



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายในท้องถิ่นของ
จังหวัดเพชรบูรณ์

Biodiesel Production from Local Algae in the Phetchabun Province

โดย ปิยรัตน์ มุลศรี

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

2554

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

เรื่อง การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายในท้องถิ่นของ
จังหวัดเพชรบูรณ์

Biodiesel Production from Local Algae in the Phetchabun Province

ผู้วิจัย

ดร.ปิยรัตน์ มุลศรี

สังกัด

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณบำรุงการศึกษามหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ประจำปี พ.ศ. 2554

ประกาศคุณูปการ

การวิจัยเรื่องการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายในท้องถิ่นของจังหวัดเพชรบูรณ์นี้ ได้รับทุนอุดหนุนงานวิจัยจากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2554 ผู้วิจัยใคร่จะขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนาที่ได้อำนวยความสะดวกในการดำเนินการวิจัย และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์และสถานที่ในการดำเนินงานวิจัย

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่า งานวิจัยนี้จะมีประโยชน์ต่องานทางด้านการพัฒนาพลังงานทดแทนและผู้ที่เกี่ยวข้องในการนำเอาข้อมูลและผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ ต่อไป

ดร. ปิยรัตน์ มุลศรี

2555

หัวข้อวิจัย:	การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายในท้องถิ่นของจังหวัดเพชรบูรณ์
ประเภทการวิจัย:	การวิจัยประยุกต์ (เคมี)
ชื่อผู้วิจัย:	ดร. ปิยรัตน์ มุลศรี
คณะ:	วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัย:	มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ปีการศึกษา:	2554

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายในท้องถิ่นของจังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งจากการสำรวจได้พบสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่สายพันธุ์ *Spirogyra sp.*, *Ceratophyllum Demersum* Linn., และ *Spirulina sp.* อีกทั้งสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella sp.* โดยจากการศึกษาพบว่ามีเพียงสาหร่าย *Spirogyra sp.*, และ *Chlorella sp.* ที่มีศักยภาพและมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นแหล่งที่มาของน้ำมันสาหร่ายในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล สภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคือ ที่อุณหภูมิห้อง มีความเข้มของแสงช่วง 3,000 – 5,000 ลักซ์ ร่วมกับการใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ความเข้มข้น 1% ในการเลี้ยงสาหร่าย จากการสกัดน้ำมันจากสาหร่ายแห้งที่เตรียมได้จากการผึ่งลม พบว่าตัวทำละลายที่เหมาะสมในการใช้เป็นสารสกัดน้ำมันออกจากสาหร่ายคือ เฮกเซน โดยการนำสาหร่ายแห้งไปแช่ทิ้งไว้ในตัวทำละลายเฮกเซนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงนำสารละลายผสมนั้นไปทำการกรองและระเหยตัวทำละลายออกไปโดยใช้เครื่องระเหยสารแบบหมุนที่อุณหภูมิ 40-50 °C โดยน้ำมันที่สกัดได้จากสาหร่ายทั้งสองชนิดนี้มีฟิเชอร์เป็นกลาง ความถ่วงจำเพาะ $\approx 0.87-0.88$ ความหนืด $\approx 4.1-4.4$ cSt และมีปริมาณกรดอิสระอยู่ในช่วง 0.70-0.84 mgKOH/g น้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายเตรียมโดยการใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันโดยมีด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นไบโอดีเซลที่ได้จากปฏิกิริยาจะทำการล้างด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้งเพื่อลดสารปนเปื้อนที่หลงเหลืออยู่ในไบโอดีเซล จากการศึกษาสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้มาจากสาหร่าย *Chlorella sp.* และ *Spirogyra sp.* พบว่ามีสมบัติที่ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยมีค่าฟิเชอร์เป็นกลาง ค่าความถ่วงจำเพาะ ≈ 0.86 ความหนืด $\approx 2.2-2.5$ cSt และมีปริมาณกรดอิสระที่หลงเหลืออยู่ในช่วง 0.43-0.45 mgKOH/g มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ประมาณ 1.08×10^{-4} mol และมีปริมาณซัลเฟอร์ $\approx 0.0011-0.0012$ % นอกจากนี้ยังพบว่าน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมได้มีอุณหภูมิจุดชนวนตัวอยู่ในช่วง -1.4 °C และ -1.2 °C และมีอุณหภูมิจุดไหลเทอยู่ในช่วง 1.3 °C และ 1.7 °C ตามลำดับ ดังนั้นการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายในท้องถิ่นสายพันธุ์ *Chlorella sp.* และ *Spirogyra sp.* ที่มีอยู่ในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์นี้ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะสามารถพัฒนาต่อไปเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนที่ใช้ในการเกษตรและใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์รอบต่ำได้

คำสำคัญ : ไบโอดีเซล สาหร่ายในท้องถิ่น

Research title: Biodiesel Production from Local Algae in the Phetchabun Province
Type of research: Applied research (Chemistry)
Researcher: Mr. Piya-rut Moonsri
Faculty: Science and Technology
University: Phetchabun Rajabhat University
Year: 2011

Abstract

In this research, biodiesel production from local algae in the Phetchabun Province was studied. From local algae survey, we found macro-green algal : *Spirogyra sp.*, *Ceratophyllum Demersum* Linn., *Spirulina sp.* and micro-green algae : *Chlorella sp.* which are *Spirogyra sp.* and *Chlorella sp.* have more potential and suitable for using as algae oil sources in biodiesel production. The optimum condition used for algal cultivation is at room temperature, medium pH ≈ 7 , light intensity 3000-5000 lux and using 1% carbondioxide. In algae oil extraction from dried algae which prepared by exposing to air, it found that the suitable solvent for oil extraction is hexane and the extraction was done by soak the algae material in hexane solvent for 24 hours and then the solvent after filtration was evaporated at 40-50 $^{\circ}\text{C}$ by rotary evaporator. The extracted oil from both algae showed neutral pH, specific gravity ≈ 0.87 -0.88, viscosity ≈ 4.1 -4.4 cSt, and acid content in range 0.70-0.84 mgKOH/g. Biodiesel from algae oil was prepared by *tran*-esterification reaction with basic catalyst and then it was cleaned by water washing many times to reduce some contaminated residuals. From biodiesel properties investigation found that the biodiesel derived from the microalgae *Chlorella sp.* and macroalgae *Spirogyra sp.* no more different from each other which have neutral pH, specific gravity ≈ 0.86 , viscosity ≈ 2.2 -2.5 cSt, and acid content in range 0.43-0.45 mgKOH/g, methyl ester content 1.08×10^{-4} mol and sulfur content ≈ 0.0011 -0.0012%. Moreover, the biodiesel have cloud point temperature in range -1.4 $^{\circ}\text{C}$ to -1.2 $^{\circ}\text{C}$ and have pour point temperature in range 1.3 $^{\circ}\text{C}$ to 1.7 $^{\circ}\text{C}$, respectively. Thus the biodiesel production from local algal *Chlorella sp.* and *Spirogyra sp.* in the Phetchabun Province is possible to develop as renewable fuel in agricultural community and use for low-cycle engines.

Keywords : biodiesel, local algae

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ประกาศคุณภาพการ	ข
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญรูป	ช
สารบัญตาราง	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.5 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย	2
1.6 สถานที่ดำเนินการวิจัย	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ไบโอดีเซล	3
2.2 วิธีการผลิตไบโอดีเซล	4
2.3 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลอย่างง่าย	4
2.4 การตรวจสอบคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลอย่างง่าย	8
2.5 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสาหร่าย	10
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	16
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	18
3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี	18
3.2 การเตรียมสารละลาย	20
3.3 การศึกษาชนิดและสายพันธุ์ของสาหร่ายที่มีศักยภาพใช้ใน การผลิตน้ำมันไบโอดีเซล	21
3.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสาหร่ายและการเตรียม สาหร่ายแห้ง	22
3.5 การศึกษาการเตรียมน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายและการศึกษาคุณสมบัติ ของน้ำมัน	25

เรื่อง	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	27
4.1 การสำรวจสาหร่ายในแหล่งน้ำที่สำคัญในเขตอำเภอต่าง ๆ ในจังหวัดเพชรบูรณ์	27
4.2 การศึกษาการเลี้ยงแพะพันธุ์สาหร่าย	28
4.3 การศึกษาวิธีการสกัดและคุณภาพของน้ำมันจากสาหร่าย	31
4.4 การศึกษาการเตรียมน้ำมันไบโอดีเซลและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล	34
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	37
เอกสารอ้างอิง	40
ภาคผนวก	41
ประวัติผู้วิจัย	50

สารบัญรูป

ลำดับ	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดี่ยวขนาดเล็กสายพันธุ์ <i>Chlorella sp.</i>	10
รูปที่ 2.2 แสดงสาหร่ายสีเขียวที่เซลล์รวมกันเป็นกลุ่ม สายพันธุ์ <i>Volvox sp.</i>	11
รูปที่ 2.3 แสดงสาหร่ายสีเขียวที่เซลล์ต่อกันเป็นสาย สายพันธุ์ <i>Spirogyra sp.</i>	11
รูปที่ 2.4 แสดงสาหร่ายสีเขียวเซลล์ที่พบในทะเล สายพันธุ์ <i>Ulva lactuca.</i>	11
รูปที่ 2.5 แสดงสาหร่ายสีน้ำตาลแกมเหลือง ไดอะตอมชนิดต่าง ๆ	12
รูปที่ 2.6 แสดงสาหร่ายสีน้ำตาลที่พบในทะเล	12
รูปที่ 2.7 แสดงสาหร่ายสีแดงที่ส่วนใหญ่พบในทะเล	13
รูปที่ 2.8 แสดงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน หรือเรียกว่าไซยาโนแบคทีเรีย	13
รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมได้จากน้ำมันสาหร่ายทั้งสองชนิด	34

สารบัญตาราง

ลำดับ	หน้า
ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	18
ตารางที่ 3.2 สารเคมี	19
ตารางที่ 4.1 สาหร่ายที่พบในแหล่งเก็บน้ำต่าง ๆ ในจังหวัดเพชรบูรณ์	27
ตารางที่ 4.2 ปริมาณน้ำมันที่พบในสาหร่ายแต่ละชนิด	28
ตารางที่ 4.3 ปัจจัยของความเข้มแสงและช่วงเวลาการให้แสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโต ของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก <i>Chlorella sp.</i>	29
ตารางที่ 4.4 ปัจจัยของความเข้มแสงและช่วงเวลาการให้แสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโต ของสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ <i>Spirogyra sp.</i>	30
ตารางที่ 4.5 ปัจจัยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต ของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก <i>Chlorella sp.</i>	30
ตารางที่ 4.6 ปัจจัยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต ของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก <i>Spirogyra sp.</i>	31
ตารางที่ 4.7 ปริมาณน้ำมันสาหร่ายและปริมาณกากที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย เฮกเซนจากน้ำหนักของสาหร่ายแห้งประมาณ 8 g	32
ตารางที่ 4.8 ปริมาณน้ำมันสาหร่ายและปริมาณกากที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย ไดเอทิลอีเธอร์จากน้ำหนักของสาหร่ายแห้งประมาณ 8 g	32
ตารางที่ 4.9 สมบัติของน้ำมันสาหร่ายที่ได้จากการสกัด	33
ตารางที่ 4.10 ปริมาณกรดไขมันอิสระที่พบในน้ำมันสาหร่ายที่สกัดได้	33
ตารางที่ 4.11 ปริมาณค่าที่ต้องใช้เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ในการเตรียมน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสาหร่าย	34
ตารางที่ 4.12 คุณสมบัติทางกายภาพบางประการของน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่าย ที่เตรียมได้จากน้ำมันสาหร่ายแต่ละชนิด	35
ตารางที่ 4.13 คุณสมบัติทางเคมีบางประการของน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายที่เตรียม จากสาหร่ายแต่ละชนิด	35
ตารางที่ 4.14 อุณหภูมิจุดจุดชนวนตัวของน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมจากน้ำมันสาหร่าย	36
ตารางที่ 4.15 อุณหภูมิจุดไหลเทของน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมจากน้ำมันสาหร่าย	36

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

ปัญหาการขาดแคลนพลังงานน้ำมันปิโตรเลียมในปัจจุบัน นับว่าเป็นปัญหาใหญ่ที่ส่งผลกระทบต่อ การดำรงชีวิตและการประกอบอาชีพของประชาชนที่ต้องใช้น้ำมันอยู่เป็นประจำ ซึ่งการใช้น้ำมันปิโตรเลียมกันอย่างแพร่หลายและไร้การควบคุมของมนุษย์ การลดลงของแหล่งน้ำมันดิบ ตลอดจน ความเสื่อมโทรมของสภาพแวดล้อมอันเกิดจากภาวะ โลกร้อนอันเป็นผลจากการเผาผลาญน้ำมันอย่าง ไร้ขอบเขต ทำให้ประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกเริ่มตระหนักและตื่นตัวในการศึกษาวิจัยเพื่อแสวงหาพลังงาน ทางเลือกอื่น ๆ เพื่อนำมาใช้ในการทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมจัดเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ซึ่ง น้ำมันไบโอดีเซลจะเป็นทางเลือกที่สำคัญอันหนึ่ง ในการแก้ไขปัญหานี้ เนื่องจากเป็นเชื้อเพลิงทาง เลือกที่มีคุณสมบัติในการเผาไหม้เหมือนกับดีเซล ไม่เพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ ไม่สร้างมลพิษทางอากาศ และที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไม่ปล่อยสารประกอบกำมะถัน เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ อันเป็นตัวการให้เกิดภาวะฝนกรดในบรรยากาศโดย โดยไบโอดีเซลที่ได้มา จากพืชน้ำมันเป็นแหล่งศักยภาพใหญ่ของการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซลจึงได้รับ การส่งเสริมให้มีการผลิตกันอย่างแพร่หลายจากหน่วยงานภาครัฐ ทั่วทุกภาคของประเทศ ทั้งนี้เนื่องจาก ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมจึงเอื้อต่อการนำผลผลิตทางการเกษตรชนิดต่าง ๆ โดยเฉพาะพืช ที่ให้น้ำมันเช่น ปาล์มน้ำมัน ถั่วเหลือง มะพร้าว ทานตะวัน และสบู่ดำ มาใช้ในการผลิตไบโอดีเซล

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดเล็กชนิดหนึ่งที่เปรียบเสมือนโรงงานเซลล์ที่ผลิตพลังงานจาก แสงอาทิตย์ โดยการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ และสารทางชีวภาพอื่น ๆ ที่สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารของมนุษย์ สัตว์ หรือนำมาสกัดสารทางชีวภาพที่มีราคาสูง ดังนั้นเมื่อ กล่าวถึงสาหร่าย ส่วนใหญ่มักจะนึกถึงการนำไปเป็นอาหารของสัตว์หรือเป็นอาหารเสริมของคน แต่ จากการศึกษานักวิทยาศาสตร์ทั้งในและต่างประเทศพบว่า สาหร่ายจัดเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่มี ศักยภาพสูงในการนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล โดยเฉพาะอย่างยิ่งสาหร่ายขนาดเล็กซึ่ง ส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดี่ยว ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับพืชที่ให้น้ำมันชนิดอื่น ๆ คือน้ำหนัก พบว่าสามารถให้น้ำมันได้สูงกว่าสบู่ดำ และปาล์มน้ำมันเลยทีเดียว อีกทั้งการเพาะเลี้ยงสาหร่ายทำได้ ไม่ยุ่งยากและสามารถเติบโตได้อย่างรวดเร็วในทุกฤดูกาล อีกทั้งยังต้องการพื้นที่ในการเพาะเลี้ยงน้อย ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำน้ำมันที่ได้จากสาหร่ายมาผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซลที่มีศักยภาพที่จะ นำไปผลิตได้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาชนิดและสายพันธุ์ของสาหร่ายในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์ที่ให้น้ำมัน
2. เพื่อศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันจากสาหร่ายที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ผลิตไบโอดีเซล
3. เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากสาหร่าย ในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับสาหร่ายที่ให้น้ำมัน สำหรับการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้ ในท้องถิ่นของจังหวัดเพชรบูรณ์
2. ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการเลี้ยงสาหร่ายที่ให้น้ำมันและปริมาณน้ำมันที่ได้จากสาหร่าย ซึ่งได้จากวิธีการทำให้แห้งต่าง ๆ และการสกัดน้ำมันออกจากสาหร่าย
3. ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับวิธีการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์ และทราบถึงสมบัติและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์
4. จากองค์ความรู้ดังกล่าวทั้งหมด สามารถเผยแพร่องค์ความรู้และถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่ชุมชนได้ โดยมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ได้
5. จากองค์ความรู้ดังกล่าวสามารถเผยแพร่ในวารสารหรือจดอนุสิทธิบัตรทางกรรมวิธีได้

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. ทำการเก็บตัวอย่างและศึกษาชนิดและสายพันธุ์ของสาหร่ายที่พบในแหล่งเก็บน้ำต่าง ๆ ที่สำคัญ ในเขตอำเภอเมือง อำเภอวังสามพัน และอำเภอหล่มสัก จังหวัดเพชรบูรณ์ ไม่น้อยกว่า 6 แหล่ง
2. ทำการศึกษาปริมาณน้ำมันที่พบในสาหร่ายแต่ละชนิด และทำการคัดเลือกสาหร่ายสายพันธุ์ที่ให้ปริมาณน้ำมันมากที่สุด 2-3 ลำดับ
3. การศึกษาในเชิงปริมาณในการสกัดน้ำมันออกจากสาหร่าย ทำโดยการใช้สาหร่ายที่ทำการเลี้ยงขยายพันธุ์ไว้ในแหล่งเก็บน้ำที่ได้จัดทำขึ้นเพื่อให้เหมาะต่อการทำการศึกษา
4. ทำการศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันจากสาหร่ายที่ผ่านการทำแห้งจำนวน 4 วิธีคือ วิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง วิธีการทำแห้งแบบอบด้วยลมร้อน วิธีการตากแดดและวิธีการผึ่งลม
5. ทำการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันที่สกัดได้จากสาหร่าย โดยปฏิกิริยาเคมี “ทรานส์เอสเตอร์ฟิเคชัน” โดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและทำการศึกษาคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ง่าย

1.5 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

ระหว่าง 1 เมษายน 2554 ถึง 30 เมษายน 2555

1.6 สถานที่ดำเนินการวิจัย

ห้องปฏิบัติการทางเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไบโอดีเซล

ไบโอดีเซล (Biodiesel) คือ น้ำมันเชื้อเพลิงที่ผลิตมาจากน้ำมันพืชหรือไขมันสัตว์โดยผ่านกระบวนการที่ทำให้โมเลกุลเล็กลง โดยอยู่ในรูปของ เอทิลเอสเทอร์ (Ethyl esters) หรือเมทิลเอสเทอร์ (Methyl esters) ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลได้โดยตรง กระบวนการทำให้โมเลกุลเล็กลงในรูปของเอสเทอร์นี้เรียกว่า ปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification reaction) น้ำมันไบโอดีเซลเป็นพลังงานทดแทนที่ได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐ ให้มีการผลิตขึ้นใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติเด่นหลายอย่างเช่น สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ และไม่ปล่อยสารประกอบของกำมะถัน เช่น ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ซึ่งเป็นตัวการที่ก่อให้เกิดภาวะฝนกรดในบรรยากาศ (Miao, et. Al., 2004) น้ำมันไบโอดีเซล ในความหมายของการผลิตในระดับอุตสาหกรรม หมายถึงการนำน้ำมันพืชและไขมันสัตว์ที่มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) และแอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ เช่น เอทานอล หรือเมทานอล ในปริมาณที่มากเกินพอ มาทำปฏิกิริยา ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยใช้ กรด ด่าง หรือ เอนไซม์ที่ได้จากเชื้อจุลินทรีย์บางชนิด ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อเกิดการรวมพันธะของไตรกลีเซอไรด์ และแอลกอฮอล์ เปลี่ยนวัตถุดิบตั้งต้นไปเป็นเอทิลเอสเทอร์ (Fatty acid esters : FAEs) หรือ เมทิลเอสเทอร์ (Fatty acid methyl esters : FAMES) และกลีเซอรอล (Glycerol) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปในอุตสาหกรรมอาหารและยาได้

โดยทั่วไปกรรมวิธีการผลิตไบโอดีเซลสามารถทำได้หลายวิธี เช่น Direct use and blending ดังในรายงานของ Xu, et. al., 2006 ซึ่งเป็นการสกัดน้ำมันออกมาจากพืชน้ำมัน โดยการบีบอัดน้ำมันออกมาจากเมล็ดหรือผลของพืชน้ำมันนั้น แล้วนำน้ำมันที่ได้ไปใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยตรง หรือผลิตจากวิธี Thermal cracking (Pyrolysis) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี โดยการใช้ความร้อนสูง โดยกระบวนการดังกล่าวเป็นการเผาไหม้แบบไม่ใช้ออกซิเจน แต่วิธีผลิตที่ได้รับการยอมรับและมีการนำไปใช้ในการผลิตไบโอดีเซลอย่างแพร่หลายในระดับอุตสาหกรรม คือการผลิตโดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมีที่เรียกว่า ทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน

สารเอสเทอร์หรือไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์เป็นเชื้อเพลิงที่สะอาดปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม สามารถเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ และไอเสียก็มีมลพิษต่ำกว่ากรณีการใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซล ปัจจุบันประเทศที่พัฒนาแล้วให้ความสนใจผลิตและใช้ไบโอดีเซลกันอย่างแพร่หลาย โดยมีการทดลองผลิตเพื่อใช้กันเองในครัวเรือนและเพื่อต่อยอดเพิ่มการผลิตเพื่อใช้กันในอนาคตต่อไป

2.2 วิธีการผลิตไบโอดีเซล

กระบวนการผลิตไบโอดีเซล หรือการสังเคราะห์สารเอสเทอร์จากน้ำมันพืช หรือน้ำมันสัตว์ มีวิธีการผลิตอยู่ 3 วิธี คือ

1. การใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันและแอลกอฮอล์ โดยใช้ด่างหรือกรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา
2. การใช้ปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชันของน้ำมันและแอลกอฮอล์ ทำปฏิกิริยาที่ความดันสูง โดยไม่ต้องใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา
3. การเปลี่ยนน้ำมันพืช ไขสัตว์ ให้เป็นกรดไขมัน แล้วจึงนำกรดไขมันไปทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์ให้เป็นเอสเทอร์

สำหรับวิธีการผลิตไบโอดีเซลที่ได้รับความนิยม สามารถนำไปผลิตเพื่อใช้กันเองในครัวเรือนและเป็นวิธีที่ชุมชนพลังงานของกระทรวงพลังงานเองนิยมใช้ในการผลิตไบโอดีเซล คือ กระบวนการ “ทรานส์เอสเทอร์ฟิเคชัน” เนื่องจากทำได้ค่อนข้างง่าย ไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก โดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เอทานอล หรือ เมทานอล และตัวเร่งปฏิกิริยา เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ภายใต้สภาวะที่มีอุณหภูมิสูงประมาณ 50-55 °C ให้อยู่ในรูปของ เอทิลเอสเทอร์ หรือ เมทิลเอสเทอร์ (อุณหภูมิที่ใช้ขึ้นกับประเภท น้ำมันวัตถุดิบ หากใช้เอทานอล ดังเช่นที่โครงการส่วนพระองค์สวนจิตรลดา อุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 60 °C) ซึ่งพอเสร็จแล้วจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมาก สามารถใช้ทดแทนน้ำมันไบโอดีเซลได้โดยตรง ลดการเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพเพราะไม่มีสารประกอบที่เป็นวงอะโรแมติกในน้ำมันเหมือนกับดีเซล

ผลพลอยได้จากการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล คือ กลีเซอริน แต่ไม่ใช่กลีเซอรินบริสุทธิ์ หากเป็นกลีเซอรินที่บริสุทธิ์สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมยา เครื่องสำอาง และอื่น ๆ ได้ โดยในขณะนี้เมืองไทยได้นำเข้ากลีเซอรินปีหนึ่งเป็นมูลค่าหลายล้านบาท ดังนั้นต่อไปหากมีการค่อยลดในการสกัดกลีเซอรินให้บริสุทธิ์ได้แล้วก็จะสามารถนำมาใช้ในการผลิตยา และเครื่องสำอางภายในประเทศได้ ซึ่งจะช่วงลดการสูญเสียเงินตราออกนอกประเทศได้ในปริมาณมาก

2.3 การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลอย่างง่าย

2.3.1 ขั้นตอนเตรียมน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ก่อนการผลิต

ในขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เพราะน้ำมันจากพืชหรือสัตว์ เป็นปัจจัยหลักตัวหนึ่งของสารตั้งต้น ที่จะบ่งบอกคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้ ซึ่งหากเป็นน้ำมันใหม่จะสามารถนำมาทำน้ำมันไบโอดีเซลได้เลยโดยไม่ต้องมีการจัดการเตรียมน้ำมัน เพียงแต่ต้องให้แน่ใจว่าในน้ำมันไม่มีน้ำปน เพราะจะมีผลต่อการทำปฏิกิริยา ดังนั้นจึงต้องหมั่นคอยสังเกต ถ้ามีน้ำมากต้องนำไป

ต้มเพื่อระเหยน้ำที่อุณหภูมิสูงกว่า 100°C ก่อน หากเป็นน้ำมันเก่าที่ผ่านการใช้งานมาแล้ว ต้องทำการเตรียมน้ำมันเพื่อให้น้ำมันที่นำมาใช้นั้นมีความใส ไม่ขุ่นข้น โดยวิธีการเตรียมน้ำมันมีหลายวิธี ดังนี้

วิธีแรก : ให้นำน้ำมันที่บรรจุในภาชนะ ซึ่งอาจใช้ขวดพลาสติกใสที่จะใช้กันอยู่ทั่วไปได้ โดยนำมาตั้งทิ้งไว้รอให้น้ำมันเก่าที่ผ่านการใช้งานมาแล้วแยกชั้น จากนั้นจึงเอาแต่ชั้นใสไปเข้าถังพักน้ำมันดีเพื่อเตรียมการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ส่วนล่างที่เป็นตะกอนให้นำไปผสมน้ำเล็กน้อย (ประมาณ 10-15%) แล้วต้มที่อุณหภูมิที่ $100-120^{\circ}\text{C}$ ให้เดือดอยู่ที่ 100°C ขึ้นไปประมาณ 15 นาที อาจใช้เตาแก๊สหรือเตาถ่าน แต่แนะนำให้ใช้เตาถ่านเพราะปลอดภัยและเป็นการใช้พลังงานทดแทนชีวมวล จากนั้นทิ้งไว้ให้แยกชั้นอีก 1-2 วัน แล้วนำส่วนที่ใสมารวมในถังน้ำมันดีที่จะนำไปใช้ทำน้ำมันไบโอดีเซล ข้อดีของวิธีนี้คือ ประหยัดการต้มเชื้อเพลิง เพราะใช้การตั้งทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการแยกชั้น แล้วจึงนำส่วนที่ใสไปทำปฏิกิริยา แต่อาจมีข้อเสียคือในบางครั้งน้ำมันอาจไม่สะอาดพอ

วิธีที่สอง : เมื่อได้น้ำมันมาให้นำน้ำมันทั้งหมดไปผสมน้ำเล็กน้อยแล้วต้มที่อุณหภูมิ $100-120^{\circ}\text{C}$ ให้เดือดอยู่ที่ 100°C ขึ้นไปประมาณ 15 นาที โดยต้องคนหรือกวนน้ำมันตลอดเวลาเนื่องจากน้ำที่ใส่ลงไปจะกระตุ้นน้ำมันให้พุ่งขึ้นเมื่อถึงจุดเดือด อาจก่อให้เกิดอันตรายแก่ผู้ปฏิบัติงานได้ จากนั้นยกลง แล้วทิ้งไว้ให้แยกชั้นใสอีก 1-2 วัน เอาแต่ชั้นใสไปทำไบโอดีเซล ส่วนน้ำที่เหลือชั้นล่างให้นำมาหมักทำปุ๋ยเพื่อรดน้ำต้นไม้ สำหรับวิธีนี้มีข้อดีคือ น้ำมันใสที่ได้หลังจากการต้มจะมีคราบไขมันน้อย น้ำมันจะอยู่ในสภาพที่ดีกว่า และพร้อมต่อการทำปฏิกิริยา แต่อย่างไรก็ตามก่อนทำปฏิกิริยาควรต้องมีการไทเทรตก่อน เพื่อคำนวณหาสัดส่วนว่าจะต้องใช้สารเคมีเท่าไรจึงจะเหมาะสม

2.3.2 ขั้นตอนการหาปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยาที่ต้องใช้

น้ำมันเก่าที่ผ่านการใช้งานมาแล้วมีค่าความเป็นกรดสูงกว่าน้ำมันใหม่เพราะเมื่อน้ำมันพืชได้รับความร้อน จะทำให้เกิดเป็นสภาพกรดจากกรดไขมันลอออิสระปะปนอยู่กับไตรกลีเซอไรด์ในน้ำมันพร้อมที่จะเข้าทำปฏิกิริยาเมื่อเจอกับด่าง และเป็นตัวการสำคัญที่จะทำให้เกิด “เยลลี่” (Jelly) ในการทำน้ำมันไบโอดีเซล ดังนั้นจึงต้องทำการกำจัดกรดไขมันอิสระเหล่านี้ออกจากน้ำมันก่อนทำปฏิกิริยา ซึ่งทำได้โดยการใช้ด่างที่เป็นตัวเดียวกับตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งการการจะใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาในปริมาณเท่าใดนั้นจึงขึ้นอยู่กับว่า น้ำมันมีความเป็นกรดมากน้อยเพียงใด โดยการหาปริมาณด่างที่ต้องใช้ในปริมาณที่พอดีนั้นสามารถทำได้โดยการไทเทรต

การไทเทรต คือ การหาปริมาณของสารละลายมาตรฐานที่ทราบค่าความเข้มข้นที่แน่นอน เพื่อใช้ทำปฏิกิริยากับสารละลายที่ไม่ทราบความเข้มข้นแต่ทราบปริมาตร โดยการใช้การเปลี่ยนสีของอินดิเคเตอร์เป็นเกณฑ์ในการบอกจุดยุติ เมื่อกรดและด่างทำปฏิกิริยากันพอดีกันตามจุดสมมูล ก็จะทราบปริมาตรของสารละลายมาตรฐานแล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความเข้มข้นของสารละลายอื่นได้ การไทเทรตเพื่อหาปริมาณด่างที่ต้องใช้ในปริมาณที่พอดีกับน้ำมันชนิดนั้น ทำได้ 2 วิธี คือ

1) การไทเทรตแบบใช้กระดาษลิตมัส ทำดังนี้

1. ละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ลงในน้ำกลั่น 1 ลิตร ซึ่งจะทำให้ได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.1%

2. ละลายน้ำมันพืชหรือสัตว์ 1 มิลลิลิตร ลงในไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (โพรพานอล) 10 มิลลิลิตร ให้เป็นเนื้อเดียวกัน (ถ้าละลายยากก็อุ่นเล็กน้อย)

3. หยดสารละลายในขั้นตอนที่ 1 ลงในสารละลายในขั้นตอนที่ 2 ทีละหยด แล้ววัดค่าความเป็นกรดต่างโดยใช้กระดาษลิตมัสละเอียด จนได้ค่าความเป็นกรดต่างที่ประมาณ 8-9 จึงหยุด

4. นับปริมาตรในหน่วยมิลลิลิตรของสารละลายในขั้นตอนที่ 1 ที่หยดลงไป เพื่อคำนวณหาปริมาณโพแทสเซียมหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์

ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ การทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสที่แม่นยำจะมีราคาสูงเพราะต้องวัดเป็นช่วง ๆ อาจมีการผิดพลาดตรงช่วงที่ใกล้ถึงจุดยุติได้ หรือหากจะเลือกใช้เครื่องวัดค่าความเป็นกรดต่างก็จะมีราคาสูง

2) การไทเทรตแบบใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ทำดังนี้

1. ละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ลงในน้ำกลั่น 1 ลิตร ซึ่งจะทำให้ได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.1%

2. ละลายน้ำมันพืชหรือสัตว์ 1 มิลลิลิตร ลงในไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ (โพรพานอล) 10 มิลลิลิตร ให้เป็นเนื้อเดียวกัน (ถ้าละลายยากก็อุ่นเล็กน้อย)

3. หยดสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนลงไป 5-6 หยด จะเห็นสารละลายขณะนี้เป็นสีเหลืองอ่อน

4. หยดสารละลายในขั้นตอนที่ 1 ลงในสารละลายในขั้นตอนที่ 2 ทีละหยด คนหรือกวนอย่างสม่ำเสมอ แล้วสังเกตการเปลี่ยนสีของสารละลายจนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีชมพูถาวรไม่เปลี่ยนแปลง จึงหยุดหยดสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1% จนส่วนผสมของน้ำมันพืชหรือสัตว์ และไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์กลายเป็นสีชมพู

5. นับปริมาตร (มิลลิลิตร) ของสารละลายในขั้นตอนที่ 1 ที่หยดลงไปเพื่อคำนวณหาปริมาณโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์

ข้อจำกัดของวิธีนี้ คือ การหาซื้อสารละลายฟีนอล์ฟทาลีนอาจหาซื้อได้ยากในแถบจังหวัดห่างไกล และอาจต้องอาศัยประสบการณ์ในการสังเกตสี ซึ่งอาจเกิดความผิดพลาดตรงช่วงที่ใกล้ถึงจุดยุติได้ หากจะเลือกใช้เครื่องวัดค่าความเป็นกรดต่างก็จะมีราคาสูง

สูตรการคำนวณ

โซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องใช้ (กรัม) = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของ + 3.5
 คือน้ำมัน 1 ลิตร สารละลายข้อ 1 ที่หยดลงไป

โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ต้องใช้ (กรัม) = ปริมาตร (มิลลิลิตร) ของ + 5
 คือน้ำมัน 1 ลิตร สารละลายข้อ 1 ที่หยดลงไป

2.3.3 ขั้นตอนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลอย่างง่าย

1) นำน้ำมันพืชหรือสัตว์ที่ผ่านการเตรียมไว้แล้วจากการต้มหรือทิ้งไว้ให้ใส ตวงออกมาในปริมาณที่ต้องการ เช่น 500 มิลลิลิตร (หรือ ซีซี) หรือ ครึ่งลิตร

2) ตวงเมทานอลจำนวนหนึ่งในสี่ส่วนของน้ำมันพืชที่ใช้แล้ว หรือหนึ่งในห้าส่วนกรณีน้ำมันพืชใหม่ ระวังการสูดดมและสัมผัสเมทานอลลงขวดที่มีฝาปิดค่อย ๆ เทลงขวด

3) การละลายตัวเร่งปฏิกิริยาในเมทานอล ทำโดยนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ มาชั่งปริมาณ x กรัม ตามที่ได้จากการคำนวณ จากนั้นจึงนำค่างนั้นที่ชั่งเตรียมไว้เทใส่ลงในขวดที่เตรียมเมทานอลไว้แล้วเขย่า หรือคนให้ละลายเข้ากัน จนได้สารละลายใส ปิดฝาไว้ หากละลายปริมาณมาก ซึ่งมักจะมีความร้อนเกิดขึ้นระหว่างการละลายด้วย (อาจมีอุณหภูมิถึง 60 °C) จึงควรทำด้วยความระมัดระวัง

4) นำน้ำมันพืชหรือสัตว์ที่ผ่านการเตรียมไว้อุ่นให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิประมาณ 55-60 °C และระหว่างให้ความร้อนให้คนหรือกวนน้ำมันเป็นระยะ ๆ และระวังอย่าให้อุณหภูมิสูงเกินไปจากที่กำหนดไว้

5) นำสารละลายผสมของค่างกับเมทานอล (เรียกว่า เมท็อกไซด์) มาเทลงในน้ำมันพืชที่ร้อน 55-60 °C ลงในถังหรือขวดที่มีฝาปิด โดยเทผ่านกรวยกรอง จากนั้นเขย่าหรือกวนนานประมาณ 15-20 นาที (ในการใช้ปริมาณน้ำมันมากขึ้นก็ต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้น) จนเกิดไบโอดีเซลขึ้นซึ่งสังเกตได้จากสีของสารละลายโดยถ้าเกิดไบโอดีเซลแน่นอน สีของสารละลายจะต้องเข้มขึ้น ไม่ขุ่นขึ้นเหลืองครีม และอุณหภูมิจะสูงขึ้นด้วย

6) การทิ้งให้กลีเซอรินแยกตัว โดยการนำสารละลายผสมภายหลังจากการเขย่าหรือกวนมาตั้งทิ้งไว้เพื่อให้กลีเซอรินแยกตัว ซึ่งอาจใช้เวลานานพอสมควรซึ่งอาจใช้การตากแดดด้วยจะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาเกิดได้ต่อเนื่องสมบูรณ์ยิ่งขึ้นและการแยกตัวจะเกิดได้เร็วขึ้น โดยกลีเซอรินจะตกตะกอนแยกชั้นกับน้ำมันออกมาเป็นส่วนหนึ่งของของเหลวหนืด ๆ สีเข้มอยู่ด้านล่าง ส่วนเมทิลเอสเทอร์จะเป็นส่วนของของเหลวสีเหลืองใสอยู่ด้านบน

7) เมื่อทิ้งให้เกิดการแยกชั้นนานพอสมควรแล้ว (ประมาณ 2 ชั่วโมง) ทำการไขส่วนของกลีเซอรินที่เป็นส่วนสีเข้มที่แยกชั้นอยู่ด้านล่างออกมาจากน้ำมันไบโอดีเซล

8) การล้างน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อลดสิ่งสกปรกและปนเปื้อนในน้ำมันไบโอดีเซลออกไปนิยมทำโดยการเทน้ำเปล่าที่สะอาดประมาณ 10% ลงไปในน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อล้างตัวเร่งปฏิกิริยาออกไป (อาจใช้สปริงเกอร์ฉีดให้น้ำเป็นฝอย) ทำการคนหรือเขย่าเบา ๆ เพื่อให้ น้ำกระจายตัวประมาณ 5-10 นาที จะเห็นของเหลวทั้งหมดในขวดเป็นสีขุ่นขาว จากนั้นตั้งทิ้งไว้ประมาณ 1-2 ชั่วโมง จะสังเกตเห็นสีของไบโอดีเซลชั้นบนอ่อนลงกว่าก่อนการล้าง และเกิดไขสบู่ขึ้นเหนือชั้นน้ำแต่ต่ำกว่าชั้นไบโอดีเซล ให้ทำการไขน้ำของเหลวชั้นล่างสุด (ชั้นน้ำ) ออกทิ้งไป แล้วทำซ้ำอีกจนน้ำในชั้นล่างภายหลังจากการล้างน้ำมันไบโอดีเซลมีความใสมากขึ้น

9) การกรองน้ำมันไบโอดีเซลก่อนใช้งาน โดยใช้เครื่องกรองขนาด 1-5 ไมครอน เพื่อดักสิ่งสกปรก ก่อนนำไปเก็บไว้ในถังเก็บอีก 1-2 วัน ก็นำไปใช้งานได้ โดยนำไปเติมแทนหรือผสมน้ำมันดีเซลในรถกระบะ หรือเครื่องยนต์การเกษตรหรือเครื่องยนต์เรือได้

2.4 การตรวจสอบคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลอย่างง่าย

การทดสอบคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ถูกต้องแม่นยำนั้น สามารถทำได้โดยวิธีแก๊สโครมาโทกราฟี (Gas chromatography) และการทดสอบอื่น ๆ ตามมาตรฐานสากล แต่การตรวจสอบคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลอย่างง่ายสามารถทำได้ ดังนี้

2.4.1 การตรวจสอบด้วยสายตา

ทำการสังเกตการเปลี่ยนแปลงของปฏิกิริยาว่าเกิดขึ้นแล้วหรือไม่ได้ปฏิกิริยาที่ประสบความสำเร็จ จะมีของเหลวแยกเป็นสองชั้นอย่างเด่นชัด โดยชั้นบนคือน้ำมันไบโอดีเซลซึ่งจะมีสีอ่อนใสกว่า มีประมาณ 80-90% ส่วนชั้นล่าง คือ กลีเซอริน จะได้ประมาณ 10-20% แต่ถ้าหากพบว่ามีชั้นขุ่นขาวอยู่ชั้นกลางมากกว่า 10% แสดงว่าอาจมีน้ำในน้ำมันหรือใส่ตัวเร่งปฏิกิริยามากเกินไป ซึ่งแบบนี้จะใช้ไม่ได้ ต้องนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นก่อน 2-3 ครั้ง แต่ถ้าปฏิกิริยาเกิดเป็นเซลล์ หรือเป็นสบู่ทั้งหมด แสดงว่าการเกิดปฏิกิริยานั้นล้มเหลว

2.4.2 การทดสอบจุดไหลเท

จุดไหลเท (pour point) คือ อุณหภูมิต่ำสุดที่น้ำมันยังเป็นของเหลวพอที่จะไหลได้ ซึ่งวิธีการทดสอบทำโดยนำน้ำมันใส่หลอดแก้วแล้วแช่ให้เย็นลงเรื่อย ๆ และคอยเอนน้ำมันมาตรวจดูจนถึงจุดที่น้ำมันจะเริ่มแข็งตัวและไม่ไหล เมื่อถือหลอดแก้วตามแนวนอนเป็นเวลา 5 วินาที จุดไหลเทหรือจุดเริ่มไหล จะเป็นจุดที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดนี้ 5°F หรือ 2.7°C ซึ่งสถานภาพ ณ จุดนี้ เป็นเครื่องบอกว่าจะใช้น้ำมันที่มีอุณหภูมิต่ำขนาดนี้ไม่ได้เพราะน้ำมันจะไม่ไหล ไ้ที่มีอยู่ในน้ำมันจะแยกตัวออกมาอุดท่อทางเดินและหม้อกรองทำให้อุปกรณ์ทำงานไม่ได้ จุดไหลเทขึ้นอยู่กับปริมาณของไขในน้ำมันและคุณลักษณะของไขที่มีอยู่ด้วย น้ำมันที่ปริมาณไขสูงก็จะมีจุดไหลเทสูง

2.4.3 การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ

การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) เป็นการวัดค่าความหนาแน่นของของเหลว น้ำหนักของของเหลวเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำที่ปริมาตรเท่ากัน ถ้าสารเคมีนั้นไม่ละลายน้ำและมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 1 สารเคมีนั้นก็จะจมน้ำ แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่า 1 สารเคมีนั้นจะลอยน้ำ ค่านี้นี้จะช่วยเราอย่างดีในการบอกถึงคุณลักษณะของเชื้อเพลิง โดยค่านี้จะสัมพันธ์กับค่าความหนืดมาตรฐาน ASTM ของไบโอดีเซล โดยไบโอดีเซลที่ดีควรอยู่ในช่วง 0.86-0.89 หรือไม่ควรเกิน 0.90 ที่อุณหภูมิ 15.6 °C และค่าความหนืดที่ 40 °C ต้องไม่เกิน 6 ซึ่งหากไบโอดีเซลมีค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่า 0.900 อาจเป็นผลจากการทำปฏิกิริยาที่ไม่สมบูรณ์ ไม่ควรนำมาใช้งานกับเครื่องยนต์ที่ไม่ได้มีการดัดแปลงเครื่องยนต์ เพราะจะทำให้เครื่องยนต์เกิดการสึกหรอ มีปัญหาที่หัวฉีด และการปล่อยควันเสีย เป็นต้น สำหรับเครื่องมือที่ใช้วัด คือ ไฮโดรมิเตอร์ (hydrometer) ที่เบากว่าน้ำ (0.700-1.000) ทำการวัดได้สะดวก ๆ และมีราคาไม่แพง การวัดทำได้โดยนำน้ำมันที่จะวัดมาใส่ในภาชนะรูปทรงกระบอก จากนั้นค่อย ๆ หย่อนไฮโดรมิเตอร์ลงไปแล้วอ่านค่าตรงส่วนเว้า โดยอนุโลมให้ใช้อุณหภูมิที่อุณหภูมิห้องได้ แต่ถ้าจะให้ดีกว่านี้ควรวัดที่อุณหภูมิ 15.6 °C ซึ่งค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันไบโอดีเซลโดยทั่วไปอยู่ที่ 0.880 และสำหรับค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำมันพืชทั่วไปอยู่ที่ 0.920 หรือมากกว่า

2.4.4 การตรวจสอบค่าความเป็นกรดค่า

การทดสอบโดยตรวจสอบค่าความเป็นกรดค่า โดยใช้กระดาษลิตมัส ซึ่งน้ำมันที่ดีจะไม่มีความเป็นด่างมากและไม่เป็นกรดมาก ช่วงค่าความเป็นกรดค่าใกล้เคียง 7 (6.8-7.3) สามารถยอมรับได้ แต่ถ้าหากค่าความเป็นด่างมากจะต้องล้างด้วยน้ำเปล่าอีกครั้งหนึ่ง แต่ถ้าหากเป็นกรดมาก ๆ อาจนำมาทำปฏิกิริยาใหม่อีกครั้งหนึ่ง

2.4.5 การทดสอบโดยตรวจสอบการแยกตัวของไบโอดีเซลกับน้ำ

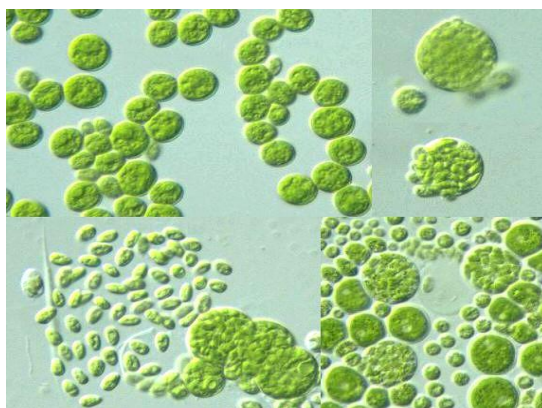
การทดสอบโดยการทดลองนำน้ำมันไบโอดีเซลใส่น้ำเปล่าแล้วทำการเขย่า หากเป็นน้ำมันไบโอดีเซลที่ดีจะแยกตัวกับน้ำได้เร็วและค่อนข้างใส แต่ถ้าหากไม่ได้คุณภาพตามนี้ ให้ล้างใหม่อีกครั้งหนึ่งหรือตั้งทิ้งไว้อีก 1-2 วัน แล้วจึงนำมาใช้งาน หากน้ำมันไบโอดีเซลนั้นมีคุณภาพให้น้ำไปเติมแทนหรือผสมน้ำมันดีเซลในรถกระบะหรือเครื่องยนต์การเกษตร เครื่องยนต์เรือได้ โดยไม่จำเป็นต้องทำการปรับแต่งเครื่องยนต์

2.5 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสาหร่าย

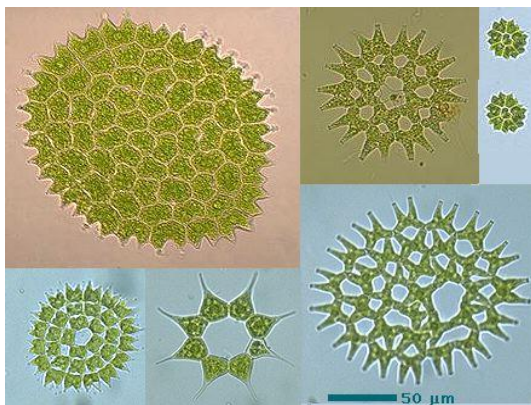
2.5.1 นิเวศวิทยาของสาหร่าย

สาหร่ายในที่นี้ หมายถึง พืชชั้นต่ำไม่มีส่วนที่เป็นราก ลำต้นและใบที่แท้จริง มีขนาดตั้งแต่เล็กมากมีเซลล์เดียว ไปจนถึงขนาดใหญ่ ประกอบด้วยเซลล์จำนวนมาก อาจเป็นเส้นสายหรือมีลักษณะคล้ายพืชชั้นสูงก็มี การแบ่งพวกสาหร่ายแบ่งตามรูปร่างลักษณะภายนอกหรือดูตามสี จึงมีสาหร่ายสีเขียว เขียวแกมน้ำเงิน น้ำตาล และสีแดง สาหร่ายสีบรอนซ์โดยไม่อาศัยเพศก็มี อาศัยเพศก็มี แหล่งที่อยู่ของสาหร่ายมีต่าง ๆ กันส่วนใหญ่อยู่ในแหล่งน้ำธรรมชาติ ทั้งน้ำจืด น้ำกร่อย น้ำเค็ม คุณค่าทางอาหารของสาหร่ายพบว่าไม่สูงมากนัก คาร์โบไฮเดรตที่มีอยู่เป็นพวกที่ย่อยยากในตัวคน โปรตีนก็น้อยแต่สิ่งที่ได้จากสาหร่าย คือ แร่ธาตุและวิตามินหลายชนิด นอกจากเป็นอาหารคนแล้วยังใช้เป็นอาหารสัตว์ เป็นปุ๋ยและเป็นยา ตัวอย่างของสาหร่ายชนิดต่าง ๆ มีดังนี้

สาหร่ายสีเขียว (Green algae) เป็นสิ่งมีชีวิตในไฟลัมคลอโรไฟตา มีทั้งที่อยู่ในน้ำจืดและน้ำเค็ม สาหร่ายสีเขียวนี้มีโคโรพลาสต์ที่มีคลอโรฟิลล์เอและบีเป็นส่วนประกอบหลัก มีแคโรทีนอยด์และแซนโทฟิลล์เป็นส่วนประกอบรองจึงเห็นสีเขียวเด่นชัด พบได้ตามบึงคูน้ำบ่อบางชนิดให้โปรตีนสูงสามารถสกัดมาใช้ประโยชน์ประกอบอาหารได้ ตัวอย่างของสาหร่ายสีเขียวน้ำจืด ที่มักพบทั่วไปได้แก่ สาหร่ายสีเขียวเซลล์เดี่ยวขนาดเล็ก เช่น *Chlorella sp.* สาหร่ายสีเขียวเซลล์รวมกันเป็นกลุ่ม เช่น *Scenedesmus sp.*, *Pedistrum sp.*, *Volvox sp.* และ *Oesogonium sp.* สาหร่ายสีเขียวที่เซลล์ต่อกันเป็นสาย เช่น *Spirogyra sp.* หรือเท้าน้ำ และ *Urothrix sp.* เป็นต้น สำหรับสาหร่ายสีเขียวที่เป็นสาหร่ายทะเล เช่น สาหร่าย *Asetabularia sp.* และ *Ulva Codium sp.* เป็นต้น ตัวอย่างของสาหร่ายสีเขียวบางชนิดที่มักพบได้ตามแหล่งน้ำทั่วไป แสดงดังรูปที่ 2.1-2.4



รูปที่ 2.1 แสดงสาหร่ายสีเขียวเซลล์เดี่ยวขนาดเล็กสายพันธุ์ *chlorella sp.*



รูปที่ 2.2 แสดงสาหร่ายสีเขียวที่เซลล์รวมกันเป็นกลุ่ม สายพันธุ์ *Volvox* sp.



รูปที่ 2.3 แสดงสาหร่ายสีเขียวที่เซลล์ต่อกันเป็นสาย สายพันธุ์ *Spirogyra* sp.

Ulva lactuca



รูปที่ 2.4 แสดงสาหร่ายสีเขียวที่พบในทะเลสายพันธุ์ *Ulva lactuca*.

สาหร่ายสีน้ำตาลแกมเหลือง อยู่ในไฟลัมคริสโซไฟตา เป็นสาหร่ายที่มีรงควัตถุที่พบในคลอโรพลาสต์ คือ คลอโรฟิลล์เอและซีและมีฟิวโคแซนทินถึงร้อยละ 75 แต่น้อยกว่าสาหร่ายสีน้ำตาล ทำให้สาหร่ายพวกนี้มีสีน้ำตาลแกมเหลืองเด่นชัด จัดเป็นผู้ผลิตที่มีปริมาณมากที่สุดในทะเล ได้แก่ อะตอม โดยมีประโยชน์ในด้านอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย เช่น ใช้ในน้ำยาขัดเครื่องเงิน เครื่องทองเหลือง ใช้ในการฟอกสี และใช้เป็นฉนวน เป็นต้น



รูปที่ 2.5 แสดงสาหร่ายสีน้ำตาลแกมเหลือง ไดอะตอมชนิดต่าง ๆ

สาหร่ายสีน้ำตาล (Brown algae) เป็นสาหร่ายน้ำเค็มขนาดใหญ่ อยู่ในไฟลัมฟีโอไฟตา มีวิวัฒนาการที่สูงขึ้นโดยมีส่วนที่คล้ายราก ลำต้น และใบของพืช สาหร่ายชนิดนี้ในคลอโรพลาสต์จะพบรงควัตถุสีเขียว คือ คลอโรฟิลล์เอและซี และมีรงควัตถุสีน้ำตาลที่มีปริมาณมากคือฟิวโคแซนทินทำให้สาหร่ายพวกนี้มีสีน้ำตาลที่เด่นชัด เช่น สาหร่ายเคลป์ เป็นสาหร่ายสีน้ำตาลขนาดใหญ่ยาวกว่า 50 เมตร มีประโยชน์เป็นแหล่งอาหาร ที่อยู่อาศัยและที่หลบภัยของสัตว์ทะเล สาหร่ายลามินาเรียและเคลป์ ใช้ในการสกัดสารแอลจินสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมยา และสาหร่ายชาร์แกสซัม หรือสาหร่ายทุ่น มักใช้เป็นอาหารที่ใช้ให้อาหารสัตว์สูง ตัวอย่างของสาหร่ายสีน้ำตาลแสดงได้ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงสาหร่ายสีน้ำตาลที่พบในทะเล

สาหร่ายสีแดง (Red algae) อยู่ในไฟลัมโรว์โคไฟตา ภายในคลอโรพลาสต์ประกอบด้วยรงควัตถุ คลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี คาโรทีนอยด์ และไฟโคอิริทริน เป็นสาหร่ายที่มีประโยชน์ต่อมนุษย์ เช่นเดียวกับสาหร่ายสีน้ำตาล เนื่องจากสารเมือกที่สกัดออกจากผนังเซลล์เรียกว่า คาร์เรจีแนน (carragenan) ที่สามารถนำมาผลิตเป็นวุ้นได้ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาใช้ประกอบเป็นอาหารได้โดยตรงที่รู้จักกันดีในชื่อว่า “เจียวกู่”



รูปที่ 2.7 แสดงสาหร่ายสีแดงที่ส่วนใหญ่พบในทะเล

สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Blue-green algae) อยู่ในไฟลัมไซยาโนแบคทีเรีย จึงมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า "ไซยาโนแบคทีเรีย" (Cyanobacteria) เป็นพืชน้ำชนิดหนึ่งที่มีคุณสมบัติบางอย่างคล้ายแบคทีเรียและบางอย่างคล้ายพืช ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม โดยเฉพาะในน้ำนิ่งจะเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว และมีความหนาแน่นมาก ที่เรียกว่า "บลูม" (Bloom) และภายในสภาพแวดล้อมบางอย่างจะลอยตัวขึ้นสู่ผิวน้ำ มองเห็นพื้นน้ำเป็นสีเขียวแกมน้ำเงิน เรียกว่า "สกัม" (Scum) สาหร่ายชนิดนี้บางสายพันธุ์สามารถผลิตสารเคมีที่เป็นพิษ หรือเรียกว่าสารพิษ (Cyanobacteria toxins) ได้ ซึ่งเป็นอันตรายแก่ทั้งคนและสัตว์ ตัวอย่างของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน หรือเรียกว่าไซยาโนแบคทีเรีย

สำหรับสาหร่ายบนที่อยู่อาศัยเทียม มีทั้งหมด 3 ดิวิชั่น 17 วงศ์ 19 สกุล โดยพบสาหร่ายที่มีจำนวนชนิด และจำนวนเซลล์มากที่สุด คือ ไดอะตอม (Division Chrysophyta) รองลงมา คือ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน (Division Cyanophyta) และสาหร่ายสีเขียว (Division Chlorophyta) ตามลำดับ โดยองค์ประกอบของสาหร่ายที่พบบนที่อยู่อาศัยเทียมในทั้งกลุ่มควบคุม และกลุ่มทดลองเหมือนกัน ไดอะตอม (Division Chrysophyta) พบทั้งหมด 12 วงศ์ 12 สกุล ได้แก่ วงศ์ Bacillariaceae พบ *Nitzschia sp.* ซึ่งพบมากที่สุด รองลงมาคือวงศ์ Naviculaceae พบ *Navicula sp.*, วงศ์ Fragillariaceae พบ *Fragillaria sp.*, วงศ์ Rhopalodiaceae พบ *Epithemia sp.*, วงศ์ Surirellaceae พบ *Sirurella sp.*, วงศ์ Eunotiaceae พบ *Eunotia sp.*, วงศ์ Pinnulariaceae พบ *Pinnularia sp.*, วงศ์ Melosiraceae พบ *Melosira sp.*, วงศ์ Tribonemataceae พบ *Tribonema sp.*, วงศ์ Catenulaceae พบ *Amphora sp.*, วงศ์ Cocconeidaceae พบ *Cocconeis sp.* และวงศ์ Cymbellaceae พบ *Cymbella sp.* ตามลำดับ

2.5.2 ความสำคัญของสาหร่าย

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กแต่มีความสำคัญอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านเศรษฐกิจของประเทศต่าง ๆ ที่รู้จักการนำสาหร่ายมาใช้ประโยชน์เป็นเวลานานมาแล้ว โดยความสำคัญของสาหร่ายในด้านต่าง ๆ และตัวอย่างการใช้ประโยชน์ของสาหร่ายมีดังนี้

ความสำคัญต่อระบบนิเวศ : สาหร่ายดำรงชีวิตแบบออโตโทรฟิก อออร์กะนิซึม (autotrophic organism) เป็นสิ่งมีชีวิตที่ผลิตออกซิเจนให้กับสิ่งแวดล้อมอย่างสำคัญทีเดียว ประมาณว่า 50% ของกระบวนการสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นโดยสาหร่าย นอกจากนี้สาหร่ายยังเป็นผู้ผลิต (producer) และเป็นส่วนหนึ่งของห่วงโซ่อาหารขั้นต้น ๆ ของสิ่งมีชีวิตในน้ำ โดยเป็นอาหารของตัวอ่อนแมลง ลูกกุ้ง ลูกปลา หรือแม้แต่ปลาที่โตเต็มที่แล้ว จะเห็นได้ว่าผลผลิต (productivity) จากทะเล มหาสมุทรและทะเลสาบทั่วไปก็ตาม จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณแพลงตอนพืชที่อยู่ในน้ำในแหล่งนั้น ๆ

ความสำคัญทางด้านอาหาร: มนุษย์นำสาหร่ายมาใช้เป็นอาหารมานานแล้ว ทั้งเป็นอาหารของคนและอาหารของสัตว์ ซึ่งจะแยกกล่าวดังต่อไปนี้

- อาหารของคน

ชาวจีนเป็นพวกแรกที่นำสาหร่ายมาเป็นอาหาร เช่น สาหร่ายสีน้ำตาล สาหร่ายแดง แต่ปัจจุบันนี้ปรากฏว่า ชาวญี่ปุ่นเป็นชาติที่นิยมบริโภคสาหร่ายทะเลกันมากที่สุดและสามารถเปิดฟาร์มเพาะเลี้ยงสาหร่ายทะเลอย่างเป็นล่ำเป็นสัน สาหร่ายที่นิยมนำมารับประทานส่วนมากจะเป็นสาหร่ายสีแดงพวก porphyra หรือเรียกว่า จิฉาย

- อาหารของสัตว์

มนุษย์นำสาหร่ายมาเป็นอาหารของสัตว์มานานมาแล้ว โดยเฉพาะประเทศทางยุโรป อาจเป็นอาหารสดให้กับสัตว์ เช่น วัว ควาย แพะ แกะ เพราะสัตว์เหล่านี้มีน้ำย่อยพิเศษที่สามารถย่อยผนังเซลล์ของสาหร่าย ซึ่งเป็นพวกเซลล์ลูโลสได้

2.5.3 ประเภทของสาหร่ายที่นำมาใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

สาหร่ายโดยทั่วไปแล้วแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มได้แก่ สาหร่ายขนาดใหญ่ (Macroalgae) และสาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) สาเหตุที่สาหร่ายขนาดเล็กได้รับความสนใจในการนำมาผลิตน้ำมันไบโอดีเซล เนื่องจากภายในเซลล์สาหร่ายบางพันธุ์ มีการสะสมน้ำมันไว้สูงเกือบร้อยละ 80 ของน้ำหนักแห้ง เช่น สายพันธุ์ *Botryococcus braunii* (25-75%) สายพันธุ์ *Chlorella sp.* (28-32%) สายพันธุ์ *Naanochloropsis sp.* (31-68%) สายพันธุ์ *Neochloris oleoabundans* (35-54%) และสายพันธุ์ *Schizochytrium sp.* (50-77%) เป็นต้น สาหร่ายขนาดเล็กส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายสีเขียว มีลักษณะเซลล์เดี่ยว (unicellular) มักอยู่รวมกันเป็นกลุ่มโคโลนี และสามารถอยู่รวมกันกับสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นได้ โดยทั่วไปมักจะพบสาหร่ายตามแหล่งน้ำธรรมชาติ และมีคุณสมบัติเด่น ที่ทำให้สาหร่ายแตกต่างจากพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ คือ ความรวดเร็วในการสะสมพลังงานภายในเซลล์ในรูปของสารอินทรีย์ โดยเปลี่ยนพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่ใช้ในการสังเคราะห์แสง นอกจากนี้การเลี้ยงสาหร่ายก็ทำได้ไม่ยาก เมื่อเทียบกับการปลูกพืชที่ใช้ไขมันชนิดอื่น ๆ เพราะสาหร่ายสามารถเติบโตได้ และสามารถให้สารอาหารในรูปของแก๊สของเสีย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ทำให้เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายนี้มีความพิเศษและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมมาก

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงต้องการที่จะศึกษาชนิดและสายพันธุ์ของสาหร่ายที่ให้ไขมันได้ ที่พบได้ในแหล่งน้ำทั่วไป ในท้องถิ่นของจังหวัดเพชรบูรณ์ การเพาะเลี้ยง วิธีการสกัดน้ำมันออกจากสาหร่าย การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่าย และคุณภาพของน้ำมันที่ได้จากน้ำมันที่สกัดจากสาหร่าย เป็นต้น เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการสร้างพลังงานทดแทนน้ำมัน จากน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่าย ซึ่งจะทำให้เกิดการส่งเสริมให้เกษตรกรในจังหวัดเพชรบูรณ์ได้เลี้ยงสาหร่ายที่มีศักยภาพในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ที่สามารถนำไปใช้ในการดำเนินงานด้านการเกษตร หรือการจัดจำหน่ายสร้างรายได้เพิ่มให้กับครอบครัวได้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิโนรส ศรีศิริ และ คณะ (2552) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและเปอร์เซ็นต์ของการสะสมไขมันในการเลี้ยงสาหร่ายพื้นเมือง ในขวดแก้วใส (PET) โดยใช้สูตรอาหารดัดแปลงของวาตานาเบ้และกอนซาเลซ มีการให้ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ 1% ณ ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ และ 5,000 ลักซ์ โดยใช้แสงสีส้มและแสงสีขาวจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์ ช่วงเวลาของการให้แสงสว่างต่อมืดเท่ากับ 12 : 12 และ 16 : 8 ชั่วโมง อุณหภูมิประมาณ 27-29 องศาเซลเซียส ทำการเลี้ยงเป็นเวลา 8 วัน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันของสาหร่ายท้องถิ่นพื้นเมืองจากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้สาหร่ายพื้นเมืองมีการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 0.542 ต่อวัน และมีไขมันสะสมในเซลล์ร้อยละ 6.42 ตามลำดับ ณ ความเข้มแสง 5,000 ลักซ์ โดยมีแสงสีส้มเป็นแหล่งพลังงาน ช่วงสว่างต่อมืดเท่ากับ 16 : 8 ชั่วโมง ปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์และกลูโคสเท่ากับ 0.003 และ 0.45 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ

พนิดา รัตนพลที และ ผกาวิไล แก่นกันเนตร (2551) ได้ศึกษาศักยภาพการผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่ายขนาดเล็ก ซึ่งได้สรุปผลการศึกษาว่าสาหร่ายขนาดเล็กเป็นพืชอีกชนิดหนึ่งที่มีศักยภาพสูง ที่จะสามารถนำมาเป็นพืชทางเลือกเพื่อใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้ อย่างไรก็ตามการที่จะทำให้การผลิตน้ำมันไบโอดีเซล อย่างไรก็ตามการที่จะทำให้การผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่ายได้รับการยอมรับจากผู้อุปโภคทั่วไป จำเป็นจะต้องมีการศึกษาและพัฒนา เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลอย่างครบถ้วนสมบูรณ์เกี่ยวกับการผลิต อาทิ เทคนิคการเพาะเลี้ยงเพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์และชักนำให้เกิดการสะสมกรดไขมัน เทคนิคการสกัดเพื่อนำน้ำมันออกมาจากเซลล์สาหร่าย สภาวะที่เหมาะสมต่อปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ของการผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่ายหรือแม้กระทั่งคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่าย

พวงผกา คำรัตน์ และ พิมพรรณ ดันสกุล (2549) ได้ศึกษาผลของช่วงแสงต่อการเจริญเติบโตและปริมาณไฮโดรคาร์บอนในสาหร่าย *Botryococcus braunii* ที่เลี้ยงในน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยพบว่าการเลี้ยงสาหร่าย *Botryococcus braunii* ที่มีไฮโดรคาร์บอนสูงในอาหารสังเคราะห์ Modified Chu 13 ความเป็นกรด-เบส 6.7 โดยเลี้ยงในขวดแก้วกันแบนปริมาตร 2 ลิตร ความหนาแน่นของเซลล์เริ่มต้น 0.75 กรัม/น้ำหนักแห้ง/ลิตร ให้อากาศผสมคาร์บอนไดออกไซด์ 1 % อัตรา 7 ลิตร/นาที่ อุณหภูมิ 25 °C ความเข้มแสง 1000 ลักซ์ ช่วงสว่างต่อมืดเท่ากับ 12 : 12 ชั่วโมง 16 : 8 ชั่วโมง และให้แสงอย่างต่อเนื่อง (24 ชั่วโมง) ทำการเลี้ยงแบบกะ พบว่าสาหร่ายเติบโตดีที่สุดเมื่อรับแสงอย่างต่อเนื่อง มีค่าน้ำหนักเซลล์แห้งเท่ากับ 11.97 กรัม/ลิตร ในวันที่ 14 อัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุดเท่ากับ 3.6 ต่อวัน ซึ่งมีความแตกต่างจากชุดที่ให้แสงเป็นช่วง อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เลี้ยงสาหร่าย *B. braunii* ในน้ำทิ้งจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเล (ปริมาตรในเตรท 26 มก./ลิตร) เลี้ยงเปรียบเทียบกับในอาหารสังเคราะห์สูตร Modified Chu13 ให้แสงอย่างต่อเนื่อง พบว่าสาหร่ายเติบโตดีที่สุดคือน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ 13.61 กรัม/ลิตร โดยสาหร่ายสามารถลดปริมาณไนเตรท ฟอสเฟต และแอมโมเนียในน้ำทิ้งได้เท่ากับ

73%, 74% และ 79% ตามลำดับ นอกจากนั้นสามารถสกัดไฮโดรคาร์บอนจากสาหร่าย *B. braunii* ได้ 34% ของน้ำหนักแห้ง

Moser (2009) ได้รายงานเกี่ยวกับการผลิตไบโอดีเซล สมบัติของไบโอดีเซล และวัตถุดิบที่ใช้ โดยสรุปได้ว่า ไบโอดีเซล เป็น สารโมโนอัลคิลเอสเทอร์ (monoalkyl esters) ของพืชให้น้ำมัน หรือ ไขมันจากสัตว์ ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและน่าสนใจที่สามารถใช้แทนน้ำมันดีเซลที่ใช้ในยานพาหนะ ได้ โดยน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตขึ้นโดยปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (transesterification) ด้วย โมโนไฮดริค แอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล ซึ่งไบโอดีเซลมีข้อดีหลายประการ เช่น มีสภาพหล่อลื่นดี มีความเป็นพิษต่ำ ผลิตได้จากชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรที่มีน้ำมันเหลืออยู่ และมีปริมาณซัลเฟอร์ที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้น้อย เป็นต้น แต่สิ่งที่ยังเป็นข้อด้อยของการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลคือ ต้องใช้ปริมาณของสารชีวมวลจำนวนมาก การเก็บรักษา และการถูกออกซิไดส์ทำให้เสียสภาพ เป็นต้น

Aresta et. Al., (2005) ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่ายขนาดใหญ่ *C. Linum* โดยใช้วิธี thermochemical liquefaction และวิธี supercritical CO₂ extraction พบว่าวิธีแรกสามารถใช้สาหร่ายเปียกในการผลิตได้ ในขณะที่วิธีที่สองต้องใช้สาหร่ายแห้ง โดยวิธี thermochemical liquefaction นี้จะใช้ อุณหภูมิประมาณ 350 °C และ 395 °C เพื่อที่จะให้ได้น้ำมันจากสาหร่าย โดยองค์ประกอบของน้ำมันที่ได้จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้และปริมาณของกรดไขมันสายยาวจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิต่ำ และการสลายตัวจะเกิดขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิสูง ซึ่งระหว่างวิธีการทั้งสองในการสกัดน้ำมันจากไบโอดีเซล วิธี thermochemical liquefaction มีประสิทธิภาพที่จะใช้ในการสกัดน้ำมันจากสาหร่ายได้ดีกว่าวิธี supercritical CO₂ extraction จากการเปรียบเทียบในเชิงปริมาณของน้ำมันที่สกัดได้ แต่มีข้อเสียที่อาจเกิดการสลายตัวได้ที่อุณหภูมิสูง

Sharif Hossain et. al. (2008) ได้ศึกษาการผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่ายสำหรับเป็นพลังงานทดแทน พบว่าสาหร่ายที่มีการเจริญเติบโตในสถานะที่มีแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ด้วย จะทำให้สาหร่ายสามารถผลิตน้ำมันได้ ซึ่งจากการศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลโดยใช้วิธีทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน พบว่าสามารถได้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีคุณภาพที่เหมาะสม โดยการศึกษาได้ใช้สาหร่ายสายพันธุ์ *Oedogonium* และสายพันธุ์ *Spirogyra* ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล ซึ่งพบว่า สาหร่าย *Oedogonium* sp. สามารถผลิตน้ำมันและไบโอดีเซลได้สูงกว่าสาหร่าย *Spirogyra* sp. แต่อย่างไรก็ตามปริมาณกากที่ได้จากการสกัดน้ำมันจากสาหร่ายของ *Spirogyra* sp. จะมีปริมาณที่มากกว่าสาหร่าย *Oedogonium* sp. โดยน้ำมันที่ได้มีค่าความเป็นกรดต่างไม่แตกต่างกันจากการใช้สาหร่ายทั้งสองสายพันธุ์ ดังนั้นจากผลที่ได้จึงบอกได้ว่าสามารถผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้จากสาหร่ายทั้งสองสายพันธุ์ แต่การใช้สาหร่ายสายพันธุ์ *Oedogonium* sp. ในการผลิตจะดีกว่าการใช้สาหร่าย *Spirogyra* sp.

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือและอุปกรณ์	รุ่น	บริษัทผู้ผลิต
เครื่องชั่งทศนิยม ตำแหน่ง (Analytical balance)	BP 210S	Sartorius, Germany
เครื่องวัดความหนืด (Viscometer)	RI:2:H1	Rheology international, Ireland
เครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze dryers)	Flexi-Dry™ MP	FTS System, USA
เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter)	4330	Jenwar, UK
เตาอบ (Hot air oven)	UM500	Memmert, Germany
เครื่องให้ความร้อนและหมุนเวียน (Hotplate & Stirrer)	4658	Cole-Parmer, USA
เครื่องปั่นบดสาร (Blender)	P1000	Haminton, Italy
เตาเผาอุณหภูมิสูง (Muffle furnaces)	CWF1300	SCIENTIFIC, Thailand
เครื่องบดสารแบบบอลมิลล์ (Ball-mill machine)	Home made	Thaiarsaco Thailand

3.1.2 สารเคมี

ในการวิจัยนี้ สารเคมีที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

สารเคมี	สูตรเคมี	MW (g/mol)	เกรด	บริษัทผู้ผลิต
เฮกเซน (Hexane)	C_6H_{14}	86.18	AR	Fluka, Switzerland
ไอโซโพรพานอล (Isopropanol)	C_3H_7OH	58	AR	Merck, Germany
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide)	NaOH	40.00	Lab	Carlo Erba, Italy
กรดไฮโดรคลอริก 37% (v/v) (Hydrochloric acid)	HCl	36.46	AR	Merck, Germany
กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid)	H_2SO_4	98.08	AR	Merck, Germany
ฟีนอล์ฟทาลีน (Phenolphthalein)	$C_{20}H_{14}O_4$	318.33	AR	Fluka, Switzerland
เมทานอล (Methanol)	CH_3OH	32.0	AR	Carlo Erba, Italy
โซเดียมซัลเฟต (Sodium sulfate)	Na_2SO_4	142.04	AR	Fisher, USA
แบเรียมคลอไรด์ไดไฮเดรต (Barium chloride dihydrate)	$BaCl_2 \cdot H_2O$	244.26	AR	Merck, Germany
ไฮดรอกซิลเอมีนไฮโดรคลอไรด์ (Hydroxyamine hydrochloride)	$NH_2OH \cdot HCl$	69.49	AR	Aldrich, USA
โพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลท (Potassium hydrogen phthalate)	$C_8H_5KO_4$	204.22	AR	Merck, Germany
เฟอริกคลอไรด์เฮกซะไฮเดรต (Ferric chloride hexahydrate)	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	270.30	AR	Sigma-Aldrich, Singapore

3.2 การเตรียมสารละลาย

3.2.1 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1%

ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 1 กรัม ละลายด้วยน้ำกลั่นประมาณ 200 ml ในบีกเกอร์ จากนั้นเทลงไปในขวดปริมาตรขนาด 100 ml แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 1000 ml ด้วยน้ำกลั่น

3.2.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 6 M

ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์หนัก 24 g จากนั้นนำไปละลายด้วยน้ำกลั่นประมาณ 60 ml ในบีกเกอร์ จากนั้นเทลงไปในขวดปริมาตรขนาด 100 ml แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 ml ด้วยน้ำกลั่น

3.2.3 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5-20 %

ปีเปตกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (37%) ปริมาตร 13.5, 27.1, 40.5 และ 54.1 ml ลงในขวดปริมาตรขนาด 100 ml ที่บรรจุน้ำกลั่นไว้บางส่วนแล้วจำนวน 4 ขวด ตามลำดับ แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร ภายหลังการเขย่าให้เข้ากันจะได้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 5, 10, 15, และ 20 % ตามลำดับ

3.2.4 สารละลายไฮดรอกซิลเอมีนไฮโดรคลอไรด์ความเข้มข้น 0.5 M

ชั่งไฮดรอกซิลเอมีนไฮโดรคลอไรด์ 8.686 g นำไปละลายด้วยเอทานอลประมาณ 150 ml ในบีกเกอร์ จากนั้นทำการถ่ายลงในขวดปริมาตรขนาด 250 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยเอทานอลจนถึงขีดปริมาตร

3.2.5 สารละลายโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลทความเข้มข้น 0.1 N

นำโพแทสเซียมไฮโดรเจนฟทาเลทไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 2 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนัก 2.04 g ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 50 ml ในบีกเกอร์ขนาด 100 ml จากนั้นถ่ายลงในขวดปริมาตรขนาด 100 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

3.2.6 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N

ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์หนัก 5.61 g ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 200 ml ในบีกเกอร์ขนาด 250 ml จากนั้นถ่ายลงในขวดปริมาตรขนาด 1000 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

3.2.7 สารละลายไอรอน (III) คลอไรด์ความเข้มข้น 5%

ชั่งไอรอน (III) คลอไรด์เฮกซะไฮเดรตน้ำหนัก 8.33 g ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 50 ml ในบีกเกอร์ขนาด 100 ml จากนั้นถ่ายลงในขวดปริมาตรขนาด 100 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

3.2.8 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 1.0 M

ปีเปตกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 37% ปริมาตร 13.63 ml ใส่ลงใน ขวดปริมาตร ขนาด 250 ml ที่มีน้ำกลั่นอยู่แล้วประมาณ 100 ml แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

3.2.9 การเตรียมฟีนอล์ฟทาลินอินดิเคเตอร์

ชั่งฟีนอล์ฟทาลินมาหนัก 0.1 g ละลายด้วยไอโซโพรพานอลปริมาตร 60 ml แล้วเทลงไปในขวดปริมาตรขนาด 100 ml ทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจนถึงขีดปริมาตร

3.2.10 การเตรียมสูตรอาหารดัดแปลงสำหรับเลี้ยงสาหร่าย

เตรียมสูตรอาหารดัดแปลงของ Watanabe's medium โดยเตรียมสารละลายผสมที่มีสารต่าง ๆ ดังนี้ NaNO_2 0.05 g/L, KNO_3 0.15 g/L, KH_2PO_4 0.025 g/L, MgSO_4 0.002 g/L, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.002 g/L, Thiaminhydrochloride (Vitamin B₁) 0.001 g/L, CaCl_2 0.005 g/L, K_2HPO_4 0.025 g/L, Glucose 1.00 g/L, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.005 g/L, และ A5 solution 1 ml เตรียมโดย $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 1.80 g/L, ZnSO_4 0.22 g/L, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.08 g/L, H_3BO_3 0.06 g/L, pH 6.5

3.3 การศึกษาชนิดและสายพันธุ์ของสาหร่ายที่มีศักยภาพใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

3.3.1 การศึกษาชนิดและสายพันธุ์ของสาหร่ายในท้องถิ่น

ทำการออกพื้นที่สำรวจหาสาหร่ายในท้องถิ่นของจังหวัดเพชรบูรณ์ ตามแหล่งเก็บน้ำในเขตอำเภอเมือง อำเภอหล่มสัก และอำเภอบึงสามพัน ในช่วงระหว่าง เดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนมิถุนายน โดยทำการถ่ายรูปบันทึกภาพสาหร่ายและสภาพแวดล้อม และเก็บตัวอย่างสาหร่าย แล้วนำมาศึกษาข้อมูลลักษณะทางกายภาพอย่างละเอียดด้วยกล้องจุลทรรศน์ แล้วนำข้อมูลที่ได้ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับชนิดและสายพันธุ์ของสาหร่ายที่พบในประเทศไทยจากฐานข้อมูลต่าง ๆ และจากข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต

3.3.2 การประเมินปริมาณน้ำมันในสาหร่ายเพื่อนำไปผลิตน้ำมันไบโอดีเซล

การประเมินในขั้นต้นเพื่อหาปริมาณน้ำมันในสาหร่ายแต่ละชนิด ทำโดยการสกัดน้ำมันจากสาหร่ายโดยใช้ตัวทำละลายผสม เอกเซนและอีเธอร์ จากนั้นจึงนำน้ำมันที่ได้จากสาหร่ายแต่ละชนิดไปเปรียบเทียบปริมาณและความยากง่ายในการสกัด โดยขั้นตอนต่าง ๆ ในการศึกษาประเมินน้ำมันจากสาหร่ายทำได้ดังนี้

1. ล้างสาหร่ายด้วยน้ำสะอาดหลาย ๆ ครั้งจนสามารถกำจัดสิ่งสกปรกที่ตกค้างอยู่ให้หลุดออกไป
2. กรองแยกน้ำออกจากสาหร่าย แล้วนำไปผึ่งทิ้งไว้ให้แห้งพอหมาด
3. นำสาหร่ายที่แห้งพอหมาดนั้น ไปลดขนาดด้วยเครื่องปั่น (blender) ให้มีขนาดเล็กลง

4. นำสาหร่ายที่ผ่านการลดขนาดแล้วไปแช่แข็งที่อุณหภูมิประมาณ -10°C แล้วนำไปทำให้แห้งเป็นผงด้วยเครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง (freeze-dryer)
5. ชั่งสาหร่ายผงนั้นปริมาณ 10 g ใสลงไปในสารผสมระหว่างเฮกเซนและอีเธอร์ ที่มีอัตราส่วนเฮกเซน : อีเธอร์ เท่ากับ 20 ml : 20 ml แล้วทิ้งไว้นานประมาณ 24 ชั่วโมง
6. เมื่อครบกำหนดเวลานำสารผสมนั้นมาทำการกรองเพื่อแยกกากของสาหร่ายออกไป (โดยกากสาหร่ายที่ได้นำไปทำการอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80°C)
7. นำส่วนของของเหลวผสมที่มีน้ำมันจากสาหร่ายอยู่ไปทำการระเหยเพื่อแยกตัวทำละลายเฮกเซนและอีเธอร์ออกไปโดยใช้เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (rotary evaporator) ที่อุณหภูมิประมาณ $40-50^{\circ}\text{C}$
8. ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 5-7 จนใช้สาหร่ายผงครบ 100 g และใช้สาหร่ายทุกชนิดที่สำรวจพบ
9. เก็บรวบรวมน้ำมันสาหร่ายที่ได้ แล้วทำการประเมินปริมาณน้ำมันที่ได้จากสาหร่ายแต่ละชนิด

3.4 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงสาหร่ายและการเตรียมสาหร่ายแห้ง

3.4.1 การศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

นำสาหร่ายที่ศึกษาพบว่ามีปริมาณน้ำมันมากและมีความเหมาะสมในการที่จะใช้เป็นแหล่งที่มาของน้ำมันสาหร่ายที่ใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลมาจำนวน 2 ชนิด เพื่อทำการศึกษาสถานะที่เหมาะสมสำหรับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยจะศึกษาถึงปัจจัยหลัก ๆ 2 ปัจจัย คือ 1) ปัจจัยของความเข้มแสงและช่วงการให้แสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย และ 2) ปัจจัยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ดังนี้

- 1) การศึกษาปัจจัยของความเข้มแสงและช่วงการให้แสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย
 1. ถ่ายสาหร่ายปริมาณหนึ่งลงในขวดรูปชมพูนขนาด 2000 ml ที่บรรจุอาหารดัดแปลงของ Watanabe's medium ปริมาตร 1000 ml โดยทำเช่นเดียวกันจำนวน 3 ชุดการทดลอง
 2. นำขวดรูปชมพู่ที่บรรจุสารละลายอาหารดัดแปลงและสาหร่ายแต่ละชุดการทดลองดังกล่าวไปตั้งเพื่อหาน้ำหนักเริ่มต้น บันทึกเป็นค่า W_0
 3. นำไปตั้งไว้ในห้องที่มีความเข้มของแสง 3000 ลักซ์ (โดยการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์) ซึ่งมีการกำหนดช่วงเวลาที่ให้แสงสว่างและช่วงเวลาที่ไม่ให้แสงสว่างเท่ากับ 18 : 6 ชั่วโมง (สำหรับชุดที่ 1), 15 : 9 ชั่วโมง (สำหรับชุดที่ 2) และ 12 : 12 ชั่วโมง (สำหรับชุดที่ 3) ตามลำดับ
 4. นำขวดรูปชมพู่ที่บรรจุสารละลายอาหารดัดแปลงและสาหร่ายแต่ละชุดการทดลองดังกล่าวไปตั้งเพื่อหาน้ำหนักที่ช่วงเวลา (t วัน) ต่าง ๆ แล้วบันทึกเป็นค่า W_t ทุกวัน เป็นเวลา 1 อาทิตย์
 5. นำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ต่อวัน) ของแต่ละชุดการทดลอง

6. ทำซ้ำจากข้อ 1-5 แต่เปลี่ยนสถานะของความเข้มแสงเป็น 5000 ลักซ์

7. ทำซ้ำจากข้อ 1-6 โดยเปลี่ยนเป็นสาหร่ายอีกชนิดหนึ่ง

2) การศึกษาปัจจัยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

1. ถ่ายสาหร่ายปริมาณหนึ่งลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 2000 ml ที่บรรจุอาหารคัดแปลงของ Watanabe's medium ปริมาตร 1000 ml โดยทำเช่นเดียวกันจำนวน 3 ชุดการทดลอง

2. นำขวดรูปชมพู่ที่บรรจุสารละลายอาหารคัดแปลงและสาหร่ายแต่ละชุดการทดลองดังกล่าวไปซังเพื่อหาน้ำหนักเริ่มต้น บันทึกเป็นค่า W_0

3. นำไปทิ้งไว้ในห้องที่มีความเข้มของแสง 3000 ลักซ์ (โดยการใช้หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์) ซึ่งมีการกำหนดช่วงเวลาที่ให้แสงสว่างและช่วงเวลาที่ไม่ให้แสงสว่างเท่ากับ 12 : 12 ชั่วโมง โดยทำการทดลองให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ดังนี้ ชุดที่ 1 ไม่ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ชุดที่ 2 ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 1 % และชุดที่ 3 ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ 2 % ตามลำดับ

4. นำขวดรูปชมพู่ที่บรรจุสารละลายอาหารคัดแปลงและสาหร่ายแต่ละชุดการทดลองดังกล่าวไปซังเพื่อหาน้ำหนักที่ช่วงเวลา (t วัน) ต่าง ๆ แล้วบันทึกเป็นค่า W_t ทุกวัน เป็นเวลา 1 อาทิตย์

5. นำข้อมูลที่ได้อ่านค่าหาอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ต่อวัน) ของแต่ละชุดการทดลอง

6. ทำซ้ำจากข้อ 1-5 โดยเปลี่ยนเป็นสาหร่ายอีกชนิดหนึ่ง

จากการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการเลี้ยงสาหร่าย เพื่อได้สถานะที่เหมาะสมแล้วให้ใช้สถานะนั้นในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายทั้งสองชนิดเพื่อเพิ่มปริมาณให้มีปริมาณที่เพียงพอต่อการนำไปใช้ในการศึกษาการสกัดน้ำมันและการเตรียมน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายต่อไป

3.4.2 การศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันจากสาหร่าย

1. นำสาหร่ายที่ผ่านการล้างทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่นแล้ว ใส่ลงในถาดอะลูมิเนียม กรองเอาส่วนน้ำทิ้งไป แล้วนำไปผึ่งลมไว้ให้แห้งพอหมาด

2. นำสาหร่ายมาปั่นบดเพื่อลดขนาดลงให้ละเอียดที่สุดด้วยเครื่องปั่น (blender)

3. นำสาหร่ายที่ผ่านการบดแล้วไปทำให้แห้งเป็นผงโดยวิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็งที่ทำโดยนำสาหร่ายที่ผ่านการบดนั้นไปแช่ในตู้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ -10°C จนเป็นน้ำแข็งแล้วไปทำให้แห้งโดยเครื่องทำแห้งแบบเยือกแข็ง จนสาหร่ายผงนั้นแห้ง

4. นำสาหร่ายที่แห้งแล้วประมาณ 8 g ไปแช่ทิ้งไว้ในสารละลายเฮกเซนหรือสารละลายอีเทอร์ (ปริมาตรอย่างละประมาณ 20 ml) เพื่อสกัดน้ำมันออกจากสาหร่าย เป็นเวลานาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำสารละลายผสมไปทำการกรองเพื่อแยกน้ำมันสาหร่ายที่ถูกสกัดโดยสารละลายเฮกเซน หรือ

สารละลายอีเทอร์ และกากของสาหร่าย (biomass) ออกจากกัน โดยกากสาหร่ายให้นำไปอบจนแห้งในตู้อบแบบลมร้อนที่ 80°C

5. นำสารละลายของตัวทำละลายที่มีปริมาณน้ำมันสาหร่ายที่ได้ไปทำการระเหยตัวทำละลายให้แยกออกจากน้ำมันสาหร่าย โดยใช้เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน ที่อุณหภูมิประมาณ $40-50^{\circ}\text{C}$

6. บันทึกปริมาณของน้ำมันสาหร่ายที่ได้จากสาหร่าย แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ในตู้เย็น

7. ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 3-5 แต่เปลี่ยนวิธีการทำให้สาหร่ายแห้งเป็นผงโดย วิธีการทำให้แห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 80°C วิธีการทำให้แห้งโดยการตากแดด และวิธีการทำให้แห้งโดยการผึ่งลมตามลำดับ

8. ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 1-7 แต่เปลี่ยนมาศึกษาสาหร่ายอีกชนิดหนึ่ง

9. ทำการทดลองซ้ำจากข้อ 1-8 แต่เปลี่ยนมาศึกษาการใช้ตัวทำละลายไดเอซิลอีเทอร์แทน

3.4.3 การศึกษาคุณสมบัติของน้ำมันจากสาหร่าย

3.4.3.1 การหาความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของน้ำมันจากสาหร่าย

นำน้ำมันใส่ลงในกระบอกตัวขนาด 250 ml นำไปแช่ทิ้งไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 15°C จากนั้นใส่ไฮโดรมิเตอร์ลงไปเพื่ออ่านค่าความหนาแน่นของน้ำมัน และหาค่าความถ่วงจำเพาะ

3.4.3.2 การหาค่าพีเอชของน้ำมันจากสาหร่าย

นำน้ำมันสาหร่ายที่ได้ไปวัดค่าพีเอชโดยใช้เครื่องวัดค่าพีเอชที่มีความละเอียดสูง

3.4.3.3 การหาค่าความหนืดของน้ำมันจากสาหร่าย

เตรียมน้ำมันใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 ml นำไปแช่ทิ้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 40°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าความหนืดโดยใช้เครื่องมือวัดความหนืด โดยใช้หัวจานหมุนเบอร์ 3 ที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อนาที

3.4.3.4 การศึกษาสมบัติปริมาณกรดไขมันอิสระที่พบในน้ำมันจากสาหร่าย

ชั่งน้ำมันตัวอย่างปริมาณ 5 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml จากนั้นละลายด้วยไอโซโพรพานอลปริมาตร 10 ml แล้วนำไปทำการไทเทรตด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N

3.5 การศึกษาการเตรียมน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายและการศึกษาคุณสมบัติของน้ำมัน

การศึกษาในขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาการเตรียมน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายและทำการศึกษาคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมได้จากสาหร่ายแต่ละชนิด ดังนี้

3.5.1 การเตรียมน้ำมันไบโอดีเซล

1. ตวงน้ำมันสาหร่ายด้วยกระบอกตวงมา 500 ml ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 1000 ml
2. ชั่งโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ 6.9 กรัม (ปริมาณค่าที่ใช้เปลี่ยนไปตามชนิดของน้ำมันสาหร่าย โดยการคำนวณแสดงได้ดังภาคผนวก) ละลายในเมทานอล 125 ml
3. อุ่นน้ำมันและสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในเมทานอลที่อุณหภูมิ 60-70 °C
4. ผสมน้ำมันและสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์เข้าด้วยกันตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จะเกิดการแยกชั้นของกลีเซอรอลและน้ำมันไบโอดีเซล
5. นำน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมได้มาล้างด้วยน้ำอุ่น ๆ เพื่อทำความสะอาด
6. นำน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านการล้างมาเติมโซเดียมซัลเฟตประมาณ 1-2 ช้อน เพื่อดูดน้ำออก
7. นำไปกลั่นเพื่อไล่น้ำออก และเตรียมนำไปตรวจสอบคุณภาพ

3.5.2 การศึกษาสมบัติของน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่าย

3.5.2.1 การหาความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะของน้ำมันไบโอดีเซล

นำน้ำมันไบโอดีเซลใส่ลงในกระบอกตวงขนาด 250 ml นำไปแช่ทิ้งไว้ในอุณหภูมิ 15 °C จากนั้นใส่ไฮโดรมิเตอร์ลงไปเพื่ออ่านค่าความถ่วงจำเพาะ และหาความหนาแน่นของน้ำมัน

3.5.2.2 การหาค่าพีเอชของน้ำมันไบโอดีเซล

นำน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ไปวัดค่าพีเอชโดยใช้เครื่องวัดค่าพีเอชที่มีความละเอียดสูง

3.5.2.3 การหาค่าความหนืดของน้ำมันไบโอดีเซล

เตรียมน้ำมันไบโอดีเซลใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 100 ml นำไปแช่ทิ้งไว้ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 40°C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำไปวัดค่าความหนืดโดยใช้เครื่องมือวัดความหนืด โดยใช้หัวจานหมุนเบอร์ 3 ที่ความเร็วรอบ 50 รอบต่อวินาที

3.5.2.4 การศึกษาสมบัติปริมาณกรดไขมันอิสระหลงเหลือที่พบในน้ำมันไบโอดีเซล

ชั่งน้ำมันไบโอดีเซลตัวอย่างปริมาณ 5 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 ml จากนั้นละลายด้วยไอโซโพรพานอลปริมาตร 10 ml แล้วนำไปทำการไทเทรตด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N

3.5.3 การวิเคราะห์หาปริมาณเมทิลเอสเทอร์โดยการไทเทรตอย่างง่าย

1. นำน้ำมันไบโอดีเซลมาปริมาตร 5 ml พร้อมชั่งน้ำหนัก จากนั้นเติมสารละลายไฮดรอกซิลเอมีนไฮโดรคลอไรด์ 1 ml ในหลอดทดลอง
2. เติม 6 M โซเดียมไฮดรอกไซด์ จนเป็นเบส นำไปอุ่น 2-3 นาที รอให้เย็น แล้วเติม 1 M ไฮโดรคลอริก 2 ml ถ้าสารละลายขุ่นให้เติมเอทานอล 2 ml เพื่อให้สารละลายใส
3. นำไปเติม 5% ของเฟอริคคลอไรด์ จนสารละลายเกิดตะกอน จดปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการไทเทรต

3.5.4 การวิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟอร์

1. นำถ้วยครุชีลเบลไปอบที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง แล้วนำไปใส่ในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาที จากนั้นนำไปชั่งจนได้น้ำหนักที่แน่นอน
2. นำน้ำมันไบโอดีเซลตัวอย่างไปชั่งประมาณ 5 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 250 ml เติมน้ำประมาณ 100 ml จากนั้นนำไปหยดกรดไฮโดรคลอริก 20 หยด
3. นำไปต้มให้เดือดจากนั้นนำไปเติมแบเรียมคลอไรด์ 15 ml เติมหดหยด แล้วต้มต่อไปอีกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
4. นำสารละลายมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 จากนั้นนำกระดาษกรองไปใส่ในครุชีลเบล แล้วนำไปเผา
5. นำครุชีลเบลไปอบต่อที่อุณหภูมิ 600 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำครุชีลเบลออกไปใส่ในโถดูดความชื้นประมาณ 30 นาที จากนั้นนำออกไปชั่งน้ำหนักที่ได้ คำนวณหาปริมาณของซัลเฟอร์ที่เป็นตะกอนแบเรียมซัลเฟต

3.5.5 การวิเคราะห์หาอุณหภูมิจุดขุ่น (Cloud point)

นำน้ำมันไบโอดีเซลตัวอย่างมาใส่ในหลอดทดลองแก้วแล้วปิดฝา (ปิดด้วยจุกยางที่มีเทอร์โมมิเตอร์เสียบอยู่ด้วย) จากนั้นนำไปแช่เย็นในอ่างน้ำแข็งให้น้ำมันมีอุณหภูมิลดลงจนเริ่มแข็งตัวและไม่ไหล(เปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง) อ่านอุณหภูมิ ณ ขณะนั้น และบันทึกผล

3.5.6 การวิเคราะห์หาอุณหภูมิจุดไหลเท (Pour Point)

นำน้ำมันไบโอดีเซลตัวอย่างใส่ในหลอดทดลองแก้วแล้วปิดฝา (ปิดด้วยจุกยางที่มีเทอร์โมมิเตอร์เสียบอยู่ด้วย) จากนั้นนำไปแช่เย็นให้อุณหภูมิลดลงจนน้ำมันเริ่มแข็งตัวและไม่ไหล (เปลี่ยนสถานะเป็นของแข็ง) นำหลอดแก้วออกมาและถือหลอดแก้วตามแนวนอน สังเกตการก่อตัวของน้ำมันที่เริ่มหลอมตัวของไหลและทำการบันทึกอุณหภูมินั้น จุดไหลเทจะเป็นจุดที่อุณหภูมิสูงกว่าจุดนี้ 5⁰F หรือ 2.7⁰C และบันทึกผล

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ได้ทำการศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายในท้องถิ่นของจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยได้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 3 ระยะ คือ ระยะที่ 1 เป็นการศึกษาถึงชนิดและสายพันธุ์ของสาหร่ายที่พบได้ในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์ และทำการประเมินคัดเลือกสายพันธุ์ของสาหร่ายที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้ ระยะที่ 2 เป็นการศึกษาการเลี้ยงสาหร่ายเพื่อให้มีการเพิ่มปริมาณเพียงพอที่จะนำไปสกัดน้ำมันเพื่อการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล และระยะที่ 3 เป็นการศึกษาการเตรียมน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายและศึกษาคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ ซึ่งผลการศึกษาที่ได้จากการดำเนินงานวิจัยในระยะต่าง ๆ เป็นดังนี้

4.1 การสำรวจสาหร่ายในแหล่งน้ำที่สำคัญในเขตอำเภอต่าง ๆ ในจังหวัดเพชรบูรณ์

4.1.1 การศึกษาสาหร่ายที่พบในแหล่งน้ำที่สำคัญในจังหวัดเพชรบูรณ์

ได้ทำการสำรวจหาสาหร่ายในท้องถิ่นของจังหวัดเพชรบูรณ์ ตามแหล่งเก็บน้ำในเขตอำเภอเมือง อำเภอหล่มสัก และอำเภอบึงสามพัน ในช่วงระหว่าง เดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนมิถุนายน โดยชนิดและสายพันธุ์ของสาหร่ายที่พบ ตามแหล่งเก็บน้ำต่าง ๆ แสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สาหร่ายที่พบในแหล่งเก็บน้ำต่าง ๆ ในจังหวัดเพชรบูรณ์

แหล่งน้ำที่สำรวจ	ชนิดของสาหร่าย	สายพันธุ์ของสาหร่าย
อ่างเก็บน้ำชลประทานห้วยป่าแดง	สาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่	<i>Spirogyra</i> sp.
อ่างเก็บน้ำห้วยป่าเลา	สาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่	<i>Spirogyra</i> sp. <i>Ceratophyllum Demersum</i> Linn.
อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำก่อ	สาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	<i>Spirogyra</i> sp. <i>Spirulina</i> spp.
แหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยราชภัฏ เพชรบูรณ์	สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน	<i>Chlorella</i> sp. <i>Spirulina</i> spp.
แหล่งน้ำสาธารณะหนองนารี	สาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก	<i>Spirogyra</i> sp. <i>Ceratophyllum Demersum</i> Linn. <i>Chlorella</i> sp.
แหล่งน้ำบึงสามพัน	สาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่	<i>Spirogyra</i> sp.

4.1.2 การศึกษาหาปริมาณน้ำมันในสาหร่ายที่พบ

จากการศึกษาปริมาณน้ำมันที่พบในสาหร่ายชนิดต่าง ๆ โดยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน และทำการสกัดแยกน้ำมันสาหร่ายออกจากตัวทำละลายโดยใช้เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน (rotary evaporator) ซึ่งปริมาณน้ำมันที่พบในสาหร่ายแต่ละชนิดแสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณน้ำมันที่พบในสาหร่ายแต่ละชนิด

ชนิดของสาหร่าย	ปริมาณน้ำมัน (ml) ที่พบต่อ 100 g ของน้ำหนักแห้ง
<i>Chlorella</i> sp.	11.2
<i>Spirogyra</i> sp.	4.5
<i>Ceratophyllum Demersum</i> Linn.	1.1
<i>Spirulina</i> spp.	1.6

จากตารางจะเห็นว่าปริมาณน้ำมันที่ได้จากสาหร่ายชนิดและสายพันธุ์ต่าง ๆ เมื่อใช้ปริมาณของน้ำหนักแห้งเท่ากันคือ 100 g สามารถเรียงลำดับสาหร่ายที่พบน้ำมันในปริมาณจากมากไปน้อยดังนี้ คือ *Chlorellasp.* > *Spirogyra* sp. > *Spirulina* spp. > *Ceratophyllum Demersum* Linn. ตามลำดับ เนื่องจากสาหร่าย *Spirulina* spp. เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งพบปริมาณของน้ำมันในสาหร่ายไม่แตกต่างจากสาหร่าย *Ceratophyllum Demersum* Linn. มากนัก ซึ่งพบปริมาณน้ำมันจากสาหร่ายในปริมาณที่น้อยมาก อีกทั้งสาหร่าย *Spirulina* spp. มีเงื่อนไขในการเพาะเลี้ยงที่แตกต่างจากสาหร่ายสีเขียวสามชนิดข้างต้น ดังนั้นเพื่อความสะดวกของการศึกษาในขั้นตอนต่อไปสำหรับการเปรียบเทียบผลการศึกษา และความเหมาะสมในด้านเศรษฐศาสตร์จึงเลือกใช้สาหร่ายเพียง 2 ชนิด คือ สาหร่ายพันธุ์ 1) *Chlorellasp.* ซึ่งเป็นตัวแทนของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก และ 2) *Spirogyra* sp. ซึ่งเป็นตัวแทนของสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ที่พบได้ทั่วไป เป็นสาหร่ายตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

4.2 การศึกษาการเลี้ยงเพาะพันธุ์สาหร่าย

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาสภาวะอย่างง่ายในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายให้มีการเพิ่มปริมาณของสาหร่ายที่เพียงพอต่อการศึกษาวิจัยในขั้นตอนต่อไป โดยการคำนึงถึงการนำวิธีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายนี้ไปใช้ในการปฏิบัติงานได้จริง ทำได้สะดวก และมีค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก ซึ่งจะได้นำแนวทางในการพัฒนาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสำหรับการผลิตน้ำมันต่อไป

4.2.1 การศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่าย

การศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กและสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ โดยการศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณของสาหร่ายทั้งสองชนิดได้แก่ ปัจจัยของความเข้มแสงและช่วงการให้แสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย และปัจจัยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย โดยผลที่ได้จากการศึกษาเป็นดังนี้

1) ปัจจัยของความเข้มแสงและช่วงการให้แสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

จากการศึกษาปัจจัยของความเข้มแสงและช่วงการให้แสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella* sp. และสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่สายพันธุ์ *Spirogyra* sp. แสดงได้ดังตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ปัจจัยของความเข้มแสงและช่วงเวลาการให้แสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Chlorella* sp.

ความเข้มแสง (ลักซ์)	ช่วงการให้แสงสว่างต่อช่วงที่ไม่ให้แสง (ชั่วโมง)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ต่อวัน)
3000	18 : 6	0.336
	15 : 9	0.468
	12 : 12	0.251
5000	18 : 6	0.382
	15 : 9	0.435
	12 : 12	0.364

จากผลที่ได้พบว่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวันของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Chlorella* sp. ที่ความเข้มแสง 3000 ลักซ์ ที่ช่วงการให้แสงสว่างต่อช่วงที่ไม่ให้แสงเท่ากับ 15 : 9 ชั่วโมง มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด คือ 0.468 สำหรับที่ความเข้มแสง 5000 ลักซ์ ที่ช่วงการให้แสงสว่างต่อช่วงที่ไม่ให้แสงเท่ากับ 15 : 9 ชั่วโมง มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด คือ 0.435 ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Chlorella* sp. คือ การใช้ความเข้มแสงเท่ากับ 3000 ลักซ์ โดยมีช่วงการให้แสงสว่างต่อช่วงที่ไม่ให้แสงเท่ากับ 15 : 9 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.4 ปัจจัยของความเข้มแสงและช่วงเวลาการให้แสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ *Spirogyra* sp.

ความเข้มของแสง (ลักซ์)	ช่วงการให้แสงสว่างต่อช่วงที่ไม่ให้แสง (ชั่วโมง)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ต่อวัน)
3000	18 : 6	0.316
	15 : 9	0.483
	12 : 12	0.644
5000	18 : 6	0.461
	15 : 9	0.533
	12 : 12	0.772

จากผลที่ได้พบว่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวันของสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ *Spirogyra* sp. ที่ความเข้มแสง 3000 ลักซ์ ที่ช่วงการให้แสงสว่างต่อช่วงที่ไม่ให้แสงเท่ากับ 12 : 12 ชั่วโมง มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุด คือ 0.644 สำหรับที่ความเข้มแสง 5000 ลักซ์ ที่ช่วงการให้แสงสว่างต่อช่วงที่ไม่ให้แสงเท่ากับ 12 : 12 ชั่วโมง มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุด คือ 0.772 ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ *Spirogyra* sp. คือ การใช้ความเข้มแสงเท่ากับ 5000 ลักซ์ โดยมีช่วงการให้แสงสว่างต่อช่วงที่ไม่ให้แสงเท่ากับ 12 : 12 ชั่วโมง

2) ปัจจัยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

ปัจจัยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสองชนิด โดยการให้ปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Chlorella* sp. และสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ *Spirogyra* sp. เป็นดังตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ปัจจัยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Chlorella* sp.

ความเข้มข้นของแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ต่อวัน)
0	0.247
1%	0.480
2%	0.512

ตารางที่ 4.6 ปัจจัยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Spirogyra* sp.

ความเข้มข้นของแก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ต่อวัน)
0	0.536
1%	0.784
2%	0.854

จากตารางที่ 4.4 และ 4.5 จะเห็นว่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่ายทั้งสองชนิดมีค่ามากขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ โดยการให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1% พบว่าสาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับการเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยไม่ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แต่การเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากความเข้มข้น 1% เป็น 2% พบว่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายทั้งสองชนิดนี้จึงควรให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในความเข้มข้น 1 % ก็เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสองชนิด

4.3 การศึกษาวิธีการสกัดและคุณภาพของน้ำมันจากสาหร่าย

4.3.1 การศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันจากสาหร่าย

การศึกษาศักยภาพการสกัดน้ำมันจากสาหร่ายทั้งสองชนิด โดยใช้วิธีการทำให้สาหร่ายแห้งด้วยวิธีที่ต่างกัน จากนั้นเมื่อนำไปทำการแช่ทิ้งไว้ในตัวทำละลาย 2 ชนิด คือ เฮกเซน และ ไดเอทิลอีเธอร์เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำไปทำการระเหยตัวทำละลายออกไปจากน้ำมันสาหร่ายโดยการให้เครื่องระเหยสารแบบหมุน จึงทำให้ได้น้ำมันสาหร่ายจากสาหร่ายแต่ละชนิดที่มีวิธีการสกัดน้ำมันสาหร่ายออกมาแตกต่างกัน โดยผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8 ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ปริมาณน้ำมันสาหร่าย และปริมาณกากที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายเฮกเซน จาก น้ำหนักของสาหร่ายแห้งประมาณ 8 g

วิธีการเตรียมวัตถุดิบตัวอย่าง	ปริมาณน้ำมันสาหร่าย (ml) ที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย		ปริมาณกากสาหร่าย (g) ที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย	
	<i>Chlorella</i> sp.	<i>Spirogyra</i> sp.	<i>Chlorella</i> sp.	<i>Spirogyra</i> sp.
การทำแห้งแบบเยือกแข็ง	3.0 (38%)	1.8	3.8	3.5
การทำแห้งโดยการอบ	1.4	0.8	4.2	4.6
การทำแห้งโดยการตากแดด	1.2	1.1	4.8	5.2
การทำแห้งโดยการผึ่งลม	2.5	1.6	4.2	3.8

จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำมันสาหร่ายที่สกัดได้ ของสาหร่ายสีเขียวทั้งสองชนิด โดยการใช้ตัวทำละลายเฮกเซน จากสาหร่ายตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็งได้ปริมาณน้ำมัน > การทำแห้งโดยการผึ่งลม > การทำแห้งโดยการอบ $\approx$ การทำแห้งโดยตากแดด ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 ปริมาณน้ำมันสาหร่าย และปริมาณกากที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลายไดเอซิลอีเธอร์ จากน้ำหนักของสาหร่ายแห้งประมาณ 8 g

วิธีการเตรียมวัตถุดิบตัวอย่าง	ปริมาณน้ำมันสาหร่าย (ml) ที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย		ปริมาณกากสาหร่าย (g) ที่ได้จากการสกัดด้วยตัวทำละลาย	
	<i>Chlorella</i> sp.	<i>Spirogyra</i> sp.	<i>Chlorella</i> sp.	<i>Spirogyra</i> sp.
การทำแห้งแบบเยือกแข็ง	2.4	1.2	4.2	5.4
การทำแห้งโดยการอบ	1.2	0.5	4.6	6.2
การทำแห้งโดยการตากแดด	1.4	0.6	4.4	5.8
การทำแห้งโดยการผึ่งลม	1.8	0.8	4.5	5.2

จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำมันสาหร่ายที่สกัดได้ ของสาหร่ายสีเขียวทั้งสองชนิด โดยการใช้ตัวทำละลายไดเอซิลอีเธอร์ จากสาหร่ายตัวอย่างที่ผ่านการทำแห้งโดยวิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็งได้ปริมาณน้ำมัน > การทำแห้งโดยการผึ่งลม > การทำแห้งโดยการอบ $\approx$ การทำแห้งโดยตากแดด ตามลำดับ

ซึ่งจากผลการทดลองวิธีการสกัดน้ำมันสาหร่ายจากสาหร่ายแห้งทั้งสองชนิดดังกล่าว แสดงให้ทราบว่า วิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็ง จะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันจากสาหร่ายมากที่สุด รองลงมาคือ วิธีการทำแห้งโดยการผึ่งลม ซึ่งการใช้ตัวทำละลายเฮกเซนเป็นตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด จะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันจากสาหร่ายมากกว่าการใช้ตัวทำละลายเป็นไดเอทิลอีเธอร์ แต่ทั้งนี้ในทางปฏิบัติแล้วการใช้วิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็งนั้นจะทำให้ยากโดยการใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง และประกอบด้วยกระบวนการหลายขั้นตอน จึงไม่เหมาะสมที่จะทำได้ในปริมาณของวัตถุดิบสาหร่ายมาก ๆ ดังนั้นจึงจะเลือกใช้วิธีการทำแห้งโดยการผึ่งลมเป็นวิธีการเตรียมวัตถุดิบสาหร่าย และใช้ตัวทำละลายเฮกเซนเป็นสารตัวทำละลายสกัดน้ำมันจากสาหร่ายเพื่อใช้ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

4.3.2 การศึกษาสมบัติของน้ำมันสาหร่าย

จากการศึกษาสมบัติของน้ำมันจากสาหร่ายสีเขียวทั้งสองชนิดอย่างง่าย ซึ่งได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความหนืด และปริมาณกรดไขมันอิสระ ผลจากการศึกษาที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.9 และตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.9 สมบัติของน้ำมันสาหร่ายที่ได้จากการสกัด

น้ำมันจากสาหร่าย	pH	ค่าความหนาแน่น (g/cm ³)	ค่าความ ถ่วงจำเพาะ	ค่าความหนืด ที่ 40 ⁰ C (cSt)
<i>Chlorella</i> sp.	7	0.87	0.87	4.1
<i>Spirogyra</i> sp.	7	0.88	0.88	4.4

*หมายเหตุ : ความหนาแน่นของน้ำที่ 4⁰C เท่ากับ 0.999 g/cm³

จากตารางจะพบว่าน้ำมันจากสาหร่ายทั้งสองชนิดมีสภาพเป็นกลาง มีความหนาแน่นของน้ำมันจากสาหร่าย *Chlorella* sp. และ *Spirogyra* sp. อยู่ที่ 0.857 g/cm³ และ 0.882 g/cm³ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นของน้ำ จึงทำให้มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ 0.858 และ 0.883 ตามลำดับ นอกจากนี้จากการศึกษายังพบว่าน้ำมันจากสาหร่าย *Chlorella* sp. และ *Spirogyra* sp. มีค่าความหนืดอยู่ที่ 4.1 mm²/s และ 4.4 mm²/s ตามลำดับ เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิ 40⁰C

ตารางที่ 4.10 ปริมาณกรดไขมันอิสระที่พบในน้ำมันสาหร่ายที่สกัดได้

น้ำมันจากสาหร่าย	ค่าปริมาณกรดไขมันอิสระ
<i>Chlorella</i> sp.	0.701
<i>Spirogyra</i> sp.	0.837

จากการตรวจวัดปริมาณกรดไขมันอิสระที่พบในน้ำมันจากสาหร่ายทั้งสองชนิดนี้พบว่า มีค่าปริมาณกรดไขมันอิสระอยู่ในช่วงระหว่าง 0.70 – 0.84

4.4 การศึกษาการเตรียมน้ำมันไบโอดีเซลและคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซล

4.4.1 การหาปริมาณค่าที่ต้องใช้ในการเตรียมน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสาหร่าย

จากการหาปริมาณค่าที่ต้องใช้ในการเตรียมน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสาหร่ายที่ได้จากสาหร่ายสีเขียวทั้ง 2 ชนิด โดยทำการไทเทรตตัวอย่างน้ำมันกับสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.1 % แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณค่าที่ต้องใช้สำหรับน้ำมันสาหร่ายชนิดต่าง ๆ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ปริมาณค่าที่ต้องใช้เป็นตัวเร่งในปฏิกิริยาทรานส์เอสเทอริฟิเคชันในการเตรียมน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสาหร่าย

น้ำมันจากสาหร่าย	ปริมาณค่าที่ต้องใช้ต่อน้ำมัน 1 ลิตร
<i>Chlorella</i> sp.	10.0
<i>Spirogyra</i> sp.	13.9

4.4.2 ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมน้ำมันสาหร่าย

จากการเตรียมน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายสีเขียว 2 ชนิด คือ จากสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella* sp. และจากสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่สายพันธุ์ *Spirogyra* sp. ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมน้ำมันได้แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงลักษณะน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมน้ำมันสาหร่ายทั้งสองชนิด

4.4.3 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่าย

จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมได้จากน้ำมันสาหร่ายแต่ละชนิด ได้แก่ ค่าพีเอช ความหนาแน่น และค่าความหนืด ผลได้แสดงดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 คุณสมบัติทางกายภาพบางประการของน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่าย ที่เตรียมจากน้ำมันสาหร่ายแต่ละชนิด

น้ำมันไบโอดีเซลจาก สาหร่าย	ค่าพีเอช	ค่าความหนาแน่น (g/cm ³)	ค่าความ ถ่วงจำเพาะ	ค่าความหนืด ที่ 40°C (cSt)
<i>Chlorella</i> sp.	6.8	0.86	0.86	2.2
<i>Spirogyra</i> sp.	7.2	0.86	0.86	2.5

4.4.4 ผลการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีของน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่าย

จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมีบางประการของน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสาหร่าย ได้แก่ ปริมาณกรดที่หลงเหลือ ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ที่ได้จากการไทเทรตกับน้ำมันไบโอดีเซลตัวอย่างกับ ไอรอน (III) คลอไรด์ และปริมาณซัลเฟอร์โดยการตกตะกอนเป็นแบเรียมซัลเฟต ผลได้แสดงดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 คุณสมบัติทางเคมีบางประการของน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่าย ที่เตรียมจากน้ำมันสาหร่ายแต่ละชนิด

น้ำมันไบโอดีเซลจาก สาหร่าย	ปริมาณกรดที่หลงเหลือ (mg KOH/g)	ปริมาณเมทิลเอสเทอร์ (mol)	ปริมาณซัลเฟอร์ (%)
<i>Chlorella</i> sp.	0.4361	1.08×10^{-4}	0.0011
<i>Spirogyra</i> sp.	0.4531	1.08×10^{-4}	0.0014

4.4.5 ผลการตรวจสอบจุดขุ่นของน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่าย

จากการทดสอบหาจุดขุ่นตัว (Cloud point) ของน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมได้จากน้ำมันสาหร่าย โดยการลดอุณหภูมิของอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ แล้วสังเกตอุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มขุ่นตัว ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 อุณหภูมิจุดขุ่นตัวของน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมจากน้ำมันสาหร่าย

น้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่าย	อุณหภูมิจุดขุ่นตัว ของน้ำมันไบโอดีเซล (°C)
<i>Chlorella</i> sp.	-1.2
<i>Spirogyra</i> sp.	-1.4

4.4.6 ผลการตรวจสอบจุดไหลเทของน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่าย

จากการทดสอบหาจุดไหลเท (Pour point) ของน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมได้จากน้ำมันสาหร่าย โดยการนำน้ำมันไบโอดีเซลไปแช่แข็งมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง แล้วสังเกตอุณหภูมิที่น้ำมันเริ่มไหลอมตัวออกเป็นของเหลว ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 อุณหภูมิจุดไหลเทของน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมจากน้ำมันสาหร่าย

น้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่าย	อุณหภูมิจุดไหลเท ของน้ำมันไบโอดีเซล (°C)
<i>Chlorella</i> sp.	1.7
<i>Spirogyra</i> sp.	1.3

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายในท้องถิ่นของจังหวัดเพชรบูรณ์ โดยมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาชนิดและสายพันธุ์ของสาหร่ายในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์ที่ให้น้ำมัน 2) เพื่อศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันจากสาหร่ายที่เหมาะสมต่อการนำไปผลิตไบโอดีเซล และ 3) เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำมันไบโอดีเซลที่ผลิตได้จากสาหร่ายในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งการดำเนินการวิจัยได้แบ่งออกเป็น 3 ระยะคือ ระยะที่ 1 เป็นการศึกษาชนิดและสายพันธุ์ของสาหร่ายที่อยู่ในแหล่งน้ำภายในจังหวัดเพชรบูรณ์ ระยะที่ 2 เป็นการศึกษาการเลี้ยงสาหร่ายเพื่อเพิ่มปริมาณให้เพียงพอต่อการนำไปใช้ในการสกัดน้ำมันจากสาหร่ายและการนำไปผลิตน้ำมันไบโอดีเซล และระยะที่ 3 เป็นการศึกษาการเตรียมน้ำมันไบโอดีเซลจากน้ำมันสาหร่ายและศึกษาคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้ โดยผลการศึกษาตามขั้นตอนต่างๆ สามารถสรุปผลได้คือ

จากการศึกษาสำรวจหาสาหร่ายในท้องถิ่นของจังหวัดเพชรบูรณ์ ตามแหล่งเก็บน้ำในเขตอำเภอเมือง อำเภอหล่มสัก และอำเภอบึงสามพัน ในช่วงระหว่าง เดือนกุมภาพันธ์ ถึง เดือนมิถุนายน โดยชนิดและสายพันธุ์ของสาหร่ายที่พบ ตามแหล่งเก็บน้ำต่าง ๆ ได้แก่ อ่างเก็บน้ำชลประทานห้วยป่าแดง อ่างเก็บน้ำห้วยป่าเลา แหล่งน้ำในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ แหล่งน้ำสาธารณะหนองนรี ในเขตอำเภอเมือง อ่างเก็บน้ำห้วยน้ำก่อ ในเขตอำเภอหล่มสัก และแหล่งน้ำบึงสามพัน ในเขตอำเภอบึงสามพัน จังหวัดเพชรบูรณ์ ซึ่งสาหร่ายที่สำรวจพบได้แก่สาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ สายพันธุ์ *Spirogyra* sp. และสายพันธุ์ *Ceratophyllum Demersum* Linn. สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน สายพันธุ์ *Spirulina* spp. และสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก สายพันธุ์ *Chlorella* sp. ซึ่งจากการศึกษาปริมาณน้ำมันที่พบในสาหร่ายชนิดต่าง ๆ โดยวิธีการสกัดด้วยสารผสมเฮกเซนและเมทิลทีเธอร์ (อัตราส่วน 20 ml : 20 ml) แล้วทำการสกัดแยกน้ำมันสาหร่ายออกจากตัวทำละลายโดยใช้เครื่องกลั่นระเหยสารแบบหมุน พบว่าปริมาณน้ำมันที่ได้จากสาหร่ายชนิดและสายพันธุ์ต่าง ๆ เมื่อใช้ปริมาณของ น้ำหนักแห้งเท่ากันคือ 100 g สามารถเรียงลำดับสาหร่ายที่พบน้ำมันในปริมาณจากมากไปน้อยดังนี้ คือ *Chlorellasp.* > *Spirogyra* sp. > *Spirulina* spp. > *Ceratophyllum Demersum* Linn. ตามลำดับ เนื่องจากสาหร่าย *Spirulina* spp. เป็นสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งพบปริมาณของน้ำมันในสาหร่ายไม่แตกต่างจากสาหร่าย *Ceratophyllum Demersum* Linn. มากนัก โดยพบในปริมาณที่น้อยมาก ดังนั้นเพื่อความสะดวกของการศึกษาในขั้นตอนต่อไป และความเหมาะสมในด้านเศรษฐศาสตร์จึงเลือกใช้สาหร่ายเพียง 2 ชนิด คือ สาหร่ายพันธุ์ 1) *Chlorellasp.* ซึ่งเป็นตัวแทนของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก และ 2) *Spirogyra* sp. ซึ่งเป็นตัวแทนของสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ที่พบได้ทั่วไป เป็นสาหร่ายตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาต่อไป

การศึกษาการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กและสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ โดยศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตเพิ่มปริมาณของสาหร่ายทั้งสองชนิดได้แก่ ปัจจัยของความเข้มแสงและช่วงการให้แสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย และปัจจัยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ซึ่งพบว่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวันของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Chlorella* sp. ที่ความเข้มแสง 3000 ลักซ์ และให้มีช่วงการให้แสงสว่างต่อช่วงที่ไม่ให้แสงเท่ากับ 15 : 9 ชั่วโมง มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุด สำหรับที่ความเข้มแสง 5000 ลักซ์ และให้มีช่วงการให้แสงสว่างต่อช่วงที่ไม่ให้แสงเท่ากับ 15 : 9 ชั่วโมง มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุด ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Chlorella* sp. คือ ที่ความเข้มแสงเท่ากับ 3000 ลักซ์ โดยมีช่วงให้แสงสว่างต่อช่วงที่ไม่ให้แสงเท่ากับ 15 : 9 ชั่วโมง จากผลที่ได้พบว่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวันของสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ *Spirogyra* sp. ที่ความเข้มแสง 3000 ลักซ์ และให้มีช่วงการให้แสงสว่างต่อช่วงที่ไม่ให้แสงเท่ากับ 12 : 12 ชั่วโมง มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุด คือ 0.644 สำหรับที่ความเข้มแสง 5000 ลักซ์ และมีช่วงการให้แสงสว่างต่อช่วงที่ไม่ให้แสงเท่ากับ 12 : 12 ชั่วโมง มีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงที่สุด คือ 0.772 ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ *Spirogyra* sp. คือ การใช้ความเข้มแสงเท่ากับ 5000 ลักซ์ โดยมีช่วงการให้แสงสว่างต่อช่วงที่ไม่ให้แสงเท่ากับ 12 : 12 ชั่วโมง จากการศึกษาปัจจัยของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสองชนิด โดยการให้ปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่แตกต่างกัน พบว่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Chlorella* sp. และสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่ *Spirogyra* sp. มีปริมาณเพิ่มมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น โดยการให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่ความเข้มข้น 1% พบว่า สาหร่ายมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่สูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับ การเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยไม่ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แต่การเพิ่มปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากความเข้มข้น 1% เป็น 2% พบว่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะมีค่าเพิ่มขึ้นไม่มากนักเมื่อเปรียบเทียบกับ การไม่ให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายทั้งสองชนิดนี้จึงควรให้ปริมาณแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ในความเข้มข้น 1 % ก็เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายทั้งสองชนิด

การศึกษาวิธีการสกัดน้ำมันจากสาหร่ายทั้งสองชนิด โดยใช้วิธีการทำให้สาหร่ายแห้งด้วยวิธีที่ต่างกันพบว่าปริมาณน้ำมันสาหร่ายที่สกัดได้ ของสาหร่ายสีเขียวทั้งสองชนิด โดยใช้ตัวทำละลายเฮกเซน จากสาหร่ายตัวอย่างที่ผ่านการทำให้แห้งโดยวิธีการทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง ได้ปริมาณน้ำมัน > การทำให้แห้งโดยการผึ่งลม > การทำให้แห้งโดยการอบ $\approx$ การทำให้แห้งโดยตากแดด ตามลำดับ จากผลการศึกษาพบว่าปริมาณน้ำมันสาหร่ายที่สกัดได้ ของสาหร่ายสีเขียวทั้งสองชนิด โดยใช้ตัวทำละลายไดเอทิลอีเธอร์ จากสาหร่ายตัวอย่างที่ผ่านการทำให้แห้งโดยวิธีการทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง ได้ปริมาณน้ำมัน > การทำให้แห้งโดยการผึ่งลม > การทำให้แห้งโดยการอบ $\approx$ การทำให้แห้งโดยตากแดด ตามลำดับ ซึ่งจากผลการทดลองวิธีการสกัดน้ำมันสาหร่ายจากสาหร่ายแห้งทั้งสองชนิดดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า วิธีการทำให้แห้งแบบเยือกแข็ง

ทำให้ได้ปริมาณน้ำมันจากสาหร่ายมากที่สุด รองลงมาคือ วิธีการทำแห้งโดยการผึ่งลม ซึ่งการใช้ตัวทำละลายเฮกเซนเป็นตัวทำละลายในการสกัด จะทำให้ได้ปริมาณน้ำมันจากสาหร่ายมากกว่าการใช้ตัวทำละลายเป็นไดเอซิลอีเทอร์ แต่ทั้งนี้ในทางปฏิบัติแล้วการใช้วิธีการทำแห้งแบบเยือกแข็งนั้นทำได้ยากใช้เครื่องมือที่มีราคาแพง และมีหลายขั้นตอน จึงไม่เหมาะสมที่จะทำได้ในปริมาณของวัตถุดิบสาหร่ายมาก ๆ ดังนั้นจึงเลือกใช้วิธีการทำแห้งโดยการผึ่งลมเป็นวิธีการเตรียมวัตถุดิบสาหร่าย และใช้ตัวทำละลายเฮกเซนเป็นสารตัวทำละลายสกัดน้ำมันจากสาหร่ายเพื่อใช้ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

จากการศึกษาสมบัติของน้ำมันจากสาหร่ายสีเขียวทั้งสองชนิดอย่างง่าย ซึ่งได้แก่ ค่าความหนาแน่น ค่าความถ่วงจำเพาะ ค่าความหนืด และปริมาณกรดไขมันอิสระ พบว่าน้ำมันจากสาหร่ายทั้งสองชนิดมีสภาพฟิสิกเป็นกลาง มีความหนาแน่นของน้ำมันจากสาหร่าย *Chlorella* sp. และ *Spirogyra* sp. อยู่ที่ 0.87 g/cm^3 และ 0.88 g/cm^3 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นของน้ำ จึงทำให้มีค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ที่ 0.87 และ 0.88 ตามลำดับ นอกจากนี้จากการศึกษา ยังพบว่าน้ำมันจากสาหร่าย *Chlorella* sp. และ *Spirogyra* sp. มีค่าความหนืดอยู่ที่ 4.1 cSt (mm^2/s) และ 4.4 cSt ตามลำดับ เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิ 40°C โดยปริมาณกรดไขมันอิสระที่พบในน้ำมันสาหร่ายที่สกัดได้จากสาหร่ายพันธุ์ *Chlorella* sp. และ *Spirogyra* sp. มีค่าเท่ากับ 0.701 และ 0.837 ตามลำดับ

จากการเตรียมน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กสายพันธุ์ *Chlorella* sp. และจากสาหร่ายสีเขียวขนาดใหญ่สายพันธุ์ *Spirogyra* sp. พบว่าสมบัติทางกายภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมได้จากสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorella* sp. มีค่าฟิสิก 6.8 ค่าความหนาแน่น 0.86 g/cm^3 ค่าความถ่วงจำเพาะ 0.86 ค่าความหนืด (ที่ 40°C) เท่ากับ 2.2 cSt มีปริมาณกรดที่หลงเหลือ 0.4361 mgKOH/g มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ $1.08 \times 10^{-4} \text{ mol}$ และมีปริมาณซัลเฟอร์ 0.0011% สำหรับน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมได้จากสาหร่ายสายพันธุ์ *Spirogyra* sp. มีค่าฟิสิก 7.2 ค่าความหนาแน่น 0.86 g/cm^3 ค่าความถ่วงจำเพาะ 0.86 และค่าความหนืด (ที่ 40°C) เท่ากับ 2.5 cSt มีปริมาณกรดที่หลงเหลือ 0.4531 mgKOH/g มีปริมาณเมทิลเอสเทอร์ $1.08 \times 10^{-4} \text{ mol}$ และมีปริมาณซัลเฟอร์ 0.0014%ตามลำดับ นอกจากนี้จากการทดสอบหาอุณหภูมิจุดขุ่นตัว (Cloud point) และอุณหภูมิจุดไหลเท (Pour point) ของน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมได้จากน้ำมันสาหร่ายพันธุ์ *Chlorella* sp. หาได้เท่ากับ -1.2°C และ 1.7°C ตามลำดับ และน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมได้จากน้ำมันสาหร่ายพันธุ์ *Spirogyra* sp. หาได้เท่ากับ -1.4°C และ 1.3°C ตามลำดับ ซึ่งจากสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมได้จากสาหร่ายทั้งสองชนิดดังที่ได้กล่าวมาแล้วนี้จึงอาจบอกได้ว่ามีคุณสมบัติที่ไม่แตกต่างกันมากนัก และมีคุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมได้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน พ.ศ. 2550

ดังนั้นจากการศึกษาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายในท้องถิ่นจังหวัดเพชรบูรณ์นี้ จึงเป็นไปได้ที่จะทำการพัฒนาการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลจากสาหร่ายสายพันธุ์ *Chlorella* sp. และสายพันธุ์ *Spirogyra* sp. เพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์และการทำการเกษตรของชุมชนต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- เจดศักดิ์ ไชยคุณา. (2550). เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.eng.chula.ac.th/>. (วันที่ค้นข้อมูล : 21 สิงหาคม 2554)
- จิโนรส ศรีศิริ ยิ่งยศ ลับภู ประสงค์ วงศ์วิชา และกันยรัตน์ โหละสุต. (2551). การหาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันของสาหร่ายทองถิ่นเซลล์เดียว. มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- พินดา รัตนพลที และ ผกาวดี แก้วกันเนตร. (2551). สักยภาพการผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่ายขนาดเล็ก. วารสารศูนย์บริการวิชาการ ปีที่ 16 ฉบับที่ 1, มหาวิทยาลัยขอนแก่น : หน้า 9-13.
- พวงผกา ดำรัตน์ และ พิมพรรณ ดันสกุล. (2548). ผลของช่วงแสงต่อการเติบโตและปริมาณไฮโดรคาร์บอนในสาหร่าย *Botryococcus braunii*. รายงานการวิจัย. มหาวิทยาลัยสงขล
- เพ็ญจันทร์ วงศ์วิสุข. (2533). การใช้ก๊าซ CO₂ เป็นแหล่งคาร์บอนในการเลี้ยงสาหร่ายเกลียวทอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- วินัย ใหม่คามิ และ พงษ์พันธ์ ขยันเยี่ยม. (2550). การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชที่ใช้แล้วและการทดสอบคุณภาพเบื้องต้น. วารสารศูนย์บริการวิชาการ. 15(4), 12-14
- สำนักนโยบายและยุทธศาสตร์ สำนักงานปลัดกระทรวงพลังงาน. (2550). คู่มือเทคโนโลยีพลังงาน การผลิตไบโอดีเซลสำหรับชุมชน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กระทรวงพลังงาน. กรุงเทพมหานคร
- ศิริวรรณ ศิลป์สกุลสุข. (2550). การควบคุมคุณภาพไบโอดีเซล. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก : <http://www.dss.go.th/>. (วันที่ค้นข้อมูล : 21 สิงหาคม 2554).
- Aresta, M., Dibenedetto, A., Carone, M., Colonna, T., and Fragale, C., Production of biodiesel from macroalgae by supercritical CO₂ extraction and thermochemical liquefaction . *Environ. Chem. Lett.* 3: 136-139.
- Miao, X. L., Wu, Q. Y., and Yang, C. (2004). Fast pyrolysis of microalgae to produce renewable fuels. *Anal. Appl. Pyrolysis.* 71: 855-866.
- Moser, B. R., (2009). Biodiesel production properties and feedstocks. *Int. In Vitro Cell.Dev.Biol.*, 45: 229-266.
- Sander, K., Murthy, G. S., (2010). Life cycle analysis of algae biodiesel. *Int. J. Life Cycle. Assess.* 15: 704-714.
- Sharif Hossain, A.B.M., Salleh, A., Nasrullah Boyce, A., Chowdhury, P., and Naquiuddin, M., (2008). Biodiesel fuel production from algae as renewable energy. *Am. J. Biochem. & Biotech.* 4(3) : 250-254.
- Xu, H., Miao, X. L., and Wu, Q. Y. (2006). High quality biodiesel production from a microalga *Chlorella protothecoides* by heterotrophic growth in fermenter . *Biotechnology.* 126: 499-507.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

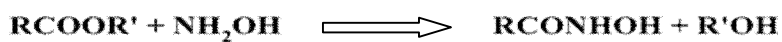
การหาปริมาณกรดของน้ำมัน

$$AV = 56.1 \times N \times V/m$$

- เมื่อ AV = ค่าความเป็นกรด (มิลลิกรัมโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัมน้ำมัน)
 N = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (นอร์มัล)
 V = ปริมาตรของโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในการไทเทรต (มิลลิลิตร)
 m = น้ำหนักน้ำมัน (กรัม)

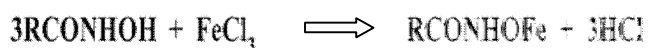
การหาเปอร์เซ็นต์ของเมทิลเอสเทอร์

จาก FeCl_3 5 g ในสารละลายปริมาตร 100 ml มี FeCl_3 อยู่ 0.018 mol



ในสารละลาย FeCl_3 100 ml มี FeCl_3 0.018 mol

ในสารละลาย FeCl_3 0.2 ml มี FeCl_3 $0.018 \times 0.2/100 = 3.6 \times 10^{-5}$ mol



จาก FeCl_3 1 mol ทำปฏิกิริยาพอดีกับ RCONHOH 3 mol

ถ้า FeCl_3 3.6×10^{-5} ทำปฏิกิริยากับ RCONHOH $3 \times 3.6 \times 10^{-5}/1 = 1.08 \times 10^{-4}$ mol

การหาเปอร์เซ็นต์ซัลเฟอร์จากตะกอนแบเรียมซัลเฟต

ปริมาณซัลเฟอร์ = น้ำหนักตะกอนแบเรียมซัลเฟต $\times 32/233$

ร้อยละของปริมาณซัลเฟอร์ = ปริมาณซัลเฟอร์/น้ำหนักตัวอย่าง $\times 100$

ตัวอย่าง

เช่น หลังจากเผากระดาษกรองเหลือแต่ถ่านนำไปชั่งน้ำหนักได้ 0.0021 กรัม โดยใช้ตัวอย่างน้ำหนัก 4.9214 กรัม

คำนวณปริมาณซัลเฟอร์

$$\text{ปริมาณซัลเฟอร์} = 0.0021 \times 32/233$$

ได้ปริมาณซัลเฟอร์เท่ากับ 0.0028 กรัม

คำนวณร้อยละได้

$$\text{คำนวณร้อยละของซัลเฟอร์} = 0.0028/4.9214 \times 100$$

ได้ซัลเฟอร์ร้อยละโดยน้ำหนักเท่ากับ 0.0058

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างรูปภาพในการศึกษาวิจัย



สภาพพื้นที่ที่พบสาหร่ายของอ่างเก็บน้ำห้วยป่าแดง



สภาพพื้นที่ที่พบสาหร่ายของอ่างเก็บน้ำห้วยป่าเลา



สาหร่าย *Spirogyra* sp. หรือเท้าน้ำ



สาหร่าย *Ceratophyllum Demersum* Linn. หรือ
สาหร่ายพวงชะโด



การเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยการให้แสง



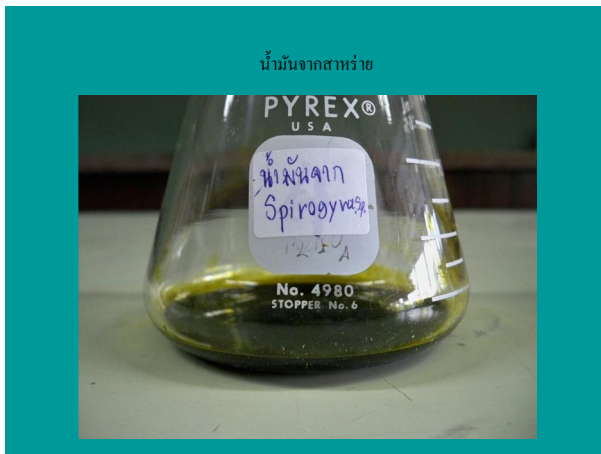
การเพาะเลี้ยงสาหร่ายโดยการให้แสงและ CO_2



การปั่นบดสาหร่ายเพื่อให้เซลล์แตก



การสกัดน้ำมันจากสาหร่ายโดยการแช่ในเฮกเซน



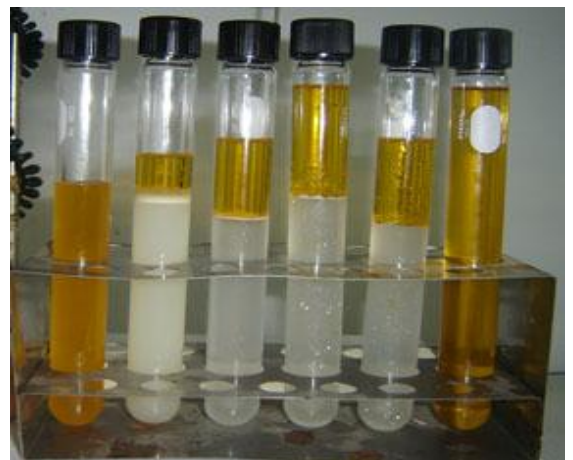
ตัวอย่างน้ำมันจากสาหร่าย



กากสาหร่ายซึ่งเป็นผลพลอยได้



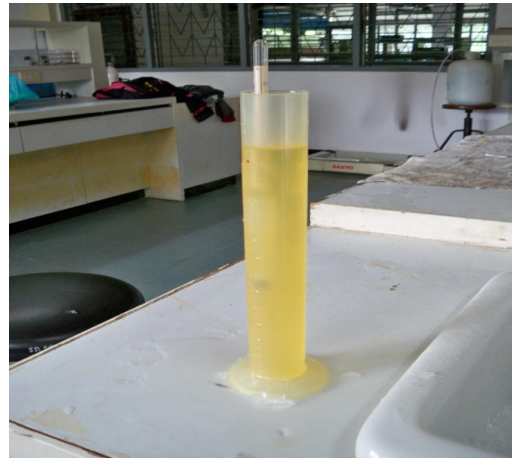
การทิ้งไว้ให้กลีเซอรินตกตะกอนภายหลังจากปฏิกิริยา



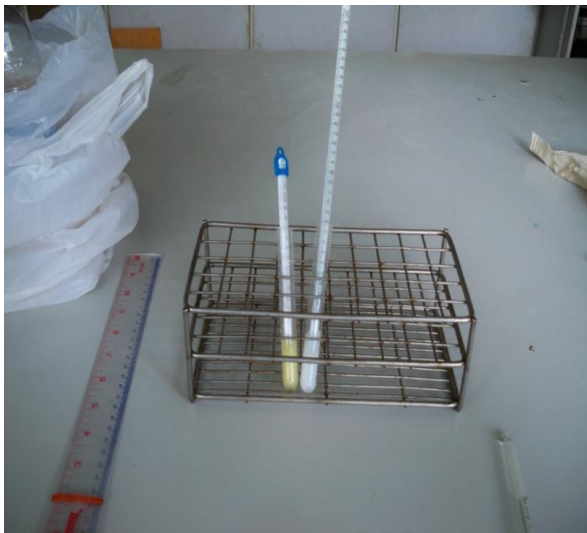
การล้างไบโอดีเซลทำให้มีสีใสขึ้น



ตัวอย่างน้ำมันไบโอดีเซลที่ได้จากสาหร่าย



การหาความถ่วงจำเพาะของไบโอดีเซล



การหาอุณหภูมิจุดไหลเทของน้ำมัน



การติดไฟของน้ำมันไบโอดีเซลที่เตรียมได้

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ผง.1 แสดงการกำหนดลักษณะและคุณภาพของไบโอดีเซลประเภทเมทิลเอสเตอร์ของกรด
ไขมัน พ.ศ. 2550

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ
1	เมทิลเอสเตอร์ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Methyl Ester, % wt.)	ไม่ต่ำกว่า	96.5	EN 14103
2	ความหนาแน่น ณ อุณหภูมิ 15 °ซ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร (Density at 15 °C, kg/m ³)	ไม่ต่ำกว่า	860	ASTM D
		ไม่สูงกว่า	900	1298
3	ความหนืด ณ อุณหภูมิ 40 °ซ เซนติสโตกส์ (Viscosity at 40 °C, cSt)	ไม่ต่ำกว่า	3.5	ASTM D
		ไม่สูงกว่า	5.0	445
4	จุดวาบไฟองศาเซลเซียส (Flash Point, °C)	ไม่ต่ำกว่า	120	ASTM D
				93
5	กำมะถัน ร้อยละโดยน้ำหนัก (Sulphur, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D
				2622
6	กากถ่านร้อยละโดยน้ำหนัก (ร้อยละ 10 ของกากที่เหลือจากการกลั่น) (Carbon Residue , on 10 % distillation residue, %wt)	ไม่สูงกว่า	0.30	ASTM D
				4530
7	จำนวนซีเทน (Cetane Number)	ไม่ต่ำกว่า	51	ASTM D
				613
8	เถ้าซัลเฟต ร้อยละโดยน้ำหนัก (Sulphated Ash, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	ASTM D
				874
9	น้ำร้อยละโดยน้ำหนัก (Water, wt.)	ไม่สูงกว่า	0.050	EN ISO
				12937
10	สิ่งปนเปื้อนทั้งหมด ร้อยละโดยน้ำหนัก (Total Contaminate, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0024	EN 12662
11	การกัดกร่อนแผ่นทองแดง (Copper Strip Corrosion)	ไม่สูงกว่า	หมายเลข 1	ASTM D 130

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงสุด		วิธีทดสอบ
12	เสถียรภาพต่อการเกิดปฏิกิริยาช้าโอมง ออกซิเดชัน ณ อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส (Oxidation Stability at 100 °C, hours)	ไม่ต่ำกว่า	6	EN 14112
13	ค่าความเป็นกรด มิลลิกรัม โพตัสเซียมไฮดรอกไซด์/กรัม (Acid Value , mg KOH/g)	ไม่สูงกว่า	0.50	ASTMD 664
14	ค่าไอโอดีน กรัมไอโอดีน/ 100 กรัม (Iodine Value , g Iodine / 100 g)	ไม่สูงกว่า	120	EN 14111
15	กรดลิโนเลนิกเมทิลเอสเทอร์ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Linolenic Acid Methyl Ester , %wt.)	ไม่สูงกว่า	12.0	EN 14103
16	เมทานอล ร้อยละโดยน้ำหนัก (Methanol, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14110
17	โมนอกลิเซอไรด์ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Monoglyceride %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.80	EN 14105
18	ไดกลิเซอไรด์ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Diglyceride , %wt)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
19	ไตรกลิเซอไรด์ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Triglyceride , %wt)	ไม่สูงกว่า	0.20	EN 14105
20	กลีเซอรินอิสระ ร้อยละโดยน้ำหนัก (Free glycerin , %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.02	EN 14105
21	กลีเซอรินทั้งหมด ร้อยละโดยน้ำหนัก (Total glycerin, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.25	EN 14105
22	โลหะกลุ่ม 1 (โซเดียมและ โพแทสเซียม) มิลลิกรัม/ กิโลกรัม (Group I metals (Na+K), mg/kg)	ไม่สูงกว่า	5.0	EN 14108 EN 14109
	โลหะกลุ่ม 2 (แคลเซียมและแมกนีเซียม) มิลลิกรัม/ กิโลกรัม (Group II metals (Ca+Mg), mg/kg)	ไม่สูงกว่า	5.0 pr	EN 14538

รายการ	ข้อกำหนด	อัตราสูงต่ำ		วิธีทดสอบ
23	ฟอสฟอรัส ร้อยละโดยน้ำหนัก (Phosphorus, %wt.)	ไม่สูงกว่า	0.0010	ASTM D 4951
24	สารเติมแต่ง (ถ้ามี) (Additive)	ให้เป็นไปตามที่ได้รับความเห็นชอบจากอธิบดีกรมธุรกิจพลังงาน		

ประวัติผู้วิจัย

- ชื่อ: ดร. ปิยรัตน์ มูลศรี
- คุณวุฒิ: วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เคมี) คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
วิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต (เคมี) คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- ตำแหน่ง: อาจารย์ระดับ 7
- สถานที่ติดต่อ: คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์