

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาวิจัยเรื่อง ความเป็นไปได้ในการสร้างอุตสาหกรรมการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากสาหร่ายน้ำมัน ผู้ศึกษาได้ค้นคว้าเอกสาร แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ แล้วนำมาวิเคราะห์ความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ และความสามารถในการผลิตได้จริงในเชิงพาณิชย์ รวมทั้งเพื่อให้ได้ความรู้ ความเข้าใจ ความจริง ครอบคลุมในการตอบคำถามทุกประเด็น ของวัตถุประสงค์ในงานวิจัย โดยการทบทวนวรรณกรรมต่างๆ ดังต่อไปนี้

- 2.1 นโยบายและการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพของประเทศไทย
- 2.2 แนวคิดในการนำสาหร่ายมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ
- 2.3 แนวคิดทฤษฎี ที่เกี่ยวข้องกับความเป็นไปได้ ในการสร้างอุตสาหกรรมการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากสาหร่ายน้ำมัน ในเชิงพาณิชย์

2.1 นโยบายและการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพของประเทศไทย

ประเทศไทยมีการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่อง และรวดเร็ว ทำให้มีแนวโน้มของความต้องการในการใช้พลังงานมีจำนวนที่สูงขึ้น ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีปริมาณน้ำมันสำรอง ที่ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน จึงต้องอาศัยการนำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งส่งผลต่อความมั่นคงทางด้านพลังงานของประเทศไทย ที่แสดงถึงความไม่แน่นอนทางด้านพลังงาน เนื่องจากต้องอาศัยการพึ่งพาแหล่งพลังงานจากต่างประเทศอยู่ และได้นำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นหลัก จากข้อมูลในปี พ.ศ. 2554 ที่ผ่านมาพบว่า กว่าร้อยละ 60 ของความต้องการพลังงานเชิงพาณิชย์ขึ้นต้น มาจากการนำเข้า โดยมีสัดส่วนการนำเข้าน้ำมันสูงถึงร้อยละ 80 ของปริมาณการใช้น้ำมันทั้งหมดภายในประเทศ และยังมีแนวโน้มจะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากเรายังไม่สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตปิโตรเลียมภายในประเทศได้ทันกับความต้องการใช้งาน การพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างจริงจัง จะช่วยลดการพึ่งพาการนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ โดยพลังงานทดแทนถือเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงเป้าหมาย ที่คาดว่าจะสามารถนำมาใช้ในการผลิตทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิลได้อย่างมีนัยสำคัญ และหากเทคโนโลยีพลังงานทดแทนเหล่านี้ มีต้นทุนที่ถูกลง และได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง ก็จะสามารถพัฒนาให้เป็นพลังงานหลักสำหรับประเทศไทยได้ในอนาคตอย่างแน่นอน

ดังนั้น รัฐบาลจึงมีนโยบายส่งเสริมการใช้พลังงานชีวมวล ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานทดแทนประเภทหนึ่งที่มีปริมาณมาก และมีศักยภาพสูง ประกอบกับประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ทำให้ประเทศไทยมีข้อได้เปรียบหลายด้าน ทั้งนี้จากการสำรวจพบว่า ประเทศไทยได้มีการนำชีวมวลไม่ว่าจะเป็นสาหร่าย แกลบ กากอ้อย ไม้ฟืน นำมาไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานแล้ว แต่ยังไม่คุ้มค่า หรือบางส่วน

ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์เท่าที่ควร และเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก สำหรับสาหร่าย ถือได้ว่าเป็นชีวมวลตัวหนึ่งที่มีศักยภาพสูง เพราะมีค่าความร้อนที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาตรต่อปริมาตรกับพลังงานชีวมวลที่ได้จากชีวมวลอื่น และเป็นสิ่งที่ประเทศไทยยังไม่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง ในรูปแบบของพลังงาน ซึ่งจากการประเมินศักยภาพในด้านพลังงานพบว่า ประเทศไทยสามารถผลิตพลังงานจากแหล่งนี้ทดแทนน้ำมันจากฟอสซิล ซึ่งหากนำมาใช้ประโยชน์อย่างจริงจังได้ จะก่อให้เกิดแหล่งพลังงานทางเลือกที่มีปริมาณมหาศาล และคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์เป็นอย่างมาก สำหรับการขยายผลเพื่อการผลิตในเชิงพาณิชย์ (ระยะยาว พ.ศ. 2560-2564) จะเตรียมการในลำดับของการจัดทำแผนปฏิบัติการต่อไป เมื่อผลงานวิจัยได้รับการยอมรับ โดยคาดว่าจะขยายผลสู่โรงกลั่นทุกแห่งในประเทศ ดังรูปที่ 2.1

แผนการพัฒนา	ตัวชี้วัด	ระยะที่ 1	ระยะที่ 2								
1. แผนงานวิจัย 1.1 ED95 1.2 ดีโซฮอล์ 1.3 FAEE 1.4 BHD 1.5 สาหร่ายน้ำจืดและเค็ม 1.6 สบู่ดำ 1.7 BTL	- ผลการศึกษาพัฒนาเชื้อเพลิงใหม่ในอนาคตมีความชัดเจนเพียงพอต่อการตัดสินใจเชิงนโยบาย รวมทั้งมีความพร้อมในการนำร่องโครงการและพัฒนาเชิงพาณิชย์ตามลำดับต่อไป	57 ED 95 ดีโซฮอล์ 58 FAEE BHD 59 สาหร่ายน้ำจืด+น้ำเค็ม BTL สบู่ดำ									
2. โครงการนำร่อง และ ทดลองทำ Fleet Test	- เกิดโครงการนำร่องและทดลองในระดับ Fleet Test - ตัดสินใจคัดเลือกเชื้อเพลิงใหม่ที่เหมาะสมที่สุด	57-59 - นำร่อง ED95 หรือดีโซฮอล์ หรือ FAEE 58-60 - นำร่องสาหร่าย,สบู่ดำ + BHD 58-60 - นำร่องโครงการ BioJet,(BHD)									
3. พัฒนาเชิงพาณิชย์	- เกิดโรงงานผลิตเชิงพาณิชย์และที่มีกำลังการผลิตรวม 2 ลอ/วัน ในปี 2561 - เพิ่มกำลังการผลิตเป็น 25 ลอ/วัน ในปี 2564		เกิดกำลังการผลิตเชิงพาณิชย์ <table> <tr> <td>61</td><td>62</td><td>63</td><td>64</td></tr> <tr> <td>2</td><td>6</td><td>15</td><td>25</td></tr> </table>	61	62	63	64	2	6	15	25
61	62	63	64								
2	6	15	25								

รูปที่ 2.1 แสดงแผนการพัฒนาเชื้อเพลิงใหม่ทดแทนดีเซลในอนาคต
ที่มา : กระทรวงพลังงาน (2555)

2.1.1 การพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานทดแทนที่มีใช้ในปัจจุบัน

สถานการณ์ความไม่แน่นอนของราคาเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ไม่ว่าจะเป็น น้ำมันดิเซล น้ำมันเบนซิน และน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ต่างมีแนวโน้มทางด้านราคาที่ปรับตัวเพิ่มมากขึ้น รวมถึงการใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียมที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน สืบเนื่องมาจากการใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียมในภาคการคมนาคม และขนส่ง โดยเฉพาะผู้ขับรถยนต์ส่วนบุคคล ซึ่งจะเห็นได้ว่า ผู้บริโภคเริ่มหันมาให้ความสนใจ เกี่ยวกับรถยนต์ประหยัดพลังงาน และสิ่งที่สำคัญคือ รถยนต์ที่สามารถรองรับเทคโนโลยีพลังงานทดแทน ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม มากกว่าเชื้อเพลิงปิโตรเลียมอื่น และกำลังเป็นที่ต้องการเป็นอย่างมาก ในตลาดอุตสาหกรรมยานยนต์ของประเทศไทยในปัจจุบัน

ในปัจจุบัน เป้าหมายหลักของการใช้เชื้อเพลิงทดแทนของโลกในอนาคต นอกจากวัตถุประสงค์การใช้ น้ำมันชีวมวลทดแทนน้ำมันฟอสซิลแล้ว อีกวัตถุประสงค์หนึ่งคือ เพื่อลดปัญหามลภาวะที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิงแบบดั้งเดิม โครงการวิจัยเกี่ยวกับเชื้อเพลิงสะอาด ซึ่งได้รับการสนับสนุนด้านการวิจัยจากรัฐบาล เกี่ยวกับเทคโนโลยีพลังงานทดแทน ในอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย เมื่อปี พ.ศ. 2552 โดยใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ คือ วิธีการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการ (Life Cycle Costs Analysis) โดยผู้ศึกษาได้ทำแบบจำลอง (Model) เพื่อใช้สำหรับวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยใช้การวิเคราะห์ต้นทุนผลประโยชน์และการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวงจรชีวิตของโครงการ (Cost Benefit Analysis-life Cycle Cost Analysis) จากการวิจัยพบว่า การใช้พลังงานทดแทนจากพืช มีนัยสำคัญทางด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และสวัสดิการสังคมสูงสุด เมื่อใช้ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนการผลิต ภาษี และราคาการกำจัดมลภาวะทางอากาศที่เกิดขึ้น

การนำสาหร่ายมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงพลังงานนั้น สามารถจำแนกได้ตามสถานะ โดยการนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงเหลว ซึ่งปัจจุบันสามารถทำได้ 2 วิธีคือ การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) และกระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis Process) โดยเป็นกระบวนการเคมีความร้อน (Thermochemical Process) คือ การใช้ความร้อนในการสลายโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ ของวัตถุดิบตั้งต้น ให้มีขนาดโครงสร้างโมเลกุลที่เล็กลง (Thermal Decomposition) ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจน หรือมีในปริมาณที่จำกัด ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีโมเลกุลขนาดเล็ก หลากหลายอะตอม ส่วนกลิ่นได้ที่มีจุดเดือดมากกว่า 370 องศาเซลเซียส สามารถนำไปกลั่นแยก และผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพ เพื่อให้เหมาะสมต่อการใช้เป็นเชื้อเพลิงเหลวชนิดต่างๆ นอกจากนั้น ยังมีของแข็งซึ่งเป็นส่วนของวัสดุตั้งต้นที่เหลือ อันเกิดจากปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) ซึ่งองค์ประกอบของวัสดุตั้งต้น จะขึ้นอยู่กับสถานะที่ใช้ในกระบวนการ ได้แก่ อุณหภูมิ เวลา ตัวเร่ง ปฏิกิริยา และอื่นๆ เป็นปัจจัยหลักกำหนดสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ซึ่งการใช้สาหร่ายที่พบโดยทั่วไปนั้น หลายสายพันธุ์มีศักยภาพเพียงพอ

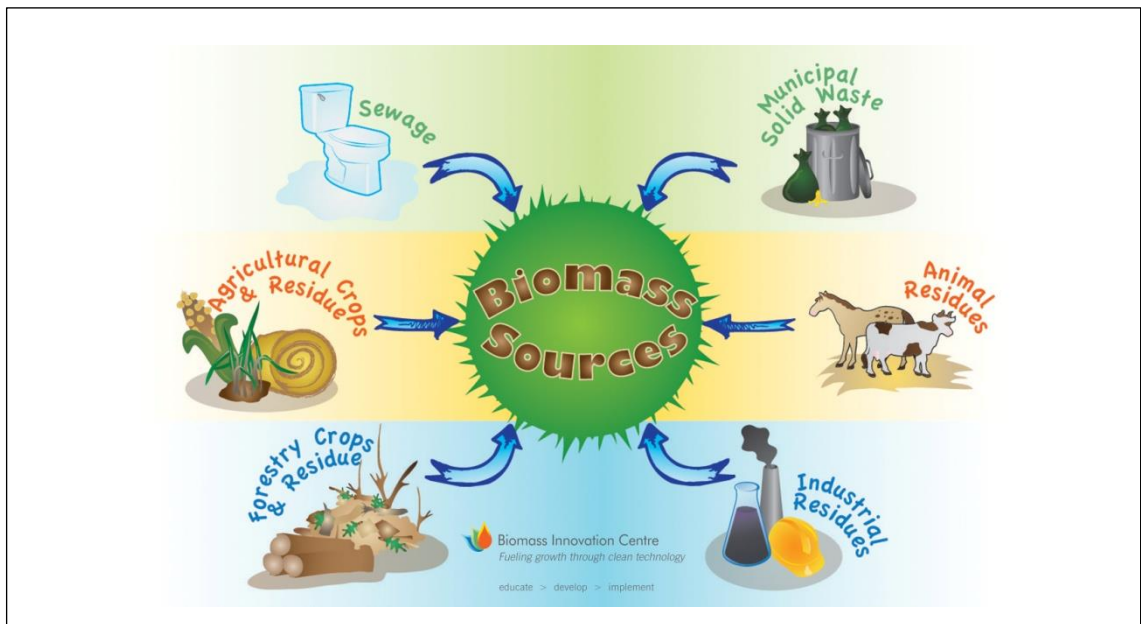
ที่สามารถผลิตเป็นพลังงานทดแทน และมีอีกเป็นจำนวนมากหลายสายพันธุ์ ที่ยังไม่เคยปรากฏว่ามีการศึกษาทดลองมาก่อน

2.1.2 แนวคิดด้านพลังงานทดแทน

พลังงานถือเป็นปัจจัยสำคัญ ในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ และเป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำเนินชีวิตของประชาชน การเสริมสร้างความมั่นคงทางด้านพลังงาน เพื่อให้ประเทศมีพลังงานใช้อย่างพอเพียง จึงเป็นภารกิจที่สำคัญของทุกรัฐบาล ที่ต้องทำหน้าที่ในการบริหารนโยบายด้านพลังงานทดแทน ซึ่งถือเป็นนโยบายสาธารณะสำคัญ ที่มีส่วนในการสร้างความมั่นคงทางพลังงานให้กับประเทศ แต่ก่อนที่จะศึกษาวิเคราะห์ถึงกระบวนการ ในการนำนโยบายด้านพลังงานทดแทนไปปฏิบัติในเชิงพาณิชย์นั้น ทุกฝ่ายจำเป็นต้องอย่างยิ่ง ที่จะต้องทำความเข้าใจกับเนื้อหาสาระ และความเป็นมาของนโยบายดังกล่าวเสียก่อน ซึ่งสามารถอธิบายได้ ดังนี้

กระทรวงพลังงาน (2555) ให้ความหมายของพลังงานทดแทนว่า คือ พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมัน เชื้อเพลิง สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มาเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป อาจเรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทราย-น้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่ง เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น แต่ในที่นี้ ผู้ศึกษาเห็นว่าในปัจจุบัน พลังงานทดแทน น่าจะหมายถึง พลังงานประเภทที่สอง หรือพลังงานหมุนเวียน เนื่องจากพลังงานดังกล่าวสามารถหาได้ง่าย และไม่ทำให้เกิดความสิ้นเปลือง อีกทั้งพลังงานดังกล่าวยังเป็นพลังงานสะอาด ที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

นอกจากนั้น ในหลายๆ ประเทศได้ให้ความสำคัญในการลงทุน ด้านการค้นคว้าวิจัยในการพัฒนาพลังงานทดแทนกันมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานที่มาจากชีวมวล ซึ่งพลังงานชีวมวล (Biomass) ที่ได้จากสาหร่าย ก็ถือเป็นพลังงานทดแทนประเภทหนึ่งด้วย



รูปที่ 2.2 แสดงแหล่งชีวมวล (Biomass Sources)

มากกว่านั้น ชีวมวลที่เป็นเศษซากเหลือทิ้งจากกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthetic Process) โดยวิธีตามธรรมชาติ เมื่อนำมาผ่านกระบวนการทางเทคโนโลยี ไม่ว่าจะเป็นการหมัก การกลั่น ทำให้เกิดพลังงานในรูปแบบต่างๆ เช่น พลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า เป็นต้น และยังช่วยลดมลภาวะที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้อีกทางหนึ่งด้วย

2.1.3 นโยบายด้านพลังงานทดแทน

ในช่วงปี พ.ศ. 2547 เกิดปัญหาวิกฤตการณ์น้ำมันแพงขึ้น เนื่องจากความผันผวนของราคาน้ำมันในตลาดโลก ซึ่งเป็นผลมาจากความไม่มั่นคงของสถานการณ์ทางการเมืองในประเทศแถบตะวันออกกลาง การก่อการร้ายข้ามชาติ ตลอดจนการเก็งกำไรของกองทุนเฮดจ์ฟันด์ (Hedge Funds) ทำให้เกิดการกักตุนน้ำมัน เป็นผลให้ประเทศไทยต้องนำเข้าพลังงานในปีดังกล่าว เป็นมูลค่าสูงถึง 540,436 ล้านบาท ทำให้รัฐบาลพันตำรวจโท ดร.ทักษิณ ชินวัตร (รัฐบาลในขณะนั้น) ต้องกำหนดยุทธศาสตร์การแก้ไขปัญหาลงทุนพลังงานของประเทศ ซึ่งมีสาระสำคัญอยู่ 3 ประการหลัก ได้แก่ (อนุก เทียนบุชา, 2550 อ้างถึงอำนาจ ทองสถิตย์, 2548)

- 1) การเร่งใช้เชื้อเพลิงอื่นแทนน้ำมัน และใช้น้ำมันอย่างมีประสิทธิภาพ
- 2) การจัดหาแหล่งพลังงาน
- 3) การสร้างมูลค่าเพิ่มให้ทรัพยากรพลังงาน

โดยได้กำหนดทิศทางการสนับสนุน ด้านการอนุรักษ์พลังงาน และการใช้พลังงานทดแทนไว้ ดังนี้

- 1) ส่งเสริมให้มีการพัฒนาองค์ความรู้ ด้านการอนุรักษ์พลังงาน และพลังงานทดแทน
- 2) ประสานความร่วมมือกับภาคเอกชน และชุมชน
- 3) กำหนดมาตรการบังคับ
- 4) กำหนดมาตรการเพื่อเพิ่มแรงจูงใจให้แก่ภาคเอกชน เช่น ให้เงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ ให้สิทธิประโยชน์ทางภาษี และใช้มาตรการส่งเสริมการลงทุน
- 5) ส่งเสริมธุรกิจการจัดการพลังงาน
- 6) สร้างดัชนีการใช้พลังงาน ในภาคอุตสาหกรรมต่างๆ

โดยมีการตั้งเป้าหมายของการพัฒนาพลังงานทดแทนใหม่ กำหนดให้ในปี พ.ศ. 2554 ประเทศไทย จะต้องมีการใช้พลังงานทดแทน จากเดิมกำหนดไว้เพียงร้อยละ 0.5 เป็นร้อยละ 8 ของการใช้พลังงาน ทั้งหมด หรือคิดเป็น 6,540 พันตัน เทียบเท่าน้ำมันดิบ โดยแยกประเภทพลังงานทดแทนเป็น 3 ประเภท คือ (กระทรวงพลังงาน, 2550)

- 1) พลังงานทดแทนไฟฟ้า กำหนดให้พัฒนาคิดเป็นร้อยละ 16 ของพลังงานทดแทนทั้งหมด หรือ 1,060 พันตัน โดยใช้พลังงานจากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานจากชีวมวล และพลังงานน้ำขนาดเล็ก
- 2) พลังงานทดแทนเชื้อเพลิงเหลว กำหนดให้พัฒนาคิดเป็นร้อยละ 24 ของพลังงานทดแทนทั้งหมด หรือ 1,570 พันตัน เพื่อใช้ในภาคขนส่ง และภาคเกษตรกรรม โดยใช้พลังงานทดแทนจาก เอทานอล และไบโอดีเซล
- 3) พลังงานทดแทนด้านพลังงานความร้อน กำหนดให้พัฒนาคิดเป็นร้อยละ 60 ของพลังงานทดแทนทั้งหมด หรือ 3,910 พันตัน เพื่อใช้ในภาคอุตสาหกรรม และเกษตรกรรม โดยใช้พลังงานทดแทนจากชีวมวล อันได้แก่ ขยะชุมชน มูลสัตว์ และน้ำเสียจากภาคอุตสาหกรรม

ต่อมาปี พ.ศ. 2549 เกิดการเปลี่ยนแปลงทางการเมือง ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนคณะรัฐบาล เมื่อรัฐบาลของ พลเอกสุรยุทธ์ จุลานนท์ เข้าทำหน้าที่บริหารประเทศ ได้มีการจัดทำนโยบาย และแผนพัฒนาพลังงาน เพื่อเป็นการเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงาน ให้ประเทศมีพลังงานใช้อย่างพอเพียง ทั้งถึงและเป็นธรรม โดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อม อันเป็นภารกิจสำคัญของรัฐบาล รวมถึงการสร้างจิตสำนึกให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และยั่งยืน ตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง ซึ่งเป็นแนวพื้นฐานหลักในการพัฒนาพลังงานของประเทศ โดยกำหนดแผนดำเนินการออกเป็น 2 ระยะ ดังนี้ (กระทรวงพลังงาน, 2550)

1) ในระยะแรก ได้กำหนดแผนระยะสั้น ดำเนินการภายใน 1 ปี เป็นการจัดการปัญหาเร่งด่วน ในด้านการปรับโครงสร้างการบริหารกิจการพลังงาน การประหยัดพลังงาน การส่งเสริมพลังงานทดแทน โครงสร้างราคาพลังงานที่เหมาะสม และการแข่งขันที่เป็นธรรม โดยจะเร่งดำเนินการในเรื่องต่างๆ ดังนี้

1.1) ปรับโครงสร้างการบริหารกิจการพลังงานให้เหมาะสม ประกอบด้วย

(1) ตราพระราชบัญญัติประกอบกิจการพลังงาน ไฟฟ้า และก๊าซธรรมชาติ เพื่อแยกงานนโยบาย และการกำกับดูแลให้มีความชัดเจน โอนอำนาจมหาชนของรัฐวิสาหกิจ ที่เป็นเอกชน ให้เป็นขององค์กรกำกับดูแล และสร้างกลไกการคุ้มครองผู้บริโภค รวมทั้งจัดตั้งองค์กรกำกับดูแลตามกฎหมายนี้

(2) เร่งผลักดัน แก้ไขกฎหมายด้านพลังงานอื่นๆ เพื่อให้การบริหารจัดการพลังงานมีประสิทธิภาพสูงสุด

1.2) การจัดหาพลังงาน ประกอบด้วย

(1) เร่งรัด และส่งเสริมการสำรวจและพัฒนาแหล่งเชื้อเพลิงพลังงาน ทั้งภายในประเทศ และเขตพื้นที่ทับซ้อนกับประเทศเพื่อนบ้าน รวมถึงส่งเสริมภาคเอกชน ในการลงทุนด้านพลังงานในประเทศ และต่างประเทศ เพื่อสร้างเสถียรภาพด้านการจัดหา และการกระจายแหล่งพลังงานของประเทศ

(2) ปรับปรุงแผนพัฒนาการใช้ไฟฟ้า ให้สอดคล้องกับภาวะเศรษฐกิจที่แท้จริง เพื่อให้มีการลงทุนที่เหมาะสม ให้มีการกระจายแหล่ง และชนิดเชื้อเพลิง มีต้นทุนต่ำ และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย รวมทั้งดำเนินการรับซื้อไฟฟ้าจากภาคเอกชน

1.3) สนับสนุนการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ และประหยัด ประกอบด้วย

(1) ให้มีการปฏิบัติอย่างจริงจัง ทั้งภาครัฐ เอกชน และประชาชน โดยกำหนดเป้าหมายลดการใช้พลังงาน ส่งเสริมให้เกิดการลงมือปฏิบัติอย่างจริงจัง และรณรงค์ประชาสัมพันธ์อย่างต่อเนื่อง

(2) จัดตั้งองค์กรหลัก ในการผลักดัน และการบริหารจัดการด้านการใช้พลังงาน ที่สามารถปฏิบัติงานได้อย่างคล่องตัว มีประสิทธิภาพ มีความต่อเนื่อง ชัดเจน ทั้งในเรื่องนโยบาย และรูปแบบการบริหารจัดการ และเร่งออกมาตรการประหยัดพลังงานของอุปกรณ์ เครื่องจักร และเครื่องยนต์ที่ใช้พลังงาน

(3) สนับสนุนให้มีการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าความร้อนร่วม (Cogeneration) ซึ่งเป็นระบบการผลิตไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ

1.4) ส่งเสริมพลังงานทดแทนที่เหมาะสมกับประเทศ

(1) ส่งเสริมการใช้ก๊าซธรรมชาติ แก๊สโซฮอลล์ และไบโอดีเซล ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง ตามความเหมาะสมของศักยภาพของประเทศ

(2) สนับสนุนให้มีการรับซื้อไฟฟ้า จากพลังงานหมุนเวียน เช่น วัสดุเหลือใช้จากการเกษตรของเสียจากอุตสาหกรรม ก๊าซชีวภาพ ขยะ ลม และพลังงานแสงอาทิตย์ ในสัดส่วน และราคาที่เหมาะสม โดยเร่งออกประกาศขยายปริมาณการรับซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตขนาดเล็ก และเล็กมาก

1.5) กำหนดโครงสร้างราคาพลังงานที่เป็นธรรม โปร่งใส และสะท้อนต้นทุนที่แท้จริง ภายใต้การดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ ตลอดจนมีการกำกับดูแล ให้การกำหนดราคาเป็นไปตามกลไกตลาด รวมถึงการบริหารจัดการ เพื่อลดภาระหนี้สินกองทุนน้ำมัน

1.6) กำหนดมาตรการด้านพลังงานสะอาด เพื่อสนับสนุนสิ่งแวดล้อม โดยกำหนดมาตรฐานน้ำมันที่เหมาะสม เพื่อให้สอดคล้องกับการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมของประเทศ และกระแสโลก และให้ความสำคัญในการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม จากการพัฒนาธุรกิจพลังงาน และปฏิบัติตามพันธกรณีด้านสิ่งแวดล้อม ที่ให้สัตยาบันไว้กับมิตรประเทศ และเร่งผลักดันกลไกการพัฒนาที่สะอาด เพื่อส่งเสริมให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม และช่วยให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียนเพิ่มขึ้น

1.7) ส่งเสริมให้ภาคเอกชน และประชาชน มีส่วนร่วมในการกำหนดนโยบาย และมาตรการด้านพลังงาน ตลอดจนการมีส่วนร่วมในการพัฒนาพลังงานชุมชน เช่น การผลิตไฟฟ้า และไบโอดีเซลชุมชน อันเป็นการสอดคล้องกับการพัฒนาเศรษฐกิจแบบพอเพียง

2) ในระยะที่สอง มีการกำหนดแผนระยะยาว เพื่อวางรากฐานการบริหารจัดการพลังงานแบบยั่งยืน และสอดคล้องตามหลักปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง โดยจะดำเนินการในเรื่องต่างๆ ดังนี้

2.1) จัดหาพลังงาน โดยกำหนดมาตรการที่ก่อให้เกิดการพัฒนา และจัดหาพลังงานของประเทศ ที่ทำให้เกิดความมั่นคง มีใช้อย่างพอเพียง และทั่วถึง และลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ พร้อมทั้งสนับสนุน ส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน และศึกษาวิจัยพัฒนาพลังงานทางเลือกอื่นๆ เช่น เซลล์เชื้อเพลิง หินน้ำมัน และนิวเคลียร์

2.2) พัฒนาพลังงานแบบยั่งยืน ให้ความสำคัญในการลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม จากการพัฒนาธุรกิจพลังงาน ปฏิบัติตามพันธกรณีด้านสิ่งแวดล้อม ที่ให้สัตยาบันไว้กับมิตรประเทศ โดยให้ผู้ผลิต ผู้จำหน่าย และผู้ใช้เข้ามามีส่วนร่วมในการรับผิดชอบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม รวมทั้งให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการบริหารจัดการพลังงาน

2.3) ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการสนับสนุนหน่วยงานอื่นในการพัฒนาโครงการที่ส่งผลการลดใช้พลังงาน โดยเฉพาะน้ำมัน ได้แก่ การพัฒนาระบบขนส่งมวลชน ระบบโลจิสติกส์ (Logistic) การพัฒนายานยนต์ประหยัดพลังงาน เป็นต้น

2.4) ส่งเสริมการแข่งขันในธุรกิจพลังงาน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพ และความเป็นธรรม โดยมีระบบกำกับดูแลการประกอบกิจการที่มีประสิทธิภาพ และสร้างความเป็นธรรมให้แก่ผู้บริโภค

จะเห็นได้ว่า นโยบายพลังงานทดแทนจัดเป็นนโยบายสาธารณะ เนื่องจากนโยบายดังกล่าวเป็นนโยบายที่รัฐบาลกำหนดขึ้น เพื่อที่จะแก้วิกฤตการณ์การขาดแคลนพลังงานของประเทศ ซึ่งมีผลกระทบกับประชาชนส่วนใหญ่ แม้ว่าจะเกิดความเปลี่ยนแปลงทางการเมือง แต่การจัดหาพลังงานทดแทน ก็ยังคงเป็นประเด็นปัญหาที่สำคัญของทุกรัฐบาล โดยจะเห็นได้ว่าการกำหนดไว้ในแผนพัฒนาพลังงานทั้งในระยะสั้น และระยะยาว และเมื่อพิจารณานโยบายดังกล่าว จะเห็นได้ว่าการกำหนดเป้าหมายของการดำเนินการ ที่มีความชัดเจนตั้งแต่แรกเริ่มแล้ว จึงทำให้สามารถแปลงนโยบายไปสู่การนำไปปฏิบัติได้ ในส่วนของพลังงานทดแทนจะเห็นได้ว่า มีการแยกเป็นหลายประเภท แต่สำหรับในการศึกษาครั้งนี้ จะทำการศึกษาเฉพาะในเรื่องของนโยบาย ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาพลังงานทดแทนที่มาจากสาหร่ายเท่านั้น

2.1.4 น้ำมันและการใช้น้ำมันที่ได้จากพืชสาหร่าย

น้ำมัน ถ่านหิน หินน้ำมัน ทราชน้ำมัน ในทั้งหมดนี้คือ ซากสัตว์ และซากพืชที่ตายมานานนับเป็นล้านปี และทับถมสะสมกันจมอยู่ในใต้ดิน แล้วเปลี่ยนรูปเป็นสิ่งที่เรียกว่าฟอสซิล ระหว่างนั้นก็มีการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ จนซากสัตว์และซากพืช หรือฟอสซิลนั้น กลายเป็นน้ำมันดิบ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น ทุกคนจึงเรียกเชื้อเพลิงประเภทนี้ว่า เชื้อเพลิงฟอสซิล

จากการศึกษาวิจัยพบว่า เมื่อสัตว์และพืชตายแล้ว จะถูกชะล้างโดยน้ำฝน ซึ่งจะไหลจมลงสู่ก้นทะเลสาบต่างๆ โดยจะถูกทับถมโดยชั้นของตะกอนต่างๆ สิ่งที่ถูกทับถมกันลงมา เช่น ซากพืช ซากสัตว์ หิน ดิน และทราย จากกระบวนการนี้จะเกิดก่อน ซากพืชเหล่านี้จะสามารถย่อยสลายไปในอากาศ แบคทีเรียซึ่งสามารถมีชีวิตอยู่ได้ โดยไม่มีออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) จะเริ่มกระบวนการสลายสารพวกนี้ ให้กลายเป็นน้ำมันดิบ และก๊าซธรรมชาติ โดยคาดว่ามันจะเป็นกระบวนการทางเคมี ที่เกี่ยวข้องกันระหว่างซากสิ่งมีชีวิต ที่อยู่ในดินโคลน และน้ำที่อยู่ในรอบๆ ตัว เพราะเหมือนว่าจะมีวิธีการที่แตกต่างกันในการเกิดเป็นน้ำมัน ในขณะที่ซากสิ่งมีชีวิตต่างๆ ถูกย่อยสลาย ก็จะถูกทับถมโดยตะกอนต่างๆ มากขึ้น จากน้ำจืดและน้ำลงของทะเล และโคลนทรายที่แม่น้ำพัดลงมา โดยกระบวนการเหล่านี้จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ เป็นล้านๆ ปี แต่ในที่สุด สารต่างๆ ก็จะถูกเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) ซึ่งใช้สร้างน้ำมัน และก๊าซ โดยมีส่วนผสมของทราย และดินเหนียวเข้ามาเจือปน และเมื่อชั้นของสารอินทรีย์ต่างๆ เพิ่มขึ้น ค่าความดัน และอุณหภูมิ ซึ่งเป็นปัจจัยของกระบวนการเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้กระบวนการเกิดขึ้นได้เร็ว และยังมีอีกสิ่งหนึ่งคือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ไม่ได้สร้างทะเลน้ำมันไว้ใต้ดินอย่างที่เข้าใจ โดยซากพืช ซากสัตว์ จะถูกผสมเข้ากับน้ำและทราย ซึ่งซึมผ่านเข้ามาทางชั้นรูพรุนของหินทราย (Sandstone คือ หินที่มีส่วนผสมของทราย หรือแร่ควอตซ์กับดินเหนียว แคลเซียมคาร์บอเนต และไอออนออกไซด์) หรือ หินปูน (Limestone คือ หินที่ประกอบด้วยสารแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3)) พร้อมกับฟองอากาศ

ของก๊าซ โดยปกติแล้วความดันจะช่วยบังคับให้เกิดการผสมกันระหว่างหินพวกนี้ โดยน้ำมันและก๊าซจะถูกกักอยู่ระหว่างช่องว่างของหินตะกอน (Sedimentary Rock คือ หินที่เกิดจากการทับถมกันของตะกอนต่างๆ ในทะเลโบราณ) เหมือนกับน้ำในฟองน้ำ และในที่สุด น้ำมันและก๊าซก็จะพบกับชั้นของหิน ซึ่งไม่สามารถผ่านไปได้ (หินที่ไม่มีรูพรุน) และพวกซากพืช ซากสัตว์ก็จะถูกกัก (Trap) อยู่ในชั้นพืชที่เกิดขึ้นมาในธรรมชาติ ส่วนใหญ่ล้วนแต่มีสารประกอบจำพวกไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon) รวมอยู่แล้วทั้งสิ้น แต่จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิด สายพันธุ์ และองค์ประกอบทางภูมิศาสตร์ ของแต่ละพื้นที่

ในการนำน้ำมันจากสาหร่ายมาใช้กับเครื่องจักร ในปัจจุบันได้มีการนำมาประยุกต์ใช้งานกันอยู่ 2 ประเภท คือ

1) นำมาเป็นสารหล่อลื่นที่ใช้กับเครื่องจักร ไม่ว่าจะเป็นน้ำมันที่ใช้สำหรับเป็นจาระบีในระบบไฮดรอลิก หรือใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่นเครื่องยนต์ ต่างก็มีลักษณะทางเทคนิค ที่เหมือนกับน้ำมันที่ได้จากแร่ธาตุ แต่มีข้อดีกว่าคือ สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ และมีระดับความเป็นพิษต่ำมาก สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติได้ถึงกว่า 80% ถ้าพูดถึงความเป็นพิษต่อระบบนิเวศแล้ว น้ำมันจากสาหร่ายเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตบนบก และในน้ำ น้อยกว่าน้ำมันที่ได้จากแร่ธาตุถึง 10-50 เท่าตัว อุตสาหกรรมต่างๆ ได้ใช้เป็นน้ำมันในระบบไฮดรอลิก น้ำมันหล่อลื่นเครื่องจักร ทำเป็นจาระบีหล่อลื่นสายโซ่เลื่อยยนต์ และหล่อลื่น นอกจากนี้ยังมีการทดลอง เพื่อตรวจสอบความเป็นไปได้ ในการใช้กับเครื่องยนต์ชนิดต่างๆ

2) นำมาใช้งานเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ที่ใช้กับเครื่องยนต์ได้โดยตรง เช่น ครั้งที่รูดอล์ฟ ดีเซล (Rudolph Diesel) ซึ่งเป็นชาวเยอรมัน ได้คิดค้นประดิษฐ์เครื่องยนต์ดีเซลเป็นครั้งแรกของโลก และได้ทดลองใช้น้ำมันถั่วลิสงกับเครื่องยนต์ดีเซล ซึ่งได้นำไปแสดงที่กรุงปารีส ในปี พ.ศ. 2443 เป็นที่สนใจอย่างยิ่งของผู้เข้าชม ส่งผลให้เกิดการพัฒนาทางด้านเกษตรกรรมอีกแนวทางหนึ่ง แต่ในขณะนั้น หรือประมาณปี พ.ศ. 2455 เรื่องราวของดีเซลยังไม่เป็นที่สนใจ หรือแพร่หลายนัก เนื่องจากโลกในช่วงเวลานั้น มีน้ำมันปิโตรเลียม และถ่านหินในปริมาณมากเพียงพอ ในการใช้เป็นเชื้อเพลิง จึงทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพในยุคนั้น ไม่ได้รับความสนใจเท่าที่ควร

2.1.5 การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากพืช

โดยทั่วไป การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงจากพืช จะมีวิธีการผลิต คือ การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) จำพวกเฮกเซน โซเดียมไฮดรอกไซด์ อีเทอร์ เบนซีน คาร์บอนไดซัลไฟด์ หรือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคลอรีน ส่วนประกอบสารจำพวกนี้มีหน้าที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำได้โดยนำพืชมาบดให้ละเอียด จากนั้นนำพืชมาเติมตัวทำละลาย เพื่อเร่งปฏิกิริยาการเกิดน้ำมัน สุดท้ายนำพืชมาบีบคั้นจนได้น้ำมันออกมา ซึ่งข้อดีของการผลิตด้วยวิธีนี้คือ ได้ผลผลิตในปริมาณที่สูง

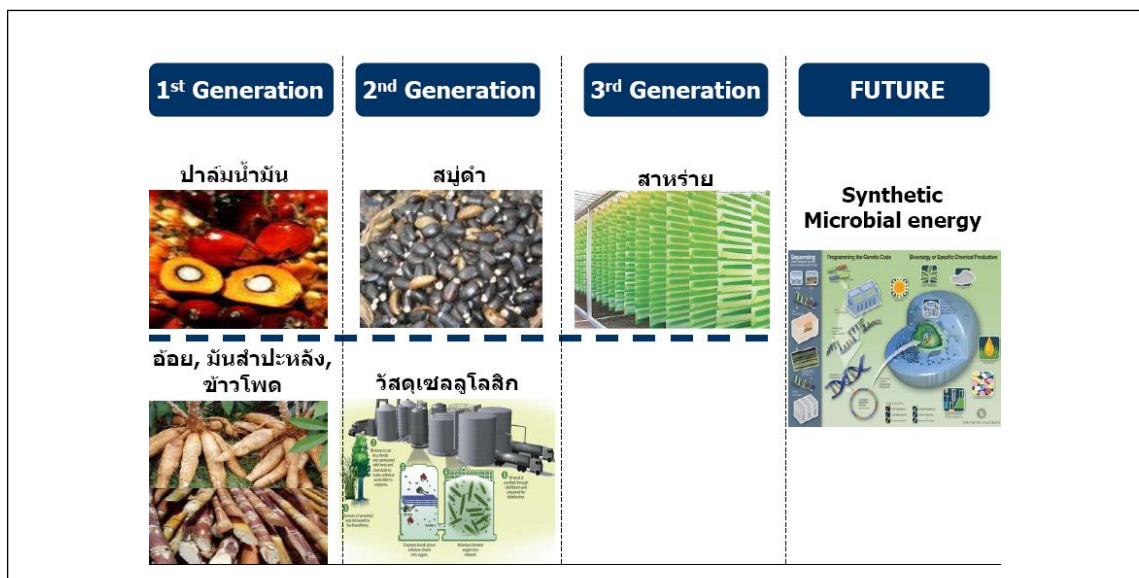
แต่ข้อเสียก็คือ จะมีต้นทุนที่สูง เมื่อเทียบกับกำลังการผลิต เพราะต้องใช้เวลาในการผลิตต่อหน่วยที่นาน โดยขึ้นอยู่กับปริมาณ น้ำมันจากพืชนี้ สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้ ซึ่งอาจแบ่งไบโอดีเซลตามประเภทของน้ำมันที่นำมาใช้ได้ ออกเป็น 3 ประเภทคือ น้ำมันพืชแท้ๆ เช่น สาหร่าย มะพร้าว ปาล์ม ถั่วลิสง ถั่วเหลือง ซึ่งสามารถเอามาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลได้ทันที โดยไม่ต้องผสมสารเติมแต่ง หรือสารเคมีอื่นใด หรือไม่ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมันให้เปลืองเวลา และทรัพยากรอีก แต่น้ำมันจากพืชมีปัญหาค่อนข้างมาก เนื่องจากคุณสมบัติต่างกับน้ำมันดีเซลค่อนข้างมาก ในเรื่องการสันดาปไม่สมบูรณ์ เครื่องสะดุด มีผลต่อลูกสูบ และวาล์ว มีตะกอนขาวอยู่ในถังน้ำมัน และมีความหนืดที่สูงเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำลง ทำให้สตาร์ทเครื่องยนต์ไม่ค่อยดี ในสภาพอากาศที่เย็น แต่มีข้อดีก็คือ มีราคาถูก พอใช้ได้กับเครื่องยนต์รอบต่ำ หรือเครื่องจักรกลทางการเกษตรนั่นเอง

2.1.6 การพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพ

เชื้อเพลิงชีวภาพ สามารถผลิตได้จากวัตถุดิบหลากหลายชนิด เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันสบู่ดำ น้ำมันถั่วเหลือง แต่เนื่องจากน้ำมันต่างๆ ดังกล่าว สามารถบริโภคได้ ทำให้มีราคาค่อนข้างสูง ดังนั้น สาหร่ายจึงเป็นทางเลือกที่ดี และมีความเป็นไปได้สูงสุดในเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยมีข้อดีดังนี้คือ ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องพื้นที่ปลูก เพราะสามารถปลูกได้ในทุกสภาพพื้นที่ทั้งประเทศไทย อีกทั้งเป็นแหล่งพลังงานชีวภาพที่ไม่กระทบต่อห่วงโซ่อาหาร จึงไม่ส่งผลกระทบต่อด้านราคา และเกิดการแย่งทรัพยากรได้ หากได้รับการบริหารจัดการอย่างเหมาะสม จะสามารถลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ เพื่อนำมากลั่นเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง และยังสามารถสร้างรายได้แก่ชุมชนอีกทางหนึ่งด้วย มากไปกว่านั้น กากของสาหร่ายที่ได้ ยังสามารถนำไปเป็นปุ๋ย และอาหารสัตว์ได้อีกด้วย

เชื้อเพลิงชีวภาพ ถือได้ว่าเป็นพลังงานหมุนเวียนที่มีศักยภาพสูง ดังนั้นจึงสามารถแบ่งยุคของการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพ ออกเป็น 4 ช่วง ได้แก่

ยุคที่ 1 (1st Generation of Biofuel) เป็นการผลิตในยุคปัจจุบัน โดยใช้ผลิตผลทางการเกษตรมาแปรรูปจากพืชอาหาร เช่น ข้าวโพด มันสำปะหลัง ถั่วเหลือง อ้อย และปาล์มน้ำมัน ผ่านกระบวนการทางเคมีแล้ว จะได้เป็นเอทานอล หรือเอทิลแอลกอฮอล์ เพื่อนำไปผสมกับน้ำมันเบนซิน หรือน้ำมันดีเซล เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ชื่อว่า น้ำมันแก๊สโซฮอล์ และน้ำมันไบโอดีเซล เป็นต้น ซึ่งปัญหาที่พบ คือ การใช้พืชผลทางการเกษตรมาทำการผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้ส่งผลกระทบต่อห่วงโซ่อาหาร และสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ส่งผลกระทบโดยตรงต่อราคาสินค้าที่ได้จากพืชเหล่านี้ มีการปรับตัวที่สูงขึ้นเป็นเงาตามตัว

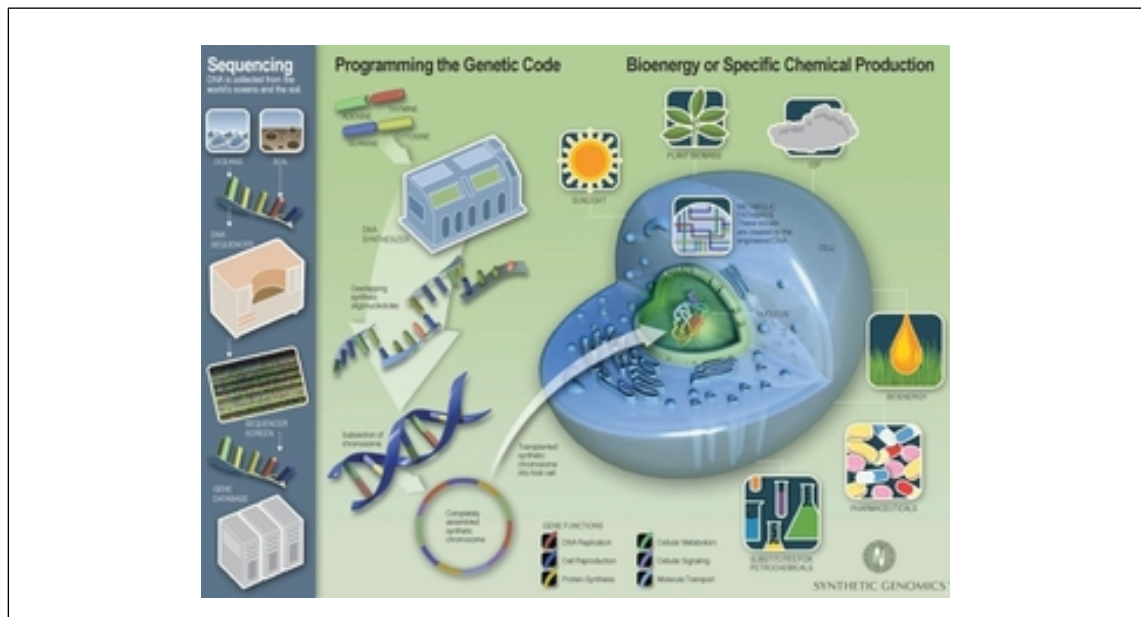


รูปที่ 2.3 แสดงการวิวัฒนาการของเชื้อเพลิงชีวภาพ

ยุคที่ 2 (2nd Generation of Biofuel) เป็นการพัฒนาชีวมวลที่ไม่ใช่พืชอาหาร มาเป็นวัตถุดิบแทน ซึ่งพืชเหล่านี้จะมีเซลลูโลส (Cellulosic) เป็นองค์ประกอบหลัก เช่น หญ้า และเศษวัสดุการเกษตร เช่น ฟางข้าว ชังข้าวโพด ชานอ้อย มูลของเสียจากสัตว์ เป็นต้น รวมถึงพืชอย่างคาเมลไลนา (Camelina) ด้วย การผลิตในยุคนี้จึงไม่ได้เบียดบังการผลิตพืชอาหาร

ยุคที่ 3 (3rd Generation of Biofuel) เป็นการพัฒนาไปตามเทคโนโลยีที่สูง และมีความก้าวหน้ามากขึ้น โดยนำเอาพืชขนาดเล็กอย่าง “สาหร่าย” มาสกัดเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ เพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์ ซึ่งมีข้อดีที่ไม่ต้องใช้ที่ดินการเกษตรมาเพาะปลูก และมีผลผลิตต่อพื้นที่สูงมาก นอกจากนี้ สาหร่ายบางชนิดยังเพาะเลี้ยงในน้ำเค็มได้ด้วย

ยุคที่ 4 (4th Generation of Biofuel) เป็นการแปรสภาพจากพืชที่ผ่านการตัดต่อพันธุกรรม (Genetically Modified Organisms; GMOs) ให้ดูดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ได้มากเป็นพิเศษ ทำให้เชื้อเพลิงที่ได้เป็นพลังงานที่มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นศูนย์ (Carbon Neutral Fuels)



รูปที่ 2.4 แสดงพลังงานจากการสังเคราะห์จุลินทรีย์ (Synthetic Microbial Energy)

2.1.7 ผลประโยชน์ที่ประเทศจะได้รับ

ตารางที่ 2.1 ผลประโยชน์ที่ประเทศจะได้รับจากนโยบายและการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพของประเทศไทย

ผลประโยชน์	แผนฯ เดิม REDP 15 ปี	แผนฯ ใหม่ AEDP-25% ใน 10 ปี
1) ด้านพลังงาน		
1.1) % การทดแทนฟอสซิล	12% (20% เมื่อรวม NGV)	25% (ไม่รวม NGV)
1.2) กำลังการผลิตไฟฟ้า MW จากพลังงาน ทดแทน	5,604 MW	9,201 MW
1.3) ปริมาณความร้อน (ktoe)	7,433	9,335
1.4) เชื้อเพลิงชีวภาพ (ลต./วัน)	13.5	39.97
1.5) % ทดแทนน้ำมัน	14%	44%

ตารางที่ 2.1 ผลประโยชน์ที่ประเทศจะได้รับจากนโยบายและการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพ
ของประเทศไทย (ต่อ)

ผลประโยชน์	แผนฯ เดิม REDP 15 ปี	แผนฯ ใหม่ AEDP-25% ใน 10 ปี
2) ด้านเศรษฐกิจ		
2.1) ลดการนำเข้าน้ำมัน	460,000 ล้านบาท/ปี	574,000 ล้านบาท
2.2) ส่งเสริมการลงทุน ในภาคเอกชน	382,240 ล้านบาท/ปี	442,000 ล้านบาท
3) ด้านสิ่งแวดล้อม		
3.1) การลด CO ₂	42 ล้านตัน/ปี ในปี พ.ศ. 2565	76 ล้านตัน/ปี ในปี พ.ศ. 2564
3.2) รายได้ที่เกิดขึ้นจากการ ขายคาร์บอนเครดิต	14,000 ล้านบาท/ปี	23,000 ล้านบาท
4) ด้านการพัฒนางานนวัตกรรมและเทคโนโลยี		
4.1) แผนงานวิจัย	ไม่มี	มีแผนปฏิบัติการที่ชัดเจน (พ.ศ.2555-2559)

2.2 แนวคิดในการนำสาหร่ายมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ

จากวิกฤตการณ์พลังงานในปัจจุบัน มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งปริมาณน้ำมันดิบสำรองของโลก ก็มีเหลือในจำนวนที่ลดลง และคาดว่าจะหมดในเวลาไม่เกินปี พ.ศ. 2593 ประกอบกับกระแสการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมที่มีอย่างต่อเนื่อง จึงทำให้นักวิจัยทั่วโลก ได้เริ่มทำการค้นคว้าวิจัยในด้านการหาแหล่งพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง โดยได้มุ่งเน้นที่จะนำวัสดุชีวภาพมาใช้ เพื่อทดแทนพลังงานจากปิโตรเลียม โดยเฉพาะน้ำมันเชื้อเพลิงดีเซลชีวภาพ หรือไบโอดีเซล เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจที่จะผลิตเป็นพลังงานทดแทน ทั้งนี้เพราะไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากพืชน้ำมันหลายชนิด ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 เปรียบเทียบปริมาณน้ำมันจากสาหร่ายเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ

ชนิดพืช	ผลผลิตน้ำมัน (ลิตร/เฮกตาร์)	ต้องใช้พื้นที่ (ล้านเฮกตาร์) ^a	% พื้นที่การปลูกพืช ที่มีอยู่ในสหรัฐอเมริกา ^a
ข้าวโพด (Corn)	172	1,540	846
ถั่วเหลือง (Soybean)	446	594	326
แคนโนลา (Canola)	1,190	223	122
สบู่ดำ (Jatropha)	1,892	140	77
มะพร้าว (Coconut)	2,689	99	54
ปาล์มน้ำมัน (Oil Palm)	5,950	45	24
สาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) ^b	136,900	2	1.1
สาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) ^c	58,700	4.5	2.5

หมายเหตุ

- 1) a คือ 50% ของความต้องการน้ำมันในสหรัฐอเมริกา
- 2) b คือ 70% น้ำมัน (โดยน้ำหนัก) ในมวลชีวภาพ
- 3) c คือ 30% น้ำมัน (โดยน้ำหนัก) ในมวลชีวภาพ

ที่มา : Chisti (2007)

จากตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณน้ำมันจากสาหร่ายเทียบกับพืชน้ำมันชนิดต่างๆ พบว่าสาหร่ายจะให้ไขมันอยู่ที่ 136,900 ลิตรต่อเฮกตาร์ต่อปี ซึ่งมีปริมาณสูงที่สุดเมื่อเทียบกับพืชชนิดอื่นๆ และในปัจจุบันต้นทุนในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลยังมีมูลค่าค่อนข้างสูง ซึ่งถือได้ว่าเป็นอุปสรรคสำคัญ ในการนำไบโอดีเซลมาใช้ในเชิงปฏิบัติจริง จึงได้มีการค้นคว้าวิจัยถึงแหล่งสารตั้งต้นราคาถูก เช่น จากสาหร่ายขนาดเล็กสายพันธุ์ต่างๆ ที่สามารถผลิตน้ำมัน เพื่อนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นในการผลิตไบโอดีเซลได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.3 ที่แสดงปริมาณการสะสมน้ำมันภายในเซลล์ของสาหร่ายชนิดต่างๆ พบว่า สายพันธุ์คลอเรลลา มีปริมาณไขมันสะสมภายในเซลล์เท่ากับ 28-32 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสถานะที่ทำให้สาหร่ายเกิดการสะสมของน้ำมันภายในเซลล์สูงขึ้นนั้น พบว่า เกิดจากการที่ขาดแคลนไนโตรเจนภายในเซลล์ (Feng, et al., 2004) และการเพิ่มระดับของธาตุเหล็ก (Fe^{3+}) ที่เหมาะสมให้แก่สาหร่ายในสถานะที่มีการขาดแคลนไนโตรเจน จะเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำมันในเซลล์ของสาหร่ายให้สูงขึ้นด้วย (Miao, X., and Wu, Q., 2004) ดังนั้นจากข้อมูลพื้นฐานโดยทั่วไปพบว่า สาหร่ายมีการเจริญเติบโตได้ 2 แบบ คือ การใช้นิทริยคาร์บอน (Inorganic Carbon) เป็นแหล่งพลังงาน หรือ

ที่เรียกว่า แบบออโตโทรฟิก (Autrophic) เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และการใช้อินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon) เช่น กลูโคส เป็นแหล่งพลังงานหรือที่เรียกว่า แบบเฮเทอโรโทรฟิก (Heterotrophic) ซึ่งการควบคุมให้สาหร่ายมีการเจริญเติบโตแบบเฮเทอโรโทรฟิคนั้น ทำได้โดยการควบคุมปริมาณสารอาหารที่ใส่ลงไปในการเพาะเลี้ยง โดยการเพิ่มปริมาณสารอินทรีย์ (กลูโคส) และลดปริมาณไนโตรเจนลง (เพ็ญจันทร์ วงศ์วิสุข, 2533)

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบปริมาณการสะสมน้ำมันภายในเซลล์ของสาหร่ายชนิดต่างๆ

สาหร่ายขนาดเล็ก	ปริมาณน้ำมัน (% น้ำหนักแห้ง)
Botryococcus Braunii	25-75
Chlorella Sp.	28-32
Cryptocodinium Cohnii	20
Crylindrotheca Sp.	16-37
Dunaliella Primolecta	23
Isochrysis Sp.	25-33
Monallanthus Salina	> 20
Nannochloris Sp.	20-35
Nannochloropsis Sp.	31-68
Neochloris Oleoabundans	35-54
Nitzschia Sp.	45-47
Phaeodactylum Tricornutum	20-30
Schizochytrium Sp.	50-77
Tetraselmis Sueica	15-23

ที่มา : Chisti (2007)

ด้วยคุณสมบัติของสาหร่ายท้องถิ่นเซลล์เดียว สายพันธุ์คลอเรลลาในประเทศ ที่มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และทนต่อสภาวะแวดล้อมที่รุนแรงได้เป็นอย่างดี ในการทดลองนี้ จึงให้สาหร่ายท้องถิ่นเซลล์เดียวคลอเรลลา มีการเจริญเติบโตทั้ง 2 แบบ วัตถุประสงค์เพื่อกระตุ้นให้สาหร่ายมีการผลิตไขมัน ทั้งในสภาวะที่มีแสง และไม่มีแสง โดยช่วงที่มีแสง สาหร่ายจะมีความสามารถในการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี และเมื่อไม่มีแสง สาหร่ายสามารถที่จะใช้กลูโคสเป็นแหล่งพลังงานได้

(เพ็ญจันทร์ วงศ์วิสุข, 2533) ซึ่งจะศึกษาถึงอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆ ที่จะส่งผลต่อการสะสมน้ำมันภายในเซลล์ของสาหร่าย เพื่อในอนาคตอาจมีความสามารถที่จะนำสาหร่ายท้องถิ่นเซลล์เดียว มาใช้เป็นแหล่งของสารตั้งต้นในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล และเป็นการนำทรัพยากรทางธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกด้วย



รูปที่ 2.5 แสดงการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายในรูปแบบต่างๆ

ถึงแม้ว่าในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีการผลิตไปมากแล้วก็ตาม แต่วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพก็มีความแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของการนำไปใช้ และสภาพภูมิประเทศ รวมถึงสภาวะอากาศที่เอื้ออำนวยต่อการเพาะปลูกแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ สาหร่ายจึงเป็นวัตถุดิบที่ถือได้ว่ามีศักยภาพสูง และเป็นไปได้สูงกว่า ยุคที่ 3 ของชีวมวลนั้น ก็คือพลังงานชีวมวลจากสาหร่ายนั่นเอง ถึงแม้กระนั้น ปัจจุบันยังคงได้มีการนำเชื้อเพลิงชีวภาพมาใช้ได้อย่างไม่เต็มที่ยกนัก ประกอบกับ เราต้องพิจารณาว่าพืช หรือสิ่งมีชีวิตใดจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่สุด ในสภาวะที่มีความแตกต่างกันนี้ ซึ่งในปัจจุบันสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพอยู่ที่ 15% เท่านั้น ดังนั้นทางภาครัฐจึงได้มีแผนการพัฒนาพลังงานชีวภาพ เพื่อเพิ่มสัดส่วนให้สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อความมั่นคงทางพลังงานของไทยในอนาคต ดังแสดงในตารางที่ 2.4 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานต่างๆ

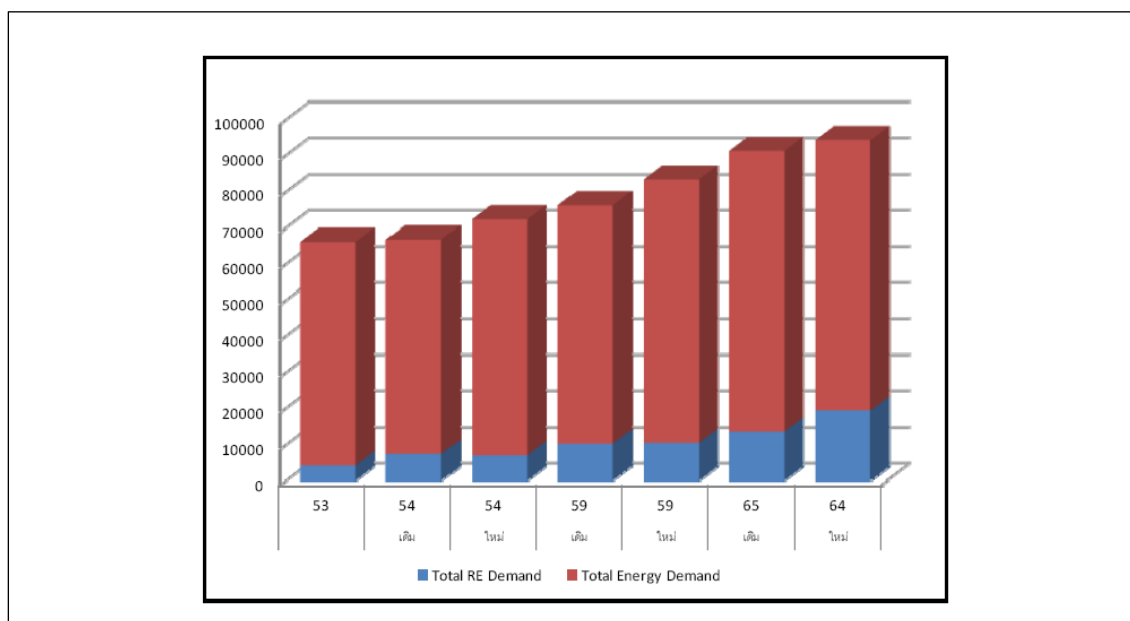
ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบวัตถุดิบที่นำมาใช้ผลิตเป็นพลังงานต่างๆ

พลังงาน	วัตถุดิบที่นำมาผลิตเป็นพลังงาน	เป็นวัตถุดิบที่มีอยู่อย่างไม่จำกัด	รูปแบบของวัตถุดิบที่สามารถเก็บสะสมได้ ก่อนนำมาผลิต	เมื่อถูกนำมาใช้เป็นพลังงานจะปล่อย CO ₂	วัตถุดิบต้องใช้ CO ₂ และนำมาใช้เป็นพลังงาน จะปล่อย CO ₂	เมื่อนำมาใช้เป็นพลังงานจะไม่ปล่อย CO ₂	ได้ผลพลอยได้อื่นนอกจากพลังงาน	ไม่มีข้อจำกัดทางด้านภูมิประเทศภูมิอากาศ
ไฟฟ้าและเชื้อเพลิง	น้ำมันดิบ	×	✓	✓	×	×	✓	×
	ก๊าซธรรมชาติ	×	✓	✓	×	×	✓	×
	ถ่านหิน	×	✓	✓	×	×	✓	×
ไฟฟ้า	นิวเคลียร์ ¹	✓	✓	×	×	✓	×	×
	แสงอาทิตย์	✓	×	×	×	✓	×	×
	น้ำ ²	×	×	×	×	✓	×	×
	คลื่นใต้ทะเล	✓	×	×	×	✓	×	×
	ลม	✓	×	×	×	✓	×	×
	ความร้อนใต้พิภพ	✓	×	×	×	✓	×	×
เชื้อเพลิง	ชีวมวลจากแป้ง	✓	✓	✓	✓	×	✓	×
	ชีวมวลจากเซลูโลส	✓	✓	✓	✓	×	✓	×
	กาก/ขากพืชซากสัตว์	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓
	สาหร่าย	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓

หมายเหตุ

- 1) ใช้ธาตุยูเรเนียมเป็นวัตถุดิบ
- 2) พลังงานน้ำในที่นี้ จะถูกกักเก็บอยู่ในรูปแบบของเขื่อน

กระทรวงพลังงานได้พยากรณ์ความต้องการพลังงานในอนาคตของประเทศ โดยในปี พ.ศ. 2564 คาดว่า จะมีความต้องการ 99,838 พันตันน้ำมันดิบ (Ktoe) จากปัจจุบัน 71,728 พันตันน้ำมันดิบ (Ktoe) โดย แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2553-2573 และแผนการพลังงานทดแทน และ พลังงานทางเลือก พ.ศ. 2555-2564 ได้กำหนดให้มีสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นจาก 7,413 พันตันน้ำมันดิบ (Ktoe) ในปี พ.ศ. 2555 เป็น 25,000 พันตันน้ำมันดิบ (Ktoe) ในปี พ.ศ. 2564 หรือคิดเป็น 25% ของการใช้พลังงานรวมทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงแผนการพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2555-2564

ยุทธศาสตร์การส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทน และพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี กระทรวงพลังงานได้กำหนดยุทธศาสตร์ ในการจัดทำแผนนำร่อง (Roadmap) เพื่อส่งเสริมการพัฒนาพลังงาน ทดแทน และพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564) (Alternative Energy Development; AEDP 2012-2021) โดยได้มีการกำหนดยุทธศาสตร์ส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทน ตามแผน AEDP ใน 6 ประเด็น ดังนี้

- 1) การส่งเสริมให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการผลิต และการใช้พลังงานทดแทนอย่างกว้างขวาง
- 2) การปรับมาตรการจูงใจ สำหรับการลงทุนจากภาคเอกชน ให้เหมาะสมกับสถานการณ์
- 3) การแก้ไขกฎหมาย และกฎระเบียบที่ยังไม่เอื้อ ต่อการพัฒนาพลังงานทดแทน
- 4) การปรับปรุงระบบโครงสร้างพื้นฐาน เช่น ระบบสายส่ง สายจำหน่ายไฟฟ้า รวมทั้งการ พัฒนาสู่ระบบโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ (Smart Grid)
- 5) การประชาสัมพันธ์ และสร้างความรู้ความเข้าใจต่อประชาชน

6) การส่งเสริมให้งานวิจัย เป็นเครื่องมือในการพัฒนาอุตสาหกรรมพลังงานทดแทน แบบครบวงจร

2.2.1 บริบทของสาหร่ายชนิดต่างๆ ในประเทศไทย

สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตลักษณะคล้ายพืช สามารถสังเคราะห์แสงได้ ไม่มีส่วนที่เป็นราก ลำต้น และ ใบที่แท้จริง มีขนาดเล็กมาก ตั้งแต่เซลล์เดียวที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า จนถึงขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วยเซลล์จำนวนมาก อาจมีลักษณะเป็นเส้นสาย หรือมีลักษณะคล้ายพืชชั้นสูง สามารถสืบพันธุ์ได้ทั้งแบบอาศัยเพศ และไม่อาศัยเพศ สาหร่ายขนาดเล็กเป็นพืชที่ให้น้ำมันมากที่สุด เมื่อเทียบกับพืชน้ำมันชนิดอื่น โดยสามารถผลิตน้ำมันได้ 100,000 ตันต่อพื้นที่เพาะปลูกเพียง 1,500 ไร่ (240 เฮกตาร์) การเพาะเลี้ยงสาหร่ายทำได้ไม่ยาก อีกทั้งยังเติบโตเร็ว สามารถเพาะเลี้ยงได้ในน้ำทุกสภาวะ เช่น ทะเลสาบ หนอง บึงบ่อเปิด ถังหมัก หรือหน่วยปฏิบัติการแสงแดด เป็นต้น แตกต่างจากพืชอื่นๆ ที่สามารถเจริญเติบโตในสระที่เปิด และให้อากาศผ่านได้เท่านั้น สาหร่ายจะเจริญเติบโตได้ดี หากมีการควบคุม แสง ธาตุอาหาร อุณหภูมิ การหมุนเวียนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซออกซิเจน รวมถึงการจัดพื้นที่รองรับการเติบโตให้เหมาะสม ซึ่งน้ำมันที่ได้จากสาหร่าย สามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิลได้ อีกทั้งไม่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ จึงไม่เป็นพิษ และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม การสกัดน้ำมันจากสาหร่าย สามารถทำได้หลายวิธี อาทิ การบีบอัดเพื่อให้กลายน้ำมัน (Expeller/Press) การใช้เฮกเซนเป็นตัวทำละลายน้ำมัน (Hexane Solvent Method) การใช้เอนไซม์ย่อยผนังเซลล์เพื่อให้ไขมันหลุดออกมา (Enzymatic Extraction) การใช้อัลตราโซนิกกระตุ้นให้เกิดการสั่น จนไขมันหลุดออกมา (Ultrasonic-assisted Extraction) และการใช้เทคนิคออสโมซิส โดยอาศัยความต่างของความดัน (Osmotic Shock) หลังจากผ่านกระบวนการสกัดข้างต้น น้ำมันที่ได้มาจะถูกนำไปผ่านกระบวนการทางเคมี เพื่อผลิตเป็นน้ำมันไบโอดีเซล และน้ำมันเครื่องบินชีวภาพ (Bio-jet) ส่วนกากสาหร่าย ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากขั้นตอนการสกัดน้ำมัน ก็สามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบของผลิตภัณฑ์ต่างๆ อาทิ อาหารสัตว์ ปุ๋ย ยา เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการนำสาหร่ายมาทำผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ

มรกต ตันติเจริญ (2555) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) กล่าวว่า สาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตสังเคราะห์แสง และจับคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในการสร้างเซลล์ หรือชีวมวล (Biomass) ที่ผ่านมามีการนำสาหร่ายทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ (Microalgae และ Macroalgae) มาใช้ประโยชน์ในด้านอาหารคน สัตว์ อาหารเพื่อสุขภาพ และเครื่องสำอาง เป็นต้น นอกจากนี้ มีการนำไปใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และปัจจุบันมีการวิจัยพัฒนานำสาหร่ายมาใช้ผลิตพลังงาน เช่น น้ำมันไบโอดีเซล การนำชีวมวลสาหร่าย มาผลิตไบโogas หรือใช้สาหร่ายในการผลิตไฮโดรเจน อย่างไรก็ตาม ในการผลิตสาหร่ายเชิงพาณิชย์ มีการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพียงไม่กี่ชนิด ตัวอย่างเช่น สไปรูลิน่า (Spirulina) 3,000 ต้นต่อปี คลอเรลลา (Chlorella) 2,000 ต้นต่อปี และดูนาเลียลลา (Dunaliella) 1,200 ต้นต่อปี เป็นต้น โดยการใช้ยังจำกัดเฉพาะเป็นอาหารสุขภาพในคน อาหารสัตว์น้ำ การผลิตน้ำมันจากสาหร่ายจึงเป็นทางเลือกในอนาคต พลังงานทางเลือกเพื่อใช้ทดแทนน้ำมัน ได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง รวมถึงพลังงานจากพืช ในปัจจุบันการผลิตพลังงานจากพืช มักจะพบปัญหาการขัดแย้งด้านวัตถุดิบ เนื่องจากพืชที่ใช้สกัดเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง เช่น ข้าวโพด และปาล์มน้ำมัน เป็นชนิดเดียวกับพืชที่ใช้บริโภค อีกทั้งต้องใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกมาก และใช้ระยะเวลานานในการเจริญเติบโต จากการวิจัยพบว่า สาหร่ายเป็นพืชที่มีปริมาณน้ำมัน และสารอินทรีย์ไฮโดรคาร์บอนเหมาะสม ที่จะผลิตเป็นพลังงานได้ สามารถให้พลังงานมากกว่า 6-12 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น เช่น ข้าวโพด หรือหญ้าสวิทช์กราส (Switchgrass) และใช้เวลาในการเจริญเติบโตน้อยกว่าสาหร่าย จึงเป็นอีกทางเลือกในการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ เพื่อลดปริมาณการพึ่งพาน้ำมันในอนาคต

นอกจากใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ในการสังเคราะห์แสง และคาร์บอนไดออกไซด์ในการสร้างสารประกอบอินทรีย์แล้ว สาหร่ายขนาดเล็กหลายสายพันธุ์มีลิปิด (Lipid) เป็นส่วนประกอบของเซลล์ นอกเหนือไปจากโปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ปริมาณลิปิดอาจสูงถึงร้อยละ 50-70 ของน้ำหนักแห้ง ตัวอย่างเช่น บอทริลโอคอคคัส (Botryococcusbraunii) มีลิปิดร้อยละ 25-75 ของน้ำหนักแห้ง คลอเรลลา (Chlorella Sp.) ร้อยละ 28-32 นานโนโคริส (Nannochloris Sp.) ร้อยละ 20-35% นานโนโครอปซิส (Nannochloropsis) ร้อยละ 31-68 และนิซเซีย (Nitzschia Sp.) ร้อยละ 45-47 สาหร่ายเหล่านี้ยังเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว ตัวอย่างเช่น คลอเรลลา (Chlorella Sp.) และนานโนโคริส (Nannochloris Sp.) เวลาที่ใช้ในการเพิ่มจำนวนเป็นเท่าตัว หรือ (Doubling Time) เท่ากับ 40 และ 10 ชั่วโมง ตามลำดับ เมื่อเทียบกับพืชน้ำมันอื่นๆ อาจกล่าวได้ว่า สาหร่ายมีข้อได้เปรียบเสียเปรียบ ดังต่อไปนี้

- 1) เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก มีองค์ประกอบของเซลล์ไม่สลับซับซ้อน เมื่อเพาะเลี้ยงสามารถควบคุมองค์ประกอบของเซลล์ (ลิปิด) ได้ โดยผลผลิตเซลล์ (Productivity) ไม่ลดลง
- 2) สาหร่ายมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงสูง ประมาณ 3-8% ของพลังงานแสงอาทิตย์ ถูกเปลี่ยนเป็นชีวมวล เมื่อเทียบกับพืชที่มีเพียง 0.5%

3) ในการเลี้ยงสาหร่าย ใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ออกมาจากโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งใช้สารอาหาร เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ที่อยู่ในน้ำเสีย จึงเป็นการบำบัดน้ำ และผลิตพลังงานไปพร้อมกัน (Recycle)

4) สาหร่ายใช้เวลาในการแบ่งตัว 1-10 วัน เจริญเติบโต (สร้าง Biomass) ได้เร็ว และสะสม lipid ได้สูง (40-80% น้ำหนักแห้ง) ให้ปริมาณน้ำมันต่อพื้นที่เพาะเลี้ยงมากกว่าพืช 10-20 เท่า

5) สาหร่ายเลี้ยงได้ในน้ำเค็ม หรือที่ที่ไม่เหมาะในการปลูกพืชอาหาร ไม่เป็นการแย่งแย่งระหว่างอาหาร และพลังงาน

6) สาหร่ายเลี้ยงได้ในระบบไบโอรีแอคเตอร์ (Bioreactor) แบบปิด ที่ควบคุมสภาวะการเลี้ยง ทำให้เลี้ยงได้ตลอดปี

อย่างไรก็ดี การเพาะเลี้ยงสาหร่ายในระดับใหญ่ เพื่อการผลิตน้ำมันยังมีข้อจำกัดดังต่อไปนี้

1) ประสิทธิภาพในการออกแบบ และทดสอบไฟโตไบโอรีแอคเตอร์ (Photobioreactor) ขนาดใหญ่ยังมีไม่มาก

2) ประสิทธิภาพการเลี้ยงยังไม่สูง ทำให้ต้นทุนการผลิตน้ำมันสูง

3) การเลี้ยงสาหร่าย โดยเฉพาะในระบบเปิด (Open Pond) ให้ความเข้มข้นสาหร่ายต่ำ ราคาของการเก็บเกี่ยวสูง (Separation)

มีการประเมินเปรียบเทียบพื้นที่ ที่ใช้ในการผลิตน้ำมันจากสาหร่าย และพืชน้ำมันอื่นๆ พบว่า ในพื้นที่หนึ่งเฮกตาร์ สาหร่ายให้น้ำมันมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ปาล์มน้ำมัน (Canola) และถั่วเหลือง ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ที่แสดงให้เห็นถึงพื้นที่การเพาะปลูก เทียบกับปริมาณการให้น้ำมันของพืชประเภทต่างๆ



รูปที่ 2.8 แสดงการให้ปริมาณน้ำมันของพืชประเภทต่างๆ

สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว (Blue-green Algae) เป็นสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำ จำพวกโปรแคริโอต (Prokaryote) ที่มีขนาดเล็ก พบได้ทั่วไปทั้งในน้ำ บนดิน ตามเปลือกไม้ ใบไม้ และที่ชื้นแฉะทั่วไป จัดอยู่ในดิวิชัน ไชยานอฟตา (Division Cyanophyta) สาหร่ายพวกนี้แตกต่างจากแบคทีเรียคือ มีคลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll A) จึงมีความสามารถในการสังเคราะห์แสงได้ และมีออกซิเจนเกิดขึ้นจากการสังเคราะห์แสง ซึ่ง Bold and Wynne (1978) กล่าวว่า จากการศึกษารากดึกดำบรรพ์ (Fossil) และหลักฐานอื่นๆ ประกอบ อาจกล่าวได้ว่า สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว เป็นสิ่งมีชีวิตพวกแรกที่เกิดขึ้นในโลก และเป็นตัวผลิตออกซิเจนให้แก่บรรยากาศ

โดยทั่วไปจะพบสาหร่ายชนิดนี้ เป็นสีน้ำเงินแกมเขียวแต่ก็พบว่า บางชนิดจะมีสีแดง เช่น จากการศึกษารากดึกดำบรรพ์ (Fossil) หรือมีสีเขียวมรกต เช่น แอนนาซิสทีสมอนทานา (Anacystis Montana) แต่การที่ได้ชื่อว่าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว เนื่องจากสาหร่ายชนิดนี้พบครั้งแรก และส่วนใหญ่จะมีสีน้ำเงินแกมเขียว ดิวิชัน (Division) นี้ พบแล้วประมาณ 2,000 ชนิด รูปร่างที่จะพบจะแตกต่างกันไปได้หลายแบบ ได้แก่

1) เซลล์เดี่ยว (Unicellular Form) พวกนี้มีรูปร่างเซลล์เดี่ยว เช่น ไชยานอคอกคัส (Synechococcus Sp.) หรืออาจจะเป็นสายแล้วบิดเป็นเกลียวถี่ๆ หรือห่างๆ ก็ได้ ไม่มีซิพหุ้ม เช่น สไปรูไลนา (Spirulina Sp.) พบในน้ำจืด สามารถเคลื่อนที่ได้แบบหมุนเป็นเกลียว หรืออาจจะเคลื่อนแบบขึ้นลง

2) พวกที่เป็นกลุ่มเป็นก้อน (Colonial Form) พวกนี้มักรวมเป็นกลุ่มก้อน (Colony) ประมาณ 2, 4 และ 8 เซลล์ เช่น กลอโอแคปซา (Gloeocapsa Sp.) แต่ละเซลล์จะมีซิพหุ้มรอบกลุ่มหลายชั้น ซิพอาจมีสีเหลือง หรือสีน้ำตาล

3) พวกที่เป็นเส้นสาย (Filamentous Form) เป็นพวกที่มีหลายๆ เซลล์ต่อกันจนยาวเป็นสาย แบ่งเป็น

3.1) พวกเส้นสายที่ไม่แตกกิ่งก้าน (Unbranched Filamentous) เช่น แอนนาแบนา (Anabaena Sp.) และนอสตอค (Nostoc Sp.) และอื่นๆ

3.2) พวกเส้นสายที่แตกกิ่ง (Branched Filamentous) เช่น ฮาปาโลไซฟอน (Hapalosiphon Sp.) และไซโคนีมา (Scytonema Sp.) และโทลิโปทริกซ์ (Tolypothrix Sp.) เป็นต้น

ลักษณะทั่วไปของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว ไม่ว่าจะอยู่ในรูปแบบใดก็ตาม แต่ละเซลล์จะมี ส่วนประกอบคล้ายคลึงกัน คือ ผนังเซลล์จะบาง โดยปกติจะมี 2 ชั้น ชั้นในจะประกอบไปด้วย สารเซลลูโลส (Cellulose) ชั้นนอก ประกอบด้วย สารเปคติน (Pectic Compound) แต่บางบางชนิด ก็อาจจะมีถึง 3 ชั้นก็ได้ โดยชั้นนอกสุดถัดจากเปคติน (Pectic Compound) ออกมาจะเป็น ชั้นของ สารเมือก (Mucilaginous Pectose Layer) ภายในเซลล์จะมีโครมาติน (Chromatin) กระจายอยู่

ทั่วไป และพบมากบริเวณกลางเซลล์ นิวเคลียสยังไม่มีรูปร่างแน่นอน เห็นเป็นเพียงก้อน (Mass) ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส (Nuclear Membrane) และไม่มีนิวเคลียสโอลัส (Nucleolus) ซึ่งจัดเป็นพวกโปรคาริโอต (Prokaryotic) วัตถุต่างๆ ในนิวเคลียส (Nucleus Organelles) ไม่มีเมมเบรน (Membrane) หุ้ม การขยายพันธุ์เป็นแบบง่ายๆ แต่ละเซลล์จะแบ่งตัว บางชนิดอาจจะสร้างสปอร์ (Spore) หรืออากีเน็ต (Akinete) รงควัตถุ (Pigment) ภายในเซลล์ ได้แก่ คลอโรฟิลล์ เอ (Chlorophyll-a) ฟี แคโรทีน (P-carotene) ซานโทฟิลล์ (Xanthophyll) และไฟโคบิลิน (Phycobilin) ซึ่งมีรงควัตถุสีน้ำเงิน (C-phyococyanin) พบเป็นจำนวนมาก และรงควัตถุสีแดง (C-phyococrythrin) พบบ้างเล็กน้อย ในโครโมพลาสซึม (Chromoplasm) มีแก๊สเวคิวโอล (Gas Vacuole) ลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ กระจายอยู่ทั่วไป โดยเฉพาะพวกเป็นแพลงตอน (Planton) เช่น แอนนาซิสทีส (Anacystis) อะนาบินา (Anabaena) นอสตอค (Nostoc) อฟานิโซมินอน (Aphanizominon) และโคโลสฟีเรียม (Coelosphaerium)

การดำรงชีวิตของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว เป็นแบบง่ายๆ ไม่สลับซับซ้อน เพียงแต่มีการบอนด์ออกไซด์ แสงสว่าง และอนินทรีย์สารเท่านั้น โดยใช้แสงสว่าง คาร์โบไฮเดรต และไขมัน จากคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศหรือน้ำ ส่วนการหายใจต้องการออกซิเจนให้เกิดการเผาผลาญ เพื่อให้เกิดพลังงาน สำหรับใช้ในกิจกรรมที่จำเป็นแก่การดำรงชีพ บางชนิดดำรงชีพได้โดยไม่ต้องใช้ออกซิเจน เช่น Echlin (1966) พบออสซิลลาทอเรีย (Oscillatoria) บางชนิดในโคลนกันแม่น้ำแฮมส์ ได้พลังงานจากสารอนินทรีย์ เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) บางชนิดอยู่ในดินไม่ได้รับแสง ก็สามารถเจริญได้ ถ้ามีอาหารในรูปสารอินทรีย์เพียงพอ บางชนิดมีความสามารถทนทานต่ออุณหภูมิสูง-ต่ำ และความเข้มข้นของเกลือได้ดี บางชนิดทนต่ออุณหภูมิสูงถึง 85 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวบางชนิด ที่นำมาจากน้ำพุร้อนก็ยังสามารถทนอยู่ในอุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียสได้ และสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่นำมาจากทะเลสาบแอนตาร์กติก ซึ่งรวมอยู่กับพวกไลเคน (Lichen) บนภูเขาหิน ที่ไม่มีดินแถบขั้วโลก ซึ่งอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ -60-15 องศาเซลเซียส ก็สามารถจะมีชีวิตอยู่ได้ บางชนิดทนน้ำเค็มได้อย่างมาก เช่น กอมโฟสฟีเรีย (Gomphosphaeria) พบทางตอนใต้ของฝรั่งเศส และรัฐแคลิฟอร์เนีย ทนความเข้มข้นของเกลือได้ถึง 2 เปอร์เซนต์ นอกจากนี้ ยังพบสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวเจริญอยู่ร่วมกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ซึ่งอาจจะให้ประโยชน์ หรือทำลายสิ่งที่มีอยู่ร่วมด้วย เช่น ไลเคน (Lichen) เป็นการรวมอยู่ของสาหร่าย และรา ซึ่งต่างได้รับผลประโยชน์จากกันและกัน

Fritch (1945) ได้อ้างถึงผลงานของ Peirce ว่าพบแหวนแดงอนาบินา (Anabaena Azollae) อยู่ในเนื้อเยื่อ (Tissue) ของใบล่างสุด ซึ่งอยู่ตรงบริเวณที่ติดกับราก ในสกุลแหวนแดง (Azollae) และอ้างถึงผลงานของ Spratt ว่าได้ทำการทดลอง และพบปลงอนาบินา (Anabaena Cycadae) ในรากของปลง (Cycad) อยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ขณะเซลล์เรียงตัว (Intercellular Space) บริเวณคอร์เทกซ์ (Cortex) ซึ่งพบ

เซลล์ผิปกติสร้างเป็นท่อกลวงขึ้นภายในคอร์เท็กซ์ (Cortex) นี้ (Tubular in Growth) ซึ่งสันนิษฐานว่ามีโปรตีนอยู่ในท่อ (Tubular) นี้

ความเกี่ยวพันระหว่างสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวกับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ กาญจนภาณุ ลี้มนโนมต์ (2527) กล่าวว่า มีสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวหลายชนิด ที่อาศัยอยู่ในเซลล์ของสาหร่ายหรือพืช หรือสัตว์อื่นๆ พวกที่อยู่ในเซลล์ของสาหร่าย เช่น ริชชีเลีย อินทราเซลล์ลาริส (*Richelia Intracellularis*) อยู่ในเซลล์ของไดอะตอมริสโซโซเลียนา (*Rhizosolenia Sp.*) นอสทีออค (*Nostoc Symbioticum*) เกิดอยู่ในจีโอไซฟอนไพริฟอเมีย (*Geosiphon Pyriformia*) ซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียว (*Siphonous Green Alga*) จำพวก ลิงเบีย (*Lyngbya*) คาโลทริกซ์ (*Calothrix*) ฟอรัมเดียม (*Phormidium*) และไซยาโนดิกทอน (*Cyanodictyon*) อยู่ในเมือกของสาหร่ายชนิดอื่น

ในพืชอื่น เช่น ในไลเคน (*Lichen*) ได้แก่ สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว สกุล คลอкокคัส กลอโอแคปซา (*Chroococcus Gloeocapsa*) นอสทีออค (*Nostoc*) ไฮโดนีมา (*Scytonema*) สไตโกนีมา (*Stigonema*) ริวูลาเรีย (*Rivularia*) และดิกโคทริกซ์ (*Dichothrix*) อยู่ร่วมกับไบรโอไฟท์ (*Bryophyte*) เช่น นอสทีออค (*Nostoc*) และอะนาบินา (*Anabaena*) ในสัตว์ เช่น ฟอรัมเดียมมัสซิโคลา (*Phormidium Muscicola*) ขึ้นอยู่ในโรตีเปอร์ ไมโครซิสทีสออริสซิกา (*Microcystis Orissica*) หรือแดคไทโลคอคคอปซิสเพคตินาเทลโลฟิลา (*Dactylococcopsis Pectinatellophila*) ขึ้นอยู่กับหอยเม่น เป็นต้น

ความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งมีชีวิตทั้งสองที่อยู่ร่วมกัน ยังไม่ทราบแน่ชัด Fritch (1945) พบว่า มีสารบางอย่างถูกสร้างขึ้นมาจากการอยู่ร่วมกันนี้ ซึ่งแต่ละชนิดไม่สามารถสร้างได้ ถ้าแยกกันอยู่ตามลำพัง ในบางกรณีสิ่งมีชีวิตทั้งสอง เมื่อแยกกันอยู่ก็สามารถอยู่ได้ และอาจจะดีกว่าเมื่ออยู่รวมกัน แต่สิ่งมีชีวิตบางอย่างเมื่อขาดสาหร่ายจะไม่เจริญเติบโตเท่าที่ควร แสดงว่าสาหร่ายมีความสำคัญ โดยเฉพาะที่สามารถตรึงไนโตรเจนได้

การสืบพันธุ์ของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว มีเฉพาะแต่การสืบพันธุ์แบบไม่มีเพศ (*Asexual Reproduction*) เท่านั้น ไม่พบการสืบพันธุ์แบบมีเพศ (*Sexual Reproduction*) การสืบพันธุ์แบบไม่มีเพศ มี 3 วิธีตามลักษณะรูปร่างดังนี้ คือ

- 1) การแบ่งเซลล์ (*Cell Division*) โดยการแบ่งเซลล์จาก 1 เป็น 2 และ 2 เป็น 4 พบในพวกที่มีรูปร่างเซลล์เดี่ยว

- 2) การแตกหักเป็นท่อน (*Fragmentation*) พบในพวกที่มีรูปร่างเป็นสาย โดยพวกที่มีรูปร่างเป็นสายเหล่านี้ อาจจะเจริญเติบโตเป็นสายยาวต่อไป โดยไม่จำกัดความยาว แต่ส่วนมากมักจะขาดเป็นท่อนก่อนที่จะยาวมากเกินไป ซึ่งการแตกหักเป็นท่อน อาจเนื่องมาจากมีสัตว์น้ำมากระแทก โดย

แรงกระแสน้ำพัด เกิดจากเซลล์ใดเซลล์หนึ่งภายในสายเซลล์นั้นเกิดตายลง จึงทำให้เซลล์นั้นว่างเปล่า มีแต่ผนังเซลล์อย่างเดียว เป็นจุดอ่อนทำให้สายเซลล์นั้นขาดได้ง่าย เมื่อมีอะไรมากระทบเข้า ไม่ว่าสายเซลล์จะขาดออกจากกันโดยวิธีใดก็ตาม เมื่อมันขาดออกจากกันแล้ว แต่ละท่อนเรียกว่า ฮอร์โมโกเนียม (Hormogonium) สามารถเติบโตออกเซลล์ใหม่ออกไปได้อีก

3) การสร้างสปอร์ชนิดไม่เคลื่อนที่ ซึ่งเรียกสปอร์ชนิดนี้ว่า อะคิเน็ต (Akinete) พบในพวกที่มีรูปร่างเป็นสาย สปอร์ชนิดนี้มีผนังหนานานกว่าเซลล์ธรรมดา มีอาหารสะสมไว้มาก ซึ่งเป็นพวกไซยาโนไฟซินกรานูล (Cyanophycin Granules)

สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นพืชชั้นต่ำ ที่พบว่ามีประโยชน์ และมีความสำคัญยิ่ง โดยเฉพาะความสามารถในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ (N-fixation) สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว พวกที่มีเฮเทอโรไซสต์ (Heterocyst) ประมาณ 50 ชนิด สามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ เช่น โทลีโอพทริกซ์ (Tolypothrix) และอะนาบินา (Anabaena) ซึ่งอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำจืด สุขศรีงาม (2525) กล่าวว่าจากการศึกษาต่อมา พบว่า นอสต็อก (Nostoc) อะนาบินา (Anabaena) และไซลินโดรสเปอรัม (Cylindrospermum) ตรึงไนโตรเจนได้ 80.25 ปอนด์ต่อเอเคอร์ ในระยะเวลา 70 วัน จากความรู้ดังกล่าวนี้เอง ชาวญี่ปุ่นชื่อวาตานาเบ (Watanabe) ได้ประสบความสำเร็จในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว ในการเพิ่มปริมาณไนโตรเจนในนาข้าว โดยพบว่า โทลีโอพทริกซ์เทเนิส (Tolypothrix Tenuis) สามารถเจริญได้หนัก 4 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ในพื้นที่หนึ่งตารางเมตร ในเวลาหนึ่งชั่วโมง และจับไนโตรเจนได้ 0.24 กรัม ดังนั้นในเวลาหนึ่งปี สามารถจับไนโตรเจนได้ประมาณ 2,900 ปอนด์ต่อเอเคอร์ สำหรับในประเทศไทยนั้นได้พบว่า เมื่อนำออสซิลลาทอเรีย รูเบสเซนส์ (Oscillatoria Rubescens) ลิงเบีย ลิมเนติก้า (Lyngbya Limnetica) อะนาบินา (Anabaena Sp.) และโทลีโอพทริกซ์ (Tolypothrix Sp.) มาเลี้ยงในนาข้าว ทำให้ผลผลิตข้าวสูงขึ้น (นพพร ดำรงศิริ, 2514 อ้างถึง สุชาดา เหมะจันทร์, 2506)

นอกจากความสามารถในการตรึงไนโตรเจนได้ดังกล่าวแล้ว ยังพบว่า สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว ยังสามารถปรับปรุงสมบัติของดินให้ดีขึ้นได้ด้วย Kermi and Gupta (1981) ทดลองโดยใช้สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว เช่น อะนาบินา (Anabaena) นอสต็อก (Nostoc) และไซโตนีมา (Scytonema) ปรับสภาพดินโดยใส่ลงไปดินที่เป็นด่าง (ค่า pH = 9) พบว่าทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของดินลดลงเป็น 7-6 ได้ และ Roy-choudhury, et al. (1979) ได้ทดลองว่า สาหร่ายมีอิทธิพลต่อการจับตัวกันเป็นก้อนของเม็ดดิน ซึ่งเมื่อเม็ดดินจับตัวกันเป็นก้อน จะมีผลต่ออัตราการซึมของน้ำ การถ่ายเทอากาศ และอุณหภูมิดินที่ดีขึ้น การทดลองกับดินชนิดต่างๆ โดยการใส่สาหร่ายลงไปพบว่า ดินประเภทดินร่วนปนทราย (Sandy Loam) จะมีการจับตัวกันเป็นก้อนเพิ่มขึ้น 85% ดินร่วน (Loam) 130% และดินร่วนเหนียวปนตะกอน (Silty Clay Loam) เพิ่มการจับตัวกันสูงถึง 160% Echlin (1966) อ้างงานของ

นักวิทยาศาสตร์หลายคน เช่น Singh (1979) ได้ทำการทดลองโดยใช้สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวใส่ลงในดิน และช่วยให้ปริมาณของไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังเพิ่มอินทรีย์วัตถุ และความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน ทำให้ดินที่เคยไร้ประโยชน์ ปลูกพืชได้ Booth (1941) ทำการทดลองที่รัฐแคนซัส โอกลาโฮมา และเท็กซัส ปรากฏว่าการใช้สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวห่มดิน จะช่วยยึดเม็ดดินเข้าด้วยกัน ทำให้สามารถอุ้มน้ำไว้ได้มาก และลดการชะล้างลงได้ นอกจากนี้ Singh (1979) ได้เสนอแนะให้ใช้การสพรั่ง (Bloom) ของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว ซึ่งเกิดขึ้นในน้ำ เช่น การบานของไตรโคเดสมิยม (*Trichodesmium*) ใช้ประโยชน์เป็นเหมือนปุ๋ยพืชสด เพราะมีไนโตรเจน และฟอสฟอรัสอยู่ในปริมาณสูงมาก ได้ทดสอบและพบแล้วว่า เมื่อเอาสาหร่ายที่สพรั่งซึ่งแห้งแล้ว ใส่ลงในดินที่ปลูกอ้อย จะช่วยเพิ่มผลผลิตอ้อยให้มากขึ้นจนเห็นได้ชัด

ประโยชน์ด้านอื่นๆ ยังพบว่า สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว ยังสามารถนำมาใช้เป็นอาหารได้ด้วย ชาวอเมริกาใต้ใช้นอสตอค (*Nostoc*) เป็นอาหารบางชนิดมีโปรตีนสูง เช่น สไปรูลินา (*Spirulina* Sp.) ใช้เป็นอาหารเสริมสุขภาพ มีโปรตีนอยู่ถึง 63-68 เปอร์เซ็นต์ คาร์โบไฮเดรต 18-20 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 2-3 เปอร์เซ็นต์ ในเยอรมันตะวันตกใช้ซีนเดสมัส (*Scenedesmus* Sp.) เป็นอาหารของคน และสัตว์ เพราะมีโปรตีนมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งปริมาณโปรตีนนี้น้อยกว่าในนมและไข่ แต่มากกว่าโปรตีนในข้าวโพด และข้าวสาลี ส่วนในประเทศไทยได้ทดลองเลี้ยงสาหร่ายพวกซีนเดสมัส (*Scenedesmus* Sp.) และคลอเรลลา (*Chlorella* Sp.) ในน้ำไฮโดรอก โดยใช้หลักที่ว่า สาหร่ายสองชนิดนี้เจริญเติบโตได้รวดเร็ว และสังเคราะห์แสงให้ปริมาณออกซิเจนมาก จึงทำให้แบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนสามารถสลายอินทรีย์สารได้อย่างรวดเร็ว ผลพลอยได้คือ นำสาหร่ายสองชนิดนี้มาใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีนที่มีคุณภาพดีเท่าๆ กับโปรตีนจากถั่วเหลือง นอกจากนี้สถาบันค้นคว้าด้านผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้นำสาหร่ายน้ำจืดหลายชนิดมาทดลองสกัดโปรตีน พบว่าซีนเดสมัส (*Scenedesmus* Sp.) มีโปรตีนประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง ประเทศญี่ปุ่น และอิตาลีใช้คลอเรลลา (*Chlorella* Sp.) (สาหร่ายสีเขียว) และซีนเดสมัส (*Scenedesmus* Sp.) เป็นแหล่งอาหารโปรตีน และได้ตั้งโรงงานผลิตขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนฟิลิปปินส์ เกาหลี และไต้หวัน กำลังอยู่ในระหว่างดำเนินการเพาะเลี้ยงสาหร่าย เพื่อผลิตเป็นอาหาร (บัญญัติ สุขศรีงาม, 2525)

ทางด้านนิเวศวิทยา สาหร่ายเป็นผู้ผลิตก๊าซออกซิเจน สำหรับสิ่งมีชีวิตอื่นๆ และทำให้เกิดความสมดุลระหว่างก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ เพราะในขบวนการสังเคราะห์แสง สาหร่ายใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นวัตถุดิบ และผลของการสังเคราะห์แสง นอกจากได้สารอาหารแล้วยังได้ก๊าซออกซิเจนออกมาด้วย (Paul, et al., 1975) สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวบางชนิดใช้กำจัดน้ำเสีย โดยช่วยเพิ่มออกซิเจนให้แก่ น้ำโดยธรรมชาติ ได้แก่ ซีนเดสมัส (*Scenedesmus*) (Gupta and

Kumar, 1970) และออสซิลลาโทเรีย (Oscillatoria) และซีนเดสมัส (Scenedesmus) ใช้เป็นดัชนีบอกคุณภาพของน้ำได้ (Rosowski and Hoshaw, 1971)

ประโยชน์ที่ได้รับจากสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว โดยทางอ้อมก็คือ สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นอาหารของปลา และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ ในน้ำ ซึ่งสิ่งเหล่านั้นก็จะกลับกลายเป็นอาหารของคนต่อไป

1. การศึกษาการแพร่กระจายของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว

ในประเทศไทย ได้มีการศึกษาการแพร่กระจายของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวในน้ำจืด ในบริเวณภาคกลาง โดยเขวาลักษณ์ มณีรัตน์ (2517) ได้รายงานว่าได้ตรวจพบสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวอยู่ 16 สกุล จำแนกได้ 44 ชนิด และสกุลที่ตรึงในโตรเจนได้ ได้แก่ อะนาบินา (Anabaena) คาโลทริกซ์ (Calothrix) นอสต็อก (Nostoc) ไชโทนีมา (Scytonema) และโพลิโพทริกซ์ (Tolypothrix)

Watanabe et al. (1951) รายงานการแพร่กระจายของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว จากดินนาหลายแห่ง คือ สุมาตรา บอร์เนียว ฟิลิปปินส์ มลายู อินโดจีน พม่า พอร์โมซ่า ญี่ปุ่น ชัคคาริน จีน และไทย พบว่า สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวเพียง 13 ชนิดเท่านั้น ที่มีประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศได้ และทั้ง 13 ชนิดนี้ จัดอยู่ในอันดับ (Order) นอสโตคาเลส (Nostocales) และจากการสำรวจบริเวณเอเชียใต้ และเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ พบว่า มีสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่ตรึงไนโตรเจนได้เพียง 33 ตัวอย่างดิน จาก 851 ตัวอย่างดิน หรือ 3.88 เปอร์เซ็นต์ (Watanabe, 1959) เช่นเดียวกับ Venkataraman (1975) รายงานว่า จากบริเวณ 15 รัฐ ในประเทศอินเดีย พบว่ามีสาหร่ายที่ตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้ อยู่ในปริมาณน้อย เพียง 738 ตัวอย่าง จากตัวอย่างดินนา 2,213 ตัวอย่าง หรือ 33 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ Konishi and Seino (1961) รายงานว่า พบสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวในทุกตัวอย่าง ดินที่เก็บมาทั้งหมด 46 ตัวอย่าง ในตำบลโฮกูริกุ (Hokuriku) ประเทศญี่ปุ่น และจากการเพิ่มไนโตรเจน พบว่ามีความสัมพันธ์กับการเจริญเติบโตของสาหร่าย Jutono (1973) ได้รายงานไว้ที่ตำบลยอกยาการ์ตา (Yogyakarta) ประเทศอินโดนีเซีย พบสาหร่ายประเภทเฮเทอโรซิสต์ (Heterocyst Forms) อยู่ 3 วงศ์ (Family) ได้แก่ นอสต็อกเอซีอี (Nostocaceae) ริวูลาเรียซีอี (Rivulariaceae) และ ไชโทนีมาตาซีอี (Scytonemataceae) และที่ประเทศออสเตรเลีย Bunt (1961) รายงานถึงการแพร่กระจายของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว ที่ตรึงไนโตรเจนได้ในน้ำจืด พบว่าสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่ตรึงไนโตรเจนได้ในปริมาณน้อย แต่อย่างไรก็ตาม ก็พบว่าสกุลอะนาบินา (Anabaena) จะพบทุกหนทุกแห่ง สกุลนอสต็อก (Nostoc) พบไม่มากนัก เช่นเดียวกับที่ Renaut, et al. (1975) พบว่าน้ำจืดในบริเวณ Moghrane ประเทศโมร็อกโก มีสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวที่ตรึงไนโตรเจนได้น้อย มีอยู่เพียงสามชนิดเท่านั้น คือ อะนาบินา อาโมมาลา (Anabaena Amomala) กลีโอไทรเชีย (Gloeotrichia

Sp.) และโกลิโอทริกซ์ เทเนียส (Tolypothrix Tenuis) แต่อย่างไรก็ตาม ในดินนาเหล่านี้จะพบสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวอยู่ในปริมาณที่สูง แต่เป็นพวกที่ไม่สามารถตรึงไนโตรเจนได้ ถึงแม้ว่าอัตราประสิทธิภาพในการตรึงไนโตรเจน (Acetylene Reduction) โดยสาหร่ายในดินจะต่ำ แต่จะสูงกว่ามากบริเวณผิวน้ำเหนือโคลนขึ้นมา ซึ่งจะมีกลุ่มเซลล์ (Colony) ของกลีโอไทรเซีย (Gloeotrichia Sp.) ลอยอยู่อย่างกว้างขวาง ในบริเวณทะเลทรายซาฮารา ได้มีการศึกษาโดย Compere and Iltis (1983) รายงานว่า ไม่เคยพบสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวจากดิน แต่ Kolte and Goyal (1985) รายงานว่า ได้พบสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวอย่างหนาแน่น ในดินนาบริเวณวิฑรรภา (Vidarbha) ของรัฐมหาราษฏระ (Maharashtra) ประเทศอินเดีย สกุลอะนาบินา (Anabaena) และนอสต็อก (Nostoc) จะมีการแพร่กระจายอย่างกว้างขวาง เช่นเดียวกับ Venkataraman (1975) รายงานว่า สาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวทั้งสองสกุลนี้จะพบในทุกหนทุกแห่ง

2. ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการแพร่กระจายของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว

การแพร่กระจายของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวจะมากขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่ควบคุมด้วย Venkataraman (1975) รายงานว่า ความแตกต่างของภูมิภาคทำให้มองเห็นการแพร่กระจายของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวสกุลที่เห็นๆ แตกต่างกันไป เช่น สกุลคาลอทริกซ์ (Calothrix) พบมากในรัฐปัญจาป (Panjab) สกุลไซลินโดรสเปอรัม (Cylindrospermum) พบมากในรัฐไมซอร์ (Mysore) หรือรัฐกรณาฏกะ สกุลมาสติโกคลาดัส (Mastigocladus) พบมากในรัฐคุชราต (Gujarat) และถึงแม้ว่าสกุลอะนาบินา (Anabaena) และนอสต็อก (Nostoc) จะพบอยู่ทุกหนทุกแห่ง ก็จะอยู่ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน สมบัติของดินในแต่ละแห่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายด้วย ในดินที่มีความเค็มจัด เค็มปานกลาง และดินเค็มที่มีการปรับปรุง จะพบสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวต่างสกุลกัน มีอยู่ (เพียง 15 ชนิด (Species) ของสกุลแอนนาบินอปซิส (Anabaenopsis) ไซลินโดรสเปอรัม (Cylindrospermum) นอสต็อก (Nostoc) และอะนาบินา เอฟ โนดูลาเรีย (Anabaena F Nodularia) และกลีโอไทรเซีย (Gloeotrichia) สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินเค็มจัด และจะพบอะนาบินา สเฟียไรกา (Anabaena Sphaerica) มากที่สุด ซึ่งสามารถจะใช้เป็นสารเคลื่อนย้ายปฐมภูมิ (Primary Colonizer) ของดินเค็มจัดได้ (Ali and Sandhu, 1972) สำหรับดินกรดจัดในประเทศไทย ซึ่งเกิดจากดินตะกอนน้ำกร่อย (Brackish Water Alluvium) ดินทรายกรดจัดตะกอนแม่น้ำเก่า (Acid Sandy Low Humic Gley Soil) และชุดดินรีโกซอลต์ (Regosols) พบว่ามีสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวในปริมาณที่น้อยมาก ในขณะที่ดินตะกอนน้ำเค็ม (Marine Alluvial) ดินตะกอนน้ำจืด (Fresh Water Alluvial) ดินตะกอนแม่น้ำเก่า (Humic Gley Soil) และชุดดินกรุมซอลต์ (Grumusol) จะมีปริมาณการตรึงไนโตรเจนของไมโครไฟลา (N₂-fixing Microflora) ในอัตราที่สูง รวมทั้งสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวด้วย (Mutsuguchi, et al., 1975) ระดับความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว Kolte and

Goyal (1985) รายงานว่าที่ระดับต่ำกว่า 6.5 จะสนับสนุนการเจริญเติบโตที่ดีมาก นอกจากนี้ ยังพบสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียวเป็นปฏิกิริยากับแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulphate-reducing Bacteria) ซึ่งได้มีการศึกษา ทั้งการแพร่กระจายของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว และการตรึงไนโตรเจนในดินนาในประเทศเซเนกัล ทำให้คิดว่าอาจจะเป็นวิธีที่ป้องกันการเกิดการรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulphate Reduction) ในบริเวณนั้นได้ โดยการคลุกเมล็ดข้าวกับสาหร่าย ก่อนที่จะหว่านลงไปนาข้าว (Roger and Jacq, 1977; Roger, 1972) Muralikrishna, et al. (1975) รายงานว่า ปริมาณสาหร่าย และอินทรีย์วัตถุจะลดลงเมื่อดินมีความลึกเพิ่มขึ้น การใส่ปุ๋ยพืชสดร่วมกับฟอสเฟต หรือใส่ปุ๋ยพืชสดเพียงอย่างเดียว จะทำให้ปริมาณของสาหร่ายสูงขึ้น และการใส่ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต $[(NH_4)_2SO_4]$ และคอปเปอร์ซัลเฟต $(CuSO_4)$ ลงไปในดิน จนทำให้น้ำมีความเข้มข้นลง 5 ส่วนในล้านส่วน (Ppm) จะมีผลที่จะไปควบคุมการเจริญเติบโตของกลุ่มสาหร่าย (Scum) ซึ่งส่วนใหญ่ ได้แก่ สาหร่ายเตา (Spirogyra) ลิงเบีย (Lyngbya) และฟอร์มิเดียม (Phormidium) ซึ่งจะรบกวนการเจริญเติบโตของต้นกล้าในระยะแรกๆ (Bunt, 1961)

สกุลที่ตรวจ พบว่ามีการแพร่กระจายอยู่ในธรรมชาติมากที่สุด คือ สกุลคาโลทริกซ์ (Calothrix) รองลงมาได้แก่ สกุลนอสต็อก (Nostoc) และสกุลอะนาบินา (Anabaena) และสกุลที่ตรวจพบว่ามี การแพร่กระจายอยู่น้อยมากในธรรมชาติ คือ สกุลกลีโอไทรเชีย (Gloeotrichia) รัวูลาเรีย (Rivularia) สไตโกนีมา (Stigonema) และฟิสเชอเรลลา (Fischerella)

การศึกษาโดยละเอียดเป็นรายภาค ตรวจพบการแพร่กระจายของสาหร่ายสีน้ำเงินแกมเขียว ดังนี้

ภาคเหนือ ตรวจพบ 11 สกุล โดยสกุลที่ตรวจไม่พบคือ สกุลรัวูลาเรีย (Rivularia) สกุลที่ตรวจพบว่ามี การแพร่กระจายอยู่ในธรรมชาติมากที่สุด คือ สกุลคาโลทริกซ์ (Calothrix) รองลงมาคือ สกุลนอสต็อก (Nostoc) และอะนาบินา (Anabaena)

ภาคกลาง ตรวจพบทั้ง 12 สกุล โดยสกุลที่ตรวจพบว่ามี การแพร่กระจายอยู่ในธรรมชาติมากที่สุดคือ สกุลอะนาบินา (Anabaena) รองลงมาคือ สกุลนอสต็อก (Nostoc) และคาโลทริกซ์ (Calothrix)

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตรวจพบเพียง 8 สกุล โดยสกุลที่ตรวจไม่พบคือ สกุลกลีโอไทรเชีย (Gloeotrichia) มาสติโกคลาดัส (Mastigocladus) รัวูลาเรีย (Rivularia) และสไตโกนีมา (Stigonema) สกุลที่ตรวจพบว่ามี การแพร่กระจายอยู่ในธรรมชาติมากที่สุด คือ สกุลคาโลทริกซ์ (Calothrix) รองลงมาคือ สกุลนอสต็อก (Nostoc) และฮาปาโลไซฟอน (Hapalosiphon)

ภาคใต้ ตรวจพบเพียง 6 สกุล โดยสกุลที่ตรวจไม่พบคือ สกุลไซลินโดรสเปอรัมมัม (Cylindrospermum) ฟิชเชอเรลลา (Fischerella) กลีโอไทรเชีย (Gloeotrichia) มาสติโกคลาดัส (Mastigocladus) ริวูลาเรีย (Rivularia) และสไตโกนีมา (Stigonema) สกุลที่ตรวจพบว่า มีการแพร่กระจายอยู่ในธรรมชาติมากที่สุด คือ สกุลฮาปาโลไซฟอน (Hapalosiphon) รองลงมาคือ สกุลคาโลทริกซ์ (Calothrix) นอสต็อก (Nostoc) และอะนาบินา (Anabaena)

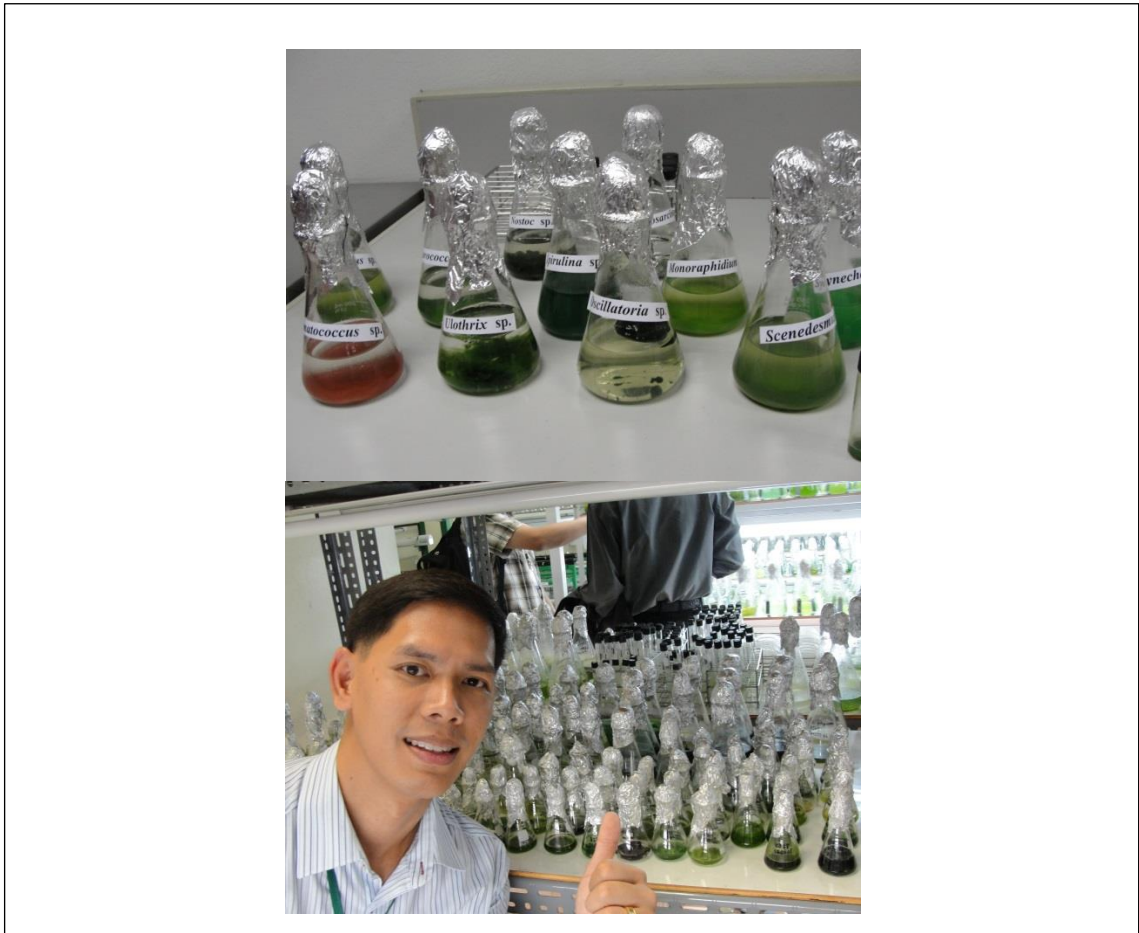
2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย ในการศึกษาเริ่มต้น ได้ทำการทดลองให้คาร์บอนไดออกไซด์ ณ ความเข้มข้นต่างๆ พบว่า สาหร่ายเจริญเติบโตได้ดีที่สุดในสภาวะที่คาร์บอนไดออกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ โดยเลี้ยงสาหร่ายในสูตรอาหารคัดแปลงของวาทานาเบ้ (Watanabe's Medium) และกอนซาเลซ (Gonzalez's Medium) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) คือ 6.5 สีของแสงที่ใช้คือ สีส้มแดง จากนั้นจึงได้ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม เช่น สายพันธุ์คลอเรลลา โดยใช้สูตรอาหารคัดแปลงของวาทานาเบ้ (Chisti, 2007; Scragg, et al., 2002) ซึ่งมีการจำกัดปริมาณของไนโตรเจนที่ต่ำ เพื่อให้สาหร่ายมีการผลิตปริมาณไขมันสูงขึ้น ในขณะที่เดียวกัน จำเป็นจะต้องเพิ่มสารประกอบอื่น เพื่อช่วยในการเจริญเติบโตของสาหร่ายด้วย เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กลูโคส และเหล็ก ที่อยู่ในรูปสารประกอบเฟอร์ริกคลอไรด์ เป็นต้น โดยมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดเท่ากับ 0.511 ต่อวัน เมื่อสภาวะนั้นๆ ได้รับสารอาหารที่มีประโยชน์ เพราะกลูโคสเป็นอินทรีย์คาร์บอนที่มีประโยชน์ และมีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ แต่กลูโคสส่วนที่สาหร่ายได้รับ ก็จะไปกระตุ้นการเพิ่มขึ้นของปริมาณไขมันภายในเซลล์เช่นกัน ส่วนสภาวะที่ไม่มีการเติมกลูโคส พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตใกล้เคียงกันกับสภาวะที่มีการเติมกลูโคส แต่มีปริมาณไขมันสะสมภายในเซลล์ต่ำ สาเหตุน่าจะมาจาก ณ สภาวะนั้นๆ ไม่มีสิ่งมากระตุ้น การทำกิจกรรมในการดำรงชีวิตที่สูงขึ้น ของเชื้อชนิดต่างๆ ในสภาวะเชิงแข่งขัน ทำให้สาหร่ายสามารถที่จะมีการเจริญเติบโตได้อย่างเต็มที่ แต่ผลิตไขมันน้อย และไม่เกิดการชะลอการเจริญเติบโต อันเนื่องมาจากมีปริมาณกลูโคสที่มาก และเอื้อประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นๆ เนื่องจากได้รับคาร์บอนไดออกไซด์อยู่แล้ว เช่นเดียวกับ Findeneff (1980) กล่าวว่า ในสภาวะที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ละลายอยู่มาก สาหร่ายจะใช้ในส่วนที่ละลายได้ในของเหลวเพียงอย่างเดียว ในการช่วยกระตุ้นให้เกิดการสะสมไขมันภายในเซลล์สาหร่าย ซึ่งอิทธิพลของกลูโคส จะไปกระตุ้นการเพิ่มปริมาณเซลล์ของสาหร่าย (Feng, et al., 2004) และการเพิ่มขึ้นของปริมาณการสะสมไขมันภายในเซลล์ (Miao, X., and Wu, Q., 2006) ดังนั้น จากการทดลองเติมกลูโคส เพื่อเป็นแหล่งอินทรีย์คาร์บอน มีผลทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์ไขมันในเซลล์สาหร่าย เพราะสาหร่ายจะตอบสนองรูปแบบการเจริญเติบโต จากโฟโตออโตโทรฟิก ไปเป็นแบบเฮเทอโรโรโทรฟิก อย่างไรก็ตาม จำเป็นจะต้องมีการเติมกลูโคส และเฟอร์ริกคลอไรด์ในปริมาณที่

พอเหมาะ เพื่อการเจริญเติบโต และสะสมไขมันของสาหร่าย ซึ่งจากการทดลองพบว่า อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของสาหร่าย อยู่ที่ 0.542 ต่อวัน และปริมาณไขมันสะสมในเซลล์เท่ากับ 6.42 เปอร์เซ็นต์ เมื่อมีการเติมเฟอร์ริคคลอไรด์ และกลูโคสเท่ากับ 0.003 และ 0.45 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ คล้ายกับ Lllman, Scragg, and Shales (2000) ได้ทำการทดลองเลี้ยงสาหร่ายชนิดต่างๆ ที่บริสุทธิ์ เพื่อเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโต และปริมาณไขมันที่สะสมภายในเซลล์ พบว่า *C. Vulgaris*, *C. Emersonii*, *C. Sorokiniana* และ *C. Protothecoides* ที่เลี้ยงในสูตรอาหารไนโตรเจนระดับต่ำของวาตานาเบ้ (Low Nitrogen Watanabe) มีอัตราการเจริญเติบโตเท่ากับ 0.99, 0.46, 0.19 และ 0.27 ตามลำดับ และปริมาณไขมันสะสมภายในเซลล์เท่ากับ 18, 63, 22, และ 57 % (Lllman, Scragg, and Shales, 2000) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า กระบวนการสะสมไขมันในสาหร่ายนั้น น่าจะมีสาเหตุมาจาก สาหร่ายที่ให้น้ำมันสูง สภาพการอยู่ร่วมกันของสิ่งมีชีวิตชนิดต่างๆ การกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในการเจริญเติบโต และสะสมไขมัน โดยที่สาหร่ายบางสายพันธุ์มีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว แต่มีการสะสมไขมันภายในเซลล์น้อยกว่าบางสายพันธุ์ ที่มีการเจริญเติบโตช้า แต่อาจมีการสะสมของไขมันที่สูง ในอนาคตสามารถที่จะมีการพัฒนาการเลี้ยงในระบบที่ใหญ่ขึ้น และมีการใช้ประโยชน์จากกากน้ำตาล มาเป็นแหล่งคาร์บอน เพื่อลดต้นทุนจากการใช้น้ำตาลกลูโคสในเลี้ยงสาหร่าย เพื่อให้ได้ผลสำเร็จในเชิงพาณิชย์

2.2.3 สาหร่ายสกัดน้ำมัน

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ได้รายงานวิจัย ถึงการคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายน้ำมัน ด้วยเทคนิคการย้อมสี เป็นแห่งแรกของประเทศไทย โดยคาดว่าจะการวิจัยสาหร่ายผลิตน้ำมัน เพื่อเป็นพลังงานทดแทนในอนาคตอันใกล้นี้ ซึ่งทางสถาบันมีแหล่งสาหร่ายน้ำจืดใหญ่เป็นอันดับ 3 ของเอเชีย โดยพัฒนาเป็นพืชพลังงานทางเลือก ผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพ และอื่นๆ อีกมาก ไม่ก่อให้เกิดปัญหาน้ำเสีย และลดโลกร้อน โดยมีสายการผลิตของอุตสาหกรรมสาหร่ายแบบครบวงจร ซึ่งผลสำเร็จในการใช้เทคนิคย้อมสีไนล์เรด (Nile Red Staining) เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่าย ที่ผลิตน้ำมันได้รวดเร็วนั้น จะทำให้สามารถค้นพบสาหร่ายสายพันธุ์ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของไทยแล้วกว่า 40 สายพันธุ์ และนำสาหร่ายสายพันธุ์ดังกล่าว มาขยายผลในระบบการเพาะเลี้ยงกลางแจ้ง ทั้งนี้ก็เพื่อวิจัยพัฒนาไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ ได้จริง ในการเปรียบเทียบกับสินค้าเกษตรอื่นๆ เช่น ปาล์ม มันสำปะหลัง และอ้อย ในการใช้สาหร่ายสำหรับทำพลังงานทดแทนนั้น จะมีความได้เปรียบกว่าพืชชนิดอื่นมาก



รูปที่ 2.9 แสดงสาหร่ายสายพันธุ์ต่างๆ

กันย์ กังวานสายชล (2554) นักวิจัยฝ่ายวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมและเชื้อเพลิงทางเลือก สถาบันวิจัยและเทคโนโลยี ปตท. และผู้จัดการเครือข่ายวิจัยพลังงานจากสาหร่ายขนาดเล็กแห่งประเทศไทย (คพท.) กล่าวว่า ภายหลังจากที่ได้คัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายที่ผลิตน้ำมัน และพัฒนาการเพาะเลี้ยงในระดับขยายเชิงพาณิชย์กลางแจ้ง จนประสบความสำเร็จได้แล้ว ในส่วนของน้ำมันที่ได้ ปตท. จะนำไปวิเคราะห์คุณสมบัติ และพัฒนาออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ ตามความเหมาะสมในการใช้งานต่อไป

2.2.4 สภาพที่เหมาะสมในการผลิตน้ำมันของสาหร่าย

จิโนรส ศรีศิริ และคณะ (2551) ได้ทำการศึกษาสภาพที่เหมาะสม และเปอร์เซ็นต์ของการสะสมไขมัน ในการเลี้ยงสาหร่ายพื้นเมือง เพื่อหาสภาพที่เหมาะสม ในการผลิตน้ำมันของสาหร่ายท้องถิ่นพื้นเมือง จากการศึกษาพบว่า สภาพที่เหมาะสมที่ทำให้สาหร่ายพื้นเมือง มีการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุด เท่ากับ 0.542 ต่อวัน และมีไขมันสะสมในเซลล์ ร้อยละ 6.42 ตามลำดับ ณ ความเข้มแสง 5,000 ลักซ์ โดยมีแสงสีส้มเป็นแหล่งพลังงาน ช่วงสว่างต่อมืดเท่ากับ 16:8 ชั่วโมง ปริมาณเฟอร์ริคคลอไรด์ และ

กลูโคส เท่ากับ 0.003 และ 0.45 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งโครงการวิจัยดังกล่าว ถือเป็นต้นแบบในการนำไปพัฒนาได้อย่างดียิ่งในอนาคต

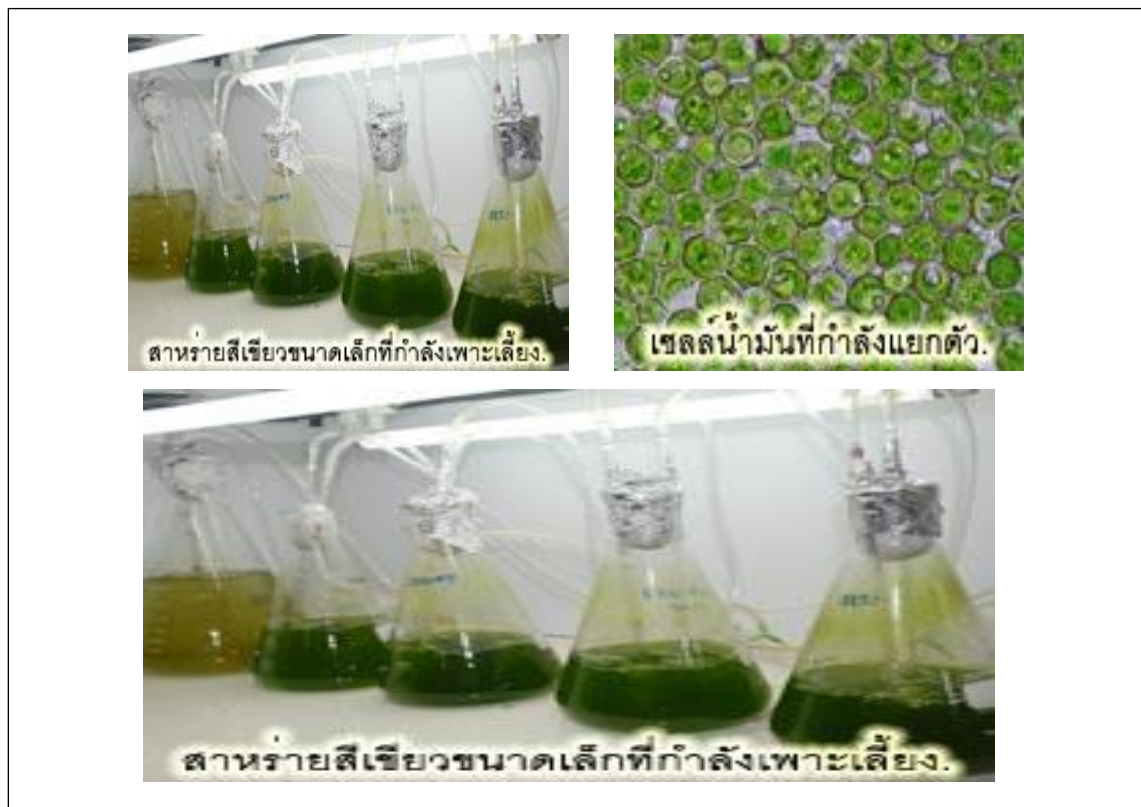
กิตติพล กสิภาร และคณะ (2555) ได้ทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายคลอเรลลา (Chlorella) ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองแบบ Box-behnken ได้ผลสรุปที่เหมาะสมดังนี้ อุณหภูมิ 29.6 °C ค่าความเป็นกรด่างเริ่มต้น 7.26 และสัดส่วนโดยปริมาตรของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์คือ 2.46% โดยได้น้ำหนักเซลล์แห้งที่เวลาในการเพาะเลี้ยง 7 วันภายใต้แสงวอร์มไวท์ (Warm White) ณ ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ 1.926 กรัมต่อลิตร เมื่อทำการทดลองเพื่อยืนยันปริมาณน้ำหนักเซลล์แห้งที่เพาะเลี้ยงได้ พบว่าค่าเฉลี่ยของน้ำหนักเซลล์แห้งที่เพาะเลี้ยงได้ ที่เวลา 7 วันอยู่ในช่วง 1.78 ถึง 2.45 กรัมต่อลิตร ที่ระดับนัยสำคัญ 99% และจะได้อัตราการเติบโตจำเพาะคือ 0.389 วัน

2.2.5 กระบวนการสกัดสาหร่ายสีเขียวเป็นน้ำมันทดแทนน้ำมันปิโตรเลียม

ต้นปี พ.ศ. 2554 ที่ผ่านมา ปิโตรเลียมมีราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้ทั่วโลกประสบกับวิกฤติ โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรม จำต้องแบกต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น ดังนั้นหลายประเทศจึงเริ่มหันมาให้ความสนใจพลังงานทดแทนเป็นทางเลือกในอนาคตอย่างต่อเนื่อง รัตนภรณ์ ลิสิงห์ (2550) อาจารย์ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้มีโครงการศึกษาวิจัยในเรื่องดังกล่าว และพบว่าสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็กบางชนิด มีคุณสมบัติที่จะนำมาใช้เป็นวัตถุดิบ เพื่อผลิตน้ำมันไบโอดีเซลได้เป็นอย่างดี

นอกจากนั้น รัตนภรณ์ ลิสิงห์ (2550) ยังได้กล่าวเสริมถึงความไม่แน่นอนของราคา และปริมาณน้ำมันดิบที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ผสมกับพืชพลังงานที่นำมาส่งเสริมอย่างเช่น สบู่ดำ และปาล์มน้ำมัน ที่การเพาะปลูกต้องใช้เวลานาน และพื้นที่มาก อีกทั้งผลผลิตมีมากขึ้นกับสภาพภูมิอากาศ ฤดูกาล ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะสรรหาวัตถุดิบอื่น เพื่อมาใช้ผลิตน้ำมันไบโอดีเซลที่สามารถใช้ได้ในช่วงฤดูที่ต่ำกว่า และจากการค้นคว้าหาข้อมูลกระทั่งพบว่า สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับพืชพลังงานอื่นๆ เช่น สาหร่ายจากบริเวณแหล่งน้ำจืด รวมทั้งในบึงสีฐานในจังหวัดขอนแก่น แล้วนำมาเพาะเลี้ยงผ่านกระบวนการขั้นตอนต่างๆ ในสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งใช้เวลาเพียง 2 วัน สาหร่ายจะเติบโตและมีจำนวนเพิ่มขึ้น 2 เท่า การนำมาสกัดเอาไขมัน หรือน้ำมันที่สะสมในเซลล์ ในการนำมาผลิตน้ำมันไบโอดีเซล โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) หรือการใช้เซลล์สาหร่ายขนาดเล็ก ผสมโดยตรงกับน้ำมันดีเซลในรูปแบบการเพาะเลี้ยงสังเคราะห์แสง และไม่มีแสงเสร็จแล้วนำเซลล์ที่ได้มาสกัด กระทั่งได้น้ำมันดิบ ที่เป็นไตรกลีเซอไรด์ โดยมีกรดปาล์มติก

กรดสเตียริก และกรดโอเลอิก ซึ่งเป็นกรดไขมัน อันเป็นส่วนประกอบหลักประเภทเดียวกันกับในพืชพลังงาน และในน้ำมันพืช ซึ่งจากผลการวิจัยดังกล่าวจึงสรุปได้ว่า น้ำมันที่ผลิตได้จากสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก มีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นวัตถุดิบ สำหรับผลิตไบโอดีเซลได้ และมีความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์ในอนาคต หากจะเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวในระดับอุตสาหกรรมผลิตน้ำมันไบโอดีเซลก็สามารถทำได้ การเพาะเลี้ยงไม่จำเป็นต้องใช้พื้นที่มาก อีกทั้งยังใช้เวลาเพียง 7-14 วัน ก็สามารถนำมาสกัดเป็นน้ำมันได้แล้ว ซึ่งการนำไปพัฒนาต่อขอดนั้น จำเป็นต้องอาศัยความร่วมมือ จากทั้งภาครัฐและเอกชน เพื่อให้เกิดผลในทางรูปธรรมเพิ่มขึ้น



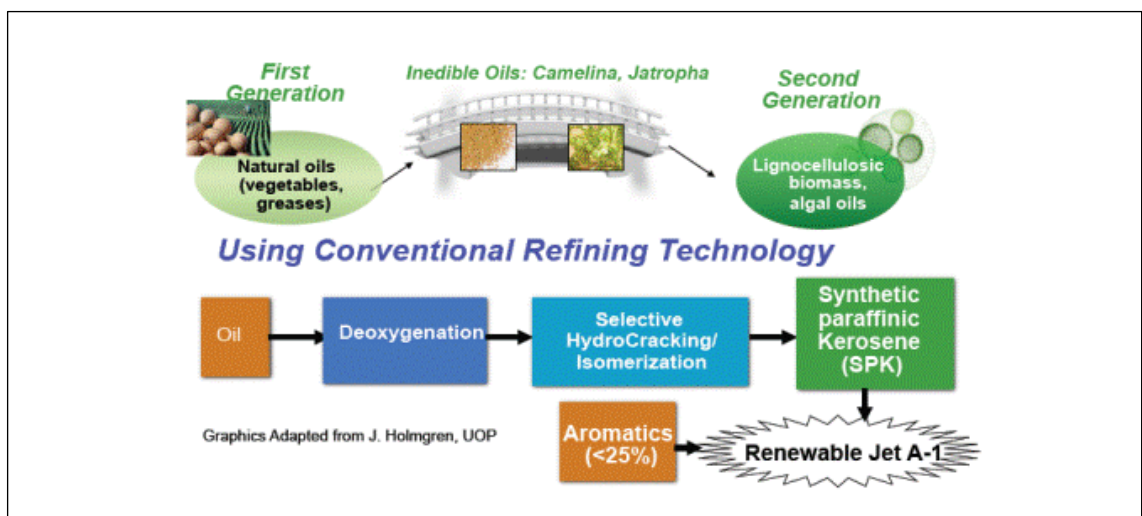
รูปที่ 2.10 แสดงการเพาะเลี้ยงสาหร่ายพันธุ์ที่ใช้ในการผลิตน้ำมัน
ที่มา : รัตนภรณ์ ลีสิงห์ (2550)



รูปที่ 2.11 แสดงน้ำมันที่สกัดได้จากสาหร่าย
ที่มา : รัตนภรณ์ ลีสิงห์ (2550)

2.2.6 น้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากพืชสาหร่าย

น้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากพืชสาหร่าย ในยุคแรกจะเป็นการผลิตเอทานอล เพื่อผสมในน้ำมันเบนซิน และการผลิตเป็นไบโอดีเซล เพื่อใช้ในการขนส่งเป็นหลัก สำหรับน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์สำหรับน้ำมันพืชจากพืชสาหร่ายให้น้ำมันทั้งที่กินได้ และกินไม่ได้ เป็นน้ำมันดิบจากพืช ก่อนเข้าสู่กระบวนการไฮโดรทรีต (Hydroprocessing) แล้วได้ผลผลิตออกมาเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงในที่สุด ในปัจจุบัน พืชให้น้ำมันจากสาหร่ายจะถูกนำเข้าสู่การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง เช่นเดียวกับพืชให้น้ำมันที่คุ้นเคยอยู่แล้ว เช่น น้ำมันจากสับปะรด น้ำมันปาล์ม และน้ำมันมะพร้าว



รูปที่ 2.12 แสดงขั้นตอนการสังเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิงจากพืช

2.2.7 การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการแตกตัวด้วยไฮโดรเจน ของพลังงานเชื้อเพลิง หมุนเวียนกลุ่มน้ำมันจากพืชสาหร่าย (Hydro-treated Renewable Jet Fuel, HRJ from Plant Oil)

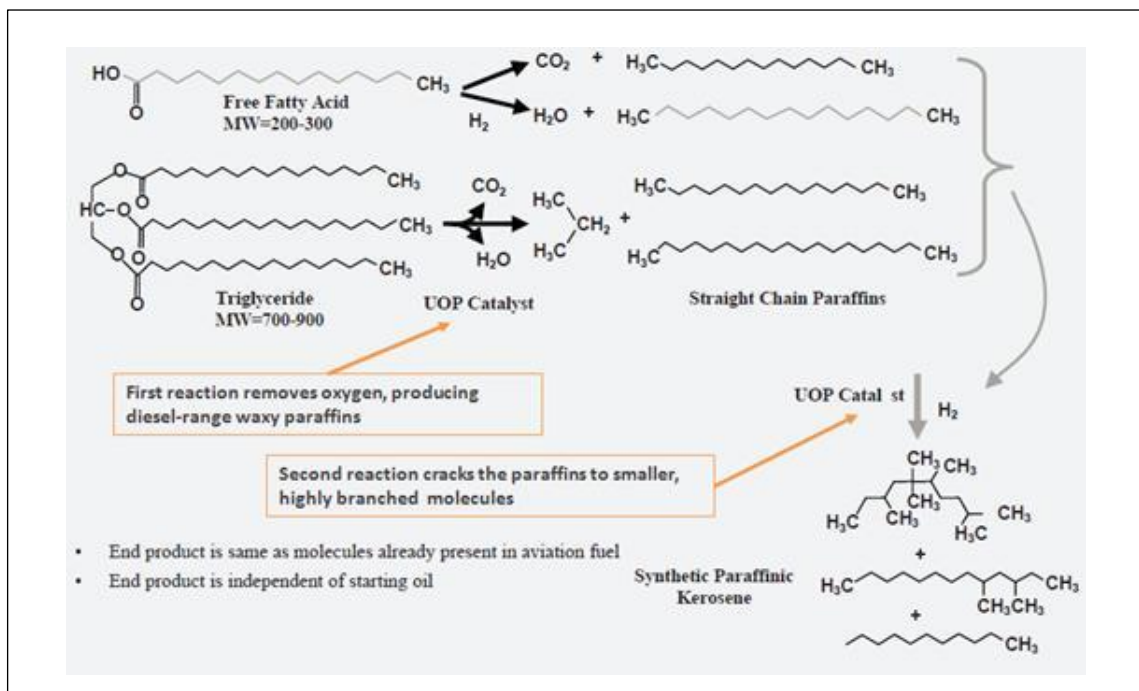
การสังเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการนี้ จะใช้วัตถุดิบตั้งต้นเป็นน้ำมันจากพืชชนิดต่างๆ เช่น
สาหร่าย เป็นกระบวนการที่คาดว่าจะสามารถดำเนินการได้เป็นผลสำเร็จ ในระยะเวลา 2-3 ปีนี้
การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการนี้ ใช้หลักการว่า องค์ประกอบหลักของน้ำมันจากพืช ประกอบด้วย
ไตรกลีเซอไรด์ (Triglycerides) และกรดไขมันอิสระ (Free Fatty Acid) จะผ่านเข้าสู่ขั้นตอนการกำจัด
ออกซิเจน ออกไปจากโครงสร้างโมเลกุลก่อน แล้วเติมไฮโดรเจนลงไป เพื่อให้ได้น้ำมันเชื้อเพลิง
สังเคราะห์ตามต้องการ โดยมีขั้นตอนของปฏิกิริยาสำคัญ 2 ขั้นตอน คือ

1. ปฏิกิริยากำจัดออกซิเจน (Deoxygenation)

เริ่มจากการนำน้ำมันพืช ไปผ่านขั้นตอนการทำความสะอาด เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของไตรกลี
เซอไรด์ และกรดไขมันอิสระ มีรูปร่างเป็นสายโซ่ยาว และมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย
น้ำมันพืชที่สะอาดแล้วนี้ จะถูกนำเข้าสู่ขั้นตอนทำให้โครงสร้างโมเลกุลเป็นสายโซ่ที่สั้นลง และกำจัด
ออกซิเจนในโมเลกุลออกไป ในรูปของน้ำ และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยที่ขั้นตอนนี้จะทำให้ได้
น้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ขนาดความยาวสายโซ่เป็นกลุ่มน้ำมันดีเซล (Diesel-range Paraffins) โดย
ปฏิกิริยาขั้นนี้จะทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ มีค่าความร้อนจากการเผาไหม้ (Heat of Combustion)
ค่าความคงตัวต่อความร้อน (Thermal Stability) ความคงตัวต่อการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidative
Stability) สูงขึ้น

2. ปฏิกิริยาการแตกตัวด้วยไฮโดรเจน และการปรับโครงสร้าง (Cracks and Isomerizes)

ขั้นตอนนี้จะนำน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ขนาดความยาวสายโซ่น้ำมันดีเซล (Diesel-range Paraffins)
มาแตกตัวด้วยไฮโดรเจน เพื่อให้ได้น้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ ขนาดความยาวสายโซ่น้ำมันเชื้อเพลิง
(Jet-range Paraffins) โดยน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์สำหรับที่ได้รับในขั้นตอนนี้ จะมีโครงสร้าง
โมเลกุล ในรูปแบบเช่นเดียวกับน้ำมันเชื้อเพลิงแบบที่ใช้อยู่เดิม น้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่ผ่าน
ขั้นตอนปฏิกิริยาดังกล่าวแล้วนี้ จะถูกนำไปกลั่น ซึ่งจะได้ผลผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันเบนซิน
และน้ำมันดีเซลสำหรับรถยนต์



รูปที่ 2.13 แสดงกระบวนการทางเคมีของเชื้อเพลิงชนิด HRJ

ที่มา : International Civil Aviation Organization (2011)

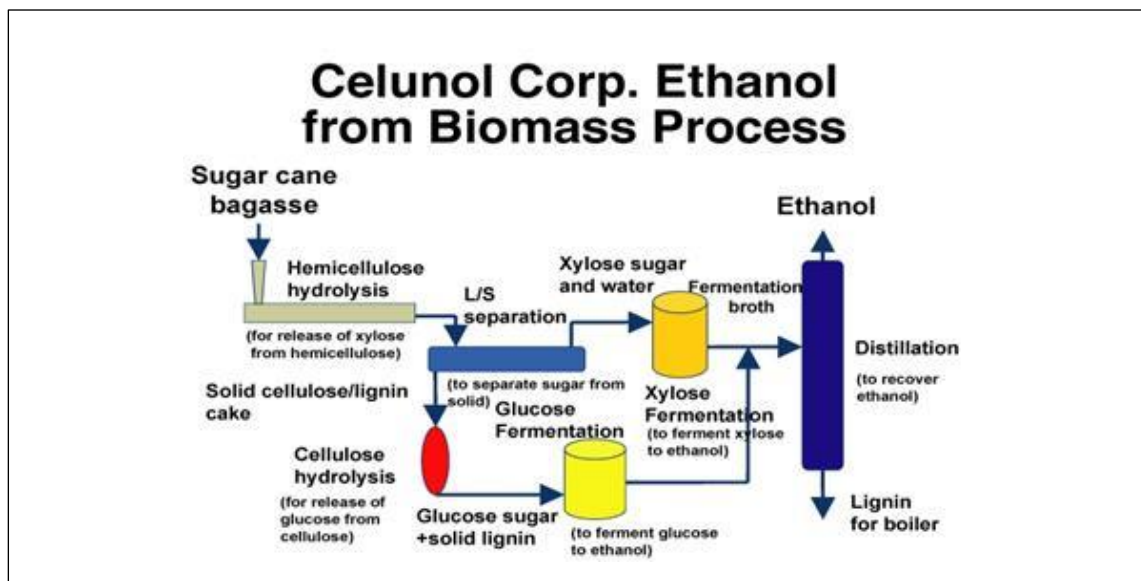
2.2.8 การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการแตกตัวด้วยไฮโดรเจน ของพลังงานเชื้อเพลิงหมุนเวียนกลุ่มน้ำมันจากสาหร่าย (Hydro-treated Renewable Jet Fuel; HRJ from Algae)

การสังเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิงด้วยกระบวนการนี้ จะใช้วัตถุดิบตั้งต้นเป็นน้ำมันจากสาหร่าย โดยจะสามารถดำเนินการได้เป็นผลสำเร็จในระยะเวลาอีก 10 ปี ปฏิกริยาที่ใช้ในการสังเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิงจากสาหร่ายนี้ จะใช้หลักการเช่นเดียวกับการสังเคราะห์จากน้ำมันจากพืชอื่นๆ ซึ่งสามารถสรุปได้ คือ

- 1) การกำจัดออกซิเจน เพื่อให้ได้น้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์สายโซ่ยาว
- 2) การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ
- 3) การแตกตัวด้วยไฮโดรเจน และปรับโครงสร้าง เพื่อให้ได้น้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์กลุ่มน้ำมันเชื้อเพลิง
- 4) การกลั่น เพื่อให้ได้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ตามที่ต้องการนำไปใช้งาน
- 5) การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ จากน้ำมันสาหร่ายนี้ อยู่ระหว่างการพัฒนาขั้นตอนการผลิต เพื่อให้ต้นทุนของการผลิตเชิงพาณิชย์ มีราคาลดต่ำลงต่อไป

2.2.9 การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic)

การสังเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิงด้วยวิธีนี้ จะใช้หลักการใช้พืชกลุ่มเส้นใย (Cellulosic Feedstock) โดยเฉพาะสาหร่าย และให้น้ำตาล (Sugar-based) นำมาหมักโดยจุลชีพ ที่ได้รับการออกแบบทางพันธุวิศวกรรม เพื่อให้ย่อยสลายเส้นใย และน้ำตาลในพืชให้แตกตัวออก แล้วเปลี่ยนองค์ประกอบที่ย่อยสลายออกมาให้รวมตัวกลับไป เกิดเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ได้เป็นน้ำมันดิบสังเคราะห์ สำหรับกลั่นแยกเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ชนิดต่างๆ ต่อไป ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 แสดงการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการสันดาป (Metabolic)

ที่มา : Logen Corporation Cellulose (2011)

น้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากพืชในประเทศไทยส่วนใหญ่ ดำเนินการเพื่อตอบสนองความต้องการใช้พลังงานเชื้อเพลิงในภาคอุตสาหกรรม และการขนส่งภาคพื้น จึงเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับการใช้เป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง ประเภทน้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล การพัฒนาและวิจัยด้านเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากพืชดังกล่าว ปัจจุบันมุ่งเน้นไปในทิศทางการใช้พืชน้ำมันที่ไม่ใช่กลุ่มอาหาร และโครงการผลิตแอลกอฮอล์จากพืชชนิดต่างๆ ที่มีความเหมาะสมกับการผลิตในเชิงพาณิชย์ เช่น งานวิจัยของบริษัท ปตท. ในโครงการวิจัยเพื่อผลิตน้ำมันจากสาหร่าย ที่สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในกลุ่มชีวมวล (Biomass) ที่ใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการสังเคราะห์เชื้อเพลิงเหลว (Piyapong Humpinyo, et al., 2012) น้ำมันพืช หรือน้ำมันหล่อลื่นใช้แล้ว (วิชากร จารุศิริ และคณะ, 2550) โดยงานวิจัยดังกล่าวนี้ จะได้เชื้อเพลิงเหลวซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่สามารถนำเข้าสู่กระบวนการกลั่นลำดับส่วน เช่นเดียวกับการกลั่นน้ำมันดิบที่ได้จากฟอสซิล ทำให้ได้น้ำมันเชื้อเพลิงแยกออกมาตามลำดับของจุดเดือด ส่วนที่ระเหยง่าย มีจุดเดือดต่ำ จะนำออกมาจากของยอดหอกลั่น

ที่มีจุดเดือดสูง และท้ายสุดจะได้ผลิตภัณฑ์ตั้งต้นสำหรับการทำน้ำมันหล่อลื่น และไข ตามลำดับ โดยงานวิจัยเหล่านั้น วัตถุประสงค์เบื้องต้นเป็นไปเพื่อให้ได้เชื้อเพลิงเหลว สำหรับการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ แต่เชื้อเพลิงเหลวนั้น เมื่อนำมาเข้าสู่การกลั่นลำดับส่วน ย่อมทำให้ได้น้ำมันเชื้อเพลิงพื้นฐาน เมื่อนำมาผสมกับสารเพิ่มคุณภาพ ได้แก่ สารป้องกันการทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (Antioxidant) สารป้องกันการทำปฏิกิริยากับโลหะ (Metal Deactivator) สารช่วยแพร่กระจายประจุไฟฟ้าสถิตย์ (Static Dissipator) สารยับยั้งการกัดกร่อน (Corrosion Inhibitor) สารยับยั้งการเกิดน้ำแข็ง (Icing Inhibitor) และสารปรับปรุงความเสถียรต่อความร้อน (Thermal Stability Improver) ก็จะทำให้ได้น้ำมันเชื้อเพลิงจากสาหร่าย ที่มีคุณสมบัติใช้สำหรับเครื่องยนต์ได้เกือบทุกประเภท ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า ผลของงานพัฒนา และวิจัยน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากสาหร่ายของประเทศไทย แม้ดำเนินการเพื่อผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงทดแทนในช่วงเริ่มต้น แต่ขีดความสามารถที่จะผลิตในเชิงพาณิชย์ในอนาคตได้เช่นกัน โดยสามารถสรุปตามชนิดของเทคโนโลยีที่ใช้ในการสังเคราะห์ได้

2.2.10 การผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากสาหร่าย

เป็นการวิจัยเพื่อผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่ายน้ำเค็ม ซึ่งเป็นทางออกของการหาแหล่งพลังงานใหม่ที่ไม่ใช่พืชน้ำมันที่เป็นอาหาร เนื่องจากสาหร่ายโดยธรรมชาติแล้ว มีเป็นจำนวนมาก เพราะเติบโตเร็ว มีการเกิดในหลายสภาวะ ทั้งน้ำจืด น้ำเค็ม และน้ำกร่อยในภาคอีสาน โดยเป็นผลงานของ ผศ.วดี แก้วกันเนตร (2552) อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น คือ สาหร่ายจะถูกนำมาเพาะเลี้ยงในระบบปิดแบบโฟโตรีแอคเตอร์ (Photo Reactor) เปรียบเทียบ และควบคุมการเติบโต โดยเป็นสาหร่ายขนาดเล็ก และสาหร่ายน้ำเค็มที่เกิดขึ้นได้ในแถบภาคอีสานที่น้ำมีความเค็ม เป็นการใช้เทคโนโลยีทางชีวภาพควบคุมปริมาณแสง ปริมาณของไนโตรเจน และที่สำคัญคือ การใช้คาร์บอนไดออกไซด์มาเป็นอาหารกระตุ้น ให้สาหร่ายเกิดการสะสมน้ำมันในปริมาณที่มากพอจะสกัดเพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งผลการวิจัยพบว่า สาหร่ายที่ผ่านกระบวนการเพาะเลี้ยงดังกล่าว เมื่อเป็นเซลล์แห้งจะมีปริมาณน้ำมันถึงร้อยละ 40 ของน้ำหนักสาหร่าย ขณะที่สาหร่ายสีเขียวตามธรรมชาติ ในปริมาณเท่ากันจะได้น้ำมันเพียงร้อยละ 10 เท่านั้น แสดงให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างของสาหร่ายจากการเพาะเลี้ยง นอกจากนั้นการใช้คาร์บอนไดออกไซด์จากแหล่งธรรมชาติที่เป็นของเหลือใช้ เช่น น้ำเสีย กากน้ำตาล หรือการนำคาร์บอนไดออกไซด์โดยตรงมาทำการผลิตเป็นการนำสิ่งเหลือใช้มาเป็นประโยชน์ ในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย เป็นการลดภาวะโลกร้อนได้อีกทางหนึ่ง

ผลการวิจัยดังกล่าว เป็นการนำน้ำมันจากสาหร่ายมาผลิตเป็นไบโอดีเซล ซึ่งเป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาของไตรกลีเซอไรด์ ในน้ำมันจากสาหร่ายกับเมทานอล หรือเอทานอล ส่วนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากสาหร่ายนั้น จะใช้เทคนิคการทำปฏิกิริยากับก๊าซไฮโดรเจน ทำให้เกิดเชื้อเพลิงเหลว

สำหรับ (Hydrotreated Renewable Jet Fuel; HRJ Fuel) ซึ่งน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากน้ำมันสาหร่าย ด้วยเทคโนโลยี HRJ นี้ ยังไม่มีการทำงานวิจัยในเรื่องนี้ในประเทศไทย แต่จากการศึกษาข้อกำหนดเฉพาะพัสดุของน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์ HRJ-8 ซึ่งในกองทัพอากาศสหรัฐอเมริกา นำมาใช้งานเช่นเดียวกับน้ำมันเชื้อเพลิง JP-8 พบว่า องค์ประกอบหลักของน้ำมันเชื้อเพลิง HRJ-8 เป็นผลผลิตจากไตรกลีเซอไรด์ที่อยู่ในน้ำมันพืช ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจน จึงมีความเป็นไปได้ในการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงสังเคราะห์จากน้ำมันสาหร่าย รวมถึงน้ำมันจากพืชชนิดอื่นๆ ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 คุณลักษณะเฉพาะของน้ำมันเชื้อเพลิง HRJ-8

คุณสมบัติ		HRJ	วิธี ASTM Test Method
1) องค์ประกอบ			
1.1) สภาพกรด (Total mg KOH/g)	สูงสุด	0.015	D3242
2) ความผันผวน			
2.1) การกลั่น			D86 ¹ หรือ D2887 ²
2.2) อุณหภูมิการกลั่น (องศาเซลเซียส)			
(1) อุณหภูมิ T10 คืบมา 10%	สูงสุด	205	
(2) อุณหภูมิ T50 คืบมา 50%		รายงาน	
(3) อุณหภูมิ T90 คืบมา 90%		รายงาน	
(4) อุณหภูมิ ณ จุดเดือดสุดท้าย	สูงสุด	300	
(5) อุณหภูมิ T90-T10	ต่ำสุด	22	
2.3) สารเหลือค้างจากการกลั่น (%)	สูงสุด	1.5	
2.4) การสูญเสียจากการกลั่น (%)	สูงสุด	1.5	
2.5) จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส) ³	ต่ำสุด	38	D93, D56 หรือ D3828
2.6) จุดวาบไฟ (องศาเซลเซียส) ³	สูงสุด	68	D93, D56 หรือ D3828
2.7) ความหนาแน่น ที่ 15 องศาเซลเซียส (Kg/m ³)	ต่ำสุด	751	D1298 หรือ D4052
2.8) ความหนาแน่น ที่ 15 องศาเซลเซียส (Kg/m ³)	สูงสุด	840	D1298 หรือ D4052

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติเฉพาะของน้ำมันเชื้อเพลิง HRJ-8 (ต่อ)

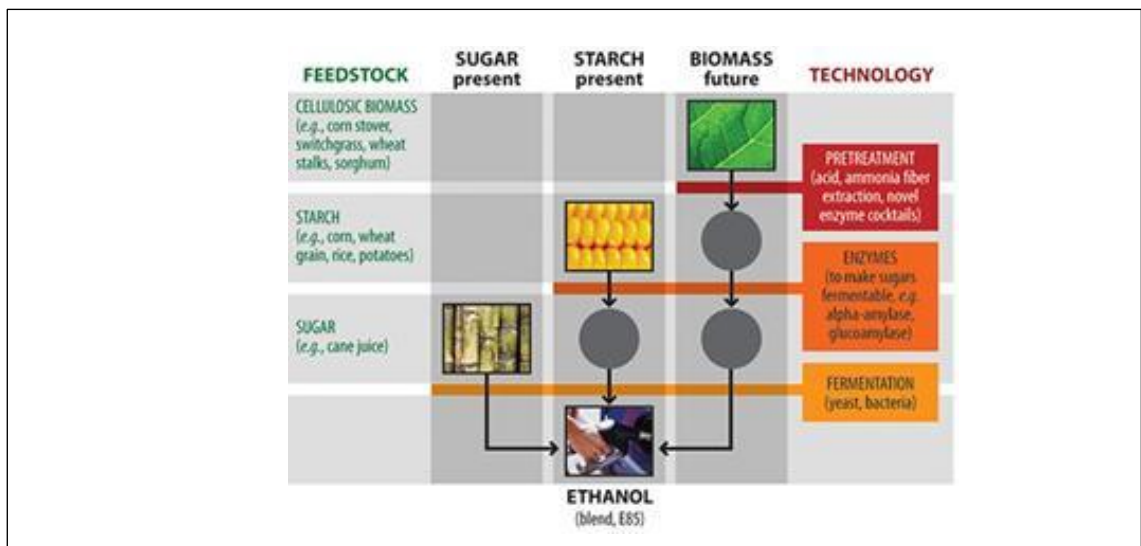
คุณสมบัติ		HRJ	วิธี ASTM Test Method
2.9) จุดเยือกแข็ง (องศาเซลเซียส)	สูงสุด	-47	D5972, D7153, D7154 หรือ D2386
2.10) ความหนืด ที่ -20 องศาเซลเซียส (mm^2/s)	สูงสุด	8.0	D445
2.11) ความหนืด ที่ +40 องศาเซลเซียส (mm^2/s)		รายงาน	D445
2.12) ความร้อนสุทธิของการเผาไหม้ (MJ/kg)	ต่ำสุด	42.8	D4809
2.13) เลขซีเทน (Cetane Number)	ต่ำสุด	40	D6890 หรือ D613
2.14) JFTOT (2.5 h ที่อุณหภูมิควบคุม) ⁴			D3241
(1) อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ต่ำสุด	280	
(2) การตกของความดันตัวกรอง (mm Hg)	สูงสุด	25	
- ตะกอนในท่อน้อยกว่า		3	
3) สารเพิ่มประสิทธิภาพ			
3.1) สารต้านอนุมูลอิสระ สารออกฤทธิ์ (mg/L) ⁵	ต่ำสุด	17	
	สูงสุด	24	



รูปที่ 2.15 แสดงการเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กของมหาวิทยาลัยขอนแก่น

2.2.11 การสังเคราะห์จากกระบวนการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic)

โดยการหมักพืชเส้นใย และพืชให้น้ำตาลโดยใช้จุลินทรีย์ แล้วผ่านกระบวนการอื่นๆ เพื่อสังเคราะห์เป็นเชื้อเพลิง (Cellulosic Biomass) ซึ่งอยู่ในรูปแอลกอฮอล์ งานวิจัยของประเทศไทยที่ได้มีการดำเนินการไปแล้ว ยังคงเป็นการผลิตเอทานอล เพื่อใช้น้ำมันเชื้อเพลิงภาคพื้นในรูปของก๊าซโซฮอล์ โดยการวิจัยในปัจจุบัน มีทิศทางการศึกษาในการหาวัตถุดิบที่เหมาะสมในการผลิตเชิงพาณิชย์ มากกว่าศึกษาประเภทของเครื่องยนต์ ที่นำมาใช้งานกับเชื้อเพลิงสังเคราะห์ที่เกิดขึ้น เช่น โครงการวิจัยของ ปตท. ในการผลิตเอทานอลจากเอนไซม์ เรียกว่า เซลลูโลสเอทานอล รวมทั้งบริษัทเอกชน คือ บริษัท ไทยรุ่งเรืองพลังงาน จำกัด ที่ผลิตเอทานอลจากกระบวนการเดียวกัน โดยใช้การหมักวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรอย่างชานอ้อย เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 แสดงการสังเคราะห์เชื้อเพลิงจากกระบวนการสันดาป
โดยการหมักพืชเส้นใยและพืชให้น้ำตาล

2.2.12 ข้อดีของน้ำมันสาหร่ายเป็นวัตถุดิบ

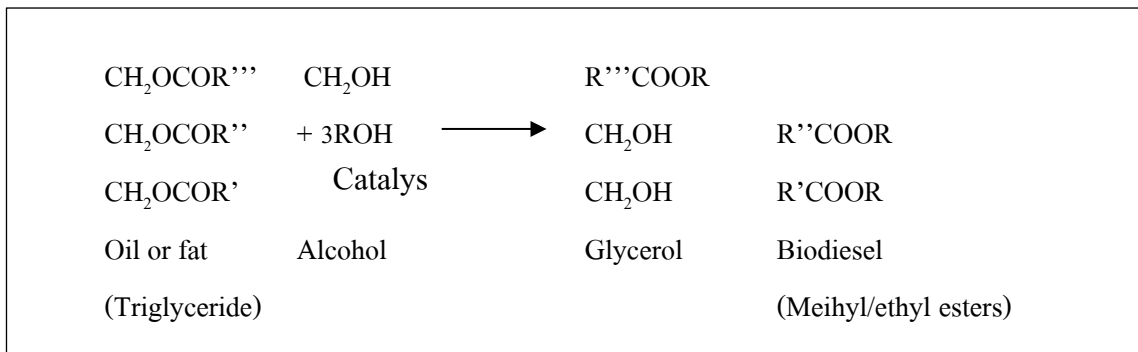
อัตราการผลิตวัตถุดิบในปัจจุบัน เช่น ถั่วเหลือง จะให้ผลผลิตอยู่ในช่วง 200-400 แกลลอนต่อเอเคอร์ต่อปี สำหรับน้ำมันปาล์ม ดีกว่าเล็กน้อย คือ 400-700 แกลลอนต่อเอเคอร์ต่อปี แต่อัตราการผลิตเหล่านี้ยังห่างไกลจากอัตราการผลิตต่อไร่ของสาหร่าย ซึ่งขณะนี้ให้สูงถึง 50,000 แกลลอนน้ำมันต่อเอเคอร์ต่อปี จากระบบบ่อเปิด โดยเฉพาะการพัฒนาล่าสุดในระบบการผลิตสาหร่ายน้ำมัน โดยใช้สายพันธุ์สาหร่ายดัดแปลงพันธุกรรม ระบุว่าอัตราการผลิตที่มีการปิดเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพภาพ จะเกิน 100,000 แกลลอนน้ำมันสาหร่ายต่อเอเคอร์ต่อปี และปัจจัยอื่นๆ เช่น ความต้องการใช้ไบโอดีเซล

ในส่วนอื่นๆ ที่ไม่ใช่ยานยนต์ เช่นภายในบ้านพักอาศัย การผลิตไฟฟ้าสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม และอื่นๆ อีกมาก ได้นำไปสู่การตัดสินใจที่จะดำเนินการผลิตน้ำมันสาหร่าย ที่จะเป็นวัตถุดิบที่ดีที่สุด การเจริญเติบโตของสาหร่ายน้ำมัน ขึ้นอยู่กับการเลือกสายพันธุ์เฉพาะของสาหร่ายน้ำมัน ที่จะใช้เป็น วัตถุดิบตั้งต้น ในกระบวนการของการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซล รวมทั้งขั้นตอนการผลิตยังสร้าง ก๊าซพิษน้อย หรือไม่มีการก่อให้เกิดมลพิษในอากาศรอบโรงกลั่นอีกด้วย

2.2.13 ไบโอดีเซลจากน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก (Biodiesel from Microalgal Oil)

สาหร่ายขนาดเล็กที่ใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้น ในการผลิตพลังงานทดแทนนั้น มีข้อได้เปรียบของการเพาะเลี้ยง คือ ต้องการพื้นที่น้อย เจริญเร็ว และไม่ขึ้นกับฤดูกาล นอกจากนั้นยังสามารถเพาะเลี้ยง ด้วยอาหารแบบง่ายๆ ในระดับการผลิตขนาดใหญ่ได้ (Woft, et al., 1985; Sawayarma, et al., 1995) การใช้สาหร่ายขนาดเล็กเป็นพลังงานทดแทน ทำได้โดยการนำไขมัน หรือน้ำมันในเซลล์มาผลิต ไบโอดีเซล โดยผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification) หรือการใช้เซลล์สาหร่าย ขนาดเล็ก ผสมโดยตรงกับน้ำมันดีเซล หรือไบโอดีเซล (Sheehan, et al., 1998; Illman, et al., 2000; Scragg, et al., 2003)

เชื้อเพลิงที่ผลิตได้นี้ ใช้ผ่านกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน โดยการเติมแอลกอฮอล์ เช่น เมทานอล หรือเอทานอล และมีกรด หรือด่าง หรือเอนไซม์ไลเปส เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เพื่อเปลี่ยนไขมันให้เป็น ไบโอดีเซล ในภาพเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมัน (Fatty Acid Methyl Ester; FAME) หรือเอทิลเอสเทอร์ ของกรดไขมัน (Fatty Acid Ethyl Ester; FAEE) ขึ้นอยู่กับประเภทของแอลกอฮอล์ที่ใช้ และมีกลีเซอรอล เป็นผลพลอยได้ (Antolin, et al., 2002) ปัจจุบันการผลิตไบโอดีเซลในทางอุตสาหกรรมนั้น ผลิตมาจาก น้ำมันพืชเป็นส่วนใหญ่ ส่วนการผลิตเมทิลเอสเทอร์จากน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก ที่ผ่านมานั้นนำไปใช้ ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมยา และเครื่องสำอาง (Belarbi, et al., 2000) ซึ่งเทคโนโลยีของสาหร่าย ที่ผลิต และสกัดน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก กระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน เพื่อการผลิตไบโอดีเซล แสดงในรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 แสดงกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification)
 เพื่อการผลิตน้ำมันจากสาหร่ายขนาดเล็ก
 ที่มา : Fukuda, et al. (2001)

2.2.14 ศักยภาพของสาหร่ายขนาดเล็กต่อการผลิตไบโอดีเซล

น้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก ซึ่งมีข้อได้เปรียบในเรื่องของพื้นที่ในการเพาะเลี้ยง จากข้อมูลการวิจัย พบว่า ถ้าต้องการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก ให้ใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง ในปัจจุบันนั้น ต้องการพื้นที่ในการเลี้ยงสาหร่ายเพียงร้อยละ 1-3 ของพื้นที่ทั้งหมดที่ใช้ในการปลูกพืชน้ำมัน สาหร่ายขนาดเล็กบางชนิด มีการสะสมน้ำมันในเซลล์สูงถึงร้อยละ 80 ของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 2.6) โดยน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก มีคุณสมบัติคล้ายน้ำมันพืช คือ มีส่วนประกอบเป็นไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งมีจำนวนคาร์บอนอยู่ระหว่าง 12-22 อะตอมต่อโมเลกุลสาหร่ายขนาดเล็ก ที่มีรายงานการศึกษาวิจัย เพื่อการผลิตน้ำมัน เช่น *Neochloris Oleoabundans*, *Scenedesmus Dimorphus*, *Euglena Gracilis*, *Phaeodactylum Tricornutum*, *Isochrysis Galbana*, *Botryococcus Bniunii*, *Dunaliella Tertiolecta*, *Spirulina Sp.* *Chlorella Vulgalis*, *Chlorella Protothecoides* และสาหร่ายกลุ่มไดอะตอม (ตารางที่ 2.7)

ตารางที่ 2.6 เปรียบเทียบแหล่งของไบโอดีเซล

แหล่งของน้ำมัน	ผลผลิตน้ำมัน (ลิตร/ไร่)	พื้นที่ที่ต้องการ (ล้านไร่)	ร้อยละของพื้นที่การเพาะปลูก
ข้าวโพด	172	1540	846
มันสำปะหลัง	1190	223	122
ปาล์มน้ำมัน	45	24	
สาหร่ายขนาดเล็ก	58,700	4.5	2.5

ตารางที่ 2.7 ปริมาณน้ำมันของสาหร่ายขนาดเล็กบางชนิด

สาหร่ายขนาดเล็ก	ปริมาณน้ำมัน (% ของน้ำหนักแห้ง)	สาหร่ายขนาดเล็ก	ปริมาณน้ำมัน (% ของน้ำหนักแห้ง)
Botryococcus Braunii	25-75	Nannochloropsis Sp.	31-68
Chlorella Sp.	28-32	Neochloris Oleoabundans	35-54
Cryptocodinium Cohnii	20	Nitzschia Sp.	45-47
Cylindrotheca Sp.	16-37	Phaeodactylum Tricomutum	20-30
Dunaliella Primolecta	23	Schizochytrium Sp.	50-77
Isochrysis Sp.	25-33	Tetraselmis Sueica	15-23

ที่มา : Chisti (2007)

ตารางที่ 2.8 ชนิดของกรดไขมันที่พบในสาหร่ายขนาดเล็กบางสายพันธุ์ เมื่อเลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีปริมาณไนโตรเจนเพียงพอ และขาดไนโตรเจน

สายพันธุ์สาหร่าย	อาหารที่มีไนโตรเจนเพียงพอ	อาหารที่มีการจำกัด ปริมาณไนโตรเจน
Ankistrodesmus Sp.	16:0,16:4,18:1,18:3	16:0,18:1,18:3
Botryococcus Braunii	16:0, 18:1, 18:2, 18:3	16:0, 18:1, 18:3, 20:5
Dunaliella Salina	14:0/14:1, 16:0, 16:3, 16:4, 18:2, 18:3	16:0, 16:3, 18:1, 18:2, 18:3
Isochrysis Sp.	14:0/14:1, 16:0, 16:1, 18:1, 18:3, 18:4, 22:6	14:0/14:1, 18:1, 18:2, 18:3, 18:4, 22:6
Nannochloris Sp.	14:0/14:1, 16:0, 16:1, 16:2, 16:3, 20:5	Not determined

ที่มา : Chelf (1990)

2.2.15 การผลิตเซลล์สาหร่ายขนาดเล็ก

การผลิตเซลล์สาหร่ายขนาดเล็ก เพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซล สามารถผลิตได้ 2 แบบ คือ การเลี้ยงสาหร่ายแบบใช้แสง (Photoautotrophic Cultivation) และการเลี้ยงแบบไม่มีแสง โดยใช้อินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งคาร์บอน หรือการเลี้ยงแบบเฮเทโรโทรฟิก (Heterotrophic Cultivation)

1. การเลี้ยงสาหร่ายแบบใช้แสง

การเจริญของสาหร่ายขนาดเล็กแบบนี้ ต้องการแสง คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และเกลืออนินทรีย์ อุณหภูมิในการเพาะเลี้ยง ควรอยู่ประมาณ 20-30 องศาเซลเซียส การผลิตเซลล์สาหร่ายขนาดเล็กในระดับใหญ่โดยทั่วไป เป็นการเลี้ยงแบบต่อเนื่อง (Continuous Cultivation) โดยในช่วงกลางวันที่มีแสงแดด จะมีการให้คาร์บอนไดออกไซด์ และมีเติมอาหารเลี้ยงเชื้ออย่างต่อเนื่องด้วยอัตราคงที่ และมีการนำอาหารเลี้ยงเชื้อ รวมทั้งเซลล์สาหร่ายบางส่วนออกไปด้วยอัตราที่เท่ากัน การเติมอาหารจะหยุดในช่วงกลางคืน แต่ยังคงมีการกวนผสมผสานตลอดเวลา เพื่อป้องกันการตกตะกอนของเซลล์ (Molina, et al., 1999) การใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยมาจากโรงงานอุตสาหกรรม เป็นการลดต้นทุนในการเลี้ยงสาหร่าย และยังลดการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศได้อีกทางหนึ่ง (Sawayama, et al., 1995; Yun, et al., 1997) เทคนิคที่นิยมใช้ในการเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กในระดับใหญ่ คือ การเลี้ยงในระบบบ่อเปิดแบบรางคู่ (Raceway Pond) และในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแสง (Photobioreactor) (Tery and Raymond, 1985; Molina, et al., 1999)

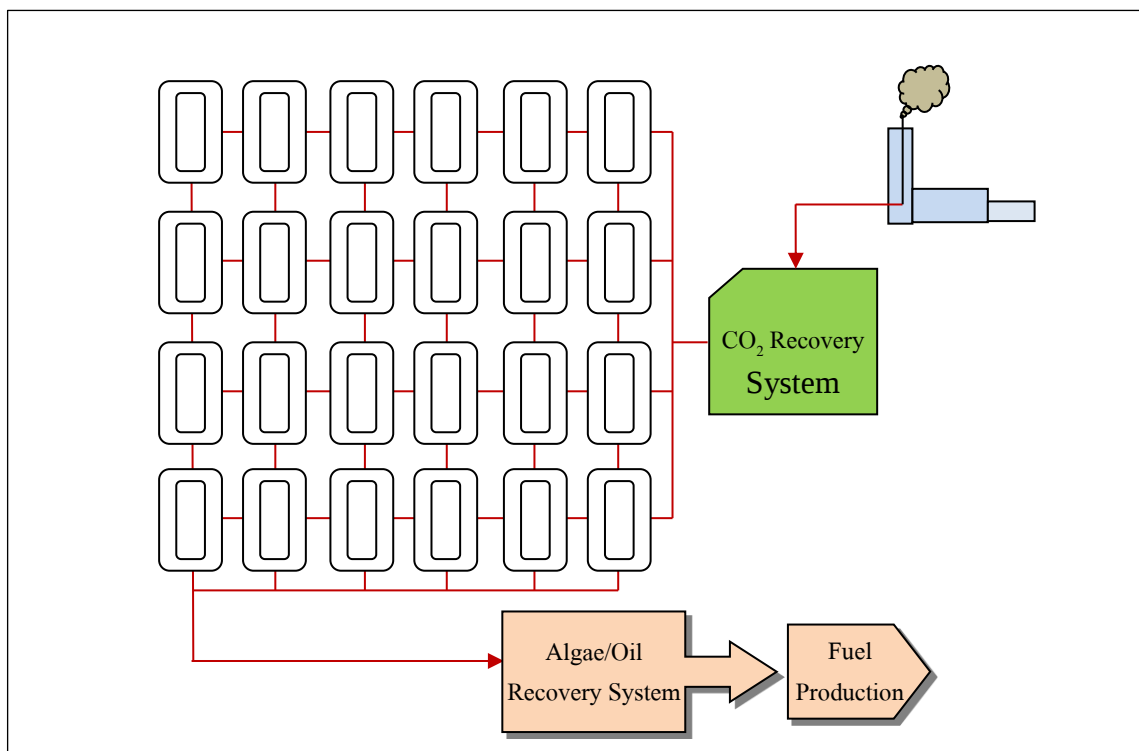
2. ระบบเลี้ยงสาหร่าย

มีอยู่ 2 แบบใหญ่ คือ บ่อเปิด (Open Pond) และระบบปิด ที่เรียกว่า Photo Bioreactor ระบบทั้งสองมีข้อดีข้อด้อย โดยที่ระบบบ่อเปิดนั้น ราคาก่อสร้าง และการเลี้ยงถูกกว่า แต่จากปัญหาการกวนที่ไม่มีประสิทธิภาพ การกระจายของแสงไม่ทั่วถึง มีการสูญเสียคาร์บอนไดออกไซด์ ทำให้ได้ความเข้มข้นของเซลล์ต่ำ ประมาณ 0.1-0.2 กรัมต่อลิตร ในขณะที่ระบบปิด ให้ความเข้มข้นเซลล์สูงถึง 2-8 กรัมต่อลิตร ในระบบเปิดมักเกิดการปนเปื้อนของจุลินทรีย์อื่น ในระบบปิดจะเกิดการเจริญของสาหร่ายที่ผนัง Reactor (Wall Growth) นอกจากนั้น ในระบบ Photo Bioreactor อาจมีปัญหาเรื่องการขยายขนาดจากการที่การเลี้ยงสาหร่าย เพื่อผลิตน้ำมันยังมีราคาแพง เพื่อให้เกิดความคุ้มค่ามากขึ้น จึงมีแนวคิดที่จะนำผลิตภัณฑ์จากสาหร่ายมาใช้ จากการที่สาหร่ายประกอบด้วย ลิปิด คาร์โบไฮเดรต และโปรตีน ดังนั้น ลิปิดถูกแยกออกไปเป็นไบโอดีเซล ส่วนของคาร์โบไฮเดรตนำไปใช้ในการผลิตเอทานอล และโปรตีนไปเป็นอาหารสัตว์ ในสหรัฐอเมริกา มีการลงทุนวิจัยพัฒนาการผลิตน้ำมันจากสาหร่ายมาก

ทั้งจากภาครัฐ และเอกชน ตัวอย่างเช่น บริษัท Sapphire Energy, Inc. บริษัท Solazyme, Inc. และความร่วมมือระหว่างบริษัท Exxon Mobil กับ Synthetic Genomics, Inc. เป็นต้น

3. ระบบบ่อเขตแบบรางคู่

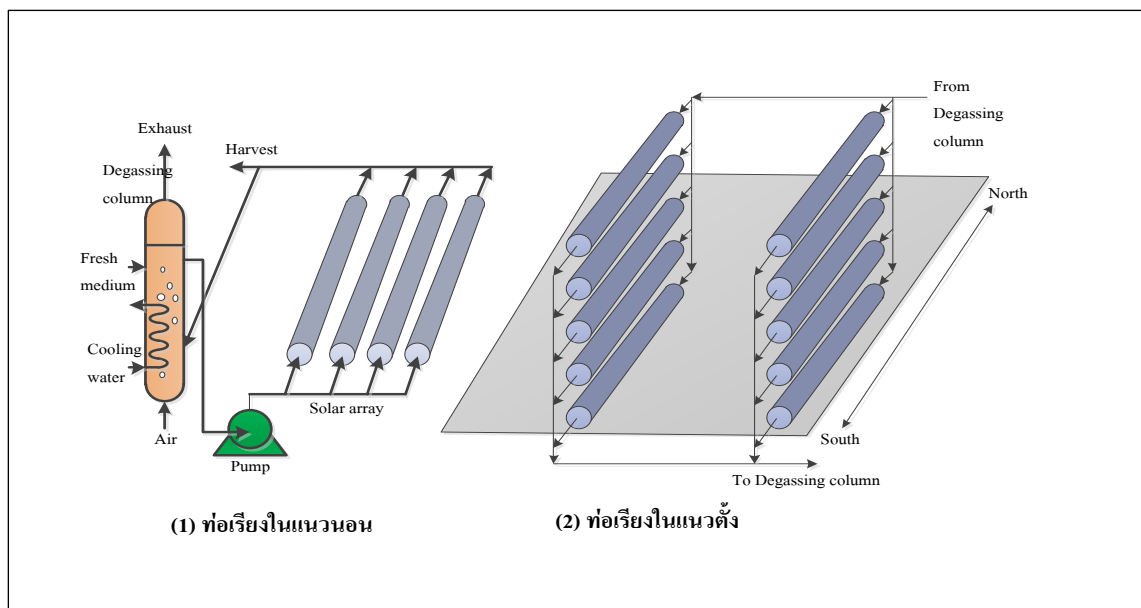
ระบบบ่อเปิดแบบรางคู่ เป็นระบบบ่อที่มีการไหลเวียนของอาหารเลี้ยงเชื้อ และเซลล์สาหร่ายตลอดเวลา โดยปกติบ่อซึ่งอาจทำจากคอนกรีต หรือดินอัดแน่นจะมีความลึกประมาณ 0.3 เมตร (รูปที่ 2.18) การไหลเวียนทำโดยใช้ใบพัด และมีแผ่นกั้น เพื่อให้เกิดการผสมผสานที่ดี การเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กในบ่อเปิดแบบรางคู่ เริ่มดำเนินงานตั้งแต่ ค.ศ. 1950 ดังนั้น จึงเป็นวิธีที่มีข้อมูลความพร้อมทั้งทางเทคนิคการสร้างบ่อ และการดำเนินการเพาะเลี้ยง ส่วนปัญหาที่พบคือ ประสิทธิภาพการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ของสาหร่าย และการผสมผสานในบ่อค่อนข้างต่ำ รวมทั้งการระบายความร้อนออกจากระบบเกิดขึ้นจากการระเหยเท่านั้น นอกจากนี้ยังมีความเสี่ยงสูงต่อการปนเปื้อน จากสาหร่ายและจุลินทรีย์ชนิดอื่นๆ ส่วนข้อดี คือ ราคาต่ำกว่าสร้างบ่อ และค่าการดำเนินการไม่สูง ตัวอย่างการเลี้ยงสาหร่ายด้วยระบบนี้ เช่น การผลิตเซลล์ของสาหร่ายกลุ่มไซยาโนแบคทีเรีย ในบ่อขนาดใหญ่ประมาณ 440,000 ตารางเมตร ของบริษัท Earthrise Nutritionals (Spolaore, et al., 2006; Chisti, 2007)



รูปที่ 2.18 แสดงการเพาะเลี้ยงสาหร่ายในบ่อเปิดแบบรางคู่
ที่มา : Sheehan, et al. (1998)

2.2.16 การผลิตโดยใช้เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแสง

เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแสง ประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี ในการผลิตเซลล์สาหร่ายขนาดเล็กให้ได้ปริมาณสูง (Molina, et al., 1999; Carvalho, et al., 2006) ตัวอย่างเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแสง เช่น เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแสงชนิดท่อ (Tubular Photobioreactor) ประกอบด้วย ท่อใส โดยอาจทำจากพลาสติกใส หรือแก้ว ซึ่งสามารถให้แสงแดดส่องผ่านได้อย่างทั่วถึง (รูปที่ 2.18) โดยปกติท่อจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10 เซนติเมตร หรือเล็กกว่า ปกติท่อจะเรียงขนานกันในแนวนอน แต่ก็มีการออกแบบให้ท่อวางซ้อนกันในแนวตั้ง ซึ่งสามารถเพิ่มจำนวนท่อได้มากขึ้น การตกตะกอนของเซลล์สาหร่ายในท่อ ป้องกันได้โดยต้องมีการไหลเวียนของน้ำหมักด้วยความเร็วสูง ซึ่งทำได้โดยใช้ปั๊มแรงกลทั่วไป หรือใช้ระบบปั๊มแบบอากาศยก (Airlift Pump) การใช้ปั๊มแรงกลเป็นสาเหตุหนึ่ง ที่ทำความเสียหายให้กับเซลล์ แต่ระบบง่ายต่อการออกแบบ การดำเนินงาน และการติดตั้ง (Gracia, et al., 2001; Mazzuca, et al., 2006) ส่วนระบบปั๊มแบบอากาศยก ให้ผลในการผสมผสานดี และมีผลในการทำลายเซลล์ต่ำ การออกแบบระบบก็ใช้หลักการเช่นเดียวกันกับการออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบอากาศยกทั่วไป (Chisti and Moo-Young, 1993; 1994) การระบายความร้อนในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแสงชนิดท่อ อาจเป็นระบบท่อน้ำหล่อเย็น หรือการพ่นน้ำเย็นผ่านท่อ นอกจากนั้นเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแสงชนิดท่อขนาดใหญ่ สามารถควบคุมอุณหภูมิของระบบได้ โดยการติดตั้งในโรงแบบควบคุมอุณหภูมิ แต่ราคาค่าดำเนินการสูง ซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลสูงตามไปด้วย (Pulz, 2001)



รูปที่ 2.19 แสดงเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแสงชนิดท่อ

ที่มา : Chisti (2007)

การเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก ด้วยเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแสง ให้ผลผลิตมากกว่าการเลี้ยงสาหร่ายแบบระบบบ่อเปิดแบบรางคู่ ถึง 13 เท่า อย่างไรก็ตาม การเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กด้วยเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแสง ก็ยังคงมีต้นทุนที่สูงกว่าการเลี้ยงสาหร่ายแบบระบบบ่อเปิดแบบรางคู่ จึงจำเป็นที่จะต้องพัฒนาระบบการเลี้ยงให้เหมาะสม เพื่อใช้หาวิธีที่ดีที่สุดในการผลิตเซลล์สาหร่าย เพื่อการค้าในอนาคต (Molina, 1999; Pulz, 2001; Lorenz and Cysewski, 2003; Spolaore, et al., 2006)

ตารางที่ 2.9 เปรียบเทียบการเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแสง และบ่อเปิดแบบรางคู่

ค่าต่างๆ	เครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ แบบแสง	ระบบบ่อเปิด แบบรางคู่
กำลังการผลิตปริมาณเซลล์ต่อปี (kg)	100,000	100,000
ผลผลิตต่อปริมาตร ($\text{kg m}^{-3} \text{ d}^{-1}$)	1.535	0.117
ผลผลิตต่อพื้นที่ ($\text{kg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)	0.072	0.035
ปริมาณของเซลล์สาหร่ายในนาหมัก (kg m^{-3})	4.00	0.14
อัตราการเจือจาง (d^{-1})	0.384	0.250
พื้นที่ที่ต้องการ (m^2)	5681	7828
ผลผลิตน้ำมัน ($\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$)	136.7 ^a	99.4 ^a
	58.7 ^b	42.6 ^b
ปริมาณการใช้คาร์บอนไดออกไซด์ต่อปี (kg)	183,333	183,333

หมายเหตุ

- 1) ^a ปริมาณน้ำมันที่ได้ เท่ากับร้อยละ 70 ของน้ำหนักแห้ง
- 2) ^b ปริมาณน้ำมันที่ได้ เท่ากับร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้ง

ที่มา : Chisti (2007)

2.2.17 การผลิตเซลล์สาหร่ายแบบเฮเทโรโทรฟิก

สาหร่ายขนาดเล็กบางสายพันธุ์ สามารถเจริญได้ทั้งภายใต้การสังเคราะห์แสง และภายใต้สภาวะที่ไม่มีแสง โดยการใช้อินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งคาร์บอน และแหล่งพลังงาน ที่เรียกว่าการเจริญแบบเฮเทโรโทรฟิก เช่น สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก (*Chlorella Protothecoides*) ใช้น้ำตาลกลูโคสเป็นแหล่งคาร์บอน เมื่อเจริญภายใต้สภาวะไม่มีแสง ให้ผลผลิตน้ำมันสูงกว่าการเจริญภายใต้สภาวะการสังเคราะห์แสงถึง 4 เท่า สิ่งที่น่าจะเป็นอุปสรรค ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายภายใต้แบบไม่มีแสง คือ ราคา และแหล่งของอินทรีย์คาร์บอน แต่ปัจจุบันจะเห็นว่า มีแหล่งอินทรีย์คาร์บอนราคาถูกหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายได้ เช่น น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรต่างๆ เป็นต้น (Miao, X., and Wu, Q., 2004)

2.2.18 การยอมรับไบโอดีเซลจากน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก

เพื่อการยอมรับไบโอดีเซลจากน้ำมันสาหร่ายของผู้บริโภค ไบโอดีเซลจากน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็กจะต้องมีมาตรฐานเดียวกับไบโอดีเซลที่ผลิตจากแหล่งอื่นๆ ในสหรัฐอเมริกาได้กำหนดมาตรฐานไบโอดีเซลตาม The ASTM Biodiesel Standard D6751 ส่วนในสหภาพยุโรป มาตรฐานน้ำมันไบโอดีเซลแบ่งออกเป็น 2 มาตรฐาน ตามลักษณะการใช้ น้ำมัน คือ Standard EN 14214 เป็นมาตรฐานไบโอดีเซลเพื่อการใช้กับยานยนต์ และ Standard EN 14213 เป็นมาตรฐานไบโอดีเซล ที่ใช้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน (Knothe, 2006)

น้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก มีส่วนประกอบของกรดไขมันไม่อิ่มตัวอย่างยิ่งยวด (Polyunsaturated Fatty Acids) ซึ่งมีพันธะคู่ 4 คู่ หรือมากกว่า (Belarbi, et al., 2000) อาทิเช่น Eicosapentaenoic Acid (EPA, C20 : 5n-3) มีพันธะคู่ 5 พันธะ และ Docosahexaenoic Acid (DHA, C22 : 6n-3) มีพันธะคู่ 6 พันธะ กรดไขมัน และเมทิลเอสเทอร์ของกรดไขมันที่มีพันธะคู่ 4 คู่ หรือมากกว่า อาจเกิดการออกซิเดชันในระหว่างเก็บรักษา และเป็นสาเหตุหนึ่งที่จะลดการยอมรับไบโอดีเซลจากสาหร่ายขนาดเล็ก น้ำมันพืชบางชนิด ก็มีปัญหาดังเดียวกัน เช่น น้ำมันเมล็ดเรพ (Rape Seed หรือ Canola) มีส่วนประกอบของกรดไขมันลิโนเลอิก (Linoleic Acid, C18 : 2n-6) ซึ่งมีพันธะคู่ 2 พันธะ และกรดลิโนเลนิก (Linolenic Acid, C18 : 3j7-3) ซึ่งมีพันธะคู่ 3 พันธะ อย่างไรก็ตาม กรดไขมันทั้งสองชนิดนี้ มีความเสถียรต่อการออกซิเดชัน มากกว่ากรดไขมันชนิด DHA และ EPA

สหภาพยุโรปได้กำหนดค่าไอโอดีน (Iodine Value) ซึ่งเป็นค่าแสดงปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัว ในน้ำมัน ซึ่งต้องไม่เกิน 120 และ 130 กรัมไอโอดีน ต่อ 100 กรัมไบโอดีเซล สำหรับมาตรฐานไบโอดีเซลของ Standard EN 14214 และ EN 14213 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาองค์ประกอบของน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก ที่มีพันธะคู่มากกว่า 4 พันธะนั้น อาจมีปัญหาในการผลิตไบโอดีเซล ให้ได้ตามมาตรฐานไบโอดีเซล ของยุโรป แต่เหตุผลนี้ไม่ใช่ข้อจำกัดในการใช้น้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก เนื่องจากสามารถลดจำนวน พันธะคู่ลงได้ ด้วยการทำปฏิกิริยาไฮโดรเจนชั้นบางส่วน (Partial Catalytic Hydrogenation) ซึ่งเป็น เทคนิคเดียวกับการใช้ผลิตเนยเทียมจากน้ำมันพืช (Dijkstra, 2006)

2.2.19 เศรษฐศาสตร์การผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก

ราคาคำนวณรวมของการผลิตเซลล์สาหร่าย ประกอบด้วย การติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ค่าใช้จ่ายในระหว่าง การดำเนินการเพาะเลี้ยง และการเก็บเกี่ยวเซลล์สาหร่ายเพื่อสกัดน้ำมัน โดยทั่วไปการผลิตเซลล์สาหร่าย 1 กิโลกรัม มีราคาคำนวณโดยประมาณอยู่ที่ 2.95 และ 3.80 ดอลลาร์ในระบบบ่อเปิดแบบรางคู่ และ ในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าประมาณการที่ไม่รวมค่าใช้จ่าย ในกรณีที่ต้องซื้อ คาร์บอนไดออกไซด์ (Molina, and Belarbi, 2003) การผลิตเซลล์สาหร่ายปริมาณ 10,000 ต้นต่อปีนั้น ราคาคำนวณการผลิตจะลดลงเหลือเพียง 0.47 ดอลลาร์ และ 0.60 ดอลลาร์ต่อลิตร สำหรับระบบ บ่อเปิด แบบรางคู่ และในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแสง ตามลำดับ กรณีสาหร่ายขนาดเล็กมีปริมาณ น้ำมันสะสม ร้อยละ 30 ของน้ำหนักเซลล์ ราคาคำนวณการผลิตน้ำมันมีค่าโดยประมาณ 1.40 และ 1.81 ดอลลาร์ต่อลิตร สำหรับระบบบ่อเปิดแบบรางคู่ และในเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแสง ตามลำดับ ข้อมูลในปี พ.ศ. 2549 ต้นทุนรวมในการผลิตน้ำมันจากสาหร่ายขนาดเล็ก ที่เพาะเลี้ยงโดยเครื่อง ปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแสง มีค่าโดยประมาณ 2.80 ดอลลาร์ต่อลิตร ซึ่งจะเห็นว่าต้นทุนยังสูง เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตน้ำมันจากพืชน้ำมันอื่นๆ เช่น ต้นทุนการผลิตน้ำมันปาล์มดิบ จะอยู่ที่ 0.52 ดอลลาร์ต่อลิตร ในสหรัฐอเมริกาจะระหว่างปี พ.ศ. 2549 ราคาน้ำมันปิโตรเลียมดิบอยู่ที่ 0.49 ดอลลาร์ ต่อลิตร และเมื่อรวมภาษีการกลั่น และการขนส่งราคาจะอยู่ที่ 0.66-0.79 ดอลลาร์ต่อลิตร ส่วนไบโอดีเซล จากน้ำมันปาล์ม ราคาอยู่ที่ประมาณ 0.66 ดอลลาร์ต่อลิตร หรือสูงกว่า ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซล จากน้ำมันปาล์ม เพื่อแข่งขันการตลาดให้ได้ นั้น ราคาของน้ำมันปาล์มดิบต้องไม่เกิน 0.48 ดอลลาร์ต่อลิตร และเมื่อใช้หลักเกณฑ์เดียวกัน ในการประเมินราคาน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก เพื่อใช้ผลิตไบโอดีเซลนั้น ราคาต้องลดลงจาก 2.80 ดอลลาร์ต่อลิตรมาอยู่ที่ 0.48 ดอลลาร์ต่อลิตร หรือต่ำกว่า จึงจะสามารถ แข่งขันทางการตลาดกับน้ำมันดีเซลได้ (Chisti, 2007)

ต้นทุนการผลิตน้ำมันจากสาหร่าย

ประกอบด้วยต้นทุน 3 ส่วน คือ ที่ดินที่ใช้ก่อสร้างบ่อเลี้ยง (Land) เงินลงทุนก่อสร้าง (Capital) และ ค่าใช้จ่ายในการเลี้ยง (Operation) จากการรวบรวมข้อมูลจากเอกสารต่างๆ พบว่า น้ำมันจากสาหร่าย มีต้นทุนการผลิตอยู่ระหว่าง 10-32 เหรียญสหรัฐต่อแกลลอน ทั้งนี้ค่าใช้จ่ายในการผลิตขึ้นกับ ผลผลิตของสาหร่ายที่ผลผลิตต่ำ (10 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน 15% Triglyceride) ต้นทุนการผลิต ประมาณ 25 เหรียญสหรัฐต่อแกลลอน ถ้าผลผลิตเพิ่มขึ้นเป็น 25 และ 50 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน ต้นทุนการผลิตลดลงเหลือ 7-8 และ 3 เหรียญสหรัฐต่อแกลลอน ตามลำดับ (ในบ่อเปิด ผลผลิตอยู่ราว 10-15 กรัมต่อตารางเมตรต่อวัน) ปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตของสาหร่ายผลิตน้ำมัน ขึ้นอยู่กับชนิด ของสาหร่าย (Characteristics, Algal Biology and Physiology) สภาพที่ใช้เลี้ยง ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ความเข้มแสง ความต้องการสารอาหาร และวิธีการเพาะเลี้ยง เช่น บ่อเปิด (Raceway) หรือในระบบปิด (Photo Bioreactor) สาหร่ายที่มีความเหมาะสมในการนำมาผลิตน้ำมันเพื่อเป็น พลังงาน ควรมีอัตราการเจริญเติบโตสูง ให้ปริมาณน้ำมันสูง (น้ำมันเป็นองค์ประกอบหลักในเซลล์) ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่กว้าง และมีประสิทธิภาพการสังเคราะห์แสงสูง นอกจากนี้ควรให้ผลพลอย ได้ (By Products) ที่มีมูลค่าสูงด้วย

เพื่อให้ได้สายพันธุ์ที่มีปริมาณน้ำมันสูง ต้องศึกษา หรือมีความเข้าใจในชีววิทยาของสาหร่าย เช่น การคัดแยกสายพันธุ์จากธรรมชาติ (Novel Habitats and Ecosystems) มีวิธีการคัดกรอง (Screening) ที่รวดเร็ว เพื่อค้นหาว่าสายพันธุ์ใดมีปริมาณน้ำมันสูง รวมทั้งมีการเก็บรวบรวมสายพันธุ์สาหร่าย สปีชีส์เดียวกัน อาจมีความแตกต่างกันในแต่ละสายพันธุ์ (Strain) จึงต้องมีข้อมูลความแตกต่างในแต่ละ สายพันธุ์ หรือความหลากหลายของแต่ละพันธุ์ (Variety) เช่น ปริมาณน้ำมัน และสภาวะแวดล้อม ที่เหมาะสม

การศึกษาสรีรวิทยา (Physiology) ประกอบด้วย การศึกษาถึงวิธีการสังเคราะห์ลิปิด การศึกษาระดับยีนส์ และการควบคุมผลของสภาวะแวดล้อม ที่มีต่อการสร้าง และสะสมลิปิด องค์ประกอบของผนังเซลล์ (มีผลต่อการสกัด) และความสามารถในการสังเคราะห์แสง และจับคาร์บอนไดออกไซด์ และมีวิธีการ หลายวิธีในการปรับปรุงพันธุ์สาหร่าย ที่แยกได้จากธรรมชาติ เพื่อให้มีคุณสมบัติตามต้องการ เช่น การทำให้เกิดการกลายพันธุ์ (Mutation) โดยการใช้สารเคมี หรือแสงยูวี การใช้เทคนิคทางพันธุวิศวกรรม ในการเลี้ยงสาหร่ายทั้งในระบบบ่อเปิดหรือปิด มีพารามิเตอร์ที่ต้องควบคุม และติดตาม เพื่อให้ได้ ผลผลิตที่เต็มพิกัด (Optimum Productivity) ดังต่อไปนี้ ความหนาแน่นของเซลล์ ความเข้มแสง อัตรา การกวน และการปั่น (Turbulence) วงจรความมืดความสว่าง (Dark Light Cycle) และผลของ ออกซิเจนละลายน้ำ

2.2.20 การลดต้นทุนในการผลิตน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก

การลดต้นทุนการผลิตน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็ก สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การนำเทคนิคทางชีววิธีมาใช้ในกระบวนการแยกและสกัดน้ำมัน โดยจะมีกากเซลล์ ซึ่งประกอบด้วย ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และสารอาหารอื่นๆ เป็นผลพลอยได้ (Sanchez, et al., 2003) ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบสำหรับอาหารสัตว์ และบางส่วนนำไปใช้เป็นวัตถุดิบ เพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศ (Mata-Alvarez, et al., 2000; Raven and Gregersen, 2007) นอกจากนี้วิธีการลดต้นทุนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันสาหร่ายที่สำคัญคือ การปรับปรุงสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็ก ด้วยเทคนิคทางพันธุวิศวกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสง ความทนทานต่ออุณหภูมิสูง ซึ่งจะช่วยลดต้นทุนสำหรับระบบหล่อเย็น นอกจากนี้ยังรวมถึงการคัดเลือก และปรับปรุงสายพันธุ์สาหร่ายขนาดเล็ก ที่สามารถเจริญได้ดี และให้น้ำมันสูง เมื่อใช้แหล่งอินทรีย์คาร์บอนราคาถูก ในกรณีที่เพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะไร้แสง หรือแบบเฮเทโรโทรฟิก รวมทั้งการหาแหล่งอินทรีย์คาร์บอนราคาถูก เป็นต้น สุดท้ายเป็นการพัฒนาและออกแบบเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพแบบแสง เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุด (Roessler, et al., 1994; Dunahay, et al., 1996)

จากการนำเสนอที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ สรุปได้ว่า ในการนำน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็กมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อการผลิตเป็นไบโอดีเซลไม่ใช่เรื่องใหม่ แต่จากวิกฤตการณ์น้ำมัน รวมทั้งภาวะโลกร้อน ทำให้ผู้ที่มีหน้าที่โดยตรง มุ่งความสนใจมาที่สาหร่าย ซึ่งมีชีวิตขนาดเล็กๆ ที่ศักยภาพไม่เล็ก ดังนั้น คำว่าวิกฤติสร้างโอกาส สามารถใช้ได้เสมอไม่ว่าวันแม้แต่การศึกษาวิจัย เพื่อการนำน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็กมาใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตไบโอดีเซล และสิ่งที่สำคัญเร่งด่วนก็คือ ทำอย่างไรให้ราคาต้นทุนการผลิตน้ำมันสาหร่ายขนาดเล็กลดลง อยู่ในระดับที่สามารถแข่งขันทางการตลาดกับไบโอดีเซลจากพืชน้ำมันชนิดต่างๆ รวมถึงน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมได้ อีกทั้งยังต้องมีการรณรงค์ส่งเสริมแบบคู่ขนานระหว่างการแสวงหาแหล่งวัตถุดิบราคาถูก และการยอมรับน้ำมันไบโอดีเซลของผู้บริโภค

2.3 แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับความเป็นไปได้ ในการสร้างอุตสาหกรรม การผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพจากสาหร่ายน้ำมันในเชิงพาณิชย์

แนวคิดเกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงการ ความเป็นไปได้ในการสร้างอุตสาหกรรมการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ จากสาหร่ายน้ำมันในเชิงพาณิชย์ สามารถใช้เป็นเครื่องมือหนึ่ง ในการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่ จำกัด เพื่อให้เกิดประโยชน์ และประสิทธิภาพสูงสุด ดังนั้นการตัดสินใจเลือกทำโครงการ หรือ กิจกรรมใด ทำให้เกิดต้นทุนค่าเสียโอกาส เพื่อให้การตัดสินใจเลือกโครงการ หรือกิจกรรมเป็นไป อย่างมีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องมีหลักการวิเคราะห์โครงการ ประกอบการวิเคราะห์ผลได้ ผลเสีย (Cost-benefit Analysis)

2.3.1 การวิเคราะห์โครงการ (Project Analysis)

โครงการ หมายถึง กิจกรรม หรืองานที่เกี่ยวกับการใช้ทรัพยากร เพื่อหวังผลประโยชน์ตอบแทน กิจกรรม หรืองานดังกล่าวจะต้องเป็นหน่วยอิสระหน่วยหนึ่ง ที่สามารถทำการวิเคราะห์วางแผน และ นำไปปฏิบัติ โดยมีลักษณะชัดเจนถึงจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุด มีวัตถุประสงค์ และมีการแสดงให้เห็น ถึงแหล่งที่ตั้งของโครงการ ช่วงระยะเวลาของโครงการ การผลิต การลงทุน ผลตอบแทน การจัดรูปแบบองค์กร และการบริหารโครงการ เป็นต้น (ประสิทธิ์ ดงยิ่งศิริ, 2540) ดังนั้นการวิเคราะห์ โครงการ จะเป็นการวางแผนในการจัดสรรทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุด และเป็นการวางแผน การปฏิบัติอย่างเป็นระบบ หรือการประเมินผลของโครงการว่าก่อให้เกิดผลได้ หรือผลกระทบ อะไรบ้าง ผลของการวิเคราะห์โครงการ จะช่วยให้มีหลักฐาน และเหตุผลที่จำเป็นเพื่อการตัดสินใจว่า จะรับ หรือปฏิเสธ โครงการเพื่อการลงทุน (ชูชีพ พิพัฒน์ดิถี, 2538) ซึ่งขั้นตอนการตัดสินใจในการเลือก โครงการ หรือกิจกรรมเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ จึงจำเป็นต้องมีหลักการวิเคราะห์โครงการ ประกอบการตัดสินใจเลือก

การวิเคราะห์โครงการ สามารถใช้เป็นเครื่องมือหนึ่ง ในการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่จำกัด เพื่อให้เกิด ประโยชน์สูงสุด เนื่องจากการมีอยู่อย่างจำกัดของทรัพยากรที่มีอยู่ ผู้ดำเนินโครงการจึงต้องตัดสินใจ เลือกใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ ไปดำเนินกิจกรรม หรือโครงการที่มีการตอบสนองความต้องการของตนเอง และสังคมให้ได้มากที่สุด และทุกครั้งที่มีการเลือกใช้ทรัพยากร ย่อมเกิดต้นทุนค่าเสียโอกาสขึ้น ดังนั้น ก่อนทำการตัดสินใจเลือก จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการพิจารณาในทางเลือกต่างๆ อย่างรอบคอบ ดังนั้นในการประเมินโครงการต่างๆ จะต้องประเมินจากหลายด้าน ได้แก่ (เขาวเรศ ทับพันธุ์, 2541)

1) ด้านเทคนิค (Technical Aspects) ในการทำโครงการ ต้องมีการพิจารณาในส่วนของความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค หรือเทคโนโลยีในการผลิตว่าเป็นมีความเป็นไปได้หรือไม่ และมีข้อดี หรือข้อเสียอย่างไร นอกจากนี้การวิเคราะห์โครงการด้านเทคนิค ยังรวมถึงการวิเคราะห์องค์ประกอบในด้านเครื่องจักร วัตถุดิบ และบุคคล ซึ่งองค์ประกอบดังกล่าวนี้มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน ก่อให้เกิดแกนกลางรวม เรียกว่า การจัดการ การควบคุมในด้านปริมาณ คุณภาพ และขบวนการผลิต ตลอดจนการวางแผนในด้านการใช้เงินทุน วัตถุดิบ เป็นต้น การวิเคราะห์โครงการทางด้านเทคนิค มีจุดประสงค์เพื่อให้ผู้ทำการศึกษา ตลอดจนผู้อ่านรายงานการศึกษา รู้ถึงความเหมาะสมของการลงทุน และวางแผนทางปฏิบัติการให้เป็นไปอย่างมีระบบ และมีประสิทธิภาพ หลักการ และเทคนิคในการวิเคราะห์โครงการทางเทคนิค อาจจะปฏิบัติได้หลายวิธี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของการวิเคราะห์องค์ประกอบธุรกิจอุตสาหกรรม สิ่งที่ต้องพิจารณา ต้องรวบรวมองค์ความรู้ด้านเทคโนโลยีมาประมวลไว้ มีผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้พิจารณาว่าโครงการมีความเหมาะสมในการใช้เทคโนโลยีหรือไม่ และความเป็นไปได้ในการใช้เทคโนโลยีมากน้อยเพียงใด

2) ด้านการจัดการ (Managerial Aspects) เป็นการพิจารณาในด้านการจัดต่างๆ ในการทำโครงการ ตั้งแต่ยังมิได้ตัดสินใจทำโครงการ เพราะวิธีการจัดการที่แตกต่างกัน ย่อมส่งผลถึงต้นทุน และผลประโยชน์ของโครงการที่แตกต่างกัน ดังนั้นหากมิได้พิจารณาอย่างรอบคอบไว้ตั้งแต่แรก อาจทำให้เกิดปัญหาภายหลังขึ้นได้ และส่งผลให้โครงการที่คิดว่าจะประสบความสำเร็จ อาจกลับกลายเป็นโครงการที่ล้มเหลวภายหลังการทำโครงการ

3) ด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Aspects) เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลโดยทั่วไปทางด้านเศรษฐกิจ โดยจะศึกษาถึงสภาพทางภูมิศาสตร์ ลักษณะทางสังคม ลักษณะทางเศรษฐกิจประชากร และรายได้ ตลอดจนเงื่อนไขทางการค้า เช่น อัตราภาษีขาเข้า ภาษีขาออก อุปสรรค หรือข้อจำกัดในการดำเนินธุรกิจ กฎหมายพิเศษ และกฎหมายอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เป็นการพิจารณาโครงการด้านที่ภาคเอกชนส่วนใหญ่ไม่ค่อยให้ความสนใจ เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ที่ไม่สนใจกับกำไรที่เป็นตัวเงิน แต่โครงการภาครัฐหรือโครงการที่รัฐให้การสนับสนุนแก่ภาคเอกชน จะให้ความสำคัญในการวิเคราะห์ทางด้านนี้มาก เพื่อให้ทราบว่าทรัพยากรที่ใช้ในการทำโครงการ ก่อให้เกิดประโยชน์กับสังคมในด้านต่างๆ อย่างไร สามารถตอบสนองต่อความต้องการของประชาชนได้เพียงใด และเป็นการใช้ทรัพยากรที่มีจำกัดอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดต่อสังคมหรือไม่

4) ด้านสังคมและการเมือง (Social and Political Aspects) เป็นการพิจารณาลึกลงว่าผลประโยชน์ของโครงการนั้น ได้กระจายสู่สังคมในลักษณะใด และใครเป็นผู้ได้รับผลประโยชน์จากการดำเนินโครงการ และโครงการนั้นสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของส่วนรวม และ/หรือของรัฐบาลหรือไม่

5) ด้านการตลาด (Marketing Aspects) ในด้านนี้จะทำการวิเคราะห์อุปสงค์รวม และอุปทานรวมของผลิตภัณฑ์ โดยการวิเคราะห์อุปสงค์รวม เพื่อให้ทราบความเป็นไปได้ที่จะนำสินค้าเข้าสู่ตลาด

และความสามารถในการแข่งขันกับสินค้าคู่แข่ง การวิเคราะห์อุปทานรวม เพื่อให้ทราบปริมาณการผลิตสินค้าประเภทเดียวกันกับสินค้า ตามโครงการที่มีอยู่ในตลาดในเวลาปัจจุบัน และอนาคต

6) ด้านการเงิน (Financial Aspects) การพิจารณาความเป็นไปได้ทางการเงิน เป็นการวิเคราะห์เพื่อคาดคะเนรายรับของโครงการในอนาคต ซึ่งได้มาจากผลการวิเคราะห์ตลาด และนำมาเปรียบเทียบกับด้านรายจ่ายของโครงการ ซึ่งได้มาจากการวิเคราะห์ทางเทคนิค ทั้งนี้เพื่อพิจารณาฐานะการเงินของโครงการ และเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลต่างๆ เกี่ยวกับในด้านการเงิน และเพื่อหาคำตอบในด้านผลประโยชน์ที่ผู้ลงทุนจะได้รับ ตลอดจนเป็นเครื่องมือในการชักจูงนักลงทุนของภาคเอกชน คือ การพิจารณาปริมาณเงินลงทุน แหล่งที่มาของเงินทุน ระยะเวลาที่จะได้รับเงินลงทุน และผลตอบแทนที่จะได้รับจากการลงทุน

2.3.2 การประเมินโครงการตามแนวทางเศรษฐศาสตร์

เยาเวส พันพันธุ์ (2541) ชี้ว่า การประเมินโครงการทางด้านเศรษฐศาสตร์ (Economic Aspects) นั้น มีความแตกต่างจากการประเมินโครงการด้านการเงิน (Financial Aspects) เนื่องจากการประเมินที่ไม่ได้ให้ความสนใจกับกำไรที่เป็นตัวเงิน (Tangible Benefits) เพียงอย่างเดียว แต่เป็นการประเมินว่าทรัพยากรที่ใช้ไปในโครงการหนึ่งๆ นั้น จะก่อให้เกิดประโยชน์ในลักษณะต่างๆ ต่อสังคมอย่างไรบ้าง เป็นการใช้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดต่อสังคมหรือไม่ สามารถแบ่งวิธีการประเมินโครงการตามแนวทางเศรษฐศาสตร์ออกเป็น 4 รูปแบบ ได้แก่

1. การวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ (Cost-benefit Analysis; CBA)

เป็นรูปแบบการวิเคราะห์ที่สมบูรณ์ที่สุด ตามแนวความคิดพื้นฐานทางเศรษฐศาสตร์ โดยเป็นการวิเคราะห์โครงการที่คำนึงถึงต้นทุน และผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการมีโครงการ ซึ่งมีความพยายามที่จะประเมินต้นทุน และผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นออกมาเป็นตัวเงิน เพื่อประเมินความคุ้มค่าของโครงการ หรือเพื่อช่วยตัดสินใจในการเลือกทำโครงการ แต่ในทางปฏิบัตินั้นอาจมีปัญหในการนำไปใช้มากมาย ในการนำไปประเมิน โดยเฉพาะในการประเมินมูลค่าผลประโยชน์ของโครงการ ที่ให้ประโยชน์ต่อสังคมในลักษณะที่จับต้องไม่ได้ (Intangible Benefits)

2. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของต้นทุน (Cost Effectiveness Analysis; CEA)

เป็นการวิเคราะห์โครงการ ในลักษณะที่ผลประโยชน์ที่เกิดขึ้น ส่วนใหญ่ของโครงการอยู่ในรูปการประหยัดต้นทุน โดยลักษณะของโครงการที่ประเมิน จะเป็นลักษณะของโครงการที่เน้นทางด้านการลดต้นทุนต่อการดำเนินการ (Cost per Transaction)

3. การวิเคราะห์ต้นทุนต่ำสุด (Cost Minimization Analysis; CMA)

การประเมินโครงการแบบวิเคราะห์ต้นทุนต่ำสุดนี้ เป็นการพยายามคำนวณเพื่อหาจุดต่ำสุดของต้นทุน (Minimum Cost per Transaction) เพื่อพยายามทำให้โครงการมีลักษณะเป็นการประหยัดจากขนาดให้มากที่สุด (Economies of Scale)

4. การวิเคราะห์ต้นทุน-อรรถประโยชน์ (Cost-utility Analysis; CUA)

เป็นการวิเคราะห์โครงการ ในลักษณะที่ไม่มีการประเมินต้นทุน และผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นเป็นตัวเงิน โดยวิเคราะห์ถึงอรรถประโยชน์ที่เกิดขึ้นในภาพกว้างๆ โดยศึกษาว่าโครงการที่กำลังประเมิน สามารถให้อรรถประโยชน์แก่คนกลุ่มใดบ้าง และในรูปแบบใดบ้าง เป็นการประเมินโครงการที่ผลประโยชน์ส่วนมากไม่สามารถที่จะวัดได้ ในการประเมินโครงการทางเศรษฐศาสตร์นั้น แต่ละโครงการต่างมีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งการที่จะเลือกใช้วิธีใดในการประเมินโครงการนั้น ต้องพิจารณาตามความเหมาะสม ในแต่ละโครงการนั้นด้วย

ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ จะใช้วิธีการวิเคราะห์ต้นทุน-ผลประโยชน์ เพื่อใช้ในการประเมินความคุ้มค่า โดยในการวิจัยครั้งนี้จะมีการวิเคราะห์ต้นทุน และผลประโยชน์ของโครงการนี้ แตกต่างจากการวิเคราะห์ในเชิงของเอกชน โดยเอกชนจะคำนวณต้นทุนจากค่าใช้จ่าย ที่จำเป็นต้องใช้สำหรับปัจจัยการผลิต และคำนวณผลประโยชน์จากรายได้ที่ได้รับ จากการใช้ปัจจัยการผลิตนั้น โดยอาศัยราคากลางเป็นตัววัด แต่สำหรับการวิจัยนี้ จะต้องการคำนวณต้นทุน และผลประโยชน์อาศัยจุดยืนของสังคม ไม่ใช่การจุดยืนของเอกชน หรือหน่วยธุรกิจใดหน่วยธุรกิจหนึ่ง ดังนั้นต้นทุน และผลประโยชน์บางอย่าง อาจจะไม่สะท้อนในราคากลาง หรือไม่สามารซื้อขายในตลาดได้

2.3.3 หลักเกณฑ์การวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนโครงการ

เพื่อใช้พิจารณาตัดสินใจว่า จะลงทุนในโครงการใดโครงการหนึ่งหรือไม่ หรือการตัดสินใจว่าจะเลือกลงทุนในโครงการใดดี ในระหว่างหลายๆ โครงการ เกณฑ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ จะใช้การวิเคราะห์โดยประเมินค่าโครงการลงทุนแบบคิดค่าปัจจุบันของเงิน เป็นการวิเคราะห์ต้นทุน และผลตอบแทนที่ได้จากโครงการ มาคำนวณหาตัวชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการ ซึ่งเป็นการตัดสินใจแบบมีการปรับค่าของเงินตามเวลา วิธีที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์ คือ หลักเกณฑ์มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value; NPV) โดยสามารถอธิบายได้ ดังนี้

1) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value; NPV) คือ ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของรายได้ หรือผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ในแต่ละปีตลอดอายุของโครงการ กับมูลค่าปัจจุบันของรายจ่ายที่จ่ายออกไปตลอดอายุโครงการที่กำลังพิจารณา ณ อัตราคิดลดที่กำหนดในที่นี้ คือ ค่าของทุน (Cost of Capital) โดยค่า NPV สามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$NPV = PVB - PVC$$

$$= \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t}$$

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}$$

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}$$

โดย C_t = ต้นทุนของโครงการ ในปีที่ t

B_t = ผลตอบแทนของโครงการ ในปีที่ t

r = อัตราคิดลด หรืออัตราดอกเบี้ยที่เหมาะสม

t = ระยะเวลาของโครงการ ซึ่ง t มีค่าเท่ากับ 0 ถึง n

หลักเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจ คือ เลือกโครงการที่ NPV ที่มีค่ามากกว่าศูนย์ กล่าวคือ มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนรวมมากกว่ามูลค่าปัจจุบันของต้นทุน ($PVB > PVC$) โครงการนั้นจึงมีความเหมาะสมที่จะลงทุน

2) ข้อดีของ NPV คือ

- (1) สามารถวัดค่าออกมาเป็นตัวเงิน ดังนั้นจึงสามารถเปรียบเทียบให้เห็นได้อย่างชัดเจน
- (2) ถึงแม้ตลาดเงินทุนจะมีความไม่สมบูรณ์ กล่าวคือ มีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลง ซึ่งในการทอนมูลค่าเงินให้เป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิ จะให้ค่าถูกต้องเสมอ หากมีการเลือกอัตราส่วนลดอย่างถูกต้อง (ไม่กำหนดอัตราส่วนลดต่ำหรือสูงเกินไป)

(3) วิธีคำนวณไม่ยาก

3) ข้อเสียของ NPV คือ

- (1) หากมีงบประมาณจำกัด แต่มีหลายโครงการ การพิจารณาเลือกโดยใช้ NPV มีผลอาจทำให้การตัดสินใจผิดพลาดได้ ควรใช้หลักเกณฑ์ B/C Ratio เข้าช่วยในการเรียงลำดับโครงการ และเลือกกลุ่มโครงการจนกว่าจะหมดงบประมาณ
- (2) ในตลาดเงินทุนที่ไม่สมบูรณ์ การเลือกอัตราส่วนลดผิดพลาด อาจทำให้ค่า NPV ผิดพลาดได้

2.3.4 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของโครงการ

เยาเวส ทับพันธุ์ (2541) กล่าวว่า ผู้วิเคราะห์โครงการจะต้องพยากรณ์เหตุการณ์ ทั้งในส่วนที่เกี่ยวข้องด้านต้นทุน และด้านผลผลิตของโครงการ โดยอยู่บนพื้นฐานของความไม่แน่นอน ทั้งนี้เพราะเหตุการณ์ต่างๆ ย่อมเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้น สิ่งต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นในอนาคตย่อมไม่สามารถทราบได้ โดยวิธีการพิจารณาความเสี่ยงต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นกับโครงการ มีหลายวิธีด้วยกัน วิธีหนึ่งซึ่งเป็นที่ยอมรับมากที่สุด ได้แก่ วิธีการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitive Analysis)

การทำการวิเคราะห์ความอ่อนไหว เป็นวิธีการหนึ่ง que แสดงให้เห็นว่า โครงการนั้นมีความเสี่ยง หรือความไม่แน่นอน ผู้วิเคราะห์โครงการจะทำการวิเคราะห์ผลสุทธิ ในกรณีที่โครงการดำเนินไปได้ตามแผนครั้งหนึ่ง แล้วจึงทำการวิเคราะห์ผลสุทธิของโครงการ ในกรณีที่โครงการดำเนินไปได้ตามแผนครั้งหนึ่ง แล้วจึงทำการวิเคราะห์ผลสุทธิของโครงการ ในกรณีที่มือุปสรรคอีกครั้งหนึ่ง เนื่องจากเพื่อเปรียบเทียบให้เห็นว่า ถ้าเหตุการณ์ต่างกันแล้ว ผลสุทธิของโครงการจะแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ความอ่อนไหวมีจุดอ่อน นั่นคือ การวิเคราะห์นี้เป็นการแสดงให้เห็นว่าจะเกิดผลอย่างไรได้บ้าง แต่ไม่ได้ให้ข้อมูลของความน่าจะเป็นของผลในกรณีต่างๆ โดยที่ผู้ตัดสินใจจะต้องกำหนดค่าความน่าจะเป็นขึ้น โดยใช้วิจารณญาณของตนเอง และการวิเคราะห์ความอ่อนไหวแต่ละครั้ง จะเปลี่ยนค่าตัวแปรที่ไม่แน่นอนได้เพียงค่าเดียว โดยสมมุติตัวแปรอื่นๆ มีค่าคงที่ค่าใดค่าหนึ่ง อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์ความอ่อนไหวมีข้อดีอยู่ไม่น้อย เช่น ความง่ายทั้งในแง่การคำนวณ และการหาข้อมูล และในโครงการขนาดเล็ก ต้นทุนความผิดพลาดก็ไม่สูงนัก เมื่อเทียบกับโครงการ

ขนาดใหญ่สุดท้าย คือ ผลของการวิเคราะห์จะชี้ให้เห็นความสำคัญของตัวแปรบางตัว ที่มีผลต่อผลประโยชน์สุทธิของโครงการ จึงสรุปได้ว่า การวิเคราะห์ความอ่อนไหวจึงเป็นวิธีการเบื้องต้น ที่จะช่วยชี้ให้เห็นว่าตัวแปรใดบ้าง ที่จะต้องเผชิญกับความไม่แน่นอน และในหมู่ตัวแปรเหล่านั้น ตัวใดที่จะมีการยอมรับหรือไม่ยอมรับโครงการ

2.4 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tsai, Lee and Chang (2007) ได้ทำการทดลองการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบรวดเร็ว จากข้าวเปลือก กากอ้อย และเปลือกมะพร้าว โดยใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าติดตั้งภายนอกข้างเตาปฏิกรณ์ และใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวกลาง ในการถ่ายเทความร้อนไปสู่ชีวมวลทั้ง 3 ชนิด และใช้เตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งที่ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิในการเผาไหม้ และอัตราการให้ความร้อน มีผลกระทบต่อปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ออกมาได้ โดยสามารถให้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ คิดเป็นสัดส่วนสูงสุดเฉลี่ยมากกว่า 50% Yield ในชีวมวลทั้ง 3 ชนิด

Shurong, et al. (2005) ได้ทำการทดลองการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบรวดเร็วโดยใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้า อุ่นก๊าซไนโตรเจนให้ร้อนก่อน และใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวกลาง ในการถ่ายเทความร้อนสู่ชีวมวล โดยใช้เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไคซ์เบด ซึ่งชีวมวลที่ใช้ในการทดลอง คือ ต้นเฟอร์จิ้น ไม้แมนจูรัสจิ้น ไม้แดงจิ้น และฟางข้าว โดยมีอัตราการป้อนชีวมวลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ที่ 3 kg.h^{-1} เผาไหม้ที่อุณหภูมิ $450\text{--}500^\circ\text{C}$ ความดัน 1 บรรยากาศ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า สัดส่วนปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ออกมา จะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ อัตราการให้ความร้อน และขนาดอนุภาคของชีวมวลที่ถูกเผาไหม้

Parihar, et al. (2007) ได้ทำการทดลองผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบรวดเร็วจากกากอ้อย โดยใช้เตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed Bed Reactor) ทดลองที่ความดัน 1 บรรยากาศ โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนที่มีอุณหภูมิ ระหว่าง $400\text{--}500^\circ\text{C}$ และใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าอุ่นก๊าซไนโตรเจนให้ร้อนก่อนเข้าสู่เตาปฏิกรณ์ ในการทดลองจะใช้อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนแบ่งเป็น 50 cc.min^{-1} , 100 cc.min^{-1} , 125 cc.min^{-1} และ 200 cc.min^{-1} ซึ่งผลการทดลองพบว่า ได้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพสูงสุด คือ 24.12% Yield ที่อุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ที่ 450°C ที่อัตราการไหลก๊าซไนโตรเจนที่ 50 cc.min^{-1} โดยอุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ จะมีผลกระทบสูงที่สุดต่อปริมาณน้ำมันที่ออกมา กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิเตาปฏิกรณ์อยู่ระหว่าง $450\text{--}550^\circ\text{C}$ จะทำให้ได้ปริมาณก๊าซที่ไม่กลั่นตัวสูงขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ลดต่ำลง จนเหลือช่วงอุณหภูมิระหว่าง $400\text{--}450^\circ\text{C}$ จะได้ปริมาณ

ถ่านชาร์ทสูงที่สุด ซึ่งใช้เตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่งเช่นกัน นอกจากอุณหภูมิเตาปฏิกรณ์จะมีผลกระทบ ต่อปริมาณน้ำมันที่ออกมาแล้ว ยังมีผลของอัตราการไหลของก๊าซในโตรเจนด้วย

Ozlem (2007) ได้ทำการทดลองผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ ด้วยกระบวนการไพโรไลซิสแบบรวดเร็ว จากดอกคำฝอย โดยใช้เตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง (Fixed Bed Reactor) พบว่า สามารถให้ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพสูงสุดที่ 54% Yield ที่อุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ 600 °C ที่อัตราการไหลของก๊าซในโตรเจน 100 cm³ min⁻¹ ที่ความดัน 1 บรรยากาศ และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 300 °C min⁻¹ จากการวิเคราะห์ ผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ อัตราการไหลของก๊าซในโตรเจน และอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ จะมีผลต่อปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ออกมาทั้งสิ้น

Zheng (2007) ได้ทำการทดลองการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ จากกระบวนการไพโรไลซิส แบบรวดเร็วจากแกลบ โดยใช้เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด ใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าอุ่นก๊าซในโตรเจน ให้ร้อนก่อน และใช้ก๊าซในโตรเจนเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนสู่แกลบมี อัตราการป้อนแกลบ เข้าสู่เตาปฏิกรณ์ที่ 7.32 kg.h⁻¹ ที่ความดันคงที่ ที่ 1 บรรยากาศ โดยการทดลองนี้เป็นการทดลองเพื่อ วิเคราะห์ว่า อุณหภูมิเตาปฏิกรณ์มีผลกระทบต่อปริมาณน้ำมันชีวภาพที่ได้มากน้อยเพียงใด จากผล การทดลองพบว่า สามารถผลิตน้ำมันได้สูงสุดที่ปริมาณ 56% Yield ที่อุณหภูมิห้องเผาไหม้ 465 °C โดยการทดลองนี้ได้สรุปไว้ว่า ในการเผาไหม้โดยใช้เตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด ซึ่งใช้ ก๊าซในโตรเจนร้อน ในการถ่ายเทความร้อนสู่แกลบ และใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าอุ่นก๊าซในโตรเจนให้ร้อน ก่อนเข้าสู่เตาปฏิกรณ์ เมื่ออุณหภูมิเตาปฏิกรณ์สูงขึ้นมากกว่า 465 °C จะทำให้ได้ปริมาณก๊าซที่ไม่กลั่นตัว สูงขึ้น แต่เมื่ออุณหภูมิห้องเผาไหม้ลดต่ำลงน้อยกว่า 465 °C จะได้ปริมาณถ่านชาร์ทสูง และได้สรุปว่า เตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง และแบบฟลูอิดไดซ์เบด ต่างมีผลกระทบในเรื่องของอุณหภูมิเตาปฏิกรณ์ เช่นกัน ซึ่งเป็นตัวแปรหลักในการได้มาซึ่งน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ

Sevgi and Dilek (2008) ได้ทำการทดลองกระบวนการไพโรไลซิสของดอกคำฝอย โดยใช้เตาปฏิกรณ์ แบบเบดนิ่ง (Fixed Bed Reactor) โดยใช้อากาศ และก๊าซในโตรเจนเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ที่ความดัน 1 บรรยากาศ อุณหภูมิห้องเผาไหม้คงที่ที่ 500 °C และอัตราการไหลของก๊าซที่ 100 cm³ min⁻¹ ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาเปรียบเทียบว่า การใช้ตัวกลางชนิดใดในการถ่ายเทความร้อนสู่ชีวมวล ที่ทำให้ผลผลิตที่ได้ออกมามีค่าคุณสมบัติ และปริมาณสัดส่วนที่ดีที่สุด โดยมีการกำหนดอัตราการเพิ่ม อุณหภูมิในช่วง 10 °C.min⁻¹, 20 °C.min⁻¹ และ 50 °C.min⁻¹ ซึ่งผลการทดลองพบว่า การใช้ก๊าซในโตรเจน เป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ทำให้ได้ปริมาณน้ำมันคิดเป็นสัดส่วนที่น้อยกว่าอากาศ แต่ได้ น้ำมันชีวภาพที่มีค่าความร้อนสูงกว่าตัวกลางที่เป็นอากาศมาก เนื่องจากอากาศเป็นสารประกอบที่มี สัดส่วนของธาตุออกซิเจนสูง (มีค่าความชื้นสูง) ทำให้เมื่อเกิดปฏิกิริยาธาตุออกซิเจนไปรวมตัวกับก๊าซร้อน

แล้วเกิดการกลั่นตัวมากขึ้น จนกลายเป็นของเหลวที่มีส่วนผสมของน้ำเกิดขึ้น ทำให้ค่าความร้อนที่ออกมาคือน้ำมันชีวภาพมีค่าต่ำลง แต่สามารถทำให้น้ำมันชีวภาพที่ออกมา มีค่าความเป็นของไหล (ความหนืด) และค่าความเป็นกลาง (pH) ดีกว่าน้ำมันชีวภาพ ที่ได้จากตัวกลางการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากก๊าซในโตรเจน อย่างไรก็ตามค่าความหนืด และค่าความเป็นกลางมีระดับความแตกต่างกันที่มีค่าห่างกันไม่มากนัก

จากตัวอย่างการทดลองการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพ จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบรวดเร็ว ทำให้พบว่า ก๊าซในโตรเจนเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน ไปสู่วัตถุดิบตั้งต้นดีกว่าอากาศ ทั้งที่อากาศมีปริมาณที่ไม่จำกัด และสามารถพบหาได้ง่าย เนื่องจากเป็นก๊าซที่ไม่มีความชื้นเป็นส่วนประกอบ มีค่าความดันคงที่ไม่แปรเปลี่ยนตามอุณหภูมิ ทำให้รักษาความดันได้ดี ในการเกิดปฏิกิริยามีสัดส่วนที่มากในบรรยากาศ ในกรณีสิ้นสุดกระบวนการต้องระบายสู่บรรยากาศ ซึ่งไม่ก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ มีคุณสมบัติเชิงความร้อน และความหนาแน่นใกล้เคียงอากาศ ทำให้ง่ายต่อการกำหนดเงื่อนไข จึงพบว่า การทดลองเกี่ยวกับการผลิตน้ำมันชีวภาพ จากกระบวนการไพโรไลซิสแบบรวดเร็ว โดยใช้ชีวมวลเป็นวัสดุตั้งต้น จะใช้ก๊าซในโตรเจนเป็นตัวถ่ายเทความร้อนมากกว่าอากาศ และก๊าซ ซึ่งมีราคาแพง และก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ