

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ผลการศึกษาปริมาณต่างที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน

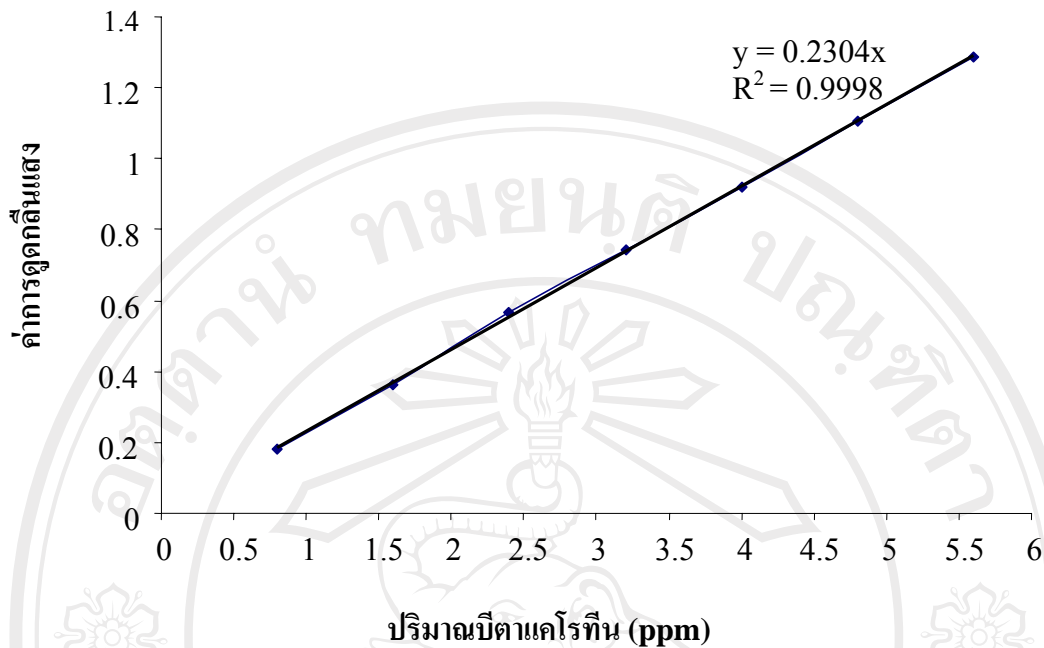
4.1.1 กราฟมาตรฐานบีตาแคโรทีน

จากการสร้างกราฟมาตรฐานบีตาแคโรทีน เพื่อใช้เป็นมาตรฐานหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณบีตาแคโรทีนกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ผลการศึกษาได้ความสัมพันธ์ ดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 ค่าการดูดกลืนแสงของบีตาแคโรทีนมาตรฐานที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

| ความเข้มข้น (ppm) | ค่าการดูดกลืนแสง |
|-------------------|------------------|
| 0.8 | 0.1817±0.0012 |
| 1.6 | 0.3617±0.0012 |
| 2.4 | 0.5650±0.0017 |
| 3.2 | 0.7446±0.0022 |
| 4.0 | 0.9202±0.0028 |
| 4.8 | 1.1043±0.0028 |
| 5.6 | 1.2851±0.0024 |

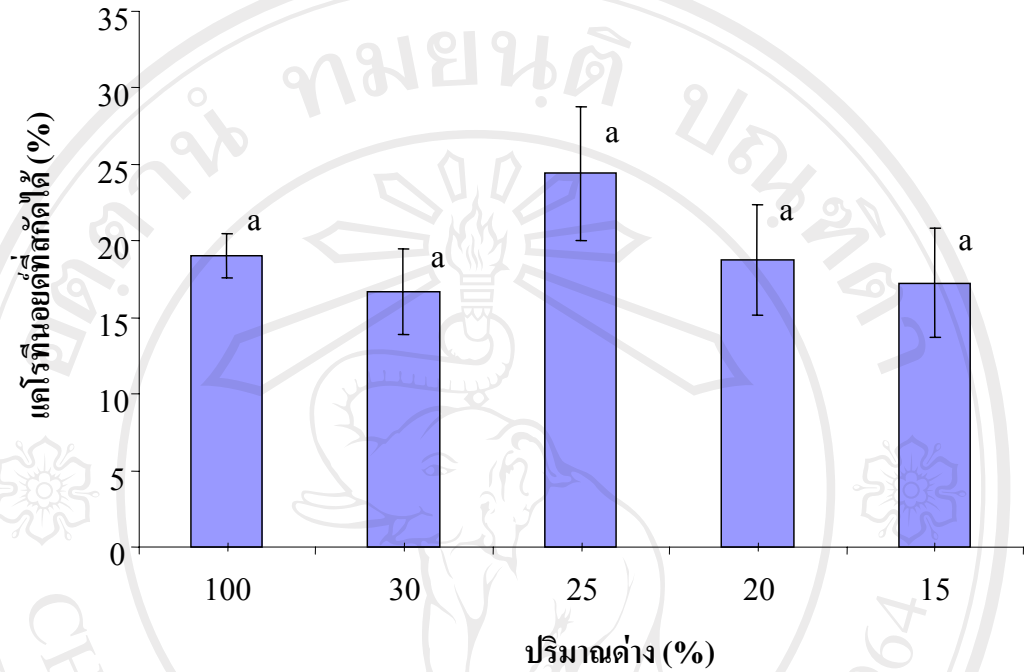
จากค่าการดูดกลืนแสง นำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณบีตาแคโรทีน (ppm) ได้กราฟดังภาพ 4.1 โดยสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 0.2304x$ มีค่า R^2 เท่ากับ 0.9998



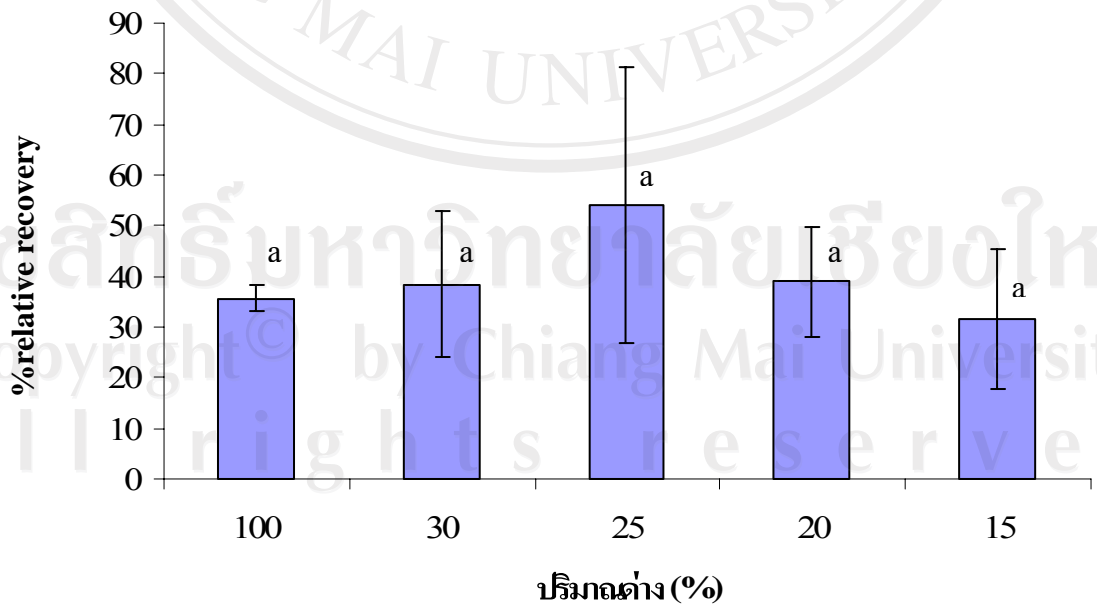
ภาพ 4.1 กราฟมาตรฐานความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเบต้าแคโรทีน (ppm) กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร

จากงานวิจัยที่ผ่านมา พัชรินทร์และคณะ (2548) ได้ศึกษาการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบแล้วทำให้เข้มข้นโดยใช้กระบวนการสะปอนิฟิเคชัน ซึ่งมีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในปริมาณที่มากเกินไป เพื่อให้ปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยมีการใช้ด่างสูงถึง 1 กรัมต่อสารสกัด 1 กรัม หรือ 100% (น้ำหนักด่าง/น้ำหนักของสารสกัด) แต่การใช้ด่างในปริมาณที่มากเกินไปในการทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน อาจเป็นสาเหตุในการทำลายแคโรทีนอยด์ โดย ไพจิตร (2530) ได้รายงานไว้ว่าค่าสะปอนิฟิเคชันหรือปริมาณด่างที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับไขมันเท่ากับ 195-210 มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ต่อไขมัน 1 กรัม หรือเท่ากับ 19.5-21% ดังนั้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการหาปริมาณด่างที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน โดยพิจารณาจากปริมาณแคโรทีนอยด์และค่า relative recovery ที่ได้จากการใช้ปริมาณด่างต่อแคโรทีนอยด์ก่อนการสะปอนิฟิเคชันเท่ากับ 100, 30, 25, 20 และ 15% โดยน้ำหนัก ซึ่งเทียบเท่ากับการใช้ด่างในปริมาณ 400, 120, 100, 80 และ 60 กรัม ต่อน้ำหนัก 400 กรัมของสารสกัดแคโรทีนอยด์ก่อนการสะปอนิฟิเคชัน ตามลำดับ วิเคราะห์น้ำหนักของแคโรทีนอยด์แน่นอนจากการใช้ด่าง 5 ระดับ ภายหลังจากการสะปอนิฟิเคชัน แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 450 นาโนเมตร จากนั้นนำค่าความเข้มข้นที่ได้มาคำนวณหา %แคโรทีนอยด์ที่ได้

จากสารสกัด และ %relative recovery (ภาคผนวก ค) ได้ผลดังภาพ 4.2, ภาพ 4.3, ตาราง ง.1 และ ตาราง ง.2 ในภาคผนวก ง ตามลำดับ



ภาพ 4.2 ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ได้จากการใช้ต่าง 5 ระดับ



ภาพ 4.3 ค่า relative recovery ของแคโรทีนอยด์หลังจากการสะปอนิฟิเคชัน โดยใช้ต่าง 5 ระดับ

จากภาพ 4.2 และตาราง ง.1 ในภาคผนวก ง. ซึ่งแสดงปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ได้จากการสกัดโดยใช้การสะaponifiเคชันวิธีเดิม (ต่าง 100%) การใช้ต่าง 30, 25, 20 และ 15% (น้ำหนัก/น้ำหนักของสารสกัด) ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ (ภาคผนวก ข) พบว่าการสะaponifiเคชันโดยใช้ปริมาณต่าง 5 ระดับ ดังกล่าว ไม่มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ ($p>0.05$) ซึ่งปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากการใช้ต่าง 25% มีแนวโน้มค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 24.42% ส่วนการใช้ต่าง 100, 20, 15 และ 30% ให้ค่าเฉลี่ยรองลงมา คือ 19.06, 18.80, 17.26 และ 16.66 % ตามลำดับ แสดงว่าการสะaponifiเคชันโดยใช้ต่าง 25% (น้ำหนัก/น้ำหนักของสารสกัด) มีแนวโน้มให้ปริมาณแคโรทีนอยด์สูงกว่าวิธีเดิม

จากภาพ 4.3 และตาราง ง.2 ในภาคผนวก ง. ซึ่งแสดง %relative recovery ที่ได้จากการสกัดโดยใช้การสะaponifiเคชันวิธีเดิม (ต่าง 100%), การใช้ต่าง 30, 25, 20 และ 15% (น้ำหนัก/น้ำหนักของสารสกัด) ไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ (ภาคผนวก ข) พบว่าผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับปริมาณแคโรทีนอยด์ ที่สกัดได้ คือการใช้ต่าง 100, 30, 25, 20 และ 15% (น้ำหนัก/น้ำหนักของสารสกัด) ให้ %relative recovery ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดย %relative recovery จากการใช้ต่าง 25% (น้ำหนัก/น้ำหนักของสารสกัด) มีแนวโน้มให้ค่าเฉลี่ยมากที่สุด เท่ากับ 54.21% ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับ พัชรินทร์และคณะ (2548) ที่รายงานไว้ว่า การใช้ต่าง 100% ให้ %relative recovery เท่ากับ 52% ส่วนการสะaponifiเคชันโดยใช้ต่าง 20, 30, 100 และ 15% ให้ค่าเฉลี่ยรองลงมา คือ 38.89, 38.42, 35.60 และ 31.59% ตามลำดับ แสดงว่าการสะaponifiเคชันโดยใช้ต่าง 25% มีแนวโน้มสกัดแคโรทีนอยด์ได้สูงกว่าวิธีเดิม

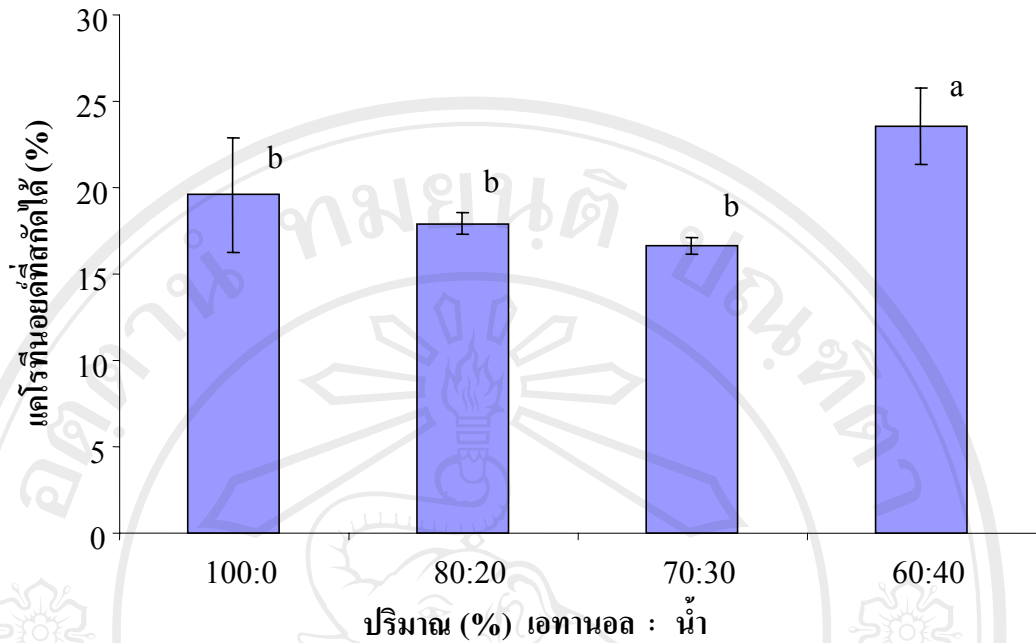
การใช้ต่างที่มากเกินไป อาจเป็นสาเหตุในการทำลายแคโรทีนอยด์ โดย Kimura และคณะ (1990) และ Craft และ Granado (1993) ได้รายงานไว้ว่า การใช้ความเข้มข้นของด่างต่ำเท่ากับ 20% ร่วมกับการใช้เวลาที่ทำปฏิกิริยาสั้น อุณหภูมิต่ำ ไม่มีแสง และการใช้สาร antioxidant ที่ไม่มากจนเกินไป จะสามารถป้องกันการสูญเสียแคโรทีนอยด์ได้ เช่นเดียวกับ Fernandez และคณะ (2000) ที่มีการรายงานไว้ว่าการใช้โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 17% (w/v) ในสารละลาย เมทานอล ในขั้นตอนการทำปฏิกิริยาสะaponifiเคชัน จะทำให้ความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ที่ได้น้อยลง ซึ่งจากการศึกษานี้ พบว่ามีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์สูงถึง 100% (w/w) ในสารละลายเอทานอล 100% (วิธีเดิม) ทำให้เกิดการสูญเสียแคโรทีนอยด์

ดังนั้น ปริมาณต่างที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาสะaponifiเคชันในกระบวนการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ คือการใช้ต่าง 100 กรัมต่อ 400 กรัมของสารสกัดแคโรทีนอยด์ หรือใช้ต่าง 25% (กรัมของต่าง/100 กรัมสารสกัดแคโรทีนอยด์)

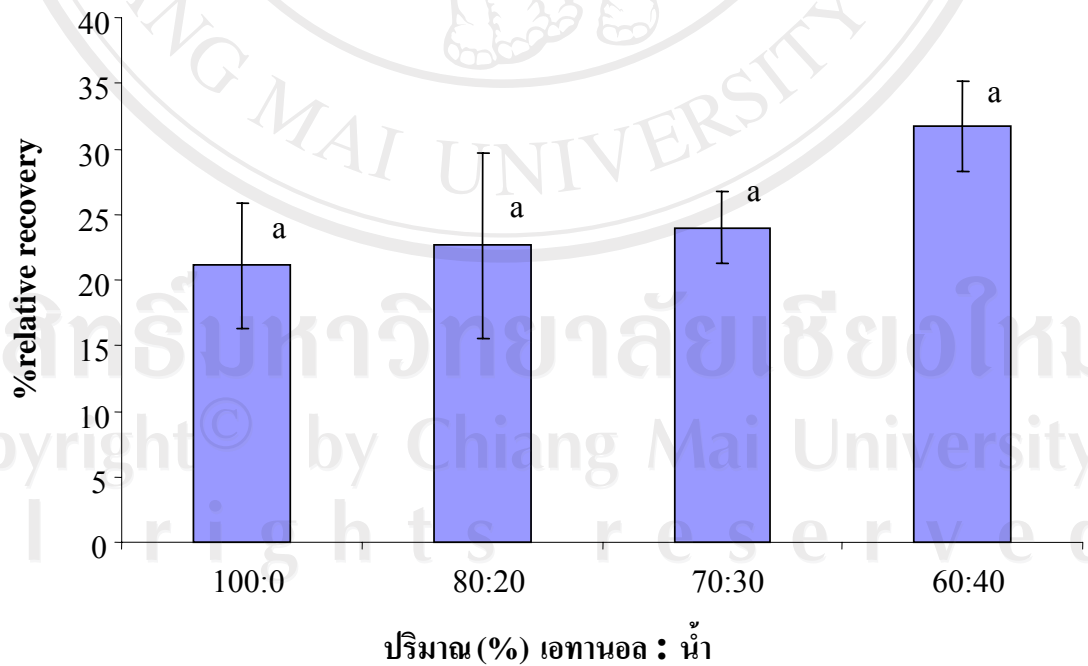
4.2 ผลการศึกษาการใช้น้ำเพื่อทดแทนเอทานอลบางส่วนเพื่อเป็นตัวทำละลายต่างในการ ทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน

การลดปริมาณเอทานอลที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันจะช่วยทำให้ต้นทุนการผลิต สึจากแคโรทีนอยด์ต่ำลงได้ เนื่องจากเอทานอลเป็นสารเคมีที่นำมาใช้เป็นปริมาณมากในการทำ ปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันมีราคาสูง ซึ่งการลดเอทานอลลงสามารถทำได้โดยการใช้น้ำทดแทน เนื่องจากน้ำมีสมบัติในการเป็นตัวทำละลายประเภทหนึ่ง มีค่า polarity หรือความมีขั้วสูงกว่า เอทานอล (Smallwood, 1996) ดังนั้นเมื่อใช้ตัวทำละลายต่างเป็นเอทานอลบางส่วน ผสมกับน้ำ น้ำจะช่วยทำให้การละลายของด่างดีขึ้น สามารถลดปริมาณเอทานอลลงได้ นอกจากนี้ น้ำยังมีราคา ถูก และปลอดภัย

จากการศึกษาเบื้องต้น พบว่า การใช้น้ำทดแทนมากกว่า 40% จะไม่ได้สบู่เกิดขึ้น และสาร ผสมเกิดการแยกชั้นอย่างชัดเจน แสดงว่าปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ การ ใช้น้ำ ซึ่งเป็นสารมีขั้ว ไม่สามารถนำมาแทนเอทานอลทั้งหมดในการเป็นตัวทำละลายต่างได้ เนื่องจาก การทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับด่าง ซึ่งถ้าใช้ น้ำทั้งหมดในการเป็นตัวทำละลายต่าง จะละลายไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นสารไม่มีขั้วไม่ได้ ดังนั้น ปริมาณของน้ำสูงสุดที่จะสามารถใช้ทดแทนเอทานอลได้คือ 40% จึงได้ศึกษาเปรียบเทียบกับ การ ใช้เอทานอล 100% กับการใช้เอทานอลผสมกับน้ำที่สัดส่วนต่างๆ คือ เอทานอล 80% + น้ำ 20%, เอทานอล 70% + น้ำ 30% และเอทานอล 60% + น้ำ 40% การหาประสิทธิภาพการทดแทน เอทานอลด้วยน้ำ โดยการหาปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ได้จากการสกัดเมื่อทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน โดยใช้สารละลายทั้ง 4 ชนิด และค่า relative recovery ได้ผลดังภาพ 4.4 และ 4.5



ภาพ 4.4 ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ได้จากการทดแทนเอทานอลด้วยน้ำที่อัตราส่วนต่างๆ



ภาพ 4.5 ค่า relative recovery ของแคโรทีนอยด์หลังจากการสะปอนิฟิเคชันโดยการทดแทนเอทานอลด้วยน้ำที่อัตราส่วนต่างๆ

ปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ได้จากการทดแทนเอทานอลด้วยน้ำ 40% (เอทานอล 60% + น้ำ 40%) สูงกว่าวิธีการใช้เอทานอล 100% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาคผนวก ข) ซึ่งแสดงว่าการสaponification โดยใช้เอทานอล 60% + น้ำ 40% นอกจากจะลดการใช้เอทานอลในปฏิกิริยาสaponification แล้วยังสามารถสกัดแคโรทีนอยด์ได้มากกว่าการใช้เอทานอล 100% ($P \leq 0.05$)

จากผลการคำนวณ %relative recovery ของแคโรทีนอยด์ (ภาคผนวก ค และภาพ 4.5) พบว่า การสaponification โดยใช้ตัวทำละลายที่มีสัดส่วนเอทานอลต่อน้ำ เท่ากับ 100:0, 80:20, 70:30 และ 60:40 ไม่มีผลต่อ %relative recovery ($p > 0.05$) ซึ่ง %relative recovery สูงสุดเท่ากับ 31.73% ได้จากการใช้เอทานอลต่อน้ำในสัดส่วน 60:40 ส่วนการใช้เอทานอลต่อน้ำในสัดส่วน 70:30, 80:20 และ 100:0 ให้ค่าเฉลี่ยรองลงมา คือ 24.01, 22.62 และ 21.09 % ตามลำดับ (ภาคผนวก ข และภาพ 4.5) แสดงว่าการสaponification โดยการใช้เอทานอลต่อน้ำในสัดส่วน 60:40 มีแนวโน้มให้ %relative recovery สูงกว่าวิธีเดิม

ผลการศึกษาปริมาณและ %relative recovery ของแคโรทีนอยด์นี้ สอดคล้องกับการทดลองของ Granada และคณะ (2001) ซึ่งได้ศึกษาการทำสaponification เพื่อแยกแคโรทีนอยด์ในตัวอย่งผัก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะในการทำสaponification โดย Granada และคณะ (2001) ได้รายงานไว้ว่า สามารถลดเวลาในการสaponification และลดต้นทุนในกระบวนการได้สูงถึง 80-90% โดยไม่ทำให้แคโรทีนอยด์ที่ได้ลดลง แสดงว่าการสaponification โดยการใช้สภาวะต่างๆ เช่น ปริมาณสารเคมี ความเข้มข้นของด่าง อุณหภูมิ และเวลาที่ไม่เหมาะสม อาจจะทำให้แคโรทีนอยด์สูญเสียไป ลดลง หรือเกิดการ isomerize ซึ่งอาจทำให้ไม่สามารถดูดกลืนแสงได้ถูกต้อง ณ ความยาวคลื่นที่กำหนด จึงทำให้ความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ที่ได้เปลี่ยนไป (Kimura *et. al.*, 1990)

จากการศึกษาการใช้ น้ำทดแทนเอทานอลเพื่อเป็นตัวทำละลายต่างในการทำปฏิกิริยาสaponification นี้สรุปได้ว่า การใช้เอทานอลต่อน้ำในสัดส่วน 60:40 เป็นตัวทำละลายต่าง เป็นสัดส่วนของตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการสaponification สกัดจากแคโรทีนอยด์ที่สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เฮกเซนที่อุณหภูมิต่ำ

4.3 ผลการใช้ น้ำทดแทนเอทานอลเพื่อเป็นตัวทำละลายต่างในการทำปฏิกิริยาสaponification ร่วมกับการลดปริมาณต่างที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสaponification

จากผลการศึกษาการใช้ น้ำทดแทนเอทานอลเพื่อเป็นตัวทำละลายต่างในการทำปฏิกิริยาสaponification ในข้อ 4.2 พบว่า การใช้เอทานอลต่อน้ำในสัดส่วน 60:40 เป็นตัวทำละลายต่าง

(ใช้ปริมาณต่างในการทำปฏิกิริยา 100% ของสารสกัด) เป็นสัดส่วนของตัวทำละลายที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการสะปอนิฟิเคชันสีจากแคโรทีนอยด์ที่สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบโดยการใช้เฮกเซนที่อุณหภูมิต่ำ แต่การลดปริมาณเอทานอลลง อาจมีผลทำให้การใช้ต่าง 25% ของสารสกัด (จากผลการศึกษาข้อ 4.1) ไม่เหมาะสมอีกต่อไป ดังนั้น จึงได้ศึกษาหาปริมาณต่างที่เหมาะสมที่สุดเมื่อใช้ตัวทำละลายเป็นเอทานอลต่อน้ำในสัดส่วน 60:40 ในการทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน โดยการลดปริมาณต่างที่ใช้ลงให้มากที่สุดเพื่อให้ต้นทุนการผลิตสีจากแคโรทีนอยด์ที่สกัดจากน้ำมันปาล์มดิบต่ำที่สุด

จากการทดลองศึกษาเบื้องต้น โดยการใช้ตัวทำละลายต่างเป็นเอทานอล 60% + น้ำ 40% ร่วมกับการใช้ต่างปริมาณ 25% ของสารสกัด พบว่า ปฏิกิริยาเกิดขึ้นไม่สมบูรณ์ คือสารละลายเกิดการแยกชั้นอย่างชัดเจนและไม่มีสบู่ออกขึ้น จึงทำการเพิ่มปริมาณต่างขึ้น ซึ่งพบว่าการใช้ตัวทำละลายต่างเป็นเอทานอลต่อน้ำในสัดส่วน 60:40 ร่วมกับการใช้ต่างปริมาณ 90% ของสารสกัด เป็นสัดส่วนของต่างปริมาณต่ำสุดที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันที่สมบูรณ์ เมื่อหาประสิทธิภาพการทดแทนเอทานอลด้วยน้ำ ทำโดยการหาปริมาณแคโรทีนอยด์และ %relative recovery ได้ผลดังตาราง 4.2 เมื่อนำไปวิเคราะห์ผลทางสถิติ (ภาคผนวก ข) พบว่าการสะปอนิฟิเคชันจากวิธีการใช้เอทานอล 60% ผสมน้ำ 40% ร่วมกับการใช้ต่าง 90% กับการสะปอนิฟิเคชันที่ได้จากการใช้เอทานอล 60% ผสมน้ำ 40% ร่วมกับการใช้ต่าง 100% (ข้อมูลอยู่ในผลการศึกษาข้อ 2 และภาพ 4.4) ไม่มีผลต่อปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ได้ ($P > 0.05$)

เมื่อทำการเปรียบเทียบ %relative recovery จากการสะปอนิฟิเคชันที่ได้จากการใช้เอทานอล 60% ผสมน้ำ 40% ร่วมกับการใช้ต่าง 100% เทียบกับการใช้เอทานอล 60% ผสมน้ำ 40% ร่วมกับการใช้ต่าง 90% (ภาคผนวก ข) พบว่าผลการทดลองมีแนวโน้มไปในทางเดียวกันกับปริมาณแคโรทีนอยด์ที่ได้ โดยการสะปอนิฟิเคชันจากวิธีการใช้เอทานอล 60% ผสมน้ำ 40% ร่วมกับการใช้ต่าง 90% กับการสะปอนิฟิเคชันที่ได้จากการใช้เอทานอล 60% ผสมน้ำ 40% ร่วมกับการใช้ต่าง 100% ไม่มีผลต่อ %relative recovery ที่ได้ ($P > 0.05$)

ดังนั้น การสะปอนิฟิเคชันควรใช้เอทานอล 60% ผสมน้ำ 40% ร่วมกับการใช้ต่าง 90% เพื่อลดปริมาณการใช้ต่างให้น้อยที่สุด

ซึ่งการลดเอทานอลลง 40% ในการเป็นตัวทำละลายต่าง ไม่สามารถที่จะใช้ปริมาณต่างเป็น 25% เหมือนกับผลการศึกษาในข้อที่ 4.1 และภาพ 4.2 ได้ เนื่องจากการใช้น้ำ ซึ่งเป็นสารมีขี้ไม่สามารถนำมาแทนเอทานอลทั้งหมดในการเป็นตัวทำละลายต่างได้ เนื่องจาก การทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันเป็นการทำปฏิกิริยาระหว่างไตรกลีเซอไรด์กับต่าง ซึ่งถ้าใช้น้ำทั้งหมดในการเป็นตัวทำละลายต่าง จะละลายไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งเป็นสารไม่มีขี้ไม่ได้

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแคโรทีนอยด์และ %relative recovery ของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการสะปอนิฟิเคชัน โดยใช้เอทานอล 100% และใช้ด่าง 25% พบว่า การใช้เอทานอล 100% และใช้ด่าง 25% ให้ปริมาณแคโรทีนอยด์และค่า relative recovery สูงกว่า (ผลการศึกษาคือข้อ 4.1) อย่างไรก็ตามจะต้องพิจารณาต้นทุน (ข้อ 4.5) ประกอบด้วยน้ำมันปาล์มดิบ เฮกเซน เอทานอล โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคลอไรด์ เนื่องจากเอทานอลมีราคาสูงกว่าด่างมาก

จากนั้นจึงนำของเหลือทิ้ง คือ สบู่ และกลีเซอรินที่ได้จากการสะปอนิฟิเคชันโดยวิธีการใช้เอทานอล 60% + น้ำ 40% ร่วมกับการใช้ด่าง 90% ของสารสกัด มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพเปรียบเทียบกับการใช้วิธีเดิม (เอทานอล 100% ร่วมกับการใช้ด่าง 100%) ดังตาราง 4.4 และ 4.5

ตาราง 4.2 ปริมาณแคโรทีนอยด์และ %relative recovery ที่ได้จากการใช้เอทานอล 60% ผสมน้ำ 40% ร่วมกับการใช้ด่าง 90% ในการทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน

| วิธีที่ใช้ | แคโรทีนอยด์ ที่ได้จากสารสกัด (%) | % relative recovery |
|---|-------------------------------------|---------------------|
| เอทานอล 60% + น้ำ 40% + ด่าง 100% (ผลการศึกษาคือข้อ 4.2) | 23.56 ± 2.21 | 31.73 ± 3.46 |
| เอทานอล 60% + น้ำ 40% + ด่าง 90%* | 19.41 ± 0.29 | 29.06 ± 5.93 |

*ข้อมูลได้จากการศึกษา 2 ซ้ำ

4.4 ผลการศึกษาปริมาณและคุณภาพจากของเหลือทิ้งในกระบวนการผลิตแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ

จากกระบวนการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ (พัชรินทร์และคณะ, 2548) พบว่ามีของเหลือทิ้งเกิดขึ้นในกระบวนการสกัดเป็นปริมาณมาก ได้แก่ ไขมัน สบู่ และกลีเซอริน ดังนั้นจึงทำการศึกษาปริมาณและคุณภาพของของเหลือทิ้งที่เกิดขึ้น โดยศึกษาปริมาณและคุณภาพของไขมันที่ได้จากขั้นตอนการกรอง และศึกษาปริมาณและคุณภาพของกลีเซอรินและสบู่จาก

กระบวนการสะปอนิฟิเคชันจากวิธีการสะปอนิฟิเคชันแบบเดิม (เอทานอล 100% + ต่าง 100%) และวิธีการสะปอนิฟิเคชันโดยการใช้เอทานอล 60% + น้ำ 40% ร่วมกับการใช้ต่าง 90%

4.4.1 ไขมัน

จากกระบวนการผลิตแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ ในขั้นตอนการกรองพบว่ามีไขมันเหลือทิ้งเกิดขึ้นเป็นปริมาณมาก และเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการผลิตแคโรทีนอยด์ คือ -10 องศาเซลเซียส จึงทำให้กรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบในน้ำมันปาล์มมีสถานะทั้งเป็นของแข็งหรือของเหลวขึ้นกับจุดหลอมเหลวของไขมันแต่ละชนิด กรดไขมันที่มีสถานะเป็นของเหลวก็จะละลายไปกับแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ ส่วนกรดไขมันที่เป็นของแข็งจะถูกแยกออกไปโดยการกรองผ่านกระดาษกรอง ซึ่งได้นำไปศึกษาปริมาณและทำการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพต่อไป

ปริมาณไขมันที่กรองได้เท่ากับ $63.22 \pm 1.23\%$ (กรัม/100 กรัมของน้ำมันปาล์มดิบ) ซึ่งสามารถที่จะนำไปผลิตเป็นน้ำมันพืชบริโภคได้ และกรดไขมันในไขมันที่กรองได้บางชนิดอาจนำไปใช้ประโยชน์อื่นต่อไปได้ เช่น กรดปาล์มมิติกสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง น้ำมันเครื่อง วัสดุกันซึม และสารเติมแต่งชนิดที่มีความปลอดภัยเมื่อใช้กับอาหาร (food grade) ส่วนกรดสเตียริกสามารถนำไปใช้เป็น เนยขาว vanaspati และไขมันสำหรับใช้เป็นส่วนผสมในการทำงานนมอบ (Corley, 2003)

การที่ปริมาณไขมันที่กรองได้จากกระบวนการผลิตแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบในขั้นตอนการกรองมีมาก แสดงว่าวิธีการสกัดที่ใช้สามารถแยกไขมันออกไปได้ดี โดยอุณหภูมิที่ใช้ในขั้นตอนการกรองเท่ากับ -10 องศาเซลเซียส จึงสามารถกรองกรดไขมันในน้ำมันปาล์มชนิดที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า -10 องศาเซลเซียสเอาไว้ได้ ซึ่งเมื่อนำไขมันที่กรองได้มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ พบว่ามีสมบัติแตกต่างไปจากเกณฑ์ที่กำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มดิบ (ตาราง 4.3) เล็กน้อย เนื่องจากชนิดของกรดไขมันในไขมันที่กรองได้ คือ กรดปาล์มมิติกและกรดสเตียริก ซึ่งเป็นกรดไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า -10 องศาเซลเซียส

ตาราง 4.3 สมบัติทางกายภาพและเคมีของไขมันที่กรองได้จากกระบวนการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ

| สมบัติ | เกณฑ์ที่กำหนดตามมาตรฐาน | | ไขมันที่กรองได้ |
|--|-------------------------|-------------------------|-----------------|
| | ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม | | |
| | น้ำมันปาล์มธรรมชาติ | น้ำมันปาล์มผ่านกรรมวิธี | |
| ความหนาแน่นสัมพัทธ์ ที่ 50/20°C | 0.891-0.899 | 0.891-0.899 | 0.864 |
| ดัชนีหักเห ที่ n_D 50°C | 1.455-1.456 | 1.455-1.456 | 1.413 |
| จุดขุ่น (°C) | ไม่กำหนด | ไม่กำหนด | 28.34 |
| ปริมาณน้ำ ที่อุณหภูมิ 105°C (%) ไม่เกิน | 0.2 | 0.2 | 0.03 |
| ค่าไอโอดีนแบบวิสต์ (กรัม/100 กรัม) | 50-55 | 50-55 | 40.27 |
| ค่าสะพอนิไฟเคชัน (มิลลิกรัม/กรัม) | 190-209 | 190-209 | 149.55 |
| สารที่สะพอนิไฟด์ไม่ได้ (กรัม/กิโลกรัม) ไม่เกิน | 12 | 12 | 5.61 |
| ค่าของกรด (มิลลิกรัม/กรัม) ไม่เกิน | 4 | 0.6 | 5.08 |
| ค่าเปอร์ออกไซด์ (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) ไม่เกิน | 10 | 10 | 3.65 |
| สบู่ (%) ไม่เกิน | 0 | 0.005 | ไม่พบ |
| บิตาแคโรทีน (มิลลิกรัม/กิโลกรัม) | 500 ถึง 2000 | ไม่กำหนด | 312.65 |

ตารางที่ 4.3 พบว่า ไขมันเหลือทิ้งที่กรองได้มีค่าสารที่สะพอนิไฟด์ไม่ได้ อยู่ในเกณฑ์คุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งสารที่สะพอนิไฟด์ไม่ได้ คือ สารประกอบที่เหลืออยู่ภายหลังจากการทำสะพอนิไฟด์แล้ว ซึ่งจะเป็นสารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน แอลกอฮอล์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง วิตามินที่ละลายได้ในน้ำมัน และสเตอรอลจำพวกคอเลสเตอรอลและไฟโตสเตอรอล (นิธิยา, 2548)

ค่าเปอร์ออกไซด์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของน้ำมันปาล์มดิบ โดยค่าเปอร์ออกไซด์เป็นการวัด degree of lipid oxidation โดยหาปริมาณเปอร์ออกไซด์ที่มีอยู่ในไขมันหรือน้ำมัน สารเปอร์ออกไซด์จะเกิดขึ้นในน้ำมันอย่างช้าๆ ในระหว่างที่ไขมันหรือน้ำมันถูกเก็บไว้ให้สัมผัสกับอากาศ เรียกว่าเกิด oxidative rancidity เป็นการเกิดออกซิเดชันขึ้นที่พันธะคู่ของกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว ดังนั้นไขมันหรือน้ำมันที่มีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวเป็นองค์ประกอบอยู่ในโมเลกุลมากหรือมีค่าไอโอดีนสูง จะเกิด oxidative rancidity ได้ง่าย จึงนิยมวัดค่าเปอร์ออกไซด์เพื่อใช้ชี้บ่งการเกิดออกซิเดชันของไขมันหรือน้ำมัน เพราะเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยา

ออโตออกซิเดชัน (นิธิยา, 2548) ค่าไอโอดีนที่ได้มีค่าต่ำ แสดงว่ามีกรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวอยู่เป็นปริมาณน้อย ดังนั้นจึงเกิด oxidative rancidity ได้ยาก ค่าที่ได้จากการทดลองให้ค่าเพอร์ออกไซด์ไกล์เคียงกับน้ำมันเมล็ดราสเบอร์รี่ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 8.25 มิลลิกรัมสมมูลเพอร์ออกไซด์/กิโลกรัม ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับค่าที่กำหนดสำหรับน้ำมันพืชที่วางขายตามท้องตลาด (Oomah et al., 2000)

จากการนำไขมันเหลือทิ้งไปวิเคราะห์หาปริมาณสบู่ ไม่พบปริมาณสบู่ในไขมันเหลือทิ้งที่ได้ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์คุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยมาตรฐานน้ำมันปาล์มธรรมชาติกำหนดไว้ให้มีค่าไม่เกิน 0%

จุดขุ่นมีค่าเท่ากับ 28.34 องศาเซลเซียส อยู่ในเกณฑ์คุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งจากมาตรฐานน้ำมันปาล์มธรรมชาติไม่ได้กำหนดค่าของจุดขุ่นไว้ จะเห็นว่าจุดขุ่นที่ได้มีค่าค่อนข้างสูง เนื่องจากน้ำมันมีปริมาณสายโซ่ยาว (long chain) อยู่เป็นจำนวนมาก (Benjumea et al., 2007) ซึ่งให้ผลการทดลองใกล้เคียงกับการศึกษาไปโอคิเซลที่ได้จากน้ำมันปาล์ม ที่มีจุดขุ่นอยู่ที่ 16 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เริ่มเกิดผลึกและเป็น เมทิลเอสเทอร์ที่มีความอิมตัวสูง (Benjumea et al., 2007) โดยจุดขุ่นเป็นอุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มเกิดเป็นผลึก ทำให้มีความขุ่นเกิดขึ้น (นิธิยา, 2548)

น้ำและสารที่ระเหยได้มีค่าเท่ากับ 0.03% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์คุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งจากมาตรฐานน้ำมันปาล์มธรรมชาติกำหนดไว้ให้มีค่าไม่เกิน 0.2% แสดงว่าน้ำมันที่ได้มีค่าความชื้นต่ำ จึงจะมีอายุการเก็บรักษาที่ดี (Akinayo and Bayer, 2002) โดยปริมาณน้ำและสารที่ระเหยได้จัดเป็นค่าที่แสดงถึงสิ่งปนเปื้อนในน้ำมันค่าหนึ่งที่ทางสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและ CODEX ได้กำหนดไว้ เนื่องจากปริมาณน้ำและสารระเหยได้ที่มีอยู่จัดเป็นสิ่งปนเปื้อนชนิดหนึ่งของน้ำมันที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพที่ไม่มีประสิทธิภาพ และน้ำที่ปนเปื้อนอยู่นั้นอาจมีผลให้น้ำมันเกิดการหืน โดยวิธีชีวภาพ (hydrolytic rancidity) ต่อไปได้ (อรทัย, 2541)

ค่าความหนาแน่นมีค่าเท่ากับ 0.864 กรัม/มิลลิลิตร ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเล็กน้อย โดยมาตรฐานน้ำมันปาล์มธรรมชาติกำหนดไว้ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0.891-0.899 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากกรดไขมันอิสระบางตัวถูกกรองออกไปในขั้นตอนการสกัด ทำให้ค่าความหนาแน่นที่ได้จากกรดไขมันที่มีในไขมันเหลือทิ้งเปลี่ยนไปเล็กน้อย ซึ่งค่าความหนาแน่นที่ได้ให้ค่าใกล้เคียงกับน้ำมันสกัดจากดักแด้ไหมพันธุ์จุด 1 และพันธุ์จุด 5 ที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ มีค่าเท่ากับ 0.8970 และ 0.8863 กรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ (อรทัย, 2541) และมีค่า

ใกล้เคียงกับน้ำมัน Moringa ซึ่งมีค่าระหว่าง 0.899-0.911 กรัม/มิลลิลิตร (Lalas และ Tsaknis, 2002)

ค่าดัชนีหักเหมีค่าเท่ากับ 1.413 ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเล็กน้อย โดยมาตรฐานน้ำมันปาล์มธรรมชาติกำหนดไว้ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 1.455-1.456 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโดยปกติการวัดค่าการหักเหของแสงนิยมวัดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แต่ถ้าเป็นไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงจะต้องทำการวัดที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งไขมันเหลือทิ้งที่ได้จำเป็นต้องวัดการหักเหของแสงที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าการหักเหของแสงลดลง (นิธิยา, 2548) ทั้งนี้ค่าดัชนีหักเหมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันสกัดจากคอกัดแค้ใหม่พันธุ์จุด 1 และพันธุ์จุด 5 ที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์ มีค่าเท่ากับ 1.5 (อรทัย, 2541)

ค่าไอโอดีนของไขมันเหลือทิ้งมีค่าเท่ากับ 40.27 กรัม/100 กรัม ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยมาตรฐานน้ำมันปาล์มธรรมชาติกำหนดไว้ให้มีค่าไม่เกิน 50-55 กรัม/100 กรัม ทั้งนี้ในไขมันเหลือทิ้งประกอบด้วยกรดไขมันไม่อิ่มตัวน้อย จึงมีค่าไอโอดีนน้อย (Noller, 1965) โดยค่าไอโอดีนเป็นค่าที่แสดงความสัมพันธ์ของจำนวนพันธะคู่ที่ทำปฏิกิริยากับไอโอดีน และเป็นปัจจัยที่เป็นตัวบ่งชี้ว่าน้ำมันแต่ละชนิดมีสมบัติที่ดีในการเป็นน้ำมันชักแห้ง (drying oil) มากเพียงใด (นงนภัศ, 2549) ปกติน้ำมันที่มีค่าไอโอดีนมากกว่า 160-230 จัดอยู่ในกลุ่มน้ำมันชักแห้ง (drying oil) ซึ่งมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวมาก มีสมบัติแห้งเร็ว น้ำมันที่มีค่าไอโอดีนระหว่าง 125-150 จัดอยู่ในกลุ่มน้ำมันกึ่งชักแห้ง (semi-drying oil) และน้ำมันที่มีค่าไอโอดีนต่ำกว่า 120 จัดเป็นน้ำมันไม่ชักแห้ง (non-drying oil) มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่น้อย (Noller, 1965) ซึ่งค่าไอโอดีนจากการทดลองมีค่าเท่ากับ 40.27 กรัม/100 กรัม ดังนั้นจึงจัดน้ำมันเหลือทิ้งที่ได้เป็นน้ำมันกลุ่มน้ำมันไม่ชักแห้งและมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวอยู่น้อย ซึ่ง Ajiwe และคณะ (1998) ได้รายงานว่ ในน้ำมันที่สกัดได้จากส่วนที่เป็นเนื้อ (pulp) ของผล *Canarium schweinfurtii* มีค่าไอโอดีนเท่ากับ 100.5 มิลลิกรัม/100 กรัม จัดอยู่ในกลุ่มน้ำมันไม่ชักแห้ง และควรนำน้ำมันที่ได้ไปผลิตเป็นสบู่ก้อนและน้ำยาซักกรองเท้า ดังนั้น น้ำมันเหลือทิ้งมีค่าไอโอดีนเท่ากับ 40.27 กรัม/100 กรัม ควรนำไปผลิตเป็นสบู่ก้อนและน้ำยาซักกรองเท้าเช่นกัน

ค่าสะaponิฟิเคชันมีค่าเท่ากับ 149.55 มิลลิกรัม/กรัม ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มธรรมชาติ แสดงว่ามีไตรเอซิลกลีเซอรอล (triacylglycerol) น้ำหนักโมเลกุลต่ำอยู่น้อย (Oomah et al., 2000) การศึกษานี้ให้ค่าใกล้เคียงกับการทดลองของ Yonga และ Salimon (2006) ที่รายงานไว้ว่าน้ำมันเมล็ด perah มีค่าสะaponิฟิเคชันต่ำ เท่ากับ 150.90 มิลลิกรัม/กรัม โดยค่าสะaponิฟิเคชันป็นดัชนีแสดงถึงน้ำหนักโมเลกุลโดยเฉลี่ยของกรด

ไขมันชนิดต่างๆที่มีอยู่ในน้ำมัน (ผาณิต, 2528) น้ำมันที่มีค่าสะพอนิฟิเคชันต่ำ ควรนำไปผลิตเป็นสบู่เหลวและแชมพูสระผม (Miceli and Leo, 1996)

ปริมาณปีตาแคโรทีนมีค่าเท่ากับ 312.65 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์คุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมมาก เนื่องจากแคโรทีนออกซ์ส่วนใหญ่ละลายไปอยู่ในเฮกเซนที่ทำการสกัดแคโรทีนออกซ์

ค่าความเป็นกรดมีค่าเท่ากับ 5.08 มิลลิกรัม/กรัม มีค่าสูงกว่าเกณฑ์คุณภาพของน้ำมันปาล์มดิบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเล็กน้อย ซึ่งอาจเนื่องมาจากความล่าช้าในการขนส่งน้ำมันปาล์มดิบ ทั้งนี้มีรายงานว่าเมื่อตัดทะลายปาล์มออกจากต้น กรดไขมันอิสระจะเพิ่มบริเวณส่วนของเปลือกผลปาล์มน้ำมันประมาณ 1-5% ภายในเวลาประมาณ 20 นาทีหลังจากตัดผลปาล์ม (เอกชัย, 2548) นอกจากนี้ Umerie และคณะ (2004) ได้รายงานไว้ว่ากรดไขมันอิสระบางส่วนอาจมาจากปฏิกิริยาของเอนไซม์ไลโปไลติก (lipolytic enzymes) ที่มีอยู่ในผลปาล์ม ซึ่งกรดไขมันอิสระอาจเพิ่มขึ้นสูงถึง 60% หลังจากตัดผลปาล์มออกจากต้น ภายใน 1 ชั่วโมง

จากการใช้อุณหภูมิในการสกัดเท่ากับ -10 องศาเซลเซียส ดังนั้น กรดไขมันในไขมันที่กรองได้จะเป็นกรดปาล์มมิติกและกรดสเตียริก ซึ่งมีจุดหลอมเหลวสูงกว่า -10 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาจากสมบัติทางกายภาพและเคมีของไขมันเหลือทิ้ง ซึ่งมีสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันปาล์มธรรมชาติ ดังนั้น ผู้ผลิตควรนำไขมันนี้ไปใช้ในอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง น้ำมันเครื่อง วัสดุกันซึม สารเติมแต่งชนิดที่มีความปลอดภัยเมื่อใช้กับอาหาร (food grade) ใช้ทำเนยขาว และใช้เป็นไขมันสำหรับผสมในการทำขนมอบ (Corley and Tinker, 2003) และที่น่าสนใจ เนื่องจากกรดไขมันส่วนใหญ่ คือ กรดปาล์มมิติกและกรดสเตียริก จึงจะนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกรดปาล์มมิติกและกรดสเตียริก ซึ่งมีราคาสูงถึง 3,710 บาท/กิโลกรัม และ 1,680 บาท/กิโลกรัม ตามลำดับ

4.4.2 กลีเซอริน

จากกระบวนการสกัดแคโรทีนออกซ์ จัดกลีเซอรินเป็นของเหลือทิ้ง การศึกษาปริมาณและสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของกลีเซอริน (ตาราง ง.8 ในภาคผนวก ง.) จะใช้เป็นข้อมูลในการนำกลีเซอรินไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้

จากตาราง ง.8 ในภาคผนวก ง. พบว่ากลีเซอรินจากกระบวนการสะพอนิฟิเคชันด้วยการใช้เอทานอล 100% ร่วมกับการใช้ด่าง 100% และจากวิธีการใช้เอทานอล 60% ผสมน้ำ 40% ร่วมกับการใช้ด่าง 90% มีปริมาณมากถึง 85.69% และ 68.27 % ตามลำดับ ซึ่งกลีเซอรินดิบที่ได้

เป็นกลีเซอรินที่ผ่านการระเหยน้ำออกแล้วที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง จนได้เป็นของเหลวข้นหนืด จากนั้นได้นำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี ดังตาราง 4.4

ตาราง 4.4 สมบัติทางกายภาพและเคมีของกลีเซอรินดิบจากกระบวนการสะปอนิฟิเคชัน

| สมบัติ | เกณฑ์ที่กำหนดตามมาตรฐาน | | กลีเซอรินดิบ | กลีเซอรินดิบ |
|---------------------------|-------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------------|
| | ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม | | จากการใช้วิธี | จากการใช้ |
| | กลีเซอรินดิบ | กลีเซอรินดิบ | เดิม | เอทานอล |
| | จากการแยกสลายไขมัน | จากอุตสาหกรรมสบู่ | (เอทานอล 100% + ต่าง 100%) | 60% + น้ำ 40% + ต่าง 90% |
| กลีเซอรอล (%) ไม่น้อยกว่า | 88.0 | 80.0 | 3.02 | 2.72 |
| เถ้า (%) ไม่เกิน | 1.0 | 10.0 | 27.99 | 35.53 |
| น้ำ (%) ไม่เกิน | - | 10.0 | 89.08 | 92.10 |
| ค่าความเป็นกรด-ด่าง | - | - | 13.14 | 12.78 |
| ปริมาณสบู่ (%) | - | - | 44.12 | 59.34 |

จากตาราง 4.4 พบว่า กลีเซอรินดิบที่ได้จากกระบวนการสะปอนิฟิเคชันทั้งจากวิธีเดิม (เอทานอล 100% ร่วมกับการใช้ต่าง 100%) และจากวิธีการใช้เอทานอล 60% ผสมน้ำ 40% ร่วมกับการใช้ต่าง 90% มีปริมาณกลีเซอรอลเท่ากับ 3.02% และ 2.72% ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองให้ค่าใกล้เคียงกับกลีเซอรินที่ได้จากการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันเมล็ดปาล์ม มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 8.0-36.3% (Yong, 2001) กลีเซอรินที่ได้จากการแยกสลายไขมันของน้ำมันเมล็ดปาล์ม มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 12-18% และมีค่ากลีเซอรอลจากการผลิตสบู่ต่าง โดยใช้ปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันและการทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันแบบต่อเนื่องอยู่ในช่วง 10-14% และ 18-30% ตามลำดับ ส่วนกลีเซอรอลที่ได้จากกลีเซอรินดิบจากปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน (trans-esterification) มีค่าอยู่ในช่วง 20-25% (Anderson and Hedtke, 1996) นอกจากนี้ Villegas และคณะ (2007) ได้รายงานไว้ว่า กลีเซอรินเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตไบโอดีเซลประมาณ 10%

ปริมาณกลีเซอรอลที่ได้มีค่าต่ำ อาจเนื่องมาจากกระบวนการและระยะเวลาที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากกลีเซอรินยังไม่เหมาะสม คือการใช้อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส จนได้เป็นของเหลวข้นหนืดซึ่งใช้เวลา 4 ชั่วโมง ส่งผลให้ปริมาณเถ้า และปริมาณน้ำ มีค่าไม่เหมาะสมด้วย โดยปริมาณเถ้า ปริมาณน้ำจากการวิเคราะห์มีค่าสูงกว่ามาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยค่ามาตรฐานของกลีเซอรินดิบจากอุตสาหกรรมสบู่กำหนดไว้ให้มีค่าไม่เกิน 10% หากต้องการให้ได้ปริมาณกลีเซอรอล ปริมาณน้ำ และปริมาณเถ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน จำเป็นต้องศึกษาต่อไปถึงวิธีการระเหยน้ำและศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่จะทำให้ได้สมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดย Blytas (1986) ได้รายงานไว้ว่า การนำกลีเซอรินที่มีน้ำเกลือผสมอยู่กลับมาใช้ใหม่ ต้องระเหยเอาน้ำออกโดยการนำไปกลั่นลำดับส่วนและแยกเกลือที่ตกตะกอนออก เพื่อให้สามารถนำกลีเซอรินกลับมาใช้ใหม่ได้

4.4.3 สบู่

ในขั้นตอนการสะปอนิฟิเคชัน พบว่ามีสบู่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งสามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ จึงทำการศึกษาปริมาณและสมบัติทางเคมีและกายภาพของสบู่ที่เกิดขึ้น ได้ผลดังตาราง ง.9 ในภาคผนวก ง.

จากตาราง ง.9 พบว่า ปริมาณสบู่ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการสะปอนิฟิเคชันทั้งจากการใช้เอทานอล 100% ร่วมกับการใช้ด่าง 100% และจากวิธีการใช้เอทานอล 60% ผสมน้ำ 40% ร่วมกับการใช้ด่าง 90% มีปริมาณเท่ากับ 13.18% (กรัม/100 กรัมของสารละลายก่อนนำมาแยกกลีเซอรินและสบู่) และ 10.12% (กรัม/100 กรัมของสารละลายก่อนนำมาแยกกลีเซอรินและสบู่) ของสารผสมทั้งหมดในขั้นตอนการทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี ได้ผลดังตาราง 4.5

ตาราง 4.5 สมบัติทางกายภาพและเคมีของสบู่ที่ได้จากการสะปอนิฟิเคชัน

| สมบัติ | เกณฑ์ที่กำหนด | | สบู่จากการใช้ วิธีเดิม (เอทานอล 100% ด่าง + 100%) | สบู่จากการใช้ เอทานอล 60% + น้ำ 40% + ด่าง 90% |
|------------------------------|---------------------|-----------------------|---|---|
| | ตามมาตรฐาน | | | |
| | ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม | สบู่ซักล้าง ธรรมดา | สบู่ซักล้าง ผสม | |
| ไขมันทั้งหมด (%) ไม่น้อยกว่า | 62.0 | 45.0 | 33.45 | 37.85 |
| ไขมันอิสระ (%) ไม่เกิน | 0.5 | 1.0 | ไม่พบ | ไม่พบ |
| ไฮดรอกไซด์อิสระ (%) ไม่เกิน | 0.1 | 0.2 | 2.94 | 2.48 |

จากตาราง 4.5 พบว่า สบู่ที่ได้จากกระบวนการสะปอนิฟิเคชันจากวิธีเดิม (เอทานอล 100% ร่วมกับการใช้ด่าง 100%) และจากวิธีการใช้เอทานอล 60% ผสมน้ำ 40% ร่วมกับการใช้ด่าง 90% ไม่พบไขมันอิสระ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม แสดงว่าด่างที่ใช้มีปริมาณมากพอที่จะทำปฏิกิริยากับปริมาณไขมันหรือกรดไขมันที่มีอยู่ในสบู่ได้อย่างสมบูรณ์ (กนกพร, 2549)

ไขมันทั้งหมดจากกระบวนการสะปอนิฟิเคชันจากวิธีเดิม (เอทานอล 100% ร่วมกับการใช้ด่าง 100%) และจากวิธีการใช้เอทานอล 60% ผสมน้ำ 40% ร่วมกับการใช้ด่าง 90% มีค่าเท่ากับ 33.45 % และ 37.85% ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยมาตรฐานสบู่ซักล้างผสมกำหนดไว้ให้ไม่น้อยกว่า 45.0% ทั้งนี้อาจเนื่องจากการใช้ไฮดรอกไซด์ในการทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันในปริมาณมาก จึงทำให้ไขมันทั้งหมดมีค่าต่ำ ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Awang (2001) ที่ทำการเพิ่มอัตราส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ขึ้นในแต่ละสูตรของสบู่ที่ผลิตจากปฏิกิริยาไดไฮดรอกซีสเตียริกแอซิด (dihydroxystearic acid) จากน้ำมันปาล์ม ซึ่งเมื่อเพิ่มอัตราส่วนของโซเดียมไฮดรอกไซด์ขึ้น จะทำให้ไขมันทั้งหมดมีค่าลดลง

ปริมาณไฮดรอกไซด์อิสระจากกระบวนการสะปอนิฟิเคชันจากวิธีเดิม (เอทานอล 100% ร่วมกับการใช้ด่าง 100%) และจากวิธีการใช้เอทานอล 60% ผสมน้ำ 40% ร่วมกับการใช้ด่าง 90% มีค่าเท่ากับ 2.94% และ 2.48% ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม โดยมาตรฐานสบู่ซักล้างผสมกำหนดไว้ให้มีค่าไม่น้อยกว่า 0.2% อาจเนื่องมาจาก โดยทั่วไปค่าสะปอนิฟิเคชันของน้ำมันปาล์ม ซึ่งหมายถึงจำนวนด่างที่ใช้ในการไฮโดรไลซ์ไขมันหรือน้ำมันอย่างสมบูรณ์ มีค่าเท่ากับ 190-209 mgKOH/g ซึ่งเทียบได้กับการใช้ด่างเพียง 19-21% เท่านั้นก็เพียงพอที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยาโดยสมบูรณ์ (นิธิยา, 2548) แต่วิธีการที่ใช้ (พัชรินทร์และคณะ, 2548) มีการใช้ด่างในการทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชันสูงถึง 100% (น้ำหนักด่าง/น้ำหนักสารสกัด) จึงทำให้มีปริมาณไฮดรอกไซด์อิสระมากกว่าค่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่กำหนด ค่าของด่างในตัวอย่างมีค่าใกล้เคียงกับสบู่ที่ได้จากปฏิกิริยาไดไฮดรอกซีสเตียริกแอซิด (dihydroxystearic acid) จากน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีปริมาณไฮดรอกไซด์อิสระเท่ากับ 0.05-20.28% โดยสบู่ที่มีความเป็นด่างสูง จะไปรบกวนและทำลายเส้นผม นอกจากนี้สบู่ที่ได้ยังไม่ทนต่อน้ำกระด้างและยังมีคราบของไอออนแคลเซียมและแมกนีเซียมเกิดขึ้นอีกด้วย (Awang, 2001) นอกจากนี้ ระยะเวลาที่ทิ้งไว้ก่อนนำสบู่มาวิเคราะห์จะมีผลต่อปริมาณสารละลายด่างที่เหลือ เนื่องจากเมื่อทิ้งสบู่เป็นเวลานาน สารละลายด่างจะทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ทำให้สารละลายด่างที่เหลือมีปริมาณลดลง (กุลธิดา, 2540) นอกจากนี้ ด่าง (2534)

ยังได้รายงานไว้ว่า สาเหตุที่มีต่างตกค้างในเนื้อสบู่ คือขั้นตอนแรกในปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน ซึ่งเป็นการต้มไขมันกับสารละลายต่างปฏิกิริยาจะเกิดช้า อัตราเร็วของปฏิกิริยาส่วนใหญ่จะขึ้นกับขนาดของพื้นที่ผิวของของเหลวทั้งสองที่สัมผัสกัน แต่ในระยะเวลาต่อมาปฏิกิริยาจะเกิดในเฟสที่เป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) ซึ่งประกอบด้วยสารละลายของไขมันและด่างในเฟสที่มีสบู่เกิดขึ้นมาละลายอยู่ จึงจัดเป็นปฏิกิริยาเร่งตัวเอง (autocatalytic) ที่เด่นชัดมาก ทำให้เพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะช้าลงเมื่อปฏิกิริยาใกล้สิ้นสุด นั่นคือความเข้มข้นของไขมันลดลง ซึ่งไขมันจำนวนมากที่เหลืออยู่ มักจะติดอยู่ในไมเซลล์ของสบู่ที่ไม่ค่อยมีด่างอยู่ จึงไม่เหลือไขมันที่จะเข้าทำปฏิกิริยากับด่าง เป็นสาเหตุทำให้ต่างตกค้างในเนื้อสบู่

สบู่ที่ได้ อยู่ในเกรดของ soapstock ซึ่งสามารถนำไปผสมกับอาหารสัตว์ นอกจากนี้ยังสามารถที่จะนำไปผสมกับน้ำมันเมล็ดธัญพืชหรือน้ำมันถั่วเหลือง เพื่อเพิ่มแซนโทฟิลด์และช่วยเพิ่มค่า colorific ของผลิตภัณฑ์ (Clark, 1994)

4.5 มูลค่าของแคโรทีนอยด์และของเหลือทิ้งที่ได้จากการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ

ขั้นตอนการผลิตแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ มีการใช้สารเคมี ตลอดจนมีของเหลือทิ้ง คือ ไขมัน สบู่ และกลีเซอรินเกิดขึ้น เมื่อแยกออกมาแล้ว สามารถที่จะนำไปใช้ประโยชน์ได้ จึงสามารถคำนวณออกมาเป็นมูลค่า ดังตาราง 4.9 (วิธีการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค)

ตาราง 4.6 มูลค่าของแคโรทีนอยด์และของเหลือทิ้งที่ได้จากการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบจากการสะปอนิฟิเคชันโดยใช้วิธีเดิม (เอทานอล 100% ร่วมกับการใช้ด่าง 100%)

| ต้นทุน/ผลผลิต/ของเหลือทิ้ง | มูลค่าต่อน้ำมันปาล์มดิบ 100 กิโลกรัม | | |
|---|--------------------------------------|-----------------|------------------|
| | ราคาต่อหน่วย (บาท) | ปริมาณ | ราคา (บาท) |
| ต้นทุน | | | |
| <u>การสกัดแคโรทีนอยด์</u> | | | |
| น้ำมันปาล์มดิบ | 24.92 | 100 กิโลกรัม | 2,492 |
| เฮกเซน | 66.88 | 300 ลิตร | 20,064 |
| <u>การสะปอนิฟิเคชัน</u> | | | |
| เฮกเซน | 66.88 | 183.49 ลิตร | 12,271.81 |
| โซเดียมไฮดรอกไซด์ | 28 | 36.70 กิโลกรัม | 1,027.60 |
| เอทานอล | 86.25 | 211.01 กิโลกรัม | 18,199.61 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 165 | 0.23 กิโลกรัม | 37.95 |
| รวม | | | 54,092.97 |
| ผลผลิตและของเหลือทิ้งที่ได้ | | | |
| แคโรทีนอยด์ 1% | 122,748 | 0.087 กิโลกรัม | 10,679.08 |
| เอทานอลที่ได้คืน 95% | 86.25 | 200.46 กิโลกรัม | 17,289.68 |
| เฮกเซนที่ได้คืน 95% | 66.88 | 459.32 ลิตร | 30,719.32 |
| ไขมัน | 24.92 | 63.22 กิโลกรัม | 1,575.44 |
| สบู่ | 3.64 | 30.23 กิโลกรัม | 110.04 |
| รวม | | | 60,373.56 |
| ส่วนต่างของต้นทุนและมูลค่าที่ได้ | | | 6,280.59 |

หมายเหตุ ไม่คิดมูลค่าของกลีเซอริน เนื่องจากสมบัติทางกายภาพและเคมีบางรายการไม่ได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ตาราง 4.7 มูลค่าของแคโรทีนอยด์และของเหลือทิ้งที่ได้จากการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบจากการสะปอนิฟิเคชันโดยใช้เอทานอล 100% ร่วมกับการใช้ต่าง 25%

| ต้นทุน/ผลผลิต/ของเหลือทิ้ง | มูลค่าต่อน้ำมันปาล์มดิบ 100 กิโลกรัม | | |
|---|--------------------------------------|-----------------|------------------|
| | ราคาต่อหน่วย (บาท) | ปริมาณ | ราคา (บาท) |
| ต้นทุน | | | |
| <u>การสกัดแคโรทีนอยด์</u> | | | |
| น้ำมันปาล์มดิบ | 24.92 | 100 กิโลกรัม | 2,492 |
| เฮกเซน | 66.88 | 300 ลิตร | 20,064 |
| <u>การสะปอนิฟิเคชัน</u> | | | |
| เฮกเซน | 66.88 | 183.49 ลิตร | 12,271.81 |
| โซเดียมไฮดรอกไซด์ | 28 | 9.17 กิโลกรัม | 256.76 |
| เอทานอล | 86.25 | 211.01 กิโลกรัม | 18,199.61 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 165 | 0.23 กิโลกรัม | 37.95 |
| รวม | | | 53,322.13 |
| ผลผลิตและของเหลือทิ้งที่ได้ | | | |
| แคโรทีนอยด์ 1% | 122,748 | 0.153 กิโลกรัม | 18,780.44 |
| เอทานอลที่ได้คืน 95% | 86.25 | 200.46 กิโลกรัม | 17,289.68 |
| เฮกเซนที่ได้คืน 95% | 66.88 | 459.32 ลิตร | 30,719.32 |
| ไขมัน | 24.92 | 63.22 กิโลกรัม | 1,575.44 |
| สบู่ | 3.64 | น้อยมาก | - |
| รวม | | | 68,364.88 |
| ส่วนต่างของต้นทุนและมูลค่าที่ได้ | | | 15,042.75 |

หมายเหตุ ไม่คิดมูลค่าของกลีเซอริน เนื่องจากสมบัติทางกายภาพและเคมีบางรายการไม่ได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ตาราง 4.8 มูลค่าของแคโรทีนอยด์และของเหลือทิ้งที่ได้จากการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบจากการสะปอนิฟิเคชันโดยใช้วิธีเอทานอล 60% ผสมน้ำ 40% ร่วมกับการใช้ต่าง 90%

| ต้นทุน/ผลผลิต/ของเหลือทิ้ง | มูลค่าต่อน้ำมันปาล์มดิบ 100 กิโลกรัม | | |
|---|--------------------------------------|-----------------|------------------|
| | ราคาต่อหน่วย (บาท) | ปริมาณ | ราคา (บาท) |
| ต้นทุน | | | |
| <u>การสกัดแคโรทีนอยด์</u> | | | |
| น้ำมันปาล์มดิบ | 24.92 | 100 กิโลกรัม | 2,492 |
| เฮกเซน | 66.88 | 300 ลิตร | 20,064 |
| <u>การสะปอนิฟิเคชัน</u> | | | |
| เฮกเซน | 66.88 | 183.49 ลิตร | 12,271.81 |
| โซเดียมไฮดรอกไซด์ | 28 | 33.03 กิโลกรัม | 924.84 |
| เอทานอล | 86.25 | 115.60 กิโลกรัม | 9,970.50 |
| โซเดียมคลอไรด์ | 165 | 0.23 กิโลกรัม | 37.95 |
| รวม | | | 45,761.10 |
| ผลผลิตและของเหลือทิ้งที่ได้ | | | |
| แคโรทีนอยด์ 1% | 122,748 | 0.126 กิโลกรัม | 15,466.25 |
| เอทานอลที่ได้คืน 95% | 86.25 | 109.82 กิโลกรัม | 9,471.98 |
| เฮกเซนที่ได้คืน 95% | 66.88 | 459.32 ลิตร | 30,719.32 |
| ไขมัน | 24.92 | 63.22 กิโลกรัม | 1,575.44 |
| สบู่ | 3.64 | 23.21 กิโลกรัม | 84.48 |
| รวม | | | 57,317.47 |
| ส่วนต่างของต้นทุนและมูลค่าที่ได้ | | | 11,556.37 |

หมายเหตุ ไม่คิดมูลค่าของกลีเซอริน เนื่องจากสมบัติทางกายภาพและเคมีบางรายการไม่ได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

ตาราง 4.9 สรุปมูลค่าของแคโรทีนอยด์และของเหลือทิ้งที่ได้จากการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบจากการสะปอนิฟิเคชันโดยใช้วิธีเดิม (เอทานอล 100% ร่วมกับการใช้ด่าง 100%), วิธีเอทานอล 100% ร่วมกับการใช้ด่าง 25% และวิธีเอทานอล 60% ผสมน้ำ 40% ร่วมกับการใช้ด่าง 90%

| วิธีที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาสะปอนิฟิเคชัน | มูลค่า (บาท) ต่อน้ำมันปาล์มดิบ 100 กิโลกรัม | | |
|---|--|---------------------------|--|
| | ต้นทุน | ผลผลิตและ ของเหลือทิ้ง | ส่วนต่าง ของต้นทุน และมูลค่าที่ได้ |
| วิธีเดิม (เอทานอล 100% + ด่าง 100%) | 54,092.97 | 60,373.56 | 6,280.59 |
| วิธีการใช้เอทานอล 100% + ด่าง 25% | 53,322.13 | 68,364.88 | 15,042.75 |
| วิธีการใช้เอทานอล 60%+น้ำ 40%+ด่าง 90% | 45,761.10 | 57,317.47 | 11,556.37 |

จากตาราง 4.9 พบว่า การสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้วิธีเอทานอล 100% ร่วมกับการใช้ด่าง 25% ให้มูลค่าผลผลิตและของเหลือทิ้งมากที่สุด เท่ากับ 68,364.88 บาท และมีส่วนต่างจากจากต้นทุนสูงกว่าการใช้สภาวะอื่น ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในขั้นตอนการสะปอนิฟิเคชัน คือการใช้เอทานอล 100% ร่วมกับการใช้ด่าง 25%

แต่อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาต้นทุนในการผลิตแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ พบว่าการใช้เอทานอล 60% ผสมน้ำ 40% ร่วมกับการใช้ด่าง 90% มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด เท่ากับ 45,761.10 บาท ดังนั้น ถ้าต้องการมุ่งลดต้นทุนการผลิตและหากผู้ประกอบการนำของเหลือทิ้งไปใช้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงเกินกว่าที่ศึกษา เช่น ใช้ไขมันไปผลิตเป็นกรดปาล์มมิติกและกรดสเตียริก จะทำให้มูลค่ารวมของแคโรทีนอยด์และของเหลือทิ้งมีมูลค่ามากขึ้น จึงแนะนำให้เลือกใช้สภาวะเอทานอล 60% ผสมน้ำ 40% ร่วมกับการใช้ด่าง 90%