



รายงานฉบับสมบูรณ์: การวิจัยและพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าเศษเหลือจากอุตสาหกรรมแปรรูปปลาแชลมอน

โครงการวิจัยที่ 1 การผลิตน้ำมันปลาจากส่วนท้องของการแปรรูปปลาแชลมอน

หัวหน้าโครงการ: วรณวิมล คล้ายประดิษฐ์

การผลิตน้ำมันปลาจากส่วนท้องของการแปรรูปปลาแชลมอน

วรรณวิมล คล้ายประดิษฐ์

ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จตุจักร กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตน้ำมันจากส่วนท้องปลาแชลมอนและทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ โดยศึกษาสมบัติทางเคมี-กายภาพของน้ำมันที่ผลิตได้ทั้งในขั้นตอนการผลิตน้ำมันปลาดิบ และขั้นตอนการทำน้ำมันปลาให้บริสุทธิ์ ในการศึกษาได้ทำการผลิตน้ำมันปลาดิบจากส่วนท้องปลาแชลมอน จากนั้นเข้าสู่กระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ใน 3 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การกำจัดยางตะกอน ในขั้นตอนนี้ต้องการศึกษาผลของสารละลาย 3 ชนิด ได้แก่ น้ำร้อน (1% น้ำหนัก/น้ำหนัก น้ำมันปลา) กรดฟอสฟอริก (1% น้ำหนัก/น้ำหนักน้ำมันปลา) และกรดซิตริก (1% น้ำหนัก/น้ำหนัก น้ำมันปลา) ต่อประสิทธิภาพในการกำจัดยางตะกอน และต่อสมบัติทางเคมี-กายภาพของน้ำมันปลาที่ได้ในขั้นตอนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ในขั้นต่อไป (2) การกำจัดกรดไขมันโดยใช้ต่าง และ (3) การฟอกสีโดยใช้ activated carbon น้ำมันปลาดิบและน้ำมันปลาที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ในแต่ละขั้นตอน นำไปวิเคราะห์สมบัติต่างๆทางเคมี-กายภาพ

ผลการทดลองพบว่า ค่าสีของน้ำมันปลามีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในช่วงการกำจัดยางตะกอนเมื่อเทียบกับน้ำมันดิบ และมีความใสเพิ่มขึ้น แต่มีค่าสีแดงและสีเหลืองลดลงหลังจากขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระ และการฟอกสี น้ำมันปลาที่ได้ทุกชุดการทดลองมีจุดหลอมเหลวต่ำ ซึ่งแสดงถึงการมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์และค่าอะนิซิดีน อยู่ในช่วงที่กำหนด นั่นคือน้ำมันยังไม่เกิดการหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ค่าไอโอดีนบ่งชี้ว่าองค์ประกอบกรดไขมันในน้ำมันปลาแชลมอนส่วนใหญ่เป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันที่พบว่า น้ำมันปลาที่ได้มีอัตราส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวและเชิงซ้อนต่อกรดไขมันอิ่มตัว ประมาณ 80:20 อัตราส่วนของกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 ต่อโอเมกา-6 มีค่าประมาณ 2:1 น้ำมันปลาที่ได้ไม่มีสารที่ปนอยู่ในน้ำมันเหลืออยู่ภายหลังการทำสaponification และการใช้กรดซิตริกให้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าการใช้ความร้อน และกรดฟอสฟอริกในการกำจัดโลหะหนัก (ทองแดง เหล็ก และฟอสฟอรัส)

คำสำคัญ: แชลมอน น้ำมันปลา การกำจัดยางตะกอน การกำจัดกรดไขมันอิสระ การฟอกสี การใช้ประโยชน์จากเศษเหลือ



Production of fish oil from belly obtained from Salmon processing

Wanwimol Klaypradit

Dept. of Fishery Products, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Bangkok

Abstract

This study aimed to produce the oil from Salmon belly and determine for physico-chemical properties of the crude oil and purified oil obtained from refining operation. The crude oil produced from Salmon belly was introduced into the purification steps including (1) degumming, the effect of three types of solutions (water (1%w/w), phosphoric acid (1%w/w), citric acid (1%w/w)) on physico-chemical properties of the oil after degumming and the rest of the refining steps; (2) neutralization with alkali and (3) bleaching using activated carbon. The crude and refined oil derived from each stages of purification were subjected to determination for physico-chemical properties.

The results showed that the color values of fish oil were slightly changed after degumming when compared to the crude oil but the color values were increased in terms of brightness but decreased in redness and yellowness after neutralization and bleaching steps. All refined fish oil had low melting points, which indicated that the oil contain the high amounts of unsaturated fatty acids. The oils were not oxidized from oxidation reaction due to free fatty acid content, peroxide, and P-anisidine values were in the acceptable level. Iodine values implied that polyunsaturated fatty acids were the main composition found in the oils. The results of Iodine value was consistent with the analysis of fatty acids profile in that Salmon oil had a ratio of monounsaturated fatty acids and polyunsaturated fatty acid to saturated fatty acids at 80:20. The ratio of dietary omega-3 to omega-6 was found to be 2:1. Achieved fish oil has no substance, which affected the oil remaining after the sponification process. Citric acid used in degumming process was more effective than did the hot water and phosphoric acid to remove the heavy metals (copper, iron, and phosphorus).

Keywords: Salmon, fish oil, degumming, neutralization, bleaching, waste, utilization

บทนำ

อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ปลาแชลมอนแช่แข็งเป็นผลิตภัณฑ์ส่งออกที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทยเป็นอันดับต้นๆ โดยข้อมูลของกองประมงต่างประเทศ กรมประมง (2554) ระบุว่าในปี พ.ศ. 2553 มีปริมาณการส่งออกผลิตภัณฑ์แปรรูปประเภทต่างๆ สูงถึง 22,526 ตัน คิดเป็นมูลค่ากว่า 3,750 ล้านบาท รูปแบบผลิตภัณฑ์แปรรูปส่วนใหญ่จะผลิตจากส่วนเนื้อของปลาแชลมอน ทำให้มีส่วนเหลือจากกระบวนการผลิตในส่วนอื่นๆ อีกเช่น กระดูก ลำไส้ และส่วนท้อง ซึ่งส่วนท้องของปลาแชลมอนคิดเป็นสัดส่วนประมาณ 5-9% ของน้ำหนักตัวปลา โดยส่วนนี้มีปริมาณของไขมันที่สูงมาก (30-40% ของน้ำหนักส่วนท้อง) ท้องปลาแชลมอนส่วนหนึ่งจะมีการนำไปจำหน่ายภายในประเทศในราคาไม่สูงนัก คณะผู้วิจัยเห็นว่าควรมีการเพิ่มมูลค่าให้กับส่วนเหลือในส่วนท้องนี้ให้มากขึ้น โดยการนำมาผลิตเป็นน้ำมันปลาแชลมอน ซึ่งยังไม่มีการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมในประเทศไทย การผลิตน้ำมันปลาในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นน้ำมันจากเศษเหลือของอุตสาหกรรมปลาทูน่าบรรจุกระป๋อง โดยน้ำมันปลาแชลมอนที่ใช้ในประเทศปัจจุบันมีการนำเข้าจากต่างประเทศทั้งหมด

ปัจจุบันน้ำมันปลาได้ถูกนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ในการเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเชิงฟังก์ชันมากขึ้น เช่น อาหารที่มีฤทธิ์ทางยาที่ทำหน้าที่ป้องกันหรือรักษาโรค (Nutraceuticals) อาหารที่ใช้เพื่อวัตถุประสงค์สำหรับสุขภาพ (Food for specific health use) หรือใช้ในรูปของแคปซูลสำหรับผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร (Dietary supplement) เนื่องด้วยน้ำมันปลาประกอบด้วยกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพในสัดส่วนที่สูงคือ Eicosapentaenoic acid (EPA, C20:5 *n*-3) และ Docosahexaenoic acid (DHA, C22:6 *n*-3) ซึ่งกรดไขมันดังกล่าวมีส่วนช่วยบำรุงสมอง ระบบประสาทและสายตา ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหลอดเลือดและหัวใจ ลดการเกิดลิ่มเลือด และปรับสมดุลของระดับคลอเลสเตอรอลในเลือด เป็นต้น (Rossell, 2009) จากความสำคัญและประโยชน์ของน้ำมันปลาต่อผู้บริโภคดังกล่าว การให้ความสำคัญกับขั้นตอนการผลิต โดยเฉพาะขั้นตอนการทำน้ำมันปลาให้บริสุทธิ์ (refining) จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง ทั้งนี้โดยทั่วไปผู้บริโภคจะไม่นิยมบริโภคน้ำมันที่ยังไม่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ หรือที่เรียกว่า น้ำมันดิบ (crude oil) แต่จะให้การยอมรับน้ำมันปลาที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์มากกว่า ซึ่งน้ำมันปลาที่ได้จะมีลักษณะสีใส ไม่มีกลิ่นคาวปลาที่รุนแรง มีความคงตัวต่อการเกิดออกซิเดชัน ทั้งนี้ในกระบวนการผลิตน้ำมันปลาให้บริสุทธิ์จะมีการกำจัดสารประกอบที่ไม่ใช่กลีเซอไรด์ออก เช่น ฟอสฟาไทด์ (phosphatide) ความชื้น โปรตีน เม็ดสี แร่ธาตุ กรดไขมันอิสระ แวกส์ สารประกอบที่เกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และสารประกอบที่ระเหยได้ เป็นต้น (Huang and Sathivel, 2008)

กระบวนการทำน้ำมันปลา หรือน้ำมันที่ได้จากแหล่งอื่น ๆ ให้บริสุทธิ์ มี 2 วิธีการใหญ่ๆ ได้แก่ วิธีการทางเคมี และทางกายภาพ ในการวิจัยนี้ได้เน้นการใช้วิธีการทางเคมี ซึ่งมีขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ (1) การกำจัดยางตะกอน (Degumming) เป็นขั้นตอนในการกำจัดสารกลุ่ม phosphatide ให้ตกตะกอนออกมา ซึ่ง phosphatide มี 2 กลุ่ม ได้แก่ hydratable phosphatides (ประกอบด้วย phosphatidylcholine และ phosphatidylinositol) และ nonhydratable phosphatides (ส่วนใหญ่ประกอบด้วยเกลือ calcium และ magnesium ของ phosphatidylethanolamine และ phosphatidic acid) ในขั้นตอนนี้โดยปกติจะมีการใช้น้ำ (1-3%) เพื่อไปทำให้ phosphatide โดยเฉพาะ hydratable phosphatide เกิดการตกตะกอน ทั้งนี้ปริมาณน้ำที่ใช้จะต้องมีความสมดุลกับปริมาณของ hydratable phosphatide อย่างไรก็ตามการใช้น้ำยังคงทำให้ส่วนของ nonhydratable phosphatide ไม่ถูกกำจัดออกและยังคงละลายในน้ำมัน ดังนั้นในงานวิจัยครั้งนี้จึงต้องการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในขั้นตอนการ degumming โดยการใช้ กรดฟอสฟอริก และ กรดซิตริก เปรียบเทียบกับการใช้น้ำเพียงอย่างเดียว ซึ่งกรดทั้ง 2 ชนิดดังกล่าวอาจมีส่วนช่วยในการจับกับแมกนีเซียม หรือแคลเซียม เพื่อช่วยทำให้ส่วนของ nonhydratable phosphatide ละลายได้ดีเพิ่มขึ้น ซึ่งงานวิจัยในลักษณะดังกล่าวในน้ำมันปลายังมีค่อนข้างน้อย ทั้งนี้มีตัวอย่างรายงานที่ใช้สารละลายกรดในขั้นตอนของการ degumming ดังในงานวิจัยของ Sathivel *et al.* (2003) ที่ได้สกัดน้ำมันจากเครื่องในปลาตุกและปลาแมนฮาเดน (Menhaden) โดยการเติมกรดซิตริก 0.3% ปริมาณ 3 มล. ซึ่งสามารถแยกน้ำมันและตะกอนออกมา โดยตะกอนประกอบไปด้วย ฟอสฟาไทด์ทั้งหมดทั้งที่ละลายได้และละลายได้ยาก และสารประกอบโปรตีน และงานวิจัยของ Crexi *et al.* (2009) ที่ทำการสกัดน้ำมันปลาจากปลาจวด และมีการเติมกรดฟอสฟอริก 85% ปริมาณ 1.0% ของน้ำหนักน้ำมัน เพื่อช่วยในการละลาย ฟอสฟาไทด์ที่ละลายได้ยากให้ละลายออกมาได้เพิ่มขึ้น (2) การกำจัดกรดไขมันอิสระ (Neutralization) ขั้นตอนนี้เป็นการกำจัดกรดไขมันอิสระโดยการให้กรดไขมันอิสระทำปฏิกิริยากับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ให้กลายเป็น sodium soaps ซึ่งปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ ขึ้นกับปริมาณของกรดไขมันอิสระที่มีในน้ำมัน โดยประสิทธิภาพในขั้นตอนนี้มีผลต่อเนื่องจากขั้นตอนของการกำจัดกรดไขมันอิสระ การวัดประสิทธิภาพในขั้นตอนนี้จะใช้ค่าความเป็นกรด หรือ acid values (3) การฟอกสี (Bleaching) มีจุดประสงค์หลักเพื่อการปรับปรุงคุณภาพด้านสีของน้ำมัน โดยการกำจัดรงควัตถุที่มีในวัตถุดิบเริ่มต้น นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยในการสลายเพอร์ออกไซด์ (peroxide) ที่เกิดขึ้น และกำจัดเศษเหลือของสบู่ และฟอสฟาไทด์ ที่อาจหลงเหลืออยู่จากขั้นตอนการกำจัดยางตะกอน และการกำจัดกรดไขมันอิสระ

งานวิจัยนี้เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเศษเหลือส่วนท้องของอุตสาหกรรมปลาแชลมอนแช่เยือกแข็ง โดยคาดว่าผลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในเชิงพาณิชย์สำหรับอุตสาหกรรมผู้ผลิตอาหาร หรือผลิตภัณฑ์เสริมอาหารสามารถนำเทคโนโลยีการผลิตน้ำมันปลาไปใช้ได้ พร้อมมีข้อมูลสนับสนุนที่ครบสมบูรณ์ในด้านสมบัติทางเคมี-กายภาพของผลิตภัณฑ์น้ำมันปลาที่ได้

วัตถุประสงค์

เพื่อผลิตน้ำมันปลาจากเศษเหลือส่วนท้องปลาแชลมอน และศึกษาผลของการใช้สารละลายกรดซิตริก กรดฟอสฟอริก และน้ำ ที่มีผลต่อสมบัติทางเคมี-กายภาพของน้ำมันปลาที่ได้ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต

ระเบียบวิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุดิบ

วัตถุดิบส่วนท้องปลาแชลมอน (Atlantic Salmon) เป็นส่วนของเนื้อท้องปลาแชลมอนที่ติดครีบได้รับจากบริษัทฟู้ดโปรดเจ็ค (สยาม) จำกัด จังหวัดสมุทรสาคร วัตถุดิบอยู่ในสภาพแช่เยือกแข็งบรรจุในถุงสุญญากาศขนาด 1 กก./ถุง และทำการขนส่งโดยรถยนต์ซึ่งมีห้องที่สามารถควบคุมอุณหภูมิระหว่าง -20 ถึง -18 °C มายังห้องปฏิบัติการภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วัตถุดิบได้ทำการเก็บรักษาในห้องแช่เยือกแข็งอุณหภูมิ -20 °C ตลอดการวิจัย

วิธีการศึกษา

1. ศึกษาคุณภาพของน้ำมันจากส่วนท้องปลาแชลมอนในขั้นตอนการผลิตน้ำมันปลาแชลมอนดิบ

1.1 การผลิตน้ำมันปลาแชลมอนดิบ

ขั้นตอนการผลิตน้ำมันดิบ (crude oil) จากส่วนท้องของปลาแชลมอนแสดงดังภาพที่ 1.1 โดยนำส่วนท้องปลาแชลมอน (เนื้อส่วนท้องติดครีบ) ที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง มีความยาวประมาณ 14-18 นิ้ว หนา 0.5-1 นิ้ว (ภาพที่ 1.2 (a)) นำมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง ตัดเนื้อปลาให้เป็นชิ้นเล็กๆ (ภาพที่ 1.2 (b)) และทำการนึ่งด้วยไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 15 นาที (ภาพที่ 1.2 (c)) ปั่นให้ละเอียดขณะร้อน (ภาพที่ 1.2 (d)) ทำการกรองด้วยผ้าขาวบางและทำการบีบอัดด้วยเครื่องบีบอัดน้ำมันแบบหมุน (hydraulic press) (ภาพที่ 1.2 (e)) ผลผลิตที่ได้มี 2 ส่วนคือ ส่วนของเหลว (ภาพที่ 1.2 (f)) และส่วนของแข็ง (ภาพที่ 1.2 (g)) ซึ่งคือเนื้อปลาที่เหลือจากการบีบอัด

น้ำมัน ซึ่งส่วนนี้จะนำไปทำการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 °C นาน 24 ชม ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็น fish protein hydrolysate หรือผลิตภัณฑ์อาหารอื่นๆ ที่มีเนื้อปลาเป็นส่วนประกอบต่อไปได้

สำหรับส่วนของเหลวที่ได้จากการบีบอัด จะประกอบไปด้วยส่วนของน้ำมันปลาดีบ สารละลายโปรตีนและ น้ำคาวปลา (ภาพที่ 1.2 (f)) น้ำมันปลาที่ได้จะอยู่ชั้นบนสุด โดยจะทำการ แยกน้ำมันในส่วนนี้ออกมาก่อน ของเหลวที่เหลือทำการแบ่งใส่ในขวดรูปชมพู่ให้ถึงระดับคอขวด ให้ ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 10-15 นาที หรือจนน้ำมันแยกชั้น จากนั้นดูดส่วนของน้ำมันที่อยู่ ส่วนบนมารวมกันกับส่วนที่แยกไว้ก่อน ส่วนที่เหลือนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,000-6,000 rpm เป็นเวลา 20 นาที ดูดน้ำมันปลาส่วนบนมารวมกันกับน้ำมันที่ได้แยกไว้ก่อน ทำการชั่งน้ำหนักของ น้ำมันที่ได้ทั้งหมด (ภาพที่ 1.2 (l)) น้ำคาวปลา (ภาพที่ 1.2 (i)) รวมทั้งปริมาณสารละลายโปรตีน (ภาพที่ 1.2 (j)) น้ำมันที่ได้ทำการเก็บในขวดสีชาพร้อมกับพ่นก๊าซไนโตรเจน และเก็บรักษาที่ อุณหภูมิ -40 °C เพื่อรอทำการวิเคราะห์คุณภาพต่อไป

1.2 การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันปลาดีบ

การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันปลาดีบที่สกัดได้จากส่วนท้องปลาแชลมอนก่อนผ่าน กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ มีดังต่อไปนี้

1.2.1 สี (Color value: CV)

การวัดค่าสีโดยใช้ colorimeter (ยี่ห้อ Minolta, ประเทศญี่ปุ่น) ในระบบ chroma โดย เทียบค่าความสว่าง/ความมืด (L^*) ค่าสีแดง/สีเขียว (a^*) และค่าสีเหลือง/สีน้ำเงิน (b^*) โดยนำ ตัวอย่างน้ำมันปลาใส่ในเซลล์วัดของเหลวจนถึงระดับที่กำหนด นำเข้าเครื่อง colorimeter และทำ การบันทึกข้อมูล

1.2.2 จุดหลอมเหลว (Melting point: MP)

การวัดจุดหลอมเหลวของน้ำมันได้ดำเนินการตามวิธีของ AOCS Cc 1-25, 1997 โดยนำตัวอย่างน้ำมันปลาใส่ในหลอดคาปิลลารี (capillary) ให้สูงประมาณ 10 มม. และลนไฟเพื่อ ปิดปากหลอดด้านหนึ่ง นำหลอดคาปิลลารีที่บรรจุน้ำมันปลาทั้งหมดวางลงในบีกเกอร์ (beaker) และเก็บไว้ในตู้เย็นเป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้ไขมันเป็นไข หลังจากนั้นนำหลอดคาปิลลารีออกจาก ตู้เย็น ทำการมัดรวมกับเทอร์โมมิเตอร์ (thermometer) แล้วนำไปจุ่มลงในบีกเกอร์ที่บรรจุน้ำกลั่น พร้อมกับให้ความร้อนอุณหภูมิระหว่าง 8-10 °C ทำการคนเป็นระยะ และสังเกตอุณหภูมิที่ทำให้ น้ำมันที่เป็นไขหลอมละลายกลายเป็นของเหลวจนหมด และทำการจดบันทึกอุณหภูมิที่ได้

1.2.3 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV)

การวิเคราะห์ค่าเปอร์ออกไซด์ ได้ดำเนินการตามวิธีของ AOCS Cd 8-53, 1998 โดยนำ ตัวอย่างน้ำมันปลาปริมาณ 5.00 ± 0.05 กรัม มาทำการละลายในสารละลายผสมระหว่าง

กรดอะซิติก (acetic acid) และคลอโรฟอร์ม (chloroform) ในอัตราส่วน 3:2 ปริมาตร 30 มล. พร้อมกับสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide; KI) เข้มข้น 15% จำนวน 0.5 มล. ในขวดรูปชมพู่ เขย่าเป็นเวลา 1 นาที และเติมน้ำกลั่นจำนวน 30 มล. เพื่อหยุดปฏิกิริยา จากนั้นทำการไตเตรท (titrate) กับโซเดียมไธโอซัลเฟต (sodiumthiosulfate; Na₂S₂O₃) เข้มข้น 0.1 N โดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ (indicator) จนกระทั่งสารละลายตัวอย่างเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเข้มเป็นสีใส จดบันทึกปริมาณโซเดียมไธโอซัลเฟตที่ใช้ไป เพื่อใช้ในการคำนวณค่าเพอร์ออกไซด์ดังสมการที่ (1)

$$PV \text{ (meq/kg)} = \frac{\text{ปริมาณ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ ที่ใช้ในการไตเตรท (ml)} \times \text{ความเข้มข้นของ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ (N)} \times 1,000}{\text{น้ำหนักตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ (g)}} \quad (1)$$

1.2.4 ค่าพารา-อะนิซิดีน (P-anisidine value: P-AV)

การวิเคราะห์ค่าพารา-อะนิซิดีน ได้ดำเนินการตามวิธีของ AOCS Cd 18-20, 1998 โดยนำตัวอย่างน้ำมันปลาจำนวน 0.50-4.00±0.001 กรัม ละลายในสารละลายไอโซออกเทน (iso-octane) ปริมาตร 25 มล. ในขวดปรับปริมาตร ดูดสารละลายตัวอย่างดังกล่าวจำนวน 5 มล. ผสมรวมกับสารละลายพารา-อะนิซิดีนจำนวน 1 มล. ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) ที่ความยาวคลื่น 350 nm เพื่อวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่เปลี่ยนแปลงไปของสารละลายตัวอย่าง เทียบกับ blank (ตัวอย่างสารละลายที่ไม่มีน้ำมันปลา) จดบันทึกค่าที่อ่านได้ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณค่าพารา-อะนิซิดีน ดังสมการที่ (2)

$$P-AV = \frac{25 \times [(1.2 \times \text{ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงของตัวอย่างน้ำมันปลาหลังจากทำปฏิกิริยาร่วมกับสารละลายพารา-อะนิซิดีน}) - \text{ค่าการดูดกลืนแสงของ blank}]}{\text{น้ำหนักตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ (g)}} \quad (2)$$

1.2.5 ค่าไอโอดีน (Iodine value: IV)

การวิเคราะห์ค่าไอโอดีนได้ดำเนินการตามวิธีของ AOCS Cd 1-25, 1997 โดยนำตัวอย่างน้ำมันปลาจำนวน 0.5±0.001 กรัม ละลายในสารละลายคลอโรฟอร์มปริมาตร 15 มล. และสารละลายวิจอร์ (Wijs solution) ปริมาตร 25 มล. ในขวดรูปชมพู่พร้อมกับปิดปากขวดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์ ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเติมสารละลายโพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) เข้มข้น 15% ปริมาตร 20 มล. และน้ำกลั่นปริมาตร 150 มล. ไตเตรทร่วมกับสารละลาย Na₂S₂O₃ เข้มข้น 0.1 N

โดยใช้น้ำแบ่งเป็นอินดิเคเตอร์ (indicator) จนสารละลายตัวอย่างเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเข้มเป็นสีใส เมื่อเทียบกับ blank จดบันทึกปริมาตรของ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ที่ใช้ไป เพื่อใช้ในการคำนวณค่าไอโอดีน ดังสมการที่ (3)

$$\text{IV (g I}_2/\text{oil 100 g)} = 12.69 \times \frac{\text{ความเข้มข้นของ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ (N)} \times (\text{ปริมาณ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ ที่ใช้ในการไตเตรทของ blank (mL) - ปริมาณ Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ ที่ใช้ในการไตเตรทของตัวอย่าง (mL)})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ (g)}} \quad (3)$$

1.2.6 ปริมาณกรดไขมันอิสระ (Free fatty acid: FFA)

ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระได้ดำเนินการตามวิธีของ AOCS Ca 5a-40, 1998 โดยนำตัวอย่างน้ำมันปลาจำนวน 7.00 ± 0.05 กรัมมาละลายในสารละลายเอทานอล (75 มล.) ในขวดรูปชมพู่ หลังจากนั้นนำไปไตเตรทกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.25 N โดยใช้ฟีนอล์ฟธาเลอิน (phenolphthalein) เป็นอินดิเคเตอร์ จนกระทั่งสารละลายตัวอย่างเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีชมพู จดบันทึกปริมาณของสารละลาย NaOH ที่ใช้ไป เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณกรดไขมันอิสระในรูปของกรดโอเลอิก (oleic acid) ดังสมการที่ (4)

$$\text{FFA (\% กรดโอเลอิก)} = \frac{\text{ปริมาณ NaOH ที่ใช้ในการไตเตรท (mL)} \times \text{ความเข้มข้นของ NaOH (N)} \times 28.2}{\text{น้ำหนักตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ (g)}} \quad (4)$$

1.2.7 ค่าสปอนนิฟิเคชัน (Saponification value: SV)

การวิเคราะห์ค่าสปอนนิฟิเคชัน ได้ดำเนินการตามวิธีของ AOCS Cd 3-25, 1997 โดยนำตัวอย่างน้ำมันปลาปริมาณ 4.5 มล. ละลายในสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์แอลกอฮอล์ (alcoholic potassium hydroxide; EtOH-KOH) จำนวน 50 มล. (ได้จากสารโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) จำนวน 5-10 กรัม ผสมรวมกับสารละลายเอทานอล (EtOH) 95% จำนวน 5-10 กรัม) ในขวดก้นกลม และนำไปเข้าการรีฟลักซ์ เป็นเวลา 1 ชม. ล้างคอนเดนเซอร์ (condenser) ด้วยเอทานอล 95% จำนวน 5 มล. รอให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง ทำการไตเตรทด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric; HCl) เข้มข้น 0.5 N โดยใช้ฟีนอล์ฟธาเลอิน (phenolphthalein) เป็นอินดิเคเตอร์ จนกระทั่งสารละลายตัวอย่างเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นสีเหลือง โดยเทียบกับ blank

(สารละลาย EtOH-KOH) จดบันทึกปริมาณสารละลายกรด HCl ที่ใช้เพื่อใช้ในการคำนวณค่า สaponification ดัชนี ดังสมการที่ (5)

$$SV \text{ (mg KOH/g)} = \frac{56.1 \times (\text{ปริมาณกรด HCl ที่ใช้ในการไตเตรทของ blank (ml)} - \text{ปริมาณกรด HCl ที่ใช้ในการไตเตรทของตัวอย่าง (ml)}) \times \text{ความเข้มข้นของกรด HCl (N)}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ (g)}} \quad (5)$$

1.2.8 สารที่ไม่สามารถสaponification ได้ (Unaponifiable matter: USM)

การวิเคราะห์ค่าสaponification ดัชนี ได้ดำเนินการตามวิธีของ AOCS Ca 6b-53, 1997

โดยนำตัวอย่างน้ำมันปลาจำนวน 2.0-2.5±0.1 มก. มาละลายในสารละลายเอทานอล 95% จำนวน 25 มล. และสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 50% จำนวน 1.5 มล. ในขวดก้นกลม เข้าสู่การ รีฟลัก เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นทำการย้ายสารละลายตัวอย่างใส่ในกรวยแยกขณะร้อน ล้าง ขวดก้นกลมด้วยไดเอทิลอีเธอร์ (diethyl ether) จำนวน 50 มล. สารละลายจะแยกออกเป็น 2 ชั้น เขย่าและเทส่วนด้านล่างที่เป็นชั้นของสปูแอลกอฮอล์ทิ้ง ทำการสกัดซ้ำด้วยไดเอทิลอีเธอร์ และทำ การเก็บส่วนด้านบนที่เป็นชั้นของสารละลายไดเอทิลอีเธอร์ จากนั้นเติมน้ำกลั่นจำนวน 20 มล. เขย่า และเทส่วนล่างที่เป็นชั้นของน้ำทิ้ง ทำการล้างด้วยน้ำกลั่นจำนวน 3 ครั้ง แล้วทำการเติม KOH เข้มข้น 0.5 N จำนวน 20 มล. เขย่าและเทส่วนด้านล่างทิ้ง ทำซ้ำ 3 ครั้ง และล้างด้วยน้ำกลั่น จำนวน 20 มล. เขย่าและเทส่วนล่างทิ้ง เติมฟีนอล์ฟธาไลน์เพื่อทดสอบความเป็นต่างของสารละลาย ตัวอย่าง หากสารละลายที่ได้ยังคงเป็นสีชมพูให้ล้างด้วยน้ำกลั่นจนกว่าสีชมพูของสารละลายจะ หายไป จากนั้นทำการระเหยจนเหลือตะกอนที่ไม่สามารถสaponification ได้อยู่ด้านล่าง ซึ่งน้ำหนักขวด ก้นกลมที่ได้ จากนั้นเติมเอทานอล 95% จำนวน 10 มล. และไดเอทิลอีเธอร์จำนวน 2 มล. และ ไตเตรทร่วมกับสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.02 N โดยใช้ฟีนอล์ฟธาไลน์เป็นอินดิเคเตอร์ จนกระทั่ง สารละลายตัวอย่างเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีชมพู โดยเทียบกับ blank

จดบันทึกจำนวนสารละลาย NaOH ที่ใช้ เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณของกรดไขมันอิสระใน รูปของกรดโอเลอิก (1 มล. ของ NaOH เข้มข้น 0.02 N ที่ใช้ไป เท่ากับกรดโอเลอิก 0.0056 g) และ สารที่ไม่สามารถสaponification ได้ ดังสมการที่ (6)

$$USV \text{ (\%)} = \frac{[\text{น้ำหนักของตะกอนที่ได้ (g)} - (\text{น้ำหนักของกรดไขมันอิสระ (g)} + \text{น้ำหนักของ blank (g)})] \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างน้ำมันที่ใช้ (g)}} \quad (6)$$

1.2.9 ปริมาณโลหะหนัก (Heavy metal: HM)

การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักได้ดำเนินการตามวิธีของ AOAC 999.10, 2005 โดยตัวอย่างน้ำมันปลาได้ทำการย่อยด้วยกรดไนตริก (nitric acid; HNO_3) และไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide; H_2O_2) ในสภาวะความดันร่วมกับการให้ความร้อนจากไมโครเวฟ สารละลายตัวอย่างที่ได้ ทำการเจือจางด้วยน้ำกลั่น เพื่อวัดระดับความเข้มข้นของอนุภาคของเหล็ก ทองแดงและฟอสฟอรัส ด้วยอะตอมิกแอบซอร์ปชัน สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (atomic absorption spectrophotometer)

1.2.10 องค์ประกอบกรดไขมัน (Fatty acid composition: FAC)

การวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน ได้ดำเนินการตามวิธีของ AOCS Ce 1b-89, 1999 ซึ่งเริ่มจากการเตรียมกรดไขมันเมทิลเอสเทอร์ (fatty acid methyl esters; FAME) ด้วยการย่อยตัวอย่างน้ำมันด้วยสารละลาย NaOH ร่วมกับการทำปฏิกิริยาเอสเตอริฟิเคชัน (esterification) กับโบรอนไตรฟลูออไรด์ (borontrifluoride; BF_3) ในเมทานอล (methanol) ตามวิธีของ Ce 1b-89 (AOCS, 1998) และใช้เทคนิคทางก๊าซโครมาโตกราฟี (gas chromatography; GC) (รุ่น GC-17A ยี่ห้อ Shimadzu, ประเทศญี่ปุ่น) โดยใช้คอลัมน์ชนิด capillary (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.25 มม. ยาว 30 ม. หน้า 0.25 ไมโครเมตร) ทำการฉีดตัวอย่างปริมาณ 1.0 ไมโครลิตร ที่อัตราส่วน split 1:80 และควบคุมอุณหภูมิของ injection ที่ 250 °C และ flame ionization detector ที่ 260 °C อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนซึ่งเป็นก๊าซพาที่ 1.0 มล./นาที โดยเริ่มจากการตั้งอุณหภูมิของ oven ที่ 170 °C นาน 5 นาที เพิ่มอุณหภูมิจนถึง 240 °C ที่อัตรา 5 °C/นาที และคงอุณหภูมิไว้ที่ 240 °C นาน 30 นาที เปรียบเทียบ retention time ของกรดไขมันแต่ละชนิดที่เป็นตัวอย่างกับสารมาตรฐาน คำนวณพีค (peak) ที่ได้ตามสัดส่วนของกรดไขมันในรูปของ FAME แต่ละชนิดในเชิงร้อยละ

2. ศึกษาคุณภาพของน้ำมันปลาแชลมอนในกระบวนการทำน้ำมันปลาให้บริสุทธิ์

น้ำมันปลาแชลมอนดิบที่สกัดได้ในขั้นตอนที่ (1) นำมาผ่านกระบวนการทำให้น้ำมันบริสุทธิ์ และวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ ดังนี้

2.1 การกำจัดยางตะกอน (Degumming)

นำน้ำมันปลาแชลมอนดิบที่ได้ในขั้นตอนที่ (1) มาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80-85 °C เป็นเวลา 15 นาที แล้วทำการแบ่งเป็น 3 ส่วนเท่าๆ กัน เพื่อนำไปทดสอบประสิทธิภาพของสาร 3 ชนิด ในขั้นตอนการกำจัดยางตะกอน (ภาพที่ 1.3 (a, b และ c)) ได้แก่

(1) กรดฟอสฟอริก (phosphoric acid) เข้มข้น 85% ปริมาณ 1.0% น้ำหนัก/น้ำหนัก น้ำมันปลา

(2) น้ำร้อน ปริมาณ 1.0% น้ำหนัก/น้ำหนักน้ำมันปลา

(3) กรดซิตริก (citric acid) 0.3% ปริมาณ 1.0% น้ำหนัก/น้ำหนักน้ำมันปลา

ในการทดลองได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของสารละลายทั้ง 3 ชนิด โดยทำการเติมสารแต่ละชนิดลงในน้ำมันปลาดิบในแต่ละชุดการทดลอง ทำการกวนที่ความเร็ว 250 rpm ไปพร้อมกัน และกวนต่อเนื่องเป็นเวลา 15 นาที รอให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,000-6,000 rpm นาน 20 นาที ดูดเอาน้ำมันออกมาชั่งน้ำหนัก เก็บน้ำมันตัวอย่างใส่ในขวดสีชาพร้อมกับฟันท้าชไนโตรเจน และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -40 °C เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางเคมี-กายภาพเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ในขั้นตอนของน้ำมันดิบ ได้แก่ CV, MP, PV, AV, IV, FFA, SV, USM, HM และ FAC รายละเอียดการวิเคราะห์ดังข้อ 1.2.1-1.2.10 ตามลำดับ ก่อนที่จะนำน้ำมันเข้าสู่การกำจัดกรดไขมันอิสระต่อไป

2.2 การกำจัดกรดไขมันอิสระ (Neutralization)

นำน้ำมันปลาที่ผ่านการกำจัดตะกอนจากข้อ 2.1 ทั้ง 3 ตัวอย่าง มาทำการกำจัดกรดไขมันอิสระ โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80-85 °C และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 20 องศาโบเม (สารละลาย NaOH 100 มล. มี NaOH 14.07-14.56 กรัม) ตามจำนวนที่ได้คำนวณไว้ (AOCS Cc 8d-55, 1998) ดังสมการที่ 7-8 โดยค่อยๆเติมพร้อมกับคนด้วยความเร็ว 250 rpm

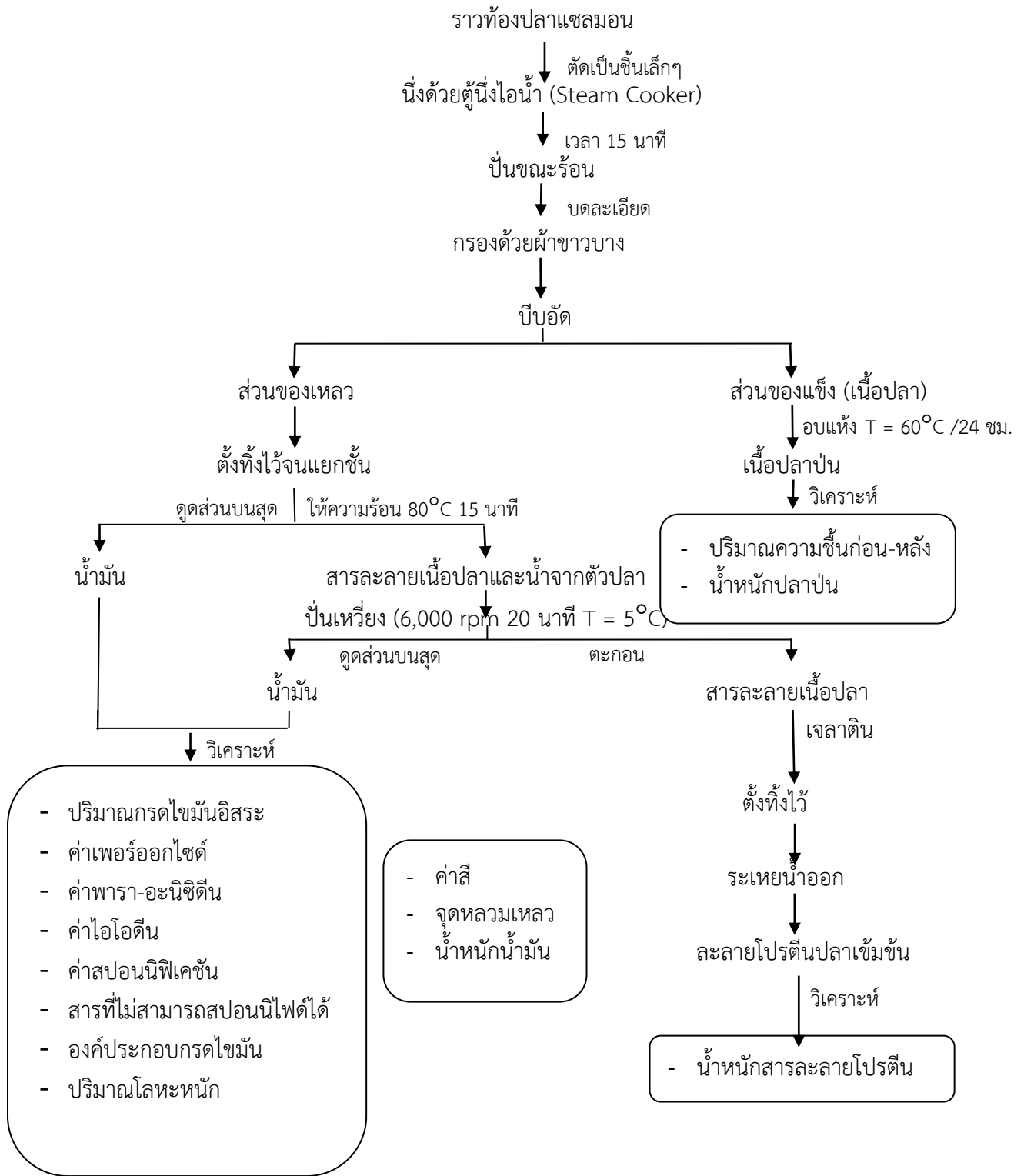
$$\%FFA/7.05 = \%NaOH \text{ ทำปฏิกิริยาพอดีกับ FFA} = A \quad (7)$$

$$NaOH \ 20^{\circ}B \ (g/500 \ g. \ oil) = 5(A+\% \ excess \ (0.5))/0.1436 \quad (8)$$

หลังจากนั้นนำไปให้ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80-85 °C นาน 60-90 นาที ทิ้งให้เย็น และทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 4,000-6,000 rpm นาน 20 นาที ที่อุณหภูมิ 5°C แล้วแยกเอาน้ำมันออกมาล้างด้วยน้ำร้อนในอัตราส่วน 10% น้ำหนัก/น้ำหนักน้ำมัน จำนวน 3 ครั้ง รักษาอุณหภูมิของน้ำมันขณะแยกที่ 50 °C รอให้เย็น ทำการปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบเดียวกันและแยกส่วนของน้ำมันออกมาชั่งน้ำหนักของน้ำมันและตะกอนที่ได้ เก็บตัวอย่างน้ำมันบางส่วนใส่ในขวดสีชาพร้อมกับฟันท้าชไนโตรเจนและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -40 °C เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางเคมี-กายภาพเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ในขั้นตอนของน้ำมันดิบ ได้แก่ CV, MP, PV, AV, IV, FFA, SV, USM, HM และ FAC รายละเอียดการวิเคราะห์ดังข้อ 1.2.1-1.2.10 ตามลำดับ ส่วนที่เหลือเข้าสู่ขั้นตอนการฟอกสีต่อไป

2.3 การฟอกสี (Bleaching)

นำน้ำมันปลาที่ผ่านขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระมาทำการเติม Activated carbon 2% น้ำหนัก/น้ำหนักน้ำมัน พร้อมกับกวนที่ความเร็ว 500 rpm ตั้งทิ้งไว้ 15 นาที แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 5 จากนั้นทำการระเหยน้ำออกด้วยเครื่อง evaporator นำน้ำมันส่วนใสมาชั่งน้ำหนัก เก็บน้ำมันตัวอย่างบางส่วนใส่ในขวดสีชาพร้อมกับพนัก้าชไนโตรเจนและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -40 °C เพื่อนำไปวิเคราะห์ค่าทางเคมี-กายภาพเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ในขั้นตอนของน้ำมันดิบ ได้แก่ CV, MP, PV, AV, IV, FFA, SV, USM, HM และ FAC รายละเอียดการวิเคราะห์ดังข้อ 1.2.1-1.2.10 ตามลำดับ



ภาพที่ 1.1 วิธีการผลิตน้ำมันดิบจากส่วนท้องของปลาแชลมอน



(a) เนื้อปลาแซลมอนส่วนท้องที่ติดครีบ



(b) เนื้อปลาแซลมอนที่ผ่านการตัดเป็นชิ้นเล็กๆ



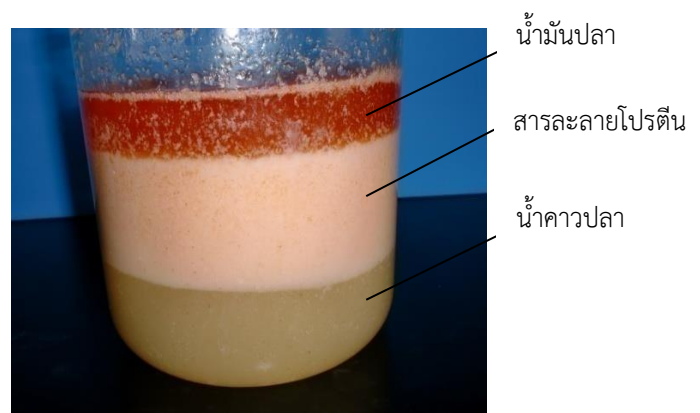
(c) เนื้อปลาแซลมอนที่สุกแล้วภายหลังการนึ่ง



(d) เนื้อปลาแซลมอนสุกที่ผ่านการบดละเอียด



(e) เครื่องบีบอัดน้ำมันปลาแบบหมุน



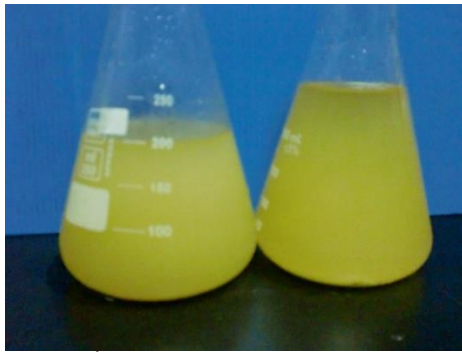
(f) ส่วนของเหลวที่ได้ภายหลังการบีบอัด



(g) ส่วนของแข็งที่เหลือจากการบีบน้ำมันปลา



(h) น้ำมันปลาแชลมอนดิบหลังการปั่นเหวี่ยง



(i) น้ำคาวปลาหลังการปั่นเหวี่ยง



(j) สารละลายโปรตีนหลังการปั่นเหวี่ยง

ภาพที่ 1.2 ลักษณะผลิตภัณฑ์น้ำมันปลาและผลพลอยได้อื่นๆ ที่ได้จากการผลิตน้ำมันปลาแชลมอนดิบ



อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

Hydraulic press

Centrifuge (Tomy, Suprema 21 model)

Steam cooker (Henny Penny, Sure Chef Combi-steamer MCS model)

Vortex mixer (Torika mixer)

Gas chromatography (Shimadzu, 17A model) and column (DB-WAX length 30 m, i.d. 0.25-0.35 mm, thickness 0.25 μ m)

Silica gel G, alumina for chromatography

Colorimeter (Minolta, CM 3500 D model)

Spectrophotometer (Spectro, 2000 RS model)

Homogenizer (LKA, R 104 basic model)

Rotary evaporator (BUCHI Rotavator, R-124 model)

Hot air oven (Mettler, UNB 400 model)

Water bath (Mettler, WB 14 model)

Suction filter

Freezer (อุณหภูมิ -40 °C and -18 °C)

Refrigerator (อุณหภูมิ 4 °C)

Stirrer with control speed

Analytical balance (Sartorius, M-power model)

ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

1. ผลผลิตภัณฑ์และปริมาณที่ได้ในการผลิตน้ำมันปลาจากส่วนท้องปลาแชลมอน

1.1 ผลผลิตภัณฑ์และปริมาณที่ได้จากขั้นตอนการผลิตน้ำมันดิบ

วัตถุดิบเนื้อส่วนท้องหรือราวท้องปลาแชลมอนมีเนื้อสีส้มโดยบริเวณหนังมีสีเงิน (ภาพที่ 1.2 (a-b)) เมื่อผ่านการนึ่งที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 15 นาที สีของเนื้อปลาจะซีดลง (ภาพที่ 1.2 (c)) และเมื่อผ่านการบดให้ละเอียด ของเหลวต่าง ๆ รวมทั้งน้ำมันที่แทรกตามเนื้อส่วนนี้จะไหลออกมา (ภาพที่ 1.2 (d)) โดยผลผลิตที่ได้ประกอบไปด้วยน้ำมันดิบ สารละลายโปรตีนจากเนื้อปลาและน้ำคาวปลา (ภาพที่ 1.2 (f)) ซึ่งปริมาณของผลผลิตที่ได้ ได้แก่ น้ำมันปลา $31.60 \pm 5.70\%$ เนื้อปลา $34.10 \pm 1.20\%$ สารละลายโปรตีน $9.70 \pm 0.60\%$ น้ำคาวปลา $16.50 \pm 4.60\%$ และเศษก้างและครีบปลา $8.10 \pm 0.70\%$ (ตารางที่ 1.1) ซึ่งน้ำมันปลาดิบที่ได้มีปริมาณถึง 1 ใน 3 ของวัตถุดิบเนื้อส่วนท้องที่ใช้เริ่มต้น ลักษณะสีน้ำมันปลาที่ได้มีสีส้มเข้มเนื่องจากรงควัตถุกลุ่มแคโรทีนอยด์ที่เป็นองค์ประกอบในปลาแชลมอน นอกจากผลผลิตหลักที่ได้จากการทดลองนี้ ได้แก่ น้ำมันปลาแล้ว ยังมีผลพลอยได้อื่น ๆ รวมทั้งเศษเหลือจากขั้นตอนการบีบอัดน้ำมัน ที่สามารถนำไปพัฒนาให้เกิดมูลค่าที่สูงขึ้นและใช้ประโยชน์ได้อย่างสูงสุด เช่น น้ำคาวปลา เศษก้างและครีบปลาสามารถนำไปผลิตเป็นคอลลาเจน (collagen) สำหรับใช้เป็นตัวประสานหรือยารักษาผิว และเป็นส่วนผสมในเครื่องสำอาง ดังในงานวิจัยของ Nagai and Suzuki (2000) หรือสารละลายโปรตีนสามารถผลิตเป็นโปรตีนปลาไฮโดรไลเซต (hydrolysate fish protein) สำหรับเป็นสารต้านการเสื่อมสภาพของโปรตีนไมโอไฟบริล (myofibrillar protein denaturation) และสารกักเก็บความชื้นในอาหาร (Zhong *et al.*, 2002; Katoh *et al.*, 1977) เป็นต้น

ตารางที่ 1.1 ผลผลิตภัณฑ์และปริมาณเฉลี่ยจากกระบวนการผลิตน้ำมันจากส่วนท้องของปลาแชลมอน

ผลผลิตภัณฑ์	ปริมาณ (ร้อยละ)
น้ำมันปลาดิบ	31.60 ± 5.70
เนื้อปลา	34.10 ± 1.2
สารละลายโปรตีน	9.7 ± 0.60
น้ำคาวปลา	16.50 ± 4.6
เศษก้างและครีบปลา	8.10 ± 0.70

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยจากค่าจริง 3 ซ้ำ \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

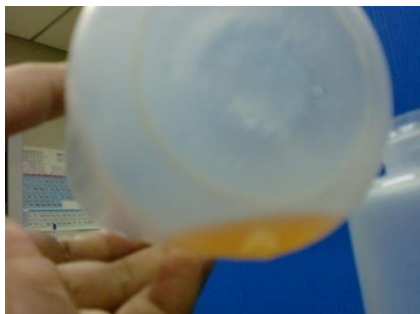
1.2 ผลลัพธ์และปริมาณที่ได้ในขั้นตอนการทำน้ำมันปลาให้บริสุทธิ์

น้ำมันปลาแชลมอนดิบที่ได้ นำมาผ่านกระบวนการทำให้น้ำมันปลาบริสุทธิ์ ซึ่งในงาน วิจัยมี 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการกำจัดยางตะกอน การกำจัดกรดไขมันอิสระ และการฟอกสี สำหรับ ขั้นตอนการกำจัดยางตะกอน เป็นการกำจัดพวกสารเหนียวหรือฟอสฟาไทด์ ซึ่งประกอบไปด้วย สารประกอบอินทรีย์กลุ่มคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและสารประกอบเชิงซ้อน เช่น ฟอสโฟไลปิด (phospholipid) เรซิน (resin) น้ำตาล (sugar) สารประกอบโปรตีน (proteinaceous compound) ซึ่งมีทั้งที่ละลายน้ำได้และละลายน้ำไม่ได้ (Sikorski, 2002) การกำจัดยางตะกอน จึงเป็นขั้นตอนที่ต้องการละลายสารประกอบพวกสารเหนียวให้ออกมามากที่สุด โดยเฉพาะส่วนที่สามารถละลายน้ำได้ ลักษณะของตะกอนที่ได้ภายหลังการกำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อน กรด ฟอสฟอริก และกรดซิตริก แสดงดังภาพที่ 1.3 (a-c) และลักษณะของน้ำมันที่ได้ภายหลัง กระบวนการกำจัดยางตะกอน แสดงดังภาพที่ 1.3 (d) เมื่อคำนวณร้อยละการสูญเสียน้ำหนักน้ำมัน เทียบกับน้ำหนักน้ำมันเริ่มต้น พบว่าการใช้น้ำร้อน กรดฟอสฟอริก และกรดซิตริก ในการกำจัดยาง ตะกอน ให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

สำหรับขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระ ได้ทำการเติม NaOH 20°Be เนื่องจากในน้ำมัน ปลาดิบมีกรดไขมันอิสระในรูปของโอเลอิกเริ่มต้น 1.39 % จากปฏิกิริยาสะปอนนิฟิเคชันของกรด ไขมันอิสระทำปฏิกิริยาร่วมกับด่าง (NaOH) ได้เป็นสบู่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามหากใช้ต่างในปริมาณที่ มากเกินไป อาจไปมีผลต่อการไฮโดรไลซ์ไตรกลีเซอไรด์ให้เกิดกรดไขมันอิสระในปริมาณที่มากขึ้นได้ เช่นกัน โดยจะทำปฏิกิริยากับด่างได้มากขึ้นและทำให้เกิดการสูญเสียน้ำมันได้มากยิ่งขึ้น ลักษณะ ของน้ำมันและตะกอนที่ได้ภายหลังการกำจัดกรดไขมันอิสระที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการกำจัดยางตะกอน ด้วยน้ำร้อน กรดฟอสฟอริก และกรดซิตริก แสดงดังภาพที่ 1.3 (e)-(g) นอกจากการกำจัดกรดไขมัน อิสระแล้ว ในขั้นตอนนี้ยังสามารถกำจัดเม็ดสี โดยเฉพาะแคโรทีนอยด์ (carotenoid) ซึ่งเป็นรงควัตถุสีส้มในน้ำมันปลาแชลมอน ให้ถูกกำจัดออกมาด้วย ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะสีของตะกอนที่ได้มี สีแดงส้ม ถึงแดงคล้ำ จึงทำให้ส่วนของน้ำมันที่ได้มีสีส้ม-แดงที่ลดลงนอกจากนี้สารกลุ่มฟอสโฟไลปิด สารประกอบซัลเฟอร์ สารที่ไม่ละลายในน้ำมันและสารที่ละลายได้ในน้ำจะถูกแยกออกมาด้วย (Sikorski, 2002) เมื่อคำนวณปริมาณการสูญเสียน้ำหนักเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น พบว่าในขั้นตอนนี้ เกิดการสูญเสียน้ำมันในปริมาณเพิ่มมากกว่าขั้นตอนการกำจัดยางตะกอนอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq 0.05$) คิดเป็นร้อยละ $38.99\pm 0.33\%$, $38.59\pm 0.67\%$ และ $37.58\pm 0.26\%$ สำหรับตัวอย่างน้ำมันที่เติม กรดฟอสฟอริก กรดซิตริก และน้ำร้อน ในขั้นตอนการกำจัดยางตะกอน ตามลำดับ (ตารางที่ 1.2)

ขั้นตอนของการฟอกสีด้วย activated carbon มีผลทำให้สีของน้ำมันปลาแชลมอนมีความ ใสเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 1.3 (h2-h4) ความเป็นสีแดงและสีเหลืองลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่าง

น้ำมันในช่วงของการทำให้บริสุทธิ์ในช่วงอื่นๆ เนื่องจาก activated carbon มีลักษณะเป็นรูพรุนที่สามารถดักจับสารระเหยต่าง ๆ ได้ดี ทั้งยังสามารถดูดซับรงควัตถุ น้ำ วิตามิน สบู่ที่เหลืตกค้างและสารที่ไม่บริสุทธิ์อื่นๆ ได้แก่ อนุมูลโลหะ ฟอสโฟลิพิด (phospholipid) และผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Rossi *et al.*, 2003) ซึ่งจากผลการทดลองในตารางที่ 1.2 พบว่า ตัวอย่างน้ำมันปลาภายหลังการฟอกสีที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการเติมน้ำร้อน กรดฟอสฟอริกและกรดซิตริกในช่วงของการกำจัดยางตะกอน เกิดการสูญเสียน้ำมันเพิ่มมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเทียบจากขั้นตอนการกำจัดยางตะกอนและการกำจัดกรดไขมันอิสระ จากการทดลองสังเกตได้ว่า น้ำมันปลาที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์จะมีการสูญเสียน้ำหนักได้มากถึงประมาณ 67-70% หรือน้ำมันบริสุทธิ์ที่ได้มีประมาณ 31.6 % ของน้ำมันปลาแชลมอนดิบเริ่มต้น หรือประมาณ 10.3% เทียบจากน้ำหนักวัตถุดิบส่วนท้องปลาแชลมอนเริ่มต้น ซึ่งหมายถึงการมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ต้องการปนในน้ำมันในปริมาณที่ค่อนข้างสูง และสามารถถูกกำจัดออกโดยกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์



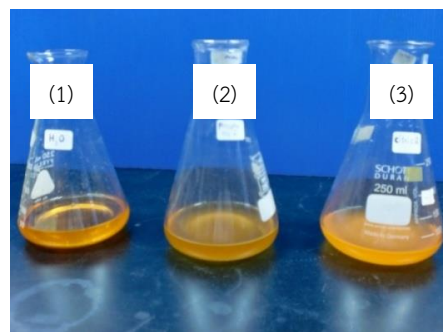
(a) ตะกอนภายหลังการกำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อน



(b) ตะกอนภายหลังการกำจัดยางตะกอนด้วยกรดฟอสฟอริก



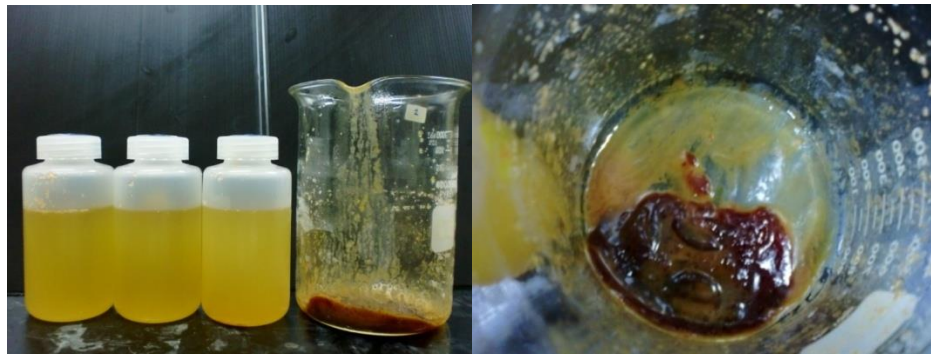
(c) ตะกอนภายหลังการกำจัดยางตะกอนด้วยกรดซิตริก



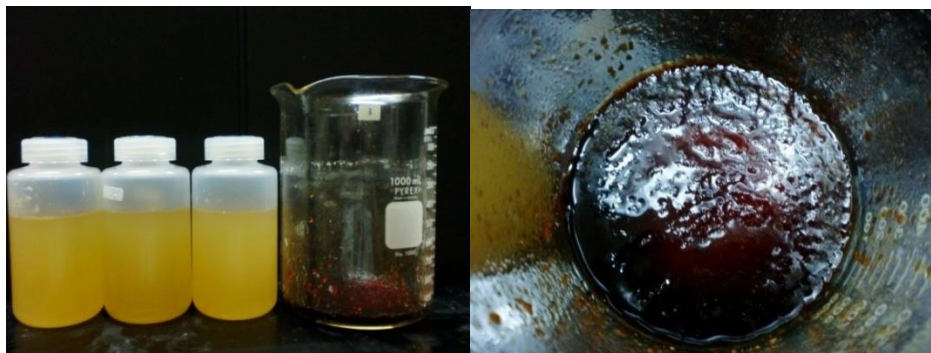
(d) น้ำมันปลาภายหลังการกำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อน (1) กรดฟอสฟอริก (2) และกรดซิตริก (3) ตามลำดับ



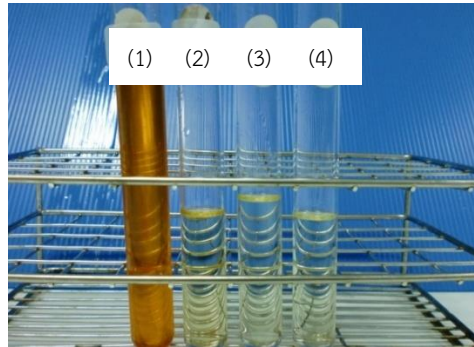
(e) ลักษณะน้ำมันปลาและตะกอนสบู่ง่ายหลังการกำจัดกรดไขมันอิสระที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการกำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อน



(f) ลักษณะน้ำมันปลาและตะกอนสบู่ง่ายหลังการกำจัดกรดไขมันอิสระที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการกำจัดยางตะกอนด้วยกรดฟอสฟอริก



(g) ลักษณะน้ำมันปลาและตะกอนสบู่ง่ายหลังการกำจัดกรดไขมันอิสระที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการกำจัดยางตะกอนด้วยกรดซิตริก



(h) น้ำมันปลาภายหลังการฟอกสี

1 = น้ำมันดิบ

2 = น้ำมันปลาที่ผ่านการฟอกสีที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการกำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อน

3 = น้ำมันปลาที่ผ่านการฟอกสีที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการกำจัดยางตะกอนด้วยกรดฟอสฟอริก

4 = น้ำมันปลาที่ผ่านการฟอกสีที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการกำจัดยางตะกอนด้วยกรดซิตริก

ภาพที่ 1.3 ลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการผลิตน้ำมันปลาแชลมอนในแต่ละขั้นตอนของการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์

ตารางที่ 1.2 ปริมาณการสูญเสียน้ำมันในแต่ละขั้นตอนของการทำน้ำมันปลาแชลมอนให้บริสุทธิ์

ขั้นตอนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์	สารละลายที่ใช้ในการกำจัดยางตะกอน	น้ำหนักน้ำมันที่ลดลง (ร้อยละ)
การกำจัดยางตะกอน	น้ำร้อน	6.70±0.15 ^c
	กรดฟอสฟอริก	4.51±0.17 ^c
	กรดซิตริก	5.95±0.08 ^c
การกำจัดกรดไขมันอิสระ	น้ำร้อน	38.99±0.33 ^b
	กรดฟอสฟอริก	38.59±0.67 ^b
	กรดซิตริก	37.58±0.26 ^b
การฟอกสี	น้ำร้อน	67.02±1.25 ^a
	กรดฟอสฟอริก	69.80±2.32 ^a
	กรดซิตริก	68.32±2.23 ^a

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยจากค่าจริง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรที่แตกต่างกันซึ่งอยู่ด้านบนของตัวเลขในแต่ละคอลัมน์แสดงว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

2. สมบัติทางเคมี-กายภาพของน้ำมันปลาแชลมอนดิบและน้ำมันปลาที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์บริสุทธิ์

2.1 ค่าสี

ค่าสีของน้ำมันปลาแชลมอน สามารถใช้เป็นตัวชี้หนึ่งซึ่งบ่งบอกถึงความบริสุทธิ์ของน้ำมันปลาได้ โดยทั่วไปน้ำมันปลาแชลมอนที่เป็นที่ต้องการในเชิงอุตสาหกรรม ควรมีสีส้มแดง ซึ่งนั่นหมายถึงน้ำมันปลายังคงมีรงควัตถุแคโรทีนอยด์ตามธรรมชาติเป็นส่วนประกอบอยู่ หรือเป็นน้ำมันที่ยังไม่ผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ และการฟอกสี จากผลการทดลอง พบว่าน้ำมันดิบปลาแชลมอนมีสีส้มแดง (ภาพที่ 1.4 (a1) (b1) และ (c1)) ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะที่มีในเนื้อปลาแชลมอน เนื่องจากในปลาแชลมอนมีองค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ (carotenoids) ที่เป็นสารต้านออกซิเดชันที่ละลายได้ในน้ำมัน จึงทำให้น้ำมันที่ได้มีสีส้มแดง ซึ่งเมื่อนำน้ำมันปลาดิบไปผ่านกรรมวิธีในการทำให้บริสุทธิ์โดยเฉพาะในขั้นตอนของการกำจัดกรดไขมันอิสระและการฟอกสี น้ำมันจะเปลี่ยนเป็นเหลืองอ่อนอย่างชัดเจน (ภาพที่ 1.4 (a3-a4), (b3-b4) และ (c3-c4)) จากการทดลอง

พบว่า น้ำมันที่เติมกรดซิตริกในช่วงของการกำจัดยางตะกอนมีค่าความสว่างไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 1.3) โดยตัวอย่างน้ำมันปลาแชลมอนดิบและน้ำมันที่เติมกรดซิตริกมีค่าความสว่าง (L^*) เท่ากับ 81.59 ± 0.16 และ 81.53 ± 0.06 ตามลำดับ และน้ำมันดิบดังกล่าวมีค่าสีแดง (a^*) เท่ากับ 30.53 ± 0.13 และค่าสีเหลือง (b^*) เท่ากับ 60.13 ± 0.14 ซึ่งมีค่าสีที่สูงกว่าน้ำมันปลาแชลมอนดิบที่ผลิตได้จากส่วนเหลือ เช่น อวัยวะภายใน หัว หนั และก้างปลา ซึ่งมีค่า L^* a^* b^* เท่ากับ 26.95, 4.24 และ 8.65 ตามลำดับ (Huang and Sathivel, 2008) เหตุผลอาจเนื่องมาจากรงควัตถุของปลาแชลมอน โดยส่วนใหญ่จะแทรกอยู่ตามเนื้อปลา จึงทำให้น้ำมันดิบที่ได้จากราวทอปลา มีค่าสีที่สูงกว่าน้ำมันดิบที่ได้จากส่วนเหลืออื่นๆ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า ในขั้นตอนการกำจัดยางตะกอนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าสีของน้ำมันปลาไม่มากนัก เมื่อเทียบกับน้ำมันปลาภายหลังจากขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระ และการฟอกสี โดยน้ำมันปลาแชลมอนมีความใสเพิ่มขึ้น ค่าสีแดงและเหลืองลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันที่ได้ภายหลังจากการฟอกสีมีลักษณะน้ำมันที่ใสมากขึ้นอย่างชัดเจนกล่าวคือค่า L^* ของตัวอย่างน้ำมันปลาที่เติมกรดซิตริกในช่วงการกำจัดยางตะกอนมีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 99.22 ± 0.08 รองลงมาคือตัวอย่างที่เติมกรดฟอสฟอริกและตัวอย่างที่เติมน้ำร้อนมีค่าเท่ากับ 98.07 ± 0.46 และ 97.98 ± 0.13 ตามลำดับ จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าตัวอย่างน้ำมันหลังผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ และการฟอกสี มีผลทำให้น้ำมันมีลักษณะใส โปร่งแสงมากขึ้น ความเป็นสีเหลืองเพิ่มมากขึ้น และการเป็นสีแดงลดลง ซึ่งผลการทดลองมีความสอดคล้องกับการศึกษาของ Noriega-Rodriguez *et al.* (2010) ที่พบว่าน้ำมันปลาชาร์ดินที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์จะมีสีเหลืองใสและโปร่งแสง หลังจากการฟอกสีน้ำมันสุดท้ายที่ได้จะมีค่าความสว่างสูงสุดและมีค่าสีแดงและสีเหลืองต่ำที่สุด โดยมีสีเหลืองใสจนถึงสีใส ค่าความสว่างมีค่าใกล้เคียงกับ 100

2.2 จุดหลอมเหลว (Melting point; MP)

การวิเคราะห์สมบัติจุดหลอมเหลวของน้ำมันมีความสำคัญ ซึ่งการที่น้ำมันจะมีจุดหลอมเหลวสูงหรือต่ำ ปัจจัยหนึ่งที่เกี่ยวข้องคือ องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปลาที่เป็นองค์ประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ จุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น หรือมีพันธะเดี่ยวระหว่างโมเลกุล (กรดไขมันอิ่มตัว) ซึ่งทำให้น้ำมันมีจุดหลอมเหลวสูง และจุดหลอมเหลวของกรดไขมันจะลดลงเมื่อมีจำนวนพันธะคู่ในโมเลกุลของกรดไขมันเพิ่มขึ้น หรือมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวในสัดส่วนที่สูง (Wrolstad *et al.*, 2005) ซึ่งการทราบค่าจุดหลอมเหลวของน้ำมัน ช่วยในการนำไปใช้ประโยชน์ และการเก็บรักษาน้ำมันในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสม จากผลการทดลองพบว่า จุดหลอมเหลวของตัวอย่างน้ำมันดิบและน้ำมันที่เติม

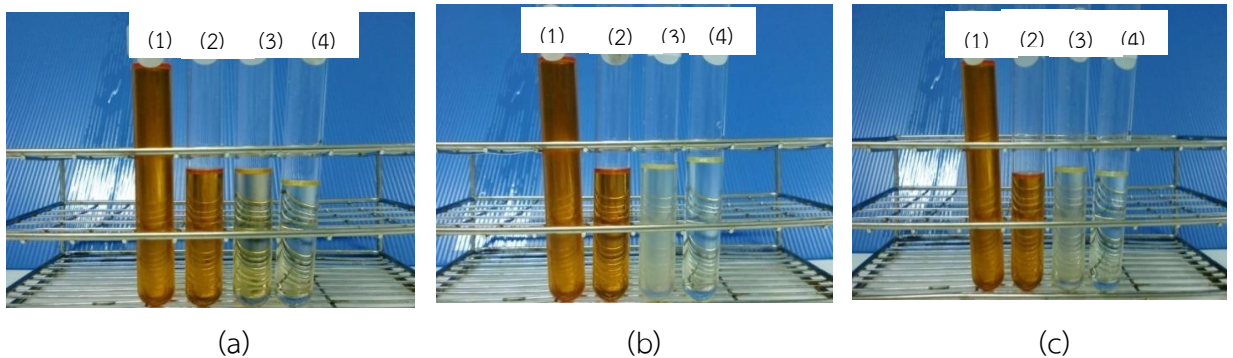
น้ำร้อนในช่วงของการกำจัดยางตะกอนมีค่าสูงสุด เท่ากับ 1.73 ± 0.21 และ 1.77 ± 0.15 °C และมีค่าต่ำลงเรื่อยๆ เมื่อผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ จนถึง 0.23 ± 0.06 °C (ตารางที่ 1.3) เป็นการแสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบของน้ำมันปลาแชลมอน มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในสัดส่วนที่สูงในปริมาณที่แตกต่างกัน จึงส่งผลต่อการเกิดจุดหลอมเหลวในช่วงกว้าง ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองในส่วนขององค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปลาแชลมอนในแต่ละขั้นตอนของการผลิต ซึ่งจะได้กล่าวในลำดับต่อไป และผลการทดลองของค่าจุดหลอมเหลวที่ได้มีช่วงที่แคบกว่า ที่ได้จากการศึกษาของ Sathivel (2005) ซึ่งได้รายงานว่าจุดหลอมเหลวของน้ำมันปลาแชลมอนที่ได้จากหัวปลาแชลมอนสีชมพู (*Oncorhynchus nerka*) มีค่าระหว่าง $-64.7 - 20.8$ °C ทั้งนี้อาจเนื่องจากการมีองค์ประกอบของกรดไขมันทั้งในชนิดและปริมาณที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 1.3 ค่าสีและค่าจุดหลอมเหลว ของน้ำมันปลาแชลมอนดิบ และน้ำมันปลาแชลมอนในแต่ละขั้นตอนของการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์

ขั้นตอนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์	สารละลายที่ใช้ในการกำจัดยางตะกอน	ค่าสี			จุดหลอมเหลว (°C)
		L*	a*	b*	
น้ำมันดิบ		81.59 ± 0.16^g	30.53 ± 0.13^a	60.13 ± 0.14^b	1.73 ± 0.21^a
การกำจัดยางตะกอน	น้ำร้อน	80.10 ± 0.07^h	29.23 ± 0.05^c	58.85 ± 0.01^c	1.77 ± 0.15^a
	กรดฟอสฟอริก	84.98 ± 0.39^f	11.95 ± 0.06^d	41.30 ± 0.16^d	1.47 ± 0.25^b
	กรดซิตริก	81.53 ± 0.06^g	29.67 ± 0.02^b	58.88 ± 0.07^c	1.00 ± 0.00^c
การกำจัดกรดไขมันอิสระ	น้ำร้อน	93.23 ± 0.07^c	2.09 ± 0.03^f	15.56 ± 0.10^g	1.33 ± 0.15^b
	กรดฟอสฟอริก	91.53 ± 0.27^d	-1.05 ± 0.05^h	18.65 ± 0.02^e	1.40 ± 0.10^b
	กรดซิตริก	90.76 ± 0.23^e	2.35 ± 0.03^e	16.51 ± 0.02^f	0.93 ± 0.15^c
การฟอกสี	น้ำร้อน	97.98 ± 0.13^b	-0.42 ± 0.02^g	8.68 ± 0.08^i	0.23 ± 0.06^e
	กรดฟอสฟอริก	98.07 ± 0.46^b	-2.43 ± 0.06^j	10.69 ± 0.14^h	0.63 ± 0.06^d
	กรดซิตริก	99.22 ± 0.08^a	-1.31 ± 0.01^i	7.41 ± 0.11^j	0.30 ± 0.01^e

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยจากค่าจริง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรที่แตกต่างกันซึ่งอยู่ด้านบนของตัวเลขในแต่ละคอลัมน์แสดงว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 1.4 ลักษณะสีของน้ำมันปลาแชลมอนดิบ และน้ำมันปลาแชลมอนภายหลังการผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์

- (a) น้ำมันปลาที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ที่มีการเติมน้ำร้อนในช่วงของการกำจัดยางตะกอน
 (b) น้ำมันปลาที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ที่มีการเติมกรดฟอสฟอริกในช่วงของการกำจัดยางตะกอน
 (c) น้ำมันปลาที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ที่มีการเติมกรดซิตริกในช่วงของการกำจัดยางตะกอน
 1.2.3.4 = น้ำมันปลาดิบ, น้ำมันปลาที่ผ่านการกำจัดยางตะกอน, น้ำมันปลาที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระ และน้ำมันปลาที่ผ่านการฟอกสี ตามลำดับ

2.3 กรดไขมันอิสระ (Free fatty acid: FFA)

ปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันเป็นอีกดัชนีหนึ่งที่ใช้บ่งชี้คุณภาพของน้ำมันได้ เนื่องจากน้ำมันที่มีกรดไขมันอิสระปริมาณสูง สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่ายกว่าน้ำมันที่มีกรดไขมันอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ โดยน้ำมันสามารถถูกไฮโดรไลซ์ได้ด้วยเอนไซม์ กรด น้ำและความร้อน น้ำมันที่มีคุณภาพสูงจะมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำ จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างน้ำมันที่เติมกรดฟอสฟอริกในช่วงของการกำจัดยางตะกอน มีกรดไขมันอิสระในรูปของกรดโอเลอิกมากที่สุดเท่ากับ $1.85 \pm 0.06\%$ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) กับน้ำมันดิบซึ่งมีค่า 1.39% และค่าที่ได้ของน้ำมันดิบมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) กับตัวอย่างน้ำมันที่เติมน้ำร้อนและตัวอย่างน้ำมันที่เติมกรดซิตริกซึ่งมีค่าเท่ากับ $1.42 \pm 0.06\%$ และ $1.45 \pm 0.06\%$ ตามลำดับ (ตารางที่ 1.4) อย่างไรก็ตามน้ำมันดิบและน้ำมันที่ผ่านการกำจัดยางตะกอนในทุกตัวอย่างมีค่ากรดไขมันอิสระอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ โดยตามข้อเสนอแนะของสมาคมผู้ผลิตน้ำมันปลาและปลาปนระหว่างประเทศ (Young, 1986a) ได้แนะนำว่าปริมาณกรดไขมันอิสระควรมีค่าอยู่ในช่วง 2-5% นอกจากนี้ปริมาณของกรดไขมันอิสระที่ได้ยังต่ำกว่ารายงานของ Crexi *et al.* (2010) ที่กล่าวถึงปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันที่ได้จากอวัยวะภายในของปลาไนที่ผ่านการกำจัดยางตะกอนด้วย

การใช้กรดฟอสฟอริก ซึ่งสูงถึง $5.31 \pm 0.02\%$ และรายงานของ Sathivel *et al.* (2003) พบว่า ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันที่ได้จากอวัยวะภายในของปลาตุ๊กที่ผ่านการกำจัดยางตะกอนด้วย กรดซิตริกมีค่า $4.28 \pm 0.18\%$ ซึ่งเหตุผลที่ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันที่ได้จากอวัยวะภายใน ของปลาทั้งสองมีค่าสูงกว่า อาจเนื่องจากการที่กรดไขมันถูกไฮโดรไลซ์ด้วยเอนไซม์ที่ยังคงหลงเหลือ อยู่ภายในอวัยวะภายในของปลา ประกอบกับการให้ความร้อน ทำให้กรดไขมันมีการสลายตัวออกมา ในขณะที่ปริมาณกรดไขมันอิสระของน้ำมันปลาแชล มอนจากส่วนร่าวท้องในการทดลองนี้ ถูก ไฮโดรไลซ์ด้วยกรด น้ำและความร้อนในขั้นตอนของการกำจัดยางตะกอน ทำให้ไตรกลีเซอไรด์ถูก ไฮโดรไลซ์ได้น้อยกว่า จึงเกิดปริมาณกรดไขมันอิสระในปริมาณที่น้อยกว่า ทั้งนี้ขั้นตอนการกำจัดยาง ตะกอนเป็นการกำจัดฟอสฟาไทด์ในน้ำมันที่ประกอบ ด้วยสารประกอบอินทรีย์กลุ่มคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและสารประกอบเชิงซ้อน เช่น ฟอสโฟไลปิด (phospholipid) เรซิน (resin) น้ำตาล (sugar) สารประกอบโปรตีน (proteinaceous compound) ซึ่งมีทั้งที่ละลายน้ำได้ และละลายน้ำไม่ได้ (Sikorski, 2002) การที่ตัวอย่างน้ำมันที่กำจัดยางตะกอนด้วยกรดฟอสฟอริก สามารถไฮโดรไลซ์ไตรกลีเซอไรด์และเกิดกรดไขมันอิสระได้มากกว่าการกำจัดยางตะกอนด้วย กรดซิตริกและน้ำร้อน เนื่องจากกรดฟอสฟอริกสามารถแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนได้หลายไอออนที่ สามารถเข้าทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับพันธะเอสเทอร์ของไตรกลีเซอไรด์ได้มากกว่ากรดซิตริกและน้ำ โดยค่า pK ของกรดฟอสฟอริกมีค่าเท่ากับ 2, 7 และ 12 ซึ่งหมายถึงกรดฟอสฟอริก 1 โมล เมื่อ ละลายน้ำจะแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออนเท่ากับ 10^{-2} , 10^{-7} และ 10^{-12} ในขณะที่ค่า pK ของ กรดซิตริกเท่ากับ 3.1 ซึ่งไฮโดรเจนอะตอมแตกตัวได้เพียงครั้งเดียว (นิธิยา, 2545) อย่างไรก็ตาม ปริมาณกรดไขมันอิสระในตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการกำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อน กรดฟอสฟอริกและ กรดซิตริก มีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ เนื่องจากขั้นตอนนี้สามารถกำจัดกรดไขมันที่ระเหยได้และปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันเกือบ ทั้งหมดออกไปด้วยการใช้ต่าง ซึ่งจะทำให้เกิดสบู่จากปฏิกิริยาสaponification และทำการล้างสบู่ ออกด้วยน้ำร้อน นอกจากนี้ค่าที่ได้หลังขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระ มีค่าต่ำสุดจนถึง 0.20% ของกรดโอเลอิก ซึ่งค่าที่ได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับค่าที่ได้ในขั้นตอน การกำจัดยางตะกอน สำหรับตัวอย่างน้ำมันที่ได้ภายหลังขั้นตอนการฟอกสี มีค่าปริมาณกรดไขมัน อิสระสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากในการฟอกสีต้องผ่านการกรองสุญญากาศ โดยน้ำมันอาจสัมผัส กับออกซิเจนจากอากาศ จึงมีผลให้ค่ากรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งผลการทดลองที่ได้ สอดคล้องกับข้อเสนอของ Young (1986a) ที่ว่าปริมาณกรดไขมันอิสระที่ยอมรับได้ในน้ำมันปลาที่ ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 1.8 และ 3.5% ของกรดโอเลอิก อย่างไรก็ตามในเชิง อุตสาหกรรมค่ากรดไขมันอิสระ ในช่วงการกำจัดกรดไขมันอิสระและการฟอกสีควรมีค่าไม่เกิน 0.1%

ของกรดโอเลอิก (Hamm, 2009) จากผลการทดลองที่ได้มีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนด ทั้งนี้ในการผลิตน้ำมันปลาในระดับอุตสาหกรรมนั้น น้ำมันจะอยู่ในระบบปิดเป็นส่วนใหญ่ การสัมผัสออกซิเจนในอากาศจึงมีโอกาสน้อยกว่าในระดับห้องปฏิบัติการ ซึ่งคาดว่าจะสามารถควบคุมปริมาณกรดไขมันอิสระให้อยู่ภายในปริมาณที่กำหนดได้

2.4 ค่าเปอร์ออกไซด์ (Peroxide value: PV)

การวิเคราะห์ปริมาณไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (hydroperoxide) หรือค่าเปอร์ออกไซด์ (PV) เป็นการตรวจสอบเบื้องต้นในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในน้ำมัน เนื่องจากน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระในปริมาณสูง สามารถถูกออกซิไดส์ได้ง่าย และทำให้เกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ ซึ่งไม่เสถียรเกิดขึ้น สารประกอบเปอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นเป็นสารที่ไม่ให้กลิ่น ดังนั้นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในช่วงแรก โดยส่วนใหญ่ไม่สามารถทดสอบได้ด้วยการทดสอบทางประสาทสัมผัส อย่างไรก็ตาม สารประกอบเปอร์ออกไซด์ สามารถเกิดการสลายตัว และเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็กๆ ที่ระเหยได้ เช่น คาร์บอนิล (carbonyl), อัลดีไฮด์ (aldehyde), คีโตน (ketone), แอลกอฮอล์ (alcohol) และไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาออกซิเดชันอันดับสอง ที่ส่งผลต่อการเกิดกลิ่นหืนในน้ำมัน (Boran *et al.*, 2006) จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างน้ำมันในช่วงการกำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อนและกรดซิตริก และตัวอย่างน้ำมันในช่วงการฟอกสีที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการเติมน้ำร้อน ให้ค่า PV สูงที่สุด คือ 10.95 ± 0.20 , 10.96 ± 0.05 และ 9.59 ± 0.01 meq/kg ตามลำดับ ซึ่งให้ค่าแตกต่างจากตัวอย่างอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เหตุผลที่ค่า PV ในตัวอย่างน้ำมันที่กำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อนและกรดซิตริกให้ค่าสูงกว่าตัวอย่างที่กำจัดยางตะกอนด้วยกรดฟอสฟอริก อาจเนื่องมาจากกรดฟอสฟอริกแตกตัวให้ไฮโดรเจนอะตอมได้หลายครั้ง จึงส่งผลให้ไฮโดรเจนอะตอมหลายอะตอมเข้าทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับพันธะเอสเทอร์ของไตรกลีเซอไรด์ และทำให้เกิดกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น แต่มีผลในการขัดขวางออกซิเจนที่เข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชันในพันธะคู่ของกรดไขมันซึ่งมีผลในระยะสั้นๆ (Nawar, 1996) ในขณะที่ตัวอย่างที่เติมกรดซิตริกนั้น กรดซิตริกแตกตัวให้ไฮโดรเจนอะตอมได้เพียงครั้งเดียว ซึ่งเร่งให้เกิดการไฮโดรไลซ์ของกรดไขมันเพิ่มขึ้น ที่ง่ายต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในพันธะคู่ของสายกรดไขมันเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตามตัวอย่างน้ำมันที่เติมกรดฟอสฟอริกและกรดซิตริก มีค่า PV ที่ลดต่ำลงภายหลังการกำจัดกรดไขมันอิสระและการฟอกสี แต่การใช้น้ำมีผลทำให้ค่า PV เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเป็นตัวทำละลายที่เร่งให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดียิ่งขึ้น ส่งผลต่อการเกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ได้อย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว สำหรับน้ำมันปลาดิบมีค่า PV เท่ากับ 6.16 ± 0.02 meq/kg (ตารางที่ 1.4) ซึ่งสอดคล้องตามคำแนะนำของสมาคมผู้ผลิตน้ำมันปลาและปลาป่นระหว่าง

ประเทศ (Young, 1986a) ที่ว่า น้ำมันปลาดิบควรมีค่า PV อยู่ในช่วง 3-20 meq/kg สำหรับค่า PV ของน้ำมันปลาในช่วงของการกำจัดกรดไขมันอิสระและการฟอกสีในทุกตัวอย่าง มีค่า PV ไม่เกิน 10 meq/kg ซึ่งสอดคล้องกับค่ามาตรฐานของ CODEX (CODEX SATAN-19, 1981) และเมื่อเปรียบเทียบค่า PV สำหรับน้ำมันปลาที่ใช้ในการบริโภค ที่แนะนำว่า ค่า PV ไม่ควรเกิน 8 meq/kg (Boran *et al.*, 2006) พบว่าค่า PV ของน้ำมันปลาแชลมอนที่ผลิตได้ในช่วงของการฟอกสีที่กำจัด ยางตะกอนด้วยฟอสฟอริก ($4.10 \pm 4.0.01$ meq/kg) และซิทริก (4.47 ± 0.02 meq/kg) มีค่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ดังกล่าว

2.5 ค่าอะนิซิดีน (Anisidine value: AV)

การตรวจวิเคราะห์ค่า AV ของน้ำมันเป็นการวัดปริมาณผลิตภัณฑ์จากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอันดับสองของน้ำมัน ซึ่งอยู่ในรูปของสารประกอบโมเลกุลเล็ก ๆ กลุ่มอัลดีไฮด์ (2-alkenal และ 2, 4-dienals) และสามารถตรวจวัดได้ทางประสาทสัมผัสคือจะให้กลิ่นหืนที่แรงของน้ำมันปลา จากผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 1.4 พบว่าตัวอย่างน้ำมันปลาแชลมอนดิบและน้ำมันปลาที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ส่วนใหญ่มีค่า AV ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) โดยน้ำมันปลาดิบมีค่า AV เท่ากับ 1.85 ซึ่งค่าดังกล่าวสอดคล้องตามข้อเสนอแนะของสมาคมผู้ผลิตน้ำมันปลาและปลาแปรรูประหว่างประเทศที่เสนอว่า น้ำมันปลาดิบควรมีค่า AV อยู่ในช่วง 4-60 (Young, 1986a) และตัวอย่างน้ำมันปลาในทุกขั้นตอนของการทำให้บริสุทธิ์มีค่า AV ไม่เกิน 3 ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Hamilton *et al.* (1998) ที่เสนอว่าน้ำมันปลาที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ควรมีค่า AV ต่ำกว่า 20 และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Noriega-Rodriguez *et al.* (2010) ที่รายงานว่าน้ำมันปลาชาร์ดินที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์หลังการฟอกสีมีค่า AV ต่ำกว่า 10 จากผลการทดลองที่ได้แสดงให้เห็นว่าน้ำมันปลาแชลมอนที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์มีค่า AV อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ โดยที่ผลิตภัณฑ์ยังไม่เกิดสารประกอบที่ระเหยในระดับที่จะก่อให้เกิดกลิ่นหืน

2.6 ค่าไอโอดีน (Iodine value: IV)

ค่า IV เป็นดัชนีในการบ่งชี้ว่าไขมันหรือน้ำมัน มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมากน้อยเพียงใด ถ้าค่า IV สูงแสดงว่ามีปริมาณกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นส่วนประกอบอยู่มาก และสามารถเกิดการหืนเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ง่าย ในการวิเคราะห์ค่า IV ได้กำหนดเป็นจำนวนกรัมของไอโอดีน ที่เข้าไปทำปฏิกิริยากับพันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไขมัน หรือน้ำมัน 100 กรัม (Wrolstad *et al.*, 2005) จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างน้ำมันปลาดิบ และน้ำมันปลาในทุกช่วงของการทำให้บริสุทธิ์มีค่า IV ที่

ค่อนข้างสูงและใกล้เคียงกัน โดยค่า IV ที่สูงที่สุด คือ น้ำมันดิบ มีค่าเท่ากับ 144.37 ± 0.02 g I₂/oil 100 g และค่าต่ำสุด คือ ตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการกำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อน มีค่าเท่ากับ 122.38 ± 0.05 g I₂/oil 100 g แสดงดังตารางที่ 1.4 ทั้งนี้อาจเนื่องจากขั้นตอนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ มีผลทำให้ไขมันบางส่วนเกิดการไฮโดรไลซิสรวมกับความร้อน น้ำ กรดและด่าง ทำให้พันธะเอสเทอร์เกิดการแตกพันธะ จากผลดังกล่าวทำให้กรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีปริมาณลดลง ค่า IV ของน้ำมันปลาที่ผ่านกระบวนการให้บริสุทธิ์จึงมีค่าน้อยกว่าน้ำมันปลาดิบ ทั้งนี้จากผลของค่า IV ที่ได้มีความสอดคล้องกับผลขององค์ประกอบของกรดไขมันที่แสดงให้เห็นว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ในน้ำมันปลาแชลมอนเป็นกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ซึ่งรายละเอียดจะได้กล่าวในลำดับต่อไป นอกจากนี้ค่า IV ของน้ำมันปลาแชลมอนที่ได้มีความสอดคล้องกับน้ำมันปลาชนิดอื่นๆ ที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในสัดส่วนที่สูง และให้ค่า IV สูงเช่นกัน เช่น ปลาเมนฮาเดนซึ่งมีค่าเท่ากับ 150-200 ปลาซาร์ดีนเท่ากับ 160-200 และปลาแอนชูวีเท่ากับ 180-200 g I₂/oil 100 g (Young, 1986a)

2.7 ค่าสaponification value (saponification value: SV)

ค่า SV ใช้เป็นดัชนีในการบ่งชี้ขนาดโมเลกุล หรือน้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของน้ำมันและไขมัน ถ้าค่า SV สูง แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมาก จึงมีจำนวนโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจึงใช้ต่างเป็นจำนวนมากในการไฮโดรไลซิส ในทางกลับกันถ้าค่า SV ต่ำ แสดงว่ากรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์มีน้ำหนักโมเลกุลมาก จึงมีน้ำหนักโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ ต่อหน่วยน้ำหนักเป็นจำนวนน้อย ทำให้ใช้ต่างน้อยในการไฮโดรไลซิส ทั้งนี้ไขมันสัตว์ และน้ำมันพืชจะมีส่วนประกอบของไตรกลีเซอไรด์ที่ค่อนข้างแน่นอน ดังนั้นปริมาณต่างที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากับน้ำมันจะมีปริมาณที่ค่อนข้างคงที่ด้วย และเป็นค่าเฉพาะจากการทดลองพบว่า น้ำมันปลาดิบมีค่า SV สูงที่สุดถึง 215.24 ± 0.10 mg KOH/g (ตารางที่ 1.4) โดยค่า SV จะมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระ เนื่องจากกระบวนการนี้ กรดไขมันอิสระส่วนใหญ่ แครอทินอยด์ สารกลุ่มฟอสโฟไลปิด สารประกอบซัลเฟอร์ สารที่ไม่ละลายในน้ำมันและสารที่ละลายได้ในน้ำของน้ำมันปลาแชลมอน (Sikorski, 2002) จะถูกไฮโดรไลซ์ด้วยต่างกลายเป็นตะกอนสบู่สีดำ ในส่วนของตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการฟอกสีที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการกำจัดยางตะกอนด้วยซิตริค น้ำมันที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการกำจัดยางตะกอนด้วยฟอสฟอริกและน้ำมันที่ผ่านการกำจัดกรดไขมันอิสระที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการกำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อน มีค่า SV ต่ำสุดเพียง 191.43 ± 0.39 , 194.53 ± 0.33 และ 193.76 ± 0.22 mg KOH/g

ตามลำดับ (ตารางที่ 1.4) ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงของกรดออกตาเดคซีโนอิก (octadecenoic acid: C18:1) หรือกรดโอเลอิกที่มีค่าเท่ากับ 190.1 (Wrolstad *et al.*, 2005) ซึ่งผลที่ได้สามารถใช้ในการประเมินองค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปลาแชลมอนได้ว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่ของกรดไขมันในโมเลกุลของไตรกลีเซอไรด์ประกอบไปด้วยกรดไขมันสายยาว โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นกลุ่มที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปลาแชลมอนที่ได้ ที่พบว่ากรดไขมันโอเลอิก (C18:1 n9) สามารถพบได้ในน้ำมันปลาแชลมอน ในทุกขั้นตอนของกระบวนการผลิตในสัดส่วนที่สูงที่สุด ซึ่งมีรายละเอียดในลำดับต่อไป นอกจากนี้ผลของค่า SV ที่ได้ยังใกล้เคียงกับค่า SV ของน้ำมันพืชชนิดอื่นที่มีกรดไขมันหลักเป็นกลุ่มของคาร์บอน 18 อะตอม เช่น น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันดอกทานตะวัน และน้ำมันมะกอก เป็นต้น

2.8 สารที่ไม่สามารถสaponifi์ได้ (unsaponifiable value matter: USM)

สารที่ไม่สามารถสaponifi์ได้ หมายถึง สารที่ปนอยู่ในน้ำมัน ซึ่งจะเหลืออยู่ภายหลังการทำสaponifi์เคชั่น เช่น สารประกอบคีโตน (ketone) กรดไขมันชนิดแอลกอฮอล์ (fatty alcohol) ไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) และสเตอรอล (sterols) ที่ประกอบด้วยคลอเลสเตอรอล (cholesterol) เป็นต้น (Rossell, 2009) โดยคลอเลสเตอรอลที่เหลืออยู่นั้นส่วนมากเป็นคลอเลสเตอรอลในรูปของเอสเธอร์ที่อาจหลงเหลืออยู่ในช่วงของการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ จากการทดลองพบว่า ตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการกำจัดยางตะกอนด้วยกรดฟอสฟอริกมีค่า USM สูงที่สุดที่ $0.42 \pm 0.07\%$ (ตารางที่ 1.4) ซึ่งสอดคล้องกับการตกค้างของไอออนฟอสฟอรัสที่มีมากถึง 129.28 ppm ในตัวอย่างชนิดเดียวกัน ซึ่งมีมากถึงเกือบ 2 เท่าเมื่อเทียบกับน้ำมันดิบ แสดงให้เห็นว่าการเติมกรดฟอสฟอริกในกระบวนการกำจัดยางตะกอน ทำให้ค่า USM เพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับน้ำมันดิบ ทั้งนี้กรดฟอสฟอริกสามารถละลายสารประกอบฟอสฟาไทด์ประเภทไม่ละลายในน้ำ (non-hydrated phosphatides) เช่น เกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมของฟอสฟาติดีลเอทานอลามีน (magnesium salts of phosphatidylethanolamine) ได้มากขึ้น โดยที่กรดฟอสฟอริกทำให้สารประกอบฟอสฟาไทด์ที่ทำปฏิกิริยาร่วมกับไอออนของแคลเซียมและแมกนีเซียม เกิดการละลายน้ำได้มากขึ้น (Johnson, 2002) แต่การตกค้างของไอออนฟอสฟอรัสในปริมาณมากในน้ำมันที่ผ่านการกำจัดยางตะกอน แสดงให้เห็นถึงปริมาณสารประกอบฟอสฟาไทด์ประเภทไม่ละลายในน้ำที่มีในน้ำมันปลาแชลมอนมีในปริมาณที่น้อยกว่าที่จะทำปฏิกิริยากับฟอสฟอรัสทั้งหมด ในขณะที่ค่า USM ของน้ำมันดิบ ตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการกำจัดยางตะกอนด้วยน้ำ และตัวอย่างน้ำมันชนิดเดียวกันที่ผ่านการฟอกสี ให้ค่าค่อนข้างต่ำเท่ากับ 0.16 ± 0.05 , 0.14 ± 0.03 และ $0.15 \pm 0.05\%$ ตามลำดับ (ตารางที่ 1.4) ภายหลังการกำจัดยางตะกอน ตัวอย่างน้ำมันที่เติมกรดซิตริกและตัวอย่างน้ำมันที่เติม

กรดฟอสฟอริก มีค่า USM เท่ากับ 0.33 ± 0.01 และ $0.42 \pm 0.07\%$ ตามลำดับ และมีแนวโน้มที่ลดลงเมื่อผ่านกระบวนการกำจัดกรดไขมันอิสระและฟอสฟอรัสเพียง 0.19 ± 0.07 และ $0.22 \pm 0.03\%$ สำหรับน้ำมันที่เติมกรดซิตริก และมีค่า 0.30 ± 0.05 และ $0.28 \pm 0.12\%$ สำหรับน้ำมันที่เติมกรดฟอสฟอริก แสดงให้เห็นถึงสารที่ไม่สามารถสaponนิไฟต์ได้ของน้ำมันปลาที่มีปริมาณที่ลดลงเมื่อผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์

2.9 ปริมาณโลหะหนัก (Heavy metal: HM)

การตกค้างของโลหะหนักในน้ำมันปลา เช่น ไอออนของเหล็ก ทองแดง สังกะสี แคดเมียม ฟอสฟอรัส สามารถกระตุ้นให้เกิดไฮดรอปอร์ออกไซด์ในปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดไขมันไม่อิ่มตัวร่วมกับออกซิเจน ที่เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหืนในน้ำมัน (Allen and Hammiton, 1994) หรือหากมีการตกค้างในปริมาณมากอาจก่อให้เกิดการสะสมในร่างกายของผู้บริโภค ซึ่งอาจทำให้เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้บริโภคได้ (Rossell, 2009) ภายหลังจากการกำจัดยางตะกอน น้ำมันปลาที่ได้ควรมีไอออนทองแดงและเหล็กน้อยกว่า 0.1 ppm และฟอสฟอริกในรูปของฟอสฟอรัสน้อยกว่า 10 ppm (Young, 1986a) จากผลการทดลองพบว่า ตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการกำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อน มีปริมาณไอออนทองแดงน้อยกว่า 1.0 ppm และตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการกำจัดยางตะกอนด้วยกรดฟอสฟอริกและกรดซิตริก มีการตกค้างของไอออนทองแดงและเหล็กน้อยกว่า 0.1 ppm และมีปริมาณฟอสฟอรัส เท่ากับ 63.24, 129.28 และ 9.25 ppm ตามลำดับ จากค่าที่ได้น้ำมันที่ผ่านการกำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อนมีการตกค้างของไอออนเหล็กที่สูงกว่าตัวอย่างน้ำมันที่ผ่านการกำจัดยางตะกอนด้วยกรดฟอสฟอริกและกรดซิตริก รวมทั้งน้ำมันปลาดิบ ในขณะที่ตัวอย่างน้ำมันที่เติมกรดฟอสฟอริกและกรดซิตริกมีค่าลดลง เมื่อเทียบกับน้ำมันปลาดิบเริ่มต้น แต่ตัวอย่างที่กำจัดยางตะกอนด้วยกรดฟอสฟอริกมีปริมาณฟอสฟอรัสอยู่สูงกว่าน้ำมันดิบเริ่มต้น แสดงให้เห็นถึงอาจมีการตกค้างของกรดฟอสฟอริกที่เติมเข้าไปในช่วงของการกำจัดยางตะกอน จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า น้ำมันที่ผ่านการกำจัดยางตะกอนด้วยกรดซิตริกให้ประสิทธิภาพที่ดีในการลดไอออนของทองแดง เหล็กและฟอสฟอรัสเมื่อเทียบกับน้ำมันดิบ และให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อผ่านการกำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อนและกรดฟอสฟอริก

ตารางที่ 1.4 สมบัติทางเคมีของน้ำมันปลาแชลมอนดิบ และน้ำมันปลาที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์

ขั้นตอน การทำ น้ำมันให้ บริสุทธิ์	สารละลาย ที่ใช้ในการกำจัดยาง ตะกอน	ปริมาณกรด ไขมันอิสระ (% กรด โอเลอิก)	ค่าเพอร์ ออกไซด์ (Meq/kg)	พารา- อะนิซีติน	ค่าไอโอดีน (g I ₂ /oil 100 g)	สaponนิไฟเคชั่น (mg KOH/g)	สารที่ไม่ สามารถ สaponนิไฟด์ได้ (%)	อนุมูลโลหะ (ppm)		
								ทองแดง	เหล็ก	ฟอสฟอรัส
น้ำมันดิบ		1.39±0.00 ^b	6.16±0.02 ^{bc}	1.85±0.04 ^c	144.37±0.02 ^a	215.24±0.10 ^a	0.16±0.05 ^e	<1.00	2.30	69.86
กำจัดยาง ตะกอน	น้ำร้อน	1.42±0.06 ^b	10.95±0.20 ^a	1.55±0.06 ^d	128.33±0.07 ^{cd}	212.42±0.23 ^b	0.14±0.03 ^e	<1.00	6.70	63.24
	กรดฟอสฟอริก	1.85±0.06 ^a	7.53±0.08 ^b	0.93±0.02 ^e	140.90±0.06 ^{ab}	202.23±0.17 ^c	0.42±0.07 ^a	ND	ND	129.28
	กรดซิตริก	1.45±0.06 ^b	10.96±0.05 ^a	1.47±0.04 ^d	131.96±0.05 ^{bcd}	197.96±0.37 ^{cd}	0.33±0.01 ^b	ND	ND	9.25
กำจัดกรด ไขมัน อิสระ	น้ำร้อน	0.27±0.06 ^d	7.51±0.07 ^b	2.01±0.03 ^c	122.38±0.05 ^d	193.76±0.22 ^d	0.31±0.13 ^b	-	-	-
	กรดฟอสฟอริก	0.20±0.00 ^e	4.11±0.01 ^d	2.96±0.01 ^a	134.14±0.07 ^{abc}	194.53±0.33 ^d	0.30±0.05 ^b	-	-	-
	กรดซิตริก	0.20±0.00 ^e	4.10±0.01 ^d	2.87±0.05 ^a	137.52±0.03 ^{abc}	201.60±0.13 ^c	0.19±0.07 ^{de}	-	-	-
ฟอกสี	น้ำร้อน	0.40±0.02 ^c	9.59±0.01 ^a	1.39±0.02 ^d	137.94±0.05 ^{abc}	196.55±0.27 ^{cd}	0.15±0.05 ^e	-	-	-
	กรดฟอสฟอริก	0.39±0.02 ^c	4.10±0.01 ^d	2.44±0.01 ^b	134.57±0.04 ^{abc}	197.84±0.17 ^{cd}	0.28±0.12 ^{bc}	-	-	-
	กรดซิตริก	0.37±0.01 ^c	4.47±0.02 ^d	2.12±0.02 ^c	130.33±0.02 ^{cd}	191.43±0.39 ^d	0.22±0.03 ^{de}	-	-	-

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยจากค่าจริง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรที่แตกต่างกันซึ่งอยู่ด้านบนของตัวเลขในแต่ละคอลัมน์แสดงว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ND : ไม่สามารถตรวจสอบได้เนื่องจากค่าที่ได้น้อยกว่า 0.100

2.10 องค์ประกอบของกรดไขมัน (fatty acid profile)

องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันปลาแชลมอน แสดงดังตารางที่ 1.5 และ 1.6 และภาพที่ 1.4 น้ำมันปลาที่ได้ประกอบด้วยกรดไขมัน 3 กลุ่มได้แก่ กรดไขมันอิ่มตัว กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว และกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน โดยปกติชนิดของกรดไขมันจะมีสัดส่วนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดและประเภทของปลาที่เป็นวัตถุดิบเริ่มต้น (Stansby, 1990) การคำนวณอัตราส่วนของกรดไขมันแต่ละชนิดตามพื้นที่ใต้กราฟโครมาโตแกรม โดยเปรียบเทียบเวลาที่พิกปรากฏตามชนิดของกรดไขมันนั้นๆ ซึ่งใช้น้ำมันปลาแมนฮัตตัน เป็นกรดไขมันมาตรฐาน กรดไขมันของน้ำมันปลาแชลมอนที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ประกอบด้วย ไมริสทริก (Myristic acid (MRA), C14:0) ปาล์มมิติก (Palmitic acid (PMA), C16:0) สเตียริก (Stearic acid; STA, C18:0) ปาล์มมิโตเลอิก (Palmitoleic acid; PTA, C16:1n-7) เวคเซนิก (Veccenic acid; VCA, C18:1n-7) โอเลอิก (Oleic acid; OLA, C18:1n-9) กาโดเลอิก (Gadoleic acid; GDA, C20:1n-9) อียูซิก (Eucic acid; EUA, C22:1n-9) ลิโนเลอิก (Linoleic acid; LNA, C18:2n-6) อัลฟา-ลิโนเลนิก (α -Linolenic; ALA, C18:3n-3) สเตียริโดนิก (Stearidonic acid; SDA, C18:4n-3) ไอโคซาเตตราอีโนอิก (Eicosatetraenoic acid; ETA, C20:4n-3) อะราชีโดนิก (Arachidonic acid; AA, C20:4n-6) ไอโคซาแพนตาอีโนอิก (Eicosapentaenoic acid; EPA, C20:5n-3) โดโคซาแพนตาอีโนอิก (Docosapentaenoic acid; DPA, C22:5n-3) และโดโคซาเฮกซาอีโนอิก (Docosahexaenoic acid; DHA, C22:6n-3) จากการทดลองพบว่ามีชนิดของกรดไขมันที่ได้มากกว่าที่ได้อ้างอิงใน Ackman (2000) ซึ่งพบเพียง 14 ชนิด ยกเว้น VCA และ ETA ชนิดกรดไขมันในปลาแชลมอนส่วนใหญ่ ได้แก่ OLA, DHA, EUA, EPA และ GDA ซึ่งพบมากถึง 74.95% ของกรดไขมันทั้งหมด ภายหลังจากการฟอกสีกรดไขมันทั้งหมดยกเว้น GDA และ EPA ในน้ำมันปลาแชลมอนที่ผ่านการกำจัดยางตะกอนด้วยกรดซิดริกในช่วงของการกำจัดกรดไขมันอิสระมีแนวโน้มที่ลดลงเล็กน้อยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากถูกคาตาไลซ์ (catalyzed) จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ด้วยกรดทำให้พันธะเอสเทอร์แยกออกจากกัน นอกจากนี้การคำนึงถึงการดูดซึมกรดไขมันสายยาวเชิงซ้อนในร่างกายมนุษย์ โดยเฉพาะกรดไขมัน AA, EPA และ DHA ซึ่งมีจำนวนคาร์บอน 20 และ 22 อะตอมนั้น สามารถถูกเอนไซม์ย่อยจนเหลือคาร์บอนเพียง 18 อะตอมและสามารถกลายเป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวอีกครั้งได้ด้วยกระบวนการเมตาโบลิซึม (metabolism) เช่น กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนในกลุ่มโอเมก้า 6 ($n-6$ PUFA) จากกรดไขมัน LNA เป็นกรดไขมัน AA และสามารถเปลี่ยนกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนในกลุ่มโอเมก้า 3 ($n-3$ PUFA) จากกรดไขมัน ALA เป็นกรดไขมัน EPA และ DHA ได้ (Rice *et al.*, 2009) จากตารางที่ 1.5 พบว่าในน้ำมันปลาแชลมอนดิบและน้ำมันปลาที่ผ่านการฟอกสีร่วมกับการกำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อน กรดฟอสฟอริกและกรดซิดริก มีค่า AA เท่ากับ 0.94 ± 0.18 , 1.06 ± 0.24 , 1.22 ± 0.19 และ $1.10 \pm 0.32\%$ ตามลำดับ โดยมีค่าสูงกว่าน้ำมันปลาแชลมอนที่อ้างอิงใน Ackman (2000) ที่มีเพียง 0.5% ส่วนค่าของกรดไขมัน EPA มีค่าเท่ากับ 5.49 ± 0.44 , 5.26 ± 0.13 , 5.13 ± 0.12 และ $5.11 \pm 0.18\%$ ตามลำดับ โดยมีค่าสูงกว่าเช่นเดียวกัน เมื่อเทียบกับน้ำมันปลาแชลมอนที่อ้างอิงใน Ackman (2000) โดยมีเพียง 4.6% และค่าของกรดไขมัน EPA

เท่ากับ 8.55 ± 1.00 , 7.25 ± 0.34 , 7.85 ± 0.77 และ $7.03 \pm 0.47\%$ ตามลำดับ โดยมีค่าต่ำกว่าที่กล่าวใน Ackman (2000) ที่มีเพียง 11.9% ผลของการสังเคราะห์ไอโคซานอยด์ (eicosanoids) มีผลต่อสรีระและสภาวะของสุขภาพโดยตรงตามความเข้มข้นของ AA และ EPA รวมทั้งสัดส่วนของ $n-3/n-6$ จึงใช้ในการพิจารณาองค์ประกอบกรดไขมันที่มีผลต่อสุขภาพ (Miller *et al.*, 2007)

ตารางที่ 1.6 ได้แสดงการจำแนกประเภทของไขมันของน้ำมันปลาแชลมอนที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์ตามสัดส่วนของกรดไขมันที่มีอยู่ได้ 3 กลุ่มได้แก่ (1) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวทั้งหมด ประกอบด้วย PTA, VCA, OLA, GDA และ EUA (47.68 – 49.45% ของกรดไขมันรวม) (2) กรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนทั้งหมด ประกอบด้วย LNA ALA SDA ETA AA EPA DPA และ DHA (29.73 – 33.26% ของกรดไขมันรวม) และ (3) กรดไขมันอิ่มตัวทั้งหมด ประกอบด้วย MRA, PMA, และ STA (18.05.68 – 20.43% ของกรดไขมันรวม) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาอัตราส่วนของกรดไขมันกลุ่ม $n-3$ ต่อกรดไขมันกลุ่ม $n-6$ มีค่าประมาณ 2:1 ซึ่งถือว่าเป็นสัดส่วนที่มีความเหมาะสมในการบริโภค ทั้งนี้การบริโภคน้ำมันปลาที่มีสัดส่วนระหว่างกรดไขมันในกลุ่ม $n-3/n-6$ ในระดับต่างๆ มีผลกระทบโดยตรงต่อสภาวะทางร่างกาย ที่เกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์ไอโคซานอยด์ในระดับที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะสารตั้งต้นที่สำคัญในการสังเคราะห์ไอโคซานอยด์ของกรดไขมันกลุ่ม $n-6$ และ $n-3$ ได้แก่ Arachidonic acid (AA) และ Eicosapentaenoic acid (EPA) ตามลำดับ (Stanby, 1990) นอกจากนี้อัตราส่วนของ $n-3/n-6$ ได้ถูกนำมาใช้เป็นดัชนีหนึ่งในการประเมินคุณค่าทางโภชนาการของน้ำมันปลาด้วย

ตารางที่ 1.5 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันปลาแชลมอนดิบ และน้ำมันปลาแชลมอนที่ผ่านกระบวนการกำจัดยางตะกอน การกำจัดกรดไขมันอิสระ และการฟอกสี

กรดไขมัน	น้ำมันดิบ	องค์ประกอบของกรดไขมัน (%)								
		กำจัดยางตะกอน			กำจัดกรดไขมันอิสระ			ฟอกสี		
		น้ำร้อน	กรดฟอสฟอริก 85%	กรดซิตริก 0.3%	กำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อน	กำจัดยางตะกอนด้วยกรดฟอสฟอริก 85%	กำจัดยางตะกอนด้วยกรดซิตริก 0.3%	กำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อน	กำจัดยางตะกอนด้วยกรดฟอสฟอริก 85%	กำจัดยางตะกอนด้วยกรดซิตริก 0.3%
C14:0	3.81±0.51 ^a	4.26±0.28 ^a	4.09±0.21 ^a	3.81±0.72 ^a	3.74±0.19 ^a	4.12±0.31 ^a	4.02±0.10 ^a	3.97±0.23 ^a	3.99±0.08 ^a	3.95±0.15 ^a
C16:0	10.70±0.23 ^a	13.30±1.15 ^a	12.71±1.00 ^a	12.09±1.10 ^a	11.72±1.75 ^a	11.96±0.86 ^a	12.02±0.72 ^a	12.28±0.81 ^a	11.91±0.82 ^a	11.99±1.12 ^a
C18:0	2.29±0.05 ^a	2.85±0.29 ^a	2.68±0.27 ^a	2.53±0.27 ^a	2.59±0.46 ^a	2.29±0.49 ^a	2.23±0.79 ^a	2.66±0.37 ^a	2.54±0.22 ^a	2.50±0.21 ^a
C16:1 <i>n</i> -7	4.44±0.15 ^a	4.62±0.04 ^a	4.57±0.14 ^a	4.70±0.16 ^a	4.58±0.13 ^a	4.66±0.07 ^a	4.53±0.43 ^a	4.65±0.16 ^a	4.40±0.18 ^a	4.51±0.09 ^a
C18:1 <i>n</i> -7	3.58±0.28 ^a	3.74±0.63 ^a	4.00±0.18 ^a	3.59±0.47 ^a	4.11±0.74 ^a	3.81±0.96 ^a	3.30±0.42 ^a	3.84±0.06 ^a	4.03±0.13 ^a	3.66±0.17 ^a
C18:1 <i>n</i> -9	29.87±0.93 ^a	29.51±1.19 ^a	29.56±0.76 ^a	29.09±1.17 ^a	28.50±0.84 ^a	27.79±1.18 ^a	29.51±1.08 ^a	30.04±0.80 ^a	29.29±1.08 ^a	30.69±1.21 ^a
C20:1 <i>n</i> -9	5.34±0.20 ^{bc}	5.52±0.12 ^{bc}	5.49±0.08 ^{bc}	5.59±0.42 ^{bc}	5.14±0.34 ^{bc}	5.62±0.27 ^{ab}	5.83±0.08 ^b	4.91±0.31 ^{bc}	5.29±0.25 ^{bc}	4.47±0.09 ^c
C22:1 <i>n</i> -9	6.22±0.69 ^a	5.47±0.14 ^a	5.56±0.20 ^a	5.46±0.40 ^a	5.34±0.61 ^a	5.89±0.29 ^a	5.71±0.25 ^a	5.17±0.14 ^a	5.31±0.19 ^a	5.53±0.29 ^a
C18:2 <i>n</i> -6	9.78±0.75 ^a	8.84±0.53 ^a	10.05±1.03 ^a	10.61±1.22 ^a	11.70±1.27 ^a	10.53±0.37 ^a	10.42±0.90 ^a	10.07±0.56 ^a	9.92±0.48 ^a	10.43±0.33 ^a
C18:3 <i>n</i> -3	3.60±0.37 ^a	3.07±0.13 ^a	3.50±0.67 ^a	3.68±0.55 ^a	3.61±0.80 ^a	3.94±0.34 ^a	3.66±0.31 ^a	3.77±0.24 ^a	3.84±0.35 ^a	3.88±0.35 ^a
C18:4 <i>n</i> -3	1.32±0.42 ^a	0.80±0.08 ^a	0.95±0.23 ^a	0.85±0.23 ^a	1.01±0.30 ^a	1.04±0.08 ^a	0.97±0.10 ^a	1.09±0.07 ^a	1.09±0.02 ^a	1.10±0.03 ^a
C20:4 <i>n</i> -3	1.41±0.13 ^a	1.14±0.09 ^a	1.22±0.08 ^a	1.28±0.04 ^a	1.16±0.17 ^a	1.34±0.04 ^a	1.30±0.15 ^a	1.29±0.05 ^a	1.29±0.11 ^a	1.27±0.06 ^a

กรดไขมัน	น้ำมันดิบ	องค์ประกอบของกรดไขมัน (%)								
		กำจัดยางตะกอน			กำจัดกรดไขมันอิสระ			ฟอสฟอรัส		
		น้ำร้อน	กรดฟอสฟอริก 85%	กรดซิตริก 0.3%	กำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อน	กำจัดยางตะกอนด้วยกรดฟอสฟอริก 85%	กำจัดยางตะกอนด้วยกรดซิตริก 0.3%	กำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อน	กำจัดยางตะกอนด้วยกรดฟอสฟอริก 85%	กำจัดยางตะกอนด้วยกรดซิตริก 0.3%
C20:4 n-6	0.94±0.18 ^a	1.41±0.21 ^a	1.26±0.47 ^a	1.56±0.67 ^a	1.55±0.54 ^a	1.72±0.79 ^a	2.03±0.22 ^a	1.06±0.24 ^a	1.22±0.19 ^a	1.10±0.32 ^a
C20:5 n-3	5.49±0.44 ^a	4.30±0.29 ^{bc}	4.79±0.45 ^{abc}	4.44±0.67 ^{abc}	4.22±0.61 ^{bc}	4.58±0.56 ^{abc}	4.09±0.05 ^c	5.26±0.13 ^{bc}	5.13±0.12 ^{abc}	5.11±0.18 ^{abc}
C22:5 n-3	2.84±0.59 ^a	2.55±0.16 ^a	2.49±0.06 ^a	2.23±0.23 ^a	2.27±0.13 ^a	2.49±0.11 ^a	2.41±0.06 ^a	2.66±0.47 ^a	2.77±0.14 ^a	2.61±0.12 ^a
C22:6 n-3	8.55±1.00 ^a	8.30±0.26 ^a	8.92±0.46 ^a	8.58±0.33 ^a	8.75±0.99 ^c	8.33±1.16 ^a	7.97±1.01 ^a	7.25±0.34 ^a	7.85±0.77 ^a	7.03±0.47 ^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยจากค่าจริง 3 ซ้ำ±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และตัวอักษรที่ต่างกันซึ่งอยู่ด้านบนของตัวเลขในแต่ละแถวแสดงว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

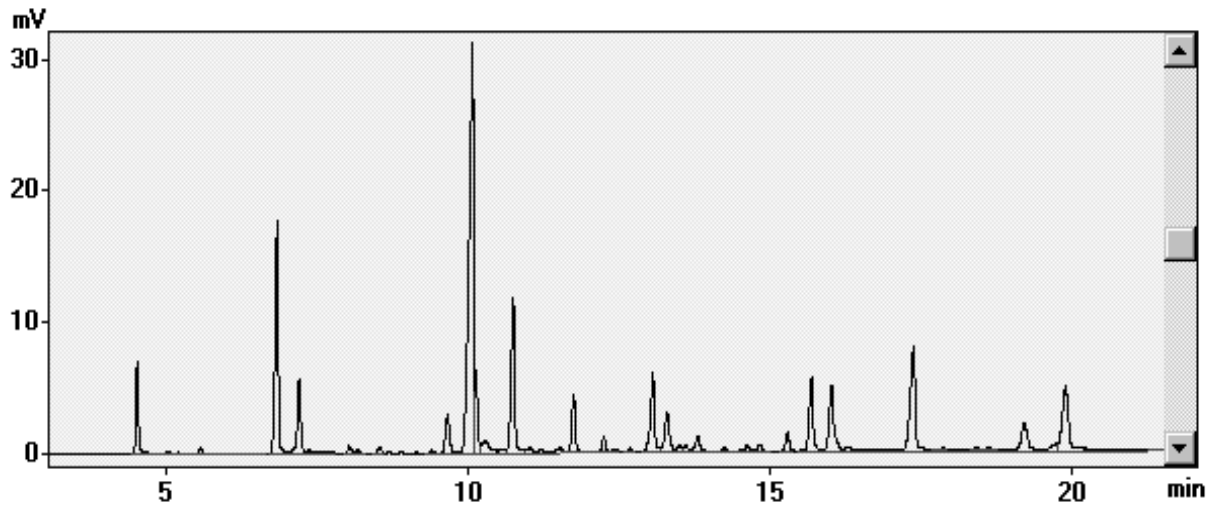
ตารางที่ 1.6 สัดส่วนของกลุ่มกรดไขมันของน้ำมันปลาแชลมอนดิบ และน้ำมันปลาแชลมอนที่ผ่านกระบวนการกำจัดยางตะกอน การกำจัดกรดไขมันอิสระ และการฟอกสี

กรดไขมัน	น้ำมันดิบ	ประเภทของกรดไขมัน (%)								
		กำจัดยางตะกอน			กำจัดกรดไขมันอิสระ			ฟอกสี		
		น้ำร้อน	กรดฟอสฟอริก 85%	กรดซิตริก 0.3%	กำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อน	กำจัดยางตะกอนด้วยกรดฟอสฟอริก 85%	กำจัดยางตะกอนด้วยกรดซิตริก 0.3%	กำจัดยางตะกอนด้วยน้ำร้อน	กำจัดยางตะกอนด้วยกรดฟอสฟอริก 85%	กำจัดยางตะกอนด้วยกรดซิตริก 0.3%
\sum SFA	18.81±0.76 ^a	20.42±1.67 ^a	19.48±1.47 ^a	18.43±1.95 ^a	18.05±1.29 ^a	18.37±1.06 ^a	18.28±1.36 ^a	18.91±1.06 ^a	18.44±1.11 ^a	18.44±1.42 ^a
\sum MUFA	49.45±0.93 ^a	48.87±1.98 ^a	49.18±0.56 ^a	48.44±1.21 ^a	47.68±1.72 ^a	47.78±1.18 ^a	48.87±0.55 ^a	48.62±0.66 ^a	48.41±0.93 ^a	48.87±0.78 ^a
\sum PUFA	32.61±1.18 ^a	29.74±1.24 ^a	30.19±1.05 ^a	32.40±1.02 ^a	33.26±1.29 ^a	32.84±1.53 ^a	31.88±1.04 ^a	31.39±0.70 ^a	32.03±1.47 ^a	31.44±0.79 ^a
n-3	23.21±1.20 ^a	20.16±1.40 ^a	19.82±1.29 ^a	21.07±0.87 ^a	21.02±0.78 ^a	21.73±1.30 ^a	20.40±1.38 ^a	21.34±0.81 ^a	21.97±1.42 ^a	21.00±0.84 ^a
n-6	10.72±0.57 ^{bc}	10.38±0.08 ^c	11.31±0.66 ^{abc}	12.17±0.57 ^{abc}	13.25±0.74 ^a	12.15±0.57 ^{abc}	12.45±0.84 ^{ab}	11.14±0.41 ^{bc}	11.15±0.3 ^{bc}	11.54±0.13 ^{abc}
n-3/n-6	2.16±0.00 ^a	1.94±0.34 ^a	1.75±0.12 ^a	1.76±0.28 ^a	1.59±0.34 ^a	1.79±0.12 ^a	1.65±0.21 ^a	1.92±0.12 ^a	1.97±0.09 ^a	1.82±0.08 ^a

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยจากค่าจริง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

: ตัวอักษรที่แตกต่างกันซึ่งอยู่ด้านบนของตัวเลขในแต่ละแถวแสดงว่ามีค่าความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

\sum SFA: ผลรวมของกรดไขมันอิ่มตัว; \sum MUFA: ผลรวมของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยว; \sum PUFA: ผลรวมของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อน



ภาพที่ 1.5 ตัวอย่างโครมาโตแกรม (Chromatogram) ของเมธิลเอสเทอร์ (methyl esters) ของน้ำมันปลาแชลมอนที่ผ่านการฟอกสีร่วมกับการกำจัด ยางตะกอนด้วยกรดซิตริก 0.3%



ต้นทุนการผลิต

การคำนวณต้นทุนการผลิตน้ำมันปลาคิดต่อปริมาณน้ำมันปลา 1 กิโลกรัม ดังนี้

1. ค่าวัตถุดิบ

วัตถุดิบเนื้อท้องปลาแชลมอน 1 กก. สามารถผลิตน้ำมันปลาแชลมอนดิบได้ประมาณ 31.6% และเมื่อผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ได้น้ำมันปลาบริสุทธิ์ประมาณ 10.3 % ของวัตถุดิบเนื้อท้องปลาแชลมอน

การคำนวณ

น้ำมันปลาบริสุทธิ์ 0.0103 กก. ผลิตได้จากวัตถุดิบท้องปลาแชลมอน 0.1 กก.

ถ้าต้องการน้ำมันปลาบริสุทธิ์ 1 กก. ต้องใช้วัตถุดิบท้องปลาแชลมอน 9.7 กก.

ส่วนท้องปลาแชลมอน 1 กก. ราคา 150 บาท

ถ้าใช้วัตถุดิบท้องปลาแชลมอน 9.7 กก. ราคา 1,455 บาท

2. ค่าสารเคมี

ค่าสารเคมีคิดเฉพาะในส่วนของการผลิตน้ำมันดิบและการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ ปลา ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ activated carbon กรดฟอสฟอริก กรดซิตริก ซึ่งใช้ในปริมาณที่ค่อนข้างน้อย ทั้งนี้ไม่รวมสารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันปลา

โดยเฉลี่ยค่าใช้จ่ายประมาณ 20 บาท/น้ำมันปลาบริสุทธิ์ 1 กก.

3. ต้นทุนการผลิตน้ำมันปลาบริสุทธิ์ 1 กิโลกรัม มีค่าเท่ากับ ค่าวัตถุดิบ + ค่าสารเคมี = 1,455+20 = 1,475 บาท

สรุปผลการวิจัย

ส่วนเหลือราวท้องของปลาแชลมอนสามารถนำมาเพิ่มมูลค่า โดยการผลิตเป็นน้ำมันปลา ซึ่งมีปริมาณน้ำหนัก 1 ใน 3 ของน้ำหนักเริ่มต้น และมีผลิตภัณฑ์ที่เป็นผลพลอยได้ชนิดอื่นๆ ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ การวิเคราะห์สมบัติทางเคมี-กายภาพของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดตะกอนด้วยน้ำร้อน กรดซิตริก หรือฟอสฟอริก ส่วนใหญ่ให้ผลในลักษณะที่ไม่แตกต่างกัน โดยพบว่าน้ำมันปลาแชลมอนดิบที่ได้มีสีส้มแดง จากองค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ และมีสีเหลืองใสมากขึ้นเมื่อผ่านการฟอกสี มีจุดหลอมเหลวต่ำ ซึ่งแสดงถึงการมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง ปริมาณกรดไขมันอิสระ ค่าเพอร์ออกไซด์และอะนิซิดีน อยู่ในช่วงที่กำหนด นั่นคือน้ำมันยังไม่เกิดการหืนเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ผลของค่าสaponification ทำให้ทราบว่าองค์ประกอบส่วนใหญ่ของกรดไขมันในโมเลกุลของน้ำมันปลาแชลมอนประกอบไปด้วยกรดไขมันสายยาว โดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็นกลุ่มที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม และไม่มีสารที่ปนอยู่ในน้ำมัน เหลืออยู่ภายหลังการทำsaponification ชนิดของกรดไขมันในน้ำมันปลาแชลมอนดิบ และน้ำมันที่ผ่านกระบวนการกำจัดอย่างตะกอน การกำจัดกรดไขมันอิสระ และการฟอกสี มีสัดส่วนของกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงเดี่ยวและเชิงซ้อน ในสัดส่วนที่มากกว่ากลุ่มของกรดไขมันอิ่มตัว และพบว่าอัตราส่วนของกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 ต่อโอเมกา-6 มีค่าประมาณ 2: 1 ซึ่งทั้งชนิดและปริมาณของกรดไขมันในน้ำมันปลาแชลมอนที่ได้ บ่งชี้ได้ว่าน้ำมันที่ผลิตได้ให้คุณค่าทางโภชนาการต่อสุขภาพ

ข้อเสนอแนะ

1. ในกระบวนการผลิตน้ำมันปลาจากส่วนท้องปลาแชลมอน มีผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้ชนิดอื่นๆ ที่สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มได้หลากหลายชนิด เช่น ส่วนเหลือเนื้อที่ได้บีบอัดน้ำมันออก นำไปผลิตเป็น fish protein hydrolysate และน้ำควาปลา นำไปผลิตเป็นเจลลาติน เป็นต้น
2. ควรมีการศึกษาสมบัติของน้ำมันปลาในเชิงลึก ได้แก่ การวิเคราะห์ตำแหน่งการเกาะของกรดไขมันในโครงสร้างของกลีเซอรอล ซึ่งข้อมูลที่ได้จะเป็นประโยชน์ในการประเมินประสิทธิภาพในการย่อย การดูดซึม และการใช้ประโยชน์น้ำมันปลาในร่างกาย
3. ควรมีการทดสอบความเป็นพิษในระดับต่างๆ ในสัตว์ทดลอง

สรุปแผนงานวิจัย

โครงการที่ 1 การผลิตน้ำมันปลาจากส่วนท้องของการแปรรูปปลาแชลมอน

แผนงานวิจัย	ผลที่ได้
1. ศึกษาการสกัดน้ำมันปลาจากส่วนท้องของปลาแชลมอน	ได้ขั้นตอนการสกัดน้ำมันปลาจากส่วนท้องปลาแชลมอน
2. วิเคราะห์สมบัติทางเคมี-กายภาพ ของน้ำมันดิบและน้ำมันที่ผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์	สมบัติทางเคมี-กายภาพของน้ำมันที่ผ่านการกำจัดตะกอนด้วยน้ำร้อน กรดซิตริก หรือฟอสฟอริก ส่วนใหญ่ให้ผลในลักษณะที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)
2.1 สี	น้ำมันปลาแชลมอนดิบที่ได้มีสีส้มแดง และมีสีเหลืองใสมากขึ้นเมื่อผ่านขั้นตอนการกำจัดกรดไขมันอิสระและการฟอกสี
2.2 จุดหลอมเหลว	น้ำมันปลาจากส่วนท้องปลาแชลมอนมีจุดหลอมเหลวต่ำ แสดงถึงการมีองค์ประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวในปริมาณสูง
2.3 ค่ากรดไขมันอิสระ, ค่าเปอร์ออกไซด์, ค่าอะนิซิดีน	ค่าที่ได้อยู่ภายในมาตรฐานที่กำหนด
2.4 ค่าสaponification	น้ำหนักโมเลกุลของกรดไขมัน แสดงว่ามีกรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอน 18 อะตอม เป็นองค์ประกอบหลัก
2.5 องค์ประกอบและสัดส่วนของกรดไขมัน	องค์ประกอบส่วนใหญ่ของกรดไขมันในโมเลกุลของน้ำมันปลาแชลมอนประกอบไปด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวสายยาว โดยมีอัตราส่วนของกรดไขมันกลุ่มโอเมกา-3 ต่อโอเมกา-6 ประมาณ 2: 1
2.6 โลหะหนัก	ค่าที่ได้อยู่ภายในมาตรฐานที่กำหนดตามมาตรฐานของ International fish meal and fish oil organization

เอกสารอ้างอิง

- กองประมงต่างประเทศ กรมประมง. 2554. **การค้าสินค้าประมงระหว่างประเทศ.**
แหล่งที่มา: www.fisheries.go.th/foreign/images/pdf/v06254.pdf, 20 กุมภาพันธ์ 2554.
- นิธิยา รัตนापนนท์. 2545. **เคมีอาหาร.** โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.
- Ackman, G.R. 2000. Fatty acids in fish and shellfish. pp. 153-174. *In* C.K. Chow, ed. **Fatty acids in foods and their health implications.** 2nded. Marcel Dekker Inc., New York.
- Allen, J.C. and R.J. Hamilton, 1994. **Rancidity in Foods.** Chapman and Hall, New York.
- American Oil Chemists' Society. 1999. **AOCS Official Method Ce 1b-89.** Fatty acid composition by GLC. Champaign, Ill. USA.
- 1998. **AOCS Official Method Ca 5a-40.** Free fatty acids. Champaign, Ill. USA.
- 1998. **AOCS Official Method Cd 8-53.** Peroxide value (acetic acid-chloroform method). Champaign, Ill. USA.
- 1998. **AOCS Official Method Cd 18-20.** Anisidine value. Champaign, Ill. USA.
- 1997. **AOCS Official Method Cd 1-25.** Iodine value of fats and oils (Wijs method). Champaign, Ill. USA.
- 1997. **AOCS Official Method Cd 3-25.** Saponification value. Champaign, Ill. USA.
- 1997. **AOCS Official Method Ca 6b-53.** Unsaponifiable matter. Champaign, Ill. USA.
- 1997. **AOCS Official Method Cc 1-25.** Melting point (capillary tube method). Champaign, Ill. USA.



- Association of Official Analytical Chemists. 2005. **AOAC Official Method 999.10.** Lead, Cadmium, Zinc, Copper, and Iron in Foods. 18thed. AOAC International, USA.
- Bimbo, A.P. 1998. Guidelines for characterizing food-grade fish oils. **Inform.** 9: 473-483.
- Boran, G., H. Karaçam and M. Boran. 2006. Changes in the quality of fish oils due to storage temperature and time. **Food Chem.** 98: 693-698.
- Codex alimentarius. 1981. **Codex Standard for Edible Fats and Oil Not Covered by Individual Standards (CODEX SATAN 19-1981).**
- Crexi, V.T., M.L. Monte, L.A. Souza-Soares and L.A.A. Pinto. 2010. Product and refinement of oil from carp (*Cyprinus carpio*) viscera. **Food Chem.** 119: 945-950.
- Hamilton, R.J., C. Kalu, G.P. McNeill, F.B. Padley and J.H. Pierce. 1998. Effects of tocopherols, ascorbyl palmitate and lecithin on autoxidation of fish oil. **J. Am. Oil. Chem. Soc.** 75: 813-822.
- Hamm, W. 2009. Processing of fish oil. pp. 81-98. *In* B. Rossell, ed. **Fish oils.** Wiley-Blackwell, UK.
- Horwitz, W. and G.W. Latimer. 2005. **Official Methods of Analysis of AOAC International.** 18theds. AOAC International, USA.
- Huang, J. and S. Sathivel. 2008. Thermal and rheological properties and the effects of temperature on the viscosity and oxidation rate of unpurified salmon oil. **J. Food Eng.** 89: 105-111.
- Johnson, A.L. 2002. Recovery, refining, converting, and stabilizing edible fats and oils. pp. 223-273. *In* A.C. Casimir and M.B. David, 2nd eds. **Food lipids; chemistry, nutrition and biotechnology.** Marcel Dekker Inc., New York.
- Katoh, N., H. Uchiyama, S. Tsukamoto and K. Arai. 1977. A biochemical study of fish myofibrillar ATPase. **Nippon Suisan Gakk.** 43: 857-867.



- Miller, M.R., P.D. Nichols and C.G. Cater. 2007. Replacement of fish oil with thraustochytrid *Schizochytrium* sp. L oil in Atlantic salmon parr (*Salmo salar* L) diets. **Comp Biochem Physiol.** 148: 382-392.
- Nagai, T. and N. Suzuki. 2000. Isolation of collagen from fish waste material skin, bone and fin. **Food Chem.** 68: 277-281.
- Nawar, W.W. 1996. Chemistry. pp. 397-439. In Y.H. Hui, 5th ed. **Bailey's Industrial Oil and Fat Products.** John Wiley and Sons Inc., New York.
- Noriega-Rodriguez, J.A., J. Ortega-Garcia, O. Angulo-Guerrero, H.S. Garcia, L.A. Medina-Juaarez and N. Gaamez-Meza. 2010. Oil production from sardine (*sardinops sagax caerulea*). **CyTA-J. Food.** 7: 173-179.
- Rossell, B. 2009. **Fish Oil.** Leatherhead publish, UK.
- Rossi, M., M. Gianazza, C. Alamprese and F. Stanga. 2003. The role of bleaching clays and synthetic silica in palm oil physical refining. **Food Chem.** 82: 291-293.
- Sathivel, S., W. Prinyawiwatkul, J.M. Kiing, C.C. Grimm and S. Lloyd. 2003. Oil production from catfish viscera. **J. Am. Oil. Chem. Soc.** 80: 377-382.
- 2005. Thermal and flow properties of oils from salmon head. **J. Am. Oil. Chem. Soc.** 82: 147-151.
- Sikorski, E.Z. 2002. **Chemical and Functional Properties of Food Components.** 2nded. CRC press LLC, USA.
- Stansby, E.M. 1990. **Fish Oils in Nutrition.** Reinhold publishing corporation, USA. Cited A. R. Carr. 1988. Degumming and refining of vegetable oils. Paper read at the AOCS northeast symposium on processing, 11 April 1988, Newark, N.J.
- Wrolstad, R.E., T.E. Acree, E.A. Decker, M.H. Penner, D.S. Reid, S.J. Schwartz, C.F. Shoemaker, D.M. Smith and P. Sporns. 2005. **Handbook of Food Analytical Chemistry.** John Wiley and Sons Inc., New Jersey.
- Young, F.V.K. 1986a. The refining and hydrogenation of fish oil. **Fish oil Bull. No. 17.** International fish meal and fish oil organization, UK.



_____ 1986b. The chemical and physical properties of crude fish oils for refiners and hydrogenators. **Fish oil bull. No.18**. International fish meal and fish oil organization, UK.

Zhong, N., Y. Yamashita and Y. Nozaki. 2002. Effect of protein hydrolysate from Antarctic krill meat on the state of water and denaturation by dehydration of lizard fish myofibrils. **Fisheries Sci.** 68: 672-679.