

สัญญาเลขที่ RDG4620018

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ตัวทำละลาย
ที่อุณหภูมิต่ำเพื่อใช้เป็นสีผสมอาหาร

คณะผู้วิจัย

- 1 ผศ. ดร. พชรินทร์ ะวีรัมย์
- 2 รศ. สรศักดิ์ เหลี้ยวไชยพันธ์
- 3 รศ. ดวงสมร ลิ้มปิติ
- 4 นายประมวธ ศรีกาหลง

สังกัด

- คณะอุตสาหกรรมเกษตร มช.
คณะเภสัชศาสตร์ มช.
คณะเภสัชศาสตร์ มช.
คณะอุตสาหกรรมเกษตร มช.

ชุดโครงการปาล์มน้ำมัน

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)
(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	๗
สารบัญภาพ	๘
สรุปผลการศึกษา	4
บทคัดย่อภาษาไทย	7
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	8
เนื่อหางานวิจัย	10
บทที่ 1 หลักการและเหตุผล	10
บทที่ 2 สาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
บทที่ 3 วัตถุประสงค์และวิธีการศึกษา	37
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิจารณ์	45
เอกสารอ้างอิง	86
ภาคผนวก ก	90
ภาคผนวก ข	96
ภาคผนวก ค	117
ภาคผนวก ง	132
ภาคผนวก จ	134

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม (ร้อยละ)	14
2.2 องค์ประกอบย่อยของน้ำมันปาล์มดิบ	14
2.3 เปรียบเทียบปริมาณเทียบเท่าเรตินอล (RE) ของน้ำมันปาล์มกับอาหารชนิดอื่นๆ	16
2.4 ปริมาณแคโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์มดิบ	17
2.5 องค์ประกอบแคโรทีนอยด์ (ร้อยละ) ของปาล์มสายพันธุ์ต่างๆ	18
2.6 คุณสมบัติทางกายภาพของแคโรทีนอยด์	25
2.7 คุณสมบัติของตัวทำละลาย	36
4.1 ปริมาณโอเลฟินที่พบในน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มดิบที่กำจัดกัม	69
4.2 ค่าความเป็นกรดในน้ำมันปาล์มดิบและน้ำมันปาล์มดิบที่กำจัดกัม	70
4.3 ปริมาณโอเลฟินและเฮกเซนตกค้างในน้ำมันปาล์มดิบและผลิตภัณฑ์ ที่สกัดที่อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส อัตราส่วนน้ำมันปาล์มดิบต่อเฮกเซน 1:3 ความเร็วในการกวน 250 รอบต่อนาที	76
4.4 ประเมินค่าใช้จ่ายในการเตรียมแคโรทีนอยด์เข้มข้นร้อยละ 1 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบ 100 กิโลกรัม	85
ก1 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* a^* b^* ของแคโรทีนอยด์ ที่ได้จากการแยกผลึกไขมันออก ที่สภาวะการสกัดต่างๆ ซึ่งใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการตกตะกอนเป็นวัตถุดิบ	91
ก2 การเปลี่ยนแปลงค่า L^* a^* b^* ของแคโรทีนอยด์ ที่ได้จากการแยกผลึกไขมันออก ที่สภาวะการสกัดต่างๆ ซึ่งใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอนเป็นวัตถุดิบ	92
ก3 ปริมาณผลึกไขมันที่แยกได้ที่สภาวะการสกัดต่างๆ ซึ่งใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการตกตะกอนเป็นวัตถุดิบ	93
ก4 ปริมาณผลึกไขมันที่แยกได้ที่สภาวะการสกัดต่างๆ ซึ่งใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอนเป็นวัตถุดิบ	93
ก5 ความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ ในสภาวะการสกัดต่างๆ	94
ก6 ปริมาณของแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ ในสภาวะการสกัดต่างๆ	95

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเบต้าแคโรทีน	23
2.2 โครงสร้างของแอลฟาแคโรทีน	23
2.3 โครงสร้างของไลโคพีน	24
2.4 โครงสร้างของไวตามินเอ	24
2.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชัน	33
3.1 ขั้นตอนการแยกแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบด้วยเฮกเซนที่อุณหภูมิ ต่ำ	40
4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของแคโรทีนอยด์ ที่สกัดโดยใช้อัตรา ส่วนระหว่างน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการตกตะกอนต่อเฮกเซน และระดับ อุณหภูมิต่างๆ	46
4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของแคโรทีนอยด์ ที่สกัดโดยใช้ อัตราส่วนระหว่างน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการตกตะกอนต่อเฮกเซน และ ระดับอุณหภูมิต่างๆ	46
4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของแคโรทีนอยด์ ที่สกัดโดย ใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการตกตะกอนต่อเฮกเซน และ ระดับอุณหภูมิต่างๆ	47
4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของแคโรทีนอยด์ ที่สกัดโดยใช้อัตรา ส่วนระหว่างน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอนต่อเฮกเซน และ ระดับอุณหภูมิต่างๆ	47
4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของแคโรทีนอยด์ ที่สกัดโดยใช้ อัตราส่วนระหว่างน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอนต่อเฮกเซน และ ระดับอุณหภูมิต่างๆ	48
4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของแคโรทีนอยด์ ที่สกัดโดย ใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอนต่อเฮกเซน และระดับอุณหภูมิต่างๆ	48
4.7 ปริมาณผลึกไขมันที่แยกได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการตกตะกอน ที่สกัดที่สภาวะต่างๆ	51
4.8 ปริมาณผลึกไขมันที่แยกได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตก ตะกอน ที่สกัดที่สภาวะต่างๆ	52
4.9 ผลของอุณหภูมิ อัตราส่วนเฮกเซน และอัตราเร็วในการกวน ต่อความ	72

เข้มข้นของแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้

4.10	ผลของอุณหภูมิ สัดส่วนเฮกเซน และอัตราเร็วในการกวน ต่อปริมาณของแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้	74
4.11	สัณนิษฐานที่ละลายในน้ำมันที่ผลิตขึ้น ความเข้มข้นจากขวาไปซ้าย 500, 115.26 , 86.62, 57.63, 28.81 พีพีเอ็ม	78
4.12	สัณนิษฐานที่ละลายในน้ำมันที่จำหน่ายในท้องตลาด ความเข้มข้นจากขวาไปซ้าย 500, 100.82, 75.64, 50.44, 25.35 พีพีเอ็ม	78
4.13	สัณนิษฐานที่ละลายได้ในน้ำในรูปอิมัลชันที่ผลิตขึ้น ความเข้มข้นจากขวาไปซ้าย 500, 124.53, 93.48, 62.62, 31.37 พีพีเอ็ม	79
4.14	สัณนิษฐานที่ละลายได้ในน้ำในรูปอิมัลชันที่จำหน่ายในท้องตลาด ความเข้มข้นจากขวาไปซ้าย 500, 100.62, 75.52, 50.24, 25.31 พีพีเอ็ม	79
4.15	เปรียบเทียบค่า a^* ของสัณนิษฐานที่ละลายในน้ำมัน จากแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ และสีทางการค้า	80
4.16	เปรียบเทียบค่า a^* ของสัณนิษฐานที่ละลายในน้ำ จากแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ และสีทางการค้า	81
4.17	การเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ของสัณนิษฐานที่ละลายได้ในน้ำมัน และละลายได้ในน้ำ ที่เก็บที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 ± 5	82
ข 1	ภาพร่างของอุปกรณ์ลดอุณหภูมิเฮกเซน	97
ข 2	ภาพด้านหน้าของอุปกรณ์ลดอุณหภูมิเฮกเซน	98
ข 3	ภาพด้านในของอุปกรณ์ลดอุณหภูมิเฮกเซน	98
ข 4	ภาพร่างของอุปกรณ์ผสมเฮกเซนกับน้ำมันปาล์มดิบที่กำลังจัดกัมแล้ว	99
ข 5	ภาพด้านหน้าของอุปกรณ์ผสมเฮกเซนกับน้ำมันปาล์มดิบที่กำลังจัดกัมแล้ว	100
ข 6	ภาพด้านในของอุปกรณ์ผสมเฮกเซนกับน้ำมันปาล์มดิบที่กำลังจัดกัมแล้ว	100
ข 7	ใบกวนผสมของอุปกรณ์ผสมเฮกเซนกับน้ำมันปาล์มดิบที่กำลังจัดกัมแล้ว	101
ข 8	ภาพร่างของอุปกรณ์แยกผลึกไขมัน	102
ข 9	ภาพด้านหน้าของอุปกรณ์แยกผลึกไขมัน	103
ข 10	ภาพร่างของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	104
ข 11	ภาพด้านหน้าของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน	105
ข 12	ภาพร่างของอุปกรณ์ระเหยเฮกเซน	106
ข 13	ภาพด้านหน้าของอุปกรณ์ระเหยเฮกเซน	107
ข 14	ภาพร่างของอุปกรณ์ควบแน่นเฮกเซน	108

ข 15	ภาพด้านในของอุปกรณ์ควมแน่นเฮกเซน	109
ข 16	ภาพด้านหน้าของอุปกรณ์ควมแน่นเฮกเซน	109
ข 17	ภาพร่างของอุปกรณ์รวบรวมนเฮกเซน	110
ข 18	ภาพด้านหน้าของอุปกรณ์รวบรวมนเฮกเซน	111
ข 19	ภาพด้านในของอุปกรณ์รวบรวมนเฮกเซน	111
ข 20	ภาพของอุปกรณ์สกัดเฮกเซน	112
ค 1	กราฟมาตรฐานเบต้าแคโรทีน	129
ค 2	กราฟสแกนหาความยาวคลื่นของแคโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์มดิบ	129
ค 3	กราฟสแกนหาความยาวคลื่นของแคโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่าน การกำจัดกัมแล้ว	130
ค 4	กราฟสแกนหาความยาวคลื่นของเบต้าแคโรทีนมาตรฐานที่ความเข้มข้น ต่างๆ	130
ค 5	กราฟมาตรฐานเฮกเซนสำหรับหาปริมาณเฮกเซนตกค้างในผลิตภัณฑ์	131
ค 6	กราฟแสดงปริมาณเฮกเซนตกค้างในสารละลายผสมแคโรทีนอยด์ที่แยก เฮกเซนออกแล้วด้วยอุปกรณ์ระเหยสุญญากาศ	131
ง 1	น้ำมันปาล์มดิบ	133
ง 2	น้ำมันปาล์มดิบที่กำจัดกัมแล้ว	133

สัญญาเลขที่ RDG4620018

โครงการ "การสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำเพื่อใช้เป็นสีผสมอาหาร"

สรุปร่างรายงานฉบับสมบูรณ์

รายงานในช่วงตั้งแต่วันที่ 1 มีนาคม 2546 ถึงวันที่ 28 พฤศจิกายน 2548

ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัยผู้รับทุน : ผศ. ดร. พชรินทร์ ระวังียน

หน่วยงาน : ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัย เชียงใหม่

สถานที่ใช้ทำการวิจัยและรวบรวมข้อมูล (Location)

ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร
และภาควิชาเกษตรชีววิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ระยะเวลาที่ทำการวิจัย (Duration)

ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัยทั้งหมด 2 ปี 9 เดือน

- ปีที่ 1 เริ่มต้นจากเดือน มีนาคม 2546 ถึง กุมภาพันธ์ 2547
- ปีที่ 2 เริ่มต้นจากเดือน มีนาคม 2547 ถึง กุมภาพันธ์ 2548

ได้รับการขยายเวลาถึง 28 พฤศจิกายน 2548

วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อสร้างเครื่องสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งมีการทำงานไม่ซับซ้อน บำรุงรักษาได้ง่าย ปลอดภัยต่อผู้ใช้และสิ่งแวดล้อม และราคาไม่สูง
- 2) เพื่อหาสภาวะในการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบที่ให้ผลผลิตสูง
- 3) เพื่อผลิตสีจากแคโรทีนอยด์ที่มีคุณภาพเทียบได้กับสีของเบต้าแคโรทีนที่มีจำหน่ายในท้องตลาด
- 4) เพื่อได้สีจากแคโรทีนอยด์ที่มีความคงตัว สามารถผลิตเป็นการค้าได้

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

ได้เครื่องต้นแบบในการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งจดสิทธิบัตรได้ และความรู้ที่ได้จากงานวิจัยนี้สามารถนำไปขยายผลในเชิงพาณิชย์ได้ โดยผู้ที่นำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ ได้แก่ กลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตน้ำมันปาล์มดิบ ผู้ผลิตน้ำมันปาล์มบริโภค ผู้ผลิตสีผสมอาหาร ผู้ผลิตยา และผู้ผลิตเครื่องสำอาง การผลิตสารแคโรทีนอยด์ในเชิงพาณิชย์โดยใช้เครื่องสกัดที่สร้างขึ้น

เป็นต้นแบบนี้ จะได้ผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง เป็นการเพิ่มมูลค่าของน้ำมันปาล์มดิบ และช่วยลดการนำเข้าแคโรทีนอยด์จากต่างประเทศ ทำให้ราคาแคโรทีนอยด์ถูกลง สามารถลดต้นทุนการผลิต ตลอดจนลดการใช้สารดูดซับสีในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันปาล์ม ทำให้ต้นทุนการผลิตน้ำมันปาล์มลดลง

กิจกรรมที่ดำเนินการมาและผลที่ได้รับตลอดโครงการ

วัตถุประสงค์	กิจกรรมที่วางแผนไว้	กิจกรรมที่ดำเนินการมา	ผลที่ได้รับตลอดโครงการ
1)หาอัตราส่วนปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในกระบวนการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบที่เหมาะสมในระดับห้องปฏิบัติการ	ศึกษาอัตราส่วนระหว่างน้ำมันปาล์มดิบกับเฮกเซนและอุณหภูมิของเฮกเซนที่เหมาะสมในการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบเพื่อใช้ประกอบในการออกแบบ	ปฏิบัติตามกิจกรรมตามที่วางแผนไว้	ได้ผลครบถ้วนตามวัตถุประสงค์
2) สร้างเครื่องต้นแบบในการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ	การออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกระบวนการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนที่อุณหภูมิต่ำ	ปฏิบัติตามกิจกรรมตามที่วางแผนไว้	ได้เครื่องต้นแบบในการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ
3) หาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ จากเครื่องสกัดที่สร้างขึ้น	ศึกษาอัตราส่วนปริมาณตัวทำละลายที่ใช้ในกระบวนการสกัดแคโรทีนอยด์ จากน้ำมันปาล์มดิบ อุณหภูมิ อัตราเร็วของการกวนที่เหมาะสม	ปฏิบัติตามกิจกรรมตามที่วางแผนไว้	ได้สภาวะที่เหมาะสม ในการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ จากเครื่องสกัดที่สร้างขึ้น
4)หาปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้และเปรียบเทียบสีกับผลิตภัณฑ์ใกล้เคียง	ศึกษาเปรียบเทียบสีของแคโรทีนอยด์รวมกับเบต้าแคโรทีนที่ใช้เป็นสีที่มี	ปฏิบัติตามกิจกรรมตามที่วางแผนไว้	ได้ข้อมูลปริมาณแคโรทีนอยด์ ที่สกัดได้ และเปรียบเทียบค่าสีกับเบต้า

ที่ผลิตจำหน่ายในเชิงการค้า	จำหน่ายในท้องตลาด		แคโรทีนที่ใช้เป็นสีที่มีจำหน่ายในท้องตลาด
5)หาอายุการเก็บของสีแคโรทีนยี่ห้อที่ได้จากการสกัด	ศึกษาอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์สีที่ผลิตได้	ปฏิบัติตามกรรมตามที่วางแผนไว้	ทราบอายุการเก็บของผลิตภัณฑ์สีที่ผลิตได้
6)ประเมินราคาต้นทุนการผลิตแคโรทีนยี่ห้อ	ประเมินราคาต้นทุนการผลิตแคโรทีนยี่ห้อ	ปฏิบัติตามกรรมตามที่วางแผนไว้	ทราบราคาประเมินต้นทุนการผลิตแคโรทีนยี่ห้อ

ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะอื่นๆ ต่อ สกว.

ลงนาม.....พีรพันธุ์ ระวีพันธ์.....

(ผศ. ดร. พิชรินทร์ ระวีพันธ์)

วันที่.....5 เม.ย. 50.....

สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยเรื่อง การสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำเพื่อใช้เป็นสีผสมอาหาร มีวัตถุประสงค์หลักคือ เพื่อทำการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เครื่องสกัดดันแบบที่สร้างขึ้น เพื่อศึกษาวิธีการกำจัดกัมจากน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อสร้างสมการความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ หรือความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ กับปัจจัยต่างๆของสภาวะการสกัด เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพและอายุการเก็บของสีจากแคโรทีนอยด์ที่ผลิตขึ้นชนิดที่ละลายได้ในน้ำมัน และชนิดที่ละลายได้ในน้ำ กับสีทางการค้า และเพื่อประเมินต้นทุนการผลิตสีจากแคโรทีนอยด์ ซึ่งผลการศึกษาสรุปได้ดังนี้

1. เครื่องสกัดแคโรทีนอยด์ เป็นระบบแบบกึ่งต่อเนื่อง ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ 7 ส่วน ได้แก่ อุปกรณ์ลดอุณหภูมิเฮกเซน อุปกรณ์ผสมเฮกเซนกับน้ำมันปาล์มดิบที่กำจัดกัมแล้ว อุปกรณ์แยกผลึกไขมัน อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อุปกรณ์ระเหยเฮกเซน อุปกรณ์ควบแน่นเฮกเซน และอุปกรณ์รวบรวมน้ำมัน ซึ่งอุณหภูมิที่เครื่องสกัดสามารถทำงานได้อยู่ในช่วง 25 ถึง -25 องศาเซลเซียส ความจุสูงสุดประมาณ 7,000 มิลลิลิตร อัตราเร็วใบกวนผสมสูงสุด 800 รอบต่อนาที และใช้เวลาในการสกัด 3 ชั่วโมง
2. น้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการดกตะกอน มีความเหมาะสมกว่าน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการดกตะกอน ในการนำไปเป็นวัตถุดิบสำหรับสกัดแคโรทีนอยด์
3. กรดที่เหมาะสมในการกำจัดกัมในน้ำมันปาล์มดิบคือ การใช้กรดซิตริกร่วมกับกรดฟอสฟอริก
4. สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ คือ อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส สัดส่วนของน้ำมันปาล์มดิบต่อเฮกเซนเท่ากับ 1:3 (น้ำหนักต่อปริมาตร) และอัตราเร็วในการกวน 250 รอบต่อนาที ซึ่งจะให้แคโรทีนอยด์ที่มีความเข้มข้น 558 พีพีเอ็ม หรือสกัดได้ร้อยละ 52 ของแคโรทีนอยด์ทั้งหมดที่มีในน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งเมื่อหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์กับสภาวะในการสกัด ซึ่งได้แก่ อุณหภูมิ อัตราส่วนระหว่างน้ำมันปาล์มดิบและเฮกเซน และอัตราเร็วของใบกวนผสม จะได้สมการดังนี้

$$\text{PPM} = 350.914 - 10.409\text{TEMP} + 30.737\text{RATIO} + 3.680 \times 10^{-12}\text{RPM}$$

โดยมีค่า

$$R^2 = 0.980$$

PPM = ความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ (พีพีเอ็ม)

TEMP = อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด (องศาเซลเซียส)

RATIO = สัดส่วนน้ำมันปาล์มดิบต่อเฮกเซน (น้ำหนักต่อปริมาตร)

RPM = อัตราเร็วของการกวนผสม (รอบต่อนาที)

ซึ่งเมื่อนำความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ กับสภาวะในการสกัด ไปสร้างกราฟ พบว่ากราฟความสัมพันธ์ไม่เป็นลักษณะเส้นตรง เนื่องจากปริมาณของแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ จะไม่เป็นไปในทิศทางเดียวกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของผลึกไขมันในระหว่างการสกัด ที่สภาวะต่างๆ

5. แคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากเครื่องสกัดดินแบบที่สภาวะที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส ใช้สัดส่วนของน้ำมันปาล์มดิบต่อเฮกเซนเท่ากับ 1:3 (น้ำหนักต่อปริมาตร) และใช้อัตราเร็วในการกวน 250 รอบต่อนาที พบว่ามีปริมาณเฮกเซนตกค้าง 62 พีพีเอ็ม ซึ่งไม่เกินมาตรฐาน และไม่พบสารหนู แคดเมียม ตะกั่วปรอท และทองแดง แต่พบเหล็กในปริมาณ 9.41 พีพีเอ็ม ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้คือ 5 พีพีเอ็ม ความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์หลังจากทำปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชันคือ 216,100 พีพีเอ็ม หรือร้อยละ 21.61 โดยมีการสูญเสียแคโรทีนอยด์จากการทำซาปอนิฟิเคชัน ร้อยละ 43
6. เมื่อเปรียบเทียบกับสีที่เตรียมได้จากแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ ทั้งชนิดที่ละลายในน้ำมันและชนิดละลายในน้ำ กับสีที่จำหน่ายทางการค้า ที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน พบว่าค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของสีจากแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ ที่ละลายได้ในน้ำมันจะมีค่าสูงกว่าสีทางการค้า แต่จะมีโทนสีส้มแดงเข้มเดียวกัน สำหรับสีที่ละลายได้ในน้ำ พบว่าค่า a^* ของสีจากแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ จะมีค่าต่ำกว่าสีทางการค้า และสีของแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จะมีโทนสีส้มแดง ในขณะที่สีทางการค้าจะมีสีเหลืองแดง
7. อายุการเก็บของสีที่ผลิตได้จะสั้นกว่าสีทางการค้า ซึ่งสีทางการค้าโดยทั่วไปจะมีอายุประมาณ 6 - 36 เดือน โดยพบว่าที่สภาวะการเก็บ 30 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 60 ± 5 สีที่ละลายในน้ำมันมีการลดลงของแคโรทีนอยด์ ร้อยละ 10 ต่อเดือน และปริมาณแคโรทีนอยด์จะลดลงร้อยละ 50 ที่เวลา 144 วัน ในกรณีของสีที่ละลายได้ในน้ำ พบว่าการลดลงของปริมาณแคโรทีนอยด์จะเกิดขึ้นเร็วกว่าสีที่ละลายในน้ำมัน คือลดลงร้อยละ 33 ในเดือนแรก และจะลดลงซ้ำๆ

หลังจากเดือนแรก นอกจากนี้เมื่อเก็บไว้เกิน 1 เดือน พบการแยกชั้นของสี และพบการเจริญของเชื้อราที่บริเวณผิวหน้า

8. ค่าวัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตแคโรทีนอยด์เข้มข้น 1% ปริมาณ 1 กิโลกรัม เท่ากับ 2,189 บาท ซึ่งที่ราคาขาย 5,000 บาทต่อกิโลกรัม จะมีส่วนต่าง 2,811 บาท

บทคัดย่อ

การสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้เฮกเซนที่อุณหภูมิต่ำ ได้ทำการศึกษาโดยใช้เครื่องสกัดแบบที่สร้างขึ้น ซึ่งเครื่องสกัดประกอบด้วย ชุดลดอุณหภูมิเฮกเซน ชุดผสมเฮกเซนกับน้ำมันปาล์มดิบ ชุดแยกไขมัน ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน ชุดระเหยเฮกเซน ชุดควบแน่นเฮกเซน และชุดรวบรวมเฮกเซน เครื่องสกัดสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง -25 ถึง 25 องศาเซลเซียส มีความจุ 7,000 มิลลิเมตร ใบกวนมีอัตราเร็วสูงสุด 800 รอบต่อนาที กระบวนการสกัดใช้เวลาประมาณ 3 ชั่วโมง น้ำมันปาล์มดิบที่ใช้ควรกำจัดกัมด้วยวิธีการใช้กรดซิตริกร่วมกับกรดฟอสฟอริก สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดคือ อุณหภูมิ -10 องศาเซลเซียส สัดส่วนของน้ำมันปาล์มดิบต่อเฮกเซนเท่ากับ 1:3 (น้ำหนักต่อปริมาตร) และอัตราเร็วในการกวน 250 รอบต่อนาที ซึ่งสามารถสกัดแคโรทีนอยด์ได้ความเข้มข้น 558 พีพีเอ็ม หรือสกัดได้ร้อยละ 52 ของปริมาณที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์มดิบ ในการหาสมการสหสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้และปัจจัยในการสกัดพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์จากมากไปน้อยตามลำดับได้แก่ สัดส่วนของน้ำมันปาล์มดิบต่อเฮกเซน อุณหภูมิในการสกัด และอัตราเร็วของใบกวนผสม

แคโรทีนอยด์ที่สกัดได้มีปริมาณเฮกเซนตกค้าง 62 พีพีเอ็ม ไม่พบสารหนู แคดเมียม ตะกั่ว ปรอท และทองแดง แต่พบเหล็กในปริมาณ 9.41 พีพีเอ็ม แคโรทีนอยด์ที่สกัดได้สามารถนำไปทำให้เข้มข้นได้ 216,100 พีพีเอ็ม โดยการทำปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชัน แต่ปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชัน ทำให้แคโรทีนอยด์สูญเสียไปประมาณร้อยละ 43

เมื่อนำแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้มาผลิตเป็นสีชนิดที่ละลายในน้ำมัน จะได้ค่าสีแดงสูงกว่าสีจากเบต้าแคโรทีนที่จำหน่ายในท้องตลาด แต่เมื่อนำมาผลิตเป็นสีชนิดที่ละลายในน้ำที่เตรียมในรูปอิมัลชันจะได้ค่าสีแดงต่ำกว่า โทนสีของแคโรทีนอยด์ชนิดที่ละลายในน้ำมันที่ศึกษามีสีส้มเข้มเดียวกับสีที่จำหน่ายในท้องตลาด ส่วนสีที่ละลายในน้ำที่ศึกษาจะมีสีส้มแดง แต่สีที่จำหน่ายในท้องตลาดจะมีสีเหลืองแดง

การเก็บสีชนิดที่ละลายในน้ำมัน ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ $60 \pm 5\%$ จะมีปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงร้อยละ 50 เมื่อเก็บนาน 5 เดือน ส่วนสีชนิดที่ละลายในน้ำจะมีปริมาณแคโรทีนอยด์ลดลงร้อยละ 33 ในเดือนแรก และหลังจากนั้นจะมีการลดลงอีกเล็กน้อย นอกจากนี้ที่เวลาการเก็บ 30 วัน สีจะเกิดการแยกชั้นและมีเชื้อราเกิดขึ้น

ค่าวัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตแคโรทีนอยด์เข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาณ 1 กิโลกรัม เท่ากับ 2,189 บาท ซึ่งที่ราคาขาย 5,000 บาทต่อกิโลกรัม จะมีส่วนต่าง 2,811 บาท

ABSTRACT

The prototype extractor for the production of carotenoids from crude palm oil (CPO) was built. The utilities included the hexane cooler system, the CPO-hexane mixing system, the fat separator, the heat exchanger, the hexane evaporator, the hexane condenser, and the hexane vessel. The extractor could be monitored at 25 to -25°C with maximum volume of 7000 ml and maximum agitation speed of 800 rpm. The process cycle was about 3 hrs. The proper type of CPO was the homogenous CPO that degummed by using the combination of citric acid and phosphoric acid. The optimum processed variables were -10°C , oil to hexane of 1:3 (w/v), and rate of agitation of 250 rpm, which provided 52% of 558 ppm carotenoids. The regression equation demonstrated the relationships between carotenoids concentration and extraction parameters revealed that the important independent factor affecting concentration of carotenoids decreased in the order ratio of oil to hexane > temperature > rate of agitation.

Carotenoids sample extracted by the built extractor at the optimum condition of -10°C , oil to hexane of 1:3 (w/v), and rate of agitation of 250 rpm found 62 ppm of residual hexane. The amounts of As, Cd, Pb, Hg, and Cu were undetectable, while 9.41 ppm of Fe was detected in samples.

The final concentration of carotenoids concentrated through a saponification was 216,100 ppm, which was higher than in the extracted carotenoids before saponification for 21.61%. The loss of carotenoids through saponification was about 43%.

Comparing with the commercial samples at the same concentration, the values of a^* (redness) of the extracted oil soluble samples were higher, whereas those of the extracted water soluble samples were much less. The extracted and commercial oil soluble samples gave a similar color of orange red. Color of the extracted water-soluble samples was orange red, while that of the commercial samples was yellow red.

At the storage condition of $30 \pm 2^{\circ}\text{C}$ and $60 \pm 5\%$ relative humidity, carotenoids concentration of the oil base samples decreased about 10%/month, and at 5 months the concentration decreased about 50%. In case of the water base colors, the decreasing of carotenoids was about 33% during the first month, and then the concentration was remained relatively constant. The phase separation was occurred together with the growth of moulds after storage for 1 month.

The raw material and chemical costs of making 1 kg of 1 % carotenoids were altogether 2,189 Baht. The gain would be 2,811 Baht/kg at the sale value of 5,000 Baht/kg.

บทที่ 1

หลักการและเหตุผล

ปัจจุบันผู้บริโภคให้ความสนใจผลิตภัณฑ์ที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพที่ทำมาจากธรรมชาติ เนื่องจากมีรายงานถึงอันตรายน้อยกว่าการใช้ผลิตภัณฑ์สังเคราะห์ทางเคมี ดังนั้นอุตสาหกรรมอาหารที่จำเป็นต้องใช้สีเหลืองในการผลิตอาหาร จึงนิยมใช้สารสีจากแคโรทีนอยด์ ซึ่งนอกจากจะให้สีเหลืองที่มาจากธรรมชาติแล้ว แคโรทีนอยด์ยังประกอบด้วยเบต้าแคโรทีน ซึ่งเป็นสารเริ่มต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอของร่างกาย และเบต้าแคโรทีนยังมีคุณสมบัติเป็นแอนติออกซิแดนต์ ซึ่งมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระอีกด้วย นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมอาหารแล้ว แคโรทีนอยด์ยังเป็นสารที่มีการใช้มากใน อุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง อย่างไรก็ตาม แคโรทีนอยด์มีราคาสูงถึงประมาณกิโลกรัมละ 5,000-100,000 บาท เนื่องจากต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งแม้ว่าความต้องการใช้แคโรทีนอยด์ในประเทศไทยยังไม่มี การรวบรวมไว้ แต่มีการประมาณการใช้เบต้าแคโรทีนจากแหล่งธรรมชาติของทุกประเทศ ในปี 2001 ถึง 887 ล้านเหรียญสหรัฐอเมริกา (DSM: biggest slice of carotenoid market, 2006) แม้ว่าในปัจจุบันจะมีการผลิตเบต้าแคโรทีนโดยวิธีการสังเคราะห์ ซึ่งมีราคาที่ต่ำกว่าเบต้าแคโรทีนที่สกัดได้จากธรรมชาติ แต่ผู้บริโภคทั่วไปให้ความสนใจและยอมรับแคโรทีนอยด์ที่ทำมาจากธรรมชาติมากกว่า

ประเทศไทยใช้น้ำมันปาล์มมากเป็นลำดับต้นๆ (ร้อยละ 73) ทั้งนี้เนื่องจากน้ำมันปาล์มมี คุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาใช้ปรุงอาหารได้หลายประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารประเภททอด ทั้งนี้เนื่องจากมีจุดเกิดควันสูง สามารถทนอุณหภูมิในการทอดได้ดี นอกจากนี้ในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม ยังได้ผลผลิตอื่นๆด้วย เช่น เนยขาวและกรดไขมันอิสระ ซึ่งเนยขาวสามารถนำไปใช้เป็นส่วนผสมของขนมอบ กรดไขมันอิสระสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ หรือใช้ในการผลิตสบู่และเครื่องสำอาง นอกจากนี้ น้ำมันปาล์มยังมีคุณค่าทางอาหารสูง โดยประกอบด้วยเบต้าแคโรทีนในปริมาณสูงถึงร้อยละ 54 ของปริมาณแคโรทีนอยด์รวม ซึ่งเบต้าแคโรทีนมีคุณสมบัติเป็น แอนติออกซิแดนต์ และเป็นสารเริ่มต้นในการสังเคราะห์วิตามินเอของร่างกาย (Ronald และ Eitenmiller, 1998)

อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มบริโภค จะมีขั้นตอนการกำจัดสีส้มอมแดงของแคโรทีนอยด์ออกไปเพื่อให้สีเหลืองใส เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งนิยมน้ำมันบริโภคที่มีสีเหลืองใส โดยมักจะคิดว่าน้ำมันที่มีสีเข้ม เป็นน้ำมันที่ไม่บริสุทธิ์ มีการกลั่นแยกที่ไม่ดี การกำจัดสีส่วนเกินจากแคโรทีนอยด์ออกไป จะทำให้คุณค่าทางอาหารของน้ำมันปาล์มลดลงอย่างมาก

ปัจจุบันกระบวนการที่ใช้ในการกำจัดสีส่วนเกินของน้ำมันปาล์มนิยมใช้สารดูดซับ เช่น Activated carbon, Acid activated clay หรือ Neutral earth เป็นต้น (นิธิยา, 2544) ซึ่งสีส่วนเกิน

ที่ถูกกำจัดออกไปจะถูกดูดซับอยู่ในสารดูดซับ โดยถ้าต้องการกำจัดสีในปริมาณที่มากขึ้นก็จำเป็นต้องใช้สารดูดซับเพิ่มขึ้นไปด้วย วิธีการกำจัดสารดูดซับในอดีต นิยมนำไปเป็นอาหารเสริมของสัตว์ประเภทม้า หรือวัว ต่อมาสารดูดซับได้ถูกนำไปใช้ในการถนอมที่ เนื่องจากมีปริมาณมากเกินไปเกินความต้องการที่จะนำไปใช้เป็นอาหารเสริมของสัตว์ แต่ในปัจจุบัน กฎหมายสิ่งแวดล้อมได้เพิ่มข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับการทิ้งสารดูดซับ โดยไม่อนุญาตให้ทิ้งสารดูดซับที่มีสารสีอยู่ในปริมาณเกินกว่าที่กฎหมายกำหนด ดังนั้น ยิ่งถ้ามีการใช้สารดูดซับสีมากขึ้นเท่าใด ก็ยิ่งเป็นภาระของผู้ผลิตที่ต้องรับผิดชอบในการกำจัดสารสี ในสารดูดซับให้มีปริมาณตามที่กฎหมายกำหนดมากขึ้นไปด้วย นอกจากนี้ ในกระบวนการผลิตเนยเทียม ซึ่งโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มมักจะมีการผลิตควบคู่ไปด้วย มักจะใช้น้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการกำจัดสีออกแล้วมาเป็นส่วนประกอบหลักในการผลิต แต่เนื่องจากเนยเทียมจะต้องมีสีเหลือง จึงทำให้ผู้ผลิตจำเป็นต้องซื้อสารสีจากแคโรทีนอยด์ มาผสมกลับเข้าไปในกระบวนการผลิตเนยเทียมอีกครั้งหนึ่ง นอกจากนี้ ในอุตสาหกรรมอาหารอื่นๆ ที่จำเป็นต้องใช้สีเหลืองในองค์ประกอบของอาหาร และต้องการใช้สีเหลืองที่มาจากธรรมชาติ พร้อมทั้งให้คุณค่าทางอาหารด้วย ก็นิยมใช้สารสีจากแคโรทีนอยด์ ซึ่งมีราคาแพงและต้องนำเข้าจากต่างประเทศ

สีผสมอาหารที่เป็นสีสังเคราะห์มักจะไม่น่าปลอดภัย และไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคในปัจจุบันมากนัก เนื่องจากอันตรายส่วนใหญ่เกิดจากสีสังเคราะห์ทางเคมี ซึ่งมีโลหะหนักจำพวก ตะกั่ว ปรอท สารหนู สังกะสี และโครเมียม ปะปนอยู่ (<http://saksiri.hypermart.net/health/color.html> , 18/08/2545)

การแยกสารสีหรือแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ สามารถทำได้หลายวิธีเช่น การใช้เครื่อง Supercritical Fluid Extraction และการสกัดโดยใช้วิธี Molecular distillation เป็นต้น วิธีการสกัดหรือการผลิตแคโรทีนอยด์ในปัจจุบัน มีข้อจำกัดหลายประการ ทั้งทางด้านเทคนิค ต้นทุนการผลิต และความเป็นไปได้เชิงพาณิชย์ อีกทั้งยังเป็นนวัตกรรมของต่างประเทศ ซึ่งหากนำมาประยุกต์ใช้กับประเทศไทย จะสามารถนำมาใช้ได้กับธุรกิจขนาดใหญ่เท่านั้น วิธีการผลิตแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ ที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมขนาดกลางหรือย่อมของไทย ควรเป็นเทคโนโลยีระดับพื้นฐานและมีต้นทุนต่ำ เครื่องสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบโดยใช้ตัวทำละลายที่อุณหภูมิต่ำที่สร้างขึ้น เป็นอุปกรณ์สกัดแยกแคโรทีนอยด์แบบใหม่ ที่ยังไม่มีการศึกษาหรือสร้างมาก่อน อุปกรณ์นี้เป็นอุปกรณ์ที่สร้างได้ง่าย มีขั้นตอนการใช้งานไม่ยุ่งยาก มุ่งใช้วัสดุ อุปกรณ์ที่หาซื้อได้ง่ายในประเทศ ราคาถูก ซ่อมบำรุงได้ง่ายและรวดเร็ว ปลอดภัยต่อผู้ใช้ ไม่เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม สามารถนำตัวทำละลายที่ใช้แล้วนำกลับไปใช้ใหม่ได้ มีประสิทธิภาพในการแยกแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบได้ดี มีต้นทุนในการผลิตที่แข่งขันกับตลาดนำเข้าได้ และเป็นสิ่งประดิษฐ์ที่สามารถขยายขนาดได้ในเชิงพาณิชย์

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบวนการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้เครื่องสกัดที่สร้างขึ้น โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด ศึกษาคุณภาพของแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้ ศึกษาการนำแคโรทีนอยด์มาผลิตเป็นสีผสมอาหาร และศึกษาอายุการเก็บของสีที่ผลิต

บทที่ 2

สาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 องค์ประกอบของน้ำมันปาล์ม

น้ำมันปาล์มดิบเป็นแหล่งแคโรทีนอยด์ที่มีปริมาณสูงที่สุดที่มีในพืชในธรรมชาติ ที่อยู่ในรูปของเรตินอลหรือโปรไวตามินเอ แคโรทีนอยด์พบในน้ำมันปาล์มสายพันธุ์ *Elaeis guineensis* และ *E. oleifera palms* และถูกผสม น้ำมันปาล์มสกัดได้จากชั้นมีโซคาบของผลปาล์ม ซึ่งคุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมีจะแตกต่างจากที่สกัดจากเนื้อในเมล็ด ปาล์มสายพันธุ์ *Elaeis guineensis* มีถิ่นกำเนิดที่ประเทศแถบแอฟริกาตะวันตก ในประเทศมาเลเซียสามารถผลิตน้ำมันปาล์มเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 3.8 ตันต่อเฮกตาร์ต่อปี และร้อยละ 11 ของน้ำมันที่ผลิตได้จะเป็นน้ำมันจากเนื้อในเมล็ดปาล์ม ในปี 1991 ตลาดโลกสามารถผลิตน้ำมันปาล์มได้ถึง 11.41 ล้านตัน ซึ่งมีประเทศผู้ผลิตรายใหญ่ 2 ประเทศคือ มาเลเซีย และอินโดนีเซีย (Choo, 1994) จากการเปรียบเทียบปริมาณการผลิตน้ำมันพืชของโลกแยกตามประเภทวัตถุดิบจำนวน 13 ชนิด ในปี พ.ศ. 2544 พบว่า น้ำมันถั่วเหลือง จะมีปริมาณการผลิตสูงสุดคือ และรองลงมาคือ น้ำมันปาล์ม (ธีระ และคณะ, 2546)

น้ำมันปาล์มประกอบด้วยองค์ประกอบหลักคือ ไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งจะมีปริมาณเกินร้อยละ 95 รองลงมาได้แก่ โคเลสเตอรอลและโมโนกลีเซอไรด์ ส่วนองค์ประกอบย่อยๆที่พบคือ กรดไขมันอิสระ และองค์ประกอบที่ไม่ใช่สารประกอบกลีเซอไรด์ ซึ่งชนิดของกรดไขมันที่อยู่ในน้ำมันปาล์มแสดงในตารางที่ 2.1 (Sandram และคณะ, 2003) โดยไขมันอิ่มตัวในน้ำมันปาล์มจะมีอยู่ร้อยละ 50 ส่วนไขมันไม่อิ่มตัวชนิด mono-unsaturated มีร้อยละ 40 ไขมันไม่อิ่มตัวชนิด polyunsaturated มีร้อยละ 10 (Choo, 1994) น้ำมันปาล์มดิบประกอบด้วยองค์ประกอบย่อยอยู่ประมาณร้อยละ 1 ซึ่งประกอบไปด้วย แคโรทีนอยด์ วิตามินอี (โทโคเฟอรอลและโทโคไตรอีนอล) สเตอรอล ฟอสโฟลิปิด ไกลโคลิปิด เทอปีนิกและอะลิฟาติก ไฮโดรคาร์บอน และ สิ่งปลอมปนอีกเล็กน้อย (Goh และคณะ, 1985) (ตารางที่ 2.2) สารที่สำคัญที่สุดในกลุ่มนี้คือ แคโรทีนอยด์ และวิตามินอี

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันปาล์ม (ร้อยละ)

ชนิดกรดไขมัน	เฉลี่ย	ช่วง
12:0	0.3	0-1
14:0	1.1	0.9-1.5
16:0	43.5	39.2-45.8
16:1	0.2	0-0.4
18:0	4.3	3.7-5.1
18:1 (n-9)	39.8	37.4-44.1
18:2 (n-6)	10.2	8.7-12.5
18:3	0.3	0-0.6
20:0	0.2	0-0.4

ที่มา: Sandram และคณะ (2003)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบย่อยของน้ำมันปาล์มดิบ

ชนิดองค์ประกอบย่อย	พีพีเอ็ม
แคโรทีนอยด์	500-700
โทโคเฟอรอล และ โทโคไตรอีนอล	600-1,000
สเตอรอล	326-527
ฟอสโฟลิปิด	5-130 ^a
ไตรเทอเพน แอลกอฮอล์	40-80 ^a
เมซิล สเตอรอล	40-80
สกวอรีน	200-500
อะซิฟาคิดแอลกอฮอล์	100-200
อะซิฟาคิดไฮโดรคาร์บอน	50

a = ค่าประมาณ

ที่มา: Choo (1994)

องค์ประกอบที่ไม่ใช่สารประกอบกลีเซอรีไรด์ ประกอบด้วย สเตอรอล ไตรเทอร์พีน แอลกอฮอล์ โทโคเฟอรอล ฟอสโฟลิพิด คลอโรฟิลล์ แคโรทีนอยด์ และกลิ่นที่ระเหยได้ง่าย เช่น อัลดีไฮด์ และ คีโตน (Sundram และคณะ, 2003)

2.2 การผลิตน้ำมันบริโภค

กระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระ เม็ดสี ฟอสโฟลิพิด และสารประกอบอื่นๆ ที่มีผลต่อกลิ่น หรือมีผลต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ โดยกระบวนการผลิตส่วนใหญ่อยู่ในประเทศมาเลเซีย และได้ส่งขายไปทั่วโลก

แต่เดิมกระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ จะใช้ค่างเป็นส่วนใหญ่ เพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระ ต่อมากระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ จะใช้วิธีทางกายภาพ และเป็นวิธีมาตรฐานที่ใช้ในปัจจุบัน กระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์โดยใช้ค่าง จะมีราคาสูงกว่ากระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์โดยใช้วิธีทางกายภาพ 2-3 เท่า กระบวนการทำน้ำมันให้บริสุทธิ์ โดยใช้วิธีทางกายภาพ มีดังนี้คือ (Corley และ Tinker, 2003)

1. ใช้กรดฟอสฟอริก ปริมาตรร้อยละ 0.1-0.4 ทำปฏิกิริยากับน้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิ 90-110 องศาเซลเซียส เพื่อกำจัดกัม (การกำจัดกัม)
2. ใช้ bleaching earth ร้อยละ 1-2 ทำปฏิกิริยากับน้ำมันปาล์ม ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ภายใต้สูญญากาศ 20-25 มิลลิเมตรปรอท เพื่อกำจัดสี (การฟอกสี)
3. ทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส และ กรอง bleaching earth ออก
4. ให้น้ำที่อุณหภูมิ 240-270 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 2-5 มิลลิเมตรปรอท เพื่อกำจัดกรดไขมันอิสระ และสารประกอบที่ระเหยได้ (การทำให้เป็นกลาง และการกำจัดกลิ่น)

ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเรียกว่า Refine Bleach Deoderize (RBD) Palm oil หรือ Refine Deoderize (RD) Palm oil ซึ่งผลิตได้โดยกระบวนการใช้ค่าง ซึ่งจะมีแคโรทีนอยด์ ร้อยละ 70 โดยจะเป็นแคโรทีนอยด์ เกรดมาตรฐาน และจำหน่ายเป็นโปรไวตามีนเอ กระบวนการทำให้บริสุทธิ์ สามารถกำจัดกรดไขมันอิสระที่มีอยู่ร้อยละ 4-6.5 ให้ลดลงได้ถึงร้อยละ 60 ของปริมาณเริ่มต้น

2.3 แคโรทีนอยด์

ชื่อแคโรทีนอยด์มาจากองค์ประกอบของเม็ดสีหลักในแครอท ซึ่งแคโรทีนอยด์นี้ จะให้เรียกลักษณะของสีที่ปรากฏในสิ่งมีชีวิต เช่น ในน้ำมันพืช ตัวอย่างเช่น สีเหลืองในน้ำมันข้าวโพด น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันเรพซิด น้ำมันลินสีด น้ำมันมะกอก น้ำมันข้าวบาร์เล่ย์ น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน และน้ำมันเมล็ดคูน เป็นต้น (Patte และคณะ, 1969;

Harold และคณะ, 1967) ซึ่งในน้ำมันเหล่านี้จะมีแคโรทีนอยด์อยู่ในปริมาณที่ต่ำ คือน้อยกว่า 100 พีพีเอ็ม แต่น้ำมันปาล์มจะมีความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์สูงสุด คือมีอยู่ประมาณ 15 ถึง 300 เท่า ของพืชอื่นๆ เช่น ในแครอท ผักสีเขียว และมะเขือเทศ การเปรียบเทียบปริมาณเทียบเท่าโปรไวตามินเอแสดงในตารางที่ 2.3 และตารางที่ 2.4 แสดงปริมาณแคโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์มดิบ

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบปริมาณเทียบเท่าเรตินอล (RE) ของน้ำมันปาล์มกับอาหารชนิดอื่นๆ

	RE	Relative quality ^a	
		> น้ำมันปาล์มสีแสด	< น้ำมันปาล์มสีแสด
น้ำมันตับปลา (preformed retinal)			
ปลาฮาติบัต	900,000	30	N/A
ปลาฉลาม	180,000	6	N/A
ปลาคอท	18,000	N/A	1.7
ผักและผลไม้ (carotene derived)			
น้ำมันปาล์มสีแสด	30,000	N/A	N/A
แครอท	2,000	N/A	15
ผักใบเขียว	685	N/A	44
แอพริคอต	250	N/A	120
มะเขือเทศ	100	N/A	300
กล้วย	30	N/A	1,000
น้ำส้ม	8	N/A	3,750

a. ต่อ 100 ปอนด์ของปริมาณที่รับประทานได้ (μg).

N/A = ไม่มีข้อมูล

ที่มา: Choo (1994)

ตารางที่ 2.4 ปริมาณแคโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์มดิบ

องค์ประกอบ	ร้อยละ	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
Carotenoids		
α -carotene	36.2	N/A
β -carotene	54.4	N/A
γ -carotene	3.3	500-700
Lycopene	3.8	N/A
Xanthophylls	2.2	N/A

N/A = ไม่มีข้อมูล

ที่มา: Sandram และคณะ (2003)

2.3.1 แหล่งของแคโรทีนอยด์ในน้ำมันปาล์ม

2.3.1.1 ชนิดของปาล์ม

ปาล์มตามธรรมชาติพบได้ในแถบแอฟริกาตะวันตก แต่ที่มีการเพาะปลูก มักจะพบในแอฟริกาตะวันออก อเมริกาใต้ มาเลเซีย และจาวา น้ำมันปาล์มที่ได้จากแถบตะวันออกไกล และจากเชียร์ จะมีแคโรทีนประมาณ 500-800 พีพีเอ็ม แต่สำหรับที่ได้จากไอเวอรี่โคสต์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากเมืองเบนินจะมีปริมาณของแคโรทีนสูงมาก ถึง 1,000-1,600 พีพีเอ็ม แต่จะให้ปริมาณน้ำมันที่สกัดได้ต่ำ น้ำมันปาล์มที่ได้จากสายพันธุ์เทนเนอร่า จะมีปริมาณแคโรทีนอยด์เฉลี่ย 500-700 พีพีเอ็ม (Goh และคณะ, 1985) สำหรับปาล์มสายพันธุ์อื่นๆ เช่น *Elaeis oleifera* (หรือ *E. melanococca*) ซึ่งเป็นสายพันธุ์จากอเมริกาใต้ พบว่าจะมีแคโรทีนอยด์เข้มข้นสูงถึง 4,600 พีพีเอ็ม ปริมาณสารประกอบแคโรทีนอยด์ของปาล์มสายพันธุ์ต่างๆ แสดงในตารางที่ 2.5 สายพันธุ์ที่นิยมปลูกมากที่สุดในประเทศไทย คือ พันธุ์ปาล์มลูกผสมระหว่าง *E. oleifera* และ *E. guineensis* (Tenera) ซึ่งต้นพันธุ์จะนำเข้าจากประเทศมาเลเซีย (ธีระ และคณะ, 2546)

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบแคโรทีนอยด์ (ร้อยละ) ของปาล์มสายพันธุ์ต่างๆ

	<i>E. guineensis</i>			<i>E. oleifera</i>	Hybrids		Back	Pressed	Second	Carotenoid	Red palm
	Tenera	Pisifera (P)	Dura (D)	(O)	OxP	OxD	cross ODxP	fibre oil	press oil	concentrate (ppm)	oil (ppm)
Phytoene	1.27	1.68	2.49	1.12	1.83	2.45	1.30	11.87	6.50	1.5	2.0
Phytofluene	0.06	0.90	1.24	trace	trace	0.15	trace	0.40	1.63	0.3	1.2
Cis- β -carotene	0.68	0.10	0.15	0.48	0.38	0.55	0.42	0.49	0.28	0.9	0.8
β -carotene	56.02	54.39	56.02	54.08	60.53	56.42	51.64	30.95	31.10	49.9	47.4
α -carotene	35.16	33.11	24.35	40.38	32.78	36.40	36.50	19.45	20.68	33.3	37.0
Cis- α -carotene	2.49	1.64	0.86	2.30	1.37	1.38	2.29	1.77	1.70	5.5	6.9
ζ -carotene ^a	0.69	1.12	2.31	0.36	1.13	0.70	0.36	7.56	4.62	1.7	1.3
δ -carotene	0.83	0.27	2.00	0.09	0.24	0.22	0.14	6.94	2.13	0.6	0.6
γ -carotene ^b	0.33	0.48	1.16	0.08	0.23	0.26	0.19	2.70	2.48	1.3	0.5
Neurosporene ^b	0.29	0.63	0.77	0.04	0.23	0.08	0.08	3.38	1.88	0.1	trace
β -zeaxanthene	0.74	0.97	0.56	0.57	1.03	0.96	1.53	0.37	0.58	1.3	0.5
α -zeaxanthene	0.23	0.21	0.30	0.43	0.35	0.40	0.52	trace	0.15	0.4	0.3
Lycopene ^c	1.30	4.50	7.81	0.07	0.05	0.04	0.02	14.13	26.45	3.4	1.5
Total (ppm)	673	428	997	4,592	1,430	2,324	896	5,162	2,510	80,560	545

- a. With two cis isomers
 b. With one as isomer
 c. With three cis isomers

ที่มา: Choo (1994)

2.3.1.2 การหาปริมาณแคโรทีนอยด์

โดยปกติ การวิเคราะห์แคโรทีนอยด์มักจะใช้สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในช่วงความยาวคลื่น 430 ถึง 480 นาโนเมตร โดยใช้เบต้าแคโรทีนเป็นสารมาตรฐาน แต่ที่ความยาวคลื่นที่สูงกว่านี้ มักจะใช้วิเคราะห์หาปริมาณแซนโทฟิล (Nielsen, 1998) และอีกวิธีหนึ่งคือ ใช้คอลัมโครมาโตกราฟีที่มีสารดูดซับที่แตกต่างกันไป และเมื่อไม่นานมานี้ คอลัมสเคชันนอร์เฟส ชนิด C-30 เป็นที่นิยมมากในการนำมาใช้แยกแคโรทีนอยด์จากน้ำมัน

ปาล์มดิบ เนื่องจากออกแบบมาให้ใช้สำหรับวิเคราะห์เม็คตีโดยเฉพาะ (Ronald และ Eitenmiller, 1999) ซึ่งวิธีนี้ก็จะสามารถแยกแคโรทีนอยด์ชนิดหลักๆ ได้ คือ แอลฟา และ เบต้า แคโรทีน ซึ่งจะมีอยู่ประมาณร้อยละ 80-90 ดังในตารางที่ 2.5

องค์ประกอบของแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้จากเส้นใย จะมีความแตกต่างทางเคมีเล็กน้อยจากแคโรทีนอยด์ที่สกัดจากน้ำมัน แคโรทีนอยด์ที่เป็นองค์ประกอบหลักยังคงเป็น แอลฟา และเบต้าแคโรทีน แต่มีเพียงร้อยละ 50 ของแคโรทีนอยด์ทั้งหมด แต่จะมีปริมาณ ไฟโตอิน โลโคพีน แกมมาแคโรทีน และเคลด้าแคโรทีนที่มีความเข้มข้นสูงกว่า และการหีบ น้ำมันแบบ 2 ขั้นตอนจะมีแคโรทีนอยด์ที่มีลักษณะใกล้เคียงกับที่ได้จากเส้นใย (Choo, 1994)

2.3.2 คุณค่าทางอาหารของแคโรทีนอยด์ที่ได้จากน้ำมันปาล์ม

2.3.2.1 แคโรทีนอยด์กับวิตามินเอ

แคโรทีนที่อยู่ในรูปของเบต้าแคโรทีน เป็นที่รู้จักมานานแล้วว่าเป็นโปรวิตามินเอ ซึ่งจะสามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นวิตามินเอได้ และไม่ว่าจะเป็นแอลฟาแคโรทีน แกมมาแคโรทีน หรือเบต้าแคโรทีน ในน้ำมันปาล์มต่างก็มีคุณสมบัติเป็นโปรวิตามินเอเช่นเดียวกัน น้ำมันปาล์มดิบถูกใช้เป็นแหล่งวิตามินเอสำหรับชาวแอฟริกามาเป็นเวลานานแล้ว แต่ในพื้นที่อื่นๆ ของโลก ยังไม่ค่อยยอมรับนักเนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบมีกรดไขมันอิสระปนอยู่ด้วย ซึ่งทั่วโลกจะบริโภคน้ำมันปาล์มที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์แล้วมากกว่า ซึ่งส่วนใหญ่ก็มักจะเป็นน้ำมันบริโภคที่ไม่มีแคโรทีนอยด์อยู่แล้ว เนื่องจากได้ถูกทำลายไปตั้งแต่กระบวนการทำให้บริสุทธิ์แล้ว และปัจจุบันได้มีการพัฒนาการแปรรูปให้น้ำมันที่ผ่านการทำให้บริสุทธิ์มีแคโรทีนอยด์สูงได้ โดยนำน้ำมันปาล์มดิบไปผ่านการกำจัดกัมด้วยกรดฟอสฟอริก ตามด้วยกระบวนการฟอกสี กำจัดกลิ่น และลดค่าความเป็นกรดด้วยอุณหภูมิที่ต่ำกว่ากระบวนการปกติ ซึ่งจะสามารถทำให้ปริมาณแคโรทีนอยด์ยังคงอยู่สูงเกินกว่าร้อยละ 80 ของน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งน้ำมันชนิดนี้เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวาง (Choo, 1994)

2.3.2.2 คุณสมบัติการเป็นสารแอนติออกซิแด้นซ์

เบต้าแคโรทีน แอลฟาแคโรทีน และโลโคพีน มีประสิทธิภาพสูงในการเป็นสารแอนติออกซิแด้นซ์ (Choo, 1994) ส่วนแคโรทีนอยด์ชนิดอื่นๆ เช่น ลูเทอิน ก็มีคุณสมบัติความเป็นสารแอนติออกซิแด้นซ์ที่ใกล้เคียงกัน (Ronald และ Eitenmiller, 1999) จากการทดสอบคุณสมบัติความเป็นสารแอนติออกซิแด้นซ์ในไขมัน กอเรสเตอรอล และ โลโปโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำ พบว่า แคโรทีนอยด์ที่อยู่ในน้ำมันปาล์มจะป้องกันไม่ให้น้ำมันเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันเพิ่มมากขึ้นได้ และยังพบว่า เบต้าแคโรทีน มีคุณสมบัติในการป้องกันการทำลายของอนุมูลอิสระ ซึ่งสามารถป้องกันสาเหตุของการเกิดโรคได้หลายชนิด เช่น atherosclerosis arthritis และ carcinogenesis นอกจากนี้ แอลฟาแคโรทีน เบต้าแคโรทีน โลโคพีน และ

ไฟโคอิน ยังมีคุณสมบัติในการต้านมะเร็ง (Murakoshi และคณะ, 1989) และในปี 1999 Stahl และ Sies รายงานว่า แอลฟาโทโคเฟอรอลและเบต้าแคโรทีน จะมีฤทธิ์เสริมกันเมื่อใช้ร่วมกัน

ในปี 1994, Choo พบว่า หนุทคลองที่มีการให้ปาล์มดิบเป็นอาหารจะเกิดการสะสมของแคโรทีนอยด์ในเนื้อเยื่อต่างๆ เช่น ในสัปดาห์ที่ 2 จะพบว่ามีเบต้าแคโรทีนในระดับเพิ่มขึ้นจาก 7.7 ไปเป็น 30 นาโนกรัมต่อกรัมของเนื้อเยื่อ และภายหลัง 10 สัปดาห์ จะมีแอลฟาแคโรทีนและไลโคพีน สะสมในเนื้อเยื่อในปริมาณ 74 และ 49 นาโนกรัมต่อกรัมของเนื้อเยื่อ แต่ไม่พบในเนื้อเยื่อสมอง เนื้อเยื่อไขมัน และในผิวหนัง

2.3.2.2 ความเป็นพิษ

Ooi (1991) ได้ทำการทดสอบความเป็นพิษของแคโรทีนอยด์ ที่ได้จากกระบวนการ Molecular distillation โดยทดลองป้อนให้กับหนู 4 กลุ่ม กลุ่มละ 12 ตัว โดยป้อนในรูปอาหารที่มีแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มผสมกับความเข้มข้นร้อยละ 0.2 (20,000 พีพีเอ็ม) เป็นเวลา 6 สัปดาห์ พบว่าในอวัยวะหลักๆ เช่น หัวใจ ปอด ต่อมแอดรีนอล ไต ตับ และม้าม เป็นปกติ รวมถึงปริมาณ ไขมัน ในหัวใจ และหลอดเลือด ยังคงปกติ จึงสรุปได้ว่า แคโรทีนอยด์ไม่มีผลต่ออวัยวะหลักๆ ของหนู นอกจากนี้ The Food and Agriculture Organization of Malaysia ขอรับให้แคโรทีนอยด์สามารถใช้เป็นสืผสมอาหารได้

2.3.3 รูปแบบการเตรียมแคโรทีนอยด์ และอายุการเก็บ

แคโรทีนอยด์เข้มข้นสามารถเตรียมได้ 3 รูปแบบ เพื่อให้เหมาะกับการประยุกต์ใช้ คือ แบบแคปซูล ทั้งชนิดที่อ่อนและแข็ง แบบผง และแบบอิมัลชัน โดยแบบผงสามารถที่จะนำไปทำเป็นเม็ดหรือบรรจุในแคปซูลได้ต่อไป ในการทดสอบความคงตัวของ แคโรทีนอยด์เข้มข้นที่บรรจุในแคปซูลอ่อน ซึ่งเก็บได้เป็นเวลา 1 ปี ที่ 28-32 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจากแคโรทีนอยด์ชนิดผง มีโอกาสที่จะสัมผัสกับแสงและอากาศมากกว่า ทำให้เกิดการเสถียรภาพเนื่องจากออกซิเดชัน หรือการแตกตัวของแคโรทีนอยด์ แต่ชนิดที่เป็นผง จะลดอัตราการสูญเสียลงได้ต่ำกว่าร้อยละ 4 เมื่อนำไปเก็บในตู้แช่แข็ง ที่ -50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ปี (Choo, 1994) นอกจากนี้ วรรณ (2531) ยังรายงานว่า สืผสมอาหารจากแคโรทีนอยด์สามารถเตรียมให้อยู่ในรูปแบบอื่นๆ ได้อีกคือ การเตรียมเป็นซัสเพนชันในไขมัน (oil suspension) ซึ่งเป็นวิธีที่หลักของแคโรทีนอยด์แขวนลอยในน้ำมันพืช โดยจะบดหลักของแคโรทีนอยด์ในสถานะของไนโตรเจนจนได้อนุภาคขนาด 5-10 ไมครอน ความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ในซัสเพนชันอยู่ระหว่างร้อยละ 20-30 นอกจากนี้แคโรทีนอยด์ยังสามารถเตรียมให้อยู่ในรูปคอลลอยด์ (colloidal dispersion) วิธีนี้จะละลายแคโรทีนอยด์ในตัวทำละลายที่เหมาะสม อาจมีการเติมอิมัลซิไฟเออร์ นำมาผสมกับสารละลายไฮโดรคอลลอยด์ เช่น เจลลาติน นำเอาของเหลวไประเหยเอาตัวทำละลายออกไปก่อน แล้วจึงนำไปทำให้แห้ง

ด้วยระบบสเปร์ย์ ผงแคลโรทีนอยด์ที่ได้มีความบริสุทธิ์ต่างกัน เช่นร้อยละ 10 หรือมากกว่า แล้วแต่บริษัทผู้ผลิต

Stein (2001) รายงานวิธีการเตรียมแคลโรทีนอยด์ในรูปสารแขวนลอยในสารละลายอินทรีย์ โดยมีการเติมสารแอนติออกซิแดนต์ หรือน้ำมันด้วย และนำไปผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จนมีอุณหภูมิ 100-250 องศาเซลเซียส แต่ต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 5 วินาที และผสมกับสารละลายอื่นที่ต้องการในขณะที่คอลลอยด์ยังคงร้อนอยู่ จนอุณหภูมิลดลงเหลือ 20-100 องศาเซลเซียส จากนั้นแยกสารละลายอินทรีย์ออก และทำซ้ำขั้นตอนเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนนำไปผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนใหม่อีกครั้ง Hoffmann La Roche (1958) ได้แสดงวิธีการเตรียมแคลโรทีนอยด์ โดยละลายแคลโรทีนอยด์ในตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว โดยมีการเติมสารแอนติออกซิแดนต์ เช่น โทโคเฟอรอล และ/หรือ แอสคอร์บิลปาล์มไมเตทลงไปในตัวทำละลายก่อนการละลายแคลโรทีนอยด์ Haberkorn (1999) ได้กล่าวถึงวิธีการเตรียมแคลโรทีนอยด์ในรูปผงที่สามารถละลายได้ดีในน้ำเย็น โดยผสมแคลโรทีนอยด์ลงในตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งอาจมีการเติมหรือไม่เติมอิมัลซิไฟเออร์หรือน้ำมันที่ช่วยด้วยก็ได้ และผสมเข้ากับตัวทำละลายอีกชนิดหนึ่ง ให้ความร้อนที่ 40-90 องศาเซลเซียส รอจนอุณหภูมิลดลงเหลือ 0-30 องศาเซลเซียส โดยใช้การทำความเย็นช่วยหรือไม่ก็ได้ จากนั้นแยกตัวทำละลายและน้ำออกจากแคลโรทีนอยด์ที่ผ่านการให้ความร้อนแล้ว และทำให้แห้ง เป็นผง

รายละเอียดเกี่ยวกับความคงตัวของแคลโรทีนอยด์ยังมีน้อย ปัจจัยที่พบว่ามีผลต่อความคงตัวของแคลโรทีนอยด์มีหลากหลาย คือ (Ronald และ Eitenmiller, 1999)

- ก) สิ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนสารประกอบจากรูป trans isomer ไปเป็น cis-isomer ได้ เช่น แสง กรด โลหะหนัก เอ็นไซม์ไลพอกซีจีเนส และความร้อนจากกระบวนการผลิต
- ข) แคลโรทีนอยด์จะเกิดออกซิเดชันได้เนื่องจากปฏิกิริยาออกไดออกซิเดชันของไขมัน ซึ่งจะมีผลให้เกิดการสูญเสียวิตามินเออย่างรวดเร็ว ซึ่งปฏิกิริยาออกไดออกซิเดชันเกี่ยวข้องกับจำนวนพันธะคู่ขององค์ประกอบของสารนั้นด้วย
- ค) แคลโรทีนอยด์อาจเกิดความไม่คงตัวเนื่องจากองค์ประกอบของอาหาร ซึ่งการแยกองค์ประกอบบางส่วนออกจากอาหาร จะเป็นการกระตุ้นการทำงานของเอ็นไซม์ไลพอกซีจีเนส ซึ่งทำลายแคลโรทีนอยด์ได้
- ง) การlovakผลิตภัณฑ์พืชก่อนการแช่แข็ง เพื่อเป็นการทำลายเอ็นไซม์ไลพอกซีจีเนส และเป็นการไล่ออกซิเจนออกจากเนื้อเยื่อ จะช่วยป้องกันการเสื่อมเสียได้
- จ) การทำแห้งโดยใช้อากาศ และการทำแห้งโดยวิธีระเหิดน้ำออกจากผลิตภัณฑ์ ทำให้เกิดการสูญเสียแคลโรทีนอยด์ ดังนั้นระหว่างการเก็บผลิตภัณฑ์เหล่านี้ควรบรรจุโดยเติมก๊าซเฉื่อย หรือทำระบบสุญญากาศ เป็นต้น

ด) แคโรทีนอยด์ จะคงตัวได้ดีกว่าในสถานะที่เป็นค่าง

ความคงตัวและอายุการเก็บแคโรทีนอยด์ ที่ทำเป็นส่วนผสมอาหารหรือใช้เป็นแหล่งวิตามิน ที่มีจำหน่ายในทางการค้า มีดังนี้

Beta-carotene 15M

แคโรทีนอยด์ชนิดนี้ สามารถละลายได้ในน้ำมัน มีเบต้าแคโรทีนเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ 15 ในน้ำมันข้าวโพด มีความไวต่อออกซิเจน แสง ความร้อน และความชื้น สิ้นจะค่อยๆ ซีดจางลงเมื่อเก็บที่ 60 องศาเซลเซียส มีอายุการเก็บนาน 12 เดือน เมื่อเก็บในสภาวะปิดสนิท ที่บ่มแสง และอุณหภูมิต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส ภายหลังการเปิดใช้งาน ก่อนการปิดฝาเก็บควร พ่นด้วยไนโตรเจน สีชนิดนี้ใช้ได้กับอาหารที่มีองค์ประกอบเป็นน้ำมัน เช่น มาการีน เนยแข็ง ไอศกรีม ชูป หรือผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ (BASF Technical bulletin, 2001)

β -Carotene Emulsion 8010

ผลิตภัณฑ์นี้มีองค์ประกอบของเบต้าแคโรทีน ร้อยละ 1 มีอายุการเก็บ 6 เดือน ในสภาวะปิดสนิท แท่ง มีด และเข็น ควรเก็บที่ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 70 ใช้ได้กับอาหารที่มีองค์ประกอบของน้ำ เช่น เครื่องดื่ม อาหารแช่แข็ง ไล้ขนมต่างๆ เป็นต้น (Colorcon Technical bulletin, 2004)

Beta-carotene 20% DC

แคโรทีนอยด์ชนิดนี้ มีลักษณะเป็นผง ประกอบด้วยสารเบต้าแคโรทีนร้อยละ 20 ไวต่อออกซิเจน แสง ความร้อน และความชื้น มีอายุการเก็บ 3 ปี ในสภาวะอุณหภูมิการเก็บสูงสุดไม่เกิน 25 องศาเซลเซียส และบรรจุภัณฑ์ต้องป้องกันแสงได้ สามารถนำไปทำเป็นเม็ด หรือ แคปซูลได้ (BASF Technical bulletin, 2001)

2.3.4 คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพ

แคโรทีนอยด์พบมากกว่า 600 ชนิด มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 40 คาร์บอน มีหน่วยย่อยที่เป็น isoprene 8 หน่วย แคโรทีนอยด์มีหลากหลายชนิดในธรรมชาติ ขึ้นอยู่กับชนิดของเนื้อเยื่อองค์ประกอบด้วย เช่น โลโคพีน จะมีลักษณะที่แตกต่างกันออกไปในพืชแต่ละชนิด เบต้าแคโรทีนที่เป็นที่รู้จักกันดีจะมีคุณสมบัติเป็นโปรวิตามินเอ เนื่องจากมีโครงสร้างเหมือนวิตามินเอ 2 โมเลกุลต่อกัน โดยที่หัว และท้ายของสายโซ่ไฮโดรคาร์บอน จะมี β -ionone ring จับอยู่ แคโรทีนอยด์ที่มีคุณสมบัติเป็นโปรวิตามินเอมีหลายชนิด เช่น เบต้าแคโรทีน แอลฟาแคโรทีน แกมมาแคโรทีน และ เบต้าคริปโตแซนทีน (Ronald และ Eitenmiller, 1999) โครงสร้างของเบต้าแคโรทีน แอลฟาแคโรทีน โลโคพีน และ วิตามินเอ แสดงดังภาพที่ 2.1-2.4 คุณสมบัติของแคโรทีนอยด์แสดงดังตารางที่ 2.6



β -carotene
 β,β -carotene

ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเบต้าแคโรทีน

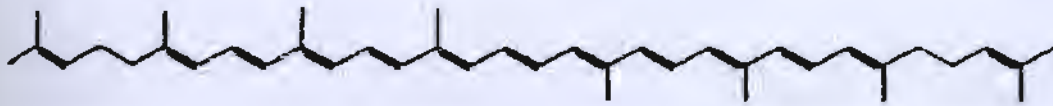
ที่มา: Ronald และ Eitenmiller (1999)



α -carotene
 β,ϵ -carotene

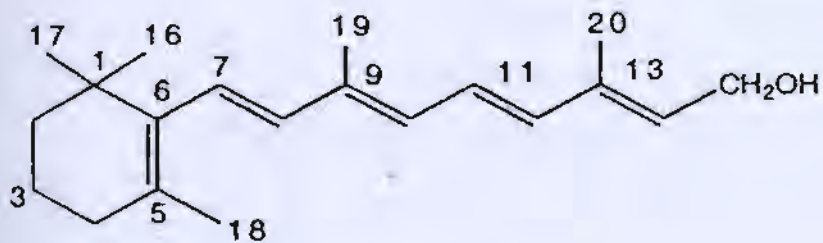
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของแอลฟาแคโรทีน

ที่มา: Ronald และ Eitenmiller (1999)



Lycopene
 Ψ, Ψ -carotene

ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของไลโคพีน
 ที่มา: Ronald และ Eitenmiller (1999)



All-*trans*-retinol
 vitamin A

ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของวิตามินเอ
 ที่มา: Ronald และ Eitenmiller (1999)

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติทางกายภาพของแคโรทีนอยด์

แคโรทีนอยด์	Molar Mass	สูตรโครงสร้าง	การละลาย	จุดหลอมเหลว (องศาเซลเซียส)	ลักษณะผลึก
<i>Provitamin A Carotenoids</i>					
β -carotene	536.88	$C_{40}H_{56}$	Soluble in CS_2 , benzene, chloroform	183	Red rhombic square leaflets
α -carotene	536.88	$C_{40}H_{56}$	Freely soluble in CS_2 , chloroform; soluble in ether, benzene	187.5	Deep purple prisms
γ -carotene	536.88	$C_{40}H_{56}$	Somewhat less soluble than β -carotene	152-153.5 (synthetic) 177.5 (natural)	Red plates (synthetic) Deep-red prisms (natural)
<i>Other Carotenoids</i>					
Lycopene	536.88	$C_{40}H_{56}$	Soluble in chloroform, benzene; insoluble in methanol, ethanol	172-173	Deep red needles

ที่มา: Ronald และ Eitenmiller (1999)

2.4 เทคนิคการแยกแคะโรทีนอยด์

เนื่องจากอุตสาหกรรมอาหารมีความต้องการใช้แคะโรทีนอยด์ในปริมาณสูง ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาถึงกรรมวิธีการผลิตแคะโรทีนอยด์จากวัตถุดิบต่างๆอย่างหลากหลาย ซึ่งวิธีการต่างๆมีทั้งข้อดีและข้อจำกัดดังต่อไปนี้

2.4.1 การสกัดโดยใช้วิธี Supercritical Fluid Extraction

การสกัดด้วยวิธี Supercritical Fluid Extraction มีผู้ที่ทำการศึกษาครั้งนี้ Luiz และคณะ (2000) ได้ทำการสกัดแคะโรทีนและไขมันจากน้ำมันปาล์มดิบ และหาสมการทำนายประสิทธิภาพในการสกัด ซึ่งพบว่าอุณหภูมิที่ดีที่สุดในการสกัดคือ 45 องศาเซลเซียส Mastarah และคณะ (2001) ได้ใช้การสกัดแบบ Supercritical Fluid Extraction ในการแยกส่วนต่างๆของน้ำมันปาล์มดิบในลักษณะกึ่งต่อเนื่อง พบว่า เบต้าแคะโรทีนจะสกัดออกมาได้ยากเมื่อใช้ความดันสูง เนื่องจากมีความเข้มข้นของ raffinate สูง Cocero และคณะ (2000) ได้สรุปว่าวิธีสกัดนี้มีข้อได้เปรียบกว่าการสกัดโดยใช้สารละลายโดยทั่วไป แต่ก็มีข้อจำกัดคือ อาจทำให้การสกัดสารประกอบประเภทไม่อิ่มตัว เช่น เบต้าแคะโรทีน เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ Luiz และคณะ (1999) ได้สกัดแคะโรทีนอยด์และไขมันจากผล buri พบว่าการสกัดด้วยวิธี Supercritical Fluid Extraction ได้เบต้าแคะโรทีนสูงถึงร้อยละ 80 ในขณะที่การสกัดด้วยเฮกเซน จะได้เพียงร้อยละ 1 Inakuma และคณะ (1998) ได้สกัดไลโคพีนจากมะเขือเทศ Vesper และ Nitz (1997) ได้สกัดองค์ประกอบต่างๆจากพริกปาปริกา เพื่อเปรียบเทียบกับการสกัดด้วยตัวทำละลาย พบว่า Supercritical Fluid Extraction จะได้กรดไขมันร้อยละ 88 แต่การสกัดด้วยตัวทำละลายได้ร้อยละ 60 สำหรับแคะโรทีนอยด์ที่สกัดโดยวิธี Supercritical Fluid Extraction จะได้ร้อยละ 68 ในขณะที่การสกัดด้วยตัวทำละลายจะได้สูงกว่าคือร้อยละ 74 Zhou และ Barth (1996) ได้สกัดแคะโรทีนอยด์จากแครอท ที่ผ่านการ freeze dreid แล้ว Sangbin และ Kyung (1995) ได้สกัดแอลฟา และเบต้าแคะโรทีนจากแครอทที่ผ่านการ freeze dry แล้ว โดยจะใช้ของเหลวผสมระหว่าง คาร์บอนไดออกไซด์และเอทานอล Spanos และคณะ (1993) ได้สกัดเบต้าแคะโรทีนจากมันเทศ ที่ผ่านการ freeze dry พบว่าสารสกัดที่ได้จะมีเบต้าแคะโรทีนร้อยละ 94 Messerschmidt และคณะ (1993) ได้สกัดแคะโรทีนอยด์จากของเสียจากกระบวนการผลิตน้ำ sea buckthorn พบว่าสามารถสกัดได้ร้อยละ 64 Kitaoka และคณะ (1996) ทำการแยกแคะโรทีนอยด์จากเซลล์แบคทีเรีย โดยวิธี Supercritical Fluid Extraction ซึ่งจะได้แคะโรทีนอยด์ที่มีความปลอดภัยในการนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ และสารปรุงแต่งอาหาร นอกจากนี้ Marsili และ Callahan (1993) ได้เปรียบเทียบเวลาในการสกัดเบต้าแคะโรทีนออกจากผัก โดยใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างเอทานอลกับเพนเทน เปรียบเทียบการใช้ Supercritical Fluid Extraction พบว่า การสกัดด้วยตัวทำละลายจะใช้เวลาประมาณ 90 นาที แต่ Supercritical Fluid Extraction จะใช้เวลาเพียง 30 นาทีเท่านั้น

จากการศึกษาที่ผ่านมา สามารถสรุปข้อดีและข้อจำกัดของการสกัดแคโรทีนอยด์ด้วยวิธี Supercritical Fluid Extraction ได้ดังนี้

- ข้อดี
 - สามารถสกัดได้ทั้งวัตถุดิบที่เป็นของเหลวและของแข็ง
 - ใช้เวลาในการสกัดน้อยกว่าวิธีอื่น
 - ใช้ได้ผลดีกับการสกัดสารที่ละลายตัวได้ง่ายจากความร้อน
- ข้อจำกัด
 - ไม่เหมาะกับการสกัดสารที่ไม่อิมตัว เนื่องจากจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน
 - ไม่สามารถสกัดแบบต่อเนื่องได้

2.4.2 การสกัดโดยใช้วิธีการดูดซับ

Adhikari และคณะ (1997) ได้ศึกษากลไกการดูดซับแคโรทีนอยด์ โดยใช้ acid-activated bleaching clay พบว่ากลไกการดูดซับเป็นแบบ chemisorption ซึ่งแตกต่างกับกลไกการดูดซับน้ำมันจากเฮกเซน ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยากับ silanol groups ส่วน Desai และ Dubash (1994) ได้ศึกษาการใช้ acid-treated bentonite และ alumina gel ในอัตราส่วนต่างๆ เพื่อใช้เป็นตัวดูดซับแคโรทีนจากน้ำมันปาล์มดิบ พบว่า การใช้อัตราส่วน bentonite ต่อ alumina gel ที่เหมาะสมคือ 4:1 ซึ่งจะดูดซับแคโรทีนได้ร้อยละ 79 Saburova และ Lepilin (1988) ศึกษาการดูดซับแคโรทีนอยด์จากน้ำมันดอกทานตะวัน โดยใช้ activated carbon พบว่าสามารถดูดซับได้ง่าย และใช้ activated carbon น้อยกว่าร้อยละ 0.01 กัมพลพนต์ (2538) ได้ทำการสกัดเบต้าแคโรทีนจากผงฟอกสีที่ใช้ในการดูดซับในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มโดยใช้กระบวนการ alcoholysis ซึ่งจากการใช้สารละลายกรดอะซิติกในเอทานอล พบว่าสารสีส้มอมแดงที่สกัดได้ไม่มีเบต้าแคโรทีนอยู่ แต่เมื่อทำการสกัด โดยผ่านกระบวนการ alcoholysis ที่ทำให้น้ำมันปาล์มดิบถูก transesterify อย่างต่อเนื่อง ที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 วินาที โดยมี NaOH ร้อยละ 0.5 เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และมี toluene เป็นตัวเชื่อมวัฏภาค (phase binder) พบว่าจะสามารถช่วยสกัดเบต้าแคโรทีนได้ โดยสูญเสียแคโรทีนอยด์ประมาณร้อยละ 36-42 อนุศร และ บุญตา (2539) ได้ศึกษาเปรียบเทียบการสกัดเบต้าแคโรทีนจากผงฟอกสีโดยใช้ Activated carbon PX1-3 , Activated carbon OA , CPG-LF , Norit Draco S 51 , CAL , KK หรือ F-100 ในการดูดซับในกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม ใช้เฮกเซนเป็นสารแยกน้ำมันออกก่อนในขั้นตอนแรก จากนั้นจึงสกัดเบต้าแคโรทีนจากผงฟอกสีด้วยโทลูอีน พบว่าผงถ่านชนิด KK สามารถใช้ในการแยกเบต้าแคโรทีนได้สูงที่สุด ประมาณ 0.0007 กรัมต่อน้ำมันปาล์ม 1 กรัม Hills (1989) และจดสิทธิบัตรกระบวนการเตรียมแคโรทีนอยด์จากสาหร่าย โดยใช้ตัวทำละลายผสมระหว่าง คลอโรฟอร์ม : เฮกเซน : อีเทอร์ : เมทานอล ในสัดส่วน 3:2:1:1 เมื่อสกัดสาหร่ายที่ทำลายผนังเซลล์แล้ว ทำการแยกสาหร่ายออกจากตัวทำละลายผสม และผ่านสารละลายผสมในเจลแบ่ง ระบายตัวทำละลายออกจากเจลแบ่ง ตกตะกอนแบ่งใน

แอลกอฮอล์ และแยกแคโรทีนอยด์ที่ละลายน้ำออกจากแป้ง ซึ่ง Mamuro และคณะ (1986) ก็ใช้วิธีการนี้ในการผลิตแคโรทีนให้เข้มข้น

การสกัดแคโรทีนอยด์ โดยใช้วิธีการคูลซ์ มีข้อดีและข้อจำกัดสรุปได้ดังนี้

ข้อดี - มีประสิทธิภาพในการสกัดสูง

- ใช้สารคูลซ์ในปริมาณต่ำ

ข้อจำกัด - เมื่อทำการคูลซ์แล้ว จะต้องทำการสกัดแยกแคโรทีนอยด์ออกจากสารคูลซ์อีกครั้ง

- ไม่สามารถสกัดแบบต่อเนื่องได้

- ใช้ได้กับวัตถุดิบที่เป็นของเหลวเท่านั้น

- สารคูลซ์บางชนิด เช่น เบนโทไนท์ ถ้ามีการตกค้างอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ

ภาพ

- มีปัญหาในการกำจัดกากสารคูลซ์

2.4.3 การทำให้เข้มข้น

การสกัดด้วยวิธีทำให้เข้มข้นได้มีการศึกษาโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวญี่ปุ่น (Ibuki และคณะ, 1996) โดยทำการละลายน้ำมันปาล์มดิบที่มีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงด้วยสารละลายอินทรีย์ ความเข้มข้นร้อยละ 5-30 (w/w) แล้วนำไปทำให้เย็นอย่างต่อเนื่อง ด้วยอัตราเร็ว 1 องศาเซลเซียสต่อนาที เพื่อตกผลึกส่วนต่างๆของน้ำมัน และเก็บส่วนที่ไม่ตกผลึกออกไป Tech Zusammenarbeit Gtz GmbH d (de) (1993) จัดสิทธิบัตรวิธีการผลิตน้ำมัน โอเลอินที่มีแคโรทีนอยด์เข้มข้น 750-1,000 พีพีเอ็ม จากน้ำมันปาล์มดิบ ซึ่งทำได้โดยนำน้ำมันปาล์มดิบทั้งหมดไปกำจัดกัม และทำการสกัดด้วยวิธีแบบลิวคิวด-ลิวคิวด และไปทำให้บริสุทธิ์โดยขั้นตอนการแยกชั้นเนชั่น

วิธีการนี้เป็นการเพิ่มปริมาณเบต้าแคโรทีนในน้ำมัน โดยไม่ใช้วิธีการสกัดแยกโดยตรง และต้องคิดตั้งระบบทำความเย็นเพิ่มเติม แต่เป็นวิธีที่น่าสนใจมากเนื่องจากไม่ซับซ้อน และสารเคมีที่ใช้เป็นตัวทำละลายคือสารอินทรีย์ ซึ่งสามารถประยุกต์ให้ใช้ชนิดเดียวกับที่มีใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่ใช้กันทั่วไปอยู่แล้วได้ เพียงแต่เพิ่มกระบวนการทางเคมีเข้าไปอีกเล็กน้อยก็จะสามารถทำให้เป็นกระบวนการสกัดที่สมบูรณ์ได้

2.4.4 การสกัดโดยใช้ตัวทำละลาย

การสกัดโดยใช้ตัวทำละลายได้มีการศึกษาในวัตถุดิบหลายประเภท ยกเว้นน้ำมันปาล์มดิบ ดังนี้ Ghazi (1999) ได้ทำการสกัดเบต้าแคโรทีนจากเปลือกส้ม พบว่า สารละลายที่ใช้สกัดที่ให้ปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงที่สุดคือ สารละลายผสมระหว่างอะซิโตนและเฮกเซน ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร โดยใช้อัตราส่วนสารละลายต่อตัวอย่างเท่ากับ 15:1 โดย

ปริมาตร และใช้เวลาในการสกัด 15 นาที Kajadphai และคณะ (1997) ได้ศึกษาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดแคโรทีนอยด์ เพื่อนำไปวิเคราะห์แคโรทีนอยด์จากน้ำมันเชื้อเพลิงที่สกัดพบว่า สารละลายที่มีความเป็นพิษน้อยที่สุดและเหมาะสมที่สุดในการสกัดเบต้าแคโรทีนคือการใช้สารละลายผสมระหว่าง เอทานอล:เฮกเซน ในอัตราส่วน 4:3 โดยปริมาตร โดยสกัด 2 ครั้ง จะได้ไลโคพีนร้อยละ 96 แอลฟาแคโรทีนร้อยละ 102 และเบต้าแคโรทีนร้อยละ 93-100 Park และคณะ (1998) ได้ทำการสกัดแคโรทีนอยด์จาก *Chrysanthemum boreale* โดยสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 21 ในสัดส่วน 143 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง 1 กรัม เป็นเวลา 19 ชั่วโมง พบว่าได้แคโรทีนอยด์ร้อยละ 75 Teixeira และ Rodriguez (1998) สกัดแคโรทีนอยด์จาก Brazilian nectarine (*Prunus persica*) โดยใช้อะซิโตน และแยกอะซิโตนออกด้วยน้ำ จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชันด้วย โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 10 ในเมทานอล และนำไปทำให้เป็นกลาง พบว่าจะมีปริมาณแคโรทีนอยด์อยู่ 8.9-10.2 mug/g Boehm และ Bitsch (1997) สกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำผลไม้และผักด้วยเฮกเซนหลายๆครั้ง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณและ Isomer ของแคโรทีนอยด์ พบว่าแคโรทีนอยด์ที่ได้จากน้ำผลไม้และผักหลายชนิดจะมีปริมาณและ Isomer ของแคโรทีนอยด์ที่แตกต่างกันออกไป Wu และคณะ (1996) สกัดสารสีเหลืองจากเปลือกฟักทองโดยใช้สารละลายแล้วนำมากรอง และกลั่นเพื่อนำสารละลายกลับมาใช้ใหม่ จากนั้นนำไปทำให้เข้มข้นด้วยระบบสูญญากาศ พบว่าในสารสกัดจะมีเบต้าแคโรทีนอยด์ร้อยละ 16.84 ที่ละลายในน้ำมัน และทำให้ละลายในรูปน้ำได้โดยการผสมอิมัลซิไฟเออร์ลงไป เบต้าแคโรทีนอยด์ที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นสารผสมอาหารได้ Delgado และ Paredas (1997) สกัดแคโรทีนอยด์จากดอกแมรีโกลด์ ที่เติมเอนไซม์จากเชื้อราชนิดต่างๆ 5 ชนิด เพื่อดูผลของเอนไซม์ที่มีต่อการสกัดแคโรทีนอยด์ ด้วยสารละลายเฮกเซน พบว่าเอนไซม์ ECONASE-CEP เข้มข้นร้อยละ 0.1 จะให้ประสิทธิภาพในการสกัดสูงที่สุด Heidlas และคณะ (1997) สกัดสีประเภทแคโรทีนอยด์ โดยเฉพาะเบต้าแคโรทีน จากวัตถุดิบธรรมชาติที่แห้งและเป็นของแข็ง ด้วยสารละลายเอทิลอะซิเตตและเอทิลอะซิเตตผสมกับบิวทิลอะซิเตต ในวัตถุดิบที่มีปริมาณน้ำมันเริ่มต้น ประมาณร้อยละ 3-25 ใช้เวลาในการสกัดหลายชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 40-125 เซลเซียส พบว่าสีที่สกัดได้มีปริมาณสูงและบริสุทธิ์ Heidlas และคณะ (1996) สกัดแคโรทีนอยด์ จากวัตถุดิบแห้งตามธรรมชาติ โดยใช้ก๊าซความดันสูง เช่น โพรเพน และโพรเพนผสมกับบิวเทน เป็นสารสกัด วิธีการนี้จะให้สารที่สกัดได้มีแคโรทีนอยด์มีอยู่สูง ซึ่งสามารถใช้เป็นสีผสมอาหารได้ Wilberg และ Rodriguez (1995) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดแคโรทีนอยด์จาก ฝรั่ง มะม่วง และมะละกอ โดยใช้สารละลายหลายประเภท ได้แก่ เอทานอลผสมกับเฮกเซน ในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร หรือผสมอะซิโตน เมทานอล เอทานอล และ เฮกเซนในอัตราส่วนต่างๆ พบว่า การใช้สารละลายเอทานอลผสมกับเฮกเซนจะให้ ประสิทธิภาพในการสกัดสูงที่สุด Pokorny และคณะ (1993) สกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมัน rapeseed โดยนำเมล็ด rapeseed ไปอัด กรอง เหวี่ยง และสกัด

ด้วยสารละลาย ในอัตราส่วน 2:1 โดยปริมาตร Ihl และคณะ (1994) สกัดแคโรทีนอยด์จาก green leaves of Swiss Chard โดยใช้สารละลาย N,N-dimethylformamide และนำไปหาปริมาณเม็ดสีโดยใช้การวัดค่า $L^* a^* b^*$ พบว่าคลอโรฟิลล์จะมีค่า correlation coefficient (R^2) = 0.9264 และแคโรทีนอยด์จะมีค่า $R^2 = 0.9264$ Abou และคณะ (1992) สกัดแคโรทีนอยด์จากดอก calendula โดยใช้สารละลายชนิดต่างๆ เพื่อนำมาใช้เป็นสีย้อมเครื่องคั่ม พบว่าอะซิโตน ร้อยละ 95 มีประสิทธิภาพในการสกัดสูงสุด รองลงมาตามลำดับคือ เฮกเซนร้อยละ 95 และเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 นอกจากนี้ยังพบว่าสารละลาย starch จะเป็นตัวกลางที่ดีที่สุดที่ทำให้แคโรทีนอยด์กระจายตัวเมื่อใช้เป็นสีย้อมอาหาร Vollbrecht และคณะ (1998) ข้อมูลิทธิ์คือ กระบวนการสกัดสีแคโรทีนอยด์ จากวัตถุดิบธรรมชาติ โดยใช้แก๊สที่อัดจนเป็นของเหลว เช่น ไพรเพน และหรือ บิวเทน แต่ในขั้นตอนต้องมีการทำให้วัตถุดิบที่ต้องการสกัดแห้งก่อน ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้ได้สีแคโรทีนอยด์ที่มีความเข้มข้นสูง Union Chimique Belge (1957) สกัดน้ำมันโบเลโกหรือน้ำมันไอซาโนะ โดยใช้ตัวทำละลายไฮโดรคาร์บอนที่มีการเติมคลอรีนหรือออกซิเจน ที่มีจุดเดือดต่ำกว่า 75 องศาเซลเซียส Ig Farbenindustrie Ag. (1935) รายงานว่าสารบางชนิดที่สามารถละลายในน้ำมัน เช่น วิตามิน ในเนื้อเยื่อสัตว์ เนื้อเยื่อพืช สามารถแยกออกได้โดยการสกัดด้วยแอลกอฮอล์ที่มีจำนวนคาร์บอนตั้งแต่ หก จนถึง สิบอะตอม หรืออาจใช้แบบผสมกัน ยกตัวอย่างเช่น ดับที่ผ่านการบดแล้ว จะถูกผสมด้วยออกทิลแอลกอฮอล์ โนนิลแอลกอฮอล์ หรือเฮกซิลแอลกอฮอล์ และป้องกันออกซิเดชันด้วยไนโตรเจน ใช้เวลา 3-4 ชั่วโมง และขณะสกัดทำความเย็นด้วยน้ำแข็ง ทำการกรองแยกของแข็ง และแยกตัวทำละลายด้วยการระเหยที่ความดันต่ำ และยังมีการเลือกใช้ตัวทำละลายชนิดต่างๆที่ใช้ในการทำให้แคโรทีนเข้มข้นที่จดสิทธิบัตร โดย Passino (1952)

จากการศึกษาที่ผ่านมา สามารถสรุปข้อดีและข้อจำกัดของวิธีการสกัดนี้ ได้ดังนี้

- | | |
|----------|---|
| ข้อดี | <ul style="list-style-type: none"> -สามารถสกัดได้ทั้งวัตถุดิบที่เป็นของเหลวและของแข็ง -มีตัวทำละลายหลายชนิดให้เลือกใช้ได้ตามความเหมาะสม -ใช้ได้ผลดีกับการสกัดสารที่ละลายตัวได้ง่ายโดยความร้อน -สามารถนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ได้ |
| ข้อจำกัด | <ul style="list-style-type: none"> -ตัวทำละลายบางชนิดมีความเป็นพิษต่อมนุษย์ |

2.4.5 การแยกแคโรทีนอยด์โดยใช้แผ่นกรอง (membrane)

การแยกแคโรทีนอยด์ด้วยวิธีการกรอง มีผู้ทำการศึกษาคือ Ong และคณะ (1999) โดยใช้แผ่นกรองในขั้นตอนการกำจัดกัมในกระบวนการทำน้ำมันปาล์มให้บริสุทธิ์ ซึ่งสามารถกรองแยกแคโรทีนออกจากน้ำมันปาล์มดิบได้ถึงร้อยละ 15.8

วิธีการแยกแคโรทีนอยด์ โดยการใช้แผ่นกรองมีข้อดีหลายประการ ได้แก่

ใช้ได้ผลดีกับการสกัดสารที่ละลายตัวได้ง่ายเพราะไม่มีความร้อนมาเกี่ยวข้อง ใช้พลังงานต่ำและเป็นการลดค่าใช้จ่าย เนื่องจากแยกได้ทั้งกัมและแคโรทีนในเวลาเดียวกัน (สำหรับน้ำมันปาล์ม) และยังสามารถลดสารประกอบฟอสฟอรัสได้ถึงร้อยละ 96.4

อย่างไรก็ตามวิธีนี้ จะใช้แยกแคโรทีนอยด์ได้เฉพาะในวัตถุดิบที่เป็นของเหลวเท่านั้น และความสามารถในการแยกจะลดลงเมื่อเวลาที่ใช้งานเพิ่มขึ้น จึงจำเป็นต้องหาเทคโนโลยีมาใช้ทำความสะอาด membrane เพื่อที่จะสามารถนำกลับไปใช้ใหม่ได้

2.4.6 การสกัดโดยวิธี Molecular Distillation

Batistella และ Maciel (1998) ได้ทำการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์ม โดยทำน้ำมันให้เป็นกลาง และทำปฏิกิริยา transesterification จากนั้นนำไปกลั่นแยกเอสเทอร์ ด้วยวิธี Molecular Distillation พบว่า สารที่กลั่นได้มีแคโรทีนอยด์ มากกว่า 30000 พีพีเอ็ม เช่นเดียวกับ Procter and Gamble (1945) รายงานว่าแคโรทีนอยด์เข้มข้นสามารถเตรียมได้จากการทำแอลกอฮอล์ใสซึ่งน้ำมันปาล์มด้วย อะลิฟาติกโมโนไฮดรிகแอลกอฮอล์ ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และใช้ด่างเป็นแคตาไลส จากนั้นแยกอัลคิลเอสเทอร์ที่เกิดขึ้น และจะได้แคโรทีนอยด์เข้มข้นในส่วนของการตกค้างที่ได้จากการกลั่นแบบปกติ แต่ที่จัดอยู่ในการสกัดวิธีเดียวกันนี้เนื่องจากมีลักษณะการทำใกล้เคียงกัน ยังมีผู้ที่ใช้วิธีการใกล้เคียงกันนี้คือ Hara และคณะ (1988), Hama และคณะ (1986), Eckey (1943), Sonntag (1984) และ Ooi และคณะ (1991)

วิธีการนี้มีข้อดีคือสามารถแยกแคโรทีนอยด์ออกมาได้ในปริมาณสูงมาก แต่มีข้อจำกัดคือใช้แยกแคโรทีนอยด์ได้เฉพาะในวัตถุดิบที่เป็นของเหลวเท่านั้น

2.4.7 การแยกแคโรทีนอยด์ โดยใช้ โครมาโตกราฟี

Dontas และคณะ (1998) ได้แยกแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์ม โดยใช้ preparative liquid chromatography โดยใช้ซิลิกาเจลเป็น supporting material พบว่า สามารถแยกแคโรทีนอยด์สูงสุดได้ถึงร้อยละ 45 Siong และ Lam (1992) ได้แยกแคโรทีนอยด์จากผักใบเขียว มะเขือเทศ French and long beans และแครอท โดยใช้โครมาโตกราฟีชนิดเมกนีเซียม-โคอะดอมมาเซ็ปเตอร์ โดยใช้ตัวทำละลายผสมเป็นอะซิโตนในเฮกเซน โดยปรับสัดส่วนเป็นขั้นๆ พบว่าการแยก ถูเคอีน คริบโดแซนทีน โลโคพีน และแกมมาแคโรทีน ได้ผลดี แต่แอลฟาและเบต้าแคโรทีนจะถูกแยกได้ไม่สมบูรณ์

การแยกแคโรทีนอยด์โดยวิธีนี้มีข้อดีคือ ตัวทำละลายสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่ต้องใช้เวลาในการแยกนาน

2.4.8 การแยกแคโรทีนอยด์ โดยใช้วิธีการละลายในน้ำมันมะกอกและน้ำมันอื่นๆ

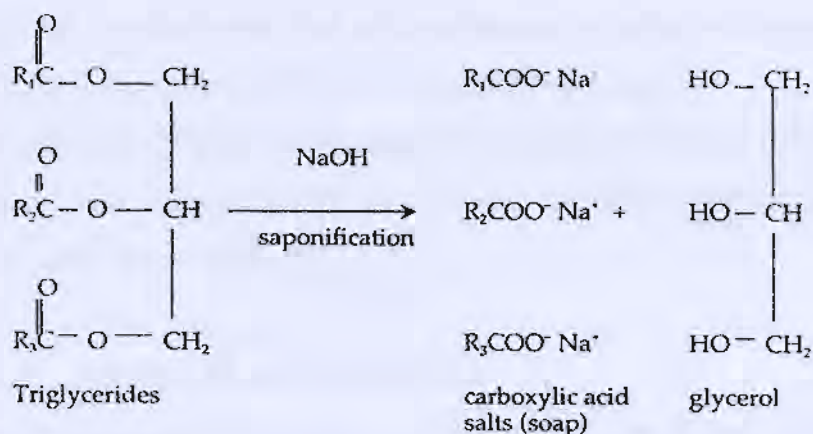
Rich และคณะ (1998) สามารถสกัดแยกแคโรทีนออกจากน้ำแครอทโดยใช้น้ำมันมะกอก Anderson (1975) ทำการสกัดแคโรทีนอยด์จากของเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตอาหาร ซึ่งมีสภาพเป็นของเหลวผสมเหมือนน้ำมันสตีมพู โดยการเติมน้ำมันไตรกลีเซอไรด์ เช่น น้ำมันถั่วเหลือง ทำการผสมให้เข้ากัน ให้ความร้อน และแยกส่วนของน้ำมันออกด้วยการเหวี่ยง แยก น้ำมันที่ได้จะเป็นสีส้มแดง สามารถนำไปใช้เป็นอาหารปลาแซลมอน และ ปลาเทราต์ ซึ่งจะช่วยให้ปลามีสีของเนื้อและหนังดีขึ้น

วิธีการนี้จะได้แคโรทีนอยด์ที่นำไปใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีองค์ประกอบไขมันได้โดยตรง แต่มีข้อจำกัดคือจะใช้ได้กับวัตถุดิบที่ไม่สามารถละลายลงมาผสมในน้ำมันมะกอกได้เท่านั้น

2.4.9 การแยกแคโรทีนอยด์โดยใช้ปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน

เนื่องจากแคโรทีนอยด์ไม่ทำปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน (Kimura และคณะ, 1990) Siong และ Lam (1992) จึงได้ประยุกต์ใช้เทคนิคโครมาโตกราฟที่ร่วมกับซาปอนนิฟิเคชัน ในการสกัดแคโรทีนอยด์จากผักใบเขียว มะเขือเทศ French and long beans และแครอท โดยใช้ปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน ในการแยกสารอื่นที่ไม่ใช่แคโรทีนอยด์ออกไปก่อน แล้วจึงแยกแคโรทีนอยด์ออกโดยวิธีโครมาโตกราฟฟี Fernandez และคณะ (1999) ได้แยกแคโรทีนอยด์ชนิด ซีแซนทีน ในโอเลโอเรซิน และแยกแคโรทีนอยด์จากผักโขบ การทำไอโซเมอไรเซชัน หรือการทำปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชัน ในตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น อีเทอร์ โพลีไฮดรอกซิลแอลกอฮอล์ หรืออีเทอร์ผสมแอลกอฮอล์ Katsumi และ Rikagaku (1924) ทำการแยกวิตามินที่ละลายในน้ำมัน โดยเปลี่ยนองค์ประกอบไขมัน ให้เป็นสบู่และสกัดวิตามินด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ โดยป้องกันการผสมของอากาศในระหว่างการทำปฏิกิริยา ตัวอย่างเช่น การทำปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชันน้ำมันตับปลาด้วยแคลเซียม หรือแบเรียมไฮดรอกไซด์ในแอลกอฮอล์ จากนั้นทำการกรองสบู่ออก ในบางกรณีก็สามารถทำปฏิกิริยาซาปอนนิฟิเคชันในสถานะเพิ่มความดัน และผสมแอลกอฮอล์หรืออีเทอร์เป็นขั้นตอนสุดท้าย สำหรับแคลเซียมหรือแบเรียมไฮดรอกไซด์ที่ตกค้างในผลิตภัณฑ์ จะตกตะกอนด้วยการเติมคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วกรองออก สำหรับกรดไขมันที่หลงเหลืออยู่ ก็ทำปฏิกิริยากับโปแตสเซียมคาร์บอเนต และการทำให้วิตามินที่ได้ปราศจากคอเลสเตอรอล ทำได้โดยการละลายวิตามินลงในเมทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 85-90 ซึ่งจะทำให้คอเลสเตอรอลตกตะกอน ซึ่งวิตามินที่ได้ อาจละลายในน้ำมัน แอลกอฮอล์ หรือคลุขับด้วย แล็กโตส หรือแบ่งเป็นต้น

ซึ่ง Tabor และคณะ (1948) และ Blaizot และคณะ (1953) ก็ใช้วิธีนี้เช่นเดียวกัน ภาพที่ 2.5 แสดง กลไกการเกิดปฏิกิริยา ซาปอนิฟิเคชัน



ภาพที่ 2.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชัน
ที่มา: นิธิยา (2001)

วิธีนี้มีข้อดีคือ สามารถลดสิ่งปลอมปนอื่นลงได้มาก และสามารถแยกแคโรทีนอยด์ได้ในปริมาณสูง แต่พบปัญหาคือ การทำปฏิกิริยานี้จะลดปริมาณของแคโรทีนอยด์ ที่ควรจะได้ลงบางส่วน (Kimura และคณะ, 1990) และเมื่อทำปฏิกิริยานี้ อาจทำให้วัตถุดิบที่นำมาสกัดบางชนิด เช่น น้ำมัน เกิดการสูญเสียไปบางส่วน

2.4.10 การแยกแคโรทีนอยด์โดยใช้วิธี phase separation

Minguez และคณะ (1989) ประสบความสำเร็จในการแยก chloroplast pigment ได้แก่ คลอโรฟิลล์และแคโรทีนอยด์ จากผลมะกอก โดยไม่มีการปนเปื้อนของน้ำมัน โดยใช้วิธี phase separation ระหว่างตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ เฮกเซน และ N,N-dimethylformamide นอกจากนี้ Hong (1997) ได้สกัดเบต้าแคโรทีนเข้มข้นจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยเปลี่ยนโครงสร้างน้ำมันปาล์มดิบให้เป็นเมธิลเอสเทอร์ โดยใช้ความดัน 0.4-2.8 ความดันบรรยากาศ

วิธีนี้จะได้แคโรทีนอยด์ที่มีความบริสุทธิ์สูง เนื่องจากไม่มีการปนเปื้อนของน้ำมัน และเป็นวิธีที่ใช้ได้ดีสำหรับการแยกแคโรทีนอยด์ออกจากน้ำมัน

แต่มิข้อจำกัดที่สำคัญคือ N,N-dimethylformamide ไม่มีความปลอดภัยเมื่อนำมาใช้กับอาหาร

2.4.11 การแยกแคโรทีนอยด์โดยใช้วิธีการเค้นสารตกตะกอนแคโรทีนอยด์

Graves (1996) ได้แยกแคโรทีนอยด์จากวัตถุดิบธรรมชาติ เช่น แครอท โดยแยกเนื้อและน้ำแครอทออกจากกัน จากนั้นเค้นสารตกตะกอนแคโรทีนอยด์ออกจากส่วนที่เป็นน้ำ เช่น แคลเซียมคลอไรด์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ หรือแคลเซียมแลกเตท หรือแคลเซียมกลูโคเนท ซึ่งจะทำให้แคโรทีนอยด์ตกตะกอนเป็นของแข็ง และแยกออกจากของเหลว

วิธีการนี้สามารถใช้ได้ดีกับ สารละลายแคโรทีนอยด์ที่ละลายได้ในน้ำหรือของเหลวมีขี้ และสามารถแยกของเหลวออกได้เท่านั้น เนื่องจากสารที่ใช้ในการตกตะกอนจะสามารถละลายได้เฉพาะในตัวทำละลายที่มีขี้เท่านั้น

2.4.12 การแยกแคโรทีนอยด์โดยใช้วิธีเชิงกล

Manuf de Machines Auxiliaires (1929) ได้แยกน้ำมันออกจากดັบล่า โดยนำดັบล่ามาบดและสับ จนได้มีลักษณะเป็นของเหลว และนำไปผ่านเครื่องเหวี่ยงแยกน้ำมันออก

วิธีการนี้สามารถใช้ได้ดีกับน้ำมันหรือวิตามินที่ละลายได้ในน้ำมัน ที่ต้องสกัดแยกออกจากเนื้อเยื่อเซลล์พืชหรือสัตว์ ที่ต้องมีการทำให้เซลล์แตก และสารเหล่านี้จึงจะแยกตัวออกมาได้ด้วยแรงทางเชิงกล

จากการศึกษาวิธีการสกัดหรือการผลิตแคโรทีนอยด์ที่กล่าวมาทั้ง 12 วิธี จะเห็นว่าแต่ละวิธีต่างมีข้อดีและข้อจำกัด ซึ่งวิธีที่เหมาะสมในการผลิตแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบทางอุตสาหกรรม ควรเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยาก ต้นทุนต่ำ และปลอดภัย ทั้งนี้วิธีการใช้ตัวทำละลายในการสกัด เป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยาก ถ้ามีการคัดเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสม จะทำให้ผลผลิตที่ได้ปลอดภัย มีคุณภาพดีเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และยังสามารถนำตัวทำละลายที่ใช้แล้วกลับไปใช้ใหม่ได้ และถ้ามีการออกแบบกระบวนการสกัดที่เหมาะสม ก็จะสามารถลดต้นทุนการผลิตได้มาก

2.5 การเตรียมแคโรทีนอยด์รูปแบบต่างๆ

เมื่อสามารถแยกแคโรทีนอยด์ได้แล้ว การเตรียมแคโรทีนอยด์ให้อยู่ในรูปแบบต่างๆ มีผู้ศึกษาไว้เป็นหลายกรณี ตัวอย่างเช่น Stein และคณะ (2001) ได้ทำแคโรทีนอยด์ให้เป็นผง โดยผสมแคโรทีนอยด์ สารแอนติออกซิแด้นซ์ และ/หรือน้ำมันให้อยู่ในรูปขี้สเฟนชัน ในตัวทำละลายอินทรีย์ที่ไม่ละลายในน้ำ นำไปผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ให้มีอุณหภูมิ 100-250 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาน้อยกว่า 5 วินาที และทำการผสมอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงอยู่ในช่วง 20-100 องศาเซลเซียส จึงทำการแยกตัวทำละลายอินทรีย์ออก Hoffmann La Roche (1958) ได้เตรียมแคโรทีนอยด์ที่เหมาะสมที่ใช้ผสมกับอาหาร หรืออาหารสัตว์ โดยละลายแคโรทีนอยด์และแอนติออกซิแด้นซ์ เช่น โทโคเฟอรอล และหรือแอสคอบิลปาล์มิเตท ในตัวทำละลาย ที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 เซลเซียส และทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว

เร็ว ต่อมา Haberkorn และคณะ (1999) ได้จัดสิทธิบัตรการทำแคโรทีนอยด์ผง ที่สามารถละลายได้ในน้ำเย็น

2.6 คุณสมบัติของตัวทำละลาย

การเลือกใช้ตัวทำละลายต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆ เช่นความมีขั้วของโมเลกุล อัตราการระเหย ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ และความสามารถในการละลายสารที่ต้องการ เป็นต้น ความมีขั้วของตัวทำละลายพิจารณาจากค่า electric dipole ในโมเลกุล ซึ่งเกิดจากค่าความแตกต่างของค่าอิเล็กโตรเนกาติวิตี ออกซิเจน และไนโตรเจนอะตอม จะทำหน้าที่เหมือนเป็นขั้วลบในโมเลกุล เพื่อจะใช้ยึดหรือจับกับโมเลกุลของคาร์บอนหรือไฮโดรเจน (Rydberg และคณะ, 1992)

ความสามารถในการละลายของสาร จะมีความสัมพันธ์กับการเคลื่อนตัวมาจับกันของโมเลกุล โดยโมเลกุลของของเหลวหรือของแข็ง จะอยู่ใกล้ชิดหรือติดกัน จากแรงยึดเหนี่ยวภายในแต่โมเลกุลเอง และแรงดึงดูดภายในโมเลกุลของตัวทำละลาย จะไม่สามารถสู้แรงดึงดูดภายในของตัวถูกละลายได้ ตัวทำละลายจึงไปแทรกอยู่ระหว่างและรอบๆ โมเลกุลของตัวถูกละลาย และขณะเดียวกันโมเลกุลของตัวถูกละลาย จะไปแยกโมเลกุลของตัวทำละลายออกจากกันด้วย ดังนั้น ความสามารถในการจับกันของโมเลกุลของทั้งตัวทำละลาย และตัวถูกละลาย ควรใกล้เคียงกัน จึงจะสามารถละลายเข้ากันได้เป็นอย่างดี แต่ถ้าโมเลกุลของทั้งตัวทำละลายและตัวถูกละลาย มีความสามารถในการจับกันของโมเลกุลที่แตกต่างกันมาก โมเลกุลที่ยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงดึงดูดสูง ก็จะจับตัวกันเอง และไม่สามารถละลายเข้ากันได้ ตัวอย่างเช่น น้ำและน้ำมันไม่สามารถละลายเข้ากันได้ เนื่องจากโมเลกุลของน้ำ จะจับกันเองอย่างเหนียวแน่น โดยไม่ยอมให้น้ำมันที่มีแรงดึงดูดต่ำกว่าแทรกตัวเข้าไปอยู่ระหว่างโมเลกุลของน้ำได้ (Burke, 1984) คุณสมบัติบางอย่างของตัวทำละลายบางชนิด แสดงในตารางที่ 2.7

จากทฤษฎีเกี่ยวกับ ความสามารถในการเป็นตัวทำละลายที่ดี พบว่าเฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่เหมาะสม คือ มีค่า electric dipole ค่า จึงสามารถใช้ได้ดีกับตัวถูกละลายที่มีขั้วต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับตัวถูกละลายที่เป็นน้ำมัน และเฮกเซนยังมีจุดเดือดต่ำ ทำให้สามารถระเหยแยกออกจากตัวถูกละลายได้ง่าย และมีสารตกค้างภายหลังการระเหยที่ต่ำมาก ประมาณร้อยละ 0.001

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของตัวทำละลาย

ตัวทำละลาย	น้ำหนักโมเลกุล (กรัมต่อโมล)	Dielectric constant ^b	จุดเดือด (องศาเซลเซียส)
c-Hexane	84.2	2.02	80.74
n-Hexane	86.2	1.88	68.7
n-Octane	114.3	1.95	258.3
Benzene	78.1	2.28	80.1
Toluene	92.1	2.38	110.6
Dichloromethane	89.9	8.9	39.8
Chloroform	119.4	4.9	61.2
Carbon tetrachloride	153.8	2.24	76.5
Chlorobenzene	112.6	5.6	131.7
Carbon disulfide	76.1	2.63	46
Water	18.0	78.4	100.0
Methanol	32.0	32.7	64
Ethanol	46.1	26.6	78.3
Diethyl ether	74.1	4.34	34.6
Acetone	58.1	20.7	56.3
Ethyl acetate	88.1	6.0	77.1
Propylene carbonate	102.1	66.1	240
Nitrobenzene	123.1	34.8	210.9
Acetonitrile	41.1	37.5	81.6

^b At 25 องศาเซลเซียส

ที่มา: คัดแปลงจาก Rydberg และคณะ (1992) และ Boiling Point Fuels (2007)

บทที่ 3

วัตถุดิบและวิธีการศึกษา

3.1 วัตถุดิบและสารเคมี

3.1.1 วัตถุดิบ

- น้ำมันปาล์มดิบ จากบริษัทหุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์มจำกัด (มหาชน) เก็บในภาชนะพลาสติกที่ป้องกันแสง อากาศ และความชื้น

3.1.2 สารเคมี

- เฮกเซน (J.T. Baker, USA)
- เอทานอลร้อยละ 95 (O.V. Chemical and Supply Limited Partnership of Thailand, Thailand)
- กรดซิดริก (O.V. Chemical and Supply Limited Partnership of Thailand, Thailand)
- กระดาษเซลลูโลส (O.V. Chemical and Supply Limited Partnership of Thailand, Thailand)
- กรดฟอสฟอริก (Vidhayasom Company Limited, Thailand)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (O.V. Chemical and Supply Limited Partnership of Thailand, Thailand)
- โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Merck, Germany)
- มอลโคเดกซ์ตริน DE. 10 (O.V. Chemical and Supply Limited Partnership of Thailand, Thailand)
- กัวอาคาเซีย (O.V. Chemical and Supply Limited Partnership of Thailand, Thailand)
- กลีเซอริน (O.V. Chemical and Supply Limited Partnership of Thailand)
- โซเดียมเบนโซเอท (O.V. Chemical and Supply Limited Partnership of Thailand, Thailand)
- เมกาดิน (Mega Product Company Limited of Thailand, Thailand)
- ไวตามินอี (Mega Product Company Limited of Thailand, Thailand)
- เบต้าแคโรทีน มาตรฐาน (Fluka Chemie of USA, USA)

- β -carotene dispersion 10% liquid oil soluble E-160a (Sensient Food Colors Germany GmbH and Co. KG, Germany)
- β -carotene 2% WD Emulsion (Sensient Food Colors Germany GmbH and Co. KG, Germany)

3.1.3 วัสดุและอุปกรณ์อื่นๆ

- กระดาษ Whatman เบอร์ 1 และ เบอร์ 4 (Whatman International Ltd., England)
- กระดาษเซลลูโลส (O.V. Chemical and Supply Limited Partnership of Thailand, Thailand)
- Spectrophotometer (Thermo Spectronic, Biomate5, England)
- Colorimeter (Hunter Lab, ColorQUEST II DPERE, Hunter Associates Laboratory, Inc, USA.)

3.2 วิธีการศึกษา

3.2.1 การศึกษาชนิดของน้ำมันปาล์มดิบที่เหมาะสมในการเป็นวัตถุดิบ

ทำการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบด้วยตัวทำละลายเฮกเซนอุณหภูมิห้อง ด้วยวิธีแบบไม่ต่อเนื่อง โดยใช้ น้ำมันปาล์มดิบ 2 ชนิด คือ น้ำมันปาล์มดิบส่วนใสที่ได้จากการตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 1 วัน และน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอน นำน้ำมันปาล์มดิบไปกำจัดกัมและโลหะหนัก โดยการให้ความร้อนน้ำมันปาล์มดิบ 70-90 องศาเซลเซียส ด้วย Hot plate กวนตลอดเวลาด้วย magnetic stirrer (ARE, Velp Scientifica) ด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ค่อยๆเติมสารละลายผสมระหว่างกรดซัลฟริกเข้มข้นร้อยละ 20 ปริมาตรร้อยละ 0.02 และกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 75 ปริมาตรร้อยละ 0.08 ใช้เวลาในการกวนผสมเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นทิ้งไว้จนอุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 โดยใช้ระบบการกรองแบบสุญญากาศ แล้วนำน้ำมันที่ได้ไปผสมกับเฮกเซนในอัตราส่วน 1:1, 1:2 และ 1:3 ตามลำดับ โดยจะใช้เฮกเซนที่อุณหภูมิ -10, -15 และ -20 องศาเซลเซียส และผสมน้ำมันและเฮกเซนให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที แล้วนำสารละลายที่ได้ในแต่ละสิ่งทดลองไปกรองแยกส่วนที่ไม่ละลายออก (ไขมันตกผลึก) ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน จากนั้นนำกระดาษกรองที่ผ่านการกรองแล้วไปชั่งน้ำหนักทันที เพื่อหาน้ำหนักของไขมันที่ไม่สามารถละลายได้ในเฮกเซนที่ระดับอุณหภูมินั้นๆ และนำสารผสมที่ผ่านกระดาษกรองได้ไประเหยเฮกเซนออก และวัดค่าสีด้วยเครื่อง Colorimeter ทั้งนี้เพื่อให้ทราบอัตราส่วนน้ำมันปาล์มดิบต่อเฮกเซน และอุณหภูมิของเฮกเซนที่เหมาะสมที่สุดในการแยก แคโรทีนอยด์ออกจากน้ำมันปาล์มดิบ

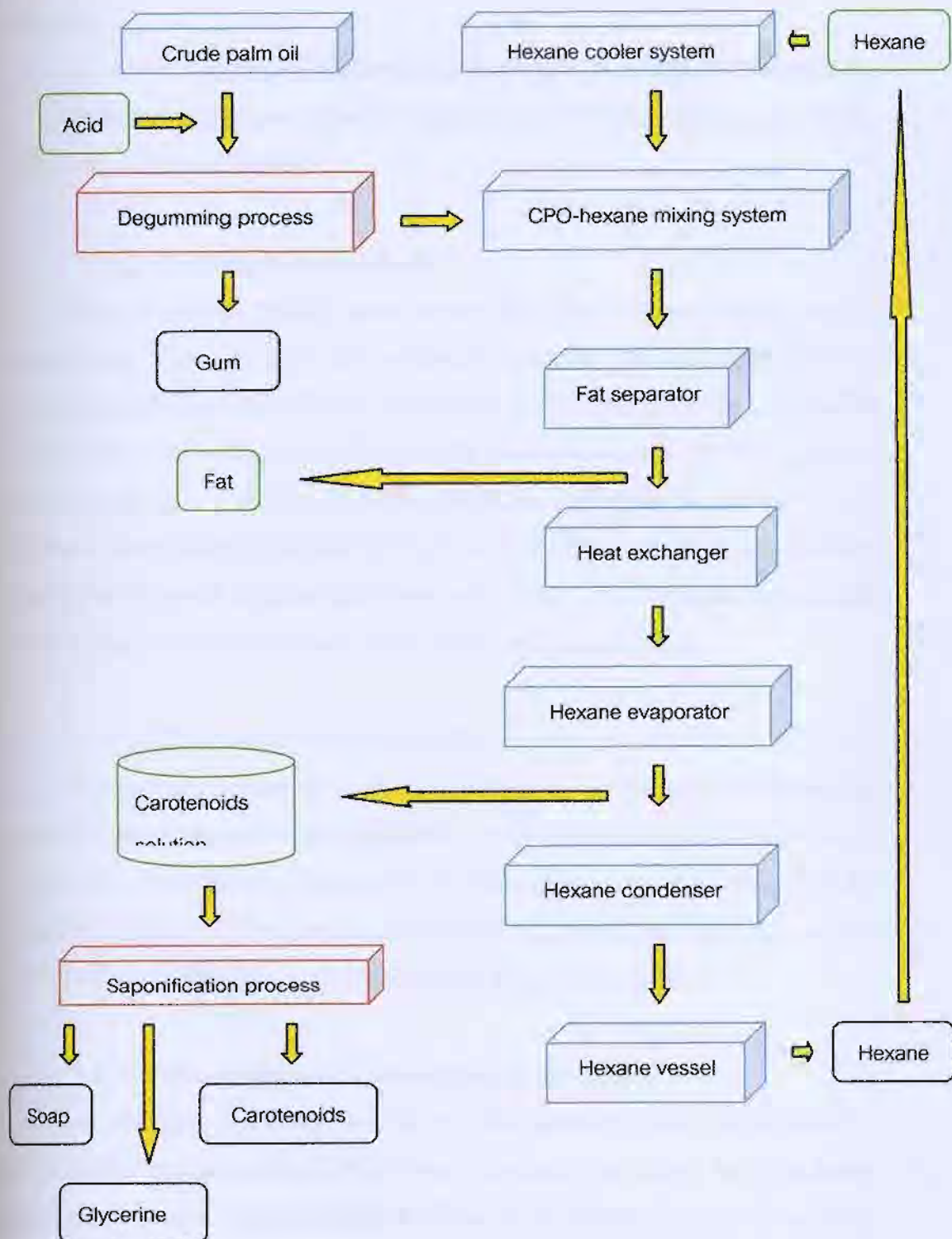
การศึกษาขั้นตอนนี้ได้วางแผนการทดลองแบบ Factorial In Completely Randomize Design และใช้ Duncan's New multiple Range Test เพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างค่าเฉลี่ยน้ำหนักของไขมันที่ไม่สามารถละลายได้ ในเฮกเซนในแต่ละสิ่งทดลอง และค่าสถิติที่ได้ของสารผสมที่ผ่านกระดาษกรองได้และระเหยเฮกเซนออกแล้ว เพื่อทราบถึงชนิดของน้ำมันปาล์มดิบที่เหมาะสม ที่จะต้องใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป ตลอดจนได้ข้อมูลเบื้องต้นของสถานะการผลิต

3.2.2 การออกแบบและสร้างเครื่องสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนที่อุณหภูมิค่า

ข้อมูลจากการทดลองที่ 3.2.1 ถูกนำมาใช้ประกอบในการออกแบบ เช่น อัตราส่วนระหว่างน้ำมันและเฮกเซน อุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัด เพื่อที่จะใช้กำหนดขนาดความจุของอุปกรณ์ ช่วงอุณหภูมิควบคุมของอุปกรณ์ อัตราการกวนผสม ซึ่งเครื่องสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบจะแบ่งออกเป็น 7 ส่วน ดังนี้

- 1 ชุดอุปกรณ์ลดอุณหภูมิเฮกเซน ใช้สำหรับลดอุณหภูมิเฮกเซนจนถึงระดับที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการสกัด
- 2 ชุดอุปกรณ์ผสมเฮกเซนกับน้ำมันปาล์มดิบที่กำลังจัดกัมแล้ว ใช้ผสมเฮกเซนกับน้ำมันปาล์มดิบที่กำลังจัดกัมแล้ว
- 3 ชุดอุปกรณ์แยกผลึกไขมัน ใช้แยกไขมันที่แข็งตัวออกไปจากของผสมที่ได้จากอุปกรณ์ผสม เฮกเซนกับน้ำมันปาล์มดิบที่กำลังจัดกัมแล้ว
- 4 ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ใช้สำหรับปรับอุณหภูมิสารผสมให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนที่จะนำสารผสมเข้าสู่อุปกรณ์ระเหยเฮกเซน
- 5 ชุดอุปกรณ์ระเหยเฮกเซน ใช้สำหรับระเหยเฮกเซนออกจากแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้
- 6 ชุดอุปกรณ์ควบแน่นเฮกเซน ใช้ควบแน่นเฮกเซนที่ได้จากอุปกรณ์ระเหยเฮกเซน เพื่อนำเฮกเซนกลับมาใช้เป็นตัวทำละลายใหม่อีกครั้งหนึ่ง
- 7 ชุดอุปกรณ์รวบรวมน้ำมัน ใช้เก็บรวบรวมน้ำมันก่อนการนำไปใช้ใหม่

ไดอะแกรม ขั้นตอนการแยกแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบด้วยเฮกเซนที่อุณหภูมิค่าแสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการแยกแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบด้วยเฮกเซนที่อุณหภูมิต่ำ

3.2.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบด้วยเครื่องสกัด

3.2.3.1 การศึกษาการกำจัดกัมออกจากน้ำมันปาล์มดิบ ก่อนนำไปสกัดด้วยเครื่องสกัด การศึกษาการกำจัดกัมออกจากน้ำมันปาล์มดิบ ก่อนนำไปสกัดด้วยเครื่องสกัด เพื่อเป็นการลดโลหะหนัก โดยมีวิธีการดังนี้

3.2.3.1.1 ใช้กรดซิตริกในการกำจัดกัม

ให้ความร้อนน้ำมันปาล์มดิบ 70-90 องศาเซลเซียส ด้วย Hot plate กวนตลอดเวลาด้วย magnetic stirrer ด้วยความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที ค่อยๆเติมสารละลายกรดซิตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ในปริมาณร้อยละ 0.1 ใช้เวลาในการกวนผสมเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นทิ้งไว้จนอุณหภูมิลดลงเหลือประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส กรองด้วยกระดาษกรอง What man เบอร์ 4 โดยใช้ระบบการกรองแบบสุญญากาศ และเก็บในภาชนะแก้ว ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำมันดิบที่กำจัดกัมออกไปเทียบกับน้ำมันดิบก่อนการกำจัดกัมออก ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน (วิธีการแสดงในภาคผนวก ค) โดยชนิดของโลหะที่ตรวจหาคือ เหล็ก ทองแดง ตะกั่วปรอท สารหนู และแคดเมียม

3.2.3.1.2 ใช้กรดฟอสฟอริกในการกำจัดกัม

ขั้นตอนการทำการทดลองเช่นเดียวกับการกำจัดกัมออกจากน้ำมันดิบโดยใช้กรดซิตริก แต่กรดที่ใช้คือสารละลายกรดฟอสฟอริกร้อยละ 75 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ในปริมาณร้อยละ 0.1 ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำมันดิบที่กำจัดกัมออกไปเทียบกับน้ำมันดิบก่อนการกำจัดกัมออก ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน (วิธีการแสดงในภาคผนวก ค) โดยชนิดของโลหะที่ตรวจหาคือ เหล็ก ทองแดง ตะกั่วปรอท สารหนู และแคดเมียม

3.2.3.1.3 ใช้กรดซิตริกผสมกับกรดฟอสฟอริกในการกำจัดกัม

ขั้นตอนการทำการทดลองเช่นเดียวกับการกำจัดกัมออกจากน้ำมันดิบโดยใช้กรดซิตริก แต่กรดที่ใช้คือสารละลายกรดซิตริกเข้มข้นร้อยละ 20 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ในปริมาณร้อยละ 0.02 ร่วมกับสารละลายกรดฟอสฟอริกเข้มข้นร้อยละ 75 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาณร้อยละ 0.08 ทำการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำมันดิบที่กำจัดกัมออกไปเทียบกับน้ำมันดิบก่อนการกำจัดกัมออก ด้วยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์ปชัน (วิธีการแสดงในภาคผนวก ค) โดยชนิดของโลหะที่ตรวจหาคือ เหล็ก ทองแดง ตะกั่วปรอท สารหนู และแคดเมียม

ตัวอย่างน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดกัมด้วยวิธีการต่างๆเหล่านี้ จะนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกรดไขมันอิสระ (Acid value หรือ Free Fatty Acid) (วิธีการแสดงในภาคผนวก ค)

เทียบกับตัวอย่างน้ำมันปาล์มดิบ เพื่อจะได้ทราบว่าวิธีการกำจัดกัมต่างๆเหล่านี้จะมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดไขมันอิสระอย่างไร

3.2.3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด ได้แก่ อัตราเร็วของใบกวนผสม สัดส่วนปริมาณน้ำมันปาล์มดิบต่อเฮกเซน และอุณหภูมิ

ศึกษาปัจจัยต่างๆ คือ อัตราเร็วของใบกวนผสม 2 ระดับ คือ 250 และ 500 รอบต่อนาที สัดส่วนผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดกัมออกแล้วต่อเฮกเซน 4 ระดับคือ 1:1, 1:2, 1:3 และ 1:4 (น้ำหนักต่อปริมาตร) และอุณหภูมิ 3 ระดับ คือ -10, -15 และ -20 องศาเซลเซียส

สารสกัดที่ได้ในแต่ละสิ่งทดลอง จะผ่านขั้นตอนการแยกของแข็งออกจากของผสม แล้วระเหยเฮกเซนออก โดยใช้อุปกรณ์ระเหยสูญญากาศที่ 32 องศาเซลเซียส ใช้ความดันบรรยากาศของอุปกรณ์ระเหยสูญญากาศเท่ากับ 54 เซนติเมตรปรอท และใช้เวลาในการระเหย 1 ชั่วโมง 50 นาที และนำไปวัดปริมาณและความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์รวมที่ได้ โดยวิธีสเปกโตรโฟโตเมตรี (ประยุกต์จากวิธีของ Lee & Castle, 2001) (วิธีการแสดงในภาคผนวก ค) นำผลิตภัณฑ์ไปวิเคราะห์หาปริมาณเฮกเซนตกค้าง (Residual Hexane) โดยใช้วิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (วิธีการเตรียมตัวอย่าง และสภาวะการทำงานแสดงในภาคผนวก ค) สร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะในการสกัด กับปริมาณและความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ที่สกัดได้

3.2.4 หาความสัมพันธ์แบบสมการถดถอย ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่าง สภาวะในการสกัด ความเข้มข้น และปริมาณแคโรทีนอยด์รวมที่ได้

ข้อมูลที่ได้จาก ข้อ 3.2.3.2 คือ ปริมาณและความเข้มข้นของแคโรทีนอยด์ อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด อัตราการกวน และอัตราส่วนระหว่างน้ำมันปาล์มดิบและเฮกเซน นำข้อมูลเหล่านี้ไปหาความสัมพันธ์แบบสมการถดถอย

3.2.5 การศึกษาเปรียบเทียบสีของแคโรทีนอยด์รวมที่สกัดได้ กับสีของเบต้าแคโรทีนที่จำหน่ายในท้องตลาด

นำแคโรทีนอยด์ที่ได้จากการทดลองที่ 3.2.3.2 ในสิ่งทดลองที่ดีที่สุดไปเตรียมสีผสมอาหาร 2 แบบ ตามขั้นตอนดังข้อ 3.2.5.1 และ 3.2.5.2 ต่อไปนี้

3.2.5.1 ผลิตภัณฑ์ผสมอาหารจากแคโรทีนอยด์ชนิดละลายได้ในน้ำมันหรือไขมัน

นำแคโรทีนอยด์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมจากการทดลองตอนที่ 3.2.3.2 ไปประเหยแยกตัวทำละลายออก แล้วนำไปทำปฏิกิริยา โดยใช้ตัวอย่างจำนวน 50 กรัม ผสมกับ เอทานอลร้อยละ 95 จำนวน 50 กรัม ทำปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชันกับสารละลายด่าง โซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งละลายในเอทานอลร้อยละ 95 จำนวน 200 กรัม (ใช้สารละลายด่าง จำนวน 50 กรัม) ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 3 ชั่วโมงในที่มืด จะได้แคโรทีนอยด์และสบู่ ทำการแยก ส่วนของแคโรทีนอยด์ที่ไม่ทำปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชันออกจากปฏิกิริยา ด้วยการเติมตัวทำละลายเฮกเซน 50 มิลลิลิตร ซึ่งแคโรทีนอยด์จะละลายขึ้นมาอยู่ในชั้นของตัวทำละลายเฮกเซน แล้วล้างด้วยส่วนเกิน สบู่ และกลีเซอรินออกด้วยน้ำ ถ้าจำเป็นสามารถกรองแยกสบู่ออก ด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 โดยชั้นของเฮกเซนที่มีแคโรทีนอยด์ ล้างออกด้วยน้ำกลั่น ครั้งละ 50 มิลลิลิตร 3 ครั้ง ในกรวยแยก จนกว่าจะได้แคโรทีนอยด์ตามต้องการ (ประยุกต์จาก Godoy และ Rodriguez, 1998) จากนั้นจึงนำไปประเหยเฮกเซนออก ด้วย rotary evaporator (A-S 100, Kanabo Co., Ltd., Japan) นำแคโรทีนอยด์ที่ได้ไปทำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 1 ในรูปที่ละลายในน้ำมันด้วยการใช้ตัวทำละลายที่เป็นน้ำมันดอกทานตะวัน และบรรจุในขวดสีชา ขนาด 1 มิลลิลิตร ทึบแสง เพื่อรอการวิเคราะห์ และศึกษาอายุการเก็บ

3.2.5.2 ผลิตภัณฑ์จากแคโรทีนอยด์ชนิดละลายได้ในน้ำในรูปอิมัลชัน

นำแคโรทีนอยด์ที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายที่เหมาะสมจากการทดลองตอนที่ 3.2.3.2 ไปประเหยแยกตัวทำละลายออก แล้วนำไปทำปฏิกิริยาซาปอนิฟิเคชันเช่นเดียวกับ 3.2.5.1 แล้วนำแคโรทีนอยด์ที่ได้ไปทำให้มีความเข้มข้นร้อยละ 1 ในรูปที่ละลายได้ในน้ำในรูปอิมัลชัน โดยสูตรตัวทำละลายอิมัลชัน มีดังนี้คือ น้ำดีไอออนไนซ์ร้อยละ 57.46 กลีเซอรินร้อยละ 17.21 เลซิธินร้อยละ 10.52 มอลโตเด็คทรีน DE 10 ร้อยละ 8.61 กัมอาคาเซียร้อยละ 5.74 ไวตามินอีร้อยละ 0.29 โซเดียมเบนโซเอทร้อยละ 0.1 และบรรจุในขวดสีชาขนาด 1 มิลลิลิตร ทึบแสง เพื่อรอการวิเคราะห์ และศึกษาอายุการเก็บ

3.2.5.3 เปรียบเทียบคุณภาพของสีที่ละลายได้ในน้ำมัน และสีที่ละลายได้ในน้ำ

นำแคโรทีนอยด์ที่เตรียมได้ทั้ง 2 ชนิด ไปวัดสีในระบบ $L^* a^* b^*$ ด้วยเครื่อง Colorimeter (Hunter lab, ColorQUEST II DPERE, Hunter Associates Laboratory, Inc, USA.) เปรียบเทียบกับสีเบต้าแคโรทีนที่มีจำหน่ายในท้องตลาด สำหรับสีที่ละลายในน้ำมันในท้องตลาด จะใช้ β -carotene dispersion 10% liquid oil soluble E-160a (Sensient Food Colors Germany GmbH & Co. KG., Germany) เป็นตัวเปรียบเทียบ และสีที่ละลายได้ในน้ำในท้องตลาด จะใช้ β -carotene 2% WD Emulsion (Sensient Food Colors Germany GmbH and Co. KG., Germany) ที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ และเปรียบเทียบผลการทดลองโดยใช้กราฟเส้น

3.2.5.3 เปรียบเทียบอายุการเก็บของสียที่ละลายได้ในน้ำมันและที่ละลายได้ในน้ำ

นำผลิตภัณฑ์สีที่ผลิตได้ทั้งชนิดที่ละลายในน้ำมัน และชนิดที่ละลายในน้ำ ที่บรรจุในขวดสีชาขนาด 1 มิลลิลิตร ทึบแสง ไปเก็บในสภาวะเร่งตามมาตรฐาน ICH Guidance for Industry Q1A : Stability Testing of New Drug Substances and Products Revision 1, August (2001) เก็บไว้เป็นเวลา 6 เดือน ที่อุณหภูมิ 30 ± 2 องศาเซลเซียส ความชื้นร้อยละ 60 ± 5 เพื่อศึกษาอายุการเก็บ โดยจะเก็บตัวอย่างไปตรวจการเปลี่ยนแปลงปริมาณแคโรทีนอยด์ด้วยวิธีสเปคโตรโฟโตเมตรี (ประยุกต์จากวิธีของ Lee & Castle, 2001) (วิธีการแสดงในภาคผนวก ค) โดยเก็บตัวอย่างไปวิเคราะห์ทุกๆ 1 เดือน

3.2.6 ประเมินต้นทุนการผลิตแคโรทีนอยด์

ประเมินต้นทุนการผลิตแคโรทีนอยด์ โดยประเมินที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 ปริมาณ 1 กิโลกรัม และประเมินโดยคิดจากปริมาณน้ำมันดิบเริ่มต้น 100 กิโลกรัม ซึ่งการประเมินนี้จะคำนวณต้นทุนของวัตถุดิบ และสารเคมีเท่านั้น

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิจารณ์

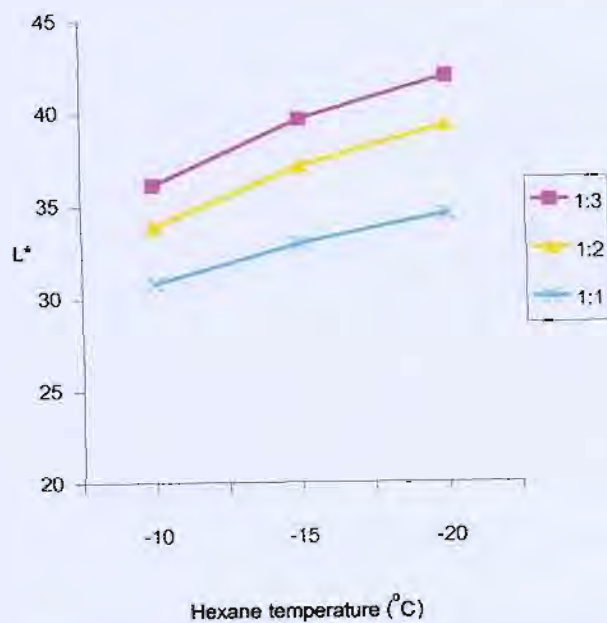
4.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนระหว่างน้ำมันปาล์มดิบกับเฮกเซน และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสกัดแคโรทีนอยด์ เพื่อใช้ประกอบในการออกแบบเครื่องสกัด

4.1.1 การเปรียบเทียบการสกัดแคโรทีนอยด์โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านและไม่ผ่านการตกตะกอน

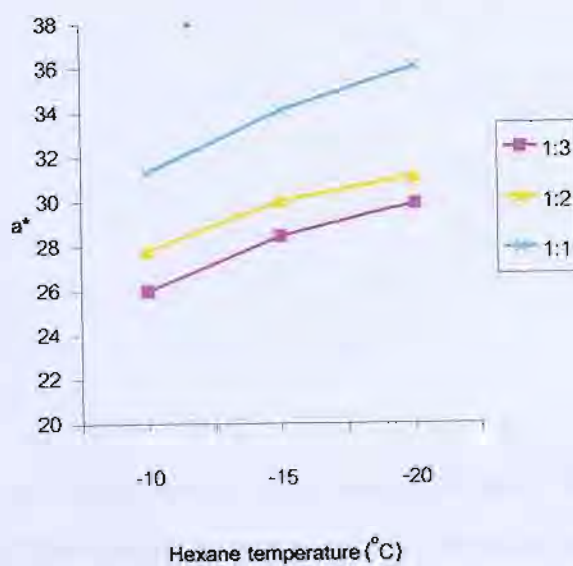
น้ำมันปาล์มดิบส่วนใสที่ได้จากการตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 1 วัน ได้ถูกนำมาศึกษาเปรียบเทียบกับน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอน เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบส่วนใสมีสีเข้มมากกว่าน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอน การใช้น้ำมันปาล์มดิบส่วนใสจึงอาจให้ผลผลิตสูงกว่า ซึ่งความเข้มของสี และปริมาณไขมันที่แยกได้ จะนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ เพื่อเลือกชนิดของน้ำมันปาล์มดิบที่เหมาะสมในการนำมาเป็นวัตถุดิบต่อไป

4.1.1.1 คำสี

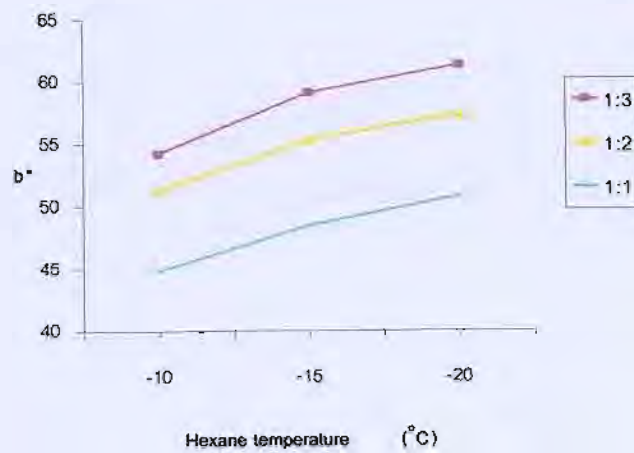
ค่า L^* , a^* และ b^* ของแคโรทีนอยด์ ที่ได้จากการแยกไขมันที่ตกผลึกออกไป ซึ่งใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการตกตะกอนเป็นวัตถุดิบ แสดงดังในภาพที่ 4.1-4.3 ตารางที่ ก1 และในภาคผนวก ก ส่วนค่า L^* , a^* และ b^* ของแคโรทีนอยด์ ที่ได้จากการแยกไขมันที่ตกผลึกออกไป ซึ่งใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอนเป็นวัตถุดิบ แสดงดังในภาพที่ 4.4-4.6 ตารางที่ ก2 และในภาคผนวก ก โดยค่า a^* ที่มีค่าเป็นบวกหมายถึงสารมีสีแดง ค่าที่เป็นลบหมายถึงสารมีสีออกเขียว ค่า b^* ที่มีค่าเป็นบวกหมายถึงสารมีสีออกเหลือง ค่าที่เป็นลบหมายถึงสารมีสีออกน้ำเงิน



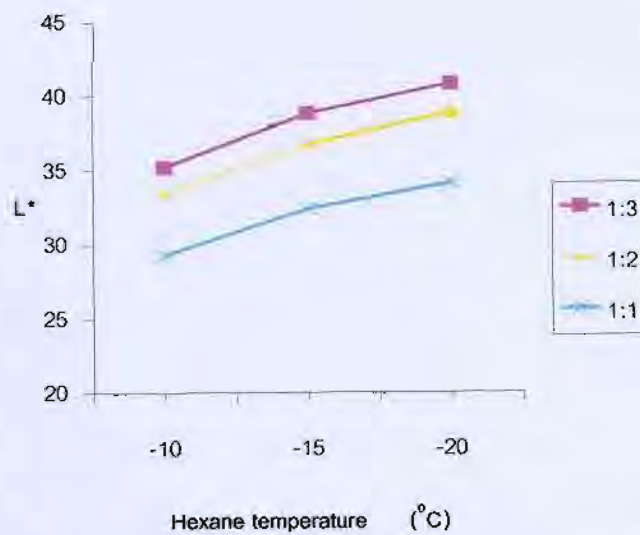
ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของแคโรทีนอยด์ ที่สกัดโดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการตกตะกอนต่อเอ็กเซน และระดับอุณหภูมิต่างๆ



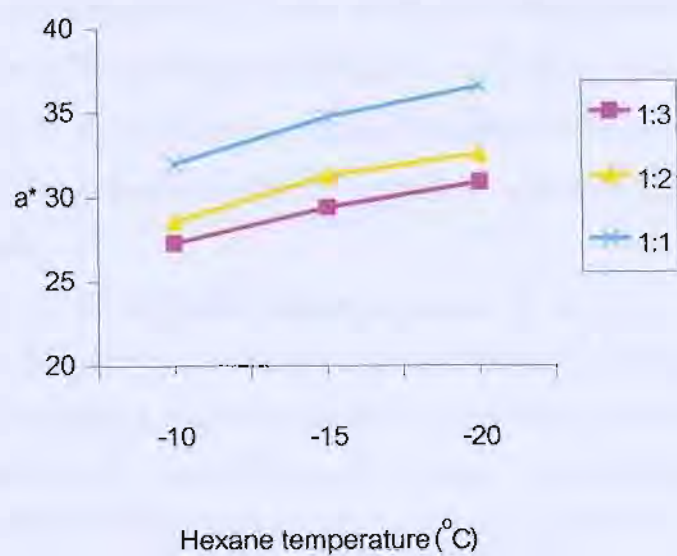
ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของแคโรทีนอยด์ ที่สกัดโดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการตกตะกอนต่อเอ็กเซน และระดับอุณหภูมิต่างๆ



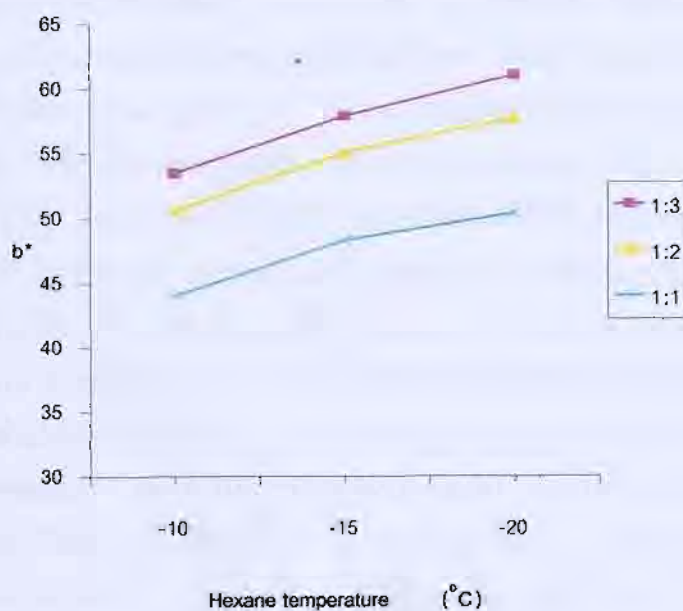
ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของแคโรทีนอยด์ ที่สกัดโดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการตกตะกอนต่อเฮกเซน และระดับอุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงค่าความสว่าง (L^*) ของแคโรทีนอยด์ ที่สกัดโดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอนต่อเฮกเซน และระดับอุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีแดง (a^*) ของแคโรทีนอยด์ ที่สกัดโดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอนต่อเฮกเซน และระดับอุณหภูมิต่างๆ



ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ของแคโรทีนอยด์ ที่สกัดโดยใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอนต่อเฮกเซน และระดับอุณหภูมิต่างๆ

จากตารางที่ ก2 ในภาคผนวก ก พบว่าค่า L^* a^* และ b^* ในแต่ละอัตราส่วนระหว่างน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการคดเคาะก่อนต่อเฮกเซน และแต่ละอุณหภูมิ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P>0.05$) สำหรับน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการคดเคาะก่อน พบว่า ค่า L^* และ b^* ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P>0.05$) เช่นเดียวกัน แต่สำหรับค่า a^* นั้น จะมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P\leq 0.05$) โดยค่า a^* จะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิการสกัดลดลง แต่การเพิ่มขึ้นของค่า a^* จะมีค่าลดลง เมื่อใช้อัตราส่วนของเฮกเซนเพิ่มมากขึ้น

สำหรับตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการคดเคาะก่อนเป็นวัตถุดิบ พบว่าค่าความสว่างของสารละลายที่ผ่านการกรองแยกไขมันออก มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นในทุกอัตราส่วนการผสม เมื่ออุณหภูมิการสกัดต่ำลง โดยอัตราส่วนผสมที่ 1:3 จะให้ค่าความสว่างสูงกว่า 1:2 และ 1:1 ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ -20 จะให้ค่าสูงกว่า -15 และ -10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังนั้นค่าความสว่างที่เพิ่มมากขึ้นจึงสัมพันธ์กับปริมาณไขมันที่แยกออกไป โดยเมื่อไขมันถูกแยกออกไปมากขึ้น จะทำให้ของผสมภายหลังการกรองมีความสว่างมากขึ้นด้วย ที่อัตราส่วนการผสม 1:3 และอุณหภูมิของเฮกเซนที่ใช้เป็น -20 องศาเซลเซียส จะให้สารที่มีค่าความสว่างดีที่สุด ซึ่งคาดว่าเมื่อนำสารนี้ไปทำเป็นสัผสมอาหาร จะทำให้สัตว์ได้มีคุณภาพดี เนื่องจากทำให้สัตว์มีความสว่างใสไม่ทึบแสง

สำหรับภาพที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าค่าความเป็นสีแดงของสารที่ได้ภายหลังการกรองมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิของเฮกเซนที่ใช้ต่ำลงเช่นเดียวกับค่าความสว่าง แต่ค่าความเป็นสีแดงจะสูงขึ้นที่อัตราส่วนผสม 1:1, 1:2 และ 1:3 ตามลำดับ ซึ่งจะแตกต่างจากค่าความสว่าง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากแคโรทีนอยด์ชนิดที่ให้สีแดง จะมีการสูญเสียไปพร้อมกับไขมันที่แยกออกไป ซึ่งที่อัตราส่วนการผสม 1:3 ไขมันจะถูกแยกออกไปมากที่สุด ซึ่งเรื่องนี้จะเป็ข้อดีในกรณีที่ต้องการเลือกโทนของสีที่ผลิต ทำให้สามารถเลือกสภาวะการผลิตให้เหมาะสมกับโทนสีที่ต้องการได้ แต่ในกรณีนี้ผู้วิจัยต้องการให้สีที่ผลิตได้มีสีเหลืองมาก เพื่อใช้ทดแทนสีเหลืองที่ได้จากการสังเคราะห์ จึงสรุปว่าการใช้อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส และใช้อัตราส่วนน้ำมันต่อเฮกเซนเป็น 1:3 จะเหมาะสมที่สุดในกระบวนการแยกแคโรทีนอยด์ที่เป็นสีเหลืองที่ใช้เป็นสัผสมอาหาร แม้ว่าในการทดลองเบื้องต้นซึ่งไม่ได้ใช้เครื่องสกัดนี้ อาจไม่สามารถควบคุมปัจจัยบางอย่างได้ดีมาก เช่น ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิของเฮกเซนให้คงที่ที่อุณหภูมิทดลองได้อย่างต่อเนื่อง เพราะไม่มีระบบทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพ แต่ก็ทำให้สามารถสรุปแนวโน้มของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อกระบวนการผลิตสัผสมอาหารจากแคโรทีนอยด์ได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ในการออกแบบเครื่องสกัดในการศึกษาขั้นตอนที่ 2 ต่อไป

ค่าของสีเหลือง (ภาพที่ 4.3) จะให้ผลทำนองเดียวกับค่าความสว่าง (ภาพที่ 4.1) ซึ่งการที่ไขมันถูกแยกออกไปได้มาก ทำให้ได้แคโรทีนอยด์ในกลุ่มที่ให้สีเหลืองอยู่ในสารที่กรองได้มาก ซึ่งหากไขมันถูกนำไปผลิตเป็นน้ำมันบริโภคก็จะเป็นข้อดี เนื่องจากได้ไขมันที่มีสีอ่อน

ทำให้กระบวนการกลั่นน้ำมันบริโภค หรือการให้น้ำมันบริโภคทำได้ง่ายขึ้น มีการใช้สารฟอกสีลดลง ทำให้ต้นทุนการผลิตลดลงได้

สำหรับตัวอย่างที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอน มีค่า L^* , a^* และ b^* แสดงในตาราง ก2 ภาพที่ 4.4, 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ ซึ่งจะให้ผลการศึกษาทำนองเดียวกับการใช้วัตถุดิบที่เป็นน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการตกตะกอน แต่ความเข้มของสีที่ได้ไม่สอดคล้องกับที่ผู้วิจัยตั้งสมมุติฐานไว้ ซึ่งจากข้อมูลพบว่าน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอน จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีเข้มกว่าการใช้น้ำมันปาล์มดิบส่วนสีที่ได้จากการตกตะกอนในทุก treatment น้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอนจึงเป็นวัตถุดิบที่คิดว่า อย่างไรก็ตามปริมาณผลึกไขมันที่แยกได้ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องนำมาพิจารณาประกอบด้วย เนื่องจากไขมันที่แยกได้สามารถนำไปผลิตเป็นน้ำมันบริโภคได้

4.1.2 ปริมาณผลึกไขมันที่แยกได้

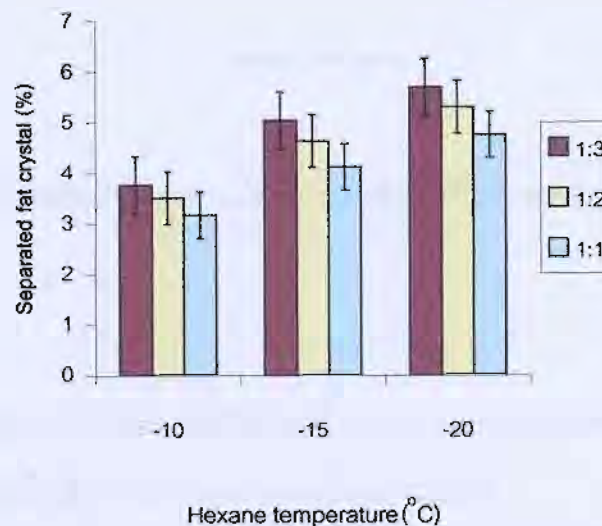
ภาพที่ 4.7 และตารางที่ ก3 แสดงปริมาณผลึกไขมัน ที่แยกได้จากการสกัดที่สภาวะต่างๆ โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการตกตะกอนเป็นวัตถุดิบ ส่วนภาพที่ 4.8 และตารางที่ ก4 ที่แยกได้จากการสกัดที่สภาวะต่างๆ โดยใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอนเป็นวัตถุดิบ ซึ่งพบว่า ปริมาณไขมันที่แยกได้ในการทดลองที่ใช้วัตถุดิบต่างกัน จะมีความแตกต่างทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$) โดยทั้งนี้ปริมาณไขมันที่แยกได้จะเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ลดต่ำลง และใช้อัตราส่วนเฮกเซนเพิ่มมากขึ้น และพบว่า ปริมาณไขมันที่แยกได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบชนิดที่ไม่ผ่านการตกตะกอนเป็นวัตถุดิบ มีปริมาณผลึกไขมันที่แยกได้สูงกว่า โดยปัจจัยที่ทำให้มีปริมาณผลึกไขมันที่แยกได้สูงที่สุด เมื่อใช้น้ำมันปาล์มดิบชนิดที่ไม่ผ่านการตกตะกอนเป็นวัตถุดิบคือ การใช้อัตราส่วนระหว่างน้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอนต่อเฮกเซน เป็น 1: 3 (น้ำหนักต่อปริมาตร) และใช้อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

การที่ปริมาณผลึกไขมันมีค่าสูงขึ้น เมื่อใช้อุณหภูมิในการสกัดต่ำลง เนื่องจากน้ำมันบางส่วนจะกลายเป็นผลึกไขมันเมื่อมีอุณหภูมิที่ต่ำลง (นิธิยา, 2001) และที่อุณหภูมิในการสกัดเดียวกัน เมื่อใช้เฮกเซนปริมาณสูงขึ้น จะได้ปริมาณผลึกไขมันมากขึ้น เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากเฮกเซนไปสู่ไขมันมีมากขึ้น

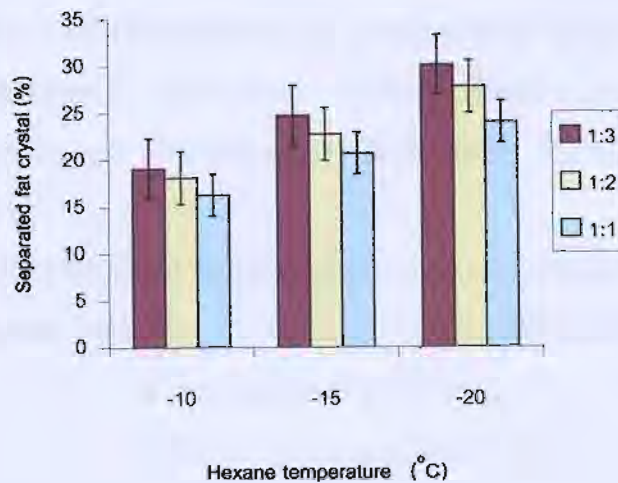
การศึกษานี้ให้ผลที่สอดคล้องกับการศึกษาของ Ibuki และคณะ (1996) ที่ทำการละลายน้ำมันปาล์มดิบที่มีปริมาณเบต้าแคโรทีนสูงด้วยสารละลายอินทรีย์ ความเข้มข้นร้อยละ 5-30 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) แล้วนำไปทำให้เย็นอย่างค่อยเป็นค่อยไป ด้วยอัตราเร็ว 1 องศาเซลเซียสต่อนาที เพื่อตกผลึกส่วนต่างๆของน้ำมัน และเก็บส่วนที่ไม่ตกผลึกออกไป ซึ่งทำให้แคโรทีนออกซิไดส์ในน้ำมันปาล์มดิบเข้มข้นขึ้นด้วยวิธีการ Fractionation ซึ่งวิธีการที่ศึกษานี้จะมีลักษณะที่คล้ายกับการทำ Fractionation แต่มีการใช้ตัวทำละลายที่อัตราส่วนต่างๆ และมีการควบคุมอุณหภูมิในการสกัดให้คงที่

ผลึกไขมันที่แยกได้ส่วนใหญ่จะเป็นสเตียรินและปาล์มมิดิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในน้ำมันปาล์มดิบ ทั้ง สเตียรินและปาล์มมิดินเป็นไขมันอิ่มตัว ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (นิธิยา, 2001)

เมื่อพิจารณาจากค่าสี และปริมาณผลึกไขมันที่แยกออกได้ ประกอบกับความสะดวกในการเตรียมวัตถุดิบ สรุปว่าการใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอน มีความเหมาะสมในการนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดมากกว่า ดังนั้นการศึกษาในลำดับต่อไปซึ่งทำการสกัดโดยใช้เครื่องสกัด จึงได้เลือกใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอนเป็นวัตถุดิบต่อไป



ภาพที่ 4.7 ปริมาณผลึกไขมันที่แยกได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการตกตะกอน ที่สกัดที่สถานะต่างๆ



ภาพที่ 4.8 ปริมาณผลึกไขมันที่แยกได้จากการใช้น้ำมันปาล์มดิบที่ไม่ผ่านการตกตะกอน ที่สกัดที่สภาวะต่างๆ

4.2 ผลการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกระบวนการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนที่อุณหภูมิต่ำ

จากการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับกระบวนการสกัดแคโรทีนอยด์จากน้ำมันปาล์มดิบ โดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซนที่อุณหภูมิต่ำ ได้เครื่องสกัดแคโรทีนอยด์ (รูปในภาคผนวก ข) ที่มีหลักการทำงานที่เข้าใจง่าย ใช้เทคโนโลยีพื้นฐาน สร้างได้ง่าย มีขั้นตอนการใช้งานไม่ยุ่งยาก วัสดุ อุปกรณ์ที่หาซื้อได้ง่ายในประเทศ ราคาไม่สูง ซ่อมบำรุงได้ง่าย มีความปลอดภัยต่อผู้ใช้ ไม่สร้างมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม สามารถนำตัวทำละลายที่ใช้แล้วหมุนวนกลับไปใช้ใหม่ได้ เครื่องต้นแบบมีขนาดกำลังการผลิตปริมาตร 7 ลิตร (ปริมาตรรวมของสารผสมระหว่างน้ำมันปาล์มดิบกับเฮกเซน) การสกัดเป็นแบบกึ่งต่อเนื่อง ใช้เวลาในการสกัดจากขั้นตอนการเติมวัตถุดิบจนถึงได้แคโรทีนอยด์นาน 3 ชั่วโมง โดยมีรายละเอียดของแต่ละชุดอุปกรณ์ดังนี้:-

1 ชุดอุปกรณ์ลดอุณหภูมิเฮกเซน

ชุดอุปกรณ์ลดอุณหภูมิเฮกเซน ทำหน้าที่ลดอุณหภูมิของเฮกเซนลงจนถึงระดับที่ต้องการ เพื่อเป็นการปรับอุณหภูมิของเฮกเซนให้ได้ตามกำหนด ก่อนนำไปผสมกับน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดกัมออกไปแล้ว

องค์ประกอบสำคัญ

1 ตัวถังทั้งภายในและภายนอก รวมถึงท่อคอยล์ความเย็น ท่อบริเวณข้อต่อ กรวยเติมเฮกเซน และข้อต่อต่างๆ ทำด้วยสแตนเลสเบอร์ 316 ความหนา 2 มิลลิเมตร ซึ่งจะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีเช่น กรด ค่าง หรือ ตัวทำละลายต่างๆ ได้เป็นอย่างดี และยังสามารถทนอุณหภูมิสูงและต่ำได้เป็นอย่างดี

1.1 ตัวถังชั้นใน เป็นรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 16 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ต่อกรวยด้านล่างเล็ก 15 เซนติเมตร ขอบกรวยที่เชื่อมติดกับตัวถังเอียงทำมุม 45 องศา ที่ปากขอบด้านบนตัวถังที่ประกบกับฝาปิด จะเป็นปากสแตนเลสหนา 4 มิลลิเมตร กว้าง $\frac{1}{2}$ นิ้ว เชื่อมอยู่ติดกับตัวถัง ที่ผิวด้านบนของปากนี้ถูกเจาะร่องตามเส้นรอบวงของถังเพื่อใช้วางเส้นซีล ฟิตีเอพอี ความกว้าง $\frac{1}{2}$ นิ้ว ร่องลึก 0.3 เซนติเมตร และเจาะรูร้อยน๊อตขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว โครอบเพื่อใช้ยึดกับฝาครอบอะครีลิก บริเวณปลายกรวยต่อกับท่อสแตนเลสขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว ปลายท่อถึงเกลียวต่อกับวาล์ว สแตนเลสเบอร์ 316 ขนาด 3/8 นิ้ว ซึ่งจะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี และส่วนปลายอีกด้านหนึ่งของวาล์ว ต่อกับท่อสแตนเลสถึงหางปลาไหลขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว ซึ่งท่อ สแตนเลสถึงหางปลาไหลขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว นี้จะต่อกับท่อ ฟิตีเอพอี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10 มิลลิเมตร เพื่อใช้เป็นท่อทางระบายเฮกเซนลงสู่อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสม เฮกเซนกับน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดแก๊สออกไปแล้ว ต่อไป ในบริเวณด้านบนใกล้กับปากสแตนเลสจะต่อกับท่อสแตนเลสขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว เพื่อต่อกับกรวยสแตนเลส เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สำหรับเติมเฮกเซนในครั้งแรกของการทดลอง

1.2 ตัวถังชั้นนอก เป็นรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 26 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร บริเวณใกล้ขอบบน มีท่อสแตนเลสขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว เชื่อมออกสู่ภายนอก เพื่อต่อเข้ากับสายยางที่มีขนาดเข้ากันได้ต่อไปยังท่อทางน้ำหล่อเย็นที่ไหลออกจากอุปกรณ์ควบแน่นเฮกเซน ซึ่งสายยางส่วนนี้จะทำหน้าที่ในการนำสารหล่อเย็นผสมระหว่างโปร โปลีน ไกลคอลกับน้ำ ที่ผ่านการนำไปหล่อเย็นในอุปกรณ์ควบแน่น เฮกเซนกลับมายังตัวถังชั้นนอกนี้ มีท่อสแตนเลสขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว เชื่อมออกสู่ภายนอกเพื่อเติมสารเคมีที่ใช้ร่วมกับระบบทำความเย็น พร้อมฝาครอบเกรียวมีลูกบิดเปิดแบบหางปลาติดกับฝาครอบเพื่อสำหรับปิดและเปิดออกได้อย่างสะดวก และที่บริเวณก้นถังจะเชื่อมท่อ สแตนเลสขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว ปลายท่อถึงเกลียวต่อกับวาล์ว สแตนเลสเบอร์ 316 ขนาด 3/8 นิ้ว จากนั้นต่อเข้ากับปลายท่อที่ก้นถังขึ้นรูปแบบหางปลาไหล เพื่อใช้ต่อกับสายยางซึ่งจะสามารถทน

ต่อการกักกร่อนของสารเคมีได้ ท่อนี้ใช้สำหรับถ่ายสารหล่อเย็นผสมระหว่าง โพรไปลีนไกลคอลกับน้ำที่ผ่านออกมาจากตัวถังขึ้นนอกไปหล่อเย็นในคอยล์ของอุปกรณ์ควบแน่นเฮกเซน แต่ก่อนเข้าสู่คอยล์ของอุปกรณ์ควบแน่นเฮกเซน จะต้องเข้ากับปั๊มชนิดหมุนเหวี่ยง ขนาด $\frac{1}{2}$ แรงม้า เพื่อใช้เป็นตัวขับเคลื่อนสารหล่อเย็นผสมระหว่างโพรไปลีนไกลคอลกับน้ำวนอย่างต่อเนื่องในระบบ

- 2 ฝาปิดด้านบน ทำด้วยอะคริลิก ความหนา 10 มิลลิเมตร ชนิดใส ทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถทนอุณหภูมิสูงและต่ำได้เป็นอย่างดี โดยองค์การอาหารและยาให้สามารถใช้กับอาหารได้ และเจาะรูร้อยน๊อตขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว โคครอบเพื่อใช้ยึดกับบัสแบนด์สของตัวถังขึ้นในที่เจาะรูร้อยน๊อตขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว โคครอบเช่นเดียวกัน ตัวฝาด้านบนจะเจาะรู 2 รู โดย
 - 2.1 รูที่ 1 ใช้สำหรับสอดแท่งส่งผ่านความเย็น
 - 2.2 รูที่ 2 ใช้สำหรับสอดท่อสารสังเคราะห์นำเฮกเซนเข้าสู่อุปกรณ์
- 3 ท่อนำเฮกเซน ท่อนำเฮกเซนที่ใช้แล้วและผ่านการควบแน่นกลับเข้าสู่อุปกรณ์ทำด้วยสารสังเคราะห์ เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร ชื่อทางการค้าคือ ไวตอน ทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถทนอุณหภูมิสูงและต่ำได้เป็นอย่างดี โดยองค์การอาหารและยาให้สามารถใช้กับอาหารได้ ซึ่งท่อนี้จะนำเฮกเซนที่ใช้แล้วและผ่านการควบแน่นเรียบร้อยแล้วกลับเข้ามาใช้ใหม่ในอุปกรณ์ชุดนี้ โดยท่อนี้ที่ปลายอีกด้านหนึ่งจะต้องเข้ากับท่อสแตนเลสขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้วยาวท่อละ 20 เซนติเมตร จำนวน 2 ท่อ (ท่อสแตนเลสที่ปลายทั้ง 2 ด้าน กลึงหางปลาไหลขนาด $\frac{1}{8}$ นิ้ว และท่อนี้จะช่วยให้ประหยัดท่อสารสังเคราะห์ที่มีราคาสูง) โดยในระหว่างท่อ สแตนเลสนี้จะเชื่อมด้วยท่อสารสังเคราะห์เป็นช่วงๆ จากนั้นท่อสารสังเคราะห์นี้จะต่อเข้ากับปั๊มชนิดรีดสาย (เพอร์สติกคัลคัมป์) และปลายอีกด้านถัดไป จะไปต่อกับอุปกรณ์รวบรวมเฮกเซน โดยเป็นเฮกเซนที่ใช้แล้วและผ่านการควบแน่นเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่
- 4 cribกระจายความเย็นภายในตัวถังขึ้นใน มีหน้าที่เร่งกระจายความเย็นเข้าสู่เฮกเซนที่อยู่บริเวณใจกลางถังให้เร็วที่สุด ซึ่งทำด้วยสแตนเลสเบอร์ 316 ความหนา 2 มิลลิเมตร ซึ่งจะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีประเภทต่างๆ ได้เป็นอย่างดี ประกอบด้วย crib 8 crib ความกว้างตามแนวรัศมี 7.8 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ตรงกลางด้านบนและด้านล่างของ crib จะเชื่อมด้วยแผ่นสแตนเลสวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว หนา 2 มิลลิเมตร (เพื่อใช้เป็นตัวกระจาย เฮกเซนที่ใช้แล้วและผ่านการควบแน่นกลับมาใช้ใหม่ ให้ลงสู่ crib ต่างๆ อย่างสม่ำเสมอ) ซึ่ง crib กระจายความเย็นนี้จะสามารถถอดและสวมเข้าออกจากตัวถังขึ้นในได้

- 5 **คอยล์ความเย็น** มีหน้าที่นำสารทำความเย็นให้ผ่านเข้าสู่ตัวถังชั้นในและหรือนำสารทำความเย็นให้ผ่านเข้าสู่ผิวสัมผัสของสารเคมีที่ใช้ร่วมกับระบบทำความเย็น เพื่อนำความเย็นเข้าสู่ตัวถังชั้นใน โดยท่อนี้ทำจากท่อสแตนเลสขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว ขดเป็นวงกลมระหว่างถังชั้นในและถังชั้นนอก แต่เชื่อมผิวของท่อติดเข้ากับรอบนอกของตัวถังชั้นใน (ขดในลักษณะรูปเกลียวพันรอบถังชั้นใน) ปลายท่อทางเข้า และทางออกจะทำเป็นลักษณะหัวแฟร์เพื่อต่อเข้ากับท่อทองแดงเข้าสู่ระบบทำความเย็น โดยระบบทำความเย็นนี้จะใช้คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบขนาด $\frac{1}{2}$ แรงม้า และใช้คอนเดนเซอร์ชนิด 5 แผง ระบายความร้อน (ใช้พัดลมช่วยเป่าระบายความร้อน) และใช้สารทำความเย็นชนิด R22
- 6 **แท่งส่งผ่านความเย็น** มีหน้าที่ส่งถ่ายความเย็นจากบริเวณกลางถังไปยังหัววัดอุณหภูมิ ทำจากแท่งสแตนเลสตันขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว ความยาวด้านที่ยื่นเข้ามาในตัวถังในยาว 15 เซนติเมตร มีหน้าแปลนด้านบนและด้านล่าง (เส้นผ่าศูนย์กลาง $1\frac{1}{2}$ นิ้ว เพื่อยึดติดกับตัวฝา ส่วนด้านบนที่ยื่นออกนอกตัวถังในมีความยาว 5 เซนติเมตร เป็นท่อกลวง ใช้สำหรับต่อเข้ากับหัววัดอุณหภูมิ ซึ่งจะต่อเข้ากับเครื่องวัด และควบคุมอุณหภูมิ ชูเอ็น 105
- 7 **ซิลชนิดเส้น** มีหน้าที่กันการระเหยออกนอกระบบของเฮกเซนจากอุปกรณ์ ใช้ในบริเวณระหว่างฝาของอุปกรณ์และหน้าแปลนของถังชั้นใน ซิลนี้ทำจาก ฟิทีเอฟอี ชนิดเส้น มีความกว้าง $\frac{1}{2}$ นิ้ว หนา 0.5 เซนติเมตร มีสีขาว ซึ่งทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถใช้กับอาหารได้ สำหรับซิล ชนิดม้วนแผ่นบางใช้สำหรับพันรอบเกลียวข้อต่อต่างๆป้องกันการรั่วของของเหลว ทำจาก ฟิทีเอฟอี มีความกว้าง $\frac{1}{2}$ นิ้ว มีสีขาว ซึ่งทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถใช้กับอาหารได้ และซิล ชนิดแผ่น จะทำการเจาะให้เป็นรูวงแหวนเพื่อใช้เป็นซิลป้องกันการรั่วระหว่างวาล์วและท่อต่างๆ ซิลนี้ทำจาก ฟิทีเอฟอี สีขาว หนา 0.2 มิลลิเมตร ทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถใช้กับอาหารได้
- 8 **วาล์ว** ใช้ใน 2 ลักษณะคือ ลักษณะที่ 1 ใช้เป็นวาล์วปิดเปิดเพื่อให้เฮกเซนผ่าน จะเป็นวาล์วสแตนเลสเบอร์ 316 ขนาด $\frac{3}{8}$ นิ้ว ซึ่งจะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของตัวทำละลาย และสารเคมีอื่นๆ ลักษณะที่ 2 ใช้เป็นวาล์วปิดเปิดให้อากาศผ่านเพื่อไม่ให้เกิดสุญญากาศ ผ่าน จะเป็นวาล์วสแตนเลสเบอร์ 316 ขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว ซึ่งจะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของตัวทำละลาย และสารเคมีอื่นๆ ได้
- 9 **ท่อฟิทีเอฟอี** ใช้ในการส่งเฮกเซนจากอุปกรณ์นี้ไปยังอุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมเฮกเซนกับน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดกัมออกไปแล้ว ท่อทำจาก ฟิทีเอฟอี สีขาว มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถใช้กับอาหารได้
- 10 **ระบบควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบดิจิตอล** (ชูเอ็น 105) สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ต่ำสุดถึง -40 องศาเซลเซียส และสูงสุดถึง 40 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิของภายในถังชั้นในให้เป็นตามต้องการ โดยหัววัดอุณหภูมิมีสายยาว 1.5 เมตร

2 ชุดอุปกรณ์ผสมเฮกเซนกับน้ำมันปาล์มดิบที่กำลังจัดกัมแล้ว

ชุดอุปกรณ์ผสมเฮกเซนกับน้ำมันปาล์มดิบที่กำลังจัดกัมแล้ว ทำหน้าที่ผสมเฮกเซนที่ผ่านการปรับอุณหภูมิแล้วกับน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดกัมออกไปแล้ว เพื่อเกิดการผสมที่ดี ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด

องค์ประกอบสำคัญ

1 ตัวถังทั้งภายในและภายนอกรวมถึงท่อคอยล์ความเย็น ท่อบริเวณข้อต่อ กรวยเดิมเฮกเซน และข้อต่อต่างๆ ทำด้วยสแตนเลสเบอร์ 316 ความหนา 2 มิลลิเมตร ซึ่งจะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีประเภทต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เช่น กรด ค่าง ตัวทำละลายต่างๆ โดยเป็นสแตนเลสชนิดเดียวกันกับที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่มีการกัดกร่อนสูง เช่น อุตสาหกรรมอาหารประเภทกรดเป็นต้น และสามารถทนอุณหภูมิสูงและต่ำได้เป็นอย่างดี

1.1 ตัวถังชั้นใน เป็นรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 16 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ต่อกววยด้านล่างลึก 15 เซนติเมตร ขอบกรวยที่เชื่อมติดกับตัวถังเอียงทำมุม 45 องศา ภายในมีการเพิ่มตะแกรงสแตนเลสทรงกรวยมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ภายในตะแกรงจะมีจานสแตนเลสกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 เซนติเมตร วางซ้อนอยู่ภายใน เพื่อช่วยให้เกิดการผสมภายในให้ดียิ่งขึ้น ที่ปากขอบด้านบนตัวถังที่ประกบกับฝาปิด จะเป็นบ่าสแตนเลสหนา 4 มิลลิเมตร กว้าง 1 นิ้วครึ่ง เชื่อมอยู่ติดกับตัวถัง ที่ผิวด้านบนของบ่านี้ถูกเจาะร่องตามเส้นรอบวงของถังเพื่อใช้วางเส้นซีล ฟิตีเอฟอี ความกว้าง $\frac{1}{2}$ นิ้ว ร่องลึก 0.3 เซนติเมตร และเจาะรูร้อยน๊อตขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว โดยรอบเพื่อใช้ยึดกับฝาครอบอะครีลิก บริเวณปลายกรวยต่อกับท่อสแตนเลสขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว ปลายท่อถึงเกลียวต่อกับวาล์วสแตนเลสเบอร์ 316 ขนาด $\frac{3}{8}$ นิ้ว ซึ่งจะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี และส่วนปลายอีกด้านหนึ่งของวาล์วต่อกับท่อสแตนเลสถึงหางปลาไหลขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว ซึ่งท่อท่อสแตนเลสถึงหางปลาไหลขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้วนี้จะต่อกับท่อ ฟิตีเอฟอี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10 มิลลิเมตร เพื่อใช้เป็นท่อทางระบายเฮกเซนลงสู่อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมเฮกเซนกับน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดกัมออกไปแล้ว ต่อไป ในบริเวณด้านบนใกล้กับบ่าสแตนเลสจะต่อกับท่อสแตนเลสขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว โดยปลายอีกด้านหนึ่งถึงหางปลาไหล เพื่อต่อกับท่อ ฟิตีเอฟอี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ที่ส่งเฮกเซนออกมาจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการแช่เย็นเฮกเซน

1.2 ตัวถังชั้นนอก เป็นรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 26 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร บริเวณใกล้ขอบบน มีท่อสแตนเลสขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้วเชื่อมออกสู่

ภายนอกเพื่อต่อกับระบบสุญญากาศโดยปลายท่อเป็นการกลิ้งขึ้นรูปแบบทางปลาไหลเพื่อใช้ต่อกับสายยางของระบบสุญญากาศ , มีท่อสแตนเลสขนาด ¼ นิ้วเชื่อมออกสู่ภายนอกเพื่อเติมสารเคมีที่ใช้ร่วมกับระบบทำความเย็น พร้อมฝาครอบเกรียวมีลูกบิดเปิดแบบทางปลาติดกับฝาครอบเพื่อสำหรับเปิดและเปิดออกได้อย่างสะดวก , มีท่อทางเข้าออกของสารทำความเย็นขนาด ¼ นิ้ว และที่บริเวณกันดั้มจะเชื่อมท่อสแตนเลสขนาด ¼ นิ้ว ปลายท่อกลิ้งเกลียวต่อกับวาล์วสแตนเลสเบอร์ 316 ขนาด 3/8 นิ้ว ซึ่งจะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ท่อนี้ใช้สำหรับถ่ายสารเคมีที่ใช้ร่วมกับระบบทำความเย็นออกเมื่อเลิกใช้งาน

- 2 ฝาปิดด้านบนทำด้วยอะคริลิค ความหนา 10 มิลลิเมตร ชนิดใส ทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถทนอุณหภูมิสูงและต่ำได้เป็นอย่างดี โดยองค์การอาหารและยาให้สามารถใช้กับอาหารได้ และเจาะรูร้อยน๊อตขนาด ¼ นิ้ว โดยรอบเพื่อใช้ยึดกับบ๊าสแตนเลสของตัวถังชั้นในที่เจาะรูร้อยน๊อตขนาด ¼ นิ้ว โดยรอบเช่นเดียวกัน ตัวฝาด้านบนจะเจาะรู 2 รู โดย

2.1 รูที่ 1 ใช้สำหรับสอดแท่งส่งผ่านความเย็น

2.2 รูที่ 2 ใช้สำหรับสอดใบกวนจากเครื่องผสมเข้าสู่อุปกรณ์

- 3 เครื่องผสม มีหน้าที่กวนผสมเฮกเซนที่ผ่านการปรับอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการแช่เย็นเฮกเซนกับน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดกัมออกไปแล้ว ให้เข้ากัน โดยใบกวนของเครื่องกวนผสมเป็นชนิด พิตเบลค อิมเพลเลอร์ เส้นผ่าศูนย์กลาง 58 มิลลิเมตร ทำจากสแตนเลส มีแกนยาว 40 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางแกน 8 มิลลิเมตร สำหรับส่วนหัวมอเตอร์ควบคุมการหมุนสามารถควบคุมความเร็วได้ 40-2,000 รอบต่อนาที

- 4 ท่อควบคุมทิศทางการกวนผสมภายในตัวถังชั้นใน มีหน้าที่ควบคุมทิศทางการกวนผสมระหว่าง เฮกเซนที่ผ่านการปรับอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการแช่เย็นเฮกเซนกับน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการกำจัดกัมออกไปแล้ว ซึ่งทำด้วยสแตนเลสเบอร์ 316 ความหนา 2 มิลลิเมตร ซึ่งจะสามารถทนต่อการกัดกร่อน ของสารเคมีประเภทต่างๆได้เป็นอย่างดี ประกอบด้วยท่อทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน สูง 30 เซนติเมตร

- 5 คอยล์ความเย็น มีหน้าที่นำสารทำความเย็นให้ผ่านเข้าสู่ผิวตัวถังชั้นในและหรือนำสารทำความเย็นให้ผ่านเข้าสู่ผิวสัมผัสของสารเคมีที่ใช้ร่วมกับระบบทำความเย็น เพื่อนำความเย็นเข้าสู่ตัวถังชั้นใน โดยท่อนี้ทำจากท่อสแตนเลสขนาด ¼ นิ้ว ขดเป็นวงกลมระหว่างถังชั้นในและถังชั้นนอก แต่เชื่อมผิวของท่อติดเข้ากับรอบนอกของตัวถังชั้นใน (ขดในลักษณะรูปเกลียวพันรอบถังชั้นใน) ปลายท่อทางเข้า และทางออกจะทำเป็นลักษณะหัว

แฟร์เพื่อต่อเข้ากับท่อทองแดงเข้าสู่ระบบทำความเย็น โดยระบบทำความเย็นนี้จะใช้คอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบขนาด $\frac{1}{2}$ แรงม้า และใช้คอนเดนเซอร์ชนิด 5 แฉก ระบายความร้อน (ใช้พัดลมช่วยเป่าระบายความร้อน) และใช้สารทำความเย็นชนิด อาร์22

- 6 แท่งส่งผ่านความร้อน มีหน้าที่ส่งถ่ายความร้อนจากบริเวณกลางถังไปยังหัววัดอุณหภูมิ ทำจากแท่งสแตนเลสตันขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว ความยาวด้านที่ขึ้นเข้ามาในถังถึงในยาว 15 เซนติเมตร มีหน้าแปลนด้านบนและด้านล่าง (เส้นผ่าศูนย์กลาง $1 \frac{1}{2}$ นิ้ว เพื่อยึดติดกับตัวฝา ส่วนด้านบนที่ยื่นออกนอกถังถึงในมีความยาว 5 เซนติเมตร เป็นท่อกลวง ใช้สำหรับต่อเข้ากับหัววัดอุณหภูมิ ซึ่งจะต่อเข้ากับเครื่องวัด และควบคุมอุณหภูมิ ยูเอ็น 105
- 7 ซิลินดรีกั้นน้ำ มีหน้าที่กั้นการระเหยออกนอกระบบของเฮกเซนจากอุปกรณ์ ใช้ในบริเวณระหว่างฝาของอุปกรณ์และหน้าแปลนของถังชั้นใน ซิลินดรีกั้นน้ำทำจากพีทีเอฟอี ชนิดเส้น มีความกว้าง $\frac{1}{2}$ นิ้ว หนา 0.5 เซนติเมตร มีสีขาว ซึ่งทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถใช้อาหารได้ สำหรับซิลินดรีกั้นน้ำแผ่นบางใช้สำหรับพันรอบเกลียวข้อต่อต่างๆ ป้องกันการรั่วของของเหลว ทำจากพีทีเอฟอี มีความกว้าง $\frac{1}{2}$ นิ้ว มีสีขาว ซึ่งทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถใช้อาหารได้ และซิลินดรีกั้นน้ำ จะทำการเจาะให้เป็นรูวงแหวนเพื่อใช้เป็นซิลินดรีกั้นการรั่วระหว่างวาล์วและท่อต่างๆ ซิลินดรีกั้นน้ำทำจากพีทีเอฟอี สีขาว หนา 0.2 มิลลิเมตร ทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถใช้อาหารได้
- 8 วาล์ว ใช้ใน 2 ลักษณะคือ ลักษณะที่ 1 ใช้เป็นวาล์วปิดเปิดเพื่อให้เฮกเซนผ่าน จะเป็นวาล์วสแตนเลสเบอร์ 316 ขนาด $\frac{3}{8}$ นิ้ว ซึ่งจะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของตัวทำละลาย และสารเคมีอื่นๆ ลักษณะที่ 2 ใช้เป็นวาล์วปิดเปิดให้อากาศผ่านเพื่อไม่ให้เกิดสุญญากาศ ผ่าน จะเป็นวาล์วสแตนเลสเบอร์ 316 ขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว ซึ่งจะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของตัวทำละลาย และสารเคมีอื่นๆ ได้
- 9 ท่อพีทีเอฟอี ใช้ในการส่งของเหลวผสมระหว่าง เฮกเซน , น้ำมันบางส่วน และ แคลโรทีนอยด์ จากอุปกรณ์นี้ไปยังอุปกรณ์แยกไขมันที่ตกผลึก ท่อทำจาก พีทีเอฟอี สีขาว มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถใช้อาหารได้
- 10 ระบบควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบดิจิตอล (ยูเอ็น 107) สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ต่ำสุดถึง -40 องศาเซลเซียส และสูงสุดถึง 40 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิของภายในถังชั้นในให้เป็นตามต้องการ โดยหัววัดอุณหภูมิมีสายยาว 1.5 เมตร

3 ชุดอุปกรณ์แยกผลึกไขมัน

ชุดอุปกรณ์แยกผลึกไขมัน ทำหน้าที่แยกผลึกไขมันที่เกิดขึ้นหลังจากการผสมเฮกเซนกับน้ำมันปาล์มดิบ คุณสมบัติของอุปกรณ์คือ จะใช้วิธีการกรองระบบสุญญากาศ

องค์ประกอบสำคัญ

- 1 ตัวถังอุปกรณ์เป็นทรงกลม ทำจากแก้วใส มีขนาดความจุ 5 ลิตร
- 2 ฝาทำด้วยยางสังเคราะห์ เจาะรู 4 รู โดย
 - 2.1 รูที่ 1 ใช้ต่อกับท่อ พีทีเอฟอี ที่มาจากกรวยกรองสแตนเลส
 - 2.2 รูที่ 2 ใช้ต่อกับท่อแก้วร่วมกับท่อยาง ลาเท็กซ์ เพื่อใช้ต่อกับปั๊มอัดอากาศเข้า
 - 2.3 รูที่ 3 ใช้ต่อกับท่อแก้วร่วมกับท่อยาง ลาเท็กซ์ เพื่อใช้ต่อกับปั๊มดูดอากาศออก
 - 2.4 รูที่ 4 ใช้ต่อกับท่อแก้วร่วมกับท่อไวคอน เพื่อเป็นท่อส่งสารผสมไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
- 2 กรวยกรองสแตนเลส มีหน้าที่กรองแยกผลึกไขมันออกจากสารผสม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 19 เซนติเมตร สูงจากปากกรวยจนถึงตะแกรงกรอง 10 เซนติเมตร ปลายกรวยต่อกับท่อ พีทีเอฟอี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร และต่อกับวาล์วทองเหลืองขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้วซึ่งจะต่อไปยังฝาชของอุปกรณ์
- 3 ปั๊มอัดอากาศ เป็นปั๊มอัดอากาศชนิดใช้เท้ากด ใช้สำหรับอัดอากาศเข้าสู่อุปกรณ์ เพื่อให้อากาศเข้าไปดันสารผสมออกจากอุปกรณ์ ไปสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยปั๊มอัดอากาศนี้จะต่อกับท่อยาง ลาเท็กซ์ และต่อกับวาล์วทองเหลืองขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว ก่อนต่อไปยังฝาชอุปกรณ์
- 4 ปั๊มสูญญากาศระบบเจทแบบใช้ไอน้ำ ใช้ดูดอากาศออกจากอุปกรณ์
- 5 วาล์ว ใช้เป็นวาล์วปิดเปิดเพื่อให้อากาศเข้าหรือออกจากอุปกรณ์ จะเป็นวาล์วทองเหลืองขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว ซึ่งจะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของตัวทำละลาย
- 6 ท่อแก้ว ใช้สำหรับนำท่อยาง เพื่อนำอากาศเข้าหรือออกจากอุปกรณ์ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 3 มิลลิเมตร
- 7 ท่อนำสารผสมจากอุปกรณ์ เข้าสู่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทำด้วยสารสังเคราะห์ เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 4 มิลลิเมตร ชื่อทางการค้าคือ ไวคอน ทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถทนอุณหภูมิสูงและต่ำได้เป็นอย่างดี โดยองค์การอาหารและยาให้สามารถใช้กับอาหารได้ ซึ่งท่อนี้ปลายด้านหนึ่งจะต่อกับท่อแก้วที่ออกจากฝาชของอุปกรณ์ที่ใช้นำสารผสมไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ที่ปลายอีกด้านหนึ่งจะต่อเข้ากับชุดข้อต่อทางปลาไหลทองเหลืองขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว ก่อนต่อเข้ากับท่อ พีทีเอฟอี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร และต่อกับวาล์วสแตนเลสขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้วซึ่งจะต่อไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน
- 8 ชุดข้อต่อทางปลาไหลทองเหลืองขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว ใช้เป็นข้อต่อสำหรับลดขนาดท่อเพื่อให้ท่อพีทีเอฟอี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร สามารถใช้ร่วมกับท่อชนิดและขนาดอื่นๆ รวมถึงอุปกรณ์อื่นได้

4 ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน

ชุดอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับของเหลวผสม (เฮกเซน น้ำมันบางส่วน และ แคลโรทีนอยด์) ที่ผ่านการแยกไขมันแล้ว ทั้งนี้เพื่อลดการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากในกระบวนการแยกแคลโรทีนอยด์ ใช้อุณหภูมิต่ำมาก ของเหลวผสมหลังการแยกไขมันออกแล้วมีอุณหภูมิต่ำ จึงนำมาแลกเปลี่ยนความเย็นกับน้ำซึ่งเป็นการเพิ่มอุณหภูมิที่ต่ำมากของของเหลวผสมขึ้น ยังช่วยป้องกันการขยายตัวที่เร็วเกินไป จากการนำของเหลวที่เย็นจัดไประเหยเฮกเซนออกที่อุณหภูมิสูง

องค์ประกอบสำคัญ

1 ตัวถังทั้งภายในและภายนอก รวมถึงท่อคอยด์ความเย็น ท่อบริเวณข้อต่อ และข้อต่อต่างๆ ทำด้วยสแตนเลสเบอร์ 316 ความหนา 2 มิลลิเมตร ซึ่งจะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีประเภทต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เช่น กรด ค่าง ตัวทำละลายต่างๆ โดยเป็นสแตนเลสชนิดเดียวกันกับที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารที่มีการกัดกร่อนสูง เช่น อุตสาหกรรมอาหารประเภทกรด เป็นต้น และสามารถทนอุณหภูมิสูงและต่ำได้เป็นอย่างดี

- 1.1 ตัวถังชั้นใน ทำหน้าที่เป็นถังเก็บเฮกเซนไว้ภายในเพื่อให้แลกเปลี่ยนความเย็นกับน้ำที่บรรจุอยู่ใน ตัวถังชั้นนอก ตัวถังทำจากสแตนเลสหนา 2 มิลลิเมตร ยาว 50 เซนติเมตร กว้าง 25 เซนติเมตร ลึก 10 เซนติเมตร ที่ก้นถังเป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว โดยมุมของสามเหลี่ยมอยู่ด้านล่างไปกว่าก้นถัง 1.5 เซนติเมตร เพื่อให้ของเหลวผสมที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนรวมตัวกัน และไหลออกจากอุปกรณ์ได้ง่ายในเวลาถ่ายของเหลวนี้ออกจากอุปกรณ์ ด้านหนึ่งของตัวถังที่บริเวณก้นถังสามเหลี่ยมหน้าจั่ว เชื่อมกับท่อ สแตนเลสขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว ปลายอีกด้านหนึ่งของท่อจะกลิ้งเกลียว พันรอบเกลียวด้วยซิล ฟิทีเอฟอี ชนิดม้วน รองหน้าตัดท่อด้วยซิล ฟิทีเอฟอี ชนิดแผ่นที่ตัดเป็นรูปวงแหวนก่อนต่อเข้ากับ วาล์วสแตนเลสเบอร์ 316 ขนาด $\frac{3}{8}$ นิ้ว ถัดจากวาล์วนี้ จะเชื่อมต่อกับท่อสแตนเลสกลิ้งเกลียวขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว โดยใช้ ซิลทั้ง 2 ชนิดร่วมด้วยเช่นกัน ด้านของตัวถังชั้นในที่ต่อเข้ากับชุดท่อนี้จะมีผนัง แนบติดกับผนังด้านหนึ่งของ ตัวถังชั้นนอก และชุดท่อเหล่านี้ จะทะลุผ่านผนังของตัวถังชั้นนอกออกสู่ภายนอกด้วย โดยในส่วนปลายของชุดท่อที่กลิ้งหางปลาไหลนี้ จะต่อเข้ากับท่อ ฟิทีเอฟอี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เพื่อใช้ส่งถ่ายของเหลวผสมจากตัวถังชั้นในไปยังอุปกรณ์ระเหยสุญญากาศ ส่วนอีกด้านหนึ่งตรงกันข้ามของถังซึ่งเป็นด้านบน จะต่อกับชุดท่อเช่นเดียวกันนี้ และเจาะทะลุตัวถังชั้นนอกอีกด้านหนึ่ง โดยที่ผนังด้านนี้จะไม่เชื่อมติดกับผนังของตัวถังชั้นนอก โดยในส่วนปลายของชุดท่อที่กลิ้งหางปลาไหลนี้ จะต่อเข้ากับท่อ ฟิทีเอฟอี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เพื่อใช้รับ

ของเหลวผสมที่ผ่านการแยกไขมันออกแล้วมายังตัวถังชั้นใน สำหรับขอบด้านบนของตัวถังจะมีบ่าที่ประกบกับฝาปิด จะเป็นบ่าสแตนเลสหนา 5 มิลลิเมตร กว้าง $\frac{1}{2}$ นิ้ว เชื่อมอยู่ติดกับตัวถัง ที่ผิวด้านบนของบ่านี้ใช้วงเส้น ซีล ฟิทีเอฟอี ความกว้าง $\frac{1}{2}$ นิ้ว และเจาะรูร้อยน๊อตขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว โดยรอบเพื่อใช้ยึดกับฝาครอบอะครีลิก ระหว่างฝาและบ่าของตัวถังชั้นในรองด้วย ซีลฟิทีเอฟอี ชนิดเส้น โดยตัวถังชั้นในนี้จะลอยอยู่เหนือพื้นของตัวถังชั้นนอก 4.5 เซนติเมตร

- 1.2 ตัวถังชั้นนอก ทำหน้าที่เป็นถังเก็บน้ำไว้ภายในเพื่อใช้แลกเปลี่ยนความเย็นกับ เฮกเซนที่บรรจุอยู่ใน ตัวถังชั้นใน ดังถังทำจากสแตนเลสหนา 2 มิลลิเมตร ยาว 65 เซนติเมตร กว้าง 45 เซนติเมตร ลึก 15 เซนติเมตร ที่ขอบบนของตัวถังพับเป็นรูปหยดน้ำเพื่อป้องกันอันตราย ที่เกิดจากความคมของขอบ
- 2 ฝาปิดด้านบนทำด้วยอะครีลิก ความหนา 10 มิลลิเมตร ชนิดใส ทนต่อตัวทำละลาย เฮกเซน และสามารถทนอุณหภูมิสูงและต่ำได้เป็นอย่างดี โดยองค์การอาหารและยาให้สามารถใช้กับอาหารได้ และเจาะรูร้อยน๊อตขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว โดยรอบเพื่อใช้ยึดกับบ่าสแตนเลสของตัวถังชั้นในที่เจาะรูร้อยน๊อตขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว โดยรอบเช่นเดียวกัน ฝาดูเข้า กับ วาล์วสแตนเลสเบอร์ 316 ขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว เพื่อใช้เป็นที่นำอากาศเข้าสู่ระบบเมื่อไม่ต้องการให้ระบบเป็นสุญญากาศ
- 3 ซีลชนิดเส้น มีหน้าที่กันการระเหยออกนอกระบบของเฮกเซนจากอุปกรณ์ ใช้ในบริเวณระหว่างฝาของอุปกรณ์และหน้าแปลนของถังชั้นใน ซีลนี้ทำจาก ฟิทีเอฟอี ชนิดเส้น มีความกว้าง $\frac{1}{2}$ นิ้ว หนา 0.5 เซนติเมตร มีสีขาว ซึ่งทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถใช้กับอาหารได้ สำหรับซีล ชนิดม้วนแผ่นบางใช้สำหรับพันรอบเกลียวข้อต่อต่างๆ ป้องกันการรั่วของของเหลว ทำจากฟิทีเอฟอี มีความกว้าง $\frac{1}{2}$ นิ้ว มีสีขาว ซึ่งทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถใช้กับอาหารได้ และซีล ชนิดแผ่น จะทำการเจาะให้เป็นรูปร่างวงแหวนเพื่อใช้เป็นซีลป้องกันการรั่วระหว่างวาล์วและท่อต่างๆ ซีลนี้ทำจากฟิทีเอฟอี สีขาว หนา 0.2 มิลลิเมตร ทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถใช้กับอาหารได้
- 4 วาล์ว ใช้เป็นวาล์วปิดเปิดเพื่อให้ของเหลวผสมที่แยกไขมันออกแล้วผ่าน จะเป็นวาล์วสแตนเลสเบอร์ 316 ขนาด $\frac{3}{8}$ นิ้ว ซึ่งจะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของตัวทำละลายและสารเคมีอื่นๆ ได้ และวาล์วสแตนเลสเบอร์ 316 ขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว เพื่อใช้เป็นที่นำอากาศเข้าสู่ระบบเมื่อไม่ต้องการให้ระบบเป็นสุญญากาศที่ฝาของอุปกรณ์
- 5 ท่อฟิทีเอฟอี ใช้ในการส่งของเหลวผสมระหว่างเฮกเซน น้ำมันบางส่วน และ แครทินอยด์ และแยกไขมันออกแล้วจากอุปกรณ์นี้ไปยังอุปกรณ์ระเหยสุญญากาศ ท่อทำจากฟิทีเอฟอี สีขาว มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถใช้กับอาหารได้

5 ชุดอุปกรณ์ระเหยเฮกเซน

ชุดอุปกรณ์ระเหยเฮกเซนทำหน้าที่ระเหยเฮกเซน ออกจากของเหลวผสมระหว่างเฮกเซน น้ำมันบางส่วน และแคโรทีนอยด์ หลังผ่านการแยกไขมันออกไปแล้ว เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ปราศจากเฮกเซน โดยการระเหยใช้อุณหภูมิและความดันต่ำ

องค์ประกอบสำคัญ

1 ตัวถังทั้งภายในและภายนอก รวมถึงท่อคอยล์ความเย็น ท่อบริเวณข้อต่อ และข้อต่อต่างๆ ทำด้วยสแตนเลสเบอร์ 316 ความหนา 2 มิลลิเมตร ซึ่งจะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีประเภทต่างๆ ได้เป็นอย่างดี เช่น กรด ค้าง ตัวทำละลายต่างๆ โดยเป็นสแตนเลสชนิดเดียวกันกับที่ใช้ใน อุตสาหกรรมอาหารที่มีการกัดกร่อนสูง เช่น อุตสาหกรรมอาหารประเภทกรดเป็นต้น และสามารถทนอุณหภูมิสูงและต่ำได้เป็นอย่างดี

1.1 ตัวถังชั้นใน ทำหน้าที่เป็นถังระเหยเฮกเซน ตัวถังทำจากสแตนเลสหนา 3 มิลลิเมตร เป็นตัวถังทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 40 เซนติเมตร ลึก 10 เซนติเมตร ที่ก้นถังมีมูนอยู่ต่ำลงไปกว่าก้นถัง 1.5 เซนติเมตร เพื่อให้ของเหลวผสมที่นำมาแลกเปลี่ยนความร้อนรวมตัวกัน และไหลออกจากอุปกรณ์ได้ง่ายในเวลาที่ถ่ายของเหลวนี้ออกจากอุปกรณ์ ตรงกลางบริเวณก้นถังเชื่อมกับท่อสแตนเลสขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว ปลายอีกด้านหนึ่งของท่อจะกลิ้งเกลียว พันรอบเกลียวด้วยซิล ฟีทีเอฟอี ชนิดมัน รองหน้าตัดท่อด้วย ซิล ฟีทีเอฟอี ชนิดแผ่นที่ตัดเป็นรูปวงแหวนก่อนต่อเข้ากับ วาล์วสแตนเลสเบอร์ 316 ขนาด $\frac{3}{8}$ นิ้ว ถัดจากวาล์วนี้จะเชื่อมต่อกับท่อสแตนเลสกลิ้งเกลียวขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว โดยใช้ ซิลทั้ง 2 ชนิดรวมด้วยเช่นกัน โดยในส่วนปลายของชุดท่อที่กลิ้งหางปลาไหลนี้ จะต่อเข้ากับท่อพีทีเอฟอี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เพื่อใช้ส่งถ่ายของเหลวผสมจากตัวถังชั้นในที่ผ่านการระเหยเฮกเซนออกแล้วไปยังภาชนะเก็บตัวอย่าง ส่วนอีกด้านหนึ่งตรงกันข้ามของถังซึ่งเป็นด้านบน จะต่อกับชุดท่อเช่นเดียวกันนี้ และชุดท่อทั้ง 2 ชุดนี้ จะเจาะทะลุผ่านผนังของตัวถังชั้นนอกออกสู่ภายนอกด้วย โดยที่ผนังทั้ง 2 ด้านที่เชื่อมกับท่อนี้จะไม่เชื่อมติดกับผนังของตัวถังชั้นนอก โดยในส่วนปลายของชุดท่อที่กลิ้งหางปลาไหลนี้ จะต่อเข้ากับท่อพีทีเอฟอี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เพื่อรับสารผสมที่สกัดได้จากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สำหรับขอบด้านบนของตัวถังจะมีบ่าที่ประกบกับฝาปิด จะเป็นบ่าสแตนเลสหนา 9 มิลลิเมตร กว้าง 2 นิ้ว เชื่อมอยู่ติดกับตัวถัง ที่ผิวด้านบนของบ่านี้จะเจาะร่องกว้าง $\frac{1}{2}$ นิ้ว ลึก 3 มิลลิเมตร ใช้วางเส้นซิลฟีทีเอฟอี ความกว้าง $\frac{1}{2}$ นิ้ว และเจาะรูร้อยน๊อตขนาด $\frac{1}{4}$ นิ้ว โดยรอบจำนวน 24 ตัว เพื่อใช้ยึดกับ

ฝาครอบ ระหว่างฝาและบ่าของตัวถังชั้นในรองด้วย ซิล ฟิทิเอฟอี ชนิดเส้น ด้านหนึ่งของตัวถังนี้ที่ไม่ได้ค่อกับท่อจะเชื่อมผนังติดกับตัวถังชั้นนอก โดยตัวถังชั้นในนี้จะลอยอยู่เหนือพื้นของตัวถังชั้นนอก 8 เซนติเมตร สำหรับฝาครอบทำจากแผ่นอะครีลิกหนา 20 มิลลิเมตร ด้านบนเจาะรูตรงกลาง 1 รู เพื่อต่อกับท่อสแตนเลสที่กลึงเกลียว (เชื่อมกับฝาครอบด้วยน๊อตเปิด สแตนเลส) ค่อกับวาล์วสแตนเลสขนาด 3/8 นิ้ว และต่อกับท่อสแตนเลสกลึงเกลียวอีกด้านเป็นทางปลาไหลเพื่อต่อเข้ากับกับท่อ ฟิทิเอฟอี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เพื่อส่งไอเสกเซนไปยังอุปกรณ์ควบแน่นเสกเซน และมีการเจาะรูอีกรูหนึ่งห่างจากจุดศูนย์กลางฝาครอบ 25 เซนติเมตร เพื่อต่อกับท่อสแตนเลสที่กลึงเกลียว (เชื่อมกับฝาครอบด้วยน๊อตเปิดสแตนเลส) ค่อกับวาล์วสแตนเลสขนาด 1/2 นิ้ว เพื่อใช้ควบคุมอากาศเข้าหรือออกจากอุปกรณ์

- 1.2 ตัวถังชั้นนอก ทำหน้าที่เป็นถังเก็บน้ำไว้ภายในเพื่อใช้แลกเปลี่ยนความร้อนกับเสกเซนที่บรรจุอยู่ใน ตัวถังชั้นใน เพื่อทำให้มีการระเหยเสกเซนออกจากของเหลวผสมระหว่าง เสกเซน , น้ำมันบางส่วน และ แคลโรทีนอยด์ ที่ผ่านการแยกไขมันแล้วที่มาจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ดังดังทำจากสแตนเลสหนา 2 มิลลิเมตร ยาว 80 เซนติเมตร กว้าง 45 เซนติเมตร ลึก 18 เซนติเมตร ที่ขอบบนของตัวถังจะเป็นบ่าสแตนเลสหนา 4 มิลลิเมตร กว้าง 1/2 นิ้ว เชื่อมอยู่ติดกับตัวถัง ที่ด้านบนของบ่านี้ เจาะรูร้อยน๊อตขนาด 1/4 นิ้ว โคยรอบเพื่อใช้ยึดกับแผ่นอะครีลิก ที่เปรียบเสมือนฝาครอบบางส่วน และบางส่วนเว้นไว้ติดบานพับสำหรับทำเป็น ฝาปิดเปิดได้ โดยมีที่จับอยู่ตรงกลาง

- 2 ฝาปิดด้านบนทำด้วยอะครีลิก ความหนา 250 มิลลิเมตร ชนิดใส ทนต่อตัวทำละลายเสกเซน และสามารถทนอุณหภูมิสูงและต่ำได้เป็นอย่างดี โดยองค์การอาหารและยาให้สามารถใช้กับอาหารได้ และเจาะรูร้อยน๊อตขนาด 3/8 นิ้ว โคยรอบเพื่อใช้ยึดกับบ่าสแตนเลสของตัวถังชั้นในที่เจาะรูร้อยน๊อตขนาด 3/8 นิ้ว โคยรอบเช่นเดียวกัน ฝานี้จะต่อกับวาล์วสแตนเลสเบอร์ 316 ขนาด 1/4 นิ้ว เพื่อต่อกับท่อฟิทิเอฟอี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เพื่อใช้ส่งถ่ายไอระเหยของเสกเซนจากของเหลวผสมจากตัวถังชั้นในไปยังอุปกรณ์ควบแน่นเสกเซนต่อไป และใกล้ขอบของฝาค่อกับ วาล์วสแตนเลสเบอร์ 316 ขนาด 3/8 นิ้ว เพื่อใช้เป็นที่เปิดอากาศเข้าสู่ระบบเมื่อไม่ต้องการให้ระบบเป็นสุญญากาศ

- 3 ฝาปิดตัวถังชั้นนอกในส่วนไม่เคลื่อนที่ ทำด้วยอะครีลิก ชนิดใส หนา 5 มิลลิเมตร เจาะรูร้อยน๊อตขนาด 1/4 นิ้ว โคยรอบบางส่วนเพื่อใช้ยึดกับบ่าสแตนเลสของตัวถังชั้นนอกที่เจาะรูร้อยน๊อตขนาด 1/4 นิ้ว โคยรอบบางส่วนเช่นเดียวกัน ที่ด้านบนของฝานี้ในส่วนไม่

- เคลื่อนที่นี้ จะระบุสำหรับสอดหัววัด และควบคุมอุณหภูมิไว้ด้วย สำหรับฝาปิดตัวถังชั้นนอกส่วนที่เปิดและปิดได้ ทำด้วยอะครีลิก ชนิดใสหนา 5 มิลลิเมตร ด้านหนึ่งติดบานพับเพื่อยึดกับ ฝาปิดตัวถังชั้นนอกในส่วนไม่เคลื่อนที่ และอีกด้านหนึ่งติดที่จับโดยจะติดอยู่บริเวณกึ่งกลางเพื่อช่วยต่อการปิดและเปิดฝานี้
- 4 **เครื่องให้ความร้อน** ทำหน้าที่ส่งถ่ายความร้อนไปยังน้ำที่บรรจุอยู่ในตัวถังชั้นนอก และน้ำที่ได้รับความร้อนนี้จะส่งถ่ายความร้อนให้กับ ของเหลวผสมระหว่าง เฮกเซน น้ำมัน และ แคลโรทีนอยด์ ที่ผ่านการแยกไขมันแล้ว ที่บรรจุอยู่ในตัวถังชั้นใน เพื่อให้เฮกเซนระเหยออกจากของเหลวผสมนั้น เครื่องให้ความร้อน นี้มีกำลังไฟ 3,000 วัตต์ และติดตั้งไว้ที่ระดับสูงจากก้นตัวถังชั้นนอก 5 เซนติเมตร
 - 5 **ซิลินดรีน** มีหน้าที่กั้นการระเหยออกนอกระบบของเฮกเซนจากอุปกรณ์ ใช้ในบริเวณระหว่างฝาของอุปกรณ์และหน้าแปลนของถังชั้นใน ซิลินดรีนทำจากพีทีเอฟอี ชนิดเส้น มีความกว้าง $\frac{1}{2}$ นิ้ว หนา 0.5 เซนติเมตร มีสีขาวย ซึ่งทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถใช้กับอาหารได้ สำหรับซิลินดรีนชนิดมันแผ่นบางใช้สำหรับพันรอบเกลียวข้อต่อต่างๆ ป้องกันการรั่วของของเหลว ทำจาก พีทีเอฟอี มีความกว้าง $\frac{1}{2}$ นิ้ว มีสีขาว ซึ่งทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถใช้กับอาหารได้ และซิลินดรีนชนิดแผ่น จะทำการเจาะให้เป็นรูวงแหวนเพื่อใช้เป็นซิลินดรีนป้องกันการรั่วระหว่างวาล์วและท่อต่างๆ ซิลินดรีนทำจากพีทีเอฟอี สีขาว หนา 0.2 มิลลิเมตร ทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถใช้กับอาหารได้
 - 6 **วาล์ว** ใช้ใน 2 ลักษณะคือ ลักษณะที่ 1 ใช้เป็นวาล์วปิดเปิดเพื่อให้ของเหลวผสมจากตัวถังชั้นในที่ผ่านการระเหยเอาเฮกเซนออกแล้วไปยังภาชนะเก็บตัวอย่าง และไอระเหยของเฮกเซนผ่าน จะเป็นวาล์วสแตนเลสเบอร์ 316 ขนาด $\frac{3}{8}$ นิ้ว ซึ่งจะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของตัวทำละลาย และสารเคมีอื่นๆ ลักษณะที่ 2 ใช้เป็นวาล์วปิดเปิดให้อากาศผ่านเพื่อไม่ให้เกิดสุญญากาศผ่าน จะเป็นวาล์วสแตนเลสเบอร์ 316 ขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว ซึ่งจะสามารถทนต่อการกัดกร่อนของตัวทำละลาย และสารเคมีอื่นๆ ได้
 - 7 **ท่อพีทีเอฟอี** ใช้ในการส่งของเหลวผสมระหว่างเฮกเซน น้ำมัน และแคลโรทีนอยด์ที่แยกเฮกเซนออกแล้วจากอุปกรณ์ไปยังภาชนะเก็บตัวอย่าง และใช้ในการส่งไอระเหยของเฮกเซนจากอุปกรณ์ไปยังอุปกรณ์ควบแน่นเฮกเซน ท่อทำจากพีทีเอฟอี สีขาว มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ทนต่อตัวทำละลายเฮกเซน และสามารถใช้กับอาหารได้
 - 8 **ระบบควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบดิจิทัล** (จินโกะ เจซีเอส-33เอ) สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ต่ำสุดถึง -200 องศาเซลเซียส และสูงที่สุดถึง 850 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิของน้ำภายในถังชั้นนอกให้เป็นตามต้องการ โดยหัววัดอุณหภูมิมีสายยาว 0.5 เมตร เป็นหัววัดชนิด พีที100 และเนื่องจากอุปกรณ์นี้ไม่สามารถรับกระแสไฟฟ้าได้