บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปราย

การทดลองการแยกสารนิวทราซูติคัลจากน้ำมันปาล์มดิบด้วยเทคโนโลยีเยื่อแผ่นระดับอัลทราฟิลเตรชัน และนาโนฟิลเตรชัน มีผลการทดลองดังนี้

4.1 คุณสมบัติน้ำมันปาล์มดิบ

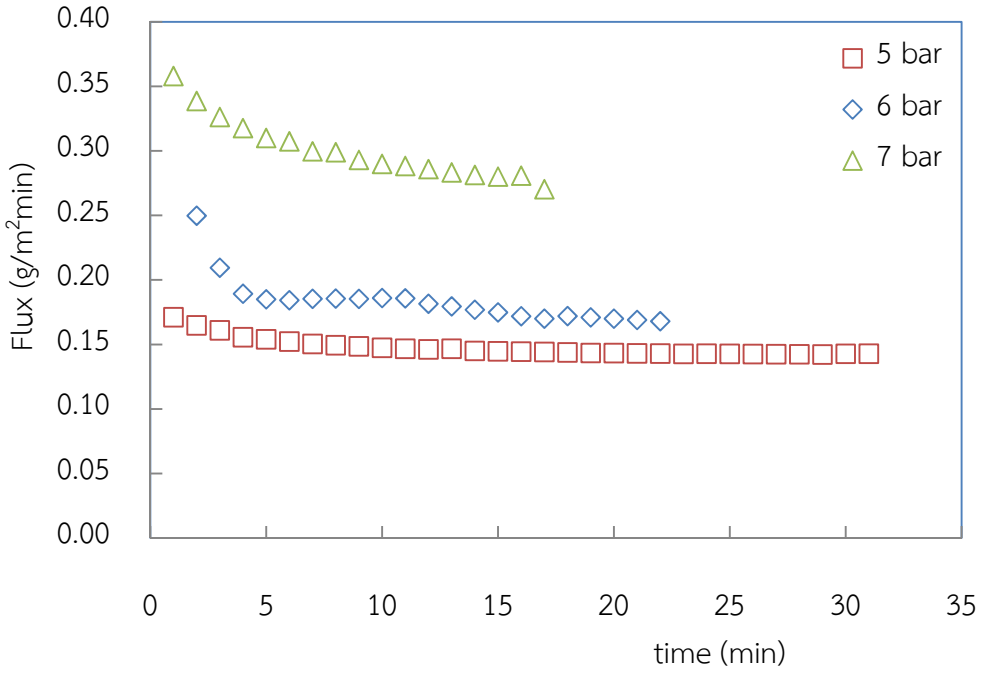
น้ำมันปาล์มดิบมีลักษณะที่ข้นหนืดเป็นไข มีสีเหลืองเข้ม มีความหนืดค่อนข้างสูงและมีปริมาณของกรดไขมันอิสระเป็น 5.21% กรดโอเลอิก, 4.66% กรดปาล์มมิติกและ 3.70% กรดเลยูอิก, ฟอสโฟไลปิดคือ 0.82 mg แอลฟาโทโคฟีรอล 261.8 ppm สำหรับน้ำมันปาล์มดิบทั่วไปจะมีค่าเบตาแคโรทีนอยู่ในช่วง 500-1,000 ppm การหาคุณสมบัติเบื้องต้นของน้ำมันปาล์มดิบไม่ได้ถูกนำไปใช้ในการวิเคราะห์ในการทดลอง จากรายงานการศึกษาจากกัญจนพร 2008 พบว่าน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการทำปฏิกิริยาซาพอนนิฟิเคชันจะมีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญของแอลฟาโทโคฟีรอลและเบตาแคโรทีนเช่นกัน การลดลงเกิดขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านไป ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาต่อเนื่องจากปริมาณสารเคมีที่คงค้างในระบบเมื่อใช้ด่างความเข้มข้นสูง ดังนั้นเพื่อให้การทดลองชุดการกรองทุกชุดมีความสม่ำเสมอแล้ว จึงมีการปรับสภาพน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านปฏิกิริยาซาพอนนิฟิเคชัน จึงควบคุมปริมาณสารที่ต้องการวัด เช่น การควบคุมปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอล เป็นต้น สำหรับเบตาแคโรทีนที่ได้จากปฏิกิริยาซาพอนนิฟิเคชันได้ถูกเจือจาง และจะน้อยกว่าปกติในน้ำมันปาล์มดิบด้วยเช่นกัน โดยการวิเคราะห์ผลการทดลองอยู่บนฐานหลังจากการปรับสภาพน้ำมันปาล์มดิบแล้ว ดังนั้นการเปรียบเทียบคุณภาพการแยกจึงเป็นการเปรียบเทียบข้อมูล ณ ทางเข้าและทางออกของชุดอุปกรณ์

4.2 ฟลักซ์เพอร์มิเอท

4.2.1 การกรองด้วยเยื่อแผ่น MP005

สารป้อนที่นำมาใช้กรองด้วยเยื่อแผ่น MP005 เป็นน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านปฏิกิริยาซาพอนนิฟิเคชันเพื่อกำจัดไตรกลีเซอไรด์และหรือโมเลกุลใหญ่ออกก่อนในระดับหนึ่ง แต่อาจยังคงมีบางส่วนไตรกลีเซอไรด์ละลายอยู่ ดังนั้นการกรองด้วยเยื่อแผ่น MP005 จึงนำมาใช้ในเบื้องต้นเพื่อเตรียมสารป้อนก่อนเข้าชุดกรองนาโนฟิลเตรชัน ผลของฟลักซ์เพอร์มิเอทแสดงได้ดังรูป 4.1 พบว่าฟลักซ์เพอร์มิเอทมีค่าลดลงตามเวลากรอง ทั้งนี้เป็นเพราะการเกิดเจลที่ผิวหน้าเมมเบรนและการเกิดฟาล์วลิ่งส่งผลทำให้ความต้านทานการไหลต่อฟลักซ์เพอร์มิเอท (Moura และคณะ, 2005; Ochoa และคณะ, 2001) เมื่อพิจารณาฟลักซ์เพอร์มิเอท ณ ความดัน 5, 6

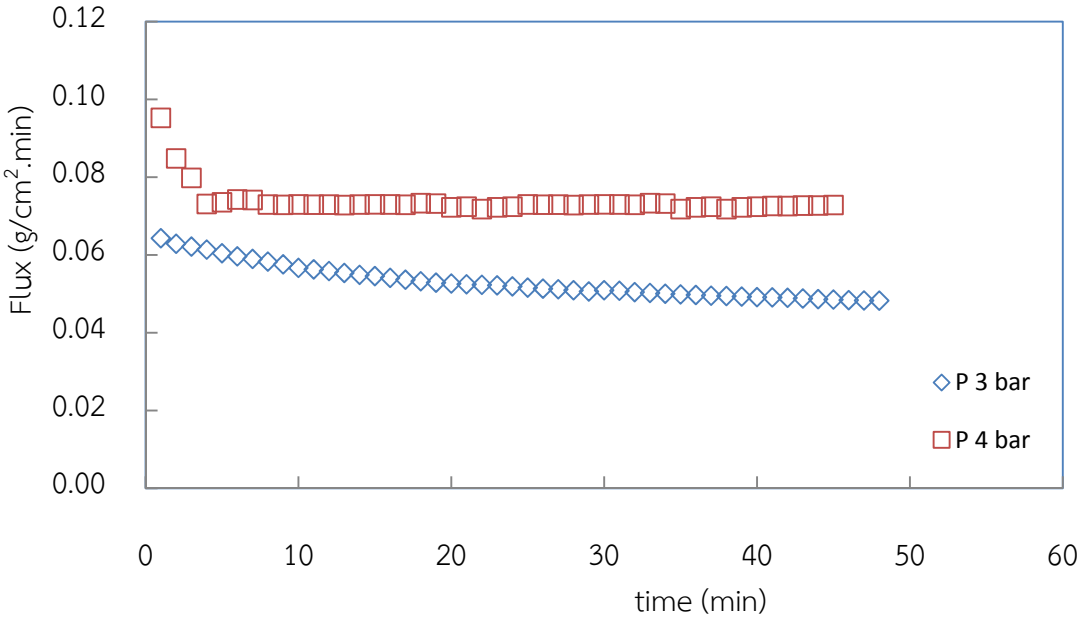
และ 7 บาร์ พบว่าฟาล์วลิ่งน่าจะเกิดขึ้นทันที เพราะฟลักซ์เพอร์มิเอทลดลงอย่างชัดเจน ซึ่งน่าจะเป็นผลการบล็อครู นอกจากนี้ฟลักซ์เพอร์มิเอทเพิ่มขึ้นตามความดันที่สูงขึ้น น่าเป็นผลจากสภาพสารป้อนที่มีความใสมากขึ้นและความหนืดต่ำ ทำให้ฟลักซ์เพอร์มิเอทเคลื่อนที่ได้ดีมากขึ้นตามความดันขับที่เพิ่มขึ้น ข้อสังเกตุประการหนึ่งคือ การกรองนี้ใช้ความดันระบบค่อนข้างสูงกว่าที่คาดการณ์มาก จึงต้องพิจารณาสมรรถนะของเยื่อแผ่นต่อคุณลักษณะสารป้อน



รูปที่ 4.1 ฟลักซ์เพอร์มิเอทจากการกรองด้วยเยื่อแผ่น MP005 ที่ความดัน 5, 6 และ 7 บาร์

4.2.2 การกรองด้วยเยื่อแผ่น UP020

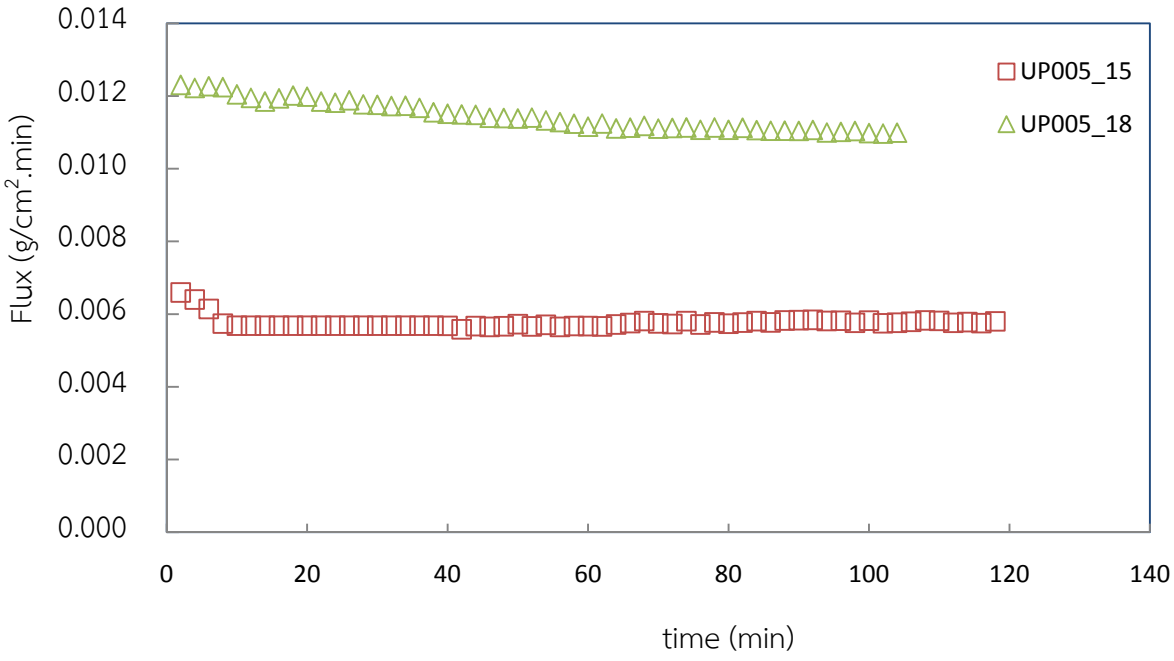
เพอร์มิเอทจากการกรองด้วยเยื่อ MP005 ถูกนำมาใช้เป็นสารป้อนเพื่อกรองอัลทราฟิลเตรชัน UP020 ซึ่งได้ผลของฟลักซ์การกรองดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าฟลักซ์เพอร์มิเอท ณ ความดัน 4 บาร์มีค่าสูงกว่า 3 บาร์ ตลอดช่วงการทดลอง โดยแนวโน้มฟลักซ์เพอร์มิเอท ณ ความดันขับ 4 บาร์ มีลักษณะเช่นเดียวกับการกรองระดับไมโครฟิลเตรชัน นั่นคือฟลักซ์เพอร์มิเอทมีค่าลดลงตามเวลากรองโดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเริ่มต้น ทั้งนี้เป็นเพราะการเกิดเจลที่ผิวหน้าเมมเบรนและการเกิดฟาล์วลิ่งส่งผลทำให้ความต้านทานการไหลต่อฟลักซ์เพอร์มิเอท อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาฟลักซ์เพอร์มิเอท ณ ความดัน 3 บาร์ พบว่าฟลักซ์เพอร์มิเอทมีค่าค่อนข้างคงที่กว่า แสดงว่ากลไกการเกิดฟาล์วลิ่งของความดัน 3 และ 4 บาร์มีความแตกต่างกัน หากเปรียบเทียบค่าฟลักซ์ของกรองระดับ MP020 และ UP020 พบว่าค่า ฟลักซ์ของการกรองของ MP020 มีค่าสูงกว่าทุกช่วงความดัน ทั้งนี้เพราะขนาดแรงขับที่มากกว่าและขนาดรูพรุนที่ใหญ่กว่าส่งผลทำให้การไหลของฟลักซ์ได้ง่ายกว่า



รูปที่ 4.3 ฟลักซ์เพอร์มิเอทจากการกรองระดับอัลทราฟิลเตรชัน UP020 ที่ความดัน 3 และ 4 บาร์

4.2.3 การกรองด้วยเยื่อแผ่น UP005

หลังจากการกรองด้วยเยื่อแผ่น UP020 มาแล้ว กระแสเพอร์มิเอทของการกรอง UP020 ถูกนำมาทำการกรองด้วยเยื่อแผ่น UP005 ต่อตามลำดับซึ่งได้ผลของฟลักซ์การกรองดังนี้ แนวโน้มของฟลักซ์เพอร์มิเอท ณ ความดัน 15 และ 18 บาร์ มีค่าค่อนข้างคงที่ ปรากฏช่วงฟาล์วลิ่งเริ่มต้นสั้นๆ เมื่อเปรียบค่าฟลักซ์ทั้งสามการกรอง พบว่าฟลักซ์การกรองลดลงอย่างมากเมื่อเยื่อกรองมีความแน่นเพิ่มขึ้น แสดงถึงความต้านทานการไหลที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ



รูปที่ 4.4 ฟลักซ์เพอร์มิเอทที่ได้จากการกรอง UP005 ที่ความดัน 15 และ 18 บาร์

4.2.4 การกรองระดับนาโนฟิลเตรชันด้วยเยื่อแผ่น NP030 และ NP010

กระแสเพอร์มิเอทจากการกรองด้วยเยื่อแผ่น UP005 ถูกนำมาใช้เป็นสารป้อนของการกรองในระดับนาโนฟิลเตรชันด้วยเยื่อแผ่น NP030 และ NP010 โดยเยื่อแผ่นขนาดเล็กลงมาก ความต้านทานการไหลมีค่ามากขึ้นมาก ดังนั้นผลทดลองพบว่าค่าฟลักซ์มีค่าน้อยและใช้เวลานาน จึงไม่แสดงผลฟลักซ์ในที่นี้ โดยงานวิจัยนี้จะแสดงเฉพาะผลการทดลองการแยกเบตาแคโรทีนและโทโรฟีรอลด้วย NP030 และ NP010 เท่านั้น

4.3 ฟอสโฟไลปิดและกรดไขมันอิสระ

ผลของการกำจัดฟอสโฟไลปิดที่ระดับการกรองต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.2 และมีรายละเอียดแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 4.2 ปริมาณฟอสโฟไลปิด (mg) และกรดไขมันอิสระ (%) ก่อนและหลังการกรอง ณ ระดับกรองต่างๆ

ระดับของการกรอง	ฟอสโฟไลปิด (mg)	กรดไขมันอิสระ		
		กรดโอเลอิก (%)	กรดปาล์มมิติก (%)	กรดเลยูอิก (%)
น้ำมันปาล์มดิบ	0.82	5.21	4.66	3.70
ภายหลังซาพอนนิฟิเคชันและเติมแอลฟาโทโคฟีรอล	0	0.0398	0.0362	0.0282
ไมโครฟิลเตรชัน (MP 005)	0	0.0399	0.0362	0.0283
อัลทราฟิลเตรชัน (UP020)	0	0.0402	0.0365	0.0285
อัลทราฟิลเตรชัน (UP005)	0	0.0399	0.0362	0.0283
นาโนฟิลเตรชัน (NP030)	0	0.0398	0.0362	0.0282
นาโนฟิลเตรชัน (NP010P)	0	0.0390	0.0361	0.0282

4.3.1 ไม่พบปริมาณฟอสโฟไลปิดในน้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านปฏิกิริยาซาพอนนิฟิเคชันเมื่อนำมาใช้ในการกรองทุกระดับ ทั้งนี้เป็นเพราะด่างที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาได้ทำให้ฟอสโฟไลปิดเปลี่ยนสภาพไปอยู่ในส่วนของซาพอนนิฟายด์ ดังนั้นจึงไม่ปรากฏค่าของปริมาณฟอสโฟไลปิดเลย

4.3.2 ถึงแม้ว่าปริมาณกรดไขมันอิสระจะมีค่าไม่คงที่ก็ตาม แต่ช่วงการผันแปรมีค่าน้อยมาก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกรดไขมันอิสระน่าจะมีขนาดโมเลกุลที่เล็ก สามารถเคลื่อนที่ผ่านเยื่อกรองได้ในระดับการกรองไมโครฟิลเตรชันและอัลทราฟิลเตรชัน ผลการทดลองการกรองในระดับนาโนฟิลเตรชันพบว่ายังคงมีค่าค่อนข้างคงที่และใกล้เคียงกับผลที่ได้จากไมโครและอัลทราฟิลเตรชัน ซึ่งตรงข้ามกับที่คาดการณ์ไว้ ทั้งนี้อาจเป็นได้ข้างต้นทั้งขนาดของกรดไขมันอิสระและวิธีการหาปริมาณฟอสโฟไลปิดและกรดไขมันอิสระในการทดลองนี้เป็นวิธีไตเตรชัน ซึ่งจะปรากฏความคลาดเคลื่อนจากการทดลองด้วยลักษณะวิธีการอยู่แล้ว เพราะการไตเตรชันจะใช้การเปลี่ยนสีเป็นหลัก นอกจากนี้ลักษณะน้ำมันปาล์มดิบเองเป็นน้ำมันที่มีสีในตัว ดังนั้นการสังเกตุจุด

หยุดจากการเปลี่ยนสีของวิธีการไตเตรชันจึงอาจปรากฏความคลาดเคลื่อนได้ และค่าที่ปรากฏก็อาจคลาดเคลื่อนหรืออาจไม่คลาดเคลื่อนก็ได้

4.4 เบตาแคโรทีนและแอลฟาโทโคฟีรอล

ผลของการแยกแอลฟาโทโคฟีรอลและเบตาแคโรทีนที่ระดับการกรองต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.3 ในเทอมของความเข้มข้นและตารางที่ 4.4 ในเทอมของร้อยละการรีเจคชัน มีรายละเอียดแสดงได้ดังนี้

4.4.1 เบตาแคโรทีน

1) ปริมาณเบตาแคโรทีนในสารป้อนเข้าชุดกรองเมมเบรนถูกลดลงไปจากในน้ำมันปาล์มดิบเริ่มต้นมาก เพราะเป็นผลจากปฏิกิริยาซาพอนนิฟิเคชันด้วยด่าง การสูญเสียไปในช่วงการสกัดแยกส่วนซาพอนนิฟายด์และส่วนอันซาพอนนิฟายด์ รวมทั้งการเจือจางด้วยเฮกเซน ดังนั้นการเปรียบเทียบปริมาณเบตาแคโรทีนจึงใช้การปรับค่าใหม่หลังจากการซาพอนนิฟิเคชันแล้ว

2) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างน้ำมันที่ป้อนเข้าสู่การกรองด้วยเยื่อ MP005 และเพอร์มิเอทที่ได้จาก MP005 พบว่าปริมาณเบตาแคโรทีนมีค่าลดลง อธิบายได้ว่า การกรองด้วยเยื่อ MP005 กักกันโมเลกุลเบตาแคโรทีนได้บ้าง แต่ปริมาณเบตาแคโรทีนส่วนใหญ่จึงน่าจะออกมาอยู่ในกระแสเพอร์มิเอท โดยร้อยละรีเจคชันพบว่าเยื่อแผ่นมีค่า 5.26% และการรีเจคชันน่าจะเป็นผลจากการสะสมของโมเลกุลใหญ่ที่ผิวหน้าของเยื่อแผ่นจึงมีผลต่อเบตาแคโรทีน

3) เมื่อเปรียบเทียบความสามารถการกรองระดับอัลทราฟิลเตรชันของเยื่อกรอง UP020 พบว่าปริมาณเบตาแคโรทีนมีค่าลดลงเช่นกัน (แต่ค่าการลดลงมีค่ามากกว่าการกรองด้วยเยื่อ MP005) โดยร้อยละรีเจคชันพบว่าเยื่อแผ่นมีค่า 7.21% และมีค่าเป็น 12.1% เมื่อเทียบกับสารป้อนแรกเข้า ในทำนองเดียวกันความสามารถของเยื่อกรอง UP005 พบว่าร้อยละรีเจคชันพบว่าเยื่อแผ่นมีค่า 10.76% ซึ่งค่ารีเจคชันเพิ่มขึ้นตามลำดับ ความสามารถการแยกของเยื่อแผ่น UP020 และ UP005 จึงมีผลต่อความเข้มข้นของเบตาแคโรทีน

4) เมื่อเปรียบเทียบความสามารถการกรองระดับนาโนฟิลเตรชันของเยื่อกรอง NP010 และ NP030 พบว่า ปริมาณเบตาแคโรทีนมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน ร้อยละรีเจคชันพบว่าเยื่อแผ่น NP030 และ NP010 มีค่า 9.43% และ 3.70% ตามลำดับ และมีค่าเป็น 28.95% และ 31.58% ตามลำดับเมื่อเทียบกับสารป้อนแรกเข้า อธิบายได้ว่าชุดการกรองในระดับต่างๆ จนกระทั่งระดับนาโนมีผลต่อการแยกเบตาแคโรทีน ผลสรุปของการทดลองการแยกเบตาแคโรทีนนั้นอาจกล่าวได้ว่าชุดเยื่อกรองนี้สามารถเพิ่มความเข้มข้นของเบตาแคโรทีนได้ หากเปรียบเทียบผลการทดลองกับ Sri Murugan และคณะ, 1997 พบว่าการกรองน้ำมันพืชด้วยเมมเบรน 2 ชนิด ที่มี MWCO 700 และ 400 Da พบว่าปริมาณแคโรทีนในรีเทนเทน (ในถัง

กรอง) มีค่าแตกต่างจากเพอร์มิเอท โดยมีค่าในรีเทนเทตต่ำกว่า ในขณะที่ผลการทดลองของ Chiu และคณะ, 2009 พบว่าการใช้เมมเบรนคุณลักษณะ MWCO 200 Da แล้วนั้นสามารถแยกเบตาแคโรทีนได้ระหว่างกระแสรีเทนเททและเพอร์มิเอทได้ โดยปริมาณเบตาแคโรทีนในรีเทนเทตมีค่ามากกว่าในเพอร์มิเอท ซึ่งผลการทดลองนำเสนอในแนวทางเดียวกันคือการแยกเบตาแคโรทีนด้วยเมมเบรนสามารถทำได้ ขึ้นกับชนิดเมมเบรนที่เลือกใช้ และผลการทดลองงานวิจัยนี้มีทิศทางคล้ายคลึงกับ Chiu และคณะ, 2009

4.4.2 แอลฟาโทโคฟีรอล

1) ปริมาณของแอลฟาโทโคฟีรอลในน้ำมันดิบที่ผ่านกระบวนการซาพอนนิฟิเคชันพบว่ามีน้อยมาก เป็นผลจากการถูกทำลายด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยากับกรดแอสโคบิคไม่หมด รวมทั้งอาจมีสูญเสียไปในช่วงการสกัดแยกส่วนซาพอนนิฟายด์และส่วนอันซาพอนนิฟายด์ จากความร้อน หรือจากแสง ซึ่งตัวแปรที่กล่าวมาข้างต้นนั้นล้วนมีผลต่อปริมาณของแอลฟาโทโคฟีรอลทั้งสิ้น ดังนั้นการทดลองนี้จึงควบคุมปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอลอยู่ในช่วง 100 ppm

2) ผลการทดลองแอลฟาโทโคฟีรอลมีทิศทางคล้ายกับเบตาแคโรทีน นั่นคือ ชุดเยื่อกรองที่ใช้สามารถแยกแอลฟาโทโคฟีรอลได้ ค่าร้อยละรีเจคชันในภาพรวมมีค่า 64.60% โดยพบว่าการกรองด้วยเยื่อ UP020 ให้ผลการรีเจคชันที่สูงเมื่อเทียบกับเยื่อกรองอื่น ในขณะที่เยื่อกรอง NP030 และ NP010 ให้ผลการรีเจคชันที่สูงเช่นกัน เมื่อเปรียบเทียบน้ำมันที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการกรองในระดับต่างๆ พบว่า ปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอลเพอร์มิเอท มีค่าลดลงในแต่ละระดับของการกรอง ยิ่งขนาดของรูพรุนของเยื่อแผ่นนั้นมีขนาดเล็กลงเท่าไหร่ ปริมาณความเข้มข้นของแอลฟาโทโคฟีรอลที่ออกมาในกระแสเพอร์มิเอทก็ยิ่งลดลงตามไปด้วย จากตาราง 4.4 พบว่าการเปลี่ยนแปลงจากระดับไมโครไปเป็นอัลทรานั้น ร้อยละรีเจคชันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าการกรองด้วยเยื่อกรอง UP020 มีผลต่อการแยกอย่างมีนัยสำคัญ ในทำนองเดียวกัน การแยกในระดับนาโนที่เพิ่มขึ้นก็มีนัยสำคัญเช่นกัน จึงสรุปได้ว่าเยื่อกรองสามารถกักเก็บแอลฟาโทโคฟีรอลในรีเทนเททได้ขึ้นกับขนาดของรูพรุนของเยื่อกรองที่ใช้

ตารางที่ 4.3 ปริมาณแอลฟาโทโคฟีรอลและเบตาแคโรทีน ก่อนและหลังการกรองที่ระดับการกรองต่างๆ

ระดับของการกรอง	แอลฟาโทโคฟีรอล (ppm)	เบตาแคโรทีน (ppm)
ภายหลังซาพอนนิฟิเคชันและปรับค่าเริ่มต้นเป็นสารป้อนการกรอง	99.06	24.73
ไมโครฟิลเตรชัน (MP 005)	92.32	23.43
อัลทราฟิลเตรชัน (UP020)	57.57	21.74
อัลทราฟิลเตรชัน (UP005)	54.70	19.40
นาโนฟิลเตรชัน (NP030)	47.37	17.57
นาโนฟิลเตรชัน (NP010)	35.07	16.92

ตารางที่ 4.4 ร้อยละรีเจคชันแอลฟาโทโคฟีรอลและเบตาแคโรทีน ก่อนและหลังการกรองที่ระดับการกรอง

ระดับของการกรอง	% รีเจคชันแอลฟาโทโคฟีรอล		% รีเจคชันเบตาแคโรทีน	
	ระดับการกรอง	เทียบกับซาพอนนิฟิเคชัน	ระดับการกรอง	เทียบกับซาพอนนิฟิเคชัน
ภายหลังซาพอนนิฟิเคชันและเติมแอลฟาโทโคฟีรอล	-	-	-	-
ไมโครฟิลเตรชัน (MP 005)	6.80	6.80	5.26	5.26
อัลทราฟิลเตรชัน (UP020)	37.64	41.88	7.21	12.09
อัลทราฟิลเตรชัน (UP005)	4.99	44.68	10.76	21.55
นาโนฟิลเตรชัน (NP030)	13.40	52.18	9.43	28.95
นาโนฟิลเตรชัน (NP010)	25.97	64.60	3.70	31.58