7 และ XAD-16) พบว่า XAD-16, XAD-7 และ activated granular carbon มีความสามารถในการดูดซับลิโมนินได้ดี โดยดูดซับลิโมนินได้มากกว่าร้อยละ 95 เมื่อใช้ตัวดูดซับในปริมาณน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 1 ส่วน XAD-4 และ activated diatomaceous earth สามารถดูดซับลิโมนินได้ประมาณร้อยละ 80 เมื่อใช้ตัวดูดซับในปริมาณมากกว่าร้อยละ 2 ส่วนการดูดซับนารินจิน พบว่า activated granular carbon และ XAD-7 สามารถดูดซับนารินจินได้ดีกว่า XAD-16 และ XAD-4 แต่ activated diatomaceous earth ไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้ดูดซับนารินจินออกจากน้ำผลไม้ เนื่องจากดูดซับนารินจินได้ปริมาณน้อย

Yu *et al.* (2007) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดลิโมนอยด์และนารินจินในเมล็ดเกรฟฟรุต โดยใช้คาร์บอนไดออกไซด์เหนือจุดวิกฤติ (Supercritical carbon dioxide, SC-CO<sub>2</sub>) เป็นตัวทำละลาย พบว่า สภาวะในการสกัดที่ให้ปริมาณลิโมนินสูงสุด คือ ความดัน 48.3 MPa อุณหภูมิในการสกัด 50 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการสกัด 60 นาที โดยสกัดปริมาณลิโมนินได้สูงสุด คือ 6.3 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเมล็ดแห้ง ส่วนสภาวะในการสกัดที่ให้ปริมาณ Limonin 17-β-D-glucopyranoside (LG) และนารินจิน คือ 48.3 และ 41.4 MPa ตามลำดับ อุณหภูมิในการสกัด 50 องศาเซลเซียส และเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 30 และ 20 ตามลำดับ โดยสกัดปริมาณ LG และนารินจินได้สูงสุด คือ 0.62 และ 0.2 มิลลิกรัมต่อกรัมน้ำหนักเมล็ดแห้ง ตามลำดับ

## 2.5 เส้นใยอาหาร

### 2.5.1 ความหมายของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหาร (dietary fiber) หมายถึง ส่วนของเซลล์พืชที่ไม่สามารถย่อยด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารและไม่ถูกดูดซึมในบริเวณลำไส้เล็กของมนุษย์ (Prosky and Devries, 1992; McCleary and Prosky, 2001) ในพืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณและชนิดของเส้นใยอาหารแตกต่างกัน เส้นใยอาหารประกอบด้วยสารประกอบที่มีโครงสร้างเป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ไม่ใช่แป้ง (non-starch polysaccharides) ได้แก่ เซลลูโลส (cellulose) เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) กัม (gum)

เพคติน (pectin) และมิวซิเลจส์ (mucilages) เป็นต้น และสารประกอบที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ได้แก่ ลิกนิน (lignin) (Baghurst *et al.*, 1996; Eastwood, 1997; Spiller, 2001)

## 2.5.2 ประเภทของเส้นใยอาหาร

เส้นใยอาหารแบ่งตามความสามารถในการละลายน้ำได้เป็น 2 ชนิด คือ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Gorinstein *et al.*, 2001; Meyer, 2004)

### 2.5.2.1 เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ

เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ (soluble dietary fiber) คือ เส้นใยอาหารส่วนที่มีคุณสมบัติในการละลายน้ำ เส้นใยอาหารชนิดนี้มักจะปนอยู่กับส่วนที่เป็นแป้งในพืช ได้แก่ กัม เพคติน และมิวซิเลจส์ เส้นใยอาหารชนิดนี้สามารถรวมตัวกับน้ำได้ในปริมาณมาก เกิดการกระจายโครงสร้างที่อัดแน่นทำให้สามารถดูดซับสารได้หลายอย่าง เช่น น้ำตาล คอเลสเตอรอล และเกลือแร่บางชนิด เป็นต้น (ดวงจันทร์, 2545) ดังนั้นเส้นใยอาหารประเภทนี้จึงมีผลชะลอและลดการดูดซึมของสารอาหารดังกล่าวเข้าสู่ร่างกาย (สุรัตน์, 2534) ตัวอย่างของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ มีดังนี้

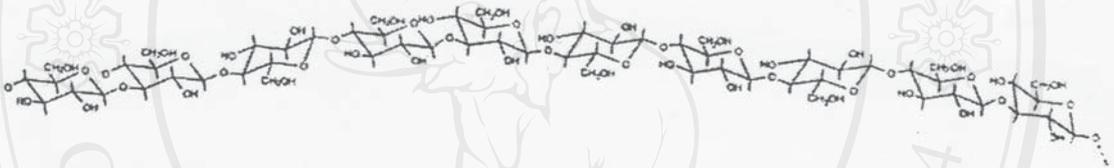
#### ก) กัมและมิวซิเลจส์

กัมและมิวซิเลจส์ (gum and mucilages) ที่ใช้ในอาหารได้มาจากหลายแหล่ง ทั้งจากแหล่งธรรมชาติและเป็นสารสังเคราะห์ (Dziezak, 1991) กัมเป็นสารประกอบพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นพอลิเมอร์สายยาวและมีน้ำหนักโมเลกุลสูง (นิธิยา, 2549) กัมหลายชนิดที่ใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ทำหน้าที่ช่วยในการกระจายตัวของไขมัน ทำให้อาหารข้น และให้ความคงตัว เป็นต้น กัมที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายคือ กัวกัม (guar gums) หรือกาแลคโตแมนแนน (galactomannan) มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 220,000 ได้จากอินเดียนคลัสเตอร์บิน (Indian cluster bean) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Cyamopsis tetragonolobus* กัวกัมมีคุณสมบัติในการดูดน้ำ และรวมกับสารอื่นๆ ได้ดี มักใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ เครื่องสำอาง ยา บุหรี่ และอุตสาหกรรมอาหาร เช่น เติมน้ำในเครื่องคั่วต่างๆ ซอส น้ำสลัด ไอศกรีม เซอร์เบต และอาหารแช่แข็ง เป็นต้น ส่วนมิวซิเลจส์เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่พืชสะสมมักอยู่ร่วมกับแป้ง มิวซิเลจส์มีไซโมเลกุลหลักของน้ำตาลกาแลคโทส-แมนโนส,

กลูโคส-แมนโนส, อะราบิโนส-ไซโลส และกรดกาแลคทูโรนิก-แรมโนส โดยมีน้ำตาลกาแลคโตส เป็นโซ่สาขา (พัชรารักษ์, 2550)

### ข) เบต้ากลูแคน

เบต้ากลูแคน (beta-glucan) เป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส โครงสร้างทางเคมีของเบต้ากลูแคน แสดงดังรูปที่ 2.5 ซึ่งน้ำตาลกลูโคสมีการเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 3) และ  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4) ทำให้ทนต่อการถูกไฮโดรไลซ์ (Prosky and Devries, 1992) เบต้ากลูแคนพบมากในพวกธัญพืช ข้าวบาร์เลย์ และข้าวโอ๊ต เป็นต้น (Riaz, 1993)



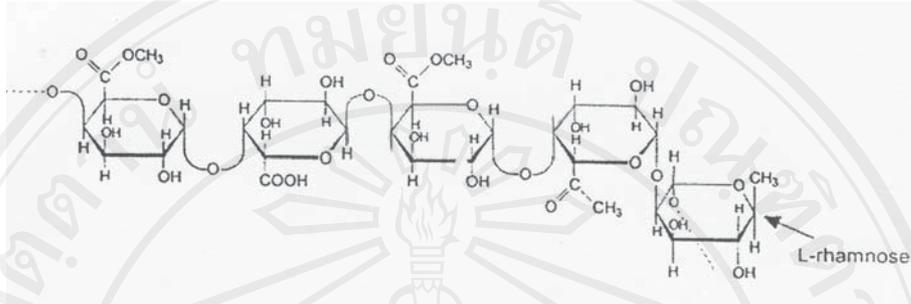
รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของเบต้ากลูแคน (beta-glucan)

ที่มา: Coultate (1984)

### ค) เพคติน

เพคติน (pectin) พบใน middle lamellae ของผนังเซลล์พืชโดยรวมตัวกับเซลลูโลส ทำหน้าที่ประสานโมเลกุลต่างๆ ในผนังเซลล์เข้าด้วยกัน และเชื่อมเซลล์ที่อยู่ข้างเคียงกันด้วย เพคตินเป็นพอลิเมอร์สายยาวของกรดกาแลคทูโรนิก (D-galacturonic acid) ต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง  $\beta$ -(1 $\rightarrow$ 4) สารประกอบเพคตินที่สกัดได้จากธรรมชาติยังมีน้ำตาลชนิดอื่นปนอยู่ด้วย เช่น น้ำตาลไซโลส กาแลคโทส อะราบิโนส และแรมโนส โดยโมเลกุลของน้ำตาลจะเกาะอยู่เป็นสายแขนง (นิธิมา, 2546) เพคตินละลายน้ำได้ ความสามารถในการละลายน้ำขึ้นอยู่กับ degree of esterification ของกรดกาแลคทูโรนิก สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของเพคติน คือ ความสามารถในการก่อเจลและเพิ่มความหนืด ทำให้มีการนำเพคตินไปใช้กันมากในอุตสาหกรรมอาหาร (Prosky and Devries, 1992) เนื่องจากเพคตินละลายในน้ำร้อน จะทำให้ได้ลักษณะที่เป็นวุ้น ซึ่งจะขัดขวางการดูดซึมของน้ำตาลในเลือดได้ และเหมาะสมสำหรับคนที่มีอาการท้องผูกสลับกับท้องเสีย เนื่องจากความเป็นวุ้นสามารถห่อหุ้มแบคทีเรียไว้และกำจัดออกจากร่างกาย ดังนั้นแอปเปิล

ส้ม องุ่น และรำข้าว จึงเหมาะสำหรับผู้ที่ปัญหาดังกล่าว (ปาริชาติ, 2540) โครงสร้างทางเคมีของ เพคติน แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของเพคติน (pectin)

ที่มา: Coultate (1984)

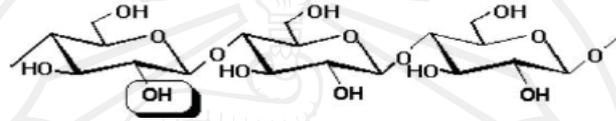
### 2.5.2.2 เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ

เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble dietary fiber) เป็นคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนที่ย่อยสลายได้ยาก ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นต้น (ดวงจันทร์, 2545) เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำมีความสามารถดูดซับอาหารต่างๆ ได้น้อย แต่จะจับกับน้ำแล้วเกิดการพองตัวในน้ำ ลักษณะคล้ายฟองน้ำ ดังนั้นเมื่อบริโภคเข้าไปแล้วขับถ่ายจะทำให้มีมวลอุจจาระเพิ่มขึ้น เนื่องจากจะนุ่ม ส่งผลให้ขับถ่ายได้สะดวก (สุรัตน์, 2534) ตัวอย่างของเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ มีดังนี้

#### ก) เซลลูโลส

เซลลูโลส (cellulose) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของผนังเซลล์ของพืช โดยรวมตัวอยู่กับพวกไซแลนและลิกนิน เซลลูโลสไม่ละลายน้ำ ทนต่อปฏิกิริยาของเอนไซม์ กรด และด่างที่เจือจาง ถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส โมเลกุลของเซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสมาต่อกันด้วยพันธะไกลโคไซด์ที่ตำแหน่ง  $\beta$ -D-(1 $\rightarrow$ 4) เป็นสายยาวไม่มีสายแขนง สายยาวจะมาเกาะกันตามแนวราบด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่ไฮดรอกซิลในโมเลกุลน้ำตาลกลูโคส ซึ่งทำให้โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสเป็นพอลิคริสตัลไลน์ (polycrystalline) ที่แข็งแรง ยึดเกาะกันเป็นเส้นใย และเนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลสในแต่ละหน่วยย่อยของน้ำตาลกลูโคสยังมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเหลืออยู่ ซึ่งจะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายของพอลิเมอร์ ทำให้บางส่วนของโครงสร้างเป็นผลึก ส่วนที่เกิดผลึกนี้จะมีความหนาแน่นมากกว่า

จึงทนทานต่อการถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์และสารเคมีมากกว่าส่วนที่ไม่เป็นผลึก (noncrystalline หรือ amorphous) นอกจากนี้ส่วนที่เป็นผลึกยังดูดน้ำได้น้อยกว่าด้วย ทำให้ไม่สามารถละลายน้ำได้ สำหรับส่วนโมเลกุลเซลลูโลสที่ไม่เป็นผลึกหรือไม่มีรูปร่าง โมเลกุลจะเรียงตัวกันไม่เป็นระเบียบ และจับตัวกันอย่างหลวม ๆ ทำให้สามารถดูดซับน้ำไว้ได้มากและเกิดการพองตัวออก มีผลทำให้กากอาหารมีลักษณะนิ่ม (ชนิกานต์, 2549) เซลลูโลสพบในพืช ผัก ผลไม้ รวมทั้งในถั่วเปลือกแข็ง (nuts) และเมล็ดพืช เป็นต้น (ดวงจันทร์, 2545) โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสแสดงดังรูปที่ 2.7

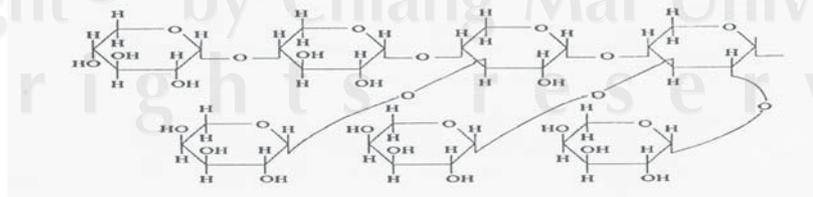


รูปที่ 2.7 โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลส (cellulose)

ที่มา: Borderías *et al.* (2005)

### ข) เฮมิเซลลูโลส

เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ประกอบด้วยโมเลกุลของน้ำตาลเชิงเดี่ยว (monosaccharides) ชนิดต่างๆ ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไป มีทั้งน้ำตาลเฮกโซสและเพนโทส น้ำตาลที่พบมาก คือ น้ำตาลไซโลสและอะราบินอส นอกจากนั้นยังพบน้ำตาลแมนโนส กาเล็กโทส และกรดกลูโคนิกอีกด้วย (Prosky and Devries, 1992) เฮมิเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบในโครงสร้างของผนังเซลล์พืช โดยรวมอยู่กับลิกนินและเซลลูโลส มีสมบัติไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ในสารละลายต่าง (นิธิยา, 2549) สมบัติทางกายภาพที่สำคัญคือ มีความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) และแลกเปลี่ยนประจุบวก (cation exchange) เมื่ออยู่ในกระเพาะอาหาร และลำไส้ของมนุษย์ (พัชรภรณ์, 2550) โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส แสดงดังรูปที่ 2.8

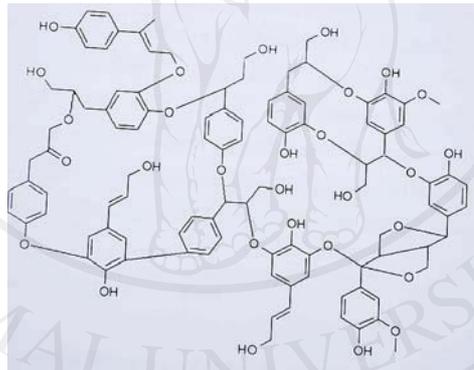


รูปที่ 2.8 โครงสร้างทางเคมีของเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)

ที่มา: Meyer (1960)

### ค) ลิกนิน

ลิกนิน (lignin) เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชซึ่งไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต แต่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแอลกอฮอล์ พืชจะผลิตเมื่อมีอายุมาก (Southgate *et al.*, 1990) ลิกนินจะเคลือบผนังเซลล์พืชให้มีความแข็งแรง ทำให้เอนไซม์เข้าไปย่อยเซลลูโลสได้ยากขึ้น และแบคทีเรียในลำไส้ไม่สามารถย่อยลิกนินได้ ประกอบกับลิกนินมีคุณสมบัติที่ไม่ละลายน้ำ ไม่ละลายในกรดและในด่าง จึงไม่สามารถย่อยและดูดซึมได้ในร่างกายมนุษย์ (Schneeman, 1986; Slavin, 1987) ลิกนินพบมากในข้าวเจ้า ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต และรำ รวมถึงพืชผักผลไม้ประเภทเบอร์รี่ ถั่วอก กะหล่ำปลี และมะเขือเทศ เป็นต้น (ดวงจันทร์, 2545) สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของลิกนิน คือ สามารถดูดซับน้ำดี (bile acid) ได้ดี และอาจมีผลชะลอการดูดซึมสารอาหารบางชนิดในลำไส้เล็ก (ไพโรจน์ และเบญจวรรณ, 2539; Prosky and Devries, 1992) โครงสร้างทางเคมีของลิกนินแสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 โครงสร้างทางเคมีของลิกนิน (lignin)

ที่มา: Coultate (1984)

### ง) องค์ประกอบอื่น ๆ

องค์ประกอบอื่น ๆ ที่จัดว่าเป็นเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ คิวตินและไข (Cutin and Wax) พบรวมกับส่วนที่เป็นโครงสร้างของพืชหรืออยู่บนผิวนอกของไขมันที่ไม่รวมกับน้ำ ปกติจะพบในปริมาณที่น้อย (Prosky and Devries, 1992)

### 2.5.3 แหล่งของเส้นใยอาหาร

พืชแต่ละชนิดจะมีปริมาณเส้นใยอาหารที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถจำแนกแหล่งของเส้นใยอาหารได้ดังนี้ (อภิรักษ์, 2549; Meyer, 2004)

1. ธัญพืช (cereal) เช่น ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวโพด และข้าว เป็นต้น ซึ่งธัญพืชจัดเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร โดยเฉพาะธัญพืชที่ไม่ผ่านการขัดสีจะมีปริมาณเส้นใยอาหารมากกว่าธัญพืชที่ผ่านการขัดสี ปริมาณเส้นใยอาหารของธัญพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการแปรรูป

2. พืชตระกูลถั่ว (legumes) เช่น ถั่วเขียว ถั่วดำ ถั่วแดง และถั่วเหลือง เป็นต้น พืชตระกูลถั่วทั้งหลายจัดเป็นแหล่งของอาหารที่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูง

3. ผัก (vegetables) ผักเป็นแหล่งที่ดีของเส้นใยอาหาร นอกจากผักต่างชนิดกันจะมีปริมาณเส้นใยอาหารที่แตกต่างกันแล้ว ปริมาณเส้นใยอาหารในผักยังขึ้นอยู่กับส่วนต่างๆ ของผัก สายพันธุ์ ฤดูกาล ความแก่อ่อน ปริมาณน้ำในผัก และการแปรรูปอีกด้วย

4. ผลไม้ (fruits) ปกติผลไม้จะมีปริมาณน้ำและน้ำตาลสูง ส่งผลให้มีปริมาณเส้นใยอาหารต่ำ การที่จะทำให้ปริมาณเส้นใยอาหารในผลไม้เพิ่มขึ้นสามารถทำได้โดยการลดปริมาณน้ำลง ส่วนต่างๆ ของผลไม้ เช่น เปลือก แกน และเมล็ด ถือเป็นส่วนที่มีปริมาณเส้นใยอาหารสูงและมักเป็นของเหลือจากอุตสาหกรรมซึ่งถือเป็นแหล่งเส้นใยอาหารที่มีคุณภาพดี เนื่องจากมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดและเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมัน ความสามารถในการถูกย่อยในลำไส้สูง นอกจากนี้ยังมีปริมาณกรดไฟติกและแคลอรีต่ำอีกด้วย (Larrauri, 1999)

### 2.5.4 สมบัติเชิงหน้าที่ของเส้นใยอาหาร

เนื่องจากการใช้เส้นใยอาหารเป็นส่วนประกอบของอาหารเพื่อทำหน้าที่ต่างๆ เช่น เป็นสารเพิ่มความหนืด (thickener) สารให้ความคงตัว (stabilizer) เป็นต้น ดังนั้นการศึกษาถึงสมบัติของเส้นใยอาหารจึงเป็นสิ่งจำเป็นและมีความสำคัญ เพื่อเป็นการเพิ่มการนำเส้นใยอาหารไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารมากขึ้น (Sangnark and Noomhorm, 2003) ซึ่งเส้นใยอาหารมีสมบัติเชิงหน้าที่ (functional food) ในอาหารที่สำคัญ ดังนี้ (ธนิกานต์, 2549; Elleuch *et al.*, 2011)

### ก) ความหนืด

ความหนืด (viscosity) คือความสามารถในการต้านทานการไหลของของไหล เมื่อมีแรงมากระทำ ของไหลที่มีความหนืดสูงจะมีค่าความต้านทานต่อการไหลสูง ของไหลที่มีความหนืดต่ำจะมีค่าความต้านทานต่อการไหลต่ำ โดยความหนืดเป็นอัตราส่วนระหว่างความเค้นต่ออัตราเฉือน พอลิแซ็กคาไรด์เป็นสารที่มีความเหมาะสมในการใช้เพื่อเพิ่มความหนืดให้แก่ผลิตภัณฑ์อาหาร เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารเพื่อควบคุมลักษณะรีโอโลยี (rheology) ด้านการละลายและการกระจายตัว เนื่องจากเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำนั้นมีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีพันธะที่ซับซ้อนและสามารถเกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างพอลิเมอร์กับตัวทำละลายได้

### ข) การก่อก้อน

การก่อก้อนของพอลิแซ็กคาไรด์จะเกี่ยวกับส่วนของสายพอลิเมอร์ที่บริเวณ junction zones ในการก่อก้อนนั้นสายพอลิเมอร์ต้องมีโครงสร้างที่เป็นระเบียบ และสภาวะการก่อก้อนต้องเหมาะสม เช่น ในกรณีของเพคติน การเกิดตาข่ายพอลิเมอร์ 3 มิติที่บริเวณ junction zones จะถูกเหนี่ยวนำ และทำให้คงตัวโดยแคลเซียมไอออน ซึ่งจะก่อพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายพอลิเมอร์ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ได้แก่ เพคติน กัม มิวซิเลจส์และเฮมิเซลลูโลสบางชนิดที่มีสมบัติในการจับกับน้ำ (hydration properties) และพองตัว (swelling) ทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้น และก่อก้อนได้ดี ในขณะที่เซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่ไม่ก่อก้อน

### ค) การอุ้มน้ำ

ความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) เป็นสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เส้นใยอาหารมีองค์ประกอบเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ซึ่งพอลิแซ็กคาไรด์เป็น โมเลกุลที่ชอบน้ำ (hydrophilic) เนื่องจากมีหมู่ไฮดรอกซิลอิสระเป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ ดังนั้นเส้นใยอาหารทั้งชนิดที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำจึงสามารถอุ้มน้ำได้ (Spiller, 2001) Sosulski and Cadden (1982) พบว่า เส้นใยอาหารที่มีปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสูง ได้แก่ เพคตินและมิวซิเลจส์จะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูงด้วย แต่เส้นใยอาหารที่มีองค์ประกอบที่เป็นสตาร์ชสูงจะมีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ เมื่อถูกจับน้ำจะทำให้สารละลายมีความหนืดเพิ่มขึ้น และบางครั้งอาจก่อก้อนได้ด้วยเมื่ออยู่ในสภาวะที่

เหมาะสม ขณะที่เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ถึงแม้จะไม่สามารถก่อเจลได้ แต่ก็สามารถดูดซับน้ำไว้ในโครงสร้างได้เป็นปริมาณมาก

ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมี โครงสร้างและขนาดอนุภาคของเส้นใยอาหาร Ang (1991) พบว่า ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำของเซลลูโลสผงขึ้นอยู่กับขนาดความยาวของอนุภาคเซลลูโลสผง โดยเมื่อเพิ่มขนาดความยาวของเซลลูโลสผงจาก 11 ไมครอน เป็น 290 ไมครอน ทำให้ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้นจากประมาณ 4 เป็น 10 เท่า Borroto *et al.* (1995) ศึกษาผลของขนาดอนุภาคต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารผงจากเปลือกส้มพันธุ์วาเลนเซีย มะนาวพันธุ์ Eureka เกรฟฟรุตพันธุ์ March และสับปะรดพันธุ์ Espanola Roja โดยแปรขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคเป็น 0.11-1.0 มิลลิเมตร พบว่า ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากเปลือกพืชตระกูลส้มทุกชนิดเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้น และมีนัยสำคัญกับขนาดอนุภาคที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหารจากสับปะรดลดลงเป็นเชิงเส้นและมีนัยสำคัญกับขนาดอนุภาคที่เพิ่มขึ้น

#### ง) ความคงตัวของอิมัลชัน

สารพวกพอลิแซ็กคาไรด์ มีความสามารถในการเพิ่มความคงตัวของอิมัลชัน (stabilization of emulsions) ดังนั้นจึงมีการใช้พอลิแซ็กคาไรด์ในการความคงตัวให้กับอาหารประเภทอิมัลชัน ตัวอย่างของพอลิแซ็กคาไรด์เหล่านี้ เช่น อัลจิเนต กัวร์กัม และเพคติน เป็นต้น (Riaz, 1993)

### 2.5.5 ประโยชน์ของเส้นใยอาหาร

#### 2.5.5.1 ประโยชน์ทางการแพทย์

เนื่องจากโครงสร้างของเส้นใยอาหารมีลักษณะคล้ายฟองน้ำและมีประจุไฟฟ้าอยู่ด้วย จึงสามารถยึดจับกับสารอาหาร กรดน้ำดี สารพิษ และสารก่อมะเร็งต่างๆ ได้ดี โดยสามารถยึดเกาะได้ในขณะที่เส้นใยอาหารเคลื่อนตัวไปตามระบบทางเดินอาหาร ระบบดูดซึมและย่อยอาหารของร่างกาย โดยเฉพาะในส่วนของระบบลำไส้ (Prosky and Devries, 1992; ไพโรจน์และเบญจวรรณ, 2539; ดวงจันทร์, 2545; ปิ่นมณี, 2547) การบริโภคเส้นใยอาหารสามารถช่วยป้องกันและรักษาโรคได้หลายชนิด ดังนี้ (พิลาสินี และคณะ, 2548; พัชราภรณ์, 2550)

### ก) โรคท้องผูก

สาเหตุใหญ่ของการเกิดโรคท้องผูก คือ การบริโภคเส้นใยอาหารในปริมาณที่ไม่เพียงพอ และลำไส้ไม่บีบตัวไล่สิ่งที่อยู่ภายในให้เลื่อนไหลไปตามปกติ จึงทำให้อุจจาระเป็นก้อนแข็งขับถ่ายออกมานอกร่างกายได้ยาก การบริโภคอาหารที่มีเส้นใยอาหารสูง จะช่วยลดปัญหาอาการท้องผูกได้เนื่องจากเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำประเภทเซลลูโลส ช่วยเพิ่มน้ำหนักและปริมาณกากอาหาร ทำให้กากอาหารอ่อนนุ่ม และช่วยลดเวลาที่กากอาหารเคลื่อนผ่านลำไส้ใหญ่ ส่วนเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำประเภทเฮมิเซลลูโลส จะช่วยดูดซับน้ำในทางเดินอาหาร ทำให้กากอาหารนุ่ม และช่วยลดเวลาที่กากอาหารเคลื่อนที่ผ่านลำไส้ใหญ่

### ข) โรคมะเร็งลำไส้ใหญ่

เมื่อบริโภคอาหารประเภทเนื้อสัตว์และมีไขมันสูงเข้าไป อาหารเหล่านี้จะถูกย่อยให้มีลักษณะเหนียวและมีกรดน้ำดีผสมอยู่ด้วยจึงทำให้เกิดการเกาะติดที่ผนังลำไส้ใหญ่ ทำให้แบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ย่อยกรดน้ำดี และก่อให้เกิดสารก่อมะเร็งขึ้นจนกลายเป็นมะเร็งลำไส้ใหญ่ ในที่สุด การบริโภคอาหารประเภทเส้นใยจากผักและผลไม้ จะทำให้กรดน้ำดีเจือจางลง ป้องกันการติดค้างของอาหารที่ถูกย่อย แบคทีเรียจึงไม่ทันย่อยกรดน้ำดี ทำให้ไม่เกิดสารก่อมะเร็ง การบริโภคอาหารที่มีเส้นใยอาหารสูงจะช่วยป้องกันการเกิดมะเร็งในลำไส้ใหญ่ โดยเฉพาะเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ เช่น รำข้าวสาลี เซลลูโลส เป็นต้น

### ค) โรคเบาหวาน

การบริโภคอาหารที่มีเส้นใยอาหารจะช่วยป้องกันการเกิดโรคเบาหวาน โดยเฉพาะอาหารที่มีเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำสามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำตาลกลูโคสในกระแสเลือดได้ โดยเส้นใยอาหารสามารถจับกับน้ำและน้ำตาลเป็นวุ้นเหนียว (สุรัตน์, 2534) ทำหน้าที่เสมือนผนังกันการแพร่ของน้ำตาลไปสู่ผนังลำไส้เล็ก ทำให้น้ำตาลถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดได้ช้าลง จึงช่วยรักษาระดับของน้ำตาลกลูโคสในกระแสเลือดให้เป็นปกติ เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำต่างชนิดกันให้ผลในการควบคุมน้ำตาลได้ต่างกัน เช่น กวักมที่ได้จากพืชตระกูลถั่วจะให้ผลในการควบคุมน้ำตาลได้ดีกว่าเพคติน และรำข้าว

### ง) โรคอ้วน

สาเหตุส่วนใหญ่ของโรคอ้วนเกิดจากการกินจุและการออกกำลังกายน้อย ดังนั้น หลักการที่สำคัญของการลดน้ำหนักในผู้ป่วยโรคอ้วนก็คือ การควบคุมอาหาร และการออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ การควบคุมอาหารโดยการให้ร่างกายได้รับพลังงานจากอาหารที่บริโภคเข้าสู่ร่างกายน้อยกว่าพลังงานที่ใช้ เพื่อให้ร่างกายดึงไขมันที่สะสมไว้มาเผาผลาญเป็นพลังงาน การบริโภคอาหารที่มีเส้นใยอาหารสูงจะทำให้อิ่มเร็วและให้พลังงานน้อยกว่าการบริโภคอาหารที่มีเส้นใยอาหารต่ำ จึงเป็นทางเลือกที่ดีสำหรับผู้ที่ต้องการจะลดน้ำหนัก โดยกลไกการทำงานของเส้นใยอาหาร คือ การที่เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้เป็นเจลเพิ่มความหนืด และเพิ่มการเกาะตัวของสารในกระเพาะอาหารทำให้รู้สึกอิ่มได้นาน อัตราการย่อยและดูดซึมอาหารช้าลง เพิ่มและเร่งการขับถ่ายอุจจาระ

### จ) โรคหัวใจขาดเลือด

โรคนี้เกิดจากการสะสมของไขมันในหลอดเลือด ทำให้หลอดเลือดตีบตัน จากการศึกษาวิจัยหลายชิ้นแสดงให้เห็นว่าเส้นใยอาหารมีบทบาทในการลดการสะสมของไขมันในหลอดเลือดได้ โดยเส้นใยอาหารจะไปช่วยดูดซึมไขมันที่บริโภคเข้าไป ทำให้ร่างกายดูดซึมได้น้อยลง เส้นใยอาหารที่ดูดซึมไขมันไว้จะถูกขับถ่ายออกมาในรูปอุจจาระ นอกจากนี้เส้นใยอาหารยังทำให้คอเลสเตอรอลในเลือดลดลง ส่งผลให้ลดอัตราการเกิดโรคหัวใจขาดเลือดได้เช่นกัน โดยปกติร่างกายจะสร้างคอเลสเตอรอลและเผาผลาญให้อยู่ในรูปกรดน้ำดี เมื่อเส้นใยอาหารดูดซึมกรดน้ำดี ทำให้ต้องมีการเผาผลาญคอเลสเตอรอลมากขึ้น คอเลสเตอรอลในเลือดจึงลดลง

### ฉ) ช่วยลดระดับคอเลสเตอรอลในเลือด

คอเลสเตอรอลในร่างกายส่วนหนึ่งได้จากการบริโภคอาหารจากสัตว์ เช่น เนื้อ ไขมันสัตว์ นม เนย ไข่ ครีม น้ำมันหมู เป็นต้น อีกส่วนหนึ่งได้จากการสังเคราะห์ขึ้นในร่างกายโดยตับ (liver) ในสภาวะปกติร่างกายสามารถสร้างคอเลสเตอรอลและเผาผลาญให้อยู่ในสภาพของกรดน้ำดี และถูกเปลี่ยนต่อไปเป็นเกลือน้ำดี ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการย่อยและดูดซึมไขมันภายในลำไส้ เมื่อทำหน้าที่แล้วกรดน้ำดีจะถูกดูดซึมกลับเข้าสู่ร่างกายที่ส่วนปลายของลำไส้เล็ก การบริโภคอาหารที่มีเส้นใยอาหารสูงจะช่วยขัดขวางการดูดซึมของน้ำดี ทำให้น้ำดีซึ่งมีคอเลสเตอรอลเป็นส่วนประกอบอยู่ถูกขับถ่ายออกมาพร้อมกับเส้นใยอาหารแทนที่จะถูกดูดซึมกลับเข้าสู่ร่างกาย

(สุรัตน์, 2534) ดังนั้นเมื่อร่างกายย่อยไขมันครั้งต่อไปก็จะดึงเอาคอเลสเตอรอลออกเพื่อเผาผลาญให้เป็นกรดน้ำดี ทำให้ปริมาณคอเลสเตอรอลในร่างกายลดลง

### 2.5.5.2 ประโยชน์ทางด้านอาหารและโภชนาการ

การนำเส้นใยอาหารไปใช้ประโยชน์ทางด้านอาหารและโภชนาการ ขึ้นอยู่กับประเภทและชนิดของอาหาร จุดประสงค์ในการใช้ประโยชน์จากเส้นใยอาหาร และสมบัติทางเคมีของเส้นใยอาหารที่นำไปใช้ (ไพโรจน์ และเบญจวรรณ, 2539) นอกจากนี้ปริมาณที่ใช้ควรใช้ในระดับที่ผู้บริโภคยอมรับด้วย เนื่องจากการเติมเส้นใยอาหารถึงแม้จะทำให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น แต่อาจมีผลกระทบทำให้คุณภาพทางประสาทสัมผัสด้อยลง อาจมีการเปลี่ยนแปลงทั้งในด้านขนาด รูปร่าง สี กลิ่น รสชาติ หรือลักษณะเนื้อสัมผัส จนอาจทำให้การยอมรับของผู้บริโภคลดลง (Sehneeman, 1987)

Garcia *et al.* (2002) ศึกษาการใช้ประโยชน์ของเส้นใยอาหารจากธัญพืชและผลไม้ในผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมักแห้งไขมันต่ำ พบว่า การเติมเส้นใยอาหารที่ได้จากข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต แอปเปิ้ล พีช และส้ม ปริมาณสูง คือ ร้อยละ 3 จะทำให้ไส้กรอกหมักแห้งไขมันต่ำ มีเนื้อสัมผัสที่แข็งและคุณภาพทางประสาทสัมผัสไม่ดี แต่การใช้เส้นใยอาหารปริมาณที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 1.5 โดยเฉพาะเส้นใยอาหารจากส้มจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไส้กรอกหมักแห้งไขมันต่ำเสริมเส้นใยได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคไม่แตกต่างกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่เสริมเส้นใยอาหาร

Fernández-Ginés *et al.* (2004) ศึกษาการประยุกต์ใช้เส้นใยอาหารที่ผลิตจากเยื่อมะนาวในการผลิตไส้กรอกโบลอคโคนา พบว่า เยื่อมะนาวช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางโภชนาการของไส้กรอกให้ดีขึ้นและช่วยลดปริมาณไนโตรเจนตกค้างในไส้กรอกลง โดยผลิตภัณฑ์ได้รับการยอมรับทางประสาทสัมผัสเทียบเท่าไส้กรอกโบลอคโคนาที่มีจำหน่ายทั่วไป เมื่อเติมเยื่อมะนาวลงในไส้กรอกในปริมาณร้อยละ 2.5 และ 5

นอกเหนือจากการบริโภคธัญพืช ผักและผลไม้โดยตรงแล้ว ร่างกายยังได้รับเส้นใยอาหารจากการบริโภคผลิตภัณฑ์อาหารที่มีการเติมเส้นใยอาหารเพิ่มลงไปด้วย (Thebaudin *et al.*, 1997) เส้นใยอาหารเป็นวัตถุดิบอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีบทบาทในการพัฒนา และเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์

อาหาร ทั้งนี้เพราะเส้นใยอาหารมีความสำคัญและให้ประโยชน์ต่อสุขภาพ จึงทำให้มีการนำเส้นใยอาหารมาเติมลงในผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งจุดมุ่งหมายโดยทั่วไปของการเติมเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร คือ ใช้เป็น functional ingredients เพื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร (Southgate *et al.*, 1990) นอกจากนี้ยังใช้ทดแทนส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพอีกด้วย

นิธิมา (2546) ศึกษาผลของการใช้เส้นใยอาหารผงจากกากส้มฟริมองด์ และเปลือกส้มเขียวหวานเป็นสารทดแทนปริมาณแป้งในผลิตภัณฑ์เค้กถ้วย โดยแปรปริมาณเส้นใยอาหารผงในสูตรเป็นร้อยละ 0, 2, 4 และ 6 พบว่า การใช้เส้นใยอาหารผงจากกากส้มฟริมองด์ และเปลือกส้มเขียวหวานร้อยละ 2-6 ไม่ทำให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์เค้กถ้วยเปลี่ยนแปลงไป ทั้งยังช่วยเพิ่มสีเหลืองและกลิ่นส้มในเค้กถ้วยได้โดยไม่มีผลต่อเนื้อสัมผัส แต่มีรสขมเพิ่มขึ้น โดยยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

ปิยะรัชช และคณะ (2553) ศึกษาการใช้ประโยชน์จากกากถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมปัง โดยแปรปริมาณกากถั่วเหลืองที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีในสูตรผลิตภัณฑ์ขนมปังเป็นร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักแป้ง พบว่า การใช้กากถั่วเหลืองทดแทนแป้งสาลีในปริมาณที่เพิ่มขึ้น ทำให้ขนมปังมีปริมาตรเล็กลง ค่าความแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าความสว่าง ( $L^*$ ) มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าสีแดง ( $a^*$ ) และค่าสีเหลือง ( $b^*$ ) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยสูตรที่ผู้บริโภครับการยอมรับมากที่สุด คือ ร้อยละ 30 โดยมีค่าปริมาตรจำเพาะและค่าความแข็งเท่ากับ 2.75 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม และ 2.17 นิวตัน ตามลำดับ มีปริมาณความชื้น ค่า  $a_w$  และปริมาณโปรตีนร้อยละ 14.53, 0.73 และ 25.84 ตามลำดับ

Lin and Huang (2003) ศึกษาการใช้เจลผสมระหว่างแป้งบุกและเจลแลนกันเพื่อผลิตไส้กรอกแฟรงค์เฟิร์ตเตอร์ลดไขมัน พบว่า การทดแทนไขมันบางส่วนด้วยเจลผสมระหว่างแป้งบุกและเจลแลนกัน ทำให้ได้ไส้กรอกที่มีคุณภาพดีเทียบเท่ากับไส้กรอกที่ไม่มีการลดไขมัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสามารถในการอุ้มน้ำและการยอมรับทางประสาทสัมผัส

Sartpravit and Limroongreungrat (2009) ศึกษาผลของการใช้เปลือกมังคุดเป็นแหล่งใยอาหารต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โดนัทเค้ก โดยแปรปริมาณเปลือกมังคุดผงที่ใช้ทดแทนแป้งสาลีในสูตรโดนัทเค้กร้อยละ 0, 3, 5 และ 7 โดยน้ำหนักแป้ง พบว่า เมื่อใช้ปริมาณเปลือกมังคุดผงเพิ่มขึ้น

โคนัทที่มีปริมาตรจำเพาะและค่าความแน่นเนื้อไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) แต่มีค่าความยืดหยุ่นลดลง ( $p \leq 0.05$ ) และมีค่ามุมเฉดสีของเปลือกและเนื้อ โคนัทลดลงด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโคนัทมีค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้น โคนัทเคี้ยวที่เคี้ยวเปลือกมังคุดผงทดแทนแป้งสาลีในปริมาณร้อยละ 3 ได้คะแนนด้านรสชาติ เนื้อสัมผัส และการยอมรับโดยรวมไม่แตกต่างจากโคนัทเคี้ยวที่ไม่เคี้ยวเปลือกมังคุดผง และมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำเพิ่มขึ้นร้อยละ 20.59, 19.86 และ 50.56 ตามลำดับ

เส้นใยอาหารที่ใช้เติมในผลิตภัณฑ์ต่างๆ แบ่งเป็นเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำและเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำมักใช้เติมในอาหารที่มีลักษณะเหลว เช่น เครื่องดื่มต่างๆ น้ำสลัด ไอศกรีม เป็นต้น (วรรณงค์, 2549) โดยแหล่งของเส้นใยอาหารประเภทนี้ได้แก่ เพคติน กัม และ คาราจีแนน เป็นต้น

ทิพยา (2542) ศึกษาการใช้ประโยชน์กล้วยหอมผงในไอศกรีมและเครื่องดื่มที่มีเวย์เป็นส่วนผสม โดยเปรียบเทียบคุณสมบัติของไอศกรีมและเครื่องดื่มเวย์กล้วยหอมผงทำแห้งแบบลูกกลิ้งแบบโฟม และกล้วยหอมสด (สูตรควบคุม) พบว่า ค่าพีเอช ความเป็นกรด (แลคติก) ของไอศกรีมทั้ง 3 สูตร แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญอย่างสถิติ ส่วนความหนืด ค่า  $L^*$  และ  $b^*$  ของไอศกรีมกล้วยหอมผงทำแห้งแบบลูกกลิ้งต่ำกว่าอีกสองสูตร แต่ค่า  $a^*$  มีค่าสูงกว่า ส่วนลักษณะด้านต่างๆ ทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังนั้นจึงสามารถใช้ประโยชน์จากกล้วยหอมผงทำแห้งแบบลูกกลิ้งและแบบโฟม แทนกล้วยหอมสดในไอศกรีมได้ สำหรับเครื่องดื่มเวย์กล้วยหอมผง พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ความเป็นกรด (แลคติก) ความหนืด ค่า  $L^*$  และความคงตัวของเนื้อในเครื่องดื่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เครื่องดื่มเวย์กล้วยหอมผงทำแห้งแบบลูกกลิ้งมีค่า  $a^*$  และเนื้อสัมผัสต่ำกว่าเครื่องดื่มเวย์กล้วยหอมผงทำแห้งแบบโฟมอย่างมีนัยสำคัญ แต่กลิ่นรส รสชาติ และความชอบรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และพบว่าเครื่องดื่มเวย์กล้วยหอมผงได้รับคะแนนความชอบจากผู้ทดสอบชิมน้อยกว่าเครื่องดื่มเวย์กล้วยหอมสด

สุกัญญา (2542) ศึกษาการผลิตน้ำส้มเขียวหวานเติมเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำซึ่งสกัดจากเปลือกโกโก้ พบว่า การเติมเส้นใยอาหารร้อยละ 0, 1, 2 และ 3 ของน้ำหนักน้ำส้มเขียวหวาน มีลักษณะทางประสาทสัมผัสในด้านสี รสหวาน รสเปรี้ยว รสขม และการละลายในปาก ไม่แตกต่าง

กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่เมื่อเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำมีผลทำให้การยอมรับของผู้ทดสอบชิมลดลง

จุฑาทิพย์ (2549) ศึกษาการใช้อินูลินเป็นส่วนผสมในการพัฒนาสูตรไอศกรีมวานิลลาสดไขมัน พบว่า อินูลินสายสั้นที่ความเข้มข้นต่ำ (ร้อยละ 3 และ 6 โดยน้ำหนัก) ทำให้ไอศกรีมละลายเร็วขึ้น แต่เมื่อความเข้มข้นสูง (ร้อยละ 9 โดยน้ำหนัก) ไอศกรีมจะละลายช้ากว่าไอศกรีมสูตรควบคุม ส่วนอินูลินสายยาวให้ไอศกรีมมีกัมมี่ที่มีความหนืดสูงกว่า และมีความแข็งมากกว่า แต่มีการขึ้นฟูต่ำกว่าและละลายช้ากว่าอินูลินสายสั้น แต่เมื่อใช้อินูลินสายยาวและสายสั้นผสมกันอัตราส่วน 3:3 (รวมเป็นร้อยละ 6) จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพ ลักษณะทางประสาทสัมผัสและการยอมรับของผู้บริโภคไม่แตกต่างกับไอศกรีมสูตรควบคุม

ชไมพร และคณะ (2550) ศึกษาผลของสารทดแทนไขมันประเภทเส้นใยอาหารที่มีต่อคุณภาพของไอศกรีมนมลดไขมัน โดยเติมสารทดแทนไขมันประเภทเส้นใยอาหาร 3 ชนิด คือ เส้นใยอาหารจากส้ม สับปะรด และเส้นใยอาหารทางการค้า โดยแปรปริมาณเป็นร้อยละ 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยน้ำหนัก พบว่า ไอศกรีมสูตรที่เติมสารทดแทนไขมันประเภทเส้นใยอาหารทางการค้า ร้อยละ 1.0 มีค่าเนื้อสัมผัส การขึ้นฟู อัตราการละลาย และลักษณะทางประสาทสัมผัส ไม่แตกต่างจากไอศกรีมสูตรมาตรฐานอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยมีปริมาณไขมันน้อยกว่าไอศกรีมสูตรมาตรฐานถึงร้อยละ 50

นพรัตน์ และสุทธิณี (2551) ศึกษาผลของชนิดและปริมาณของเส้นใยอาหารผงจากข้าวโพดและแครอทที่มีต่อคุณภาพของไอศกรีมนมสด โดยแปรปริมาณของเส้นใยอาหารผงจากข้าวโพดเป็นร้อยละ 5 และ 10 โดยน้ำหนัก และเส้นใยอาหารผงจากแครอทเป็นร้อยละ 1 และ 2 โดยน้ำหนัก พบว่าไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากแครอทร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก มีค่าเนื้อสัมผัสใกล้เคียงไอศกรีมนมสูตรมาตรฐานมากที่สุด ส่วนไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากข้าวโพดร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีค่าการขึ้นฟูและอัตราการละลาย ใกล้เคียงไอศกรีมนมสูตรมาตรฐานมากที่สุด ไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากข้าวโพดร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงกว่า รวมทั้งมีกลิ่นและรสชาติที่ดีกว่าไอศกรีมนมเสริมเส้นใยอาหารผงจากแครอทร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก

Dervisoglu and Yazici (2006) ศึกษาผลของเส้นใยอาหารจากพืชตระกูลส้มต่อสมบัติทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของไอศกรีม โดยเปรียบเทียบไอศกรีม 3 ชนิด คือ ไอศกรีมสูตรควบคุม ไอศกรีมที่เติมเส้นใยอาหารจากพืชตระกูลส้มเพียงอย่างเดียว และไอศกรีมที่เติมเส้นใยอาหารจากพืชตระกูลส้มร่วมกับสารให้ความคงตัวหรืออิมัลซิไฟเออร์ พบว่า การเติมเส้นใยอาหารจากพืชตระกูลส้มเพียงอย่างเดียวไม่สามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของไอศกรีมได้ แต่ถ้าเติมเส้นใยอาหารจากพืชตระกูลส้มร่วมกับสารให้ความคงตัวหรืออิมัลซิไฟเออร์จะทำให้ไอศกรีมที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกับ ไอศกรีมสูตรควบคุม

Muhammet (2006) ศึกษาผลของการใช้ hazelnut flour (ร้อยละ 1.5, 3 และ 4.5) และ hazelnut kernel skin (ร้อยละ 1, 2 และ 3 ) เป็นตัวทดแทนไขมันต่อคุณลักษณะทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของไอศกรีมวานิลลา พบว่า hazelnut flour และ hazelnut skin มีความเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในไอศกรีมวานิลลา ซึ่งไอศกรีมที่เติม hazelnut flour จะมีค่าพีเอช ในโดรเจน ค่าความหนืด กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏดีกว่าการเติม hazelnut skin และสามารถเติม hazelnut flour ได้มากถึงร้อยละ 3 ส่วน hazelnut skin ร้อยละ 1 โดยใช้ร่วมกับ maltodextrin จะให้ไอศกรีมที่มีคุณลักษณะที่ต้องการมากที่สุด

เส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ โดยทั่วไปมักใช้เติมในอาหารว่าง อาหารเข้าจากธัญพืช(cereal) ขนมขบเคี้ยว เช่น ลูกกวาด และผลิตภัณฑ์ขนมอบ เช่น ขนมปัง เค้ก คุกกี้ พืชชา เป็นต้น (วรรณงศ์, 2549; Larrauri,1999) เพื่อช่วยลดปริมาณแคลอรีของผลิตภัณฑ์ โดยแหล่งของเส้นใยอาหารประเภทนี้ ได้แก่ รำข้าวสาลี รำข้าวโอ๊ต รำข้าวโพด และรำถั่วเหลือง เป็นต้น

เพลินใจ และคณะ (2538) ศึกษาการเสริมวัตถุดิบที่เป็นแหล่งของเส้นใยอาหาร ได้แก่ ถั่วแดงหลวง รำข้าว กากถั่วเหลือง งาขาว กากมะพร้าว เห็ดหูหนู จมูกข้าวสาลี และเมล็ดทานตะวัน เป็นส่วนผสมในขนมปังและคุกกี้ พบว่า วัตถุดิบบางชนิดทำให้ขนมปังมีปริมาตรลดลง ความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับขนมปังสูตรปกติ ส่วนคุกกี้ที่ได้จะมีความหนาแน่นลดลง การขยายปริมาตรของคุกกี้จะเพิ่มขึ้นมากกว่าสูตรปกติ ทั้งยังมีปริมาณเส้นใยอาหารสูงกว่าสูตรปกติ

Nassar *et al.* (2008) ศึกษาผลของการเติมเส้นใยอาหารจากพืชตระกูลส้ม คือ เปลือกส้ม และเนื้อส้ม (ร้อยละ 0, 5, 15 และ 25) ในขนมปัง พบว่า สามารถเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารใน ขนมปังจากร้อยละ 2.73 เป็นร้อยละ 15.31 และช่วยเพิ่มความสามารถในการดูดซับน้ำ โดยการเติมเส้นใย

อาหารจากเปลือกส้มและเนื้อส้มในขนมปังร้อยละ 5 และ 15 มีลักษณะทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างจากขนมปังสูตรปกติ

### 2.5.6 ปริมาณเส้นใยอาหารที่ควรบริโภคต่อวัน

เนื่องจากเส้นใยอาหารมีบทบาทที่สำคัญต่อสุขภาพ ดังนั้นหน่วยงานต่างๆ จึงได้แนะนำและกำหนดปริมาณเส้นใยอาหารที่ควรบริโภค ดังนี้ (Prosky and Devries, 1992)

1. The National Research Council ได้แนะนำให้บริโภคเส้นใยอาหารทั้งชนิดละลายน้ำและไม่ละลายน้ำในปริมาณ 20-35 กรัมต่อวัน
2. The National Ministerrad Standing Nordic Committee on Food แนะนำให้คนปกติบริโภคเส้นใยอาหารในอัตราส่วนวันละ 12 กรัมต่อพลังงานจากอาหารที่บริโภค 1,000 กิโลแคลอรี
3. The Federation of American Societies for Experimental Biology แนะนำให้บริโภคเส้นใยอาหารวันละ 10-13 กรัมต่อพลังงานจากอาหารที่บริโภค 1,000 กิโลแคลอรี
4. The British National Advisory Committee on Nutrition Education แนะนำให้คนทั่วไปบริโภคเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้น โดยปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดที่ควรได้รับ คือ 30 กรัมต่อวัน
5. The HCF Diabetes Foundation กำหนดปริมาณเส้นใยอาหารที่ควรบริโภคในรูปของปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด 20-35 กรัมต่อวันสำหรับคนปกติ (10-13 กรัมต่อพลังงานจากอาหารที่บริโภค 1,000 กิโลแคลอรี) และ 35-50 กรัมต่อวันสำหรับผู้ที่อยู่ในความควบคุมของแพทย์ (20-36 กรัมต่อพลังงานจากอาหารที่บริโภค 1,000 กิโลแคลอรี)
6. The American Diabetes Association แนะนำให้บริโภคเส้นใยอาหารวันละ 25 กรัมต่อพลังงานจากอาหารที่บริโภค 1,000 กิโลแคลอรี
7. The National Cancer Institute แนะนำให้บริโภคเส้นใยอาหารวันละ 20-30 กรัม โดยเน้นให้บริโภคอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อนจากผลไม้ ผัก และธัญพืชที่ไม่ขัดสี

สำหรับประเทศไทย ปริมาณเส้นใยอาหารที่แนะนำให้บริโภคยังไม่มีข้อกำหนดที่แน่นอนถึงปริมาณและชนิดของเส้นใยอาหารที่จะทำให้ร่างกายมีสุขภาพที่ดี ถึงแม้จะทราบว่าเส้นใยอาหารสามารถป้องกันและรักษาโรคต่าง ๆ ได้ก็ตาม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอาหารประจำวัน โดยทั่วไปของคนไทยมักประกอบด้วยผักและผลไม้หลายชนิดอยู่แล้ว จึงทำให้การบริโภคเส้นใยอาหารของ

คนไทยในแต่ละวันอยู่ในปริมาณที่เพียงพอ อย่างไรก็ตามพฤติกรรมกรรมการบริโภคอาหารของคนไทยได้เปลี่ยนแปลงไปตามภาวะเศรษฐกิจ สังคม และปัจจัยรอบด้าน เช่น การรับวัฒนธรรมการบริโภคของชาวตะวันตกและจากความเร่งรัดในระยะเวลาเพื่อการดำเนินชีวิตในสังคมปัจจุบัน ทำให้มีแนวโน้มที่จะพึงพาอาหารสำเร็จรูปและอาหารปรุงสำเร็จมากขึ้น โดยเฉพาะพวกอาหารจานด่วน ซึ่งอาหารเหล่านี้จะมีปริมาณเส้นใยอาหารต่ำ จึงมีแนวโน้มที่คนไทยจะได้รับเส้นใยอาหารน้อยลง (ดวงจันทร์, 2545; ธนิกันต์, 2549)

แม้ว่าเส้นใยอาหารจะมีผลดีต่อสุขภาพ แต่การบริโภคที่มากเกินไปอาจก่อให้เกิดผลข้างเคียงได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจทำให้ร่างกายขาดวิตามินและเกลือแร่ที่จำเป็นต่อร่างกาย โดยเส้นใยอาหารจะมีผลไปขัดขวางการดูดซึมเกลือแร่ เช่น สังกะสี แคลเซียม เหล็กและแมกนีเซียม เป็นต้น (Eastwood, 1997) นอกจากนี้ยังทำให้เกิดอาการท้องอืด ท้องเสีย เนื่องจากกระเพาะมีก๊าซเพิ่มขึ้น และมีการสร้างกรดไขมันเพิ่มขึ้นในลำไส้ใหญ่ (ดวงจันทร์, 2545)

## 2.6 กระบวนการผลิตเส้นใยอาหารผง

### 2.6.1 วัตถุดิบสำหรับการผลิตเส้นใยอาหารผง

ปัจจุบันมีการนำวัตถุดิบหลายชนิดมาใช้สำหรับผลิตเส้นใยอาหาร ซึ่งในการผลิตเส้นใยอาหารในเชิงอุตสาหกรรม สามารถแบ่งแหล่งวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเส้นใยอาหารได้เป็น 4 กลุ่มคือ (McCleary and Prosky, 2001)

1. กลุ่มผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตอาหารซึ่งบริโภคได้ (edible co-product of food processing) ซึ่งอาจได้จากของเหลือจากกระบวนการผลิตน้ำผักและผลไม้ หรือผลพลอยได้จากการแยกสตาร์ช น้ำตาล น้ำมันและโปรตีน ตัวอย่างของวัตถุดิบในกลุ่มนี้ เช่น กากผัก กากผลไม้ และรำจากธัญพืชต่างๆ เป็นต้น
2. กลุ่มของเหลือจากกระบวนการผลิตอาหารที่ปกติไม่นำมาบริโภค (non-edible residue of food production) เป็นส่วนที่ถูกแยกหรือส่วนของเนื้อเยื่อของพืชซึ่งโดยทั่วไปคนไม่นำมาบริโภค เช่น ชานอ้อย เป็นต้น (Sangnark and Noomhorm, 2003)

3. กลุ่มคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ถูกย่อยสลายแต่ถูกสะสมหรือส่วนที่เป็นโครงสร้าง (indigestible storage or skeleton carbohydrate) เป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่สตาร์ช แต่ถูกสะสมไว้ภายในเอนโดสเปิร์ม เป็นโครงสร้างของพืชน้ำ หรือเป็นหัวพืชที่อยู่ใต้ดินซึ่งอุดมไปด้วย polyfructan เช่น หัวบุก สาหร่ายสีแดง และสาหร่ายสีน้ำตาล เป็นต้น

4. กลุ่มยางพืช (exudates) เช่น กัมอะราบิกจากต้นอะคาเซีย เป็นต้น

กลุ่มผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตอาหารซึ่งบริโภคได้เป็นกลุ่มวัตถุดิบที่น่าสนใจ โดยเฉพาะของเหลือจากอุตสาหกรรมที่ใช้ผลไม้เป็นวัตถุดิบ เนื่องจากปัจจุบันมีความต้องการในการบริโภคเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณการผลิตเพิ่มขึ้นด้วย ส่งผลให้มีปริมาณของเหลือจากการผลิต เช่น เปลือก กาก แขน และเมล็ด เป็นต้น เพิ่มขึ้น ซึ่งถ้าขาดการจัดการที่เหมาะสมอาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมได้ (Montgomery, 2004) นอกจากนี้ยังพบว่า ส่วนต่างๆของผลไม้ ถือเป็นแหล่งของเส้นใยอาหารที่มีคุณภาพดีกว่าแหล่งอื่นๆ เช่น ธัญพืช เนื่องจากมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมด และเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำและน้ำมัน ความสามารถในการถูกย่อยในลำไส้สูงกว่า นอกจากนี้ยังมีปริมาณกรดไฟติกและแคลอรีต่ำ (Larrauri, 1999) ผลไม้จึงเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพสูงในการนำมาผลิตเป็นเส้นใยอาหาร (ธนิกานต์, 2549) จากความสำคัญและสมบัติที่กล่าวมาข้างต้นนั้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องมีการพัฒนากระบวนการเตรียมเส้นใยอาหารจากผลไม้ให้มีการสูญเสียองค์ประกอบดังกล่าว และองค์ประกอบที่ให้ผลทางชีวภาพอื่นๆ เช่น ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) โพลีฟีนอล (polyphenol) และแคโรทีน (carotene) ให้น้อยที่สุด เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อสุขภาพนอกเหนือจากคุณประโยชน์ของเส้นใยอาหาร ซึ่งกระบวนการที่พัฒนาให้ได้ปริมาณเส้นใยอาหารสูง แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 กระบวนการผลิตเพื่อให้ได้เส้นใยอาหารปริมาณสูง

ลำดับที่	วิธีการ
1	ใช้เอนไซม์เพื่อช่วยให้ส่วนของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ของวัตถุดิบมีประสิทธิภาพดี และกระบวนการนี้ทำให้เส้นใยอาหารที่ได้มีเนื้อสัมผัสที่นุ่ม
2	ใช้อัลคาไลน์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการเตรียมเส้นใยอาหารจากพืชซึ่งสามารถแยกส่วนของลิกนินออกจากเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ผลิตภัณฑ์สุดท้ายจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) และสมบัติในการพองตัว (swelling property) สูง
3	รำัญพืชถูกเคลือบด้วยแป้งเพื่อหลีกเลี่ยงความรู้สึกเป็นกรดในปากและการดูดซึมแร่ธาตุของเส้นใยอาหาร
4	แยกของเหลวขั้นที่ได้จากกระบวนการหมักเปียกข้าวโพดโดยใช้ไฮโดรไลโคลน ซึ่งทำให้ได้ส่วนของเส้นใยอาหารทั้งหมดสูงขึ้น
5	บดเปลือกข้าวโอ๊ต แล้วแช่ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 4.5-5 ในหม้อหนึ่งความดัน ที่อุณหภูมิ 100-200 องศาเซลเซียส ความดัน 0.1-1.0 Mpa เพื่อแยกซิลิกาและลิกนินออกจากเปลือกข้าวโอ๊ต จากนั้นกรองตัวอย่าง แล้วทำให้เป็นกลางและฟอกสีผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้เป็นที่ยอมรับ

ที่มา: ดัดแปลงจาก Larrauri (1999)

## 2.6.2 ขั้นตอนหลักในการผลิตเส้นใยอาหารผง

หลักการในการผลิตเส้นใยอาหาร คือ การแยกเอาส่วนประกอบอื่น ๆ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และรงควัตถุ เป็นต้น ออกจากวัตถุดิบที่เหลือแต่เส้นใยอาหาร โดยขั้นตอนหลักในการผลิตเส้นใยอาหารผงมี 4 ขั้นตอน ดังนี้ (Larrauri, 1999)

### ก) การบดเปียก (wet milling)

การบดเปียกเป็นขั้นตอนในการผลิตที่มีความสำคัญเนื่องจากถ้าขนาดอนุภาคของวัตถุดิบที่ถูกบดไม่เหมาะสมในขั้นตอนนี้ จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตในขั้นถัดไป หากวัตถุดิบที่ถูกบดมีขนาดอนุภาคเล็กเกินไป จะทำให้วัตถุดิบดูดซับน้ำไว้มากในขั้นตอนการล้าง จึงใช้ระยะเวลาในการทำแห้งนานขึ้นและได้ผลผลิตปริมาณต่ำ นอกจากนี้ยังสูญเสียองค์ประกอบที่ต้องการ เช่น เส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ แต่ถ้าวัตถุดิบที่ถูกบดมีขนาดอนุภาคใหญ่เกินไป จะทำให้ไม่สะดวกในการกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการ เช่น น้ำตาลอิสระ ในขั้นตอนการล้างได้ (Larrauri, 1999) Larrauri *et al.* (1996) พบว่า ขนาดในการบดเปียกเปลือกมะม่วงเพื่อเตรียมเส้นใยอาหารส่งผลกระทบต่อปริมาณเส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้ โดยถ้าขนาดในการบดเปียกใหญ่จะให้ผลผลิตเส้นใยอาหารสูงกว่าและสูญเสียเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำ และเส้นใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำน้อยกว่าการใช้ขนาดการบดเปียกเล็ก นอกจากนั้น Larrauri (1997) ศึกษาการเตรียมเส้นใยอาหารจากเปลือกส้ม พบว่า เส้นใยอาหารผงที่ได้จากการบดเปียกเปลือกส้มขนาดเล็ก คือ 5 มิลลิเมตร ทำให้ได้เส้นใยอาหารผงที่มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำกว่าเส้นใยอาหารผงที่ได้จากการบดเปียกขนาดใหญ่กว่า คือ 15 มิลลิเมตร ทั้งนี้เนื่องจากการสูญเสียองค์ประกอบของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้มากกว่า เช่นเดียวกับ ธนิกานต์ (2549) ที่ศึกษาผลของขนาดการหั่นชิ้นกากส้มเขียวหวาน โดยแปรขนาดการหั่นเป็น 5, 10, 15 และ 20 มิลลิเมตร พบว่า เมื่อขนาดการหั่นเพิ่มขึ้น จะส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำ และปริมาณเส้นใยอาหารเพิ่มขึ้นด้วย โดยทั่วไปขนาดในการบดเปียกวัตถุดิบนั้นจะอยู่ในช่วง 0.6-2.0 เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นกับกระบวนการผลิตที่ใช้และชนิดของวัตถุดิบ (Larrauri, 1999)

## ข) การล้าง (washing)

การล้างมีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดองค์ประกอบที่ไม่ต้องการ เช่น น้ำตาล เป็นต้น และแยกเชื้อจุลินทรีย์บางส่วนออกจากวัตถุดิบ ซึ่ง Larrauri *et al.* (1996) พบว่า การล้างเปลือกมะม่วงด้วยน้ำร้อน เพื่อผลิตเส้นใยอาหารผงสามารถช่วยลดปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้ในวัตถุดิบ โดยสามารถลดได้ถึงร้อยละ 87 ของปริมาณน้ำตาลที่ละลายได้เริ่มต้นในเปลือกมะม่วง การล้างวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเส้นใยอาหารอาจส่งผลกระทบต่อสมบัติทางกายภาพและเคมีของเส้นใยอาหารได้ เช่น ความสามารถในการอุ้มน้ำ และปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้ เป็นต้น ซึ่ง Larrauri (1999) พบว่า ในการเตรียมเส้นใยอาหารจากเปลือกส้ม การล้างเปลือกส้มด้วยน้ำร้อนสามารถกำจัดน้ำตาลออกจากเปลือกส้มได้มากกว่าการใช้น้ำอุณหภูมิปกติล้าง ส่วนเปลือกส้มที่ไม่ผ่านการล้างจะทำให้เส้นใยอาหารที่ได้มีปริมาณน้ำตาลเหลืออยู่สูง ส่งผลให้เส้นใยอาหารที่ได้มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ Lario *et al.* (2004) ศึกษาการเตรียมเส้นใยอาหารผงจากของเหลือจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำมะนาว (พันธุ์ *Citrus limon Fino CV.*) โดยเปรียบเทียบเส้นใยอาหารผงที่ได้จากการล้างและไม่ล้างวัตถุดิบ พบว่า เส้นใยอาหารผงที่ได้จากการล้างวัตถุดิบก่อนการทำแห้ง มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ 12.6 กรัม/กรัมต่อกรัมเส้นใยอาหารผง ซึ่งสูงกว่าเส้นใยอาหารผงที่ได้จากการไม่ล้างวัตถุดิบ คือ 7 กรัม/กรัมต่อกรัมเส้นใยอาหารผง นอกจากนี้การล้างวัตถุดิบจะช่วยกำจัดน้ำตาลในวัตถุดิบออก จึงป้องกันการเกิดสีน้ำตาลของเส้นใยอาหารผง ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาเมลลาร์ดในระหว่างการทำแห้งได้ และยังช่วยลดองค์ประกอบที่มีสีเขียวยและสีเหลืองในวัตถุดิบลง

## ค) การทำแห้ง (drying)

การทำแห้งเป็นขั้นตอนหลักและเสียค่าใช้จ่ายสูงสุดในการผลิตเส้นใยอาหารผง การทำแห้งจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาเส้นใยอาหาร โดยไม่ต้องเติมสารเคมีกันเสีย นอกจากนี้ยังช่วยลดขนาดของบรรจุภัณฑ์และต้นทุนค่าขนส่งอีกด้วย (Larrauri, 1999) โดยทั่วไปในการทำแห้ง ถ้าใช้อุณหภูมิในการทำแห้งสูงจะทำให้คุณภาพของเส้นใยอาหารถูกทำลายได้และยังทำให้ความสามารถในการละลายเปลี่ยนแปลงไปด้วย (Irving and Walton, 1980) Larrauri (1997) ศึกษาผลของการทำแห้งเปลือกส้มในตู้อบแห้งแบบชั้น (cabinet dryer) พบอิทธิพลร่วมของปริมาณเปลือกส้มต่อถาด และอุณหภูมิในการทำแห้งต่อความสามารถในการอุ้มน้ำของเส้นใยอาหาร โดยตัวอย่างที่มีอัตราการทำแห้งสูงกว่าจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำกว่า ซึ่งอาจเป็นผลมาจาก partial degradation ของ

องค์ประกอบของเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำบางชนิด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chantaro *et al.* (2008) ที่พบว่า ความสามารถในการกักเก็บน้ำของเส้นใยอาหารจะลดลง เมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิสูง เช่นเดียวกัน

### ง) การบดแห้ง (dry milling)

ขั้นตอนนี้มีจุดประสงค์เพื่อลดขนาดของเส้นใยอาหารให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร (Larrauri, 1999) โดยทั่วไปเส้นใยอาหารผงทางการค้านิยมบดให้มีขนาดอนุภาคระหว่าง 0.15-0.43 มิลลิเมตร (Larrauri, 1999) Raghavendra *et al.* (2006) ศึกษาผลของการลดขนาดอนุภาคโดยการบดที่มีต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ กักเก็บน้ำ พองตัว และดูดซับน้ำมันของเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าว พบว่า การลดขนาดอนุภาคจาก 1,127 ไมโครเมตร เป็น 550 ไมโครเมตร ส่งผลให้ความสามารถในการอุ้มน้ำ กักเก็บน้ำ พองตัว และดูดซับน้ำมัน ของเส้นใยอาหารจากกากมะพร้าวเพิ่มขึ้น แต่เมื่อลดขนาดอนุภาคลงอีกจนถึง 390 ไมโครเมตร จะส่งผลให้สมบัติเหล่านี้ลดลง

### 2.6.3 สมบัติของเส้นใยอาหารผง

เส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้ควรมีสมบัติดังนี้ (Pomeranz, 1991)

1. ไม่มีองค์ประกอบที่มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สารอาหาร
2. มีความเข้มข้นสูง สามารถใช้ปริมาณเพียงเล็กน้อยแต่ให้ผลทางสรีระวิทยาอย่างมาก
3. ไม่มีสี กลิ่น รส และเนื้อสัมผัส
4. มีส่วนประกอบที่สมดุล (ทั้งส่วนที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ) และมีปริมาณของสาร bioactive ที่เกี่ยวข้องเพียงพอ
5. มีอายุการเก็บรักษานาน และไม่ส่งผลเสียต่ออาหารที่เติมลงไป
6. มีความเหมาะสมในการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตอาหาร
7. มีภาพพจน์ในแง่บวกในสายตาผู้บริโภค ทั้งในแง่ของแหล่งของเส้นใยอาหาร และแง่สุขภาพ และมีราคาสมเหตุสมผล

โดยทั่วไปในการผลิตเส้นใยอาหารผงในทางการค้า สมบัติหลักของเส้นใยอาหารผงที่ผลิตได้ควรมีปริมาณเส้นใยอาหารทั้งหมดมากกว่าร้อยละ 50 มีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 9 มีปริมาณไขมันต่ำ ให้พลังงานต่ำ (ต่ำกว่า 8.36 กิโลแคลอรีต่อกรัม) และมีกลิ่นรสที่เป็นกลาง (Larrauri, 1999)

## 2.7 ไอศกรีม

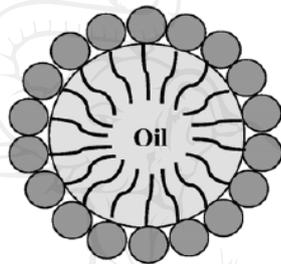
ไอศกรีม (ice cream) คือ ผลิตภัณฑ์นมแช่เยือกแข็งซึ่งได้จากการนำส่วนผสมของไอศกรีมที่ผ่านการพาสเจอร์ชันมาปั่นแข็งเพื่อเติมอากาศและทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความเป็นเนื้อเดียวกัน โดยทั่วไปส่วนผสมในการผลิตไอศกรีมประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นนมและผลิตภัณฑ์นม (milk and dairy product) ได้แก่ นำนม ไขมันนม ครีม และหางนมผง เป็นต้น และส่วนที่ไม่ใช่นมและผลิตภัณฑ์นม ได้แก่ น้ำตาลทราย น้ำ สารให้ความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์ สารให้กลิ่นรส และสารให้สี เป็นต้น (Arbuckle, 1986) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 222) พ.ศ. 2544 เรื่อง ไอศกรีม สามารถจำแนกประเภทของไอศกรีมออกเป็น 5 ชนิด คือ (1) ไอศกรีมนม ได้แก่ ไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้นมหรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนม (2) ไอศกรีมคัดแปลง ได้แก่ ไอศกรีมนมที่ทำขึ้นโดยใช้ไขมันชนิดอื่นแทนมันเนยทั้งหมดหรือแต่เพียงบางส่วน หรือไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีไขมันแต่ผลิตภัณฑ์นั้นมิใช่ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนม เช่น ไอศกรีมที่ผสมน้ำมันปาล์มหรือน้ำมันมะพร้าว ไอศกรีมกะทิ เป็นต้น (3) ไอศกรีมผสม ได้แก่ ไอศกรีมนมหรือไอศกรีมคัดแปลงแล้วแต่กรณี ซึ่งมีผลไม้หรือวัตถุดิบที่เป็นอาหารเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย เช่น เนื้อผลไม้ ถั่ว ช็อกโกแลต และส่วนผสมอื่นๆ (4) ไอศกรีมนม ไอศกรีมคัดแปลงหรือไอศกรีมผสม ชนิดแข็ง หรือผง ซึ่งต้องนำไปเติมน้ำตามสัดส่วนที่กำหนด แล้วนำไปปั่นให้แข็งหรือแช่เย็นให้แข็งก่อนนำไปบริโภค หรืออาจจำหน่ายในรูปของเหลว ซึ่งนำไปปั่นหรือ แช่แข็งได้เลย ไอศกรีมชนิดนี้อาจเรียกว่าไอศกรีมกึ่งสำเร็จรูป (5) ไอศกรีมหวานเย็น ได้แก่ ไอศกรีมที่ทำขึ้นโดยใช้น้ำและน้ำตาล หรืออาจมีวัตถุดิบที่เป็นอาหารเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย เช่น สี กลิ่น รส และน้ำผลไม้

### 2.7.1 โครงสร้างของไอศกรีม

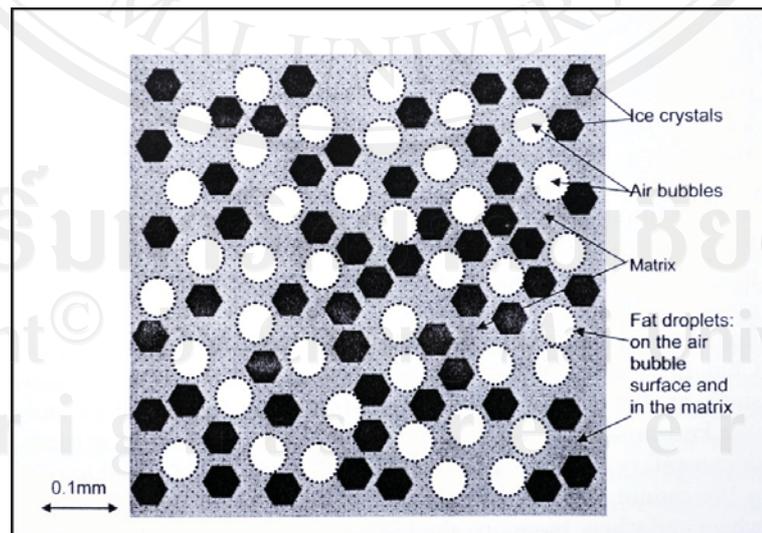
ไอศกรีมเป็นระบบอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion) แสดงดังรูปที่ 2.10 ประกอบด้วยโครงสร้างทางกายภาพเคมี (physicochemical system) ที่มีความซับซ้อน โดยส่วนผสมทั้งหมดในการผลิตไอศกรีมจะช่วยให้เกิดโครงสร้างของไอศกรีมขึ้น โครงสร้างภายใน

ของไอศกรีมประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ของแข็ง ของเหลว และฟองอากาศ อยู่รวมกัน 3 ภูมิภาค เรียกว่า three-phase system โดยฟองอากาศที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการตีปั่น ไอศกรีมจะกระจายตัวอยู่ในส่วนที่เป็นของเหลวไม่แข็งตัว และถูกล้อมรอบด้วยเม็ดไขมันที่เกาะกันเป็นโครงสร้างร่างแห (fat coalescence หรือ destabilized fat) ซึ่งโครงสร้างร่างแหของเม็ดไขมัน ทำให้ฟองอากาศคงตัวอยู่ในโครงสร้างไอศกรีม นอกจากนี้ยังมีส่วนของผลึกน้ำแข็ง ผลึกของสารให้ความหวาน และโปรตีนนมอีกด้วย (Marshall and Arbuckle, 1996; Clarke, 2004) โครงสร้างของไอศกรีมที่มีองค์ประกอบข้างต้นแสดงดังรูปที่ 2.11

Water



รูปที่ 2.10 รูปจำลองอิมัลชันในอาหารชนิดน้ำมันในน้ำ (oil in water emulsion)  
ที่มา: Shane *et al.* (2006)



รูปที่ 2.11 โครงสร้างภายในของไอศกรีม  
ที่มา: Clarke (2004)

## 2.7.2 องค์ประกอบของไอศกรีม

ในการผลิตไอศกรีมเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง จำเป็นต้องใช้ส่วนผสมที่มีคุณภาพดีและมีความสมดุลกัน รวมทั้งต้องมีระบบจัดการกระบวนการผลิตอย่างดี (Arbuckle, 1986) ส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตไอศกรีมโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ วัตถุดิบหลัก ได้แก่ โปรตีนนม ไขมัน สารให้ความหวาน และน้ำ เป็นต้น วัตถุดิบรอง ได้แก่ สารให้ความคงตัว อิมัลซิไฟเออร์ สี และสารให้กลิ่นรส เป็นต้น และองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ ซ็อกโกแลต บิสกิต ชิ้นผลไม้ และถั่วต่างๆ ไอศกรีมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากนม ซึ่งส่วนประกอบต่างๆ จะมีคุณค่าทางอาหารสูง ดังนั้นจึงจัดว่าเป็นอาหารที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย ส่วนประกอบทางเคมีของไอศกรีมชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ส่วนประกอบทางเคมีของไอศกรีมชนิดต่างๆ (ต่อ 100 กรัมที่บริโภคได้)

ส่วนประกอบ (เปอร์เซ็นต์)	ไอศกรีม มาตรฐาน	ไอศกรีมที่มี ปริมาณไขมัน			ไอศกรีม นม	ไอศกรีมโคน (Ice cream cones)	หวานเย็น (water ice)
		10%	12%	16%			
น้ำ	61.7	63.2	62.1	62.8	66.7	8.9	66.9
พลังงาน (แคลอรี)	196.7	193	207	222	152	372	78
โปรตีน	4.1	4.5	4	2.6	4.8	10	0.4
ไขมัน	12	10.6	12.5	16.1	5.1	2.4	trace
คาร์โบไฮเดรต	20.7	20.8	20.6	18	22.4	77.9	32.6
น้ำหนัก (กรัม) ต่อ 100 แคลอรี	50.8	51.7	48.3	45	65.6	26.5	128.4

ที่มา : Arbuckle (1986)

### ก) อากาศ (air)

อากาศเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของไอศกรีมซึ่งมีผลต่อลักษณะทางกายภาพและความคงตัวของกรเก็บรักษา ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อค่าความแข็ง (hardness) ของไอศกรีม ถ้าไอศกรีมไม่มีฟองอากาศจะได้ไอศกรีมที่มีเนื้อสัมผัสที่แข็ง การเพิ่มค่าการขึ้นฟู (overrun) ให้สูงขึ้นจะทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่าไอศกรีมที่มีค่าการขึ้นฟูต่ำกว่า (Clarke, 2004) ค่าการขึ้นฟูจะแสดงออกเป็นเปอร์เซ็นต์ของปริมาตรอากาศที่เพิ่มขึ้นของส่วนผสม การที่ปริมาตรเพิ่มขึ้นเป็นผลเนื่องมาจากขณะปั่นไอศกรีมมีการผสมอากาศเข้าไปในเนื้อไอศกรีม การผสมอากาศจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของส่วนผสม หากอากาศมากเกินไป ไอศกรีมจะเบา โปร่งไม่น่ารับประทาน แต่ถ้ามีอากาศน้อยเกินไปเนื้อจะแน่นหรือหนัก โดยปัจจัยที่มีผลต่อการกำหนดการขึ้นฟู เช่น ปริมาณของแข็งทั้งหมดในส่วนผสม ราคาจำหน่ายของไอศกรีม และชนิดของไอศกรีม เป็นต้น การผลิตไอศกรีมมีการขึ้นฟูต่างกันประมาณร้อยละ 10 ย่อมมีผลต่อทั้งต้นทุนการผลิตและการยอมรับ รวมทั้งความนิยมของผู้บริโภค (บุญช่วย, 2547) ซึ่งการขึ้นฟูของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมชนิดต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ค่าการขึ้นฟู (overrun) ของผลิตภัณฑ์นมแช่แข็งชนิดต่าง ๆ

ผลิตภัณฑ์	การขึ้นฟู (เปอร์เซ็นต์)
ไอศกรีม(บรรจุกล่อง)	70-80
ไอศกรีม(ทั่วไป)	90-100
เชอร์เบต	30-40
ไอซ์	25-30
ไอศกรีมชนิดเหลว	30-50
ไอซ์มิลค์	50-80
มิลค์เชค	10-15

ที่มา: บุญช่วย (2547)

นอกจากนี้ฟองอากาศยังมีผลต่อสีและลักษณะปรากฏของไอศกรีม เนื่องจากฟองอากาศจะสะท้อนแสงได้ ดังนั้นไอศกรีมที่มีฟองอากาศมากจะมีสีสว่างกว่าไอศกรีมที่มีฟองอากาศน้อยกว่า

นอกจากนี้ขนาดของฟองอากาศมีผลต่อคุณลักษณะทางประสาทสัมผัสของไอศกรีม ตัวอย่างเช่น ไอศกรีมที่ฟองอากาศขนาดเล็กจะให้เนื้อสัมผัสที่นุ่มกว่า (Clarke, 2004)

### ข) โปรตีนนม (milk protein)

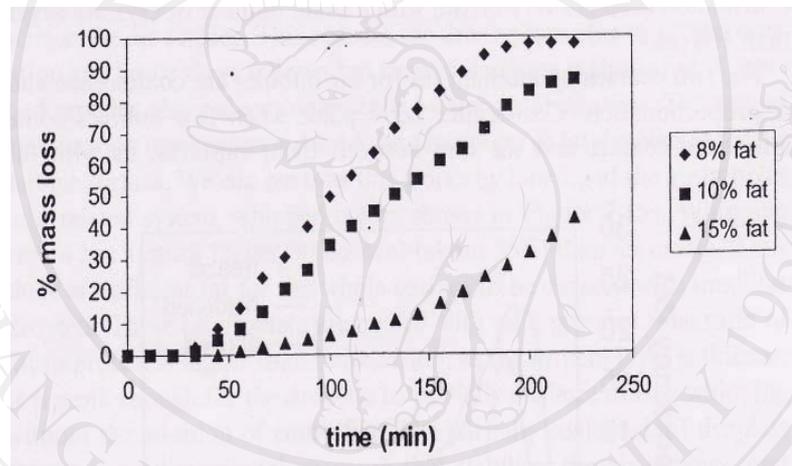
โปรตีนในน้ำนมแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เคซีน (casein) และเวย์โปรตีน (whey protein) เคซีนเป็นโปรตีนที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ทำหน้าที่เป็นสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ได้ดี เนื่องจากโมเลกุลด้านหนึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีสมบัติละลายในน้ำ (hydrophilic) เช่น เซอรีนและกรดกลูตามิก ส่วนโมเลกุลของโปรตีนอีกด้านหนึ่งประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีสมบัติละลายในไขมัน (hydrophobic) เช่น ลิวซีน วาลีน และฟีนอลอะลานีน เวย์โปรตีนเป็นโปรตีนนมอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตเนยแข็ง ประกอบด้วยโปรตีนหลัก 4 ชนิด คือ แลคโตโกลบูลิน (lactoglobulin) แลคตาอัลบูมิน (lactalbumin) แอลบูมิน (albumin) และอิมมูโนโกลบูลิน (immunoglobulin) ซึ่งโปรตีนเหล่านี้ทำหน้าที่ช่วยลดแรงตึงผิวได้เช่นเดียวกับเคซีน (Clarke, 2004)

โปรตีนมีความสำคัญอย่างมากต่อการพัฒนาโครงสร้างของไอศกรีมรวมถึงการเป็นอิมัลชัน การตีปั่นหรือ whipping รวมถึงความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity) สมบัติในการเกิดอิมัลชันของโปรตีนในส่วนผสม คือ โปรตีนจะดูดซับเม็ดไขมันไว้ขณะที่ทำการโฮโมจีไนเซชัน (homogenization) ทำให้เม็ดไขมันมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น และไม่สามารถแยกตัวลอยอยู่บนผิวหน้าของน้ำนมได้ นอกจากนี้สมบัติในการตีให้ขึ้นฟูของโปรตีนในไอศกรีม ก็มีผลต่อการเกิดฟองอากาศในส่วนผสม รวมทั้งความสามารถในการดูดน้ำของโปรตีนจะมีส่วนทำให้ความหนืดของส่วนผสมเพิ่มขึ้น ซึ่งมีประโยชน์ต่อเนื้อไอศกรีม โดยจะช่วยยืดระยะเวลาในการหลอมละลายของไอศกรีม และลดการเกิดเกล็ดน้ำแข็งในไอศกรีม (ทศพร, 2552)

### ค) ไขมัน (fat)

ไขมันเป็นดัชนีสำคัญซึ่งบ่งบอกถึงคุณภาพของไอศกรีม โดยช่วยให้ฟองอากาศมีความคงตัว ให้ความรู้สึกเป็นครีม ช่วยลดขนาดของเกล็ดน้ำแข็งทำให้เนื้อสัมผัสเรียบเนียน ช่วยให้ไอศกรีมมีเนื้อหรือ body ช่วยให้คงสภาพรูปร่างที่ดีของไอศกรีมไว้ได้ (good shape retention) และทำให้อัตราการละลายลดลง (ทศพร, 2552) รูปที่ 2.12 แสดงอัตราการละลายของไอศกรีมที่มีไขมันร้อยละ 8, 10 และ 15 ซึ่งจะเห็นว่า ไอศกรีมที่มีไขมันร้อยละ 8 มีอัตราการละลายเร็วที่สุด ส่วนไอศกรีมที่มีไขมันร้อยละ 15 มีอัตราการละลายช้าที่สุด (Clarke, 2004) นอกจากนี้ไขมันยังทำ

หน้าที่เป็นตัวพากลิ่นรส (flavor carrier) ทำให้เกิดการรับรู้กลิ่นรสที่ดี ทั้งยังทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นภายในถังปั่นในระหว่างการปั่นไอศกรีม แหล่งของไขมันหลักที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไอศกรีม คือ ไขมันเนย (butterfat) ครีม (cream) และไขมันจากพืช (vegetable fat) ข้อจำกัดของการใช้ไขมันในไอศกรีม คือ ทำให้ต้นทุนในการผลิตไอศกรีมสูง โดยเฉพาะการใช้ไขมันนม ในปริมาณมาก นอกจากนี้ยังลดความสามารถในการขึ้นฟูของไอศกรีม และให้พลังงานมากอีกด้วย (ทศพร, 2552; Arbuckle, 1986; Clarke, 2004) ไขมันที่ใช้ในการทำไอศกรีมต้องมีสัดส่วนของไขมันที่เป็นของแข็ง (solid fat) และไขมันที่เป็นของเหลว (liquid fat) ที่เหมาะสม ซึ่งสัดส่วนนี้มีผลต่อปริมาณ fat destabilization หรือ การเกิด partial coalescence ของไขมัน (ทศพร, 2552)



รูปที่ 2.12 เส้นโค้งการละลายของไอศกรีมที่มีไขมันร้อยละ 8, 10 และ 15  
ที่มา: Clarke (2004)

### ง) น้ำ (water)

น้ำเป็นส่วนผสมที่มีอัตราส่วนมากที่สุดในผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ซึ่งโดยทั่วไปไอศกรีมประกอบด้วยน้ำร้อยละ 60-72 โดยน้ำหนัก แหล่งของน้ำอาจได้จากน้ำนมหรือได้จากน้ำที่เติมลงไป ในส่วนผสม น้ำทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการละลายหรือกระจายตัวให้กับส่วนผสมอื่นๆทั้งหมด ทั้งส่วนผสมที่สามารถละลายได้และส่วนผสมที่กระจายตัว โดยทั่วไปน้ำในส่วนผสมจะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำแข็งในระหว่างขั้นตอนการปั่นไอศกรีมและการแช่เยือกแข็งไอศกรีม (Clarke, 2004)

### จ) สารให้ความหวาน (sweeteners)

สารให้ความหวานที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมของไอศกรีมมีหลายชนิด ได้แก่ กลูโคส ฟรุกโตส ซูโครส แลคโตส น้ำผึ้ง และคอร์นไซรัป เป็นต้น ในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมสารให้ความหวานมีหน้าที่ให้รสหวาน ช่วยเพิ่มรสชาติของไอศกรีม เพิ่มความหนืดให้กับส่วนผสม เพิ่มปริมาณของแข็งทั้งหมดทำให้จุดเยือกแข็งลดลง ปริมาณน้ำที่เป็นน้ำแข็งมีน้อย ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีเนื้อสัมผัสนุ่มง่ายต่อการรับประทาน และยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ไอศกรีม ปริมาณสารให้ความหวานที่ใช้ในไอศกรีมขึ้นอยู่กับระดับความหวานที่ต้องการ แต่อย่างไรก็ตามการใช้สารให้ความหวานในปริมาณมากเกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้มีรสหวานจัด อัตราการตีให้ขึ้นฟูลดลง ใช้ระยะเวลาในการปั่นไอศกรีมนาน ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสและ ไอศกรีมละลายเร็ว และต้องใช้อุณหภูมิต่ำๆ ในขั้นตอนการ hardening ซึ่งเป็นผลมาจากสารให้ความหวานทำให้จุดเยือกแข็งไอศกรีมต่ำลง การใช้สารให้ความหวานต้องคำนึงถึงความเหมาะสมทั้งชนิดและปริมาณ เพื่อให้มีความหวาน และจุดเยือกแข็งของไอศกรีมเหลวสูงพอที่จะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งในปริมาณที่เหมาะสม (Marshall and Arbuckle, 1996)

ถ้าเป็นไอศกรีมปราศจากน้ำตาล จะใช้สารให้ความหวานในกลุ่ม sugar alcohols หรือ polyols เป็นสารให้ความหวานที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ปราศจากน้ำตาล (sugar free) เนื่องจากเป็นสารให้ความหวานหรือน้ำตาลที่ไม่เพิ่มระดับน้ำตาลในเลือด น้ำตาลในกลุ่มนี้จะมีหมู่ -OH เป็นส่วนประกอบในโมเลกุล ได้แก่ sorbitol, mannitol, xylitol, erythritol, lactitol, maltitol, isomalt และ hydrogenated starch hydrolysate อีกบางตัว นอกจากนี้อิสารให้ความหวานที่ไม่ให้คุณค่าทางโภชนาการ เช่น aspartame, saccharin, acesulfame K, neotame และ sucralose ก็เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตไอศกรีมปราศจากน้ำตาลได้ โดยสารพวกนี้จะไม่ใช้น้ำตาลและมีระดับความหวานที่สูงมาก จึงต้องใช้เพียงเล็กน้อยโดยใช้ร่วมกับสารให้เนื้ออื่น ๆ เช่น polydextrose (นพพรรัตน์ และสุทธิณีย์, 2551)

### ฉ) สารให้ความคงตัว (stabilizer)

สารให้ความคงตัวเป็นสารประเภทไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloid) ที่มีความสามารถในการเกิดเจลในน้ำและเกิดพันธะกับโมเลกุลของน้ำ นิยมใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมซอร์เบต (sherbet) และอาหารชนิดอื่นๆ ที่ต้องการให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความคงตัว โดยทั่วไปสารให้ความคงตัวจะใช้เป็นส่วนผสมในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น คือ ประมาณร้อยละ 0.2-0.3 โดยน้ำหนักของส่วนผสมทั้งหมด สารให้ความคงตัว ได้แก่ เจลาติน เพคติน กัวกัม คาราจีแนน

โลคัสบีบักัม แซนแทนกัม โซเดียมอัลจินตและโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นต้น (Marshall *et al.*, 2003; Clarke, 2004) หน้าที่ของสารให้ความคงตัวในไอศกรีม คือ ทำให้เนื้อสัมผัสของไอศกรีมมีความเรียบเนียน ยับยั้งการขยายของผลึกน้ำแข็งหรือลดการขยายของผลึกน้ำแข็งระหว่างการเก็บรักษา ทำให้ผลิตภัณฑ์มีรูปร่างที่สม่ำเสมอ และหลอมละลายยาก ช่วยให้สารให้กลิ่นรสแขวนลอยในส่วนผสมได้ ช่วยให้ได้ฟองอากาศในไอศกรีมที่เสถียร ป้องกันการหดตัวของไอศกรีม และทำให้การเคลื่อนที่ของความชื้นออกไปจากไอศกรีมช้าลง และช่วยเพิ่มความหนืดแต่ไม่มีผลต่อจุดเยือกแข็งของไอศกรีม การนำสารให้ความคงตัวหลายๆ ชนิดมาใช้ร่วมกันจะช่วยเสริมข้อดีของกันและกันในการทำให้ไอศกรีมมีคุณภาพดียิ่งขึ้น (ทศพร, 2552; Marshall and Arbuckle, 1996; Clarke, 2004) เนื่องจากมีการใช้สารให้ความคงตัวเหล่านี้ในปริมาณน้อย จึงไม่มีผลต่อคุณค่าทางอาหารและกลิ่นรสของไอศกรีม แต่การใช้สารให้ความคงตัวในปริมาณมากเกินไปจะทำให้ไอศกรีมละลายช้า ไอศกรีมมีความแฉะและเหนียว (Marshall and Arbuckle, 1996; Clarke, 2004)

#### ข) อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier)

อิมัลซิไฟเออร์เป็นสารที่ช่วยปรับปรุงโครงสร้างของไขมันและการกระจายตัวของฟองอากาศในไอศกรีม ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน ช่วยลดระยะเวลาในการตีให้ขึ้นฟูของไอศกรีม ป้องกันการหดตัว (shrinkage) ควบคุมความไม่คงตัวของไขมัน (fat destabilization) และช่วยลดอัตราการละลายของไอศกรีม (ทศพร, 2552; Marshall and Arbuckle, 1996; Clarke, 2004) อิมัลซิไฟเออร์แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ อิมัลซิไฟเออร์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติ เช่น โพรตีนในน้ำนม ไข่แดง และเลซิติน เป็นต้น และอิมัลซิไฟเออร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ เช่น โมโน/ไดกลีเซอไรด์ (mono/di-glyceride) โมเลกุลของอิมัลซิไฟเออร์ประกอบด้วยส่วนที่ชอบน้ำ (hydrophilic) และส่วนที่ชอบไขมัน (hydrophobic) โดยจะแทรกตัวอยู่บริเวณผิวสัมผัสร่วม (interface) ระหว่างน้ำและน้ำมัน ช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างวัฏภาคทั้งสองทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากต่อการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เพิ่มขึ้น ในขั้นตอนการปั่น ไอศกรีมเมื่อส่วนผสมของไอศกรีมได้รับแรงเฉือนเม็ดไขมันบางส่วนถูกทำลายและเริ่มไม่คงตัว เกิดการเกาะกลุ่มกัน (flocculate) เชื่อมต่อกันเป็นสายเคลือบที่ผิวของเซลล์อากาศ ทำให้เซลล์อากาศมีความคงตัว หากไม่มีอิมัลซิไฟเออร์เม็ดไขมันจะเชื่อมต่อกันได้ยาก เนื่องจากโปรตีนที่ดูดซับที่บริเวณพื้นผิวเม็ดไขมันจะขัดขวางการเชื่อมต่อกันของเม็ดไขมัน การใช้อิมัลซิไฟเออร์อย่างเหมาะสมจะช่วยให้ไอศกรีมมีลักษณะเนื้อสัมผัสแห้ง ผลึกน้ำแข็งมีขนาดเล็กลง ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียนมากขึ้น ลดเวลาการตีปั่นให้ขึ้นฟู และช่วยลดอัตราการละลาย

ของไอศกรีม เป็นต้น แต่การใช้มีลซ์ไฟเออร์ในปริมาณมากเกินไปอาจทำให้ไอศกรีมที่ได้มีการละลายที่ช้าลง มีรูปร่างและเนื้อสัมผัสไม่ดี หรืออาจมีกลิ่นรสที่ผิดปกติ (Arbuckle, 1986; Marshall and Arbuckle, 1996; Clarke, 2004)

### ข) สารปรุงแต่งกลิ่นรส (flavors)

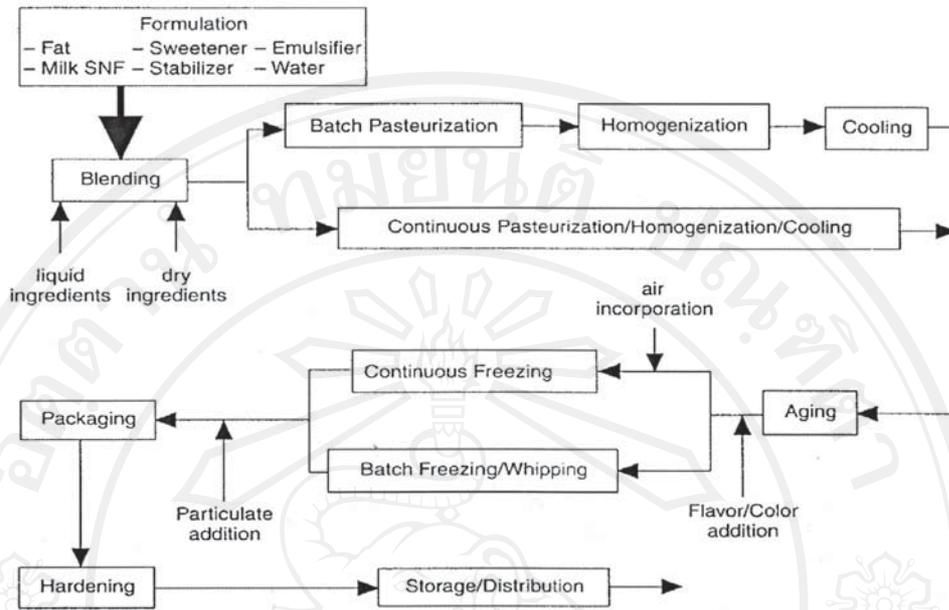
สารปรุงแต่งกลิ่นรสแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลิ่นรสที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ ผงโกโก้ ผงกาแฟ น้ำผลไม้เข้มข้น กลิ่นวานิลลา เป็นต้น ซึ่งกลิ่นวานิลลาเป็นกลิ่นที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ได้จากการสกัดจากฝักวานิลลา หรืออาจสังเคราะห์ได้จากกลินิน โดยกระบวนการทางชีวสังเคราะห์ (biosynthesis) และกลิ่นรสที่ได้จากการสังเคราะห์ ได้แก่ เอทิล วานิลลิน (ethyl vanillin) และ เมนทอล (menthol) เป็นต้น (จุฑาทิพย์, 2549; Clarke, 2004)

### ฅ) สี (color)

สีมีผลต่อการยอมรับของผู้บริโภคในคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การเติมสีนอกจากจะเป็นการเพิ่มสีสันให้กับผลิตภัณฑ์แล้วยังช่วยให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความน่าสนใจ และสามารถบ่งบอกถึงกลิ่นรสของผลิตภัณฑ์ได้ (Clarke, 2004) สารให้สีที่เติมลงในไอศกรีมอาจจะเป็นสีธรรมชาติที่ได้จากผลไม้ หรือเป็นสีสังเคราะห์ก็ได้ เช่น การเติมผงโกโก้ น้ำสตรอเบอรี่ หรือน้ำสกัดจากใบเตย ซึ่งจะให้ทั้งสีและกลิ่นพร้อมกัน (นพพรรัตน์ และสุทธินีย์, 2551)

## 2.7.3 ขั้นตอนการผลิตไอศกรีม

การผลิตไอศกรีมสามารถทำได้ทั้งแบบต่อเนื่องและแบบไม่ต่อเนื่องแสดงดังรูปที่ 2.13 โดยมีขั้นตอนหลักในการผลิตดังต่อไปนี้คือ การคำนวณส่วนผสม (mix calculations) การผสมส่วนผสมของไอศกรีม (blending) การพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurization) การโฮโมจิไนเซชัน (homogenization) การทำให้ส่วนผสมไอศกรีมเย็นลง (cooling) การบ่มส่วนผสม (ageing) การปั่นไอศกรีม (aeration and freezing) การบรรจุ (packaging) การแช่แข็ง (hardening) และการเก็บรักษาไอศกรีม (storage)



รูปที่ 2.13 กระบวนการผลิตไอศกรีม  
ที่มา: Goff (2010)

### ก) การคำนวณส่วนผสม (mix calculations)

การคำนวณส่วนผสมเป็นขั้นตอนแรกในการผลิตไอศกรีมซึ่งนับว่ามีความสำคัญ เนื่องจากจะทำให้ได้สูตรไอศกรีมที่มีความสมดุลและสามารถควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ให้มีความสม่ำเสมอ กำหนดราคาของไอศกรีมไม่ให้สูงเกินไป และได้ไอศกรีมที่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด (หทัยทิพย์, 2552; Arbuckle, 1986)

### ข) การผสมส่วนผสมของไอศกรีม (blending)

ส่วนผสมของไอศกรีมจะถูกผสมในสถานะผสมร่วมกับการให้ความร้อนและการกวน เพื่อให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกัน การใช้ความร้อนและการกวนจะต้องทำอย่างระมัดระวังเพื่อให้เกิดการละลายหรือกระจายตัวของส่วนผสมอย่างมีประสิทธิภาพ และป้องกันส่วนผสมที่ไวต่อความร้อนเกิดการเสถียรภาพ ขั้นตอนการผสมเริ่มจากนำส่วนผสมที่เป็นของเหลว ได้แก่ น้ำ นม นมกลูโคสไซรัป และครีม เติลงไปในสถานะผสม จากนั้นให้ความร้อนและเริ่มกวนส่วนผสมให้เข้ากัน จนกระทั่งอุณหภูมิของส่วนผสมถึง 50 องศาเซลเซียส จึงเติมส่วนผสมที่เป็นของแข็ง ได้แก่ นมผง น้ำตาลทราย สารให้ความคงตัว และอิมัลซิไฟเออร์ลงไป และในขั้นตอนนี้ยังไม่ควรเติม

สารให้สีหรือกลิ่น เนื่องจากเมื่อนำส่วนผสมไปให้ความร้อน อาจเกิดการสลายตัวได้ จากนั้น กวนส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน ของผสมทั้งหมดที่ได้เรียกว่า ไอศกรีมมิกซ์ (ice cream mix) หลังจากผสมส่วนผสมให้เข้ากันแล้ว โดยทั่วไปมักจะเพิ่มอุณหภูมิของไอศกรีมเหลวให้เท่ากับหรือสูงกว่า 65 องศาเซลเซียส เพื่อนำไปโฮโมจิไนซ์ในลำดับต่อไป (Arbuckle, 1986; Clarke, 2004; Goff, 2010)

### ค) การโฮโมจิไนเซชัน (homogenization)

การโฮโมจิไนเซชัน เป็นกระบวนการที่ทำให้เม็ดไขมันแตกตัวเป็นเม็ดไขมันขนาดเล็ก และกระจายตัวสม่ำเสมอทั่วส่วนผสม โดยเม็ดไขมันมีขนาดประมาณ 1-2 ไมครอน ซึ่งจะช่วยป้องกันการแยกชั้นของครีม ทำให้ไอศกรีมที่ได้มีคุณภาพสม่ำเสมอ ทั้งยังช่วยลดระยะเวลาในการบ่มส่วนผสมไอศกรีม และเมื่อปั่นไอศกรีมสามารถขึ้นฟูได้ง่ายและรวดเร็ว ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้มีเนื้อสัมผัสนุ่มและเรียบเนียน (Marshall and Arbuckle, 1996) นอกจากนี้ยังลดโอกาสในการเกิด chumming ขณะตีปั่นไอศกรีมและลดปริมาณสารให้ความคงตัวที่ใช้ให้น้อยลง (หทัยทิพย์, 2552) Schmidt and Smith (1988) พบว่า ส่วนผสมไอศกรีมที่ไม่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ จะมีลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกันมากกว่าส่วนผสมไอศกรีมที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ เนื่องจากการโฮโมจิไนซ์ทำให้เม็ดไขมันมีขนาดเล็กลง ทำให้เนื้อสัมผัสไอศกรีมมีความเรียบเนียน อัตราการละลายช้าลง กลิ่นรสของไอศกรีมถูกปลดปล่อยออกมาช้ากว่า โดยทั่วไปการโฮโมจิไนซ์แบ่งออกเป็นสองขั้นตอน คือ ขั้นแรกเป็นการลดขนาดของเม็ดไขมันโดยการใช้แรงดันสูง (โดยทั่วไปจะใช้ความดันมากกว่า 150 atm) เป็นการทำให้เม็ดไขมันที่มีขนาดใหญ่เกิดการผิกรูปร่างและแตกออกเป็นเม็ดไขมันขนาดเล็ก ขั้นที่สองใช้ความดันในระดับต่ำ (ประมาณ 35 atm) เพื่อลดการเกาะกลุ่มกันของเม็ดไขมันขนาดเล็กที่ได้จากการโฮโมจิไนซ์ในขั้นแรก ความดันที่ใช้ในการโฮโมจิไนซ์ขึ้นอยู่กับความหนืด ลักษณะของส่วนผสม ความคงตัวของส่วนผสม อุณหภูมิที่ใช้ และเครื่องโฮโมจิไนซ์

### ง) การพาสเจอร์ไรซ์ (pasteurization)

ไอศกรีมเหลวที่ได้ต้องผ่านการฆ่าเชื้อในระดับพาสเจอร์ไรซ์เพื่อทำลายเชื้อจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรค และลดจำนวนแบคทีเรียลงได้มากที่สุด การพาสเจอร์ไรซ์ที่ดีควรให้ความร้อนแก่ไอศกรีมเหลวอย่างรวดเร็วเพื่อให้ถึงอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อที่กำหนด และคงอุณหภูมินั้นตามระยะเวลาที่เหมาะสม จากนั้นจึงลดอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว การผลิตไอศกรีมในระดับ

อุตสาหกรรมมักจะใช้การพาสเจอร์ไรซ์แบบ High-Temperature Short-Time (HTST) เนื่องจากเป็นวิธีที่ประหยัดเวลา แรงงาน และสถานที่ทำให้กระบวนการผลิตเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามควรควบคุมและตรวจสอบอุณหภูมิในการพาสเจอร์ไรซ์ไว้ไม่เกิน 85 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการเสียสภาพของโปรตีนในน้ำนมและป้องกันการเกิดกลิ่นรสที่ผิดปกติ (off-flavors) เช่น การเกิดกลิ่นน้ำนมต้ม (cooked flavors) (Clarke, 2004; Goff, 2010) วิธีการพาสเจอร์ไรซ์สามารถเลือกใช้อุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกันตามวิธีการ ดังตารางที่ 2.8

**ตารางที่ 2.8** เวลาและอุณหภูมิสำหรับวิธีการพาสเจอร์ไรซ์ไอศกรีมแบบต่าง ๆ

วิธีการ	เวลา	อุณหภูมิ (°ซ/°ฟ)
Batch (LTLT)	30 นาที	69/155
HTST	25 วินาที	80/175
HHST	1-3 วินาที	90/194
UHT	2-40 วินาที	138/280

หมายเหตุ: LTLT คือ Low-Temperature Long-Time, HTST คือ High-Temperature Short-Time, HHST คือ Higher-Heat Short-Time, UHT คือ Ultra High Temperature

ที่มา: Marshall and Arbuckle (1996)

#### จ) การทำให้ส่วนผสมเย็นลง (cooling)

เป็นขั้นตอนต่อเนื่องจากการพาสเจอร์ไรซ์ โดยส่วนผสมของไอศกรีมเหลวจะถูกทำให้เย็นลงทันทีที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ และเตรียมส่วนผสมของไอศกรีมเหลวให้พร้อมสำหรับการบ่มในลำดับต่อไป (Arbuckle, 1986)

#### ฉ) การบ่มส่วนผสมของไอศกรีม (ageing)

ในขณะที่บ่มส่วนผสมของไอศกรีมที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส จะเกิดกระบวนการที่สำคัญดังนี้ คือ (Arbuckle, 1986; Clarke, 2004)

- โปรีตินที่ถูกดูดซับบนบริเวณพื้นผิวของเม็ดไขมันจะถูกแทนที่ด้วยอิมัลซิไฟเออร์เกิดเป็นเยื่อหุ้มบางๆ ซึ่งมีความแข็งแรงเพียงพอในการทำให้อิมัลชันเกิดความคงตัวในสถานะหยุดนิ่งภายในภาชนะบรรจุ แต่อิมัลชันที่ได้นี้จะไม่คงตัวเมื่อได้รับแรงเฉือนในขั้นตอนการปั่นไอศกรีม

- เม็ดไขมันบางส่วนจะเกิดผลึกไขมันแข็งขึ้นภายในอย่างช้าๆ ซึ่งบางครั้งผลึกของไขมันอาจทะลุผ่านพื้นผิวของเม็ดไขมันได้ ซึ่งการเกิดผลึกของไขมันนี้จะช่วยให้ไอศกรีมที่ได้เกิดโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่ดี

- โปรีตินและสารให้ความคงตัวเกิดการพองตัว หรือเกิดการละลายอย่างสมบูรณ์ ทำให้ส่วนผสมของไอศกรีมที่ได้มีความหนืดเพิ่มขึ้น ดังนั้นการบ่มส่วนผสมของไอศกรีมจึงต้องใช้ระยะเวลาที่เหมาะสมเพื่อให้เม็ดไขมันสามารถเกิดผลึกของไขมันบางส่วนและเกิดการดูดซับของอิมัลซิไฟเออร์แทนที่โปรีติน ซึ่งโดยทั่วไปในการผลิตไอศกรีมมักบ่มเป็นเวลาไม่น้อยกว่า 6 ชั่วโมง แต่ระยะเวลาในการบ่มไม่ควรเกิน 3 วัน หากระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มไม่เหมาะสมจะทำให้การเติมอากาศทำได้ยากและฟองอากาศที่เกิดขึ้นในระหว่างการปั่นไอศกรีมจะไม่คงตัว

#### ข) การปั่นไอศกรีม (aeration and freezing)

การปั่นไอศกรีมเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในกระบวนการผลิตไอศกรีมเพราะมีผลต่อคุณภาพและปริมาณผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้ ขั้นตอนการปั่นไอศกรีมทำได้โดยนำส่วนผสมของไอศกรีมที่ผ่านการบ่ม การเค็มสีและกลิ่นรสตามต้องการ จากนั้นทำให้แข็งตัวอย่างรวดเร็วพร้อมกับการเติมอากาศตลอดเวลาภายในเครื่องปั่นไอศกรีมที่อุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส เพื่อให้ให้น้ำในส่วนผสมกลายเป็นผลึกน้ำแข็งที่มีขนาดเล็ก ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่มีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน และสามารถอุ้มอากาศได้ดี เมื่อสิ้นสุดการปั่นผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้เรียกว่า soft ice cream เนื่องจากไอศกรีมที่ปั่นออกจากเครื่องปั่นไอศกรีมมีอุณหภูมิประมาณ -4 ถึง -5 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิละดับนี้มีปริมาณน้ำที่กลายเป็นผลึกน้ำแข็งคิดเป็นร้อยละ 47 ของปริมาณน้ำทั้งหมดในส่วนผสมเท่านั้น ดังนั้นจึงต้องนำผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ได้ไปบรรจุในภาชนะบรรจุในรูปแบบต่างๆ และนำไปแช่แข็งในลำดับต่อไป (Arbuckle, 1986; Marshall and Arbuckle, 1996; หทัยทิพย์, 2552)

#### ช) การแช่แข็ง (hardening)

คือการแช่แข็งไอศกรีมที่ผ่านขั้นตอนการปั่นแล้ว โดยไม่มีการเติมอากาศเข้าไปอีก เนื่องจากไอศกรีมที่ออกจากถังปั่นมีลักษณะกึ่งของแข็ง ไม่สามารถคงรูปร่างได้ การแช่แข็งควรทำอย่างรวดเร็วเพื่อป้องกันการเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่ ดังนั้นอัตราการแช่แข็งที่รวดเร็วจะทำให้

ได้ผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมที่มีขนาดเล็กและละเอียด ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน (ทศพร, 2552) เวลาที่ใช้ในการแช่แข็งโดยทั่วไปจะใช้เวลาที่ทำให้อุณหภูมิ ณ จุดกึ่งกลางของไอศกรีมในภาชนะบรรจุลดลงเหลือ -18 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า โดยนิยมทำที่อุณหภูมิ -25 ถึง -30 องศาเซลเซียส ในระหว่างการทำให้ไอศกรีมแข็งตัว ปริมาณน้ำในไอศกรีมจะกลายเป็นน้ำแข็งมากขึ้น โดยเพิ่มจากประมาณร้อยละ 47 ในช่วงที่ไอศกรีมออกจากเครื่องปั่น ไอศกรีมเป็นร้อยละ 75-80 ในช่วงของการทำให้ไอศกรีมแข็งตัว ซึ่งทำให้ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำเพิ่มขึ้น จุดเยือกแข็งของไอศกรีมจึงลดลงอีกจนถึงจุดหนึ่งที่ไม่ผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้นได้อีก ดังนั้นไม่ว่าอุณหภูมิจะต่ำเพียงใดก็ยังมีส่วนที่ไม่เยือกแข็ง หรือ unfrozen phase หลงเหลืออยู่ในไอศกรีม (นพพรรัตน์ และสุทธิณีย์, 2551; ทศพร, 2552) การแช่แข็งยิ่งเร็วยิ่งดีเพราะจะได้ผลึกน้ำแข็งในไอศกรีมที่มีขนาดเล็กและละเอียด ทำให้ไอศกรีมมีเนื้อสัมผัสเรียบเนียน ดังนั้นไอศกรีมที่มีคุณภาพดีต้องมีขนาดของผลึกน้ำแข็งที่เล็กละเอียด แต่ในขั้นตอนการเก็บรักษาหรือ การขนส่ง ถ้าอุณหภูมิในการเก็บรักษาไม่คงที่อาจทำให้น้ำแข็งละลายเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและแข็งตัวใหม่อีกครั้งเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า heat shock ซึ่งจะส่งผลต่อเนื้อสัมผัสของไอศกรีม (Arbuckle, 1986; Marshall and Arbuckle, 1996)

#### ฅ) การเก็บรักษา (storage)

หลังจากไอศกรีมผ่านการแช่แข็งอาจจำหน่ายทันที หรือเก็บรักษาไว้ไม่เกิน 1-2 สัปดาห์ โดยอุณหภูมิห้องเก็บรักษาอยู่ในช่วง -18 ถึง -23 องศาเซลเซียส (Arbuckle, 1986)

#### 2.7.4 คุณสมบัติของไอศกรีม

ไอศกรีม ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 222) พ.ศ. 2544 ดังต่อไปนี้

- (1) ไอศกรีมนม ต้องมีมันเนยเป็นส่วนผสมไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก และมีธาตุน้ำนมไม่รวมมันเนยไม่น้อยกว่าร้อยละ 7.5 ของน้ำหนัก
- (2) ไอศกรีมดัดแปลง ต้องมีไขมันทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก
- (3) ไอศกรีมผสม ต้องมีไขมันทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 5 ของน้ำหนัก ทั้งนี้โดยไม่นับรวมน้ำหนักของผลไม้หรือวัตถุที่เป็นอาหารอื่นผสมอยู่

(4) ไอศกรีมหวานเย็นและไอศกรีมตามข้อ 3(1)(2) หรือ (3) ต้อง

(4.1) ไม่มีกลิ่นหืน

(4.2) ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลหรือใช้ร่วมกับน้ำตาล นอกจากการใช้น้ำตาลได้ โดยให้ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ตามมาตรฐานอาหาร เอฟเอ โอ/ดับบลิว เอช โอ โคเดกซ์ (Joint FAO/WHO Codex)

(4.3) ไม่มีวัตถุกันเสีย

(4.4) มีแบคทีเรียได้ไม่เกิน 600,000 ในอาหาร 1 กรัม

(4.5) ตรวจสอบพบแบคทีเรียชนิด อี.โคไล (*Escherichia coli*) ในอาหาร 0.01 กรัม

(4.6) ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

(4.7) ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

(5) ไอศกรีมชนิดเหลวต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตาม (1)(2) หรือ (3) แล้วแต่กรณี และต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐานตาม (4) ด้วย

ไอศกรีมชนิดแข็ง หรือผง ต้องมีคุณภาพหรือมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

(5.1) ไม่มีกลิ่นหืน

(5.2) มีกลิ่นตามลักษณะเฉพาะของไอศกรีมชนิดนั้น

(5.3) มีลักษณะไม่เกาะเป็นก้อน ผิดไปจากลักษณะที่ทำขึ้น

(5.4) ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลหรือใช้ร่วมกับน้ำตาล นอกจากการใช้น้ำตาลได้ โดยให้ใช้วัตถุที่ให้ความหวานแทนน้ำตาลได้ตามมาตรฐานอาหาร เอฟเอ โอ/ดับบลิว เอช โอ โคเดกซ์ (Joint FAO/WHO Codex)

(6) ไม่มีวัตถุกันเสีย

(7) มีความชื้นไม่เกินร้อยละ 5 ของน้ำหนัก

(8) มีแบคทีเรียได้ไม่เกิน 100,000 ในอาหาร 1 กรัม

(9) ไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรค

(10) ไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

## 2.7.5 คุณลักษณะของไอศกรีมที่ดี

ไอศกรีมที่ดีควรมีคุณลักษณะดังต่อไปนี้ (Bodyfelt *et al.*, 1998)

### ก) สี (color)

ไอศกรีมที่ดีควรมีสีที่ดูแล้วน่ารับประทาน ไม่ซีด หรือเข้มจนเกินไป ควรมีสีใกล้เคียงธรรมชาติของชนิดไอศกรีมนั้นๆ โดยสีของไอศกรีมมีผลต่อการยอมรับและความรู้สึกของผู้บริโภคต่อกลิ่นและคุณภาพของไอศกรีมเป็นอย่างมาก เช่น ไอศกรีมกลิ่นรสวานิลลาควรมีสีเหลืองเล็กน้อย ไอศกรีมช็อกโกแลตควรมีสีน้ำตาล และไอศกรีมกลิ่นรสผลไม้ควรมีสีตามกลิ่นรสผลไม้ชนิดนั้น เพื่อเพิ่มความรู้สึกและการยอมรับในการรับประทาน

### ข) ภาชนะบรรจุ (package)

ภาชนะบรรจุไอศกรีมต้องสะอาด ปลอดภัยสามารถใช้กับอาหารได้ ทนต่ออุณหภูมิต่ำ ขณะเก็บรักษาได้ ไม่เกิดการปนเปื้อนของสารเคมีและเชื้อจุลินทรีย์ มีความคงทนสวยงามสามารถดึงดูดความสนใจ และสร้างความประทับใจให้กับผู้บริโภคได้

### ค) คุณสมบัติการละลาย (melting characteristic)

ไอศกรีมที่มีคุณภาพที่ดีควรมีคุณสมบัติด้านทานการละลายได้เล็กน้อยเมื่อวางในงานแก้ว (petri dishes) ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 20 องศาเซลเซียส นาน 10-15 นาที ลักษณะการละลายที่ดี ไอศกรีมควรละลายและไหลออกจากจุดศูนย์กลางของก้อนไอศกรีม วัสดุที่เหมาะสมและอนุญาตให้ใช้ในการรองไอศกรีมเพื่อศึกษาคุณสมบัติการละลาย คืองานแก้ว ก้นภาชนะต้องแบน เพื่อให้ทิศทางการละลายของไอศกรีมเป็นอิสระ ปริมาตรและน้ำหนักต้องเท่ากันทุกครั้งเมื่อการศึกษาคุณสมบัติการละลายของไอศกรีมเริ่มต้นห้ามมีการรบกวนตัวอย่างเด็ดขาด

### ง) เนื้อ และเนื้อสัมผัส (body and texture)

มีลักษณะที่ละเอียด ความเรียบเนียน (smooth) มีลักษณะที่นุ่ม ความรู้สึกสม่ำเสมอของเนื้อไอศกรีม มีขนาดเกล็ดน้ำแข็งขนาดเล็กไม่เกิดผลึกน้ำแข็งที่เป็นเกล็ด และง่ายต่อการตัดรับประทาน เนื่องจากไม่มีเนื้อสัมผัสที่แน่นหรือหนักจนเกินไป

### จ) กลิ่นรส (flavor)

ไอศกรีมที่ดีต้องไม่มีกลิ่นรสดังต่อไปนี้

- กลิ่นสุก (cooked flavor) ซึ่งกลิ่นสุกมีสาเหตุมาจากผลิตภัณฑ์ผ่านอุณหภูมิที่สูงเกินไป เนื่องจากการใช้ความร้อนผลิตภัณฑ์
- กลิ่นรสไม่เป็นธรรมชาติ (unnatural flavor) มีสาเหตุจากการใช้กลิ่นรสซึ่งแตกต่างจากปกติ
- กลิ่นความเป็นกรดสูง (high acid) สาเหตุจากการใช้ผลิตภัณฑ์นมที่มีความเป็นกรดสูง หรือเก็บไว้ที่อุณหภูมิสูงเป็นเวลานานก่อนที่จะนำไปปั่นเป็นไอศกรีม
- ขาดกลิ่นรสที่ดี สาเหตุมาจากการใส่วานิลามากเกินไป
- กลิ่นอับ สาเหตุมาจากการเก็บไอศกรีมในห้องแช่แข็งนานเกินไป ทำให้มีกลิ่นอับ
- กลิ่นโลหะ สาเหตุจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน หรือมีการปนเปื้อนสารคอปเปอร์หรือเหล็ก หรือการใส่วานิลาที่มีคุณภาพต่ำ

### ฉ) จุลินทรีย์ (microbiological)

ไอศกรีมมีจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อผู้บริโภคเล็กน้อย เนื่องจากส่วนประกอบที่ใช้ถูกจำกัด กระบวนการผลิต การทำให้แข็งตัว และเย็นจัดทำให้เซลล์ของจุลินทรีย์แตก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงเป็นผลึกน้ำแข็งของส่วนผสม การเก็บไอศกรีมในห้องเย็นจะทำให้จำนวนจุลินทรีย์ลดลง แต่ถ้าเก็บไว้นานก็จะมีแบคทีเรียบางพวกสามารถเจริญได้ และจะมีมากขึ้นเมื่อไอศกรีมละลายหรือถูกทำให้แข็งอีกครั้งหนึ่ง ในการวิเคราะห์ปัญหาด้านสุขลักษณะที่เกี่ยวข้องกับไอศกรีมนั้น จำเป็นต้องรู้และเข้าใจทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิต จึงจะสามารถวิเคราะห์และระบุจุดวิกฤตที่ต้องควบคุมของกระบวนการผลิตได้ (บุญช่วย, 2547) ตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 222) พ.ศ.2544 เรื่อง ไอศกรีม กำหนดให้มีแบคทีเรียได้ไม่เกิน 600,000 ในอาหาร 1 กรัม ตรวจไม่พบแบคทีเรียชนิดอี.โคไล (*Escherichia coli*) ในอาหาร 0.01 กรัม และไม่มีจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคไม่มีสารเป็นพิษจากจุลินทรีย์ในปริมาณที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

### 2.7.6 ข้อบกพร่องของไอศกรีม

ข้อบกพร่องด้านกลิ่นรสของไอศกรีมมีหลายประการ พอสรุปได้ดังนี้ (สุพัฒน์, 2546)

#### ก) ข้อบกพร่องทางด้านกลิ่นรส (flavor defects)

1. การใช้ผลิตภัณฑ์นมที่มีคุณภาพต่ำ ซึ่งมีกลิ่นรสผิดปกติ เช่น กลิ่นหืน กลิ่นบูด กลิ่นรสเปรี้ยว หรืออาจเกิดจากการใช้ถังผสมที่ล้างไม่สะอาด ซึ่งทำให้มีกลิ่นคืดมา
2. การใช้สารให้ความหวานในไอศกรีมมากหรือน้อยเกินไป ทำให้รสชาติไม่ดีหรือใช้ชนิดที่มีกลิ่นแตกต่างจากปกติ ไม่ตรงกับลักษณะไอศกรีมที่ผลิต ทำให้เกิดกลิ่นรสไม่เป็นธรรมชาติ
3. กลิ่นต้ม (cooked flavor) ซึ่งกลิ่นต้มมีสาเหตุมาจากผลิตภัณฑ์ผ่านอุณหภูมิที่สูงเกินไป เนื่องจากการใช้ความร้อนของผลิตภัณฑ์
4. กลิ่นไข่ (egg flavor) มีสาเหตุมาจากการใส่ไข่ในส่วนผสมมากเกินไป
5. กลิ่นอับ สาเหตุจากการเก็บไอศกรีมนานเกินไป

#### ข) ข้อบกพร่องทางด้านเนื้อไอศกรีม (body defects)

1. Crumbly เป็นลักษณะไอศกรีมที่ไม่จับหรือรวมตัวเป็นก้อน ร่วนไม่แข็ง อาจมีสาเหตุมาจากการที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำเกินไป การใช้สารให้ความคงตัวน้อยเกินไป การขึ้นฟูมากเกินไป เซลล์อากาศมีขนาดใหญ่เกินไป หรือความสมบูรณ์ของการโฮโมจีไนซ์
2. Soggy ไอศกรีมที่มีลักษณะเปียกและ เนื่องจากการขึ้นฟูน้อยเกินไป หรือมีปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณน้ำตาล หรือการใช้สารให้ความคงตัวมากเกินไป
3. Weak เป็นไอศกรีมที่มีลักษณะขาดความแน่นเนื้อ (firmness) เนื่องจากปริมาณส่วนที่เป็นของแข็งในไอศกรีมน้อยเกินไป
4. Heavy เป็นไอศกรีมที่มีลักษณะเนื้อแน่นหนัก
5. Shrinkage เป็น ไอศกรีมที่เกิดการหดตัวหรือยุบตัว เมื่อเซลล์อากาศแตกจะทำให้ไอศกรีมหดตัว ซึ่งอาจเกิดจากสาเหตุดังนี้ มีการขึ้นฟูมากเกินไป ปริมาณของแข็งทั้งหมดต่ำเกินไป หรือเกิดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในห้องเก็บรักษา

### ค) ข้อบกพร่องทางด้านเนื้อสัมผัส (texture defect)

1. Coarseness หรือ Icyness เป็นไอศกรีมที่มีผลึกน้ำแข็งขนาดใหญ่หรือขนาดไม่เท่ากัน หรือมีเซลล์อากาศขนาดใหญ่ เนื่องจากมีการใช้สารให้ความคงตัวน้อยเกินไป รวมทั้งมีน้ำแข็งละลายก่อนที่จะนำไปห้องแช่แข็ง (hardening room)
2. Fluffy เป็นไอศกรีมที่มีลักษณะโครงสร้างที่เบา เนื่องจากมีอากาศในเนื้อไอศกรีมมาก
3. Sandiness เป็นไอศกรีมที่มีเนื้อหยาบคล้ายเม็ดทราย เวลารับประทานจะรู้สึกสากลิ้น เนื่องจากการตกผลึกของน้ำตาลแลคโตส มีปริมาณของแข็งไม่รวมไขมันมากเกินไป หรืออุณหภูมิในห้องเก็บแช่แข็งไม่คงที่สม่ำเสมอ (heat shock)
4. ไอศกรีมมีความเหนียวหนืดผิดปกติ (gummy, sticky) เนื่องจากการใช้สารให้ความหวานมากเกินไป

### ง) ข้อบกพร่องด้านการละลาย (melting defect)

เกิดจากการที่ไอศกรีมละลายช้าหรือเร็วเกินไป เป็นโฟมหรือมีฟองอากาศขนาดใหญ่ (foamy) เป็นก้อนลิ่ม (curdy) หรือเป็นน้ำ (watery) ลักษณะการละลายที่ดีของไอศกรีมควรละลายและไหลออกจากศูนย์กลางของก้อนไอศกรีม ของเหลวของไอศกรีมที่ละลายแล้วควรยังมีความเหนียว และยังคงความเป็นเนื้อเดียวกันอยู่

### จ) ข้อบกพร่องทางด้านสี (color defect)

เกิดจากการผสมสีไม่เข้ากันดี หรือไม่ได้มาตรฐาน ทำให้สีจางหรือเข้มเกินไป ซึ่งทำให้ขาดความสม่ำเสมอของสีในผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ไอศกรีมที่ดีควรมีสีเดียวกันสม่ำเสมอ และมีสีใกล้เคียงกับธรรมชาติของไอศกรีมชนิดนั้น ๆ

### ฉ) ข้อบกพร่องทางด้านจุลินทรีย์

เกิดจากการปนเปื้อนเชื้อจุลินทรีย์ที่ปะปนมากับส่วนผสม และภาชนะบรรจุ ไอศกรีม กระบวนการให้ความร้อนแก่ส่วนไอศกรีมไม่ถูกต้อง การควบคุมสุขลักษณะ และความสะอาดของอุปกรณ์ที่ใช้ไม่ดี (Arbuckle, 1986)