



การผลิตน้ำมันปลาที่มีสาร โอเมก้า 3 พูฟาจากน้ำนิ่งปลาทูน่า  
Production of Fish Oil Containing Omega 3 PUFA from Tuna Condensate

สมบัติ รุ่งศิลป์  
Sombat Rungsilp

วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร  
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
Master of Science Thesis in Food Technology  
Prince of Songkla University  
2541

เลขหมู่..... 1P680.75 คม3 รสมี ๓๖  
Bib Key..... ๖๕1 ๖๖


ชื่อวิทยานิพนธ์ การผลิตน้ำมันปลาที่มีสารโอเมก้า 3 พูฟจากน้ำนิ่งปลาทูน่า

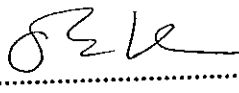
ผู้เขียน นายสมบัติ รุ่งศิลป์

สาขาวิชา เทคโนโลยีอาหาร

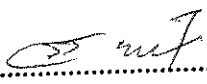
คณะกรรมการที่ปรึกษา

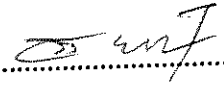
คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

.....ประธานกรรมการ

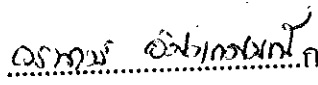
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หันพงษ์กิตติกุล) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หันพงษ์กิตติกุล)

.....กรรมการ

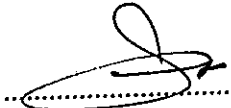
.....กรรมการ

(ดร.วันชัย วรวัฒนเมธีกุล)

(ดร.วันชัย วรวัฒนเมธีกุล)

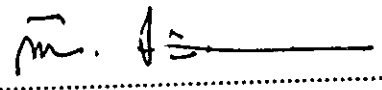
.....กรรมการ

(อาจารย์วรพงษ์ อัสวเกศมณี)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิมล ตันติไชยากุล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. ก้าน จันทรพรหมมา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์      การผลิตน้ำมันปลาที่มีสารโอเมก้า 3 พูฟจากน้ำนิ่งปลาทูน่า  
ผู้เขียน                นายสมบัติ รุ่งศิลป์  
สาขาวิชา              เทคโนโลยีอาหาร  
ปีการศึกษา            2541

### บทคัดย่อ

น้ำมันปลาที่ได้จากน้ำมันของน้ำนิ่งปลาทูน่ามีสีน้ำตาลดำ กลิ่นคาว มีความชื้น และสิ่งที่ระเหยได้ กรดไขมันอิสระและสารที่สaponifyไม่ได้ ร้อยละ 1.80, 1.51 และ 0.95 มีค่าเปอร์ออกไซด์และค่าไอโอดีนเป็น 16.29 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม และ 191.63 มีปริมาณเหล็กและฟอสฟอรัส 5.19 และ 30.39 ส่วนในล้านส่วน มี EPA และ DHA ร้อยละ 7.7 และ 28.4 ตามลำดับ เมื่อนำมาผลิตเป็นน้ำมันปลาสำหรับการบริโภค พบว่าสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตมีดังนี้ เริ่มต้นจากการกำจัดสารเหนียวโดยใช้กรด ซิตริกร้อยละ 0.15 ทำปฏิกิริยากับสารเหนียว 5 นาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ล้าง ด้วยน้ำปริมาณร้อยละ 2 เป็นเวลา 20 นาที นำไปเหวี่ยงแยกน้ำมันด้วยความเร็ว 4,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที การทำน้ำมันให้เป็นกลางด้วยการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 11.06 (16 องศาโบเม) ในปริมาณมากเกินไปร้อยละ 0.5 ทำปฏิกิริยา สบู่เป็นเวลา 5 นาที ปรับอุณหภูมิเป็น 70 องศาเซลเซียส ทันที จากนั้นปล่อยให้ตก ตะกอนแยกตัวที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง หลังจากเหวี่ยงแยกน้ำมันแล้ว เติม ค่างช้าโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 28.72 (40 องศาโบเม) ปริมาณ ร้อยละ 3 ทำปฏิกิริยาสบู่ 5 นาที และทำเช่นเดียวกับวิธีการทำให้เป็นกลางด้วยค่าง แล้ว จึงฟอกสีน้ำมันที่ได้ด้วยดินฟอกสีชนิดแอกติเวทเตดเอิร์ทปริมาณร้อยละ 5 เป็นเวลา 15 นาที อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ที่ความดันสูญญากาศ 27 นิ้วปรอท น้ำมันที่ผ่านการ ฟอกสีถูกนำไปแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเอ็กเซน สกัดส่วนน้ำมันต่อเอ็กเซน 1:1 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง กรองผลึก สเตียริน และระเหยเอ็กเซนออกจากน้ำมัน (โอลีน) ด้วยเครื่องระเหยสูญญากาศที่

อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จากนั้นบรรจุน้ำมันในชุดกำจัดกลิ่นโดยใช้อุณหภูมิกำจัด  
กลิ่น 190 องศาเซลเซียส ความดันสูญญากาศ 27 นิ้วปรอท พร้อมพ่นไอน้ำในปริมาณ  
ร้อยละ 3 ต่อชั่วโมง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง พบว่าน้ำมันหลังจากการกำจัดกลิ่นมีค่าสี  
เหลืองใส มีค่าสีโลวิบอนด์ 4.5R/51Y ความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ กรดไขมันอิสระ  
และสารที่สaponifyไม่ได้ ร้อยละ 0.05, 0.09 และ 0.39 มีค่าเปอร์ออกไซด์และค่า  
ไอโอดีนเป็น 0.29 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม และ 187.81 มีปริมาณเหล็กและ  
ฟอสฟอรัส 1.59 และ 37.78 ส่วนในล้านส่วน มี EPA และ DHA ร้อยละ 7.7 และ  
27.9 ตามลำดับ

เมื่อเก็บรักษาผลิตภัณฑ์น้ำมันปลาที่อุณหภูมิ 4 และ 10 องศาเซลเซียส และ  
อุณหภูมิห้อง เป็นเวลานาน 4 เดือน พบว่า ค่าเปอร์ออกไซด์และกรดไขมันอิสระเพิ่ม  
ขึ้นเล็กน้อย โดยการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 และ 10 องศาเซลเซียส มีค่าเปอร์ออกไซด์  
เป็น 2.21 และ 2.49 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม และมีกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.13 เท่า  
กัน แต่การเก็บที่อุณหภูมิห้องน้ำมันมีค่าเปอร์ออกไซด์เป็น 2.89 มิลลิกรัมสมมูลย์/  
กิโลกรัม และมีกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.19

การประเมินต้นทุนและผลผลิตพบว่า เมื่อใช้น้ำมันจากน้ำนิ่งปลาทูน่าจำนวน  
1.59 กิโลกรัม สามารถผลิตเป็นน้ำมันปลาได้ 1 กิโลกรัม โดยมีต้นทุนทางตรงของวัตถุดิบ  
และสารเคมีต่างๆคิดเป็นเงิน 61.41 บาท



**Thesis Title**      Production of Fish Oil Containing Omega 3 PUFA from  
                                 Tuna Condensate

**Author**             Mr. Sombat Rungsilp

**Major Program**   Food Technology

**Academic Year**    1998

### Abstract

The crude oil separated from tuna condensate had dark color with moisture and volatile matter, free fatty acid and unsaponifiable matter of 1.80, 1.51 and 0.95%, peroxide and iodine values of 16.29 Meq/kg and 191.63, iron and phosphorus contents of 5.19 and 30.39 ppm, EPA and DHA of 7.7 and 28.4%, respectively. The conditions for refining the crude oil to edible oil were studied in order to optimize the process. Crude oil was degummed by 0.15% citric acid at 40°C for 5 min and washed with 2% water for 20 min. The oil was separated from gum by centrifugation with the speed of 4,500 rpm. Degummed oil was neutralised by excess 0.5% of 11.06% NaOH (16°Be') for 5 min then increased the temperature to 70°C. The soap was set at room temperature for 10 h. After centrifugation the alkali refined oil was rerefined again by 3% of 28.72% NaOH (40°Be') for 5 min with the same conditions. Bleaching of the rerefined oil was done by adding 5% activated earth at 27 in vacuum and 90°C for 15 min. The bleached oil was fractionated by solvent crystallization method with oil to hexane ratio 1:1 (w/v) at 0°C for 24 h. Stearin crystal was separated form mother liquid by filtration. Then hexane was evaporated from the mother liquid by rotary vacuum evaporation at 50°C. The fractionated oil was deodorized at 190°C with adding steam 3% per h

at 27 in vacuum for 2 h. The deodorized oil had yellow color (lovibond 4.5R/51Y) with moisture and volatile matter, free fatty acid and unsaponifiable matter of 0.05, 0.09 and 0.39%, peroxide and iodine values of 0.29 Meq/kg and 187.81, iron and phosphorus contents of 1.59 and 37.78 ppm, EPA and DHA of 7.7% and 27.9%, respectively.

After storage the deodorized oil for 4 months at 4, 10 °C and room temperature, the peroxide value and free fatty acid increased slightly. The oil stored at 4 and 10 °C had peroxide value of 2.21 and 2.49 Meq/kg and both had 0.13% free fatty acid. While the oil stored at room temperature had peroxide value and free fatty acid of 2.89 Meq/kg and 0.19%.

When 1.59 kg crude oil was refined according to the optimized process it provided 1 kg deodorized oil. The direct cost for the raw material and chemicals using in the refining process was 61.41 bath per kg.

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรัญ หันพงศ์กิตติกุล ประธานกรรมการที่ปรึกษา ดร. วันชัย วรวัฒนเมธีกุล กรรมการที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำในการค้นคว้าวิจัยและเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และขอขอบพระคุณอาจารย์วรพงษ์ อัครเกษมณี กรรมการผู้แทนคณะอุตสาหกรรมเกษตร และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิมล คันติไชยากุล กรรมการผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอขอบพระคุณ Dr Sakayu Shimizu, Division of Applied Life Science, Kyoto University. ที่วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในตัวอย่างที่ได้จากการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และบริษัทสงขลา แคนนิ่งจำกัด มหาชน ที่ให้ทุนอุดหนุนการศึกษาค้นคว้าวิจัย และให้ความอนุเคราะห์ด้านวัสดุคืบ

ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ด้วยความเคารพยิ่ง ที่ปลูกฝังให้ข้าพเจ้าหมั่นศึกษาหาความรู้เพิ่มเติมเรื่อยมา และขอบคุณภรรยาที่ต้องรับภาระในการดูแลลูกๆ เป็นกำลังใจในการศึกษาและช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณเพื่อนๆ น้องๆ ในคณะทุกคนที่ช่วยเหลือ แนะนำ และให้กำลังใจข้าพเจ้าในระหว่างที่ศึกษาในระดับปริญญาโทนี้ด้วยดีเสมอมา

สมบัติ รุ่งศิลป์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(5)
กิตติกรรมประกาศ	(7)
สารบัญ	(8)
รายการตาราง	(11)
รายการตารางภาคผนวก	(13)
รายการภาพประกอบ	(16)
บทที่	
1 บทนำ	1
บทนำตั้งเรื่อง	1
ตรวจเอกสาร	3
1 ปลาทูน่า	3
2 ผลผลิตและกากทิ้งของอุตสาหกรรมผลิตปลาทูน่ากระป๋อง	4
③ ส่วนประกอบของน้ำมันที่ได้จากน้ำนิ่งปลาทูน่า	5
4 สารพิษตกค้างที่ตรวจพบในปลา	8
⑤ ประโยชน์ของน้ำมันปลาที่มีต่อสุขภาพ ✕	9
⑥ ความสัมพันธ์ระหว่าง EPA และ DHA ✕	12
⑦ ความต้องการกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง โอเมก้า 3 ✕	12
8 รูปแบบของน้ำมันปลาที่จำหน่ายทางการค้า	13
⑨ ขั้นตอนการทำน้ำมันปลาให้บริสุทธิ์	16
9.1 การกำจัดสารเหนียว	17
9.2 การทำให้เป็นกลางด้วยด่าง	19

## สารบัญ

	หน้า
9.3 การฟอกสี	21
9.4 การแยกส่วนไขมัน	24
9.5 การกำจัดกลิ่น	26
9.6 การเก็บรักษาน้ำมัน	28
10 การเสื่อมเสียของน้ำมัน	29
11 การควบคุมคุณภาพมาตรฐานของน้ำมันปลา	31
วัตถุประสงค์	33
2 วิธีการวิจัย	34
วัสดุ	34
อุปกรณ์	34
วิธีการดำเนินการ	37
1. ศึกษาคุณภาพของน้ำมันที่ได้จากน้ำนิ่งปลาทูน่า	37
2. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดสารเหนียว	37
3. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง	38
4. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการเติมด่างซ้ำ	39
5. ศึกษาปริมาณดินฟอกสีที่เหมาะสมสำหรับการฟอกสี	40
6. ศึกษาวิธีการแยกส่วนไขมัน	40
7. ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกำจัดกลิ่น	43
8. ศึกษาอุณหภูมิในการเก็บรักษาน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น	43
9. ศึกษาต้นทุนและผลผลิต	44

## สารบัญ

	หน้า
3. ผลและวิจารณ์	46
1. ผลการศึกษาคุณภาพของน้ำมันที่ได้จากน้ำนึ่งปลาทูน่า	46
2. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารหนึยว	50
3. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง	54
4. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเติมด่างซ้ำ	59
5. ผลการศึกษาปริมาณดินฟอสฟอรัสที่เหมาะสมในการฟอสฟอรัส	63
6. ผลการศึกษาวิธีการแยกส่วนไขมัน	69
7. ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกำจัดกลิ่น	77
8. ผลการศึกษาอุณหภูมิในการเก็บรักษาน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น	85
9. ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปลา	88
10. การประเมินผลผลิตน้ำมัน	94
11. การประเมินต้นทุน	99
4 สรุปผลการทดลอง	103
ข้อเสนอแนะ	106
เอกสารอ้างอิง	107
ภาคผนวก	117
ภาคผนวก ก ภาพโครมาโตแกรมของกรดไขมันในน้ำมันปลา	117
ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ทางเคมี	120
ภาคผนวก ค กรรมวิธีการผลิตน้ำมันปลาให้บริสุทธิ์	129
ภาคผนวก ง ตารางแสดงผลการทดลองที่ได้จากขั้นตอนการผลิตน้ำมัน และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ	132
ประวัติผู้เขียน	151

## รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ส่วนประกอบที่สำคัญของปลาทูน่าแต่ละสายพันธุ์	6
2 ปริมาณโคเลสเตอรอลและวิตามินเอที่พบในปลาทูน่า	8
3 ปริมาณ EPA และ DHA ของผลิตภัณฑ์น้ำมันปลาที่จำหน่ายในประเทศ สหรัฐอเมริกาและอังกฤษ	15
4 ดัชนีชี้วัดคุณภาพของน้ำมันปลาที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์	32
5 คุณสมบัติของน้ำมันที่ได้จากน้ำนิ่งปลาทูน่าเปรียบเทียบกับค่ากำหนด คุณภาพของน้ำมันปลาดิบ	49
6 ผลของสัดส่วนน้ำต่อไอโซโพรพานอลต่อการแยกชั้นของ โอลิอิน กับสเตอรินที่ผ่านการแยกส่วนไขมัน	71
7 ผลของสัดส่วนน้ำมันต่อตัวกลางต่อผลผลิต โอลิอินที่ผ่าน การแยกส่วนไขมัน	72
8 คุณสมบัติของน้ำมันที่ได้จากแต่ละขั้นตอนการผลิต	83
9 คุณสมบัติของน้ำมันปลาที่ผ่านการกำจัดกลิ่นของงานวิจัยต่างๆ และน้ำมันปลาที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์	84
10 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปลาที่ได้จาก แต่ละขั้นตอนการผลิต	91
11 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันของน้ำมันดิบที่ได้จากงานวิจัยต่างๆ	92
12 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น จากงานวิจัยต่างๆ	93
13 ผลผลิตน้ำมันที่ผ่านการกำจัดสารเหนียว	95
14 ผลผลิตน้ำมันที่ผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง	95
15 ผลผลิตน้ำมันที่ผ่านการเติมแต่งซ้ำ	96

## รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
16 ผลผลิตน้ำมันที่ผ่านการฟอกสี	96
17 ผลผลิตน้ำมันที่ผ่านการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน	97
18 ผลผลิตน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น	97
19 ผลผลิตน้ำมันที่ได้ในแต่ละขั้นตอนการผลิต	98
20 ต้นทุนทางตรงของการผลิตน้ำมันปลา 1 กิโลกรัม	102



กายการตารางภาคผนวก

	หน้า
1 ผลของการควบคุม.....ยวต่อปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมัน	132
2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมัน ที่ผ่านการกำจัดสารเหนียว	133
3 ผลของการกำจัดสารเหนียวต่อกรดไขมันอิสระของน้ำมัน	134
4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของกรดไขมันอิสระในน้ำมัน ที่ผ่านการกำจัดสารเหนียว	135
5 ผลของการทำให้เป็นกลางด้วยด่างต่อค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน	136
6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน ที่ผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง	136
7 ผลของการทำให้เป็นกลางด้วยด่างต่อปริมาณสบู่ในน้ำมัน	137
8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสบู่ในน้ำมัน ที่ผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง	137
9 ผลของการเติมด่างซ้ำต่อค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน	138
10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน ที่ผ่านการเติมด่างซ้ำ	138
11 ผลของการเติมด่างซ้ำต่อปริมาณสบู่ในน้ำมัน	139
12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสบู่ในน้ำมัน ที่ผ่านการเติมด่างซ้ำ	139
13 ผลของการฟอกสีต่อค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน	140
14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน ที่ผ่านการฟอกสี	140

รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
15 ผลของดินฟอสฟอรัสฟูลเลอร์เอิร์ทและดินฟอสฟอรัสแอกติเวทเตดเอิร์ท ต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่ผ่านการฟอสฟอรัส	141
16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมัน ที่ผ่านการฟอสฟอรัส	141
17 ผลของปริมาณดินฟอสฟอรัสแอกติเวทเตดเอิร์ทต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมัน ที่ผ่านการฟอสฟอรัส	142
18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมัน ที่ผ่านการฟอสฟอรัสด้วยดินฟอสฟอรัสแอกติเวทเตดเอิร์ท	142
19 ผลของการฟอสฟอรัสต่อกรดไขมันอิสระของน้ำมัน	143
20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของกรดไขมันอิสระของน้ำมัน ที่ผ่านการฟอสฟอรัส	143
21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนาแน่นของตัวกลาง	144
22 ผลของการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนต่อค่าไอโอดีนของน้ำมัน	144
23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไอโอดีนของน้ำมัน ที่ผ่านการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน	145
24 ผลของการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนต่อผลผลิตโอลิอิน	146
25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตโอลิอิน ที่ผ่านการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน	146
26 ผลของการกำจัดกลิ่นต่อค่าเปอร์ออกไซด์ กรดไขมันอิสระ และ ค่าสีไฟโตเมตริกของน้ำมัน	147

รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ กรดไขมันอิสระ และ ค่าสีไฟโตเมตริกของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น	148
28 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมัน ที่ผ่านการกำจัดกลิ่น	149
29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมัน ในระหว่างการเก็บรักษา	149
30 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อกรดไขมันอิสระของน้ำมัน ที่ผ่านการกำจัดกลิ่น	150
31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของกรดไขมันอิสระของน้ำมัน ในระหว่างการเก็บรักษา	150

## รายการภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
1 กระบวนการผลิตปลาทุ่นำกระป๋องและของเสียที่เกิดขึ้น ระหว่างการผลิต	7
2 ชุดฟอกสี	36
3 ชุดกำจัดกลิ่น	36
4 ผังแสดงขั้นตอนการศึกษา การผลิตน้ำมันปลาที่มีสาร โอเมก้า 3 พูฟา จากน้ำนิ่งปลาทุ่นำ	45
5 ผลของการกำจัดสารเหนียวต่อปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมัน	53
6 ผลของการกำจัดสารเหนียวต่อกรดไขมันอิสระของน้ำมัน	53
7 ผลของการทำให้เป็นกลางด้วยด่างต่อค่าสี โฟโตเมตริกของน้ำมัน	57
8 สีของน้ำมันที่ผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง	57
9 ผลของการทำให้เป็นกลางด้วยด่างต่อปริมาณสบู่ในน้ำมัน	58
10 ผลของการเติมด่างซ้ำต่อค่าสี โฟโตเมตริกของน้ำมัน	61
11 ผลของการเติมด่างซ้ำต่อปริมาณสบู่ในน้ำมัน	61
12 สีของน้ำมันที่ผ่านการเติมด่างซ้ำ	62
13 ผลของคินฟอกสีต่อค่าสี โฟโตเมตริกของน้ำมัน	67
14 สีของน้ำมันที่ผ่านการฟอกสี	67
15 ผลของปริมาณคินฟอกสีแอกติเวทแคเอิร์ทต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมัน	68
16 ผลของคินฟอกสีต่อกรดไขมันอิสระของน้ำมัน	68
17 การแยกชั้นของ โอลิอินและสเตอริน โดยวิธีการแยกส่วน ไขมัน โดยอาศัย ระดับชั้นความหนาแน่นของตัวกลาง	72

## รายการภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
18 ผลของการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนต่อค่าไอ โอดีน ของโอเลอิน	76
19 ผลของการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนต่อผลผลิตโอเลอิน	76
20 ผลของการกำจัดกลิ่นต่อค่าเปอร์ออกไซด์ กรดไขมันอิสระ และค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน	81
21 สีของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น	82
22 สีของน้ำมันที่ได้จากแต่ละขั้นตอนการผลิตน้ำมันให้บริสุทธิ์	82
23 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมัน ที่ผ่านการกำจัดกลิ่น	87
24 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อกรดไขมันอิสระของน้ำมัน ที่ผ่านการกำจัดกลิ่น	87
25 โครมาโตแกรมของกรดไขมันในน้ำมันจากน้ำนิ่งปลาทูน่า	117
26 โครมาโตแกรมของกรดไขมันในน้ำมันที่ผ่านการฟอกสี	118
27 โครมาโตแกรมของกรดไขมันในน้ำมันที่ผ่านการแยกส่วนไขมัน โดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน	118
28 โครมาโตแกรมของกรดไขมันในน้ำมันที่ผ่านการแยกส่วนไขมัน โดยอาศัยระดับชั้นความหนาแน่นของตัวกลาง	119
29 โครมาโตแกรมของกรดไขมันในน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น	119

## บทที่ 1

### บทนำ

#### บทนำต้นเรื่อง

ในปี พศ.2538 ประเทศไทยผลิตปลาทูน่ากระป๋องส่งออกเป็นจำนวน 284,053 ตัน (สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2540) ในกระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋องทำให้เกิดผลผลิตและกากทิ้ง ซึ่งส่วนของกากทิ้งมีไขมันปนอยู่ในน้ำนิ่งปลาปริมาณร้อยละ 0.1 หรือ ร้อยละ 0.02 ของน้ำหนักปลาสด (สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ, 2538)

สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ (2538) ทำการวิจัยเรื่องการพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าของเหลือใช้ในอุตสาหกรรมปลากระป๋อง การผลิต polyunsaturated fatty acids (PUFA) จากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมปลากระป๋อง พบว่าน้ำมันจากน้ำนิ่งปลาทูน่ามีส่วนประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 ร้อยละ 29.5-36.5 โดยเป็นชนิด eicosapentaenoic acid (EPA) ร้อยละ 4.4-6.7 และเป็นชนิด docosahexaenoic acid (DHA) ร้อยละ 22.5-26.9 จากรายงานการศึกษาบทบาทและความสำคัญของ EPA และ DHA ต่อร่างกายมนุษย์ พบว่าสามารถใช้ป้องกันโรคหัวใจขาดเลือด ลดปริมาณไขมันในเส้นเลือด (Norum, 1992) ใช้ป้องกันโรคความดันโลหิตสูง ลดอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรค มะเร็ง ใช้รักษาโรคผิวหนังชนิด psoriasis ใช้ลดอาการปวดบวมอักเสบจากโรคข้อกระดูก (Drevon, 1992) เป็นส่วนประกอบสำคัญของเนื้อเยื่อสีเทา (gray matter) ในสมอง และของจอประสาทตา (Connor, et al. 1992) ในขณะนี้ได้มีการนำ DHA มาใช้เป็นส่วนผสมในอาหารเสริมเลี้ยงทารกที่คลอดก่อนกำหนด เพื่อป้องกันการขาดกรดไขมันสายยาวชนิดไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 (very long chain n-3 polyunsaturated fatty acids, VLC n-3 PUFA) (จงจิตร อัครทวนิช, 2538) เนื่องจากน้ำมันปลามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 และจากประโยชน์ดังกล่าวข้างต้น ทำให้มีผู้สนใจที่จะแยกน้ำ

มันปลาให้มีความบริสุทธิ์และเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 ให้มีปริมาณสูงขึ้น เพื่อนำมาใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพ (Bimbo, 1990) หรือนำไปผสมกับอาหารเลี้ยงทารก (จงจิตร อังคทะวานิช, 2538)

การทำน้ำมันปลาให้บริสุทธิ์ด้วยวิธีดั้งเดิมคือการทำเป็นกลางด้วยด่าง (Kinsella, 1987a) โดยใช้ร่วมกับ การกำจัดสารเหนียว การล้างสบู่และระเหยน้ำ การฟอกสี การแยกส่วนไขมันโดยการตกผลึก และการกำจัดกลิ่น (Bimbo, 1991) โดยขั้นตอนเหล่านี้จะช่วยกำจัดสารปนเปื้อนที่ทำให้เกิดสี กลิ่นรสที่ไม่ต้องการ หรือสารที่อาจเป็นอันตรายต่อการบริโภค (Chang, 1967 อ้างโดย Bimbo, 1990) การวิจัยครั้งนี้มุ่งศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมของขั้นตอนต่างๆสำหรับการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ โดยใช้น้ำมันที่แยกจากน้ำนิ่งปลาทูน่าในกระบวนการผลิตน้ำสกัดเข้มข้นจากปลาของบริษัทสงขลาแดนนิ่งจำกัด มหาชน จังหวัดสงขลา ทำให้น้ำมันมีความบริสุทธิ์และเพิ่มความเข้มข้นของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง มีคุณสมบัติทางเคมี กายภาพเป็นที่ยอมรับ และใช้เป็นแนวทางในการผลิตน้ำมันปลาเพื่อเป็นอาหารเสริมสุขภาพต่อไป

## ตรวจเอกสาร

### 1. ปลาทูน่า

ปลาทูน่าหรือปลาโอมีชื่อเรียกต่างกันไป เช่น Tunnus , Bonito ,Thons เป็นปลากระดูกแข็งจัดอยู่ในประเภทปลาฉลาม ออกหากินเป็นฝูง เคลื่อนที่ว่องไว มีกล้ามเนื้อแข็งแรง อาศัยอยู่ตามบริเวณชายฝั่งและเขตนํ้าลึก กินอาหารประเภทแพลงตอน บางพันธุ์กินเนื้อ เช่น ปลา ปลาหมึก กุ้ง ปลาทูน่าจัดอยู่ในครอบครัว Scombroidea วงศ์ Thunnidae ตามหลักของ Romer (วิมล เหมะจันทร์, 2528)

องค์ประกอบทางเคมีของกล้ามเนื้อปลาทูน่า ปลาทูน่าจัดเป็นปลาที่มีไขมันต่ำ (น้อยกว่าร้อยละ 5) แต่มีโปรตีนสูง (มากกว่าร้อยละ 15) ปริมาณของไขมัน โปรตีน และสารอื่นๆในปลาทูน่ามีความแตกต่างกันตามสายพันธุ์ แสดงดังตารางที่ 1 กล้ามเนื้อปลาทูน่าแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ กล้ามเนื้อสีขาว (ordinary muscle) และกล้ามเนื้อสีเข้ม (dark muscle) โดยทั่วไปปลาทูน่ามีปริมาณกล้ามเนื้อสีเข้มมากกว่าร้อยละ 12 ของกล้ามเนื้อทั้งหมด พบอยู่ตามเส้นข้างลำตัว (Stansby, 1982)

นงลักษณ์ สุทธิวานิช (2531) รายงานลักษณะสำคัญของปลาทูน่าที่นำมาแปรรูปมีลักษณะสำคัญดังนี้

ปลาทูน่าพันธุ์โอแถบ (skipjack tuna) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Ketsuwona pelamis* ลำตัวค่อนข้างกลม ความยาวโดยเฉลี่ย 40-80 เซนติเมตร มีแถบยาวสีดำนํ้าเงินและสีม่วงบริเวณลำตัวได้ห้องจนถึงบริเวณหาง ลำตัวด้านบนมีจุดสีดําเล็กกระจายตลอดตามความยาว

ปลาทูน่าพันธุ์ครีบเหลือง (yellowfin tuna) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Thunnus albacores* รูปร่างคล้ายกระสวย ลำตัวท่อนหัวโต ความยาวโดยเฉลี่ย 50-150 เซนติเมตร มีกล้ามเนื้อหนา ส่วนหัวสีนํ้าเงินดำ พื้นท้องสีเหลืองและสีนํ้าเงิน มีจุดประทั่วไป

ปลาทูน่าพันธุ์ครีบขาว (albacore tuna) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Thunnus alalunga* ความยาวโดยเฉลี่ย 40-100 เซนติเมตร ปลาครีบหางสีขาว เนื้อสีขาว



ปลาทูน่าพันธุ์โอลาย (eastern little tuna) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Euthynus affinis* มีความยาวโดยเฉลี่ย 50-60 เซนติเมตร เส้นข้างลำตัวมีสีน้ำเงินเข้มและมีลวดลายสีคำเดียวกับลำตัว

ปลาทูน่าพันธุ์โอคำ (longtail tuna) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Thunnus tonggol* เป็นปลาตัวน้ำ ลำตัวยาวเพรียว ความยาวโดยเฉลี่ย 40-70 เซนติเมตร ครีบฝอยของครีบหลังและครีบก้นมีสีเทาแกมเหลือง

นอกจากนี้ยังมีพันธุ์ปลาทูน่าที่พบมากในน่านน้ำของประเทศสหรัฐอเมริกาคือ ปลาทูน่าพันธุ์ครีบน้ำเงิน (bluefin tuna) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Thunnus thynnus* ปลาทูน่าครีบน้ำเงินนี้จะถูกผลิตเป็นน้ำมันปลาและใช้เป็นปลาสำหรับการบริโภค ส่งออกไปยังประเทศญี่ปุ่น (Kinsella, 1987b)

## 2. ผลผลิตและกาถึงของอุตสาหกรรมผลิตปลาทูน่ากระป๋อง

Prasertsan และคณะ (1989) ได้สำรวจวัสดุเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเล พบว่าการแปรรูปปลาทูน่ากระป๋องใช้วัตถุดิบสูงถึง 135 ตันต่อวัน จากจำนวนโรงงานแปรรูปปลาทูน่าในเขตจังหวัดสงขลา 4 โรงงาน โดยได้ผลผลิตเฉลี่ยร้อยละ 35 ที่เหลือจัดเป็นเศษวัสดุ แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ

1. วัสดุเศษเหลือที่เป็นของแข็ง พบว่ามีปริมาณร้อยละ 25-30 ของวัตถุดิบ เป็นเศษกระดูก หัวและหนังปลาร้อยละ 20-24 และเศษเนื้อปลาทูน่าที่มีขนาดเล็กปนอยู่
2. วัสดุเศษเหลือที่เป็นของเหลว มีปริมาณร้อยละ 30-35 ส่วนใหญ่โรงงานแปรรูปไม่นำไปใช้ประโยชน์ โดยเป็นน้ำเลือดร้อยละ 7 น้ำนึ่งปลาร้อยละ 10-14 ซึ่งในน้ำนึ่งปลามีสารประกอบอินทรีย์ที่สำคัญ อาจนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น โปรตีน ไขมัน เอนไซม์และวิตามิน

สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ (2538) ได้สรุปกระบวนการผลิตปลาทูน่ากระป๋อง (แสดงผังภาพที่ 1) ทำให้เกิดผลผลิตและกาถึงได้แก่ เนื้อปลาร้อยละ 35 หัว หาง ก้าง และหนังปลาร้อยละ 28-30 เครื่องในปลาร้อยละ 5-7 เลือดปลาร้อยละ 10-12 ส่วนที่ สูญ

เสียระหว่างการนึ่งปริมาณร้อยละ 20 ซึ่งประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน โดยมีไขมันร้อยละ 0.1 ของน้ำหนักปลา หรือร้อยละ 0.02 ของน้ำหนักพลาสติก

### 3. ส่วนประกอบของน้ำมันที่ได้จากน้ำนิ่งปลาทูน่า

สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ (2538) ได้เก็บตัวอย่างน้ำมันจากน้ำนิ่งปลา โดยตัดส่วนของน้ำมันที่ลอยขึ้นมาหลังจากตั้งทิ้งไว้ 5 ชั่วโมง นำมาเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นวิเคราะห์หาองค์ประกอบของน้ำมัน พบว่าในน้ำมันปลามีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 ปริมาณร้อยละ 29.5-36.5 ซึ่งเป็นกรดไขมันชนิด EPA ร้อยละ 4.4-6.7 และชนิด DHA ร้อยละ 22.5-26.9

ส่วนประกอบอื่นในน้ำมันที่พบมากรองลงมาจากไขมันในรูปไตรกลีเซอไรด์คือ สารฟอสฟาไทด์ ซึ่งสารฟอสฟาไทด์ในกล้ามเนื้อสีขาวยังมีปริมาณร้อยละ 0.3-0.6 โดยประกอบด้วย ซีฟาลินร้อยละ 23 เลซิทีนร้อยละ 25 สฟิงโกไมอีลินร้อยละ 8 และฟอสฟออีโนซิไทด์ร้อยละ 2 (Sonntag, 1979a) นอกจากนี้ยังมีสารอื่นที่พบในน้ำมันปลาได้แก่ ไฮโครคาร์บอน สเตอรอล วิตามิน และรงควัตถุ (Stansby, 1982) โดยสเตอรอลที่พบส่วนใหญ่คือโคเลสเตอรอล ในปลาทูน่าพบปริมาณ 40-55 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักปลา 100 กรัม วิตามินเอพบปริมาณ 10,000-200,000 หน่วยสากลต่อน้ำหนักน้ำมัน 100 กรัม ดังแสดงในตารางที่ 2 และวิตามินอีพบปริมาณ 16 มิลลิกรัมต่อน้ำหนัก 1 กรัมของน้ำมัน (Kinsella, 1987c)

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบที่สำคัญของปลาทูน่าแต่ละสายพันธุ์

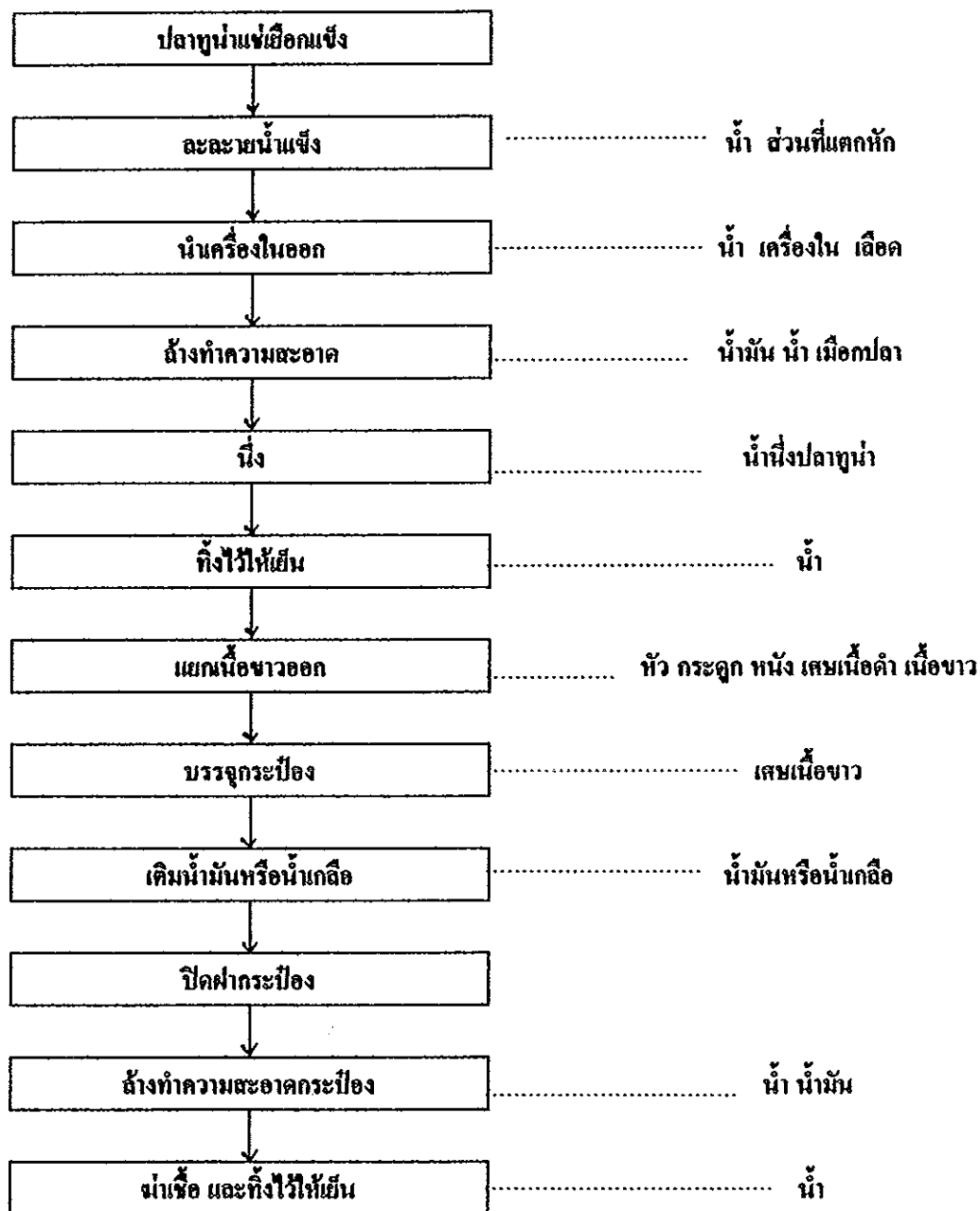
น้ำหนักของสารอาหาร (กรัมต่อ100กรัม)	พันธุ์ปลาทูน่า		
	ครีบบยาว	โอแถบ	ครีบทะเล
โปรตีน	25.82	22.61	23.38
ไขมัน(total lipid)	4.91	1.85	0.84
คาร์โบไฮเดรต	*	4.18	3.98
เด้า	1.48	1.30	1.34
กรดไขมันอิ่มตัว	1.37	0.70	0.27
C 16:1	0.25	0.08	0.03
C 18:1 n-9	0.88	0.28	0.13
C 20:1 n-9	0.14	0.04	0.01
C 22:1 n-9	0.08	0.01	0.02
C 18:2 n-6	0.10	0.03	0.01
C 18:3 n-3	0.17	0.01	*
C 18:4 n-3	0.09	0.01	0.01
C 20:4 n-6	0.11	0.06	0.03
C 20:5 n-3	0.38	0.15	0.04
C 22:5 n-3	0.03	0.03	0.02
C 22:6 n-3	1.10	0.40	0.21
total monounsaturated			
fatty acid	1.34	0.40	0.18
total polyunsaturated			
fatty acid	1.98	0.67	0.33

\* ไม่มีข้อมูล

ที่มา : คัดแปลงจาก Kinsella (1987)b

## กระบวนการผลิตปลาทุ่นำกระป๋อง

## ของเสียระหว่างกระบวนการผลิต



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตปลาทุ่นำกระป๋องและของเสียที่เกิดขึ้นระหว่างการผลิต  
ที่มา : สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ (2538)

## ตารางที่ 2 ปริมาณโคเลสเตอรอลและวิตามินเอที่พบในปลาทUNA

ชนิดปลาทUNA	ปริมาณโคเลสเตอรอล (มก.ต่อน้ำหนักปลา 100 กรัม)	ปริมาณวิตามินเอ (หน่วยสากลต่อน้ำมัน 100 กรัม)
ทูน่าครีบบาว	54.0	10,000-60,000
ทูน่าโอแถบ	38.0	30,000-60,000
ทูน่าครีบน้ำเงิน	47.0	25,000-100,000
ทูน่าครีบลีอง	45.0	20,000-200,000

ที่มา : ดัดแปลงจาก Kinsella (1987c)

### 4. สารพิษตกค้างที่ตรวจพบในปลา

สารพิษตกค้างกลุ่มสารกำจัดแมลงออร์กาโนคลอรีน (organochlorine) และสารโพลีคลอรีเนตเตด ไบเฟนิล (polychlorinated biphenyls, PCB) สารเหล่านี้สามารถสะสมได้ในชั้นไขมันของปลา โดยปลาแซลมอน ปลาแซลมอน ปลาแมคเคอเรล และปลาทUNA พันธุ์ต่างๆ ในน่านน้ำของประเทศแคนาดาได้ถูกตรวจหาปริมาณสารดีดีทีและ PCB พบว่ามีปริมาณสูงกว่า 0.1 ไมโครกรัมต่อน้ำหนัก 1 กรัม โดยที่ปลาทUNA ครีบน้ำเงินมีปริมาณสารดีดีทีและ PCB ตกค้างสูงสุดในปริมาณ 3.9 และ 3.1 ไมโครกรัมต่อน้ำหนัก 1 กรัม ตามลำดับ (Kinsella, 1987d)

Elson และคณะ (1981) ได้ทำการตรวจสอบโลหะหนักในน้ำมันดิบของปลาเมนฮาดินโดยวิธีการย่อยตัวอย่างแบบเปียก (wet digestion) พบว่ามีปริมาณของสังกะสี แคดเมียม ตะกั่ว ทองแดง และสารหนู ปริมาณ 64.9, 0.04, 0.32, 0.23 และ 10.4 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ซึ่งในสภาพแวดล้อมที่เป็นน้ำ โลหะหนักจะมีรูปแบบเป็นไอออนเชิงเดี่ยว ไอออนเชิงซ้อน หรืออาจรวมตัวกับสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ทำให้มีลักษณะคล้ายสารแขวนลอย (Kinsella, 1987d)

## 5. ประโยชน์ของน้ำมันปลาที่มีต่อสุขภาพ

เมื่อประมาณ 70 ปีที่ผ่านมา มีการศึกษาความจำเป็นของไขมันต่อการเจริญเติบโตของหนู โดยทดลองงดอาหารไขมัน ผลปรากฏว่าหนูมีการเจริญเติบโตไม่ดี การสืบพันธุ์ล้มเหลว เกิดโรคไต โรคตับ หนักและหางเกิดบาดแผล เนื่องจากหนูเหล่านี้ขาดสารอาหารที่สำคัญคือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 6 ได้แก่ กรดไลโนลินิก ซึ่งพบได้ในน้ำมันพืช ต่อมาพบว่ามีการค้นพบกรดไขมันที่สำคัญอีกกลุ่มหนึ่งคือ กรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 ได้แก่ กรดไขมันไลโนลินิก EPA และ DHA โดยอาหารที่มีกรดไขมันเหล่านี้ได้แก่น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันปลา ผักใบสีเขียว สำหรับ EPA และ DHA พบมากในพืชใต้ทะเลและไฟโตแพลงตอน สามารถถ่ายทอดเป็นห่วงโซ่อาหารไปยังสัตว์น้ำชนิดอื่น เช่น ปลา หอย กุ้ง โดย DHA เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์ฟอสโฟไลปิดของอวัยวะที่สำคัญได้แก่ สมอง จอตา สเปิร์ม กล้ามเนื้อหัวใจ (Connor, et al. 1992)

Dyerberg และ Bang (1979, อ้างโดย Norday, 1992) ได้ศึกษาระบาดวิทยาของประชากรชาวประมงเอสกีโมที่อยู่ในกรีนแลนด์ พบว่าอัตราการเกิดโรคกล้ามเนื้อหัวใจตายแบบเฉียบพลัน โรคหอบ โรคผิวหนังอักเสบชนิด psoriasis ต่ำกว่าประชากรที่อยู่ในยุโรปตะวันตกเป็นอย่างมาก สาเหตุของความแตกต่างมีความสัมพันธ์กับการบริโภคอาหารไขมันของประชากร โดยชาวเอสกีโมได้รับประทานอาหารจำพวกปลาและสัตว์น้ำในทะเลที่มี EPA และ DHA ปริมาณสูงเป็นประจำ เทียบได้เท่ากับการบริโภค EPA และ DHA ประมาณวันละ 5-10 กรัม

บทบาทสำคัญของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง โอเมก้า 3 สามารถสรุปได้ดังนี้

(1) ผลต่อการลดระดับไขมันในเส้นเลือด

น้ำมันปลามีผลต่อการลดระดับไตรกลีเซอไรด์และระดับ very low density lipoprotein (VLDL) ในผู้ป่วยที่มีระดับไขมันในเส้นเลือดสูงชนิด 2B และชนิด 5 เมื่อรับประทานน้ำมันปลาที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 ขนาด 4.5-30 กรัมต่อวัน เป็นเวลา 1-3 เดือน โดยน้ำมันปลามีผลลดการสังเคราะห์ไตรกลีเซอไรด์และ apolipoprotein B จากตับของมนุษย์ (Leaf and Weber, 1988) นอกจากนี้พบว่า น้ำมันปลามีผลต่อการ

ลดระดับไตรกลีเซอไรด์ในเลือดของมนุษย์หลังจากได้บริโภคอาหารไขมันไปแล้ว 2 ชั่วโมง (postprandial lipemia) โดยเปรียบเทียบผลจากกลุ่มทดลองก่อนและหลังการบริโภคน้ำมันปลาเป็นเวลา 1 เดือน คาดว่าน้ำมันปลามีผลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของ chylomicron (Symor, 1984) ซึ่ง chylomicron มีหน้าที่ขนถ่ายไตรกลีเซอไรด์จากอาหารนำไปเผาผลาญให้พลังงานแก่ร่างกาย (วิชัย ตันไพจิตร, 2540)

### (2) ผลต่อระบบหลอดเลือดและหัวใจ

กรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 มีผลในการป้องกันโรคหลอดเลือดแข็งตัวโดยมีผลลดความหนืดของเลือดด้วยกลไกเพิ่มความอ่อนตัวของผนังเซลล์เลือดแดงจึงทำให้เซลล์เลือดนำออกซิเจนไปเลี้ยงเนื้อเยื่อที่มีเส้นเลือดขนาดเล็กๆ ได้ นอกจากนี้กรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำลายไฟบรินด้วยตัวเองของเกร็ดเลือด (endogenous fibrinolytic activator) และทำให้ลดระดับความดันโลหิตในคนปกติและผู้ป่วยความดันโลหิตสูงในระยะเริ่มต้น (Leaf and Weber, 1988)

Lands และ Hock (1987 อ้างโดย Leaf and Weber, 1988) ได้ศึกษาเรื่องภาวะการขาดเลือดหล่อเลี้ยงเซลล์กล้ามเนื้อ โดยทำลายหลอดเลือดเลี้ยงหัวใจของสุนัขและหนูพบว่าสัตว์ทดลองที่เลี้ยงด้วยน้ำมันปลามีกล้ามเนื้อหัวใจตายน้อยกว่ากลุ่มควบคุมโดยมีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และมีการทดลองภาวะการขาดเลือดไปเลี้ยงสมอง โดยทำลายหลอดเลือดแดงที่หล่อเลี้ยงสมองของแมว พบว่าแมวที่เลี้ยงด้วยน้ำมันปลามีพื้นที่เซลล์สมองตายแล้วขนาดเล็กกว่ากลุ่มควบคุม

### (3) ผลต่อเมตาบอลิซึมและการทำงานของ eicosanoid

สาร Eicosanoid เป็นสารชีวภาพที่สร้างขึ้นได้ในร่างกายโดยเริ่มจากสารตั้งต้นคือกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงที่สำคัญได้แก่ กรดอารักชิโคนิกซึ่งพบในบริเวณผนังเซลล์เมมเบรนฟอสโฟไลปิดสามารถเปลี่ยนเป็นสาร eicosanoid เช่น prostagladins, prostacyline thromboxane A2 และ leukotrienes

สาร eicosanoid เป็นสารที่สามารถตรวจพบได้ทุกเนื้อเยื่อและในของเหลวของร่างกาย สารเหล่านี้จะถูกกระตุ้นให้สร้างเพิ่มขึ้นได้หลายรูปแบบ และมีผลอย่างกว้าง

ขวางต่อเนื้อเยื่อในร่างกาย (Campbell, 1990) โดยเฉพาะระบบการไหลเวียนโลหิต ระบบประสาท ระบบกล้ามเนื้อและระบบภูมิคุ้มกัน (Scott, 1989)

ในเนื้อเยื่อปกติ สาร eicosanoid ถูกจะสร้างในปริมาณที่น้อยมาก (picomole) อย่างไรก็ตามหากมีการกระตุ้นเนื้อเยื่อจะทำให้มีการสร้างสารเหล่านี้เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเกิดผลต่อการขยายตัวของโรคต่างๆได้ เช่น โรคหลอดเลือดแข็งตัว หลอดเลือดอุดตัน หอบหืด อาการอักเสบของเนื้อเยื่อ และอาจเกี่ยวข้องกับการขยายตัวของโรคมะเร็งและเนื้องอก (Kinsella, 1987e)

EPA และ DHA สามารถเป็นสารตั้งต้นของสาร eicosanoid ได้ โดยใช้วิธีการสร้างสาร eicosanoid เช่นเดียวกับกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงชนิดโอเมก้า 6 ที่ได้จากกรดอารักชิโคนิก แต่สาร eicosanoid ที่ได้จาก EPA มีประสิทธิภาพการทำงานต่ำกว่าที่ได้จากกรดอารักชิโคนิก โดยเฉพาะผลของการเพิ่มระดับความดันโลหิต ปฏิกริยาการอักเสบของเนื้อเยื่อ การทำงานของเกร็ดเลือด (Drevon, 1992)

#### (4) ผลต่อตาและสมอง

Connor และคณะ (1992) ได้ศึกษาความสำคัญของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 ต่อตาและสมองของลูกลิง พบว่าลูกลิงที่คลอดจากแม่ลิงที่ขาดสารอาหารกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 ในระหว่างตั้งครรภ์ มีปริมาณของ DHA ที่จอตาและในสมองส่วนซีรีบรัมคอร์เทกซ์ต่ำกว่าลูกลิงในชุดควบคุมประมาณร้อยละ 50 และร้อยละ 75 ตามลำดับ และลูกลิงที่มีปริมาณ DHA ต่ำ จะมีปริมาณ DHA จอตาและสมองเพิ่มขึ้นร้อยละ 30 และร้อยละ 20 ตามลำดับ หลังจากมีอายุได้ 2 ปี แต่อย่างไรก็ตามปริมาณ DHA ที่ตรวจพบจะต่ำกว่าลิงในชุดควบคุมอย่างมาก และเมื่อนำลิงอายุ 4, 8 และ 12 สัปดาห์ มาทดสอบความสามารถในการมองเห็น พบว่าการมองเห็นของลิงที่ขาดกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าลิงในชุดควบคุมโดยมีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และลูกลิงที่มี DHA ในสมองต่ำจะมีความหิวกระหายสูง

ผลต่อการเรียนรู้ของหนูขาว จากการศึกษาของ Yamamoto และคณะ (1987, อ้างโดย จงจิตร อังคทะวานิช, 2538) พบว่าหนูขาวที่ได้รับสารอาหารที่มีสัดส่วนของ



กรดไลโนลิกต่อกรดไลโนลินิกสูง (270:1) มีปริมาณ DHA ในสมองต่ำ และมีระดับความสามารถในการเรียนรู้ต่ำกว่าหนูในกลุ่มควบคุมที่ได้รับกรดไขมันในสัดส่วน 0.2:1.0

## 6. ความสัมพันธ์ระหว่าง EPA และ DHA

จากการศึกษาของ Terano (1983), Schacky (1985) และ Fisher (1987) (อ้างโดย Leaf and Weber, 1988) พบว่า

(1) เมื่อบริโภค EPA ระดับของ EPA ในพอสฟอไลปิดสูงขึ้นและสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นโมเลกุลกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีจำนวนคาร์บอนเพิ่มขึ้นเป็น DPA (C22:5 n-3) แต่ไม่สามารถเพิ่มความไม่อิ่มตัวเป็น DHA (C22:6 n-3) ในระยะเวลาสั้นๆ

(2) DHA ที่บริโภคเข้าไปสามารถเปลี่ยนเป็น EPA ได้ภายใน 2-4 ชั่วโมง ซึ่ง EPA ที่ได้สามารถเกิดเมตาบอลิซึมเปลี่ยนเป็น prostacycline ได้

(3) EPA และ DHA สามารถยับยั้งการแข็งตัวของเกร็ดเลือด และ EPA เพิ่มระยะเวลาการแข็งตัวของเลือด จึงทำให้เลือดมีความหนืดลดลงและมีผลทำให้เม็ดเลือดแดงมีความยืดหยุ่นดีขึ้น

(4) DHA พบทั่วไปในทุกเนื้อเยื่อ โดยมีปริมาณร้อยละ 20-40 ของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของผนังเซลล์พอสฟอไลปิด และพบปริมาณสูงมากกว่า EPA เป็นจำนวนมาก จึงอาจเป็นไปได้ว่า DHA เป็นแหล่งสะสมที่สำคัญของ EPA

## 7. ความต้องการของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3

การศึกษาทางคลินิกเพื่อประเมินคุณสมบัติของน้ำมันปลาโดยทั่วไป จะใช้น้ำมันปลาขนาด 10-40 กรัมต่อวัน ซึ่งการทำงานของเกร็ดเลือดจะลดลงเมื่อใช้ EPA ขนาด 1-2 กรัมต่อวัน เปรียบเทียบเป็นการบริโภคน้ำมันปลาประมาณ 10-20 กรัมต่อวัน (Holub, 1990)

Shekelle (1985, อ้างโดย Leaf and Weber, 1988) ได้ประเมินความเป็นไปได้ของการบริโภคกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 โดยควรบริโภคปริมาณน้อย แต่ให้บริโภคเป็นเวลานาน จะให้ผลเช่นเดียวกับการบริโภคในปริมาณมาก (มากกว่า 4 กรัมต่อวัน) แต่ใช้เวลาสั้น และเพื่อให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 มีประโยชน์ต่อสุขภาพอย่างสมบูรณ์ ผู้บริโภคควรพิจารณาถึงสัดส่วนของปริมาณการบริโภคกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 6 และกรดไขมันอิ่มตัวควบคู่ไปด้วย (Kinselle, 1987e)

ในปี ค.ศ.1990 ประเทศแคนาดาเป็นประเทศแรกที่ได้กำหนดค่าความต้องการกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 โดยแยกออกจากความต้องการของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 6 ซึ่งความต้องการของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 ในทารก 0-12 เดือน คือ 0.5 กรัมต่อวัน ในบุคคลอายุ 25-49 ชายและหญิง คือ 1.5 และ 1.1 ตามลำดับ และสำหรับหญิงที่ให้นมบุตรควรบริโภคเพิ่มขึ้นอีก 0.25 กรัมต่อวัน สำหรับเด็กทารกที่คลอดก่อนกำหนดควรได้รับกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 ในรูป DHA หรือ DHA รวมกับ EPA ในปริมาณ 35-75 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักกิโลกรัมต่อวัน และควรมีอัตราส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 6 ต่อโอเมก้า 3 เป็นสัดส่วน 5:1 (จงจิตร อังคทะวานิช, 2538)

#### 8. รูปแบบของน้ำมันปลาที่จำหน่ายในทางการค้า

น้ำมันปลาที่ผลิตขึ้นมาเป็นอาหารเสริมสุขภาพ โดยทั่วไปบรรจุในแคปซูลขนาด 1 มิลลิลิตร ประกอบด้วย EPA และ DHA มีปริมาณรวมกันประมาณ 300 มิลลิกรัม (Leaf and Weber, 1988) แต่บางผลิตภัณฑ์สามารถเพิ่มความเข้มข้นให้มีปริมาณ EPA และ DHA รวมกันเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อกรัม โดยอยู่ในรูปเอทิลหรือเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Ackman, 1988)

ในช่วงระหว่างปี ค.ศ.1984-1988 Ackman และคณะ (1989) ได้ศึกษาคุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำมันปลาที่บรรจุในแคปซูลจำนวน 17 รายการ แสดงคังตารางที่ 3 โดยวิเคราะห์หาปริมาณ EPA และ DHA ด้วย gas liquid chromatography ในคอลัมน์

SUPELCOWAX-10 ใช้ methyl tricosanoate เป็น internal standard พบว่าผลิตภัณฑ์น้ำมันปลาในรูปแบบของอัลคิลเอสเทอร์และกรดไขมันอิสระมีปริมาณ EPA และ DHA อยู่ในช่วง 259-300 และ 172-254 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ ขณะที่ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบไตรกลีเซอไรด์มีปริมาณของ EPA และ DHA แตกต่างกันอยู่ในช่วง 80-250 และ 78-156 มิลลิกรัมต่อกรัม

น้ำมันปลาที่มีจำหน่ายในระดับอุตสาหกรรมจะต้องผ่านขั้นตอนการสกัดน้ำมันออกจากเนื้อปลาโดยใช้ไอน้ำ ฟอกสี กำจัดกลิ่น และเพิ่มความเข้มข้น ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสีเหลืองใส โดยราคาจำหน่ายในท้องตลาดขึ้นอยู่กับปริมาณของ EPA, DHA และความบริสุทธิ์ ราคาจะอยู่ในช่วง 50-200 ดอลลาร์สหรัฐต่อกิโลกรัม (Subasinghe, 1996)

ตารางที่ 3 ปริมาณ EPA และ DHA ของผลิตภัณฑ์น้ำมันปลาที่จำหน่ายในประเทศ  
สหรัฐอเมริกาและอังกฤษ

ชื่อผลิตภัณฑ์ (บริษัท)	รูปแบบ	ปริมาณที่ฉลากระบุ (มิลลิกรัมต่อกรัม)		ปริมาณที่วัดได้ (มิลลิกรัมต่อกรัม)	
		EPA	DHA	EPA	DHA
Norwegain (Twinlab)	TG*	66-82	68-84	80	103
Biosaumon (Medicorp)	TG	120	160	81	106
MaxEPA300 (Walgreen Lab)	TG	180	120	161	108
MaxEPA (Solgar)	TG	180	120	138	96
Natural OMEGA 3 (Country)	TG	180	120	162	110
Cardi OMEGA 3 (Solar Nutr.)	TG	180	120	138	98
Your Life (P.Leiner Nutr.)	TG	180	120	155	104
Proto-chol (E.R.Squibb)	TG	180	120	155	104
Natural brand OMEGA 3 (Sonergx Nutri.Prod.)	TG	180	120	149	129
Nature Best (Nature Best Food)	TG	180	120	114	156
Promega (Parke Davis)	TG	280	120	256	124
SuperEPA 500 (Walgreen Lab)	เมททิล เอสเทอร์	300	200	269	172
Omega-3 EPA SUPER 500 (Schiff Bio Food Proc.)	เมททิล เอสเทอร์	300	200	302	211
Healthcraft EPA-Forte (Booker Health Prod.)	เมททิล เอสเทอร์	310	210	259	173
Nature's Pride EPA Pure/700 (Nature's Products)	กรดไขมัน	333	250	265	254
Promega Pearls (Parke Davis)	TG	(PUFA n-3=300)		258	113

\* TG = ไตรกลีเซอไรด์

ที่มา : Ackman และคณะ (1989)

## ๑. ขั้นตอนการทำน้ำมันปลาให้บริสุทธิ์

โดยทั่วไปน้ำมันปลาที่ไม่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์จะมีสารปนเปื้อนที่ไม่ใช่ไตรกลีเซอไรด์จำนวนมาก ได้แก่กรดไขมันอิสระ โมโนกลีเซอไรด์ ไดกลีเซอไรด์ ฟอสฟาไทด์ สเตอรอล วิตามิน สารประกอบไฮโดรคาร์บอน รงควัตถุ ความชื้น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต สารที่เกิดจากการออกซิเดชันและสารแขวนลอยอื่นๆ สารปนเปื้อนเหล่านี้ อาจมีผลต่อสี กลิ่น รสของน้ำมัน และสารบางชนิดอาจเป็นอันตรายต่อระบบเมตาบอลิซึมของร่างกายได้ (Chang, 1967 อ้างโดยพรทิพย์ แซ่เตีย, 2537)

Young (1978, อ้างโดย Bimbo, 1990) กล่าวถึงขั้นตอนการผลิตน้ำมันให้บริสุทธิ์ และกำจัดสิ่งปนเปื้อนมีดังนี้

- (1) การเก็บน้ำมันเริ่มต้น เพื่อป้องกันและแยกสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ละลายออกจากน้ำมัน
- (2) การกำจัดสารเหนียว เพื่อลดปริมาณสารฟอสฟาไทด์ คาร์โบไฮเดรต สารประกอบโปรตีน เรซิน และโลหะปนเปื้อน
- (3) การทำให้เป็นกลางด้วยด่าง เพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระ รงควัตถุ ฟอสโฟไลปิด สารที่ไม่ละลายในน้ำมัน สารที่ละลายในน้ำ และโลหะปนเปื้อน
- (4) การล้างน้ำเพื่อกำจัดสบู่
- (5) การทำแห้ง เพื่อกำจัดความชื้น
- (6) การฟอกสี เพื่อกำจัดรงควัตถุ สารที่เกิดจากการออกซิเดชัน โลหะปนเปื้อน สารประกอบกำมะถัน และเศษสบู่
- (7) การกำจัดกลิ่น เพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระ โมโนและไดกลีเซอไรด์ อัลดีไฮด์ คีโตน สารกำจัดแมลง รงควัตถุ และสารที่ได้จากการสลายตัวจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

นอกจากนี้ FAO ได้เพิ่มขั้นตอนในการผลิตน้ำมันสำหรับบริโภคอีก 3 ขั้นตอน ดังนี้

(8) การแยกกรดไขมันที่อิ่มตัวออกจากกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัว เพื่อกำจัด ไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูง และเพิ่มปริมาณไตรกลีเซอไรด์ที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัว

(9) ไฮโดรจิเนชันเพื่อลดระดับของพันธะคู่ในกรดไขมันไม่อิ่มตัว เพื่อความคงตัวของกลิ่น

(10) อินเตอร์เอสเทอร์ฟิเคชันเพื่อปรับโครงสร้างไตรกลีเซอไรด์ให้มีการกระจายของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอย่างเหมาะสม และเพิ่มความคงตัวของน้ำมัน

### 9.1. การกำจัดสารเหนียว ( Degumming )

การกำจัดสารเหนียวเป็นการรักษาคุณภาพของน้ำมันดิบโดยใช้สารละลายเกลือหรือสารละลายกรดเจือจาง เพื่อกำจัดสารฟอสฟาไทด์ แวกซ์ และสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ โดยสารละลายที่เติมลงไปทำหน้าที่เพิ่มความสามารถในการละลายของสารฟอสฟาไทด์ และสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ เช่น เหล็กจะทำปฏิกิริยากับสารฟอสฟาไทด์เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนละลายได้ในชั้นน้ำ (Carr, 1988 อ้างโดย Bimbo, 1990) ซึ่งปริมาณของสารฟอสฟาไทด์ตกค้างสามารถวัดจากปริมาณของฟอสฟอรัสในน้ำมัน (Sonntag, 1979a)

โดยทั่วไปสารฟอสฟาไทด์ที่พบคือ เลซิธิน (lecithin) และซีฟาลิน (cephalin) เป็นสารประกอบไตรกลีเซอไรด์ที่มีอนุโมลกรดฟอสฟอริกแทนที่กรดไขมัน 1 ตัว โดยที่ตำแหน่งของอนุโมลกรดฟอสฟอริกแสดงความสามารถจับโมเลกุลของน้ำ ถ้าอนุโมลกรดอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 หรือ 3 ของกลีเซอรอล เรียกฟอสฟาไทด์ชนิดนี้ว่า alpha-lipoid ซึ่งมีความสามารถจับโมเลกุลของน้ำ และถูกขับออกไปจากน้ำมันในขั้นตอนการกำจัดสารเหนียวก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการทำให้เป็นกลางด้วยด่างได้ แต่ถ้าอนุโมลกรดฟอสฟอริกอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางที่ 2 ของคาร์บอนกลีเซอรอลจะเรียกว่า beta-lipoid ฟอสฟาไทด์ชนิดนี้จะไม่จับกับโมเลกุลของน้ำ แต่จะถูกกำจัดด้วยขั้นตอนการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง (Carr, 1976)

การกำจัดสารเหนียวนอกจากช่วยกำจัดสารปนเปื้อนต่างๆข้างต้นแล้ว ขั้นตอนนี้สามารถช่วยเสริมขั้นตอนการผลิตในขั้นอื่นได้อีก โดยน้ำมันดิบที่อยู่ในถังพักถ้ามีสาร

ฟอสฟาไทด์ และ mucilinous materials สูงจะทำให้การควบคุมดูแลยาก โอกาสเกิดออกซิเดชันและโพลีเมอไรเซชันได้ง่าย เกิดการสูญเสียน้ำมันสูง เนื่องจากมีน้ำมันตกค้างในถังพัก และถ้าน้ำมันมีสารเหนียวสูงเมื่อเข้าขั้นตอนการทำให้เป็นกลางด้วยด่างจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันเพิ่มขึ้น เพราะสารเหนียวเป็นตัวอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้น้ำมันตกค้างสูญเสียอยู่ในสบู่มากขึ้น และสบู่ที่มีสารเหนียวจำนวนมากเมื่อถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดไขมันด้วยการเติมกรดซัลฟูริกจะทำได้ยาก นอกจากนี้ถ้ามีสารฟอสฟาไทด์ตกค้างในขั้นตอนการฟอกสีและกำจัดกลิ่น จะทำให้เกิดกลิ่นที่ไม่ดีและน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นจะมีความคงตัวต่ำ (Braae, 1976)

โดยทั่วไปการกำจัดสารเหนียวมักใช้สารละลายกรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 85 ในปริมาณร้อยละ 0.02-1.00 ของน้ำหนักน้ำมัน จากการทดลองของ Diosady (1982) ศึกษาวิธีการกำจัดสารเหนียวในน้ำมันคาโนลาจำนวน 300 กรัม เปรียบเทียบการใช้กรดฟอสฟอริกปริมาณร้อยละ 0.17 โดยน้ำหนัก กับกรดซัลฟูริกปริมาณร้อยละ 0.25 โดยน้ำหนัก โดยใช้ความร้อน 60 องศาเซลเซียส กวนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เติมกรดแล้วกวนเป็นเวลา 10 นาที พบว่าปริมาณฟอสฟอรัส เหล็ก กำมะถัน แคลเซียม ในน้ำมันที่ใช้กรดซัลฟูริกมีปริมาณต่ำกว่าน้ำมันที่ใช้กรดฟอสฟอริก นอกจากนี้ Diosady (1984) ได้ทำการทดลองหาอุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมในการกำจัดสารเหนียวในน้ำมันคาโนลาโดยใช้กรดซัลฟูริก พบว่าอุณหภูมิที่ใช้สำหรับการกำจัดสารฟอสฟาไทด์ได้ดีที่สุดคือ 40 องศาเซลเซียส เพราะถ้าอุณหภูมิต่ำกว่านี้จะมีผลทำให้น้ำมันมีความหนืดสูงขัดขวางการกระจายตัวและการทำปฏิกิริยากับกรดซัลฟูริก แต่ใช้อุณหภูมิสูงกว่านี้จะมีผลทำให้สารฟอสฟาไทด์บางส่วนละลายได้ดีในน้ำมัน แทนที่จะถูกไฮเดรตขับออกพร้อมกับน้ำ และพบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากำจัดสารเหนียวคือ 10 นาที ใช้น้ำล้างร้อยละ 2 กวนเป็นเวลา 20 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารเหนียว

## 9.2. การทำให้เป็นกลางด้วยด่าง

การทำให้เป็นกลางด้วยด่างคือ การเติมสารละลายด่างลงในน้ำมันดิบเพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและกายภาพ โดยด่างทำปฏิกิริยากับกรดไขมันอิสระเกิดเป็นสบู่ ทำให้สิ่งปนเปื้อนในน้ำมันถูกดูดซับและกำจัดออกไปพร้อมกับสบู่ นอกจากนี้ สารประกอบอื่นที่มีคุณสมบัติเป็นกรดจะทำปฏิกิริยากับด่าง เกิดเป็นสารที่ละลายน้ำ ถูกกำจัดออกจากน้ำมัน (Bimbo, 1990) ขั้นตอนนี้มีความสำคัญมาก เพราะถ้าน้ำมันที่ได้คุณภาพไม่ดี อาจจะมีผลสืบเนื่องต่อขั้นตอนอื่นได้ เช่น การฟอกสี ไฮโดรจิเนชัน การเพิ่มความเข้มข้นของกรดไขมันไม่อิ่มตัว และการกำจัดกลิ่น (Carr, 1976)

Carr (1976) ได้สรุปหลักเกณฑ์ทั่วไปสำหรับการเลือกความเข้มข้นของด่าง โดยควรเลือกใช้ด่างที่มีความเข้มข้นต่ำที่สุดที่สามารถกำจัดกรดไขมันอิสระ สารปนเปื้อน และสี ให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด และมีผลทำให้เกิดสบู่กับไตรกลีเซอไรด์น้อยที่สุด ไม่เกิดอิมัลชันในระหว่างการแยกน้ำมันออกจากสบู่ โดยทั่วไปการทำให้เป็นกลางด้วยด่างจะใช้ด่างที่มีความเข้มข้น 17-18 องศาโบเม ยกเว้นในกลุ่มน้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว จะใช้ด่างที่มีความเข้มข้น 12 องศาโบเม

ปริมาณด่างคำนวณได้จากปริมาณกรดไขมันอิสระซึ่งอยู่ในรูปกรดโอลิอิกรวมกับปริมาณด่างที่เติมไปให้มากเกินไป ซึ่งมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\% \text{ NaOH} = (\% \text{ FFA} \times 0.142) + \% \text{ excess NaOH}$$

นอกจากความเข้มข้นและปริมาณของด่างที่ต้องพิจารณาแล้ว ผู้ผลิตควรคำนึงถึงกระบวนการผลิตน้ำมันแบบกะหรือแบบต่อเนื่อง ชนิดของกรดไขมันอิสระ ระยะเวลาที่ด่างสัมผัสกับน้ำมัน ถ้าใช้ระยะเวลาสั้นจะต้องใช้ความเข้มข้นของด่างสูง ซึ่งวิธีการทำให้เป็นกลางด้วยด่างที่พบทั่วไปคือ วิธีแบบแห้ง โดยการเติมด่างลงในน้ำมัน ให้ความร้อนพร้อมกวน และปล่อยให้สบู่รวมตัวตกตะกอนแยกออกจากน้ำมันด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก สำหรับวิธีแบบเปียก โดยการเติมด่างในน้ำมันที่ร้อน สบู่ที่เกิดขึ้นจะถูกล้างด้วยละอองน้ำร้อนที่ชะบนผิวของน้ำมัน วิธีนี้เหมาะสำหรับน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง (Gunstone and Norris, 1983a)



การทำให้เป็นกลางด้วยค่าของน้ำมันเมล็ดฝ้าย จะเติมค่าที่อุณหภูมิ 20-24 องศาเซลเซียส กวนน้ำมันกับค่าจนเกิดเป็นอิมัลชันในช่วงเวลา 10-15 นาที จากนั้นปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นถึง 57-63 องศาเซลเซียส พร้อมกับกวนช้าๆ ปล่อยให้ น้ำมันเย็นตัวลงโดยใช้เวลาไม่น้อยกว่า 10-12 ชั่วโมง สบู่จะรวมตัวกันและตกตะกอนที่ก้นถึงสามารถแยกน้ำมันส่วนที่ใสออกจากสบู่ได้ (Norris, 1964)

สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ (2539) ใช้น้ำมันที่ได้จากบ่อพักน้ำนิ่งปลา ทำให้เป็นกลาง โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 16 องศาโบเม ปริมาณมากเกินไปร้อยละ 0.5 เติมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส กวนเป็นเวลา 10 นาที จากนั้นให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจนถึง 75 องศาเซลเซียส แยกสบู่ออกในกรวยแยก ล้างด้วยน้ำหลายครั้งจนเป็นกลาง คูลน้ำที่เหลือเล็กน้อยด้วยโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส พบว่ากรดไขมันอิสระลดลงจากร้อยละ 1.88 เป็นร้อยละ 0.14 ค่าเปอร์ออกไซด์ลดลงจาก 85.0 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม เป็น 28.0 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม ปริมาณเหล็กลดลงจาก 17.48 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เหลือ 2.84 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

Neumunz (1976) ได้สรุปปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการทำให้เป็นกลางด้วยค่า โดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) ผลผลิตที่ได้มีปริมาณต่ำ เกิดจากความผิดพลาดในการวิเคราะห์และการเติมค่ามากเกินไป หรือเกิดจากการกวนที่ไม่สม่ำเสมอในถังผสม ทำให้อุณหภูมิของสบู่ที่เกิดขึ้นมีลักษณะไม่เหมาะสม ผลผลิตน้ำมันที่ได้ลดลง และถ้าอุณหภูมิของสบู่อ่อนเหลวคล้ายโคลนแสดงว่า อุณหภูมิที่ใช้ในการกวนค่าสูงเกินไป (มากกว่า 65 องศาเซลเซียส) หรืออาจเกิดจากการใช้ค่าที่มีความเข้มข้นน้อยเกินไป

(2) ระยะเวลารวมตัวตกตะกอนสบู่ใช้เวลาสั้นเกินไป สำหรับการทำให้เป็นกลางด้วยค่าแบบกะ ดังนั้นจึงแนะนำผู้ผลิตแบบกะ ควรเริ่มต้นผลิตน้ำมันตอนบ่าย เพื่อให้สบู่มีระยะเวลาเกิดการรวมตัวตกตะกอนข้ามคืน

(3) น้ำมันที่ผ่านการทำให้เป็นกลางอาจเสื่อมเสียได้ในระหว่างการเก็บในถังพัก ดังนั้นเพื่อลดโอกาสการเสื่อมเสียดังกล่าว ขั้นตอนการล้างสบู่เมื่อล้างเสร็จจำเป็น

ต้องระเหยน้ำออกทันที โดยอาจใช้ระบบสูญญากาศ เพื่อให้น้ำมันมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 0.1 ถ้าน้ำมันมีความชื้นมากเกินไป จะเพิ่มโอกาสการเสื่อมเสียได้สูงขึ้น น้ำมันพืชที่มีสีคล้ำมากสามารถทำให้ใสได้โดยการเติมด่างซ้ำ 2 ครั้ง จะให้ผลดีกว่าการเติมด่างครั้งเดียวในปริมาณที่มากเกินไป (Norris, 1964) James (1960 อ้างโดย Norris, 1964) กล่าวถึงการเติมด่างซ้ำในน้ำมันฝ้าย โดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 40 องศาโบเม ปริมาตรร้อยละ 1-1.5 ในน้ำมันที่ผ่านการทำให้เป็นกลาง ใช้อุณหภูมิเริ่มต้น 23-26 องศาเซลเซียส กวนเป็นเวลา 15-20 นาที จากนั้นลดความเร็วในการกวนลง ปรับอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 54-60 องศาเซลเซียส สเปรย์น้ำร้อนลงบนผิวน้ำมัน กวนซ้ำๆเป็นเวลา 2-3 นาที เพื่อแยกสนุ พบว่าวิธีนี้จะมีการสูญเสียน้ำมันร้อยละ 1.5-2.5 พรทิพย์ แซ่เตีย (2537) ได้ศึกษาการเติมด่างซ้ำในน้ำมันที่สกัดจากหัวปลาทูน่าโดยใช้วิธีของ James พบว่าน้ำมันที่ได้ให้ค่าสีแดงของระบบโลวิบอนด์จากค่า 13.6 ลดเหลือ 6.2 และมีการสูญเสียน้ำมันร้อยละ 4.73

### ๑.๘. การฟอกสี

การฟอกสีเป็นการปรับปรุงคุณภาพในด้านสี กลิ่น รส ความคงตัวของน้ำมันต่อปฏิกิริยาออกซิเดชัน พร้อมกับเป็นการกำจัดสิ่งปนเปื้อนที่เกิดจากวัตถุดิบ และที่เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการผลิต (Bimbo, 1990)

Cowan (1976) สรุปวิธีการกำจัดตรงควัดดูในน้ำมันมี 3 วิธี คือ

- (1) ใช้ดินฟอกสี ผงถ่านฟอกสี (activated carbon) หรือสารอื่น ดูดซับรงควัตถุ
- (2) การให้ความร้อนกับน้ำมัน ซึ่งน้ำมันบางส่วนมีออกซิเจน หรือกลุ่มสารไฮโดเปอร์ออกไซด์อยู่ ซึ่งสารเหล่านี้อาจรวมกับรงควัตถุ ทำให้รงควัตถุสีจางลง
- (3) การให้ความร้อนโดยปราศจากอากาศ

การฟอกสีน้ำมันทั่วไปมักจะใช้ดินฟอกสีแอกติเวทเตดเอิร์ท (activated earth) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับรงควัตถุ กลิ่น รส สารที่ถูกออกซิเดชัน โดยใช้ปริมาณร้อยละ 0.2-0.4 แต่อาจใช้ปริมาณมากถึงร้อยละ 1.5-2.0 ขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำมัน ความ

สามารถในฟอกสี สำหรับการฟอกสีที่บรรยากาศจะใช้อุณหภูมิประมาณ 104 องศาเซลเซียส แต่จะใช้อุณหภูมิต่ำกว่านี้ถ้าฟอกสีที่สภาวะสูญญากาศ ระยะเวลาในการฟอกสีประมาณ 10-15 นาที (Gunstone and Norris, 1983b)

Patterson (1976) ได้รวบรวมปัจจัยที่มีผลต่อการฟอกสี ประกอบด้วย

(1) ชนิดของดินฟอกสี แบ่งได้ 3 ชนิด

- ดินฟอกสีจากธรรมชาติ เป็นสารประกอบซิลิกาเชิงซ้อนที่มีโลหะแมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม เหล็ก และอะลูมิเนียม รูปร่างโครงสร้างแบบ lattice มีรูขนาดเล็กเกิดขึ้นในโครงสร้าง และมีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน สามารถดูดซับน้ำมันได้ร้อยละ 30 ของน้ำหนักดิน ข้อดีของดินฟอกสีชนิดนี้คือ สามารถดูดซับน้ำ น้ำมัน ฟอสฟาไทด์ สบู่ รงควัตถุ และโลหะ ไม่เพิ่มความเป็นกรด และไม่ทำให้เกิด isomerize ของกรดไขมันไม่อิ่มตัว ดินฟอกสีชนิดนี้ราคาถูก โดยทั่วไปใช้กับน้ำมันที่สามารถกำจัด รงควัตถุได้ง่าย

- ดินฟอกสีแอกติเวทเตดเอิร์ท (activated earth) เป็นดินฟอกสีจากธรรมชาติที่ถูกสกัดด้วยกรดซัลฟูริกหรือไฮโดรคลอริก โดยกรดจะสกัดพื้นที่ผิวของดินฟอกสี ทำให้เกิดรูและช่องว่างในอนุภาคเพิ่มขึ้น จากคุณสมบัติของความเป็นกรดที่เกิดขึ้นและขนาดอนุภาคเล็กลง ทำให้ความสามารถในการดูดซับสารดีขึ้น โดยดินฟอกสีชนิดนี้สามารถดูดซับน้ำมันได้ร้อยละ 70 ของน้ำหนักดิน สามารถทำลายสารเปอร์ออกไซด์ ดูดซับรงควัตถุ กำจัดโลหะและสารฟอสฟาไทด์ได้ดี แต่ดินฟอกสีชนิดนี้เมื่อสัมผัสกับสบู่จะทำให้เกิดกรดไขมันอิสระแยกตัวออกมา น้ำมันจึงมีกรดไขมันอิสระสูงขึ้น และถ้าฟอกสีน้ำมันที่อุณหภูมิสูงมากกว่า 160 องศาเซลเซียส ดินฟอกสีชนิดนี้อาจสนับสนุนให้เกิด isomerize ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้

- ผงถ่านฟอกสี เป็นถ่านไม้ที่เกิดจากการเผา มีทาร์บางส่วนตกค้างในช่องว่างของโครงสร้าง จากนั้นนำถ่านไม้ผ่านไอน้ำหรือกรด นำไปล้าง อบให้แห้ง และบดละเอียด ผงถ่านที่ได้จะมีพื้นที่ผิวมาก และมีความสามารถดูดซับทางเคมีสูงขึ้น โดย

สามารถดูดซับน้ำมันได้ร้อยละ 150 ของน้ำหนัก ผงถ่านนี้ราคาแพงกว่าดินฟอกสีโดยทั่วไป มักใช้ผสมกับดินฟอกสีชนิดอื่น

(2) อุณหภูมิ โดยทั่วไปใช้อุณหภูมิ 90-110 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิต่ำ รงควัตถุจะถูกดูดซับบนพื้นผิวของดินฟอกสี แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงมากกว่า 100 องศาเซลเซียส รงควัตถุจะถูกดูดซับเข้าไปในช่องว่าง (capillary) ด้วยแรงดูดซับทางเคมี (chemisorption)

(3) เวลา ในการฟอกสีแบบกะจะใช้เวลาประมาณ 15 นาที แต่ในทางปฏิบัติต้องรอน้ำมันให้เย็นลงก่อน จึงจะกรองได้ ซึ่งต้องใช้เวลาาน โดยทั่วไปจะกรองน้ำมันที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เพราะน้ำมันกรองได้ง่าย มีความหนืดต่ำ

(4) ความชื้น น้ำมันก่อนนำมาฟอกสีควรมีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 0.2 และความชื้นของดินฟอกสีควรมีไม่เกินร้อยละ 10 ถ้าดินฟอกสีมีความชื้นสูงเมื่อเติมลงไปจะเกิดฟอง และถ้าน้ำมันมีความชื้นสูงอาจทำให้กรองน้ำมันออกยากและช้า

(5) การสัมผัสอากาศ กรดไขมันไม่อิ่มตัว สารปนเปื้อนอื่นอาจทำปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้เกิดการเปลี่ยนสีและเกิดกลิ่นหืนได้

(6) ปริมาณของดินฟอกสี ควรใช้ในปริมาณน้อยที่สุดที่สามารถกำจัดสารปนเปื้อน โดยวัดจากค่าเปอร์ออกไซด์ที่ลดลงเป็นเป้าหมาย (Wiedermann, 1981) โดยทั่วไปใช้ปริมาณร้อยละ 1.5-2.0

(7) ขั้นตอนของการฟอกสี ดินฟอกสีสามารถทำลายสารด้านการเกิดออกซิเดชันที่มีในธรรมชาติ ทำให้น้ำมันและสารที่ได้จากการสลายตัวของสารเปอร์ออกไซด์ เกิดการรวมตัวกันเป็น conjugated ของกรดไขมันไม่อิ่มตัวได้ ซึ่งปัญหานี้อาจเกิดขึ้นได้ถ้ากรองน้ำมันที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และมีอากาศหลุดรอดเข้าไปสัมผัสกับน้ำมัน

กรดไขมันอิสระที่เพิ่มขึ้นจากการเติมดินฟอกสีแอคติเวทเคดเอิร์ทสามารถลดลงได้ ด้วยการเติมดินฟอกสีจากธรรมชาติก่อนเพื่อกำจัดสบู่ และต่อมาเติมครั้งที่สองด้วยดินฟอกสีแอคติเวทเคดเอิร์ทเพื่อกำจัดรงควัตถุและสาร mucilage

Neumunz (1976) ได้สรุปข้อแนะนำในการใช้ดินฟอกสี เพื่อลดการเกิดปัญหา ในระหว่างขั้นตอนการฟอกสีดังนี้

- (1) ก่อนฟอกสีน้ำมันต้องแห้ง ความชื้นอาจทำให้ประสิทธิภาพของดิน ฟอกสีลดลง และทำให้ดินฟอกสีติดกับฝักกรอง
- (2) น้ำมันที่ผ่านการฟอกสี เมื่อนำไปกรอง น้ำมันเริ่มต้นอาจขุ่น ควร แยกน้ำมันเหล่านี้ออกไป ไม่ควรเก็บร่วมกับน้ำมันที่ใสซึ่งผ่านการกรองในเวลาต่อมา
- (3) ดินฟอกสีที่ใช้แล้วอาจติดไฟได้ควรแยกให้ห่างจากโรงงาน

#### 9.4. การแยกส่วนไขมัน ( Fractionation )

เนื่องจากน้ำมันและไขมันเป็นไตรกลีเซอไรด์ที่ประกอบด้วยกรดไขมันแตกต่าง ชนิด มีจุดหลอมเหลวตั้งแต่ -50 ถึง 80 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำมันแต่ละชนิดมีช่วงการ หลอมเหลวเฉพาะตัว สามารถใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิหลอมเหลวนี้ออกส่วนไขมัน โดยการตกผลึกน้ำมันที่เป็นของแข็งสเตียรีน (stearin) แยกส่วนจากของเหลวโอลี อิน (olein) (Young, 1978)

Bimbo (1990) กล่าวถึงเหตุผลในการแยกส่วนไขมันในน้ำมันปลาคังนี้คือ

- (1) กำจัดแว็กซ์ และสารที่ไม่ใช่ไตรกลีเซอไรด์
- (2) เพื่อแยกสารไตรกลีเซอไรด์ซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงที่พบในน้ำมัน
- (3) เพื่อแยกสารไตรกลีเซอไรด์ที่มีจุดหลอมเหลวสูง ที่เกิดจากขั้นตอน การไฮโดรจิเนชัน

วิธีการแยกส่วนไขมันของน้ำมันบริโกล โดยใช้ความแตกต่างของจุดหลอมเหลว มี 3 วิธีคือ

- (1) วิธีการแยกส่วนไขมันแบบใช้ความเย็นอย่างเดียว (Dry fractionation) เป็นวิธีการดั้งเดิมที่สามารถแยกสเตียรีนออกจากโอลีอิน วิธีนี้ต้องอาศัยการเกิดผลึกที่เหมาะสมโดยปรับลดอุณหภูมิอย่างช้าๆ และกรองผลึกออกจากน้ำมันที่เป็นของเหลว (Bimbo, 1991)

(2) วิธีการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายร่วมกับความเย็น (Solvent fractionation) จากคุณสมบัติของไขมันและอนุพันธ์ของไขมัน มีความสามารถในการละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ที่แตกต่างกันในช่วงอุณหภูมิหนึ่ง พบว่าความสามารถในการละลายจะลดลงเมื่อความยาวโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น และสามารถละลายได้เพิ่มขึ้นเมื่อมีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันมากขึ้น (Formo, 1979) นอกจากนี้การใช้ตัวทำละลายร่วมกับการตกผลึกจะทำให้ไขมันมีความหนืดลดลง สามารถตกผลึกสเตียรีนได้อย่างรวดเร็วและกรองผลึกได้ง่าย จากนั้นระเหยตัวทำละลายออกจะได้น้ำมันโอลิอินที่ต้องการ (Bimbo, 1991) ตัวทำละลายที่ใช้ได้แก่ เฮกเซน อะซิโตน และ 2-ไนโตรโพรเพน (Young, 1978)

(3) วิธีการแยกส่วนไขมันด้วยสารลดแรงตึงผิวร่วมกับความเย็น (Detergent fractionation) เริ่มจากตกผลึกสเตียรีนด้วยความเย็น จากนั้นเติมสารละลายที่มีสารลดแรงตึงผิว เพื่อทำหน้าที่ดึงผลึกสเตียรีนเข้าไปสู่ชั้นน้ำ (aqueous phase) แล้วนำของผสมที่ได้ไปเหวี่ยงแยกเพื่อแยกชั้นน้ำมันโอลิอินออกมา (Young, 1978)

Ong และคณะ (1983) ได้ศึกษาวิธีการแยกส่วนไขมันของน้ำมันพืชและน้ำมันสัตว์ โดยใช้การแยกส่วนไขมันโดยอาศัยระดับชั้นความหนาแน่นของตัวกลาง (density gradient) ซึ่งเป็นวิธีการดัดแปลงมาจากวิธี density gradient centrifugation ของงานชีวเคมีที่สามารถแยกเซลล์ ส่วนประกอบของเซลล์ โดยอาศัยความหนาแน่นที่ไม่เท่ากันของวัตถุ ระดับชั้นความหนาแน่นของตัวกลาง และรูปร่างที่ต่างกันของเซลล์ เมื่อเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกจะทำให้เซลล์ ส่วนประกอบของเซลล์ เกิดการแยกชั้นตามระดับความหนาแน่น ซึ่งวิธีนี้ได้ถูกนำมาใช้แยกน้ำมันที่มีสภาพกึ่งเหลวกึ่งแข็ง โดยการเติมสารตัวกลาง (medium) ซึ่งประกอบด้วยตัวทำละลาย 2 ชนิด จากนั้นนำน้ำมันเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกความเร็วสูง พบว่าสามารถแยกน้ำมันได้ 2 ส่วนคือ น้ำมันโอลิอินลอยอยู่ด้านบน สเตียรีนจมอยู่ด้านล่างและตัวกลางจะอยู่ชั้นกลางระหว่างน้ำมันทั้ง 2 ชนิด จากการทดลองนี้พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการแยกน้ำมันคือ การเลือกตัวกลางที่เหมาะสมสำหรับเติมลงไป ในน้ำมัน สัดส่วนของตัวกลางต่อน้ำมัน อุณหภูมิที่ใช้ระหว่างเหวี่ยงแยก ค่าของแรง

เหวียง (g) จากการทดลองการแยกส่วนไขมันของน้ำมันปลาเสร็จพบว่า ตัวทำละลายที่ใช้เป็นตัวกลางที่มีประสิทธิภาพในการแยกน้ำมันกึ่งเหลวกึ่งแข็งได้แก่ น้ำต่ออะซิโตน (สัดส่วน 35:65) น้ำต่อเอทิลแอลกอฮอล์ (สัดส่วน 41:59) และน้ำต่อไอโซโพรพานอล (สัดส่วน 47:53) โดยใช้การเหวียงแยกที่อุณหภูมิ 3 องศาเซลเซียส ใช้แรงเหวียง (g) เท่ากับ 2000 ระยะเวลาที่ใช้เหวียง 5 นาที และสัดส่วนของไขมันต่อตัวกลาง 1:1

Yang และคณะ (1992) ได้ศึกษาผลของความเป็นขี้ของตัวทำละลายและอุณหภูมิที่ใช้แยกส่วนไขมันต่อคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของน้ำมันสเตียรีนที่ได้จากไส้ปลาหมึก โดยนำสเตียรีนของน้ำมันไส้ปลาหมึกที่ผ่านการแยกส่วนไขมันโอลิอินออก นำมาละลายในตัวทำละลายที่มีขี้ระดับต่างๆกัน โดยปรับระดับความเป็นขี้จากสัดส่วนของอะซิโตนต่อเอิน-เฮ็กเซน (อะซิโตนและ เอิน-เฮ็กเซน มีค่าความเป็นขี้เท่ากับ 5.1 และ 0.1 โพล่า ตามลำดับ) กำหนดสัดส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันสเตียรีนเป็น 1:1 ความเป็นขี้ของตัวทำละลายมี 4 ระดับคือ 5.1, 3.6, 1.6 และ 0.1 โพล่า อุณหภูมิที่ใช้ในการตกผลึกมี 3 ระดับคือ -1, -5 และ -9 องศาเซลเซียส ระยะเวลาที่ใช้ในการตกผลึก 36 ชั่วโมง พบว่าปริมาณของกรดไขมันที่อิ่มตัวในผลึกมีค่าสูงขึ้น และปริมาณของกรดไขมัน EPA กับ DHA ในผลึกลดลง เมื่อตัวทำละลายมีความเป็นขี้ลดลง ดังนั้นไขมันที่ละลายอยู่ในตัวทำละลายจะเป็นไขมันไม่อิ่มตัว และมีปริมาณของกรดไขมัน EPA และ DHA สูงขึ้น โดยให้ปริมาณสูงสุดเมื่อตัวทำละลายมีความเป็นขี้ 0.1 โพล่า

#### 9.5. การกำจัดกลิ่น

การกำจัดกลิ่นเป็นขั้นตอนสุดท้ายในการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์สำหรับการบริโภค ขั้นตอนนี้สามารถแยกสารที่ไม่ต้องการออกจากวัตถุดิบ และแยกสารที่เกิดขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต (Bimbo, 1990) เป้าหมายของการกำจัดกลิ่นคือ น้ำมันปราศจากกลิ่นรส มีกรดไขมันอิสระต่ำ โดยทั่วไปควรมีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 0.05 และมีน้ำมันมีสีอ่อนเป็นที่ยอมรับ (Orthofer and Siram, 1996)

ความร้อนที่ใช้ในการกำจัดกลิ่นมีผลต่อแรงควัดอุทกบางชนิด เช่น สารกลุ่มคาร์โบที่ นอยด์สลายตัวได้ดีเมื่อได้รับความร้อน นอกจากนี้การใช้ความร้อนสูงร่วมกับการปรับ สถานะของการกำจัดกลิ่นให้เหมาะสม สามารถขบสารระเหยที่ไม่ต้องการออกจากน้ำ มันได้ โดยสารระเหยนี้ต้องมีค่าความดันย่อยเท่ากับหรือมากกว่าความดันไอของกรดไข มันปาล์มิติกและโอลิก และจะถูกขับออกควบคู่ไปกับกรดไขมันอิสระในน้ำมัน โดย ทัวไปการกำจัดกลิ่นสามารถลดกรดไขมันอิสระได้ค่าถึงร้อยละ 0.01-0.03 แต่ไม่ สามารถลดกรดไขมันอิสระให้มีปริมาณน้อยกว่าร้อยละ 0.005 ได้ เนื่องจากเมื่อถึงจุดนี้ จะเกิดการไฮโดรไลซิสของน้ำมันจากการใช้ไอน้ำพุ่งเข้าไป (Gunstone and Norris, 1983c) สำหรับการกำจัดกลิ่นแบบกะจะใช้อุณหภูมิประมาณ 210-274 องศาเซลเซียส ความดัน 1-6 มิลลิเมตรปรอท ระยะเวลา 3-8 ชั่วโมง ใช้ไอน้ำพุ่งร้อยละ 5-15 ต่อชั่วโมง (Mounts, 1981)

Gavin (1981) ได้สรุปสาเหตุที่ทำให้ไขมันถั่วเหลืองที่ผ่านการกำจัดกลิ่นแล้วมี กรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าสีไม่เป็นไปตามที่กำหนดดังนี้

- กรดไขมันอิสระมีค่าสูงกว่าร้อยละ 0.05 เนื่องจาก

- (1) น้ำมันก่อนกำจัดกลิ่นมีกรดไขมันอิสระสูงเกินกว่าที่กำหนด
- (2) เครื่องกำจัดกลิ่นไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่กำหนด
- (3) เครื่องกำจัดกลิ่นไม่สามารถควบคุมความดันได้ตามที่กำหนด
- (4) อาจเกิดจากการเติมสารแอนติออกซิเดชั่น เช่น กรดซิตริกลงไป ใน น้ำมันหลังการกำจัดกลิ่น
- (5) ระยะเวลาที่ไอน้ำสัมผัสกับน้ำมัน หรือปริมาณไอน้ำที่เติมระหว่าง กำจัดกลิ่นไม่เพียงพอ
- (6) ไอของกรดไขมันที่ถูกขับออกอาจไหลย้อนกลับเข้าไปผสมกับน้ำมัน



- ค่าเปอร์ออกไซด์มีค่ามากกว่า 0 เนื่องจาก
  - (1) มีอากาศเข้าไปสัมผัสกับน้ำมันที่อุณหภูมิสูง
  - (2) พบน้ำมันที่เป็นโพลีเมอร์ หรือถูกออกซิไดซ์ ปนเปื้อนอยู่ในเครื่องกำจัดกลิ่น ได้ผสมลงในน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นแล้ว
- ค่าสีของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นมีค่าสูงกว่าที่กำหนด
  - (1) เครื่องกำจัดกลิ่นไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่กำหนด
  - (2) น้ำมันก่อนกำจัดกลิ่นมีปริมาณสารฟอสฟาไทด์ตกค้างสูงมากกว่า 20 ส่วนในล้านส่วน
  - (3) น้ำมันมีอุณหภูมิสูงสัมผัสกับอากาศ
  - (4) เครื่องกำจัดกลิ่นมีอุณหภูมิสูงเกินไป

Maza และคณะ (1992) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดกลิ่นในห้องทดลอง โดยใช้อุณหภูมิและปริมาณไอน้ำเป็นตัวแปร และลดความดันเหลือ 0.1-0.5 มิลลิเมตรปรอท พบว่าถ้าใช้อุณหภูมิต่ำ (220 องศาเซลเซียส) และอัตราการพ่นไอน้ำต่ำ (ร้อยละ 0.5 ต่อชั่วโมง) น้ำมันจะมีกรดไขมันอิสระตกค้างมาก ในขณะที่การใช้อุณหภูมิสูง (260 องศาเซลเซียส) และอัตราการพ่นไอน้ำสูง (ร้อยละ 2 ต่อชั่วโมง) น้ำมันมีกรดไขมันอิสระตกค้างต่ำที่สุด

Pelura (1987 อ้างโดย Bimbo, 1990) กล่าวถึงการกำจัดโคเลสเตอรอลและโคเลสเตอรอลเอสเทอร์ โดยใช้วิธีการกำจัดกลิ่นด้วยไอน้ำภายใต้สูญญากาศ พบว่าถ้าใช้อุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส จะไม่มีผลต่อการกำจัดโคเลสเตอรอล แต่ถ้าเพิ่มอุณหภูมิเป็น 200-250 องศาเซลเซียส โคเลสเตอรอลอิสระจะถูกกำจัดออกคงเหลือโคเลสเตอรอลเอสเทอร์ตกค้างอยู่ โดยที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส โคเลสเตอรอลเอสเทอร์ถูกกำจัดได้เพียงร้อยละ 26

#### 9.6. การเก็บรักษาน้ำมัน

โดยทั่วไปโรงงานผลิตน้ำมันบริโภคจะเก็บน้ำมันในถังพักขนาดใหญ่ทำด้วยเหล็กปราศจากสนิม บางครั้งอาจทำจากอลูมิเนียม มีขนาดบรรจุตั้งแต่ 70-200 ตัน เป็น

ถึงปิดสนิทไม่มีฝา ภายในถังพักมีท่อทำความร้อนและความเย็น และมีใบพัดคววนเพื่อป้องกันน้ำมันไม่ให้ได้รับความร้อนมากเกินไป (Moumts and List, 1996)

Moumts และ List (1996) ได้สรุปปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพผลิตภัณฑ์น้ำมันในระหว่างการเก็บรักษา ประกอบด้วย

- (1) สิ่งปนเปื้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอก ถ้าน้ำมันถูกเก็บในถังพักสามารถลดการเกิดปัญหาการปนเปื้อนนี้ได้
- (2) สิ่งปนเปื้อนภายในได้แก่ น้ำ สบู่ และสารโปรออกซิเดนท์ โดยน้ำอาจปนเปื้อนได้จากการกลั่นตัวของหยดน้ำจากไอน้ำหรือท่อทำความเย็น ซึ่งความชื้นจะเหนี่ยวนำให้เกิดการไฮโดรไลซิส เมื่ออุณหภูมิของน้ำมันสูงขึ้น
- (3) การให้ความร้อนสูงเกินไป สบู่และสารโปรออกซิเดนท์ที่ปนเปื้อนจะเหนี่ยวนำการเสื่อมเสียของน้ำมันได้ ดังนั้นในถังพักจึงต้องมีชุดควบคุมอุณหภูมิน้ำมันแบบอัตโนมัติ เพื่อป้องกันการให้ความร้อนสูงเกินไป
- (4) การสัมผัสอากาศ เพราะน้ำมันสามารถดูดซับออกซิเจนในอากาศเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้น้ำมันมีกลิ่น รสที่ไม่ต้องการ

## 10. การเสื่อมเสียของน้ำมัน

กลิ่นรสที่ไม่ต้องการในไขมันสัตว์โดยทั่วไปจะเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งอาจเกิดขึ้นในวัตถุดิบ ระหว่างขั้นตอนการผลิต และระหว่างเก็บรักษาน้ำมัน โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเกิดจากผลของการดูแลรักษาคุณภาพเนื้อเยื่อไขมันสัตว์ก่อนจะได้รับความร้อนเพื่อสกัดไขมันออกมา โดยมีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Shermin, 1990) สำหรับปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดจากเชื้อแบคทีเรีย เอนไซม์ และปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกิดจากไขมันทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ (Sonntag, 1979b)

การเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน เริ่มจากน้ำมันดูดซับออกซิเจนในอากาศและทำปฏิกิริยากับน้ำมันเกิดเป็นสารเปอร์ออกไซด์ วิธีการวัดปริมาณออกซิเจนที่

ถูกดูดซับในน้ำมันคือ การวัดค่าเปอร์ออกไซด์ (peroxide value) โดยในระยะเริ่มต้นของปฏิกิริยา (initial phase) จะเกิดขึ้นช้าๆ และพบว่าการสร้างสารเปอร์ออกไซด์เกิดขึ้นเร็วกว่าการสลายตัว อัตราการสร้างสารเปอร์ออกไซด์จะขึ้นอยู่กับปริมาณออกซิเจนที่ถูกดูดซับ และเมื่อปฏิกิริยาคำเนินไปจนถึงระดับหนึ่งน้ำมันเริ่มเกิดกลิ่นหืน ช่วงนี้จะเป็นระยะเริ่มต้นของระยะที่สองในปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารเปอร์ออกไซด์จะสลายตัวเกิดเป็นสารประกอบที่ระเหยได้และสารประกอบที่ระเหยไม่ได้ ทำให้เกิดกลิ่น รสที่ไม่ดีของน้ำมัน เมื่อเวลาผ่านไปจนถึงระยะท้ายของปฏิกิริยาออกซิเดชัน น้ำมันจะรวมตัวแบบ polymerization อย่างรวดเร็ว เกิดการเสื่อมเสียและมีความหนืดสูงมาก (Mounts and List, 1996)

อัตราการดูดซับของออกซิเจนของน้ำมันจะถูกเร่งด้วยความร้อนและสาร โปรออกซิแดนซ์ ซึ่งอาจเกิดร่วมกับแสงหรือแสงอุตราไวโอเลตที่สัมผัสกับไขมัน จากการศึกษาผลของอุณหภูมิต่ออายุการเก็บรักษาน้ำมันสัตว์และน้ำมันพืชที่ใช้สำหรับผลิตขนมเค้ก พบว่าอัตราการเกิดออกซิเดชันที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส มีค่าเป็น 2.5 เท่าของที่อุณหภูมิ 97.8 เซลเซียส (Sonntag, 1979b) และพบว่าในน้ำมันสัตว์ที่มีอุณหภูมิเก็บรักษา 20-60 องศาเซลเซียส มีอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทุก 15 องศาเซลเซียส ดังนั้นน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นควรเก็บที่อุณหภูมิต่ำ (Gavin, 1981)

ในน้ำมันพืช น้ำมันที่ได้จากสัตว์บก และน้ำมันปลา อาจเกิดกลิ่นเปลี่ยนแปลงภายหลังจากมีการกำจัดกลิ่น เกิดจากในน้ำมันมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ตั้งแต่ 2 ตำแหน่งขึ้นไป เช่น กลิ่นคาวปลาเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไลโนลิอิกเปลี่ยนเป็น 2 tran, 4 cis, 7 cis-decatrienal (Mejiboom, 1972 อ้างโดย Sonntag, 1979b) Ulbrich และ Grosch (1988 อ้างโดย Stansby, 1990) ศึกษาการเกิดออกซิเดชันของเมทิลไลโนลิเนท ซึ่งเก็บที่อุณหภูมิ 22-24 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง พบว่าสารออกซิเดชันที่เกิดขึ้นเป็นสารที่มีกลิ่น ได้แก่ (1) tran, cis-2, 6-nonadienal (2) 1, cis-5-octadien-3-one (3) tran, cis-3-5-octadien-2-one และ (4) cis-3-hexenal

กลิ่นรสที่ไม่ต้องการอาจเกิดจากสารประกอบอื่นที่ไม่ใช่ไตรกลีเซอไรด์ เช่น ในน้ำมันปลาที่มีสารฟอสฟอไลปิดตกค้างปริมาณเล็กน้อย เมื่ออยู่ในช่วงระหว่างการเก็บรักษา สารฟอสฟอไลปิดอาจปลดปล่อยกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงอย่างช้าๆ ร่วมกับสารโคลิ้นซึ่งเป็นองค์ประกอบของอนุมูลฟอสฟอริกปลดปล่อยสาร ไครเมทิลลามีนออกมา ทำให้เกิดกลิ่นรสที่ไม่ต้องการได้ (Stanby, 1990)

## 11. การควบคุมคุณภาพมาตรฐานของน้ำมันปลา

ในปี ค.ศ. 1979 The International Association of Fish Meal Manufacturers ได้กำหนดมาตรฐานการตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันปลาที่ใช้สำหรับการบริโภค แสดงดังตารางที่ 4 โดยมีตัวชี้วัดประกอบด้วย ความชื้น ของแข็งที่ไม่ละลายในน้ำมัน กรดไขมันอิสระ และค่าไอโอดีน นอกจากนี้ได้กำหนดวิธีทดสอบระหว่างขั้นตอนการผลิต โดยกำหนดค่าเปอร์ออกไซด์ อนิสิคีนนัมเบอร์ เพื่อประมาณปริมาณสารปนเปื้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน กำหนดค่าการดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเลต เพื่อชี้วัดความสามารถของการฟอกสีหรือมีการใช้ความร้อนสูงเกินไปในระหว่างการผลิตน้ำมัน และกำหนดปริมาณโลหะปนเปื้อน เช่น เหล็ก ทองแดงซึ่งเป็นสารที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Kinsella, 1987a)

ตารางที่ 4 คัดชี้ชี้วัดคุณภาพของน้ำมันปลาที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์

คุณสมบัติ	ค่าสูงสุดที่ยอมรับ
กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	4.0
ความชื้น (ร้อยละ)	0.3
ค่าเปอร์ออกไซด์ (มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม)	6.0
อนิสิตินัมเบอร์	12.0
ของแข็งแขวนลอย (ร้อยละ)	0.1
ค่าการดูดกลืนแสง UV E 1%;1cm; 233 nm	10.0
E 1%;1cm; 269 nm	4.0
ฟอสฟอรัส (ส่วนในล้านส่วน)	200
เหล็ก (ส่วนในล้านส่วน)	1.5
ทองแดง (ส่วนในล้านส่วน)	0.2

ที่มา : Kinsella (1987a)

### วัตถุประสงค์

1. ศึกษาขั้นตอนต่างๆและหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำน้ำมันปลาที่ได้จากน้ำนึ่งปลาทูน่าให้มีความบริสุทธิ์ และเพิ่มความเข้มข้นของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูง โอเมก้า 3
2. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมีของน้ำมันปลาที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์  
ในระหว่างการเก็บรักษา

## บทที่ 2

### วิธีการวิจัย

#### วัสดุ

##### 1. วัตถุดิบ น้ำมันที่ได้จากน้ำนิ่งปลาทูน่า

น้ำมันปลาที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากกระบวนการกำจัดไขมันออกจากน้ำนิ่งปลา ก่อนทำการผลิตน้ำสกัดเข้มข้นจากปลาของบริษัทสงขลาแคนนิ่งจำกัด มหาชน โดยมี ขั้นตอนดังนี้ นำน้ำนิ่งปลาที่ได้จากการนึ่งเนื้อปลาที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็น เวลา 30 นาที เก็บในถังพัก อุณหภูมิให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกความเร็ว 15,000 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 90 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 2-3 นาที สามารถแยกน้ำนิ่งปลาออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ น้ำมันลอย อยู่ชั้นบน สารละลายโปรตีนและคราบตะกอนของแข็ง โดยสามารถแยกน้ำมันได้ ปริมาณร้อยละ 0.1 ของน้ำนิ่งปลา น้ำมันที่ได้มีสีน้ำตาลเข้ม หนืดข้นและมีกลิ่นคาวปลา น้ำมันถูกปล่อยให้เย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นเก็บน้ำมันที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และให้ปรับอุณหภูมิน้ำมันเท่ากับอุณหภูมิห้องก่อนทำการวิจัย

##### 2. สารเคมี

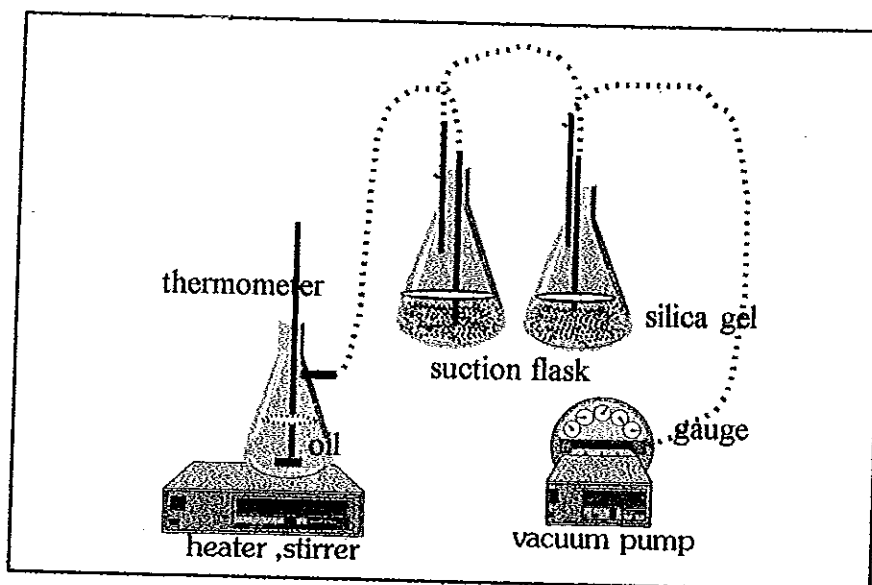
สารเคมีต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางเคมี และในขั้นตอนการผลิตน้ำมัน

#### อุปกรณ์

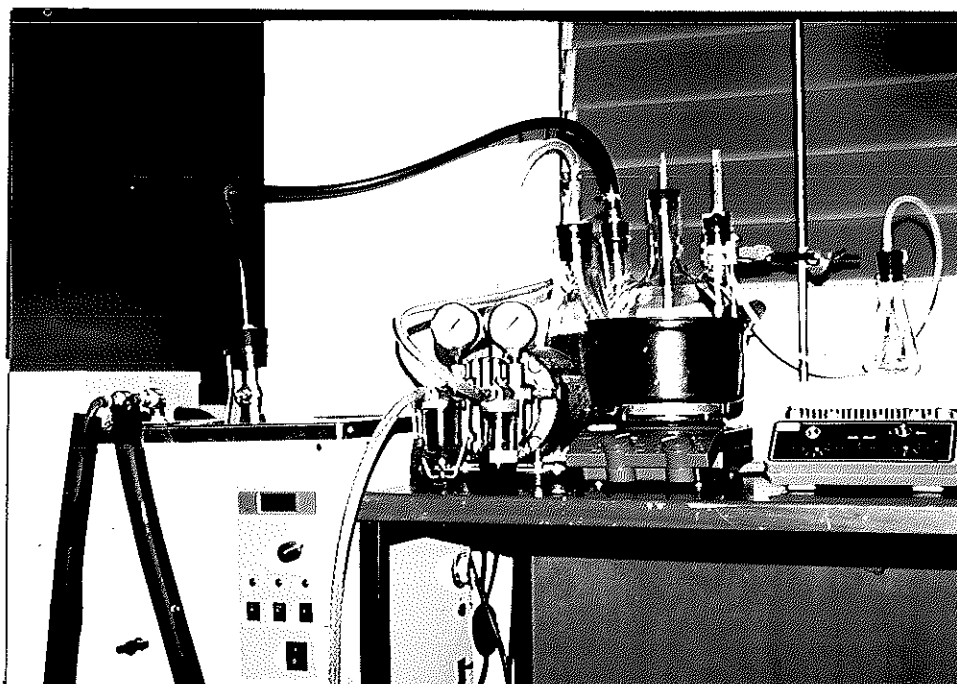
1. เครื่องเหวี่ยงแยกความเร็วสูง ชนิด fixed-angle rotor
2. โถตุคความชื้น
3. บีกูคสุญญากาศ พร้อมเกจวัดความดัน และชุดจับสารระเหย
4. เครื่อง Aspirator
5. ชุดฟอกสี แสดงดังภาพที่ 2

6. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิต
7. เตาไฟฟ้า พร้อมแท่งกวนแม่เหล็กไฟฟ้า
8. ชุดกำจัดกลิ่น แสดงดังภาพที่ 3
9. เครื่องวัดสีสเปกโตรสโกปีสำหรับวัดค่าสีโฟโตเมตริก
10. เครื่องวัดค่าสีระบบโลวิบอนด์
11. เครื่องวัดค่าสีระบบอันเตอร์
12. ขวดวัดความหนาแน่นของน้ำมัน
13. เครื่องกวน





ภาพที่ 2 ชุดฟอกสี



ภาพที่ 3 ชุดกำจัดกลิ่น

## วิธีการดำเนินการ

### 1. ศึกษาคุณภาพของน้ำมันที่ได้จากน้ำนิ่งปลาทูน่า

ตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันต่อไปนี้ โดยแต่ละรายการทำ 3 ซ้ำ

1. ความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ (AOAC, 1990)
2. กรดไขมันอิสระ (AOAC, 1990)
3. ค่าเปอร์ออกไซด์ (มอก. 44, 2516)
4. ไอโอดีน นัมเบอร์ (มอก. 44, 2516)
5. สารที่สปอนิฟายไม่ได้ (มอก. 44, 2516)
6. ค่าสีระบบโลวิบอนด์ (มอก. 44, 2516) ค่าสีโฟโตเมตริก คัดแปลงจากวิธี  
ของ (AOCS, 1989) และค่าสีระบบอินเตอร์ ด้วยวิธี reflectance measurements  
ของภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมงศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
7. เหล็ก ตรวจหาปริมาณด้วยเครื่อง ICP-AES (The Inductivity Coupled Plasma  
Discharge Atomic Emission Spectrometry) ของศูนย์เครื่องมือกลาง  
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
8. ฟอสฟอรัส ตรวจหาปริมาณด้วยเครื่อง ICP-AES
9. ตะกั่ว ตรวจหาปริมาณด้วยเครื่อง ICP-AES
10. ส่วนประกอบของกรดไขมัน ตรวจด้วย GLC โดยตรวจสอบที่ห้องปฏิบัติการ  
จุลชีววิทยา ประยุกต์ ของภาควิชาวิทยาศาสตร์เพื่อชีวิตประยุกต์ (Applied  
Life Science) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

### 2. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสารเหนียว

- 2.1. ชนิดของสารกำจัดสารเหนียว 2 ชนิดคือ กรดฟอสฟอริกและกรดซิตริก
- 2.2. ปริมาณของสารกำจัดสารเหนียว 3 ระดับคือ ร้อยละ 0.15, 0.25 และ 0.35 ของ  
น้ำหนักน้ำมัน

### 2.3. เวลาในการกำจัดสารเหนียว 3 ระดับคือ 5, 10 และ 15 นาที

โดยวางแผนการทดลองแบบ  $2 \times 3 \times 3$  แฟกทอเรียลในแผนแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ แต่ละสิ่งทดลองทำ 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวิธี ANOVA ทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

นำน้ำมัน 100 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตรกวนด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ให้เข้ากันปรับอุณหภูมิถึง 40 องศาเซลเซียส เติมกรดฟอสฟอริกหรือกรดซิตริกโดยใช้ปริมาณของกรดและใช้ระยะเวลาในการกำจัดสารเหนียวตามที่กำหนด กวนให้เข้ากัน เมื่อครบเวลาที่กำหนด เติมน้ำร้อยละ 2 ของน้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น กวนให้เข้ากันด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที นำของผสมที่ได้เข้าเครื่องเหวี่ยงแยกความเร็ว 4,500 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 15 นาที แยกชั้นน้ำมันออกมา นำไปทดสอบหาปริมาณฟอสฟอรัส เลือกการทดลองที่ให้ค่าปริมาณฟอสฟอรัสต่ำสุด นำมาเตรียมน้ำมันให้ได้จำนวน 3,000 กรัม และตรวจหาปริมาณเหล็กและกรดไขมันอิสระ เพื่อใช้สำหรับการทดลองที่ 3 ต่อไป

## 3. ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง

3.1. โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 16 องศาโบเม(ร้อยละ 11.06 น้ำหนัก/ปริมาตร) เติมในปริมาณมากเกินไป 3 ระดับคือ ร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 ของน้ำหนัก

### 3.2. เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 3 ระดับคือ 5, 10 และ 15 นาที

วางแผนการทดลองแบบ  $3 \times 3$  แฟกทอเรียลในแผนแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ แต่ละสิ่งทดลองทำ 3 ซ้ำ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้วิธีการเดียวกับข้อ 2

นำน้ำมันที่ผ่านขั้นตอนการกำจัดสารเหนียวตามการทดลองที่ 2 จำนวน 100 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับให้เท่ากับอุณหภูมิห้อง เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 16 องศาโบเม ในปริมาณที่กำหนด กวนน้ำมันด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที ตามเวลาในการเกิดปฏิกิริยาตามที่กำหนด หยุดการกวนปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นเป็น 65 องศาเซลเซียส ทันที ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็น

เวลา 10 ชั่วโมง นำน้ำมันที่ได้เข้าเครื่องเหวี่ยงแยกความเร็ว 4,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที แยกสบู่ ออก และเติมโซเดียมคลอไรด์ปริมาณร้อยละ 2 ของน้ำมันที่ได้ เพื่อตกตะกอนเศษสบู่ แล้วนำเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกความเร็ว 4,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที แยกเศษสบู่และเกลือออก เปรียบเทียบค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมันและปริมาณสบู่ตามวิธีของ มอก. 44 (2516) เลือกการทดลองที่ดีที่สุดที่ให้ค่าสีโฟโตเมตริกและปริมาณสบู่ที่น้อยที่สุด นำมาเตรียมน้ำมันให้ได้จำนวน 2,000 กรัม และตรวจหาปริมาณเหล็ก ค่าสีโฟโตเมตริกสำหรับการทดลองที่ 4 ต่อไป

#### 4. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการเติมค้างช้า

4.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 40 องศาโบเม (ร้อยละ 28.72 น้ำหนัก/ปริมาตร) เติมในน้ำมัน 3 ระดับคือ ร้อยละ 1, 2 และ 3 ของน้ำหนักน้ำมัน

4.2. เวลาในการเกิดปฏิกิริยาสบู่ 2 ระดับคือ 5 และ 10 นาที

วางแผนการทดลองแบบ 3x2 แฟกทอเรียลในแผนแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ แต่ละสิ่งทดลองทำ 3 ซ้ำ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้วิธีการเดียวกับข้อ 2

นำน้ำมันที่ได้จากการทดลองที่ 3 จำนวน 100 กรัม ใส่บีกเกอร์ 250 มิลลิลิตร ปรับอุณหภูมิให้เท่าอุณหภูมิห้อง เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 40 องศาโบเม ในปริมาณที่กำหนด กวนเป็นเวลา 5 หรือ 10 นาที หยุดกวนปรับอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 65 องศาเซลเซียสทันที ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง นำเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกความเร็ว 4,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที แยกสบู่ ออกและเติมโซเดียมคลอไรด์ในปริมาณร้อยละ 2 ของน้ำมันที่ได้ เพื่อตกตะกอนเศษสบู่ นำเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกความเร็ว 4,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที แยกเศษสบู่และเกลือออก เปรียบเทียบค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน และปริมาณสบู่ เลือกการทดลองที่ให้ค่าสีและปริมาณสบู่ที่น้อยที่สุด นำมาเตรียมน้ำมันให้ได้จำนวน 2,000 กรัม และหาค่าเปอร์ออกไซด์และกรดไขมันอิสระ เพื่อใช้สำหรับการทดลองที่ 5 ต่อไป

## 5. ศึกษาปริมาณดินฟอกสีที่เหมาะสมในการฟอกสี

5.1. ดินฟอกสี 2 ชนิดคือ ดินฟอกสีฟูลเลอร์เอิร์ทและดินฟอกสีแอกติเวตเตดเอิร์ท

5.2. ปริมาณดินฟอกสีฟูลเลอร์เอิร์ทร้อยละ 5 และปริมาณดินฟอกสีแอกติเวตเตดเอิร์ท 3 ระดับคือ ร้อยละ 1, 3 และ 5

วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์รวม 4 ชุดการทดลองโดยแต่ละสิ่งทดลองทำ 3 ซ้ำ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้วิธีการเดียวกับข้อ 2

นำน้ำมันปลาที่ผ่านการเติมค่าซ้ตามวิธีที่ดีที่สุดจากข้อ 4 จำนวน 100 กรัม บรรจุในชุดฟอกสี กวนน้ำมันด้วยความเร็ว 200 รอบต่อนาที และให้ความร้อนเมื่ออุณหภูมิถึง 80 องศาเซลเซียส เติมดินฟอกสีฟูลเลอร์เอิร์ทหรือดินฟอกสีแอกติเวตเตดเอิร์ท โดยเติมในปริมาณที่กำหนด ปรับความดันสูญญากาศให้มีค่า 27 นิ้วปรอท เพิ่มอุณหภูมิจนถึง 90 องศาเซลเซียส เริ่มนับเวลาในการฟอกสีให้ครบ 15 นาที โดยควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 90-95 องศาเซลเซียส เมื่อครบเวลาที่กำหนด ปรับอุณหภูมิของน้ำมันให้เย็นลงเป็น 60 องศาเซลเซียส ปรับความดันเท่าบรรยากาศ กรองน้ำมันผ่านกระดาษกรองเบอร์ 5 นำน้ำมันที่ได้หาค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าสีโฟโตเมตริก และกรดไขมันอิสระ เลือกการทดลองที่ดีที่สุดที่ให้ค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำสุด นำมาเตรียมน้ำมันให้ได้ปริมาณ 2,000 กรัม วิเคราะห์กรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์ สำหรับการทดลองที่ 6

## 6. ศึกษาวิธีการแยกส่วนไขมัน

6.1 ศึกษาการแยกส่วนไขมันโดยอาศัยระดับชั้นความหนาแน่นของตัวกลาง โดยตัดแปลงวิธีการทดลองของ Ong และคณะ (1983)

6.1.1. ศึกษาผลของสัดส่วนของตัวกลาง ต่อค่าความหนาแน่นของตัวกลาง และความสามารถในการแยกส่วนไขมันของ โอลิอินกับสเตียร์น

โดยใช้น้ำต่อไอโซโพรพานอลที่ใช้เป็นตัวกลางมี 5 ระดับคือ 42:58, 47:53, 52:48, 57:43 และ 62:38 (ปริมาตรต่อปริมาตร)

- ศึกษาผลของสัดส่วนของตัวกลางต่อค่าความหนาแน่นของตัวกลาง  
วางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ แต่ละสิ่งทดลองทำ 2 ซ้ำ วิเคราะห์  
ข้อมูลใช้วิธีการเดียวกับข้อ 2

เตรียมตัวกลางในสัดส่วนที่กำหนดจำนวน 200 มิลลิลิตร หาค่าความหนาแน่น  
ของตัวกลางตามวิธีการหาค่าความหนาแน่นของน้ำมันในคอนทักซ์ของภาคผนวก ข จาก  
นั้นวิเคราะห์หาค่าความหนาแน่นเฉลี่ยของตัวกลางเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นของ  
น้ำมันปลาที่ได้จากการทดลองที่ 5

- ศึกษาผลของสัดส่วนของตัวกลางต่อการแยกส่วนไขมันของโอลิอินกับ  
สเตียริน

นำน้ำมันที่ผ่านการฟอกสีจำนวน 50 กรัม บรรจุในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร  
เติมตัวกลางที่มีสัดส่วนของน้ำ:ไอโซโพรพานอลที่กำหนด จำนวน 50 มิลลิลิตร ปรับ  
อุณหภูมิของผสมเป็น 4 องศาเซลเซียสในเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำของผสมเข้าเครื่อง  
เหวี่ยงแยกความเร็ว 4,500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 15 นาที  
บันทึกลักษณะการแยกชั้นของน้ำมันและตัวกลางที่กำหนด โดยกำหนดให้ลักษณะของ  
โอลิอินที่ดีจะมีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีจุดสีขุ่นขาวปนในชั้นของโอลิอิน สำหรับ  
สเตียรินจะมีลักษณะเป็นก้อนสีขุ่นขาว ทึบแสง เลือกสัดส่วนของตัวกลางที่สามารถทำ  
ให้โอลิอินแยกชั้นจากสเตียรินอย่างสมบูรณ์ เพื่อใช้ในการทดลองที่ 6.1.2. ต่อไป

#### 6.1.2. ศึกษาสัดส่วนของน้ำมันต่อตัวกลางต่อผลผลิตโอลิอิน

โดยใช้สัดส่วนของน้ำมันต่อตัวกลางมี 3 ระดับคือ 1.0:0.5, 1.0:1.0 และ  
1.0:1.5 (น้ำหนักต่อปริมาตร) แต่ละสิ่งทดลองทำ 3 ซ้ำ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลผลิต  
โอลิอินที่ได้

นำน้ำมันที่ผ่านการฟอกสีจำนวน 50 กรัม บรรจุในพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร  
เติมตัวกลางที่ได้คัดเลือกจากการทดลองที่ 6.1.1. โดยใช้สัดส่วนน้ำมันต่อตัวกลางตามที่  
กำหนด ปรับอุณหภูมิของผสมเป็น 4 องศาเซลเซียสในเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำของผสม  
เข้าเครื่องเหวี่ยงแยกความเร็ว 4,500 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส ใช้เวลา

15 นาที บันทึกลักษณะการแยกชั้นของน้ำมันและตัวกลางที่กำหนด นำชั้นโพลิอินที่ได้ เเทลงในกรวยแยก และแยกตัวกลางออกมา นำส่วนของน้ำมันโพลิอินไประเหยด้วยเครื่อง ระเหยสูญญากาศเพื่อไล่ตัวกลางออกอีกครั้ง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนัก โพลิอินที่ได้ เปรียบเทียบผลผลิตโพลิอินและค่าไอโอดีน คัดเลือกสัดส่วนของน้ำมันต่อ ตัวกลางที่สามารถให้ผลผลิตโพลิอินสูงสุด เพื่อทำการเปรียบเทียบกับกรทดลองที่ 6.2. ต่อไป

**6.2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน โดย คัดแปลงวิธีการทดลองจาก Yang และคณะ (1992)**

6.2.1. สัดส่วนของตัวทำละลายเฮกเซนต่อน้ำมัน มี 3 ระดับคือ 0.5:1.0, 1.0:1.0, และ 1.0:1.5 (ปริมาตรต่อน้ำหนัก)

6.2.2. เวลาที่ใช้ในการตกผลึกมี 3 ระดับคือ 24, 48 และ 72 ชั่วโมง

วางแผนการทดลองแบบ 3x3 แฟกทอเรียลในแผนแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ แต่ละ สิ่งทดลองทำ 3 ซ้ำ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้วิธีการเดียวกับข้อ 2

นำน้ำมันที่ผ่านการฟอกสีจำนวน 50 กรัมบรรจุในฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร เติมตัวทำละลายเฮกเซน ในสัดส่วนตัวทำละลายต่อน้ำมันตามที่กำหนด ผสมให้เข้ากัน และนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ตามเวลาที่กำหนด เมื่อครบเวลากรองผลึกที่ เกิดขึ้นด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 นำสารละลายที่ได้ไประเหยด้วยเครื่องระเหยสูญญากา ศ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักน้ำมันเพื่อหาผลผลิตโพลิอิน และหาค่า ไอโอดีน คัดเลือกวิธีการที่ให้ผลผลิตและค่าไอโอดีนสูงสุด เปรียบเทียบผลผลิตโพลิอิน และค่าไอโอดีนที่ได้กับการทดลองที่ 6.1. คัดเลือกวิธีที่ดีที่สุดนำมาเตรียมน้ำมันจำนวน 2,000 กรัม สำหรับใช้ในการทดลองที่ 7 ต่อไป

## 7. ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการกำจัดกลิ่น

เปรียบเทียบอุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดกลิ่นมี 3 ระดับคือ 150, 170 และ 190 องศาเซลเซียส ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ แต่ละสิ่งทดลองทำ 3 ซ้ำ การวิเคราะห์ข้อมูลใช้วิธีการเดียวกับข้อ 2

นำน้ำมันที่ผ่านการแยกส่วนไขมันตามการทดลองที่ 6 จำนวน 150 กรัม บรรจุลงในชุดกำจัดกลิ่น ปรับความดันสูญญากาศเป็น 27 นิ้วปรอท พร้อมกับปรับอุณหภูมิตามที่กำหนด เติมน้ำโดยใช้ปริมาณน้ำร้อยละ 3 ของน้ำหนักน้ำมัน/ชั่วโมง เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนด ปล่อยน้ำมันให้มีอุณหภูมิลดลงที่ 60 องศาเซลเซียส และปรับความดันให้เท่ากับความดันบรรยากาศ เก็บน้ำมันใส่ขวดสีชาและปิดฝาสนิท นำน้ำมันที่ได้วิเคราะห์หาค่าเปอร์ออกไซด์ กรดไขมันอิสระและค่าสีโฟโตเมตริก เลือกวิธีการทดลองที่ดีที่สุดที่ให้ค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำสุด มาเตรียมน้ำมันให้ได้ปริมาณ 1,000 กรัม และตรวจหาความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ ค่าไอโอดีน สารที่สaponifyไม่ได้ ค่าสีโฟโตเมตริก ค่าสีโลวิบอนด์ ปริมาณเหล็ก และฟอสฟอรัส สำหรับนำไปใช้ในการทดลองที่ 8 ต่อไป

## 8. ศึกษาอุณหภูมิในการเก็บรักษาน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น

เปรียบเทียบอุณหภูมิในการเก็บรักษามี 3 ระดับคือ 4, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ ซึ่งกำหนดเวลาในการเก็บรักษาเป็นบล็อกมี 5 ระดับคือ เดือนที่ 0, 1, 2, 3 และ 4 การวิเคราะห์ข้อมูลใช้วิธีการเดียวกับข้อ 2

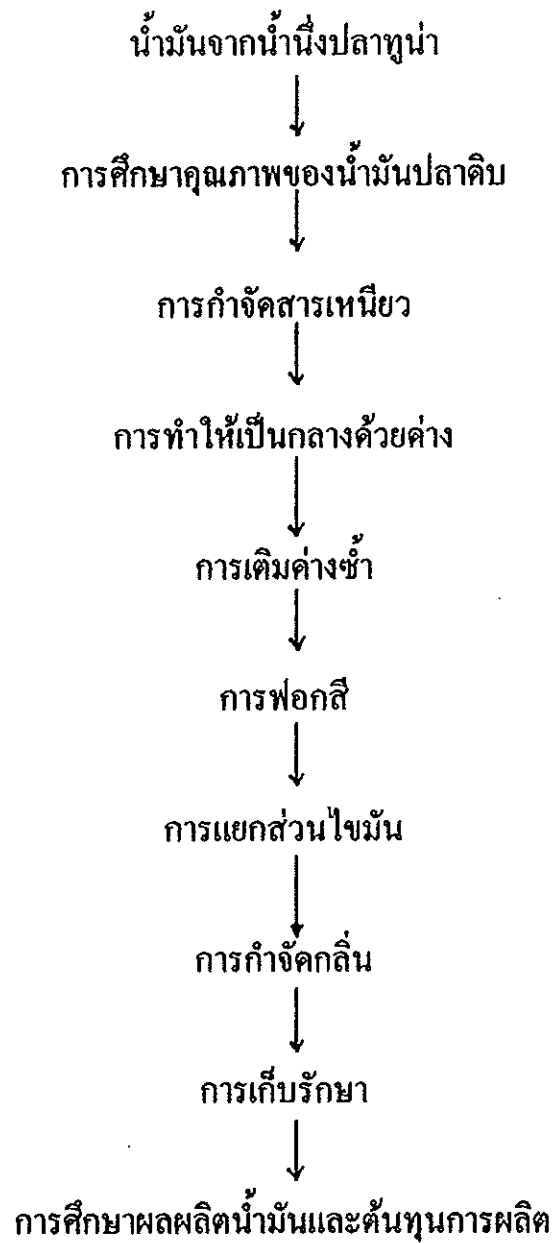
นำน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นโดยได้จากขั้นตอนการผลิตน้ำมันปลาคุณภาพที่ 4 แบ่งออกเป็น 12 ส่วน แบ่งบรรจุใส่ขวดแก้วสีชาขนาด 60 มิลลิลิตร เติมน้ำมันให้เต็มขวด ปิดฝาจุกซึ่งทำด้วยพลาสติกให้แน่น เพื่อป้องกันอากาศเข้า แยกเก็บตามอุณหภูมิที่กำหนด ตรวจวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์ วิเคราะห์ 3 ซ้ำ



ทุก 1 เดือน เป็นเวลา 4 เดือน เปรียบเทียบผลที่ได้ กัดเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษาน้ำมันเพื่อให้มีกรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำที่สุด

#### 9. ศึกษาต้นทุนและผลผลิต

นำน้ำมันที่แยกได้จากน้ำนึ่งปลาทูน่าประมาณ 2 กิโลกรัม ทำการทดลอง 2 ชั่วโมง สำหรับศึกษาการเพิ่มขนาดการผลิตน้ำมัน โดยน้ำมันได้รับการปรับปรุงคุณภาพตามวิธีที่ดีที่สุดจากข้อ 2-7 (ตามลำดับ) วิเคราะห์ผลผลิตน้ำมันและต้นทุนการผลิต เพื่อใช้เป็นแนวทางในการเปรียบเทียบการผลิตในระดับอุตสาหกรรม



ภาพที่ 4 แสดงขั้นตอนการศึกษา การผลิตน้ำมันปลาที่มีสาร โอเมก้า 3 พูฟา จากน้ำนิ่งปลาทูน่า

### บทที่ 3

#### ผลและวิจารณ์

#### 1. ผลการศึกษาคุณภาพของน้ำมันที่ได้จากน้ำนิ่งปลาทูน่า

Young (1985 อ้างโดย Bimbo, 1990) ได้กำหนดคุณภาพทางเคมีและสารปนเปื้อนของน้ำมันปลาดิบ แสดงดังตารางที่ 5 ซึ่งน้ำมันที่ได้จากน้ำนิ่งปลาทูน่ามีความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ร้อยละ 1.80 มีปริมาณสูงกว่าความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ของค่ากำหนดคุณภาพของน้ำมันปลาดิบที่กำหนดร้อยละ 0.5-1.0 เนื่องจากความชื้นมีผลต่อคุณภาพของน้ำมัน เพราะสามารถสนับสนุนให้เกิดการสลายตัวของไตรกลีเซอไรด์แยกเป็นกรดไขมันอิสระได้ ทำให้น้ำมันเกิดการสูญเสียในขั้นตอนการทำให้เป็นกลางด้วยค่าเพิ่มขึ้น (Mounts and List, 1996 )

น้ำมันจากน้ำนิ่งปลาทูน่ามีกรดไขมันอิสระและค่าเปอร์ออกไซด์ ร้อยละ 1.5) และ 16.93 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงค่ากำหนดคุณภาพของน้ำมันปลาดิบ ทั้งนี้เนื่องจากเก็บน้ำมันที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส หลังจากน้ำมันถูกแยกออกจากน้ำนิ่งปลาเป็นเวลา 2 วัน และจากผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวด้านออกซิเดชันของน้ำมันปลาซาดีนและน้ำมันปลาแมคเคอเรลของ Ohshima และคณะ (1993) พบว่า ในน้ำมันปลา มีสารฟอสโฟไลปิด (phospholipids) และสารอัลฟา-โทโคฟีรอล ( $\alpha$ -tocopherol) โดยที่สารฟอสโฟไลปิดมีคุณสมบัติเสริมฤทธิ์การต้านปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารอัลฟา-โทโคฟีรอลในน้ำมัน ทำให้น้ำมันเสื่อมเสียช้าลง

ค่าไอโอดีนของน้ำมันจากน้ำนิ่งปลาทูน่ามีค่า 191.63 เป็นค่าที่สูงกว่าค่ากำหนดคุณภาพของน้ำมันปลาคาเปลลินและปลาแฮร์ริง และมีค่าไอโอดีนใกล้เคียงกับน้ำมันปลาเมนฮาเดน ปลาซาดีน และปลาแอนโชวี ซึ่งค่าไอโอดีนเป็นค่าแสดงความไม่อิ่มตัวของน้ำมันหรือกรดไขมันและแสดงค่าเฉพาะพันธะคู่ชนิดไม่คอนจูเกต (unconjugated) โดย

โมเลกุลของกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่จำนวนมากจะให้ค่าไอโอดีนสูงกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่จำนวนน้อย (Swern, 1964a)

สารที่สaponนิฟายไม่ได้ของน้ำมันจากน้ำนิ่งปลาทูน่ามีปริมาณร้อยละ 0.95 ค่าสารที่สaponนิฟายไม่ได้แสดงถึงปริมาณสารที่ละลายได้ในน้ำมันและคงเหลืออยู่ภายหลังการ สaponนิฟายแล้ว สารกลุ่มนี้ไม่ละลายน้ำแต่ละลายได้ดีในปิโตรเลียมอีเทอร์ (มอก., 2516) สารที่พบมากในกลุ่มนี้ได้แก่ สเตอรอล อัลฟา-โทโคฟีรอล และไฮโครคาร์บอน (Mounts, 1981)

น้ำมันจากน้ำนิ่งปลาทูน่ามีสีน้ำตาลดำ ไม่สามารถวัดค่าสีโลวิบอนด์และค่าสีโฟโตเมตริก (photometric color) ได้ ดังนั้นจึงต้องวัดค่าสีจากแสงสะท้อนของน้ำมันด้วยระบบฮันเตอร์ พบว่าน้ำมันมีค่าสี  $L = 7.70$ ,  $a = 5.90$  และ  $b = 6.73$  ซึ่งค่าสีของค่ากำหนดคุณภาพของน้ำมันปลาดิบมีค่าสีโลวิบอนด์อยู่ในช่วง 7.0R/70Y-14.5R/140Y สาเหตุที่น้ำมันจากน้ำนิ่งปลาทูน่ามีสีน้ำตาลดำเพราะ น้ำมันได้จากการแยกน้ำนิ่งปลาทูน่าถูกเก็บในถังพักที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง Swern (1964b) ได้กล่าวถึงรังควาณสีน้ำตาลในน้ำมันว่า น้ำมันที่มีคุณภาพดีจะไม่สีน้ำตาลเกิดขึ้น แต่อาจพบในน้ำมันที่มีโปรตีน คาร์โบไฮเดรตถูกทำลาย ทำให้สลายตัวตกค้างในน้ำมัน ซึ่งสารเหล่านี้กำจัดออกยากแม้ว่าจะผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยด่างและการฟอกสีน้ำมัน

ปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันจากน้ำนิ่งปลาทูน่ามีปริมาณ 30.39 ส่วนในล้านส่วน เป็นปริมาณที่อยู่ในช่วงค่ากำหนดคุณภาพของน้ำมันปลาดิบ ซึ่งมีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำกว่าน้ำมันเมล็ดถั่วเหลือง โดยน้ำมันเมล็ดถั่วเหลืองที่ผ่านการบีบด้วยระบบไฮดรอลิกและน้ำมันถั่วเหลืองที่ผ่านการกำจัดสารเหนียวมีปริมาณของฟอสฟอรัสประมาณ 1,000 และ 50-150 ส่วนในล้านส่วนตามลำดับ (Hodgson, 1996) การที่น้ำมันจากน้ำนิ่งปลา มีปริมาณฟอสฟอรัสต่ำอาจเป็นเพราะในการแยกน้ำมันออกจากน้ำนิ่งปลาใช้วิธีการเหวี่ยงแยกด้วยความเร็วสูง ทำให้สารฟอสฟาไทด์ที่มีโครงสร้างแบบ alpha-lipoid สามารถจับกับโมเลกุลของน้ำและถูกเหวี่ยงแยกออก (Carr, 1976)

ปริมาณเหล็กในตัวอย่งมีปริมาณ 5.19 ส่วนในล้านส่วน เป็นปริมาณในช่วงค่ากำหนดคุณภาพของน้ำมันปลาดิบ ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเหล็กและฟอสฟอรัสในน้ำมันคาโนล่าที่ผ่านการกำจัดสารเหนียวด้วยน้ำพบว่าเมื่อกำจัดสารเหนียวปริมาณเหล็กและฟอสฟอรัสตกค้างจะมีความสัมพันธ์กัน โดยปริมาณเหล็กที่ลดลงจะเกิดขึ้นตามปริมาณฟอสฟอรัสที่ลดลง (Wiedermann, 1981) เหล็กเป็นโลหะมีผลต่อความคงตัวของน้ำมัน โดยเป็นสารโปรออกซิเดนท์สนับสนุนการสร้างอนุมูลอิสระเริ่มต้นของสารกลุ่มอัลคิน เร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกไดออกซิเดชันในน้ำมัน (Gunstone and Norris, 1983d)

สำหรับปริมาณตะกั่วที่อาจปนเปื้อนจากอุปกรณ์การระบายน้ำนิ่งปลาจากหม้อนึ่งสุ่งพักมีปริมาณต่ำมาก โดยพบปริมาณน้อยกว่า 0.05 ส่วนในล้านส่วน Elson และคณะ (1981) ได้ศึกษาปริมาณตะกั่วในน้ำมันปลาเมนฮาเคน พบว่ามีปริมาณตะกั่วตกค้างในน้ำมัน 0.32 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งปริมาณตะกั่วตกค้างในน้ำมันจากน้ำนิ่งปลาทูน่านี้มีปริมาณต่ำกว่าน้ำมันปลาเมนฮาเคนมาก

ตารางที่ 5 คุณสมบัติของน้ำมันที่ได้จากน้ำมันปลาทูน่าเปรียบเทียบกับ  
ค่ากำหนดคุณภาพของน้ำมันปลาดิบ

คุณสมบัติ	น้ำมันปลาจากน้ำมัน ปลาทูน่า	ค่ากำหนดคุณภาพ ของน้ำมันปลาดิบ
ความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้(ร้อยละ)	1.80	0.5-1.0
กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	1.51	2-5
ค่าเปอร์ออกไซด์ (มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม)	16.29	3-20
ค่าไอโอดีน	191.63	95-160 (ปลาคาเปลิน) 115-160 (ปลาแฮร์ริง) 150-200 (ปลาเมนฮาเดน) 160-200 (ปลาซาร์ดีน) 180-200 (ปลาแอนโชวี)
ค่าสี ระบบโลวิบอนด์ <sup>a</sup> ระบบฮันเตอร์	สีค่าน้ำตาลเข้ม L = 7.70, a = 5.90 b = 6.73	12-14 ไม่กำหนด
สารที่สไปนไฟมายไม่ได้ (ร้อยละ)	0.95	ไม่กำหนด
ฟอสฟอรัส (ส่วนในล้านส่วน)	30.39	5-100
เหล็ก (ส่วนในล้านส่วน)	5.19	0.5-7.0
ตะกั่ว (ส่วนในล้านส่วน)	น้อยกว่า 0.05	ไม่ระบุ

<sup>a</sup> คัดแปลงมาจากค่าสีระบบ การ์ดเนอร์

ที่มา : คัดแปลงจาก Bimbo (1990)

## 2. ผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดสารเหนียว

ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ ชนิดของสารกำจัดสารเหนียวคือ กรดฟอสฟอริกและกรดซิตริก ปริมาณของกรดที่เติมคือ ร้อยละ 0.15, 0.25 และ 0.35 และเวลาในการทำปฏิกิริยากับสารเหนียวคือ 5, 10 และ 15 นาที ประเมินผลโดยเปรียบเทียบปริมาณฟอสฟอรัส และกรดไขมันอิสระ

### ปริมาณฟอสฟอรัส

จากผลแสดงคังภาพที่ 5 และตารางภาคผนวกที่ 1 และ 2 พบว่า การใช้กรดซิตริกมีผลลดปริมาณฟอสฟอรัสตกค้างในน้ำมันได้มากกว่าการใช้กรดฟอสฟอริก โดยมีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ในทุกปริมาณของกรดที่เติม และทุกระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารเหนียว โดยน้ำมันที่ใช้กรดฟอสฟอริกและกรดซิตริกกำจัดสารเหนียวมีปริมาณฟอสฟอรัสตกค้าง 36.88-83.75 และ 17.29-28.65 ส่วนในล้านส่วนตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกรดฟอสฟอริกอาจตกค้างในน้ำมันที่ผ่านการล้างน้ำแล้ว จึงทำให้น้ำมันที่ใช้กรดฟอสฟอริกกำจัดสารเหนียวมีปริมาณของฟอสฟอรัสสูงกว่าน้ำมันที่ใช้กรดซิตริกกำจัดสารเหนียว

เมื่อพิจารณาการใช้กรดซิตริกในการกำจัดสารเหนียวพบว่า ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาและปริมาณของกรดซิตริกที่เติมลงไป ในน้ำมันมีไม่มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสตกค้างในน้ำมัน โดยปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันที่ผ่านการกำจัดสารเหนียวในเวลา 5, 10 และ 15 นาที มีปริมาณฟอสฟอรัสตกค้างเท่ากับ 17.92-19.96, 22.2.-23.43 และ 17.29-28.65 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมันจากน้ำนิ่งปลาทูน่าซึ่งมีปริมาณ 30.39 ส่วนในล้านส่วน ผลการทดลองที่ได้ให้ผลใกล้เคียงกับผลการทดลองกำจัดสารเหนียวในน้ำมันคาโนล่าของ Diosady (1984) ที่พบว่าการเติมกรดซิตริกในปริมาณร้อยละ 0.25 และ 0.30 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาของกรดต่อสารเหนียวที่เวลา 10 นาที ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสตกค้างอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน โดยมีฟอสฟอรัสตกค้าง 38.6 และ 37.6 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ จากปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นในน้ำมันดิบ 541 ส่วนในล้านส่วน

เมื่อพิจารณาเฉพาะการใช้กรดฟอสฟอริกในการกำจัดสารเหนียวพบว่า เมื่อใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 15 นาที ทำให้มีปริมาณของฟอสฟอรัสตกค้างในน้ำมันสูงกว่าที่ระยะเวลา 5 และ 10 นาที โดยมีผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) และเมื่อใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 15 นาที พบว่าการใช้กรดฟอสฟอริกที่ปริมาณร้อยละ 0.35 ทำให้มีปริมาณฟอสฟอรัสตกค้างในน้ำมันสูงกว่าที่ปริมาณร้อยละ 0.25 และ 0.15 ตามลำดับ

### กรดไขมันอิสระ

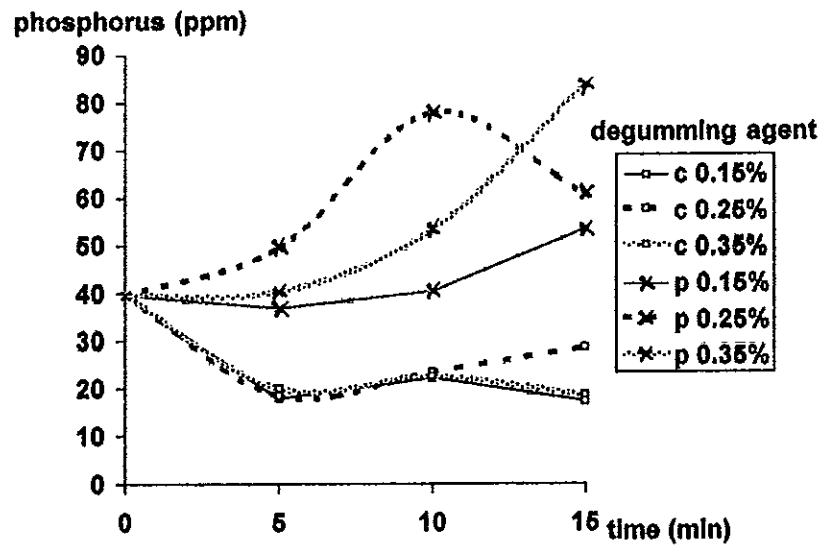
เนื่องจากการวัดปริมาณฟอสฟอรัสตกค้างในน้ำมันไม่สามารถเป็นตัวแทนที่ดีในการแสดงปริมาณสารฟอสฟาไทด์สำหรับการทดลองนี้ เพราะปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้ อาจเกิดจากการตกค้างของกรดฟอสฟอริก ดังนั้นการคัดเลือกสถานะที่เหมาะสมจึงต้องหาปริมาณกรดไขมันอิสระที่เกิดขึ้นในน้ำมันที่ผ่านการกำจัดสารเหนียว จากผลแสดงดังกล่าวที่ 6 และตารางภาคผนวกที่ 3 และ 4 พบว่า กรดซिटริกทำให้น้ำมันมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่าการใช้กรดฟอสฟอริก โดยน้ำมันที่ใช้กรดซिटริกและกรดฟอสฟอริกกำจัดสารเหนียวมีปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในช่วงร้อยละ 1.32-1.39 และร้อยละ 1.37-1.57 ตามลำดับ โดยเฉพาะการเติมกรดซिटริกปริมาณร้อยละ 0.15 เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที ให้ผลแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำหนักโมเลกุลของกรดฟอสฟอริก ( $H_3PO_4$ ) ซึ่งมีค่า 98 ต่ำกว่าน้ำหนักโมเลกุลของกรดซिटริก ( $C_6H_8O_7 + H_2O$ ) ซึ่งมีค่า 210.1 ทำให้เมื่อเทียบปริมาณกรดฟอสฟอริกต่อน้ำหนักแล้ว จำนวนโมลของกรดฟอสฟอริกจะมีปริมาณมากกว่าจำนวนโมลของกรดซिटริก ดังนั้นน้ำมันที่กำจัดสารเหนียวด้วยกรดฟอสฟอริกจึงมีการเติมกรดที่มีจำนวนโมลมากกว่าการเติมด้วยกรดซिटริก

ดังนั้นจึงเลือกใช้กรดซिटริกปริมาณร้อยละ 0.15 เวลาในการทำปฏิกิริยากำจัดสารเหนียว 5 นาที เป็นสถานะที่เหมาะสมในขั้นตอนการกำจัดสารเหนียว

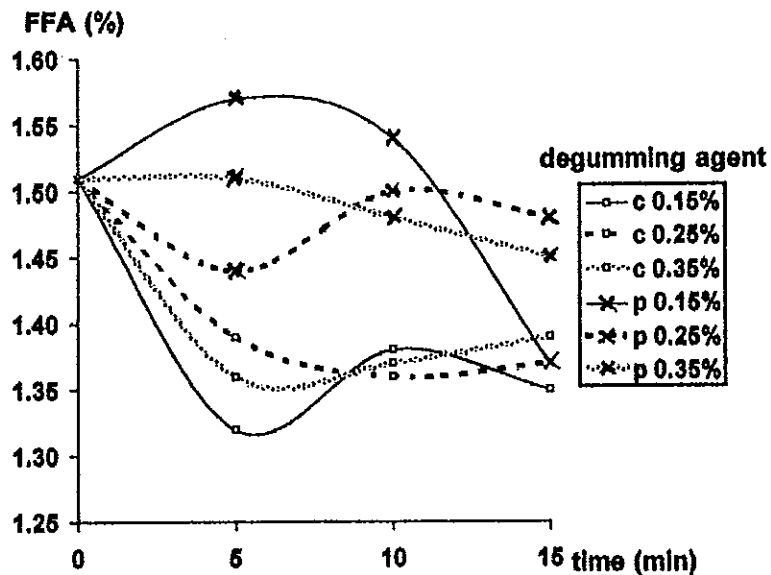


### การทดลองกำจัดสารเหนียวในน้ำมันที่มีปริมาณ 1.4 กิโลกรัม

จากการทดลองใช้น้ำมัน 1,495 และ 1,475 กรัม บรรจุในถ้วยตวงทรงกระบอก ขนาด 2,500 มิลลิลิตร กำจัดสารเหนียวตามวิธีคัดเลือกสถานะที่เหมาะสม คือใช้กรด ซิตรีคปริมาณร้อยละ 0.15 เวลาในการทำปฏิกิริยากำจัดสารเหนียว 5 นาที กวนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และล้างด้วยน้ำในปริมาณ ร้อยละ 2 เป็นเวลา 20 นาที พบว่ามี ปริมาณฟอสฟอรัสและเหล็กตกค้าง 20.65 และ 16.53 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ มี ปริมาณกรดไขมันอิสระร้อยละ 1.32 ซึ่งปริมาณฟอสฟอรัสและกรดไขมันอิสระที่ได้มี ปริมาณใกล้เคียงกับการทดลองกำจัดสารเหนียวซึ่งใช้น้ำมันปริมาณ 100 กรัม สำหรับผล ผลิตน้ำมันที่ได้มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 95.05 โดยส่วนที่สูงสูญเสียคือ เศษสารเหนียวที่แยกตัวออก จากน้ำมันหลังจากเข้าเครื่องเหวี่ยงแยก



ภาพที่ 5 ผลของการกำจัดสารเหนียวต่อปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมัน  
c = กรดซิตริก; p = กรดฟอสฟอริก



ภาพที่ 6 ผลของการกำจัดสารเหนียวต่อกรดไขมันอิสระของน้ำมัน  
c = กรดซิตริก; p = กรดฟอสฟอริก

### 8. ผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการทำให้เป็นกลางด้วยค่า

ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 16 องศาโบเม ปริมาณมากเกินพอร้อยละ 0.1, 0.3 และ 0.5 และเวลาในการทำปฏิกิริยาสบู่คือ 5, 10 และ 15 นาที โดยเปรียบเทียบผลค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมันและปริมาณสบู่

#### ค่าสีโฟโตเมตริก

จากผลแสดงดังภาพที่ 7 และตารางภาคผนวกที่ 5 และ 6 น้ำมันที่ได้จากการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 16 องศาโบเม ปริมาณมากเกินพอร้อยละ 0.5 ทุกระยะเวลาให้ค่าสีต่ำกว่าการใช้ค่าที่มีปริมาณมากเกินพอร้อยละ 0.3 และ 0.1 โดยที่ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที เติมค่าปริมาณมากเกินพอร้อยละ 0.5 ให้ค่าสีต่ำที่สุดมีค่า 17.43 ซึ่งค่าจะแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเทียบกับน้ำมันที่เติมค่ามากเกินพอร้อยละ 0.3 และ 0.1 ซึ่งให้ค่าสีโฟโตเมตริก 31.41 และ 80.67 ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาสบู่ไม่มีผลต่อค่าสีของน้ำมัน โดยสีของน้ำมันที่ผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยค่าแสดงดังภาพที่ 8

Norris (1964) กล่าวถึงการเลือกใช้ปริมาณค่า และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาสบู่ว่า การใช้ค่าปริมาณมากเกินพอเป็นจำนวนมากจะให้ผลเกิดการสูญเสียน้ำมันได้มากกว่าการใช้ค่าน้อยกว่า แต่ปริมาณค่าที่เหมาะสมควรต้องพิจารณาจากค่าสีของน้ำมันที่ต้องการเป็นหลัก และการใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาสบู่เวลานานขึ้นจะมีผลทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบจากค่าสีของน้ำมัน จึงเลือกใช้ค่า ปริมาณมากเกินพอร้อยละ 0.5 และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาสบู่ 5 นาที

#### ปริมาณสบู่

จากผลแสดงดังภาพที่ 9 และตารางภาคผนวกที่ 7 และ 8 น้ำมันที่ผ่านการเติมค่าความเข้มข้น 16 องศาโบเม ปริมาณมากเกินพอร้อยละ 0.1 ทุกระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาสบู่ ให้ปริมาณสบู่มากกว่าน้ำมันที่เติมค่าปริมาณมากเกินพอร้อยละ 0.3 และ 0.5 ตามลำดับ โดยมีปริมาณสบู่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) และพบว่าเวลาใน

การทำปฏิกิริยาสูญไม่มีผลต่อปริมาณสูญ โดยการเติมค่าปริมาณมากเกินไปร้อยละ 0.5 เวลาในการทำปฏิกิริยาสูญ 5 นาที ให้ปริมาณสูญต่ำสุดมีปริมาณร้อยละ 0.011

เนื่องจากปริมาณสูญในน้ำมันมีผลต่อการเพิ่มกรดไขมันอิสระในขั้นตอนการฟอกสีด้วยดินฟอกสีแอกติเวทเตคเจอร์ทและลดความสามารถในการฟอกสีน้ำมัน (Mounts, 1981) ดังนั้นการทำน้ำมันให้เป็นกลางด้วยค่าของน้ำมันถั่วเหลืองจึงกำหนดปริมาณสูญสูงสุดคือร้อยละ 0.03 (Carr, 1976) จากเหตุผลข้างต้นการเลือกใช้ค่าความเข้มข้น 16 องศาโบเม ปริมาณมากเกินไปร้อยละ 0.5 และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาสูญ 5 นาที จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสม เนื่องจากให้ปริมาณสูญต่ำสุด และมีปริมาณสูญน้อยกว่าร้อยละ 0.03

จากการเปรียบเทียบผลของค่าสีโฟโตเมตริกและปริมาณสูญที่ให้ผลสอดคล้องกัน จึงเลือกใช้ค่าความเข้มข้น 16 องศาโบเม ปริมาณมากเกินไปร้อยละ 0.5 เวลาในการทำปฏิกิริยาสูญ 5 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทำให้เป็นกลางด้วยค่า

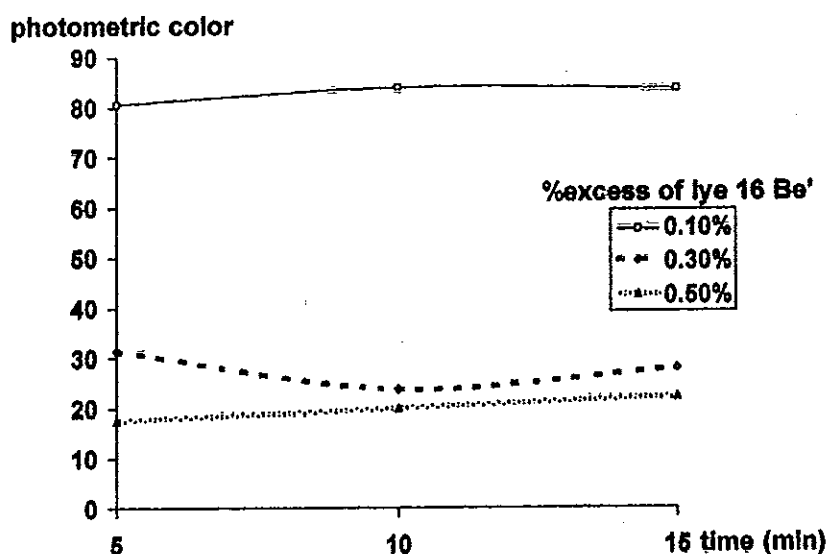
**การทดลองทำให้เป็นกลางด้วยค่าโดยใช้น้ำมันที่มีปริมาณมากกว่า 1 กิโลกรัม**

จากการทดลองใช้น้ำมัน 1,410 และ 1,385 กรัม บรรจุในบีกเกอร์ขนาด 2,000 มิลลิลิตร โดยน้ำมันมีกรดไขมันอิสระเริ่มต้นร้อยละ 1.32 นำมาทำให้เป็นกลางด้วยค่าตามวิธีที่เหมาะสม โดยใช้ค่าความเข้มข้น 16 องศาโบเม ปริมาณมากเกินไปร้อยละ 0.5 เวลาในการทำปฏิกิริยาสูญ 5 นาที พบว่าน้ำมันมีค่าสีโฟโตเมตริก 31.63 ค่าสีโลวิบอนด์ 13.4R/70Y ปริมาณสูญร้อยละ 0.021 ปริมาณฟอสฟอรัสและเหล็กเท่ากับ 10.43 และ 4.70 ส่วนในล้านส่วน และผลผลิตน้ำมันเท่ากับร้อยละ 84.26

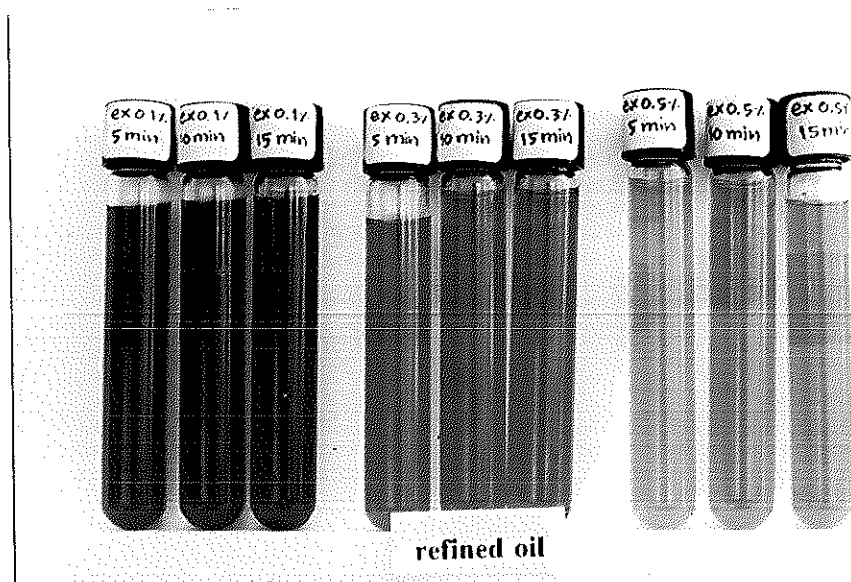
เมื่อเปรียบเทียบค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมันที่มีปริมาณมากกว่า 1 กิโลกรัมกับค่าสีของน้ำมันที่ผ่านการหาสภาวะที่เหมาะสมปริมาณ 100 กรัม พบว่าน้ำมันที่มีปริมาณมากกว่า 1 กิโลกรัม มีค่าสีโฟโตเมตริกสูงกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำมันที่ผ่านการหาสภาวะที่เหมาะสมถูกเก็บอยู่ในห้องเย็น 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 เดือน ก่อนนำมาวัดค่าสี จึงอาจทำให้สีของน้ำมันจางลง แต่อย่างไรก็ตามปริมาณสูญในน้ำมันทั้งสองกลุ่มมีค่าใกล้เคียงกัน เปรียบเทียบค่าสีของน้ำมันปลาทูน่าที่ผ่านการทำให้เป็นกลางด้วย

ค่าจากการทดลองของสุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ (2538) มีค่าสีโลวิบอนด์ 6.3 R/30Y และน้ำมันที่ผ่านการทำให้เป็นกลางของพรทิพย์ แซ่เตีย (2537) มีค่าสีโลวิบอนด์ 40.1R/53.6Y พบว่าน้ำมันปลาที่ผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยค่าในการทดลองนี้มีค่าสีแดงและเหลือง (13.4R/70Y) สูงกว่าน้ำมันของสุมาลัย แต่มีค่าสีแดงต่ำกว่าน้ำมันของพรทิพย์อย่างมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำมันปลาดิบของสุมาลัยได้จากน้ำนิ่งปลาที่ถูกพักในบ่อพักน้ำนิ่งที่ทิ้งไว้ 5 ชั่วโมง ตักกราบไขมันที่ลอยอยู่ด้านบนของน้ำนิ่ง นำมาเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกความเร็วสูง เป็นเวลา 20 นาที จากนั้นเข้าขั้นตอนการผลิตน้ำมันบริโภค ดังนั้นน้ำมันดิบเริ่มต้นจึงสัมผัสความร้อนในเวลาสั้น เมื่อเทียบกับการทดลองนี้ น้ำมันดิบเริ่มต้นได้รับความร้อนเป็นเวลานานและตามเหตุผลที่กล่าวในผลการทดลองหัวข้อที่ 1 จึงทำให้น้ำมันที่ได้จากการทดลองนี้ มีค่าสีแดงและสีเหลืองสูง

การสูญเสียไขมันของการทำให้เป็นกลางด้วยค่าโดยทั่วไปเกิดจากปริมาณสารปนเปื้อนในน้ำมัน เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปลา ลัม ไขมันสัตว์ที่มีสารปนเปื้อนน้อย มีปริมาณสารฟอสฟาไทด์ค่า พบว่ามีการสูญเสียไขมันเพียง 1.4 เท่าของกรดไขมันอิสระ ในขณะที่น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเมล็ดฝ้าย มีกรดไขมันอิสระค่า แต่มีปริมาณสารปนเปื้อนสูง เมื่อน้ำมันผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยค่า น้ำมันมีการสูญเสียในปริมาณ 5-10 เท่าของปริมาณกรดไขมันอิสระที่กำจัดออกไป (Hodgson, 1996) ในการทดลองนี้ น้ำมันที่ผ่านการกำจัดสารเหนียวมีกรดไขมันอิสระร้อยละ 1.32 ผลผลิตน้ำมันมีปริมาณร้อยละ 84.26 ดังนั้นการสูญเสียไขมันจึงมีค่าร้อยละ 15.74 หรือสูญเสียประมาณ 11 เท่าของกรดไขมันอิสระ

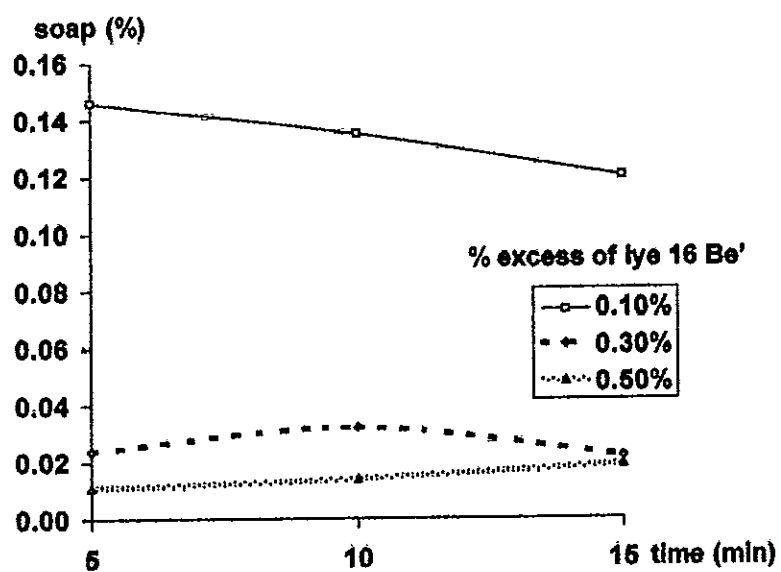


ภาพที่ 7 ผลของการทำให้เป็นกลางด้วยด่างต่อค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน



ภาพที่ 8 สีของน้ำมันที่ผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง

เรียงลำดับจากซ้ายไปขวา เดิมด่างมากเกินไปร้อยละ 0.1 ทำปฏิกิริยา 5 นาที; เดิมด่างมากเกินไปร้อยละ 0.1 ทำปฏิกิริยา 10 นาที; เดิมด่างมากเกินไปร้อยละ 0.1 ทำปฏิกิริยา 15 นาที; เดิมด่างมากเกินไปร้อยละ 0.3 ทำปฏิกิริยา 5 นาที; เดิมด่างมากเกินไปร้อยละ 0.3 ทำปฏิกิริยา 10 นาที; เดิมด่างมากเกินไปร้อยละ 0.3 ทำปฏิกิริยา 15 นาที; เดิมด่างมากเกินไปร้อยละ 0.5 ทำปฏิกิริยา 5 นาที; เดิมด่างมากเกินไปร้อยละ 0.5 ทำปฏิกิริยา 10 นาที และเดิมด่างมากเกินไปร้อยละ 0.5 ทำปฏิกิริยา 15 นาที



ภาพที่ 9 ผลของการทำให้เป็นกลางด้วยค่าคงต่อปริมาณสบู่ในน้ำมัน

#### 4. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเติมต่างซ้ำ

ปัจจัยที่ศึกษาคือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 40 องศาโบเม ปริมาณร้อยละ 1, 2 และ 3 และเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 และ 10 นาที โดยเปรียบเทียบผลของค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน และปริมาณสบู่

##### ค่าสีโฟโตเมตริก

จากผลแสดงดังภาพที่ 10 และตารางภาคผนวกที่ 9 และ 10 พบว่าปริมาณค่าที่ใช้ให้ค่าสีของน้ำมันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) โดยการเติมค่าที่มีปริมาณสูงลงในน้ำมันสามารถลดค่าสีของน้ำมันได้มากกว่าการเติมค่าในปริมาณต่ำ น้ำมันที่ผ่านการเติมค่าปริมาณร้อยละ 3 ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที ให้ค่าสีต่ำสุดมีค่า 7.46 และพบว่าเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที ไม่มีผลต่อค่าสีของน้ำมัน ซึ่งสีของน้ำมันที่ผ่านการเติมค่าซ้ำแสดงดังภาพที่ 12

##### ปริมาณสบู่

จากผลแสดงดังภาพที่ 11 และตารางภาคผนวกที่ 11 และ 12 พบว่าเมื่อใช้ค่าความเข้มข้น 40 องศาโบเม ปริมาณร้อยละ 3 มีปริมาณสบู่ในน้ำมันต่ำสุดและรองลงมาคือ ที่ปริมาณค่าร้อยละ 2 และ 1 ตามลำดับ โดยทุกระดับของปริมาณค่าให้ปริมาณสบู่แตกต่างกันมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) และเวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาทีให้ปริมาณสบู่ต่ำกว่าเวลา 10 นาที โดยแตกต่างกันมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) นอกจากนี้พบว่าเกิดอิทธิพลร่วมระหว่างปริมาณค่ากับเวลาในการทำปฏิกิริยา โดยการใช้ค่าปริมาณมากร่วมกับเวลาในการทำปฏิกิริยาสั้น จะมีปริมาณสบู่ในน้ำมันต่ำกว่าการใช้ค่าปริมาณน้อย แต่ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาสู้นาน

จากผลการทดลองเปรียบเทียบค่าสีโฟโตเมตริกและปริมาณสบู่ในน้ำมันให้ผลสอดคล้องกัน ดังนั้นจึงเลือกใช้ค่าปริมาณร้อยละ 3 ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 5 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับขั้นตอนการเติมค่าซ้ำ ซึ่งปริมาณค่าที่ใช้จะมีค่าสูงกว่าปริมาณค่าตามวิธีการของ James (1960) อ้างโดย Norris, 1964) ที่ได้กำหนดให้ใช้

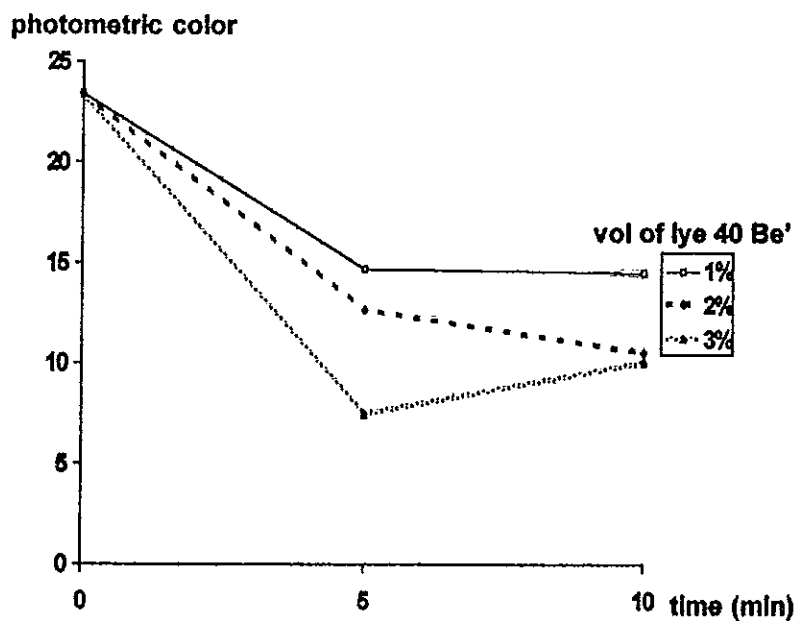


ค่าคงความเข้มข้น 40 องศาโบเม ปริมาณร้อยละ 1.0-1.5 เค็มลงไปในช่วงตอนการเค็มค่า  
ซ้ำของน้ำมันเมล็ดฝ้ายที่มีสีเข้ม

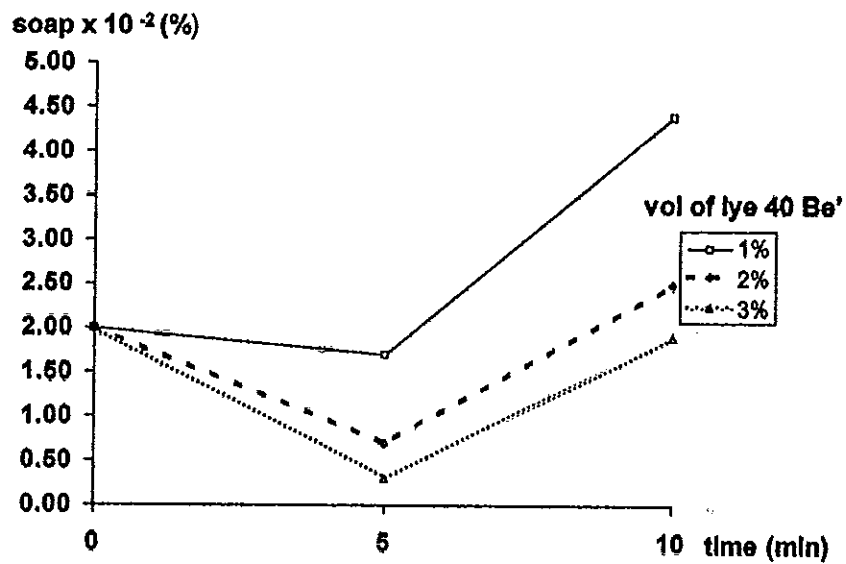
#### การทดลองการเค็มซ้ำในน้ำมันที่มีปริมาณมากกว่า 1 กิโลกรัม

จากการทดลองใช้น้ำมันปริมาณ 1,045 และ 1,025 กรัม บรรจุในบีกเกอร์ขนาด  
2,000 มิลลิลิตร ทำการเค็มซ้ำตามวิธีที่เหมาะสม โดยใช้ค่าคงความเข้มข้น 40 องศา  
โบเม ปริมาณร้อยละ 3 เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 นาที พบว่าน้ำมันมีค่าสีโฟโต  
เมตริก 13.67 ค่าสีโลวิบอนด์ 8.5R/70Y มีปริมาณสบู่ร้อยละ 0.013 กรดไขมันอิสระ  
ร้อยละ 0.04 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าสีของน้ำมันที่ใช้ปริมาณมากกว่า 1 กิโลกรัมกับการ  
ทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมที่ใช้น้ำมันปริมาณ 100 กรัม พบว่ามีค่าสีมากกว่าตามเหตุ  
ผลเช่นเดียวกับผลการทดลองที่ 3 และเมื่อเปรียบเทียบค่าสีของน้ำมันที่ผ่านการเค็มซ้ำ  
ซ้ำในการทดลองของ พรทิพย์ แซ่เตีย (2537) ซึ่งมีค่าสีโลวิบอนด์ 13.6R/ 68Y พบว่า  
น้ำมันที่ได้จากการทดลองนี้มีค่าสีแดงต่ำกว่าแต่มีค่าสีเหลืองสูงกว่าเล็กน้อย

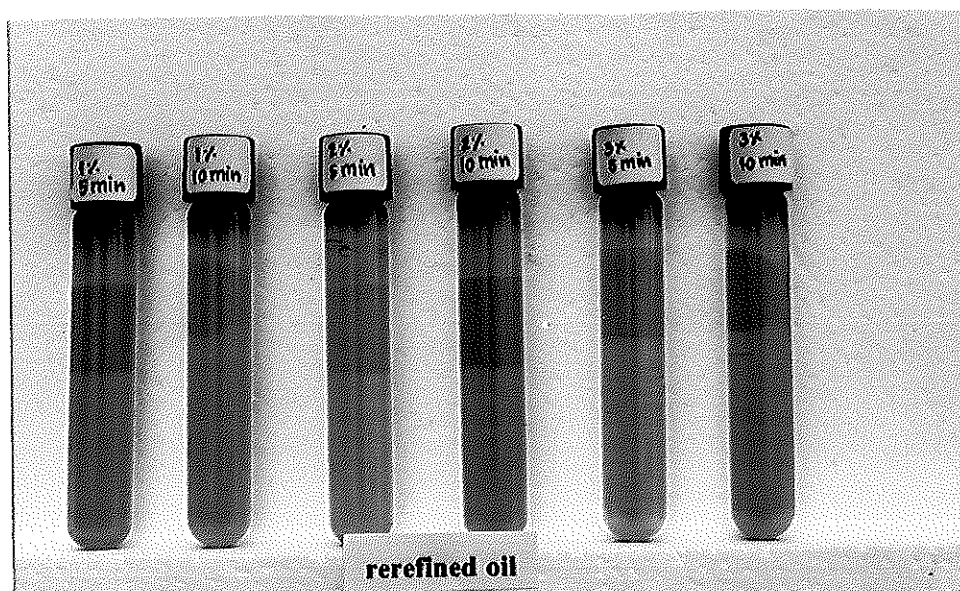
ผลผลิตน้ำมันมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 94.86 เนื่องจากค่าคงเข้มข้นไปทำปฏิกิริยากับ  
น้ำมันเกิดเป็นสบู่ขึ้น โดยมีสูญเสียบรรยากาศร้อยละ 5 ของน้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น



ภาพที่ 10 ผลของการเติมด่างซ้้าต่อค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน



ภาพที่ 11 ผลของการเติมด่างซ้้าต่อปริมาณสบู่ในน้ำมัน



ภาพที่ 12 สีของน้ำมันที่ผ่านการเติมต่างซ้ำ

เรียงลำดับจากซ้ายไปขวา เติมต่างร้อยละ 1 ทำปฏิกิริยา 5 นาที; เติมต่างร้อยละ 1 ทำปฏิกิริยา 10 นาที; เติมต่างร้อยละ 2 ทำปฏิกิริยา 5 นาที; เติมต่างร้อยละ 2 ทำปฏิกิริยา 10 นาที; เติมต่างร้อยละ 3 ทำปฏิกิริยา 5 นาที; เติมต่างร้อยละ 3 ทำปฏิกิริยา 10 นาที

## 5. ผลการศึกษาปริมาณดินฟอสฟอรัสที่เหมาะสมในการฟอสฟอรัส

ปัจจัยที่ศึกษาคือ ชนิดของดินฟอสฟอรัสได้แก่ ดินฟอสฟอรัสฟูลเลอร์เอิร์ทกับดินฟอสฟอรัสแอคติเวทเคดเอิร์ท และปริมาณของดินฟอสฟอรัสฟูลเลอร์เอิร์ทร้อยละ 5 และดินฟอสฟอรัสแอคติเวทเคดเอิร์ทที่ระดับร้อยละ 1, 3 และ 5 โดยเปรียบเทียบผลค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน ค่าเปอร์ออกไซด์ และกรดไขมันอิสระของน้ำมันที่ผ่านการฟอสฟอรัส

### ค่าสีโฟโตเมตริก

จากผลแสดงคังภาพที่ 13 และตารางภาคผนวกที่ 13 และ 14 และสีของน้ำมันที่ผ่านการฟอสฟอรัสแสดงคังภาพที่ 14 พบว่าการเติมดินฟอสฟอรัสชนิดแอคติเวทเคดเอิร์ทร้อยละ 5 ให้ค่าสีโฟโตเมตริกต่ำสุดคือ 4.89 เป็นค่าที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ดินฟอสฟอรัสแอคติเวทเคดเอิร์ทที่ปริมาณร้อยละ 1, 3 และดินฟอสฟอรัสฟูลเลอร์เอิร์ทที่ปริมาณร้อยละ 5 ซึ่งให้ค่าสีของน้ำมันใกล้เคียงกันคือ 8.57, 7.94 และ 9.57 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามน้ำมันที่ผ่านการฟอสฟอรัสด้วยดินฟอสฟอรัสตามปริมาณข้างต้นมีค่าสีลดลงจากค่าสีของน้ำมันเริ่มต้นที่มีค่า 14.66 โดยเป็นค่าที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

Petterson (1976) กล่าวถึงหลักการพิจารณาประสิทธิภาพของดินฟอสฟอรัสโดยเปรียบเทียบจากปริมาณดินฟอสฟอรัสที่ต่ำสุด ซึ่งสามารถลดปริมาณสารที่ถูกดูดซับ เช่น รังควัตถุ สบู่ สารเหนียวและสารปนเปื้อน และทำให้มีปริมาณสารตกค้างอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้ โดยทั่วไปใช้ดินฟอสฟอรัสปริมาณร้อยละ 0.2-0.4 เพื่อกำจัด สบู่และสารเหนียวที่ตกค้างในน้ำมัน และปริมาณสูงสุดที่ใช้คือ ร้อยละ 1.5-2.0 ขึ้นอยู่กับคุณภาพของน้ำมันและประสิทธิภาพของดินฟอสฟอรัส สำหรับน้ำมันปลาที่ฟอสฟอรัสด้วยระบบต่อเนื่องและกึ่งต่อเนื่องในสถานะสูญญากาศ อุณหภูมิ 90-110 องศาเซลเซียส ใช้ดินฟอสฟอรัสปริมาณร้อยละ 0.2-3.0 (Gunstone and Norris, 1983 อ้างโดย Kinsella, 1987a) แต่ในการทดลองนี้พบว่า ปริมาณดินฟอสฟอรัสชนิดแอคติเวทเคดเอิร์ทร้อยละ 5 สามารถฟอสฟอรัสน้ำมัน ทำให้มีค่าสีโฟโตเมตริกต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับดินฟอสฟอรัสในปริมาณที่ต่ำกว่า

### ค่าเปอร์ออกไซด์

จากผลแสดงคังตารางภาคผนวกที่ 15-18 และภาพที่ 15 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่ผ่านการฟอกสีด้วยดินฟอกสีแอกติเวทเตคเอิร์ทกับดินฟอกสีฟูลเลอร์เอิร์ทปริมาณร้อยละ 5 พบว่า ดินฟอกสีแอกติเวทเตคเอิร์ทสามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมัน ลดลงเหลือ 2.96 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม จากค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้นที่มีค่า 18.96 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม มีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) และมีค่าเปอร์ออกไซด์ต่ำกว่าน้ำมันที่ผ่านการฟอกสีด้วยดินฟอกสีฟูลเลอร์เอิร์ท ซึ่งน้ำมันให้ค่าเปอร์ออกไซด์เฉลี่ย 13.97 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม ทั้งนี้เพราะดินฟอกสีแอกติเวทเตคเอิร์ทถูกปรับปรุงคุณสมบัติทางเคมี หรือเคมีกายภาพ (physiochemical) ด้วยการเติมกรด ทำให้ผิวหน้าของดินฟอกสีมีคุณสมบัติในการดูดซับสารได้ดีขึ้น ในขณะที่ดินฟอกสีฟูลเลอร์เอิร์ทคือ ดินฟอกสีที่ได้จากธรรมชาติ ไม่ผ่านการปรับปรุงประสิทธิภาพพื้นผิวในการฟอกสี (Hodgson, 1996)

ผลการลดค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันขึ้นอยู่กับปริมาณดินฟอกสีแอกติเวทเตคเอิร์ท พบว่าน้ำมันที่ผ่านการฟอกสีด้วยดินฟอกสีปริมาณร้อยละ 5 ให้ค่าเฉลี่ยเปอร์ออกไซด์ต่ำสุดเท่ากับ 1.26 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม และเมื่อเปรียบเทียบค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่ใช้ปริมาณดินฟอกสีร้อยละ 5, 3 และ 1 จะมีค่าลดลงตามลำดับ และให้ค่าที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) สำหรับการใช้น้ำมันฟอกสีปริมาณร้อยละ 1 ให้ค่าเปอร์ออกไซด์ 13.07 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าใกล้เคียงกับน้ำมันก่อนฟอกสีที่มีค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้น 13.32 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม อาจเป็นเพราะดินฟอกสีแอกติเวทเตคเอิร์ทปริมาณร้อยละ 1 มีพื้นที่ผิวจำนวนจำกัด ไม่เพียงพอต่อการดูดซับรงควัตถุ สิ่งปนเปื้อนและสารเปอร์ออกไซด์ในน้ำมัน ซึ่งผลการลดค่าเปอร์ออกไซด์สอดคล้องกับการลดค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน โดยปริมาณรงควัตถุในน้ำมันจะลดลงเมื่อใช้ปริมาณของดินฟอกสีเพิ่มขึ้น

### กรดไขมันอิสระ

เนื่องจากการฟอกสีน้ำมันใช้อุณหภูมิ 90-100 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในช่วงดังกล่าวอาจทำให้เศษสบู่ในน้ำมันจับกรดไขมันอิสระออกมาเมื่อสัมผัสกับดินฟอกสีแอคติเวทเตดเจอร์ท ทำให้กรดไขมันอิสระสูงขึ้น (Gunstone and Norris, 1983b) จากผลแสดงคังภาพที่ 16 และตารางภาคผนวกที่ 19 และ 20 พบว่าการใช้ดินฟอกสีแอคติเวทเตดเจอร์ทปริมาณร้อยละ 5 ให้กรดไขมันอิสระในน้ำมันมีค่าสูงสุดคือ ร้อยละ 0.08 ซึ่งเป็นค่าที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเทียบกับน้ำมันที่ใช้ที่ดินฟอกสีแอคติเวทเตดเจอร์ทที่ปริมาณร้อยละ 3, 1, ดินฟอกสีฟูลเลอร์เจอร์ทปริมาณร้อยละ 5 และน้ำมันที่ผ่านการเติมด่างซ้ำ โดยมีกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.06, 0.04, 0.03 และ 0.03 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามกรดไขมันอิสระของน้ำมันที่ผ่านการฟอกสีด้วยดินฟอกสีแอคติเวทเตดเจอร์ทปริมาณร้อยละ 5 มีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานของน้ำมันบริโภคที่กำหนดไว้ คือมีไม่เกินร้อยละ 0.3

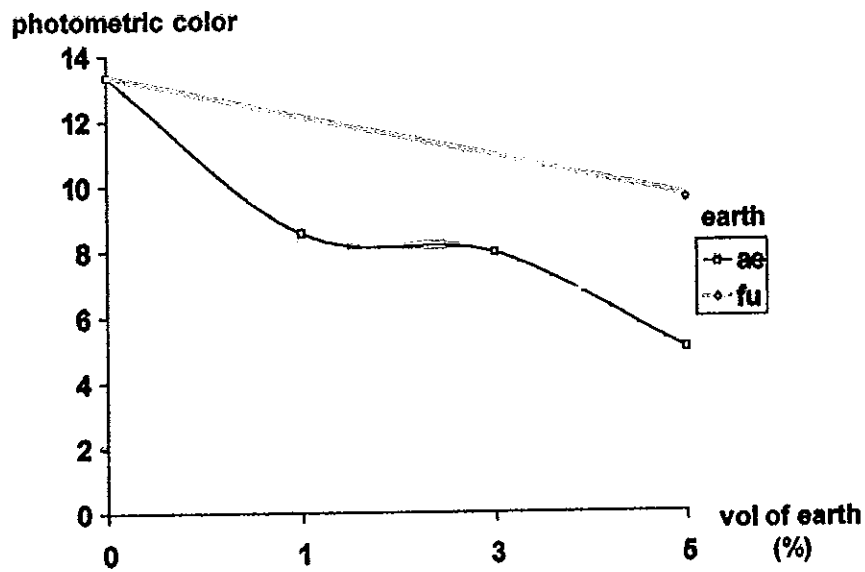
เมื่อเปรียบเทียบค่าสีโฟโตเมตริกและค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่ลดลง พบว่าดินฟอกสีแอคติเวทเตดเจอร์ทปริมาณร้อยละ 5 สามารถลดค่าสีโฟโตเมตริก และค่าเปอร์ออกไซด์ได้ดีที่สุด แต่เพิ่มปริมาณกรดไขมันอิสระเล็กน้อย ดังนั้นจึงเลือกใช้ดินฟอกสีแอคติเวทเตดเจอร์ทปริมาณร้อยละ 5 สำหรับการทดลองต่อไป

### การทดลองฟอกสีน้ำมันที่มีปริมาณมากกว่า 400 กรัม

จากการทดลองใช้น้ำมัน 475, 465, 470 และ 495 กรัม บรรจุในขวดรูปชมพู่ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ทำการฟอกสีน้ำมันตามวิธีที่เหมาะสม โดยใช้ดินฟอกสีแอคติเวทเตดเจอร์ทปริมาณร้อยละ 5 เป็นเวลา 15 นาที พบว่าน้ำมันมีค่าสีโฟโตเมตริก 11.339 ค่าสีโลวิบอนด์ 6.2R/70Y ค่าเปอร์ออกไซด์ 0.10 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม จากค่าเปอร์ออกไซด์เริ่มต้น 5.02 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม มีค่าไอโอดีน 189.84 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมันที่ได้จากการฟอกสีปริมาณมากกว่า 400 กรัมกับการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการฟอกสีปริมาณ 100 กรัม พบว่ามีค่าสีสูงกว่าตามเหตุผลเช่นเดียวกับผลการทดลองที่ 3 และเมื่อเปรียบเทียบค่าสีของน้ำมันที่ผ่านการ

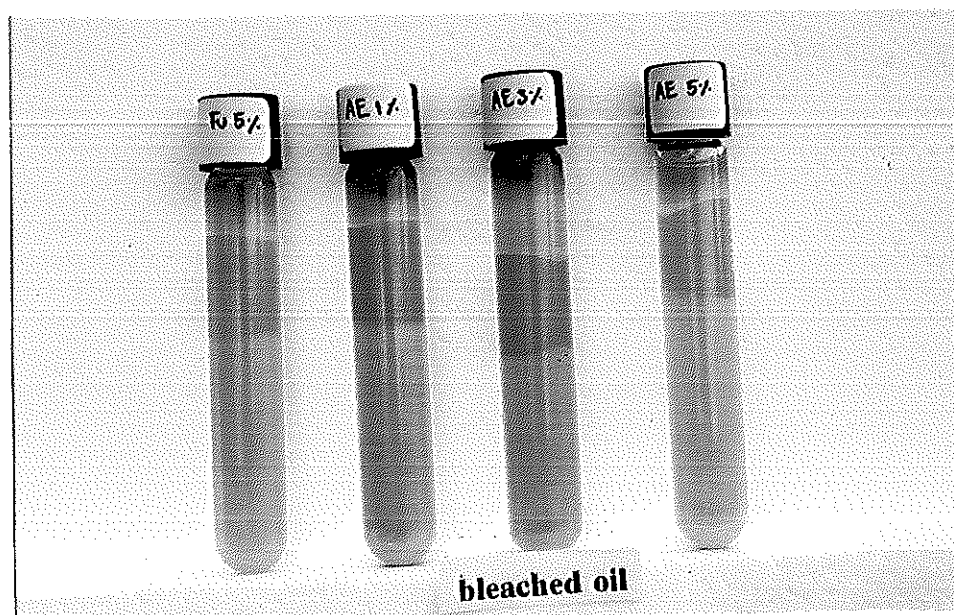
ฟอกสีในการทดลองของสุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ (2539) และน้ำมันที่ผ่านการฟอกสีของพรทิพย์ แซ่เตีย (2537) พบว่าค่าสีโลวิบอนด์ 6.4R/30Y และ 6.2R/68Y ตามลำดับ โดยน้ำมันที่ได้จากการทดลองนี้มีค่าสีแดงต่ำกว่าน้ำมันที่ผ่านการฟอกสีของสุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ ซึ่งฟอกสีน้ำมันที่ชั้นความดันบรรยากาศและใช้ปริมาณดินฟอกสีร้อยละ 3 ในขณะที่น้ำมันของการทดลองนี้และน้ำมันที่ผ่านการฟอกสีของพรทิพย์ แซ่เตีย ฟอกสีน้ำมันภายใต้ความดันสูญญากาศ และใช้ดินฟอกสีในปริมาณร้อยละ 5 จึงทำให้มีการดูดซับรงควัตถุสีแดงและลดการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมันดียิ่งขึ้น และมีข้อสังเกตว่าค่าสีเหลืองในน้ำมันที่ใช้ในการทดลองนี้ผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง การเติมด่างซ้ำ และผ่านการฟอกสีมีค่าสีเหลืองไม่ค่าเปลี่ยนแปลง ซึ่งเกิดในทำนองเดียวกันกับตัวอย่างน้ำมันของสุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ และตัวอย่างน้ำมันของพรทิพย์ แซ่เตีย

สำหรับผลผลิตน้ำมันมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 94.49 เนื่องจากมีน้ำมันบางส่วนตกค้างอยู่ในดินฟอกสี ซึ่งดินฟอกสีแอคติเวทเคเอิร์ทสามารถดูดซับน้ำมันได้ร้อยละ 70 ของน้ำหนักดินฟอกสี (Patterson, 1976)



ภาพที่ 13 ผลของดินฟอกสีต่อค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน

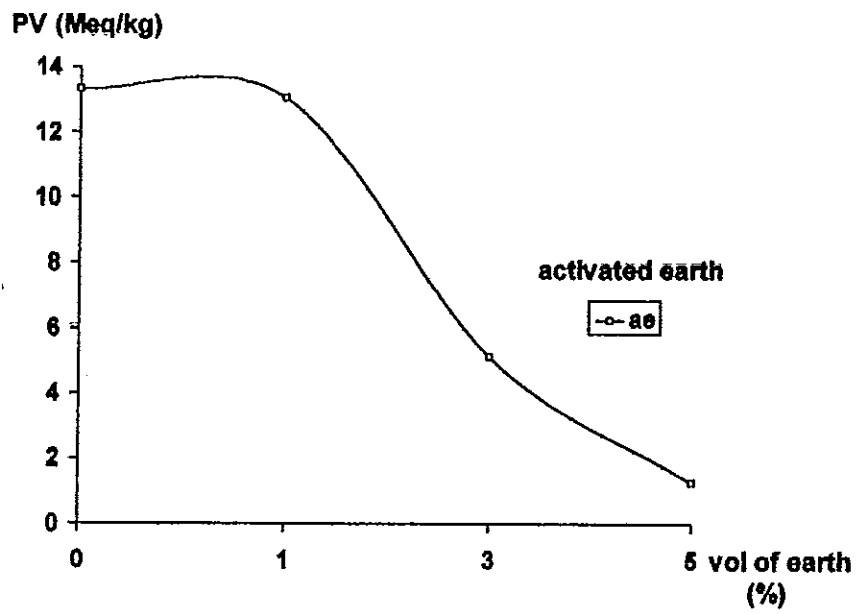
ae = ดินฟอกสีแอกติเวทเคเอิร์ท; fu = ดินฟอกสีฟูลเลอร์เอิร์ท



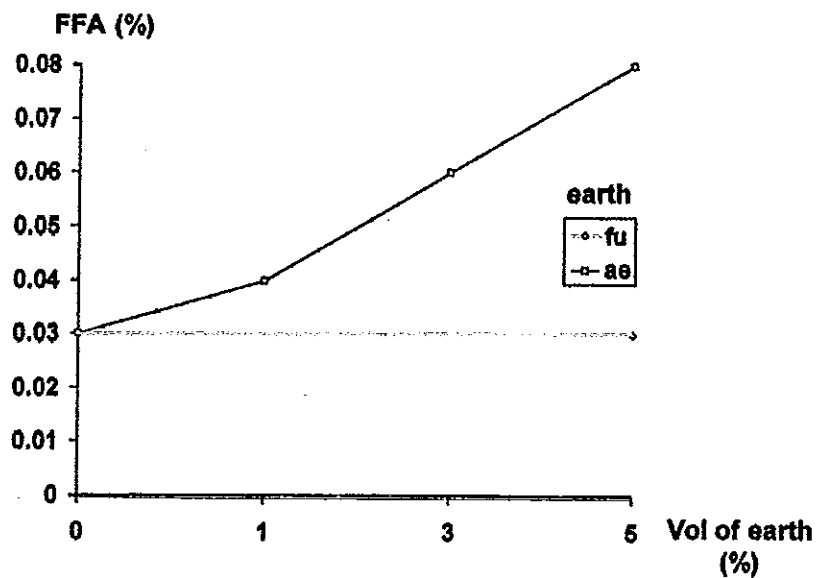
ภาพที่ 14 สีของน้ำมันที่ผ่านการฟอกสี

เรียงลำดับจากซ้ายไปขวา น้ำมันฟอกสีด้วยดินฟอกสีฟูลเลอร์เอิร์ทร้อยละ 5 ; น้ำมันฟอกสีด้วยดินฟอกสีแอกติเวทเคเอิร์ทร้อยละ 1, 3 และ 5





ภาพที่ 15 ผลของปริมาณดินฟอกสีแอกติเวทเตคเอิร์ทต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมัน



ภาพที่ 16 ผลของดินฟอกสีต่อกรดไขมันอิสระของน้ำมัน

ae = ดินฟอกสีแอกติเวทเตคเอิร์ท; fu = ดินฟอกสีฟูเลอ์เอิร์ท

## 6. ผลการศึกษาวิธีการแยกส่วนไขมัน

### 6.1. ผลการแยกส่วนไขมันโดยอาศัยระดับชั้นความหนาแน่นของตัวกลาง

โดยทำการศึกษาค่าความหนาแน่นของตัวกลางที่มีสัดส่วนของน้ำต่อไอโซโพรพานอล (ปริมาตรต่อปริมาตร) ดังนี้ 42:58, 47:53, 52:48, 57:43 และ 62:38 และศึกษาผลของสัดส่วนตัวกลางต่อการแยกส่วนไขมันสตีเรียนกับ โอลิอินโดยใช้สัดส่วนของตัวกลางข้างต้น สุกท้ายศึกษาผลของสัดส่วนน้ำมันต่อตัวกลางต่อผลผลิตโอลิอิน โดยใช้สัดส่วนน้ำมันต่อตัวกลาง (น้ำหนักต่อปริมาตร) ดังนี้ 1.0:0.5, 1.0:1.0 และ 1.0:1.5

#### ค่าความหนาแน่นของตัวกลาง

จากผลแสดงดังตารางที่ 6 และตารางภาคผนวกที่ 21 ตัวกลางที่มีสัดส่วน น้ำต่อไอโซโพรพานอล 52:48 มีความหนาแน่น 0.919 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าความหนาแน่นของน้ำมันปลาที่ผ่านการฟอกสีมีค่า 0.923 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีค่าแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ แต่เมื่อเปรียบเทียบความหนาแน่นของน้ำมันกับตัวกลางสัดส่วนอื่น พบว่าความหนาแน่นของตัวกลางมีความแตกต่างจากน้ำมันที่ผ่านการฟอกสีอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ( $P < 0.01$ ) โดยตัวกลางสัดส่วนน้ำต่อไอโซโพรพานอล 42:58, 47:53, 57:43 และ 62:38 มีค่าความหนาแน่น 0.897, 0.908, 0.931 และ 0.941 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ

#### ผลการแยกส่วนไขมันโอลิอินกับสตีเรียน

สัดส่วนของตัวถูกละลายของตัวกลางมีความสำคัญต่อการแยกอนุภาค โดยตัวถูกละลายจะสร้างระดับความหนาแน่นภายในตัวกลางเป็นชั้นๆเมื่อถึงจุดสมดุล ซึ่งแต่ละชั้นมีความหนาแน่นแตกต่างกัน เพราะตัวถูกละลายได้ตกตะกอนที่ผิวล่าง แต่ในขณะที่เดียวกันจะเกิดการแพร่ของตัวถูกละลายในทิศทางตรงกันข้ามกับการตกตะกอน การแพร่กระจายของตัวถูกละลายในแต่ละชั้นของตัวกลางไม่เท่ากัน ทำให้เกิดระดับความแตกต่างของความหนาแน่นของตัวกลางขึ้นเมื่อวางตัวกลางทิ้งไว้ หรือเกิดขึ้นในระหว่างการเหวี่ยงแยก (Hames, 1984) ดังนั้นอนุภาคในสารแขวนลอยที่มีความหนาแน่นต่างกันเมื่อ

ถูกนำไปเหยียงในตัวกลางข้างคั้น อนุภาคจะแยกตัวออกจากกันตามความหนาแน่นโดยอนุภาคที่ถูกแยกจะอยู่ในตำแหน่งของตัวกลางที่มีความหนาแน่นใกล้เคียงกับอนุภาค (Rickwood, 1984)

ผลจากการทดลองพบว่าตัวกลางที่มีสัดส่วนน้ำต่อไอโซโพรพานอลเท่ากับ 52:48 เข้าเครื่องเหยียงแยกความเร็ว 4,500 รอบต่อนาที โดยใช้สัดส่วนน้ำมันต่อตัวกลางเท่ากับ 1.0:1.0 มีผลทำให้เกิดการแยกชั้นของสเตียรีนกับโอลิอิน ได้อย่างสมบูรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตัวกลางสัดส่วนอื่น โดยโอลิอินที่ได้เป็นของเหลวใสสีเหลือง ไม่พบจุดขาวขุ่นลอยอยู่ผิวบนของตัวกลาง ในขณะที่สเตียรีนเป็นก้อนสีขาวขุ่นติดอยู่ที่ก้นของหลอดเหยียงแยก แสดงดังภาพที่ 17 แต่ถ้าใช้ตัวกลางที่มีสัดส่วนน้ำมากกว่า 52:48 จะเกิดผลทำให้เกิดจุดขาวขุ่นหรือก้อนขาวขุ่นลอยติดอยู่ใต้ผิวล่างของชั้นโอลิอิน ในทางตรงกันข้ามถ้าใช้ตัวกลางสัดส่วนน้ำน้อยกว่า 52:48 พบว่าชั้นของโอลิอินจะจมติดกับชั้นสเตียรีน ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้ตัวกลางสัดส่วน น้ำต่อไอโซโพรพานอลเท่ากับ 52:48 ซึ่งมีค่าความหนาแน่นใกล้เคียงกับความหนาแน่นของน้ำมันปลาที่ผ่านการฟอกสีเป็นตัวกลางมาใช้ในการแยกส่วนไขมันสเตียรีนออกจากโอลิอินต่อไป

#### ผลผลิตโอลิอิน

จากผลแสดงดังตารางที่ 7 พบว่าการใช้สัดส่วนน้ำมันต่อตัวกลาง 1.0:1.0 และ 1.0:1.5 ให้ผลผลิตโอลิอินเท่ากับ 79.66 และ 78.77 ตามลำดับ ซึ่งผลที่ได้ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ใช้สัดส่วนน้ำมันต่อตัวกลาง 1.0:0.5 พบว่าชั้นของโอลิอินมีก้อนขาวขุ่นติดด้านล่าง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะปริมาณตัวกลางน้อยเกินไปทำให้ระยะห่างระหว่างชั้นของโอลิอินกับสเตียรีนใกล้กันมาก สเตียรีนบางส่วนจึงติดกับผิวของโอลิอิน รวมทั้งในทางปฏิบัติเมื่อเทโอลิอินจากหลอดเหยียงแยกจะมีสเตียรีนบางส่วนหลุดออกตามมา ทำให้การแยกโอลิอินออกจากสเตียรีนไม่ชัดเจน ดังนั้นเพื่อจึงเลือกใช้สัดส่วนของน้ำมันต่อตัวกลางที่ระดับ 1.0:1.0

เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมในการเลือกใช้สัดส่วนของตัวกลาง และสัดส่วนน้ำมันต่อตัวกลางแล้ว จึงทำการวิเคราะห์ค่าไอโอดีนโดยเปรียบเทียบค่าไอโอดีนในน้ำมันปลา

ที่ผ่านการฟอกสีกับน้ำมันที่ผ่านการแยกส่วนไขมัน โดยอาศัยระดับชั้นความหนาแน่นของตัวกลาง พบว่าน้ำมันปลาที่ผ่านการฟอกสีมีค่าไอโอดีน 186.00 เมื่อทำการแยกส่วนไขมัน น้ำมันจะมีค่าไอโอดีนเพิ่มขึ้นเป็น 194.98

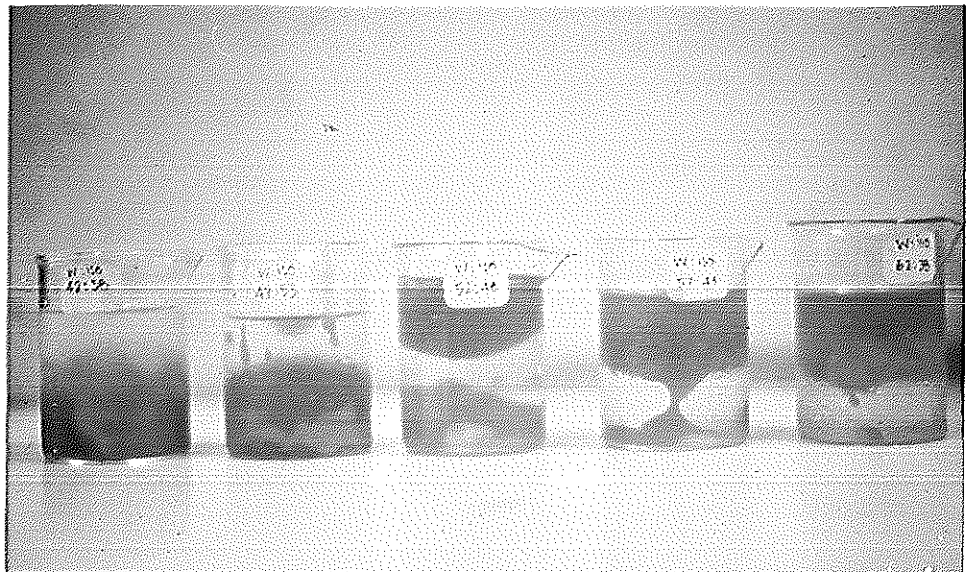
**ตารางที่ 8** ผลของสัดส่วนน้ำต่อไอโซโพรพานอลต่อการแยกชั้นของโอเลอินกับสเตอรินที่ผ่านการแยกส่วนไขมัน

ตัวกลางมีสัดส่วนน้ำ:ไอโซโพรพานอล	ค่าความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)	ผลการแยกส่วนไขมัน โอเลอินกับสเตอริน
น้ำมันปลาฟอกสี	0.923 c	
42:58	0.897 a	ตัวกลางอยู่ด้านบน โอเลอินจมติดกับสเตอรินที่ก้นหลอด
47:53	0.908 b	ตัวกลางอยู่ด้านบน โอเลอินจมติดกับสเตอรินที่ก้นหลอด
52:48	0.919 c	โอเลอินลอยที่ผิวบน และแยกสเตอรินติดกันหลอด โดยมีตัวกลางชั้นกลาง
57:43	0.931d	โอเลอินลอยที่ผิวบน แต่มีจุดขาวขุ่นติดด้านล่างของโอเลอิน
62:38	0.941 e	โอเลอินลอยที่ผิวบน มีก้อนขาวขุ่นติดด้านล่างของโอเลอิน

ตัวอักษร a, b, c, d และ e ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตารางที่ 7 ผลของสัดส่วนน้ำมันต่อตัวกลางต่อผลผลิตโอลิอินที่ผ่านการแยกส่วนไขมัน

สัดส่วนน้ำมัน:ต่อตัวกลาง	ผลผลิตโอลิอิน (ร้อยละ)
1.0:0.5	โอลิอินมีก้อนขาวขุ่นติดด้านล่าง
1.0:1.0	79.66
1.0:1.5	78.77



ภาพที่ 17 การแยกชั้นของ โอลิอินกับสเคียร์ินโดยวิธีการแยกส่วนไขมันโดยอาศัยระดับชั้นความหนาแน่นของตัวกลาง

เรียงลำดับจากซ้ายไปขวา สัดส่วนน้ำต่อไอโซโพรพานอล 42:58, 47:53, 52:48, 57:43 และ 62:38

## 6.2. ผลการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน

ปัจจัยที่ศึกษาคือ สัดส่วนของน้ำมันต่อตัวทำละลายเฮกเซนมี 3 ระดับคือ สัดส่วน 1.0:0.5, 1.0:1.0 และ 1.0:1.5 เวลาในการตกผลึกสเตริน 24, 48 และ 72 ชั่วโมง โดยเปรียบเทียบที่ได้จากค่าไอโอดีนและผลผลิตโอเลอิน

### ค่าไอโอดีน

น้ำมันที่ผ่านการฟอกสีมีค่าไอโอดีน 187.00 เมื่อนำมาแยกส่วนไขมันด้วยโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน แสดงผลดังภาพที่ 18 และตารางภาคผนวกที่ 22 และ 23 พบว่า เมื่อใช้สัดส่วนของน้ำมันต่อตัวทำละลายเฮกเซน 1.0:0.5 และ 1.0:1.0 น้ำมันโอเลอินที่ได้มีค่าไอโอดีนไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าอยู่ในช่วง 198.54-199.44 และ 196.42-198.49 ตามลำดับ ค่าไอโอดีนที่ได้มีค่าสูงกว่าการใช้น้ำมันต่อตัวทำละลายสัดส่วน 1.0:1.5 มีค่าไอโอดีนในช่วง 195.00-196.01 สาเหตุที่แตกต่างอาจเป็นเพราะ การใช้สารละลายที่เจือจางในการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลาย ตัวทำละลายอาจจะมีผลขัดขวางการรวมตัวของผลึก (Krishnamurthy and Kellens, 1996) ซึ่งน้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวอาจตกผลึกไม่สมบูรณ์ ทำให้ค่าไอโอดีนมีค่าต่ำกว่าน้ำมันที่ใช้สัดส่วนอื่น นอกจากนี้พบว่า เวลาในการตกผลึกสเตรินไม่มีผลต่อการเพิ่มค่าไอโอดีนของโอเลอิน

### ผลผลิตโอเลอิน

จากผลแสดงดังภาพที่ 19 และตารางภาคผนวกที่ 24 และ 25 พบว่า การใช้สัดส่วนน้ำมันต่อเฮกเซน 1.0:1.5 ให้ผลผลิตโอเลอินอยู่ในช่วงร้อยละ 91.65-94.46 มีค่าสูงกว่าการใช้สัดส่วนน้ำมันต่อเฮกเซน 1.0:1.0 และ 1.0:0.5 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 89.58-91.95 และร้อยละ 82.31-86.43 ตามลำดับ และเป็นค่าที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในทุกสัดส่วน ( $P < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบเวลาในการตกผลึกสเตรินที่สัดส่วนเดียวกัน พบว่าผลผลิตโอเลอินที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันในทุกเวลาของการตกผลึก ยกเว้นที่ 72 ชั่วโมง ใช้สัดส่วนน้ำมันต่อเฮกเซน 1.0:0.5 ให้ผลผลิตโอเลอินสูงกว่าน้ำมันโอเลอินที่ใช้เวลาตกผลึกสเตริน 24 และ 48 ชั่วโมง

ดังนั้นเมื่อพิจารณาผลผลิต โอลิอินพบว่า การใช้สัดส่วนน้ำมันต่อเฮ็กเซน 1.0:1.5 ให้ผลผลิตสูงสุด เมื่อเทียบกับสัดส่วน 1.0:1.0 และ 1.0:0.5 แต่ที่สัดส่วนน้ำมันต่อตัวทำละลาย 1.0:1.5 ให้ค่าไอโอดีนของน้ำมันต่ำสุด ในขณะที่สัดส่วน 1.0:1.0 และ 1.0:0.5 ให้ค่าไอโอดีนใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่าไอโอดีนเป็นตัวชี้วัดปริมาณความไม่อิ่มตัวของกรดไขมัน ดังนั้นการทดลองนี้จึงเลือกสัดส่วนน้ำมันต่อตัวทำละลายเฮ็กเซน 1.0:1.0 ระยะเวลาในการตกผลึกสเทียริน 24 ชั่วโมง

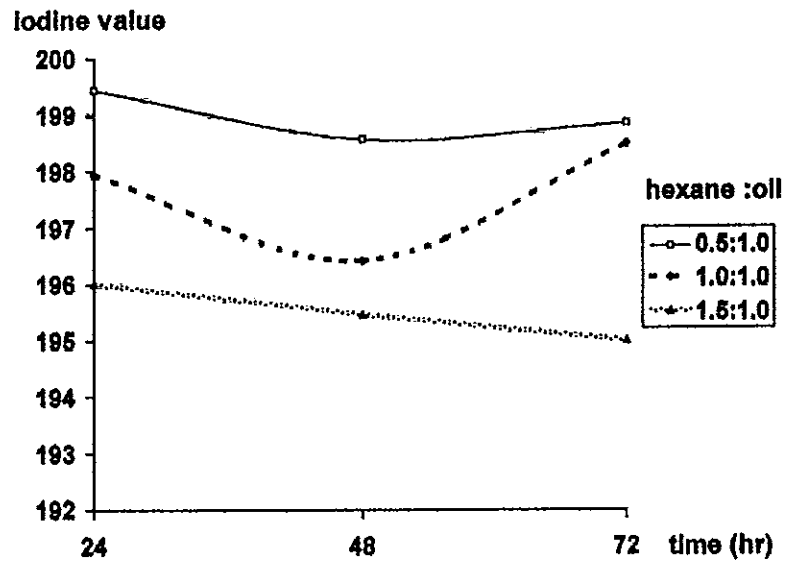
เมื่อเปรียบเทียบวิธีการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายกับวิธีการแยกส่วนไขมันโดยอาศัยระดับชั้นความหนาแน่นของตัวกลาง พบว่าวิธีแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮ็กเซนให้ค่าไอโอดีนและผลผลิตโอลิอินสูงกว่าวิธีการแยกส่วนไขมันโดยอาศัยระดับชั้นความหนาแน่นของตัวกลาง โดยค่าไอโอดีนและผลผลิตโอลิอินของวิธีแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายนี้มีค่าไอโอดีน 197.95 และผลผลิตโอลิอินร้อยละ 90.86 ในขณะที่น้ำมันผ่านการแยกส่วนไขมันโดยอาศัยระดับชั้นความหนาแน่นของตัวกลางมีค่าไอโอดีน 194.95 และผลผลิตโอลิอินร้อยละ 79.66 ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮ็กเซน สัดส่วนน้ำมันต่อตัวทำละลาย 1.0:1.0 ระยะเวลาในการตกผลึกสเทียริน 24 ชั่วโมง สำหรับเตรียมน้ำมันต่อไป

#### การทดลองแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮ็กเซนในน้ำมันที่มีปริมาณ 400 กรัม

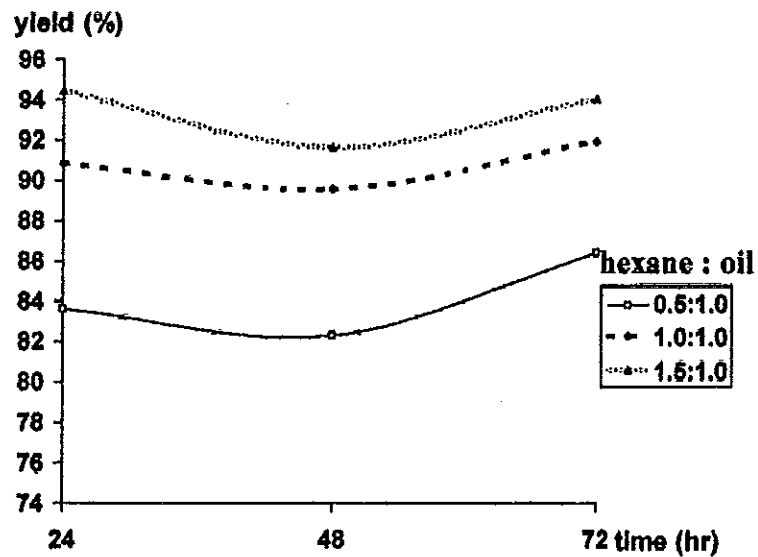
จากการทดลองใช้น้ำมันปริมาณ 405, 420 และ 384 กรัม บรรจุในขวดรูปชมพู่ ขนาด 2,000 มิลลิลิตร ทำการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮ็กเซนตามวิธีที่เหมาะสม โดยใช้สัดส่วนน้ำมันต่อเฮ็กเซน 1.0:1.0 ระยะเวลาในการตกผลึก 24 ชั่วโมง พบว่าน้ำมันมีค่าไอโอดีน 196.67 จากค่าไอโอดีนเริ่มต้น 189.84 ค่าสีโฟโตเมตริก 11.75 เมื่อวัดค่าสีโลวิบอนด์ 6.2R/70Y ค่าเปอร์ออกไซด์ 2.05 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม กรดไขมันอิสระร้อยละ 0.13 และผลผลิตโอลิอินมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 95.17 ซึ่งมีปริมาณมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบผลผลิตโอลิอินที่ได้จากการทดลองแยกส่วนไขมันของพรทิพย์ แซ่เตี้ย (2537) ซึ่งใช้วิธีแยกส่วนไขมันโดยการลคอุณหภูมิอย่างเดี่ยว พบว่ามีผลผลิตโอลิอินมีค่าร้อยละ 66 ค่าไอโอดีนของน้ำมันเริ่มต้นและโอลิอินมีค่า 171.07 และ 185.50 ตาม

ลำดับ จะเห็นว่าวิธีการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายมีข้อดีกว่าวิธีแยกส่วนไขมัน  
ด้วยการลดอุณหภูมิอย่างเดียว เพราะสามารถกรองได้ง่าย ทำให้ได้ผลผลิตสูง  
(Krishnamurthy และ Kellens, 1996)





ภาพที่ 18 ผลของการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนต่อค่าไอโอดีนของโอลีน



ภาพที่ 19 ผลของการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนต่อผลผลิตโอลีน

## 7. ผลการศึกษาอุณหภูมิต่างๆที่เหมาะสมในการกำจัดกลิ่น

ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิในการกำจัดกลิ่น 150, 170 และ 190 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบผลที่ได้จากค่าเปอร์ออกไซด์ กรดไขมันอิสระ และค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน ซึ่งได้แสดงผลดังภาพที่ 20 และตารางภาคผนวกที่ 26 และ 27

### ค่าเปอร์ออกไซด์

น้ำมันก่อนกำจัดกลิ่นมีค่าเปอร์ออกไซด์ 15.59 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม เมื่อนำมากำจัดกลิ่นที่อุณหภูมิ 150, 170 และ 190 องศาเซลเซียส ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันลดลง โดยน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส มีค่าเปอร์ออกไซด์เฉลี่ย 1.54 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม ต่ำกว่าน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าเปอร์ออกไซด์เฉลี่ย 2.02 และ 2.01 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม ตามลำดับ

โดยทั่วไปอุณหภูมิในการกำจัดกลิ่นน้ำมันด้วยวิธีแบบกะมีค่า 210-274 องศาเซลเซียส ความดันสัมบูรณ์ 1-6 มิลลิเมตรปรอท น้ำมันที่ได้จากการกำจัดกลิ่นควรมีค่าเปอร์ออกไซด์ 0 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม (Mounts, 1981) Pelura (1987 อ้างโดย Stanby, 1990) ได้ประเมินการใช้อุณหภูมิต่างๆที่ 150 องศาเซลเซียส ในการกำจัดกลิ่นน้ำมันปลาเมนฮาเคนพบว่าสารอัลดีไฮด์ที่ได้จากผลการสลายตัวของค่าเปอร์ออกไซด์ และสารไฮโดรคาร์บอน เป็นสารหลักที่ระเหยออกจากน้ำมันโดยการกำจัดกลิ่น แต่ในการทดลองนี้พบว่า น้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นทุกระดับอุณหภูมิ มีค่าเปอร์ออกไซด์ในช่วง 1.5-2 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม ไม่สามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์เป็น 0 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัมได้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะข้อจำกัดของอุปกรณ์ เนื่องจากระหว่างกำจัดกลิ่นต้องให้อุณหภูมิแก่น้ำมัน โดยต้องเปิดลิ้นระบายไอน้ำที่ได้จากการต้มน้ำในขวดรูปชมพู่ อาจมีอากาศบางส่วนเล็ดลอดเข้าไปผสมกับน้ำมัน นอกจากนี้อุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการทดลองมีค่าสูงสุดเพียง 190 องศาเซลเซียส ความดันสูญญากาศ 27 นิ้วปรอท หรือแปลงเป็นค่าความดันสัมบูรณ์ได้ประมาณ 74.2 มิลลิเมตรปรอท อาจเป็นสถานะไม่เพียงพอต่อการกำจัดสารเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันให้หมด

### กรดไขมันอิสระ

อุณหภูมิที่ใช้สำหรับกำจัดกลิ่นน้ำมันที่ 150, 170 และ 190 องศาเซลเซียส มีผลเพียงเล็กน้อยต่อการลดกรดไขมันอิสระในน้ำมัน น้ำมันก่อนการกำจัดกลิ่นมีกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.13 โดยอุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดกลิ่นน้ำมัน 190 องศาเซลเซียส ทำให้น้ำมันมีกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.11 ซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส มีกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.10 เท่ากันทั้งสองอุณหภูมิ

น้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นควรมีกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.02-0.05 (Mounts, 1981) ทั้งนี้เพราะกลิ่น รส มีความสัมพันธ์กับปริมาณการลดลงของกรดไขมันอิสระที่ถูกขับออกจากน้ำมัน โดยน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นมีกรดไขมันอิสระต่ำกว่าร้อยละ 0.01-0.03 และค่าเปอร์ออกไซด์ 0 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม กลิ่น รสของน้ำมันจะถูกกำจัดหมดไป (Gavin, 1981) ดังนั้นถ้ากรดไขมันอิสระสูงแสดงถึงวิธีการกำจัดกลิ่น และความสามารถในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอของสารที่ทำให้เกิดกลิ่นมีประสิทธิภาพต่ำ (Hunter, 1981 อ้างโดย Carlson, 1996) และในการทดลองนี้ น้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ให้ค่ากรดไขมันอิสระใกล้เคียงน้ำมันที่ใช้อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส แต่โดยทั่วไปของการกำจัดกลิ่นการใช้ อุณหภูมิสูงสามารถลดปริมาณกรดไขมันอิสระได้ดีกว่าอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากการทดลองนี้อาจมีน้ำมันบางส่วนเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับไอน้ำ เกิดเป็นกรดไขมันอิสระในระหว่างการกำจัดกลิ่นและชุดกำจัดกลิ่นไม่มีประสิทธิภาพดีเพียงพอที่จะระเหยกรดไขมันให้กลายเป็นไอได้ทั้งหมด

### ค่าสี โฟโตเมตริก

น้ำมันผ่านการกำจัดกลิ่นที่อุณหภูมิ 150, 170 และ 190 องศาเซลเซียส สามารถลดค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมันเริ่มต้นที่มีค่า 14.40 โดยการใช้อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส น้ำมันมีค่าสี 5.82 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส น้ำมันมีค่าสี 9.57 และ 9.13 ตาม

ลำดับ โดยสีของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นแสดงดังภาพที่ 21 และเปรียบเทียบสีของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส กับสีของน้ำมันในแต่ละขั้นตอนการผลิตแสดงดังภาพที่ 22

การที่น้ำมันมีค่าสีลดลงหลังจากผ่านการกำจัดกลิ่นเพราะ การให้ความร้อนในสภาพสูญญากาศมีผลต่อการฟอกสีน้ำมัน (Cowan, 1976) และ Pelura (1987 อ้างโดย Stanby, 1990) ได้ประเมินการกำจัดกลิ่นน้ำมันปลาเมนฮาเดนที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส พบว่ามีผลทำให้สารคาร์โรทีนอยด์สลายตัวเป็นสารระเหยกลุ่มอะโรมาติก และจากการทดลองของ Maza และคณะ (1992) พบว่าการกำจัดกลิ่นน้ำมันถั่วเหลืองที่อุณหภูมิ 260 องศาเซลเซียส น้ำมันมีค่าสีโลวิบอนด์ 0.5R/3.3Y ซึ่งมีค่าสีต่ำกว่าการใช้ อุณหภูมิ 253 และ 246 องศาเซลเซียส มีค่าสี 0.5R/3.8Y และ 0.6R/4.7Y ตามลำดับ

ดังนั้นการเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดกลิ่นในการทดลองนี้จึงเลือกอุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เพราะสามารถให้ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าสีของน้ำมันมีค่าต่ำสุด แม้ว่ากรดไขมันอิสระมีปริมาณสูงกว่าที่อุณหภูมิอื่นเล็กน้อย แต่มีปริมาณกรดไขมันอิสระไม่เกินปริมาณที่กำหนดของน้ำมันบริโภค

#### การทดลองกำจัดกลิ่นน้ำมันที่มีปริมาณ 300 กรัม

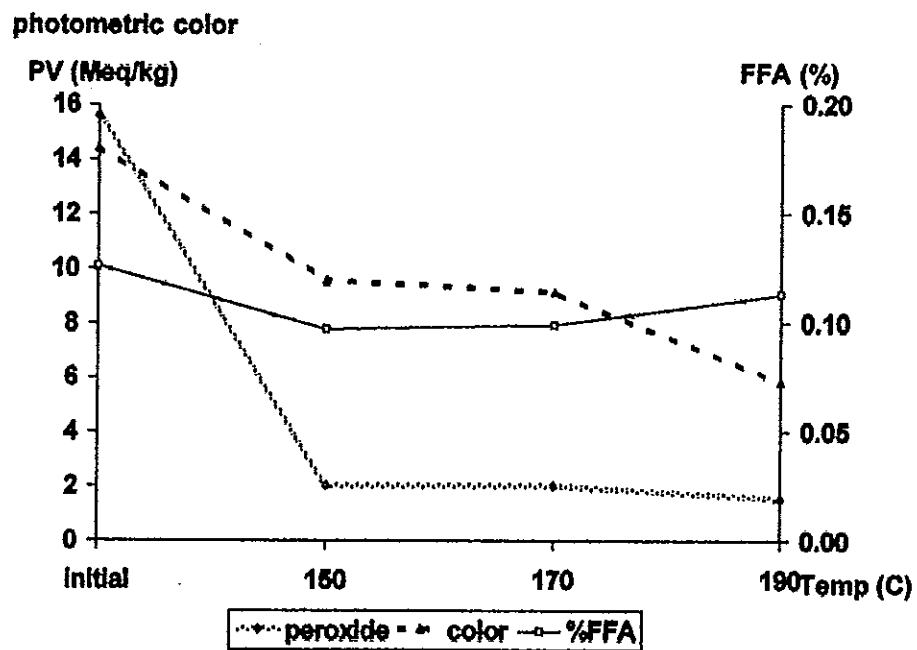
จากการทดลองใช้น้ำมันปริมาณ 385, 330 และ 292 กรัม บรรจุในชุดกำจัดกลิ่น โดยกำจัดกลิ่นที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เดิมไอน้ำในปริมาณร้อยละ 3 ต่อชั่วโมง พบว่าน้ำมันมีความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ร้อยละ 0.05 กรดไขมันอิสระร้อยละ 0.09 ค่าเปอร์ออกไซด์ 0.29 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม ค่าไอโอดีน 187.81 ค่าสีโฟโตเมตริก 6.48 ค่าสีโลวิบอนด์ 4.5R/ 51Y มีปริมาณฟอสฟอรัส และเหล็กตกค้าง 37.78 และ 1.59 ส่วนในล้านส่วน แสดงดังตารางที่ 8 เมื่อเปรียบเทียบกรดไขมันอิสระ ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าสีของน้ำมันที่ได้กับการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดกลิ่นโดยใช้น้ำมันปริมาณ 150 กรัม พบว่าว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพราะปริมาณน้ำมันที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณ 300 กรัม มีปริมาณไม่แตกต่างจากเดิมมากนัก และเมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นของสุมาลัย ศรีคำไลทอง

และคณะ (2539) และน้ำมันผ่านการกำจัดกลิ่นของพรทิพย์ แซ่เตีย (2537) แสดงดังตารางที่ 9 พบว่า คุณสมบัติส่วนใหญ่ของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นในทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน และอยู่ในเกณฑ์ของน้ำมันปลาใช้สำหรับบริโภค (Kinsella, 1987a) แต่พบค่าที่มีความแตกต่างมากคือ ค่าเปอร์ออกไซด์ และค่าสี โดยค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นของสุมาลัย มีค่าสูงถึง 5 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำมันเริ่มต้นก่อนการกำจัดกลิ่นมีค่าเปอร์ออกไซด์สูงมาก หรือในระหว่างการกำจัดกลิ่นมีอากาศเข้าไปสัมผัส (Gavin, 1981) หรืออาจเกิดจากชุดอุปกรณ์กำจัดกลิ่นไม่มีระบบเติมไอน้ำ ซึ่งไอน้ำจะทำหน้าที่เป็นตัวพา สารระเหย และสารเปอร์ออกไซด์ที่ระเหยให้แยกตัวออกจากน้ำมัน (Mattil, 1964)

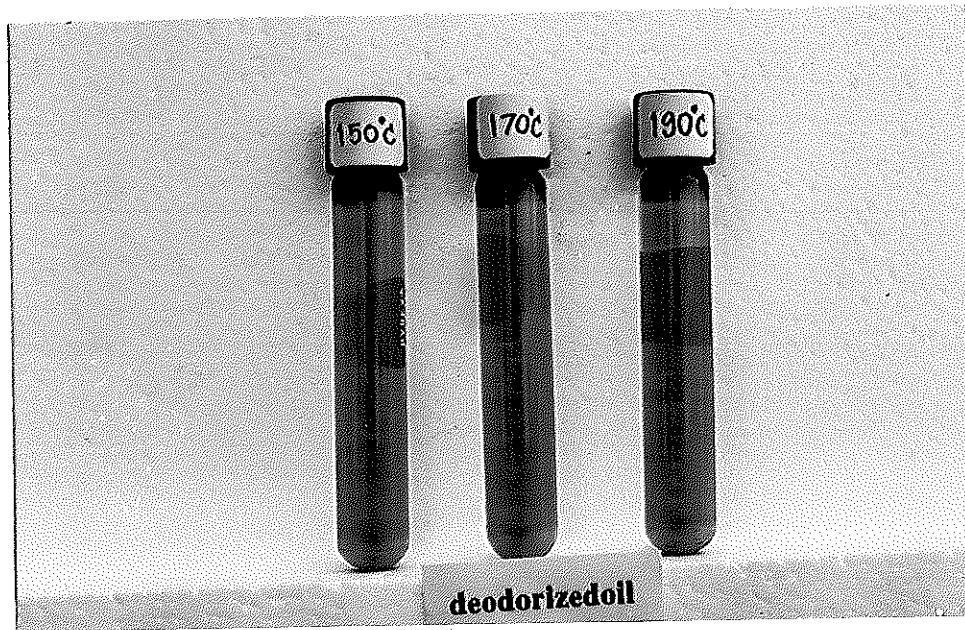
สำหรับค่าสีเหลืองในระบบโลวิบอนซ์ของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นของสุมาลัย มีค่าสีเหลือง 15Y-30Y น้อยกว่าค่าสีเหลืองของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นของการทดลองนี้ซึ่งมีค่า 51Y อาจเป็นเพราะน้ำมันของสุมาลัย ได้รับความร้อนในเวลาไม่นานเมื่อเทียบกับน้ำมันเริ่มต้นของการทดลองนี้ แต่อย่างไรก็ตามค่าสีเหลืองของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นของสุมาลัย มีค่าเท่าเดิมไม่แตกต่างจากค่าสีเหลืองของน้ำมันหลังจากการฟอกสี อาจเป็นเพราะอุณหภูมิในการกำจัดกลิ่นมีค่า 170 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 2 ชั่วโมงอุณหภูมิสูงไม่เพียงพอที่จะลดค่าสีของรงควัตถุหรือรงควัตถุไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าสีเหลืองของน้ำมันได้มากกว่านี้ ซึ่งแตกต่างจากน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นของการทดลองนี้ที่ใช้อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เวลากำจัดกลิ่น 2 ชั่วโมง พบว่ามีค่าสีเหลืองใกล้เคียงกับการทดลองของพรทิพย์ ที่ใช้อุณหภูมิในการกำจัดกลิ่น 200-220 องศาเซลเซียส

สำหรับผลผลิตน้ำมันมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 91.79 น้ำมันเกิดการสูญเสียประมาณร้อยละ 10 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในน้ำมันเริ่มต้นอาจมีตัวทำละลายเฮกเซนตกค้าง และน้ำมันบางส่วนได้รับความร้อนและไอน้ำทำให้เกิดการกระจายแตกตัว ถูกดูดเข้าไปในปั๊มดูดสูญญากาศ ทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันในระหว่างการกำจัดกลิ่น Bodman และคณะ (1951 อ้างโดย Carlson, 1996) ได้ทำการศึกษาการสูญเสียน้ำมันในระหว่างการกำจัด

กลิ่นแบบกะ พบว่ามีการสูญเสียประมาณร้อยละ 1.5 และการกำจัดกลิ่นแบบกึ่งต่อเนื่อง  
เกิดการสูญเสียประมาณร้อยละ 0.25-0.40

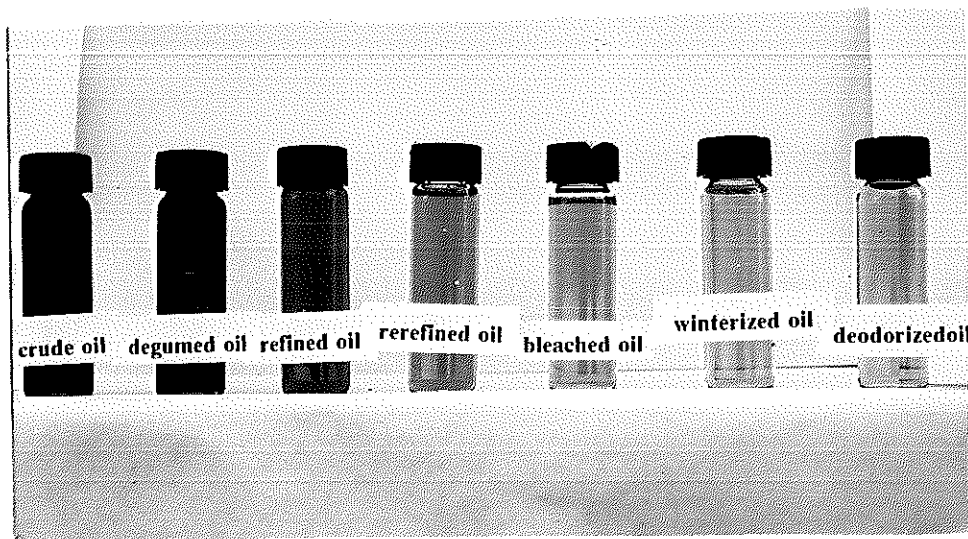


ภาพที่ 20 ผลของการกำจัดกลิ่นต่อค่าเปอร์ออกไซด์ กรดไขมันอิสระ และ  
ค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน



ภาพที่ 21 สีของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น

เรียงลำดับจากซ้ายไปขวา อุณหภูมิที่ใช้กำจัดกลิ่น 150; 170 และ 190 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 22 สีของน้ำมันที่ได้จากแต่ละขั้นตอนการผลิตน้ำมันให้บริสุทธิ์

เรียงลำดับจากซ้ายไปขวา น้ำมันจากน้ำนึ่งปลาทูน่า; น้ำมันผ่านการกำจัดสารเหนียว;  
น้ำมันผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง; น้ำมันผ่านการเติมด่างซ้ำ; น้ำมันผ่านการฟอกสี  
; น้ำมันผ่านการแยกส่วนไขมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซน และน้ำมันผ่านการกำจัดกลิ่น

ตารางที่ 8 คุณสมบัติของน้ำมันที่ได้จากแต่ละขั้นตอนการผลิต

คุณสมบัติ	น้ำมันดิบ	กระบวนการ					
		กำจัดสาร เหนียว	ทำให้เป็น กลาง	เติมด่างซ้ำ	ฟอกสี	แยกส่วน ไขมัน*	กำจัดกลิ่น
ความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ (ร้อยละ)	1.8	-	-	-	-	-	0.05
กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	1.51	1.32	-	0.04	-	0.13	0.09
ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลย์/กก.)	16.93	-	-	5.02	0.10	2.05	0.29
ค่าไอโอดีน	191.63	-	-	-	189.84	196.67	187.81
สารที่สaponifiyไม่ได้ (ร้อยละ)	0.95	-	-	-	-	-	0.39
ปริมาณสูง (ร้อยละ)	-	-	0.021	0.013	-	-	0.001
ค่าสีโลวินอนด์	น้ำตาลดำ	น้ำตาลดำ	13.4R/70Y	8.5R/70Y	6.2R/70Y	6.2R/70Y	4.5R/51Y
ฟอสฟอรัส (ส่วนในล้านส่วน)	30.39	20.65	10.43	-	-	-	37.78
เหล็ก (ส่วนในล้านส่วน)	5.19	16.53	4.70	-	-	-	1.59

\* แยกส่วนไขมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซน



ตารางที่ 9 คุณสมบัติของน้ำมันปลาที่ผ่านการกำจัดกลิ่นของงานวิจัยต่างๆและน้ำมันปลาที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์

คุณสมบัติ	น้ำมันผ่าน การกำจัดกลิ่น	สุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ(2538)	พรทิพย์ แซ่เตีย (2537)	น้ำมันปลาที่ผ่าน การทำให้บริสุทธิ์**
ร้อยละความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ (ร้อยละ)	0.05	0.03	0.056	ไม่เกิน 0.3
กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	0.09	0.13	0.14	ไม่เกิน 4
ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลย์/ กก.)	0.29	5	3.56	ไม่เกิน 6
ค่าไอโอดีน	187.81	185	184.18	ไม่กำหนด
สารที่สaponifyไม่ได้ (ร้อยละ)	0.39	0.73	1.26	ไม่กำหนด
ปริมาณสบู่ (ร้อยละ)	0.001	0.0013	0.001	ไม่กำหนด
ค่าสีโลวิบอนด์	4.5R/ 51Y	7.4-9.3R/ 30Y 1.5-2R/15Y	5.5R/ 68Y	ไม่กำหนด
ฟอสฟอรัส (ส่วนในล้านส่วน)	37.78	*	*	200
เหล็ก (ส่วนในล้านส่วน)	1.59	0.73	*	ไม่เกิน 1.5

\* ไม่มีข้อมูล

\*\* ที่มา : คัดแปลงจาก Kinsella (1987a)

## 8. ผลการศึกษาอุณหภูมิในการเก็บรักษาน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น

ปัจจัยที่ศึกษาคือ อุณหภูมิที่ใช้ในการเก็บรักษา 4, 10 องศาเซลเซียส และ อุณหภูมิห้อง โดยมีอุณหภูมิประมาณ 29-30 องศาเซลเซียส เก็บน้ำมันในขวดสีชา ใส่น้ำมันจนเต็ม ปิดฝาด้วยจุกพลาสติกแน่น ไม่ให้อากาศเข้า และประเมินผลโดยเปรียบเทียบจากค่าเปอร์ออกไซด์และกรดไขมันอิสระทุก 1 เดือน เป็นเวลา 4 เดือน

### ค่าเปอร์ออกไซด์

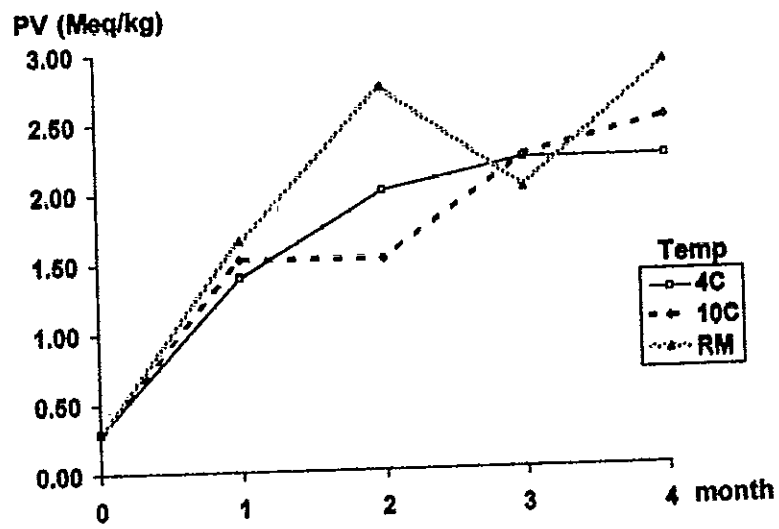
จากผลแสดงคังภาพที่ 23 และตารางภาคผนวกที่ 28 และ 29 ค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 10 และอุณหภูมิห้องมีลักษณะใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการเก็บรักษาผ่านไป โดยน้ำมันเริ่มต้นมีค่าเปอร์ออกไซด์ 0.29 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม และเมื่อเวลาผ่านไป 4 เดือน ค่าเปอร์ออกไซด์มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2.2-2.9 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม เนื่องจากน้ำมันถูกบรรจุในขวดสีชาเต็มขวด ปิดฝาสนิท โอกาสสัมผัสอากาศและแสงน้อยมาก ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงของค่าเปอร์ออกไซด์จึงไม่สูง และเป็นค่าที่ยอมรับได้ของน้ำมันบริโภค ที่มีค่าสูงสุดไม่เกิน 10 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม แต่อย่างไรก็ตามแนวโน้มของค่าเปอร์ออกไซด์ที่อุณหภูมิ 4 และ 10 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิห้องเมื่อผ่านไป 4 เดือน Ackman (1988) ได้ศึกษาน้ำมันปลาที่บรรจุอยู่ในแคปซูลเจลลาตินเก็บที่อุณหภูมิห้อง ปราศจากแสง เป็นเวลา 4 ปี พบว่าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง

### กรดไขมันอิสระ

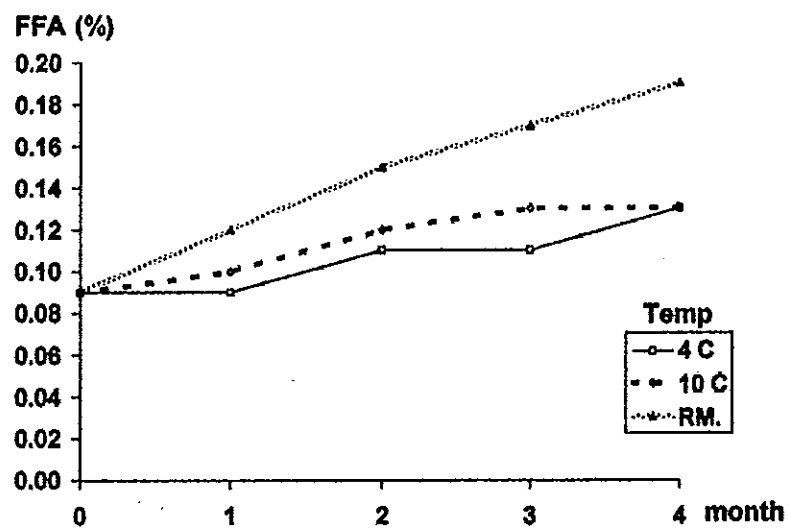
จากผลแสดงคังภาพที่ 24 และตารางภาคผนวกที่ 30 และ 31 น้ำมันที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4, 10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิห้อง กรดไขมันอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเวลาผ่านไป โดยน้ำมันเริ่มต้นมีกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.09 และเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 4 เดือน น้ำมันเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 10 องศาเซลเซียส มีกรดไขมันอิสระในเดือนที่ 4 มีปริมาณร้อยละ 0.13 เท่ากัน ในขณะที่เก็บที่อุณหภูมิห้องมีปริมาณร้อยละ 0.19 ซึ่งเป็นปริมาณที่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) และพบว่ากรดไขมัน

อิสระของน้ำมันที่เก็บอุณหภูมิ 4 และ 10 องศาเซลเซียส มีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละเดือนของการเก็บรักษา เมื่อเปรียบเทียบผลของการเก็บรักษาน้ำมันปลาที่ผ่านการกำจัดกลิ่นของสุมาลัย ศรีท่าไลทอง และคณะ (2539) พบว่าน้ำมันปลาเก็บในขวดแก้ว ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 เดือน มีแนวโน้มของกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป โดยในเดือนที่ 0, 1, 2 และ 3 มีกรดไขมันอิสระร้อยละ 0.13, 0.13, 0.23 และ 0.25 ตามลำดับ ซึ่งเกิดผลทำนองเดียวกันกับการทดลองครั้งนี้

ดังนั้นในการคัดเลือกอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเก็บรักษา ควรใช้อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส เพราะค่าเปอร์ออกไซด์และกรดไขมันอิสระมีค่าต่ำใกล้เคียงกับน้ำมันเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และน้ำมันยังคงมีสภาพเป็นของเหลวสามารถขนถ่ายได้ง่ายกว่าที่น้ำมันอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ซึ่งมีสภาพหนืดกว่าเคลื่อนย้ายยาก



ภาพที่ 23 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อค่าเปอร์ออกไซด์  
ของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น



ภาพที่ 24 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อกรดไขมันอิสระ  
ของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น

## 9. ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปลา

การหาชนิดและปริมาณของกรดไขมันในตัวอย่างโดยใช้ก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography; GC) วิเคราะห์ตัวอย่างน้ำมันในแต่ละขั้นตอนการผลิต ได้แก่ น้ำมันจากน้ำนิ่งปลาทูน่า น้ำมันผ่านการฟอกสี น้ำมันจากการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน และการแยกส่วนไขมันโดยอาศัยระดับชั้นความหนาแน่นของตัวกลาง และน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น ผลแสดงดังตารางที่ 10 และรูปโครมาโตแกรมแสดงดังภาพที่ 25-29 ในภาคผนวก ก พบว่าน้ำมันปลาที่ผ่านแต่ละขั้นตอนการผลิตมีชนิดและปริมาณของกรดไขมันใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณสัดส่วนกรดไขมันอิ่มตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 36.2-38.5 กรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่ในช่วงร้อยละ 61.5-63.8 กรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 ร้อยละ 35.1-37.7 และมี EPA และ DHA อยู่ในช่วงร้อยละ 7.5-7.8 และร้อยละ 26.6-28.5 ตามลำดับ มีข้อสังเกตคือในขั้นตอนการแยกส่วนไขมันทั้งสองวิธีไม่สามารถเพิ่มปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัว โดยเฉพาะกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 ดังนั้นจึงอาจเป็นไปได้ว่าการแยกส่วนไขมันในครั้งนี้อาจเป็นเพียงการกำจัดแว็กซ์และสารที่มีจุดหลอมเหลวสูงออกจากน้ำมัน หรือการแยกส่วนไขมันเพื่อเพิ่มปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 อาจมีข้อจำกัด ตามที่ Ackman (1988) ได้กล่าวไว้ คือในทางปฏิบัติไม่สามารถการเพิ่มปริมาณ EPA และ DHA ที่อยู่ในรูปไตรกลีเซอไรด์ให้มีปริมาณมากกว่า 300 มิลลิกรัม/กรัม (ร้อยละ 30) โดยไม่ใช้เอนไซม์ (enzymatic interesterification) หรือการสังเคราะห์ขึ้นใหม่ได้ แต่อาจมีการเติมกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 ตัวอื่นลงไป เช่น C 16:4n-3, C 18:4n-3, C 20:4n-3 และ C 22:5n-3 เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 สูงถึง 500 มิลลิกรัม/กรัม

นอกจากนี้พบว่าปริมาณ EPA และ DHA ในน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นมีค่าใกล้เคียงปริมาณ EPA และ DHA ของน้ำมันเริ่มต้น และที่ผ่านขั้นตอนการผลิต แสดงว่าสถานะของการกำจัดกลิ่นที่อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส ความดันสูญญากาศ 27 นิ้วปรอท เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ยังคงเป็นสถานะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดกลิ่น เพราะถ้า

น้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงเมื่อสัมผัสความร้อนเป็นเวลานานหรือมีการสัมผัสอากาศในขณะที่กำจัดกลิ่น อาจมีผลทำให้กรดไขมันไม่อิ่มตัวเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอเรชันได้ (Ackman, 1988) ซึ่งมีผลทำให้ปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัว EPA และ DHA ลดลง

เมื่อเปรียบเทียบชนิดและปริมาณของกรดไขมันของน้ำมันดิบจากน้ำนิ่งปลาที่ใช้ทดลองนี้ กับน้ำมันดิบจากน้ำนิ่งปลาหูของสุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ (2538) และน้ำมันดิบที่ได้จากการบีบหัวปลาหูของพรทิพย์ แซ่เตีย (2537) แสดงดังตารางที่ 11 พบว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 ของน้ำมันดิบทั้งสามตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 24-37 โดยที่น้ำมันดิบที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 ร้อยละ 37.5 รองลงมาคือ น้ำมันดิบที่ได้จากการบีบหัวปลาหูของพรทิพย์ แซ่เตีย พบร้อยละ 31.1 และน้ำมันจากน้ำนิ่งปลาหูของสุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ พบร้อยละ 24.3-35.1 สำหรับปริมาณ EPA และ DHA ของน้ำมันดิบที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณร้อยละ 7.7 และ 28.4 ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าน้ำมันดิบที่ใช้ในการทดลองอื่นซึ่งมีปริมาณ EPA และ DHA อยู่ในช่วงร้อยละ 4.0-7.0 และร้อยละ 19.0-27.0 ตามลำดับ

เปรียบเทียบชนิดและปริมาณของกรดไขมันของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นจากการทดลองนี้ กับน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นของสุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ (2539) และน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นของพรทิพย์ แซ่เตีย (2537) และผลิตภัณฑ์น้ำมันปลาของบริษัท ทีซี ยูเนียน จำกัด (2540) ผลแสดงดังตารางที่ 12 พบว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 ของน้ำมันดิบทั้งสี่ตัวอย่างมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 25-37 มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 ในน้ำมันดิบ โดยที่น้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นที่ได้จากการทดลองนี้มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 ร้อยละ 37.0 รองลงมาคือ น้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นของพรทิพย์ แซ่เตีย พบร้อยละ 34.9 และน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นของสุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ และผลิตภัณฑ์น้ำมันปลาของบริษัท ทีซี ยูเนียน จำกัด มีปริมาณในช่วงร้อยละ 25.3-33.2 สำหรับปริมาณ EPA และ DHA ของ

น้ำมันดิบที่ใช้ในการทดลองนี้มีปริมาณร้อยละ 7.7 และ 27.9 ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นของพรทิพย์ แซ่เตีย มีปริมาณ EPA ร้อยละ 7.7 และ DHA ร้อยละ 26.6 รองลงมาคือ ผลิตภัณฑ์น้ำมันปลาของบริษัท ทีซี ยูเนียน จำกัด และน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นของสุมาลัย ศรีกำไลทอง และคณะ มีปริมาณ EPA และ DHA อยู่ในช่วงร้อยละ 3.3-5.4 และร้อยละ 19.7-26.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 10 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปลาที่ได้จากแต่ละขั้นตอนการผลิต

กรดไขมัน	น้ำมันจากการบวนการผลิต				
	น้ำมันของน้ำนึ่ง	การฟอกสี	แยกส่วนไขมัน <sup>1</sup>	แยกส่วนไขมัน <sup>2</sup>	กำจัดกลิ่น
กรดไขมันอิ่มตัว	36.4	36.2	37.7	38.5	37.8
C 14:0 ✓	4.6	4.7	4.6	5.1	4.3
C 16:0 ✓	23.6	23.6	24.2	23.6	24.9
C 17:0 ✓	1.5	1.4	2.1	2.7	1.5
C 18:0	6.7	6.5	6.8	7.1	7.1
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	63.6	63.8	62.3	61.5	62.2
C 16:1	5.6	5.4	5.3	5.7	4.4
C 18:1	13.8	14.0	13.6	15.2	14.1
C 18:2 n-6	2.0	2.0	1.9	2.2	2.0
C 20:4 n-6 (AA)	2.7	2.6	2.6	2.5	2.7
C 20:5 n-3 (EPA)	7.7	7.8	7.7	7.5	7.7
C 22:5 n-6 (DPA n-6)	2.0	2.0	1.9	0.9	2.0
C 22:5 n-3 (DPA n-3)	1.4	1.4	1.5	1.0	1.4
C 22:6 n-3 (DHA)	28.4	28.5	27.8	26.6	27.9

<sup>1</sup> น้ำมันที่ผ่านการแยกส่วนไขมันด้วยตัวทำละลายเฮกเซน ; <sup>2</sup> น้ำมันที่ผ่านการแยกส่วนไขมันโดยอาศัยระดับชั้นความหนาแน่นของตัวกลาง



ตารางที่ 11 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันของน้ำมันดิบที่ได้จากงานวิจัยต่างๆ

กรดไขมัน	น้ำมันดิบ				
	จากน้ำแข็งปลาทูน่า	สุมาลัย ศรีท่าไลทอง และคณะ (2538)	พรทิพย์ (2537)	๑๐	๑๗๗
C 14:0	4.6	2.6-4.7	3.8	5.9	4.9
C 16:0	23.6	20.2-24.9	23.4	19	15
C 17:0	1.5	1.6-2.2	ไม่รายงาน	๒๑.๔	๒๖.๑
C 18:0	6.7	5.6-7.8	6.5	7.4	6.๘
C 20:0	ไม่รายงาน	0.2-0.6	1.2	๐.5	๐.4
C 24:0	ไม่รายงาน	0.1-0.4	ไม่รายงาน	0	0
กรดไขมันอิ่มตัว	36.4	30.3-40.6	34.9		
C 14:1	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	1.1	Discovered	
C 16:1	5.6	5.1-7.5	5.5	6.4	5.๗
C 18:1	13.8	10.8-18.6	15.5	15-๙	14.5
C 18:2 n-6	2.0	0.9-1.5	2.2		
C 18:3 n-3	ไม่รายงาน	0.3-0.7	0.6		
C 18:4 n-3	ไม่รายงาน	0.4-0.9	ไม่รายงาน		
C 20:1	ไม่รายงาน	0.3-1.7	1.8		
C 20:4 n-6 (AA)	2.7	1.4-2.1	1.7		
C 20:4 n-3	ไม่รายงาน	0.2-0.4	ไม่รายงาน		
C 20:5 n-3 (EPA)	7.7	4.3-6.2	6.9		
C 22:5 n-6	2.0	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน		
C 22:5 n-3 (DPA)	1.4	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน		
C 22:6 n-3 (DHA)	28.4	19.1-26.9	23.6		
PUFA n-3	37.5	24.3-35.1	31.1		
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	63.4	42.8-66.5	58.9		

ตารางที่ 12 ชนิดและปริมาณกรดไขมันของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น  
จากงานวิจัยต่างๆ

กรดไขมัน	น้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น			
	จากน้ำนึ่ง ปลาทูน่า	สุมาลัย ศรีท่าโลทอง และคณะ (2539)	พรทิพย์ (2537)	บริษัท ทีซี ยูเนี่ยน (2540)
C 14:0	4.3	3.3-4.4	3.2	3.3-3.5
C 16:0	24.9	21.5-23.2	18.9	20.5-23.1
C 17:0	1.5	1.8-2.1	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
C 18:0	7.1	5.5-6.7	5.2	6.4-7.5
C 20:0	ไม่รายงาน	0.3-0.5	1.1	ไม่รายงาน
C 24:0	ไม่รายงาน	0.2	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
กรดไขมันอิ่มตัว	37.8	32.6-37.1	28.4	30.2-34.1
C 14:1	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	0.9	ไม่รายงาน
C 16:1	4.4	5.4-6.1	6.2	5.7-6.5
C 18:1	14.1	12.5-15.5	17.1	16.0-16.8
C 18:2 n-6	2.7	2.4-2.8	2.0	ไม่รายงาน
C 18:3 n-3	ไม่รายงาน	0.3-0.6	0.6	ไม่รายงาน
C 18:4 n-3	ไม่รายงาน	0.6-0.8	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
C 20:1	ไม่รายงาน	0.7-2.0	1.9	ไม่รายงาน
C 20:4 n-6 (AA)	2.0	1.4-1.6	1.9	2.2-2.8
C 20:4 n-3	ไม่รายงาน	0.3-0.4	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
C 20:5 n-3 (EPA)	7.7	3.7-5.4	7.7	3.3-3.8
C 22:5 n-6	2.0	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน	ไม่รายงาน
C 22:5 n-3 (DPA)	1.4	0.7-1.0	ไม่รายงาน	2.0-2.8
C 22:6 n-3 (DHA)	27.9	19.7-22.4	26.6	21.5-26.6
PUFA n-3	37.0	25.3-30.6	34.9	26.8-33.2
กรดไขมันไม่อิ่มตัว	62.2	47.7-58.65	64.9	50.7-59.3

## 10. การประเมินผลผลิตน้ำมัน

การประเมินผลผลิตน้ำมันปลาที่ได้จากน้ำมันของน้ำนิ่งปลาทูน่า เริ่มต้นจากการกำจัดสารเหนียว การทำให้เป็นกลางด้วยด่าง การเติมด่างซ้ำ การฟอกสี การแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน และการกำจัดกลิ่น พบว่าการปรับปรุงคุณภาพน้ำมันทำให้เกิดการสูญเสียมากที่สุดในช่วงขั้นตอนการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง โดยมีการสูญเสียร้อยละ 15.74 รองลงมาคือ การกำจัดกลิ่นมีการสูญเสียร้อยละ 8.26 ส่วนขั้นตอนที่เหลือจะมีการสูญเสียประมาณร้อยละ 4-5 โดยมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 13-19

การผลิตน้ำมันที่ผ่านขั้นตอนตามลำดับทั้งหมดนี้ จะให้ผลผลิตน้ำมันเมื่อเทียบกับน้ำมันจากน้ำนิ่งปลาทูน่ามีค่าร้อยละ 63 ถ้านำผลผลิตน้ำมันในแต่ละขั้นตอนมาคำนวณหาปริมาณน้ำมันดิบที่ใช้เริ่มต้นเพื่อใช้สำหรับการผลิตน้ำมันปลาให้ได้ปริมาณ 1 กิโลกรัม พบว่าต้องใช้น้ำมันจากน้ำนิ่งปลาทูน่าปริมาณ 1.6 กิโลกรัม

ตารางที่ 18 ผลผลิตน้ำมันที่ผ่านการกำจัดสารเหนียว

การทดลอง	ปริมาณสาร					ผลผลิต (ร้อยละ)
	น้ำมันเริ่มต้น (กรัม)	กรดซัลฟิวริก (กรัม)	น้ำ (กรัม)	น้ำมันที่ผ่านการกำจัดสาร เหนียว (กรัม)	สารเหนียว (กรัม)	
1	1495	2.21	29.90	1424	80	95.25
2	1475	2.21	29.50	1399	75	94.84
ค่าเฉลี่ยผลผลิตน้ำมันที่ผ่านการกำจัดสารเหนียว						95.05

ตารางที่ 14 ผลผลิตน้ำมันที่ผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง

การทดลอง	ปริมาณสาร					ผลผลิต (ร้อยละ)
	น้ำมันที่ผ่านการกำจัด สารเหนียว (กรัม)	ด่าง 16°โบเม (มิลลิลิตร)	เกลือ (กรัม)	น้ำมันที่ผ่านการทำให้ เป็นกลาง (กรัม)	สูญ (กรัม)	
1	1410	87.63	25.20	1185	287.2	84.04
2	1385	86.03	24.70	1170	280.0	84.47
ค่าเฉลี่ยผลผลิตน้ำมันที่ผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง						84.26

ตารางที่ 15 ผลผลิตน้ำมันที่ผ่านการเติมต่างซ้ำ

การทดลอง	ปริมาณสาร					ผลผลิต (ร้อยละ)
	น้ำมันที่ผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง (กรัม)	ด่าง 40°โบเม (มิลลิลิตร)	เกลือ (กรัม)	น้ำมันที่ผ่านการเติมต่างซ้ำ (กรัม)	สบู่ (กรัม)	
1	1045	31.35	20.90	986	175	94.35
2	1025	30.75	20.50	978	225	95.37
ค่าเฉลี่ยผลผลิตน้ำมันที่ผ่านการเติมต่างซ้ำ						94.86

ตารางที่ 16 ผลผลิตน้ำมันที่ผ่านการฟอกสี

การทดลอง	ปริมาณสาร			ผลผลิต (ร้อยละ)
	น้ำมันผ่านการเติมต่างซ้ำ (กรัม)	ดินฟอกสี (กรัม)	น้ำมันผ่านการฟอกสี (กรัม)	
1	475.0	23.7	455.0	95.78
2	465.0	23.2	435.0	93.55
3	470.0	23.5	445.0	94.68
4	495.0	24.7	465.0	93.93
ค่าเฉลี่ยผลผลิตน้ำมันที่ผ่านการฟอกสี				94.49

ตารางที่ 17 ผลผลิตน้ำมันที่ผ่านการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน

การทดลอง	ปริมาณสาร				ผลผลิต (ร้อยละ)
	น้ำมันผ่านการฟอกสี (กรัม)	เฮกเซน (มิลลิลิตร)	โอลีน (กรัม)	สเตอริน (กรัม)	
1	405.0	405	384.8	17.4	95.01
2	420.0	420	404.2	20.4	96.23
3	384.0	384	362.0	16.7	94.27
ค่าเฉลี่ยผลผลิตน้ำมันที่ผ่านการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน					95.17

ตารางที่ 18 ผลผลิตน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น

การทดลอง	ปริมาณสาร			ผลผลิต (ร้อยละ)
	โอลีน (กรัม)	น้ำ (กรัม)	น้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น (กรัม)	
1	385.0	11.6	357.8	92.95
2	330.1	9.9	316.0	92.94
3	292.9	8.9	269.5	89.32
ค่าเฉลี่ยผลผลิตน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น				91.74

ตารางที่ 19 ผลผลิตน้ำมันที่ได้ในแต่ละขั้นตอนการผลิต

ขั้นตอน	ผลผลิต (ร้อยละ)	ผลผลิตน้ำมันเทียบกับ น้ำมันเริ่มต้น (ร้อยละ)
กำจัดสารเหนียว	95.05	95.05
ทำให้เป็นกลางด้วยด่าง	84.26	80.09
เติมด่างซ้ำ	94.86	75.97
ฟอกสี	94.49	71.79
แยกส่วนไขมันด้วย		
ตัวทำละลายเฮกเซน	95.17	68.32
กำจัดกลิ่น	91.74	62.68

## 11. การประเมินต้นทุน

การประเมินต้นทุนของน้ำมันปลาที่ได้จากน้ำมันของน้ำนิ่งปลาทูน่าประกอบ ด้วยต้นทุนทางตรงและต้นทุนทางอ้อม โดยต้นทุนทางอ้อมจะรายงานเฉพาะรายการ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ เนื่องจากอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นครุภัณฑ์ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ดังนั้นการคำนวณต้นทุนจะคำนวณเฉพาะขั้นตอนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนทางตรง แสดงผลดังตารางที่ 20 โดยตั้งเป้าหมายการผลิตน้ำมันปลาให้มีปริมาณ 1 กิโลกรัม ซึ่งใช้น้ำมันจากน้ำนิ่งปลาทูน่าจำนวน 1.59 กิโลกรัม ราคา กิโลกรัมละ 6 บาท คิดเป็นต้นทุนวัตถุดิบ 9.50 บาท

### 11.1. การกำจัดสารเหนียว

#### ต้นทุนทางตรง

- กรดซिटริก ร้อยละ 0.15 เดิมในน้ำมัน 1,586 กรัม คิดเป็นน้ำหนักของกรดซिटริก 2.38 กรัม ราคา 300 บาทต่อ 1,000 กรัม เป็นเงิน 0.71 บาท

รวมต้นทุนทางตรงของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดสารเหนียวเท่ากับ 0.71 บาท

#### ต้นทุนทางอ้อม

- ค่าไฟฟ้าจากอุปกรณ์

\* เครื่องเหวี่ยงแยกความเร็วสูง

\* อ่างน้ำร้อน

\* เครื่องกวน

### 11.2. การทำให้เป็นกลางด้วยด่าง

#### ต้นทุนทางตรง

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ 16 องศาโบเม (ร้อยละ 11.06) น้ำมันมีกรดไขมันอิสระ ร้อยละ 1.38 เดิมค่า 16 องศาโบเม ปริมาณมากเกินไปร้อยละ 0.5 เดิมในน้ำมันที่ผ่านการกำจัดสารเหนียวปริมาณ 1507.3 กรัม คิดเป็นจำนวนโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3.71 กรัม ราคา 450 บาทต่อ 1,000 กรัม เป็นเงิน 1.67 บาท



- เกลือ ร้อยละ 1.8 คิดเป็นน้ำหนัก 27.13 กรัม ราคา 200 บาทต่อ 1,000 กรัม  
เป็นเงิน 5.43 บาท

รวมต้นทุนทางตรงของน้ำมันที่ผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยด่างเท่ากับ 7.10 บาท

#### ต้นทุนทางอ้อม

- ค่าไฟฟ้าจากอุปกรณ์

\* เครื่องเหวี่ยงแยกความเร็วสูง

\* อ่างน้ำร้อน

\* เครื่องกวน

### 11.8. การเติมด่างซ้ำ

#### ต้นทุนทางตรง

- โซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 องศาโบเม (ร้อยละ 28.72) โดยเติมลงไปร้อยละ 3 ของน้ำหนักน้ำมัน เติมในน้ำมันที่ผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยด่างประมาณ 1270.1 กรัม คิดเป็นปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ 10.94 กรัม ราคา 450 บาทต่อ 1,000 กรัม เป็นเงิน 4.92 บาท

- เกลือ ร้อยละ 1.8 คิดเป็นน้ำหนัก 22.86 กรัม ราคา 200 บาทต่อ 1,000 กรัม  
เป็นเงิน 4.57 บาท

รวมต้นทุนทางตรงของน้ำมันที่ผ่านการเติมด่างซ้ำเท่ากับ 9.49 บาท

#### ต้นทุนทางอ้อม

- ค่าไฟฟ้าจากอุปกรณ์

\* เครื่องเหวี่ยงแยกความเร็วสูง

\* อ่างน้ำร้อน

\* เครื่องกวน

#### 11.4. การฟอกสี

##### ต้นทุนทางตรง

- คินฟอกสีชนิดแอคติเวทเคเอิร์ทร้อยละ 5 เดิมในน้ำมันที่ผ่านการเติมต่างซ้ำ ปริมาณ 1204.8 กรัม คิดเป็นจำนวนคินฟอกสี 60.24 กรัม ราคา 20 บาทต่อกิโลกรัม คิดเป็นเงิน 1.21 บาท

- กระดาษกรอง 3 แผ่น ราคาแผ่นละ 2 บาท คิดเป็นเงิน 6 บาท

รวมต้นทุนทางตรงของน้ำมันที่ผ่านการฟอกสีเท่ากับ 7.21 บาท

##### ต้นทุนทางอ้อม

- ค่าไฟฟ้าจากอุปกรณ์

\* เตาให้ความร้อน

\* ชุดฟอกสีน้ำมัน พร้อมเครื่องดูดสูญญากาศ

#### 11.5. การแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน

##### ต้นทุนทางตรง

- เฮกเซน ใช้ในอัตราส่วนต่อน้ำมัน 1:1 (ปริมาตรต่อน้ำหนักน้ำมัน) เดิมในน้ำมันเริ่มที่ผ่านการฟอกสีปริมาณ 1143.20 กรัม ใช้เฮกเซนปริมาตร 1143.20 มิลลิลิตร ราคาเฮกเซน 700 บาทต่อปริมาตร 4,500 มิลลิลิตร เป็นเงิน 177.80 บาท ซึ่งโดยทั่วไปตัวทำละลายเฮกเซนสามารถนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ประมาณ 7 ครั้ง ดังนั้นในแต่ละที่ใช้ครั้งคิดเป็นจำนวนเงินเฉลี่ย 25.40 บาท

รวมต้นทุนทางตรงของน้ำมันที่ผ่านการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนเท่ากับ 25.40 บาท

##### ต้นทุนทางอ้อม

- ค่าไฟฟ้าจากอุปกรณ์

\* ห้องเย็นสำหรับแยกส่วนไขมัน

\* ชุดระเหยตัวทำละลาย พร้อมเครื่องดูดสูญญากาศ

### 11.6. การกำจัดกลิ่น

#### ต้นทุนทางตรง

- น้ำกลั่นที่ต้มเป็นไอเค็มลงไปในชุดกำจัดกลิ่น โดยเติมปริมาณร้อยละ 3 ต่อ ชั่วโมง ซึ่งมีปริมาณน้อยมาก เทียบเป็นจำนวนเงินประมาณ 2.00 บาท

รวมต้นทุนทางตรงของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นเท่ากับ 2.00 บาท

#### ต้นทุนทางอ้อม

- ค่าไฟฟ้าจากอุปกรณ์

\* ชุดกำจัดกลิ่นโดยเป็นเตาไฟฟ้าสำหรับให้ความร้อนกับน้ำมัน

\* เตาไฟฟ้าสำหรับให้ความร้อนกับน้ำเพื่อพ่นไอน้ำ

\* เครื่องดูดสูญญากาศ

ดังนั้นรวมต้นทุนทั้งสิ้นของการผลิตน้ำมันปลาจำนวน 1 กิโลกรัม จากน้ำมันของน้ำนิ่งปลาทูน่า 1.59 กิโลกรัม คิดเป็นเงิน 61.41 บาท

### ตารางที่ 20 ต้นทุนทางตรงของการผลิตน้ำมันปลา 1 กิโลกรัม

ขั้นตอน	ค่าใช้จ่าย (บาท)
วัตถุดิบ	9.50
การกำจัดสารเหนียว	0.71
การทำให้เป็นกลางด้วยด่าง	7.10
การเติมด่างซ้ำ	9.49
การฟอกสี	7.21
การแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน	25.40
การกำจัดกลิ่น	2.00
รวมเงินทั้งสิ้น	61.41

## บทที่ 4

### สรุปผลการทดลอง

น้ำมันปลาที่ได้จากน้ำมันของน้ำนิ่งปลาทูน่ามีสีน้ำตาลดำ มีค่าสีระบบฮันเตอร์  $L = 7.70$ ,  $a = 5.90$  และ  $b = 6.73$  มีกลิ่นคาว ความชื้นและสิ่งที่ย่อยได้ กรดไขมันอิสระและสารที่สaponifyไม่ได้ ร้อยละ 1.80, 1.51 และ 0.95 มีค่าเปอร์ออกไซด์และไอโอดีน 16.29 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัมและ 191.63 มีปริมาณเหล็ก ฟอสฟอรัส 5.19 และ 30.39 ส่วนในล้านส่วน มี EPA และ DHA ร้อยละ 7.7 และ 28.4 ตามลำดับ น้ำมันถูกนำมาผลิตเป็นน้ำมันปลาโดยผ่านขั้นตอนการกำจัดสารเหนียว การทำให้เป็นกลางด้วยด่าง การเติมด่างซ้ำ การฟอกสี การแยกส่วนไขมัน และการกำจัดกลิ่น โดยในการวิจัยได้คัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในแต่ละขั้นตอน พบว่า

1. การกำจัดสารเหนียว โดยใช้กรดซัลฟูริกในทุกความเข้มข้น และทุกระยะเวลาในการทำปฏิกิริยากับสารเหนียว สามารถลดปริมาณฟอสฟอรัส และมีกรดไขมันอิสระได้ดีกว่าการใช้กรดฟอสฟอริก และ การใช้กรดซัลฟูริกปริมาณร้อยละ 0.15, 0.25 และ 0.35 และเวลาในการทำปฏิกิริยาไม่มีผลต่อปริมาณฟอสฟอรัสและกรดไขมันอิสระ ดังนั้นจึงเลือกใช้กรดซัลฟูริกร้อยละ 0.15 เวลาทำปฏิกิริยา 5 นาที สำหรับการกำจัดสารเหนียว

2. การทำน้ำมันให้เป็นกลางด้วยด่าง โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 16 องศาโบเม ปริมาณมากเกินไปร้อยละ 0.5 สามารถลดค่าสีโฟโตเมตริก และมีปริมาณสบู่ในน้ำมันต่ำกว่าการใช้ด่างปริมาณมากเกินไปร้อยละ 0.3 และ 0.1 ตามลำดับ โดยระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาสบู่ไม่มีผลต่อการลดค่าสีและปริมาณสบู่ ดังนั้นจึงเลือกใช้ด่างเข้มข้น 16 องศาโบเม เวลาทำปฏิกิริยา 5 นาที สำหรับการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง

3. การเติมค้างช้า โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 40 องศาโบเม ปริมาตรร้อยละ 3 สามารถลดค่าสีโฟโตเมตริกและปริมาณสบู่ในน้ำมันได้ต่ำกว่าการใช้ ค้างปริมาณร้อยละ 2 และ 1 ตามลำดับ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาสบู่ ไม่มีผล ต่อการลดค่าสี แต่มีผลต่อการลดปริมาณสบู่ โดยเวลาทำปฏิกิริยาสบู่ 5 นาที สามารถ ลดปริมาณสบู่มากกว่าที่เวลา 10 นาที ดังนั้นจึงเลือกใช้ค้างความเข้มข้น 40 องศาโบเม ปริมาตรร้อยละ 3 ทำปฏิกิริยาสบู่ 5 นาที สำหรับการเติมค้างช้า

4. การฟอกสีน้ำมัน เลือกใช้ดินฟอกสีชนิดแอกติเวทแคเอิร์ทปริมาณร้อยละ 5 เพราะสามารถลดค่าสีโฟโตเมตริกและค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันได้ดีกว่าการใช้ดินฟอก สีแอกติเวทแคเอิร์ทปริมาณร้อยละ 3, 1 และดินฟอกสีฟูแลอร์เอิร์ทปริมาณร้อยละ 5 ตามลำดับ

5. การแยกส่วนไขมันจากการศึกษา 2 วิธีคือ การแยกส่วนไขมันโดยอาศัยระดับ ชั้นความหนาแน่นของตัวกลาง และการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน

5.1. การแยกส่วนไขมันโดยอาศัยระดับชั้นความหนาแน่นของตัวกลางพบว่า ตัวกลางที่สามารถแยกส่วนไขมันที่เหมาะสมได้แก่ น้ำต่อไอโซโพรพานอล สัดส่วน 52:48 และใช้สัดส่วนน้ำมันต่อตัวกลาง 1.0:1.0

5.2. การแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน พบว่าน้ำมันที่ผ่าน การแยกส่วนไขมันด้วยสัดส่วนน้ำมันต่อเฮกเซน 1.0:1.0 ให้ค่าไอโอดีนสูงใกล้เคียงกับ สัดส่วนน้ำมันต่อเฮกเซน 1.0:0.5 และสัดส่วนน้ำมันต่อเฮกเซน 1.0:1.0 สามารถให้ผล ผลิตโอลิอินใกล้เคียงกับสัดส่วนน้ำมันต่อเฮกเซน 1.0:1.5 และพบว่าระยะเวลาในการ ตกผลึกไม่มีผลต่อค่าไอโอดีน และผลผลิตโอลิอิน

เมื่อเปรียบเทียบค่าไอโอดีนและผลผลิตโอลิอินในการแยกส่วนไขมันทั้ง 2 วิธี พบว่าวิธีการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายให้ค่าสูงกว่าการแยกส่วนไขมันโดย อาศัยระดับชั้นความหนาแน่นของตัวกลาง ดังนั้นจึงเลือกใช้การแยกส่วนไขมันโดยใช้ ตัวทำละลาย สัดส่วนน้ำมันต่อเฮกเซน 1.0:1.0 เวลาในการตกผลึก 24 ชั่วโมง

6. การกำจัดกลิ่น เลือกใช้อุณหภูมิ 190 องศาเซลเซียส เพราะสามารถลดค่าเปอร์ออกไซด์ ค่าสีโฟโตเมตริก ได้ดีกว่าที่อุณหภูมิ 170 และ 150 องศาเซลเซียส

7. น้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่นมีสีเหลืองใส มีค่าสีโลวิบอนด์ 4.5R/51Y มีความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ กรดไขมันอิสระและสารที่สaponifyไม่ได้ ร้อยละ 0.05, 0.09 และ 0.39 มีค่าเปอร์ออกไซด์และไอโอดีน 0.29 มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม และ 187.81 มีปริมาณเหล็ก และฟอสฟอรัส 1.59 และ 37.78 ส่วนในล้านส่วน มี EPA และ DHA ร้อยละ 7.5 และ 27.9 ตามลำดับ

8. การเก็บรักษาน้ำมันเป็นเวลา 4 เดือน พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มค่าเปอร์ออกไซด์ และกรดไขมันอิสระที่ลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยการเก็บที่อุณหภูมิ 4 และ 10 องศาเซลเซียส ให้ผลใกล้เคียงกัน น้ำมันมีค่าเปอร์ออกไซด์และกรดไขมันอิสระต่ำ แต่การเก็บที่อุณหภูมิห้อง น้ำมันมีค่าเปอร์ออกไซด์และกรดไขมันอิสระสูงกว่า ดังนั้นจึงเลือกการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส

9. ชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปลาที่ได้จากน้ำมันน้ำนิ่งปลาทูน่า น้ำมันที่ผ่านการฟอกสี น้ำมันที่ผ่านการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนและแยกส่วนไขมันโดยอาศัยระดับชั้นความหนาแน่นของตัวกลาง และน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น มีชนิดและปริมาณของกรดไขมันใกล้เคียงกัน โดยที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 ร้อยละ 35.1-37.7 มี EPA และ DHA ร้อยละ 7.5-7.8 และร้อยละ 26.6-28.5 ตามลำดับ

10. การประเมินผลผลิตและต้นทุนทางตรง พบว่าผลผลิตน้ำมันมีค่าร้อยละ 63 จากน้ำหนักเริ่มต้น สำหรับต้นทุนทางตรงในการผลิตน้ำมันปลาจำนวน 1 กิโลกรัม คิดเป็นเงิน 62 บาท คาดว่าขั้นตอนการผลิตน้ำมันให้บริสุทธิ์ข้างต้นสามารถนำไปใช้ผลิตน้ำมันปลาสำหรับการบริโภคในเชิงอุตสาหกรรมได้

### ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาผลของปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตในน้ำมันจากน้ำนิ่งปลาหูน้ำต่อค่าสีของน้ำมันที่ผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์
2. ควรมีการศึกษาผลของอายุการเก็บรักษาน้ำมันจากน้ำนิ่งปลาหูน้ำว่ามีอายุการเก็บรักษาโดยไม่ผ่านขั้นตอนการทำให้บริสุทธิ์ที่ระดับอุณหภูมิต่าง โดยเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 และค่ากำหนดคุณภาพของน้ำมันปลาดิบ
3. การแยกส่วนไขมันโดยอาศัยระดับชั้นความหนาแน่นของตัวกลางและวิธีแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลาย ไม่สามารถเพิ่มความเข้มข้นของกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงโอเมก้า 3 ได้ ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการแยกส่วนไขมันโดยใช้ความเย็นร่วมด้วยเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้

## เอกสารอ้างอิง

จงจิตร อังคทะวานิช. 2538. นมและอาหารทารก หลักและวิทยาการก้าวหน้า.

กรุงเทพฯ : คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

ทีชี ยูเนียน. 2540. "น้ำมันปลาทูน่า". กรุงเทพฯ:บริษัททีชี ยูเนียน จำกัด. (สำเนา)

พรทิพย์ แซ่เตีย. 2537. "การศึกษาเบื้องต้นในการใช้เศษเหลือของอุตสาหกรรมปลา  
ทูน่ากระป๋องเพื่อผลิตน้ำมันปลา", วิทยานิพนธ์วิทยาศาตร์มหาบัณฑิต สาขา  
วิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นงลักษณ์ สุทธิวานิช. 2531. คุณภาพสัตว์น้ำ, หน้า 262. สงขลา : ภาควิชาอุตสาหกรรม  
เกษตร คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, สำนักงาน. 2516. น้ำมันรำสำหรับบริโภค. มอก. 44-  
2516. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม.

วิชัย ตันไพจิตร. 2540. ความผิดปกติของระดับไขมันในเลือดกับโรคหัวใจขาดเลือด ใน  
หัวใจของเรา กาญจนานิเทศสมัย. (บุญชอบ พงษ์พานิชย์, บรรณาธิการ), หน้า 58-  
64. กรุงเทพฯ : มูลนิธิหัวใจแห่งประเทศไทย.

วิมล เหมะจันทร์. 2528. ชีววิทยาปลา, หน้า 230. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิทยาศาสตร์  
ทางทะเล คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



สถิติแห่งชาติ, สำนักงาน. 2540. สมุดรายงานสถิติ สำนักงานสถิติแห่งชาติ 2540.  
กรุงเทพฯ : กระทรวงพาณิชย์.

สุมาลัย ศรีกำไลทอง, เรวดี นาคดี, จีระวัฒน์ เอี่ยมวัฒน์ และสมนึก อาษา. 2538.  
การพัฒนาเพื่อเพิ่มมูลค่าของเหลือใช้ในอุตสาหกรรมปลากระป๋อง:การผลิต  
PUFA จากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรมปลากระป๋อง. รายงานฉบับที่ 1 กรด  
ไขมันไม่อิ่มตัวชนิดโอเมก้า 3 จากน้ำนึ่งปลาของอุตสาหกรรมปลากระ  
ป๋อง. กรุงเทพฯ : สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

สุมาลัย ศรีกำไลทอง, เรวดี นาคดี, จีระวัฒน์ เอี่ยมวัฒน์ และสมนึก อาษา. 2539.  
น้ำมันปลาบริสุทธิ์จากน้ำนึ่งปลาของอุตสาหกรรมปลาทูน่ากระป๋อง. กรุงเทพฯ :  
สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

AOAC. 1990. Official Method of Analysis of the Official Analytical Chemists 15 th  
ed Virginia: the Association of Official Analytical Chemists, Inc.

AOAC. 1992. Official Method of Analysis of the Official Analytical Chemists 16 th  
ed Virginia: the Association of Official Analytical Chemists, Inc.

AOCS. 1989. Official and Tentative Methods of American Oil Chemist's Society.  
Vol 1., Champaign, Illinois.

Ackman, R. G. 1988. Oil and fat group international lecture: The year of the fish  
oil. Chemistry and Industry. 7 : 139-145.

Ackman, R. G., Retnayake, W.M.N. and Macpherson, E. J. 1989. EPA and DHA content of encapsulated fish oil products. *JAOCS*. 66 : 8, 1162-1164.

Bimbo, A. P. 1990. Processing of Fish Oils. *In Fish Oils in Nutrition* (ed. M. E. Stanby) pp 181-222, New York: Van Nostrand Reinhold.

Bimbo, A. P. 1991. Fish oils: Processing beyond crude oil. *Infish International* 6 : 20-25.

Braae, B. 1976. Degumming and refining practices in Europe. *JAOCS*. 53 : 353-357.

Cartson, K. F. 1996. Deodorization. *In Bailey's Industrial Oil and Fat Products* (ed Y. H. Hui) Vol 4, pp 339-390. New York : John Wiley & Sons, Inc.

Campbell, W. B. 1990. Lipid Derived Autacoids: Eicosanoid and Platelet-Activating Factor. *In The Pharmacological Basis of Therapeutics* (ed. G. Gillman) Vol 2, pp. 600-616. New York : McGraw-Hill, Inc.

Carr, R. A. 1976. Degumming and refining practices in the US.. *JAOCS*. 53: 347-352.

Connor, W. E., Neuringer, S. and Reisbick, W. 1992. Essential fatty acids : The importance of n-3 fatty acids in the retina and brain. *Nutri. Rev.* 50: 21-28.

- Cowan, J. C. 1976. Degumming, refining, bleaching and deodorization theory. JAOCS. 53 : 344-346.
- Diosady, L. L. 1982. Chemical degumming of canola oil. JAOCS. 59 : 313-316.
- Diosady, L. L. 1984. Scale-up of canola oil degumming. JAOCS. 61 : 1367-1369.
- Drevon, C. A. 1992. Marine oils and their effect. Nutr. Rev. 50 : 30-35.
- Elson, C. M., Beni, E. M. and Ackman, R. G. 1981. Determination of heavy metals in menhaden oil after refining and hydrogenation using several analytical methods. JAOCS. 58 : 1024-1026.
- Gavin, A. M. 1981. Deodorization and finished oil handling. JAOCS (3) 1981 : 175-184.
- Gunstone, F. D. and Norris, F.A. 1983a. Refining. *In Lipid in Foods*, pp. 108-116. New York : Robert Maxwell, MC.
- Gunstone, F. D. and Norris, F. A. 1983b. Bleaching. *In Lipid in Foods*, pp. 117-122. New York : Robert Maxwell, MC.
- Gunstone, F. D. and Norris, F. A. 1983c. Deodorization. *In Lipid in Foods*, pp. 130-138. New York: Robert Maxwell, MC.

Gunstone, F. D. and Norris, F. A. 1983d. Oxidation. *In Lipid in Foods*, pp. 58-69.  
New York: Robert Maxwell, MC.

Formo, M. W. 1979. Physical Properties of Fat and Fatty Acid. *In Bailey's Industrial Oil and Fat Product* (ed. S. Daniel), pp. 192-213. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Hames, B.D.. 1984. Choice of Condition for Density Gradient Centrifugation. *In Centrifugation* (ed. D. Rickwood), pp. 45-90. Washington DC:IRL Press.

Hodgson, A. S. 1996. Refining and Bleaching *In Bailey's Industrial Oil and Fat Products* (ed Y.H. Hui) Vol 4, pp. 411-452. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Holub, B. J. 1990. Potential Health Benefits of the Omega-3 Fatty Acids. in Fish. *In Seafood Science and Technology* (ed. E. G. Bligh), pp. 40-45. Ontario : Fishing News Books.

Kinsella, J. E. 1987a. Edible Fish Oil Processing and Technology. *In Seafood and Fish Oil in Humman Health and Disease*, pp. 209-226. New York : Marcel Dekker.

Kinsella, J. E. 1987b. Potential Sources of Fish Oil: Fatty Fish in US. Waters. *In Seafood and Fish Oil in Humman Health and Disease*, pp. 239-294. New York : Marcel Dekker.

- Kinsella, J. E. 1987c. Cholesterol and Fat Soluble Vitamins in Fish Lipids. *In* Seafood and Fish Oil in Human Health and Disease, pp. 177-188. New York : Marcel Dekker.
- Kinsella, J. E. 1987d. Components Affecting the Safety of Fish Oil. *In* Seafood and Fish Oil in Human Health and Disease, pp. 193-203. New York : Marcel Dekker.
- Kinsella, J. E. 1987e. Eicosanoid Metabolism General Background and Overview. *In* Seafood and Fish Oil in Human Health and Disease, pp. 1-39. New York : Marcel Dekker.
- Krishnamurthy, M. and Kellens, M.. 1996. Fractionation and Winterization. *In* Bailey's Industrial Oil and Fat Product (ed. Y.H. Hui) Vol. 4, pp. 301-338. New York : John Wiley & Sons, Inc
- Leaf, A. and Weber, P. C. 1988. Cardiovascular effect of n-3 fatty acids. *N. Eng. J. Med.* 318 (9) : 549-555.
- Mattil, K.F.. 1964. Deodorization *In* Bailey's Industrial Oil and Fat Product (ed. S. Daniel), pp.897-930. New York : John Wiley & Son, Inc.
- Maza, A., Omrbee, R. A. and Stedcer, L. R. 1992. Effect of deodorization and steam refining parameters on finished oil-quality. *JAACS.* 69 : 1003-1008.

Mounts, T. L. 1981. Chemical and physical effect of processing fats and oils.

JAOCS. (1) : 55a-54a.

Mounts, T. L. and List, G. R. 1996. Storage, Stability and Transport of Fats and Oils

*In Bailey's Industrial Oil and Fat Product* (ed. Y.H. Hui) Vol. 4, pp. 411-452.

New York : John Wiley & Sons, Inc.

Neumunz, G. M. 1976. Special problem in small scale operations. JAOCS. 53 :

334-337.

Norday, A. 1992. Fish oil in medicine : Is there a rational use. *Curr. Ther.* (5) : 83-86.

Norris, F. A. 1964. Refining and Bleaching. *In Bailey's Industrial Oil and Fat*

*Product* (ed. S. Daniel), pp.719-787. New York : John Wiley & Son, Inc.

Norum, K. R. 1992. Dietary fat and blood lipids. *Nutrition Review* 50 : 30-35.

Ohshima, Toshiaki, Fujita, Yuauo and Koizumi, Chiaki. 1993. Oxidation stability

of sardine and makeral lipids with reference to synergism between

phospholipid and alpha-tocopherol. JAOCS. 70(3) : 269-276.

Ong, S. H., Boey, P. L. and Ng, C. M. 1983. Fractionation studies of palm oil by

density gradient. JAOCS. 60 : 1755-1760.

- Ortheofer F. T. and Sinrum, R. 1996. Oil Processing and Quality Assurance. *In* Bailey's Industrial Oil and Fat Product (ed. Y.H. Hui) Vol. 4, pp. 391-410. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Petterson, H.B.W. 1976. Bleaching, practice in europe. *JAOCS*. 53 : 339-341.
- Prasertsan, P., Wauttjumnong, P., Sophanodora, P. and Choorit, W. 1988. Seafood proessing industries within Songkla-Hatyai region : the survey of basic data emphasis on wastes. *Sonklanakaran J. Sci. Techol.* 10 : 447-451.
- Rickwood, D.. 1984. The Theory and Practice of Centrifugation. *In* Centrifugation (ed. D. Rickwood), pp. 1-43. Washington DC:IRL Press.
- Scott, M. E. 1989. Fish and evening Primrose oils: Gaining medical recognition. *Curr.Ther.* (9) : 45-56.
- Sonntag, N. O. V. 1979a. Structure and Composition of Fats and Oils. *In* Bailey's Industrial Oil and Fat Product (ed. S. Daniel), pp. 1-98. New York : John Wiley & Son.
- Sonntag, N. O. V. 1979b. Reaction of Fats and Fatty Acids. *In* Bailey's Industrial Oil and Fat Product (ed. S. Daniel), pp. 99-175. New York : John Wiley & Son, Inc.

- Shemin, E. R. 1990. Antioxdant. *In Food Additive* (ed. A. L. Branen), pp.118.  
New York : Marcel Dekker.
- Stansby, M. E. 1982. Properties of Fish Oils and Their Application to Handling of Fish and to Nutritional and Industrial Use. *In Chemistry & Biochemical of Marine Food Products Utilization* (ed. R. E. Martin), pp. 75-90. Washington DC. : AVI Publishing.
- Stansby, M. E. 1990. Deterioration. *In Fish Oils in Nutrition* (ed M. E. Stansby), pp.120-139. New york : Van Nostrand Reinhold.
- Subasinghe, S. 1996. Aqualture. *Infofish International 1* : 47-50.
- Swern, D. 1964a. Reactions of Fat and Fatty Acid *In Bailey's Industrial Oil & Fat Product* (ed. D. Swern), pp. 55-96. New York. : John Wiley & Son, Inc.
- Swern, D. 1964b. Structure and Composition of Fats and Oils. *In Bailey's Industrial Oil & Fat Products* (ed. D. Swern), pp. 6-54. New York. : John Wiley & Son, Inc.
- Synor, R. 1984. The long term effect of dietary supplementation with fish lipid concentrate on serum lipids bleeding time, platelet and angina. *Atherosclerosis 50* : 3-10.



Wiedermann, L. H. 1981. Degumming , refining, and bleaching soybean. JAOCS.

(3) : 159-165.

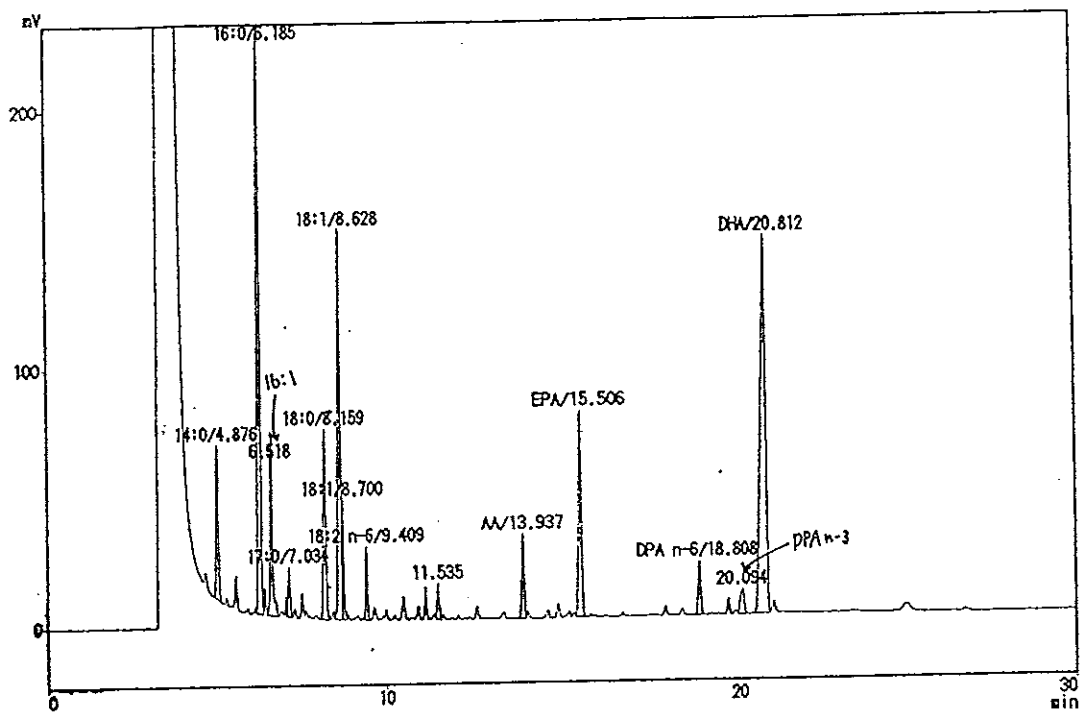
Yang, M. H., Chang, S. C. and Chen, R. H. 1992. Effect of solvent polarity and fractionation temperature on the physiochemical properties of squid

viscera stearin. JAOCS. 69 : 1192-1197.

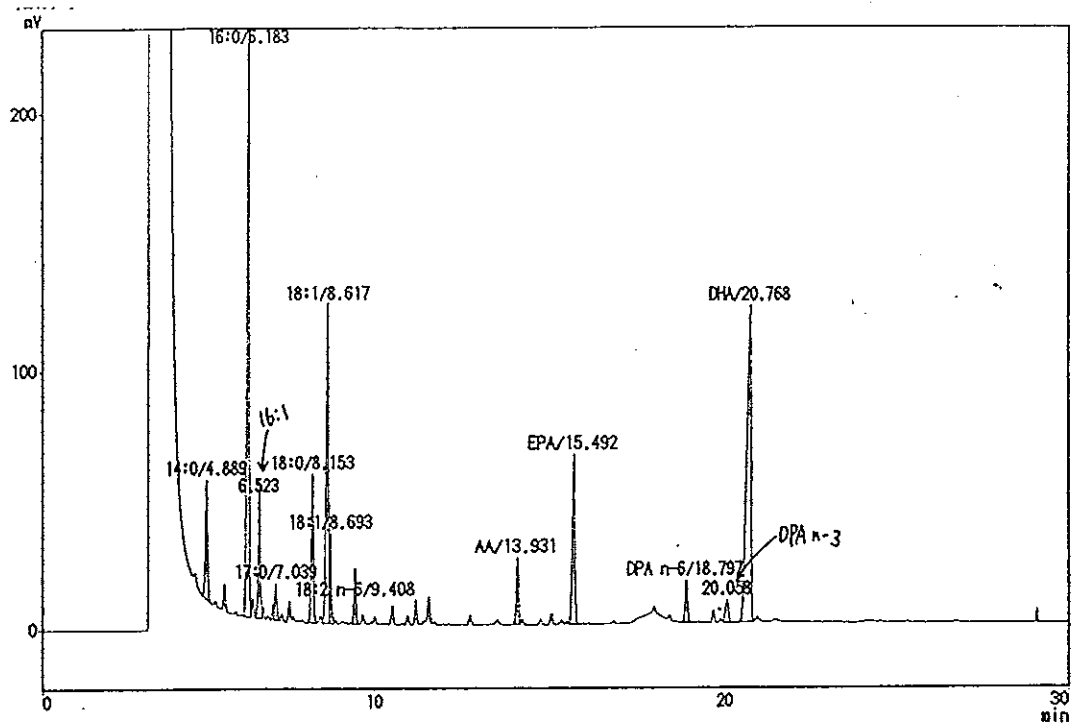
Young, F. V. K. 1978. Processing of oils and fats. Chem & Indus. 16 : 692-702.

ภาคผนวก

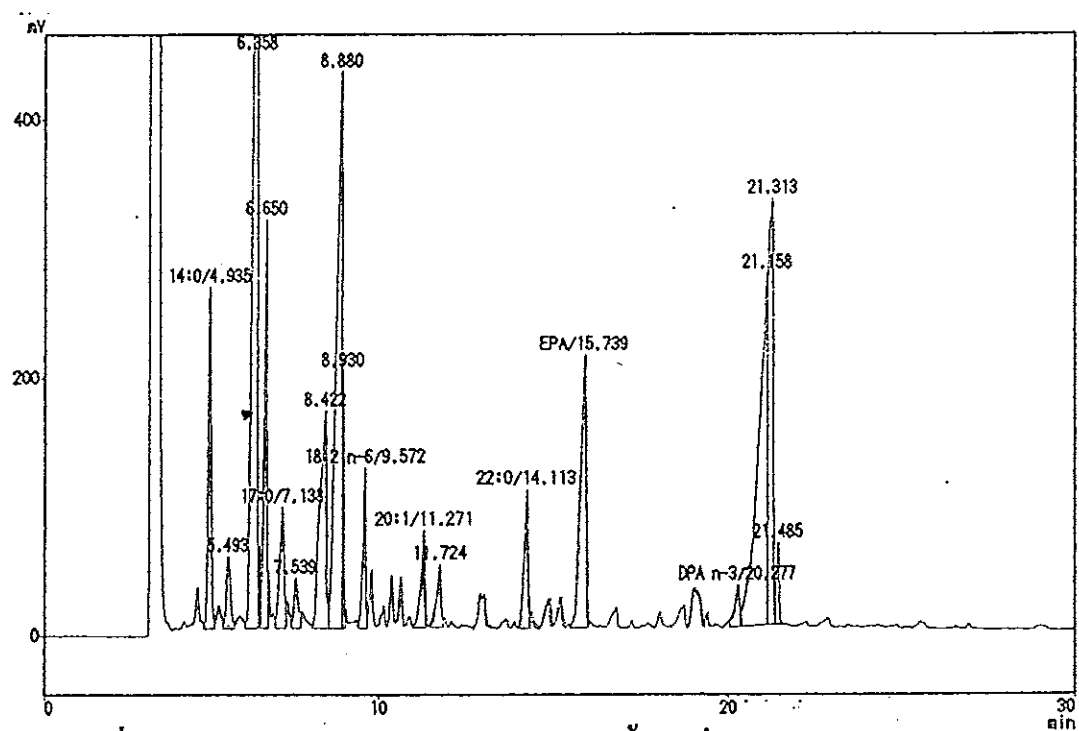
ภาคผนวก ก ภาพโครมาโตแกรมของกรดไขมันในน้ำมันปลา



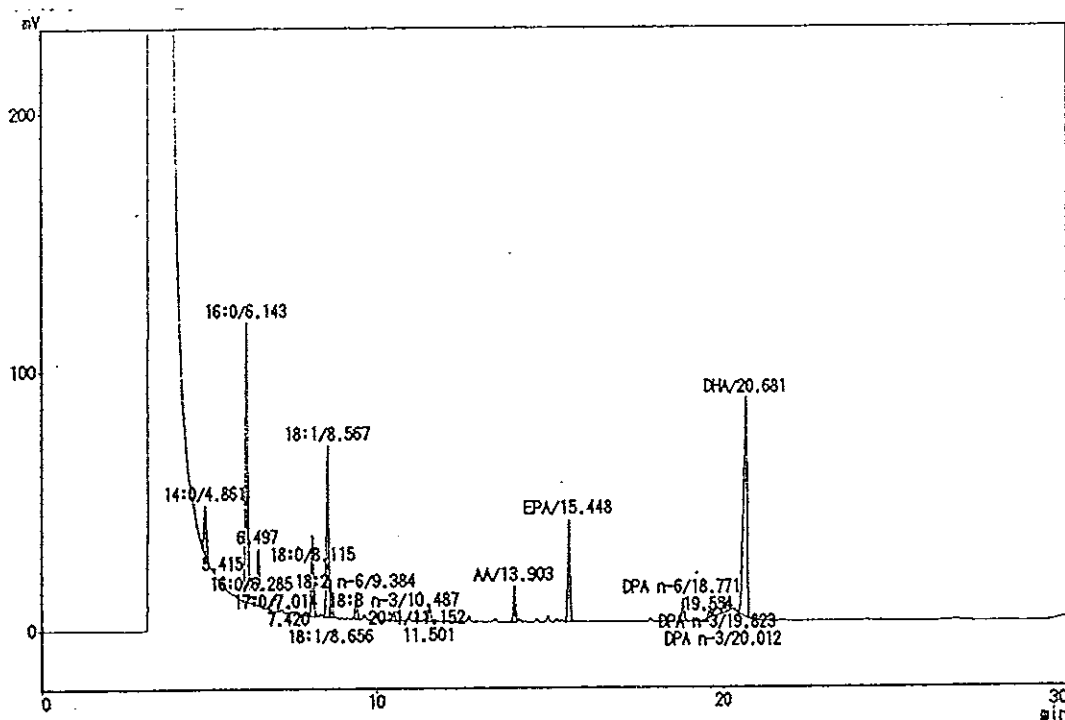
ภาพที่ 25 โครมาโตแกรมของกรดไขมันในน้ำมันจากน้ำนิ่งปลาทูน่า



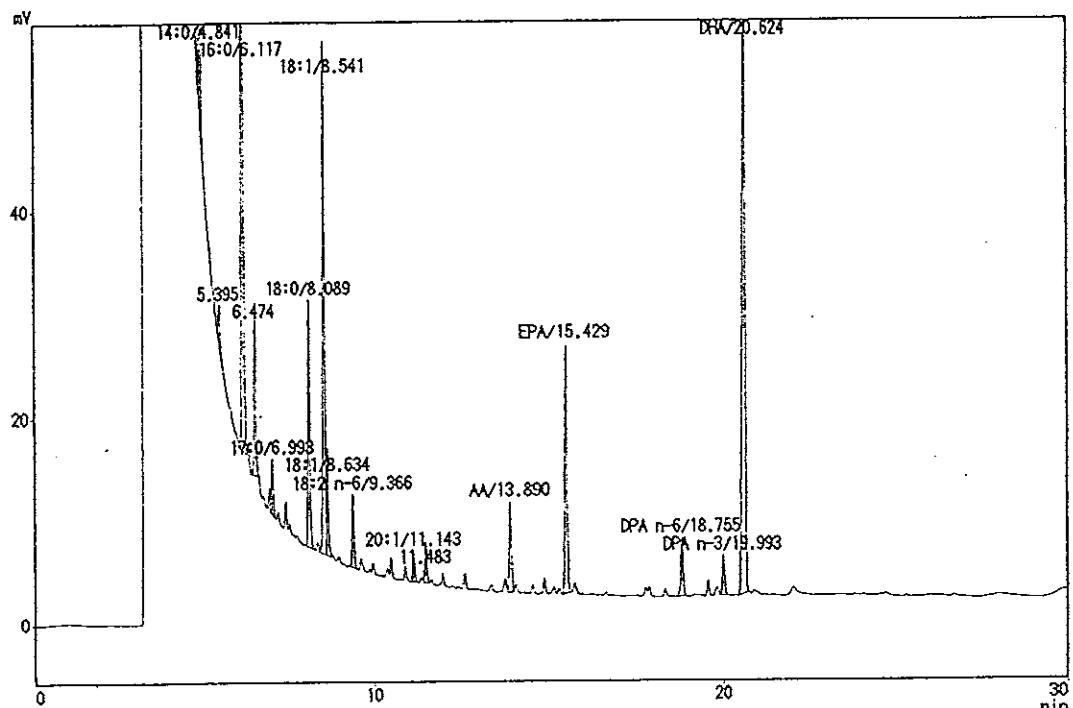
ภาพที่ 26 โครมาโตแกรมของกรดไขมันในน้ำมันที่ผ่านการฟอกสี



ภาพที่ 27 โครมาโตแกรมของกรดไขมันในน้ำมันที่ผ่านการแยกส่วนไขมัน โดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน



ภาพที่ 28 โครมาโตแกรมของกรดไขมันในน้ำมันที่ผ่านการแยกส่วนไขมัน โดยอาศัยระดับชั้นความหนาแน่นของตัวกลาง



ภาพที่ 29 โครมาโตแกรมของกรดไขมันในน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น

## ภาคผนวก ข การวิเคราะห์ทางเคมี

### 1. ความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ (AOCS, 1990)

#### เครื่องมือ

1. ภาชนะอลูมิเนียม
2. โถสุกความชื้น ที่มีสารสุกความชื้น
3. ตู้อบความร้อนไฟฟ้าสูญญากาศปรับอุณหภูมิได้

#### วิธีการ

ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่ในภาชนะอลูมิเนียมสำหรับหาความชื้นที่ทราบน้ำหนัก นำเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 120-125 องศาเซลเซียส ความดันภายในตู้อบควรต่ำกว่าหรือเท่ากับ 100 มิลลิเมตรปรอท เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นในโถสุกความชื้นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที และชั่งน้ำหนัก อยจนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่โดยมีความแตกต่างของน้ำหนักน้อยกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 0.05 คำนวณหาความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้เป็นร้อยละ

#### การคำนวณ

$$\text{ความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ (ร้อยละ)} = \frac{100 \times \text{น้ำหนักตัวอย่างที่หายไป (กรัม)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ใช้ (กรัม)}}$$

### 2. กรดไขมันอิสระ (AOAC, 1990)

#### เครื่องมือ

1. ขวดแก้วทรงกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร
2. บุรีต ขนาด 10 มิลลิลิตร

#### วิธีการ

ชั่งน้ำมันประมาณ 7 กรัม ใส่ขวดแก้วทรงกรวย เติมเมทิลอัลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตรเขย่าให้เข้ากัน เติมฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ 2 มิลลิลิตร ไทเตรทด้วยสาร

ละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.25 นอร์มัล สำหรับการไตเตรทน้ำมันดิบ และไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล สำหรับการไตเตรทกับน้ำมันที่ผ่านการทำบริสุทธิ์ จนกระทั่งฟีนอล์ฟทาลีนเริ่มเปลี่ยนเป็นสีชมพูอ่อน เตรียมแบลงค์โดยทำเช่นเดียวกัน

#### การคำนวณ

$$\text{กรดไขมันอิสระ} = [ 28.2 \times ( A - B ) \times N ] / W$$

( ร้อยละในรูปกรดโอเลอิก )

A คือปริมาณของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ไตเตรทกับตัวอย่าง

B คือปริมาณของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ใช้ไตเตรทกับแบลงค์

N คือความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นนอร์มัล

P คือน้ำหนักน้ำมันเป็นกรัม

### 8. ค่าเปอร์ออกไซด์ (มอก. 44, 2516)

#### เครื่องมือ

1. ขวดแก้วทรงกรวยที่มีจุกปิดขนาด 250 มิลลิลิตร
2. ปิเปต ขนาด 25 มิลลิลิตร
3. บuret ขนาด 10 มิลลิลิตร

#### วิธีการเตรียมสารละลาย

ใช้กลอโรฟอร์มผสมกับกรดเกลเซียลอะซีติก ในอัตราส่วน 2 : 3 ตามลำดับ

#### วิธีการ

ชั่งน้ำมันประมาณ 1.0 กรัม ในกรณีที่น้ำมันผ่านการทำบริสุทธิ์ ให้ชั่งน้ำมันประมาณ 5 กรัม ใส่ขวดทรงกรวยที่มีจุกปิด เติมสารละลายผสมกลอโรฟอร์มกับกรดเกลเซียลอะซีติก 30 มิลลิลิตร เติมสารละลายอิ่มตัวของโปตัสเซียมไอโอไดด์ 1 มิลลิลิตร รีบปิดจุกทันที เขย่าอย่างแรงต่อไปอีก 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 5 นาที เติมน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ไตเตรทไอโอดีนอิสระด้วยสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต

เข้มข้น 0.1 นอร์มัล โดยใช้สารละลายน้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 1 จำนวน 1 มิลลิลิตร เป็นอินดิเคเตอร์ ขณะที่ไตเตรทต้องเขย่าอย่างแรง เตรียมเบงก์โดยทำเช่นเดียวกันแต่ไม่ใส่น้ำมัน

**การคำนวณ**

$$\text{ค่าเปอร์ออกไซด์} = [1000 \times N \times (A - B)] / W$$

(มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม)

A คือปริมาณของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่าง

B คือปริมาณของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต ที่ใช้ไตเตรทเบงก์

N คือความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ไตเตรทเป็น  
นอร์มัล

W คือน้ำหนักน้ำมันเป็นกรัม

#### 4. ค่าไอโอดีนแบบวิจด์ ( มอก. 44, 2516 )

**เครื่องมือ**

1. ขวดแก้ว ทรงกรวยที่มีจุกปิด ขนาด 500 มิลลิลิตร
2. ปิเปต ขนาด 20 และ 25 มิลลิลิตร
3. บuret ขนาด 50 มิลลิลิตร

**สารเคมี**

1. สารละลายร้อยละ 10 โพตัสเซียมไอโอไดค์
2. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต 0.1 นอร์มัล
3. สารละลายวิจด์ เตรียมจากละลายไอโอดีนไครคลอไรด์ 8 กรัม ในกรดเกลือเจืออะซิติก 200 มิลลิลิตรและละลายไอโอดีน 9 กรัม ในคาร์บอนเตตระคลอไรด์ 300 มิลลิลิตร นำสารละลายทั้งสองผสมรวมกัน ปรับปริมาตรให้ครบ 1000 มิลลิลิตร ด้วยกรดเกลือเจืออะซิติก
4. สารละลายน้ำแป้งความเข้มข้นร้อยละ 1

### วิธีการ

ชั่งน้ำมันให้ได้น้ำหนักแน่นอนประมาณ 0.15 - 0.2 กรัม ใส่ขวดแก้วรูปกรวยที่มีจุกปิด เติมคาร์บอนเตตระคลอไรด์ 15 มิลลิลิตร คูคสารละลายวิจล์ 25 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดปิดจุกพร้อมเขย่าเบาๆ เก็บขวดในที่มืด 1 ชั่วโมง (ถ้าค่าไอโอดีนสูงกว่า 150 ให้ตั้งทิ้งไว้ 2 ชั่วโมง) แล้วเติมสารละลายโปตัสเซียมไอโอไดด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 จำนวน 20 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร ไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต โดยใช้น้ำแบ่งความเข้มข้นร้อยละ 1 จำนวน 1 มิลลิลิตร เป็นอินดิเคเตอร์ เขย่าแรงๆจนสีน้ำเงินหมดพอดี เตรียมแบลด์ก็โดยทำเช่นเดียวกัน

### การคำนวณ

$$\text{ค่าไอโอดีน} = [12.69 \times N \times (B - A)] / P$$

N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟต เป็นนอร์มัล

B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรทแบลด์

A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานโซเดียมไทโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรทตัวอย่าง

P = น้ำหนักของน้ำมันเป็นกรัม

### 5. สารที่สaponificationไม่ได้ ( มอก. 44, 2518 )

#### เครื่องมือ

1. ขวดแก้วกันกลมขนาด 250 มิลลิลิตร พร้อมเครื่องรีฟลักซ์
2. ขวดแก้วแยกของเหลว ขนาด 500 มิลลิลิตร
3. ตู้อบความร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิได้

### วิธีการ



ชั่งตัวอย่างน้ำมันประมาณ 5 กรัม ให้ได้น้ำหนักแน่นอน ใส่ลงในขวดแก้วก้นกลม เติมสารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ในแอลกอฮอล์ความเข้มข้น 2 นอร์มัล 50 มิลลิลิตร รีฟลักซ์เป็นเวลานาน 1.30 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น แล้วถ่ายของเหลวออกจากกรวยแยก ล้างขวดทรงกลมด้วยน้ำร้อน 50 มิลลิลิตร เทลงในกรวยแยก ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น เติมโคเอทิลอีเทอร์ 100 มิลลิลิตร ปิดจุกขวดอย่างแรง ตั้งกรวยแยกให้ตรงจนของเหลวแยกออกเป็น 2 ชั้นชัดเจน แยกส่วนล่างที่เป็นน้ำสบู่ผสมแอลกอฮอล์ออก ใส่น้ำในขวดที่ใช้สปอนนิฟายแล้ว ในส่วนที่เป็นสารละลายอีเทอร์ให้เทออกจากกรวยแยก ใส่น้ำในกรวยแยกที่ 2 ซึ่งมีน้ำกลั่นจำนวน 40 มิลลิลิตร สกัดน้ำสบู่ผสมแอลกอฮอล์อีก 2 ครั้ง ด้วยโคเอทิลอีเทอร์ครั้งละ 100 มิลลิลิตร แล้วรวมส่วนที่เป็นสารละลายอีเทอร์ไว้ในขวดแยกที่สอง ถ้ามีสารที่ไม่ละลายละลายปนอยู่ กรองและล้างตะกอนด้วยโคเอทิลอีเทอร์เล็กน้อย ค่อยๆ หมุนกรวยแยกซึ่งมีสารละลายอีเทอร์และน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร (ห้ามเขย่า) ตั้งทิ้งไว้ให้ของเหลวแยกออกเป็นสองชั้น แยกส่วนที่เป็นชั้นล่างออกทิ้ง ล้างสารละลายอีเทอร์อีก 2 ครั้งด้วยน้ำกลั่นครั้งละ 40 มิลลิลิตร เขย่าแรงๆ ทุกครั้ง แล้วล้างด้วยสารละลายโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล จำนวน 40 มิลลิลิตร และล้างด้วยน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร ทำดังนี้สลับกันสองครั้ง สุดท้ายล้างด้วยน้ำกลั่นจนน้ำที่ใช้ล้างไม่เกิดสีชมพูกับสารละลายฟีนอลฟทาเลอินอินดิเคเตอร์ รินสารละลายอีเทอร์ทางปากขวดแยก ใส่น้ำในขวดแก้วที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้ว ล้างกรวยแยกด้วยโคเอทิลอีเทอร์ ใส่น้ำรวมในขวดแก้วที่ชั่งน้ำหนักไว้แล้ว ล้างขวดแยกด้วยโคเอทิลอีเทอร์ใส่น้ำรวมกันในขวดแก้ว ระเหยจนเหลือเล็กน้อย เติมอะซิโตน 6 มิลลิลิตร ไล่สารที่ระเหยได้ออกไปให้หมด นำไปอบในตู้อบจนได้น้ำหนักคงที่ บันทึกน้ำหนักทดสอบสารในขวดแก้วโดยเติมแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 จำนวน 20 มิลลิลิตร เขย่าให้ละลาย เติมฟีนอลฟทาเลอินอินดิเคเตอร์ไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล ถ้าใช้สารละลายมาตรฐานโปตัสเซียมไฮดรอกไซด์มากกว่า 0.2 มิลลิลิตร ต้องทำการวิเคราะห์ซ้ำ

**การคำนวณ**

สารที่สaponification ไม่ได้ (ร้อยละ) =  $[100 \times a] / P$

$a$  = น้ำหนักของสารที่เหลือเป็นกรัม ;  $P$  = น้ำหนักน้ำมันเป็นกรัม

**6. ค่าสีโลวิบอนด์ ดัดแปลงมาจาก มอก. 44-2516****เครื่องมือ**

1. เครื่องเทียบสีระบบโลวิบอนด์
2. เซลล์แก้วขนาด 2.54 มิลลิเมตร

**วิธีการ**

นำน้ำมันที่ต้องการเทียบสีกรองให้ใสด้วยกระดาษกรอง หรือใช้ Diatomaceous Earth ในปริมาณ 0.5 กรัม ต่อน้ำมัน 300 กรัม คนนาน 2.5 นาที ที่อุณหภูมิ 30 -35°ซ ก่อนกรอง จากนั้นนำน้ำมันที่ใสไว้ในเซลล์แก้วสำหรับเทียบสี อ่านค่าค่าสีโลวิบอนด์

**7. ค่าสีโฟโตเมตริก ดัดแปลงจากวิธีของ AOCS (1989)****เครื่องมือ**

1. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์
2. เซลล์แก้วมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 10 มิลลิเมตร

**วิธีการ**

เติมฟیلเตอร์เอคจำนวน 0.5 กรัมต่อน้ำมัน 300 กรัม ลงในตัวอย่างน้ำมัน กวนเป็นเวลา 2.5 นาที จากนั้นกรองน้ำมัน ปรับอุณหภูมิน้ำมันเป็น 25-30 องศาเซลเซียส ใส่ในเซลล์แก้วสำหรับเทียบสี โดยต้องบรรจุน้ำมันให้มีปริมาณเพียงพอที่ลำแสงสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ผ่าน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ระดับความยาวคลื่นเท่ากับ 460, 550, 620 และ 670 นาโนเมตร

**การคำนวณ**

ค่าสีโฟโตเมตริก =  $1.29 (A_{460}) + 69.7 (A_{550}) + 41.2 (A_{620}) + 69.7 (A_{670})$

## 8. ปริมาณสบู่ (มอก. 44, 2516)

### เครื่องมือ

1. ขวดทดลองขนาด 250 มิลลิลิตร พร้อมฝาปิดสนิท
2. บuret ขนาด 10 มิลลิลิตร

### สารเคมี

1. สารละลายอะซิโตน เตรียมโดยเติมน้ำ 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยอะซิโตนทำให้ครบ 100 มิลลิลิตร
2. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.01 นอร์มัล
3. สารละลายโบรโมฟินอลบลูอินดิเคเตอร์ เตรียมโดยละลายโบรโมฟินอลบลู 1 กรัม ในเอทิลอัลกอฮอล์ร้อยละ 95 ปรับปริมาตรให้ครบ 100 มิลลิลิตร

### วิธีการ

1. เตรียมสารละลายวิเคราะห์

เตรียมสารละลายโบรโมฟินอลบลูอินดิเคเตอร์ปริมาณ 0.5 มิลลิลิตร ลงในสารละลายอะซิโตน 100 มิลลิลิตร ไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก จนกระทั่งสารละลายเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองพอดี

2. ชั่งน้ำมันหนัก 40 กรัม ใส่ในขวดแก้ว เติมน้ำ 1 มิลลิลิตร อุ้มน้ำร้อนและเขย่าให้ทั่ว เติมสารละลายอะซิโตน 50 มิลลิลิตร อุ้่อีกครั้ง เขย่าและตั้งทิ้งไว้จนแยกเป็น 2 ชั้น ถ้ามีสบู่ละลายปนอยู่ในน้ำมันจะปรากฏสีเขียวหรือสีน้ำเงิน ไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก 0.01 นอร์มัล พร้อมอุ้่นและเขย่าเป็นระยะๆจนชั้นบนเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอย่างถาวร

### การคำนวณ

$$\text{ปริมาณสบู่ (ร้อยละน้ำหนักของโซเดียมโอเลเอท)} = (0.304 \times M) / W$$

M คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก ที่ใช้เป็นมิลลิลิตร

W คือ น้ำหนักของน้ำมันที่ใช้ เป็นกรัม

## 10. ชนิดและปริมาณของกรดไขมัน (AOCS, 1992)

### เครื่องมือ

1. เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี
2. เครื่องวัดสัญญาณ (Detector) แบบ Flame Ionization Detector (FID)
3. คอลัมน์แบบ Capillary column
4. ครอบถาดมีความจุสูงสุด 10 ไมโครลิตร มีหน่วยวัดได้ถึง 1 ไมโครลิตร

### สารเคมี

1. ไอโซออกเทน
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอลความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล
3. สารละลายโบรอนไตรฟลูออไรด์ร้อยละ 20 ในเมทานอล
4. สารละลายเกลืออิมตัว
5. แก๊สไนโตรเจน
6. สารละลายมาตรฐานเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน

### วิธีการ

#### 1. เตรียมสารละลายเมทิลเอสเทอร์

ชั่งน้ำมัน 0.25 กรัม ใส่ในหลอดแก้วฝาเกลียวขนาด 10 มิลลิตร เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอลความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล 1.5 มิลลิตร เป่าด้วยไนโตรเจนบริสุทธิ์แล้วปิดฝาให้แน่น แช่น้ำเดือด 5 นาที ทิ้งไว้ให้เย็น เติมสารละลายโบรอนไตรฟลูออไรด์ในเมทานอล 2 มิลลิตร เป่าด้วยไนโตรเจนบริสุทธิ์แล้วปิดฝาหลอดให้แน่น แช่น้ำเดือดนาน 30 นาที ทำให้เย็นลง เติมไอโซออกเทน 1 มิลลิตร เขย่านาน 30 วินาที เติมสารละลายเกลืออิมตัว 5 มิลลิตรทันที เขย่าทิ้งให้สารละลายแยกชั้น คุกส่วนไอโซออกเทนซึ่งอยู่ชั้นบนใส่ในหลอด แล้วสกัดซ้ำอีกครั้งโดยใช้ไอโซออกเทน 1 มิลลิตร เขย่าและคุกส่วนบนไปรวมกับครั้งแรก เป่าด้วยไนโตรเจนบริสุทธิ์และเก็บในหลอดฝาเกลียว นิดเข้าเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟีครั้งละ 1

ไมโครลิตร ได้โครมาโตแกรมระบุชนิดของกรดไขมันที่ได้โดยการเปรียบเทียบกับ retention time ของโครมาโต แกรมมาตรฐาน

## 2. การวิเคราะห์กรดไขมันโดยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี

ศึกษาระลายผสมเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันปริมาตร 1 ไมโครลิตร เพื่อวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดไขมัน โดยมีสภาวะการทำงานของเครื่องก๊าซโครมาโต กราฟีตามที่กำหนด

### การคำนวณ

$$\text{พื้นที่ peak} = 1/2 * \text{ความกว้างของ peak} * \text{ความสูงของ peak}$$

$$\text{ปริมาณกรดไขมัน (ร้อยละของกรดไขมันทั้งหมด)} = \frac{\text{พื้นที่ peak} * 100}{\text{ผลรวมของพื้นที่ peak ทั้งหมด}}$$

## 11. ความหนาแน่นของน้ำมัน คัดแปลงมาจาก มอก. 44 -2516

### เครื่องมือ

1.ขวดวัดหาความถ่วงจำเพาะ (pchnometer) ขนาด 25 มิลลิลิตร

### วิธีวิเคราะห์

กรองตัวอย่างที่ต้องการวัดให้ใสด้วยกระดาษกรอง ทำให้เย็นประมาณ 25 องศาเซลเซียส เติมตัวอย่างลงในขวดสำหรับหาความถ่วงจำเพาะจนเต็ม ปิดจุก จุ่มลงในอ่าง น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เช็ดตัวอย่างที่ล้นออกทางรูอย่าง ระวังระมัดระวัง ยกขวดออกจากอ่างน้ำ เช็ดให้สะอาดและแห้งสนิทแล้วชั่ง

### การคำนวณ

$$\text{ความหนาแน่น (กรัม/มิลลิลิตร)} = \frac{0.996 \times (A-B)}{(C-B)}$$

A คือน้ำหนักของขวดกับน้ำมันอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นกรัม

B คือน้ำหนักของขวดเปล่า เป็นกรัม

C คือน้ำหนักของขวดกับน้ำที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นกรัม

## ภาคผนวก ค กรรมวิธีการผลิตน้ำมันปลาให้บริสุทธิ์

### 1. กรรมวิธีการผลิตน้ำมันปลาคุณภาพให้บริสุทธิ์ ของอุตสาหกรรม ศรีท่าไทรทอง และคณะ (2539)

1. ตักน้ำมันที่ลอยขึ้นมาบนผิวของบ่อพักน้ำนิ่งปลาหลังจากทิ้งไว้ 5 ชั่วโมง เหยียงแยกน้ำมันด้วยเครื่อง Heraeus-Chrirt GMBH Osterode Type Nr 412 ที่ 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 20 นาที ดูดน้ำที่เหลือเล็กน้อยด้วยโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส

2. ผสมน้ำมันดิบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส กับน้ำร้อยละ 2 กวนเป็นเวลา 15 นาที ใส่กรดฟอสฟอริกความเข้มข้นร้อยละ 75 เป็นปริมาณร้อยละ 0.2 โดยน้ำหนัก กวนที่อุณหภูมิเดิมเป็นเวลา 10 นาที ทิ้งไว้สักครู่

3. กวนน้ำมันกับด่างโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 16 องศาโบเม โดยให้ปริมาณมากกว่าที่ต้องการตามทฤษฎีร้อยละ 0.5 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นให้ความร้อนอย่างรวดเร็วจนถึง 75 องศาเซลเซียส จึงแยกสบู่ออกในกรวยแยก ล้างน้ำหลายครั้งจนเป็นกลาง และดูดน้ำที่เหลือเล็กน้อยด้วยโซเดียมซัลเฟตแอนไฮดรัส

4. ฟอกสีน้ำมันด้วยดินฟอกสี (Galleon's earth, V2) ปริมาณร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก ภายใต้ความดัน 10 มิลลิเมตรปรอท และน้ำมันบางส่วนฟอกสีที่ความดันบรรยากาศ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที แล้วกรอง

5. ดูดกลั่นภายใต้ความดันสุญญากาศที่ 1.5-3.0 มิลลิเมตรปรอท และอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

6. ใส่วิตามินอี ปริมาณร้อยละ 0.1 ที่อุณหภูมิห้องแล้วบรรจุในขวดแก้ว

## 2. กรรมวิธีการผลิตน้ำมันปลาคุณภาพให้บริสุทธิ์ ของพรทิพย์ แซ่เตี๋ย (2537)

1. นำน้ำมันดิบที่ได้จากส่วนหัวปลาหนึ่งทีผ่านการเก็บรักษาน้อยกว่า 10 ชั่วโมง ทำการแยกน้ำมันด้วยกรรมวิธีทางอุตสาหกรรมโดยวิธี wet reduction โดยมีขั้นตอน ประกอบด้วยอบด้วยไอน้ำ การบีบอัด และการแยกน้ำมันออกมา

2. นำน้ำมันดิบที่ได้ 530 กรัม ใส่ลงในปีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ให้ความร้อนพร้อมกวนตลอดจนได้อุณหภูมิ 70-95 องศาเซลเซียส เติมกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 85 ปริมาตรร้อยละ 0.25 กวน 30 นาที

3. นำน้ำมันที่ได้ 500 กรัม มาให้ความร้อนพร้อมกวนน้ำมันจนมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 20 องศาโบเม ให้มีปริมาณค่ามากเกินพอร้อยละ 0.5 กวนน้ำมันตลอดเวลา โดยรักษาอุณหภูมิให้อยู่ที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน

4. นำน้ำมันปลาที่ผ่านขั้นตอนข้อ 3. มา 380 กรัม ใส่ลงในปีกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร กวนน้ำมันให้เข้ากัน เติมค่าโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 40 องศาโบเม (ซึ่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 28.72 กรัม เติมน้ำให้ครบ 100 มิลลิลิตร) ปริมาตร 6 มิลลิลิตร กวนตลอดเวลาที่อุณหภูมิ 25-30 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที เมื่อกวนจนครบเวลาหยุดการกวน จากนั้นให้ความร้อนแก่น้ำมันจนมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส หยุดให้ความร้อน กรองแยกส่วนสบู่ออกจากน้ำมันใส ล้างน้ำมันที่กรองได้ให้หมดค่าด้วยน้ำร้อนอุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส จนน้ำล้างเป็นกลาง โดยทดสอบน้ำล้างด้วย ฟีนอล์ฟทาลีน

5. ฟอกสีน้ำมันโดยใช้ชุดฟอกสี suction flask ขนาด 500 มิลลิลิตร ควบคุมอุณหภูมิ 80-85 องศาเซลเซียส ปรับสูญญากาศที่ 10-15 นิ้วปรอท เพื่อไล่น้ำจากน้ำมันสังเกตจนน้ำมันไม่มีฟอกอากาศ เติมสารฟอกสีประกอบด้วยดินฟอกสีร้อยละ 4 ของน้ำหนักน้ำมันและถ่านฟอกสีร้อยละ 5 ของน้ำหนักดินฟอกสี จากนั้นให้ความร้อนพร้อมทั้งกวนน้ำมันจนจนได้อุณหภูมิ 90-110 องศาเซลเซียส จึงปิดเครื่องสูญญากาศ นำน้ำมันที่ผ่านการฟอกสีกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 4 เพื่อแยกน้ำมันออกจากสารฟอกสี

6. แยกส่วนไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูง โดยนำน้ำมันที่ผ่านการฟอกสี มาเก็บรักษาไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิต่ำ โดยในช่วงแรกตั้งอุณหภูมิที่ 12.7 องศาเซลเซียส ทิ้งน้ำมันไว้ที่อุณหภูมินี้นาน 6 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิของผู้ควบคุมลงเหลือ 7.2 องศาเซลเซียส และเก็บน้ำมันที่อุณหภูมินี้นาน 12 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาแล้วทำการกรองแยกไขมันแข็งออกที่อุณหภูมิ 7 องศาเซลเซียส ด้วยการกรองที่ใช้แรงดึงสุญญากาศ

7. กำจัดกลิ่นน้ำมันจากน้ำมันเหลวที่ได้จากข้อ 6. ใส่ลงในขวด 3 คอซึ่งเป็นชุดกำจัดกลิ่น ให้ความร้อนจนอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ปรับสุญญากาศที่ 5 นิ้วปรอท เมื่อน้ำมันมีอุณหภูมิถึง 140 องศาเซลเซียส ผ่านไอน้ำลงในน้ำมัน ให้ความร้อนต่อไปจนมีอุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส และทดลองเพิ่มอุณหภูมิเป็น 200-220 องศาเซลเซียส จับเวลาจนครบ 2 ชั่วโมง หยุดให้ความร้อนและหยุดพ่นไอน้ำเมื่ออุณหภูมิในน้ำมันลดลงเหลือ 70 องศาเซลเซียส ปิดเครื่องสุญญากาศเก็บน้ำมันที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์



ภาคผนวก ง ตารางแสดงผลการทดลองที่ได้จากขั้นตอนการผลิตน้ำมัน และผลการ  
วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ

ตารางภาคผนวกที่ 1 ผลของการกำจัดสารเหนียวต่อปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมัน

เวลาและปริมาณ	ปริมาณฟอสฟอรัส(ส่วนในล้านส่วน)	
	ชนิดของสารกำจัดสารเหนียว	
	กรดซิตริก	กรดฟอสฟอริก
เวลา 5 นาที		
ร้อยละ 0.15	17.92 <sup>a,x</sup>	36.88 <sup>b,x</sup>
ร้อยละ 0.25	18.46 <sup>a,x</sup>	49.55 <sup>b,y</sup>
ร้อยละ 0.35	19.96 <sup>a,x</sup>	40.38 <sup>b,x</sup>
เวลา 10 นาที		
ร้อยละ 0.15	22.20 <sup>a,x</sup>	40.40 <sup>b,x</sup>
ร้อยละ 0.25	23.43 <sup>a,x</sup>	77.93 <sup>a,y</sup>
ร้อยละ 0.35	22.43 <sup>a,x</sup>	53.18 <sup>b,y</sup>
เวลา 15 นาที		
ร้อยละ 0.15	17.29 <sup>a,x</sup>	53.51 <sup>b,y</sup>
ร้อยละ 0.25	28.65 <sup>a,x</sup>	60.65 <sup>ab,y</sup>
ร้อยละ 0.35	18.60 <sup>a,x</sup>	83.75 <sup>a,y</sup>

ตัวอักษรในแนวตั้ง a และ b ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตัวอักษรในแนวนอน x และ y ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตารางภาคผนวกที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณฟอสฟอรัส  
ในน้ำมันที่ผ่านการกำจัดสารเหนียว

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	17	15300.8761	900.0515	8.63*
Time (T)	2	1044.3916	522.1958	5.01*
Concentration (C)	2	858.7972	429.3986	4.12*
Degumming Ag. (D)	1	10698.4544	10698.4544	102.62*
T*C	4	426.8627	106.7156	1.02
T*D	2	723.9117	106.7157	3.47
C*D	2	451.9414	361.9559	2.17
T*C*D	4	1096.5169	225.9707	2.63
Error	18	1876.5183	274.1293	
Total	35	17177.3944	104.2510	

cv=26.9%

\* = มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญร้อยละ 5

ตารางภาคผนวกที่ 3 ผลของการกำจัดสารเหนียวต่อกรดไขมันอิสระของน้ำมัน

เวลาและปริมาณ	กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	
	ชนิดของสารกำจัดสารเหนียว	
	กรดซิตริก	กรดฟอสฟอริก
เวลา 5 นาที		
ร้อยละ 0.15	1.32 <sup>x</sup>	1.57 <sup>y</sup>
ร้อยละ 0.25	1.39 <sup>x</sup>	1.44 <sup>x</sup>
ร้อยละ 0.35	1.36 <sup>x</sup>	1.51 <sup>x</sup>
เวลา 10 นาที		
ร้อยละ 0.15	1.38 <sup>x</sup>	1.54 <sup>y</sup>
ร้อยละ 0.25	1.36 <sup>x</sup>	1.49 <sup>x</sup>
ร้อยละ 0.35	1.37 <sup>x</sup>	1.48 <sup>x</sup>
เวลา 15 นาที		
ร้อยละ 0.15	1.35 <sup>x</sup>	1.37 <sup>x</sup>
ร้อยละ 0.25	1.37 <sup>x</sup>	1.48 <sup>x</sup>
ร้อยละ 0.35	1.39 <sup>x</sup>	1.45 <sup>x</sup>

ตัวอักษรในแนวนอน x และ y ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตารางภาคผนวกที่ 4. ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของกรดไขมันอิสระ  
ในน้ำมันที่ผ่านการกำจัดสารเหนียว

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	17	0.1819	0.0107	2.19
Time (T)	2	0.0226	0.0113	2.31
Concentration (C)	2	0.0030	0.0015	<1
Degumming Ag. (D)	1	0.0971	0.0971	19.88**
T*C	4	0.0104	0.0026	<1
T*D	2	0.0248	0.0124	2.53
C*D	2	0.0092	0.0046	<1
T*C*D	4	0.0148	0.0037	<1
Error	18	0.0879	0.0049	
Total	35	0.2699		

cv= 4.9%

\*\* = มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญร้อยละ 1

ตารางภาคผนวกที่ 5 ผลของการทำให้เป็นกลางด้วยต่างต่อค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน

ค่าสีโฟโตเมตริก			
ปริมาณต่าง 16 องศาโมเบ ที่เค็มมากเกินพอ			
เวลา (นาที)	ร้อยละ 0.1	ร้อยละ 0.3	ร้อยละ 0.5
5	80.67 <sup>x</sup>	31.41 <sup>y</sup>	17.43 <sup>z</sup>
10	84.08 <sup>x</sup>	23.79 <sup>y</sup>	19.91 <sup>yz</sup>
15	83.57 <sup>x</sup>	27.91 <sup>y</sup>	22.27 <sup>yz</sup>

ตัวอักษรในแนวนอน x และ y ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตารางภาคผนวกที่ 6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน  
ที่ผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยต่าง

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	8	21295.2	2661.9	204.23**
Time (T)	2	18.9	9.4	<1
Volumn (V)	2	21152.4	10576.2	811.45**
T*V	4	123.9	31.0	2.38
error	18	234.6	13.0	
Total	26	21529.8		

cv = 8.3%

\*\* = มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญร้อยละ 1

ตารางภาคผนวกที่ 7 ผลของการทำให้เป็นกลางด้วยค่าต่อปริมาณสบู่ในน้ำมัน

ปริมาณสบู่ (ร้อยละน้ำหนักของโซเดียมโอเลเอท)			
ปริมาณค่า 16 องศาโมเบ ที่เติมมากเกินไป			
เวลา (นาที)	ร้อยละ 0.1	ร้อยละ 0.3	ร้อยละ 0.5
5	0.146 <sup>a,x</sup>	0.024 <sup>a,y</sup>	0.011 <sup>a,z</sup>
10	0.134 <sup>ab,x</sup>	0.032 <sup>a,y</sup>	0.014 <sup>a,z</sup>
15	0.120 <sup>b,x</sup>	0.022 <sup>a,y</sup>	0.019 <sup>a,y</sup>

ตัวอักษรในแนวดิ่ง a และ b ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตัวอักษรในแนวนอน x, y และ z ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตารางภาคผนวกที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสบู่ในน้ำมัน  
ที่ผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยค่า

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	8	0.0791	0.0099	105.61**
Time (T)	2	0.0003	0.0001	1.49
Volumn (V)	2	0.0778	0.0389	415.51**
T*V	4	0.0010	0.0003	2.72
error	18	0.0017	0.0001	
Total	26	0.081		

cv = 16.7%

\*\* = มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญร้อยละ 1

ตารางภาคผนวกที่ 9 ผลของการเติมต่างซ้ำต่อค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน

ค่าสีโฟโตเมริก			
ปริมาณต่าง 40 องศาโบเม			
เวลา (นาทึ)	ร้อยละ 1	ร้อยละ 2	ร้อยละ 3
5	14.67 <sup>x</sup>	12.67 <sup>x</sup>	7.46 <sup>y</sup>
10	14.47 <sup>x</sup>	10.52 <sup>y</sup>	10.08 <sup>y</sup>

ตัวอักษรในแนวนอน x และ y ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตารางภาคผนวกที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน  
ที่ผ่านการเติมต่างซ้ำ

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	5	118.177	23.635	8.15**
Time (T)	1	0.035	0.035	<1
Volumn (V)	2	100.984	50.492	17.41**
T*V	2	17.158	8.579	2.96
error	12	34.796	2.900	
Total	17	152.973		

cv = 14.6%

\*\* = มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญร้อยละ 1

ตารางภาคผนวกที่ 11 ผลของการเติมค่าง้ำต่อปริมาณสบู่ในน้ำมัน

ปริมาณสบู่ (ร้อยละน้ำหนักของโซเดียมโอเลเอท)			
ปริมาณค่าง 40 องศาโบเม			
เวลา (นาที)	ร้อยละ 1	ร้อยละ 2	ร้อยละ 3
5	0.017 <sup>a,x</sup>	0.007 <sup>a,y</sup>	0.003 <sup>a,y</sup>
10	0.044 <sup>b,x</sup>	0.025 <sup>b,y</sup>	0.019 <sup>b,z</sup>

ตัวอักษรในแนวตั้ง a และ b ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตัวอักษรในแนวนอน x, y และ z ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตารางภาคผนวกที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสบู่ในน้ำมัน  
ที่ผ่านการเติมค่าง้ำ

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	5	0.00316	0.00063	90.41**
Time (T)	1	0.00184	0.00184	263.14**
Volume (V)	2	0.00122	0.00061	86.96**
T*V	2	0.00011	0.00005	7.50**
error	12	0.00008	0.00001	
Total	17	0.00325		

cv = 13.8%

\*\* = มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญร้อยละ 1



ตารางภาคผนวกที่ 13 ผลของการฟอกสีต่อค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน

ชนิดของน้ำมัน	ค่าสีโฟโตเมตริก
ที่ผ่านการเติมด่างซ้ำ	14.66 c
ฟอกสีด้วยดินฟอกสีฟูเลอ์เอิร์ทร้อยละ 5	9.10 b
ฟอกสีด้วยดินฟอกสีแอกติเวทเศดเอิร์ทร้อยละ 1	8.57 b
ฟอกสีด้วยดินฟอกสีแอกติเวทเศดเอิร์ทร้อยละ 3	7.94 b
ฟอกสีด้วยดินฟอกสีแอกติเวทเศดเอิร์ทร้อยละ 5	4.89 a

ตัวอักษรในแนวตั้ง a, b และ c ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตารางภาคผนวกที่ 14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน  
ที่ผ่านการฟอกสี

SV	DF	SS	MS	F
Bleach Ag (B)	4	148.258	37.065	34.34**
error	10	10.794	1.079	
Total	14	159.053		

cv = 11.5%

\*\* = มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญร้อยละ 1

ตารางภาคผนวกที่ 15 ผลของดินฟอกสีฟูเลอริ์ทและดินฟอกสีแอกติเวทเคเอริ์ท  
ต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมันที่ผ่านการฟอกสี

ค่าเปอร์ออกไซด์ (มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม)			
ครั้งที่ (block)	ผ่านการเติมค่างซ้า	ชนิดของน้ำมัน	
		ฟอกสีด้วยดินฟอกสี ฟูเลอริ์ทร้อยละ 5	ฟอกสีด้วยดินฟอกสี แอกติเวทเคเอริ์ทร้อยละ 5
1	23.77	18.04	3.20
2	24.40	19.54	4.02
3	13.50	9.67	1.78
4	14.15	8.66	2.84
ค่าเฉลี่ย	18.96 <sup>a</sup>	13.98 <sup>a</sup>	2.96 <sup>b</sup>

ตัวอักษร a และ b ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตารางภาคผนวกที่ 16 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมัน  
ที่ผ่านการฟอกสี

SV	DF	SS	MS	F
Block	3	151.11	50.37	5.88*
Treat (T)	2	536.09	268.04	31.27**
error	6	51.43	8.57	
Total	11	738.63		

cv = 24.5%

\*\* = มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญร้อยละ 1

\* = มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญร้อยละ 5

ตารางภาคผนวกที่ 17 ผลของปริมาณดินฟอกสีแอกติเวทเตคเอิร์ทต่อค่าเปอร์ออกไซด์  
ของน้ำมันที่ผ่านการฟอกสี

ชนิดของน้ำมัน	ค่าเปอร์ออกไซด์ (มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม)
ผ่านการเติมค้างซ่า	13.32 <sup>a</sup>
ฟอกสีด้วยดินฟอกสีแอกติเวทเตคเอิร์ทร้อยละ 1	13.07 <sup>a</sup>
ฟอกสีด้วยดินฟอกสีแอกติเวทเตคเอิร์ทร้อยละ 3	5.11 <sup>b</sup>
ฟอกสีด้วยดินฟอกสีแอกติเวทเตคเอิร์ทร้อยละ 5	1.26 <sup>c</sup>

ตัวอักษรในแนวตั้ง a, b และ c ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตารางภาคผนวกที่ 18 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมัน  
ที่ผ่านการฟอกสีด้วยดินฟอกสีแอกติเวทเตคเอิร์ท

SV	DF	SS	MS	F
Volumn (V)	3	322.769	107.589	99.66**
error	8	8.636	1.079	
Total	11	331.405		

cv = 12.7%

\*\* = มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญร้อยละ 1

ตารางภาคผนวกที่ 19 ผลของการฟอกสีต่อกรดไขมันอิสระของน้ำมัน

ชนิดของน้ำมัน	กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)
ผ่านการเติมค้างช้า	0.03 a
ฟอกสีด้วยดินฟอกสีฟูเลอ์เอิร์ทร้อยละ 5	0.03 a
ฟอกสีด้วยดินฟอกสีแอกติเวทเตคเอิร์ทร้อยละ 1	0.04 a
ฟอกสีด้วยดินฟอกสีแอกติเวทเตคเอิร์ทร้อยละ 3	0.06 b
ฟอกสีด้วยดินฟอกสีแอกติเวทเตคเอิร์ทร้อยละ 5	0.08 c

ตัวอักษรในแนวตั้ง a, b และ c ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตารางภาคผนวกที่ 20 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของกรดไขมันอิสระ  
ของน้ำมันที่ผ่านการฟอกสี

SV	DF	SS	MS	F
Volumn (V)	3	322.769	107.589	99.66**
error	8	8.636	1.079	
Total	11	331.405		

cv = 12.7%

\*\* = มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญร้อยละ 1

ตารางภาคผนวกที่ 21 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความหนาแน่น  
ของตัวกลาง

SV	DF	SS	MS	F
Proportion (P)	5	0.0026	0.0005	197.68**
error	6	0.0000	0.0000	
Total	11	331.405		

cv = 0.2%

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 1

ตารางภาคผนวกที่ 22 ผลของการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเอ็กเซนต่อ  
ค่าไอโอดีนของน้ำมัน

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าไอโอดีน		
	สัดส่วนน้ำมันต่อเอ็กเซน		
	1.0:0.5	1.0:1.0	1.0:1.5
24	199.44 <sup>x</sup>	197.95 <sup>xy</sup>	196.01 <sup>y</sup>
48	198.57 <sup>x</sup>	196.42 <sup>xy</sup>	195.46 <sup>y</sup>
72	198.54 <sup>x</sup>	198.49 <sup>x</sup>	195.00 <sup>y</sup>

ตัวอักษรในแนวนอน x และ y ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตารางภาคผนวกที่ 23 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าไอโอดีนของน้ำมัน  
ที่ผ่านการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	17	178.155	10.479	1.52
Replication (R)	1	3.1056	3.106	<1
Propotion (P)	2	104.055	52.028	7.55**
Day (D)	2	8.629	4.316	<1
R*P	2	19.500	9.750	1.42
R*D	2	13.166	6.583	<1
P*D	4	11.301	2.825	<1
R*P*D	4	18.398	4.599	<1
error	36	247.953	6.888	
Total	53	426.108		

cv = 0.2%

\*\* = มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญร้อยละ 1

ตารางภาคผนวกที่ 24 ผลของการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนต่อ  
ผลผลิตโอลีน

เวลา (ชั่วโมง)	ผลผลิตโอลีน (ร้อยละ)		
	สัดส่วนน้ำมันต่อเฮกเซน		
	1.0:0.5	1.0:1.0	1.0:1.5
24	83.67 <sup>bx</sup>	90.86 <sup>ay</sup>	94.46 <sup>ax</sup>
48	82.31 <sup>bx</sup>	89.58 <sup>ay</sup>	91.65 <sup>by</sup>
72	86.43 <sup>ax</sup>	91.95 <sup>ay</sup>	94.04 <sup>aby</sup>

ตัวอักษรในแนวตั้ง a และ b ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตัวอักษรในแนวนอน x, y และ z ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตารางภาคผนวกที่ 25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของผลผลิตโอลีน  
ที่ผ่านการแยกส่วนไขมันโดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	8	458.4483	57.3060	24.52**
Propotion (P)	2	409.7479	204.8739	87.66**
Day (D)	2	40.0799	20.0399	8.57**
P*D	4	8.6205	2.1551	<1
error	18	42.0674	2.3371	
Total	26	500.5157		

cv = 1.7%

\*\* = มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญร้อยละ 1

ตารางภาคผนวกที่ 26 ผลของการกำจัดกลิ่นต่อค่าเปอร์ออกไซด์ กรดไขมันอิสระ และค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน

อุณหภูมิกำจัดกลิ่น (องศาเซลเซียส)	น้ำมันที่ผ่านการกำจัดกลิ่น		
	ค่าเปอร์ออกไซด์ (มก.สมมูลย์/กก.)	กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)	ค่าสีโฟโตเมตริก
น้ำมัน โอลีน	15.59	0.13	14.40
150	2.02 <sup>b</sup>	0.10 <sup>a</sup>	9.57 <sup>b</sup>
170	2.01 <sup>b</sup>	0.10 <sup>a</sup>	9.13 <sup>b</sup>
190	1.54 <sup>a</sup>	0.11 <sup>a</sup>	5.82 <sup>a</sup>

ตัวอักษรในแนวตั้ง a และ b ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )



ตารางภาคผนวกที่ 27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์  
กรดไขมันอิสระ และค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมันที่ผ่าน  
การกำจัดกลิ่น

SV	DF	SS	MS	F
<b>กรดไขมันอิสระ</b>				
Treatment	8	0.001038	0.000130	3.72*
Replication (R)	2	0.000003	0.000002	<1
Temperature (T)	2	0.000890	0.000445	12.77**
R*T	4	0.000145	0.000036	1.04
Error	9	0.000314	0.000035	
Total	17	0.002390		
<b>ค่าเปอร์ออกไซด์</b>				
Treatment	8	1.460	0.183	16.07**
Replication (R)	2	0.182	0.091	8.03**
Temperature (T)	2	0.946	0.473	41.64**
R*T	4	0.332	0.083	7.32**
Error	9	0.102	0.014	
Total	17	0.001		
<b>ค่าสี</b>				
Treatment	2	25.200	12.600	6.57*
Error	6	11.513	1.919	
Total	8	36.713		

cv ค่าร้อยละกรดไขมันอิสระ = 6.9% ; cv ค่าเปอร์ออกไซด์ = 5.7% ; cv ค่าสี = 16.9%

\*\* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 1 ; \* = มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญร้อยละ 5

ตารางภาคผนวกที่ 28 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อค่าเปอร์ออกไซด์ของน้ำมัน  
ที่ผ่านการกำจัดกลิ่น

ค่าเปอร์ออกไซด์ (มิลลิกรัมสมมูลย์/กิโลกรัม)			
เวลา (เดือน)	อุณหภูมิที่เก็บรักษา		
	4 องศาเซลเซียส	10 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิห้อง
น้ำมันเริ่มต้น	0.29 <sup>c,x</sup>	0.29 <sup>c,x</sup>	0.29 <sup>d,x</sup>
1	1.39 <sup>b,x</sup>	1.52 <sup>b,x</sup>	1.66 <sup>c,x</sup>
2	2.00 <sup>a,y</sup>	1.51 <sup>b,z</sup>	2.74 <sup>a,x</sup>
3	2.21 <sup>a,x</sup>	2.23 <sup>a,x</sup>	2.00 <sup>b,x</sup>
4	2.21 <sup>a,y</sup>	2.49 <sup>a,y</sup>	2.89 <sup>a,x</sup>

ตัวอักษรในแนวตั้ง a, b, c และ d ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตัวอักษรในแนวนอน x, y และ z ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตารางภาคผนวกที่ 29 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเปอร์ออกไซด์  
ของน้ำมันในระหว่างการเก็บรักษา

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	14	30.676	2.191	59.64**
Temperature (T)	2	0.915	0.457	12.45**
Month (M)	4	27.456	6.864	186.82**
T*M	8	2.305	0.288	7.84**
Error	30	1.102	0.037	
Total	44	0.037		

cv = 11.2% ; \*\* = มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญร้อยละ 1

ตารางภาคผนวกที่ 30 ผลของอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อกรดไขมันอิสระของน้ำมัน  
ที่ผ่านการกำจัดกลิ่น

เวลา (เดือน)	กรดไขมันอิสระ (ร้อยละ)		
	อุณหภูมิที่เก็บรักษา		
น้ำมันเริ่มต้น	4 องศาเซลเซียส	10 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิห้อง
	0.09 <sup>cx</sup>	0.09 <sup>bx</sup>	0.09 <sup>ex</sup>
1	0.09 <sup>cy</sup>	0.10 <sup>by</sup>	0.12 <sup>dx</sup>
2	0.11 <sup>by</sup>	0.12 <sup>ay</sup>	0.15 <sup>cx</sup>
3	0.11 <sup>bz</sup>	0.13 <sup>ay</sup>	0.17 <sup>bx</sup>
4	0.13 <sup>ay</sup>	0.13 <sup>ay</sup>	0.19 <sup>ax</sup>

ตัวอักษรในแนวตั้ง a, b, c, d และ e ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตัวอักษรในแนวนอน x, y และ z ที่ต่างกันมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

ตารางภาคผนวกที่ 31 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของกรดไขมันอิสระ  
ของน้ำมันในระหว่างการเก็บรักษา

SV	DF	SS	MS	F
Treatment	14	0.039	0.003	155.21**
Temperature (T)	2	0.013	0.006	351.50**
Month (M)	4	0.021	0.005	300.12**
T*M	8	0.005	0.001	33.69**
Error	30	0.001	0.000	
Total	44	0.037		

cv = 3.5% ; \*\* = มีความแตกต่างอย่างนัยสำคัญร้อยละ 1

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายสมบัติ รุ่งศิลป์

วัน เดือน ปีเกิด 21 ธันวาคม 2506

## วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
เภสัชศาสตร์บัณฑิต	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2529
นิติศาสตร์บัณฑิต	มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช	2535

## ตำแหน่งและสถานที่ทำงาน

- Medical Representative บริษัท บีแอลเอช. เทรคคิง จำกัด (พ.ศ.2530-2531)
- Medical Representative บริษัท เฮกซ์ไทย จำกัด (พ.ศ.2531-2533)
- ผู้จัดการร้านขายยาบ้านยาเภสัชกร จังหวัดพัทลุง (พ.ศ.2534-ปัจจุบัน)
- เภสัชกร 5 กลุ่มงานคุ้มครองผู้บริโภคและเภสัชสาธารณสุข  
สำนักงานสาธารณสุข จังหวัดพัทลุง (พ.ศ.2534-ปัจจุบัน)

รายการตารางภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่	หน้า
1 ผลของการกำจัดสารเหนียวต่อปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมัน	132
2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณฟอสฟอรัสในน้ำมัน ที่ผ่านการกำจัดสารเหนียว	133
3 ผลของการกำจัดสารเหนียวต่อกรดไขมันอิสระของน้ำมัน	134
4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของกรดไขมันอิสระในน้ำมัน ที่ผ่านการกำจัดสารเหนียว	135
5 ผลของการทำให้เป็นกลางด้วยด่างต่อค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน	136
6 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน ที่ผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง	136
7 ผลของการทำให้เป็นกลางด้วยด่างต่อปริมาณสบู่ในน้ำมัน	137
8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสบู่ในน้ำมัน ที่ผ่านการทำให้เป็นกลางด้วยด่าง	137
9 ผลของการเติมด่างซ้ำต่อค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน	138
10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน ที่ผ่านการเติมด่างซ้ำ	138
11 ผลของการเติมด่างซ้ำต่อปริมาณสบู่ในน้ำมัน	139
12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสบู่ในน้ำมัน ที่ผ่านการเติมด่างซ้ำ	139
13 ผลของการฟอกสีต่อค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน	140
14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีโฟโตเมตริกของน้ำมัน ที่ผ่านการฟอกสี	140