

บทที่ 4

ผลและการวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะโดยทั่วไปของ POME ที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1 POME มีลักษณะเป็นของเหลวหนืด สีน้ำตาล มีกลิ่นเฉพาะตัวของน้ำเสีย

4.1.2 ความหนาแน่นเท่ากับ 0.91-0.97 (± 0.0015) g/mL

4.1.3 ความหนืด (100 rpm, %sp = 2.0) เท่ากับ 87-90 (± 8.2) cP

4.1.4 COD มีค่าเท่ากับ 10,191-21,416 (± 935 -2,618) mg/mL

4.1.5 ของแข็งแขวนลอย (solid suspension) มีค่าเท่ากับ 699-1,350 (± 43 -78) g/L

4.2 การศึกษาการทำกราฟมาตรฐาน (Calibration curve)

4.2.1 กราฟมาตรฐานของวิเคราะห์ปริมาณแคโรทีนด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrometer

กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์หาปริมาณแคโรทีนด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrometer ได้สมการเส้นตรงคือ $y = 151.25x - 0.0154$ มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.002-0.007 mg/mL และมีค่า $R^2 = 0.993$

4.2.2 กราฟมาตรฐานของวิเคราะห์ปริมาณเบต้าแคโรทีนด้วยเครื่อง HPLC

กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์หาปริมาณเบต้าแคโรทีนด้วยเครื่อง HPLC ได้สมการเส้นตรงคือ $y = 48.595x - 100.44$ มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 2-100 ppm และมีค่า $R^2 = 0.995$

4.2.3 กราฟมาตรฐานของวิเคราะห์ปริมาณเฮกเซนด้วยเครื่อง GC

กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์หาปริมาณเฮกเซนในคลอโรฟอร์มด้วยเครื่อง GC ได้สมการเส้นตรงเป็นคือ $y = 24774x + 31.78$ มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.015625-0.125 mL/100 mL และมีค่า $R^2 = 0.995$

4.2.4 กราฟมาตรฐานของวิเคราะห์ปริมาณน้ำด้วยเครื่อง FTIR

กราฟมาตรฐานการวิเคราะห์หาปริมาณน้ำในอะซิโตนด้วยเครื่อง FTIR ได้สมการเส้นตรงเป็นคือ $y = 47046x + 187.5$ มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 0.0025-0.05 mL/100 mL และมีค่า $R^2 = 0.996$

4.3 การสกัดไขมันและแคโรทีนในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab scale)

ปริมาณไขมันที่สกัดได้จาก POME แสดงดังตาราง 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ปริมาณไขมันที่สกัดได้จาก POME ตัวอย่าง C1-C4

| sample | C1 | C2 | C3 | C4 |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Crude oil (mg/L) | 5,250±124 | 5,973±150 | 5,500±163 | 6,878±111 |

ตารางที่ 4.2 ปริมาณไขมันที่สกัดได้จาก POME ตัวอย่าง S1-S6

| sample | S1 | S2 | S3 |
|------------------|-----------|-----------|-----------|
| Crude oil (mg/L) | 7,120±101 | 9,350±122 | 8,010±125 |
| sample | S4 | S5 | S6 |
| Crude oil (mg/L) | 6,410±132 | 5,210±102 | 1,742±79 |

ตัวอย่าง POME ที่ใช้ทดลองนำมาจากโรงงานน้ำมันพืชบริสุทธิ์ (C1-C4 และ S1-S5) ซึ่งเป็นโรงงานขนาด 20 ตันทะเลต่อชั่วโมง โรงงานนี้เป็นโรงงานแบบเก่าและเครื่องมือมีอายุการใช้งานมานาน ประสิทธิภาพการผลิตไม่สูงมากนัก น้ำจากกระบวนการผลิตจะถูกเก็บไว้ในถังขนาดใหญ่หลายถังเพื่อทำการแยกไขมันออกก่อนจะปล่อยลงบ่อเก็บน้ำเสีย และจะมีการปล่อยน้ำทิ้งเป็นช่วงเวลาตามปริมาณการผลิต ฉะนั้นน้ำตัวอย่างจากการทดลองจึงเป็นน้ำที่มาจากถังพักผ่านไปยังบ่อเก็บน้ำเสียด้วยท่อขนาด 4 นิ้ว ระยะทางประมาณ 250 เมตร ทำให้น้ำตัวอย่างถูกปนเปื้อนจากน้ำที่ค้างอยู่ในถังและท่อ จึงมีกลิ่นฉุน แต่อุณหภูมิก็ยังคงสูงประมาณ 70 องศาเซลเซียส ผลการวิเคราะห์ปริมาณไขมันใน POME อยู่ในช่วง 5,210-9,350 mg/L จะเห็นได้ว่าตัวอย่าง C1-C4 และ S1-S5 มีค่าสูงกว่าไขมันในน้ำทิ้งโดยทั่วไปซึ่งมีค่าประมาณ 5,000 mg/L และสูงกว่า Ahmad และคณะ (2008) ได้รายงานไว้คือ 3,280 mg/L ทั้งนี้เป็นผลมาจากประสิทธิภาพการดักไขมันที่ไม่ดีพอนั่นเอง ส่วนตัวอย่าง S6 ซึ่งเก็บจากโรงงานตรงน้ำมันปาล์มเป็นโรงงานขนาด 30 ตันทะเลต่อชั่วโมง และเป็นโรงงานที่ค่อนข้างทันสมัย พบว่ามีค่าเพียง 1,742 mg/L ซึ่งต่ำกว่าค่าโดยทั่วไปอย่างมาก รวมทั้งน้ำที่เก็บเป็นน้ำที่ออกจากส่วนการผลิตโดยตรง อุณหภูมิประมาณ 90 องศาเซลเซียส จึงแสดงให้เห็นว่าปริมาณไขมันที่ถูกปล่อยทิ้งไปมีมากน้อยแตกต่างกันไปในแต่ละช่วงการผลิตและต่างกันในแต่ละโรงงาน

การวิเคราะห์แคโรทีนและเบต้าแคโรทีนนั้นตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์ซึ่งความเข้มข้นของแคโรทีนและเบต้าแคโรทีน โดยผ่านกระบวนการแยกไขมันออก (Saponification) พบว่าค่าความเข้มข้นของแคโรทีนและเบต้าแคโรทีนที่ไม่ผ่านกระบวนการ

แยกไตรกลีเซอไรด์ มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ในส่วนของ การแยกไตรกลีเซอไรด์ออกนั้นจะทำให้ค่าความเข้มข้นของแคโรทีนและเบต้าแคโรทีนลดลงเล็กน้อยเนื่องจากอาจจะเกิดการสูญเสียไปกับกระบวนการแยกไตรกลีเซอไรด์ในขั้นการสกัดด้วยสารละลาย KOH และขั้นตอนการล้างด้วยสารละลาย NaCl การวิเคราะห์เบต้าแคโรทีนด้วยเครื่อง HPLC ได้โดยตรงมีข้อจำกัดจากการรบกวนของไตรกลีเซอไรด์ จึงนิยมทำการแยกไตรกลีเซอไรด์ ออกก่อนทำการวิเคราะห์ วิธีการนี้ทำให้ได้ตัวเลขที่น้อยลงด้วย แต่จะเป็นผลดีกับระบบของเครื่อง HPLC และความแม่นยำของการวิเคราะห์ การวิเคราะห์สารแคโรทีนด้วยเครื่อง UV-Vis spectrometer จึงให้ผลที่ดีกว่า รวมทั้งยังลดขั้นตอนการวิเคราะห์ แต่เป็นการรายงานค่าแคโรทีนโดยรวมเท่านั้น

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของแคโรทีนและเบต้าแคโรทีนโดยผ่านกระบวนการแยกไขมันออก (Saponification)

| ตัวอย่าง | ความเข้มข้นของแคโรทีน (mg/kg Oil) | ความเข้มข้นของเบต้าแคโรทีน (mg/kg Oil) |
|-----------|--------------------------------------|---|
| CPO | 1,270±123 | 633±14 |
| CPO.S | 1,167±177 | 596±48 |
| Extract | 1,250±89 | 750±18 |
| Extract.S | 1,219±199 | 645±29 |

หมายเหตุ : CPO.S คือ น้ำมันปาล์มดิบที่ผ่านการ saponification / Extract.S คือ ไขมันที่สกัดจาก POME และผ่านการ saponification / CPO คือ น้ำมันปาล์มดิบ / Extract คือ ไขมันที่สกัดจาก POME

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของแคโรทีนและเบต้าแคโรทีน

| ตัวอย่าง | Pilot scale | | Lab scale | |
|----------|------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------|
| | แคโรทีน (mg/kg Oil) | เบต้าแคโรทีน (mg/kg Oil) | แคโรทีน (mg/kg Oil) | เบต้าแคโรทีน (mg/kg Oil) |
| S2 | 983±69 | 751±52 | 1,235±129 | 961±51 |
| S3 | 816±30 | 252±17 | 595±43 | 224±20 |
| S4 | 1,133±121 | 422±58 | 811±49 | 432±54 |
| S5 | 508±35 | 414±20 | 603±43 | 589±61 |
| S6 | 1,127±125 | 620±28 | 947±70 | 560±57 |

การวิเคราะห์หาแคโรทีนและเบต้าแคโรทีนในไขมันที่สกัดออกจาก POME ดังตารางที่ 4.4 จากผลทดลองพบว่าแคโรทีนมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 508-1,133 mg/kg oil (S1-S5) และ 1,127 mg/kg oil (S6) โดยที่ตัวอย่าง S1-S5 เก็บจากโรงงานน้ำมันพืชบริสุทธิ์ และ S6 เก็บจากโรงงานคั้นน้ำมันปาล์ม ความเข้มข้นของแคโรทีนมากกว่า Ahmad และคณะ (2008) ได้รายงานไว้คือ 400 ppm ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของแคโรทีนจากไขมันที่แยกจาก POME เช่นเดียวกัน ส่วน Chuang และคณะ (2006) ได้รายงานไว้คือ 500 ppm ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นของแคโรทีนจากน้ำมันดิบ มีค่ามากกว่าที่เคยมีการรายงานไว้ถึงเกือบสามเท่า ทั้งนี้สารแคโรทีนที่ปรากฏในน้ำมันปาล์มมากน้อยแตกต่างกันนั้นขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของปาล์ม ความอ่อนแก่ของผลปาล์ม รวมทั้งกระบวนการผลิต เนื่องจากสารแคโรทีนจะเกิดการสลายตัวได้ง่ายภายใต้ความร้อนสูงนั่นเอง ผลการวิเคราะห์หาความเข้มข้นของเบต้าแคโรทีนด้วยเครื่อง HPLC พบว่าในระดับห้องปฏิบัติการ เบต้าแคโรทีนมีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วง 224-961 mg/kg oil ส่วนเบต้าแคโรทีนที่สกัดได้จากเครื่องมีระดับกึ่งอุตสาหกรรมมีความเข้มข้นอยู่ในช่วง 252-751 mg/kg oil และการสกัดในระดับกึ่งอุตสาหกรรมได้สารเบต้าแคโรทีนไม่ต่างจากการสกัดในห้องปฏิบัติการมากนัก โดยที่การสกัดในห้องปฏิบัติการนั้น ไขมันจะถูกสกัดออกมาให้ได้มากที่สุดจนเข้าใจว่าสกัดได้หมด แต่การสกัดแบบกึ่งอุตสาหกรรมจะยังคงมีไขมันหลงเหลืออยู่ในน้ำปริมาณหนึ่ง จึงถือได้ว่าการสกัดแบบกึ่งอุตสาหกรรมสามารถนำมาใช้ในการสกัดแยกสารแคโรทีนและเบต้าแคโรทีนได้

จากการศึกษาการเพิ่มความเข้มข้นของสารแคโรทีนด้วยเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟีแบบรวดเร็ว (Quick Column Chromatography) พบว่าความเข้มข้นของแคโรทีนจากเดิม 1,133 mg/kg oil สามารถเพิ่มความเข้มข้นได้เป็น 4,615 mg/kg oil หรือเพิ่มความเข้มข้นได้ถึงประมาณ 4 เท่า (69% recovery) จากรายงานของ Ahmad และคณะ (2008) ได้ใช้คอลัมน์โครมาโทกราฟีเพิ่มความเข้มข้นของสารแคโรทีนจาก 400 mg/kg oil ไปเป็น 1,450 mg/kg oil การเพิ่มความเข้มข้นของสารแคโรทีนด้วยเทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟีโดยใช้ซิลิกาเป็นสารดูดซับนั้น สารแคโรทีนซึ่งเป็นสารมีขั้วต่ำใกล้เคียงกับสารในกลุ่มไตรกลีเซอไรด์จะถูกชะออกจากคอลัมน์ด้วยตัวชะที่มีขั้วต่ำออกจากคอลัมน์ด้วยกัน เช่น ใช้เฮกเซนเป็นตัวชะ ช่วงแรกๆของส่วนที่ถูกชะออกจากคอลัมน์จะมีความเข้มข้นของแคโรทีนสูงสุด และเจือจางลงในส่วนหลังๆ การกำหนดให้ได้ความเข้มข้นของสารแคโรทีนสูงอาจจะทำให้สูญเสียสารแคโรทีนไปบางส่วนที่ถูกแยกออกมาตอนท้าย การนำสารแคโรทีนไปใช้ประโยชน์ในการปรุงแต่งสีและเพิ่มคุณค่าทางอาหารจะไม่นิยมใช้สารแคโรทีนบริสุทธิ์ เนื่องจากยากต่อการเก็บรักษาและยากต่อการละลายหรือการกระจายตัวของสารแคโรทีน วิธีการแยกหรือก็คือการเพิ่มความเข้มข้นของสารแคโรทีนโดยใช้เทคนิคคอลัมน์โครมาโทกราฟีนั้น สารซิลิกาซึ่งเป็นสารดูดซับสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้โดยการชะด้วยตัวทำละลายที่มีความเป็นขั้ว

สูงขึ้น เช่น แอลกอฮอล์หรืออะซิโตน สารในกลุ่มไตรกลีเซอไรด์และสารอื่นๆ ที่ติดอยู่บนซิลิกา ก็จะถูกชะล้างออกไป และสามารถนำซิลิกากลับมาใช้ซ้ำได้อีก ส่วนตัวทำละลายต่างๆ ก็สามารถกลั่นกลับมาใช้ใหม่ได้เช่นเดียวกัน การศึกษาการนำสารแคโรทีนจากน้ำมันปาล์มมาใช้ประโยชน์ นั้น Amad และคณะ (2010) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการใช้ซิลิกาบรรจุใน pack column chromatography ซึ่งทำให้สามารถแยกสารแคโรทีนออกมาได้ถึง 73% You และคณะ (2002) รายงานการใช้ dianion HP-20 เป็นสารดูดซับสามารถแยกสารแคโรทีนได้ถึง 90% Chiu และคณะ (2009) รายงานการใช้เทคโนโลยีเมมเบรนแยกสารแคโรทีนออกจากร้ำมันปาล์มดิบทำได้ถึง 75% Batistella และคณะ (1988) รายงานการใช้ molecular distillation แยกสารแคโรทีนจากกระบวนการ transesterification สามารถกลั่นแยกสารแคโรทีนได้เข้มข้นถึง 30,000 ppm อย่างไรก็ตามการใช้วิธีการดูดซับบนซิลิกาเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและประหยัดมากที่สุด

4.4 การสกัดไขมันและแคโรทีนในระดับกึ่งอุตสาหกรรม (Pilot scale)

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้นำวิธีการสกัดในระดับอุตสาหกรรมเพื่อสกัดแยกไขมันและสารแคโรทีนออกจากรำที่จากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม (POME) ซึ่งเป็นการสกัดสารออกจากของเหลวด้วยของเหลว (Liquid-Liquid Extraction) โดยเครื่องที่นำมาทำการสกัดแยกสารนั้นมีลักษณะการทำงานแบบ countercurrent สามารถสกัดแยกสารออกมาในปริมาณครั้งละมากๆ ต่อเนื่องกัน การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการสกัดทำได้โดยการหาจำนวนขั้นตอนการสกัดตามทฤษฎี (theoretical stage) ซึ่งก็จะหมายถึงจำนวนหน่วยหรือเทียบได้กับจำนวนครั้งของการสกัด โดยที่แต่ละครั้งหรือแต่ละหน่วยของการสกัดตัวถูกละลายใน extract และ raffinate อยู่ในภาวะสมดุลกัน ถ้ามีค่าสูงจะหมายถึงประสิทธิภาพการสกัดจะสูงด้วย เทียบได้กับการสกัดหลายๆ ครั้ง แต่เครื่องนี้จะสกัดเพียงครั้งเดียวแบบต่อเนื่องกัน (Countercurrent) แบบที่สารมีการไหลสวนทางกัน สำหรับเครื่องที่นำมาใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นเครื่อง Liquid-Liquid Extraction รุ่น CTS7 ผลิตโดย QVF (แสดงดังรูปที่ 4.1) ลักษณะเฉพาะของเครื่องมีรายละเอียดดังต่อไปนี้คือ

Sieve plate column

| | | |
|-------------------------------|---|----------------|
| Column diameter (nominal) | : | 50 mm |
| Height of each column section | : | 1000 mm |
| Number of column section | : | 2 |
| Number of sieve plates | : | 19 per section |
| Plate spacing | : | 50 mm |
| Plate diameter | : | 50 mm |

| | | |
|-------------------------|---|---------------|
| Hole size | : | 2 mm |
| Average number of holes | : | 140 per plate |
| Average free area | : | 25% |

Separating Chambers

| | | |
|--------------------|---|------------|
| Chamber diameter | : | 100 mm |
| Chamber height | : | 695 mm |
| Approximate volume | : | 5.5 litres |

Free and Storage Vessel

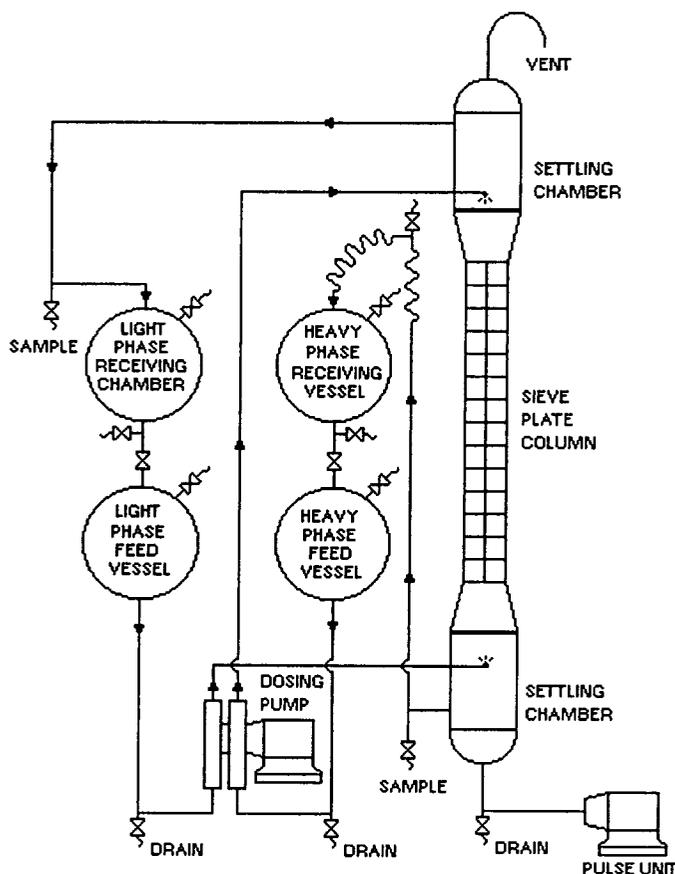
| | | |
|---------------------------|---|-----------|
| Number of feed vessels | : | Two |
| Number of storage vessels | : | Two |
| Nominal capacity | : | 50 litres |
| Working capacity | : | 54 litres |

CORNING Twin Head Metering Pump

| | | |
|------------|---|--------------------------------|
| Pump type | : | QVF DN40A |
| Stroke | : | Continuously variable, 0-20 mm |
| Speed | : | Fixed, 100 strokes per minute |
| Flow range | : | Up to 44 litres/hour |

CORNING Pulse Unit

| | | |
|------------|---|--|
| Type | : | QFV DN300 |
| Strokes | : | Continuously variable, 0-20 mm |
| Speed | : | Continuously variable, 17-150 strokes/minute |
| Flow range | : | Up to 300 litres/hour |



รูปที่ 4.1 แสดงแผนผังของเครื่อง Liquid-Liquid Extraction QVF รุ่น CTS7

หลักการทำงานของเครื่อง CTS7 กรณีนี้คือ heavy phase feed vessel จะบรรจุ POME (Feed) โดยปั๊มจะถ่ายสารเข้าในคอลัมน์ทางด้านบน และ light phase feed vessel จะบรรจุเฮกเซน (Solvent) และปั๊มจะถ่ายสารเข้าในคอลัมน์ทางด้านล่าง คอลัมน์ตอนกลางส่วนที่จะทำหน้าที่ในการสกัดมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm ยาว 2 m ภายในมีแผ่นสแตนเลส (Sieve plate) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 mm จำนวน 38 แผ่น ยึดต่อกันด้วยแกนกลาง วางห่างเท่าๆ กัน แต่ละแผ่นจะมีช่องขนาด 2 mm จำนวนประมาณ 140 ช่อง ส่วนของคอลัมน์ตอนบนและตอนท้ายใช้ในการแยกของเหลวออกจากกัน มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 mm สูง 695 mm เฮกเซนซึ่งเป็นตัวทำละลายในการสกัดจะถูกป้อนเข้าสู่คอลัมน์ทางด้านล่างจนเกือบเต็ม ส่วนของ POME จะถูกป้อนเข้าสู่คอลัมน์ทางด้านบนและไหลลงด้านล่างผ่านเฮกเซนลงมาตามช่องของแผ่นสแตนเลสแต่ละแผ่น POME ที่มีความเข้มข้นของไขมันสูงจะถูกเฮกเซนสกัดต่อมาเรื่อยๆ จากด้านบนลงด้านล่าง ทำให้ POME ที่ลงสู่คอลัมน์ส่วนล่างจะมีความเข้มข้นของไขมันน้อยที่สุด และเฮกเซนส่วนบนของคอลัมน์ (extract) จะมีความเข้มข้นของไขมันสูงที่สุด POME ที่ผ่านการสกัดจะเรียกว่า raffinate ที่อยู่ส่วนล่างของ

คอลัมน์จะไหลไปตามท่อเล็กๆ ขึ้นสู่ด้านบนและไหลลงสู่ receiving vessel ผ่านท่อปรับระดับ (ปรับอัตราการไหลของ raffinate) ส่วนของ extract ก็จะไหลลงใน receiving vessel อีกขวดหนึ่ง POME และเฮกเซนถูกป้อนเข้าสู่คอลัมน์ในอัตราการไหลตามที่กำหนดโดยปั๊มแต่ละตัว อัตราการไหลออกของทั้งสองส่วนจะถูกปรับจากระดับความสูงของท่อไหลออกของ raffinate ถ้าปรับให้ระดับต่ำอัตราการไหลจะสูง อาจจะทำให้ extract หยดไหล แต่ถ้าปรับให้ไหลช้า อาจจะทำให้ extract ไหลเร็วเกินไป โดยสังเกตจากระดับรอยต่อของของเหลวทั้งสองชนิด (interface) ที่ส่วนล่างของคอลัมน์ ถ้าสามารถรักษาระดับรอยต่อนี้ได้ อัตราการไหลออกและไหลเข้าของของเหลวทั้งสองจะสมดุลกัน ระหว่างการสักระยะจะมีการกระแทก (pulse) ของเหลวในคอลัมน์ ทำให้ POME ไหลผ่านช่องเล็กๆ บนแผ่นสแตนเลสเป็นจังหวะตามความแรง (ระยะการกระแทก) และความถี่ของการกระแทก การตั้งค่าที่เหมาะสมจะทำให้ POME แยกตัวเป็นหยดของเหลวขนาดเล็กและถูกสกัดด้วยเฮกเซนอย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนการตั้งค่าที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้ไม่สามารถรักษาระดับรอยต่อของของเหลวได้ เป็นผลให้ของเหลวชนิดใดชนิดหนึ่งไหลออกมากเกินไป จนไม่สามารถสกัดต่อไปได้ หรือส่วนของ POME ตกค้างอยู่บนแผ่นสแตนเลสมากเกินไป หรือ POME ไหลยึดไม่เป็นหยด รวมทั้งการเกิดอิมัลชัน (emulsion) ที่ผิวรอยต่อ อาจจะมาจากราอัตราการไหลของ POME ที่เร็วเกินไป ส่วนการไหลของเฮกเซนที่เร็วเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองและสกัดไขมันได้น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณเฮกเซนที่ต้องใช้ การเกิดอิมัลชันทำให้เฮกเซนสูญเสียไปกับส่วนของ raffinate ซึ่งจะถูกล้างทิ้งและทำการบำบัดน้ำเสียต่อไป การศึกษาการสกัด POME ด้วยเฮกเซนโดยใช้เครื่อง CTS7 ชนิดไหลสวนทางแบบต่อเนื่องจะให้ประสิทธิภาพการสกัดสูง สามารถใช้เป็นต้นแบบของการสกัด POME ในอุตสาหกรรมต่อไป

4.3.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด POME / การสังเกต POME ในคอลัมน์

จากการศึกษาสภาวะต่างๆ ของเครื่อง CTS7 ที่มีผลต่อการสกัด POME ด้วยเฮกเซน โดยใช้ตัวอย่าง S2 และทำการสังเกตลักษณะของ POME ในคอลัมน์ ผลแสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการสกัด และได้ขนาดหยดของของเหลวสม่ำเสมอไม่เล็กหรือใหญ่เกินไป ไม่มีการตกค้างบน plate การไหลระหว่าง plate สม่ำเสมอ สภาวะที่เหมาะสมแสดงในการทดลองชุดที่ 7 และ 11 เนื่องจากในระหว่างการสกัดไม่เกิด emulsion ตรงรอยต่อระหว่าง interface ของสารทั้งสอง ความต่อเนื่องของการสกัดก็เป็นจังหวะราบเรียบรวมทั้งขนาดของ droplet มีขนาดกลางเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 cm และกระจายตัวได้ดีบน plate แต่สภาวะอื่นที่หลีกเลี่ยงปัญหาในระหว่างการสกัด นั่นคือ เกิด emulsion เพราะ stroke แรงหรือเบาเกินไป ความต่อเนื่องระหว่างการสกัดไม่ราบเรียบ ไหลไม่เป็นจังหวะ ไหลยึด รวมทั้งขนาดของ droplet มีขนาดไม่สม่ำเสมอใหญ่บ้าง เล็กบ้าง การกระจายตัวบน plate ไม่ดีทำให้การสกัดไม่ดีเท่าที่ควร เกิดการติดค้างบนคอลัมน์

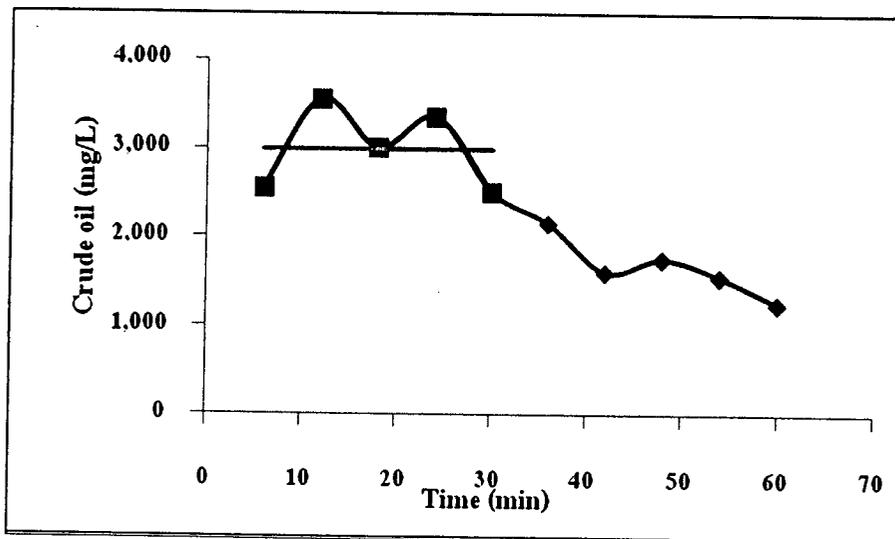
เนื่องจากอัตราการ feed ของสารเร็วเกินไปไม่เหมาะสมกับอัตราการกระแทก ดังนั้น สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้กับการสกัดในระดับกึ่งอุตสาหกรรมคือ อัตราการ feed POME 12 L/hr อัตราการ feed เฮกเซน 10 L/hr ถ้าการ Pulse 10 mm ต้องตั้งความถี่ 90% และถ้าการ Pulse 5 mm ต้องตั้งความถี่ 30% จะทำให้การสกัดมีประสิทธิภาพสูงสุด อย่างไรก็ตามเมื่อตัวอย่าง POME เปลี่ยนไป ความเข้มข้นของไขมันใน POME ไม่เท่าเดิม ความหนาแน่นของ POME ต่างออกไป สภาวะของการสกัดจึงต้องมีการปรับใหม่ให้ขนาดของหยดเล็กที่สุดและสภาพอื่นๆ เหมาะอีกด้วย

ตารางที่ 4.5 สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดในระดับกึ่งอุตสาหกรรมของ POME ในคอลัมน์

| Condition | POME feed (L/hr) | Hexane feed (L/hr) | Pulse (mm) | Frequency (%) | Observing |
|-----------|---------------------|-----------------------|---------------|------------------|--|
| 1 | 5 | 10 | 5 | 30 | หยดขนาดใหญ่ (~1 cm) ไขมันไม่ เป็นระเบียบ มีการไหลยัด |
| 2 | 15 | 10 | 5 | 30 | ไขมันเป็นระเบียบมากขึ้น เริ่มมีการ ค้างที่ plate |
| 3 | 10 | 10 | 5 | 30 | ไขมันไม่เป็นระเบียบ มีการไหลยัด |
| 4 | 12 | 10 | 5 | 30 | ไขมันไม่เป็นระเบียบ มีการไหลยัด |
| 5 | 5 | 10 | 20 | 90 | ไขมันเป็นระเบียบ เกิด emulsion |
| 6 | 12 | 10 | 20 | 90 | ไขมันเป็นระเบียบ เกิด emulsion เริ่มมีการค้างที่ plate |
| 7 | 12 | 10 | 10 | 90 | ไขมันเป็นระเบียบ หยดขนาดเล็ก (~0.5 cm) |
| 8 | 12 | 10 | 10 | 15 | ไขมันเป็นระเบียบ หยดขนาดเล็ก เกิด emulsion |
| 9 | 12 | 10 | 10 | 45 | ไขมันไม่เป็นระเบียบ มีการไหลยัด |
| 10 | 12 | 10 | 5 | 90 | ไขมันไม่เป็นระเบียบ มีการไหลยัด เริ่มมีการค้างที่ plate |
| 11 | 12 | 10 | 5 | 30 | ไขมันเป็นระเบียบ หยดขนาดเล็ก (~0.5 cm) |

ตารางที่ 4.6 ปริมาณไขมันจากการสกัดในระดับกึ่งอุตสาหกรรม

| Sampling | Time (min) | Crude oil (g) | Crude oil (mg/L) |
|-----------------|------------|---------------|------------------|
| 1 | 6 | 0.51 | 2,550 |
| 2 | 12 | 0.71 | 3,550 |
| 3 | 18 | 0.60 | 3,000 |
| 4 | 24 | 0.67 | 3,350 |
| 5 | 30 | 0.50 | 2,500 |
| 6 | 36 | 0.43 | 2,150 |
| 7 | 42 | 0.32 | 1,600 |
| 8 | 48 | 0.39 | 1,750 |
| 9 | 54 | 0.31 | 1,550 |
| 10 | 60 | 0.25 | 1,250 |
| $\bar{X} (1-5)$ | - | 0.60±0.09 | 2,990±468 |



รูปที่ 4.2 ความเข้มข้นของไขมันระหว่างการสกัด

4.3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด POME / การสังเกตการปรับอัตราการไหล

จากการศึกษาสภาวะของอัตราการไหลของเครื่อง CTS7 ที่มีผลต่อปริมาณไขมันที่สกัดได้ โดยใช้ตัวอย่าง C2 และตั้งสภาวะของเครื่องทำการสังเกตลักษณะของ POME ในคอลัมน์ ผลแสดง

ดังตารางที่ 4.6 พบว่าสถานะของเครื่องดึงนี้ อัตราการ feed POME 10 L/hr อัตราการ feed เฮกเซน 10 L/hr การ Pulse 10 mm และความถี่ 90% ระหว่างการทดลองมีการปรับอัตราการไหลออกของ raffinate ตลอด เพื่อรักษาระดับรอยต่อระหว่างของเหลวให้คงที่ ซึ่งหมายถึงอัตราการไหลออกของเหลวเปลี่ยนแปลงไปบ้างเล็กน้อย เป็นผลทำให้ความเข้มข้นของ extract และ raffinate เปลี่ยนแปลงไปด้วย บ่งบอกถึงความสม่ำเสมอของการสกัด จากกราฟรูปที่ 4.2 แสดงถึงความเข้มข้นของไขมันจากการสกัดจากการเก็บตัวอย่างทุก ๆ 6 นาที หลังจากมีการปรับให้ระดับรอยต่อของของเหลวทั้งสองค่อนข้างคงที่แล้วพบว่าค่าเฉลี่ยช่วง 30 นาทีแรกจะให้ความเข้มข้นของไขมันค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,990 mg/L หลังจากนั้นจะมีการลดลงตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการสกัดด้วยเครื่องแบบต่อเนื่องจะต้องมีการปรับอัตราการไหลที่ดี เพื่อให้การสกัดสม่ำเสมอ ลดความสิ้นเปลืองของตัวทำละลายกรณีสารที่สกัดได้มีความเข้มข้นต่ำ แต่ถ้าความเข้มข้นสูงจะให้ประสิทธิภาพการสกัดต่ำลง เนื่องจากสารละลายที่มีความเข้มข้นสูงที่ค้างอยู่ในคอลัมน์จะไม่สามารถสกัดสารออกจาก POME ได้อีกจากคุณสมบัติของการละลายของไขมันในของเหลวทั้งสองเฟส การปรับรอยต่อระหว่างของเหลวทั้งสองให้มีระดับคงที่นั้นจะต้องทำอย่างค่อยเป็นค่อยไป เนื่องจากช่วงแรกในคอลัมน์มีแต่เฮกเซนซึ่งมีความหนาแน่นต่ำ ($d = 0.659 \text{ g/mL}$) เมื่อ POME ($d = 0.97 \text{ g/mL}$) ไหลเข้ามาในคอลัมน์ ความหนาแน่นของของเหลวในคอลัมน์เปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ การปรับอัตราการไหลออกให้คงที่จึงทำได้ยากมาก แต่จำเป็นต้องหาจุดสมดุลนั้นให้ได้ องค์ประกอบใน POME ที่เปลี่ยนไปในแต่ละตัวอย่าง ทำให้มีความยุ่งยากต่อการปรับสถานะของเครื่องให้เหมาะสมกับการทดลองนั้นๆ ด้วย

4.3.3 การศึกษาปริมาณไขมันที่สกัดได้และที่เหลือในน้ำทิ้ง เพื่อเปรียบเทียบการสกัดตามทฤษฎี

การศึกษาปริมาณไขมันที่สกัดได้และที่เหลือในน้ำทิ้ง เพื่อเปรียบเทียบการสกัดตามทฤษฎี การทดลองนี้ใช้ตัวอย่าง S5 มีการตั้งสถานะการสกัดของเครื่องแบบต่างๆ และได้วิเคราะห์ความเข้มข้นของไขมันในเฮกเซนและไขมันในส่วนของ raffinate ความเข้มข้นของไขมันจากทั้งสองส่วนจะได้นำไปใช้ในการคำนวณขั้นของการสกัดตามทฤษฎี (Theoretical stage) เพื่อบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการสกัดต่อไป จากการทดลองพบว่าการใช้อัตราการไหลของ POME ต่อเฮกเซนเท่ากับ 1.2:1, 1:1, 1.5:2 และ 1:1.5 (สถานะการทดลองที่ 1-5) ดังตารางที่ 4.7

ความเข้มข้นของ POME จากตัวอย่าง S5 เท่ากับ 5,210 ppm การสกัด POME ด้วยอัตราส่วนเฮกเซนที่มากกว่า POME จะทำให้ไขมันถูกสกัดออกไปได้มากกว่าการใช้อัตราส่วนเฮกเซนน้อยกว่า POME ส่งผลต่อประสิทธิภาพที่สูงกว่า แต่การใช้เฮกเซนปริมาณมากก็จะทำให้มีความสิ้นเปลืองมากขึ้นด้วย Ahmad และคณะ (2008) ได้รายงานการสกัดไขมันจาก POME ด้วยเฮกเซน

ซึ่งอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสกัดคือ POME:เฮกเซน เท่ากับ 1:0.6 (หรือ 1.7:1) จากการสกัดเพียงครั้งเดียวในห้องปฏิบัติการ เป็นค่าที่ทำให้การสกัดสูงสุดและมีการสิ้นเปลืองน้อยที่สุด การทดลองครั้งนี้เป็นการสกัดแบบกึ่งอุตสาหกรรมแบบที่มีการไหลสวนทางกันของสารที่ทำการสกัด จึงทำให้ความเข้มข้นของไขมันที่สกัดได้ใน raffinate มีความเข้มข้นมากกว่าการสกัดเพียงครั้งเดียว การสกัด POME ด้วยตัวทำละลายเฮกเซนในอัตราส่วน 1:1 จำนวน 4 ครั้งต่อเนื่องกันในห้องปฏิบัติการสามารถสกัดไขมันได้ 73.70, 19.58, 13.44 และ 0.38% ตามลำดับ การสกัดครั้งต่อๆ ไปจะได้ไขมันน้อยมากจึงไม่นำมาคำนวณได้ การสกัด POME ระดับกึ่งอุตสาหกรรมแบบต่อเนื่องจากอัตราส่วน POME:เฮกเซน เท่ากับ 1.2:1 สามารถสกัดไขมันได้ 81.31% และการใช้อัตราส่วนเฮกเซนมากขึ้น การสกัดไขมัน ได้มากขึ้นสูงสุด 96.68%

ตารางที่ 4.7 ปริมาณ ไขมันที่สกัดได้และที่เหลือในน้ำทิ้งจากตัวอย่าง S5

| รายการ | สภาวะการทดลองและผลการสกัด | | | | |
|----------------------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| POME feed (L/hr) | 12 | 15 | 15 | 10 | 10 |
| Hexane feed (L/hr) | 10 | 15 | 20 | 15 | 15 |
| Pulse (mm) | 5 | 10 | 10 | 5 | 10 |
| Frequency (%) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| Oil in extract (%w/v) | 0.508 | 0.421 | 0.363 | 0.356 | 0.333 |
| Oil in extract (%w/w) | 0.771 | 0.640 | 0.550 | 0.510 | 0.506 |
| Oil in in raffinate (%w/w) | 0.0974 | 0.0639 | 0.0377 | 0.0173 | 0.0211 |
| Oil in in raffinate (ppm) | 998 | 639 | 386 | 173 | 216 |
| Extracted oil (%) | 81.31 | 87.74 | 92.76 | 96.68 | 95.95 |

4.3.4 การศึกษาประสิทธิภาพการสกัด (ขั้นการสกัดตามทฤษฎี, Theoretical stage)

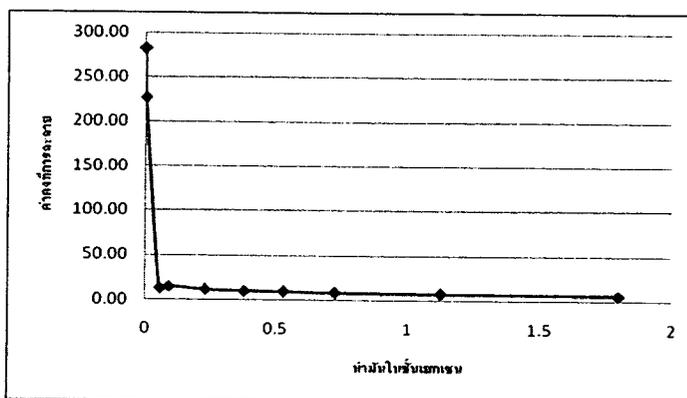
การหาค่าการละลายของ Oil-Hexane-Water ในเฟสของเฮกเซนและเฟสของน้ำทำได้โดยการผสมน้ำที่สกัดไขมันออกแล้ว เฮกเซนและไขมันในหลอดที่มีฝาปิด เขย่าให้ไขมันละลายในน้ำ และในเฮกเซนจนถึงจุดสมดุล ในขั้นเฮกเซนทำการวิเคราะห์ไขมัน โดยการชั่งน้ำหนัก และวิเคราะห์น้ำด้วยเครื่อง FTIR ส่วนในขั้นน้ำวิเคราะห์เฮกเซนด้วยเครื่อง GC และปริมาณไขมันได้โดยการ

คำนวณจากไขมันที่ใส่ในของผสมลบลด้วยไขมันที่อยู่ในชั้นเฮกเซน ข้อมูลทั้งหมดนำมาเปลี่ยนเป็นหน่วยน้ำหนักต่อน้ำหนักดังตารางที่ 4.8

จากข้อมูลการละลายของไขมันในชั้นเฮกเซนและในชั้นน้ำนำมาหาค่าคงที่การละลายแสดงดังตารางที่ ข6 และกราฟรูปที่ 4.3 ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่สมดุล การละลายของไขมันในชั้นเฮกเซนมีมากกว่าในชั้นน้ำ ลักษณะเช่นนี้จะส่งผลต่อการสกัด กล่าวคือตัวทำละลายเฮกเซนจะสกัดไขมันออกมาได้มากกว่าไขมันที่หลงเหลือในชั้นน้ำ และที่ความเข้มข้นของไขมันต่ำ จากกราฟพบว่าค่าคงที่สูงขึ้นอย่างมากสอดคล้องกับการสกัดไขมันในห้องปฏิบัติการ ซึ่งการสกัดเพียง 3 ครั้งก็จะสามารถนำไขมันออกมาได้มากกว่า 99%

ตารางที่ 4.8 ค่าการละลายของสาร Oil-Hexane-Water ในเฟสทั้งสองที่สมดุลกัน

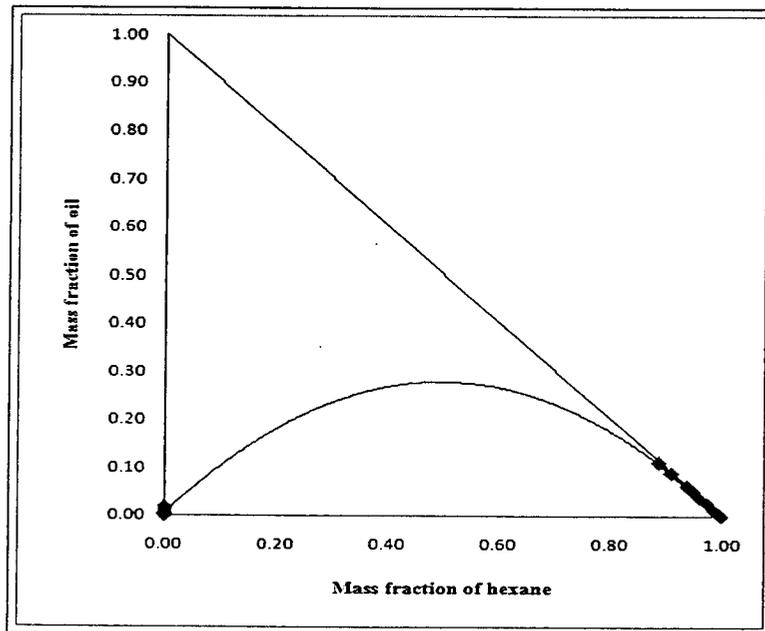
| Hexane phase (w%) | | | Water phase (w%) | | |
|-------------------|--------|---------|------------------|---------|--------|
| Hexane | Oil | Water | Water | Oil | Hexane |
| 88.95 | 11.050 | 0.00307 | 98.19 | 1.794 | 0.0151 |
| 91.18 | 8.810 | 0.00482 | 98.85 | 1.126 | 0.0231 |
| 93.89 | 6.108 | 0.00585 | 99.25 | 0.723 | 0.0310 |
| 94.97 | 5.025 | 0.00641 | 99.44 | 0.528 | 0.0347 |
| 96.14 | 3.854 | 0.00710 | 99.58 | 0.380 | 0.0395 |
| 97.35 | 2.639 | 0.00763 | 99.73 | 0.228 | 0.0430 |
| 98.63 | 1.363 | 0.00802 | 99.86 | 0.0908 | 0.0466 |
| 99.30 | 0.694 | 0.00869 | 99.90 | 0.0544 | 0.0487 |
| 99.54 | 0.453 | 0.00929 | 19.99 | 0.00200 | 0.0103 |
| 99.68 | 0.310 | 0.01020 | 19.99 | 0.00110 | 0.0106 |



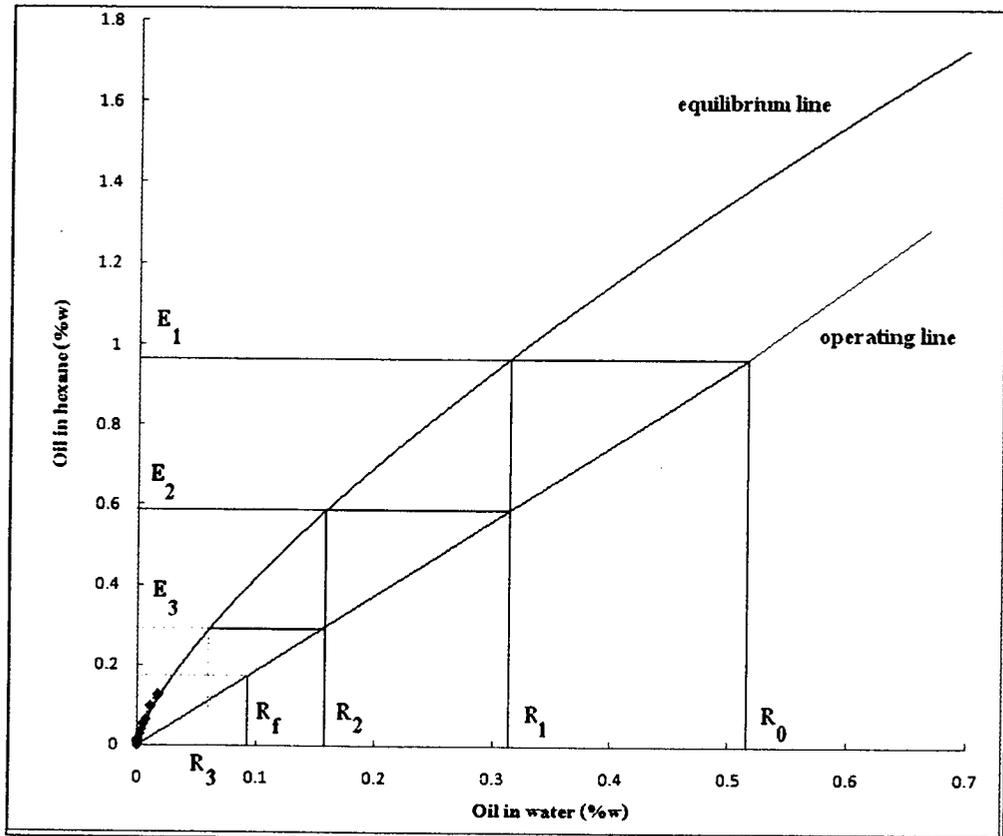
รูปที่ 4.3 แสดงค่าคงที่การละลายของไขมันในเฮกเซนและในน้ำ

ตารางที่ 4.9 ค่าการละลายของไขมันและเฮกเซนในเฟสทั้งสอง

| สัดส่วนของเฮกเซนในชั้นน้ำ | สัดส่วนของไขมันในชั้นน้ำ | สัดส่วนของเฮกเซนในชั้นเฮกเซน | สัดส่วนของไขมันในชั้นเฮกเซน |
|---------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| 0.00000 | 0.00000 | 0.88947 | 0.11050 |
| 0.00015 | 0.01794 | 0.91185 | 0.08810 |
| 0.00023 | 0.01139 | 0.93887 | 0.06108 |
| 0.00031 | 0.00729 | 0.94969 | 0.05025 |
| 0.00035 | 0.00530 | 0.96139 | 0.03854 |
| 0.00039 | 0.00382 | 0.97354 | 0.02639 |
| 0.00043 | 0.00228 | 0.98629 | 0.01363 |
| 0.00047 | 0.00091 | 0.99298 | 0.00694 |
| 0.00049 | 0.00054 | 0.99537 | 0.00453 |
| 0.00051 | 0.00010 | 0.99679 | 0.00310 |
| 0.00053 | 0.00005 | 1 | 0 |



รูปที่ 4.4. แผนภูมิสามเหลี่ยมมุมฉากแสดงสมดุลของไขมันในเฮกเซนและน้ำ



รูปที่ 4.5. กราฟแสดงเส้นสมดุลของการละลายของไขมันในเฮกเซนและน้ำ

การหาค่า Theoretical stage จากการสกัดแบบต่อเนื่องเพื่อเปรียบเทียบการสกัดว่าเทียบเท่ากับการสกัดกี่ครั้ง จากข้อมูลการละลายของ Oil-Hexane-Water ในทั้งสองเฟส นำค่าการละลายมาคำนวณหาสัดส่วนของไขมันและเฮกเซนในเฟสทั้งสองดังตารางที่ 4.9 นำข้อมูลสัดส่วนไขมันและเฮกเซนในเฟสทั้งสองมาเขียนกราฟบนแผนภูมิสามเหลี่ยมมุมฉาก เมื่อทำการต่อเส้นกราฟจะได้กราฟเส้นโค้งดังรูปที่ 4.4 เมื่อกำหนดจุดบนด้านตรงข้ามมุมฉาก สัดส่วนของไขมันใน POME บนแกนตั้ง สัดส่วนของไขมันใน raffinate และ extract หากจุด operating point ก็จะสามารถทำการลากเส้นหา Theoretical stage ได้ แต่จากการทดลองครั้งนี้ ความเข้มข้นของไขมัน raffinate และ extract มีค่าต่ำ และแตกต่างกันมาก การเตรียมข้อมูลเพื่อสร้างแผนภูมิจึงใช้ความเข้มข้นต่ำ การละลายของระบบสามองค์ประกอบมีค่าน้อย จึงได้กราฟที่ไม่ถูกต้อง คือ ไม่สอดคล้องกับการละลายของสารสามองค์ประกอบ เนื่องจากข้อมูลน้อยเกินไป และไม่สามารถทำการลากเส้นหาจุด operating point ได้โดยวิธีการนี้ แนวทางอื่นๆ ในการหา Theoretical stage ทำได้จากการเขียนกราฟแสดง equilibrium line ดังรูปที่ 4.5 เส้น equilibrium line ได้จากการเขียนกราฟระหว่างไขมันที่ละลายในน้ำและไขมันที่ละลายในเฮกเซนจากระบบสมดุลในตารางที่ 4.8 แต่การทดลองนี้ได้เตรียมความเข้มข้นของไขมันค่อนข้างต่ำ ไม่ครอบคลุมถึงความเข้มข้นในตัวอย่าง POME จึงต้องทำการ

ต่อเส้นให้ยาวออกไปเพื่อให้ครอบคลุมความเข้มข้นของไขมันใน POME ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างกรณีความเข้มข้นของ POME เท่ากับ 5,210 ppm หรือเท่ากับ 0.51 %w (R_0) เมื่อนำมาสกัดด้วยเฮกเซนแบบกึ่งอุตสาหกรรมจากตารางที่ 4.7 สถานะการทดลองที่ 1 ให้ extract ที่ความเข้มข้น 0.771 %w (E_1) และ raffinate ที่ความเข้มข้น 0.0974 %w (R_1) จากรูปที่ 4.5 เมื่อทำการกำหนดจุด R_0 บนแกน x และ E_1 บนแกน y แล้วลากเส้นจาก R_0 ขนานกับแกน y ไปชนกับเส้นจาก E_1 ที่ลากขนานกับแกน x และทำการต่อเส้นจากจุดนี้ไปที่จุด 0 จะได้เส้น operating line ซึ่งจะพบว่าเส้นที่ลากจาก E_1 มีจุดที่ตัดกับเส้น equilibrium จุดนี้คือ R_1 เมื่อลากให้ขนานกับแกน x จะตัดผ่านเส้น operating และจุดนี้คือค่า E_2 จากการเชื่อมต่อดังเช่นนี้ ในรูปที่ 4.5 พบว่า R_1 อยู่ระหว่าง R_2 และ R_3 จึงสรุปได้ว่าการสกัดในสถานะนี้มีจำนวนขั้นของการสกัดหรือ Theoretical stage เท่ากับ 2 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณไขมันที่สกัดได้เป็นเปอร์เซ็นต์จะเท่ากับ 81.31% จากการใช้อัตราส่วน POME: เฮกเซนเท่ากับ 1.2:1 ส่วนการทดลองในสถานะอื่นๆ ให้เปอร์เซ็นต์การสกัดที่สูงขึ้น ถ้านำมาเขียนกราฟเพื่อหา Theoretical stage ก็จะได้ค่าที่สูงกว่าสถานะการทดลองที่ 1 การทดลองครั้งนี้ Theoretical stage ควรจะมีค่ามากกว่า 1 และสูงสุดคือ 4 เนื่องจากการสกัด POME ในห้องปฏิบัติการครั้งที่ 4 (เทียบเท่า stage 4) ได้ไขมันน้อยกว่า 1% นั่นเอง

ตารางที่ 4.10 แสดงการสกัดไขมันด้วยเครื่อง CTS7 จากตัวอย่าง S6 ซึ่งมีความเข้มข้นของไขมัน 1,742 ppm จากสถานะต่างๆ ของเครื่องต่อเปอร์เซ็นต์ของไขมันที่สกัดได้ พบว่าความถี่ของการกระแทกจะต้องสอดคล้องกับอัตราส่วนของเฮกเซนที่ใช้ ถ้าอัตราส่วนของเฮกเซนน้อย การเพิ่มความถี่จะทำให้การสกัดดีขึ้น ส่วนอัตราส่วนของเฮกเซนน้อย การเพิ่มความถี่ของการกระแทกจะทำให้เปอร์เซ็นต์การสกัดลดลง ระยะการกระแทกก็มีผลด้วยเช่นเดียวกัน สถานะที่เหมาะสมจะทำให้ POME ซึ่งเป็นส่วนของน้ำที่มีความหนาแน่นสูงไหลจากบนลงล่างผ่านช่องบนเพลท ลักษณะของ POME ที่หยดลงบนเพลทต่อไปจะต้องมีขนาดเล็ก การสัมผัสกับเฮกเซนที่ไหลขึ้นด้านบนบนหยดของ POME ขนาดเล็กจะทำให้ผิวสัมผัสมาก เกิดสมดุลของไขมันที่เคลื่อนย้ายออกจาก POME เข้าไปละลายในส่วนของเฮกเซนได้มาก จึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการสกัด ในการทดลองนี้ได้มีการปรับสถานะต่างๆ มากมาย สถานะที่ไม่เหมาะสมจึงไม่ได้รายงานการสกัดเนื่องจากให้ผลการสกัดที่ต่ำมาก หรือเกิดอิมัลชัน และไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้ การสกัดด้วยเครื่อง CTS7 ช่วงของการเริ่มต้น (start-up) จะมีความสั่นเปลือยอยู่บ้าง เนื่องจากการไหลของ POME ลงในคอลัมน์ และตกค้างอยู่บนเพลทแต่ละเพลท การไหลลงด้านล่างตามจังหวะและความถี่ของการกระแทก เมื่อ POME ไหลลงมากขึ้น ความหนาแน่นของของเหลวในคอลัมน์มีมากขึ้น จะส่งผลต่อแรงกดที่มีต่ออัตราการไหลออกของ raffinate การปรับอัตราการไหลออกของ raffinate และ extract ให้คงที่จึงทำได้ยากมากในช่วงต้นของการทดลอง ปริมาณของแข็งและไขมันที่ละลายอยู่ใน POME ส่งผลต่อ

ความหนาแน่นและความหนืดของ POME ทำให้แต่ละตัวอย่างต้องใช้สภาวะที่แตกต่างกันไป บางการทดลองจึงไม่สามารถวิเคราะห์ผลได้เลย นอกจากนี้องค์ประกอบใน POME ก็ยังมีส่วนทำให้การแยกตัวระหว่างเฮกเซนกับ raffinate ยากง่ายต่างกันด้วย เช่นถ้าเป็น POME จากการบีบน้ำมันของปาล์มอ่อนอาจจะทำให้มีสารที่เป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ผสมในปริมาณสูง สารผสมบนเฟลทไม่แยกตัวจึงไหลยึดในคอลัมน์ รวมทั้งการเกิดอิมัลชันที่รอยต่อของของเหลว หากจุดแยกตัวยาก การปรับอัตราการไหลก็ทำได้ยาก อีกทั้งยังทำให้มีการสูญเสียเฮกเซนไปกับ raffinate อีกด้วย

ตารางที่ 4.10 ปริมาณไขมันที่สกัดได้และที่เหลือในน้ำทิ้งจากตัวอย่าง S6

| รายการ | สภาวะการทดลองและผลการสกัด | | | | | | |
|----------------------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| POME feed (L/hr) | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Hexane feed (L/hr) | 5 | 5 | 5 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Pulse (mm) | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 5 |
| Frequency (%) | 90 | 60 | 30 | 30 | 60 | 90 | 90 |
| Oil in extract (%w/v) | 0.104 | 0.111 | 0.083 | 0.105 | 0.052 | 0.045 | 0.049 |
| Oil in extract (%w/w) | 0.158 | 0.168 | 0.126 | 0.159 | 0.079 | 0.068 | 0.074 |
| Oil in in raffinate (%w/w) | 0.0702 | 0.0632 | 0.0692 | 0.0912 | 0.0598 | 0.0752 | 0.0664 |
| Oil in in raffinate (ppm) | 94.044 | 62.696 | 31.348 | 62.696 | 94.044 | 31.348 | 94.044 |
| Extracted oil (%) | 90.59 | 96.69 | 72.30 | 91.47 | 90.59 | 78.40 | 85.37 |

การสกัดไขมันออกจาก POME ด้วยเครื่อง CTS7 แบบไหลสวนทางต่อเนื่องกันด้วยตัวทำละลายเฮกเซน พบว่ามีการสกัดได้อย่างน้อย 2 stage และสกัดได้สูงถึงกว่า 96% ของไขมันที่มีอยู่ใน POME สภาวะที่ดีที่สุดในการสกัดด้วยเครื่อง CTS7 ไม่สามารถสรุปแน่นอนได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง POME เนื่องจากถ้าต้องการประสิทธิภาพสูงก็จะต้องมีความสิ้นเปลืองเฮกเซนมาก การกลั่นเฮกเซนกลับมาใช้งานใหม่ก็ต้องใช้พลังงานและมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น นอกจากนี้เฮกเซนยังมีการสูญเสียจากการระเหยระหว่างการสกัดและตกค้างใน raffinate ปริมาณหนึ่งด้วย อย่างไรก็ตามการสกัดไขมันได้มากกว่า 80% เป็นตัวเลขที่น่าจะนำไปใช้จริงในอุตสาหกรรมได้

เนื่องจาก POME ที่ออกจากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบมีอุณหภูมิสูง 80-90 °C การนำมาใช้สกัดต่อเนื่องจะทำไม่ได้เพราะจะทำให้เกิดการระเหยของเฮกเซน (จุดเดือด 68 °C) จึงต้อง

ปล่อย POME ลงบ่อเก็บเพื่อทำการลดอุณหภูมิ ซึ่งจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสารแคโรทีนด้วย
ถ้าหากมีการเก็บเป็นเวลานาน หรือต้องมีระบบลดอุณหภูมิของ POME ก่อนทำการสกัด

นอกจากสารแคโรทีนที่เป็นเป้าหมายในการสกัดแยกจาก POME แล้ว ไขมันที่สกัดได้น่าจะนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ ได้อีก เช่นการทำไบโอดีเซล ส่วนน้ำเสียที่มีไขมันลดต่ำลงก็จะสามารถบำบัดได้ง่ายขึ้นอีกด้วย