บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชน้ำมันชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในปัจจุบัน และมีศักยภาพทางเศรษฐกิจสูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่นๆ ทั้งทางด้านการผลิต การตลาด ในปัจจุบันส่วนแบ่งการผลิตน้ำมันปาล์มต่อพืชน้ำมันของโลกมีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว เนื่องจากปาล์มน้ำมันสามารถนำมาแปรรูปเป็นน้ำมันปาล์มสำหรับอุตสาหกรรมต่อเนื่องอีกหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรมน้ำมันพืช อุตสาหกรรมน้ำมัน อุตสาหกรรมบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป เครื่องสำอาง เป็นต้น ทำให้ปาล์มน้ำมันมีการขยายพื้นที่การเพาะปลูกมากขึ้นทุกปี

ปาล์มน้ำมันจัดเป็นพืชผสมข้ามใบเลี้ยงเดี่ยว อยู่ในวงศ์ปาล์ม (Palmae) และเป็นพืชยืนต้นที่สามารถให้ผลผลิตทะลายได้ตลอดปี เริ่มจากที่ปาล์มมีอายุได้ 2.5 ปี หลังจากการปลูก โดยเฉลี่ยแต่ละต้นควรให้ทะลายอย่างน้อยหนึ่งทะลายต่อเดือน และเก็บเกี่ยวผลผลิตได้นานถึง 25 ปี ต้นปาล์มที่ปลูกในพื้นที่ 1 เฮกตาร์ (6.25 ไร่) สามารถให้น้ำมันปาล์มได้ถึง 5 ตันต่อปี หรือไร่ละประมาณ 800 กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าพืชน้ำมันอื่น 5 เท่า

สำหรับในประเทศไทยการปลูกปาล์มน้ำมันจะมีช่วงเวลาแตกต่างกันไปตามแต่ละภูมิภาค โดยฤดูการปลูกปาล์มน้ำมันที่เหมาะสมที่สุดคือ ต้นฤดูฝน – กลางฤดูฝน นอกจากนั้นการปลูกปาล์มน้ำมันจะต้องเลือกปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการปลูกปาล์มน้ำมันขึ้นอยู่กับ พื้นที่เพาะปลูก สายพันธุ์ปาล์ม ขั้นตอนวิธีการปลูก และการให้ปุ๋ย ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

ก. พันธุ์ปาล์มน้ำมัน

ปาล์มน้ำมัน เป็นพืชที่จัดอยู่ในตระกูลปาล์ม (Palmae) เช่นเดียวกับ มะพร้าว อินทผลัม สละ ระกำ ตาลโตนด และต้นจาก ซึ่งมีชื่อทางพฤกษาศาสตร์ว่า Elaeis Guineensis Jacq. โดยพันธุ์ปาล์มที่ปลูกเป็นการค้า มีดังนี้

(1) พันธุ์ดูร่า (Dura) เป็นพันธุ์ดั้งเดิม พบในแถบตะวันออกไกล มีชั้นของเปลือกประมาณร้อยละ 30-35 และมีน้ำมันร้อยละ 17-18 ของน้ำหนักผลปาล์มทั้งหมด กะลาหนาประมาณ 2-8 มิลลิเมตร เนื้อในมีขนาดใหญ่ แต่ในขณะนี้ไม่นิยมปลูก เนื่องจากผลผลิตต่ำ แต่นิยมใช้เป็นแม่พันธุ์สำหรับผลิตลูกผสมเทเนอร่า

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

(2) พันธุ์พิสิเฟอร่า (Pisifera) เป็นพันธุ์ที่มีกะลาบางมาก ชั้นของเปลือกหนากว่าพันธุ์ดูร่า (5.0-100.0 มิลิเมตร) เมล็ดในเล็ก เปอร์เซนต์น้ำมันค่อนข้างสูง ผลมีเนื้อนอกหนาและเนื้อในบาง ขนาดของผลเล็ก ช่อดอกตัวเมียมักเป็นหมันและการผลิตช่อดอกต่อต้นมีจำนวนต่ำ จึงไม่ค่อยนิยมเพราะยุ่งยากในการสกัดน้ำมันออกจากเมล็ด แต่ใช้เป็นพ่อพันธุ์สำหรับการปรับปรุงพันธุ์

(3) พันธุ์เทเนอร่า (Tenera) เป็นพันธุ์ผสมระหว่างพันธุ์ดูร่าและพันธุ์พิสิเฟอร่า ซึ่งได้รวมเอาคุณสมบัติเด่นของทั้งสองพันธุ์เข้าด้วยกัน มีกะลาบาง (0.5-4.0 มิลลิเมตร หรือ 3.0-10.0 มิลลิเมตร) ทะลายมาก ผลใหญ่ ชั้นของเปลือกหนา เมล็ดในหนา สัดส่วนน้ำมันในเปลือกสูงถึงร้อยละ 19–22 ของน้ำหนัก ปัจจุบันกำลังได้รับการปลูกอย่างแพร่หลาย สำหรับพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทยในปัจจุบันเป็นปาล์มพันธุ์เทเนอร่า เพราะผลปาล์มมีเนื้อหนาและกะลาบาง

(4) พันธุ์ปาล์มลูกผสมสุราษฎร์ธานี 1 และ 2 มีลักษณะต้นเตี้ย ผลปกติจะมีสีดำ เมื่อสุกจะมีสีส้มแดง ให้ผลผลิตสม่ำเสมอแม้ในสภาวะที่ไม่เหมาะสม

ข. ลักษณะพื้นที่เพาะปลูก

ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ชอบพื้นที่ราบต่ำของภูมิภาคแถบเส้นศูนย์สูตร ดังนั้นสภาพพื้นที่เพาะปลูกที่ควรคำนึง แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความเหมาะสมของพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมัน

ลำดับ	รายการ	ความเหมาะสม
1	สภาพพื้นที่	- อยู่ในระหว่างละติจูดที่ 15 องศาเหนือ-15 องศาใต้ - มีความสูงจากระดับน้ำทะเล 0-300 เมตร - อยู่ในสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น - ความลาดชันต่ำกว่า 12 องศา **ข้อจำกัด :** - หากปลูกในพื้นที่ที่สูงจากระดับน้ำทะเลมากเกินไป อากาศเย็น ฝนน้อย แสงน้อย หรือมากกว่าความต้องการของปาล์มน้ำมันซึ่งจะทำให้ผลผลิตลดลง
2	อุณหภูมิ	- เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิระหว่าง 24-30 องศาเซลเซียส **ข้อจำกัด :** - อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส ทำให้ผลผลิตลดลง - อุณหภูมิที่สูงกว่า 33 องศาเซลเซียส ทำให้ช่อดอกตัวเมียจะฝ่อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

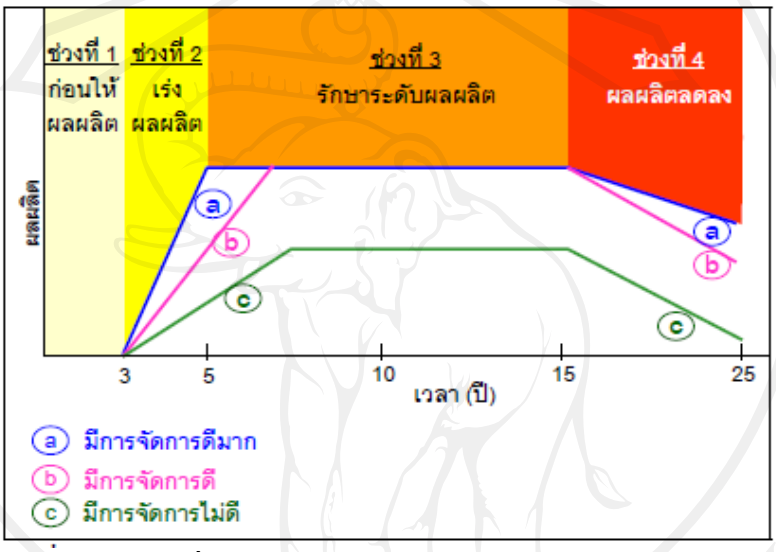
ตารางที่ 2.1 ความเหมาะสมของพื้นที่เพาะปลูกปาล์มน้ำมัน (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	ความเหมาะสม
3	ความต้องการน้ำ	- พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมันควรมีปริมาณน้ำฝนที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 2,500-3,000 มม./ปี และไม่ควรมีฝนทิ้งช่วงนานเกิน 2 เดือน หรือมีระดับการขาดน้ำมากกว่า 500 มม./ปี **ข้อจำกัด** : - หากปลูกในพื้นที่ที่สูงจากระดับน้ำทะเลมากเกินไป อากาศเย็น ฝนน้อย แสงน้อย หรือมากกว่าความต้องการของปาล์มน้ำมันทำให้ผลผลิตลดลง
4	ลักษณะดิน	- มีความลึกของชั้นดานหรือระดับน้ำใต้ดินมากกว่า 75 เซนติเมตร - เนื้อดิน เป็นดินร่วนถึงดินเหนียว - มีความเป็นกรดเป็นด่างของดิน (pH) อยู่ระหว่าง 4.0 – 6.0 - ความหนาของชั้นดินอินทรีย์อยู่ระหว่าง 0 – 0.6 เมตร - ความสามารถในการซึมน้ำของดินอยู่ในระดับปานกลาง **ข้อจำกัด :** - ดินที่มี pH ของดินต่ำกว่า 3.2 ทำให้ธาตุอาหารพืชในดินอยู่ในรูปที่ปาล์มน้ำมันไม่สามารถนำใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ - ดินที่มีระดับน้ำใต้ดินตื้น (ต่ำกว่า 40 เซนติเมตร) หรือมีความหนาของชั้นดินอินทรีย์ลึกกว่า 1.50 เมตร จะทำให้ปาล์มน้ำมันโค่นล้มได้ง่าย
5	พลังงานแสง	- พื้นที่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรจะมีพลังงานแสงแดดต่อพื้นที่สูง ดังนั้นจึงสามารถให้ผลผลิตต่อพื้นที่มากกว่าพื้นที่ห่างเส้นศูนย์สูตร
6	ลม	- ไม่ควรเป็นพื้นที่ที่มีลมพายุพัดผ่านเป็นประจำ **ข้อจำกัด :** - ปาล์มน้ำมันเป็นพืชที่ไม่ทนทานต่อกระแสลมที่พัดแรง เมื่อเปรียบเทียบกับมะพร้าว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค. การจัดการการปลูกปาล์มน้ำมัน

เนื่องจากปาล์มน้ำมันเป็นพืชอายุยาว ดังนั้นในการบริหารจัดการสวนปาล์มต้องดำเนินการอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ เพราะหากมีการบริหารจัดการผิดพลาดไปในช่วงแรกก็จะมีผลต่อการให้ผลผลิตในช่วงต่อไปของปาล์มน้ำมัน การบริหารจัดการสวนปาล์มจะมีการจัดการแตกต่างกันตามช่วงอายุของปาล์ม แสดงดังรูปที่ 2.1 และสามารถแบ่งการจัดการการปลูกได้ 4 ช่วง แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 การจัดการสวนปาล์มในช่วงต่างๆ

ที่มา: ธีระ เอกสมทราเมษฐ์ (2548)

- ช่วงที่ 1 การจัดการสวนปาล์มก่อนให้ผลผลิต : เป็นการจัดการสวนปาล์มตั้งแต่เริ่มปลูกจนถึงระยะก่อนการเก็บเกี่ยวผลผลิต จะใช้เวลา 30 - 36 เดือน หลังจากปลูก การจัดการในช่วงนี้มีเป้าหมายเพื่อสร้างความสมบูรณ์ของปาล์ม ทั้งในด้านคุณภาพของต้นปาล์ม และประชากรปาล์มในพื้นที่ปลูก

- ช่วงที่ 2 การจัดการสวนปาล์มในช่วงเร่งผลผลิต : การจัดการช่วงนี้จะเริ่มเมื่อปาล์มอายุครบ 3 ปี ตั้งแต่เริ่มต้นให้ผลผลิตจนกระทั่งทำให้ปาล์มให้ผลผลิตสูงสุดตามศักยภาพของปาล์ม ซึ่งระยะเวลาในช่วงนี้จะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับเทคนิคในการจัดการของแต่ละบุคคลและความเหมาะสมของพื้นที่ปลูก รวมถึงการให้ปัจจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตที่แตกต่างกัน เช่น ในบางกรณีอาจมีการจัดการให้ผลผลิตสูงสุดภายใน 2 ปี ของช่วงที่ 2 (ผลผลิตสูงสุดในปีที่ 5) แต่บางกรณีอาจจะต้องใช้เวลานานถึง 4 ปี หลังจากปลูก(ผลผลิตสูงสุดในปีที่ 7)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การจัดการสวนปาล์มในช่วงนี้มีความสำคัญมาก ผลสำเร็จในการจัดการในช่วงนี้จะมากหรือน้อยมีผลจากการจัดการในช่วงที่ 1 ด้วย หากช่วงที่ 1 มีการจัดการได้อย่างถูกต้องก็จะทำให้การจัดการในช่วงนี้ง่ายและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้นปาล์มจะแสดงศักยภาพของพันธุ์ในการให้ผลผลิตอย่างเต็มที่ทำให้ปาล์มมีการใช้ปุ๋ยมาก ดังนั้นการให้ปุ๋ยที่ถูกต้องในปริมาณที่พอเพียงจึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งข้อควรคำนึงในการจัดการสวนปาล์มในช่วงนี้ ได้แก่

(1) การใช้ปุ๋ยที่ถูกต้องและเหมาะสม: ปาล์มในช่วงนี้จะมีการใช้ปุ๋ยในปริมาณที่มาก เนื่องจากปาล์มจะให้ผลผลิตสูงขึ้นเรื่อยๆ ดังนั้นการใช้ปุ๋ยจึงควรมีการวิเคราะห์ตัวอย่างดินและตัวอย่างใบเพื่อจะไม่ทำให้ปาล์มขาดปุ๋ย หรือใส่ปุ๋ยมากเกินไป ปาล์มที่เป็นพันธุ์ที่มีคุณภาพดีและมีการจัดการสวนดีจะให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ระยะเวลาในช่วงที่เร่งผลผลิตมีระยะเวลาสั้นลง

(2) การแต่งทางใบ: ในช่วงนี้ปาล์มยังไม่มีการบังแสงระหว่างต้นประกอบกับเป็นช่วงที่ปาล์มต้องการอาหารสูง ดังนั้นควรรักษาใบปาล์มไว้ให้มากที่สุด ในการเก็บเกี่ยวทะลายไม่ควรตัดทางใบที่รองทะลายออกในตอนที่เก็บเกี่ยวทะลาย โดยปกติในปาล์มที่มีอายุ 4-5 ปี ควรเก็บใบที่รองทะลายไว้ 2-3 ทางใบ แต่เมื่อปาล์มอายุ 6 ปี จะเก็บทางใบไว้ 2 ทางใบ ซึ่งเกษตรกรจะเรียกว่าทางรองรับทะลายและทางรองรับน้ำ

(3) การรักษาความชื้น: การรักษาความชื้นให้กับปาล์มจะช่วยทำให้ปาล์มมีผลผลิตสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้ถึงจุดสูงสุดของศักยภาพการให้ผลผลิต การรักษาความชื้นอาจทำได้โดยการใช้ทะลายเปล่าคลุม หรือตั้งระบบน้ำให้กับปาล์ม

(4) การเก็บเกี่ยว: จะต้องกำหนดรอบการเก็บเกี่ยว ซึ่งอาจเป็น 15 วันหรือ 20 วัน ทะลายปาล์มที่เหมาะสมในการเก็บเกี่ยวควรเป็นทะลายที่สุกเต็มที่ โดยสังเกตว่ามีผลร่วง 3-5 ผล/ทะลาย การจัดการสวนปาล์มในช่วงนี้จะบ่งบอกถึงการได้กำไรหรือขาดทุนของเจ้าของสวนได้

- ช่วงที่ 3 การจัดการสวนในช่วงรักษาระดับผลผลิตที่สูงสุด : การจัดการช่วงนี้จะเป็นการรักษาระดับผลผลิตที่สูงที่สุดให้มีความต่อเนื่องนานที่สุด เช่น มีการจัดการสวนปาล์มให้ผลผลิตสูง 4 ตัน/ไร่/ปี ในปีที่ 6 และรักษาระดับการให้ผลผลิตระดับ 4 ตัน/ไร่/ปี จนปาล์มอายุ 20 ปี จะได้ผลผลิตรวมมากกว่าการรักษาระดับการให้ผลผลิตระดับ 4 ตัน/ไร่/ปี แค่ปาล์มอายุ 15 ปี (เมื่อปาล์มอายุ 16 ปี ระดับผลผลิตจะลดลง)

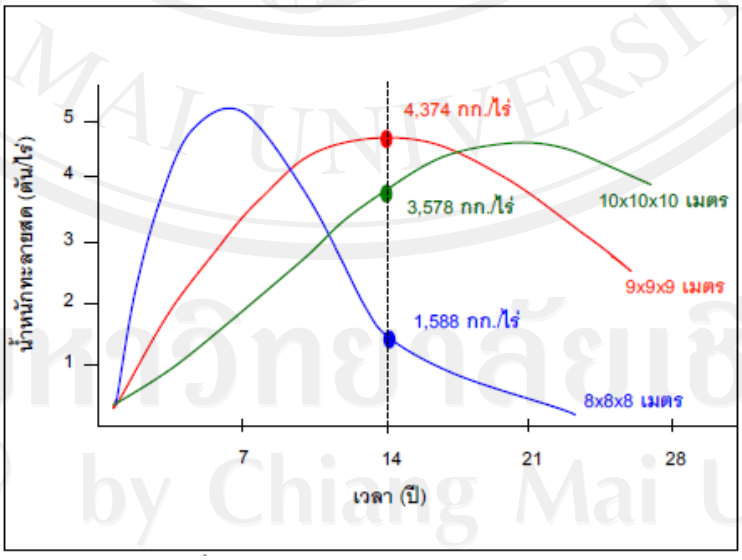
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หลังจากมีการจัดการสวนจนปาล์มจะเริ่มมีการแข่งขันระหว่างต้น เนื่องจากทรงพุ่มจะชนกันทำให้มีการแย่งปัจจัยในการเจริญเติบโตโดยเฉพาะปัจจัยแสงแดด การปลูกปาล์มในระยะปลูกที่ชิดเกินไปจะแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนในช่วงนี้ โดยจะทำให้ผลผลิตลดลงอย่างรวดเร็วและต้นปาล์มมีอัตราการสูงรวดเร็วกว่าปกติ ดังนั้นจะต้องตระหนักถึงความเหมาะสมของระยะปลูกของแต่ละพันธุ์ แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ลักษณะการเจริญเติบโตของปาล์มน้ำมัน

ระยะปลูก (เมตร)	ระยะแถว (เมตร)	จำนวนประชากร/ไร่
8.5	7.36	25 – 26
9	7.79	22 – 23
9.5	8.23	20 – 21
10	8.67	18 - 19

การปลูกปาล์มในระยะ (8 x 8 x 8 เมตร) จะให้ผลผลิต/ไร่ สูงในช่วงแรก เนื่องจากมีจำนวนต้น/ไร่สูงกว่าในระยะปลูกที่กว้างกว่า แต่เมื่อปาล์มอายุมากขึ้นการแข่งขันระหว่างต้นจะมากขึ้นทำให้ผลผลิต/ไร่ลดลง ในขณะที่การปลูกปาล์มในระยะห่างขึ้นมีจำนวนต้น/ไร่ น้อยกว่า ในช่วงแรกและจะให้ผลผลิต/ไร่ต่ำแต่จะค่อยเพิ่มขึ้นเมื่อปาล์มอายุมากขึ้น



รูปที่ 2.2 การให้น้ำกับปาล์มและการคาดคะเนผลผลิตในแต่ละช่วงของระยะปลูกต่างๆ

ที่มา: อรัญ หันพงศ์กิตติกูล และคณะ (2552)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- ช่วงที่ 4 การจัดการสวนปาล์มในช่วงผลผลิตลดลง: เมื่อปาล์มอายุมากขึ้นผลผลิตจะลดลง ซึ่งการที่ผลผลิตจะลดลงเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับการจัดการสวนในช่วงที่ 3 การจัดการสวนในช่วงนี้จึงเน้นการลดต้นทุนการผลิต ดังนั้นการจัดการสวนปาล์มในช่วงนี้จะมุ่งเน้น 2 ประการ คือ (1) ทำให้ผลผลิตลงช้าที่สุด (2) ลดต้นทุนการผลิตโดยเฉพาะต้นทุนในการใช้ปุ๋ย ดังนั้นการจัดการสวนปาล์มในช่วงผลผลิตลดทำได้โดย การใช้ปุ๋ยลดลงจากช่วงที่รักษาระดับผลผลิต การลดการแข่งขันภายในต้น ซึ่งจำนวนทางใบที่มากเกินไปจะเป็นต้นเหตุของการแข่งขันภายในต้นเดียวกันของปาล์มน้ำมัน ทางใบล่างจะมีประสิทธิภาพในการสังเคราะห์แสงต่ำมาก เนื่องจากมีการบังแสงจากทางใบด้านบน และการลดการแข่งขันระหว่างต้น ทำได้โดยการลดจำนวนประชากรโดยการทำลายต้นที่ให้ผลผลิตต่ำออก ซึ่งอาจทำเป็นระบบก็ได้ เช่น ลดประชากรลง 10% 15% หรือ 20% ซึ่งการลดประชากรปาล์มอย่างเป็นระบบหลังจากปาล์มให้ผลผลิตลดลงอย่างมาก จะใช้วิธีการลดประชากร 50% และมีการปลูกทดแทน

ง. การดูแลรักษาปาล์มน้ำมัน

(1) การปราบวัชพืช ทำปีละ 1 – 2 ครั้ง โดยการถางหญ้าและการฉีดพ่นสารเคมีกำจัดวัชพืชควบคู่กัน

(2) การใส่ปุ๋ย ควรใส่ปุ๋ยเมื่อดินมีความชื้นเพียงพอ หลีกเลี่ยงการใส่ปุ๋ยเมื่อแล้งจัดหรือฝนตกหนักในปีแรก หลังจากปลูกควรใส่ปุ๋ย 4 - 5 ครั้ง ตั้งแต่ปีที่ 2 เป็นต้นไป จากการสัมภาษณ์เกษตรกรในท้องที่ พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่จะใส่ปุ๋ยเคมีปีละประมาณ 2 ครั้ง โดยจะใส่ในช่วงเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงต้นฤดูฝนจนถึงเดือนตุลาคม ซึ่งการใส่ปุ๋ยต้องใส่ให้อยู่ในระยะที่รากปาล์มน้ำมันดูดซึมได้ง่าย คือ ห่างจากโคนต้น ประมาณ 1.2 เมตร

(3) การตัดแต่งกิ่ง ทำในช่วงเวลาเดียวกับการเก็บเกี่ยวผลผลิต

(4) การให้น้ำ ถ้าปลูกในสภาพพื้นที่ที่มีช่วงแล้งยาวนาน หรือสภาพพื้นที่ที่มีการขาดน้ำมากกว่า 250 มม./ปี ควรมีการให้น้ำเสริมหรือทดแทนน้ำจากน้ำฝนในปริมาณ 150-200 ลิตร/ต้น/ปี ถ้ามีแหล่งน้ำจำกัดควรติดตั้งระบบน้ำแบบน้ำหยด (Drip irrigation) ส่วนพื้นที่ที่มีแหล่งน้ำมากควรติดตั้งระบบน้ำแบบ Mini sprinkler

(5) การปลูกพืชคลุม เพื่อป้องกันและควบคุมการเจริญเติบโตของวัชพืชรวมถึงการพังทลายของหน้าดิน ควรปลูกพืชคลุมดินหรือใช้ทะลายปาล์มเปล่าเป็นวัสดุคลุมดิน โดยนำทะลายเปล่ากองทิ้งไว้ประมาณ 1 เดือน แล้วนำไปวางกระจายรอบโคนต้น

(6) การเก็บเกี่ยวทะลายปาล์มสดและการขนส่ง เก็บเกี่ยวทะลายปาล์มระยะที่สุกพอดีคือ ผลเปลือกนอกมีสีส้มสดและเริ่มมีผลร่วงหล่น ทะลายปาล์มร่วงที่โคนต้นไม่น้อยกว่า 10

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ผลต่อทะลาย ส่วนรอบของการเก็บเกี่ยวผลปาล์มอยู่ในช่วง 7-10 วัน หากผลผลิตน้อย ควรเก็บเกี่ยว 14-21 วันต่อรอบ การเก็บรวบรวมผลปาล์มควรลดจำนวนครั้งในการถ่ายเทย่อย เพื่อลดการชอกช้ำและบาดแผลของผลปาล์ม ควรทำความสะอาดผลปาล์มที่เปื้อนดิน หรือเศษหิน ดิน ทราย และไม้กาบหุ้มทะลาย และต้องรีบส่งผลปาล์มไปยังโรงงานภายใน 24 ชั่วโมง

จ. โรคและศัตรูปาล์มน้ำมัน

โรคของปาล์มน้ำมันที่เกษตรกรในจังหวัดสุราษฎร์ธานีประสบปัญหามี ดังต่อไปนี้

(1) โรคลำต้นส่วนบนเน่า เกิดจากเชื้อราจำพวก Phellinus ร่วมกับ Genedema อาการที่พบ ได้แก่ ส่วนบนของลำต้นจากยอดประมาณ 0.5 เมตร จะหัก พบครั้งแรกกับลำต้น 9 ปี เมื่อผ่าดูพบว่าเชื้อจะเข้าทางฐานของก้านทางทำให้เกิดอาการเน่าบริเวณลำต้น ในขณะที่ตากับรากแสดงอาการปกติ การป้องกันและการกำจัดโรค สามารถทำได้โดยเผาทำลายต้นปาล์มน้ำมัน

(2) โรคเหี่ยว เมื่อปาล์มน้ำมันอายุประมาณ 5 ปี จะแสดงอาการเหี่ยวอย่างรวดเร็ว โดยเริ่มจากทางใบแก่ก่อนในเวลา 1 เดือน เมื่อดูลักษณะอาการภายในของก้านทางพบว่า มีการเน่าจากปลายใบเข้าหาโคนและเจริญเข้าตาทำให้ตาเน่าและต้นตายไปในที่สุด การป้องกันกำจัดโรค ให้ตัดทางใบและส่วนที่แสดงอาการให้หมด แล้วฉีดพ่นด้วยสารเคมี

(3) โรคก้านทางใบบิด เกิดจากความไม่สมดุลของธาตุอาหาร โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน และแมกนีเซียม ลักษณะอาการ เกิดแผลเน่าบริเวณใบยอด เมื่อยอดเจริญทางยอดคลี่ออก บริเวณที่เคยเป็นแผลเน่าใบย่อยจะแห้งฉีกขาดไป ก้านทางบริเวณนี้จะเหลือแต่ตอก้านทาง ส่วนนี้จะหักโค้งลง การป้องกันกำจัดโรคทำได้โดยตัดทางใบที่เป็นโรคออก ควรฉีดพ่นด้วยสารเคมี เช่น สารไซโคเฮดซิไม 4.2 % อัตรา 5 มิลลิลิตร น้ำ 10 ลิตร

(4) โรคก้านทางใบเน่า มีอาการใบย่อยจะมีสีเขียวเข้ม ลักษณะผิวใบจะด้าน ไม่มันปลายทางใบจะบิด เมื่อเป็นมากก้านใบจะเกิดรอยแตกสีน้ำตาลอมม่วงตามความยาวของทาง การป้องกันกำจัด ตัดส่วนที่เป็นโรคออกเผาทำลาย และราดบริเวณรอยตัดด้วยสารเคมี

(5) โรคใบจุด สาเหตุเกิดจาก Drechslera halodes ลักษณะอาการเกิดจุดแผลสีเหลือง จำนวนมากบนใบอ่อนที่เริ่มคลี่ โดยมากจะเกิดในลักษณะเป็นกลุ่มบริเวณปลายใบ ต่อมาจุดแผลจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลดำ เมื่อใบที่เกิดกลุ่มแผลจะมีสีเหลืองรวมเป็นบริเวณกว้าง สามารถป้องกันและกำจัดโรคได้ด้วยการแยกต้นที่เป็นโรคและเผาทำลายหรือพ่นด้วยสารเคมีฆ่าเชื้อ เช่น แคปแทน หรือไทแรม ซึ่งการพ่นสารเคมีควรพ่นทั้งบนใบและใต้ใบเพื่อประสิทธิภาพสูงสุด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2 กระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมัน

ไบโอดีเซล ถูกค้นพบและนำมาทดลองใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันชื่อ Rudolf Deisel เมื่อปี ค.ศ.1893 แต่ไม่แพร่หลายเนื่องจากเชื้อเพลิง Fossil Fuel มีราคาถูกกว่ามาก โดยเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล สามารถผลิตได้จากน้ำมันพืช หรือไขมันสัตว์ โดยนำมาผ่านกระบวนการทางเคมีเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างไขมันให้เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน ซึ่งน้ำมันพืชเป็นสารประกอบตระกูลไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride) มีโครงสร้างโมเลกุลเป็น C_3H_5 ที่เชื่อมต่อกับกรดไขมัน เมื่อทำปฏิกิริยากับเมทานอล (Methanol) จะทำให้ได้ไบโอดีเซลหรือสารเมทิลแอสเตอร์ (Methylester) และได้กลีเซอรีน (Glycerine) เป็นผลพลอยได้ ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเครื่องยนต์

2.2.1 ประเภทของไบโอดีเซล สามารถแบ่งตามประเภทของน้ำมันได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

2.1.1.1 น้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ ไบโอดีเซลประเภทน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์ หมายถึง น้ำมันพืชแท้ๆ เช่น น้ำมันมะพร้าว น้ำมันปาล์ม น้ำมันถั่วลิสง น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์ เช่น น้ำมันหมู ซึ่งสามารถนำมาใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลโดยไม่ต้องผสม เติมสารเคมี หรือไม่ต้องนำมาเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของน้ำมัน

2.1.1.2 ไบโอดีเซลแบบผสม เป็นการผสมระหว่างน้ำมันพืช หรือน้ำมันจากไขมันสัตว์กับน้ำมันก๊าดหรือน้ำมันดีเซล ทำให้ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลให้มากที่สุด ซึ่งเป็นการผสมกันระหว่างน้ำมันมะพร้าวกับน้ำมันก๊าด หรือปาล์มดีเซลเป็นการผสมระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันดีเซล

2.1.1.3 ไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ เป็นไบโอดีเซลที่แท้จริงที่ต่างประเทศใช้กันทั่วไป สำหรับไบโอดีเซลประเภทนี้ต้องผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยกระบวนการทางเคมีที่เรียกว่าทรานส์เอสเทอริฟิเคชัน ทำให้ได้เอสเทอร์โดยจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบเอสเทอร์ตามชนิดของแอลกอฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา เช่น เมทิลเอสเทอร์ หรือเอทิลเอสเทอร์ ไบโอดีเซลที่ได้มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่กลั่นจากน้ำมันปิโตรเลียมสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ดีเซลได้โดยไม่ต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์

2.2.2 เทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซล สามารถแบ่งได้เป็น 3 กระบวนการ ได้แก่

2.2.2.1 กระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification process) ที่ใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและเมทานอล มีข้อดีคือ เป็นเทคโนโลยีที่มีการลงทุนไม่สูงนัก เนื่องจากเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการที่ใช้อุณหภูมิต่ำ และความดันต่ำกว่า 2 บรรยากาศ ผลที่ได้ของปฏิกิริยาสูงถึง 98% แต่กระบวนการนี้จะไม่เหมาะกับวัตถุดิบที่มีปริมาณกรดไขมันอิสระสูง เนื่องจากจะเกิดสบู่ และส่งผลให้ผลได้ (yield) ของกระบวนการผลิตลดลง

2.2.2.2 กระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน (Transesterification process) ที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาและเมทานอล จะสามารถใช้ได้กับวัตถุดิบทุกชนิด และค่ากรดไขมันอิสระทุกระดับ แต่ข้อด้อย คือ ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน และใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาสูงกว่าการใช้เบสเป็นสารเร่งปฏิกิริยา จึงทำให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยสูงกว่า

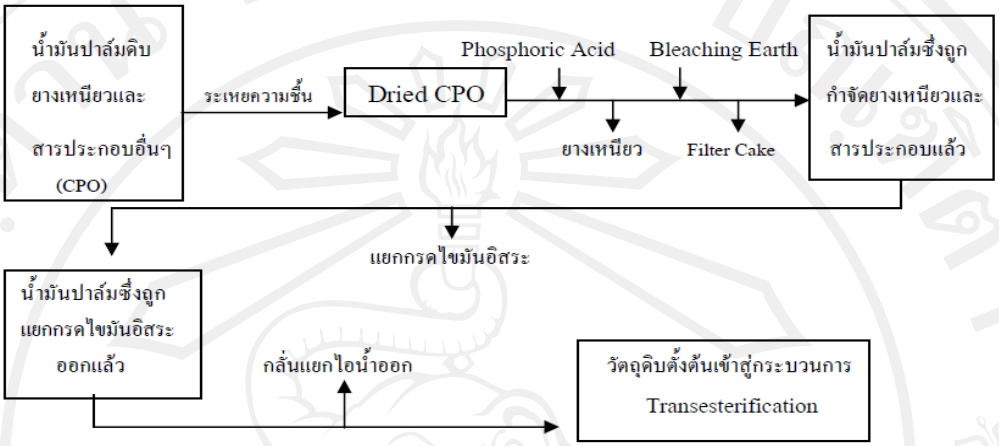
2.2.2.3 กระบวนการ 2 ขั้นตอน (Two-stage process) โดยขั้นตอนที่ 1 เป็นปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน และขั้นตอนที่ 2 เป็นปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน เป็นการแก้ปัญหาจุดด้อยของ 2 กระบวนการข้างต้น กล่าวคือ สามารถใช้ได้กับน้ำมันที่มีค่ากรดไขมันอิสระสูง ในขณะเดียวกันก็มีการใช้พลังงานต่ำ โดยหลักการคือ ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เปลี่ยนกรดไขมันอิสระที่อยู่ในน้ำมันให้เป็นสารเอสเทอร์ก่อน ที่เป็นปฏิกิริยาเอสเทอริฟิเคชัน จากนั้นจึงใช้เบสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชัน ถึงแม้ว่ากระบวนการนี้จะมีการใช้พลังงานต่ำกว่ากระบวนการทรานเอสเทอริฟิเคชันที่ใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในขั้นตอนเดียว แต่หากวัตถุดิบมีค่ากรดสูงมากๆ กระบวนในขั้นตอนแรกจะใช้เวลามากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนการผลิตต่อหน่วยของไบโอดีเซลสูงขึ้นตามไปด้วย

แต่วิธีที่นิยมนำมาผลิตไบโอดีเซลคือ กระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบ 2 ขั้นตอน โดยใช้การทำปฏิกิริยาทรานเอสเทอริฟิเคชัน ซึ่งมีขั้นตอนพอสรุปได้ดังนี้

กระบวนการที่ 1: กระบวนการเตรียมและปรับสภาพน้ำมันปาล์มดิบ (Pre-treatment process) ในกระบวนการนี้วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตจะถูกเตรียมให้เหมาะสมก่อนเข้าทำปฏิกิริยา เนื่องจากน้ำมันปาล์มดิบที่ได้มาจากโรงงานสกัด (Crude Palm Oil, CPO) ประกอบด้วยสารไม่พึงประสงค์ต่อการผลิตไบโอดีเซล เช่น กรดไขมันอิสระ เลซิติน เป็นต้น อีกทั้งคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆ ของน้ำมันปาล์มดิบ เช่น ความชื้น ยางเหนียว ไข กลิ่น สี จะเป็นปัญหาและอุปสรรคต่อการผลิตไบโอดีเซล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการกำจัดออกและปรับสภาพก่อนที่จะนำเข้าสู่กระบวนการผลิตในลำดับต่อไป ยางเหนียวและสีของน้ำมันปาล์มดิบ จะถูกแยกจากน้ำมันปาล์มดิบโดยการเติมกรดฟอสฟอริกและดินฟอกสีเข้าไปในกระบวนการ และคัดแยกโดยเครื่องแยกแรงเหวี่ยงสูง หลังจากนั้นน้ำมันที่ไม่มียางเหนียวแล้วจะถูกนำไปผ่านกระบวนการแยกกรดไขมันอิสระและน้ำที่ปนอยู่ออกไป โดยวิธีการระเหยและควบแน่น เพื่อจะได้กลายเป็นวัตถุดิบตั้งต้นสำหรับ

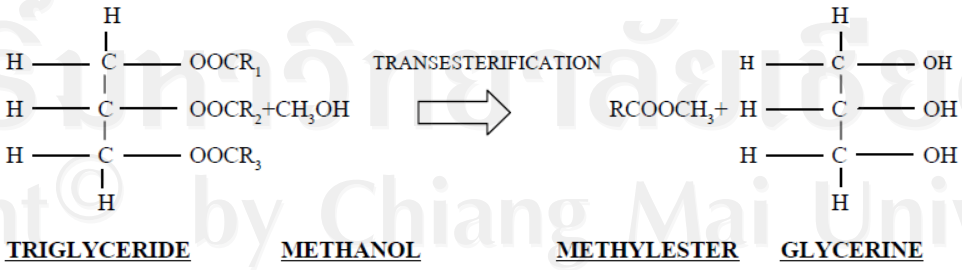
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลต่อไป ซึ่งกระบวนการเตรียมและปรับสภาพน้ำมันปาล์มดิบ แสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แผนภูมิแสดงกระบวนการเตรียมและปรับสภาพน้ำมันปาล์มดิบ
ที่มา: พนัส งามกนกวรรณ (2552)

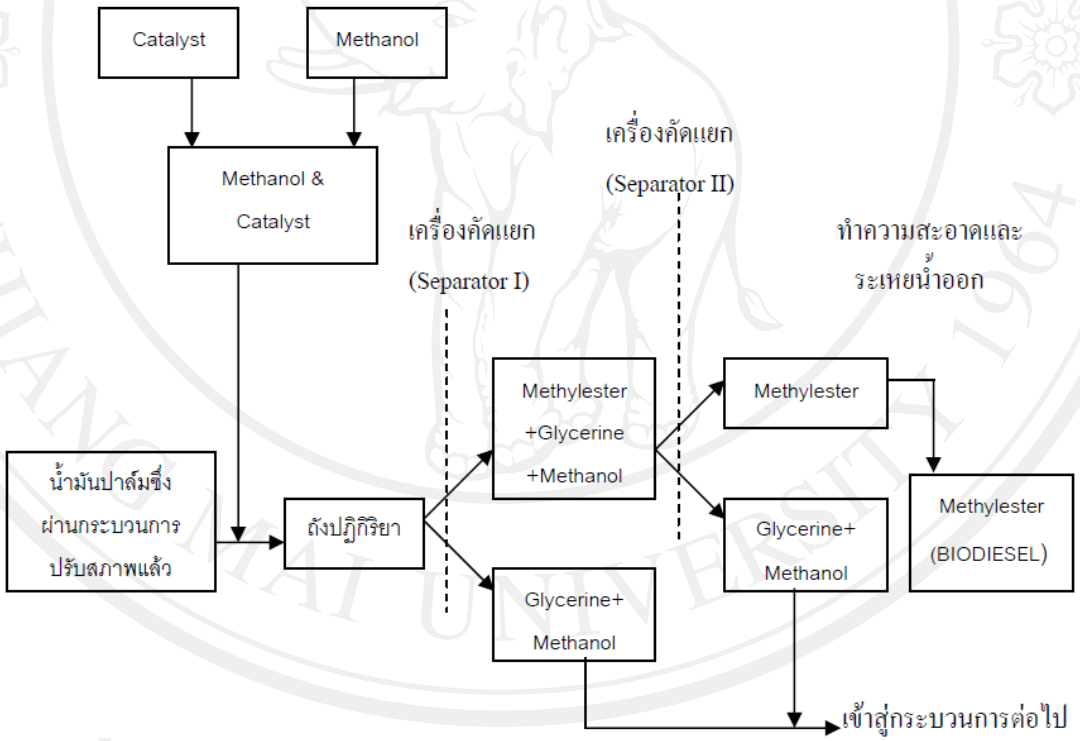
กระบวนการที่ 2: กระบวนการผลิตไบโอดีเซล (วิธีการ Transesterification process) ในกระบวนการนี้การทำปฏิกิริยาทางเคมีของน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์กับเมทานอลหรือเอทานอล ปฏิกริยาเคมีดังกล่าว เรียกว่า “ทรานเอสเตอริฟิเคชัน (Transesterification)” และได้กรีเซอรีนเป็นผลพลอยได้ โดยไบโอดีเซลจัดสารประกอบโมโนอัลคิลเอสเตอร์ (Mono alkyl ester) ซึ่งเป็นผลผลิตจากการทำปฏิกิกริยาของน้ำมันพืชหรือสัตว์ ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ประเภทไตรกลีเซอไรด์ทำปฏิกิยากับแอลกฮอล์ และมีตัวเร่งปฏิกิริยาที่เป็นกรดหรือเบส จะได้ผลผลิตเป็นเอสเตอร์ (Ester) และผลิตภัณฑ์ผลพลอยได้กลีเซอรอล (Glycerol) ซึ่งเราจะเรียกชนิดของไบโอดีเซลแบบเอสเตอร์นี้ตามชนิดของแอลกฮอล์ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาว่า ไบโอดีเซลชนิดเอสเตอร์



รูปที่ 2.4 แผนภูมิแสดงหลักการผลิตไบโอดีเซล
ที่มา: พนัส งามกนกวรรณ (2552)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

น้ำมันปาล์มที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพแล้วจะถูกปั๊มผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เพื่อปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมกับการเกิดปฏิกิริยากับเมทานอลและสารเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะถูกนำมาผสมกันในสัดส่วนที่เหมาะสมตามการออกแบบ หลังจากการเกิดปฏิกิริยาเสร็จสิ้นแล้ว น้ำมันปาล์มจะถูกทำให้โมเลกุลเล็กลง และผสมอยู่กับเมทานอลและตัวเร่งปฏิกิริยา ผลิตผลที่ได้จะถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการคัดแยกสารต่างๆ ออกจากสารเมทิลเอสเตอร์ โดยการผ่านเครื่องคัดแยก (Separator) เมทิลเอสเตอร์ที่ได้จะถูกนำไปผ่านขั้นตอนของการทำความสะอาดและกำจัดปริมาณน้ำออก และกลายเป็นน้ำมันไบโอดีเซลซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลมากและสามารถที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้ จากกระบวนการดังกล่าว จะมีสารผสมระหว่างเมทานอลกับสารละลายกลีเซอรีนออกจากขั้นตอนการผลิตซึ่งจะถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการคัดแยกต่อไป

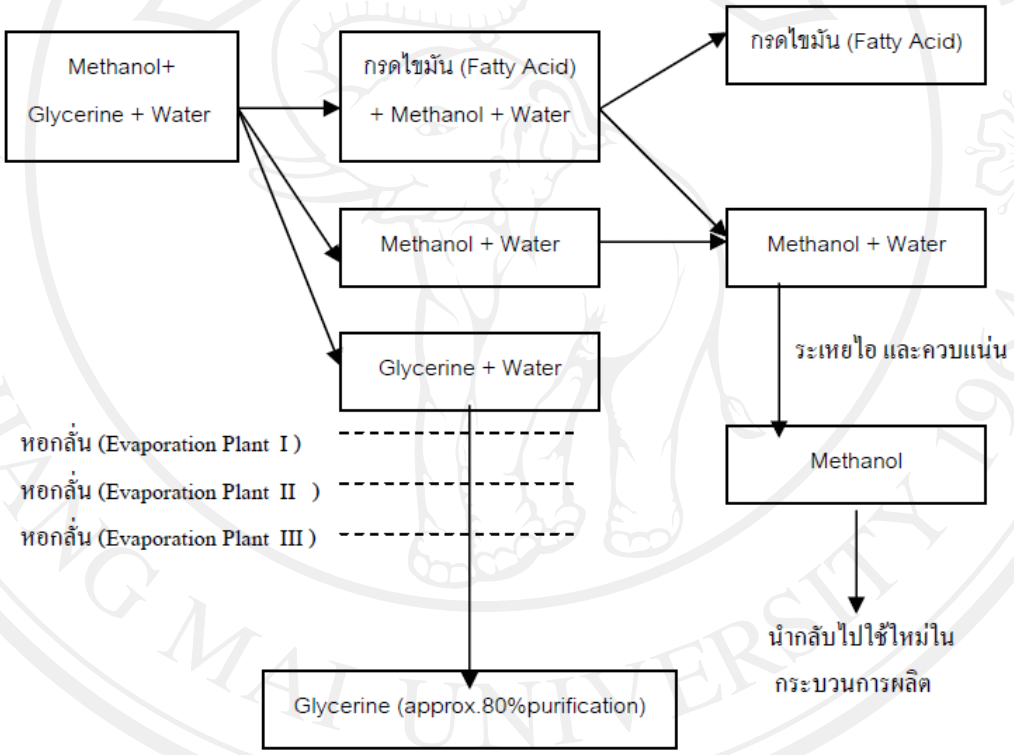


รูปที่ 2.5 แผนภูมิแสดงกระบวนการผลิตไบโอดีเซล
ที่มา: พนัส งามกนกวรรณ (2552)

กระบวนการที่ 3: การนำกลับเมทานอลและการปรับสภาพเบื้องต้นของกลีเซอรีน (Methanol recovery and Glycerine water pre-treatment process) ในกระบวนการนี้สารผสมระหว่างเมทานอลและกลีเซอรีนที่ถูกคัดแยกจากขั้นตอนการผลิตไบโอดีเซลนั้น จะมีส่วนผสม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ระหว่างเมทานอล กลีเซอรีน น้ำ และกรดไขมัน โดยสารผสมดังกล่าว จะถูกนำไปกลั่นแยกสารต่างๆออกจากกัน ซึ่ง (เมทานอล+น้ำ+กรดไขมัน) จะถูกแยกออกจาก (กลีเซอรีน+น้ำ)ในขั้นตอนแรก จากนั้น (เมทานอล+น้ำ+กรดไขมัน) จะถูกนำมาคัดแยกกรดไขมันออกไปก่อนโดยการให้ความร้อน จากนั้น (เมทานอล+น้ำ) จะถูกนำเข้าสู่หอกลั่น เพื่อแยกเอาเมทานอลบริสุทธิ์และน้ำออกจากกันเพื่อนำเมทานอลไปใช้หมุนเวียนในกระบวนการผลิตซ้ำอีก สารผสมระหว่างกลีเซอรีนกับน้ำ จะถูกนำไปผ่านกระบวนการการระเหยไอ (Evaporation system) ซึ่งจะทำให้ได้กลีเซอรีนซึ่งมีความบริสุทธิ์ประมาณ 80-88%



รูปที่ 2.6 แผนภูมิแสดงกระบวนการนำกลับของเมทานอลและการปรับสภาพเบื้องต้นของกลีเซอรีน
ที่มา: พนัส งามกนกวรรณ (2552)

กลีเซอรีน ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตไบโอดีเซล ยังมีมูลค่าและสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมต่อเนื่องต่างๆต่อไปได้ เช่น อุตสาหกรรมยาและเครื่องสำอาง หากต้องการเพิ่มมูลค่าผลพลอยได้ของกลีเซอรีนจะต้องนำมาทำให้บริสุทธิ์ยิ่งขึ้นโดยผ่านกระบวนการกลั่นเพื่อให้ได้กลีเซอรีนที่ความบริสุทธิ์ 99.5% ขึ้นไป

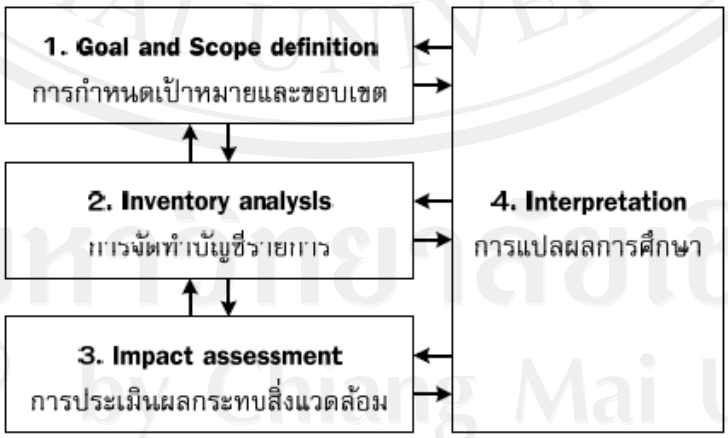
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)

การประเมินวัฏจักรชีวิต เป็นวิธีการประเมินผลกระทบของผลิตภัณฑ์ในเรื่องการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ผลกระทบต่อระบบนิเวศวิทยาและผลกระทบต่อสุขภาพตั้งแต่การจัดหาวัตถุดิบ การผลิต การบริโภค รวมไปถึงการกำจัดขั้นสุดท้าย โดยมีหลักการทั่วไป คือ การจัดทำรายการของปัจจัยที่ใช้ในกระบวนการผลิต/บริการ (Input) และผลลัพธ์ (Output) ทั้งหมดที่ได้รับจากกระบวนการ หรือกล่าวได้ว่า การประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ใดๆ เป็นวิธีการรวบรวม และประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิตตั้งแต่เกิดจนตาย (From cradle to grave) โดยระบุถึงปริมาณพลังงานและวัสดุทั้งหมดที่ใช้ รวมทั้งของเสียจากกระบวนการทั้งหมดที่มีการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมภายใต้ขอบเขตที่กำหนด นำข้อมูลที่ได้มาพิจารณาหาวิธีปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด โดยแนวความคิดดังกล่าวนี้จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินทั้งในด้านของปริมาณและรูปแบบการใช้พลังงาน (Life Cycle Energy Analysis: LCEA) การใช้วัสดุ (Life Cycle Material Analysis: LCMA) และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Impact Assessment: LCIA)

ขั้นตอนในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตมีวิธีการดำเนินการหลายวิธี แต่ในปัจจุบันวิธีหลักๆ เริ่มมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน โดยนิยมใช้วิธีการและขั้นตอนการศึกษาตามกรอบของอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ซึ่งแบ่งขั้นตอนการดำเนินงาน LCA ออกเป็น 4 ขั้นตอน แสดงดังรูปที่ 2.7 ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.7 ขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ตามหลัก ISO 14040

ที่มา: Graedel (1998)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขั้นตอนที่ 1: การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope) ในการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้น ขั้นตอนแรกจะต้องทราบว่าสิ่งที่จะทำการศึกษาคืออะไร และจะทำการศึกษาอย่างไร ซึ่งผลจากการศึกษาจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใดนั้น ขึ้นอยู่กับการกำหนดขอบเขต และเป้าหมายของประเมินวัฏจักรชีวิต สามารถนำไปใช้กับเป้าหมายหลักๆ ของการศึกษาวิจัยที่มีความแตกต่างกัน ได้แก่ เพื่อการวิเคราะห์จุดแข็งและจุดอ่อนของผลิตภัณฑ์ เพื่อการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ หรือเพื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตประกอบด้วยประเด็นหลักที่มีความสำคัญ ดังต่อไปนี้

ก. เป้าหมาย ต้องมีการระบุผลของการใช้และผู้ที่จะนำไปใช้ การกำหนดเป้าหมายต้องเข้าใจรายละเอียดต่างๆ เป็นอย่างดี อาจกล่าวได้ว่าเป้าหมายเป็นหัวใจของการศึกษารายละเอียดและการสรุปผล เพราะเป้าหมายจะทำให้สามารถแยกแยะความสำคัญของส่วนต่างๆ ในเนื้อหาได้

ข. ขอบเขต มีส่วนประกอบ 2 ส่วน คือ

- หน่วยการทำงาน (Functional unit) คือ ส่วนที่เป็นพื้นฐานของการศึกษา LCA เพราะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ หรือเป็นตัววัดระหว่างผลิตภัณฑ์ มีการให้นิยามของหน่วยการทำงานที่หลากหลาย โดยหน่วยการทำงานของระบบจะให้ความหมายและการวัดที่กระจ่างชัด ซึ่งผลจากการวัดจะใช้เป็นคำตอบต่อไปได้ ลักษณะ 3 ประการของหน่วยการทำงานได้แก่ 1) ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ 2) ความคงทนของผลิตภัณฑ์ และ 3) คุณสมบัติพื้นฐาน ในการเปรียบเทียบระหว่างระบบสามารถทำได้ด้วยหน่วยการทำงานที่มีลักษณะพื้นฐานเหมือนกัน
- คุณภาพของข้อมูล (Data quality) ที่นำมาใช้ในการประเมิน จะนำมาซึ่งคุณภาพของข้อสรุปที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยคุณภาพของข้อมูลจะทำให้ทราบรายละเอียดต่างๆ ที่สำคัญ และทำให้การประเมินเป็นไปอย่างมีหลักเกณฑ์

ขั้นตอนที่ 2: การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory: LCI) เป็นการเก็บรวบรวมและคำนวณข้อมูลที่ได้จากกระบวนการต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา รวมถึงการสร้างผังของระบบผลิตภัณฑ์ การคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงทรัพยากรและพลังงานที่ใช้หรือการปล่อยของเสียออกสู่อากาศ น้ำ และดิน

ขั้นตอนที่ 3: การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA) เป็นการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลการใช้ทรัพยากร และการปล่อยของเสีย หรือสารขาเข้าและขาออกที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม โดยการประเมินผลกระทบเกี่ยวข้องกับประเด็นหลักๆ คือ การนิยาม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ประเภท (Category definition) การจำแนกประเภท (Classification) การกำหนดบทบาท (Characterization) และการให้น้ำหนักแก่แต่ละประเภท (Weighting)

ขั้นตอนที่ 4: การแปลผล (Interpretation) เป็นการนำผลการศึกษาที่ได้จากขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม และการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม มาเชื่อมโยงกัน เพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผลการศึกษาและจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่มาจากผลลัพธ์ของการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยแนวทางในการแปลผลหรือประเมินโอกาสเพื่อการปรับปรุงที่สำคัญ ได้แก่การปรับปรุงในขั้นตอนการผลิตในโรงงาน เช่น การพิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละกระบวนการและทำการปรับปรุงกระบวนการที่มีการใช้ไฟฟ้าในปริมาณมาก เป็นต้น

2.4 การวิเคราะห์เอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์ (Energy Footprint)

เอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์ (Energy Footprint: EF) เป็นการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานสุทธิของผลิตภัณฑ์ (Net Energy Value: NEV) ซึ่งหมายถึง การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของปริมาณพลังงานที่ได้จากผลิตภัณฑ์และพลังงานที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยเริ่มพิจารณาตั้งแต่เกิดจนตาย ซึ่งแสดงทั้งในด้านของปริมาณและรูปแบบการใช้พลังงาน ซึ่งผลการคำนวณแสดงออกมาให้อยู่ในรูปของหน่วยพลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

โดยการวิเคราะห์พลังงานเป็นวิธีการตรวจสอบและติดตามอย่างเป็นระบบตลอดการถ่ายเทและไหลเวียนของพลังงานภายในกระบวนการผลิต เพื่อทราบปริมาณพลังงานปฐมภูมิ (พลังงานปฐมภูมิ หมายถึง พลังงานน้ำ พลังงานจากฟอสซิส เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน น้ำมันดิบ เป็นต้น) ที่ต้องใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ พลังงานรวมทั้งหมดที่ใช้ในการวิเคราะห์หมายถึง พลังงานทั้งหมดที่ต้องใช้เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ ตั้งแต่การสำรวจ การพัฒนา การนำขึ้นมาใช้จากแหล่งต่างๆ ทั้งทางบกและในทะเล รวมถึงการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น พลังงานที่ใช้ในการเพาะปลูก จะรวมถึงพลังงานที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยเคมี สารเคมี และปัจจัยการผลิตอื่นๆ ที่ใช้ในกิจกรรมเพาะปลูก โดยปัจจัยการผลิตแต่ละชนิดต้องใช้พลังงานในรูปต่างๆ กัน ดังนั้นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานจึงเป็นการวิเคราะห์อัตราพลังงานที่ใช้ในการผลิตทั้งทางตรงและทางอ้อม คือ

1. พลังงานที่ใช้ในการผลิตโดยตรง (Direct energy) เป็นพลังงานจากแหล่งพลังงานต่างๆ ที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต เช่น พลังงานไฟฟ้า น้ำมันดีเซล น้ำมันเชื้อเพลิงต่างๆ พลังงานจากชีวมวล พลังงานจากการขนส่งภายในกระบวนการผลิต เป็นต้น

2. พลังงานที่ใช้ในการผลิตโดยอ้อม (Indirect energy) เป็นพลังงานจากแหล่งพลังงานสะสม ประกอบด้วย พลังงานด้านการบริโภค (Consumable energy) เป็นพลังงานที่ใช้ใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การผลิตวัตถุดิบต่างๆ ที่นำมาใช้ในการผลิต เช่น สารเคมี น้ำ เป็นต้น พลังงานด้านต้นทุน (Capital energy) เป็นพลังงานที่ใช้ในการผลิตและซ่อมบำรุงเครื่องจักรและอาคารที่ใช้ในกระบวนการผลิต พลังงานจากแรงงานมนุษย์ (Human labor energy) เป็นพลังงานจากการปฏิบัติงานของมนุษย์ในกระบวนการผลิต และพลังงานจากการขนส่ง (Transport energy) เป็นพลังงานที่ใช้ในการขนย้ายสิ่งต่างๆ ที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิต

ดังนั้นในการหาค่าเอ็นเนอร์จีฟุตพริ้นท์จึงเป็นการหาปริมาณพลังงานสุทธิที่ใช้ในการผลิต สามารถวัดค่าได้หลายรูปแบบ เช่น อัตราส่วนพลังงาน หรืออาจวัดอยู่ในรูปของค่าพลังงานสุทธิ

2.4.1 ค่าพลังงานสุทธิ (Net Energy Value: NEV)

ค่าพลังงานสุทธิ (Net Energy Value: NEV) เป็นกรอบความคิดที่สำคัญของเศรษฐศาสตร์พลังงานซึ่งเปรียบเทียบพลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตกับห่วงโซ่อาหารในระบบนิเวศวิทยา โดย NEV เป็นการหาค่าความแตกต่างระหว่างพลังงานที่ได้จากผลิตภัณฑ์กับพลังงานที่ใช้ในการผลิต หรือเป็นการคิดพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ถูกรวมเข้าด้วยกัน เพื่อนำไปเปรียบเทียบพลังงานที่ได้หลังจบสิ้นกระบวนการ โดยพลังงานที่ได้สามารถวัดได้จากค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value: LHV) หรือค่าความร้อนสูง (High Heating Value: HHV) ซึ่งค่าพลังงานเพิ่มสุทธิ คำนวณได้จากสมการที่ (2.1)

$$NEV = Output - Input \quad (2.1)$$

โดยที่ NEV คือ พลังงานสุทธิ (Net Energy Value) (เมกะจูล/หน่วยการทำงาน)
Output คือ พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิง 1 หน่วย (เมกะจูล/หน่วยการทำงาน)
Input คือ พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปทั้งหมดในกระบวนการผลิต (เมกะจูล/หน่วยการทำงาน)

2.4.2 อัตราส่วนพลังงาน (Net Energy Ratio: NER)

นอกจากค่าพลังงานสุทธิแล้ว ประสิทธิภาพเชิงพลังงานยังนิยมคำนวณให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนพลังงานสุทธิ (Net Energy Ratio: NER) อีกด้วย โดยค่าอัตราส่วนพลังงานสุทธิต้องมีค่ามากกว่าหนึ่งจึงถือว่ามีความคุ้มค่าทางด้านพลังงาน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.2)

$$NER = Output/Input \quad (2.2)$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยที่ NER คือ อัตราส่วนพลังงานสุทธิ (Net Energy Ratio)
Output คือ พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิง (เมกะจูล/หน่วยการทำงาน)
Input คือ พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปทั้งหมดในกระบวนการผลิต (เมกะจูล/หน่วยการทำงาน)

หากว่าปริมาณพลังงานที่ใช้แล้วหมดไปในการผลิตมีค่าสูงกว่าปริมาณพลังงานที่ได้ (พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิง 1 หน่วย) แสดงว่า การผลิตเชื้อเพลิงพลังงานทดแทนชนิดนั้นๆ ไม่คุ้มค่าที่จะลงทุน เนื่องจากใช้พลังงานที่ใช้แล้วหมดไปในการผลิตมากกว่าพลังงานที่ได้มาก

โดยทั่วไปการวิเคราะห์พลังงานทำได้หลากหลายวิธี ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ

(1) การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical analysis) เป็นการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลทางสถิติที่จัดพิมพ์โดยหน่วยงานต่างๆ การวิเคราะห์โดยวิธีนี้จะทำให้ทราบปริมาณปฐมภูมิที่ต้องใช้ในการผลิต ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาติดตามการใช้พลังงานทางตรง ซึ่งข้อเสียของวิธีนี้คือ ไม่สามารถสะท้อนปริมาณการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตได้

(2) การวิเคราะห์ปริมาณการใช้และผลผลิต (Input-Output analysis) เป็นการวิเคราะห์การใช้พลังงานในกระบวนการผลิต โดยใช้ตารางแสดงปริมาณการใช้วัตถุดิบและผลผลิต (Input-Output table) โดยแสดงข้อมูลการใช้พลังงานปฐมภูมิในแต่ละหน่วยการผลิต ซึ่งถ้าการวิเคราะห์และจัดทำตารางปริมาณการใช้และผลผลิตรวมของระบบเศรษฐกิจของประเทศไทยไม่มีหรือไม่ได้ทำไว้ การวิเคราะห์พลังงานด้วยวิธีนี้จะไม่สามารถทำได้

(3) การวิเคราะห์กระบวนการ (Process analysis) ประกอบด้วย การวิเคราะห์ 3 ขั้นตอน คือ

- การตรวจสอบแบบแผนและเครือข่ายของกระบวนการผลิต ตั้งแต่การนำวัตถุดิบเข้ามาจนถึงได้ผลผลิตจากกระบวนการผลิต
- การวิเคราะห์กระบวนการย่อยแต่ละกระบวนการในระบบการผลิตรวมเพื่อทราบชนิดและปริมาณปัจจัยการผลิตที่ต้องใช้ทั้งหมดในทุกขั้นตอนของกระบวนการย่อยที่ศึกษา ซึ่งอาจอยู่ในรูปของเครื่องจักรกล วัสดุ และพลังงาน
- ปริมาณการใช้พลังงานของแต่ละปัจจัยการผลิต นั่นคือ ปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการผลิตหรือได้มาซึ่งปัจจัยการผลิตแต่ละชนิด เพื่อหาปริมาณพลังงานรวมของกระบวนการผลิตทั้งหมดในหน่วยของพลังงานต่อผลผลิต

การวิเคราะห์พลังงานบางกระบวนการผลิตอาจต้องใช้มากกว่าหนึ่งวิธีข้างต้นเพื่อให้ทราบปริมาณพลังงานของกระบวนการนั้น ซึ่งเป็นกรณีที่ใช้บ่อยคือ การทำควบคู่กันระหว่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การใช้การวิเคราะห์ปริมาณปัจจัยการผลิตและผลผลิต (Input-Output analysis) และการวิเคราะห์กระบวนการ (Process analysis) เข้าด้วยกัน เรียกว่า การวิเคราะห์แบบผสม (Hybrid analysis)

2.5 การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water Footprint: WF)

จากความสัมพันธ์ของการใช้น้ำและปัญหาความเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน มีผลอย่างมากต่อความต้องการใช้สำหรับการขยายตัวทางการค้าและการลงทุน จึงได้เกิดการเสนอแนวคิดการจัดการน้ำที่ช่วยกระตุ้นและส่งเสริมให้ผู้ผลิตสินค้าและบริการที่จัดเป็นผู้ใช้น้ำทางตรง และผู้กระจายสินค้าและผู้บริโภคที่จัดเป็นผู้ใช้น้ำทางอ้อม เปลี่ยนแนวคิดให้เห็นความสำคัญถึงการใช้น้ำให้เกิดความเหมาะสมมากขึ้น โดยอาศัยพัฒนาแนวทางการวิเคราะห์ปริมาณการใช้น้ำในการผลิตและการบริโภคที่ครอบคลุมตลอดวัฏจักรชีวิต ซึ่งสามารถคิดได้จากหลักการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

2.5.1 แนวคิดของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

การวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ สามารถวัดได้จากปริมาณน้ำที่ใช้ไปและปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม จึงทำให้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นเครื่องชี้วัดที่ชัดเจน เพราะไม่ได้แสดงให้เห็นถึงปริมาณน้ำที่ใช้และปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยออกมาเท่านั้น หากแต่ยังแสดงให้เห็นถึงสถานที่และระยะเวลาที่เกิดการใช้น้ำ ดังนั้นการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์สามารถทำให้มองเห็นถึงภาพของการใช้น้ำและความเหมาะสมของนำไปใช้ประโยชน์ ซึ่งข้อมูลที่ได้เป็นประโยชน์ต่อการจัดสรรและใช้ประโยชน์จากน้ำอย่างยั่งยืน รวมทั้งยังสามารถนำมาประเมินผลกระทบที่เกิดจากการผลิตและบริการต่อการใช้ทรัพยากรน้ำได้อีกด้วย ซึ่งทำให้เข้าใจปัญหาการขาดแคลนน้ำและมลภาวะทางน้ำได้ดียิ่งขึ้น และนำไปสู่วิธีแก้ไขปัญหาที่เชื่อมโยงกับกระบวนการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิต โดยประโยชน์ของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะช่วยให้ผู้ผลิตหรือผู้บริโภคเข้าใจว่าจะต้องทำอย่างไรเพื่อให้การใช้น้ำเป็นไปอย่างยั่งยืนและเป็นธรรมมากขึ้น กล่าวคือ

- สำหรับผู้ผลิต: การนำกลยุทธ์การลดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มาใช้จะช่วยสร้างภาพลักษณ์ที่ดีและสร้างจุดแข็งให้กับบริษัทหรือผลิตภัณฑ์ เพราะแสดงว่าคำนึงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมีความรับผิดชอบต่อสังคม การลดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ในการผลิตสินค้ายังช่วยลดความเสี่ยงของปัญหาขาดแคลนน้ำซึ่งจะมีผลกระทบต่อภาคธุรกิจโดยตรง
- สำหรับผู้บริโภค: การระบุข้อมูลวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จะช่วยกระตุ้นให้ผู้บริโภคตระหนักถึงความสำคัญของการใช้น้ำในการผลิตสินค้าแต่ละชนิด โดยผู้บริโภคอาจหันไปเลือกซื้อสินค้าที่มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์น้อยแทนสินค้าที่มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มาก หรือผู้บริโภคอาจเลือกซื้อ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สินค้าแบบเดิมแต่เลือกจากแหล่งผลิตหรือวิธีการผลิตที่มีวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ต่ำกว่าแทน ซึ่งจะช่วยบรรเทาปัญหาการขาดแคลนน้ำของโลกและนำไปสู่แนวทางการบริโภคที่ยั่งยืนมากขึ้น

2.5.2 หลักการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์

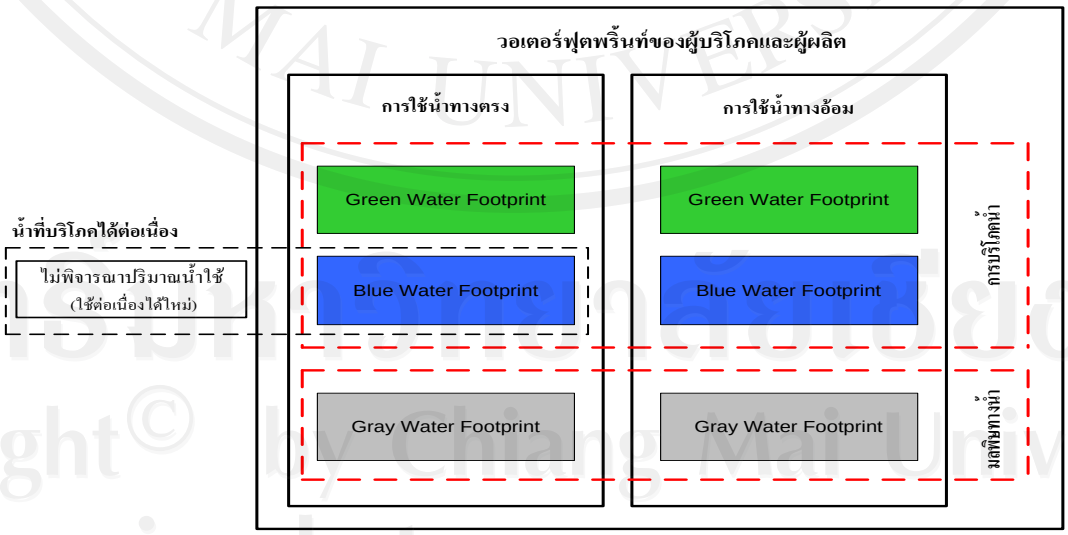
ในปี 2545 ศาสตราจารย์ A.Y. Hoekstra ได้เสนอแนวคิดของหลักการการจัดการน้ำด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Water footprint) เป็นตัวชี้วัดการใช้น้ำของผู้ผลิตหรือผู้บริโภคโดยพิจารณาจากการใช้น้ำทางตรงและทางอ้อม รวมทั้งแสดงแหล่งที่มาของน้ำใช้และน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตสินค้าและบริการตลอดห่วงโซ่อุปทาน โดยขึ้นกับสถานที่และระยะเวลาที่ทำการศึกษา ซึ่งมีหลักการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 2.8

โดยวิธีการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ที่นิยมใช้แพร่หลายเป็นวิธีการของ Water Footprint Network (WFN) เป็นการคำนวณผลรวมปริมาณการใช้น้ำทั้ง 3 ประเภท ประกอบด้วย

1) กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Green Water Footprint; WF_{green}) ปริมาณน้ำที่อยู่ในรูปของความชื้นในดินที่ถูกใช้ไปในการผลิตสินค้าและบริการ

2) บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Blue Water Footprint; WF_{blue}) ปริมาณน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติทั้งแหล่งน้ำผิวดิน เช่น น้ำในแม่น้ำทะเลสาบ รวมทั้งน้ำในอ่างเก็บกักน้ำ และแหล่งน้ำใต้ดิน เช่น น้ำบาดาล ที่ใช้ในการผลิตสินค้าและบริการเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค

3) เกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (Grey Water Footprint; WF_{grey}) ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตสินค้าและบริการ ซึ่งคำนวณจากปริมาณน้ำที่ใช้ในการเจือจางมลพิษในน้ำให้อยู่ในค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งหรือความเข้มข้นที่พบในธรรมชาติ



รูปที่ 2.8 แนวคิดวอเตอร์ฟุตพริ้นต์ของผู้บริโภคและผู้ผลิต

ที่มา: Hoekstra และคณะ (2011)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ดังนั้นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์จึงมีทั้งปริมาณน้ำที่ใช้โดยตรงและโดยอ้อม ซึ่งปริมาณน้ำที่ใช้ดังกล่าวต่างประกอบด้วย กรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ และบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เป็นปริมาณน้ำที่ใช้ (Water consumption) ส่วนเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เป็นปริมาณน้ำบำบัด (Water pollution)

สำหรับหน่วยวัดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์สามารถแสดงในหน่วยของปริมาณน้ำต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์ เช่น ปริมาณน้ำต่อหน่วยมวล ปริมาณน้ำต่อหน่วยเงิน ปริมาณน้ำต่อหน่วยของพลังงาน เป็นต้น โดยวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของพืช สามารถคำนวณจากปริมาณน้ำที่พืชใช้ (ลูกบาศก์เมตร/เฮกตาร์) หรือปริมาณผลผลิตของพืช (ตัน/เฮกตาร์) ส่วนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของสัตว์ สามารถคำนวณจากปริมาณน้ำทั้งหมดในการผลิตและให้อาหารสัตว์ น้ำดื่มของสัตว์ น้ำที่ใช้ในการกิจการเลี้ยงสัตว์ดังนั้นวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ เป็นผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์การผลิตผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่เริ่มกระบวนการจนกระทั่งได้ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์นั้นๆ

2.5.3 ขั้นตอนในการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อให้เข้าใจถึงความสัมพันธ์ระหว่างกิจกรรมหรือสินค้ากับผลกระทบที่เกิดขึ้นทรัพยากรน้ำ เพื่อลดการใช้น้ำที่ไม่ยั่งยืน โดยการประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอน คือ

1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตในการศึกษา (Setting goals and Scope) เนื่องจากมีความสนใจในการศึกษาที่แตกต่างกัน จึงจำเป็นต้องกำหนดเป้าหมายและขอบเขตเพื่อตอบโจทย์ให้ชัดเจน

2) การจัดทำบัญชีรายการ (Water footprint accounting) เป็นขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลต่างๆ และจัดทำบัญชีรายการการใช้น้ำ เพื่อนำมาคำนวณและนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาต่อไป โดยขอบเขตในการคำนวณขึ้นอยู่กับการกำหนดเป้าหมาย

3) การประเมินความยั่งยืน (Water footprint sustainability assessment) ขั้นตอนนี้จะประเมินจากความคาดหวังด้านสิ่งแวดล้อม ด้านสังคม และด้านเศรษฐกิจ

4) การจัดทำประเด็นข้อเสนอแนะเพื่อตอบสนองและแก้ปัญหา (Water footprint response formulation) เป็นการกำหนดยุทธศาสตร์หรือนโยบายในการบริหารจัดการน้ำ

การประเมินวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ขึ้นอยู่กับกรอบความสนใจ ไม่ว่าจะเป็นการวัดจากมุมมองการบริโภคทั้งระดับบุคคล ครอบครัว ชุมชน และระดับชาติ การวัดจากมุมมองผู้ผลิตทั้งระดับองค์กร รัฐ เอกชน กระบวนการผลิตหรือสินค้าบริโภค การวัดจากมุมมองเชิงพื้นที่ทั้งระดับเทศบาล จังหวัด ประเทศ หรือลุ่มน้ำ เป็นต้น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.4 การคำนวณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Water Footprint of product) หมายถึง ปริมาณน้ำที่ใช้เพื่อการผลิตสินค้าในทุกขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตสินค้าและบริการ โดยปกติการคำนวณ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์จะคำนวณเป็นรายผลิตภัณฑ์ ซึ่งพิจารณาถึงความแตกต่างระหว่างรูปแบบ กระบวนการ และสถานที่การผลิตในแต่ละพื้นที่ ที่มีการใช้น้ำจากแหล่งน้ำและขนาดการใช้น้ำที่แตกต่างกัน โดยการวิเคราะห์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์นั้นเริ่มตั้งแต่การวิเคราะห์ผลรวมวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการเพื่อให้ได้วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์สุดท้าย แสดงรายละเอียดการคำนวณได้ดังนี้

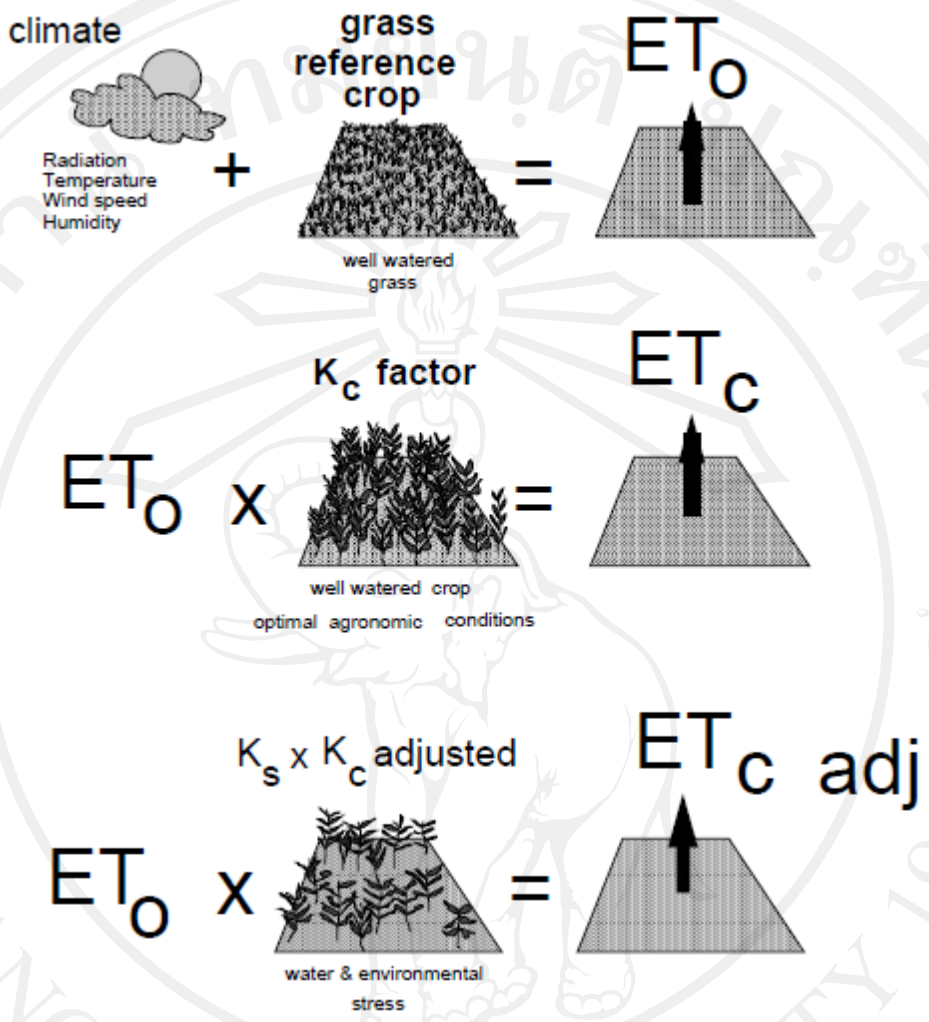
2.5.4.1 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการ (Water Footprint of process)

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการเป็นการคำนวณปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ตลอดช่วงการเจริญเติบโตของพืช โดยสามารถหาได้จากผลรวมของกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF_{green}) บลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF_{blue}) และเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (WF_{grey}) แสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อตัน แสดงได้ดังสมการที่ (2.3)

$$WF_{Total} = WF_{green} + WF_{blue} + WF_{grey} \qquad (2.3)$$

สำหรับกรีนและบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์มีหลักการคำนวณเหมือนกัน โดยวิเคราะห์จากค่าความต้องการน้ำของพืช (CWR หรือ ET_c) ที่ได้จากน้ำฝนและน้ำชลประทาน ซึ่งเกิดจากความต้องการน้ำสำหรับการคายระเหยน้ำภายใต้สภาวะการเจริญเติบโตในอุดมคตินับตั้งแต่วันเพาะปลูกจนถึงวันเก็บเกี่ยว โดยการคายระเหยน้ำของพืช หมายถึง ปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้จริง รวมถึงปริมาณน้ำที่สูญเสียไปจากแปลงเพาะปลูก โดยเกิดจากกระบวนการคายน้ำของพืชและการระเหยน้ำจากผิวดินในสภาวะต่างๆ ซึ่งโดยทั่วไปปริมาณการคายระเหยน้ำของพืชจะคิดภายใต้สภาวะจริงหรือสภาวะเงื่อนไขที่ไม่ได้มาตรฐาน (The adjusted crop evapotranspiration; $ET_{c\ adj}$) ขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสภาพภูมิอากาศ คุณลักษณะของพืช และการจัดการทางสิ่งแวดล้อมของระบบการจัดการแปลงปลูกของพื้นที่นั้นๆ โดยมีการนำเอาค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำ ค่าสัมประสิทธิ์การขาดแคลนน้ำของพืช และการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิงมาคิดในการคำนวณ แสดงดังรูปที่ 2.9

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



รูปที่ 2.9 ค่าปัจจัยที่มีผลต่อการคายระเหยน้ำของพืช

ที่มา: Allen และคณะ (1998)

จากรูปที่ 2.9 ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช (K_c) เป็นปัจจัยหนึ่งที่นำมาใช้เพื่อการคำนวณปริมาณน้ำใช้ของพืชในช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตต่างๆ ได้ โดยค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชเป็นค่าเฉพาะแสดงถึงความชื้นจริงในแปลงปลูกพืช ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดและอายุของพืช สามารถนำไปใช้ได้ทั่วไป โดยตามเอกสารของ FAO แบ่งช่วงการเจริญเติบโตของพืชเป็น 4 ช่วง ดังนี้

- ช่วงแรกปลูก (Initial stage) ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชระยะเริ่มต้น ตั้งแต่ปลูกถึงคลุมดินประมาณ 10 % ของพื้นที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

- ช่วงเจริญเติบโต (Crop developing stage) ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชระยะเติบโต ตั้งแต่คลุมดิน 10% ถึงคลุมเต็มพื้นที่
- ช่วงกลาง (Mid-season stage) ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชระยะกลาง ตั้งแต่คลุมดินเต็ม (ออกดอก) ถึงผลเริ่มแก่
- ช่วงปลาย (Late season stage) ค่าสัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืชระยะสุดท้าย ตั้งแต่ผลเริ่มแก่ถึงเก็บเกี่ยว

โดยพืชมีค่าความต้องการน้ำน้อยในช่วงแรก และเพิ่มสูงขึ้นจนมีค่ามากที่สุดในช่วงของการสร้างผลผลิต จากนั้นจะลดน้อยลงจนถึงช่วงเก็บเกี่ยว

ส่วนปัจจัยการคายระเหยของพืชอ้างอิง (ET_0) เนื่องจากในแต่ละพืชที่มีภูมิอากาศที่แตกต่างกันทำให้ปริมาณการใช้น้ำของพืชแตกต่างกันตามสภาพภูมิอากาศของท้องที่นั้นๆ ซึ่งค่าการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิงที่คำนวณได้จากสูตรต่างๆ ผันแปรไปตามสภาพอากาศแต่ละที่ การหาค่าการคายระเหยของพืชอ้างอิงสามารถคำนวณจากข้อมูลภูมิอากาศซึ่งทำได้หลายวิธี โดยวิธีการที่ใช้จะขึ้นอยู่กับความละเอียดของข้อมูลภูมิอากาศที่มีอยู่และความสามารถในการนำไปใช้งาน

โดยวิธีการที่นิยมใช้กันในงานด้านชลประทานและเกษตรชลประทานซึ่งเป็นที่ยอมรับและใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นวิธีของ FAO Penman-Montieth โดยสูตร Penman ได้มีการพัฒนาโดย H.L. Penman เมื่อ ค.ศ. 1948 ต่อมา Doorenbos, J (1975) และ W.O. Pruitt (1984) ได้เสนอสูตร Modified Penman สำหรับใช้ในการคำนวณค่าการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง ซึ่งวิธีการนี้ถือเป็นวิธีการคำนวณการหาค่าการคายระเหยของพืชอ้างอิงที่ถูกต้องแม่นยำกว่าวิธีอื่นๆ และวราวุธ วุฒิวณิชย์ (2539) รายงานว่า ในประเทศไทยการคำนวณค่าการคายระเหยของพืชอ้างอิง ใช้หลักการของ Penman ทั้งนี้เพราะมีการพิจารณาถึงผลของรังสีอาทิตย์ อุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นของอากาศที่มีความสัมพันธ์ต่อค่าการใช้น้ำของพืชอ้างอิง แสดงได้ดังสมการที่ (2.4)

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \qquad (2.4)$$

โดยที่ ET_o คือ ปริมาณการใช้น้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตรต่อวัน)

Δ คือ ความลาดเทของกราฟของความดันไอน้ำอิ่มตัวกับอุณหภูมิที่จุดซึ่งมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิเฉลี่ย (กิโลปาสคาลต่อองศาเซลเซียส)

R_n คือ รังสีสุทธิจากดวงอาทิตย์ (เมกกะจูล/ตารางเมตร/วัน)

G คือ กระแสความร้อนที่ถ่ายเทสู่ดิน (เมกกะจูล/ตารางเมตร/วัน)

γ คือ Psychrometric constant (กิโลปาสคาลต่อองศาเซลเซียส)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

T คือ อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

U_2 คือ ความเร็วลมที่ระดับความสูง 2 เมตร จากพื้นดิน (ตารางเมตร/วินาที)

e_s คือ ความดันไอสัมบูรณ์เฉลี่ย (กิโลปาสคาล)

e_a คือ ความดันไอจริงเฉลี่ย (กิโลปาสคาล)

ดังนั้นการหาค่าความต้องการน้ำของพืช (CWR) คือ การหาค่าน้ำที่ต้องการสำหรับการคายระเหยน้ำ (ET_c) ภายใต้สภาวะการเจริญเติบโตในอุดมคตินับตั้งแต่วันเพาะปลูกจนถึงวันเก็บเกี่ยว สามารถหาได้จากสมการที่ (2.5)

$$ET_c = K_c \times ET_0 \tag{2.5}$$

โดยที่ ET_c คือ ค่าความต้องการน้ำของพืช (มิลลิเมตรต่อวัน)

K_c คือ สัมประสิทธิ์การใช้น้ำของพืช

ET_0 คือ ค่าการคายระเหยน้ำของพืชอ้างอิง (มิลลิเมตรต่อวัน)

โดยการหาค่าการการคายระเหยน้ำของพืช (Evapotranspiration) ที่ได้จากน้ำฝนและน้ำชลประทาน สามารถหาได้จากสมการที่ (2.6) และ (2.7)

$$ET_{green} = \min\left(CWR, P_{eff}\right) \tag{2.6}$$

$$ET_{blue} = \max\left(0, CWR - P_{eff}\right) \tag{2.7}$$

โดยที่ $ET_{green,blue}$ คือ ค่าการคายระเหยน้ำของพืช (มิลลิเมตรต่อวัน)

P_{eff} คือ ปริมาณฝนใช้การของพืช (มิลลิเมตรต่อวัน)

จากสมการที่ 2.6 และ 2.7 นำมาหาค่าการใช้น้ำของพืช (CWU) สามารถคำนวณได้จากผลรวมของอัตราการคายระเหยน้ำตามระยะเวลาการเจริญเติบโตของพืชนับตั้งแต่วันที่ 1 จนถึงวันที่เก็บเกี่ยว แสดงได้ดังสมการที่ (2.8) และ (2.9)

$$CWU_{green} = 1.6 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{green} \tag{2.8}$$

$$CWU_{blue} = 1.6 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{blue} \tag{2.9}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยที่ CWU คือ ค่าการใช้น้ำของพืช (ลูกบาศก์เมตรต่อไร่)

lgp คือ ช่วงระยะการเจริญเติบโตของพืช (ลูกบาศก์เมตรต่อวัน)

1.6 คือ การเปลี่ยนหน่วยความต้องการน้ำให้อยู่ในรูปลูกบาศก์เมตรต่อไร่

จากนั้นทำการคำนวณปริมาณน้ำที่พืชต้องการใช้จริง ซึ่งหาได้จากค่าความต้องการใช้น้ำของพืช (CWU) แสดงในหน่วยลูกบาศก์เมตรต่อไร่ หารด้วยปริมาณผลผลิต (Y) ตันต่อไร่ แสดงได้ดังสมการที่ (2.10) และ (2.11)

$$WF_{green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \quad (2.10)$$

$$WF_{blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \quad (2.11)$$

โดยที่ WF_{green} คือ ปริมาณกรีนวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)

WF_{blue} คือ ปริมาณบลูวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)

Y คือ ปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูก (ตันต่อไร่)

ส่วนเกรย์วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ เป็นการคำนวณหาปริมาณน้ำเพื่อบำบัดน้ำเสียให้เป็นน้ำดีตามค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ แสดงได้ดังสมการที่ (2.12)

$$WF_{grey} = \frac{L}{C_{\max} - C_{nat}} = \frac{(\alpha \times Appl)/(C_{\max} - C_{nat})}{Y} \quad (2.12)$$

โดยที่ WF_{gray} คือ ปริมาณวอเตอร์ฟุตพริ้นท์เทา (ลูกบาศก์เมตรต่อตัน)

L คือ ปริมาณมลสารที่อยู่ในน้ำ (มวลต่อเวลา)

C_{max} คือ ความเข้มข้นมากสุดที่ยอมรับได้ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_{nat} คือ ความเข้มข้นของมลพิษตามธรรมชาติ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

Appl คือ อัตราการใช้สารเคมีในพื้นที่เพาะปลูก (ตันต่อไร่)

α คือ สัดส่วนการชะล้าง

Y คือ ปริมาณผลผลิตต่อพื้นที่เพาะปลูก (ตันต่อไร่)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.4.2 วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (Water Footprint of product)

วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์สามารถคำนวณได้ 2 วิธี คือ การวิเคราะห์ผลรวมตลอดห่วงโซ่ (The chain-summation approach) และการวิเคราะห์แบบขั้นตอน (The stepwise accumulative approach) มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

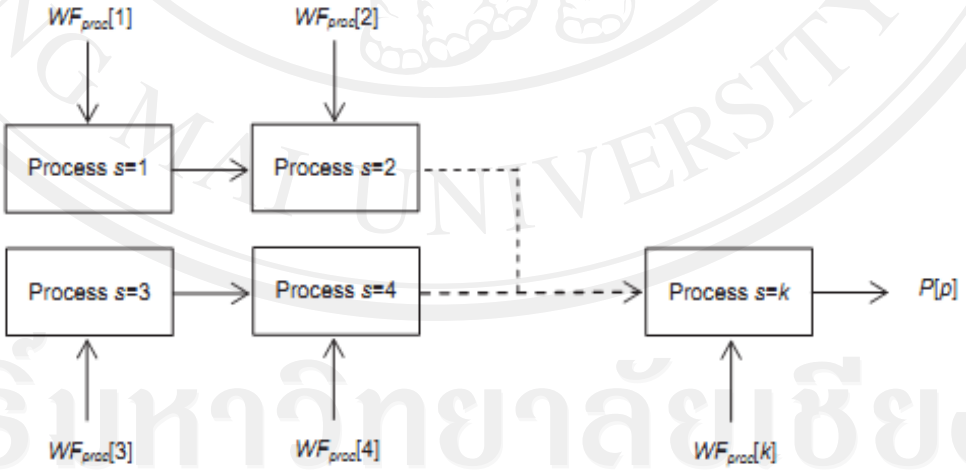
ก. การวิเคราะห์ผลรวมตลอดห่วงโซ่ (The chain-summation approach) เป็นการวิเคราะห์ที่ง่าย สามารถนำไปใช้ได้เฉพาะในกรณีที่ระบบการผลิตผลิตภัณฑ์เพียง 1 ผลิตภัณฑ์เท่านั้น โดยค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์เท่ากับผลรวมของปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องหารด้วยปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์แสดงในหน่วยปริมาตรต่อมวล แสดงได้ดังสมการที่ (2.13)

$$WF_{prod[p]} = \frac{\sum_{s=1}^{k} WF_{proc}[s]}{P[p]} \qquad (2.13)$$

โดยที่ $WF_{prod}[p]$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (ปริมาตรต่อมวล)

$WF_{proc}[s]$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิต (ปริมาตรต่อเวลา)

P[p] คือ ปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ (มวลต่อเวลา)



รูปที่ 2.10 ระบบการผลิตผลิตภัณฑ์จากการวิเคราะห์ผลรวมตลอดห่วงโซ่

ที่มา: Hoekstra และคณะ (2009 and 2011)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ข. การวิเคราะห์แบบขั้นตอน (The stepwise accumulative approach) เป็นวิธีการที่นิยมใช้โดยทั่วไป ซึ่งเกิดจากการคำนวณผลรวมของวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของวัตถุดิบต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้ายกับวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการ แต่ในกรณีใช้กับระบบการผลิตผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 ผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ซึ่งหากการใช้วัตถุดิบ 1 ชนิด ถูกนำไปใช้ผลิตสินค้าได้หลายชนิด จำเป็นต้องมาการกระจายค่าวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของวัตถุดิบตามสัดส่วนปริมาณการใช้วัตถุดิบและสัดส่วนมูลค่าของผลิตภัณฑ์สุดท้ายชนิดต่างๆ แสดงในหน่วยปริมาตรต่อมวล แสดงได้ดังสมการที่ (2.14)

$$WF_{prod[p]} = \left(WF_{proc}[p] + \sum_{i=1}^{y} \frac{WF_{prod}[i]}{f_p[p,i]} \right) \times f_v[p] \qquad (2.14)$$

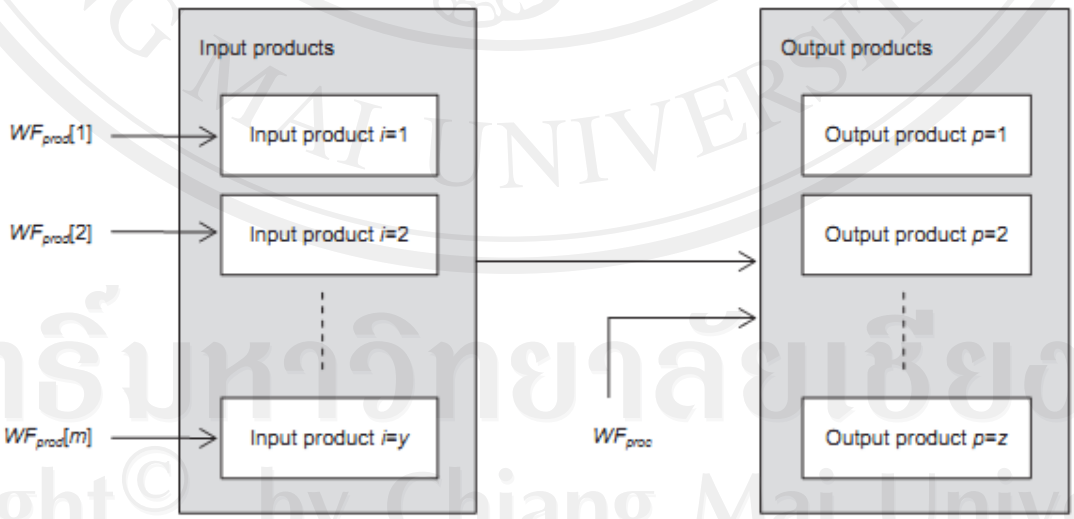
โดยที่ $WF_{prod}[p]$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์ (ปริมาตรต่อมวล)

$WF_{proc}[p]$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของขั้นตอนย่อยในการผลิตผลิตภัณฑ์สุดท้าย (ปริมาตรต่อมวล)

$WF_{prod}[i]$ คือ วอเตอร์ฟุตพริ้นท์ของกระบวนการผลิตที่เปลี่ยนจากผลิตภัณฑ์นำเข้าไปเป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย (ปริมาตรต่อมวล)

$f_p[p,i]$ คือ สัดส่วนปริมาณการใช้วัตถุดิบ

$f_v[p]$ คือ สัดส่วนมูลค่าของผลิตภัณฑ์



รูปที่ 2.11 ระบบการผลิตผลิตภัณฑ์จากการวิเคราะห์แบบขั้นตอน
ที่มา: Hoekstra และคณะ (2009 and 2011)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

โดยสัดส่วนปริมาณการใช้วัตถุดิบของผลิตภัณฑ์ (f_p) หาได้จากอัตราส่วนของปริมาณผลิตภัณฑ์ขาออกกับปริมาณผลิตภัณฑ์ขาเข้า และสัดส่วนมูลค่าของผลิตภัณฑ์ (f_v) หาได้จากอัตราส่วนของมูลค่าราคาของผลิตภัณฑ์สุดท้ายกับราคาของผลิตภัณฑ์หารด้วยผลรวมมูลค่าราคาของของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ได้กับราคาของผลิตภัณฑ์นั้นๆ

2.6 สมดุลมวลและสมดุลพลังงาน

การจัดทำบัญชีรายการและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์มีการเก็บข้อมูลของสารขาเข้าและขาออกจำนวนมาก เพื่อให้เกิดความถูกต้องและความครบถ้วนของข้อมูล จึงจำเป็นต้องมีการทำการตรวจสอบโดยใช้วิธีการสมดุลมวลและสมดุลพลังงาน ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.6.1 สมดุลมวล (Mass balance)

เป็นหลักการพื้นฐานของกฎการอนุรักษ์มวลสารว่ามวลไม่สูญหายหรือถูกทำลายไป ซึ่งก็คือ การพิจารณาว่ามีมวลสารขาเข้าและสารขาออกอย่างละเท่าไหร่ และมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณของมวลสารภายในระบบเป็นอย่างไร แสดงได้ดังสมการที่ (2.15)

มวลสารเข้าระบบ = มวลสารที่ออกจากระบบ + มวลสารที่สะสมในระบบ (2.15)

2.6.2 สมดุลพลังงาน (Energy balance)

เป็นหลักการพื้นฐานของกฎการคงตัวของพลังงาน ว่าพลังงานเป็นสิ่งที่ไม่สามารถสร้างขึ้นมาได้ และไม่สามารถที่จะทำให้สูญหายไปได้ ดังนั้นพลังงานรวมทั้งหมดของวัตถุก้อนใดก้อนหนึ่งไม่ว่าจะอยู่ตำแหน่งใดๆ ย่อมมีค่าเท่ากันทุกตำแหน่ง แสดงได้ดังสมการ (2.16)

พลังงานที่เข้าสู่เข้าระบบ = พลังงงานที่ออกจากระบบ + พลังงานที่สะสมในระบบ (2.16)

2.7 การปันส่วน (Allocation Method)

การวิเคราะห์บัญชีรายการปริมาณการใช้พลังงานสามารถเชื่อมกระบวนการย่อยๆ ที่อยู่ในระบบผลิตภัณฑ์โดยใช้ปริมาณอ้างอิงของวัตถุดิบหรือพลังงาน อย่างไรก็ตามในกระบวนการย่อยภายในระบบที่ศึกษาอาจเกิดผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป แต่มีเพียงผลิตภัณฑ์หนึ่งที่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่อไปภายในระบบ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปแปรรูปใช้ใหม่เป็นวัตถุดิบในกระบวนการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

อื่นหรือถูกทิ้งไป ดังนั้นจำเป็นต้องทำการปันส่วนปริมาณวัตถุดิบและพลังงานที่เกี่ยวข้องเข้าไปในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)

2.7.1 หลักการปันส่วน

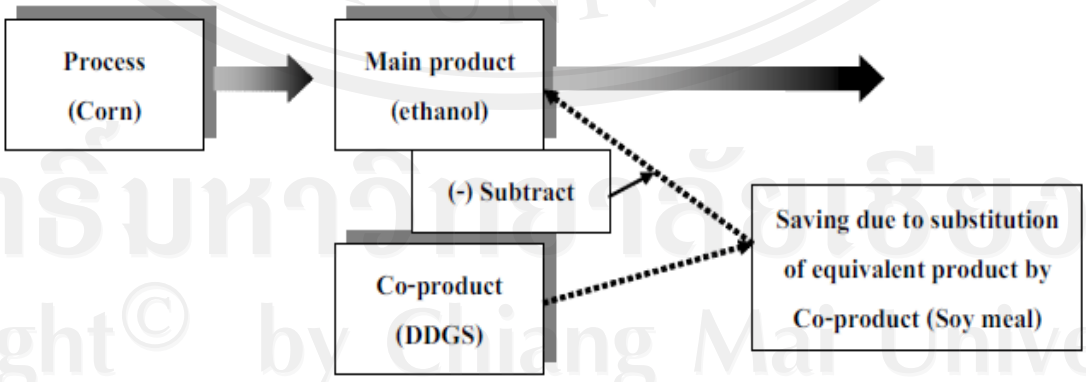
การทำบัญชีรายการจะอยู่บนพื้นฐานของสมดุลมวลระหว่างสารขาเข้า-ขาออก ดังนั้นการปันส่วนจึงควรประมาณให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง และตั้งอยู่บนพื้นฐานของความสัมพันธ์และลักษณะของสารขาเข้า - ขาออก โดยหลักการของการปันส่วนมีหลักการดังนี้

- จำแนกกระบวนการที่ถูกนำไปใช้ร่วมกับระบบผลิตภัณฑ์อื่นๆ
- ผลรวมของการปันส่วนสารขาเข้า – ขาออกของกระบวนการย่อยทั้งหมด เท่ากับปริมาณสารขาเข้าและขาออกของกระบวนการย่อยที่ยังไม่ได้ทำการปันส่วน
- เมื่อมีการเลือกการปันส่วนที่เหมาะสมจากหลายกระบวนการต้องวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูลเพื่อแสดงลำดับการแยกกระบวนการปันส่วนที่เลิกมาใช้งาน

2.7.2 กฎการปันส่วน

กฎข้อที่ 1

- หลีกเลี่ยงการปันส่วน โดยการแบ่งกระบวนการย่อยที่ต้องปันส่วนเพิ่มออกเป็น 2 กระบวนการย่อยหรือมากกว่านั้น และเก็บรวบรวมข้อมูลสารขาเข้า-ขาออก ของกระบวนการย่อย
- หลีกเลี่ยงการปันส่วน โดยการขยายระบบผลิตภัณฑ์เพื่อจะรวมหน่วยการทำงานเพิ่มเติม (Additional functions) ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ร่วม โดยแสดงการยกตัวอย่างการหลีกเลี่ยงการปันส่วนของผลิตภัณฑ์เอทานอลจากข้าวโพด แสดงดังรูปที่ 2.12

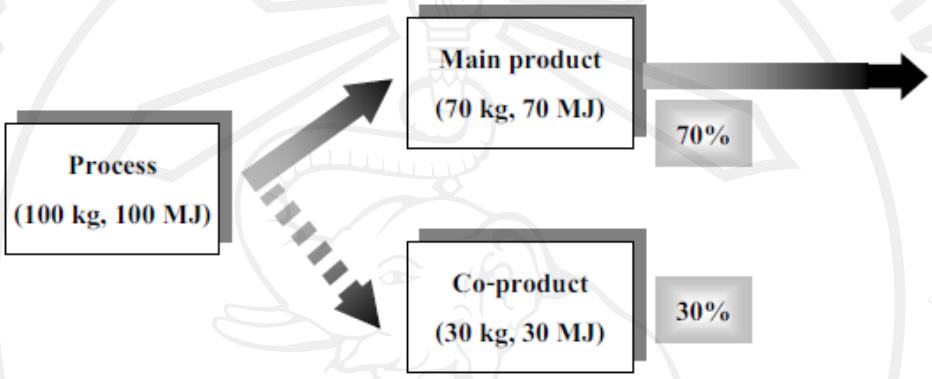


รูปที่ 2.12 การหลีกเลี่ยงการปันส่วนโดยการแบ่งกระบวนการย่อย
ที่มา: Kodera (2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กฎข้อที่ 2

- กรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการปันส่วนได้ ให้ทำการแยกข้อมูลสารขาเข้า – ขาออกของระบบระหว่างผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกัน หรือมีการทำงานต่างกันโดยดูความสัมพันธ์ทางกายภาพและวัดออกมาในเชิงปริมาณ ผลของการปันส่วนไม่จำเป็นต้องอยู่ในรูปสัดส่วนของการวัดพื้นฐาน เช่น มวลผลิตภัณฑ์ร่วมที่เกิดขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.13

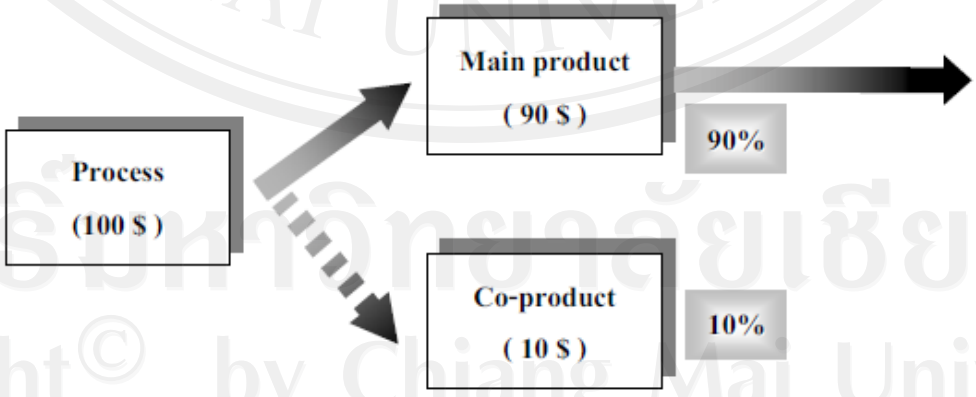


รูปที่ 2.13 การหลีกเลี่ยงการปันส่วนโดยวิธีเชิงกายภาพ

ที่มา: Kodera (2001)

กฎข้อที่ 3

- เมื่อความสัมพันธ์ทางกายภาพเพียงอย่างเดียวไม่สามารถใช้เป็นพื้นฐานในการปันส่วนได้ ควรปันส่วนสารขาเข้าผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดไปในทิศทางที่สะท้อนถึงความสัมพันธ์ในรูปแบบอื่นๆ เช่น มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของผลิตภัณฑ์ แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การหลีกเลี่ยงการปันส่วนโดยเศรษฐศาสตร์

ที่มา: Kodera (2001)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved