บทที่ 4
ผลการศึกษาวิจัย

หลังจากทำการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ผลตามขั้นตอนและขอบเขตการทำวิจัยดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 แล้ว ในส่วนของบทนี้เป็นการแสดงผลการวิเคราะห์เอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน โดยได้ทำการแบ่งการแสดงผลออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ 1) ผลการจัดทำบัญชีรายการ ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิต โดยแสดงทั้งรูปแบบของชนิดและปริมาณที่เกิดขึ้น 2) ผลการวิเคราะห์เอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์ของการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอน การวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล 3) ผลการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การวิเคราะห์ปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมัน การวิเคราะห์ปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตไบโอดีเซล และ 4) จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นทำการเสนอแนวทางในการจัดการพลังงานและน้ำอย่างเหมาะสมสำหรับการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน โดยผลการศึกษาทั้งหมดมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory Analysis: LCI)

การทำบัญชีรายการ เป็นการรวบรวมข้อมูลในแต่ละกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลการศึกษา โดยลักษณะของข้อมูลจะประกอบไปด้วย

- ชนิดและปริมาณของปัจจัยการผลิตที่เกี่ยวข้อง เช่น ปุ๋ยเคมี ยากำจัดวัชพืช เป็นต้น
- ชนิดและปริมาณของการใช้พลังงาน เช่น ไฟฟ้า ไอน้ำ เชื้อเพลิง เป็นต้น
- ชนิดและปริมาณของมลพิษหรือกากของเสียต่างๆ ที่ปล่อยออกจากกระบวนการ
- ชนิดและปริมาณของผลิตภัณฑ์ร่วมซึ่งได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น กลีเซอรอล (Glycerol) เมล็ดใน กะลา เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน ขั้นตอนขนส่งไปยังโรงงาน ขั้นตอนการแปรรูปวัตถุดิบ (การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil: CPO)) และขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำบัญชีรายการตลอดกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันจะประกอบด้วยข้อมูลชนิดและปริมาณของปัจจัยที่เข้าสู่กระบวนการ (Input) และปัจจัยที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ (Output) ซึ่งได้แก่ ทรัพยากร พลังงาน ผลิตภัณฑ์ ผลิตภัณฑ์ร่วม ของเสีย และผลกระทบที่เกิดขึ้นตลอดกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน โดยการจัดทำบัญชีรายการนั้นข้อมูลการเพาะปลูก การสกัดน้ำมัน และการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันได้จากการเก็บข้อมูลจริงจากเกษตรกรและโรงงานผู้ผลิต และบางส่วนได้มาจากการอ้างอิงข้อมูลที่มีผู้ศึกษาทดลองไว้แล้ว เช่น ข้อมูลสารขาเข้าของช่วงการเตรียมดิน เนื่องมาจากในการได้มาซึ่งข้อมูลบางข้อมูลไม่สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือหรือวิธีการทั่วไป จำเป็นต้องอาศัยวิธีการที่ซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นผลให้ใช้เวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์เป็นระยะเวลานาน อีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายสูง โดยรายละเอียดขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันและรูปแบบของสารขาเข้าและสารขาออก แสดงดังหัวข้อ 4.1.1 – 4.1.4

4.1.1 ผลการจัดทำบัญชีรายการในขั้นตอนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน

จากข้อมูลสถิติการเกษตรของประเทศไทย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2555) ในช่วงปี พ.ศ. 2550–2555 พบว่า ปริมาณการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันของประเทศไทยเฉลี่ยมีพื้นที่ในการเพาะปลูก 3,336,478 ไร่ ผลผลิต 9,024,919 ตัน และมีผลผลิตเฉลี่ย 2.70 ตัน/ไร่ โดยพื้นที่ที่มีผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่สูงที่สุดของประเทศคือ ภาคใต้ประกอบไปด้วย 14 จังหวัด คิดเป็นร้อยละ 39.37 รองลงมาคือ ภาคกลางประกอบไปด้วย 15 จังหวัด ภาคตะวันออกเฉียงเหนือประกอบไปด้วย 16 จังหวัด และภาคเหนือประกอบไปด้วย 6 จังหวัด คิดเป็นร้อยละ 34.89, 17.98 และ 7.76 ตามลำดับ แต่ในงานวิจัยนี้จะทำการรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลการศึกษาเฉพาะในเขตพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้ของประเทศไทยเท่านั้น

เมื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการเรียบร้อยแล้ว (ภาคผนวก ก) จึงนำข้อมูลที่ได้มาทำการตรวจสอบความถูกต้อง เนื่องจากบางครั้งข้อมูลอาจมีจำนวนมาก เพื่อให้เกิดความถูกต้องและครบถ้วนของข้อมูลจึงจำเป็นต้องมีการทำการตรวจสอบโดยใช้วิธีการสมดุลมวลและ สมดุลพลังงาน เพื่อเตรียมพร้อมในการนำไปวิเคราะห์ผลต่อหน่วยการทำงานที่ศึกษา โดยแสดงการสมดุลมวลและสมดุลพลังงานของการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันต่อหน่วยการทำงาน แสดงดังตารางที่ 4.1-4.2 และรูปที่ 4.1-4.2

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.1.1 ผลการจัดทำบัญชีรายการในขั้นตอนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันของพื้นที่ภาคใต้

ผลจากการเก็บข้อมูลรวบรวมข้อมูลด้านการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้ ซึ่งประกอบไปด้วย 14 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี พังงา ภูเก็ต กระบี่ ตรัง นครศรีธรรมราช พัทลุง สงขลา สตูล ปัตตานี ยะลา และนราธิวาส โดยพื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นพื้นที่ป่าเปิดใหม่ มีความชันเล็กน้อย และมีความอุดมสมบูรณ์สูง สำหรับปาล์มน้ำมันที่นิยมปลูกมากที่สุดคือ สกุล Elaeis ชนิด E.guineensis เป็นสายพันธุ์ CHEMARA (D x P) โดยการปลูกปาล์มน้ำมันจะเลือกปลูกในช่วงต้นฝนคือ เดือนพฤษภาคม ซึ่งการปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ 1 ไร่ สามารถปลูกปาล์มน้ำมันได้ 22 ต้น/ไร่ ที่มีการจัดวางผังการปลูกแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า และใช้ระยะปลูก 9 × 9 × 9 เมตร สามารถให้ผลผลิตเฉลี่ย 2.75 ตัน/ไร่ (จากภาคผนวก ค)

สำหรับกระบวนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการหลัก ได้แก่ กระบวนการอนุบาลต้นกล้า และกระบวนการเพาะปลูก (การเตรียมดิน การปลูก การดูแลรักษา และการเก็บเกี่ยว) ซึ่งในแต่ละกระบวนการมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 บัญชีรายการสารขาเข้า-ออกของกระบวนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้ต่อหน่วยการทำงาน

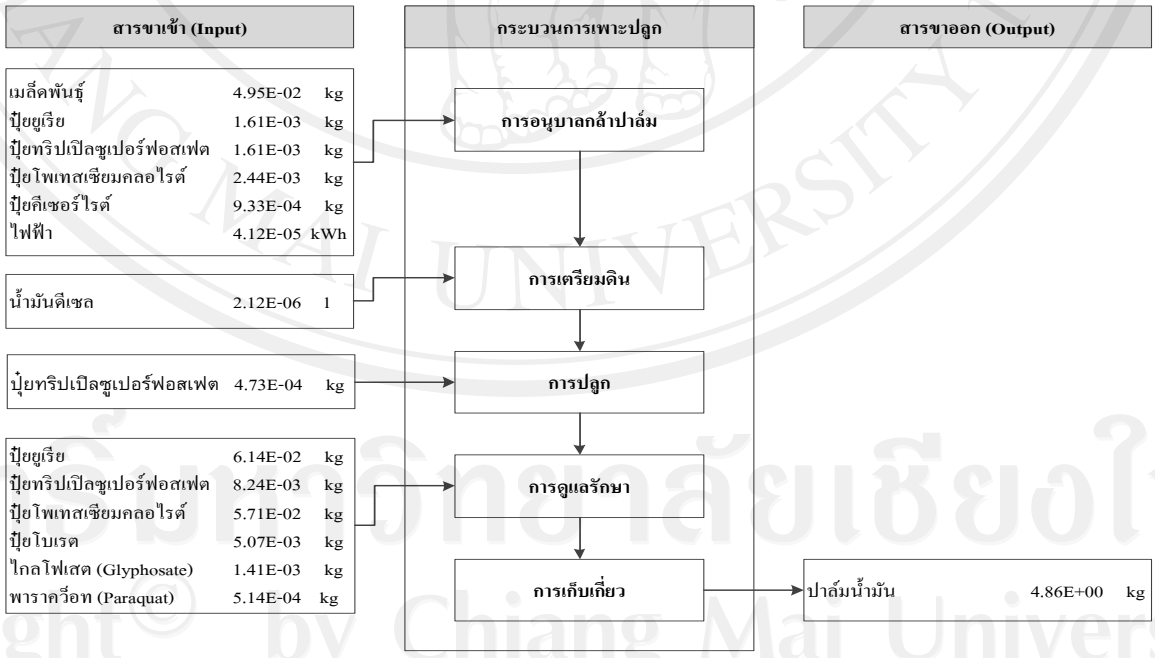
ลำดับ	สารขาเข้า-สารขาออก	ปริมาณ	หน่วย
สารขาเข้า			
การอนุบาลต้นกล้าปาล์มน้ำมัน			
1	เมล็ดพันธุ์	4.95E-02	กิโลกรัม
2	ปุ๋ยยูเรีย	1.61E-03	กิโลกรัม
3	ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (TSP/Rock phosephate)	1.61E-03	กิโลกรัม
4	ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	2.44E-03	กิโลกรัม
5	ปุ๋ยดีเซอร์ไรต์ (MgO)	9.33E-04	กิโลกรัม
6	ไฟฟ้า	4.12E-05	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
การเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน			
1	ปุ๋ยยูเรีย	6.14E-02	กิโลกรัม
2	ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (TSP/Rock phosephate)	8.71E-03	กิโลกรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.1 บัญชีรายการสารขาเข้า-ออกของกระบวนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้ต่อหน่วยการทำงาน (ต่อ)

ลำดับ	สารขาเข้า-สารขาออก	ปริมาณ	หน่วย
การเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน			
3	ปุ๋ยโพเทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	5.71E-02	กิโลกรัม
4	ปุ๋ยโบเรต	5.07E-03	กิโลกรัม
5	ไกลโฟเสต (Glyphosate)	1.41E-03	กิโลกรัม
6	พาราควอท (Paraquat)	5.14E-04	กิโลกรัม
7	น้ำมันดีเซล	2.12E-06	ลิตร
สารขาออก			
1	ปาล์มน้ำมัน	4.86E+00	กิโลกรัม

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้า-ออก สามารถแสดงรายละเอียดของข้อมูลตัวเลขเข้าสู่แต่ละขั้นตอนของกระบวนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงกระบวนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้ต่อหน่วยการทำงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.1.2 ผลการจัดทำบัญชีรายการในขั้นตอนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันของพื้นที่ภาคเหนือ

ผลจากการเก็บข้อมูลรวบรวมข้อมูลด้านการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือ ซึ่งประกอบไปด้วย 6 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเชียงราย ลำพูน เชียงใหม่ กำแพงเพชร พิษณุโลก และอุทัยธานี โดยพื้นที่เพาะปลูกส่วนใหญ่มีลักษณะพื้นที่เป็นพื้นที่นาและป่าเปิดใหม่ มีความชันเล็กน้อย และมีความอุดมสมบูรณ์ต่ำถึงปานกลาง สำหรับปาล์มน้ำมันที่นิยมปลูกมากที่สุดคือ สายพันธุ์ Golden Clonal Tenera และรองลงมาคือ ปาล์มน้ำมันสายพันธุ์ยูนิวานิช โดยการปลูกปาล์มน้ำมันจะเลือกปลูกในช่วงต้นฝนคือ เดือนพฤษภาคม ซึ่งการปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ 1 ไร่ สามารถปลูกปาล์มน้ำมันได้ 22 ต้น/ไร่ มีการจัดวางผังการปลูกแบบสามเหลี่ยมด้านเท่า และใช้ระยะปลูก 9 × 9 × 9 เมตร ซึ่งมีลักษณะการปลูกเช่นเดียวกันกับการปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้ สามารถให้ผลผลิตเฉลี่ย 0.87 ตัน/ไร่ (จากภาคผนวก ค)

สำหรับกระบวนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันนั้นจะแบ่งออกเป็น 2 กระบวนการหลัก ได้แก่ กระบวนการอนุบาลต้นกล้า และกระบวนการเพาะปลูก (การเตรียมดิน การปลูก การดูแลรักษา และการเก็บเกี่ยว) ซึ่งในแต่ละกระบวนการมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 บัญชีรายการสารขาเข้า-ออกของกระบวนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือต่อหน่วยการทำงาน

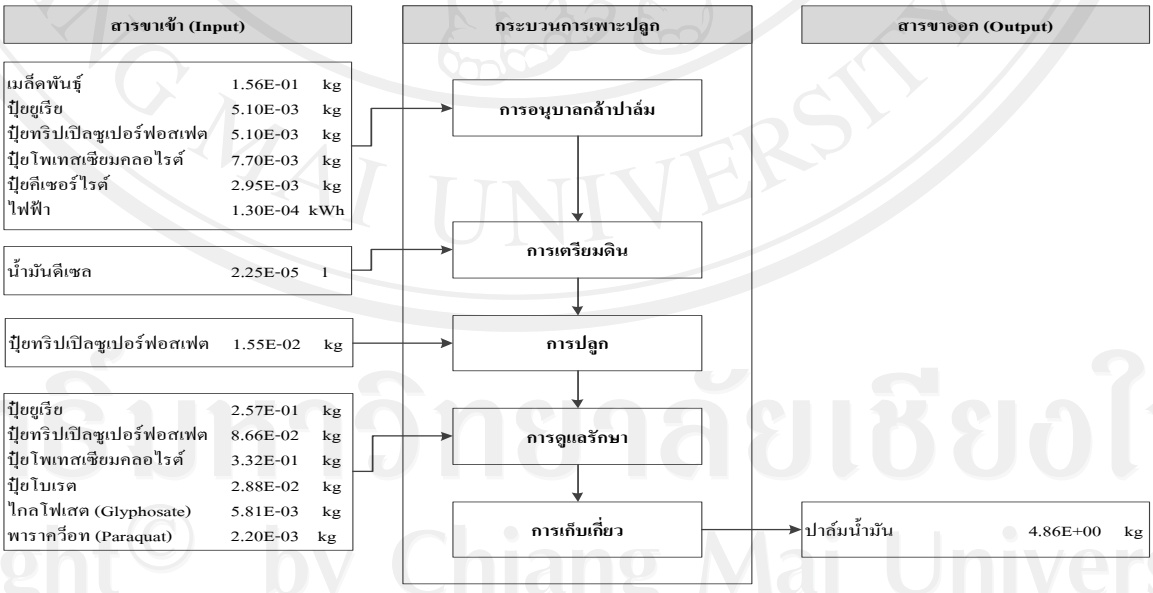
ลำดับ	สารขาเข้า-สารขาออก	ปริมาณ	หน่วย
สารขาเข้า			
การอนุบาลต้นกล้าปาล์มน้ำมัน			
1	เมล็ดพันธุ์	1.56E-01	กิโลกรัม
2	ปุ๋ยยูเรีย	5.10E-03	กิโลกรัม
3	ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (TSP/Rock phosephate)	5.10E-03	กิโลกรัม
4	ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	7.70E-03	กิโลกรัม
5	ปุ๋ยดีเซอร์ไรต์ (MgO)	2.95E-03	กิโลกรัม
6	ไฟฟ้า	1.30E-04	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
การเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน			
1	ปุ๋ยยูเรีย	2.57E-01	กิโลกรัม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.2 บัญชีรายการสารขาเข้า-ออกของกระบวนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือต่อหน่วยการทำงาน (ต่อ)

ลำดับ	สารขาเข้า-สารขาออก	ปริมาณ	หน่วย
การเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน			
2	ปุ๋ยทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต (TSP/Rock phosephate)	1.02E-01	กิโลกรัม
3	ปุ๋ยโพแทสเซียมคลอไรด์ (KCl)	3.32E-01	กิโลกรัม
4	ปุ๋ยโบเรต	2.88E-02	กิโลกรัม
5	ไกลโฟเสต (Glyphosate)	5.81E-03	กิโลกรัม
6	พาราควอท (Paraquat)	2.20E-03	กิโลกรัม
7	น้ำมันดีเซล	2.25E-05	ลิตร
สารขาออก			
1	ปาล์มน้ำมัน	4.86E+00	กิโลกรัม

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้า-ออก สามารถแสดงรายละเอียดของข้อมูลตัวเลขเข้าสู่แต่ละขั้นตอนของกระบวนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แผนภาพแสดงกระบวนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือต่อหน่วยการทำงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.2 ผลการจัดทำบัญชีรายการในขั้นตอนการขนส่ง

4.1.2.2 ผลการจัดทำบัญชีรายการในขั้นตอนการขนส่งปาล์มน้ำมันของพื้นที่ภาคใต้

ในขั้นตอนการขนส่งปาล์มน้ำมันจากไร่ไปยังโรงงานผลิตในพื้นที่ภาคใต้ (อ้างอิงจากข้อมูลที่ทำการสำรวจจริงคือ ชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่ เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาของพื้นที่ภาคใต้) โดยเกษตรกรทำการขายผลผลิตให้โรงงานโดยตรง คิดเป็นร้อยละ 100 ซึ่งส่วนใหญ่การขนส่งผลผลิตไปยังโรงงานจะใช้รถขนส่งของแต่ละสหกรณ์ คิดเป็นร้อยละ 100 รูปแบบของรถที่ใช้ในการขนส่งมากที่สุด คือรถกระบะบรรทุก 10 ล้อ ขนาดน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 16 ตัน/การขนส่ง 1 เที่ยว และในการขนส่งจะไม่มีบรรจุภัณฑ์ร่วมด้วย โดยระยะทางเฉลี่ยจากแปลงปลูกถึงจุดรวบรวมปาล์มน้ำมันประมาณ 50 กิโลเมตร และระยะทางเฉลี่ยจากแปลงจุดรวบรวมปาล์มน้ำมันถึงโรงงานประมาณ 26.7 กิโลเมตร

จากนั้นนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ทั้งหมดมาจัดทำบัญชีรายการในขั้นตอนการขนส่งปาล์มน้ำมัน โดยทำการคำนวณสมดุลมวลและสมดุลพลังงาน เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อหน่วยการทำงานที่ศึกษา แสดงดังตารางที่ 4.3 ซึ่งแสดงรายละเอียดของปัจจัยต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดกระบวนการขนส่ง ประกอบด้วย ปริมาณการขนส่ง ระยะทางในการขนส่ง และรูปแบบการขนส่ง

ตารางที่ 4.3 บัญชีรายการการขนส่งปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้ต่อหน่วยการทำงาน

แหล่งที่มา	ปริมาณ (ตัน)	ระยะทาง (กิโลเมตร)	อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน (ลิตร/ตัน-กิโลเมตร)	อัตราการใช้พลังงาน (ลิตร)
ไร่-โรงงาน	4.86E-03	50	0.0216[a]	5.25E-03
จุดรวบรวม-โรงงาน	4.86E-03	26.7	0.0216[a]	2.80E-03
รวม				8.05E-03

หมายเหตุ: [a]คิดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของรถกระบะบรรทุก 10 ล้อ ขนาดนำหนักบรรทุกสูงสุด 16 ตัน (รูปแบบการบรรทุก: ภายใต้สภาพการทำงานหนักหรือสมบุกสมบัน)

4.1.2.2 ผลการจัดทำบัญชีรายการในขั้นตอนการขนส่งปาล์มน้ำมันของพื้นที่ภาคเหนือ

ในขั้นตอนการขนส่งปาล์มน้ำมันจากไร่ไปยังโรงงานผลิตในพื้นที่ภาคเหนือ (อ้างอิงจากข้อมูลที่ทำการสำรวจจริงคือ ชุมนุมสหกรณ์ปาล์มน้ำมันล้านนา จังหวัดเชียงราย เพื่อใช้เป็นตัวแทนในการศึกษาของพื้นที่ภาคเหนือ) โดยเกษตรกรทำการขายผลผลิตให้โรงงานโดยตรง คิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

เป็นร้อยละ 100 โดยระยะทางเฉลี่ยจากแปลงปลูกถึงจุดรวบรวมปาล์มน้ำมันประมาณ 50 กิโลเมตร และหลังจากส่งผลผลิตเสร็จจะตีรถเปล่า ซึ่งส่วนใหญ่การขนส่งผลผลิตไปยังโรงงานจะใช้รถขนส่งของเกษตรกร คิดเป็นร้อยละ 100 รูปแบบของรถที่ใช้ในการขนส่งมากที่สุด คือรถกระบะบรรทุก 4 ล้อ ขนาดน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 7 ตัน/การขนส่ง 1 เที่ยว และในการขนส่งจะไม่มีบรรจุภัณฑ์ร่วมด้วย ส่วนการขนส่งจากจุดรวบรวมปาล์มน้ำมันถึงโรงงาน มีระยะทางเฉลี่ยจากจุดรวบรวมถึงโรงงานผลิตประมาณ 885 กิโลเมตร ซึ่งส่วนใหญ่การขนส่งผลผลิตไปยังโรงงานจะใช้รถขนส่งของโรงงานรับซื้อ คิดเป็นร้อยละ 100 รูปแบบของรถที่ใช้ในการขนส่งมากที่สุด คือรถกระบะบรรทุก 10 ล้อ ขนาดน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 16 ตัน/การขนส่ง 1 เที่ยว และในการขนส่งจะไม่มีบรรจุภัณฑ์ร่วมด้วย

จากนั้นนำข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ทั้งหมดมาจัดทำบัญชีรายการในขั้นตอนการขนส่งปาล์มน้ำมัน แสดงดังตารางที่ 4.4 ซึ่งแสดงรายละเอียดของปัจจัยต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดกระบวนการขนส่ง ประกอบด้วย ปริมาณการขนส่ง ระยะทางในการขนส่ง และรูปแบบการขนส่ง

ตารางที่ 4.4 บัญชีรายการการขนส่งปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือต่อหน่วยการทำงาน

แหล่งที่มา	**ปริมาณ (ตัน)**	**ระยะทาง (กิโลเมตร)**	**อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน (ลิตร/ตัน-กิโลเมตร)**	**ปริมาณน้ำมันดีเซล (ลิตร)**
ไร่-จุดรวบรวม	4.86E-03	50	0.0503[a]	1.22E-02
จุดรวบรวม-โรงงาน	4.86E-03	885	0.0216[b]	9.29E-02
รวม				1.05E-01

หมายเหตุ: [a]คิดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของรถกระบะบรรทุก 4 ล้อ ขนาดนำหนักบรรทุกสูงสุด 7 ตัน (รูปแบบการบรรทุก: ภายใต้สภาพการทำงานหนักหรือสมบุกสมบัน)

[b]คิดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของรถกระบะบรรทุก 10 ล้อ ขนาดนำหนักบรรทุกสูงสุด 16 ตัน (รูปแบบการบรรทุก: ภายใต้สภาพการทำงานหนักหรือสมบุกสมบัน)

ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลัก คือ การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil: CPO) และการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มดิบ โดยมีรายละเอียดบัญชีรายการสารเข้า-ขาออกออกตลอดกระบวนการผลิต แสดงดังหัวข้อ 4.1.3 และ 4.1.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.3 ผลการจัดทำบัญชีรายการในขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

จากผลการเก็บรวบรวมข้อมูลของการสกัดน้ำมันปาล์มดิบของชุมนุมสหกรณ์ชาวสวนปาล์มน้ำมันกระบี่ อำเภออ่าวลึก จังหวัดกระบี่ พบว่า สามารถรองรับการผลิตได้ปีละ 250,000-280,000 ตัน ขนาดกำลังการผลิต 45 ตันทะลายปาล์มสดต่อชั่วโมง หรือประมาณ 1,000 ตันทะลายปาล์มสดต่อวัน ซึ่งรายละเอียดขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มแสดงดังนี้

ก. การตรวจรับวัตถุดิบ (Fruit Reception and Storage)

หลังจากทำการตรวจรับวัตถุดิบแล้ว ทะลายปาล์มสดจะถูกขนส่งมายังลานเท เพื่อลำเลียงทะลายปาล์มลงโบกี้ ซึ่งมีความจุ 10 ตันทะลายต่อโบกี้ จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการนึ่งต่อไป

ข. การนึ่งปาล์ม (Sterilization Station)

การนึ่งทะลายปาล์มในแต่ละครั้งจะบรรจุทะลายปาล์มในหม้อนึ่งฆ่าเชื้อที่มีความจุ 50 ตันทะลาย โดยการนึ่งใช้ไอน้ำที่สภาวะต่างๆ คือ อุณหภูมิที่ใช้ในการนึ่ง 130 – 135 องศาเซลเซียส ความดัน 30 – 45 ปอนด์ ใช้เวลาประมาณ 90 – 120 นาที และปริมาณไอน้ำที่ใช้ 270 กก./ตันทะลายปาล์มสด

ค. การนวดปาล์ม (Threshing Station)

ทะลายปาล์มที่ผ่านการนึ่งแล้วจะถูกลำเลียงเข้าเครื่องแยกผลปาล์มและทะลายออกจากกัน ทะลายปาล์มเปล่าจะถูกลำเลียงออกแล้วนำไปเป็นเชื้อเพลิงเพื่อใช้กับกระบวนการ โดยในขั้นตอนนี้จะได้ผลิตภัณฑ์และของเสียออกจากกระบวนการ

- ทะลายปาล์มเปล่า (Empty Fruit Bunches :EFB) ร้อยละ 20
- น้ำทิ้งจากผลปาล์ม ร้อยละ 10

ง. การหีบปาล์ม (Pressing Station)

การสกัดน้ำมันปาล์มในส่วนเปลือกจะใช้เครื่องสกัดแบบเกลียวอัด น้ำมันและของผสมที่มีน้ำมันอยู่จะถูกส่งไปยังหน่วยกรองแยกน้ำมัน ในส่วนของเมล็ดและเส้นใยจะถูกลำเลียงไปยังหน่วยรวบรวมเมล็ดในปาล์ม โดยในขั้นตอนนี้จะได้ผลิตภัณฑ์และของเสียออกจากกระบวนการ

- น้ำมันปาล์มดิบผสมน้ำ ร้อยละ 43
- เส้นใยและเมล็ดใน ร้อยละ 27

จ. การแยกน้ำมัน (Clarification Station)

การแยกน้ำมันจากของผสมที่มีน้ำมันอยู่ โดยจะทำการกรองแยกเส้นใยและชิ้นส่วนเล็กๆ ที่เป็นของแข็งออกจากของเหลว น้ำมันดิบที่ได้จากการกรองยังมีอนุภาคขนาดเล็กและน้ำผสมอยู่ จะถูกส่งไปยังเครื่องเหวี่ยง น้ำมันที่อยู่ส่วนบนของถังจะถูกส่งไปทำให้บริสุทธิ์ ส่วนของผสมส่วนล่างจะถูกรวบรวมไว้ในถัง Sludge และส่งไปแยกน้ำมันโดยเครื่องเหวี่ยงต่อไป โดยน้ำมันดิบที่ได้จาก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ส่วนบนของถังนำไปทำให้บริสุทธิ์โดยใช้วิธีเหวี่ยงแยก และกำจัดน้ำออกด้วยการระเหยภายใต้สุญญากาศ น้ำมันปาล์มดิบบริสุทธิ์ที่ได้จะถูกส่งไปเก็บไว้ที่หน่วยเก็บสำรองน้ำมัน ส่วน Sludge จะถูกส่งเข้าเครื่องกำจัดกรวดทราย ซึ่งใช้หลักการไฮโดรไซโคลนในการแยกอนุภาคของแข็งเป็นเม็ดทรายก่อนที่จะแยกน้ำมันออกโดยเครื่องเหวี่ยง โดยในขั้นตอนนี้จะได้ผลิตภัณฑ์และของเสียออกจากกระบวนการ คือ

- น้ำมันปาล์มดิบ (Crude Palm Oil :CPO) ร้อยละ 17
- กาก (Ash) ร้อยละ 3
- น้ำทิ้ง (Wastewater) ร้อยละ 23

ฉ. การเก็บสำรองน้ำมัน (Oil Storage Tank Station)

น้ำมันปาล์มดิบที่ได้จะถูกเก็บเพื่อรอจำหน่าย ซึ่งโรงงานมีถังเก็บความจุ 1,000 ตัน จำนวน 4 ถัง

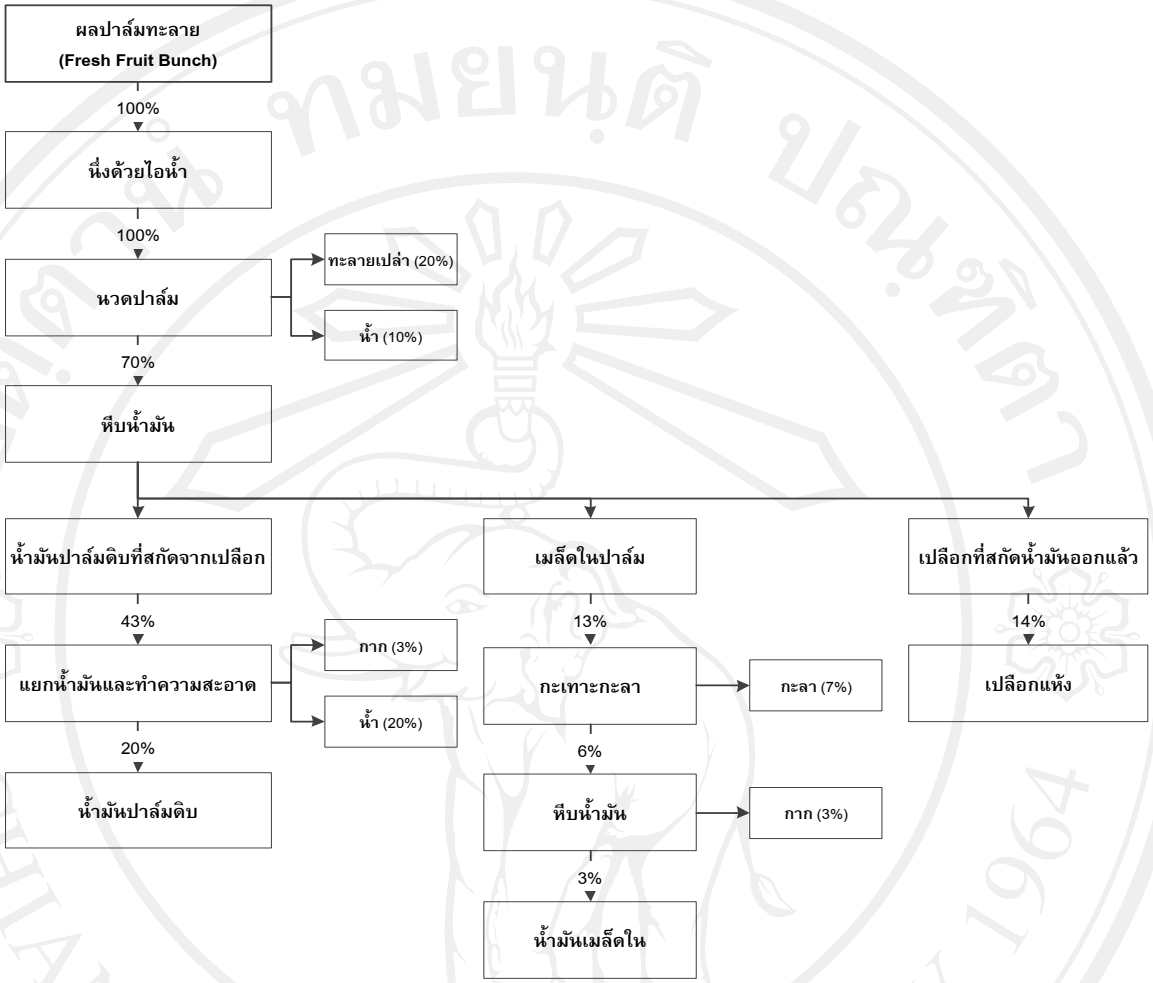
ช. การรวบรวมเมล็ดในปาล์ม (Kernel Recovery Station)

เมล็ดและเส้นใยจะถูกทำให้แห้งโดยลมร้อนแล้วแยกออกจากกันด้วยไซโคลน สำหรับเมล็ดในปาล์มที่ถูกแยกจะถูกนำไปเข้าเครื่องกะเทาะเพื่อแยกเมล็ดในและกะลาออกจากกัน เมล็ดในปาล์มจะขายให้กับโรงงานสกัดเมล็ดใน กะลาขายให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและโรงงานอื่นๆ เพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิง ส่วนเส้นใยจะนำไปเป็นเชื้อเพลิงให้กับหม้อไอน้ำ โดยในขั้นตอนนี้จะได้ผลิตภัณฑ์และของเสียออกจากกระบวนการ คือ

- กะลา (Shell) ร้อยละ 7
- เมล็ดใน (Kernel) ร้อยละ 6
- เส้นใย (Fiber) ร้อยละ 14

จากรายละเอียดขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มข้างต้นสามารถแสดงปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ในแต่ละขั้นตอน และข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้า-ออกของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มที่ทำการคำนวณสมดุลมวลและสมดุลพลังงาน เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อหน่วยการทำงานที่ศึกษา แสดงดังรูปที่ 4.3 และตารางที่ 4.5

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.3 แผนภาพแสดงองค์ประกอบผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

ตารางที่ 4.5 บัญชีรายการสารขาเข้า-ออกของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบต่อหน่วยการทำงาน

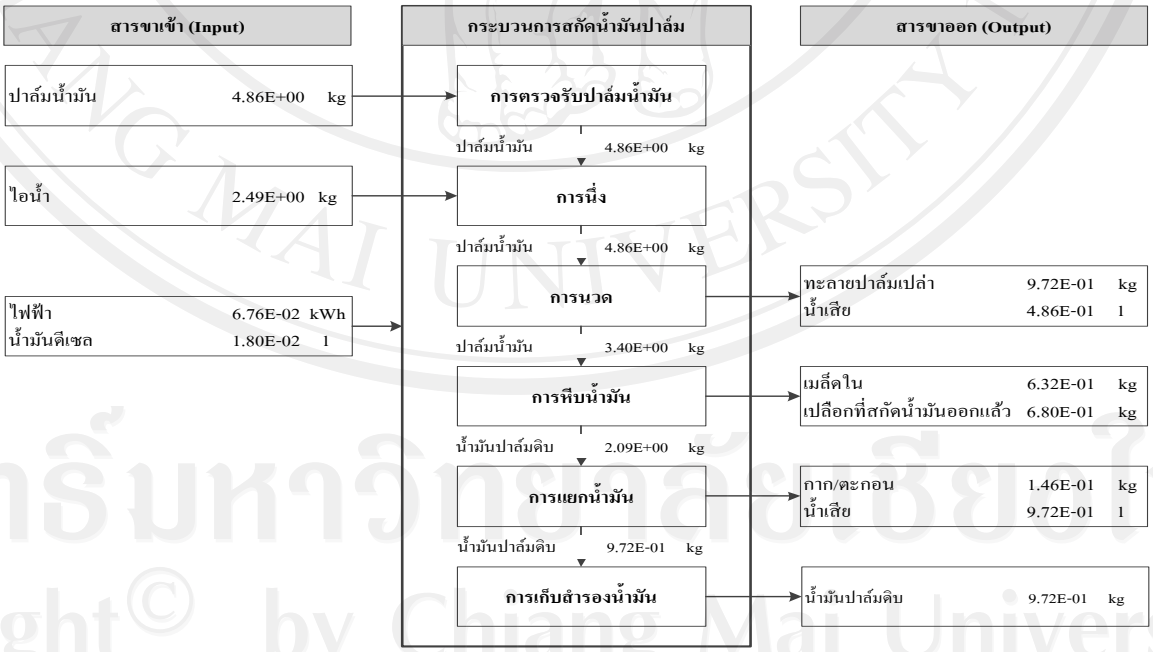
ลำดับ	สารขาเข้า-สารขาออก	ปริมาณ	หน่วย
สารขาเข้า			
1	ทะลายปาล์มสด	4.86E+00	กิโลกรัม
2	ไอน้ำ	2.49E+00	กิโลกรัม
3	ไฟฟ้า	6.76E-02	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
4	น้ำมันดีเซล	1.80E-02	ลิตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.5 บัญชีรายการสารขาเข้า-ออกของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบต่อหน่วยการทำงาน (ต่อ)

ลำดับ	สารขาเข้า-สารขาออก	ปริมาณ	หน่วย
	สารขาออก		
1	ทะลายปาล์มเปล่า (Empty bunch)	9.72E-01	กิโลกรัม
2	เมล็ดใน (Kernels)	6.32E-01	กิโลกรัม
3	กะลา (shell)	4.42E-02	กิโลกรัม
4	เส้นใย (Fibers)	6.80E-01	กิโลกรัม
5	กาก/ตะกอน (Decanter cake)	1.46E-01	กิโลกรัม
6	น้ำเสีย	1.46E+00	ลิตร
7	น้ำมันปาล์ม (CPO)	9.72E-01	กิโลกรัม

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้า-ออก สามารถแสดงรายละเอียดของข้อมูลตัวเลขเข้าสู่แต่ละขั้นตอนของกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนภาพแสดงกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มต่อหน่วยการทำงาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.4 ผลการจัดทำบัญชีรายการในขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล

ในการศึกษานี้โรงงานผลิตไบโอดีเซลจัดเป็นโรงงานต้นแบบการผลิตไบโอดีเซลในเชิงพานิชย์ มีขนาดกำลังการผลิต 10,000 ลิตรต่อวัน หรือประมาณ 3,000,000 ลิตรต่อปี (มีการเดินเครื่องจักรในการผลิต 300 วันต่อปี) ซึ่งเทคโนโลยีที่ใช้ในกระบวนการผลิตคือ กระบวนการแบบ 2 ขั้นตอน ด้วยวิธีการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน (Tranesterification process) สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนหลัก คือ การเตรียมวัตถุดิบเริ่มต้น (Pre-treatment step) การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา และการปรับแต่งให้ได้คุณภาพ (Post-treament step) ซึ่งรายละเอียดขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลแสดงดังนี้

ก. การเตรียมวัตถุดิบเริ่มต้น (Pre-treatment step)

การปรับสภาพวัตถุดิบให้เหมาะสำหรับการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งต้องปราศจากน้ำหรือมีน้ำน้อยที่สุด และมีปริมาณกรดไขมันอิสระต่ำกว่า 1% ซึ่งในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบเริ่มต้นประกอบไปด้วย การกำจัดยางเหนียว การกำจัดน้ำ และการลดกรดไขมันอิสระ

(1) การกำจัดยางเหนียว (Degumming)

ยางเหนียวที่มีอยู่ในน้ำมันปาล์มดิบเป็นสารประกอบฟอสฟาไทด์ที่มีค่ามากกว่ามาตรฐาน (10-20 ppm) จึงจำเป็นต้องกำจัดสารประกอบที่เป็นยางเหนียวออก การกำจัดยางเหนียวทำโดยการใช้กรดฟอสฟอริกเจือจาง (Phosphoric acid) (ความเข้มข้นประมาณ 10%) ในอัตราส่วน 1% โดยน้ำหนักน้ำมันปาล์มดิบ ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 90^{o}C ใช้เวลาประมาณ 0.5 ชั่วโมง เพื่อทำปฏิกิริยาเปลี่ยนฟอสฟาไทด์ชนิดไม่ละลายน้ำให้ละลายน้ำได้ จากนั้นจึงฉีดพ่นละอองน้ำจากด้านบนลงเพื่อล้างยางเหนียวและกรดให้ออกมาอยู่ในรูปเฟสน้ำ แล้วจึงปล่อยให้เฟสน้ำแยกชั้นอยู่ด้านล่างก่อนที่จะแยกเฟสน้ำออก

(2) การกำจัดน้ำ (Dewatering)

เมื่อผ่านกระบวนการกำจัดยางเหนียวจะมีน้ำเพิ่มขึ้นจำเป็นต้องกำจัดน้ำออกให้เหลือน้อยกว่า 0.15% ทำโดยการให้ความร้อนกับน้ำมันปาล์มดิบจนถึงอุณหภูมิ 80 ^{o}C และมีการกวนภายใต้สุญญากาศ จะช่วยทำให้กลายเป็นไอระเหยได้เร็วขึ้น

(3) การลดกรดไขมันอิสระ (Deacidification)

น้ำมันปาล์มดิบมีกรดไขมันอิสระประมาณ 3-5% โดยน้ำหนัก ซึ่งต้องทำการลดให้ต่ำกว่า 1% โดยการทำปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชันของกรดไขมันอิสระกับเมทานอล โดยใช้กรดซัลฟิวริกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและเมทานอล 15% โดยน้ำหนัก เกิดเป็นเมทิลเอสเตอร์และน้ำ เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ต้องการ โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65-70^{o}C ใช้เวลาประมาณ 4-6 ชั่วโมง และสามารถทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันต่อได้ทันที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข. การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันโดยใช้ด่างเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นการเปลี่ยนน้ำมันไตรกลีเซอไรด์เป็นเอสเตอร์ ปฏิกิริยานี้ต้องเตรียมสารเข้าทำปฏิกิริยาคือ เมทานอลกับด่าง ในอัตราส่วนของเมทานอล 25% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์มดิบ และด่าง 0.8-1.4% โดยน้ำหนักของน้ำมันปาล์มดิบ จากนั้นป้อนเข้าทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 65-70^{o}C ใช้เวลาประมาณ 0.5-1.0 ชั่วโมง (ในถังปฏิกรณ์) พร้อมกับกวนตลอดเวลา จากนั้นหยุดกวนปล่อยให้กลีเซอรอลแยกชั้นอยู่ก้นถัง ใช้เวลาประมาณ 1.0 ชั่วโมง จากนั้นจึงทำการแยกกลีเซอรอลออก ซึ่งเรียกว่า กลีเซอรอลดิบ ประกอบไปด้วย กลีเซอรอล ตัวเร่งปฏิกรริยา เมทานอล สบู่ น้ำและไบโอดีเซล

ในขั้นตอนการทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันจะทำปฏิกิริยา 2 ครั้ง เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์ยิ่งขึ้น โดยครั้งที่ 1 ใช้สารละลายเมทานอลกับด่าง 80% ของที่ต้องใช้ ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 1.0 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้แยกชั้น 2 วัน จากนั้นถ่ายกลีเซอรอลออก แล้วทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชันครั้งที่ 2 ใช้สารละลายเมทานอลกับด่าง 20% ที่เหลือ ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 0.5 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้แยกชั้น จากนั้นถ่ายกลีเซอรอลออกก่อนเข้าสู่กระบวนการถัดไป

ค. การปรับแต่งให้ได้คุณภาพ (Post-treament step)

ขั้นตอนนี้เป็นการกำจัดองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ต้องการให้เหลือน้อยที่สุดหรือให้ผ่านค่ามาตรฐาน ซึ่งในขั้นตอนการปรับแต่งให้ได้คุณภาพ ประกอบไปด้วย การแยกคืนเมทานอล การล้าง การฟอกสี การระเหยน้ำ การกรองอนุภาคของแข็ง

(1) การแยกคืนเมทานอล (Methanol recovery)

หลังจากแยกเฟสของกลีเซอรอลดิบออกแล้ว ไบโอดีเซลที่เหลืออยู่จะมีเมทานอลส่วนเกินที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาประมาณ 5-7% โดยน้ำหนักของไบโอดีเซล การแยกคืนทำโดยการอุ่นไบโอดีเซลให้ร้อนถึงอุณหภูมิ 60-65^{o}C พร้อมกับกวนภายใต้สุญญากาศ เพื่อดึงไอเมทานอลไปผ่านเครื่องควบแน่น เก็บเมทานอลไว้ในถัง ซึ่งกระบวนการนี้จะทำจนกว่าไม่มีเมทานอลควบแน่นออกมา ใช้เวลาประมาณ 1.5 ชั่วโมง เมทานอลเหลวที่แยกคืนได้จะมีความบริสุทธิ์สูง สามารถผสมกับเมทานอลใหม่ได้

(2) การล้าง 1 (Washing 1)

การล้างทำความสะอาดเป็นการล้างสบู่ กลีเซอรอล รวมถึงสิ่งเจือปนอื่นๆ ที่อาจเหลืออยู่ ซึ่งการล้างแต่ละครั้งใช้น้ำประมาณ 20% โดยน้ำหนักน้ำมันปาล์ม โดยฉีดพ่นละอองน้ำจากด้านบนเพื่อให้ชะสิ่งปนเปื้อนลงสู่ด้านล่าง หลังจากนั้นจึงถ่ายออก และเริ่มล้างครั้งต่อไป จำนวนการล้างทั้งหมดประมาณ 3 ครั้ง ซึ่งในการล้างที่เหมาะสมใช้อุณหภูมิ 40-50^{o}C

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(3) การฟอกสี (Bleaching)

เนื่องจากไบโอดีเซลที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มดิบมีสีส้มแดง จึงจำเป็นต้องผ่านการฟอกสี โดยการใช้ดินฟอกสีเป็นตัวดูดซับเพื่อให้สีจางลง การฟอกสีจะทำที่อุณหภูมิ 120-130°C ปริมาณประมาณ 1-2% โดยน้ำหนักของไบโอดีเซล และใช้เวลาประมาณ 1.5-2.0 ชั่วโมง จึงกรองดินฟอกสีด้วยเครื่องกรองแบบแผ่น (Filter press) พร้อมสำหรับการล้างในขั้นตอนถัดไป

(4) การล้าง 2 (Washing 2)

การล้างครั้งนี้เป็นการล้างดินฟอกสีบางส่วนที่ปนเปื้อนอยู่ในไบโอดีเซล จะใช้น้ำในปริมาณ 10% โดยน้ำหนักของไบโอดีเซล โดยฉีดพ่นละอองน้ำจากด้านบนเพื่อให้ชะสิ่งปนเปื้อนลงสู่ด้านล่าง หลังจากนั้นจึงถ่ายออก และเริ่มล้างครั้งต่อไป จำนวนการล้างทั้งหมดประมาณ 2 ครั้ง ซึ่งในการล้างที่เหมาะสมใช้อุณหภูมิ 40-50°C

(5) การระเหยน้ำ (Drying)

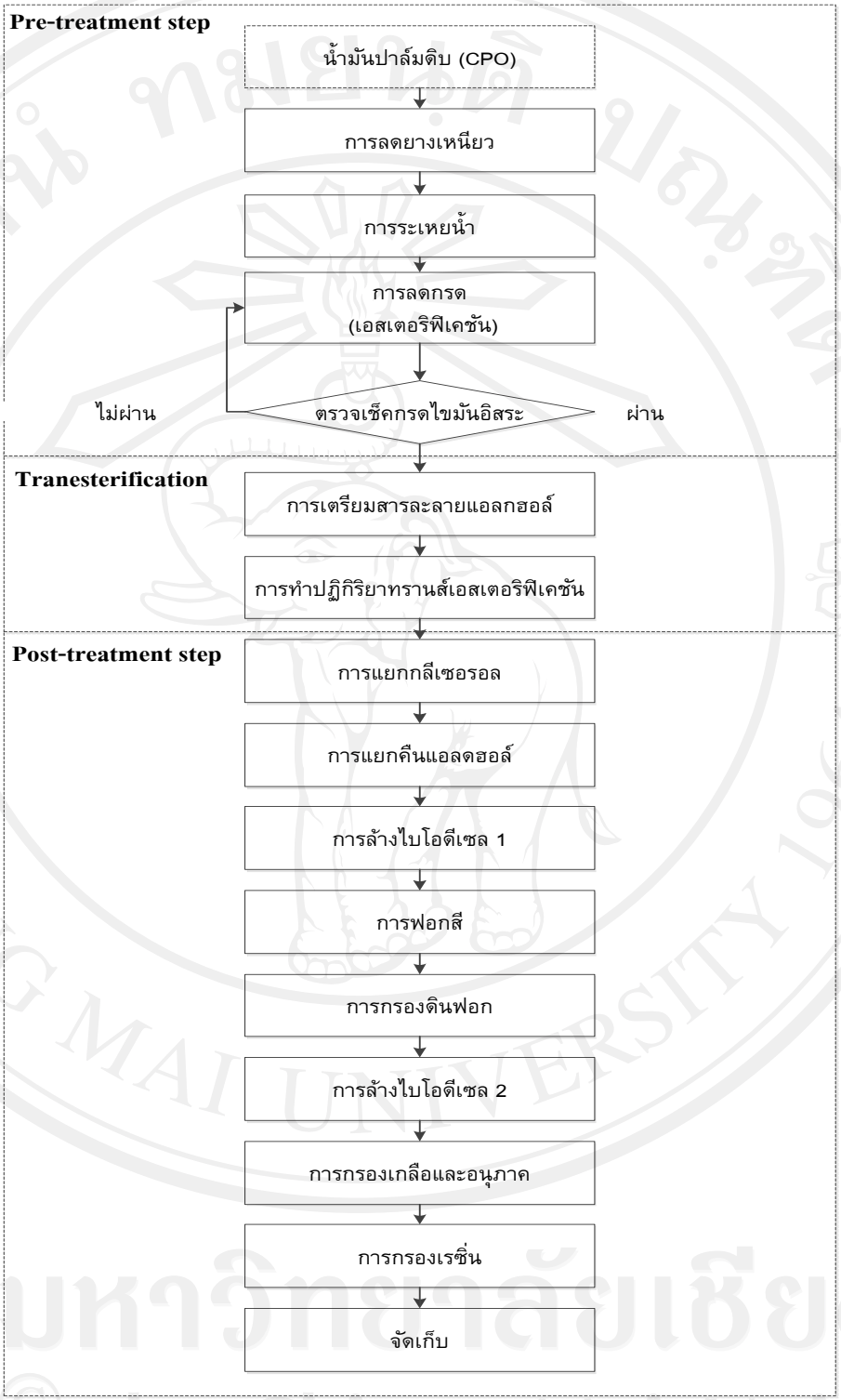
หลังจากการล้าง 2 แล้ว ไบโอดีเซลจะเริ่มอิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งไม่สามารถปล่อยทิ้งไว้ให้แยกชั้นได้อีก จะมีค่าอยู่ประมาณ 0.5% (ค่ามาตรฐานกำหนดให้มีน้ำไม่เกิน 0.05%) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกำจัดน้ำออก ซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การระเหย และการดูดซับน้ำด้วยเกลือเม็ด ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการระเหยน้ำด้วยการดูดซับน้ำด้วยเม็ดเกลือ กระทำโดยนำไบโอดีเซลที่มีอุณหภูมิ 40-50°C ไปผ่านถังกรองเกลือ ซึ่งเป็นเกลือแกงชนิดเม็ด เพื่อให้เกลือดูดซับน้ำออกจากไบโอดีเซล เมื่อเกลือดูดซับน้ำแล้วจะละลายเป็นน้ำเกลือเข้มข้นอยู่ก้นถัง

(6) การกรองอนุภาคของแข็ง (Particle filtration)

หลังจากกำจัดน้ำออกจากไบโอดีเซลแล้ว ก่อนนำไปใช้จะต้องผ่านการกรองอนุภาคเพื่อกำจัดของแข็งและอนุภาคปนเปื้อนที่มีขนาดใหญ่กว่า 10 ไมครอน โดยใช้เครื่องกรองแบบถุงผ้า (Bag filter) หรืออาจใช้เครื่องกรองชนิดอื่น แต่ต้องกำจัดอนุภาคที่มีขนาดมากกว่า 10 ไมครอน ได้หมด

จากรายละเอียดขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลข้างต้นสามารถแสดงไดอะแกรมสรุปขั้นตอนของการผลิตไบโอดีเซลที่ใช้น้ำมันปาล์มดิบเป็นวัตถุดิบพร้อมระบบฟอกสี แสดงดังรูปที่ 4.5 และข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้า-ออกของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลที่ทำการคำนวณสมดุลมวลและสมดุลพลังงาน เพื่อนำไปวิเคราะห์ผลต่อหน่วยการทำงานที่ศึกษา แสดงตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.5 แผนภาพแสดงขั้นตอนของกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

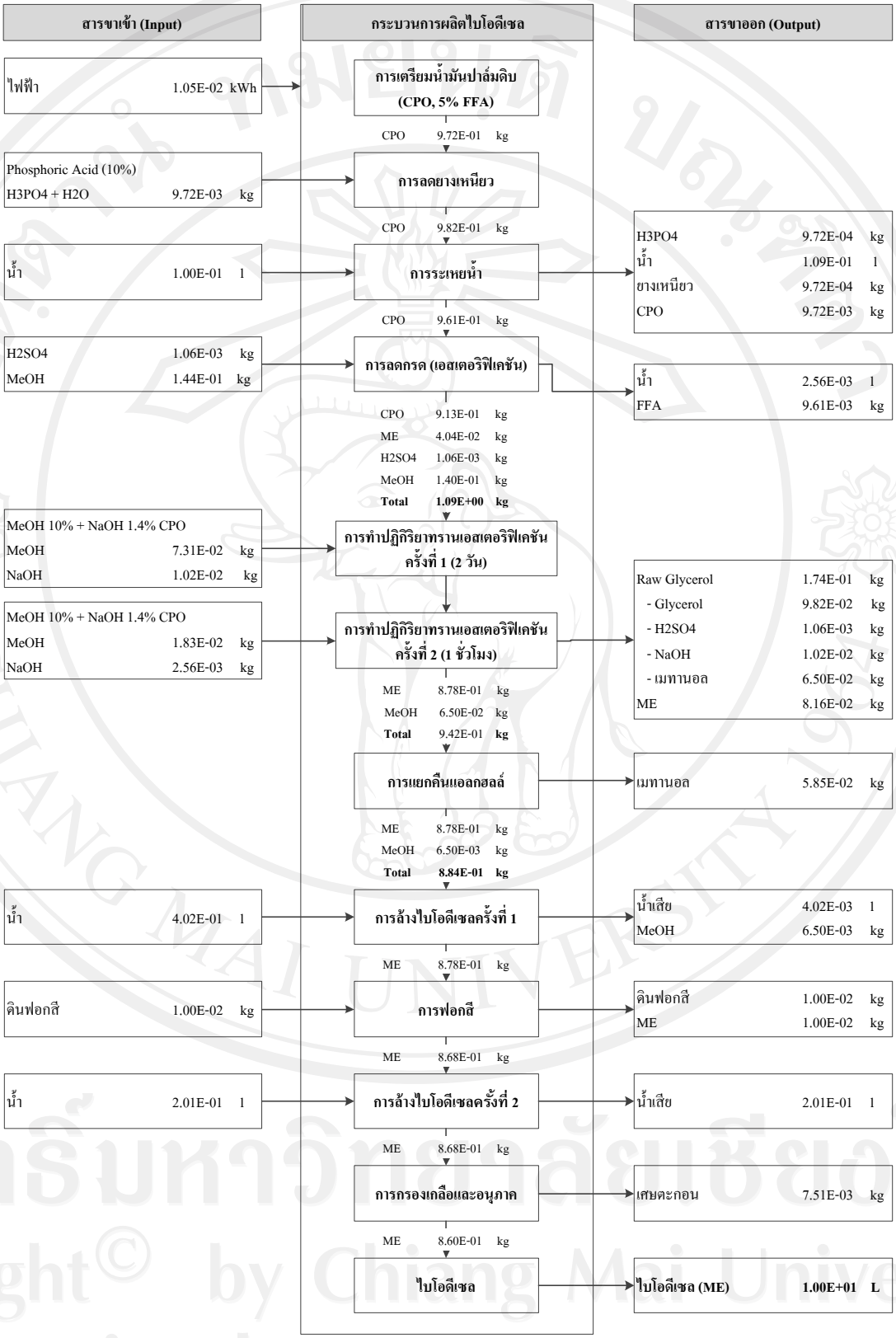
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.6 บัญชีรายการสารขาเข้า-ออกของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลต่อหน่วยการทำงาน

ลำดับ	สารขาเข้า-สารขาออก	ปริมาณ	หน่วย
สารขาเข้า			
1	กรดฟอสฟอริก ($H_3PO_4 + H_2O$)	9.72E-03	กิโลกรัม
2	น้ำ	7.03E-01	ลิตร
3	กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)	1.06E-03	กิโลกรัม
4	เมทานอล (MeOH)	2.36E-01	กิโลกรัม
5	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	1.28E-02	กิโลกรัม
6	ดินฟอกสี (Bleaching Earth)	1.00E-02	กิโลกรัม
7	ไฟฟ้า	1.05E-02	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
8	น้ำมันปาล์มดิบ	9.72E-01	กิโลกรัม
สารขาออก			
1	ยางเหนียว	9.72E-04	กิโลกรัม
2	กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4)	9.72E-04	กิโลกรัม
3	น้ำ	7.14E-01	ลิตร
4	กรดไขมันอิสระ (FFA)	9.61E-03	กิโลกรัม
5	กลีเซอรอล (Glycerol)	9.82E-02	กิโลกรัม
6	โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	1.02E-02	กิโลกรัม
7	เมทานอล (MeOH)	1.30E-01	กิโลกรัม
8	กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4)	1.06E-03	กิโลกรัม
9	ดินฟอกสี (Bleaching Earth)	1.00E-02	กิโลกรัม
10	เมทิลเอสเตอร์ (ME)	9.16E-02	กิโลกรัม
11	น้ำมันปาล์มดิบ (CPO)	9.72E-03	กิโลกรัม
12	เศษกากตะกอน	7.51E-03	กิโลกรัม
13	ไบโอดีเซล	8.60E-01	กิโลกรัม

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลบัญชีรายการสารขาเข้า-ออก สามารถแสดงรายละเอียดของข้อมูลตัวเลขเข้าสู่แต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิตไบโอดีเซล แสดงดังรูปที่ 4.6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

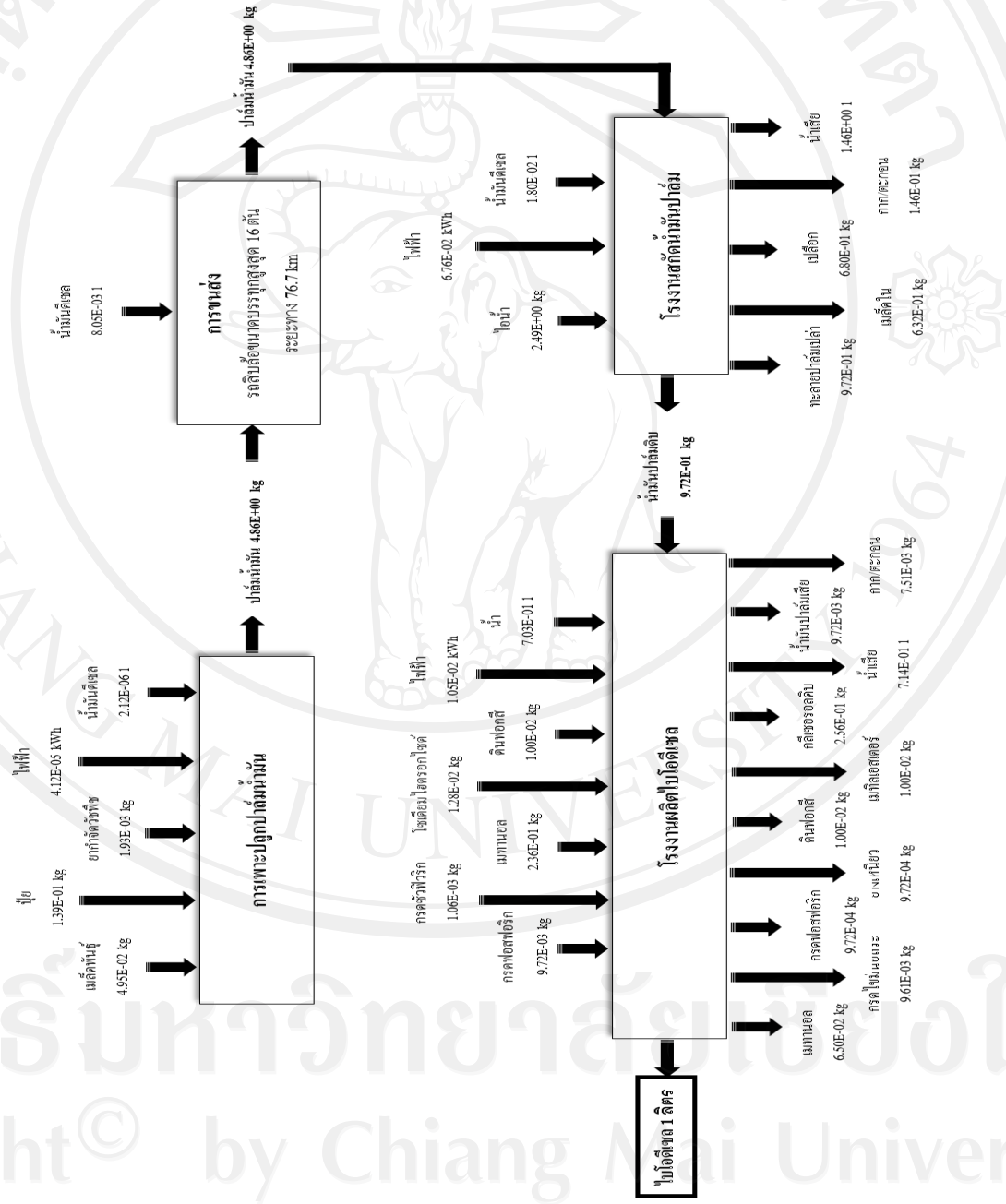


หมายเหตุ: ค่าความหนาแน่นของไบโอดีเซลตามมาตรฐาน ASTM D 1298 ที่อุณหภูมิควบคุม 15°C มีค่าเท่ากับ 0.86 g/ml

รูปที่ 4.6 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตไบโอดีเซลต่อหน่วยการทำงาน (ไบโอดีเซล 1 ลิตร)

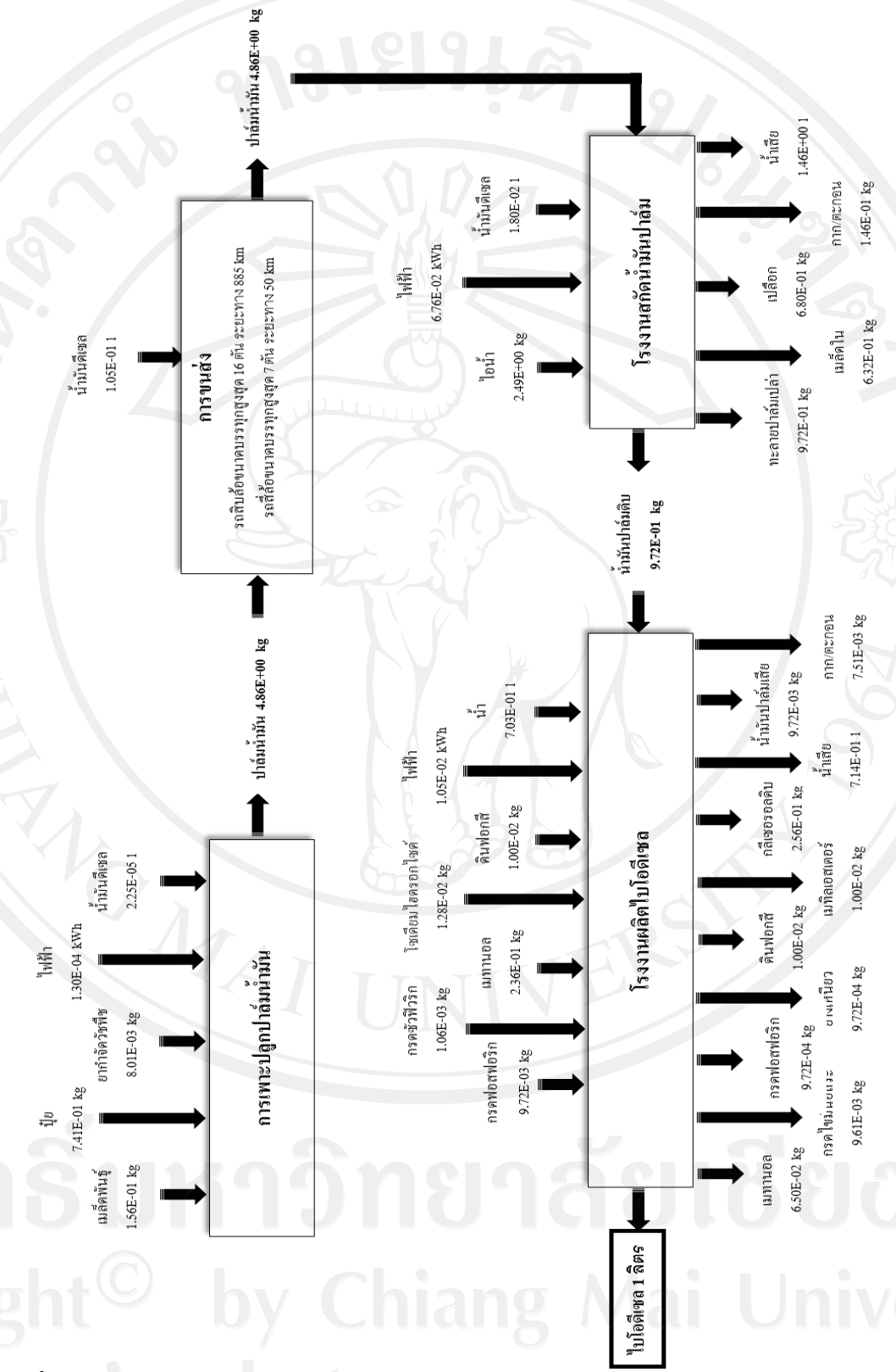
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากขั้นตอนต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร จากวัตถุดิบปาล์มน้ำมัน โดยครอบคลุมการพิจารณาตั้งแต่กระบวนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน กระบวนการการขนส่ง (วัตถุดิบจากแหล่งเพาะปลูกไปยังโรงงาน) กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ และกระบวนการผลิตไบโอดีเซล สามารถสรุปปริมาณสารขาเข้า-ขาออกในขั้นตอนต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิต แสดงดังภาพที่ 4.7-4.8



รูปที่ 4.7 แผนภาพแสดงปริมาณสารขาเข้า-ขาออกตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร โดยใช้วัตถุดิบปาล์มน้ำมันจากพื้นที่ภาคใต้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.8 แผนภาพแสดงปริมาณสารขาเข้า-ขาออกตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร โดยใช้วัตถุดิบปาล์มน้ำมันจากพื้นที่ภาคเหนือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 ผลการวิเคราะห์เอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์ (Energy Footprint: EF)

การวิเคราะห์เอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์ เป็นการพิจารณาการใช้พลังงานสุทธิที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิต โดยครอบคลุมการพิจารณาตั้งแต่กระบวนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน กระบวนการการขนส่ง (วัตถุดิบจากแหล่งเพาะปลูกไปยังโรงงาน) กระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ และกระบวนการผลิตไบโอดีเซล โดยผลการศึกษาการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร จากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันที่มาจากพื้นที่ภาคใต้และพื้นที่ภาคเหนือ แสดงดังรูปที่ 4.9-4.15

4.2.1 ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในขั้นตอนการเพาะปลูก

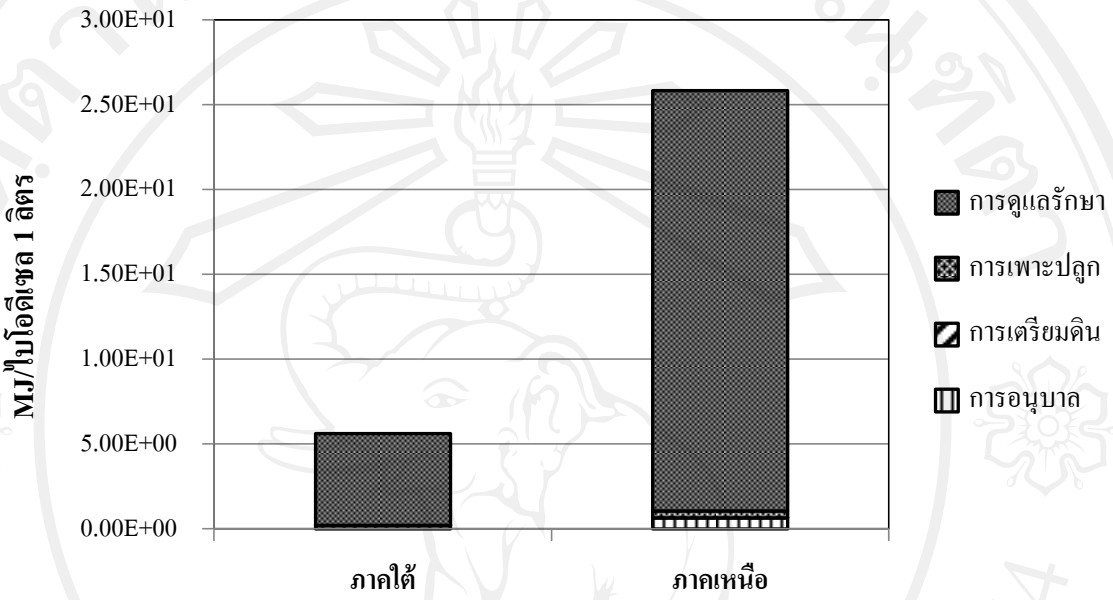
การใช้พลังงานในการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อผลิตไบโอดีเซล จะมีการวิเคราะห์พลังงานในรูปแบบต่างๆ ที่ใช้ในการเพาะปลูก ได้แก่ พลังงานจากเชื้อเพลิง ปุ๋ย ยากำจัดวัชพืช เป็นต้น โดยการวิเคราะห์พลังงานจะวิเคราะห์การใช้พลังงานให้อยู่ในรูปจากพลังงานปฐมภูมิที่ใช้ในการผลิตปัจจัยต่างๆ ต่อหน่วย

จากรูปที่ 4.1 และ 4.2 แสดงปริมาณการใช้พลังงานในขั้นตอนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้และภาคเหนือต่อหน่วยการทำงาน มีการใช้พลังงานในทำนองเดียวกันคือ มีการใช้พลังงานในรูปของปุ๋ย ซึ่งถูกใช้ในช่วงการอนุบาลต้นกล้าปาล์มและการบำรุงดูแลในการเพาะปลูก มีการใช้พลังงานในรูปของยากำจัดวัชพืชในการบำรุงดูแล มีการใช้พลังงานในรูปของไฟฟ้าในส่วนของการให้น้ำระยะอนุบาล ซึ่งระยะนี้จะมีความสำคัญมาก เนื่องจากต้นกล้าปาล์มยังเล็กจะต้องการความชื้นอย่างเพียงพอต่อการเจริญเติบโต ถ้าขาดน้ำทำให้การเจริญเติบโตช้า มีรูปร่างผิดปกติ ปกติต้องให้น้ำอย่างน้อยวันละ 2 ครั้ง (เช้า-เย็น) ปริมาณน้ำ 3.0–3.5 ลิตร/ต้น/วัน ผ่านระบบการให้น้ำแบบสปริงเกอร์ที่มีการปั๊มน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติ รวมถึงมีการใช้พลังงานในรูปของน้ำมันเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) เพื่อใช้ในรถแทรกเตอร์ในการเตรียมดินและไถกำจัดวัชพืช

ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้และภาคเหนือจำแนกตามขั้นตอนการเพาะปลูกต่อหน่วยการทำงาน พบว่า การใช้พลังงานในการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้และภาคเหนือเพื่อผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร มีผลในทำนองเดียวกันโดยขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดคือ ขั้นตอนการดูแลรักษา คิดเป็นร้อยละ 96.06 และ 95.85 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน ตามลำดับ ซึ่งในขั้นตอนการดูแลรักษาพลังงานส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของปุ๋ยและสารเคมีที่ใช้ เนื่องจากปริมาณการใช้และในกระบวนการผลิตปุ๋ยมีการใช้พลังงานสูง ส่วนขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานสูงสุดรองลงมาคือ ขั้นตอนของการอนุบาลต้นกล้าปาล์ม โดยในขั้นตอนนี้พลังงานส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของปุ๋ยที่ใช้เช่นกัน เนื่องจากขั้นตอนการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อนุบาลเป็นขั้นตอนที่มีระยะเวลาการอนุบาลยาวนาน (14 เดือน) จำเป็นต้องมีการให้ปุ๋ยอย่างเพียงพอต่อความต้องการในการเจริญเติบโตของกล้า แสดงดังรูปที่ 4.9



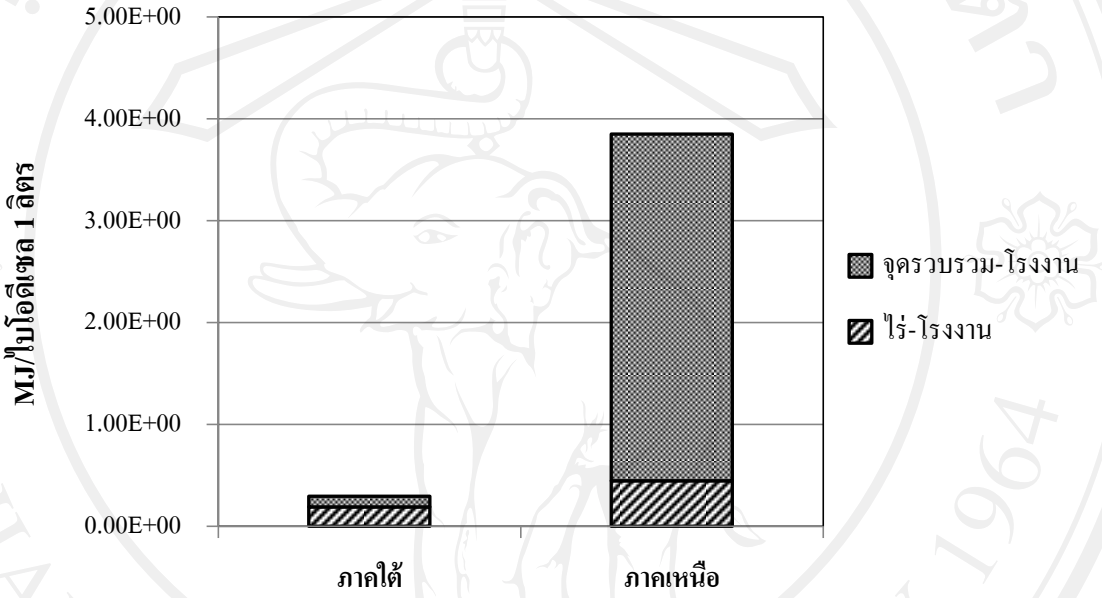
รูปที่ 4.9 ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันเพื่อผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร

เมื่อทำการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้และภาคเหนือเพื่อผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร พบว่า การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือมีการใช้พลังงานมากกว่าการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้ โดยสาเหตุหลักมาจากการใช้ปุ๋ยและยากำจัดวัชพืช โดยการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือมีพลังงานจากการใช้ปุ๋ยและยากำจัดวัชพืชในปริมาณ 21.10 และ 3.64 เมกะจูล/ลิตร ตามลำดับ ในขณะที่พื้นที่ภาคใต้มีพลังงานจากการใช้ปุ๋ยและยากำจัดวัชพืชในปริมาณ 4.53 และ 0.89 เมกะจูล/ลิตร ตามลำดับ (ภาคผนวก ค) และอีกสาเหตุคือ การปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือ 1 ไร่ เพื่อผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร ได้จากผลผลิตปาล์มน้ำมัน 0.87 ตัน ส่วนการปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้ 1 ไร่ เพื่อผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร ได้จากผลผลิตปาล์มน้ำมัน 2.75 ตัน ดังนั้นจึงทำให้ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือจึงมากกว่าการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.2 ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในขั้นตอนการขนส่ง

การขนส่งวัตถุดิบต้องมีการใช้พลังงานในรูปเชื้อเพลิงยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง โดยการขนส่งจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ การขนส่งจากแหล่งเพาะปลูกไปยังจุดรวบรวม และการขนส่งจากจุดรวบรวมไปยังโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันดิบ โดยพลังงานที่ใช้ในการขนส่งวัตถุดิบเพื่อผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร แสดงดังรูปที่ 4.10



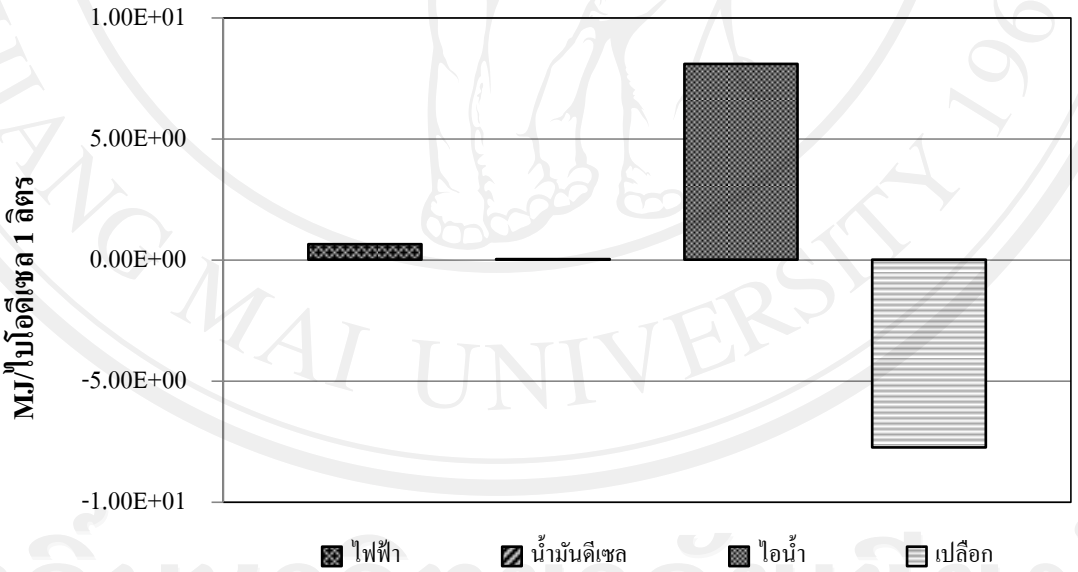
รูปที่ 4.10 ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการขนส่งวัตถุดิบเพื่อผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร

จากพลังงานที่ใช้ในการขนส่งวัตถุดิบเพื่อผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร พบว่า พลังงานที่ใช้ในการขนส่งวัตถุดิบจากพื้นที่ภาคเหนือมีการใช้พลังงานมากกว่าการขนส่งวัตถุดิบจากพื้นที่ภาคใต้ 3.85 และ 0.30 เมกะจูล/ลิตร ตามลำดับ เนื่องจากพื้นที่ภาคเหนือมีการขนส่งวัตถุดิบปาล์มน้ำมันจากไร่ไปถึงโรงงานสกัดปาล์มน้ำมันมีระยะทาง 935 กิโลเมตร/4.86 กิโลกรัม/1 เที่ยว ในขณะที่การขนส่งวัตถุดิบปาล์มน้ำมันจากพื้นที่ภาคใต้มีระยะทาง 76.7 กิโลเมตร/4.86 กิโลกรัม/1 เที่ยว จึงเป็นสาเหตุทำให้การใช้วัตถุดิบปาล์มน้ำมันจากพื้นที่ภาคเหนือมีปริมาณการใช้พลังงานในการขนส่งสูงที่สุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2.3 ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ

การผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน เริ่มจากการสกัดปาล์มน้ำมันให้อยู่ในรูปน้ำมันปาล์มดิบก่อนดังที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.1 โดยกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีผลิตภัณฑ์ร่วมในกระบวนการเกิดขึ้น โดยเมล็ดในปาล์มที่ถูกแยกจะถูกนำไปเข้าเครื่องกะเทาะเพื่อแยกเมล็ดในและกะลาออกจากกัน ซึ่งเมล็ดในปาล์มจะขายให้กับโรงงานสกัดเมล็ดใน กะลาขายให้กับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและโรงงานอื่นๆ เพื่อนำไปเป็นเชื้อเพลิง ส่วนทะลายเปล่าและกากหรือตะกอนนำไปทำปุ๋ยเพื่อเป็นวัสดุปรับปรุงดิน ซึ่งพลังงานส่วนนี้จะไม่พิจารณาในส่วนของพลังงานที่ใช้ในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ เนื่องจากไม่มีการใช้พลังงานปฐมภูมิในกระบวนการผลิต แต่จะถูกนำไปคิดเป็นผลที่ได้จากกระบวนการ นอกจากนี้ยังมีพลังงานไอน้ำและพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการนำเอาเปลือกไปเป็นเชื้อเพลิง และส่วนที่เหลือจากการใช้ภายในโรงงานก็ยังขายไปสู่ภายนอกโรงงาน ซึ่งพลังงานส่วนนี้จะพิจารณาเป็นค่าติดลบ เนื่องด้วยพลังงานส่วนนี้เปรียบได้ว่าสมารถลดพลังงานปฐมภูมิได้ ดังนั้นค่าพลังงานที่ใช้ในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบจึงพิจารณาเฉพาะพลังงานที่ใช้ในการผลิตเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบเพื่อผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร

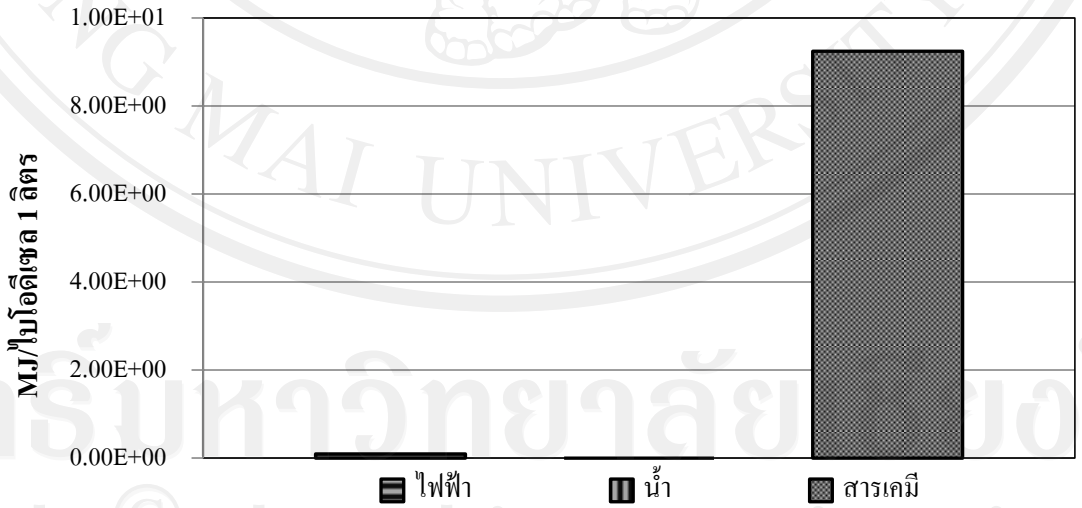
พลังงานที่ใช้ในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบเพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร พบว่าพลังงานรวมที่ใช้ในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีค่าเป็นบวก หรืออาจกล่าวได้ว่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า น้ำมันดีเซล และไอน้ำมีค่ามากกว่าพลังงานไอน้ำและพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการนำเอา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เปลือกไปเป็นเชื้อเพลิง เนื่องด้วยในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบมีการใช้ไอน้ำปริมาณ 2.49 กิโลกรัม ซึ่งคิดเป็นค่าพลังงาน 8.09 เมกะจูล/ลิตร หรือร้อยละ 92.61 ของพลังงานที่ใช้ในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ (ไม่รวมพลังงานไอน้ำและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตใช้เอง) มีการใช้ไฟฟ้าปริมาณ 7.35 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งคิดเป็นค่าพลังงาน 0.64 เมกะจูล/ลิตร หรือร้อยละ 7.35 ของพลังงานที่ใช้ในการสกัดน้ำมันปาล์มดิบ และในส่วนของปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลมีเพียงร้อยละ 0.04 ซึ่งปริมาณในส่วนนี้ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ของเครื่องจักร ส่วนพลังงานที่ผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการที่ได้จากการนำเอาเปลือกไปเป็นเชื้อเพลิง คิดเป็นค่าพลังงาน -7.76 เมกะจูล/ไบโอดีเซล 1 ลิตร ดังนั้นจึงทำให้พลังงานรวมมีค่าเท่ากับ 8.74 เมกะจูล/ไบโอดีเซล 1 ลิตร

4.2.4 ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล

จากขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลจากน้ำมันปาล์มประกอบไปด้วย การเตรียมน้ำมันปาล์มดิบ การลดยางเหนียว การกำจัดน้ำหรือการระเหยน้ำ การลดกรด (เอสเตอริฟิเคชัน) การทำปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชัน การแยกคืนเมทานอล การล้างไบโอดีเซล การฟอกสี และการกรองเกลือและอนุภาค พบว่า ในการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร มีการใช้พลังงานปฐมภูมิในรูปของน้ำประปา สารเคมี (ได้แก่ กรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เมทานอล (MeOH) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)) และพลังงานไฟฟ้า ซึ่งค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล แสดงดังรูปที่ 4.12



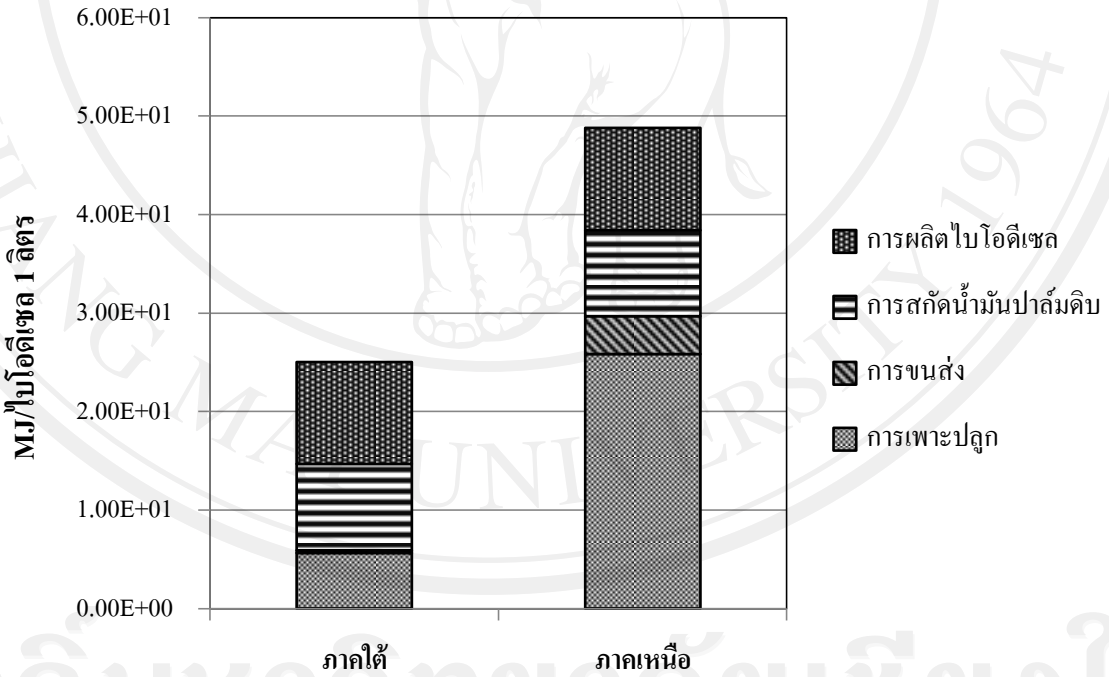
รูปที่ 4.12 ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน พบว่า ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของพลังงานจากสารเคมี คิดเป็นค่าพลังงาน 9.24 เมกะจูล/ลิตร หรือร้อยละ 98.79 ของพลังงานที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล รองลงมาคือ ไฟฟ้าและน้ำ ตามลำดับ คิดเป็นร้อยละ 1.06 และร้อยละ 0.15 ตามลำดับ ซึ่งค่าพลังงานสูงสุดที่เกิดจากการใช้พลังงานจากสารเคมี มาจากการใช้เมทานอล (MeOH) ถึง 8.97 เมกะจูล/ลิตร โดยถูกใช้ในขั้นตอนของการลดกรด (เอสเตอริฟิเคชัน) และการทำปฏิกิริยาทรานเอสเตอริฟิเคชัน

4.2.5 ผลการวิเคราะห์เอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน (หน่วยการทำงาน: ไบโอดีเซล 1 ลิตร)

การวิเคราะห์การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร จากวัตถุดิบปาล์มน้ำมัน แสดงผลการใช้พลังงานรวมตลอดวัฏจักรชีวิตดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ปริมาณพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร จากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้และภาคเหนือ

จากรูปที่ 4.13 แสดงพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร จากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้และภาคเหนือ พบว่า การใช้พลังงานสูงสุดของการผลิตไบโอ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดีเซล 1 ลิตร จากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้มาจากขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล คิดเป็นร้อยละ 38.97 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล ส่วนขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มดิบเพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันมีการใช้พลังงานสูงรองจากขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซล คิดเป็นร้อยละ 36.39 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด ส่วนขั้นตอนการเพาะปลูกเพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันมีการใช้พลังงานสูงรองจากขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลและการสกัดน้ำปาล์มดิบ คิดเป็นร้อยละ 23.42 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด และขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุดคือ ขั้นตอนการขนส่ง มีการใช้พลังงาน คิดเป็นร้อยละ 1.23 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด

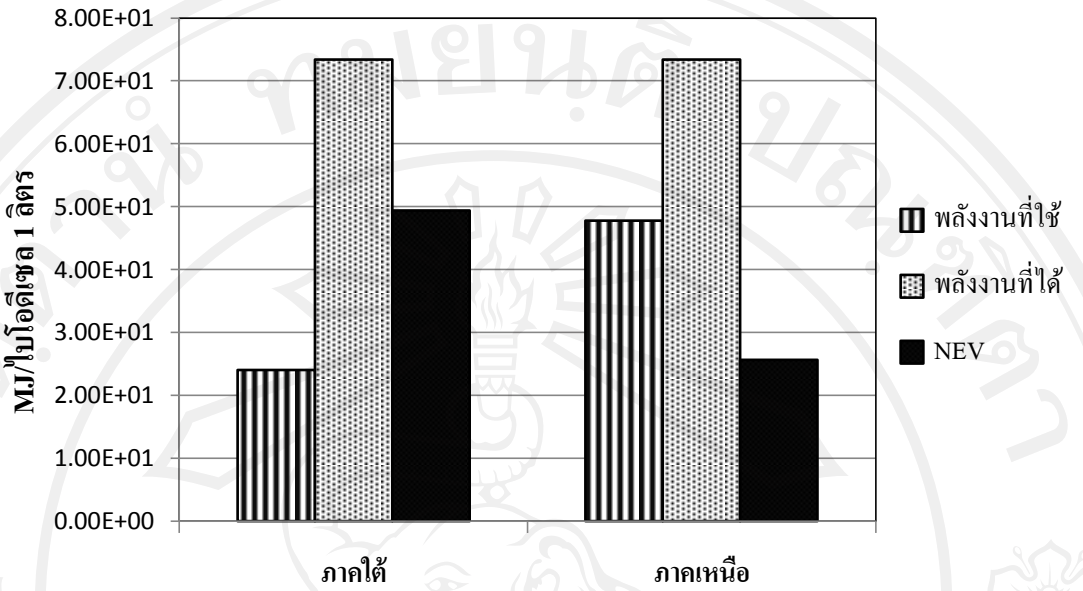
แต่การใช้พลังงานของการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร จากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือ พบว่า การใช้พลังงานสูงสุดมาจากขั้นตอนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน คิดเป็นร้อยละ 54.05 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด ส่วนขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลและการสกัดน้ำมันปาล์มดิบเพื่อใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันมีการใช้พลังงานสูงรองจากขั้นตอนการเพาะปลูก คิดเป็นร้อยละ 19.59 และ 18.29 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด ตามลำดับ และขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุดคือ ขั้นตอนการขนส่ง มีการใช้พลังงาน คิดเป็นร้อยละ 8.07 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด

โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร จากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้และภาคเหนือ พบว่า การใช้วัตถุดิบปาล์มน้ำมันจากพื้นที่ภาคเหนือมาผลิตไบโอดีเซล มีการใช้พลังงานมากกว่าการใช้วัตถุดิบปาล์มน้ำมันจากพื้นที่ภาคใต้ เนื่องด้วยการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือมีการใช้ปุ๋ยและยากำจัดวัชพืชในปริมาณมาก เพราะเนื่องมาจากความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมันในพื้นที่ในพื้นที่เพาะปลูกมีปริมาณสูง และอีกสาเหตุคือ การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือ 1 ไร่ ได้ผลผลิตปาล์มน้ำมันที่ต่ำกว่า จึงส่งผลให้ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือมีค่าสูงกว่าการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้

4.2.6 ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงพลังงานของการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน (หน่วยการทำงาน: ไบโอดีเซล 1 ลิตร)

การเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร กับพลังงานที่ได้จากไบโอดีเซล 1 ลิตร เพื่อศึกษาประสิทธิภาพเชิงพลังงานในรูปของค่าพลังงานสุทธิ (Net Energy Value) แสดงผลการวิเคราะห์ดังรูปที่ 4.14

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

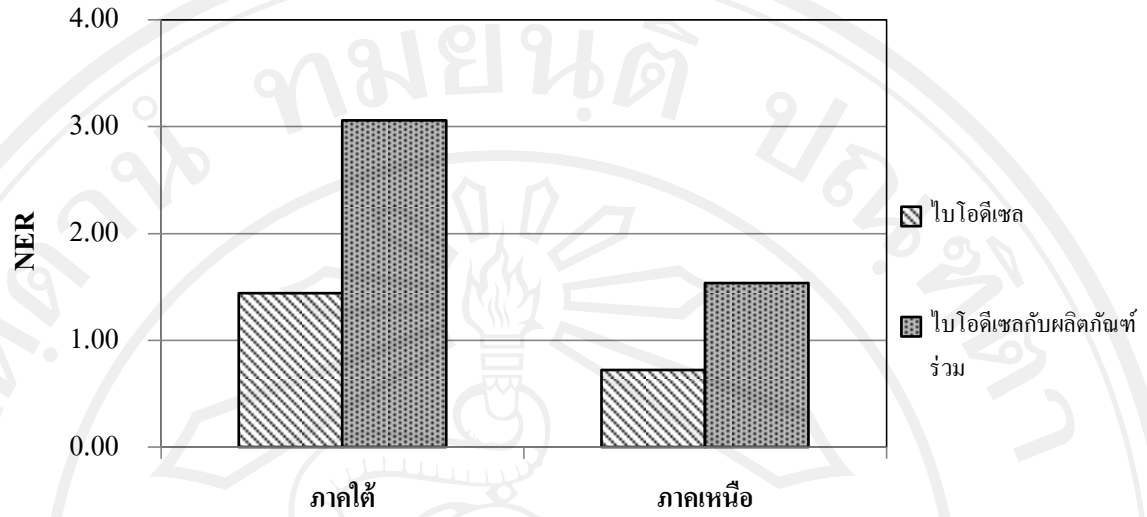


รูปที่ 4.14 ปริมาณพลังงานสุทธิตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้และภาคเหนือ

จากรูปที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร ซึ่งรายละเอียดดังรูปที่ 4.13 กับพลังงานที่ได้ (คิดพลังงานที่ได้จากไบโอดีเซลกับผลิตภัณฑ์ร่วม) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 73.41 เมกะจูล/ลิตร (โดยวัดจากค่าพลังงานความร้อนต่ำ (Low Heating Value: LHV)) ดังนั้นผลการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างพลังงานที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซลกับพลังงานที่ได้จากไบโอดีเซล พบว่า การใช้วัตถุดิบปาล์มน้ำมันจากพื้นที่ภาคใต้ในการผลิตไบโอดีเซลมีค่าพลังงานสุทธิสูงสุดเท่ากับ 49.42 เมกะจูล/ลิตร ส่วนการใช้วัตถุดิบปาล์มน้ำมันจากพื้นที่ภาคเหนือในการผลิตไบโอดีเซลมีค่าพลังงานสุทธิเท่ากับ 25.66 เมกะจูล/ลิตร เนื่องจากการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือมีการใช้ปุ๋ยและยากำจัดวัชพืชในปริมาณมาก เพราะเนื่องมาจากความต้องการธาตุอาหารของปาล์มน้ำมันในพื้นที่ในพื้นที่เพาะปลูกมีปริมาณสูง และอีกสาเหตุคือ การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือ 1 ไร่ ได้ปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันต่ำกว่า

นอกจากนั้นในงานวิจัยนี้ยังทำการศึกษาถึงความคุ้มค่าทางด้านพลังงาน โดยพิจารณาอัตราส่วนพลังงานของไบโอดีเซลที่ผลิตได้ 1 ลิตร แสดงดังรูปที่ 4.15

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.15 อัตราส่วนพลังงานสุทธิตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้และภาคเหนือ

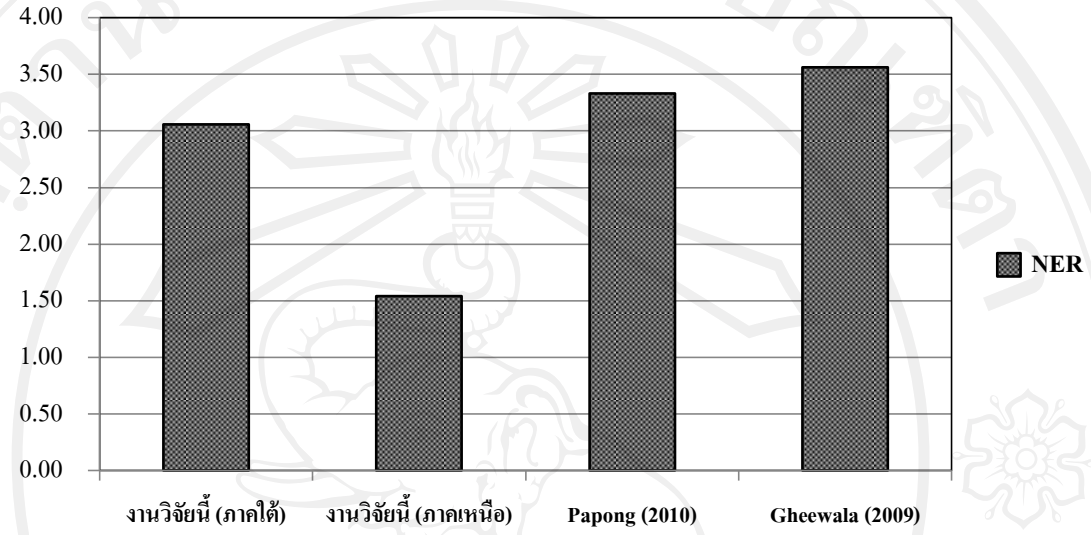
พลังงานที่ได้ของการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร จากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้และภาคเหนือจะแตกต่างกันตามวิธีการเพาะปลูกและปริมาณสารเคมีที่ใช้ จะเห็นได้ว่า อัตราส่วนพลังงานสุทธิของวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้มีค่ามากว่าอัตราส่วนพลังงานสุทธิของวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือ ทั้งในกรณีที่คิดจากไบโอดีเซลเพียงอย่างเดียวและคิดรวมไบโอดีเซลที่มีผลิตภัณฑ์ร่วม และค่าอัตราส่วนพลังงานสุทธิมีค่ามากกว่า 1 แสดงว่า ปริมาณพลังงานที่ใช้ไปในการผลิตมีค่าต่ำกว่าปริมาณพลังงานที่ได้จากไบโอดีเซล 1 ลิตร ดังนั้นการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้จึงมีความคุ้มค่าที่จะลงทุนมากกว่าการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือ

4.2.7 ผลการเปรียบเทียบค่าเอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์ของการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาประสิทธิภาพเชิงพลังงานในรูปของอัตราส่วนพลังงานของการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันในประเทศไทยมีการศึกษาบ้างแล้ว ซึ่งการศึกษาแต่ละงานวิจัยมีขอบเขตการศึกษาและผลการวิจัยที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นการเปรียบเทียบผลการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้จึงกำหนดขอบเขตการพิจารณาพลังงานที่ใช้ในส่วนต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร โดยเปรียบเทียบผลการศึกษาในรูปของอัตราส่วนพลังงาน (Net Energy

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Ratio) หรืออัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ได้จากไบโอดีเซลกับพลังงานที่ใช้ในการผลิตไบโอดีเซล แสดงผลการเปรียบเทียบการศึกษาดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบอัตราส่วนพลังงานของการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันร่วมกับผลิตภัณฑ์ร่วม

จากรูปที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบอัตราส่วนพลังงานของการผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันของงานวิจัยต่างๆ กับงานวิจัยนี้ พบว่า การศึกษาของงานวิจัยนี้มีค่าประสิทธิภาพเชิงพลังงานต่ำกว่า ซึ่งมีผลขัดแย้งกับงานวิจัยอื่นๆ เนื่องด้วยการศึกษาของ Papong (2010) และ Gheewala (2009) ไม่ได้มีการคิดการใช้พลังงานในส่วนของน้ำและไอน้ำสำหรับไบโอดีเซล

4.3 ผลการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint: WF)

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เป็นการวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำจากการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิต ซึ่งพิจารณาทั้งการใช้น้ำที่เกิดขึ้นจากทางตรงและทางอ้อม รวมทั้งแสดงแหล่งที่มาของน้ำใช้และน้ำเสียที่เกิดขึ้น โดยผลการศึกษาการใช้น้ำในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร จากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันจากพื้นที่ภาคใต้และพื้นที่ภาคเหนือ โดยการวิเคราะห์ปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์แบ่งเป็น 2 ส่วนตามความต้องการการใช้น้ำ กล่าวคือ กระบวนการเพาะปลูกใช้น้ำในการเจริญเติบโต และกระบวนการผลิตไบโอดีเซลใช้น้ำเพื่อดำเนินกระบวนการ โดยรายละเอียดแสดงดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.1 ผลการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน

งานวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการวิเคราะห์หาปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ประกอบด้วย กรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ โดยปริมาณกรีนและบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ สามารถหาได้จากการค่าการคายระเหยของน้ำ (Evapotranspiration; ET_c) ตลอดระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืช โดยกำหนดค่าการคายระเหยน้ำของพืชภายใต้สภาวะที่มีข้อจำกัดทางด้านสิ่งแวดล้อมตลอดการเจริญเติบโตหรือภายใต้สภาวะที่ไม่ได้มาตรฐาน และกำหนดเงื่อนไขของเวลาและรูปแบบการให้น้ำภายใต้การใช้น้ำได้อย่างไม่จำกัดหรือไม่มีโอกาสขาดน้ำ (Optimal condition) คือ เวลาที่ให้น้ำพืชเมื่อความชื้นในดินลดลงจนถึงจุดวิกฤต (Irrigation at critical depletion) และรูปแบบการให้น้ำจะให้น้ำจนความชื้นในดินมีความชื้นที่จุดชลประทาน (Refill soil to field capacity) ซึ่งเป็นความชื้นสูงสุดที่เป็นประโยชน์ต่อพืช โดยข้อมูลที่ใช้การคำนวณประกอบด้วย ข้อมูลสภาพภูมิอากาศ (อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ความชื้น ความเร็วลม ชั่วโมงที่มีแสงแดด) ปริมาณน้ำฝน ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของปาล์มน้ำมัน และข้อมูลลักษณะเนื้อดินซึ่งพิจาณาตามคุณสมบัติของชุดดินที่ปรากฏในพื้นที่ศึกษาแต่ละจังหวัด จากนั้นนำผลที่ได้ไปคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

ทั้งนี้ในการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันได้แยกคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ออกเป็นแต่ละจังหวัดทั้งหมด 20 จังหวัด แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การปลูกปาล์มน้ำมันในเขตพื้นที่ภาคเหนือและภาคใต้ โดยผลจากการคำนวณค่าอัตราการคายระเหยน้ำบลูและกรีน เพื่อนำไปหาค่าความต้องการน้ำของการปลูกปาล์มน้ำมัน แสดงดังตารางที่ 4.7

ส่วนเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์นั้นจะประเมินจากปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน โดยคำนวณจากปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจนที่ชะล้างจากการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกเท่านั้น ซึ่งได้ข้อมูลจากการรวบรวมข้อมูลของแต่ละจังหวัดในพื้นที่ศึกษาทั้งหมด (ภาคผนวก ค)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.7 ค่าการคายระเหยน้ำบลูและกรีนของการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ศึกษา

จังหวัด	P_{eff}	ET_c	ET_{green}	ET_{blue}	CWU_{green}	CWU_{blue}	Y
	(มม.)	(มม. /ช่วงเวลาการเพาะปลูก)			ลบ.ม./ไร่		ตัน/ไร่
ชุมพร	1285.58	1197.91	1197.91	0.00	1916.66	0.00	2.90
ระนอง	3099.26	1449.59	1449.59	0.00	2319.34	0.00	2.87
สุราษฎร์ธานี	1258.58	1316.24	1258.58	57.66	2013.73	92.26	2.91
พังงา	2579.30	1545.01	1545.01	0.00	2472.02	0.00	2.74
ภูเก็ต	1730.50	1130.25	1130.25	0.00	1808.40	0.00	2.44
กระบี่	1559.08	1215.29	1215.29	0.00	1944.46	0.00	2.92
ตรัง	1516.46	1276.35	1276.35	0.00	2042.16	0.00	2.79
นครศรีธรรมราช	1627.62	1451.48	1451.48	0.00	2322.37	0.00	2.76
พัทลุง	1243.88	1179.59	1179.59	0.00	1887.35	0.00	2.72
สงขลา	1355.64	1330.39	1330.39	0.00	2128.62	0.00	2.84
สตูล	1504.26	1284.31	1284.31	0.00	2054.90	0.00	2.75
ปัตตานี	1132.82	1163.13	1132.82	30.31	1812.51	48.49	2.58
ยะลา	1502.74	1255.50	1255.50	0.00	2008.79	0.00	2.49
นราธิวาส	1688.52	1416.59	1416.59	0.00	2266.55	0.00	2.73
เชียงราย	1159.96	1308.25	1159.96	148.29	1855.94	237.27	0.69
ลำพูน	620.42	1681.12	620.42	1060.70	992.67	1697.12	0.86
เชียงใหม่	743.96	1761.82	743.96	1017.86	1190.34	1628.58	0.81
กำแพงเพชร	844.18	1586.86	844.18	742.68	1350.69	1188.29	0.81
พิษณุโลก	881.76	1551.53	881.76	669.77	1410.82	1071.64	1.01
อุทัยธานี	686.18	1335.17	686.18	648.99	1097.89	1038.38	1.08
เฉลี่ยภาคใต้	**1648.87**	**1300.83**	**1294.55**	**6.28**	**2071.28**	**10.05**	**2.75**
เฉลี่ยภาคเหนือ	**822.74**	**1537.46**	**822.74**	**714.71**	**1316.39**	**1143.54**	**0.87**

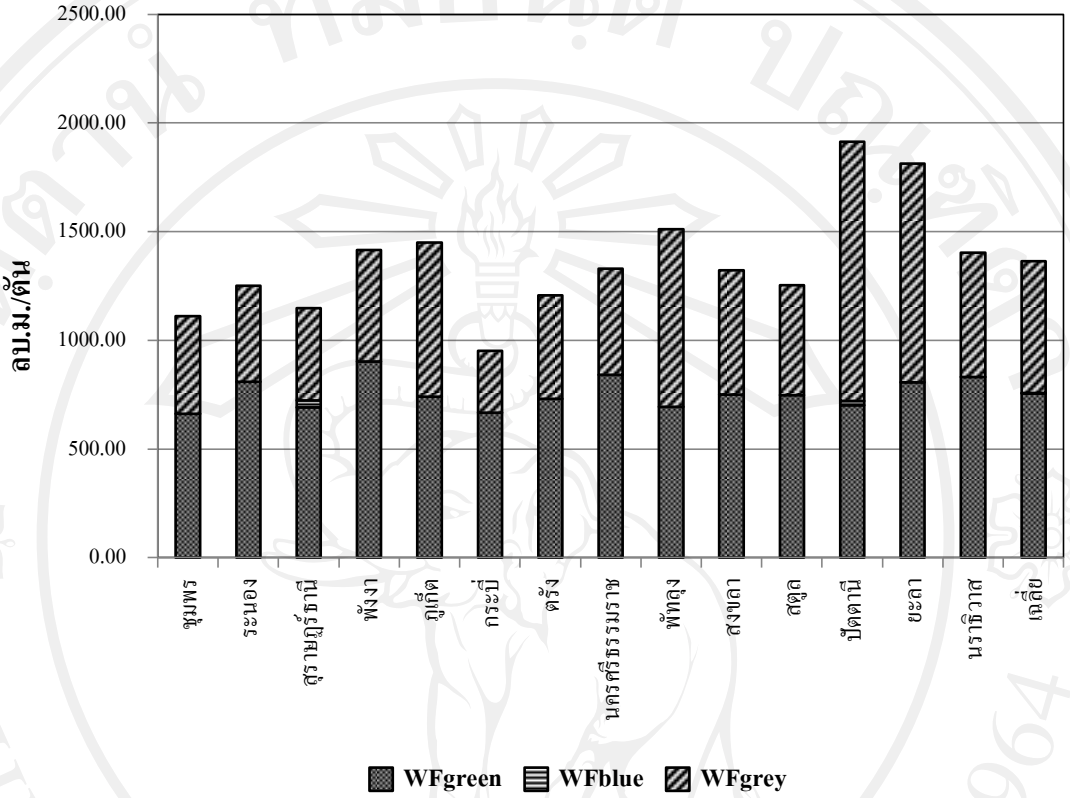
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลที่ได้จากคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกปาล์มน้ำมันเฉลี่ยในเขตพื้นที่ภาคใต้เท่ากับ 1,362.87 ลบ.ม./ตัน ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.17 ซึ่งค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยเท่ากับ 755.27 ลบ.ม./ตัน จังหวัดที่มีค่ามากที่สุดคือ พังงา และน้อยที่สุดคือ ชุมพร และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยเท่ากับ 603.99 ลบ.ม./ตัน จังหวัดที่มีค่ามากที่สุดคือ ปัตตานี และน้อยที่สุดคือ กระบี่ ส่วนค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่ใช้การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้มีค่าน้อยมาก โดยมี 2 จังหวัด ที่มีค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ส่วนจังหวัดอื่นๆ มีค่าเท่ากับศูนย์ เนื่องจากไม่ได้มีการใช้น้ำชลประทานในการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จำแนกตามประเภทของแหล่งน้ำใช้ พบว่า ค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ เกรย์และบลูวอเตอร์พริ้นท์ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละเท่ากับ 55:44:1 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันแต่ละจังหวัดในพื้นที่ภาคใต้

ภาคใต้	WF_{prod} (ลบ.ม./ตัน)			
	WF_{green}	WF_{blue}	WF_{grey}	WF_{Total}
ชุมพร	660.92	0.00	449.84	1110.75
ระนอง	808.13	0.00	443.01	1251.14
สุราษฎร์ธานี	692.00	31.70	425.46	1149.17
พังงา	902.20	0.00	514.05	1416.25
ภูเก็ต	741.15	0.00	708.01	1449.15
กระบี่	665.91	0.00	286.39	952.30
ตรัง	731.96	0.00	474.60	1206.56
นครศรีธรรมราช	841.44	0.00	488.48	1329.92
พัทลุง	693.88	0.00	816.96	1510.84
สงขลา	749.51	0.00	572.14	1321.65
สตูล	747.24	0.00	505.69	1252.93
ปัตตานี	702.52	18.80	1192.99	1914.31
ยะลา	806.74	0.00	1005.90	1812.64
นราธิวาส	830.24	0.00	572.36	1402.60
เฉลี่ย	**755.27**	**3.61**	**603.99**	**1362.87**

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



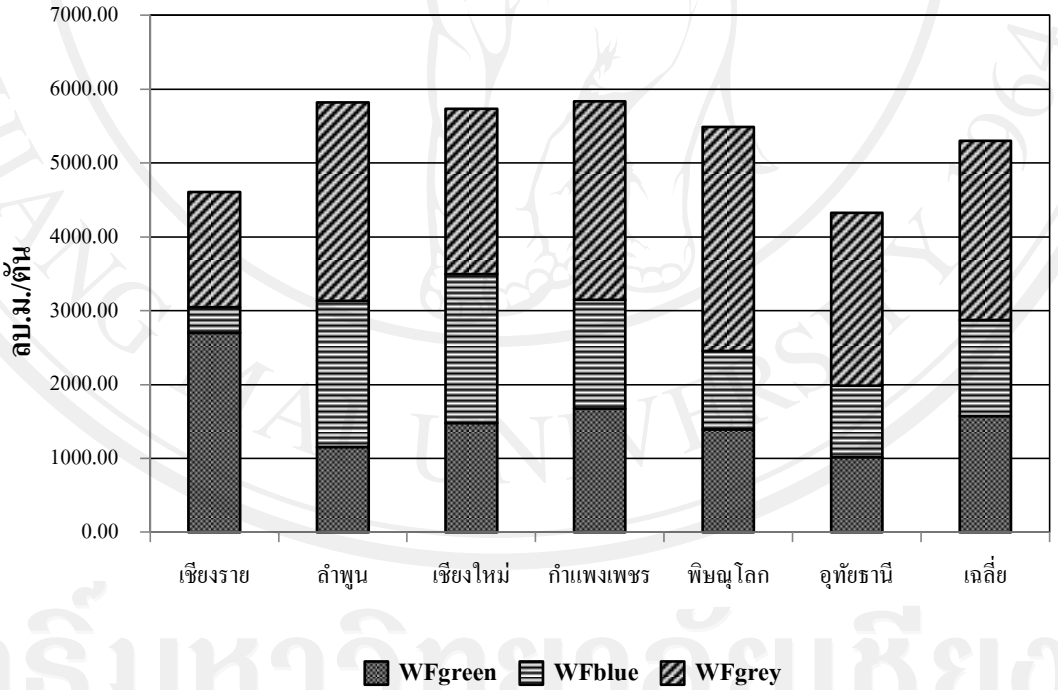
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันแต่ละจังหวัดในพื้นที่ภาคใต้

ผลที่ได้จากคำนวณหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ พบว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการปลูกปาล์มน้ำมันเฉลี่ยในเขตพื้นที่ภาคเหนือเท่ากับ 5,303.13 ลบ.ม./ตัน ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.18 ซึ่งค่ากรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยเท่ากับ 1,571.12 ลบ.ม./ตัน จังหวัดที่มีค่ามากที่สุดคือ เชียงราย และน้อยที่สุดคือ อุทัยธานี ส่วนค่าบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยเท่ากับ 1,306.95 ลบ.ม./ตัน จังหวัดที่มีค่ามากที่สุดคือ เชียงใหม่ และน้อยที่สุดคือ เชียงราย และค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เฉลี่ยเท่ากับ 2,425.06 ลบ.ม./ตัน จังหวัดที่มีค่ามากที่สุดคือ พิษณุโลก และน้อยที่สุดคือ เชียงราย เมื่อเปรียบเทียบค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จำแนกตามประเภทของแหล่งน้ำใช้ พบว่า ค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าสูงที่สุด รองลงมาคือ กรีนและบลูวอเตอร์พริ้นท์ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละเท่ากับ 46:30:24 ตามลำดับ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 4.9 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันแต่ละจังหวัดในพื้นที่ภาคเหนือ

ภาคเหนือ	WF_{prod} (ลบ.ม./ตัน)			
	WF_{green}	WF_{blue}	WF_{grey}	WF_{Total}
เชียงราย	2703.03	345.56	1558.45	4607.04
ลำพูน	1156.34	1976.93	2686.46	5819.73
เชียงใหม่	1477.38	2021.31	2238.72	5737.41
กำแพงเพชร	1676.40	1474.84	2686.46	5837.71
พิษณุโลก	1394.37	1059.14	3033.94	5487.45
อุทัยธานี	1019.19	963.95	2346.29	4329.44
เฉลี่ย	**1571.12**	**1306.95**	**2425.06**	**5303.13**

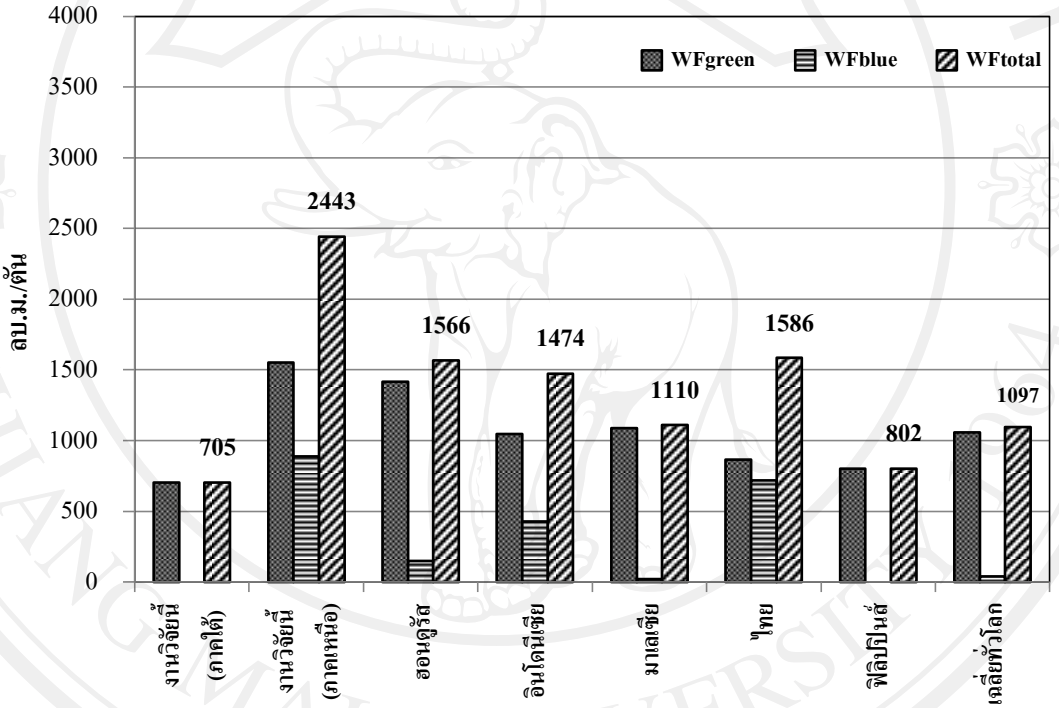


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันแต่ละจังหวัดในพื้นที่ภาคเหนือ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.3.2 ผลการเปรียบเทียบค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการเปรียบเทียบผลการศึกษาปริมาณการใช้น้ำหรือวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยเปรียบเทียบผลการศึกษาในหน่วยของลูกบาศก์เมตรต่อตันปาล์ม พบว่า ผลของการวิจัยมีค่าแตกต่างกันออกไป ส่วนการเปรียบเทียบปริมาณของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันในงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการเปรียบเทียบไว้ เนื่องจากในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีความแตกต่างของขั้นตอนการผลิต ซึ่งผลการเปรียบเทียบการศึกษาปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมัน แสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันในพื้นที่ศึกษาเทียบกับประเทศต่างๆ ประกอบด้วย ประเทศฮอนดูลัส อินโดนีเซีย มาเลเซีย ไทย (Lienden et al., 2010) ฟิลิปปินส์ (F. Bulsink et al., 2010) และค่าเฉลี่ยโลก (Mekonnen and Hoekstra, 2011) ซึ่งคำนวณเฉพาะกรีนและบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

จากรูปที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันของงานวิจัยต่างๆ กับงานวิจัยนี้ พบว่า ผลการศึกษาปริมาณกรีนและบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันในเขตพื้นที่ภาคใต้ของงานวิจัยนี้มีต่ำสุดและมีความใกล้เคียงกับงานวิจัยของ F. Bulsink et al. (2010) ส่วนปริมาณกรีนและบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันในเขตพื้นที่ภาคเหนือมีปริมาณมากกว่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

งานวิจัยอื่นๆ เนื่องจากปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันต่อไร่ต่ำกว่ามาก ซึ่งจากภาพรวมจะเห็นได้ว่าการศึกษาปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในพื้นที่ๆ แตกต่างกัน จะทำให้ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ที่ได้จะมีปริมาณไม่เท่ากัน

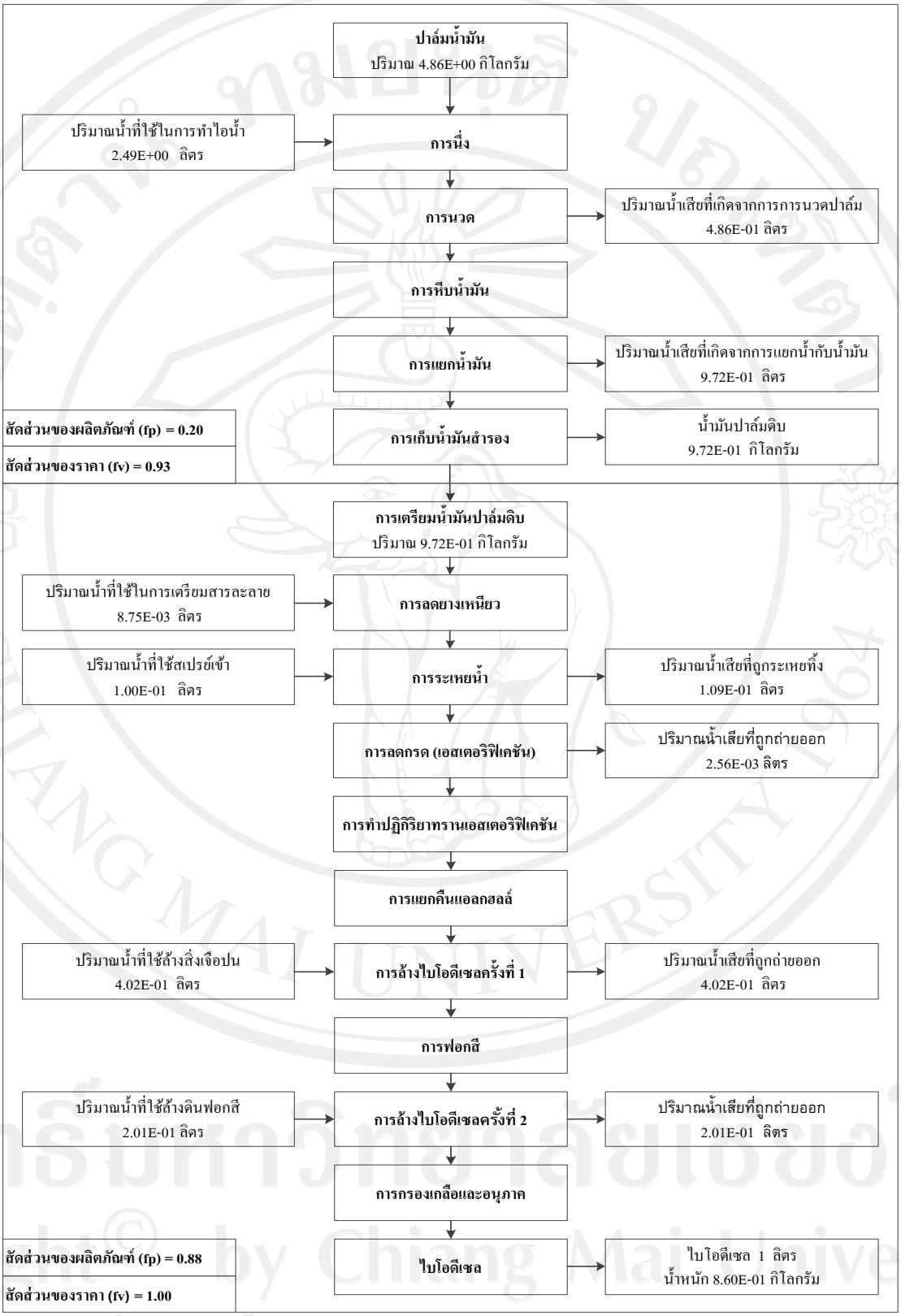
4.3.3 ผลการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตไบโอดีเซล

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน จะพิจารณาครอบคลุมตั้งแต่การรับวัตถุดิบปาล์มน้ำมัน การขนส่ง การสกัดน้ำมันปาล์มดิบ และการผลิตไบโอดีเซล โดยการวิเคราะห์หาค่ากรีนและบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ใช้วิธีการสะสมแบบขั้นตอน เป็นการคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในรูปแบบของผลิตภัณฑ์ขาเข้าและผลิตภัณฑ์ขาออก หรือผลิตภัณฑ์ขาเข้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตเพื่อผลิตผลิตภัณฑ์สุดท้าย

ดังนั้นการหาค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ไบโอดีเซล จะเริ่มพิจารณาตั้งแต่ผลิตภัณฑ์ขั้นต้นคือ ปาล์มน้ำมัน ผลิตภัณฑ์ขั้นกลางคือ น้ำมันปาล์มดิบ จนถึงผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายคือ ไบโอดีเซล ซึ่งผลรวมของปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เกิดจากวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันและการใช้น้ำที่เกิดในกระบวนการผลิต โดยส่วนประกอบทั้งหมดจะมีการปันส่วนให้กับแต่ละผลิตภัณฑ์ขาออกทุกผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นคิดการปันส่วนตามสัดส่วนของผลิตภัณฑ์และสัดส่วนของราคา ส่วนการวิเคราะห์เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์หาได้จากปริมาณมลสารที่มีอยู่ในน้ำ มีค่าเท่ากับบีโอดีและซีโอดีที่ได้จากการเก็บข้อมูลของโรงงาน (ภาคผนวก ค)

โดยข้อมูลที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นข้อมูลปฐมภูมิของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ และ โรงงานผลิตไบโอดีเซลจำนวน 1 แห่ง ซึ่งทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน และทำการพิจารณาปริมาณสารขาเข้าเฉพาะวัตถุดิบหลักคือ ปาล์มน้ำมัน และปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต ส่วนปริมาณสารขาออกพิจารณาเฉพาะผลิตภัณฑ์หลักคือ ไบโอดีเซล และปริมาณน้ำเสีย ที่เกิดจากการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน 1 ลิตร แสดงดังรูปที่ 4.20

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.20 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันพร้อมค่าสัดส่วนของผลิตภัณฑ์และสัดส่วนราคาต่อขั้นตอนการผลิต

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากหัวข้อที่ 4.3.1 ในกระบวนการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้และภาคเหนือ พบว่า ปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของปาล์มน้ำมันเฉลี่ยในเขตพื้นที่ภาคใต้และภาคเหนือเท่ากับ 1,362.87 และ 5,303.13 ลบ.ม./ตันปาล์มน้ำมัน ตามลำดับ และจากรูปที่ 4.20 เมื่อปันส่วนปริมาณการใช้น้ำของปาล์มน้ำมันต่อปริมาณวัตถุดิบปาล์มน้ำมันที่นำไปผลิตเป็นไบโอดีเซล 1 ลิตร โดยจำแนกตามประเภทของแหล่งน้ำใช้ พบว่า ปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร จากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้มีค่าน้อยกว่าภาคเหนือ ดังตารางที่ 4.10

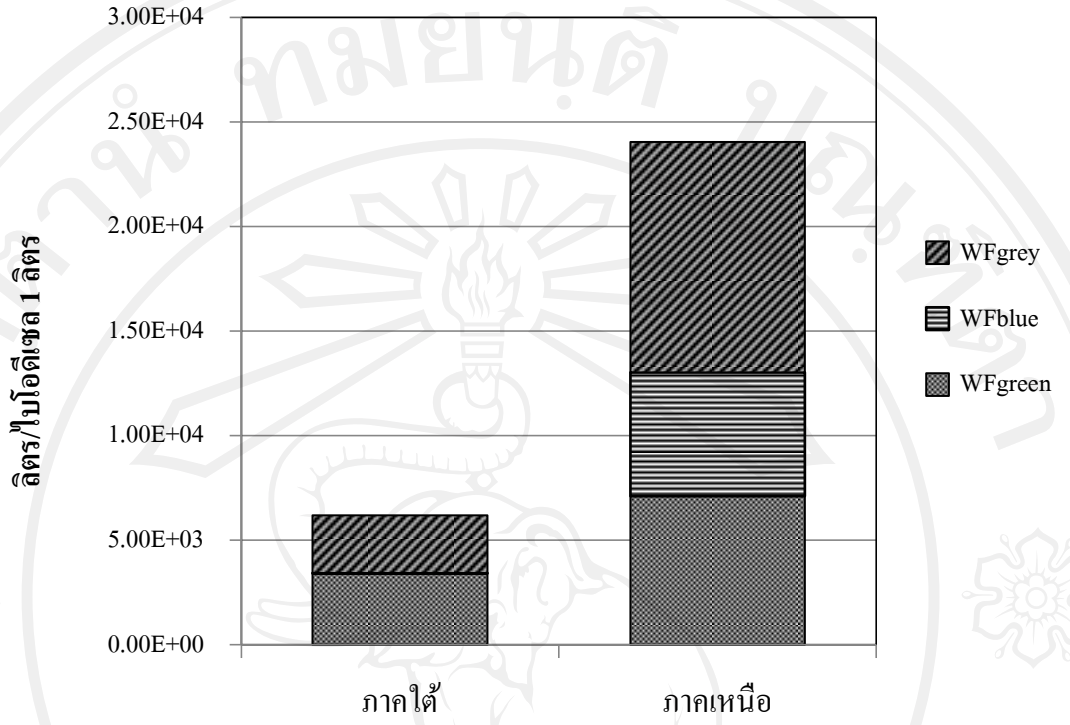
ตารางที่ 4.10 ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน 1 ลิตร

ภูมิภาค	ผลิตภัณฑ์	WF_{prod} (ลบ.ม./ตัน)			
		WF_{green}	WF_{blue}	WF_{grey}	WF_{Total}
ภาคใต้	ปาล์มน้ำมัน	755.27	3.61	603.99	1,362.87
	น้ำมันปาล์มดิบ	3,512.03	19.09	2,821.04	6,325.16
	ไบโอดีเซล	3,969.70	22.29	3,213.03	7,205.20
ภาคเหนือ	ปาล์มน้ำมัน	1,571.12	1,306.95	2,425.06	5,303.13
	น้ำมันปาล์มดิบ	7,305.71	6,079.63	11,289.01	24,674.35
	ไบโอดีเซล	8,257.76	6,872.62	12,835.72	27,966.09

จากตารางที่ 4.10 พบว่า ปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร จากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้มีเท่ากับ 7,205.20 ลบ.ม./ตัน หรือ 6,196.31 ลิตร/ลิตรของไบโอดีเซล โดยจำแนกตามประเภทของแหล่งน้ำใช้ พบว่า ปริมาณกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าสูงที่สุด คิดเป็นสัดส่วนเท่ากับ 51.01% รองลงมาคือ เกรย์และบลูวอเตอร์พริ้นท์ คิดเป็นสัดส่วนเท่ากับ 44.41% และ 0.31% ตามลำดับ

ปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร จากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคเหนือมีค่าเท่ากับ 73,527.06 ลบ.ม./ตัน หรือ 24,050.84 ลิตร/ลิตรของไบโอดีเซล โดยจำแนกตามประเภทของแหล่งน้ำใช้ พบว่า ปริมาณเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีค่าสูงที่สุด คิดเป็นสัดส่วนเท่ากับ 44.41% รองลงมาคือ กรีนและบลูวอเตอร์พริ้นท์ คิดเป็นสัดส่วนเท่ากับ 29.53% และ 24.47% ตามลำดับ

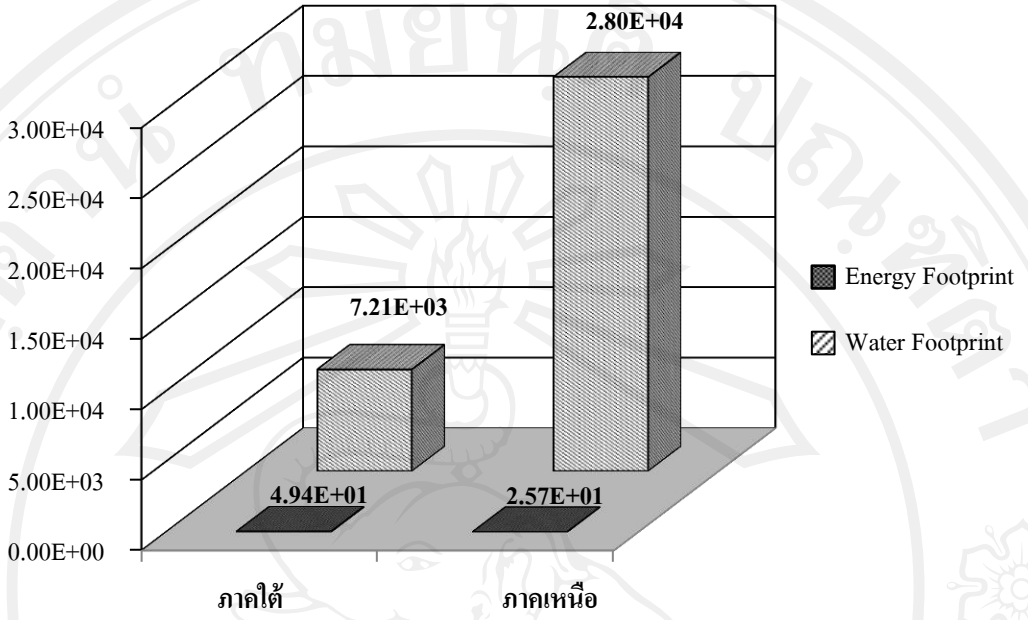
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.21 กราฟแสดงค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของไบโอดีเซล 1 ลิตร จากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้และภาคเหนือ

ดังนั้นจากผลการศึกษาทั้ง 2 ด้าน คือ ประสิทธิภาพในรูปของการใช้พลังงานสุทธิและการใช้ทรัพยากรน้ำ พบว่า ในพื้นที่ภาคใต้และภาคเหนือจะมีประสิทธิภาพในด้านต่างๆ ที่แตกต่างกันออกไป โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการศึกษา 2 ด้าน ของไบโอดีเซล 1 ลิตร จากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้และภาคเหนือ พบว่า การผลิตไบโอดีเซลจากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้มีประสิทธิภาพสูงสุดทั้ง 2 ด้าน คือ ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน และประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรน้ำ ดังนั้นเมื่อมีการกำหนดให้ความสำคัญของประสิทธิภาพทั้ง 2 ด้าน ให้มีความสำคัญเท่ากัน งานวิจัยนี้จึงสามารถสรุปได้ว่า การผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร จากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้มีประสิทธิภาพการผลิตไบโอดีเซลตลอดวัฏจักรชีวิตสูงสุด แสดงได้ดังรูปที่ 4.22

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.22 การเปรียบเทียบผลการศึกษา 2 ด้าน ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล 1 ลิตร จากวัตถุดิบปาล์มน้ำมันในพื้นที่ภาคใต้และภาคเหนือ

หมายเหตุ: ค่าเอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์ (Energy Footprint) หน่วย MJ/ไบโอดีเซล 1 ลิตร
ค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint) หน่วย ลิตร/ไบโอดีเซล 1 ลิตร

4.4 การวิเคราะห์แนวทางการจัดการพลังงานและน้ำตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตไบโอดีเซล

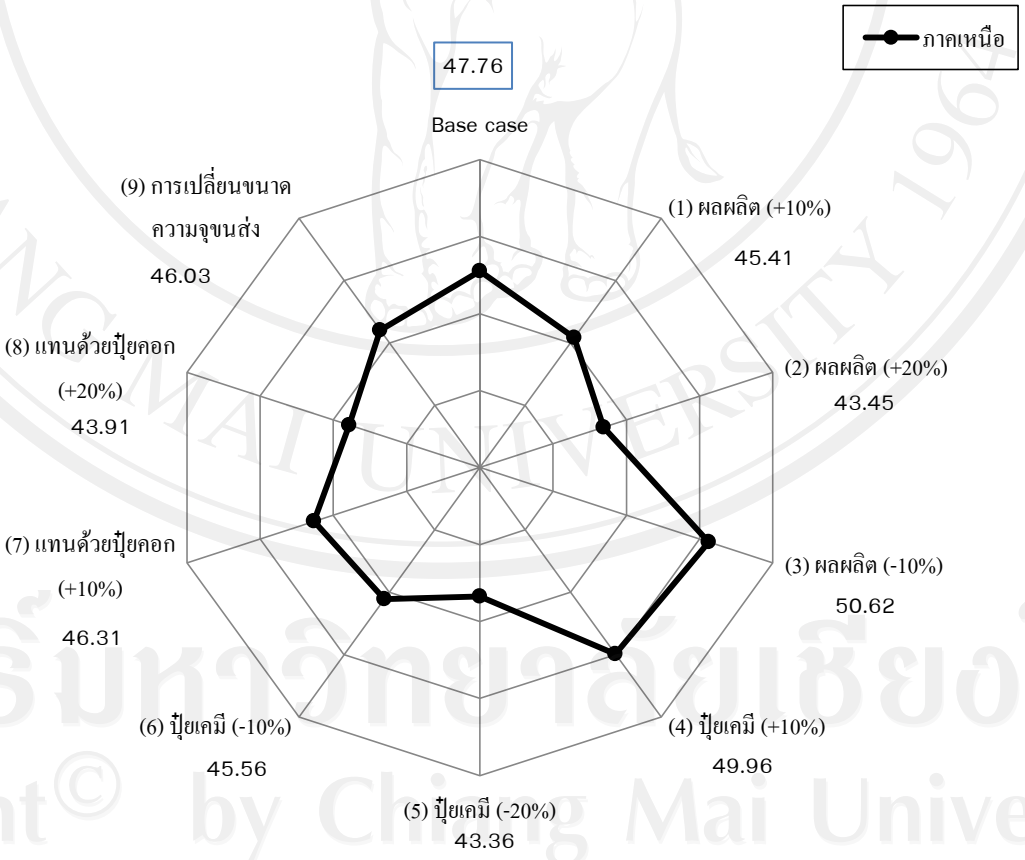
จากแนวความคิดของเอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ และผลที่ได้จากการศึกษาในงานวิจัยนี้ จะขอเสนอแนวทางการลดเอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในภาคการเกษตร ซึ่งถือว่าเป็นภาคมีการใช้พลังงานมากกว่าในส่วนของกระบวนการผลิต ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในส่วนของโรงงานมีแนวทางการลดปริมาณการใช้น้ำอยู่แล้ว เช่น การนำเอาเปลือกและทะลายปาล์มเปล่ามาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าจะช่วยในลดค่าใช้จ่ายในการซื้อจากไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและลดปริมาณกากของเศษที่เกิดขึ้น อีกทั้งจากผลการศึกษาพบว่า น้ำในส่วนของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกันกับในภาคการเกษตร ซึ่งต่างประเทศเองได้ยกเว้นการคิดค่าน้ำในส่วนของกระบวนการผลิต

จากผลการศึกษาปริมาณการใช้พลังงานและน้ำจากการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน พบว่า ปริมาณการใช้ที่เกิดขึ้นจากการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน 1 ลิตร เป็นผลมาจากการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน ดังนั้นแนวทางในการลดปริมาณเอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์และวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

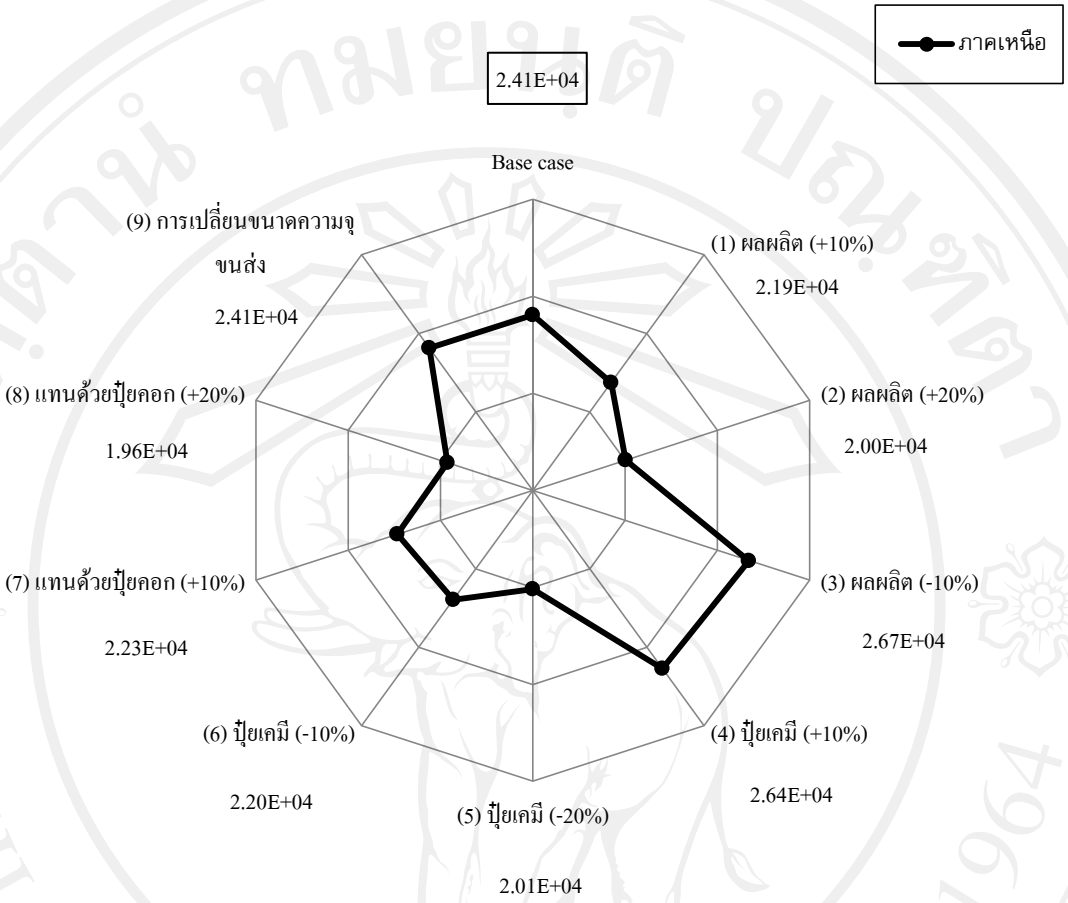
จึงมุ่งเน้นไปที่การเพาะปลูก ซึ่งการลดปริมาณการใช้พลังงานและน้ำที่เกิดจากการเพาะปลูกสามารถทำได้โดยการเพิ่มอัตราผลผลิตการเพาะปลูกต่อไร่ให้มากขึ้น โดยปัจจัยหลักที่มีผลต่ออัตราผลผลิตของปาล์มน้ำมันคือ พันธุ์ปาล์มน้ำมัน ลักษณะทางสภาพภูมิอากาศ และสภาพของดินในพื้นที่เพาะปลูก ซึ่งจะต้องคำนึงถึงพื้นที่เพาะปลูกเป็นสำคัญ ต้องเลือกพื้นที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการเพาะปลูก นอกจากนั้นแล้วยังต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่ออัตราผลผลิตปาล์มน้ำมัน คือ การให้ปุ๋ยที่เพียงพอต่อความต้องการ

การวิเคราะห์หาแนวทางการจัดการพลังงานและน้ำตลอดวัฏจักรชีวิตสำหรับไบโอดีเซลเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานและน้ำที่เกิดขึ้น โดยอาศัยการวิเคราะห์ค่าความไวจากอิทธิพลของการเพิ่มและลดลงของปริมาณผลผลิต อิทธิพลของการเพิ่มและลดลงของปริมาณปุ๋ยเคมี การแทนที่ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีด้วยปุ๋ยคอก และการเปลี่ยนรูปแบบการขนส่ง ซึ่งแนวทางการบริหารจัดการพลังงานและน้ำ มีรายละเอียดดังรูปที่ 4.23-4.24



รูปที่ 4.23 การวิเคราะห์ค่าความไวของปัจจัยที่มีผลความสัมพันธ์ต่อการใช้พลังงาน
(หน่วย: เมกะจูล/ไบโอดีเซล 1 ลิตร)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 4.24 การวิเคราะห์ค่าความไวของปัจจัยที่มีผลความสัมพันธ์ต่อการใช้น้ำ

(หน่วย: ลิตร/ไบโอดีเซล 1 ลิตร)

แนวทางการเปลี่ยนแปลงปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันต่อพื้นที่เพาะปลูก

จากพิจารณาสัดส่วนการผลผลิตปาล์มน้ำมันของประเทศไทยจัดอยู่อันดับ 3 ของโลก ซึ่งประเทศที่มีสัดส่วนการผลิตสูงคือ อินโดนีเซีย และมาเลเซีย โดยปริมาณผลผลิตปาล์มน้ำมันในปี 2553ของไทยยังคงได้ปริมาณผลผลิตค่อนข้างต่ำประมาณ 2.32 ตัน/ไร่ ในขณะที่อินโดนีเซียและมาเลเซียได้ผลผลิตประมาณ 2.68 และ 3.50 ตัน/ไร่ สาเหตุสำคัญที่ทำให้การผลิตปาล์มน้ำมันของประเทศผู้ผลิตทั้งสองมีศักยภาพการผลิตที่สูงกว่าไทยมาจากทั้งสองมีพื้นที่การเพาะปลูกปาล์มที่มีขนาดใหญ่ มีการปลูกปาล์มน้ำมันแบบครบวงจรทำให้สามารถวางแผนการผลิตและควบคุมต้นทุนการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมาเลเซียซึ่งมีศักยภาพการผลิตสูงสุด การเพาะปลูกปาล์มน้ำมันส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ของเกษตรกรรายใหญ่ร้อยละ 60 และผู้ผลิตปาล์มในรูปแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สหกรณ์หรือนิคมกว่าร้อยละ 30.5 ส่วนที่เหลือเพียงร้อยละ 9.5 เป็นเกษตรกรรายย่อย (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2554) ซึ่งการพัฒนาในส่วนนี้จำเป็นต้องอาศัยการสนับสนุนและผลักดันจากภาครัฐ โดยรัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมที่ชัดเจนโดยบรรจุอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมันเป็น 1 ใน 12 ภาคส่วนที่เป็นตัวขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศ อยู่ในแผน The National Key Economic Areas (NKEA) มีเป้าหมายเพิ่มผลผลิตต่อไร่ ดังนั้นถ้าการปลูกปาล์มน้ำมันประเทศไทยมีการปรับปรุงการปลูกปาล์มน้ำมันแบบครบวงจรก็จะสามารถเพิ่มผลผลิตได้ โดยจะส่งผลต่อค่าการลดลงของปริมาณเอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์และปริมาณกรีน บลู และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตไบโอดีเซล

โดยการลดลงของปริมาณเอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์จากการเพิ่มปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูก 10% และ 20% จะสามารถลดเอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์ได้ 1.45 และ 3.85 เมกะจูล/ไบโอดีเซล 1 ลิตร คิดเป็นร้อยละ 4.64 และ 8.62 ตามลำดับ เช่นเดียวกับการลดลงของปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ โดยการการเพิ่มปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูก 10% และ 20% จะสามารถลดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ได้ 1,704.87 และ 4,430.55 ลิตร/ไบโอดีเซล 1 ลิตร คิดเป็นร้อยละ 9.08 และ 18.32 ตามลำดับ

แนวทางการเปลี่ยนแปลงปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมี

การลดปริมาณการใช้ปุ๋ยในช่วงการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันจะทำให้สัดส่วนของการชะล้างลดลง ซึ่งเป็นผลให้ค่าเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ลดลงเช่นกัน โดยการลดลงของปริมาณเอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์จากการลดปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ในเพาะปลูก 10% และ 20% จะสามารถลดเอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์ได้ 2.20 และ 4.40 เมกะจูล/ไบโอดีเซล 1 ลิตร คิดเป็นร้อยละ 4.61 และ 9.22 ตามลำดับ เช่นเดียวกับการลดลงของปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ โดยการลดปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ในเพาะปลูก 10% และ 20% จะสามารถลดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ได้ 2,093.84 และ 3,967.28 ลิตร/ไบโอดีเซล 1 ลิตร คิดเป็นร้อยละ 8.71 และ 16.50 ตามลำดับ

การลดการใช้ปุ๋ยเคมี อาจจะใช้วิธีการตรวจสอบดินความต้องการธาตุอาหารในดินก่อน เพื่อให้ทราบถึงปริมาณปุ๋ยเคมีที่จำเป็นต้องใช้ได้อย่างเหมาะสม นอกจากนั้นแล้วปัจจัยที่มีผลต่อการดูดธาตุอาหารในการเพาะปลูกปาล์มน้ำมัน คือ การใช้พืชตระกูลถั่วคลุมดินตั้งแต่เริ่มปลูกปาล์มน้ำมันไปจนถึงอายุปาล์มน้ำมันเฉลี่ยประมาณ 3-5 ปี จะสามารถช่วยป้องกันการพังทลายของชั้นดินและช่วยตรึงธาตุไนโตรเจนทำให้สามารถลดการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนได้ในระยะแรกถึง 16% ดังนั้นการใช้พืชคลุมดินจะทำให้ปริมาณการใช้ปุ๋ยไนโตรเจนลดลงซึ่งจะส่งผลต่อค่าการลดลงของเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตไบโอดีเซล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

แนวทางการแทนที่ปุ๋ยเคมีด้วยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์เป็นปุ๋ยที่ได้จากแหล่งอินทรีย์สารซึ่งมีองค์ประกอบของธาตุอาหารแตกต่างกัน โดยทั่วไปมูลสัตว์จะมีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่าวัสดุอื่นๆ ซึ่งสัดส่วนของอินทรียคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นปัจจัยที่บ่งชี้ถึงกระบวนการในการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ที่สามารถปลดปล่อยธาตุอาหารออกมาให้อยู่ในรูปอนินทรีย์สารที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น การใช้มูลวัว ซึ่งมีค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจนสูงสุด โดยไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบของโปรตีนที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันเป็นอย่างมาก มีผลต่อพื้นที่ใบ สีของใบ อัตราการเกิดใบใหม่ และการดูดซึมธาตุอาหาร โดยเฉพาะในระยะที่ต้นปาล์มน้ำมันยังมีอายุน้อย เพราะในระยะดังกล่าวต้นปาล์มน้ำมันจะตอบสนองต่อธาตุไนโตรเจนมากกว่าต้นขนาดใหญ่ จึงจำเป็นต้องให้ไนโตรเจนเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของต้นปาล์มน้ำมัน ตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงอายุ 6 ปี ดังนั้นแนวทางในการลดปริมาณที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่ปุ๋ยเคมีด้วยการปรับมาใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในช่วงที่ปาล์มน้ำมันเป็นปาล์มใหญ่แล้ว ก็จะสามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีได้ ดังนั้นการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จะทำให้ลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีซึ่งจะส่งผลต่อการลดลงของปริมาณเอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์และปริมาณเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตไบโอดีเซล

โดยการลดลงของปริมาณเอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์จากการแทนที่ปุ๋ยเคมีด้วยการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ที่มีค่าความเข้มข้นของธาตุอาหารไนโตรเจน 1.94% ซึ่งอัตราความเข้มข้นน้อยกว่าการใช้ปุ๋ยยูเรีย จึงทำให้ปริมาณการใช้ปุ๋ยมูลวัวมากกว่าการใช้ปุ๋ยเคมี แต่ค่าพลังงานความร้อนสะสมของของปุ๋ยมูลวัวต่ำกว่ามาก มีค่าเท่ากับ 0.58 เมกะจูล/กิโลกรัม ดังนั้นจึงทำให้ค่าเอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์ลดลง โดยการแทนที่ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีที่ 10% และ 20% จะสามารถลดเอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์ได้ 1.45 และ 3.85 เมกะจูล/ไบโอดีเซล 1 ลิตร คิดเป็นร้อยละ 3.03 และ 8.49 ตามลำดับ

การลดลงของปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ก็เช่นเดียวกัน โดยการแทนที่ปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีที่ 10% และ 20% จะสามารถลดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ได้ 1,704.87 และ 4,430.55 ลิตร/ไบโอดีเซล 1 ลิตร คิดเป็นร้อยละ 7.09 และ 18.42 ตามลำดับ เนื่องจากการใช้ปุ๋ยอินทรีย์จะเมื่อคิดอัตราการชะล้างที่ส่งผลกระทบต่อแหล่งน้ำตามธรรมชาติเกิดขึ้นน้อยมาก หรือถ้าหากในการปลูกพืชที่ไม่มีการใช้ปุ๋ยเคมี ปริมาณของเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะมีค่าเท่ากับศูนย์

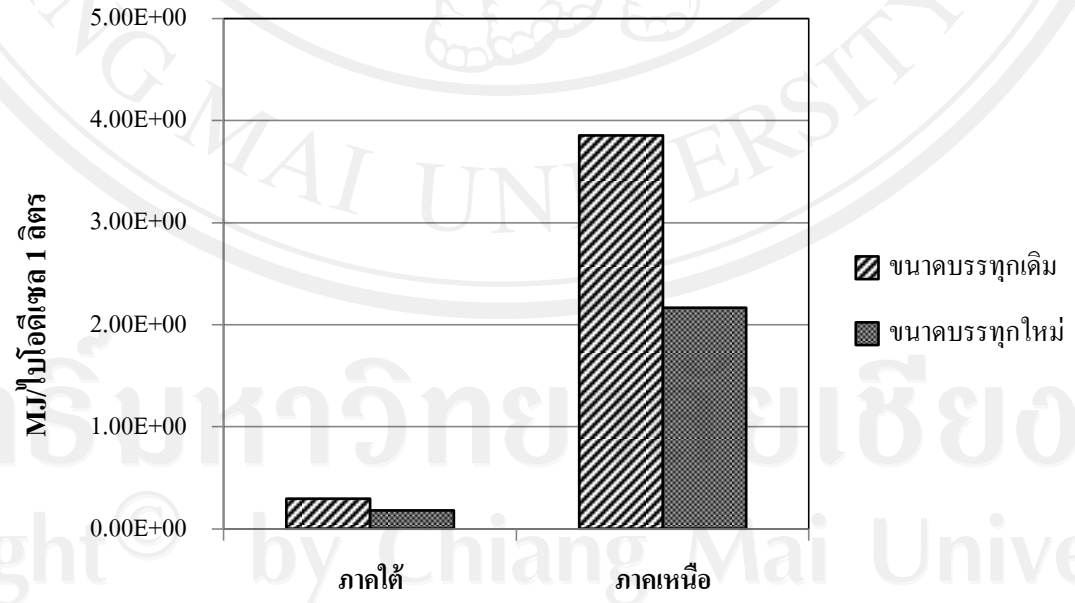
แนวทางการเปลี่ยนขนาดความจุรถบรรทุกในการขนส่งวัตถุดิบจากรถบรรทุก 10 ล้อขนาด 16 ตัน เป็นรถกระบะบรรทุกที่มีความจุมากขึ้น

จากผลการศึกษาปริมาณเอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์จากการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน พบว่า ขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบปาล์มน้ำมันโดยเฉลี่ยของพื้นที่ภาคเหนือไปยังโรงงานผลิตมีการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ใช้พลังงาน คิดเป็นร้อยละ 7.90 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล ส่วนขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบปาล์มน้ำมันโดยเฉลี่ยของพื้นที่ภาคใต้ไปยังโรงงานผลิตมีการใช้พลังงาน คิดเป็นร้อยละ 1.18 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไบโอดีเซล เนื่องด้วยการขนส่งวัตถุดิบจากพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันไปยังโรงงานมีการขนส่งในปริมาณมากและระยะทางไกล จึงทำให้มีการใช้เชื้อเพลิงในปริมาณสูง จึงส่งผลให้การใช้พลังงานจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงและจากยานพาหนะระหว่างการขนส่งมีค่ามาก

ดังนั้นการลดปริมาณการใช้พลังงานจากขั้นตอนการขนส่งนี้สามารถทำได้โดยการเพิ่มขนาดความจุของรถบรรทุกในการขนส่ง คือ การขนส่งวัตถุดิบปาล์มน้ำมันโดยเฉลี่ยของพื้นที่ภาคใต้ไปยังโรงงานผลิตจากรถบรรทุก 10 ล้อ ขนาดน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 16 ตัน เป็นรถบรรทุกขนาดต่างๆ ซึ่งงานวิจัยนี้ ขอกำหนดการเพิ่มขนาดบรรทุกเป็นรถกระบะบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ ขนาดน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 32 ตัน และการขนส่งวัตถุดิบปาล์มน้ำมันโดยเฉลี่ยของพื้นที่ภาคเหนือไปยังโรงงานผลิต จากรถบรรทุก 4 ล้อ ขนาดน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 7 ตัน และรถบรรทุก 10 ล้อ ขนาดน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 16 ตัน เป็นรถกระบะบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ ขนาดน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 32 ตัน ทั้งหมด ซึ่งการเพิ่มความจุของรถบรรทุกจะสามารถลดจำนวนเที่ยวในการขนส่งและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งได้ โดยการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการขนส่งวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล แสดงได้ดังรูปที่ 4.25



รูปที่ 4.25 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการขนส่งวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลระหว่างรถบรรทุกขนาดเดิมและเพิ่มขนาดความจุของรถบรรทุก (รถบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ ขนาด 32 ตัน)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จากการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการขนส่งวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซล โดยการเพิ่มขนาดความจุของรถบรรทุกในการขนส่ง พบว่า การขนส่งวัตถุดิบปาล์มน้ำมันโดยเฉลี่ยของพื้นที่ภาคใต้จากเดิมเป็นรถกระบะบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ ขนาดน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 32 ตัน สามารถลดปริมาณพลังงานที่ใช้ได้ 0.12 เมกะจูล/ลิตร คิดเป็นร้อยละ 39.80 และการขนส่งวัตถุดิบปาล์มน้ำมันโดยเฉลี่ยของพื้นที่ภาคเหนือจากเดิมเป็นรถกระบะบรรทุกกึ่งพ่วง 18 ล้อ ขนาดน้ำหนักบรรทุกสูงสุด 32 ตัน สามารถลดปริมาณพลังงานที่ใช้ได้ 1.69 เมกะจูล/ลิตร คิดเป็นร้อยละ 43.79 ของพลังงานที่ใช้ในการขนส่งทั้งหมด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved