

วารสารปริทัศน์

มะพร้าว

มะพร้าว (*Cocos nucifera* L.) เป็นพืชยืนต้น ใบเลี้ยงเดี่ยว ตระกูล *Palmaceae* เจริญเติบโตได้ดีในเขตแถบร้อนชายฝั่งทะเล จากสถิติของ FAO รายงานว่าเอเชียเป็นแหล่งผลิตมะพร้าวที่ใหญ่ที่สุดในโลก (Maneepun และคณะ, 1988) สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน ไม่ว่าจะเป็น ก้าน ใบ ลำต้น และผล สำหรับการนำประโยชน์นั้นแบ่งเป็นอาหารนั้นจะใช้ในรูปของเนื้อมะพร้าวสดและกะทิ ซึ่งใช้กันมากในระดับครัวเรือนและอุตสาหกรรม กะทิเป็นส่วนประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งในการแปรรูปอาหารของคนไทยและคนในแถบเอเชียอีกหลายประเทศ ทั้งอาหารคาวและอาหารหวาน UNIDO (1980) ได้รายงานว่าการแปรรูปกะทิในประเทศไทยซึ่งมีกรรมวิธีการผลิต และมีสมบัติทางกายภาพและเคมีแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ รัชณี จิตตวานิช (2532) รายงานว่าการแปรรูปผลผลิตมะพร้าวเพื่อการบริโภคในประเทศไทยทางอุตสาหกรรมมีหลายประเภทได้แก่ การผลิตเนื้อมะพร้าวแห้ง น้ำมันมะพร้าว กะทิ กะทิเข้มข้น เนื้อมะพร้าวชุดแห้งและอื่นๆ ผลิตภัณฑ์จากมะพร้าวส่วนใหญ่ได้จากเนื้อมะพร้าวซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 29-30 ต่อน้ำหนักของผลมะพร้าว และจากเนื้อมะพร้าวซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 21-26 ต่อน้ำหนักของผลมะพร้าว (กรมวิชาการเกษตร, 2525)

กะทิ

1. ลักษณะทั่วไปของกะทิ

กะทิเป็นของเหลวที่ได้จากการคั้นเนื้อมะพร้าวชุค อาจเติมน้ำหรือไม่เติมน้ำก็ได้ มีลักษณะ เป็นอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ ซึ่งหมายถึงลักษณะของน้ำมันจะกระจายอยู่ในสารละลายน้ำ และถูกล้อมรอบหรือห่อหุ้มด้วยโปรตีน สภาพดังกล่าวเกิดจากระบบที่มีแรงดึงระหว่างผิว (interfacial tension) ระหว่างโมเลกุลของน้ำและไขมันที่ต่ำลงเพราะมีโปรตีนเป็นตัว

ลดแรงตึงระหว่างผิว (Clemente และ Villacorate, 1933) กะทิที่มีอิมัลซิฟายเออร์โดยธรรมชาติอยู่แล้ว Luis (1969) ได้รายงานไว้ว่ามี ฟอสโฟไลปิด (phospholipid) ได้แก่ เลซิธิน (lecithin) และเซฟาลิน (cephalin) อยู่ในกะทิ เลซิธินเป็นอิมัลซิฟายเออร์ชนิดหนึ่ง สามารถทำให้อิมัลชันมีความคงตัวเพิ่มขึ้นได้ขณะที่ลดขนาดของเม็ดไขมันลง สารเหล่านี้สามารถทำให้ไขมันในกะทิมีสมบัติ เบี่ยงน้ำ กระจายตัว ไหลได้ และละลายได้ แต่ถึงแม้ว่าจะมีเลซิธินในกะทิก็กก็ยังไม่สามารถทำให้กะทิดังตัวอยู่ได้ เนื่องจากกะทิมีปริมาณของไขมันอยู่มากเมื่อเทียบกับปริมาณโปรตีน (Monera, 1979) ความเข้มข้นของโปรตีนที่พื้นผิวระหว่างเม็ดไขมันกับน้ำมีไม่มากพอที่จะป้องกันการรวมตัว (coalescence) ของเม็ดไขมันได้ ซึ่งการรวมตัวของเม็ดไขมันจะก่อให้เกิดชั้นของครีม ทำให้สามารถแบ่งกะทิออกเป็น 2 ชั้น ชั้นล่างเป็นชั้นของหางกะทิ (coconut skim milk) และชั้นบนเป็นหัวกะทิ (coconut cream) โดยจะเริ่มเกิดการแยกชั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ 5-10 ชั่วโมง จนกระทั่งแยกชั้นสมบูรณ์ในเวลา 24 ชั่วโมง (Escueta, 1980) Birosel, Gonzalez และ Santos (1963) รายงานว่าเมื่อลดอุณหภูมิของกะทิลงถึง 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จะสามารถปั่นแยกเอาหัวกะทิออกมาได้ และถ้าล้างหัวกะทิด้วยสารละลายเกลือ น้ำประปา และน้ำกลั่นเพื่อกำจัดโปรตีน น้ำตาล เกลือแร่ ที่ละลายอยู่ออกไป ระบบอิมัลชันจะเปลี่ยนจากชนิดน้ำมันในน้ำ เป็นน้ำในน้ำมัน

## 2. องค์ประกอบและคุณสมบัติของกะทิ

Banzon และคณะ (1990) รายงานว่าองค์ประกอบของกะทิขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่ใช้ในการคั้นกะทิ เมื่อคั้นกะทิโดยไม่มีการเติมน้ำ จะทำให้กะทิที่มีปริมาณไขมันสูง องค์ประกอบทางเคมีเป็นร้อยละของกะทิเมื่อคั้นโดยไม่เติมน้ำมีดังนี้คือ น้ำร้อยละ 41.86 ไขมันร้อยละ 44.60 โปรตีนร้อยละ 4.13 น้ำตาลร้อยละ 5.40 และเกลือแร่อ้อยละ 1.03 (อมร ภูมิรัตน์, 2511) กะทิที่คั้นใหม่จะมีค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 6 ซึ่งถือว่าเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (low acid food) Buccat, Gonzalez และ Manalac (1973) ได้รายงานว่าค่าความเป็นกรดต่างของกะทิตั้งอยู่ระหว่าง 5.80-6.39 โดยวัดในช่วงอุณหภูมิ 10-80 องศาเซลเซียส และนอกจากนี้ยังได้รายงานถึงองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของกะทิ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของกะทิ  
(Buccat และคณะ, 1973)

<u>Properties</u>	<u>Range</u>
<b>Chemical</b>	
Moisture(%)	73.47-76.84
Oil(%)	18.83-21.09
Protein(%)	2.14-2.97
Ash(%)	0.63-0.96
Total sugar(%)	0.82-1.62
<b>Physical</b>	
Specific gravity	1.00029-1.0080
Surface tension(dynes/cm <sup>2</sup> )	97.76-125.43
Viscosity index (poise)	
ที่ 10- 60°C	0.0161-0.0202
Refractive index	1.3414-1.3446
pH	5.95-6.30

\*เนื้อมะพร้าว:น้ำ = 1:1.5

นอกจากนี้ Buccat และคณะ(1973) ยังได้ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิ (10-80 องศาเซลเซียส) ต่อคุณสมบัติทางกายภาพของกะทิ พบว่าความหนาแน่นและค่าความเป็นกรดต่างของกะทิแปรผกผันกับอุณหภูมิ ส่วนค่าแรงตึงผิว (surface tension) และความหนืดจะสูงขึ้นตามอุณหภูมิจนถึง 60 องศาเซลเซียส เป็นผลเนื่องมาจากโมเลกุลโปรตีนเกิดเสียสภาพ (denaturation) เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แล้วเกิดการรวมตัวกันที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

หลังจากนั้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นค่าแรงดึงผิวและความหนืดจะลดลง และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสโปรตีนจะมีการรวมตัวกันมากที่สุด (Hagenmaier, 1980) โปรตีนของกะทิทั้งหมดเช่น อัลบูมิน (albumin), โกลบูลิน (globulin), โปรลามิน (prolamin) และกลูเตลิน (glutelin) จะรวมตัวกันเป็นก้อน (coagulation) โดยความร้อนอย่างง่ายดาย และตกตะกอนที่ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 4 (Antonio และ Samson, 1971)

### 3. โภชนาการของกะทิ

เมื่อทำการเหวี่ยงแยกกะทิ กะทิจะแยกออกเป็น 2 ชั้น ชั้นบนเป็นหัวกะทิซึ่งเป็นแหล่งของไขมัน ส่วนชั้นล่างคือหางกะทิซึ่งเป็นแหล่งของโปรตีน (Hagenmaier, Mattil และ Cater, 1974) และเมื่อทำการศึกษาคระตอะมิโนในหางกะทิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย (spray dried coconut skim milk) ได้ผลดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าโปรตีนจากกะทิมีกรดอะมิโนที่จำเป็นอยู่ในปริมาณสูง

ตารางที่ 2 กรดอะมิโนในหางกะทิผงที่ผ่านการทำแห้งแบบฉีดพ่นฝอย  
(Hagenmaier และคณะ, 1974)

Amino acid	g/16g N <sup>a</sup>	Ratio to egg values (%) <sup>b</sup>	Ratio to FAO pattern (%) <sup>b</sup>
<u>Essential</u>			
Isoleucine	2.6	39	60
Leucine	5.4	61	110
Lysine	4.6	71	106
(Total aromatic)	(6.1)	(61)	(106)

Amino acid	g/16g N <sup>a</sup>	Ratio to egg values(%) <sup>b</sup>	Ratio to FAO pattern(%) <sup>b</sup>
Phenylalanine	3.8	65	132
Tyrosine	2.3	55	80
(Total sulfur containing)	3.0	54	70
Cysteine	1.7	71	84
Methionine	1.3	41	56
Threonine	2.4	47	83
Tryptophan	0.9	56	62
Valine	4.0	55	93
<u>Nonessential</u>			
Histidine	2.2		
Arginine	15.5		
Aspartic acid	7.1		
Glutamic acid	22.0		
Serine	3.7		
Proline	3.5		
Alanine	4.1		
Glycine	3.8		
<b>TOTAL</b>	<b>90.9</b>		

a = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.1g/16gN

b = ปริมาณกรดอะมิโนแต่ละชนิดหารด้วยปริมาณกรดอะมิโนของไข่ หรือตามแบบแผนของ FAO ปี ค.ศ. 1957 ซึ่งรายงานไว้ในข้อกำหนดของโปรตีนใน FAO/WHO ปี ค.ศ. 1965

ส่วนหัวกะทิที่มีปริมาณไขมันและแคลอรีสูง ไขมันหรือน้ำมันมะพร้าวมีไตรกลีเซอไรด์โซ่ยาวปานกลางและอิ่มตัว (medium chain saturated triglyceride, MCT) อยู่ในปริมาณที่สูง (Kaunitz, 1979) น้ำมันมะพร้าวจึงอาจกลายเป็นของแข็งได้ที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากมีจุดหลอมเหลว 24-27 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในการแข็งตัวของน้ำมันมะพร้าวประมาณ 5 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่า ซึ่งจุดหลอมเหลวของน้ำมันมะพร้าวนอกจากจะขึ้นอยู่กับความอิ่มตัวของกรดไขมันแล้ว ยังเกี่ยวข้องกับไตรกลีเซอไรด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำด้วย (Swern, 1964) กรดไขมันของน้ำมันมะพร้าวแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 กรดไขมันในน้ำมันมะพร้าว (Patterson, 1989)

Fatty acid	Type	%
Caproic	C <sub>6:0</sub>	1
Caprylic	C <sub>8:0</sub>	8
Capric	C <sub>10:0</sub>	6
Lauric	C <sub>12:0</sub>	47
Myristic	C <sub>14:0</sub>	18
Palmitic	C <sub>16:0</sub>	9
Stearic	C <sub>18:0</sub>	2.5
Oleic	C <sub>18:1</sub>	7.0
Linoleic	C <sub>18:2</sub>	2.5

MCT ประกอบไปด้วยกรดไขมันอิ่มตัวที่มีคาร์บอนอะตอมอยู่ระหว่าง 6-12 อะตอม โดยมี C<sub>8</sub> และ C<sub>10</sub> เป็นองค์ประกอบถึง 98-99 เปอร์เซ็นต์ ข้อดีของ MCT คือ คงทนต่อ

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ละลายน้ำได้ดีและเป็นแหล่งพลังงานที่รวดเร็วเท่ากับกลูโคส แต่ให้พลังงานมากกว่า 2 เท่า Kaunitz (1979) ได้กล่าวถึงข้อดีของ MCT ว่า สามารถถูกย่อยโดยเอนไซม์ในกระเพาะและลำไส้ได้รวดเร็วและสมบูรณ์กว่าไตรกลีเซอไรด์โซ่ยาว (long chain triglyceride, LCT) การย่อยสลาย LCT จำเป็นต้องใช้เอนไซม์ไลเปส (lipase) จากตับอ่อน แต่การย่อย MCT ไม่จำเป็นต้องใช้เอนไซม์ตัวนี้ กรดไขมันและโมโนกลีเซอไรด์ของ MCT ละลายน้ำได้มากกว่า LCT การดูดซึมจึงไม่ต้องอาศัยน้ำดี (bile salt) เบตาโมโนกลีเซอไรด์ (beta-monoglyceride) ของ MCT สามารถไอโซเมอไรซ์ (isomerize) กลายเป็นแอลฟาโมโนกลีเซอไรด์ (alpha-monoglyceride) ได้อย่างง่ายดายและถูกย่อยสลายต่อได้ได้ง่าย โมเลกุลของ MCT มีขนาดเล็กจึงสามารถผ่านเข้าภายในผนังลำไส้ (intestinal mucosa) ได้โดยไม่ต้องผ่านการย่อยก่อน ภายในผนังลำไส้ MCT สามารถถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์มิวโคซอลไลเปส (mucosal lipase) ได้เป็นกรดไขมันโซ่ยาวปานกลาง ซึ่งจะไปอยู่กับอัลบูมินกลายเป็นส่วนประกอบของ portal blood ซึ่งกระบวนการของ LCT เมื่อดูดซึมไตรกลีเซอไรด์เข้าไป จะถูกสังเคราะห์ใหม่ให้เป็นกรดไขมันและเบตาโมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งจะจับกับไครโลไมครอน (chylomicrons) และถูกส่งไปต่อมน้ำเหลือง (lymphatics) ซึ่งซับซ้อนกว่า MCT แต่อย่างไรก็ตาม MCT ประกอบด้วยกรดไขมันที่อิ่มตัวสูง ซึ่งสามารถเพิ่มระดับโคเลสเตอรอลในเลือด และก่อให้เกิดโรคความดันโลหิตสูง เส้นเลือดอุดตัน และโรคหัวใจได้

#### 4. การเตรียมกะทิและปัจจัยที่มีผลต่อองค์ประกอบของกะทิ

- 4.1 การคัดเลือกมะพร้าว
- 4.2 การกระเทาะกะลา แยกเนื้อ และกำจัดผิวสีน้ำตาล
- 4.3 การล้างหรือแช่เนื้อมะพร้าว
- 4.4 การลดขนาดเนื้อมะพร้าว
- 4.5 การบีบหรือคั้นกะทิ
- 4.6 ปริมาณน้ำที่ใส่ อุณหภูมิในการคั้น และระยะเวลาในการผสม
- 4.7 การสกัดซ้ำด้วยน้ำ

จะขอกล่าวถึงเฉพาะปัจจัย การบีบหรือคั้นกะทิ, ปริมาณน้ำที่ใส่ อุณหภูมิในการคั้น และระยะเวลาในการผสม และการสกัดซ้ำด้วยน้ำ ซึ่งเป็นตัวแปรในงานวิจัยนี้

Cancel, Rosairo-Hernandez และ Hernandez (1974) รายงานว่าการใช้แรงขนาด 100 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว บีบเนื้อมะพร้าว จะได้ปริมาณกะทิมากที่สุด และมีประสิทธิภาพถึงร้อยละ 90-95 การใช้แรงน้อยจะได้กะทิตนปริมาณน้อย และมีปริมาณไขมันและโปรตีนต่ำ แต่ถ้าใช้แรงมากเกินไป กะทิที่ได้จะมีชิ้นส่วนเล็กๆของเนื้อมะพร้าวซึ่งถูกแรงกดดันผ่านตะแกรงติดตามด้วย การคั้นกะทิด้วยมือนั้นกระทำกันมากในระดับครัวเรือน ซึ่งไม่เหมาะกับการคั้นกะทิปริมาณมาก เพราะองค์ประกอบของกะทิที่ได้ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากความไม่สม่ำเสมอของแรงที่ใช้ ดังนั้นในการผลิตกะทิตนระดับอุตสาหกรรมซึ่งต้องคั้นกะทิเพื่อให้ได้ปริมาณมาก และคุณภาพที่สม่ำเสมอ ควรใช้เครื่องบีบมากกว่าการคั้นกะทิด้วยมือ

Chu และคณะ (1969) แนะนำว่าควรใช้ระบบการบีบด้วยลูกกลิ้งก่อน แล้วตามด้วยเครื่อง screw press เพื่อให้ได้ปริมาณกะทิมากที่สุด นอกจากนี้ยังรายงานว่าปริมาณไขมันของกะทิที่สกัดได้จะขึ้นกับประสิทธิภาพของเครื่องบีบด้วย

Hagenmaier (1977a) รายงานว่าเมื่อผสมเนื้อมะพร้าวกับน้ำร้อนโดยใช้น้ำร้อนอุณหภูมิ 40, 50, 60, 70 และ 80 องศาเซลเซียส โดยแต่ละอุณหภูมิจะใช้เวลาผสม 4 ระดับคือ 5, 10, 30 และ 50 นาที พบว่าความเข้มข้นของกะทิที่ใช้น้ำอุณหภูมิเดียวกันจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการผสมนานขึ้น และเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิของน้ำที่สกัดโดยใช้เวลาผสมเท่ากัน แต่ความเข้มข้นของกะทิจะลดลงเมื่ออุณหภูมิของน้ำที่สกัดเป็น 80 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อาจเนื่องจากโปรตีนตกตะกอน การสกัดจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อผสมมะพร้าวชูดกับน้ำที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส ก่อนคั้นเป็นเวลา 15-20 นาที และความร้อน 65 องศาเซลเซียส นาน 4 นาที ยังสามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ในกะทิได้ถึงร้อยละ 90

Cancel, Rivera-Ortiz และ Santos-sanchez (1971) ได้ทดลองสกัดกะทิโดยใช้น้ำเย็นอุณหภูมิ 26.7-30 องศาเซลเซียส และน้ำร้อนอุณหภูมิ 87.8-93.3 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณกะทิที่สกัดได้เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของเนื้อมะพร้าวต่อน้ำที่เพิ่มขึ้น โดยการสกัดที่อัตราส่วน 1:1 ได้ปริมาณกะทิตนมากกว่าการสกัดโดยไม่เติมน้ำ 10 เปอร์เซ็นต์ ไม่ว่าจะใช้น้ำร้อนหรือน้ำเย็นก็ตาม และการใช้น้ำร้อนก็ไม่ได้ช่วยทำให้กะทิตนปริมาณไขมันและของแข็งเพิ่มขึ้น

ประสงค์ พุงแก (2531) ทดลองสกัดกะทิด้วยน้ำอุณหภูมิ 30, 55 และ 80 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนของเนื้อมะพร้าวชูดต่อน้ำเท่ากับ 1:1 กะทิที่สกัดได้มีปริมาณโปรตีนร้อยละ 1.86, 1.90 และ 1.88 และปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 14.48, 14.03 และ



14.43 ตามลำดับ ปริมาณปรอทในกะทิสกัดได้ด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 30, 55 และ 80 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ส่วนปริมาณไขมันในกะทิสกัดด้วยน้ำอุณหภูมิ 30 และ 80 องศาเซลเซียส ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และน้อยกว่ากะทิสกัดด้วยอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส แสดงว่าอุณหภูมิของน้ำที่ใช้ไม่มีผลต่อการสกัดปรอท แต่มีผลต่อการสกัดไขมัน ปรอทที่สกัดได้เป็นปรอทบางส่วน และยังมีปรอทอีกส่วนที่ตกค้างอยู่ในเนื้อมะพร้าวปรอทในเนื้อมะพร้าวจะเกิดการเสียดสภาพที่อุณหภูมิ 78-83 องศาเซลเซียส (Samson, 1971) ดังนั้นการสกัดด้วยน้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส อาจทำให้ปรอทในเนื้อมะพร้าวเสียดสภาพได้แต่เวลาที่ใช้ในการสกัดสั้น และอุณหภูมิในช่วงสกัดลดลง ปรอทในส่วนของถูกชะล้างออกมาเกิดการเสียดสภาพน้อย จึงไม่มีผลต่อการสกัดปรอท เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นไขมันจะมีความหนืดลดลง มีการแพร่กระจายในน้ำดี การสกัดด้วยน้ำอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จึงสกัดไขมันได้มากกว่าน้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แต่น้ำอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส สกัดไขมันได้น้อยกว่าน้ำอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นผลของปรอทในส่วนของตกค้างในเนื้อมะพร้าวเกิดการเสียดสภาพไปกีดขวางการแพร่กระจายของไขมัน

ศิริวรรณ เนติวรานนท์ (2528) รายงานว่าการสกัดกะทิจากเนื้อมะพร้าวชูดด้วยน้ำสองครั้งแบบสวนทาง (counter current) เป็นการสกัดซ้ำโดยใช้กะทิจากที่มีความเข้มข้นต่ำเป็นสารสกัด จึงทำให้ความเข้มข้นของกะทิจากที่สูงขึ้น โดยพบว่าเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อเนื้อมะพร้าวเท่ากับ 1:1 เมื่อสกัดแบบสองครั้งจะได้กะทิจากที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 17.40 ปรอทร้อยละ 1.51 ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 22.91 แต่การสกัดแบบครั้งเดียวโดยอัตราส่วนน้ำต่อเนื้อมะพร้าวเท่าเดิม ได้กะทิจากที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 15.20 ปรอทร้อยละ 1.05 ปริมาณของแข็งทั้งหมดร้อยละ 19.78 Chu และคณะ (1969) รายงานว่ากะทิจากที่ได้จากการคั้นสองครั้ง โดยครั้งแรกเติมน้ำ 1/2 เท่าของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และครั้งที่ 2 เติมน้ำอีก 1/2 เท่าของน้ำหนักกากเป็นกะทิจากที่เหมาะสมสำหรับการทำงานผลิตภัณฑ์กะทิจบรจุกระป๋อง เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในด้านรสชาติ และลักษณะปรากฏ

แสงเงิน ไกรสิงห์ (2534) รายงานว่าการสกัดกะทิจากด้วยการใช้เนื้อมะพร้าวชูด 850 กรัม กับน้ำ 210 กรัม คั้นด้วยเครื่องไฮดรอลิก 3 กรรมวิธี โดยกรรมวิธีที่ 1 ทากการคั้น 2 ครั้ง ครั้งแรกไม่เติมน้ำ ครั้งที่สองเติมน้ำ กรรมวิธีที่ 2 คั้นสองครั้ง เติมน้ำทั้งสองครั้ง และกรรมวิธีที่ 3 คั้นหนึ่งครั้งโดยเติมน้ำ พบว่าสกัดได้กะทิจากปริมาณ 785.57, 812.31 และ

813.33 กรัม ตามลำดับซึ่งแสดงให้เห็นว่า ปริมาณไขมันและปริมาณโปรตีนในกะทิจากกรรมวิธีการคั้นดังกล่าว ให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ในงานวิจัยนี้ใช้การคั้นกะทิโดยใช้เครื่อง hydraulic press ที่ผลิตในประเทศ ปริมาณน้ำที่ใช้โดยใช้น้ำในอัตราส่วนเนื้อมะพร้าวชูดต่อน้ำเท่ากับ 1:1 น้ำที่ใช้อุณหภูมิ  $50 \pm 10$  องศาเซลเซียส สกัดซ้ำสองครั้ง โดยครั้งแรกเติมน้ำ 1/2 เท่าของน้ำหนักเนื้อมะพร้าว และครั้งที่ 2 เติมน้ำอีกครั้งที่เหลือ

#### 5. การแยกน้ำมันมะพร้าวจากกะทิ

Menon และ Wason (1985) รายงานว่าปัจจัยที่มีผลต่อการแตกตัวของอิมัลชัน ได้แก่ อุณหภูมิ อนุภาคของของแข็ง ความหนืดของส่วนต่อเนื่อง (continuous phase) และอิเล็กโทรไลต์ (electrolyte) ส่วนเทคนิคการทำให้อิมัลชันแตกตัวมีทั้งวิธีทางเคมี และกายภาพ ในอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้วิธีทางกายภาพเพื่อทำให้อิมัลชันแตกตัว ตัวอย่างเช่น เทคนิคอูลตราฟิลเตรชัน (ultrafiltration) การแยกโดยใช้แรงเหวี่ยง และการลดอุณหภูมิ

del Rosario (1988) ได้ทดลองนำเอาอูลตราฟิลเตรชันมาใช้ในการแยกครีมจากกะทิโดยใช้เยื่อ (membrane) ที่มิมเลกุลขนาดใหญ่ไม่สามารถผ่านเข้าออกได้ ผลลัพธ์ที่ได้คือ โปรตีนจากมะพร้าวซึ่งอยู่ในส่วนของ permeate ส่วนครีมอยู่ในส่วนของ retentate ซึ่งมีน้ำมันมะพร้าวอยู่ในปริมาณสูง ประศาสตร์ พุทธะกุล และ นภาพศรี ไวศยะนันท์ (2523-24) รายงานว่าที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส กะทิจะแยกชั้นครีมได้เร็ว ใช้เวลาในการแยกชั้นครีมเพียง 5 นาที

Das และ Kinsella (1990) รายงานว่ากระบวนการที่ทำให้อิมัลชันเสียการคงตัวเป็นผลทำให้อิมัลชันเกิดการแตกตัวแยกเป็นสองชั้น ได้แก่ การเกิดครีม เป็นผลจากความหนาแน่นของน้ำมันซึ่งต่างจากน้ำ จึงมีแนวโน้มที่น้ำมันจะลอยตัวขึ้นสู่ด้านบนของอิมัลชัน การเกิด flocculation เป็นผลจากมีแรงดึงดูดระหว่างอนุภาค ทำให้ส่วนกระจายตัว (dispersed phase) เกาะกลุ่มกันใหญ่ขึ้น การเกิดการรวมตัว (coalescence) เป็นผลจากส่วนกระจายตัวชนกันและรวมตัวกันเป็นขนาดใหญ่ขึ้น และการเกิด Oswald ripening เป็นผลจากส่วนกระจายตัวที่มีขนาดเล็กและใหญ่มาชนกัน ทำให้ส่วนกระจายตัวขนาดใหญ่มีขนาดใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ ส่วนส่วนกระจายตัวขนาดเล็กจะเล็กลงเรื่อยๆจนกระทั่งหายไป

Banzon และคณะ (1990) รายงานว่ายังไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับอิมัลชันของกะทิมาก

นัก แต่อาจกล่าวได้ว่าอิมัลชันของกะทิล้ายคลึงกับน้ำมัน คือ มีแนวโน้มที่จะเกิดการรวมตัวกันของไขมันเกิดเป็นชั้นครีม สาเหตุที่กะทิมีความคงตัวต่ำ เนื่องจากในกะทิมีอัตราส่วนในการรวมตัวของไขมันและโปรตีนเป็น 1:10 จากเนื้อมะพร้าวสดซึ่งมีปริมาณไขมันร้อยละ 37 โดยน้ำหนัก และโปรตีนร้อยละ 4 ทำให้ปริมาณของโปรตีนที่มีอยู่ไม่เพียงพอในการห่อหุ้มผิวของเม็ดไขมันได้หมด เม็ดไขมันจึงมีแนวโน้มที่จะจับตัวกันและแยกชั้นออกมา อย่างไรก็ตามการแยกชั้นนี้ไม่ใช่การแตกตัวของอิมัลชันอย่างสมบูรณ์ สามารถเขย่าให้กลับเป็นเนื้อเดียวกันได้อีก

การแยกน้ำมันมะพร้าวออกจากกะทิเป็นการทำให้อิมัลชันแตกตัวอย่างสมบูรณ์ น้ำมันมะพร้าวที่แยกออกมาได้ สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอื่นๆได้อีก การเหวี่ยงแยกเพื่อทำให้กะทิแตกตัวและแยกเอาส่วนของน้ำมันมะพร้าวออกมา แบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอน คือ การแยกครีมออกจากกะทิ การแยกน้ำมันออกจากครีม และการสกัดสารที่ละลายน้ำออกจากน้ำมัน (Hagenmaier, 1977b)

McGlone, Canales และ Carter (1986) ได้ทดลองสกัดน้ำมันมะพร้าววิธีใหม่โดยนำกะทิมาทำการย่อยด้วยเอนไซม์โพลีแลคทูโรเนส (polygalacturonases), แอลฟาอะไมเลส (alpha-amylase) และ โปรตีเอส (protease) จากนั้นนำมาเหวี่ยงแยกจะได้ของเหลว 3 ชั้น ชั้นบนเป็นน้ำมันมะพร้าว ชั้นกลางเป็นน้ำ และชั้นล่างเป็นเศษเนื้อมะพร้าวเหลืออยู่ในกะทิ น้ำมันมะพร้าวที่ได้จากวิธีนี้จะมีคุณภาพสูง สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอื่นได้

Grimwood (1989) ได้ทดลองนำกะทิมาทิ้งให้ความร้อน พบว่าสามารถแยกเอาน้ำมันมะพร้าวออกมาได้ แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะทำให้โปรตีนเสียคุณภาพได้ และทำให้สีของน้ำมันที่ได้เปลี่ยนแปลงไป จึงได้มีการนำเอาเครื่องเหวี่ยงแยก (centrifuge) มาแยกน้ำมันและโปรตีน

นอกจากนี้ยังได้มีการทดลองแยกครีมและน้ำมันมะพร้าวออกจากกะทิโดยใช้วิธีการลดอุณหภูมิ Robledana-Luzuriage (1956) ได้ทดลองแยกน้ำมันมะพร้าวออกจากกะทิโดยใช้เอนไซม์ การแช่แข็ง และการละลายเพื่อทำให้อิมัลชันแตกตัว แล้วทำการเหวี่ยงแยก

Birocel และคณะ (1963) รายงานว่าเมื่อลดอุณหภูมิของกะทิลงถึง 10 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที สามารถปั่นแยกเอาหัวกะทิซึ่งเป็นครีมออกมาได้ และเมื่อล้างหัวกะทิด้วยสารละลายเกลือ น้ำประปา และน้ำกลั่น เพื่อกำจัดโปรตีน น้ำตาล และเกลือแร่

ที่ละลายอยู่ออกไป สามารถแยกน้ำมันมะพร้าวออกจากหัวกะทิได้

Gunetileke และ Laurentius (1974) ได้ทดลองแยกน้ำมันมะพร้าวออกจากหัวกะทิโดยอาศัยการตกผลึกไขมันที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำมาทำการละลายที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่ามีส่วนของน้ำมันแตกตัวออกจากอิมัลชัน ไปรวมเป็นชั้นน้ำมันอยู่ด้านบน แต่ยังมีน้ำมันเหลืออยู่ในอิมัลชันอีกประมาณร้อยละ 50 ต้องใช้การเหยียงแยกเพื่อแยกเอาน้ำมันออกจากอิมัลชันทั้งหมด จะทำให้กะทิแยกออกเป็น 3 ชั้นคือ ชั้นแรกจะเป็นชั้นของน้ำมัน น้ำมันที่แยกได้จากกระบวนการนี้เป็นน้ำมันมะพร้าวเกรดเอ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารอื่นๆได้ ชั้นที่สองจะเป็นส่วนของสารละลาย และส่วนที่สามเป็นส่วน ของแข็งซึ่งโดยมากจะเป็นโปรตีน

#### สารทดแทนไขมัน

สารทดแทนไขมันที่ผลิตจากวัตถุดิบธรรมชาติที่เลือกใช้งานวิจัยนี้มี 3 ชนิด คือ

1. สารทดแทนไขมันที่ได้จากโปรตีน เป็นสารทดแทนไขมันพลังงานต่ำ ปราศจากโคเลสเตอรอล งานวิจัยนี้ใช้ Simplese (บริษัท NutraSweet Co.(Mt.Prospect, Illinois)) ซึ่งได้รับการยอมรับโดยสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA) ว่าเป็นอาหารที่ปลอดภัย (generally recognized as safe:GRAS) สำหรับใช้ในผลิตภัณฑ์ของหวานแช่แข็ง (frozen desserts) สารทดแทนไขมันที่ได้จากโปรตีนถูกนำมาใช้แทนไขมันได้ เนื่องจากทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายครีม เช่นเดียวกับอาหารที่มีไขมันสูงนอกจากนี้ยังทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีรสชาติด้วย สารทดแทนไขมันที่ได้จากโปรตีนผลิตจากนม และ/หรือโปรตีนจากไข่ขาว โดยกระบวนการ microparticulation ปกติแล้วของคนเราจะรับรู้ถึงอนุภาคของอาหารที่มีรูปร่าง และขนาดที่แน่นอนได้ในลักษณะรวมๆ มากกว่าเป็นอนุภาคเดี่ยวอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 0.1 ไมครอน เช่น เคซีนไมเซลล์ (casein micelles) จะให้ความรู้สึกว่าลื่นไหลได้ ในขณะที่อนุภาคที่มีขนาดใหญ่กว่า 3.0 ไมครอน จะให้ความรู้สึกเป็นผงหรือเป็นเม็ดหยาบเล็กๆ ส่วนอนุภาคที่มีขนาดอยู่ในช่วงระหว่าง 0.1-3.0 ไมครอน ลื่นจะรับรู้ได้ในลักษณะคล้ายครีม ดังนั้นกระบวนการ microparticulation ซึ่งทำได้โดยการนำอาหารโปรตีนดังกล่าวมาปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน ใส่อากาศ และให้ความร้อนที่อุณหภูมิการพาสเจอร์ไรซ์ (60-70 องศาเซลเซียส) บั่นผสมให้เข้ากันขณะที่ให้ความร้อน วิธีเหล่านี้จะ

ควบคุมไม่ให้เกิดการตกตะกอนของโปรตีนตามธรรมชาติเมื่อให้ความร้อน ซึ่งเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ แต่จะทำให้เกิดอนุภาคโปรตีนทรงกลม ขนาดเล็กสม่ำเสมอ และเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 1 ไมครอน เรียกว่า "microparticulated protein (MPP)" ซึ่งจะให้ลักษณะคล้ายครีม จากนั้นส่วนผสมที่ได้จะถูกทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว

Microparticulated protein เกิดขึ้นจากการรวมตัวกันทางกายภาพของโมเลกุลโปรตีนมากกว่าจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในโปรตีน เป็นผลให้การเรียงตัวของกรดอะมิโน และโครงสร้างสามมิติของโปรตีนยังคงอยู่ ไม่เกิดการเสียสภาพ จากการที่โปรตีนไม่ได้ถูกทำให้เปลี่ยนแปลงทางเคมี ดังนั้นคุณภาพทางโภชนาการ และสมบัติการเป็นแอนติเจน (antigen) ยังคงอยู่เหมือนเดิม

Microparticulated protein นี้สามารถเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติได้เช่นกัน แต่มีปริมาณน้อย และมีลักษณะรูปร่างไม่คงที่ เช่นใน นม ไข่ขาว ธัญพืช และถั่วต่างๆ โปรตีนเหล่านี้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางแตกต่างกัน อยู่ในช่วงระหว่าง 0.05-80 ไมครอน โดยเคซีนไมเซลส์ซึ่งพบในน้ำนม มีอนุภาคโปรตีนที่เล็กที่สุด และ textured vegetable protein (เช่น ถั่วเหลือง) เป็นพวกที่มีอนุภาคใหญ่ที่สุดในกลุ่มที่พบตามธรรมชาติ แต่ด้วยกระบวนการ microparticulation สามารถผลิตโมเลกุลโปรตีนที่มีอนุภาคขนาดเล็กได้ปริมาณมาก และมีขนาดรูปร่างที่เหมาะสมต่อการให้ลักษณะเนื้อสัมผัสคล้ายครีมได้

(NutraSweet Company, 1991)

สารทดแทนไขมันที่ได้จากโปรตีน ให้พลังงาน 1-2 กิโลแคลอรีต่อกรัม สามารถใช้ในผลิตภัณฑ์นม เช่น ไอศกรีม โยเกิร์ต ชีสสเปรด ครีมชีส ครีมเปรี้ยว รวมทั้งผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่มีไขมันเป็นส่วนผสมหลัก เช่น น้ำสลัด มายองเนส และเนยเทียม แต่เนื่องจากสารทดแทนไขมันที่ได้จากโปรตีนหาจากโปรตีนธรรมชาติ จึงไม่เหมาะในการทอด หรืออบ เพราะเมื่อโดนความร้อนจะเกิดการเกาะตัวกัน ทำให้เสียความรู้สึกคล้ายครีม (Anon., 1989)

2. มอลโตเดกซ์ตริน (Maltodextrin) มอลโตเดกซ์ตรินเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ไม่มีรสหวาน ได้จากการย่อยสลายแป้งด้วยกรดและ/หรือเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (alpha-amylase) มีค่า Dextrose Equivalent (D.E.) ต่ำกว่า 20 (Reichelt, 1983) ประกอบด้วยส่วนที่เหลือจากการย่อยอะไมโลส (amylose) และอะไมโลเพกติน (amylopectin) มีขนาดอยู่ในช่วง oligomers จนถึง macromolecules (Mora-Gutierrez และ Baianu, 1990)

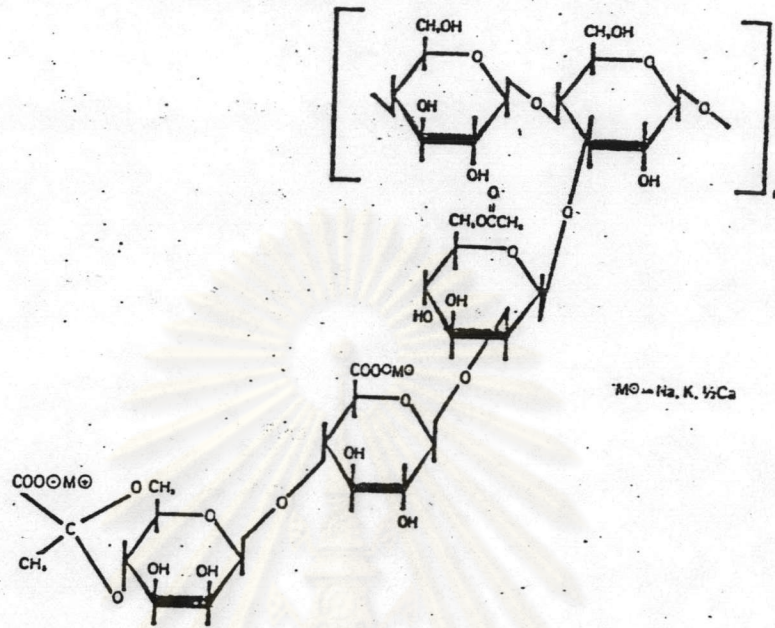
มอลต์เดกซ์ทรินอาจผลิตในรูปของเหลวที่มีลักษณะคล้ายน้ำเชื่อม หรือเป็นผงแห้ง ซึ่งจะละลายน้ำได้ง่าย ไม่มีกลิ่นรส

Rapaille (1991) ได้กล่าวถึงมอลต์เดกซ์ทรินที่ผลิตจากแป้งมันฝรั่ง (ค่า D.E มากกว่า 3 เล็กน้อย) ลักษณะการนำไปใช้จะเหมือนกับมอลต์เดกซ์ทรินที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้า (ค่า D.E. ต่ำกว่า 3) กล่าวคือเจลของมอลต์เดกซ์ทรินที่เตรียมได้จะมีลักษณะคล้ายไขมัน แต่วิธีการเตรียมเจลของมอลต์เดกซ์ทรินชนิดที่ผลิตจากแป้งมันฝรั่งนี้ จะต้องให้ความร้อนแก่สารละลายมอลต์เดกซ์ทรินที่มีความเข้มข้นร้อยละ 15-30 ก่อน จากนั้นนำไปแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาหนึ่ง จึงจะได้เจลของมอลต์เดกซ์ทรินที่มีลักษณะคล้ายไขมัน

มอลต์เดกซ์ทริน สามารถใช้แทนที่ไขมันบางส่วนหรือทั้งหมดในผลิตภัณฑ์หลายอย่าง เช่น เนยเทียม ขนมหวานแช่แข็ง น้ำสลัด ซีเรียล (cereal) และสแนค (snack) ชนิดมีกากสูง ปัจจุบันที่มีใช้เป็นการค้าแล้วในผลิตภัณฑ์น้ำสลัด และเนยเทียมชนิดไขมันต่ำ มอลต์เดกซ์ทรินอยู่ในรายการ GRAS เมื่อใช้เป็นส่วนประกอบอาหาร ร่างกายสามารถย่อยได้หมด และให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรีต่อกรัม

3. แขนแทนกัม (Xanthan gum) เป็นโพลีแซคคาไรด์ (extracellular polysaccharide) ได้จากการหมักของเชื้อ *Xanthomonas compestris* โครงสร้างประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 3 ชนิด คือ D-glucose, D-mannose และ D-glucuronic acid ในอัตราส่วน 3:3:1 โดยสายโซ่หลัก (main chain) มี (1-4)-beta-D-glucose และมีสายโซ่รอง (side chain) เป็นไตรแซคคาไรด์ประกอบด้วยสอง mannose unit คั่นด้วย D-glucuronic acid (Kelco, 1988) โครงสร้างทางเคมีของแขนแทนกัมดังแสดงไว้ในรูปที่ 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของแชนแทนกัม (KeIco, 1988)

โดยทั่วไปแล้วความหนืดของแชนแทนกัมจะทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตั้งแต่ 0-100 องศาเซลเซียส แชนแทนกัมเป็นสารที่ให้ความคงตัวกับอิมัลชันที่ดีมาก โดยเป็นอิมัลซิไฟเออร์สำหรับอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ เพราะความหนืดของสารละลายแชนแทนกัมจะสูงที่ความเข้มข้นต่ำ และทนต่อการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรดต่าง และจะเจือยต่อสารเคมี เช่น กรด ต่าง เอนไซม์ ที่อาจพบในระบบของอิมัลชัน (สิวาพร สีวเวช, 2523) แชนแทนกัม จะทำให้ความหนืดของผลิตภัณฑ์เพิ่มมากขึ้นโดยไม่เกิดเจล สารละลายแชนแทนกัมที่มีความเข้มข้นร้อยละ 0.1-1.0 จะมีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 6.0-7.0 แชนแทนกัมให้พลังงานต่ำมาก และมีใยอาหาร (dietary fiber) สูง สารละลายแชนแทนกัมมีสมบัติการไหลเป็นแบบ pseudoplastic สูงมาก ไม่ว่าจะเป็นที่ความเข้มข้นหรือ shear rate ใดก็ตาม

แซนแทนัมที่มีสมบัติเป็น pseudoplastic จะเป็นผลดีต่อ mouthfeeling เมื่อใช้ แซนแทนัมในอาหารทำให้มีลักษณะเนื้อสัมผัสไม่เหนอะหนะ (non-gummy mouthfeel) นอกจากนี้ยังให้ลักษณะ slimy น้อยกว่ากัมชนิดอื่น (Blanshard และ Mitchell, 1979)

ในอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้แซนแทนัมในการเป็นสารเพิ่มปริมาณ และสารให้ความคงตัวในพวกผลิตภัณฑ์นม เนื่องจาก มีสมบัติที่ดูดซับน้ำได้ดี มีความหนืดสูงที่ความเข้มข้นต่ำ มีความคงตัวที่ดีทั้งสภาวะที่เป็นกรดและด่าง ให้ลักษณะเนื้อสัมผัสเนียน มัน และทนต่อ heat shock ได้ดี สามารถใช้เดี่ยวๆ หรือใช้ร่วมกับสารให้ความคงตัวอื่นๆได้ ร่างกายสามารถย่อยแซนแทนัมได้เพียงร้อยละ 15 ซึ่งค่าพลังงานตามทฤษฎีของแซนแทนัมมีค่าเท่ากับ 3.78 กิโลแคลอรีต่อกรัม ดังนั้นแซนแทนัมจึงให้พลังงานเพียง 0.5 กิโลแคลอรีต่อกรัม สำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของสหรัฐอเมริกา (FDA) อนุญาตให้ใช้สารนี้ในอาหารได้ในปี 1969 โดยไม่กำหนดปริมาณที่บริโภคในแต่ละวัน ส่วน Codex Alimentarius Commissions และประกาศกระทรวงสาธารณสุขฉบับที่ 84 อนุญาตให้ใช้แซนแทนัมในอาหารได้ โดยปริมาณที่บริโภคได้ในแต่ละวันคือ 0-10 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมของน้ำหนักตัว

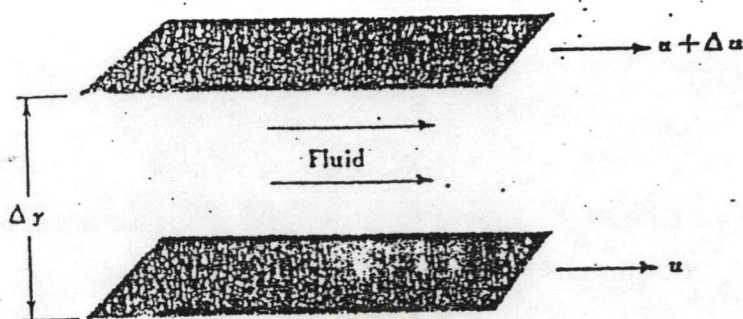
#### การศึกษาเกี่ยวกับสมบัติการไหล (Rheological properties)

ความหนืดจัดเป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญประการหนึ่งของของไหล โดยเฉพาะในผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ซอสชนิดต่างๆ น้ำมัน น้ำผลไม้ เป็นต้น ประเภทของของไหลสามารถแบ่งตามสมบัติทางการไหล สามารถแบ่งตามความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress กับ shear rate ได้เป็น 2 ประเภทคือ

##### 1. Newtonian fluids

Sir Isaac Newton ได้อธิบายว่า สำหรับ ideal viscous materials แล้ว ค่า shear stress จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ shear rate ซึ่งลักษณะของของไหลประเภทนี้แสดงดังรูปที่ 2 (Bennett and Myers, 1988; Kramer and Twigg, 1966)





รูปที่ 2 แบบจำลองลักษณะการไหลของของไหล

(Bennett and Myers, 1988; Kramer and Twigg, 1966)

ซึ่งสามารถอธิบายพฤติกรรมของการไหลของของไหลได้ดังสมการ

$$\tau = u(\Delta v/\Delta y) \dots \dots \dots (1)$$

เมื่อ  $\tau$  คือ shear rate

$u$  คือ ความหนืด (viscosity)

$\Delta v$  คือ ความแตกต่างความเร็วของของไหลชั้นบนกับของไหลชั้นล่าง

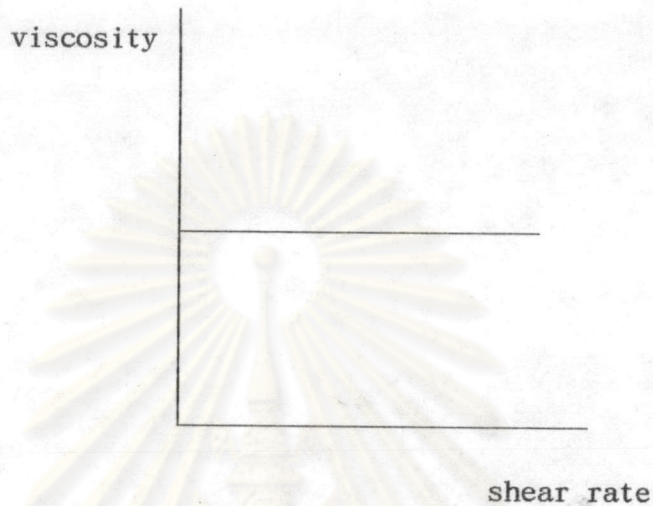
$\Delta y$  คือ ระยะระหว่างชั้นของของไหล 2 ชั้นที่ขนานกัน

ถ้าระยะระหว่างชั้นของของไหล ( $\Delta y$ ) แค่มาก จนใกล้เป็นศูนย์ อาจแปลงสมการ 1  
ใหม่ ได้ดังสมการที่ 2 (Prentice, 1984; Bennett and Myers, 1988)

$$\tau = u \, dv/dy \dots \dots \dots (2)$$

เมื่อ  $dv/dy$  คือ shear rate

ของไหลประเภทนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงความหนืดเมื่อ shear rate เปลี่ยนไป ดังแสดงในรูปที่ 4 ของไหลประเภทนี้ได้แก่ น้ำ น้ำมัน น้ำเชื่อม เป็นต้น



รูปที่ 3 Viscosity curve ของ Newtonian fluids

2. Non-Newtonian Fluids

ของไหลใดๆก็ตามที่กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress และ shear rate ไม่เป็นเส้นตรง (แสดงในรูปที่ 3) และ/หรือเส้นกราฟไม่ลากผ่านจุดเริ่มต้น (origin) นั่นคือของไหลพวกนี้จะมีคุณสมบัติปรากฏเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการเปลี่ยน shear rate ซึ่งจะพบมากในอาหารทั่วไป (DeMan et al., 1976) พฤติกรรมของของไหลในกลุ่มนี้สามารถแสดงได้ด้วยสมการ Power law

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$\tau = \tau_0 + K (dv/dy)^n \dots \dots \dots (3)$$

- เมื่อ  $\tau_0$  คือ yield stress
- $K$  คือ viscosity index
- $n$  คือ flow behaviour index

ของไหลประเภทนี้ยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก เช่น

### 2.1. Pseudoplastic fluids

ลักษณะการไหลของของไหลในกลุ่มนี้ จะได้รับอิทธิพลจากองค์ประกอบหลายประการ เช่น รูปร่าง การจัดเรียงตัวของโมเลกุล ความเข้มข้นของสารละลาย อุณหภูมิและความชื้น ความหนืดปรากฏของของไหลประเภทนี้จะลดลงเมื่อ shear rate เพิ่มขึ้น นั่นคือ flow behaviour index มีค่าน้อยกว่า 1 (Bennett and Myers, 1988)

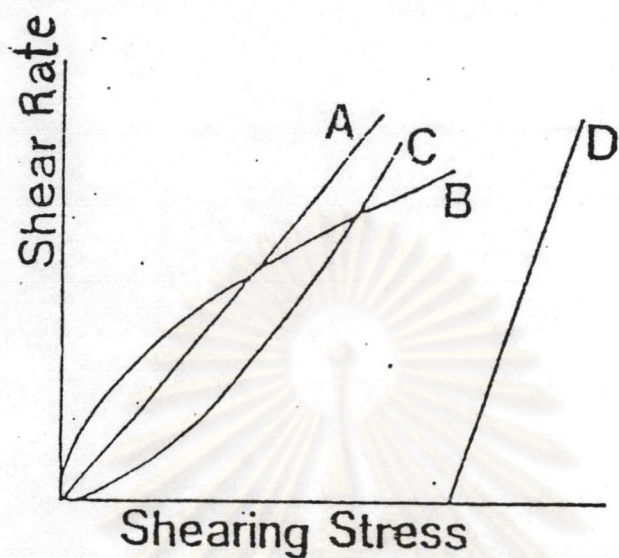
### 2.2. Dilatant fluids

ลักษณะการไหลของของไหลในกลุ่มนี้ จะมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นเมื่อ shear rate เพิ่มขึ้น นั่นคือ flow behaviour index มีค่ามากกว่า 1 (Kramer and Twigg, 1966; Bennett and Myers, 1988)

### 2.3. Bingham plastic fluids

ลักษณะการไหลของของไหลประเภทนี้จะมีลักษณะคล้ายการไหลของของไหลประเภท Newtonian คือ ความสัมพันธ์ระหว่าง shear stress และ shear rate เป็นเส้นตรง แต่ที่ต่างจากของไหลประเภท Newtonian คือของไหลประเภท Bingham plastic จะไหลได้เมื่อให้ค่า shear stress สูงกว่าค่า yield stress ( $\tau_0$ ) ของของไหล คือค่า  $\tau_0$  ในสมการที่ 3 มีค่ามากกว่า 0 (Kramer and Twigg, 1966; Bennett and Mayers, 1988) และค่า  $n$  ในสมการที่ 3 มีค่าเป็น 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า shear stress และ shear rate ของของไหลประเภทต่างๆ

- เมื่อ
- A = Newtonian fluid
  - B = Dilatant fluid
  - C = Pseudoplastic fluid
  - D = Bingham plastic fluid

ในงานนี้ได้มีการแยกน้ำมันออกจากกะทิเป็นบางส่วน ทำให้สมบัติการไหลของกะทิเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นจึงใช้สมบัตินี้เป็นปัจจัยสำคัญที่จะปรับปรุงกะทิไขมันต่ำ ให้มีสมบัติใกล้เคียงกับกะทิสด