

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

น้ำมันและไขมัน (Fat and oil) คือไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ซึ่งเป็นเอสเทอร์ที่เกิดจากปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันระหว่างกลีเซอรอลกับกรดไขมันแบ่งประเภทตามจำนวนโครงสร้างของโมเลกุลของธาตุองค์ประกอบทั้ง 3 คือ คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน น้ำมันและไขมันจัดเป็นสารชีวโมเลกุล (Bimolecular) ที่มีอยู่ในสิ่งมีชีวิตมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ชนิดไม่มีขั้ว (Non-polar) เช่น อีเทอร์ คลอโรฟอร์ม เบนซีน เฮกเซน ไดเอทิลอีเทอร์และชนิดมีขั้วน้อย (Slightly polar) เช่น แอลกอฮอล์ อะซิโตน เป็นต้น (ดาร์ตัน, 2545) เป็นส่วนประกอบของอาหารให้พลังงานสูงและช่วยละลายวิตามินบางชนิด ได้แก่วิตามินเอ ดี อี และเค (ประหยัด, 2537) น้ำมันและไขมันประกอบด้วยกรดไขมันซึ่งเป็นกรดอินทรีย์สายตรงที่มีหมู่คาร์บอกซิล (Carboxyl) 1 หมู่ (นิธิยา, 2545)

#### 2.1 กรดไขมัน (Fatty acids)

ในธรรมชาติกรดไขมันจะอยู่ในรูปที่เป็นองค์ประกอบของไตรกลีเซอไรด์อยู่ในไขมันและน้ำมันที่พบในรูปของกรดไขมันอิสระมีน้อย จำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเป็นเลขคู่เสมอ เพราะการสังเคราะห์กรดไขมันมีสารเริ่มต้นเป็นหมู่อะเซทิล (Acetyl) ซึ่งมีคาร์บอน 2 อะตอม มาต่อกันเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น พันธะในโมเลกุลของกรดไขมันมีทั้งที่เป็นพันธะเดี่ยวและพันธะคู่ กรดไขมันที่มีพันธะเดี่ยวทั้งหมดเรียกว่า กรดไขมันชนิดอิ่มตัว (Saturated fatty acids; SFA) ส่วนกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 1 พันธะหรือมากกว่าเรียกว่า กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated fatty acids; UFA) กรดไขมันที่พบในอาหารจะมีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 4 ถึง 24 อะตอม ส่วนที่พบมากในร่างกายมนุษย์มีจำนวนคาร์บอน 16 ถึง 20 อะตอม (ด้วง, 2534)

## 2.1.1 ชนิดของกรดไขมัน

### 2.1.1.1 กรดไขมันชนิดอิ่มตัว

กรดไขมันชนิดอิ่มตัวมีสูตรทั่ว ๆ ไปเป็น  $C_nH_{2n}O_2$  เป็นกรดไขมันที่เป็นพันธะเดี่ยวของคาร์บอนในโมเลกุลไม่สามารถรับไฮโดรเจนได้และที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยได้แก่ กรดอะซิติก (Acetic acid; C2:0) และกรดบิวทริก (Butyric acid; C4:0) เป็นกรดไขมันที่ละลายได้ดีในน้ำ กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 6 ถึง 10 อะตอม ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย ส่วนกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 12 อะตอมขึ้นไปไม่ละลายน้ำ กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนต่ำกว่า 10 อะตอม จะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ส่วนกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ 10 อะตอมขึ้นไปจะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ตัวอย่างกรดไขมันประเภทอิ่มตัวแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตัวอย่างกรดไขมันประเภทอิ่มตัว

ชื่อ	สูตรโมเลกุล	จำนวนคาร์บอน	แหล่งของไขมัน/น้ำมัน
Butyric acid	$CH_3(CH_2)_2COOH$	4	เนย
Caproic acid	$CH_3(CH_2)_4COOH$	6	เนย น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม
Caprylic acid	$CH_3(CH_2)_6COOH$	8	น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม
Capric acid	$CH_3(CH_2)_8COOH$	10	น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม
Lauric acid	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	12	น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม
Myristic acid	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	14	เนย ไขมันสัตว์
Palmitic acid	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	16	เนื้อสัตว์ น้ำมันพืช
Stearic acid	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	18	เนื้อสัตว์ น้ำมันพืช
Arachidic acid	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$	20	น้ำมันถั่วลิสง

ที่มา: คารารัตน์ (2545)

กรดไขมันอิ่มตัวในตัวอย่างสัตว์น้ำมีปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง Kamler *et al.* (2008) ศึกษากรดไขมันในตัวอย่างปลาน้ำจืด *Scardinius erythrophthalmus* พบว่า กรดไขมันอิ่มตัวมีปริมาณร้อยละ 25.90-27.10 ในขณะที่ Simonetti *et al.* (2008) ซึ่งศึกษากรดไขมันในตัวอย่างปลาน้ำจืดพบปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วงร้อยละ 24.80-27.60

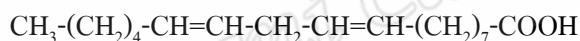
### 2.1.1.2 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว

กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยตามจำนวนพันธะคู่ได้ดังนี้

ก. กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มี 1 พันธะคู่ (Monounsaturated fatty acids, MUFA) เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ในโมเลกุลเพียง 1 พันธะ มีสูตรทั่วไปเป็น  $C_nH_{2n-1}COOH$  ตัวอย่างเช่น กรดโอเลอิก (Oleic acid;  $CH_3(CH_2)_7CH=CH(CH_2)_7COOH$ ) พบในน้ำมันมะกอก กรดปาล์มิตอเลอิก (Palmitoleic acid;  $CH_3(CH_2)_5CH=CH(CH_2)_7COOH$ ) พบในน้ำมันปลาซาร์ดีน

กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด MUFA ในตัวอย่างสัตว์น้ำมีความแตกต่างตามชนิดปลาทะเล ปลาหน้าจืด ปลาหมึกและกุ้ง Ozogul *et al.* (2006) ศึกษากรดไขมันในตัวอย่างปลาทะเล พบว่ากรดไขมันชนิด MUFA มีปริมาณร้อยละ 10.70-22.70 ขณะที่ Kozlova and Khotimchenko (2000) ศึกษากรดไขมันในตัวอย่างสัตว์น้ำในทะเลสาบ Lake baikal วิเคราะห์กรดไขมันจากตัวอย่าง *Comephorus baicalensis* และ *Comephorus dybowski* พบปริมาณ MUFA ร้อยละ 25.30-68.20

ข. กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มี 2 พันธะคู่ (Polyunsaturated fatty acids, PUFA) กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 2 พันธะ มีสูตรทั่วไปเป็น  $C_nH_{2n-3}COOH$  ได้แก่ กรดลิโนเลอิก (Linoleic acid) มีคาร์บอนในโมเลกุล 18 อะตอม มีพันธะคู่อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 9 และ 12 มีโครงสร้างดังนี้



Linoleic acid

กรดลิโนเลอิกพบมากในน้ำมันพืช เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันงา น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันข้าวโพด น้ำมันเมล็ดฝ้าย และน้ำมันเมล็ดทานตะวัน เป็นต้น

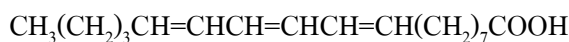
ค. กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 3 พันธะ จัดเป็นกรดไขมันชนิด PUFA มีสูตรทั่วไปเป็น  $C_nH_{2n-5}COOH$  ได้แก่ กรดลิโนเลนิก (Linolenic acid) มีคาร์บอนในโมเลกุล 18 อะตอม มีพันธะคู่อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 9, 12 และ 15 มีโครงสร้างดังนี้



Linolenic acid

กรดลิโนเลนิกพบมากในน้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันลินสีด (Linseed oil) น้ำมันตับปลาและน้ำมันจากปลาทะเลต่าง ๆ

กรดอีลีโอสเตียริก (Eleostearic acid; 9, 11, 13-octadecatrienoic acid) พบในน้ำมันมะพร้าวสูตรโครงสร้าง



Eleostearic acid; 9, 11, 13-octadecatrienoic acid

ง. กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 4 พันธะ จัดเป็นกรดไขมันชนิด PUFA มีสูตรทั่ว ๆ ไปเป็น  $\text{C}_n\text{H}_{2n-7}\text{COOH}$  ได้แก่ กรดอะราคิโดนิก (Arachidonic acid) มีคาร์บอนในโมเลกุล 20 อะตอม มีพันธะคู่อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 5, 8, 11 และ 14 มีโครงสร้างดังนี้



Arachidonic acid

## 2.1.2 ชนิดของกรดไขมันจากแหล่งต่างๆ

ชนิดของกรดไขมันในธรรมชาติจะขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งมีชีวิตและภูมิประเทศ ได้แก่ น้ำมันพืช (Vegetable oil) ไขมันจากสัตว์บก (Animal fat) และไขมันจากสัตว์น้ำ (Terrestrial animal fat) ส่งผลต่อปริมาณและรูปแบบของกรดไขมันแตกต่างกัน

### 2.1.2.1 น้ำมันพืช

ไขมันพืชได้จากแหล่งส่วนต่างๆ ของพืช โดยเฉพาะเมล็ดที่นำมาสกัดน้ำมันสำหรับการบริโภคและใช้ในทางอุตสาหกรรม เช่น เมล็ดถั่วเหลือง เมล็ดถั่ว เมล็ดฝ้าย ถั่วลิสง งามะพร้าว เมล็ดปอ เมล็ดสะหุง รำข้าว เมล็ดทางตะวัน และเมล็ดยางพารา ซึ่งมีกรดไขมันที่สำคัญคือ กรดโอเลอิกและกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นกรดไขมันจำเป็น ได้แก่ กรดลิโนลิก เป็นจำนวนมาก ส่วนกรดไขมันอิ่มตัวที่พบเช่น กรดปาล์มิติก (Palmitic acid; C16:0) มีในปริมาณต่ำ ทำให้มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องยกเว้นน้ำมันมะพร้าวที่มีกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่าร้อยละ 70 ส่วนใหญ่เป็น กรดลอริก (Lauric acid; C12:0) กรดไขมันจากพืชมีกรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่แตกต่างกันตามชนิดของตัวอย่างและมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอย่างสูงกว่าตัวอย่างน้ำมันสัตว์ ยกเว้นน้ำมันมะพร้าว ดังแสดงในตารางที่ 2

### 2.1.2.2 ไขมันสัตว์บก

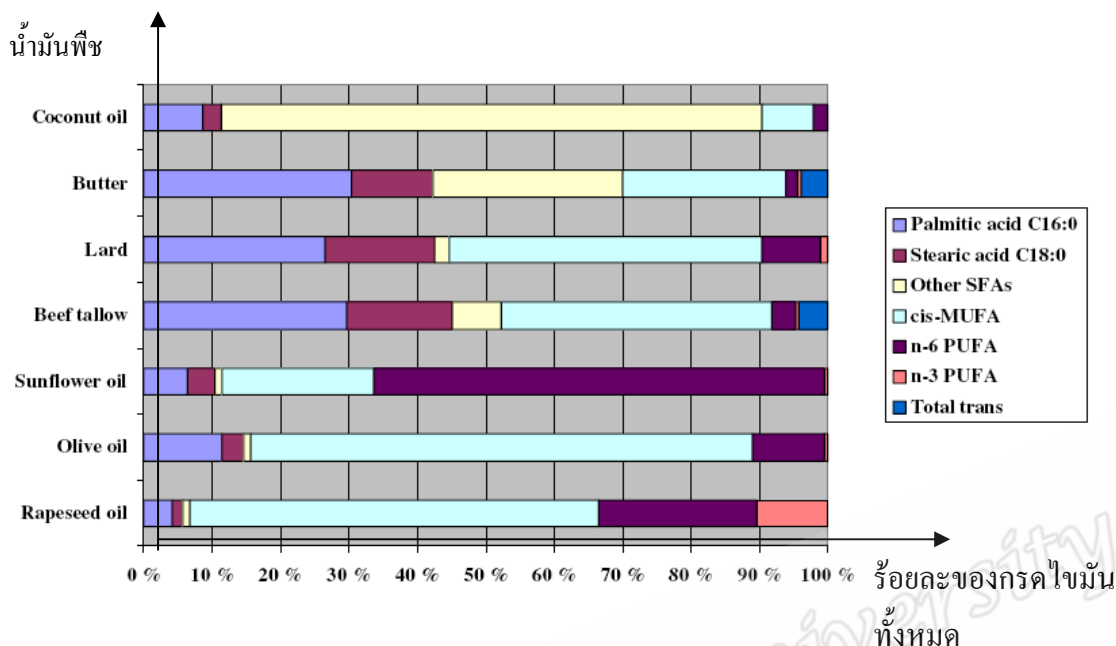
ไขมันจากสัตว์บกได้จากสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม เช่น หมูและวัว อยู่ในเนื้อเยื่อสะสมไขมัน (Depot fat) ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวคือ กรดโอเลอิก ประมาณร้อยละ 40-45 ของกรดไขมันทั้งหมดและกรดไขมันอิ่มตัวประมาณร้อยละ 20-30 เมื่อมีการเปรียบเทียบแล้ว กรดไขมันในไตรกลีเซอไรด์ จากสัตว์มีกรดไขมันอิ่มตัวมากกว่าในพืชทำให้มีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง (ไพทูร์ย์, 2537) ความแตกต่างของปริมาณและชนิดของกรดไขมัน (ดังรูปที่ 1-2 และตารางที่ 3) ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ อายุ ส่วนต่างๆของสัตว์แต่ละชนิด ปริมาณของไขมันทั้งหมดในเนื้อสัตว์อยู่ใน ช่วง 3-25 กรัมต่อ 100 กรัม ไขมันจากหนังไก่ มีปริมาณมากที่สุดประมาณ คือ 48 กรัมต่อ 100 กรัม (Valsta *et al.*, 2005)

ตารางที่ 2 ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวในน้ำมัน/ไขมันชนิดต่าง ๆ

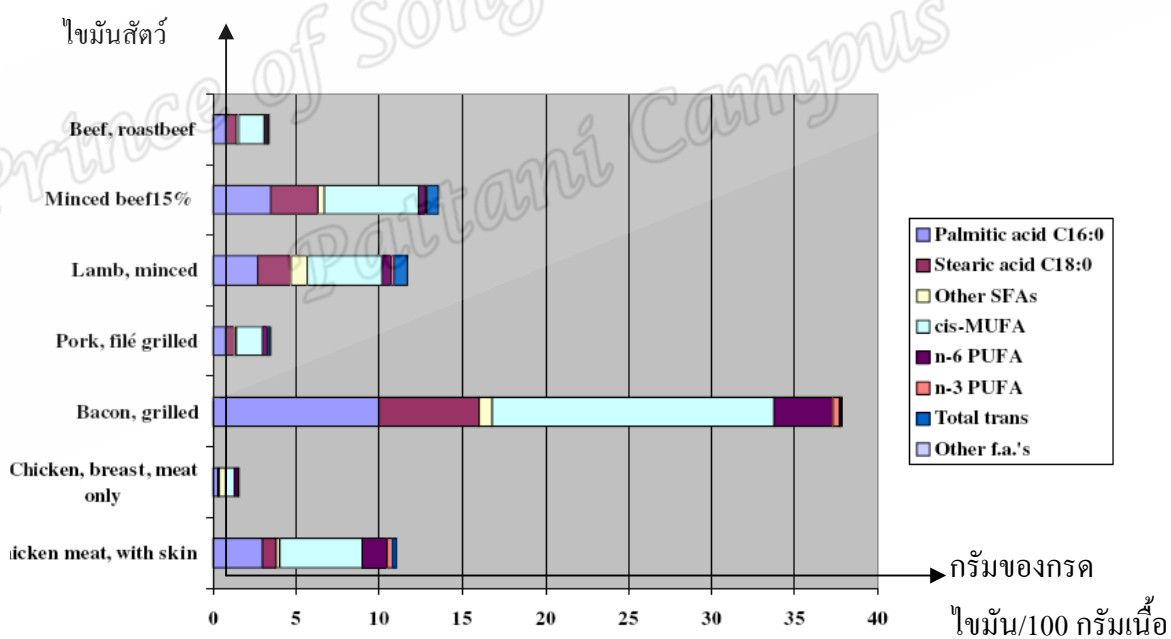
ชนิดของน้ำมัน	ปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว (ร้อยละของกรดไขมันทั้งหมด)	ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มี พันธะคู่ มากกว่า 1 ตำแหน่ง (ร้อยละของกรดไขมันทั้งหมด)
น้ำมันดอกคำฝอย	8	72
น้ำมันดอกทานตะวัน	12	63
น้ำมันข้าวโพด	10	55
น้ำมันถั่วเหลือง	15	52
น้ำมันเมล็ดฝ้าย	25	50
น้ำมันถั่วลิสง	20	26
น้ำมันมะพร้าว	86	0
น้ำมันไก่	23	24
น้ำมันหมู	40	12
เนยเหลว	45	3
ไขมันวัว	48	2
ไข่แดง	32	7

ที่มา: ประกิจ และวินัย (2550) ไขมันในอาหารและกรดไขมัน

[online].Available: <http://www.thailabonline.com/lab-cholesterol2.htm> [30 มีนาคม 2550]



รูปที่ 1 ความแตกต่างของกรดไขมันในน้ำมันพืชชนิดต่างๆ (ร้อยละของกรดไขมันทั้งหมด)  
ที่มา: Valsta et al. (2005)



รูปที่ 2 ความแตกต่างของปริมาณกรดไขมันในเนื้อชนิดต่างๆ (กรัมของกรดไขมัน/100 กรัมเนื้อ)  
ที่มา: Valsta et al. (2005)

ตารางที่ 3 ปริมาณของกรดไขมันจากสัตว์บางชนิดที่ใช้บริโภคในชีวิตประจำวัน

ตัวอย่างอาหาร	กรดไขมัน (กรัมต่อ 100 กรัมของกรดไขมันทั้งหมด)									
	C12:	C14:	C16:	C16:	C18:	C18:	C18:	C20:1	*LC+	อื่นๆ
	0	0	0	1	0	1	2	+C22:1	**PUFA	
น้ำมันหมู	0	1	21	3	12	46	16	0	0	1
สัตว์ปีก	0	1	27	9	7	45	11	0	0	1
มันวัว	0	3	26	9	8	45	2	0	0	6
แกะ	0	3	21	4	20	41	5	0	0	6
นมโค	10	12	26	3	11	29	2	0	0	4
นมแพะ	21	11	27	3	10	26	2	0	0	0
ไข่แดง	0	0	29	4	0	43	11	0	0	4
น้ำมันตับปลา	0	6	13	13	3	20	2	18	20	5

หมายเหตุ: \* LC คือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาว (Long chain unsaturated fatty acids)

\*\*PUFA คือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดพหุมากกว่า 1 พันธะ (Polyunsaturated fatty acids)

ที่มา: คัดแปลงจาก กมลวรรณ (2542)

### 2.1.2.3 ไขมันสัตว์น้ำ

ตัวอย่างสัตว์น้ำในกลุ่มปลาทะเล ปลาน้ำจืดและกลุ่มปลาหมึกและกุ้งมีรูปแบบของกรดไขมันที่คล้ายคลึงกันแต่มีปริมาณของกรดไขมันแต่ละชนิดแตกต่างกันตามชนิดของตัวอย่างสัตว์และมีปริมาณของไขมันต่างกันด้วยขึ้นอยู่กับ ชนิด เพศ และฤดูกาล ดังตารางที่ 4 และ 5 โดยที่ไขมันของสัตว์น้ำมีปริมาณ ร้อยละ 0.50-14.00 ซึ่งปลาแต่ละชนิดสามารถแบ่งตามปริมาณของไขมันได้ 4 ประเภท ได้แก่ (พายัพและคณะ, 2541)

1. Lean-fatfish ปลาที่มีปริมาณของไขมันน้อย ร้อยละ 2 เช่น ปลาไหล (Swamp eel; *Fluta alba*) และปลากลาย (Spotted featherback; *Chitala ornate*)
2. Low-fat fish ปลาที่มีปริมาณของไขมันในช่วงร้อยละ 2-4 เช่น ตะเพียนขาว (Common silver bard; *Puntius gonionotus*), ปลาช่อน (Striped snake-head fish; *Channa striata*)
3. Medium-fat fish ปลาที่มีปริมาณของไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 4-8 เช่น ปลาทุ (Short bodied mackerel; *Rastrelliger brachysoma*)



4. High-fat fish ปลาที่มีปริมาณของไขมันในช่วงร้อยละ 8-20 เช่น ปลาไหลเข้ (Striped catfish; *Pangasius sutchi*)

กรดไขมันปลาส่วนใหญ่จัดเป็นกรดไขมันชนิดโอเมกา 3 (Omega 3 fatty acid) ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไอโคซะเพนตะอีโนอิก (Eicosapentaenoic acid; EPA, C20:5n3), กรดโดโคซาเฮกซาอีโนอิก (Docosahexaenoic acid; DHA, C22:6n3) และ กรดไขมันอื่น จากผลงานวิจัยพบว่าน้ำมันปลามีประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น ลดอัตราเสี่ยงต่อการเป็นโรคหัวใจ โรคเบาหวาน โรคไขข้ออักเสบ ช่วยในการพัฒนาสมองเด็กและบำรุงเยื่อบุษย์ตา เป็นต้น (ศิริธร, 2539)

กรดไขมันที่พบในตัวอย่างปลาทะเลและปลาน้ำจืดประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัว และไม่อิ่มตัว โดยทั่วไปกรดไขมันปลามีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงกว่ากรดไขมันอิ่มตัว (Bendiksena, 2003) กรดไขมันไม่อิ่มตัวจัดแบ่งเป็นกรดไขมันชนิด MUFA และ PUFA โดยที่กรดไขมันชนิด PUFA ประกอบด้วยกรดไขมันที่มีความจำเป็นต่อร่างกาย คือ กรดไขมัน EPA และ DHA ซึ่งมีปริมาณรวมกันสูงถึงร้อยละ 30 (Nichols *et al.* 1994) เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของกรดไขมันจากปลาทะเล กรดไขมันชนิดโอเมกา 3 มีปริมาณที่สูงกว่ากรดไขมันชนิดโอเมกา 6 (Omega 3 fatty acid) (Ozogul *et al.* 2006)

ไขมันจากตัวอย่างในกลุ่มของปลาหมึกและกุ้ง มีปริมาณของไขมันประมาณร้อยละ 0.75-33.98 (ตารางที่ 5) กรดไขมันในตัวอย่างปลาหมึกและกุ้ง มีกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันไม่อิ่มตัวเช่นเดียวกับปลาทะเลและปลาน้ำจืด ซึ่งกรดไขมันอิ่มตัวมีปริมาณประมาณร้อยละ 28.18-34.14 (Ozogul *et al.* 2006) แต่มีปริมาณน้อยกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีปริมาณสูงกว่าร้อยละ 70 (Miniadis-Meimaroglou *et al.* 2008) ปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด MUFA ในตัวอย่างปลาหมึกและกุ้งมีปริมาณร้อยละ 10.90-37.80 (Merican and Shim, 1995) ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว ชนิด PUFA คือร้อยละ 40.00-53.00 (Osman *et al.* 2000) รูปแบบของกรดไขมันชนิดโอเมกา 3 ในตัวอย่างปลาหมึกและกุ้งกรดไขมัน พบว่ามีปริมาณที่สูงเช่นเดียวกับปลาทะเล และ ปลาน้ำจืดคือร้อยละ 29.27-51.42 (Ozogul *et al.*, 2006) ขณะที่กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมกา 6 ในตัวอย่างปลาหมึกและกุ้งมีปริมาณ สูงเช่นกันแต่น้อยกว่ากรดไขมันชนิดโอเมกา 3 ซึ่ง Ozogul *et al.* (2006) ที่รายงานว่า กรดไขมันชนิดนี้มีปริมาณร้อยละ 2.30-10.92 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Miniadis-Meimaroglou *et al.* (2008) ซึ่งรายงานว่ากรดไขมันชนิดโอเมกา 3 มีปริมาณร้อยละ 4.01-18.00 ซึ่งปริมาณของกรดไขมันกลุ่มนี้แตกต่างกันเกิดจากหลายปัจจัย คือชนิดของตัวอย่าง วิธีการสกัดไขมัน และ การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี



ตารางที่ 4 ปริมาณไขมันและกรดไขมัน โอเมกา 3 ในเนื้อปลา

ตัวอย่าง	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	ปริมาณกรดไขมัน (มิลลิกรัม/100 กรัมเนื้อ)								
		C18:3	C20:5	C22:5	C22:6	SAT	MUFA	PUFA	Omega 6	Omega 3
ปลาคอนน้ำจืด	2.45	77	24	30	97	845	870	484	256	228
ปลากระบอก	1.56	15	143	47	82	621	328	403	117	287
ปลากะพงขาว	1.48	20	63	39	238	564	400	466	86	360
ปลากะพงแดง	1.61	13	103	72	271	563	378	553	95	459
ปลากุเลา	1.44	26	93	24	285	492	268	516	88	428
ปลาจะละเม็ดขาว	2.58	40	71	54	265	1,174	585	539	110	430
ปลาจะละเม็ดดำ	0.2	2	7	6	50	60	22	87	21	66
หูลลาม, แห้ง	0.52	3	1	3	12	183	164	120	101	18
ปลาช่อน	4.33	40	160	142	710	1,324	859	1,608	556	1,052
ปลาดาบเงิน	1.95	172	43	25	276	756	419	614	98	516
ปลาดุกด้าน	2.98	44	16	17	126	1,019	1,234	604	401	203
ปลาดุกอูย	4.75	44	41	28	145	1,740	1,879	923	665	258
ปลาแดง	0.53	4	16	12	133	179	62	219	55	164
ปลาตะเพียน	0.83	14	6	5	37	213	297	265	203	62

ตารางที่ 4 (ต่อ) ปริมาณไขมันและกรดไขมันโอเมกา 3 ในเนื้อปลา

ตัวอย่าง	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	ปริมาณกรดไขมัน (มิลลิกรัม/100 กรัมเนื้อ)								
		C18:3	C20:5	C22:5	C22:6	SAT	MUFA	PUFA	Omega 6	Omega 3
ปลาทู	5.2	95	363	127	778	1,695	953	1,978	342	1,636
ปลาทรายแดง	0.7	3	21	23	181	226	106	284	57	228
ปลาน้ำดอกไม้	3.46	46	139	62	518	1,296	878	928	163	765
ปลาเนื้อไก่	0.43	3	15	10	129	116	57	190	33	157
ปลาเนื้ออ่อน	5.66	273	98	73	178	2,184	1,616	1,017	395	622
ปลาใบขนุน	1.01	16	41	8	172	439	188	292	56	237
ปลาบึก	0.52	5	30	10	83	152	61	195	67	128
ปลาแป้น	1.56	54	123	27	176	545	291	517	136	381
ปลาชี่สก	0.65	38	18	15	59	192	125	222	92	130
ปลาทราย	13.96	230	310	285	1,286	4,254	5,256	3,285	1,174	2,111
ปลาสาก	0.99	14	24	13	200	372	211	326	75	250
ปลาสิ่กุน	1.72	20	72	42	424	631	298	614	56	558
ปลาไส้ตัน	1.13	22	73	17	235	416	151	417	70	347
ปลาหมอไทย	0.85	5	6	16	56	261	245	232	149	83

ที่มา: พิมพร (2550)

ตารางที่ 5 ปริมาณไขมันและกรดไขมัน โอเมกา 3 ในปลาหมึกและกุ้ง

ตัวอย่าง	ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	ปริมาณกรดไขมัน (มิลลิกรัม/100 กรัมเนื้อ)								
		C18:3	C20:5	C22:5	C22:6	SAT	MUFA	PUFA	Omega 6	Omega 3
ปลาหมึกกระดอง	1.71	-	141	22	439	597	150	776	174	602
ปลาหมึกกระดอง	1.22	-	112	9	468	517	119	704	115	590
ปลาหมึกกล้วย	1.47	-	112	9	468	517	119	704	115	590
ปลาหมึกกล้วย	1.10	-	127	4	287	351	110	537	118	419
กุ้งกุลาดำ	1.18	14	89	20	164	462	247	401	113	287
กุ้งแชบ๊วย	0.91	6	56	10	153	336	192	324	99	224
กุ้งตะกาด	1.41	19	90	10	145	549	375	429	165	264
กุ้งนาง	13.06	176	456	37	479	4,384	5,523	3,017	1,869	1,148
กุ้งนาง	0.75	7	67	2	28	281	291	252	148	104
กุ้งนาง	33.98	530	279	51	550	13,283	13,942	5,760	4,349	1,410
มันกุ้ง	18.05	682	168	42	148	6,688	6,756	3,482	2,442	1,040
ปูทะเล	4.68	79	259	23	131	1,721	1,312	1,032	540	540
ปูม้า	4.45	166	400	88	288	1,447	832	1,343	400	943

ที่มา: พิมพร (2550)

### 2.1.3 ปัจจัยที่มีผลต่อชนิดและปริมาณกรดไขมันในสัตว์น้ำ

ปริมาณไขมันและชนิดของกรดไขมันของสัตว์น้ำมีความแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของสัตว์ แหล่งที่อยู่ ฤดูกาล สภาพการเลี้ยง ขนาด อวัยวะและส่วนประกอบของสัตว์น้ำ

#### 2.1.3.1 แหล่งของวัตถุดิบ

Celik *et al.* (2004) ศึกษาเปรียบเทียบชนิดกรดไขมันของปลา Zander (*Sander lucioperca*) จากสองบริเวณคือจากทะเลสาบ Seyhan และ Egirdir พบว่า กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว 1 พันธะคู่ และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมากกว่า 1 พันธะคู่ PUFA ของปลา Zander จากทะเลสาบ Seyhan สูงกว่า ปลาจากทะเลสาบ Egirdir อย่างมีนัยสำคัญ Zlatanov and Sagredos (1993) ศึกษาวิเคราะห์ กรดไขมันในปลาทะเลจากบริเวณทะเลเมดิเตอร์เรเนียน พบว่ากรดไขมันชนิด DHA และ EPA มีปริมาณมากกว่าร้อยละ 30 ของกรดไขมันทั้งหมด ซึ่งปลาชนิด *Scomber scombrus* มีปริมาณกรดไขมันชนิดดังกล่าวสูงที่สุด ส่วน Nichols *et al.* (1994) ศึกษากรดไขมันจากปลาทะเล 4 ชนิด จากทะเลแอนตาร์กติก พบว่า กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมากกว่า 1 พันธะคู่ มีปริมาณสูงถึงร้อยละ 30 ของกรดไขมันทั้งหมด ซึ่งในกรดไขมันดังกล่าวมีกรดไขมัน กลุ่มโอเมกา 3 สูงที่สุด ขณะที่ Yusuf *et al.* (1993) ศึกษาเปรียบเทียบกรดไขมันชนิด โอเมกา 3 ในปลาเบน (Halibut) ปลาแม็กเคอเรล (Mackerel) ปลาแซลมอน (Salmon) และปลาทูน่า (Tuna) จากมหาสมุทรแปซิฟิก แอตแลนติกและอ่าวเบงกอล พบว่า ปลาจากแหล่งมหาสมุทรแปซิฟิกและแอตแลนติกมีปริมาณกรดไขมันโอเมกา 3 สูงกว่าปลาจากอ่าวเบงกอลประมาณ 1 เท่า เช่น ปลาเบน จากมหาสมุทรแปซิฟิกและแอตแลนติกมีกรดไขมัน โอเมกา 3 ประมาณ 54 กรัมต่อ 100 กรัมของกรดไขมันทั้งหมด แต่ปลาจากอ่าวเบงกอล มีกรดไขมันกลุ่มนี้เพียง 24-29 กรัมต่อ 100 กรัม ของกรดไขมันทั้งหมด การศึกษากรดไขมันของปลาแองโชวีเรนโบร์เทรทท์และซาลมอนของ Ustun *et al.* (1996) รายงานว่ากรดไขมันแต่ละแหล่งมีความแตกต่างกัน เช่น ไขมันปลาแองโชวี จากประเทศตรุกี อเมริกาใต้และเปรู มีปริมาณกรดไขมัน EPA ปริมาณร้อยละ 7.40, 24.60 และ 10.70 ตามลำดับ ส่วนกรดไขมัน DHA พบปริมาณ ร้อยละ 12.30, 9.80 และ 4.37 ตามลำดับ ส่วนการศึกษาของ Saito *et al.* (1995) โดยวิเคราะห์กรดไขมันจากปลาทูน่าครีบลีโงจากน่านน้ำประเทศฟิลิปปินส์ และประเทศญี่ปุ่น พบกรดไขมันชนิด DHA มากกว่าร้อยละ 25 ดังนั้นสรุปได้ว่าแหล่งที่อยู่ของปลาตามสิ่งแวดล้อมส่งผลต่อชนิดและปริมาณของกรดไขมัน

กรณีปลาน้ำจืด Chetty *et al.* (1998) ศึกษากรดไขมันในปลาน้ำจืด ในประเทศอเมริกา พบว่ากรดไขมันชนิด EPA และ DHA จากปลาน้ำจืดมีปริมาณต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับกรดไขมันจากปลาทะเลแต่ปลาน้ำจืดมีกรดไขมันจำพวก กรดอะราชิโดนิก (Arachidonic acid; AA;

C20:4n6) และ กรดไลโนเลอิก ในปริมาณที่สูง ส่วนกรดไขมันอิ่มตัว และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว 1 พันธะคู่ มีปริมาณร้อยละ 33 และ 35 ตามลำดับ Karahadian and Linsay (1989) ศึกษาวิเคราะห์ กรดไขมันจากปลาน้ำจืดจำพวก *Salvelinus sp.* จากแหล่งอ่าว Great ประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า กรดไขมันชนิดโอเมกา 3 ในเนื้อปลาประกอบด้วยกรดไขมัน EPA ปริมาณร้อยละ 4.00-6.02 และ กรดไขมัน DHA ร้อยละ 5.60-9.60 ของกรดไขมันทั้งหมด ในขณะที่ Aggelousis and Lazos (1991) ศึกษากรดไขมันจากปลาน้ำจืด จากประเทศกรีซ พบว่า กรดไขมันชนิด EPA และ DHA ปริมาณร้อยละ 11.80 และ 4.00-15.30 ของปริมาณกรดไขมันทั้งหมด ปลาชนิด Sheat fish มีปริมาณ กรดไขมันชนิดโอเมกา 3 และ โอเมกา 6 ปริมาณ 8.40 และ 4.40 กรัม ต่อ กิโลกรัม น้ำหนัก

สัตว์น้ำจากปลาทะเลและปลาน้ำจืดมีกรดไขมันที่ต่างกัน Ozogul *et al.* (2006) ศึกษาชนิดและปริมาณของกรดไขมันของปลาทะเลและปลาน้ำจืดในประเทศตุรกี พบว่า เนื้อปลาทะเลมีกรดไขมันอิ่มตัว ปริมาณร้อยละ 25.50-39.40 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว 1 พันธะคู่ ปริมาณร้อยละ 13.20-29.00 และ กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมากกว่า 1 พันธะคู่ ร้อยละ 25.20-48.20 ซึ่งในทางตรงกันข้ามปลาน้ำจืดจากทะเลสาบ Seyhan มีปริมาณ กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว 1 พันธะคู่ ปริมาณร้อยละ 10.70-22.70 และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมากกว่า 1 พันธะคู่ ร้อยละ 23.20-43.70 เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนของกรดไขมันชนิดโอเมกา 3 จากปลาทะเล จะสูงกว่าปลาน้ำจืด แต่อัตราส่วนของกรดไขมันชนิด โอเมกา 6 จากปลาทะเลจะต่ำกว่าปลาน้ำจืด

### 2.1.3.2 ขนาด ชนิดและส่วนประกอบของสัตว์น้ำ

#### 2.1.3.2.1 ปลาทะเลและปลาน้ำจืด

Osman *et al.* (2007) ศึกษาปริมาณกรดไขมันในสัตว์น้ำประเภทปลาทะเล 13 ชนิด คือ Marine catfishes, Pseudo rhombus, Golden snapper, Threadfin breams, Drum-croaker-jewfish, Tongue soles, Pike, conger eels, Indian mackerels, Spanish mackerels, Groupers, Anodontostoma, Lizardfishes และ Aacnthurs nigrosis พบว่ากรดไขมันอิ่มชนิด ชนิดพาล์มิติก แตกต่างกันตามชนิดปลาที่ศึกษา ส่วนกรดไขมันชนิดโอเมกา 3 มีปริมาณสูงและมีกรดไขมันชนิด EPA และ DHA มากถึงร้อยละ 50 ของกรดไขมัน ชนิดไม่อิ่มตัวทั้งหมด ซึ่งปลา gelama kling มีกรดไขมันชนิด EPA, DHA และ AA ร้อยละ 23.00, 20.00 และ 7.00 ตามลำดับ รองลงมาคือ ปลา Kerapu มีกรดไขมันดังกล่าว ร้อยละ 21.00, 10.00 และ 9.00 ตามลำดับ ในขณะที่ Ozogul and Ozogul (2005) ศึกษากรดไขมันของปลาในทะเล Mediterranean Aegean และ Black Seas โดยการสุ่มตัวอย่างจากท้องตลาด ได้แก่ปลา Bogue (*Boops boops*), Mullet

(*Mugil cephalus*), Scad (*Trachurus mediterraneus*), Sardine (*Sardinella aurita*), Pandora (*Pagellus erythrinus*), Red scorpion fish (*Scorpaena scrofa*), Turbot (*Scophthalmus maeticus*) และ Common sole (*Solea solea*) โดยการนำเนื้อปลาสกัดไขมันด้วย วิธีของ Bligh and Dyer (1959) แล้วทำให้กรดไขมันอยู่ในรูปเมทิลเอสเทอร์กรดไขมันก่อนการวิเคราะห์ด้วย แก๊สโครมาโทกราฟี พบว่ามีปริมาณของกรดไขมันดังตารางที่ 6 ประกอบด้วยกรดไขมันอิ่มตัวประมาณร้อยละ 25.50-38.70 กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว 1 พันธะคู่ ร้อยละ 13.20-27.00 และกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมากกว่า 1 พันธะคู่ ร้อยละ 24.80-46.40 ซึ่งกรดไขมันชนิดโอเมกา 3 สูงกว่าชนิดโอเมกา 6

ตารางที่ 6 ปริมาณกรดไขมันจากตัวอย่างปลาในทะเล Mediterranean Aegean และ Black

ชนิดของกรดไขมัน	ปริมาณกรดไขมัน (ร้อยละของกรดไขมันทั้งหมด)
Myristic acid (C14:0)	1.70-10.90
Palmitic acid (C16:0)	15.50-20.50
Palmitoleic acid (C16:1)	2.86-17.00
Stearic acid (C18:0)	3.32-8.18
Oleic acid (C18:1n9 <i>cis</i> )	6.11-20.80
Linoleic acid (C18:2n6)	0.93-04.03
Octadecatetraenoic acid (C18:4n3)	0.02-4.55
Eicosapentaenoic acid (EPA, C20:5n3)	4.74-11.70
Docosahexaenoic acid (DHA, C22:6n3)	7.69-36.20

ที่มา: Ozogul and Ozogul (2005)

ปีโยรส (2546) ศึกษาการใช้เอนไซม์ไลเปสในการเพิ่มปริมาณการสกัดกรดไขมันชนิด EPA และ DHA จากน้ำมันปลากระพง ปลาแดง ปลาเมนฮาเดน และปลาทูน่าสกัดจาก 3 ส่วน คือ เบ้าตา การบดอัดจากหัวปลาหนึ่งสูกและจากการนึ่งปลา ทำการวิเคราะห์หากรดไขมันด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่ากรดไขมัน DHA จากปลาทูน่าจากเบ้าตามีปริมาณสูง 59.75 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร รองลงมาเป็นน้ำมันจากที่ได้จากการบดอัด 53.60 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร นิลิตซ์ (2542) ศึกษาลักษณะของน้ำมันจากหัวปลาดิบและหัวปลาสุกจากปลาทูน่าพันธ์โอแถบ พบว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวร้อยละ 49.20-54.00 และกรดไขมันชนิด EPA ปริมาณ ร้อยละ 20.30-27.40

Andrade *et al.* (1995) ศึกษากรดไขมันจากปลาน้ำจืด จากตัวอย่างทางภาคใต้ ในประเทศบราซิล โดยการวิเคราะห์กรดไขมันที่อยู่ในรูปเมทิลเอสเทอร์ด้วยเทคนิค แก๊สโครมาโทกราฟี พบว่ากรดไขมันที่มีปริมาณมากที่สุดคือ กรดปาล์มิติกปริมาณร้อยละ 50-70 ของกรดไขมันทั้งหมด ส่วนกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว EPA และ DHA พบในปลาชนิด Truta, Barbado และ Corvine มากที่สุดโดยที่ ปลา Truta, Barbado และ Corvine มีกรดไขมัน EPA ปริมาณ ร้อยละ  $1.6\pm 0.01$ ,  $1.55\pm 0.03$  และ  $11.67\pm 0.13$  ตามลำดับ ส่วนกรดไขมันชนิด DHA พบปริมาณ ร้อยละ  $11.74\pm 0.13$ ,  $3.70\pm 0.12$  และ  $10.34\pm 0.25$  ตามลำดับ ดังนั้นปลาน้ำจืดเป็นแหล่งของ กรดไขมันกลุ่มโอเมกา 3 ในประเทศบราซิลเช่นเดียวกับปลาทะเล

#### 2.1.3.2.2 กุ้ง

จันทร์เพ็ญ (2543) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของกุ้งกุลาดำเลี้ยงพบว่า มี กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวชนิดโอเมกา 6 น้อยกว่ากุ้งกุลาดำจากแหล่งธรรมชาติ ทั้งในเพศผู้และ เพศเมีย เมื่อวิเคราะห์กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวชนิด EPA และ DHA พบว่ากุ้งเลี้ยงเพศผู้มีปริมาณ กรดไขมัน 2 ชนิดนี้สูงกว่ากุ้งจากแหล่งธรรมชาติ ความแตกต่างดังกล่าวนี้ เป็นผลจากอาหารที่กุ้ง ทั้งสองกลุ่มได้รับ เมื่อทำการวิเคราะห์กรดไขมันในกุ้งกุลาดำที่เลี้ยงเป็นเวลา 74, 84, 94, 104 และ 114 วัน พบว่าระดับกรดไขมันโดยรวมต่อ 100 กรัมน้ำหนักเปียก ทั้งที่เป็นเนื้อและตับ มีระดับ ลดลงตามอายุที่เลี้ยง เมื่อทำการวิเคราะห์กรดไขมันในสัตว์ประเภทอื่นพบว่าสัตว์ทะเลมีกรดไขมัน อิ่มตัวอยู่ในระดับต่ำกว่า สัตว์น้ำจืด เช่น ในกรณีของ C16:0 นั้น เนื้อของกุ้งกุลาดำเพศผู้ ปลาทุ ก และ ปลาอุก มีระดับ C16:0 เฉลี่ยเท่ากับ 89.03, 166.81 และ 383.01 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักเปียก ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ระดับกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวประเภท EPA และ DHA พบว่าสัตว์ทะเล มีกรดไขมัน ดังกล่าวสูงกว่าปลาอุกน้ำจืด

#### 2.1.3.3 ผลของฤดูกาล

Liania *et al.* (2003) ศึกษาอิทธิพลของฤดู (ฤดูร้อนและฤดูหนาว) ต่อปริมาณหรือ ชนิดของกรดไขมันและคอเลสเตอรอล จากตัวอย่างสัตว์น้ำ 5 ชนิดที่นิยมบริโภค คือ Sardine (*Sardinella spp.*), Croaker (*Micropogonias furnieri*), Curimbata (*Prochilodus spp.*), Tilapia (*Oreochromis spp.*) และ Seabob shrimp (*Xiphopenaeus kroyeri*) ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่า ฤดูกาลไม่มีผลต่อปริมาณและชนิดของกรดไขมันอิ่มตัวและกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ในตัวอย่างสัตว์น้ำดังกล่าว ในขณะที่ Rasoarahoma *et al.* (2004) ศึกษาผลของฤดูกาลต่อปริมาณ ของไขมันและกรดไขมันของปลา 3 ชนิดในกลุ่มปลานิล คือ *Oreochromis niloticus*, *O. macrochir*



และ *Tilapia rendalli* จาก Madagascar โดยนำเนื้อปลาสกัดไขมันด้วยวิธี Bligh and Dyer (1959) แล้ววิเคราะห์กรดไขมันด้วย แก๊สโครมาโทกราฟีและแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี สามารถวิเคราะห์กรดไขมันได้มากถึง 40 ชนิดของกรดไขมันจากตัวอย่างปลา 3 ชนิด ซึ่งกรดไขมันที่พบมากได้แก่ ชนิด กรดปาล์มิติก กรดสเตียริก (Stearic) กรดโอเลอิก กรดปาล์มิตอเลอิก (Palmitoleic) และกรดไลโนเลอิก (Linoleic acid) ส่วนกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวชนิดโอเมกา 3 พบกรดไขมัน EPA และ DHA มีความสัมพันธ์ระหว่างชนิดและฤดูกาลมีผลต่อชนิดและปริมาณกรดไขมัน พิจารณาจากปริมาณของกรดไขมันจากปลา *O. macrochir* ชนิด DHA ลดลงจากร้อยละ 11.40 เป็น ร้อยละ 6.00 เมื่อมีการเปลี่ยนฤดูกาลจากใบไม้ผลิเป็นใบไม้ร่วง เช่นเดียวกับปลาชนิด *O. niloticus* และ *T. rendalli* พบปริมาณ DHA ลดลงจากร้อยละ 9.80 เป็น 4.90 และจากร้อยละ 10.10 เป็น 4.40 ตามลำดับ ผลที่ได้สามารถอธิบายถึงฤดูกาลมีผลต่อชนิดและปริมาณของกรดไขมัน

Bandarra *et al.* (1997) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของฤดูที่มีผลต่อองค์ประกอบของไขมันในปลาซาร์ดีน (*Sardina pilchardus*) โดยศึกษากรดไขมันตลอดทั้งปี พบว่ามีไขมันชนิด EPA และ DHA โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 1.20 และ 18.40 (น้ำหนักโดยน้ำหนัก) ตามลำดับและฤดูกาลมีผลต่อปริมาณและชนิด ของกรดไขมันในปลาซาร์ดีนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

#### 2.1.3.4 อาหารและสิ่งแวดล้อม

บ้นทิต (2545) ศึกษาการเพิ่มระดับกรดไขมันกลุ่มโอเมกา 3 ในปลานิล (*Oreochromis niloticus*) โดยใช้ไขมันปลาทูน่าที่ระดับต่างๆกันทดลองในปลานิลขนาดเริ่มต้นเฉลี่ย  $105.73 \pm 4.49$  กรัมต่อตัว ด้วยอาหารที่มีโปรตีนร้อยละ  $30.00 \pm 1.00$  โดยน้ำหนักและพลังงานย่อยได้  $3100 \pm 1.00$  กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมที่ใช้น้ำมันปลาทูน่าที่ระดับร้อยละ 0, 3, 6 และ 9 เป็นเวลา 60 วัน พบว่าน้ำหนักเพิ่มต่อตัวต่อวัน เท่ากับ  $0.90 \pm 0.38$ ,  $1.63 \pm 0.30$ ,  $0.83 \pm 0.13$  และ  $1.37 \pm 0.25$  กรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ โดยปลานิลที่ได้รับอาหารที่ใช้น้ำมันปลาทูน่าที่ระดับร้อยละ 3 และ 9 มีการเจริญเติบโตดีกว่า ( $p \leq 0.05$ ) ปลานิลในกลุ่มอื่นๆ ส่วนอัตราการรอด อัตราการกินอาหาร อัตราการเปลี่ยนอาหาร เป็นเนื้อและประสิทธิภาพของโปรตีนมีค่าใกล้เคียงกันในทุกกลุ่มการทดลอง ( $p > 0.05$ ) การสะสมกรดไขมันในเนื้อปลานิลที่ได้รับอาหารที่ใช้น้ำมันปลาทูน่า ที่ระดับร้อยละ 0, 3, 6 และ 9 พบว่าปริมาณกรดไขมัน EPA มีค่า  $0.14 \pm 0.03$ ,  $0.19 \pm 0.04$ ,  $0.28 \pm 0.04$  และ  $0.36 \pm 0.05$  มิลลิกรัมต่อกรัม น้ำหนักแห้ง ตามลำดับ กรดไขมัน DHA มีค่า  $2.93 \pm 0.06$ ,  $3.40 \pm 0.24$ ,  $4.15 \pm 0.25$  และ  $4.62 \pm 0.13$  มิลลิกรัมต่อกรัม โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ซึ่งระดับการสะสมปริมาณ กรดไขมัน EPA และ DHA และกรดไขมันกลุ่มโอเมกา 3 มีค่าเพิ่มขึ้น ( $p \leq 0.05$ ) ตามระดับการใช้น้ำมันปลาทูน่าที่เพิ่มขึ้นในอาหาร ในด้านการยอมรับผลิตภัณฑ์จากผู้บริโภคมีค่า

ใกล้เคียงกัน ( $p > 0.05$ ) ดังนั้นการใช้น้ำมันปลาพุน้ำที่ระดับร้อยละ 9 ในอาหารปลานิลให้ผลดีทั้งในแง่การเติบโตและการเพิ่มระดับกรดไขมันกลุ่ม โอเมกา 3 ในปลานิล

## 2.2 การวิเคราะห์กรดไขมันด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี

ความถูกต้องของการวิเคราะห์กรดไขมันขึ้นกับปัจจัยต่างๆ เช่น การสกัดไขมัน การทำเอสเทอร์ฟิเคชันและสภาวะของเครื่อง

### 2.2.1 การสกัดไขมัน

การสกัดไขมันจากอาหารนิยมใช้ตัวทำละลาย ชนิด เอทานอล (Ethanol) เมทานอล (Methanol) เฮกเซน (Hexane) ไอโซโพรพานอล (Iso-propanol) และเอทิลีนไดคลอไรด์ (Ethylene dichloride) ซึ่งตัวทำละลายเหล่านี้มีความสามารถในการสกัดไขมันโดยอาศัยโพลาริตี (Polarity) ที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 7) ดังนั้นในการสกัดต้องพิจารณาประสิทธิภาพการสกัด ร้อยละการนำกลับ ค่าใช้จ่าย รวมถึงสมบัติความเป็นพิษของสารเคมี

ตารางที่ 7 สมบัติทางกายภาพของตัวทำละลายชนิดต่างๆ

Polarity Index	Solvent	Viscosity	Boiling Point °C (1 atm)
-0.40	Iso-octane	0.50	99.20
0.00	N-hexane	0.31	68.70
0.00	Cyclohexane	0.98	80.70
<b>0.10</b>	<b>Petroleum ether</b>	<b>0.30</b>	<b>30-60</b>
1.80	Triethylamine	0.38	89.50
2.20	Isopropyl ether	0.33	68.30
2.30	Toluene	0.59	101.60
2.40	P-xylene	0.70	138.00
3.00	Benzene	0.65	80.10
3.10	Dichloromethane	0.44	39.75

ตารางที่ 7 (ต่อ) สมบัติของตัวทำละลายชนิดต่างๆที่ส่งผลต่อการสกัดไขมันในตัวอย่าง

Polarity Index	Solvent	Viscosity	Boiling Point °C (1 atm)
3.30	Benzyl ether	5.33	288.30
3.40	Methylene chloride	0.44	39.80
3.70	Ethylene chloride	0.79	83.50
3.90	Butyl alcohol	3.00	117.70
<b>4.10</b>	<b>Chloroform</b>	<b>0.57</b>	<b>61.00</b>
4.20	Tetrahydrofuran	0.55	66.00
4.30	Ethyl acetate	0.47	77.10
4.30	1-propanol	2.30	97.20
4.30	2-propanol	2.35	117.70
4.40	Methyl acetate	0.45	56.30
4.50	Methyl ethyl ketone	0.43	80.00
4.50	Cyclohexanone	2.24	155.70
4.50	Nitrobenzene	2.03	210.80
4.60	Benzonitrile	1.22	191.10
5.20	Ethanol	1.20	78.30
5.30	Pyridine	0.94	115.30
5.30	Nitroethane	0.68	114.00
5.40	Acetone	0.23	56.30
5.50	Benzyl alcohol	5.80	205.50
5.70	Methoxyethanol	1.72	124.60
6.20	Acetic acid	1.26	117.90
6.40	Dimethylformamide	0.90	153.00
6.50	Dimethylsulfoxide	2.24	189.00
<b>6.60</b>	<b>Methanol</b>	<b>0.60</b>	<b>64.70</b>
7.30	Formamide	3.76	210.50
<b>9.00</b>	<b>Water</b>	<b>1.00</b>	<b>100.00</b>

ที่มา: Properties of general organic solvent 2550 .[online]. Available:

<http://php.chol.com/~kwak0393/tt/attach/1/1191949804.gif> [November 4, 2007]

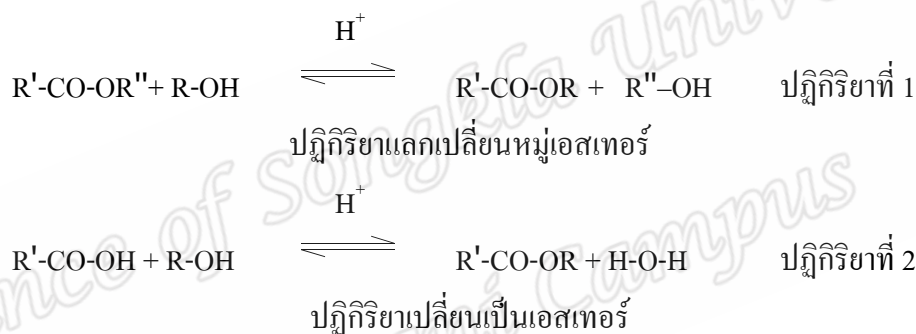
พ่ายัพ (2543) ศึกษาการใช้วัสดุเศษเหลือจากอุตสาหกรรมปลาแช่แข็ง สกัดน้ำมันปลาจากหัวและอวัยวะภายในของปลาตาโตและปลาโอดำ โดยใช้ตัวทำละลาย 3 ชนิด คือเฮกเซน คลอโรฟอร์ม-เมทานอลและเอทานอล พบว่า ส่วนหัวของปลาตาโตและปลาโอดำ มีปริมาณน้ำมันร้อยละ 4.30-6.1 และ 5.70-7.60 ตามลำดับ ส่วนน้ำมันจากอวัยวะภายในของปลาทั้ง 2 มีปริมาณร้อยละ 2.30-2.60 และ 2.30-2.7 ตามลำดับพบกรดไขมันชนิด DHA พบได้ทุกส่วนจากหัวและอวัยวะภายในทั้งปลาตาโตและปลาโอดำการใช้ เฮกเซนสามารถที่สกัดไขมันได้มากที่สุดแต่มีการปนเปื้อนขององค์ประกอบอื่นที่มีไขมัน ขณะที่ Koning *et al.* (1985) ศึกษาการสกัดน้ำมันจากตัวอย่างปลาเรดอาย (Red-eye) โดยใช้ ตัวทำละลาย เฮกเซน พบว่าสกัดไขมันได้ปริมาณร้อยละ 10.59 แต่เมื่อสกัดด้วยวิธีของ Bligh and Dyer (1959) โดยใช้คลอโรฟอร์ม-เมทานอล สกัดไขมันได้ร้อยละ 12.45 อธิยา (2539) ศึกษาการสกัดน้ำมันโดยใช้วิธี Folch *et al.* (1957) พบว่าปริมาณน้ำมัน ที่สกัดได้จากปลาทูน่าพันธุ์แทบโอ โอปลาทูน่าพันธุ์ลาย ปลาทูน่าพันธุ์โอดำและปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง มีปริมาณของไขมันร้อยละ 3.93, 2.80, 3.05 และ 2.88 ของน้ำหนักสดตามลำดับ

Manirakiza *et al.* (2000) ศึกษาการเปรียบเทียบการสกัดไขมันโดยใช้วิธีของ Soxhlet, Roese-Gottlieb (AOAC, 1990), Bligh and Dyer (1959) และ วิธีดัดแปลงของ Bligh and Dyer (1959) โดยใช้ตัวอย่าง เนยเทียม ไข่ ซีอิ๊วโกเลตผง นมไขมันต่ำ เนื้อไก่ขาว และปลาหุบแป็ง พบว่า การใช้วิธีการสกัดไขมันของ Bligh and Dyer (1959) โดยใช้ตัวทำละลายผสมคลอโรฟอร์ม-เมทานอล ในอัตราส่วน 1:2 สกัดไขมันจากตัวอย่างเนื้อปลาแห้ง ได้ปริมาณร้อยละการนำกลับประมาณ 72-74 ขณะเดียวกัน Undeland *et al.* (1997) ศึกษาเปรียบเทียบตัวทำละลาย ในการสกัดไขมันจากปลา Herring (*Clupea harengus*) โดยใช้วิธี 4 วิธีการ พบว่าวิธีการของ Bligh and Dyer (1959) ได้ปริมาณร้อยละการนำกลับสูงถึงร้อยละ 89

Zhuang *et al.* (2003) ศึกษาการเปรียบเทียบการสกัดไขมันด้วยวิธี Accelerated solvent extractor (ASE) โดยใช้อุณหภูมิการสกัดที่ 50, 55, 70 และ 100 องศาเซลเซียส และวิธี Polytron homogenizer ในตัวอย่างปลาพบว่าการใช้ตัวทำละลาย Hexane:Acetone (3:1) สกัดไขมันในส่วนส่วนของเนื้อปลาได้ดีที่อุณหภูมิ 55 และ 100 องศาเซลเซียส ขณะเดียวกันวิธี Polytron homogenizer โดยใช้ตัวทำละลายผสมอัตราส่วน Cyclohexane:Isopropanol (1:1) สกัดไขมันได้ดีในส่วนของตับ และเมื่อเปรียบเทียบ 2 วิธีดังกล่าวพบว่าวิธี Polytron homogenizer สกัดไขมันได้ดีกว่า

### 2.2.2 การเตรียมอนุพันธ์ของกรดไขมัน

วิธีการทำเอสเทอร์รีฟิเคชัน มีวัตถุประสงค์เพื่อเตรียมกรดไขมันให้อยู่ในรูปเอสเทอร์กรดไขมันซึ่งมีหลายวิธีได้แก่ การทำเอสเทอร์รีฟิเคชันแบบการใช้กรดและเบส การเตรียมสารตัวอย่างให้อยู่ในรูปอนุพันธ์ ทำให้เปลี่ยนจากสารที่ระเหยยากให้อยู่ในรูปอนุพันธ์ที่มีจุดเดือดต่ำลงและระเหยง่ายขึ้น เนื่องจากกลุ่มในรูปกรดคาร์บอกซิลิกจะระเหยกลายเป็นไอได้ยาก สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonding) ได้ ทำให้จุดเดือด (Boiling point) สูงขึ้น เมื่อทำให้อยู่ในรูปเอสเทอร์จะระเหยกลายเป็นไอได้ง่ายขึ้น และค่าจุดเดือดต่ำลงปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนหมู่เมทิล (Transmethylation) และปฏิกิริยาเติมหมู่เมทิล (Methylation) สามารถใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยกรดจะช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์ (Transesterification) (ดังรูปที่ 3) พวกลิพิดไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) ลิพิดเชิงซ้อน (Complex lipids) อื่นๆ และเร่งการเกิดพันธะเอสเทอร์ระหว่างกรดไขมันอิสระกับแอลกอฮอล์



รูปที่ 3 ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์และปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน  
ที่มา: ศิริธร (2539)

ทั้ง 2 ปฏิกิริยาเป็นปฏิกิริยาที่ย้อนกลับได้ ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์สามารถใช้กรดและด่างในการเร่งปฏิกิริยา สำหรับใช้กรดเร่งปฏิกิริยาได้เพียงอย่างเดียวที่ภาวะสมดุล แล้วต้องการให้ปฏิกิริยาเกิดไปทางขวามือจะต้องใช้ปริมาณของแอลกอฮอล์ในปริมาณมากกว่าที่ทำปฏิกิริยาหรือดึงผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกจากปฏิกิริยา ถ้ามีน้ำอยู่ในระบบน้ำจะเข้าแทรกแซงได้ทั้ง 2 ปฏิกิริยา เนื่องจากเอสเทอร์สามารถรวมกับน้ำเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (เป็นปฏิกิริยาย้อนกลับของปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์) โดยปกติกรดคาร์บอกซิลิกสามารถทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ให้เป็นเอสเทอร์ได้อย่างช้า ๆ แต่ถ้ามีกรดอนินทรีย์ผสมอยู่ปฏิกิริยาจะเกิดได้รวดเร็วยิ่งขึ้น การเตรียมเอสเทอร์ทั่วไปจึงใช้กรดอนินทรีย์ช่วยเร่งปฏิกิริยา กรดอนินทรีย์ที่ใช้กันมากในการเร่งปฏิกิริยาเพื่อการวิเคราะห์ คือ โบรอนไตรฟลูออไรด์ (BF<sub>3</sub>) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) หรือกรดซัลฟูริก

(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ในเมทานอล (Methanol) โดยความร้อนจะช่วยเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้นช่วงอุณหภูมิที่ใช้ 60-90 องศาเซลเซียส เวลาที่ใช้เริ่มตั้งแต่ไม่กี่นาทีจนถึงหลายชั่วโมง ความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ไม่ควรสูงเกินกว่าที่ใช้โดยทั่วไปมิฉะนั้นอาจเกิดปฏิกิริยาอื่นที่ไม่ต้องการทำให้สูญเสียเอสเทอร์บางส่วนไปโดยเฉพาะเอสเทอร์ของกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว (Christie, 1993)

### 2.2.2.1 กรดไฮโดรคลอริกในเมทานอล

กรดไฮโดรคลอริกที่ปราศจากน้ำจะอยู่ในรูปแก๊ส ซึ่งไม่สะดวกในการใช้งาน แต่สำหรับงานที่ไม่ละเอียดมากนักอาจใช้กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นแทน น้ำที่ปนอยู่เล็กน้อยนี้ จะมีส่วนทำให้เกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ไม่สมบูรณ์ แต่ปริมาณน้ำในปฏิกิริยาที่เตรียมขึ้นแต่ละครั้งค่อนข้างคงที่ทำให้เอสเทอร์ที่ได้แต่ละครั้งคงที่ด้วย ดังนั้นจึงใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสารได้ดีวิธีหนึ่ง ปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์ของกรดไขมันด้วยกรดไฮโดรคลอริกในเมทานอล (Anhydrous HCl/CH<sub>3</sub>OH) สำหรับการวิเคราะห์โดยใช้ GLC ได้มีมานานกว่า 35 ปี Stoffel *et al.* (1959) อ้างโดย คาราร์ตัน (2545) ได้ใช้กรดไฮโดรคลอริกในเมทานอลเปลี่ยนกรดไขมันสายยาว ให้อยู่ในรูปกรดไขมัน เมทิลเอสเทอร์ แล้วแยกออกจากผลิตภัณฑ์อื่นๆของปฏิกิริยาและทำให้บริสุทธิ์ขึ้น วิธีนี้ใช้ปริมาณสารตัวอย่างค่อนข้างมาก แต่จะช่วยหลีกเลี่ยงการใช้ด่างและไดอะโซมีเทน (Diazomethane) ซึ่งเป็นตัวที่ทำให้เกิดไอโซเมอร์ไรเซชันหรือไพราโซลีน (Pyrazoline) กรดไฮโดรคลอริกจัดเป็นกรดที่อ่อนกว่าตัวอื่นและใช้เป็นสารเอสเทอร์ริฟาย (Etherifying agent) โดยทั่วไปได้ดี (Christie, 1993)

การเตรียมกรดไฮโดรคลอริกในเมทานอลที่ปราศจากน้ำ สามารถเตรียมได้โดยใช้ Anhydrous HCl ในสถานะแก๊สผ่านไปในเมทานอลหรือใช้อะเซทิลคลอไรด์เหลวเติมลงในเมทานอลอย่างช้า ๆ (อัญชนารถ, 2538) อะเซทิลคลอไรด์จะเข้าทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ให้กรดไฮโดรคลอริกกับเมทิลอะซิเตท ซึ่งเมทิลอะซิเตทมีจุดเดือดต่ำระเหยง่าย ไม่รบกวนปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์และการวิเคราะห์ (Kishimoto and Radin, 1965 อ้างโดย คาราร์ตัน, 2545) ได้ทดสอบความคงตัวของไฮโดรเจนคลอไรด์ในเมทานอลสำหรับปฏิกิริยาระหว่างไฮโดรคลอริกและเมทานอลที่อุณหภูมิห้อง พบว่าที่ความเข้มข้นของกรดร้อยละ 5 จะมีความคงตัวนานกว่า 2 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง อัตราส่วนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกในเมทานอลที่ใช้โดยทั่วไปคือสารละลายกรดไฮโดรคลอริกร้อยละ 36 ต่อเมทานอลเท่ากับ 4 ต่อ 1 (ปริมาตรต่อปริมาตร) สภาพการใช้งานคือ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 15 นาที (คาราร์ตัน, 2545)



### 2.2.2.2 กรดซัลฟูริกในเมทานอล

กรดซัลฟูริกในเมทานอล ( $H_2SO_4/CH_3OH$ ) สามารถเตรียมได้โดยเติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นลงใน เมทานอลโดยความเข้มข้นที่เหมาะสม คือร้อยละ 0.5 การใช้กรดเร่งปฏิกิริยาจะมีผลต่อการสลายตัวของกรดไขมันไม่อิ่มตัว (Morrison and Smith, 1964 อ้างโดย คาราร์ตัน, 2545) วิธีการเตรียมกรดซัลฟูริกใน เมทานอล มีใน Association of Official Analytical Chemists ปี 1965 (Horwitz, 1965)

### 2.2.2.3 โบรอนไตรฟลูออไรด์ในเมทานอล

โบรอนไตรฟลูออไรด์ในเมทานอลจัดเป็นกรดที่แรง สามารถเตรียมได้โดยผ่านก๊าซโบรอนไตรฟลูออไรด์ไปยังเมทานอลที่เย็น ควรเตรียมในตู้ควันเนื่องจากจะเกิดควันสีขาว ในปี ค.ศ. 1961 (Metcalf and Schmitz, 1966 อ้างโดย คาราร์ตัน, 2545) ได้ใช้โบรอนไตรฟลูออไรด์ในเมทานอลในการเตรียมกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ จากกรดไขมันอิสระ ต่อมา Morrison and Smith (1964) ได้ศึกษาปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนหมู่เมทิลของลิปิดโดยใช้ โบรอนไตรฟลูออไรด์ในเมทานอล พบว่าสามารถใช้ได้กับลิปิดที่เป็นกลางในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น เบนซีน โบรอนไตรฟลูออไรด์ในเมทานอลสามารถเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์ได้ดีกว่าปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์ ต่อมา Metcalfe *et al.* (1966) ทำการทดลองโดยใช้ต่างในปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสร่วมกับโบรอนไตรฟลูออไรด์ (เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์) แล้วพบว่าสามารถเกิดกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ภายใน 10 นาที วิธีนี้ก็เป็นที่ยอมรับกันมาก รายละเอียดของวิธีนี้มีใน American Oil Chemists' Society (AOCS) ปี 1969 โบรอนไตรฟลูออไรด์ในเมทานอลได้ถูกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแทนที่กรดซัลฟูริกในเมทานอลในการเตรียมกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (Craske, 1993) ความเข้มข้นที่ใช้จะอยู่ในช่วงร้อยละ 6-14 อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2-60 นาที ข้อเสียของโบรอนไตรฟลูออไรด์ คือ มีราคาแพง มีความเป็นพิษ มีอายุการเก็บจำกัด นอกจากนี้ยังพบว่าเป็นสาเหตุของการเกิดสารแปลกปลอม (Artifacts) อื่น ๆ (Dawidowicz and Thompson, 1971)

การใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชันจะใช้เวลานานพอสมควรและหลังจากการทำปฏิกิริยาจะต้องขจัดกรดออกให้หมด โดยเติมตัวทำละลายอินทรีย์และน้ำลงไป เอสเทอร์จะละลายอยู่ในชั้นของตัวทำละลายอินทรีย์ และกรดจะคงอยู่ในชั้นน้ำ การเปรียบเทียบการใช้กรดชนิดต่างๆ ในการทำปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนระหว่างหมู่เอสเทอร์และปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์แสดงไว้ในตารางที่ 8

Indarti *et al.* (2003) ศึกษาวิเคราะห์กรดไขมันจากน้ำมันปลาและน้ำมันตับปลากรดโดยสกัดไขมันจากตัวอย่างดังกล่าวแล้วทำเอสเทอร์ริฟิเคชันแบบ Transesterification



ในขั้นตอนเดียวตามวิธีของ Majid *et al.* (1999) วิเคราะห์ด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลาในการทำเอสเทอร์ริฟิเคชันมีผลต่อปริมาณกรดไขมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ การทำเอสเทอร์ริฟิเคชันที่อุณหภูมิ 90 และ 100 องศาเซลเซียสและระยะเวลา 90 และ 30 นาที ส่งผลให้ร้อยละการนำกลับสูงถึงร้อยละ 95

Leslie *et al.* (1985) ศึกษาการยับยั้งเกล็ดเลือดในผู้ป่วยโดยดูการเปลี่ยนแปลงของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่สกัดจากตัวอย่างเลือด ทำเอสเทอร์ริฟิเคชันด้วย Acetyl chloride วิเคราะห์กรดไขมันด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟี พบว่าสามารถที่จะแยกชนิดกรดไขมันได้อย่างชัดเจนและเป็นที่น่าพอใจ เช่นเดียวกับ Palmquist (2003) และ Jenkins (2002) ใช้การทำเอสเทอร์ริฟิเคชันด้วย Acetyl chloride ปริมาณ 20 มิลลิลิตร ในเมธานอล 100 มิลลิลิตร พบว่า สามารถแยกชนิดกรดไขมันที่เป็นรูปแบบ *Cis* และ *Trans* ได้

ตารางที่ 8 สมบัติและประสิทธิภาพของกรดชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในปฏิกิริยาแลกเปลี่ยนหมู่เอสเทอร์ หรือปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นเอสเทอร์

Features	Acid in methanol		
	HCl	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	BF <sub>3</sub>
Common concentration	5%	1-2%	6-14%
Common reaction time	Medium	Medium	High
Etherifying power	Low	Low	Low
Form of starting material	Gas/Liquid	Liquid	Gas
Ease of preparation	No	Yes	No
Water introduced during preparation	No	Yes	No
Potential hazard associated with preparation	Yes	No	Yes
Saponification after reaction	No	No	No
Sensitive to water interference	Low	Low	Low

ที่มา: คารารัตน์ (2545)

Rodriguez-Palmero *et al.* (1997) ศึกษาเปรียบเทียบการวิเคราะห์กรดไขมันในพลาสมาและ Erythrocytes ด้วยการทำเอสเทอร์ริฟิเคชัน 2 วิธีคือการใช้ Boron trifluoride และ Acetyl chloride พบว่ากรดไขมันที่ได้ผ่านการทำเอสเทอร์ริฟิเคชัน 2 วิธี แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่วิธีของการทำเอสเทอร์ริฟิเคชันด้วย Acetyl chloride สามารถวิเคราะห์ได้ปริมาณกรดไขมัน

สูงกว่าการทำเอสเทอร์รีฟิเคชันด้วย Boron trifluoride ในพลาสติกและ Erythrocytes คือ  $285.92 \pm 17.90$  และ  $92.97 \pm 4.13$  มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ตามลำดับ ส่วนการทำเอสเทอร์รีฟิเคชันด้วย Boron trifluoride ได้เพียง  $279.93 \pm 10.81$  และ  $74.66 \pm 7.80$  มิลลิกรัมต่อกรัมตัวอย่าง ร้อยละการนำกลับทั้ง 2 วิธีไม่แตกต่างกันมากและความสามารถตรวจพบต่ำสุด (Limit of detection) ของการทำเอสเทอร์รีฟิเคชันด้วย Acetyl chloride ดีกว่าการทำเอสเทอร์รีฟิเคชันด้วย Boron trifluoride ขณะเดียวกัน Lopez-Lopez *et al.* (2000) ศึกษาเปรียบเทียบ 2 วิธีในการทำเอสเทอร์รีฟิเคชันจากไขมัน Infant Feces โดยวิธี Lepage and Roy (1986) การทำเอสเทอร์รีฟิเคชันด้วย Acetyl chloride และวิธีดัดแปลง Park and Goins (1994) การทำเอสเทอร์รีฟิเคชันด้วย Boron trifluoride พบว่าร้อยละการนำกลับทั้ง 2 วิธีไม่แตกต่างกัน

Lepage and Roy (1986); Liu (1994); Ulberth and Henninger (1995) และ Bohnert *et al.* (1997) ศึกษาวิธีการสกัดและการทำเอสเทอร์รีฟิเคชัน พบว่ากระบวนการสกัดและการทำเอสเทอร์รีฟิเคชันแบบขั้นตอนเดียวสามารถลดระยะเวลาของการวิเคราะห์และได้กรดไขมันได้ปริมาณที่สูง ในขั้นตอนการทำเอสเทอร์รีฟิเคชัน อุณหภูมิและเวลาที่มีผลต่อปริมาณของกรดไขมัน พบว่าการใช้อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 90 นาที จากตัวอย่างน้ำมันปลาได้ปริมาณกรดไขมันสูงสุด แต่ตัวอย่างน้ำมันตับปลาต้องใช้อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส 30 นาที ขณะเดียวกัน พัชรินทร์และคณะ (2549) ศึกษาการเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์และจัดทำฐานข้อมูล กรดไขมันเพื่อใช้เป็นวิธีตรวจสอบสารต้องสงสัยในอาหารฮาลาล โดยการสกัดและการทำเอสเทอร์รีฟิเคชัน เปรียบเทียบ 3 วิธีการ พบว่าการสกัดด้วยวิธีการ ดัดแปลงจาก Du *et al.* (1999) โดยใช้เอสเทอร์รีฟิเคชันด้วย Acetyl chloride ดัดแปลงจาก Folch *et al.* (1959) อ้างโดย Lepage and Roy (1986) ให้ประสิทธิภาพ การวิเคราะห์กรดไขมันสูง ซึ่งสอดคล้องกับ Eder (1995) แนะนำการวิเคราะห์กรดไขมันในรูปเมทิลเอสเทอร์กรดไขมันด้วยแก๊สโครมาโทกราฟีโดยการทำเอสเทอร์รีฟิเคชันด้วย Acetyl chloride สามารถเกิดเอสเทอร์รีฟิเคชันโดยสมบูรณ์

## 2.2.3 สภาวะของเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี

### 2.2.3.1 ชนิดของคอลัมน์ (Type of Columns)

ปัจจัยที่มีผลต่อการวิเคราะห์กรดไขมันชนิดของคอลัมน์มีส่วนในการวิเคราะห์กรดไขมัน อันเนื่องจากชนิดของคอลัมน์มีรูปแบบ ขนาด ความยาว และสารเคลือบผิวภายในคอลัมน์ คอลัมน์ Packed columns และ Capillary columns แต่ละชนิดนั้นมีหลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับผู้ผลิตหรือบริษัทนั้นๆ ในปัจจุบันการใช้ Packed columns ไม่เป็นที่นิยมนัก การวิเคราะห์กรดไขมัน ต้องคำนึงถึงขนาดของสายโซ่คาร์บอนของกรดไขมันเองหรือปัจจัยอื่นๆ เช่นความยาว

เส้นผ่านศูนย์กลางของคอลัมน์และ Liquid phases ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญที่ต้องมีการพิจารณาในการวิเคราะห์เนื่องจากมีผลต่อการวิเคราะห์กรดไขมันแสดงความแตกต่างดังตารางที่ 9

**ตารางที่ 9** ความแตกต่างระหว่าง Packed columns กับ Capillary columns

Packed column	Capillary column
1. เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของคอลัมน์ 2 – 4 mm	1. เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.1 – 0.53 mm
2. ความยาวคอลัมน์ 0.5 – 10 m	2. ความยาวคอลัมน์ 5 – 100 m
3. อัตราการไหลของแก๊สพา 10 –60 ml/min	3. อัตราการไหลของแก๊สพา 0.3 – 5 ml/min
4. จำนวนเพลทของคอลัมน์ประมาณ 500	4. จำนวนเพลทของคอลัมน์ประมาณ 5,000

ที่มา: ดัดแปลงจาก สุมันัส (2533)

ศิริธร (2539) ได้ศึกษาการวิเคราะห์กรดไขมันเมทิลเอสเทอร์โดยใช้คอลัมน์สองชนิดที่มีข้อแตกต่างกัน คือ คอลัมน์ BPX 70 และคอลัมน์ SP-2340 พบว่าคอลัมน์แต่ละชนิดมีความแตกต่างของพีค (Peak) และให้ค่าคงค้าง  $t_R$  เป็น 8.23 และ 4.98 ตามลำดับ ส่วนการศึกษาของ Schafer (1995) ศึกษาการวิเคราะห์สายโซ่สั้นของกรดไขมันจากกระเพาะแกะ โดยใช้ Packed columns และ Capillary columns พบว่า การวิเคราะห์กรดไขมันจากลำไส้เล็ก พีคของแต่ละคอลัมน์มีความแตกต่างกันคือ Packed column ให้ Base line มีความเอียงขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลการคำนวณ Peak area ให้ค่าน้อยกว่าความเป็นจริงขณะที่ Capillary columns พีคที่ได้จากการวิเคราะห์สามารถแยกกรดไขมันแต่ละชนิดได้อย่างชัดเจน

### 2.2.3.2 ผลของอุณหภูมิ

อุณหภูมิของคอลัมน์มีความสำคัญในการวิเคราะห์กรดไขมันหรือค่า Partition coefficient การเพิ่มอุณหภูมิในคอลัมน์ทำให้องค์ประกอบของสารตัวอย่างมีการเคลื่อนที่ออกจากคอลัมน์เร็วขึ้น อุณหภูมิจะมีผลต่อการแยกชนิดของกรดไขมัน มีความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นๆ มาเกี่ยวข้องด้วย ต้องมีความเหมาะสมกับ Stationary phase ดังนั้นในการวิเคราะห์กรดไขมันจะต้องเลือกอุณหภูมิที่สามารถแยกสารตัวอย่างได้ดี และ Retention time ไม่นานเกินไป โดยพิจารณาอุณหภูมิของจุดเดือดโดยเฉลี่ยของกรดไขมัน ยกตัวอย่างเช่น Diethylen glycol adipate คือ 200 องศาเซลเซียส และ Apiezon-L คือ 300 องศาเซลเซียส เป็นต้น อุณหภูมิของคอลัมน์เกิดจากการให้ความร้อนของแหล่งกำเนิดความร้อน มีการถ่ายเทความร้อนสู่คอลัมน์ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในการวิเคราะห์กรดไขมัน มี 3 ประเภท ได้แก่ Isothermal temperature, Linear temperature

และ Multi-linear temperature มีรายละเอียดดังนี้ (นิพนธ์และคณะ, 2535)

#### 2.2.3.2.1 Isothermal temperature

Isothermal temperature เป็นการให้ความร้อนภายในคอลัมน์ที่มีระดับเดียวกันในการวิเคราะห์ ใช้วิเคราะห์กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนน้อย C2-C16 และแยกสารตัวอย่างที่มีจุดเดือดที่ไม่แตกต่างกันมาก เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารตัวอย่างไม่ถูกกระตุ้มมากเกินไป ก่อให้ไม่สามารถแยกสารตัวอย่างได้ (นิพนธ์และคณะ, 2535)

#### 2.2.3.2.2 Linear temperature

Linear temperature เป็นการเพิ่มของอุณหภูมิให้สูงขึ้นแบบตอนเดียวในอัตราเร็วคงที่ ซึ่งสามารถแยกพิกได้มองเห็นได้ชัดมากกว่าแบบ Isothermal temperature การแยกของพิกของกรดไขมันแต่ละชนิดมีการแยกที่ชัดเจนดีกว่าการใช้อุณหภูมิที่คงที่

#### 2.2.3.2.3 Multi-linear temperature

Multi-linear temperature เป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้หลักของ Isothermal และ Linear temperature หรือการเพิ่มอุณหภูมิในคอลัมน์ให้สูงขึ้นในอัตราเร็วที่แตกต่างกันหลายช่วง (นิพนธ์และคณะ, 2535) โดยใช้ในการวิเคราะห์กรดไขมันที่มีจุดเดือดแตกต่างกันมากหรือสารตัวอย่างที่จำนวนของคาร์บอน C2-C30 ซึ่งสามารถแยกชนิดของกรดไขมันได้อย่างชัดเจน

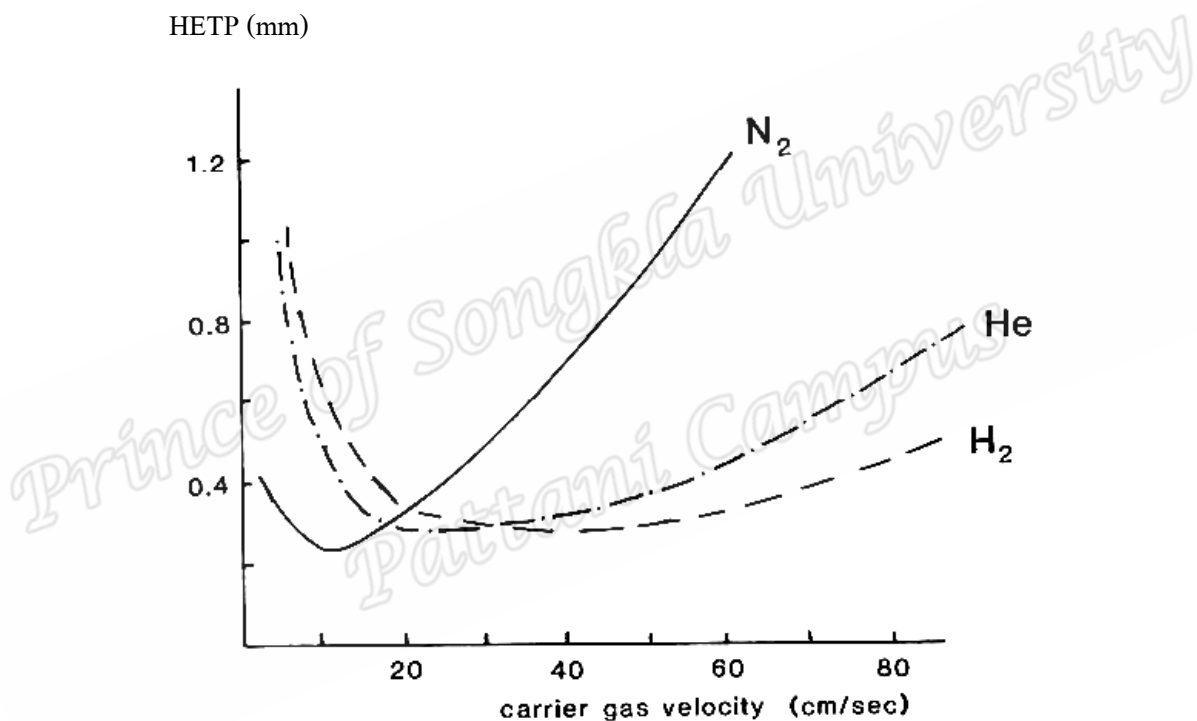
Aryusuk (2003) ได้ศึกษาพารามิเตอร์ทางเทอร์โมไดนามิกส์ในค่าคงตัวของแก๊ส โครมาโทกราฟีและแก๊ส โครมาโทกราฟีสองมิติ พบว่าในการใช้โปรแกรมอุณหภูมิบนอัตราของ interconversion ให้ผลการวิเคราะห์กรดไขมันเอสเทอร์จากน้ำมันผักกาดปลีที่วิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ BPX 70 ในสถานะอุณหภูมิแบบขั้นที่ 1 ขั้นที่ 2 ขั้นที่ 3 และขั้นที่ 4 แตกต่างเล็กน้อย

#### 2.2.3.3 ผลของแก๊สพา (Carrier gas)

การวิเคราะห์กรดไขมันมีการใช้แก๊สเป็นตัวพาหลายชนิด ได้แก่ ไฮโดรเจน คาร์บอนไดออกไซด์ ฮีเลียม ไนโตรเจนและแอมโมเนีย แก๊สแต่ละชนิดที่นำมาเพื่อวิเคราะห์กรดไขมันนั้นมีความแตกต่างของขนาดโมเลกุล ความไวต่อการเกิดปฏิกิริยา การแพร่และคุณสมบัติอื่น ๆ ต่างกัน ส่วนใหญ่จะใช้ แก๊สฮีเลียม (He) เนื่องจากเป็นก๊าซที่เฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยา และมีขนาดโมเลกุลเล็กไม่ส่งผลต่อการแปรปรวนของข้อมูลในการวิเคราะห์บางครั้งใช้ในโตรเจน

(N<sub>2</sub>) ขึ้นอยู่กับนำไปใช้ในการวิเคราะห์ ดังเช่นการวิเคราะห์กรดไขมันดังนั้นต้องเลือกให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งาน

ความเร็วของแก๊สพามีผลต่อการวิเคราะห์กรดไขมันที่มีความสำคัญปัจจัยหนึ่ง กล่าวคือ ความเร็วมีผลต่อการดูดซับของ Stationary phase ซึ่ง Christie (1993) ได้ศึกษาวิธีการวิเคราะห์กรดไขมันที่เหมาะสม ซึ่งในการวิเคราะห์โดยใช้คอลัมน์ชนิดเดียวกัน แต่ความเร็วและความดันของแก๊สต่างกัน ผลการศึกษาพบว่า ความเร็วและความดันมีผลต่อการแยกกรดไขมัน (ดังรูปที่ 4)



**รูปที่ 4** ความสัมพันธ์ระหว่างค่า HETP กับความเร็วของแก๊ส Hydrogen, Nitrogen และ Helium ที่ส่งผลต่อการวิเคราะห์กรดไขมัน

ที่มา: Christie (1993)

## 2.3 การเขียนโปรแกรม

การเขียนโปรแกรม (Programming) หรือการเขียนโค้ด (Coding) เป็นขั้นตอนการเขียน ทดสอบ และดูแลซอร์สโค้ดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งซอร์สโค้ดนั้นจะเขียนด้วยภาษาโปรแกรม ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมต้องการความรู้ในหลายด้านด้วยกัน เกี่ยวกับโปรแกรมที่ต้องการจะเขียนและอัลกอริทึมที่จะใช้ ซึ่งในวิศวกรรมซอฟต์แวร์นั้น การเขียนโปรแกรมถือเป็นเพียงขั้นหนึ่งในการพัฒนาซอฟต์แวร์

การเขียนโปรแกรมจะได้มาซึ่งซอร์สโค้ดของโปรแกรมนั้นๆ โดยปกติแล้วจะอยู่ในรูปแบบของ Plain text ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้งานได้ จะต้องผ่านการคอมไพล์ตัวซอร์สโค้ดนั้นให้เป็นภาษาเครื่อง (Machine Language) เสียก่อนจึงจะได้เป็นโปรแกรมที่พร้อมใช้งาน การเขียนโปรแกรมถือว่าการผสมผสานกันระหว่างศาสตร์ของ ศิลปะ วิทยาศาสตร์ คณิตศาสตร์ และ วิศวกรรม เข้าด้วยกัน

### 2.3.1 การเขียนโปรแกรมแบบมีเงื่อนไข

#### 2.3.1.1 อัลกอริทึม (Algorithm) (วีระ, 2539)

อัลกอริทึม (Algorithm) หมายถึง ลำดับขั้นตอนทำงานอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งเป็นในลักษณะคำบรรยาย ตั้งแต่เริ่มต้น จนกระทั่งสิ้นสุด หรือหมายถึงกระบวนการแก้ปัญหาที่สามารถเข้าใจได้ มีลำดับหรือวิธีการในการแก้ไขปัญหาใดปัญหาหนึ่งอย่างเป็นขั้นเป็นตอนและชัดเจน เมื่อนำเข้าอะไรแล้วจะต้องได้ผลลัพธ์เช่นไร

การเขียนอัลกอริทึม เป็นการเขียนลำดับของขั้นตอนเพื่อสั่งให้คอมพิวเตอร์ทำงานตามที่ต้องการภายใต้ความสามารถและข้อจำกัดของคอมพิวเตอร์ ดังนี้

##### 1.) ความสามารถ

- คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการเปรียบเทียบค่าสองค่า ผลจากการเปรียบเทียบจะเป็นทางเลือกในการทำคำสั่งอื่นต่อไป

- คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการเคลื่อนย้ายข้อมูลในหน่วยความจำ (Memory) ซึ่งหน่วยความจำเป็นส่วนประกอบส่วนหนึ่งของคอมพิวเตอร์ที่ใช้เก็บข้อมูลและคำสั่ง

- คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการรับข้อมูลเข้า (อ่านข้อมูลเข้าไปในหน่วยความจำ) และแสดงผล (นำผลลัพธ์ออกจากหน่วยความจำไปแสดงผลออกทางอุปกรณ์แสดงผล)



## 2.) ข้อจำกัด

- คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการคำนวณทางคณิตศาสตร์ โดยปกติมักจำกัดอยู่ การบวก ลบ คูณ และหาร

แม้ว่าคอมพิวเตอร์จะมีข้อจำกัดในเรื่องความสามารถดังกล่าว แต่เราก็ยังใช้คอมพิวเตอร์ในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ดี โดยการลำดับของขั้นตอนที่จะให้เครื่องทำงาน เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ ถ้ามีลำดับการทำงานที่ถูกต้องจะทำให้งานทำงานเร็วขึ้น การออกแบบอัลกอริทึมจะต้องอาศัยความคิดสร้างสรรค์ ความรอบรู้ และความเข้าใจในปัญหาอย่างลึกซึ้งเพื่อให้ทำงานตามต้องการ อัลกอริทึมจึงยังไม่มีกฎเกณฑ์ตายตัวที่ใช้ในการออกแบบ

### 2.3.2 ชนิดของอัลกอริทึม

#### 2.3.2.1 อัลกอริทึมแบบแตกย่อย (Divide-and-conquer) (ซีรวัดน์, 2550)

เป็นอัลกอริทึมที่จะมีการนำปัญหาหลักที่ได้มาทำการแยกออกเป็นปัญหาย่อยๆ แล้วนำคำตอบที่ได้จากปัญหาย่อยต่าง ๆ มารวมกันเข้าด้วยกันโดยอัลกอริทึมนี้สามารถหาคำตอบของปัญหาได้ง่ายขึ้นจากการรวมคำตอบของปัญหาหลัก

#### 2.3.2.2 อัลกอริทึมแบบเคลื่อนที่ (Dynamic Programming)

ปัญหาที่ได้รับมานั้นบางครั้งไม่สามารถแบ่งปัญหาออกเป็นปัญหาย่อย ๆ ได้ ซึ่งถ้าพยายามจะแบ่งปัญหานั้น ๆ ออกเป็นปัญหาย่อยที่เล็กที่สุด อัลกอริทึมก็อาจจะใช้เวลาทำงานเป็นแบบทวีคูณ (Exponential) ได้ แต่เวลาที่แก้ปัญหานั้น ๆ นั้น มักจะพบว่าบางครั้งต้องแก้ปัญหาย่อย ๆ ที่เหมือนกันซ้ำไปซ้ำมา โดยการหลีกเลี่ยงการคำนวณเพื่อหาคำตอบซ้ำ ๆ นี้ จะใช้ Dynamic Programming แก้ปัญหาย่อย ๆ เหล่านั้นเพียง ครั้งเดียวแล้วเก็บผลลัพธ์ไว้ ซึ่งถ้าหากพบว่าต้องมีการแก้ปัญหาย่อยนั้นซ้ำอีกก็สามารถนำคำตอบมาจากคำตอบที่เคยคำนวณเก็บไว้มาใช้ได้

#### 2.3.2.3 อัลกอริทึมแบบทางเลือก (Greedy Algorithm)

เป็นอัลกอริทึมที่จะหาคำตอบโดยการเลือกทางออกที่ดีที่สุดที่พบได้ในขณะนั้น เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด แต่ในบางครั้ง Greedy Algorithms อาจจะไม่สามารถหาคำตอบของปัญหาที่ดีที่สุดได้เสมอไป



### 2.3.3 องค์ประกอบของอัลกอริทึม

#### 2.3.3.1 การวิเคราะห์ (Analysis) (ณัช ภู่วรรณ, 2545)

การวิเคราะห์ โดยมีการพิจารณาสิ่งที่โจทย์ต้องการ รูปแบบของผลลัพธ์ที่โจทย์ต้องการ ข้อมูลนำเข้า วิธีการหรือสูตรที่ต้องการในการแก้ปัญหา เลือกโปรแกรมภาษาที่จะใช้ในการเขียนโปรแกรม กำหนดตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้แทนข้อมูลในโปรแกรมและจัดลำดับขั้นตอนการดำเนินการเขียน โปรแกรมเพื่อแก้ปัญหาของโจทย์

#### 2.3.3.2 การออกแบบ (Design)

ขั้นตอนการประมวลผลที่ออกแบบได้จะถูกจัดแสดงในรูปของ ผังงาน (Flowchart) รหัสเทียม (Pseudo Code)

### 2.3.4 การเขียนอัลกอริทึม (ปัญญาพล, 2545)

ลำดับการทำงานของอัลกอริทึม ปกติจะทำจากบนลงล่างถ้าไม่มีคำสั่งให้กระโดด (Branch) หรือ การส่งการควบคุมไปยังขั้นตอนอื่น เช่นคำสั่ง GOTO

#### 2.3.4.1 การเขียนอัลกอริทึมมีหลักการเขียนดังนี้

การเขียนอัลกอริทึม ควรเริ่มจุดเริ่มต้นเพียงจุดเดียว แต่อาจจะมีจุดสิ้นสุดมากกว่า 1 จุดได้ แต่ละขั้นตอนกำหนดวิธีการดำเนินการไว้อย่างเด่นชัด ข้อความในแต่ละขั้นตอนควรสั้นกะทัดรัด เมื่อทำงานในขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งเสร็จลง ควรมีผลลัพธ์อย่างใดอย่างหนึ่ง

ความล้มเหลวของอัลกอริทึมที่เกิดขึ้นบ่อย ๆ ก็คือ การปฏิบัติตามแล้วมีผลลัพธ์ถูกต้องเพียงบางกรณีเท่านั้น สาเหตุส่วนใหญ่มักเกิดจากผู้ออกแบบมองข้ามจุดสำคัญบางจุดของงาน วิธีที่จะช่วยให้การออกแบบอัลกอริทึมประสบความสำเร็จได้ เราอาจออกแบบโดยกลั่นกรองเป็นขั้น (Stepwise Refinement) หรือ ออกแบบบนลงล่าง (Top-down) การกลั่นกรองเป็นขั้นตอนมีหลักการคือ การแบ่งงานออกเป็นขั้นตอน ซึ่งแต่ละขั้นตอนจะแสดงโดย อัลกอริทึมที่เล็กลงและง่ายขึ้นกว่างานทั้งหมด เพราะว่าอัลกอริทึมย่อยนี้将有ความซับซ้อนน้อยลง ผู้ออกแบบจึงสามารถที่จะออกแบบได้ง่าย โดยแก้ปัญหาเฉพาะในอัลกอริทึมย่อยนั้น ในทำนองเดียวกันอัลกอริทึมย่อย ๆ แต่ละส่วนอาจจะแบ่งย่อยออกไปอีก ซึ่งทำให้งานแก้ปัญหา่าง่ายลงไปอีก การกลั่นกรองอัลกอริทึมจะดำเนินไปจนกระทั่งถึงจุดที่จะอธิบายอย่างละเอียดได้ด้วยการปฏิบัติการของหน่วยประมวลผล

#### 2.3.4.2 การเขียนผังงาน

เป็นการอธิบายขั้นตอนการประมวลผลโดยใช้สัญลักษณ์ ในการแสดงความหมาย หรือกำหนดลำดับการทำงาน การใช้กรอบรูปสัญลักษณ์ที่สื่อความหมาย อธิบายขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ข้อดีคือ เป็นระเบียบชัดเจน เข้าใจง่าย และข้อเสีย คือ การใช้รูปอธิบายการทำงานที่ซับซ้อน ต้องใช้เนื้อที่กระดาษจำนวนมากและยุ่งยากในการปรับจุดเชื่อมโยงเหมาะกับผู้เริ่มเขียนโปรแกรม

#### การเขียนผังงาน (Flowchart) แบ่งเป็น 2 ประเภท

1. ผังงานระบบ (System Flowchart)
2. ผังงานโปรแกรม (Program Flowchart)

#### รูปแบบการเขียนผังงาน

##### 1. รูปแบบเรียงลำดับ (Sequence Structure)

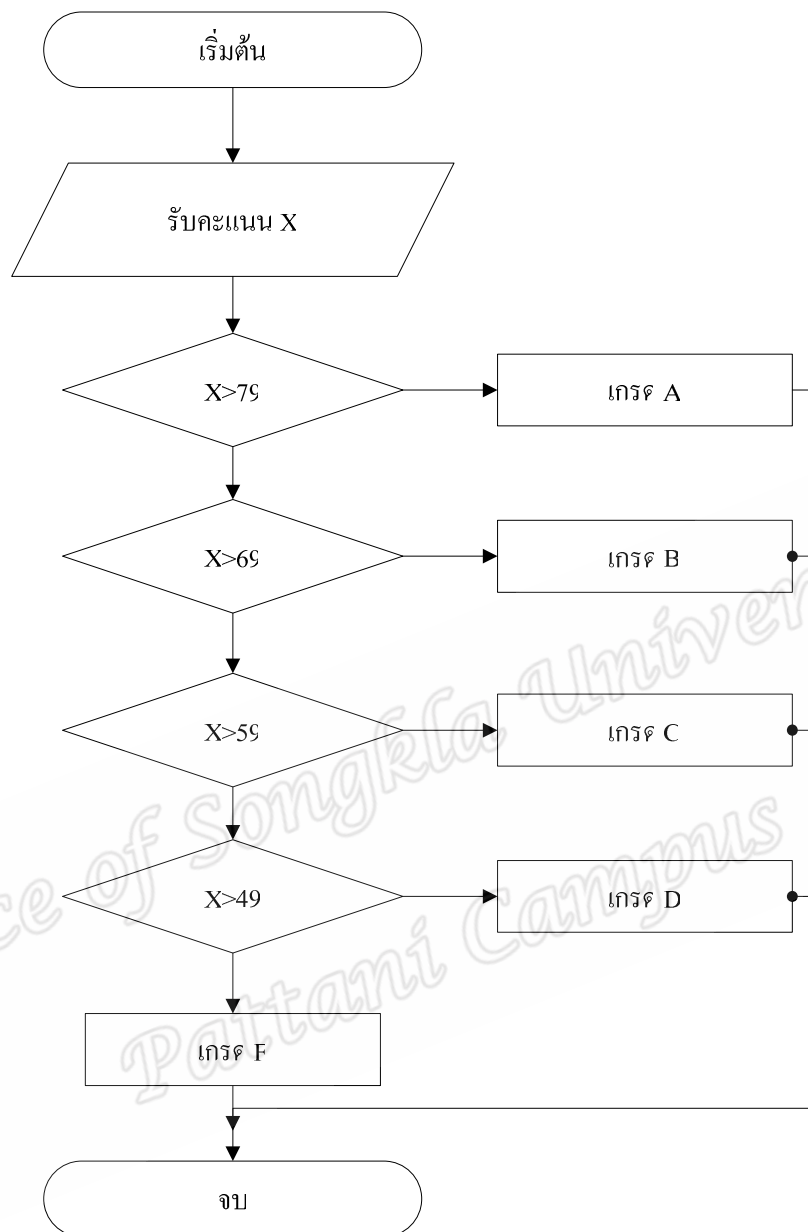
เป็นการทำงานแบบเรียงลำดับ ตั้งแต่ต้นจนจบ เป็นรูปแบบง่าย ๆ ไม่มีการเปรียบเทียบใด ๆ มีทิศทางการไหลของข้อมูลเพียงทางเดียว ซึ่งอาจจะเป็นแบบบนลงล่างหรือจากซ้ายไปขวาก็ได้

##### 2. รูปแบบที่มีการกำหนดเงื่อนไขหรือให้เลือก (Decision Structure)

รูปแบบนี้จะยากกว่ารูปแบบแรก เพราะจะมีการสร้างเงื่อนไขเพื่อให้เลือกทำงาน ถ้าหากเลือกทางใดก็จะไปทำงานในเงื่อนไขที่เลือก ซึ่งเงื่อนไขที่กำหนดขึ้นนี้จะเขียนอยู่ในสัญลักษณ์ "การตัดสินใจ" (แสดงดังรูปที่ 5)

##### 3. รูปแบบที่มีการทำงานแบบวนรอบ หรือ Loop (Iteration Structure)

การทำงานของรูปแบบนี้ จะเป็นการทำงานซ้ำ ๆ กัน หลาย ๆ ครั้งเท่าที่เราต้องการ (หรืออาจจะทำเพียงครั้งเดียว หรืออาจจะไม่มีการทำงานเลยก็ได้) ซึ่งการทำงานนี้จะขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่กำหนดให้ และจะมีการนำเอาลักษณะของการตัดสินใจมาช่วยว่าจะมีการทำงานซ้ำอีกหรือไม่



รูปที่ 5 ตัวอย่างผังงานของระบบงานตัดเกรดนักศึกษา

ที่มา: ชีรวัดน์ (2550)