



วิทยานิพนธ์

การศึกษาเปรียบเทียบพลังงานเพิ่มสุทธิและผลกระทบสิ่งแวดล้อม
ตลอดวัฏจักรชีวิตของวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอล

A COMPARATIVE STUDY ON NET ENERGY GAIN AND
LIFE CYCLE ENVIRONMENTAL IMPACT OF MAIN RAW
MATERIALS FOR ETHANOL PRODUCTION

นายวรยุทธ สายบัวตรง

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. ๒๕๕๑



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี)
ปริญญา

วิศวกรรมเคมี

สาขา

วิศวกรรมเคมี

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาเปรียบเทียบพลังงานเพิ่มสุทธิและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของ
วัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอล

A Comparative Study on Net Energy Gain and Life Cycle Environmental Impact of
Main Raw Materials for Ethanol Production

นามผู้วิจัย นายวรยุทธ สายบัวตรง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรรถศักดิ์ จารีย์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ไพศาล คงกาญจนาย, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อางคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ๗ เดือน เมษายน พ.ศ. ๒๕๕๙

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาเปรียบเทียบพลังงานเพิ่มสุทธิและผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต
ของวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอล

A Comparative Study on Net Energy Gain and Life Cycle Environmental Impact of
Main Raw Materials for Ethanol Production

โดย

นายวรยุทธ สายบัวตรง

เสนอ

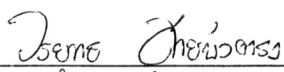
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี)

พ.ศ. 2551

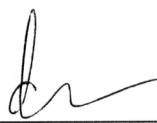
วรยุทธ สายบัวตรง 2551: การศึกษาเปรียบเทียบพลังงานเพิ่มสุทธิและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอล ปริณญวณวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี) สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ ชำรงรัตน์ มั่งเจริญ, Ph.D. 337 หน้า

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของวัตถุดิบประเภทต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิต ในการผลิตเอทานอล วัตถุดิบที่ทำการศึกษาได้แก่ มันสำปะหลังในรูปมันเส้น กากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย และอ้อย ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้การประเมินวัฏจักรชีวิต เป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมไซมาโปร เวอร์ชัน 7.0 และฐานข้อมูลประเทศไทย ซึ่งใช้วิธีไฮโค-อินดิเคเตอร์ 95 ในการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซล ในการวิเคราะห์ผลการศึกษา โดยงานวิจัยนี้ใช้ปริมาณเอทานอล 100,000 ลิตร/วัน เป็นหน่วยการทำงานในการศึกษา ซึ่งการศึกษาประสิทธิภาพเชิงพลังงานจะศึกษาในหน่วยการทำงานที่พื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ ร่วมด้วย ขอบเขตการศึกษาในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย การเพาะปลูกวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิตมันเส้น การผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมจากกระบวนการผลิตน้ำตาล และการผลิตเอทานอล ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการปันส่วนโดยวิธีทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้ราคาตลาดในการปันส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลกับผลผลิตร่วมที่ได้

ผลการศึกษาด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมพบว่า การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุด โดยมีค่า 5.24×10^8 Person eq./ปี รองลงมาคือ การผลิตเอทานอลจากอ้อย และกากน้ำตาล ตามลำดับ โดยตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุดมาจากขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลัง โดยคิดเป็นร้อยละ 55 ส่วนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล และอ้อย ผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูง สุดมาจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล โดยคิดร้อยละ 58 และ 51 ตามลำดับ ส่วนผลการศึกษาค่าประสิทธิภาพเชิงพลังงานพบว่า อ้อยมีค่าพลังงานเพิ่มสุทธิสูงสุด คือมีค่า 7.23×10^5 เมกกะจูล/เอทานอล 100,000 ลิตร รองลงมาคือการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและกากน้ำตาล ตามลำดับ ซึ่งตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า พลังงานที่ใช้สูงสุดอยู่ในรูปพลังงานไอน้ำที่ใช้ในการกลั่น ในขั้นตอนการผลิตเอทานอล โดยเฉลี่ย คิดเป็นร้อยละ 60 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในการผลิตเอทานอล และผลการศึกษาด้านประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่า การใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล มีต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด คือมีต้นทุน 1.50×10^6 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร รองลงมาคือกากน้ำตาลและมันสำปะหลัง ตามลำดับ หรือกล่าวได้ว่าอ้อยมีประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์สูงสุดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล



ลายมือชื่อนิสิต



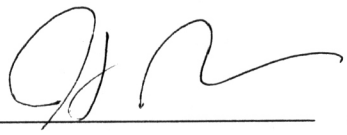
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

1 / 04 / 51

Worayut Saibuatrong 2008: A Comparative Study on Net Energy Gain and Life Cycle Environmental Impact of Main Raw Materials for Ethanol Production. Master of Engineering (Chemical Engineering), Major Field: Chemical Engineering, Department of Chemical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Thumrongrut Mungcharoen, Ph.D. 337 pages.

Life cycle environmental impacts, energy efficiencies, and economic evaluations of different kinds of raw materials for ethanol production were compared using Life Cycle Assessment (LCA) method. The investigated raw materials were cassava chip, molasses (by-product from sugar production), and sugarcane. This work used data from SimaPro version 7.0 and Thailand database equipped with Eco-indicator 95 method in combination with Microsoft Excel Software to evaluate the environmental effects. Functional unit of this study was 100,000 liters/day of ethanol for evaluating the environmental impacts, energy efficiencies and economic evaluations. The functional unit of 1 Rai of arable land was added for energy efficiencies evaluation. The scope of the study included raw materials cultivation, transportation, and cassava chip production, molasses production, and ethanol production. To allocate the environmental impacts and the energy used for by-products of the ethanol production, market value was used.

Results showed that the highest environmental impact which was 5.24×10^8 Person eq. /year came from cassava fuel ethanol, followed by ethanol from sugarcane and molasses, respectively. Considering whole life cycle of the ethanol production from cassava, 55% of total environmental impact came from cassava cultivation which was the highest. For sugarcane and molasses, the highest environmental impact came from the ethanol productions which were 58% and 51%, respectively. For energy efficiencies, results showed that sugarcane has the highest net energy efficiency, 7.23×10^5 MJ/100,000 liters of ethanol, followed by cassava and molasses, respectively. Through the whole life cycle of the ethanol production from different kinds of raw material, the highest energy was in the form of steam power used for ethanol distillation, approximately 60% of total energy used. For economic evaluations, utilization of sugarcane as the raw material for the ethanol production has the lowest cost of productions which was 1.50×10^6 baht /100,000 liters of ethanol, followed by molasses and cassava, respectively; therefore, sugarcane is the most economical raw material.

Worayut Saibuatrong  1 / 04 / 08
Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือ และความกรุณาจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผศ.ดร.อรรถศักดิ์ จารีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รศ.ดร. ธงไชย ศรีนพคุณ ประธานกรรมการสอบ และ ผศ.ดร. สีนสุภา จุ้ยจุลเจิม ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยครั้งนี้ รวมถึงการสละเวลาในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่ได้สนับสนุนให้กำลังใจ และความเข้าใจด้วยดีเสมอมา

ข้าพเจ้าขอขอบคุณพี่น้อง และเพื่อนนิสิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษาและกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงได้

ประโยชน์อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พึงมีเพียงใด ขอมอบแด่ครูบาอาจารย์ และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่ไม่ได้เอ่ยนามทุกท่านที่ได้เมตตาอบรมสั่งสอนให้มีความรู้จนถึงปัจจุบัน

วรยุทธ สายบัวตรง

กุมภาพันธ์ 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(9)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(18)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	83
อุปกรณ์	83
วิธีการ	83
ผลและวิจารณ์	108
สรุปและข้อเสนอแนะ	258
สรุป	258
ข้อเสนอแนะ	267
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	268
ภาคผนวก	277
ภาคผนวก ก การประเมินบัญชีรายการ	278
ภาคผนวก ข การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม	310
ภาคผนวก ค การประเมินประสิทธิภาพเชิงพลังงาน	319
ภาคผนวก ง การประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์	326
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	337

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ปริมาณของวัตถุดิบที่ต้องการสำหรับผลิตเอทานอลปริมาณ 1 ลิตร	10
2 ผลผลิตมันสำปะหลังจำแนกตามภาคของประเทศไทย ปี 2548-2550	12
3 พื้นที่เพาะปลูก ผลผลิตรวม และผลผลิตต่อไร่ ของมันสำปะหลังของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2540 – 2550	12
4 ผลผลิตอ้อยจำแนกตามภาคของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2548-2550	18
5 พื้นที่เพาะปลูก ผลผลิตรวม และผลผลิตต่อไร่ ของอ้อยของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2540 - 2550	18
6 ปริมาณกากน้ำตาลที่ผลิตได้ และปริมาณส่งออก ในปี พ.ศ. 2548-2549	22
7 ลักษณะทั่วไปของเครื่องมือประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภท	29
8 การเปรียบเทียบโปรแกรมที่ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต	35
9 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมวิธีต่างๆ	38
10 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้เอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ แทนน้ำมันเบนซินในประเทศเยอรมัน	59
11 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการใช้ชานอ้อยผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลในประเทศอินเดีย	60
12 ผลการปล่อยมลสารเปรียบเทียบระหว่างการใช้เอทานอลจากฟางข้าวโพดในรูป E85 และน้ำมันเบนซินในยานพาหนะ ในประเทศสหรัฐอเมริกา	61
13 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้เชื้อเพลิง E10 E85 เทียบกับแก๊สโซลีนในประเทศสหรัฐอเมริกา	62
14 ผลการศึกษาการปล่อยมลพิษจากการใช้มันสำปะหลัง ตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตเอทานอลในประเทศจีนและประเทศไทย	64
15 สรุปผลการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงในยานพาหนะแทนแก๊สโซลีนของงานวิจัยต่างๆ	66
16 อัตราพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ ในงานวิจัยต่างๆ	68

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	พลังงานที่ใช้-พลังงานที่ได้ ในการผลิตเอทานอลจากอ้อย ในประเทศบราซิล	71
18	พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ (ข้าวฟ่างหวาน ข้าว สาลี หัวบีท และอ้อย)	76
19	ค่าการปันส่วนโดยวิธีการปันส่วนต่างๆ ในการผลิตเอทานอลจากข้าวสาลี	80
20	ค่าการปันส่วนโดยวิธีการปันส่วนต่างๆ ในการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด	82
21	แหล่งข้อมูลในขั้นตอนการเพาะปลูกวัตถุดิบและขั้นตอนการขนส่งที่ใช้ในงาน วิจัยนี้	89
22	แหล่งข้อมูลในขั้นตอนการผลิตมันเส้นและกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับ กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายของการผลิตเอทานอล ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	90
23	แหล่งข้อมูลในขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง กากน้ำตาล และอ้อย ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	91
24	ชนิดผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ	97
25	ชนิดผลผลิตหลักและผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย	99
26	รายการต้นทุนที่ใช้ในการลงทุนและอายุการใช้งานในตลอดวัฏจักรชีวิตของการ ผลิตเอทานอล	102
27	รายการต้นทุนที่ใช้ในการดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิต เอทานอล	105
28	ประเภทมลพิษและต้นทุนผลกระทบเมื่อปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม	106
29	ผลผลิตต่อไร่ และ พื้นที่เพาะปลูกวัตถุดิบเพื่อผลิตเอทานอลปริมาณ 100,000 ลิตร	111
30	ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเพาะปลูกวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล	112
31	กิจกรรมและปริมาณปุ๋ยและยากำจัดวัชพืชในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและ อ้อย	113
32	ปริมาณแรงงานคนที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อย	113
33	ร้อยละการว่าจ้างแรงงานคนที่ใช้ในการเพาะปลูกในขั้นตอนต่างๆ	114
34	ชนิดพาหนะและระยะทางทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลของ วัตถุดิบประเภทต่างๆ	117

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
35	พลังงานไฟฟ้าและแรงงานคนที่ใช้ในขั้นตอนผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสด	119
36	พลังงานที่ได้ และพลังงานที่ใช้ในการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย	122
37	ผลผลิตหลักและผลผลิตร่วมที่ได้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย	122
38	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าและไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น จำแนกตามขั้นตอนต่างๆ	126
39	ปริมาณน้ำและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น	126
40	ปริมาณเอทานอลและผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น	127
41	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าและไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากกากน้ำตาล จำแนกตามขั้นตอนต่างๆ	129
42	ปริมาณน้ำและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากกากน้ำตาล	129
43	ปริมาณเอทานอลและผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากกากน้ำตาล	130
44	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าและไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากอ้อย จำแนกตามขั้นตอนต่างๆ	132
45	ปริมาณน้ำและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากอ้อย	132
46	ปริมาณเอทานอลและผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากอ้อย	133
47	ปริมาณผลผลิตร่วมและค่าการปันส่วนที่ได้จากการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันสำปะหลังในรูปมันเส้น	137
48	ปริมาณผลผลิตร่วมและค่าการปันส่วนที่ได้จากการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร	138
49	ปริมาณผลผลิตร่วมและค่าการปันส่วนที่ได้จากการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากกากน้ำตาล	138

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
48	ปริมาณผลผลิตรวมและค่าการปันส่วนที่ได้จากการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร	138
49	ปริมาณผลผลิตรวมและค่าการปันส่วนที่ได้จากการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรจากกากน้ำตาล	138
50	ปริมาณผลผลิตรวมและค่าการปันส่วนที่ได้จากการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรจากอ้อย	139
51	ผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่างๆ จากการผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสดเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร	148
52	ค่าการตรึงก๊าซ CO ₂ ของมันสำปะหลัง และอ้อย	181
53	รายละเอียดในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย	230
54	ปริมาณก๊าซชีวภาพและไอน้ำที่ผลิตได้จากน้ำเสียในกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ	231
55	ค่าการปันส่วนโดยวิธีการปันส่วนแบบต่างๆ ในงานวิจัยนี้	240
ตารางผนวกที่		
ก1	พื้นที่ศึกษา และจำนวนครัวเรือนเกษตรกรที่เพาะปลูกมันสำปะหลัง จำแนกตามเขตเกษตรเศรษฐกิจ	279
ก2	พื้นที่ศึกษา และจำนวนครัวเรือนเกษตรกรที่เพาะปลูกอ้อย จำแนกตามเขตเกษตรเศรษฐกิจ	280
ก3	ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลัง และอ้อย จำแนกตามเขตเกษตรเศรษฐกิจ	281
ก4	กิจกรรมและปริมาณปุ๋ยและยากำจัดวัชพืชในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อย จำแนกตามเขตเกษตรเศรษฐกิจ	282

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก5 ประเภทปุ๋ยที่ใช้และผลผลิตที่ได้จากการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อย จำแนกตามเขตเกษตรเศรษฐกิจ	283
ก6 แรงงานที่ใช้ในการเพาะปลูก มันสำปะหลังและอ้อย จำแนกตามเขตเกษตรเศรษฐกิจ	284
ก7 โรงงานเอทานอลในประเทศไทย จำแนกตามวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิต	287
ก8 ระยะทางระหว่างไร่มันสำปะหลัง ถึงลานมันเส้นในประเทศไทย	289
ก9 ระยะทางไร่อ้อย ถึงโรงงานน้ำตาลทรายในประเทศไทย	290
ก10 ระยะทางโรงงานน้ำตาลทรายถึงโรงงานเอทานอลในประเทศไทย	295
ก11 ระยะทางไร่อ้อยถึงโรงงานเอทานอลในประเทศไทย	297
ก12 พลังงานและแรงงานคนที่ใช้ในการผลิตมันเส้นเพื่อผลิตเอทานอล	299
ก13 วัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ และผลผลิตหลักและผลผลิตร่วมที่ได้ในการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย	299
ก14 แหล่งข้อมูลโรงงานผลิตเอทานอลจากงานวิจัยต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้	300
ก15 มวลสารขาเข้า-มวลสารขาออก ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น	301
ก16 มวลสารขาเข้า-มวลสารขาออก ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรจากกากน้ำตาล	304
ก17 มวลสารขาเข้า-มวลสารขาออก ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรจากอ้อย	306
ก18 ค่าการป้อนส่วนของกระบวนการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย	308
ก19 ค่าการป้อนส่วนของกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ	309
ข1 ค่าเทียบเท่าของมลสารของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก	311
ข2 ค่าเทียบเท่าของมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรด	312
ข3 ค่าเทียบเท่าของมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชัน	313

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ข4 ค่าเทียบเท่าของสารก่อมะเร็ง	314
ข5 ค่าเทียบเท่าของโลหะหนัก	315
ข6 ค่าเทียบเท่าของมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน	317
ข7 ค่าขนาดผลกระทบสิ่งแวดล้อม	318
ข8 การเปรียบเทียบอัตราการใช้เชื้อเพลิงและมลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมของรถบรรทุกขนาด 16 28 และ 40 ตัน	318
ค1 ค่าพลังงานของปัจจัยการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล ที่ใช้ทั้งหมดในงานวิจัยนี้	320
ค2 ค่าพลังงานความร้อนของพลังงานปฏุมภูมิ	321
ค3 ปริมาณพลังงานปฏุมภูมิที่ใช้ในการผลิตปัจจัยการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล	322
ค4 พลังงานจากแรงงานคนที่ใช้ในกิจกรรมประจำวันในแต่ละวัน	324
ค5 ค่าพลังงานความร้อนของเอทานอลและผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล	324
ค6 จำนวนคนงานและพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลของโรงงานเอทานอลที่กำลังการผลิต 100,000 ลิตร/วัน	325
ง1 ต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อย	327
ง2 ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2550	328
ง3 ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตมันเส้น	329
ง4 รายละเอียดต้นทุนต่างๆ ในด้านการผลิตเอทานอล	330
ง5 รายละเอียดต้นทุนต่างๆ ในระบบบำบัดน้ำเสียของกระบวนการผลิตเอทานอลที่กำลังผลิต 100,000 ลิตร	332
ง6 ค่าแรงงานของพนักงานในตำแหน่งต่างๆ ของการผลิตเอทานอลที่กำลังการผลิต 100,000 ลิตร	332
ง7 ราคาของพลังงานไฟฟ้า ใช้น้ำ สารเคมี และน้ำประปาที่ใช้ในการผลิตเอทานอล	333

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ง8 ราคาเอทานอลและผลผลิตรวมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล	333
ง9 ราคาเฉลี่ยเอทานอลในปี พ.ศ. 2550	334
ง10 ราคากากน้ำตาลในปี พ.ศ. 2546-2550	334
ง11 ต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากมลสารประเภทต่างๆ จากแหล่งข้อมูลต่างๆ	335
ง12 ต้นทุนที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ ในการผลิตไอน้ำใช้ใน กระบวนการผลิตเอทานอล	336

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ปริมาณการผลิตเอทานอลรายเดือนของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2549 – 2550	8
2 ปริมาณการใช้แก๊สโซฮอล์รายเดือนของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2549 – 2550	8
3 ปริมาณผลผลิตวัตถุดิบต่อปี และการคาดการณ์ปริมาณวัตถุดิบในอนาคต ในปี พ.ศ.2546 - 2552	11
4 กระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง	15
5 กระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย	20
6 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบและน้ำตาลทรายบริสุทธิ์ในช่วงหีบอ้อย	25
7 กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล	26
8 ขั้นตอนในการจัดทำ การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์	34
9 การเกิดภาวะปรากฏการณ์เรือนกระจก	42
10 การทำลายโอโซนของสาร CFC	50
11 การหลีกเลี่ยงการป้อนส่วน โดยการแบ่งกระบวนการย่อย	56
12 การป้อนส่วนโดยวิธีเชิงกายภาพ	57
13 การป้อนส่วนโดยวิธีเชิงเศรษฐศาสตร์	57
14 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตเอทานอลจากอ้อย ทดแทนการใช้น้ำมันเบนซินในประเทศบราซิล	58
15 สัดส่วนผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนต่างๆ ของการผลิตเอทานอลในประเทศสหรัฐอเมริกา	62
16 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของ E10 ของประเทศไทย และ E85 ของประเทศจีน กับแก๊สโซลีน	64
17 ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตเอทานอลจาก Switchgrass และ ฟางข้าวโพด ของประเทศสหรัฐอเมริกา	67
18 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลในประเทศอินเดีย	70
19 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากอ้อย และข้าวโพด ในพื้นที่การเพาะปลูก 1 เฮกเตอร์ ในประเทศบราซิล	72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
20 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ในประเทศจีน	73
21 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากข้าวโพดโดยวิธีการ โม่แบบเปียก และแบบ แห้งของประเทศสหรัฐอเมริกา	74
22 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากข้าวโพดในประเทศสหรัฐอเมริกา	74
23 พลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังของประเทศ จีน	75
24 ค่าอัตราพลังงานของงานวิจัยต่างๆ จากการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ ในการผลิต เอทานอล	77
25 ต้นทุนการผลิตเอทานอล จากมันสำปะหลัง ในประเทศจีน	78
26 ต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด ในประเทศสหรัฐอเมริกา	79
27 ต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด และอ้อย ในประเทศโคลัมเบีย	79
28 ผลของวิธีการปั่นส่วนวิธีต่างๆ ต่อค่าอัตราพลังงานจากการผลิตเอทานอล จาก ข้าวสาลี	81
29 ผลของวิธีการปั่นส่วนวิธีต่างๆ ต่อค่าพลังงานสุทธิจากการผลิตเอทานอลจาก ข้าวโพด	82
30 ขอบเขตการศึกษาของการใช้มันสำปะหลังในรูปมันเส้นเป็นวัตถุดิบในการผลิต เอทานอล	85
31 ขอบเขตการศึกษาของการใช้กากน้ำตาลในรูปกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายเป็น วัตถุดิบในการผลิตเอทานอล	86
32 ขอบเขตการศึกษาของการใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล	87
33 ต้นทุนทั้งหมดในการผลิตเอทานอล	106
34 ลำดับและขั้นตอนการเพาะปลูกวัตถุดิบ	109
35 ขั้นตอนการผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสด	118
36 แผนภูมิการผลิตและจ่ายไอน้ำของโรงงานน้ำตาลในฤดูการหีบอ้อย	120
37 แผนภาพกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย	121

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
38 มวลสารเข้า-ออก และขั้นตอนของกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น	125
39 มวลสารเข้า-ออก และขั้นตอนของกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากกากน้ำตาล	128
40 มวลสารเข้า-ออก และขั้นตอนของกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากอ้อย	131
41 มวลสารเข้า-ออก ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดยใช้มันสำปะหลังในรูปมันเส้นเป็นวัตถุดิบ	134
42 มวลสารเข้า-ออก ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดยใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ	135
43 มวลสารเข้า-ออก ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดยใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบ	136
44 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่างๆ ในการเพาะปลูก เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร	141
45 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่างๆ ในด้านการขนส่ง เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร	145
46 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่างๆ ในด้านการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร	150
47 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น	153
48 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากกากน้ำตาล	156
49 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากอ้อย	159
50 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อม ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร	162
51 ผลกระทบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ	165
52 ผลกระทบการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ	167

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
53 ผลกระทบการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชัน ตลอดจนวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ	168
54 ผลกระทบการปล่อยโลหะหนัก ตลอดจนวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ	169
55 ผลกระทบการปล่อยสารก่อมะเร็ง ตลอดจนวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ	170
56 ผลกระทบการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้น โอโซน ตลอดจนวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ	171
57 ขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆในขั้นตอนการเพาะปลูกวัตถุดิบประเภทต่างๆ ในการผลิตเอทานอล	173
58 ขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆจากขั้นตอนการขนส่ง	174
59 ขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆจากขั้นตอนการผลิตมันเส้น	175
60 ขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆจากขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาล	175
61 ขนาดผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ	176
62 ขนาดของผลกระทบของผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่างๆ ตลอดจนวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่างๆ	178
63 การเปรียบเทียบขนาดผลกระทบของผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ตลอดจนวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่างๆ	180
64 ผลการปล่อยก๊าซ CO ₂ ในการผลิตเอทานอล และการตรึงก๊าซ CO ₂ ของพืช ในระยะเวลา 1 ปี	181
65 พลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร	183
66 พลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในการเพาะปลูกอ้อย	184
67 การใช้พลังงานในการเพาะปลูกวัตถุดิบแต่ละชนิด ในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่	185

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
68	พลังงานที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อยในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่	186
69	การใช้พลังงานในการเพาะปลูกวัตถุดิบแต่ละชนิด เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร	186
70	พลังงานที่ใช้ในการขนส่งตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่างๆ	187
71	พลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในผลิตมันเส้น เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร	189
72	พลังงานที่ใช้ในการผลิตมันเส้นเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร	190
73	พลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิต น้ำตาลทราย เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร	191
74	พลังงานที่ใช้ในการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมในกระบวนการผลิตน้ำตาล ทรายเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร	192
75	พลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น	193
76	พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น	194
77	พลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากกากน้ำตาล	195
78	พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากกากน้ำตาล	196
79	พลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากอ้อย	197
80	พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากอ้อย	198
81	พลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ	199
82	พลังงานที่ใช้ในตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรของวัตถุดิบ ประเภทต่างๆ	200
83	ค่าพลังงานเพิ่มสุทธิของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรของวัตถุดิบประเภทต่างๆ	201
84	พลังงานที่ใช้ในตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลในพื้นที่การเพาะปลูก วัตถุดิบ 1 ไร่ ของวัตถุดิบประเภทต่างๆ	202

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
85 ค่าพลังงานเพิ่มสุทธิของการผลิตเอทานอลในพื้นที่การเพาะปลูกวัตถุดิบ 1 ไร่ของ วัตถุดิบประเภทต่างๆ	203
86 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร จากการศึกษาของศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ กรณียังไม่มี การปันส่วนพลังงานกับผลผลิตร่วม	205
87 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร จากการศึกษาของศูนย์เทคโนโลยีโลหะ และวัสดุแห่งชาติ กรณีมีการปันส่วนพลังงานกับผลผลิตร่วม	206
88 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 1,000 ลิตร จากการศึกษาของสถาบันสิ่งแวดล้อม ไทย	207
89 การเปรียบเทียบค่าอัตราพลังงานของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ ของงานวิจัยต่างๆ กับงานวิจัยนี้	208
90 ต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอลในพื้นที่การเพาะ ปลูก 1 ไร่	210
91 การเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกวัตถุดิบในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่	211
92 การเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร	212
93 ต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งวัตถุดิบเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร	213
94 ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตมันเส้นเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร	214
95 ต้นทุนการผลิตที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ ที่การผลิตเอทา นอล 100,000 ลิตร	215
96 ต้นทุนในการดำเนินงานจากกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร	217
97 ต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร	220
98 ต้นทุนทั้งหมดที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประ เภท ต่างๆ	221
99 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จำแนกตามขั้นตอนการ ผลิต	224

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
100 การเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ จำแนกตามประเภทต้นทุนการผลิตเอทานอล	225
101 ต้นทุนที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ จำแนกตามขั้นตอนการผลิตเอทานอล	226
102 ต้นทุนในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	227
103 การเปรียบเทียบผลการศึกษาด้านทุนในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร ของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของสุธรรมา โยสิน	228
104 ระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ	230
105 การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร กับการลดการใช้พลังงานโดยการนำน้ำเสียมาผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล	231
106 สัดส่วนการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการนำน้ำเสียมาผลิตก๊าซชีวภาพในการผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล	232
107 ต้นทุนที่ใช้ และต้นทุนที่ลดได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียเพื่อผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล	234
108 การเปรียบเทียบต้นทุนของขั้นตอนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ก่อนการนำน้ำเสียมาผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล	235
109 ผลการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อย จากการเพิ่มผลผลิตอ้อยต่อไร่	236
110 ผลการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลังจากการเพิ่มผลผลิตต่อไร่	237
111 การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการขนส่งในการผลิตเอทานอลจาก กากน้ำตาลระหว่างรถบรรทุก 10 ล้อขนาด 16 28 และ 40 ตัน	238
112 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการขนส่งในการผลิตเอทานอลจาก กากน้ำตาลระหว่างรถบรรทุก 10 ล้อขนาด 16 28 และ 40 ตัน	239

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า	
113	พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดยวิธีการปั่นส่วนแบบต่างๆ	241
114	ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดยวิธีการปั่นส่วนแบบต่างๆ	242
115	การใช้พลังงานในการเพาะปลูกอ้อย ในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ ในเขตเกษตรเศรษฐกิจต่างๆ	244
116	ค่าพลังงานเพิ่มสุทธิจากเอทานอลที่ได้วัดดูดิบจากการเพาะปลูกในพื้นที่ 1 ไร่ ในเขตเกษตรเศรษฐกิจต่างๆ	245
117	ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในการเพาะปลูกอ้อย ในพื้นที่การเพาะปลูกวัดดูดิบในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ ของเขตเกษตรเศรษฐกิจต่างๆ	246
118	ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในการเพาะปลูกอ้อย ของเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ต่างๆ	247
119	ต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกอ้อย เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ในเขตเกษตรเศรษฐกิจต่างๆ	248
120	แผนภาพกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากหัวมันสำปะหลังสด	250
121	การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น และหัวมันสำปะหลังสด	251
122	การเปรียบเทียบค่าพลังงานเพิ่มสุทธิของการผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสด กับวัตถุดิบประเภทต่างๆ ในงานวิจัยนี้	252
123	การเปรียบเทียบผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่สิ่งแวดล้อมจากการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรจากการใช้มันสำปะหลังสด และมันเส้น เป็นวัตถุดิบ	253
124	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรจากการใช้มันสำปะหลังสดกับวัตถุดิบประเภทต่างๆ	253
125	การเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น และหัวมันสำปะหลังสด	254

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
126	การเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้นหัวมัน สำปะหลังสด กากน้ำตาล และอ้อย หลังจากหักค่าผลผลิตร่วมที่ขายได้	255
127	แนวโน้มราคากากน้ำตาล มันสำปะหลัง และอ้อย ในปี พ.ศ. 2546-2550	256
128	ต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง อ้อย กับกากน้ำตาลในระดับราคา ระดับต่างๆ	257
129	การเปรียบเทียบผลการศึกษาทั้ง 3 ด้านของการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ ตลอดวัฏ จักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร	265

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Bar	=	บาร์
BTU	=	บีทียู
kg	=	กิโลกรัม
kWh	=	กิโลวัตต์ ชั่วโมง
m ³	=	ลูกบาศก์เมตร
mg	=	มิลลิกรัม
MWh	=	เมกกะวัตต์ ชั่วโมง
MJ	=	เมกกะจูล
Person eq. / year	=	ค่าการกระทำของคน 1 คนต่อ 1 ปี
ppb	=	ส่วนในพันล้านส่วน
ppm	=	ส่วนในล้านส่วน

การศึกษาเปรียบเทียบพลังงานเพิ่มสุทธิและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต ของวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอล

A Comparative Study on Net Energy Gain and Life Cycle Environmental Impact of Main Raw Materials for Ethanol Production

คำนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่ต้องการพลังงานเชื้อเพลิง โดยการนำเข้าจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากประเทศไทยมีแหล่งทรัพยากรธรรมชาติด้านพลังงานอยู่ปริมาณน้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศ โดยเฉพาะการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงด้านการขนส่ง ซึ่งปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในด้านการขนส่งคิดเป็น ร้อยละ 38 ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมด (กล้าณรงค์, 2546) โดยในปี พ.ศ.2550 ประเทศไทยมีปริมาณการใช้น้ำมันเบนซินประมาณ 5,171 ล้านลิตร/ปี และน้ำมันดีเซล 17,000 ล้านลิตร/ปี (กระทรวงพลังงาน, 2551) นอกจากนี้ประเทศไทยยังได้รับผลกระทบจากความผันผวนของราคาน้ำมันดิบในตลาดโลกที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจากภาวะวิกฤตปัญหาทางด้านพลังงานดังที่กล่าวมา การลดการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานเชื้อเพลิง และการแสวงหาแหล่งพลังงานเชื้อเพลิง หรือแหล่งพลังงานทดแทนภายในประเทศเป็นสิ่งที่รัฐบาลไทยได้พยายามดำเนินการมาอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการพิจารณาหาแหล่งพลังงานใหม่เพื่อใช้ทดแทนการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงจึงเป็นนโยบายสำคัญที่รัฐบาลและหน่วยงานต่างๆ ได้พยายามผลักดันมาโดยตลอด โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานทดแทนที่ผลิตได้จากวัตถุดิบทางการเกษตรที่สามารถผลิตได้เองภายในประเทศ เพื่อเป็นการสร้างเสถียรภาพด้านราคาให้กับวัตถุดิบทางการเกษตร สร้างรายได้ให้กับเกษตรกร และสร้างความมั่นคงทางด้านเศรษฐกิจและพลังงานให้กับประเทศ

แหล่งพลังงานทดแทนที่สำคัญแหล่งหนึ่ง คือ พลังงานชีวมวล (Biomass energy) ซึ่งเป็นพลังงานที่ได้จากสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ โดยจุดเด่นของพลังงานชีวมวลคือ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีก (Renewable energy) และช่วยลดการเกิดมลภาวะทางด้านสิ่งแวดล้อม สำหรับพลังงานชีวมวลที่สำคัญและสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ของยานพาหนะมีอยู่ 2 ประเภท คือ เอทานอลและไบโอดีเซลซึ่งเอทานอลสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบทางการเกษตรจำพวกแป้ง น้ำตาล

และวัตถุดิบเหลือทิ้งจำพวกเซลลูโลส ส่วนไบโอดีเซลสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบทางการเกษตรประเภทพืชน้ำมัน ซึ่งเอทานอลและไบโอดีเซล สามารถที่จะพัฒนาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนทางเลือกใหม่ โดยใช้เป็นเชื้อเพลิงในภาคการขนส่งและเพื่อทดแทนการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ และยังเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สามารถผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตรที่ผลิตได้เองภายในประเทศ ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างเสถียรภาพ และความมั่นคงทางด้านพลังงานด้านการเกษตรและด้านเศรษฐกิจของประเทศอย่างยั่งยืน

ประเทศไทยจัดเป็นประเทศหนึ่งที่มีศักยภาพในการผลิตเอทานอล เนื่องจากมีวัตถุดิบทางการเกษตรทั้งประเภทน้ำตาลและแป้งหลายชนิด ซึ่งมีอยู่ปริมาณมากทั้งในพื้นที่เพาะปลูกและปริมาณการผลิต โดยปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานพาหนะมีการขยายตัวอย่างกว้างขวาง เพื่อรองรับความต้องการใช้แก๊สโซฮอล์ตามแผนยุทธศาสตร์ด้านพลังงานของประเทศ โดยปัจจุบันประเทศไทยมีกำลังการผลิตเอทานอลประมาณ 0.55 ล้านลิตร/วัน และคาดว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 3 ล้านลิตร/วัน ภายในปี พ.ศ. 2554 (กล้าณรงค์, 2546) ทั้งนี้ คณะกรรมการเอทานอลแห่งชาติได้มีการประชุมเมื่อวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ.2544 และวันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2545 มีมติให้เร่งดำเนินการให้มีการนำเอทานอลมาผสมในน้ำมันเบนซินแทนการใช้สาร Methyl tertiary-butyl ether (MTBE) เพื่อผลิตแก๊สโซฮอล์ โดยมีเป้าหมายให้ใช้เอทานอลทดแทนสาร MTBE ในน้ำมันเบนซินออกเทน 91 และ ออกเทน 95 รวม 2 ล้านลิตร/วัน ในช่วงปี พ.ศ. 2545 –2549 (สโมสรนักศึกษาแพทย์ศิริราช, 2550) ซึ่งประเทศไทยเป็นประเทศที่มีวัตถุดิบที่สามารถนำมาผลิตเป็นเอทานอลหลายชนิด เช่น ข้าว ข้าวโพด มันสำปะหลัง อ้อย และกากน้ำตาล (Molasses) โดยข้าวไม่เหมาะสมในการนำมาแปรรูปเป็นเอทานอล เนื่องจากมูลค่าน้ำตาลจะต่ำลง เมื่อเทียบกับการส่งออกข้าวไปขายต่างประเทศ ส่วนข้าวโพดประเทศไทยยังต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศอยู่ ส่วนมันสำปะหลัง และอ้อย มีปริมาณการผลิตมากภายในประเทศ และราคาส่งออกก็ค่อนข้างผันผวนไปตามตลาดโลก ส่วนกากน้ำตาลเป็นผลพลได้ร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ซึ่งปริมาณการผลิตกากน้ำตาลจึงขึ้น อยู่กับปริมาณผลผลิตอ้อยในแต่ละปี (กล้าณรงค์, 2546) ดังนั้นวัตถุดิบที่มีศักยภาพในการผลิตเอทานอลของประเทศไทยจึงมี มันสำปะหลัง กากน้ำตาลและอ้อย ที่อุตสาหกรรมผลิตเอทานอล สนใจจะใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA) เป็นวิธีการในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยเน้นผลการศึกษาเชิงปริมาณตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัด

หรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การใช้งานผลิตภัณฑ์ การนำกลับมาใช้ใหม่ และการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน โดยพิจารณาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมไปถึงระบบนิเวศ สุขอนามัยของชุมชน และการลดลงของทรัพยากร ทั้งนี้เพื่อนำผลไปใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงกระบวนการผลิต หรือเพิ่มทางเลือกในการผลิต เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)

การศึกษาประสิทธิภาพเชิงพลังงาน ในรูปค่าพลังงานเพิ่มสุทธิ (Net Energy Gain; NEG) จะทำการพิจารณาเปรียบเทียบถึงพลังงานที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ (Input Energy) กับพลังงานที่ได้จากผลิตภัณฑ์ (Output energy) ดังนั้นถ้าหากผลิตภัณฑ์นั้นๆ ค่าพลังงานเพิ่มสุทธิมีค่าสูง แสดงว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูง แต่ถ้าค่าพลังงานเพิ่มสุทธิมีค่าเป็นลบ แสดงว่าผลิตภัณฑ์นั้นไม่มีประสิทธิภาพเชิงพลังงาน หรือพลังงานที่ได้จากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้มีค่าน้อยกว่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ

การศึกษาความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาต้นทุนในการผลิต ผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ ว่ามีผลตอบแทนคุ้มค่างบต้นทุนที่ใช้ในการผลิตหรือไม่ โดยต้นทุนที่ใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ ประกอบด้วย ต้นทุนการลงทุน ต้นทุนการดำเนินงาน รวมทั้งต้นทุนด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพเชิงพลังงานในรูปค่าพลังงานเพิ่มสุทธิ และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของวัตถุดิบประเภทต่างๆที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล โดยวัตถุดิบที่ทำการศึกษาได้แก่ มันสำปะหลัง กากน้ำตาล และอ้อย ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้ การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือในการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล โดยผลการศึกษาที่ได้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานที่สำคัญสำหรับการตัดสินใจ ในการเลือกวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมทั้งด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ สำหรับการผลิตพลังงานทดแทนประเภทเชื้อเพลิงเอทานอลเพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงแก๊ซโซฮอลล์ ซึ่งผลงานวิจัยที่ได้ถือเป็นองค์ความรู้ใหม่ที่เป็นพื้นฐานต่อการพัฒนาประเทศต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงพลังงานจากการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล โดยศึกษาในรูปค่าพลังงานเพิ่มสุทธิ
3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของวัตถุดิบประเภทต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล

ขอบเขตการศึกษา

- 1.งานวิจัยนี้เลือกพิจารณาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอล ได้แก่ มันสำปะหลังในรูปมันเส้น กากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย และอ้อย
- 2.ขอบเขตการศึกษาของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย
 - การเพาะปลูกวัตถุดิบ (มันสำปะหลัง และ อ้อย)
 - การขนส่ง
 - การแปรรูปวัตถุดิบ (การผลิตมันเส้น และการผลิตกากน้ำตาล)
 - กระบวนการผลิตเอทานอล (99.5 เปอร์เซ็นต์)
- 3.งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตจากการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ ในการผลิตเอทานอล โดยใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรม SimaPro 7.0 และฐานข้อมูลจากประเทศไทย ซึ่งใช้วิธี Eco-Indicator 95 ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม และใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์ เอ็กเซลในการวิเคราะห์ผลการศึกษา

4. ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่งานวิจัยนี้เลือกทำการศึกษาได้แก่

- ก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas)
- มลสารที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)
- มลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรด (Acidification)
- โลหะหนัก (Heavy Metals)
- สารก่อมะเร็ง (Carcinogens)
- มลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้น โอโซน (Ozone Layer Depletion)

5. งานวิจัยนี้ได้กำหนดหน่วยการทำงาน (Functional unit) ที่เอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 100,000 ลิตร/วัน ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งการประเมินประสิทธิภาพเชิงพลังงาน จะศึกษาหน่วยการทำงานที่พื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ร่วมด้วย

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้ทราบว่าวัตถุดิบประเภทใดในการผลิตเอทานอลที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูง และต่ำที่สุดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล
2. ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพเชิงพลังงานในการผลิตเอทานอลของวัตถุดิบประเภทต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล
3. ทำให้ทราบว่าขั้นตอนใดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลมีการใช้พลังงาน และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุด ซึ่งจะทำให้ทราบแนวทางในการลดการใช้พลังงาน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น
4. ทำให้ทราบว่าวัตถุดิบประเภทใด ในการผลิตเอทานอลมีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์สูงสุด หรือมีความคุ้มค่าต่อลงทุนในการผลิตมากที่สุด

ตรวจเอกสาร

1. เอทานอล

เอทานอล (Ethanol) หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) คือ สารประกอบอินทรีย์ในกลุ่มแอลกอฮอล์ชนิดหนึ่งที่ประกอบด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน มีสูตรทางเคมีคือ C_2H_5OH เอทานอลมีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี จุดติดไฟ ระเหยง่าย สามารถละลายได้ในน้ำ มีจุดเดือด 78.32 องศาเซลเซียส และจุดเยือกแข็ง -243.1 องศาเซลเซียส เอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ที่สามารถใช้ประโยชน์ได้ทั้งเพื่อการบริโภคและเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยสามารถนำมาใช้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงได้ 3 รูปแบบ ได้แก่ (เกื้อกูล, 2548)

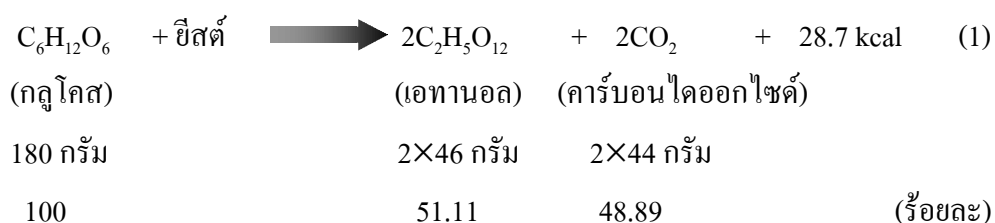
- เอทานอลใช้เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงเพื่อทดแทนน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล
- เอทานอลผสมกับน้ำมันเบนซิน เรียกว่า แก๊สโซฮอล์ (Gasohol) หรือเอทานอลผสม กับน้ำมันดีเซล เรียกว่า ดีโซฮอล์ (Diesohol)
- เอทานอลใช้เป็นสารเพิ่มค่าออกเทนของน้ำมันให้กับเครื่องยนต์ ได้แก่ Ethyl Tertiary Butyl Ether (ETBE)

การใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงในประเทศไทย จะใช้เอทานอลบริสุทธิ์ (99.5 เปอร์เซ็นต์) ผสมกับน้ำมันเบนซิน โดยปริมาณเอทานอลที่ผสมในสัดส่วน 10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หรือที่เรียกว่า E10 ซึ่งจะสามารถใช้ทดแทนสาร Methyl tertiary butyl ether (MTBE) ที่เป็นสารเพิ่มออกซิเจนและออกเทนในน้ำมันได้ ซึ่งในปัจจุบันมีการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงในหลายประเทศ เช่น ประเทศบราซิลจะนำเอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์ มาผสมกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วน 20:80 โดยปริมาตร เรียกผลิตภัณฑ์ว่า “Proalcohol” ส่วนประเทศสหรัฐอเมริกาใช้เอทานอล ผสมกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วน 10:90 เรียกผลิตภัณฑ์ว่า แก๊สโซฮอล์ (Gasohol) และประเทศออสเตรเลีย นำเอทานอลผสมกับน้ำมันเบนซินในอัตราส่วน 15:85 เรียกผลิตภัณฑ์ว่า “Petranol” เป็นต้น (เกื้อกูล, 2548)

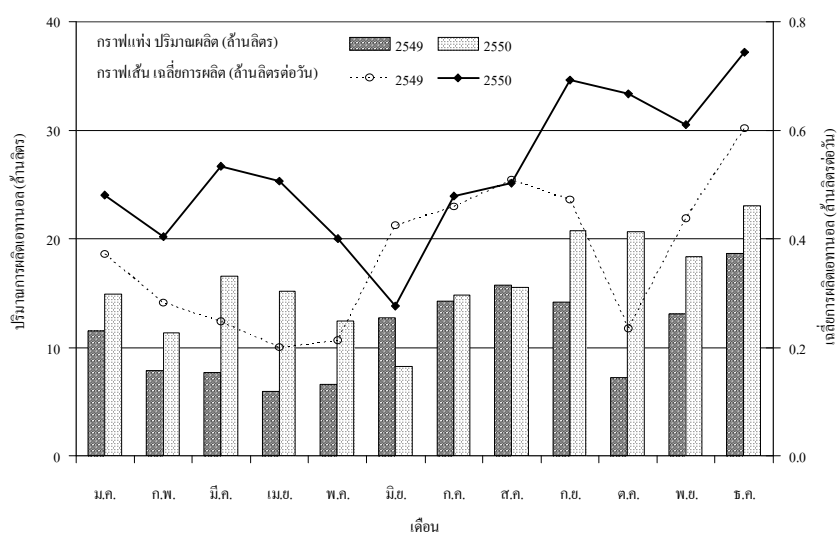
กระบวนการผลิตเอทานอลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท (คณะกรรมการพลังงาน, 2545) คือ

1) เอทานอลที่ผลิตจากกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี (Chemical synthesis) เป็นการผลิตจากอนุพันธ์สารปิโตรเลียม ตัวอย่างเช่น การผลิตเอทานอลจากเอทิลีนด้วยปฏิกิริยาการระเหยน้ำ (Dehydration) เป็นต้น โดยเรียกเอทานอลที่ผลิตได้ว่า เอทานอลสังเคราะห์ (Synthesis ethanol)

2) เอทานอลที่ผลิตได้จากกระบวนการหมัก (Fermentation) เป็นการผลิตเอทานอลจากน้ำตาลด้วยเชื้อยีสต์ เรียกเอทานอลที่ผลิตได้ว่า “ไบโอเอทานอล (Bioethanol)” ซึ่ง ณ ที่นี้จะขอกกล่าวถึงเฉพาะเอทานอลชนิดนี้ โดยการผลิตเอทานอลชนิดนี้จะประกอบด้วย 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกยีสต์จะใช้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (Monosaccharide) เป็นอาหารและเปลี่ยนน้ำตาลเป็นเอทานอลโดยกระบวนการไกลโคไลซิส (Glycolysis) ในสถานะที่ไม่มีออกซิเจน ซึ่งตามทฤษฎีแล้วในกระบวนการหมักน้ำตาลกลูโคสของยีสต์ น้ำตาลกลูโคส 100 กรัม จะถูกเปลี่ยนเป็นเอทานอล 51.11 กรัม และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 48.89 กรัม นอกจากนี้ยังมีพลังงานความร้อนเกิดขึ้นอีก 28.7 กิโลแคลอรี (kcal) แสดงได้ดังสมการที่ (1)

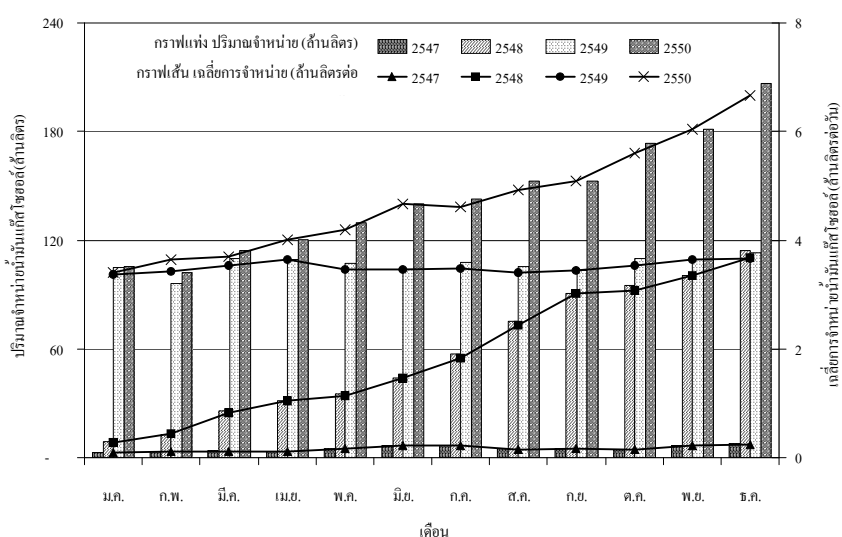


ปัจจุบันประเทศที่มีการนำเข้าน้ำมันที่มีศักยภาพด้านการเกษตรได้หันมาผลิตเอทานอลเพื่อทดแทนน้ำมันเบนซิน และในอนาคตความต้องการเอทานอลมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยปริมาณการผลิตเอทานอลของโลกมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 5,000 ล้านลิตรในปี ค.ศ. 1975 เป็น 40,000 ล้านลิตรในปี ค.ศ. 2005 และคาดว่าจะสูงขึ้นถึง 70,000 ล้านลิตรในปี ค.ศ. 2010 โดยในปี พ.ศ.2550 ประเทศไทยมีปริมาณการผลิตเอทานอลเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2549 ในปริมาณ 57 ล้านลิตร หรือคิดเป็น 42 เปอร์เซ็นต์ (กระทรวงพลังงาน, 2551) โดยแนวโน้มปริมาณการผลิตเอทานอลในปี พ.ศ. 2549-2550 ของประเทศไทยแสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ปริมาณการผลิตเอทานอลรายเดือนของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2549 – 2550
ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2551)

ปริมาณการใช้เอทานอลมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น โดยช่วงที่ผ่านมามีแนวโน้มการใช้แก๊สโซฮอล์เพิ่มขึ้น กล่าวคือ ในเดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2549 มีการใช้แก๊สโซฮอล์ 3.5 ล้านลิตร/วัน ทำให้ความต้องการเอทานอลเท่ากับ 350,000 ลิตร/วัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2548 ถึง ร้อยละ (กระทรวงพลังงาน, 2551) โดยแนวโน้มปริมาณการใช้แก๊สโซฮอล์ในปี พ.ศ.2547 - 2550 แสดงดังภาพที่ 2

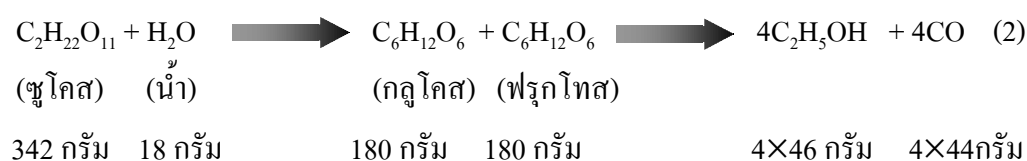


ภาพที่ 2 ปริมาณการใช้แก๊สโซฮอล์รายเดือนของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2549 – 2550
ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2551)

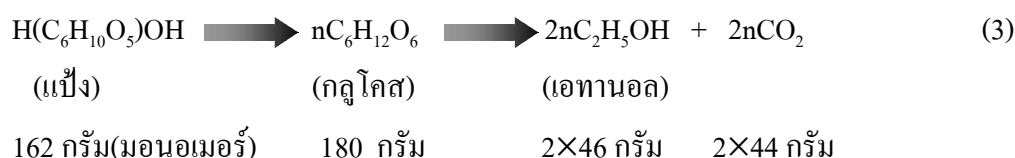
2. วัตถุดิบในการผลิตเอทานอล

วัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตเอทานอล จะเป็นสารประกอบจำพวกคาร์โบไฮเดรต ซึ่งมีน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวอยู่ในโครงสร้างโมเลกุล แบ่งออกได้ 3 ประเภท (เกื้อกูล, 2548) ได้แก่

1) วัตถุดิบประเภทน้ำตาล เช่น อ้อย กากน้ำตาล และหัวบีท เป็นต้น วัตถุดิบประเภทนี้มีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลซูโครสที่เป็นน้ำตาลโมเลกุลคู่ ประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว 2 ชนิด คือน้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลฟรุกโทส ในการหมักเอทานอลจากน้ำตาลซูโครสนั้นมีขั้นตอนดังนี้ คือ ขั้นแรกน้ำตาลซูโครสจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ได้น้ำตาลกลูโคส และฟรุกโทสอย่างละโมเลกุล จากนั้นน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลฟรุกโทสจะถูกยีสต์เปลี่ยนไปเป็นเอทานอลและคาร์บอนไดออกไซด์อย่างละ 4 โมเลกุล แสดงดังสมการที่ (2)



2) วัตถุดิบประเภทแป้ง เช่น ธัญพืช ข้าวโพด มันสำปะหลัง (ทั้งหัวมันสำปะหลังสดและมันเส้น) ข้าว และมันฝรั่ง เป็นต้น โดยแป้งเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส เมื่อน้ำแป้งผ่านกระบวนการย่อยด้วยกรดหรือเอนไซม์จะได้ น้ำตาลกลูโคสที่สามารถเข้าสู่กระบวนการหมักเอทานอลได้ ซึ่งกระบวนการหมักเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทแป้งแสดงได้ดังสมการที่ (3)



3) วัตถุดิบประเภทลิกโนเซลลูโลส วัตถุดิบกลุ่มนี้จะเป็นผลิตผลพลอยได้จากการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร เช่น ฟางข้าว กากอ้อย และของเสียจากอุตสาหกรรมกระดาษ เป็นต้น วัตถุดิบประเภทนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบสำคัญ 4 ชนิด คือ เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicelluloses) ลิกนิน (Lignin) และสารประกอบอื่น ๆ

ดังนั้น จะเห็นได้ว่าวัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้การผลิตเอทานอลจะมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่จะมีเพียงวัตถุดิบไม่กี่ชนิดที่มีความเหมาะสมในการผลิตเอทานอล โดยการพิจารณามีหลักเกณฑ์ดังต่อไปนี้ (คณะกรรมการพลังงาน, 2545)

- วัตถุดิบมีปริมาณเพียงพอสำหรับป้อนสู่โรงงานได้ตลอดปี หารง่ายและราคาถูก
- สามารถผลิตเอทานอลต่อหน่วยวัตถุดิบและหน่วยของพื้นที่เพาะปลูกได้ในปริมาณสูง
- ค่าพลังงานสมดุลของระบบการผลิตเป็นบวก
- วัตถุดิบนั้นจะต้องไม่แย่งอาหารของมนุษย์

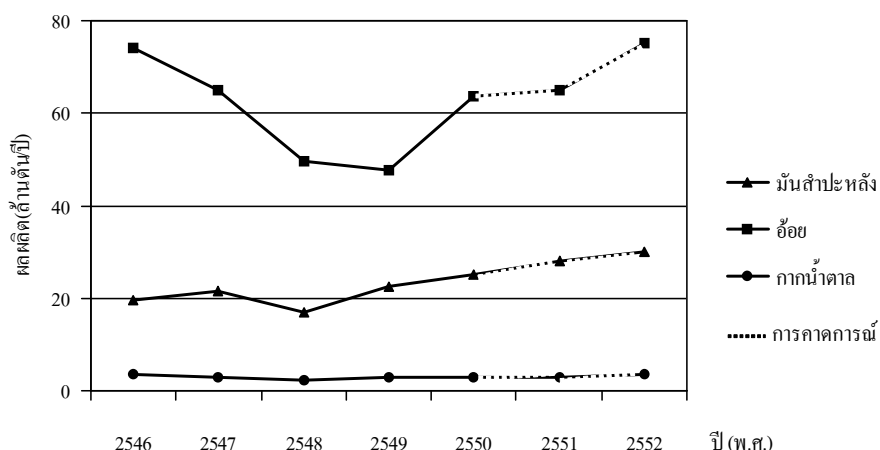
โดยปริมาณเอทานอลที่ผลิตได้จากวัตถุดิบชนิดต่างๆ นั้นมีค่าไม่เท่ากัน โดยปริมาณของเอทานอลต่อวัตถุดิบ 1 ตันสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1 (กล้าณรงค์, 2546)

ตารางที่ 1 ปริมาณของวัตถุดิบที่ต้องการสำหรับผลิตเอทานอลปริมาณ 1 ลิตร

ชนิดของวัตถุดิบ	ปริมาณวัตถุดิบ (กก./ เอทานอล 1 ลิตร)	ชนิดของวัตถุดิบ	ปริมาณวัตถุดิบ (กก. / เอทานอล 1 ลิตร)
ข้าวฟ่างหวาน	14	ไม้	3.85
อ้อย	12.7-14.3	กากน้ำตาล	3.60-4.0
หัวอาร์ติโชค	12.50	ข้าวโพด	2.58-3.68
หัวบีท	10.30	ข้าวสาลี	2.60
มันฝรั่ง	8.50	ข้าวฟ่าง	2.30
มันสำปะหลัง	5.45-6.5	ข้าวเปลือก	2.25

ที่มา: กล้าณรงค์ (2546)

วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอลที่มีความเหมาะสมในประเทศไทยนั้น มีหลายประเภท ได้แก่ มันสำปะหลัง กากน้ำตาล และ อ้อย โดยปริมาณผลผลิตของวัตถุดิบที่ผลิตได้ต่อปี และปริมาณที่คาดการณ์ในอนาคต แสดงได้ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ปริมาณผลผลิตวัตถุดิบต่อปี และการคาดการณ์ปริมาณวัตถุดิบในอนาคต
ของประเทศไทยในปี พ.ศ.2546 -2552

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2551)

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (2551)

โดยศักยภาพของการผลิตวัตถุดิบประเภทต่างๆ (มันสำปะหลัง กาก น้ำตาล และ อ้อย) ในประเทศไทย รวมทั้งขั้นตอนการผลิตเอทานอลของวัตถุดิบประเภทต่างๆ แสดงได้ดังต่อไปนี้

2.1 มันสำปะหลัง (Cassava)

2.1.1 การผลิตและศักยภาพในการผลิตมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นพืชที่ทำรายได้ให้เกษตรกรมากเป็นอันดับที่ 4 รองจากยางพารา อ้อยและข้าว มูลค่าของผลผลิตที่เกษตรกรขายได้เฉลี่ย 5 ปี (ปี พ.ศ.2541– 2545) มีค่า 15,416 ล้านบาท ผลผลิตมันสำปะหลังภายในประเทศนำไปใช้ทำมันเส้นและมันอัดเม็ดร้อยละ 45-50 และใช้แปรรูปเป็นแป้งมันสำปะหลัง ร้อยละ 50-55 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550) ผลผลิตมันสำปะหลัง จำแนกตามภาคในประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2548-2550 แสดงดังตารางที่ 2 และ พื้นที่เพาะปลูก ผลผลิตรวม และผลผลิตต่อไร่ ของมันสำปะหลังในประเทศไทย ตั้งแต่ปี พ.ศ.2540 - 2550 แสดงดัง ตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ผลผลิตมันสำปะหลังจำแนกตามภาคของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2548-2550

ภาค	ผลผลิต (ตัน)			เฉลี่ย	ร้อยละ
	พ.ศ.2548	พ.ศ.2549	พ.ศ.2550		
เหนือ	2,595,908	3,208,418	3,822,862	3,209,063	15
ตะวันออกเฉียงเหนือ	8,719,235	12,152,480	14,286,485	11,719,400	53
กลาง	5,623,102	7,223,504	8,301,886	7,049,497	32
รวม	16,938,245	22,584,402	26,411,233	21,977,960	100

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2551)

ตารางที่ 3 พื้นที่เพาะปลูก ผลผลิตรวม และผลผลิตต่อไร่ ของมันสำปะหลังในประเทศไทย
ปี พ.ศ. 2540 – 2550

ปี พ.ศ.	เนื้อที่เพาะปลูก (1,000 ไร่)	ผลผลิต (1,000 ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)
2540	7,907	18,084	2,352
2541	6,694	15,591	2,388
2542	7,200	16,507	2,479
2543	7,406	19,064	2,697
2544	6,918	18,396	2,805
2545	6,224	16,868	2,731
2546	6,435	19,718	3,087
2547	6,757	21,440	3,244
2548	6,524	16,938	2,749
2549	6,933	22,584	3,375
2550	7,479	26,411	3,668

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2551)

ตารางที่ 2 แสดงผลผลิตมันสำปะหลังจำแนกตามภาคของประเทศไทย ปี พ.ศ.2548 ถึงปี พ.ศ. 2550 พบว่า แหล่งปลูกมันสำปะหลังที่สำคัญที่สุดในปัจจุบันคือภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยคิดเป็น ร้อยละ 53 ของพื้นที่ปลูกทั่วประเทศ รองลงมาคือภาคกลาง (รวมภาคตะวันออกและภาคตะวันตก) และภาคเหนือ ประมาณร้อยละ 32 และ ร้อยละ 14 ของพื้นที่ปลูกทั่วประเทศ ตามลำดับ

2.1.2 กระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง

มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบที่มีความเหมาะสมในการผลิตเอทานอล เนื่องจากมีสัดส่วนของแป้งสูงและเส้นใยต่ำ การใช้น้ำในกระบวนการผลิตเอทานอลมีปริมาณน้อย และใช้อาหารเสริมสำหรับยีสต์น้อยหรืออาจจะไม่ต้องใช้เลย แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถเก็บหัวมันสำปะหลังไว้ได้นาน ต้องนำไปใช้ทันทีภายใน 2-3 วัน ในขณะที่มีสภาพดีอยู่ (คณะกรรมการพลังงาน, 2545) นอกจากการใช้น้ำมันสำปะหลังในรูปของหัวมันสำปะหลังสดแล้ว ยังสามารถใช้น้ำมันสำปะหลังในรูปของมันเส้นได้ ซึ่งการผลิตเอทานอลในงานวิจัยนี้พิจารณาการผลิตเอทานอลในรูปมันเส้น โดยการใช้น้ำมันสำปะหลังในรูปของมันเส้นจะมีข้อดีหลายประการดังต่อไปนี้ (กล้าณรงค์, 2546)

1) การใช้วัตถุดิบในรูปหัวมันสำปะหลังสดไม่เพียงพอสำหรับอุตสาหกรรมผลิตเอทานอลได้ตลอดปี เนื่องจากข้อจำกัดทางฤดูกาล หัวมันสำปะหลังสดจะออกสู่ตลาดมากในช่วงฤดูแล้งตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน ถึง มีนาคม คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 80 ของปริมาณหัวมันสำปะหลังสดทั้งหมด ราคาหัวมันสดจะตกต่ำในช่วงนั้น หลังจากนั้นในช่วงเดือน เมษายน ถึง ตุลาคม ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดจะออกสู่ตลาดน้อย ทำให้หัวมันสำปะหลังสดมีราคาสูง หัวมันสำปะหลังสดมีปริมาณน้ำอยู่ในหัวสูงประมาณร้อยละ 50-70 ทำให้ไม่สามารถเก็บไว้ได้นานได้ เนื่องจากจะเกิดการเน่าเสียและปริมาณแป้งลดลง การเก็บหัวมันสำปะหลังสดหลังจากเก็บเกี่ยวสามารถเก็บได้เพียง 5-7 วันเท่านั้น ในขณะที่มันเส้นสามารถเก็บสต็อกได้นานเป็นปี ทำให้โรงงาน ผลิตเอทานอลสามารถวางแผนและดำเนินการผลิตได้ตลอดทั้งปี

2) การซื้อขายในรูปหัวมันสำปะหลังสดจะสิ้นเปลืองค่าขนส่ง เนื่องจากหัวมันสำปะหลังสดมีน้ำอยู่ร้อยละ 50-70 ทำให้เสียค่าใช้จ่ายขนส่งน้ำโดยไม่เกิดประโยชน์ ลานมันเส้นส่วนใหญ่จะตั้งอยู่ไม่ไกลจากไร่มันสำปะหลังทำให้ไม่สิ้นเปลืองค่าขนส่งมาก เมื่อแปรรูปเป็นมันเส้นซึ่ง

จะมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 14 แล้ว เมื่อทำการขนส่งมันเส้นจากลานมันเส้นเข้าโรงงานเอทานอล หรือเก็บในโกดังจะเป็นการประหยัดค่าขนส่งโดยรวม

3) การรับซื้อมันเส้นทำให้อุตสาหกรรมมันเส้นที่มีโรงงานอยู่ทั่วไปภายใน ประเทศสามารถดำเนินการได้ตามปกติ เนื่องจากในสภาวะการณ์ปัจจุบันตลาดมันเส้น คือ อุตสาหกรรม มันอัดเม็ดที่กำลังหดตัวลง เพราะการนำเข้ามันอัดเม็ดของตลาดสหภาพยุโรปลดลงมาก การนำมัน เส้นมาผลิตเอทานอลจะช่วยให้ลานมันและชาวไร่มันสำปะหลังดำรงอยู่ได้

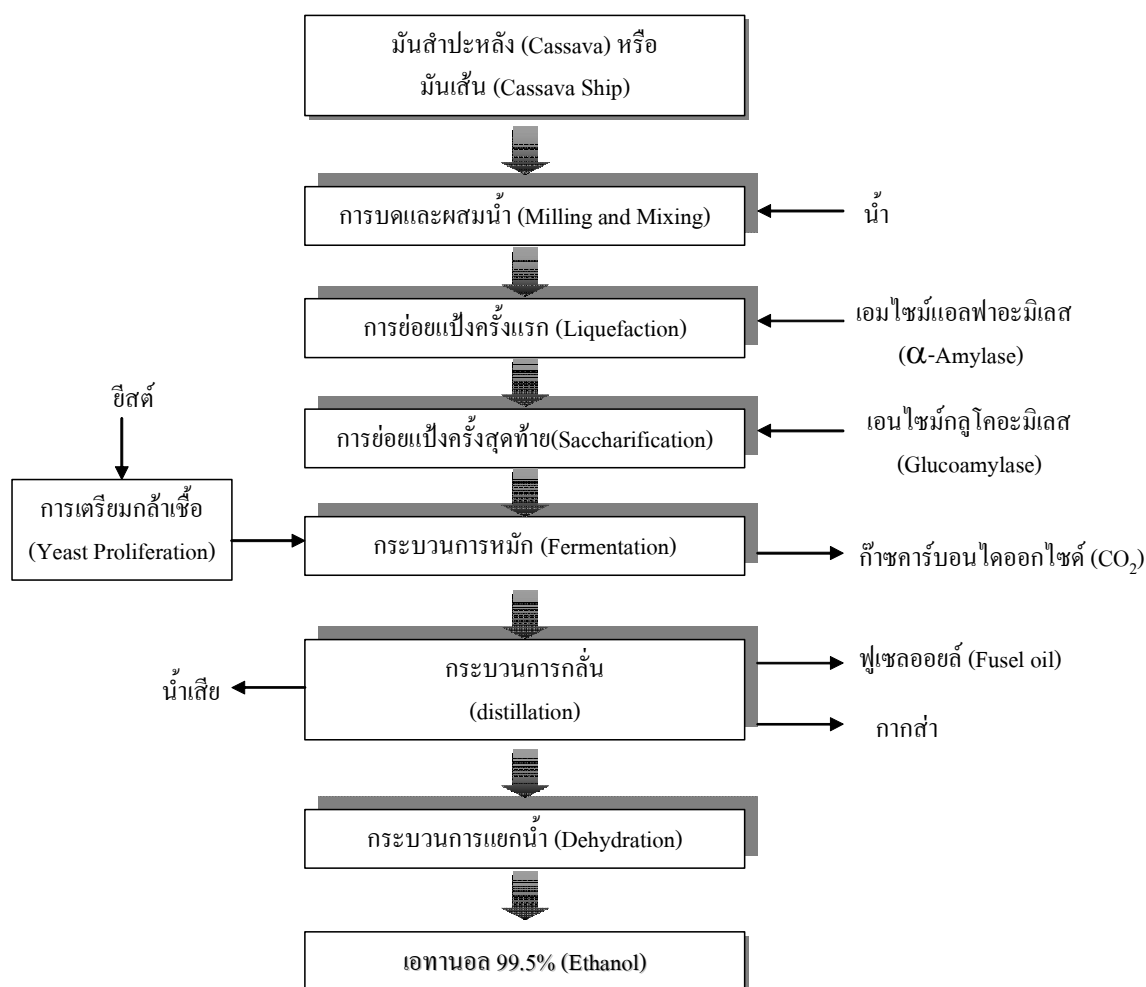
4) ประเทศไทยได้ลงทุนก่อสร้างโกดัง สำหรับมันเส้นและมันอัดเม็ดจำนวนมาก สำหรับสต็อกไว้ส่งออกไปยังตลาดยุโรป เมื่อตลาดยุโรปมีความต้องการลดลง โกดังดังกล่าวจะเริ่ม ว่างไม่สามารถนำไปใช้ในกิจการอื่นได้ สามารถนำมาใช้สต็อกมันเส้นสำหรับโรงงานเอทานอลได้ โดยไม่จำเป็นต้องสร้างใหม่ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ทุกฝ่าย รวมทั้งในภาพรวมของประเทศ

ขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ทั้งที่อยู่ในรูปหัวมันสำปะหลังสด และมันเส้นมีขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้ การเตรียมวัตถุดิบ การย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล การเปลี่ยน น้ำตาลให้เป็นเอทานอล การกลั่น และการแยกน้ำหรือกระบวนการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์ โดย ขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและมันเส้นโดยรวมแสดงได้ดังภาพที่ 4 โดยมีรายละเอียดการทำงานต่อไปนี้ (กล้าณรงค์, 2546)

การเตรียมวัตถุดิบ ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบนั้นหัวสำปะหลังมันสดและมันเส้นมี ขั้นตอนในการเตรียมที่แตก ต่างกันคือ มันเส้นจะผ่านเครื่องแยกโลหะและหินออกจากมันเส้น จากนั้นก็ผ่านเครื่องบดแห้ง แล้วก็ทำการผสมกับน้ำจะได้ของผสมที่เรียกว่า Slurry จากนั้น Slurry ก็จะผ่านกระบวนการแยกทราย ก็จะได้ Slurry ที่พร้อมจะเข้าสู่ระบบการย่อยแป้งต่อไป ในกรณี หัวมันสำปะหลังสดจะแตกต่างกับมันเส้น โดยหัวมันสำปะหลังสดจะเข้าสู่เครื่องรับหัวมัน จากนั้น เข้าเครื่องล้าง แล้วเข้าสู่เครื่องสับ ให้มีชิ้นเล็กลง จากนั้นเข้าสู่เครื่องบด แล้วเข้าสู่ถังเตรียม Slurry จะได้ slurry ที่พร้อมจะเข้าสู่กระบวนการย่อยต่อไป

การย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล จะประกอบ ด้วย 2 ขั้นตอน คือการย่อยครั้งแรกด้วย กรดหรือเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (Alpha-amylase) ที่อุณหภูมิประมาณ 95-105 องศาเซลเซียส ให้

ได้โมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงและมีความหนืดลดลง และ การย่อยครั้งสุดท้าย ด้วยเอนไซม์กลูโคสไมเลส (Glucoamylase) เข้าไปย่อยได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งจะใช้เวลาในการย่อยระหว่าง 15-18 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เมื่อสิ้นสุดการย่อยจะให้ความร้อนเพื่อหยุดกิจกรรมเอนไซม์ และและนำเชื้อที่อาจปนเปื้อนก่อนที่จะเข้ากระบวนการหมักต่อไป



ภาพที่ 4 กระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง
ที่มา: กล้าณรงค์ (2546)

การหมักเอทานอล หลังจากผ่านกระบวนการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลแล้ว ก็เข้าสู่กระบวนการหมักเอทานอลด้วยยีสต์ ซึ่งการผลิตเอทานอลด้วยวิธีการหมักจากวัตถุดิบประเภทแป้งนั้น นอกจากจะต้องผ่านการย่อยให้เป็นน้ำตาลก่อน แล้วค่อยเข้าสู่กระบวนการหมักเอทานอล

เทคนิคการหมักแบบนี้เรียกว่า การหมักแบบดั้งเดิม (Conventional Fermentation, CF) ซึ่งในงานวิจัยนี้พิจารณาเทคนิคการหมักประเภทนี้ นอกจากนี้ยังมีกระบวนการผลิตที่สามารถรวมเข้าเอาขั้นตอนการย่อยครั้งสุดท้าย และการหมัก ทำรวมในขั้นตอนเดียวกันเรียกว่า Simultaneous Saccharification and Fermentation (SSF) ซึ่งเทคนิคการหมักแบบนี้จะทำให้ประหยัดพลังงานและเวลา

การกลั่น การกลั่นเป็นกระบวนการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์ (95 เปอร์เซ็นต์) โดยหลักการทำงานจะเริ่มจากการให้ความร้อนแก่น้ำสา (น้ำสาที่มีค่าเอทานอล 7-11 เปอร์เซ็นต์) ด้วยไอน้ำ ทำให้เอทานอลในน้ำสาระเหยกลายเป็นไอกับไอเอทานอล แต่ก็จะมีน้ำระเหยขึ้นมาพร้อมกับไอเอทานอลด้วย ซึ่งความเข้มข้นของเอทานอลในไอก็จะเข้มข้นกว่าในของเหลว การที่จะกลั่นให้ได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงๆ นั้น ต้องทำให้เอทานอลระเหยและควบแน่นหลายๆ ครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งความเข้มข้นของเอทานอลจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ภายในหอกลั่นจึงทำเป็นหลายชั้นแต่ละชั้นเหมือนกับ การทำให้ระเหยและควบแน่น 1 ครั้ง การกลั่นโดยใช้หอกลั่นจึงทำให้ได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นสูงได้ แต่ก็ไม่สามารถกลั่นให้ได้ความเข้มข้นถึง 100 เปอร์เซ็นต์ เพราะเมื่อกลั่นจนเอทานอลมีความเข้มข้นประมาณ 96 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของไอเอทานอลที่ระเหยมาจากของเหลว จะเท่ากับ ความเข้มข้นของเอทานอลในของเหลวจึงทำให้ไม่สามารถกลั่นแยกเอทานอลให้ได้ถึงความเข้มข้น 100 เปอร์เซ็นต์ ได้ ดังนั้นเอทานอลที่ได้จากการกลั่นด้วยหอกลั่นจะมีความบริสุทธิ์ที่ 95 เปอร์เซ็นต์ สำหรับผลพลอยได้ในกระบวนการกลั่นจะได้ฟูเซลอยล์ เป็นผลผลิตร่วม โดยในกระบวนการผลิตเอทานอล 1,000 ลิตร จะได้ ฟูเซลอยล์ 10 ลิตร นอกจากนี้จะมีกากสาเป็นผลผลิตร่วมในกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังด้วย

การแยกน้ำ (Dehydration) กระบวนการแยกน้ำหรือ กระบวนการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์ (เอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์) เริ่มจากเอทานอลที่ผ่านขั้นตอนการกลั่นจะได้ความเข้มข้นเอทานอล 95 เปอร์เซ็นต์ แต่เอทานอลที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์นั้น จะต้องมีความเข้มข้นอย่างน้อย 99.5 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธีการทำให้ได้เอทานอลที่มีความเข้มข้น 99.5 เปอร์เซ็นต์ มีด้วยกันหลายวิธี ซึ่งในงานวิจัยนี้ขอกล่าวถึงวิธี Molecular Sieve Dehydrators ซึ่งมีลักษณะการทำงานดังนี้ คือ เม็ดบีดของสารจำพวกซีโอไลต์ เช่น โพแทสเซียมอลูมิเนียม ซิลิเกต เป็นต้น จะมีลักษณะกลมและมีรูพรุนอยู่บนผิว รูพรุนเหล่านี้จะมีขนาด 3 อังสตรอม (1 อังสตรอม=10⁻⁸ เซนติเมตร) ซึ่งโมเลกุลของน้ำจะมีความชอบกับรูพรุนและจะถูกจับเข้าไปในรูพรุนเหล่านี้ ลักษณะการ

ทำงานของ Molecular Sieve Dehydrators คือ การดูดซับน้ำเกิดขึ้นเมื่อมีการป้อนไอน้ำ (เปียก) ของเอทานอลที่มีน้ำ เข้าไปในเครื่องดีไฮเดรเตอร์ ที่บรรจุเม็ด ซีโอไลต์เหล่านี้อยู่ โมเลกุลของน้ำจะถูกดูดซับอยู่ในเม็ดบีดและไอน้ำของเอทานอลที่ถูกดูดซับน้ำออกไปแล้ว ก็จะผ่านออกมาจากเครื่องดีไฮเดรเตอร์ ในการดูดซับของซีโอไลต์ นั้น จะเป็น Exothermic กล่าว คือ ทุกๆ 1 ปอนด์ ที่น้ำถูกดูดซับจะมีการคายความร้อนออกมา 1,800 BTU ปกติซีโอไลต์ เหล่านี้สามารถดูดซับน้ำได้มากถึงร้อยละ 22 ของน้ำหนักตัวเอง เมื่อซีโอไลต์เหล่านี้ดูดซับน้ำไว้มากพอ แล้วก็ต้องทำการถ่ายเทน้ำออกทั้งนี้ทำได้โดยการผ่านไอร้อนของก๊าซเข้าไปเพื่อระเหยน้ำ

2.2 อ้อย (Sugar cane)

2.2.1 การผลิตและศักยภาพในการผลิตอ้อย

อ้อยมีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศอย่างมาก เพราะมีบทบาททั้งทางด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และการค้า โดยประเทศไทยส่งออกน้ำตาลไปจำหน่ายยังต่างประเทศประมาณ 2 ใน 3 ของผลผลิตทั้งหมด โดยการใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลอาจมีปัญหาการแย่งวัตถุดิบระหว่างโรงงานน้ำตาล ในกรณีผลผลิตอ้อยไม่เพียงพอต่อความต้องการกับโรงงานน้ำตาล ดังนั้นหากจะมีการนำอ้อยมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล อาจเกิดปัญหาวัตถุดิบไม่เพียงพอขึ้นได้ นอกจากนี้การนำอ้อยมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลยังมีข้อจำกัดด้านการปลูกและตัดส่งอ้อยเข้าหน่วยการผลิตเอทานอลได้เพียงปีละไม่เกิน 5 เดือนจึงทำให้การผลิตเอทานอลจากอ้อยโดยตรงสามารถดำเนินการได้เพียงปีละไม่เกิน 5 เดือน ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลนั้นอาจมีข้อจำกัด อย่างไรก็ตาม การผลิตเอทานอลจากอ้อยอาจถูกนำมาพิจารณาดำเนินการในช่วงที่ราคาอ้อยตกต่ำ ซึ่งถือเป็นทางเลือกหนึ่งของโรงงานน้ำตาลทราย (คณะกรรมการพลังงาน, 2545)

โดยผลผลิตอ้อย จำแนกตามภาคในประเทศ ในปี พ.ศ. 2548-2550 แสดงดังตารางที่ 4 และพื้นที่เพาะปลูก ผลผลิตรวม และผลผลิตต่อไร่ ของอ้อยในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ.2540-2550 แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ผลผลิตอ้อยจำแนกตามภาคของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2548-2550

ภาค	ผลผลิต (ตัน)			เฉลี่ย	ร้อยละ
	2548	2549	2550		
เหนือ	13,466,604	13,674,457	16,457,806	14,532,956	28
ตะวันออกเฉียงเหนือ	18,784,025	15,666,587	21,201,736	18,550,783	35
กลาง	17,335,731	18,317,053	21,987,106	19,213,297	37
รวม	49,586,360	47,658,097	59,646,648	52,297,035	100

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2551)

ตารางที่ 5 พื้นที่เพาะปลูกอ้อย ผลผลิตรวม และ ผลผลิตต่อไร่ ของอ้อย ในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2540 –2550

ปี พ.ศ.	เนื้อที่เพาะปลูก (1,000 ไร่)	ผลผลิต (1,000 ตัน)	ผลผลิตต่อไร่ (กิโลกรัม)
2540	6,314	56,393	8,932
2541	5,897	43,465	7,370
2542	5,735	50,332	8,777
2543	5,710	54,052	9,466
2544	5,481	49,563	9,042
2545	6,320	60,013	9,496
2546	7,121	74,529	10,429
2547	7,009	64,974	9,270
2548	6,668	49,572	7,435
2549	6,033	47,658	7,899
2550	6,207	59,647	9,610

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2551)

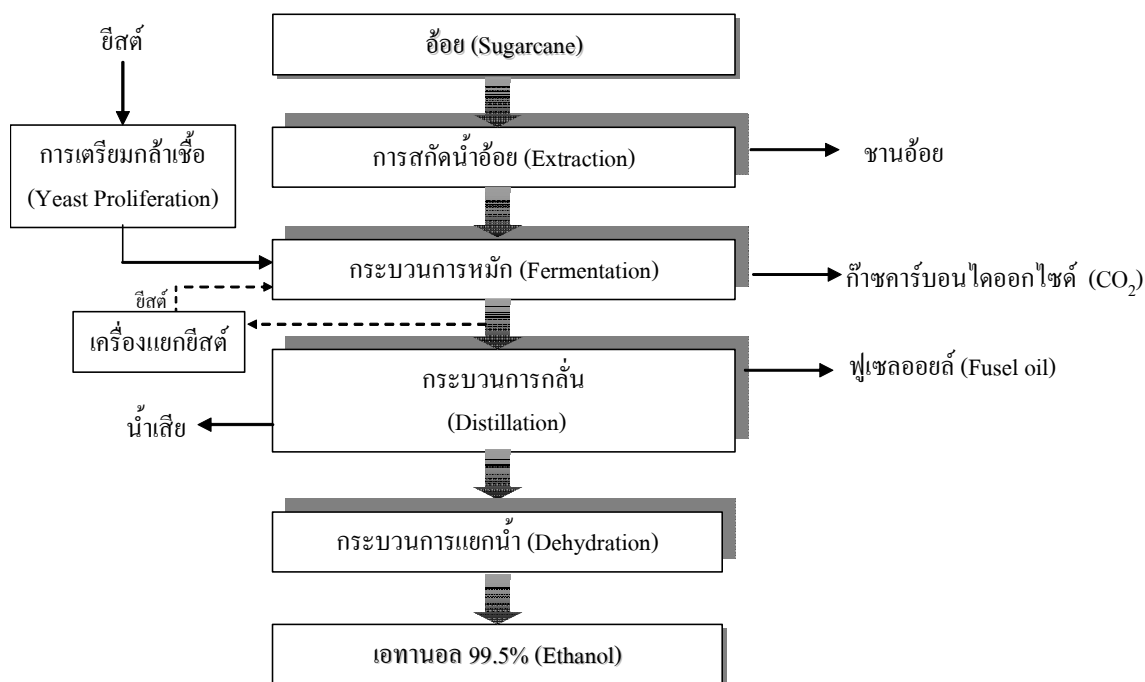
ตารางที่ 4 แสดงผลผลิตอ้อยจำแนกตามภาคของประเทศไทย ปี 2548-2550 พบว่า แหล่งปลูกอ้อยที่สำคัญที่สุดในปัจจุบันคือภาคกลางและตะวันออกเฉียงเหนือ ประมาณร้อยละ 37 และร้อยละ 35 ของพื้นที่ปลูกทั่วประเทศ ตามลำดับ รองลงมาคือภาคเหนือโดยประมาณร้อยละ 28

2.2.2 กระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย

กระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อยจะประกอบ ด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้ การสกัดน้ำอ้อย การเตรียมกล้าเชื้อ การหมัก การกลั่น และการแยกน้ำ โดยขั้นตอนการทำงานแสดงได้ดังภาพที่ 1 โดยมีรายละเอียดของกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อยดังต่อไปนี้ (กล้าณรงค์, 2546)

การสกัดน้ำอ้อย (Extraction) อ้อยจะผ่านเข้าสู่มีดสับอ้อย เพื่อสับอ้อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ เป็นการเตรียมอ้อยให้เหมาะสมในการสกัดน้ำอ้อยที่ผ่านการสับแล้วจะถูกลำเลียง โดยสะพานอ้อยไปยังเชรดเดอร์ เพื่อที่อ้อยเป็นชิ้นเล็กๆ ให้ละเอียดอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะลำเลียงไปยังลูกหีบ ลูกหีบจะทำการหีบและสกัดน้ำ อ้อยจากอ้อย

การเตรียมกล้าเชื้อ (Yeast Propagation) กล้าเชื้อในการหมักส่วนใหญ่ใช้เชื้อยีสต์ในสกุล *Saccharomyces sp.* ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาสายพันธุ์ให้มีความสามารถในการหมักสูง สายพันธุ์ของยีสต์ที่นิยมในการหมักเอทานอล คือ *Saccharomyces cerevisiae* สำหรับขั้นตอนการเตรียมกล้าเชื่อนั้นจะมีความแตกต่างขึ้นอยู่กับชนิดของยีสต์ที่ใช้ ได้แก่ เชื้อยีสต์สด และเชื้อผง โดยถ้าใช้ยีสต์สดการเก็บรักษาอยู่ในอาหารแข็ง การนำมาใช้ต้องทำการเลี้ยงเชื้อก่อน โดยเชื้อยีสต์ที่อยู่บนอาหารแข็ง ลงในหลอด แก้วขนาดเล็กที่มีอาหารเหลว จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเชื้อยีสต์ที่ได้ไปเลี้ยงเพื่อขยายปริมาณต่อจนได้ปริมาณกล้าเชื้อที่ต้องการ ส่วนการใช้ยีสต์ผงนั้นการเตรียมกล้าเชื้อจะทำได้ง่ายกว่า โดยใช้ปริมาณเชื้อยีสต์ที่เหมาะสมแล้วนำมาเลี้ยงเชื้อโดยใช้เวลาประมาณ 4-6 ชั่วโมง ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าการใช้เชื้อสดเป็นอย่างมาก แต่มีข้อเสียคือราคาแพง



ภาพที่ 5 กระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย

ที่มา: กล้าณรงค์ (2546)

การหมัก (Fermentation) กระบวนการหมักเอทานอลนั้น สามารถทำได้หลายแบบ ได้แก่ การหมักแบบเบ็ดเสร็จ การหมักแบบกึ่งเบ็ดเสร็จ และการหมักแบบต่อเนื่อง โดยกระบวนการหมักแบบต่อเนื่อง มีข้อดีคือ ค่าต้นทุนในการลงทุนสำหรับอุปกรณ์จะต่ำกว่าการหมักแบบเบ็ดเสร็จ และไม่ต้องเสียเวลาในการทำความสะอาดระบบการหมัก แต่มีข้อเสียคือโอกาสปนเปื้อนจากเชื้ออื่นมีสูง นอกจากนั้นในกระบวนการผลิตเอทานอลแบบต่อเนื่อง ยังสามารถแยกเอาเชื้อยีสต์ที่ออกมาจากระบบหมุนเวียนกลับเข้าไปในถังหมักใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหมักให้ดีขึ้น หลังจากผ่านกระบวนการหมักจะได้ความเข้มข้นเอทานอล 9-12 เปอร์เซ็นต์ ในขั้นตอนการหมักนี้ นอกจากจะได้เอทานอลเป็นผลผลิตแล้ว ยังมีก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์เป็นผลพลพลอยได้ด้วย โดยน้ำตาลกลูโคส 100 กรัม จะผลิตเอทานอลได้ 51.1 กรัม และได้ก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์ 48.9 กรัม

สำหรับกระบวนการกลั่น และการแยกน้ำนั้น หลักการทำงานจะเหมือนกับการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง แต่แตกต่างกันที่ผลผลิตรวมที่ได้และปริมาณของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตเอทานอล

2.3 กากน้ำตาล

กากน้ำตาล เป็นผลผลิตรวมที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย โดยทั่วไป อ้อย 1 ตัน จะได้กากน้ำตาลประมาณ 50-58 กิโลกรัม ปริมาณกากน้ำตาลที่ผลิตได้จะใช้บริโภคภายในประเทศและส่งออก การใช้กากน้ำตาลภายในประเทศส่วนใหญ่จะในอุตสาหกรรมผลิตสุราและแอลกอฮอล์ อีกทั้งยังใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยีสต์ ซีอิ๊ว และผงชูรส แม้ว่าการใช้กากน้ำตาลจะเป็นวัตถุดิบที่ใช้อย่างแพร่หลายในการผลิตเอทานอล แต่การใช้กากน้ำตาลในการผลิตเอทานอลอาจมีข้อจำกัด เนื่องจากมีความเสี่ยงสูงต่อการขาดแคลนวัตถุดิบ ทั้งนี้เพราะกากน้ำตาลมีตลาดรองรับทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ นอกจากนี้กากน้ำตาลยังเป็นผลผลิตรวมที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย จึงไม่สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตได้ตามต้องการ ขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของอ้อยและปริมาณการผลิตน้ำตาลทรายในแต่ละปี ซึ่งจะมีระยะเวลาประมาณ 4-6 เดือนในช่วงที่มีการหีบอ้อยเท่านั้น แต่การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลมีข้อดีคือ เป็นวัตถุดิบประเภทน้ำตาลจึงไม่จำเป็นต้องผ่านขั้นตอนในการเตรียมวัตถุดิบก่อนการหมัก เช่นเดียวกับการใช้มันสำปะหลัง เพียงแต่ทำการเจือจางกากน้ำตาลด้วยน้ำร้อนให้มีความเข้มข้นที่เหมาะสม ก็สามารถนำไปใช้หมักด้วยยีสต์ได้ ส่วนข้อเสียของการใช้กากน้ำตาลคือ การเกิดตะกอนในหม้อกลั่น ทำให้โรงงานหยุดเดินเครื่องในการทำงานบ่อยครั้ง โดยทางแก้ปัญหาก็ทำได้โดยกำจัดแคลเซียมไอออน (Ca^{+}) ออกจากกากน้ำตาลก่อนโดยการกรองผ่านเรซิน นอกจากนี้ น้ำกากสำที่ได้จากการกลั่นเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบยังมีสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งยากแก่การกำจัดสี ก่อให้เกิดปัญหาในการระบายน้ำทิ้งสู่แหล่งน้ำ (คณะกรรมการการพลังงาน, 2545)

โดยปริมาณกากน้ำตาล ในรูปผลผลิตรวมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายที่ผลิตได้ และปริมาณการส่งออก ในปี พ.ศ.2548-2549 แสดงดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ปริมาณกากน้ำตาลที่ผลิตได้ภายในประเทศ และปริมาณส่งออก ในปี พ.ศ. 2548-2549

(หน่วย: ตัน)

ปี (พ.ศ.)	ปริมาณผลิตได้	ปริมาณส่งออก
2548	1,783,203.91	1,066,544.45
2549	1,933,073.63	1,282,660.20

ที่มา : สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (2551)

2.3.1 กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย (บุญพัฑ, 2546)

อ้อยเป็นพืชไร่ที่มีการเพาะปลูกและเก็บเกี่ยวเป็นฤดูกาล ซึ่งไม่ครอบคลุมทั่วทั้งปี ดังนั้นโดยทั่วไปการผลิตน้ำตาลทรายของโรงงานน้ำตาลในประเทศไทยจึงสามารถทำได้ในช่วงเวลาหนึ่งของปีเท่านั้น โดยช่วงการผลิตในโรงงานสามารถแบ่งได้ 3 ช่วง คือ

- ช่วงหีบอ้อย (ระยะเวลาประมาณ 5 เดือน ในช่วงเดือน พ.ย. – มี.ค.)
- ช่วงละลายน้ำตาล (ระยะเวลาประมาณ 2 เดือน ในช่วงเดือน เม.ย. – พ.ค.)
- ช่วงปิดหีบอ้อย (ระยะเวลาประมาณ 5 เดือน ในช่วงเดือน มิ.ย. – ต.ค.)

กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายประกอบด้วย 2 ขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ และขั้นตอนการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์

ก. กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ

1) การสกัดน้ำอ้อย (Juice Extraction) ขั้นตอนนี้เริ่มจากการเทอ้อยลงในสายพานลำเลียงเพื่อเข้าสู่กระบวนการหีบ โดยจะผ่านเข้าสู่มีดสับอ้อย เพื่อสับอ้อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ อ้อยที่ผ่านการสับแล้วจะถูกลำเลียง โดยสายพานอ้อยไปยังเชรดเดอร์เพื่อที่ข่อยอ้อยเป็นชิ้นเล็กๆ ให้ละเอียดอีกครั้งหนึ่งก่อนที่จะลำเลียงไปยังลูกหีบ ลูกหีบจะทำการหีบและสกัดน้ำอ้อยจากอ้อย จากนั้นขานอ้อยจะถูกส่งไปเป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ เพื่อผลิตไอน้ำไปใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาล

และการผลิตพลัง งานไฟฟ้า ในส่วนของชานอ้อยที่เหลือจากการใช้เป็นเชื้อเพลิง จะถูกส่งเข้าโรงงานกระดาษและเก็บไว้ในโกดังเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงช่วงละลายน้ำตาลต่อไป

2) การทำน้ำอ้อยให้ใส (Juice Clarification) น้ำอ้อยที่ได้จากการหีบอ้อยจะมีความเข้มข้นของสารละลายน้ำตาลประมาณ 14 Brix (Brix คือ เปอร์เซ็นต์ของแข็งในสารละลาย) อุณหภูมิประมาณ 37 องศาเซลเซียส และมีค่าพีเอชประมาณ 5.0 และยังมีสิ่งสกปรกจำพวกทราย ดิน และกากอ้อยละเอียดปนอยู่ จึงจำเป็นต้องทำให้บริสุทธิ์ขึ้นโดยอุ่นน้ำอ้อยให้มีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส ผสมปูนขาว (Ca(OH)_2) เพื่อปรับพีเอชเป็น 7.5-7.7 ทำให้สิ่งสกปรกจับตัวกับน้ำปูนขาวแล้วจึงทำการปรับอุณหภูมิขึ้นเป็น 104 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำน้ำอ้อยลงถังพักใส เพื่อทำการตกตะกอนดิน ทราย และอื่นๆ ซึ่งตะกอนที่ได้นี้เรียกว่าจีโคลน ซึ่งตะกอนนี้ยังมีความหวานที่ติดอยู่กับตะกอนจึงต้องดึงความหวานกลับ โดยใช้หม้อกรองแบบสุญญากาศ และน้ำอ้อยที่แยกมาได้นี้ เรียกว่า Mix Juice Recycle โดยจะวนกลับสู่กระบวนการผลิต ส่วนตะกอนที่ถูกแยกเอาความหวานออกไปแล้วเรียกว่า กากตะกอน ส่วนน้ำอ้อยใสที่แยกตัวอยู่บนชั้นของถังพักใส จะนำไประเหยต่อไป

3) การต้มระเหยน้ำอ้อยใส (Evaporation) น้ำอ้อยใสจากถังพักใสที่มีความเข้มข้นประมาณ 14 Brix จะถูกต้มระเหยเอาน้ำออกโดยผ่านเข้าไปยังหม้อต้มแบบ Multiple Effect Evaporator น้ำอ้อยที่ออกจากหม้อต้มนี้จะมีมีความเข้มข้นอยู่ระหว่าง 60-65 Brix ซึ่งเรียกว่า น้ำเชื่อม

4) การตกผลึกน้ำตาล (Boiling and Crystallization) น้ำเชื่อมจะถูกนำไปเคี่ยวในหม้อเคี่ยวสุญญากาศ เพื่อตกผลึกน้ำตาล สาเหตุที่ต้องเคี่ยวแบบลดความดัน เพราะต้องการลดจุดเดือดของน้ำเชื่อมไม่ให้สูงเกินไป ซึ่งอาจทำให้เมื่อน้ำตาลเปลี่ยนสีและยังเป็นการประหยัดพลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งระบบการเคี่ยวน้ำตาลของโรงงานแบ่งน้ำตาลออกเป็น 3 ชนิดคือ ชนิด A, B และ C

- น้ำตาล A หรือ น้ำตาลดิบ เป็นน้ำตาลที่มีคุณภาพดี ซึ่งมีคุณสมบัติ คือ สัดส่วนซูโครสอยู่ระหว่าง 97.5 – 99.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนัก น้ำตาลดิบทางโรงงานจะส่งขายหรือไปทำน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์

- น้ำตาล B เป็นน้ำตาลที่ได้จากการนำกากน้ำตาล A มาเคี้ยวใหม่ น้ำตาล B จึงเป็นน้ำตาลที่มีคุณภาพต่ำ โรงงานจะนำน้ำตาล B เป็นตัวหล่อผลึกในหม้อเคี้ยวน้ำตาล A

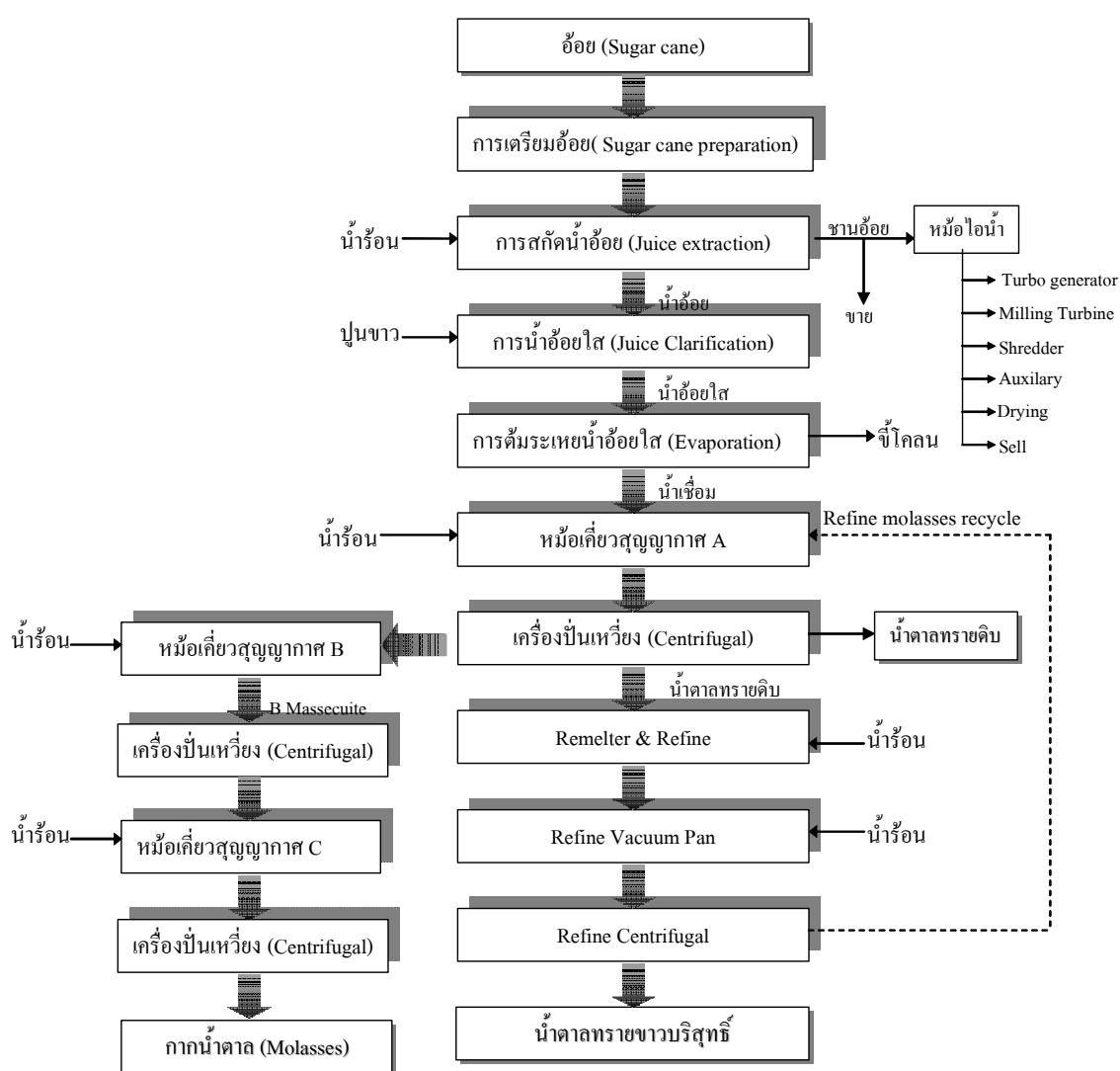
- น้ำตาล C เป็นน้ำตาลที่ได้จากการนำกากน้ำตาล B มาเคี้ยว ดังนั้นน้ำตาล C จึงเป็นน้ำตาลที่มี คุณภาพต่ำที่สุดเมื่อทำการสกัดกากน้ำตาลที่ติดอยู่กับผลึกน้ำตาลแล้วต้องนำน้ำตาล C กลับสู่กระบวนการผลึกอีกครั้งหนึ่งโดยใช้เป็นตัวหล่อผลึกในหม้อเคี้ยวน้ำตาล B

ระบบการเคี้ยวน้ำตาลนั้นจำเป็นต้องอาศัยน้ำเชื่อม กากน้ำตาล และเชื้อ เป็นตัวหล่อเมื่อทำการเคี้ยวออกมาแล้วจะเรียกของผสมระหว่างผลึกและของเหลวว่า Masecuite โดยส่วนที่เป็นผลึกเรียกว่า Sugar และส่วนที่เป็นของเหลวโดยรวมเรียกว่า Mother Liquor เช่นในการเคี้ยวน้ำตาล B ต้องใช้ B-Seed A-Molasses และน้ำเชื่อมดิบ ที่เป็นสัดส่วนกัน เมื่อทำการเคี้ยวกันได้ก็ออกมาเรียกว่า B-Masecuite ซึ่งจะถูกนำไปปั่นแยกเอาน้ำตาล B ส่วนของเหลวที่ได้จากการแยกจะเรียกว่า B-Molasses ซึ่งจะนำไปเคี้ยวน้ำตาล C ต่อไป ในส่วนการเคี้ยวน้ำตาล C เมื่อทำการแยกเอาน้ำตาล C ออกของเหลวที่ได้จะเรียกว่า Final Molasses ของเหลวดังกล่าวจะถูกส่งไปยังโรงงานผลิตเอทานอล

ข. การผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (White sugar and Sugar Refinery)

การผลิตน้ำเชื่อมบริสุทธิ์ ทำได้โดยนำน้ำตาล A ผสมกับน้ำร้อน หรือ Affinate Molasses (Molasses ของน้ำตาล A) แล้วทำการปั่นแยกเอาน้ำตาลออกจากกากน้ำตาล น้ำตาลที่แยกออกมาเรียกว่า Affinate Sugar ซึ่งมีคุณภาพดีกว่าน้ำตาล A จากนั้นนำ Affinate Sugar มาละลายกับน้ำร้อนให้มีความเข้มข้นที่ประมาณ 70 Brix แล้วนำมาผสมกับปูนขาว เพื่อทำให้แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) ตกตะกอนออกมา ตะกอนที่เกิดจะดูดสีในน้ำเชื่อมออกมาประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ ของปริมาณสีที่มีอยู่ทั้งหมดในน้ำเชื่อมคาร์บอเนต นำน้ำเชื่อมคาร์บอเนตที่ได้มาทำการกรองเพื่อแยกตะกอนออกจะได้น้ำเชื่อมใส น้ำเชื่อมใสมาผ่านกระบวนการดูดซับโดยใช้เรซินเพื่อลดค่าสีที่มีอยู่ออกไปซึ่งจะได้น้ำเชื่อมบริสุทธิ์ จากนั้นนำน้ำเชื่อมบริสุทธิ์มาเคี้ยวในหม้อต้ม ระบบสุญญากาศจนกระทั่งได้ผลึกน้ำตาล จากนั้นนำมาปั่นแยกผลึกน้ำตาลและกากน้ำตาลออกจากกัน ซึ่งจะได้ น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ 3 ชนิด คือ น้ำตาล SR (Super Refine Sugar) เป็นน้ำตาลที่มีคุณภาพดีที่สุด น้ำตาล SR จะมีปริมาณซูโครส 99.90 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลดังกล่าวจะส่งขายให้กลุ่ม

โรงงานผลิตอาหารและส่งออกต่างประเทศ น้ำตาล R (Refine Sugar) เป็นน้ำตาลที่มีคุณภาพรองจากน้ำตาล SR น้ำตาล R มีปริมาณซูโครส 99.85 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลดังกล่าวจะส่งขายให้กลุ่มโรงงานอาหาร โรงงานน้ำตาลและส่งออกต่างประเทศและน้ำตาล W (White Sugar) เป็นน้ำตาลที่มีคุณภาพต่ำสุด น้ำตาล W จะมีปริมาณซูโครส 99.80 เปอร์เซ็นต์ น้ำตาลดังกล่าวจะถูกบรรจุขายภายในประเทศ ส่วน W-Molasses ที่ได้จากการปั่นแยกน้ำตาล W จะถูกนำไปสู่กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบต่อไปซึ่งขั้นตอนโดยรวมของกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายในช่วงหีบอ้อยแสดงได้ดังภาพที่ 6

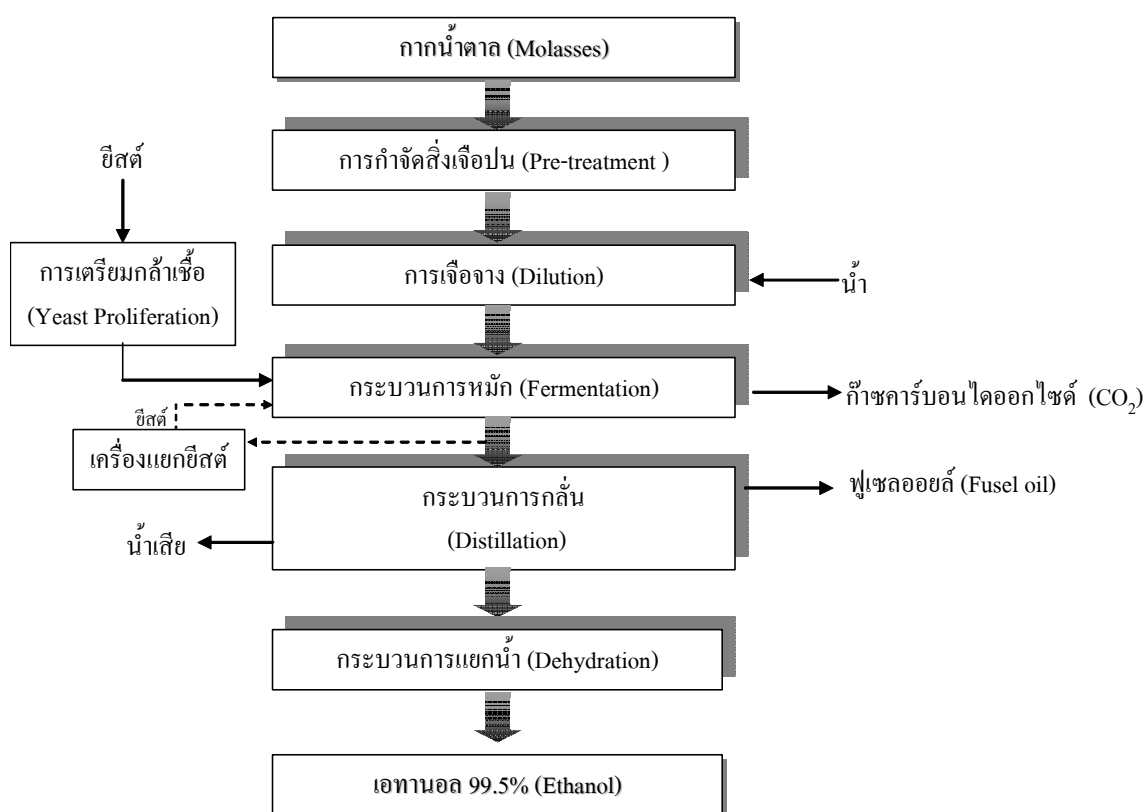


ภาพที่ 6 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบและน้ำตาลทรายบริสุทธิ์ในช่วงหีบอ้อย

ที่มา: บุญยพัต (2546)

2.3.2 กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล

กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล แต่ละเทคโนโลยีจะมีกระบวนการผลิตที่เหมือนกัน โดยจะมีข้อแตกต่างกันในส่วนของการเตรียมวัตถุดิบ สำหรับการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลประกอบ ด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้คือ ขั้นตอนการกำจัดสิ่งปนเปื้อน การเจือจาง การเตรียมกล้าเชื้อการหมัก การกลั่น และขั้นตอนการแยกน้ำ โดยขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล แสดงได้ดังภาพที่ 7 โดยมีรายละเอียดการทำงานของกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล ดังต่อไปนี้ (กล้าณรงค์, 2546)



ภาพที่ 7 กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล

ที่มา: กล้าณรงค์ (2546)

การกำจัดสิ่งปนเปื้อน (Pre-Treatment) กากน้ำตาล ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลจะมีองค์ประกอบที่เป็นของแข็ง คือ แคลเซียม ซึ่งถ้ามีปริมาณมากเกินไปก็จะทำให้

ประสิทธิภาพการหมักเอทานอลลดน้อยลง โดยทั่วไปกากน้ำตาลจะประกอบไปด้วยแคลเซียมที่มีปริมาณที่แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของกากน้ำตาล ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องมีการแยกแคลเซียมก่อน โดยการใช้กรดซัลฟูริก ซึ่งกรดซัลฟูริกจะทำปฏิกิริยากับแคลเซียม เกิดเป็นตะกอนของแคลเซียมซัลเฟต จากนั้นก็ทำการแยกตะกอนออก แล้วนำส่วนใสเข้าสู่ขั้นตอนการเจือจางต่อไป อย่างไรก็ตามมีบางเทคโนโลยีก็อาจไม่มีขั้นตอนการกำจัดสิ่งเจือปน

การเจือจาง (Dilution) กากน้ำตาลที่ผ่านขั้นตอนการกำจัดสิ่งเจือปนจะถูกนำมาเจือจางด้วยน้ำร้อน เพื่อลดโอกาสการปนเปื้อนจากเชื้ออื่นๆ เพื่อให้ได้ความเข้มข้นที่เหมาะสม สำหรับการทำงานของยีสต์ โดยความเข้มข้นที่เหมาะสมประมาณ 20-25 องศาบริกซ์ จากนั้นกากน้ำตาลที่มีความเข้มข้นที่เหมาะสมก็จะเข้าสู่กระบวนการหมักต่อไป

ส่วนขั้นตอนการเตรียมกล้าเชื้อ ขั้นตอนการหมัก ขั้นตอนการกลั่น และขั้นตอนการแยกน้ำ มีรายละเอียดเช่นเดียวกับการผลิตเอทานอลจากอ้อย

2.4 การใช้ประโยชน์จากผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล

กระบวนการผลิตเอทานอลนอกจากจะมีเอทานอลเป็นผลผลิตหลักแล้วยังมีผลผลิตร่วมที่ได้ซึ่งผลผลิตร่วมนี้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังต่อไปนี้ (กล้าณรงค์, 2549)

2.4.1 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซ CO_2 เกิดขึ้นในระหว่างการหมักน้ำตาลเป็นเอทานอลด้วยยีสต์ ซึ่งจะมีปริมาณเป็นครั้งหนึ่งโดยน้ำหนักของน้ำตาลกลูโคสที่ใช้ในการหมัก โดยที่กำลังการผลิตเอทานอล 150,000 ลิตร/วัน จะเกิดก๊าซ CO_2 ประมาณ 100-120 ตัน/วัน ก๊าซ CO_2 สามารถนำไปใช้ได้ทั้งในสถานะก๊าซ ของเหลว และของแข็ง โดยจะใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ใช้เป็นสารทำความเย็นและอุตสาหกรรมเครื่องดื่ม เมื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการลงทุนพบว่า มีความพร้อมของเทคโนโลยีที่สามารถนำมาใช้ในกระบวนการหมักเอทานอลได้ มีความต้องการทางการตลาด แต่มีข้อจำกัดในด้านการขนส่ง ทำให้ความเป็นไปได้ในการลงทุนไม่แน่นอน

2.4.2 ฟูเซลอยล์ (Fusel oil) ฟูเซลอยล์เป็นของผสมที่ประกอบด้วยแอลกอฮอล์หลายชนิด คือ ไอโซเอมิลแอลกอฮอล์ (Isoamyl alcohol) และแอคทีฟเอมิลแอลกอฮอล์ (Active amyl

alcohol) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักที่มีมูลค่าสูง นอกจากนี้ยังมีบิวทานอล (Butanol) และโพรพานอล (Propanol) การแยกแอลกอฮอล์แต่ละชนิดออกจากฟิวเซลอยล์สามารถทำได้โดยวิธีการกลั่น วิธีการทางโครมาโตกราฟี หรือวิธีการเคมี และผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์ แอลกอฮอล์ที่ได้สามารถใช้เป็นตัวทำละลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมจำพวกเรซินและพลาสติก อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และหมึกพิมพ์ เป็นต้นเมื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการลงทุนพบว่า มีข้อจำกัดด้านเทคโนโลยีการทำให้บริสุทธิ์ จึงทำให้มีข้อจำกัดในการใช้ประโยชน์ที่ต้องเป็นลักษณะของผสม

2.4.3 กากส่ำ (Dry Distillers Grains Solubles: DDGS) กากส่ำเป็นผลผลิตร่วมที่ได้จากระบวนการผลิตเอทานอลที่ใช้มันสำปะหลังหรือข้าวโพดเป็นวัตถุดิบ เป็นส่วนผสมของกากวัตถุดิบและน้ำส่ำที่นำมาทำแห้งจนมีความชื้นประมาณร้อยละ 10-12 กากส่ำที่ผลิตจากมันสำปะหลังจะมีปริมาณโปรตีนประมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแห้ง กากส่ำ สามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนและพลังงานที่สำคัญสำหรับโคนมและโคเนื้อ อีกทั้งยังเป็นแหล่งของเส้นใยและฟอสฟอรัสของสัตว์จำพวกที่ไม่ใช่สัตว์เคี้ยวเอื้อง เมื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการลงทุน พบว่า กากส่ำเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการเทคโนโลยีในการผลิตขั้นสูง และมีการสร้างตลาดภายในประเทศสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์โอกาสทางการตลาดจึงมีสูง ทำให้ความเป็นไปได้ในการลงทุนสูง

2.4.4 ยีสต์ (Yeast) เชลล์ยีสต์ประกอบด้วยโปรตีนร้อยละ 40 คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 34 ไขมันร้อยละ 4 โดยน้ำหนักแห้ง และวิตามินบี จึงสามารถใช้เป็นแหล่งโปรตีนทดแทนและอาหารเสริมของมนุษย์และสัตว์ หรือนำเชลล์ยีสต์มาสกัดแยกเป็นยีสต์สกัด และผนังเชลล์ยีสต์ ยีสต์สกัดสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพสูง ใช้เป็นสารปรุงแต่งกลิ่นในอาหารสัตว์ได้เป็นอย่างดี ส่วนผนังเชลล์ยีสต์ที่มีองค์ประกอบของเบต้า 1, 3 และ 1, 6 กลูแคน ซึ่งมีคุณสมบัติช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายมนุษย์และสัตว์ เมื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการลงทุนพบว่า สามารถพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่มได้หลายชนิด และมีความต้องการของตลาดทั้งภายใน และภายนอกประเทศรวมทั้งมีความพร้อมทางด้านเทคโนโลยีจึงทำให้โอกาสทางการตลาดมีมาก และความเป็นไปได้ในการลงทุนสูงจะทำให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนเพิ่มขึ้น และระยะเวลาคืนทุนลดลง

2.4.5 ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซมีเทน ประมาณร้อยละ 50-70 และก๊าซ CO₂ ประมาณร้อยละ 30-50 ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิด

อื่นๆ เช่น ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไฮโดรเจนคลอไรด์ ไนโตรเจน และไอน้ำ เนื่องจาก ก๊าซชีวภาพมีส่วนประกอบหลักเป็นก๊าซมีเทน จึงทำให้มีคุณสมบัติติดไฟได้ดีและสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ เมื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ของการลงทุน พบว่า การผลิตก๊าซชีวภาพเป็นการจัดการที่ควรดำเนินการ เพื่อช่วยตอบ สอนองอุปสงค์ด้านพลังงานของโรงงาน

3. เครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันความตระหนักด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมมีความตื่นตัวมากขึ้น ความรู้ด้านการจัดการต่อผลกระทบสิ่งแวดล้อมก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน เครื่องมือและเทคนิคในการจัดการและประเมินทางด้านสิ่งแวดล้อมถูกพัฒนาขึ้นจากหลายๆ ประเทศ ปัจจุบันเครื่องมือในการจัดการและประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมีอยู่หลายวิธี เช่น Life Cycle Assessment (LCA), Risk Assessment (RA) และ Environmental Impact Assessment (EIA) เป็นต้นโดยแต่ละวิธีจะมีเป้าหมายและความเหมาะสมในการเลือกใช้ที่ต่างกัน แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ลักษณะทั่วไปของเครื่องมือประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภท

เครื่องมือ	ขอบเขต การใช้งาน	ข้อจำกัดทาง ภูมิศาสตร์	ข้อจำกัด ด้านเวลา
การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)	ผลิตภัณฑ์/ หน้าที่ของผลิตภัณฑ์	ไม่มีข้อจำกัด	ไม่มีข้อจำกัด
การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment: EIA)	โรงงาน/ ระบบ สาธารณูปโภค	เฉพาะ ตำแหน่งที่ตั้ง	ระบุแน่นอน
การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment: RA)	โรงงาน	เฉพาะ ตำแหน่งที่ตั้ง	ระบุแน่นอน
การวิเคราะห์การไหลของสาร (Substance Flow Analysis: SFA)	สาร	เฉพาะพื้นที่	ขึ้นกับผู้ ใช้กำหนด
การตรวจประเมินด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Audit: EA)	บริษัท	เฉพาะ สถานที่ตั้ง	ขึ้นกับผู้ ใช้กำหนด

ที่มา: สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (2547) อ้างจาก UNEP (1996)

วิธีประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตมีประเด็นแตกต่าง จากเครื่องมือประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมอื่นๆ คือ วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นกระบวนการ ประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ หรือหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต ของผลิตภัณฑ์นั้น โดยเน้นผลเชิงปริมาณชัดเจน จึงทำให้การศึกษาวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต มี ความซับซ้อนมากกว่าเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เนื่องจากการศึกษาจะต้องทำการวิเคราะห์ตั้งแต่แหล่งกำเนิดของทรัพยากรที่นำมาใช้ไปจนถึงขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในทุกประเด็นที่เกิดขึ้น และให้ความสำคัญทั้งในเรื่องของทรัพยากรที่ สิ้นเปลืองไปและมลสารที่ถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม แต่วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตจะเป็นการมอง ผลกระทบในภาพรวมที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อโลก เช่น การปล่อยก๊าซเรือนกระจก อันเป็นสาเหตุที่ ทำให้โลกร้อนมากกว่าที่จะมองเฉพาะสารพิษที่ปล่อยออกมา ดังนั้นวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต จึง เป็นเพียงเครื่องมือหนึ่งซึ่งช่วยสนับสนุนการตัดสินใจทางด้านสิ่งแวดล้อม ไม่ได้แทนที่เครื่องมือวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมชนิดอื่นๆ ซึ่งถูกกำหนดขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะอย่าง เช่น การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EIA) ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์การสร้างหรือต่อเติมโรงงาน การ ประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) ซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบของสารมลพิษต่าง ๆ จากการ ดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์เฉพาะแห่ง

4. การประเมินวัฏจักรชีวิต

4.1 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต

สมาคมพิษวิทยาด้านสิ่งแวดล้อมและสารเคมี (Society of environment toxicology and chemical: SETAC) ได้ให้นิยามของ การประเมินวัฏจักรชีวิตว่า “กระบวนการที่ประเมินผลกระทบ ทางสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาครอบคลุมถึงกระบวนการผลิตและกิจกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวเนื่องกันใน รูปของวัตถุดิบและพลังงาน ซึ่งการประเมินนี้จะทำตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อย่างละเอียด เช่ น กระบวนการผลิต การบรรจุ การคัดแยก การบำรุงรักษา และการแปรรูปใช้ใหม่ รวมถึงกิจกรรม อื่นๆที่เกี่ยวข้องทั้งหมดโดยยึดหลักของระบบนิเวศสุขอนามัย และการนำทรัพยากรมาใช้เป็นหลัก” (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)

องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน ได้นิยามความหมายของ วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO14040 ว่า “การประเมินวัฏจักรชีวิต เป็นการเก็บรวบรวม และการประเมินค่าของสารขาเข้า และสารขาออกรวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต” (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)

4.2 ขั้นตอนการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิตจะดำเนินงานตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ซึ่งการประเมินวัฏจักรชีวิตมี 4 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.2.1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition) การกำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์ในการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ และระบุขอบเขตของการศึกษารวมถึงกำหนดหน่วยการทำงาน (Functional unit) เพื่อเป็นการกำหนดหน่วยพื้นฐานในการศึกษา โดยในขั้นตอนนี้มีความสำคัญในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากป้องกันการศึกษาที่กว้างเกินไป ทำให้ยากต่อการเข้าใจในการศึกษา

4.2.2. การจัดทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory: LCI) การทำบัญชีรายการโดยการรวบรวมข้อมูลต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เช่น พลังงานที่ใช้ แหล่งทรัพยากรที่ใช้ และปริมาณการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม เป็นต้น โดยการจัดหาข้อมูลนั้น เป็นปัญหาที่สำคัญของการทำการประเมินวัฏจักรชีวิต เนื่องจากการทำ การประเมิน วัฏจักรชีวิตนั้นจะจำเป็นที่ต้องใช้ข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งมีความยุ่งยากในการจัดหาและรวบรวมข้อมูลและใช้เวลานานในการศึกษา

4.2.3 การประเมินผลกระทบ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากข้อมูลบัญชีรายการที่รวบรวมได้ แล้วทำการแปลผลบัญชีรายการหรือข้อมูลไปสู่ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในประเภทต่างๆ สำหรับการประเมินผลกระทบ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน คือ

1) การจำแนกประเภท (Classification) ขั้นตอนนี้ทำโดยรวบรวมมลพิษที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมที่รวบรวมได้ จัดเป็นหมวดหมู่ของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น เช่น

สภาวะโลกร้อน การลดลงของชั้นโอโซน เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์ อาจก่อให้เกิดผลกระทบสภาวะโลกร้อน หรือ ก๊าซมีเทน ก่อให้เกิดผลกระทบสภาวะโลกร้อน และ การเกิดโฟโตเคมีคอล ออกซิแดนต์ (Photochemical oxidant) เป็นต้น

2) การกำหนดบทบาท (Characterization) ขั้นตอนนี้ทำการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างมลสารที่เกิดจากผลิตภัณฑ์ ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในแต่ละประเภทให้อยู่ในหน่วยเดียวกัน เช่น สภาวะโลกร้อน สารต่างๆ ที่จัดว่าเป็นสาเหตุของปัญหานี้จะถูกระบุเป็นหน่วย kg CO₂ equivalent โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4)

$$EP_j = \sum (Q_i \times EF_{ij}) \quad (4)$$

EP_j (Environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม
สำหรับผลกระทบประเภทใดๆ (kg_{substance equivalent})
 Q_i (Quantity of substance) คือ ปริมาณมลสาร i ที่ปล่อยออกมา (kg_{substance j})
 EF_{ij} (Equivalency factor) คือ ค่าเทียบเท่าของมลสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบ
ทางสิ่งแวดล้อม j (kg_{substance equivalent} / kg_{substance j})

3) การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) ขั้นตอนนี้ทำโดยการหาความสำคัญของแต่ละผลกระทบ โดยทำการเปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ต่ออายุการใช้งาน และค่าขนาดของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้นๆ โดยคำนวณจากสมการที่ (5)

$$NP_{j(\text{Product})} = \frac{EP_j}{(T \times ER_j)} \quad (5)$$

$NP_{j(\text{product})}$ (Normalized environment impact potential)
คือ ค่าปกติทางศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ
ของผลิตภัณฑ์ (Person)
 T (Lifetime of product) คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (year)

ER_j (Normalization Reference) คือ ค่าขนาดของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี
(kg substance equivalent/Person/year)
โดยค่าที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางผนวกที่ ข.7

4) การให้น้ำหนัก (Weighting) ขั้นตอนนี้ทำการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยนำค่า NP_j (product) ที่ได้ที่ได้มาคูณด้วยค่าการให้น้ำหนักที่มีค่าระดับความสำคัญของแต่ละผลกระทบที่แตก ต่างกัน เช่น สภาวะโลกร้อนอาจพิจารณาว่ามีค่าสำคัญมากกว่าสภาวะความเป็นกรด โดยให้ค่าน้ำหนักที่อัตราส่วน 1:2 โดยค่าน้ำหนักที่คำนวณได้นี้เป็นค่าสุดท้ายที่ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่วิเคราะห์ หรือคำนวณได้จากสมการที่ (6)

$$WP_j = WF_j \times NP_j \quad (6)$$

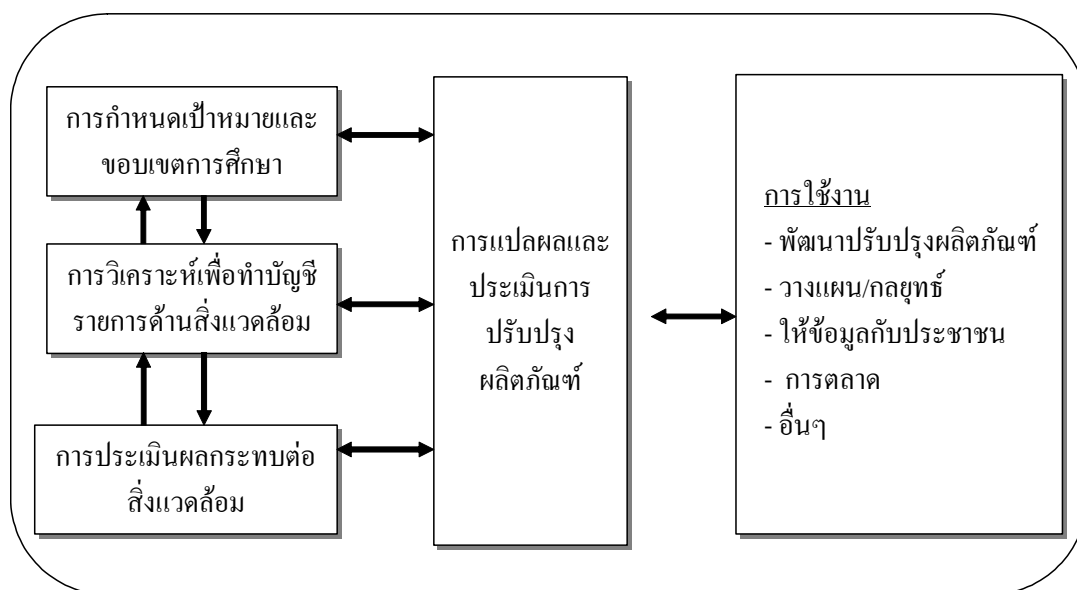
WP_j (Weighted environmental impact potential)

คือ ค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว (Person for target year; Pt.)

WF_j (Weighting factor) คือ ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ถึงขั้นตอนการหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) โดยไม่ได้พิจารณาขั้นตอนการให้ค่าน้ำหนัก (Weighting)

4.2.4. การแปลผลการศึกษา (Interpreted) การแปลผลและการตีความโดยการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมร่วมกับการทำบัญชีรายการเพื่อให้ได้ข้อสรุปและข้อเสนอแนะตามวัตถุประสงค์และเป้าหมาย เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างผลการศึกษาและวัตถุประสงค์การศึกษา แผนภาพแสดงขั้นตอนในการจัด ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ แสดงได้ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ขั้นตอนในการจัดการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
ที่มา: สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (2547)

5. โปรแกรมในการประเมินวัฏจักรชีวิต

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต ต้องใช้ฐานข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งฐานข้อมูลในประเทศยังมีการรวบรวมในปริมาณน้อย ดังนั้นการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต อาจต้องใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีการจัดเก็บข้อมูลไว้แล้ว โดยการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต อาจจะใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์ผลการศึกษา หรืออาจใช้โปรแกรม Microsoft Excel หรือ Spreadsheets ในการวิเคราะห์ผลการศึกษา

ปัจจุบันบริษัทและองค์กรต่างๆ ได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต โดยบางโปรแกรมได้ถูกพัฒนาขึ้นในการประเมินวัฏจักรชีวิตอย่างสมบูรณ์ นั่นคือประกอบด้วย การวิเคราะห์บัญชีรายการ การประเมินค่าผลกระทบ และบางโปรแกรมมีการแปลข้อมูล ประเด็นสำคัญในการเลือกใช้แต่ละโปรแกรมแสดงดังตารางที่ 8 (โอมฤทธิ, 2547)

ตารางที่ 8 การเปรียบเทียบโปรแกรมที่ศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต

รายการ	CUMPAN 1.44	ECO-it 1.0	EDIP PC-tool	EPS 4.0 Design	Gabi 3	SimaPr0 4.0	TEAM	Umberto 3.5
ประเทศ	Germany	Holland	Denmark	Sweden	Germany	Holland	France	Germany
จำนวนลิขสิทธิ์ที่ขายได้	62	70	100	>200	250	>600	>200	>350
ราคา	\$6,000	\$215	\$700	\$3,200	\$2,500-8,000	\$2,540	\$3,000	\$1,000-20,000
เวลาที่ใช้ในการศึกษา	1 วัน	<2 ชั่วโมง	<1สัปดาห์	<1สัปดาห์	<1เดือน	<1วัน	<1วัน	<1สัปดาห์
วิธีในการประเมินผลกระทบ	Several	All single score method	EDIP, Environmental method	EPS	Eco Indicator create your own method	EI95,EI99,EP97, CML,EDIP,EPS	CML, EPA, IPCC, CVCH	Eco indicator, Swiss eco point
เป็นไปตามมาตรฐาน ISO 14040	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓
แสดงผลในรูปแบบตาราง	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
แสดงผลในรูปแบบกราฟ	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
การปรับปรุงข้อมูล	ทุกปี	ช่วงเวลาอื่น	ช่วงเวลาอื่น	ทุกปี	ช่วงเวลาอื่น	ทุก 2 ปี	ทุกปี	ช่วงเวลาอื่น
แสดงค่าทางสิ่งแวดล้อมเป็นหน่วย Pt.	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

ตารางที่ 8 (ต่อ)

รายการ	CUMPAN 1.44	ECO-it 1.0	EDIP PC-tool	EPS 4.0 Design	Gabi 3	SimaPr0 4.0	TEAM	Umberto 3.5
แสดงผลในแต่ละประเภทของผลกระทบ	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓
สามารถผลเพื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ได้	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓
สามารถดึงผลการประเมินออกจากโปรแกรมได้	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ตรงตามเป้าหมาย สำหรับ วิศวกรออกแบบ	✓	✓	✓	✓	X	✓	X	✓
ตรงตามเป้าหมาย สำหรับ วิศวกรสิ่งแวดล้อม	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓
ตรงตามเป้าหมาย สำหรับ ผู้เชี่ยวชาญด้าน LCA	X	X	X	✓	✓	✓	✓	✓
มีฐานข้อมูล	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
สามารถเพิ่มข้อมูลเข้าไปใหม่ได้	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

หมายเหตุ: ✓ หมายถึง มีคุณสมบัติในโปรแกรม

X หมายถึง ไม่มีคุณสมบัติในโปรแกรม

ที่มา: โอเมทรี (2547) อ้างจาก Jon brink (2000)

การเปรียบเทียบโปรแกรมสำเร็จรูป จากตารางที่ 8 จะเห็นว่า โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เช่น มีการวิเคราะห์ผลกระทบตามระบบ ISO มีการเปรียบเทียบผลของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการเปรียบเทียบ มีฐานข้อมูล มีการแสดงผลในรูปตาราง หรือกราฟ เป็นโปรแกรมที่เหมาะสมกับวิศวกรสิ่งแวดล้อม วิศวกรออกแบบ มีความยืดหยุ่นในการเพิ่มข้อมูลใหม่ ใช้ระยะเวลาในการศึกษามาก มีการปรับปรุงฐานข้อมูล นอกจากนี้แล้วสามารถสังเกตได้ว่ามีโปรแกรมอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับ SimaPro แต่ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญคือราคาและการยอมรับของผู้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้จากปริมาณลิขสิทธิ์ที่ขายได้ของโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า ในงานวิจัยนี้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro มีความเหมาะสมในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต และให้ผลเป็นที่ยอมรับได้ (โอมฤทธิ, 2547)

6. โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro

โปรแกรม SimaPro เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ได้รับการพัฒนาจาก Pre'Consultants ประเทศเนเธอร์แลนด์ เพื่อใช้ในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต ของผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ทำการศึกษา เป็นการนำเอาขั้นตอนต่างๆของการทำประเมินวัฏจักรชีวิต มาจัดอย่างเป็นระบบโดยจัดข้อมูลพื้นฐานบางส่วนในโปรแกรมเพื่อที่ผู้ใช้นำไปประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสม สามารถนำไปใช้ได้กับอุตสาหกรรมทั่วไป ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมมีดังนี้ (โอมฤทธิ, 2547)

- กำหนดขอบเขตและเป้าหมาย: ทำการกำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการประเมินผลการศึกษา
- การรวบรวมข้อมูล: เป็นการอ้างอิงข้อมูลจากข้อมูลพื้นฐานของโปรแกรม หรือ ข้อมูลเพิ่มเติมพื้นฐานจากกระบวนการนั้น
- การประเมินผลกระทบ: โปรแกรมมีวิธีการประเมินมาตรฐานหลายแบบ เช่น Eco-indicator 99, Environments Priority Strategy in product design: EPS 2000 เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี Eco-indicator 95 ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยการประเมินผลกระทบแต่ละวิธีจะทำการศึกษาในรายละเอียดที่แตกต่างกันแสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมวิธีต่างๆ

Assessment Method	Steps Included			
	Characterization	Damage Assessment	Normalization	Weighting
Eco –indicator 95	✓		✓	✓
Eco –indicator 99	✓	✓	✓	✓
CML 92	✓		✓	
CML 2 baseline 2000	✓		✓	
Ecopoints 97	✓			✓
EDIP 96	✓		✓	✓
EPS 2000	✓	✓		✓

ที่มา : โอมฤทธิ (2547) อ้างจาก Chomkumsri (2003)

7. Eco-Indicator 95

7.1 หลักการของ Eco-indicator 95 (โอมฤทธิ, 2547)

7.1.1 Eco-indicator 95 เป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในการหาทางเลือกในการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่ Eco-indicator 95 ก็มีข้อจำกัดคือ ไม่ได้ถูกใช้ทางด้านการตลาด หรือการให้ฉลากสิ่งแวดล้อม ไม่ได้เป็นเครื่องมือของรัฐบาลในการกำหนดมาตรฐานและแนวทาง แต่เป็นเครื่องมือที่ใช้ภายในหน่วยงานเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

7.1.2 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ทุกผลิตภัณฑ์มักจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิตผลิตภัณฑ์ การใช้ การหีบห่อ และการกำจัด โดยทั่วไปผลกระทบสิ่งแวดล้อมมักจะเกิดขึ้นในระหว่างการใช้ผลิตภัณฑ์เนื่องจากมีการใช้พลังงาน ถ้าเราต้องการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ก็จำเป็นต้องศึกษาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ซึ่งก็คือ การประเมินวัฏจักรชีวิต สามารถประเมินได้ 2 ทาง คือ

1) เพื่อการหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ หรือ ออกแบบทางเลือกในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์

2) ใช้เพื่อการหาสาเหตุของการเกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

7.1.3 ความหมายของคำว่า “Eco”

Eco หมายถึง ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อระบบนิเวศหรือสุขภาพมนุษย์ ซึ่งตามมาตรฐานยุโรป ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมีหลายด้าน เช่น

- สภาวะเรือนกระจก สถานการณ์สูงขึ้นของอุณหภูมิ เป็นผลมาจากความเข้มข้นของก๊าซที่จำกัดการแผ่รังสีความร้อนของโลก
- การลดลงของชั้น โอโซน ทำให้ความเข้มข้นของรังสีอัลตราไวโอเลตบนโลกเพิ่มขึ้น
- ฝุ่นและสารประกอบซัลเฟอร์ทำให้เกิดผลกระทบต่อบุคคลที่มีปัญหาด้านระบบทางเดินหายใจ
- สารพิษ ได้แก่ สารพิษที่นอกเหนือจากที่กล่าวมาข้างต้น เช่น โลหะหนัก สารก่อมะเร็ง และสารกำจัดศัตรูพืช

โดยรายละเอียดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ จะกล่าวรายละเอียดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่างๆ ในหัวข้อต่อไป

7.2 ขั้นตอนการคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 95

การคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 95 จะเริ่มจากการคำนวณเบื้องต้นอย่างหยาบก่อน โดยหลังจากการประเมินเบื้องต้นแล้วจึงจะเพิ่มในส่วนของการรายละเอียด โดยผู้ประเมินจะต้องคำนึงถึงระยะเวลาในการประเมินด้วย ขั้นตอนการคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-indicator 95 ประกอบด้วย

7.2.1 กำหนดเป้าหมายในการประเมินอธิบายถึงลักษณะของผลิตภัณฑ์ แลส่วน ประกอบของผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการประเมิน

1) กำหนดให้ชัดเจนว่าต้องการประเมินผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียวเพื่อหาผล กระทบต่อสิ่งแวดล้อมหรือต้องการเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด

2) กำหนดระดับความถูกต้องของการประเมิน โดยเริ่มกำหนดความ ถูกต้อง ตั้งแต่ช่วงการเก็บข้อมูลเบื้องต้นโดยผู้ประเมินจะต้องมองถึงปัญหาที่คาดว่าจะเกิดขึ้น รวมถึงแนวทางในการแก้ปัญหาเหล่านั้นด้วย

7.2.2 การกำหนดช่วงวัฏจักรชีวิตการสร้างแผนภาพการไหลตลอดวัฏจักรชีวิตของ ผลิตภัณฑ์ โดยจะต้องรวมทุกๆกิจกรรมที่เกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ และให้ความสำคัญ เท่าๆกันทั้งในช่วงการผลิตผลิตภัณฑ์ ช่วงการใช้งาน และช่วงการกำจัด และควรทำให้อยู่ใน รูปแบบที่เข้าใจง่าย

7.2.3 การรวบรวมข้อมูลปริมาณของวัตถุและรายละเอียดของกระบวนการ

1) การกำหนดหน่วยการทำงาน (Functional unit) ซึ่งเป็นการกำหนดหน้าที่การ ใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่ทำการประเมิน การกำหนดหน่วยหน้าที่การใช้งานจะต้องทำก่อนการ ประเมินเสมอเพื่อการรวบรวมข้อมูลที่ถูกต้อง นอกจากนี้หากเป็นการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด หน่วยหน้าที่จะเป็นค่ากำหนดเริ่มต้น เพื่อให้การประเมินระหว่าง 2 ผลิตภัณฑ์มีความยุติธรรม

2) การรวบรวมปริมาณของวัตถุดิบ พลังงาน ของเสียที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักร ชีวิต และความสัมพันธ์ระหว่างกระบวนการผลิต

3) การตั้งสมมติฐานในการประเมิน เนื่องจากข้อมูลที่ต่างๆไม่สามารถรวบรวม ได้ ทั้งหมด การตั้งสมมติฐานจะถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ โดยสมมติฐานที่ตั้งขึ้น จะต้องมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริง

7.2.4 การบันทึกข้อมูลในแบบฟอร์ม โดยทำการบันทึกปริมาณวัตถุดิบในแบบฟอร์มที่สร้างขึ้น แบบฟอร์มที่สร้างขึ้นอาจเป็นแบบฟอร์มที่ง่ายๆ โดยหลักการบันทึกข้อมูลมีดังต่อไปนี้

1) บันทึกข้อมูลปริมาณวัตถุดิบ การบันทึกปริมาณจะต้องทำการบันทึกถึงแหล่งที่มา ลักษณะของข้อมูล และรายละเอียดอื่นควบคู่ไปด้วยทุกครั้ง

2) หาค่า Eco-indicator value เพื่อบันทึกลงในแบบฟอร์ม โดยถ้าวัตถุดิบหรือกระบวนการผลิตที่ต้องการทราบค่า Eco-indicator value ไม่สามารถหาค่าได้ในค่ามาตรฐานของ Eco-indicator ผู้ประเมินสามารถกำหนดค่าได้เอง โดยใช้หลักการดังนี้

- ต้องตรวจสอบให้แน่นอนก่อนว่าวัตถุดิบหรือกระบวนการผลิตที่หาค่าไม่ได้ Eco-indicator value นั้นมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ประเมินไม่เสียเวลาในการประเมินค่าดังกล่าว

- เปรียบเทียบค่า Eco-indicator value ที่ต้องการทราบกับวัตถุดิบหรือกระบวนการผลิตที่ใกล้เคียงกัน เช่น ต้องการทราบค่า Eco-indicator value ของพลาสติกควรจะพิจารณาเปรียบเทียบจากค่า Eco-indicator value ของพลาสติกที่มีกระบวนการผลิตที่ใกล้เคียงกัน

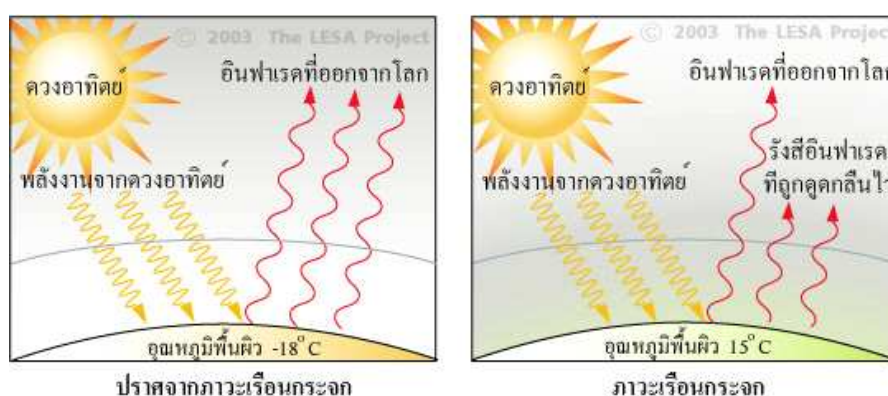
3) ถามจากผู้เชี่ยวชาญหรือคำนวณจากโปรแกรมสำเร็จรูปที่เกี่ยวข้อง

7.2.5 การแปลผลทำโดยตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล สมมติฐาน และความคลาดเคลื่อนในการประเมิน โดยจะต้องพิจารณาส่วนของสมมติฐานเป็นพิเศษ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงสมมติฐานเพียงเล็กน้อยจะทำให้ผลการประเมินเปลี่ยนไปอย่างไร ความถูกต้องในการประเมินเปลี่ยนไปหรือไม่ เพื่อเป็นการวิเคราะห์ถึงตัวแปรที่มีผลต่อการประเมิน และตรวจสอบว่าผลการประเมินตรงกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ในเบื้องต้นหรือไม่

8. ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม

8.1 การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas)

สภาวะโลกร้อนสามารถประเมินได้จากมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะเรือนกระจก หรือที่เรียกว่า ก๊าซเรือนกระจก เช่น ไอน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โอโซน มีเทนไนตรัสออกไซด์ และคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFCs) เป็นต้น แม้จะมีอยู่ในบรรยากาศเพียงเล็กน้อยแต่มีความสามารถในการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด ทำให้อุณหภูมิบนพื้นผิว โลกอบอุ่นเหมาะแก่การดำรงชีวิต เนื่องจากคุณสมบัติในการเก็บกักความร้อน หากปราศจากก๊าซเรือนกระจกแล้ว พื้นผิวโลกจะมีอุณหภูมิเพียง -18°C องศาเซลเซียส ซึ่งหมายความว่า น้ำทั้งหมดบนโลกนี้จะกลายเป็นน้ำแข็ง แต่ถ้ามีมากก็จะก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อน (Learning center for Earth Science and Astronomy [LESA], 2550) แสดงได้ดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 การเกิดสภาวะปรากฏการณ์เรือนกระจก

ที่มา: LESA (2550)

โดยแหล่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแต่ละประเภท (LESA, 2550) มีดังต่อไปนี้

ไอน้ำ (H_2O) เป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีมากที่สุดบนโลก มีอยู่ในอากาศประมาณร้อยละ 4 ขึ้นอยู่กับลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศ และอุณหภูมิ ในบริเวณเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตรและชายทะเล จะมีไอน้ำอยู่มากส่วนในบริเวณเขตหนาวแถบขั้วโลก อุณหภูมิต่ำ จะมีไอน้ำในบรรยากาศ

เพียงเล็กน้อยไอน้ำเกิดขึ้นโดยฝีมือมนุษย์ 2 วิธี คือ จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงหรือก๊าซธรรมชาติ และจากการหายใจและคายน้ำของสัตว์และพืชในการทำเกษตรกรรม

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเผาไหม้ในรูปแบบต่างๆ เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิง โรงงานอุตสาหกรรม การเผาป่าเพื่อใช้พื้นที่สำหรับอยู่อาศัยและการทำปศุสัตว์ การเผาป่าเป็นการปล่อยก๊าซ CO_2 ขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศได้โดยเร็วที่สุด เนื่องจากต้นไม้มีคุณสมบัติในการตรึงก๊าซ CO_2 ไว้ก่อนที่จะลอยขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศ ดังนั้นเมื่อพื้นที่ป่าลดน้อยลง ก๊าซ CO_2 จึงลอยขึ้นไปสะสมอยู่ในบรรยากาศได้มากยิ่งขึ้น และทำให้พลังงานความร้อนสะสมบนผิวโลกและในบรรยากาศเพิ่มขึ้นประมาณ 1.56 วัตต์/ตารางเมตร โดยปริมาณนี้ยังไม่คิดรวมผล กระแสที่เกิดขึ้นทางอ้อม

ก๊าซมีเทน (CH_4) เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของซากสิ่งมีชีวิต แม้ว่ามีก๊าซมีเทนอยู่ในอากาศเพียง 1.7 ppm. แต่ก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติของก๊าซเรือนกระจกสูงกว่าก๊าซ CO_2 กล่าวคือ ด้วยปริมาตรที่เท่ากัน ก๊าซมีเทนสามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้ดีกว่าก๊าซ CO_2 ก๊าซมีเทนมีปริมาณเพิ่มขึ้น เนื่อง จากการทำนาข้าว ปศุสัตว์ และการเผาไหม้มูลชีวภาพ การเผาไหม้เชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ การเพิ่มขึ้นของก๊าซมีเทนส่งผลกระทบต่อสภาวะเรือนกระจกมากเป็นอันดับสอง รองจากก๊าซ CO_2 พลังงานความร้อนรวมที่เกิดขึ้นโดยเฉลี่ย 0.47 วัตต์/ตารางเมตร

ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) เกิดจากการย่อยสลายซากสิ่งมีชีวิตโดยแบคทีเรีย ก๊าซไนตรัสมีปริมาณเพิ่มขึ้นเนื่องจากอุตสาหกรรมที่ใช้กรดไนตริกในกระบวนการผลิต เช่น อุตสาหกรรมผลิตเส้นใยไนลอน อุตสาหกรรมเคมีและพลาสติกบางชนิด ก๊าซไนตรัสออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลกระทบต่อ การเพิ่มพลังงานความร้อนสะสมบนพื้นผิวโลกประมาณ 0.14 วัตต์/ตารางเมตร นอก จากนั้นเมื่อก๊าซไนตรัสออกไซด์ลอยขึ้นสู่บรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ จะทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซน ทำให้เกราะป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ตของโลกลดน้อยลง

สารประกอบคลอโรฟลูออโรคาร์บอน (CFC) การเกิด CFC มีแหล่งกำเนิดจากโรงงานอุตสาหกรรม และอุปกรณ์เครื่องใช้ในชีวิตรประจำวัน เช่น ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ แม้ว่าจะมีการจำกัดการใช้ก๊าซประเภทนี้ให้น้อยลง 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับสิบกว่าปีก่อน แต่ปริมาณสาร CFC

ที่ยังคงสะสมอยู่ในชั้นบรรยากาศ ยังเป็นต้นเหตุที่ทำให้มีพลังงานความร้อนสะสมบนพื้นผิวโลกประมาณ 0.28 วัตต์/ตารางเมตร นอกจากนี้สารคลอโรฟลูออโรคาร์บอนยังทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์

โอโซน (O_3) เป็นก๊าซที่มีคุณสมบัติความเป็นก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ทำให้เกิดพลังงานความร้อนสะสมบนพื้นผิวโลกประมาณ 2.85 วัตต์/ตารางเมตร ก๊าซโอโซนเกิดขึ้นจากการเผาไหม้มวลชีวภาพและการสันดาปของเครื่องยนต์ที่อยู่ในหมอกควันซึ่งเกิดจากการจราจรและโรงงาน ก๊าซโอโซนที่อยู่ในบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ (บนพื้นผิวโลก) เป็นพิษต่อร่างกาย แต่ก๊าซโอโซนในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ ดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต ไม่ให้ส่องลงมาทำอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บนพื้นโลก

8.2. สภาพความเป็นกรด (Acidification)

สภาพความเป็นกรด เกิดจากมีการปลดปล่อยกรดออกมาสู่สิ่งแวดล้อมสูงผลที่เกิดขึ้นหลังการเกิดสภาพความเป็นกรดคือ วัสดุต่างๆ มีการสึกกร่อน เช่น โลหะ หินปูน และคอนกรีต เป็นต้น นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดความเสียหายต่อพืชและสิ่งมีชีวิตต่างๆ ในแม่น้ำและลำธารอีกด้วย

สาเหตุของการเกิดฝนกรด คือ ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ซึ่งสารพิษเหล่านี้ได้ทำปฏิกิริยากับความชื้น ก่อให้เกิดกรดไนตริก (HNO_3) และซัลฟูริก (H_2SO_4) ซึ่งได้กลับคืนสู่ผิวโลกในรูปของฝน หิมะ หมอก การเผาถ่านหินเป็นสาเหตุหนึ่งที่ก่อให้เกิดฝนกรด ฝนกรดจะจำกัดการเติบโตของพืช ชะล้างธาตุอาหารจากดิน ทำลายแม่น้ำและทะเลสาบ กัดกร่อนบ้านเรือนและอนุสาวรีย์ต่างๆ ฝนกรดจำนวนมาก หรือการสะสมของตะกอนฝนกรด สามารถทำลายพืชผล ทำลายลำป่า และปลาในแม่น้ำและทะเลสาบ สิ่งมีชีวิตที่ได้รับพิษจากฝนกรด จะค่อยๆ ตายลงอย่างช้าๆ นอกจากนี้ตะกอนของไนโตรเจนยังก่อให้เกิดการแพร่ระบาดของสาหร่ายในแหล่งน้ำ ซึ่งการเติบโตอย่างรวดเร็วของพืชดังกล่าวจะแย่งเอาออกซิเจนจากพืชชนิดอื่นไปจนหมด

มนุษย์และสัตว์ต่างก็ได้รับผลกระทบทางสุขภาพจากการสูดดมเอาก๊าซซัลเฟอร์ ที่กัดกร่อนอวัยวะภายใน และทำให้เยื่อเมือกในปาก จมูก ตา ลำคอ และปอด อันเปราะบาง

บวมพอง ผลที่ตามมาคือ อาการระคายเคืองอย่างรุนแรง เจ็บปวด และหายใจอย่างยากลำบาก เชื้องซึม อ่อนเพลียเรื้อรัง และอัตราการตายที่สูง เมื่อสารซัลเฟอร์เข้าสู่ระบบเลือด จะสามารถทำลายเส้นโลหิตเยื่อกล้ามเนื้อและอวัยวะภายในโดยเฉพาะอย่างยิ่งตับและไตการควบคุม (สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย, 2550)

8.3 ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)

ยูโทรฟิเคชัน คือ การมีสารอาหารของพืชในน้ำเกินสมดุล เกิดจากการที่มีการปลดปล่อยสารอาหารของพืชไปสู่สภาพแวดล้อมเกินสมดุล ผลที่เกิดตามมาจากสารอาหารของพืชมากเกินไป ก็คือการเกิดการเจริญเติบโตของพืชตระกูลสาหร่าย ในแหล่งน้ำอย่างรวดเร็ว และทำให้เกิดความไม่สมดุลของสารอาหารของพืชระหว่างในน้ำและในดิน โดยมีผู้ให้คำนิยามของคำว่า ยูโทรฟิเคชัน ไว้ค่อนข้างหลากหลาย เช่น (โครงการฟื้นฟูทรัพยากรประมงในทะเลสาบสงขลา, 2550)

Mason (1991) ให้คำนิยามของยูโทรฟิเคชันไว้ว่า “ความอุดมสมบูรณ์ไปด้วยธาตุอาหารของพืชที่อยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ของแหล่งน้ำ”

Harper (1992) กล่าวว่า ยูโทรฟิเคชันเป็นคำที่ใช้อธิบายผลกระทบทางชีววิทยาของการเพิ่มขึ้นของธาตุอาหารพืชต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำ

OSPAR (1999) ให้คำนิยามของยูโทรฟิเคชันไว้ว่า ความอุดมสมบูรณ์ไปด้วยธาตุอาหารของแหล่งน้ำเป็นเหตุให้การเจริญเติบโตของสาหร่ายและพืชชั้นสูงเพิ่มมากขึ้น จนก่อการรบกวนที่ไม่ต้องการต่อสมดุลของสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำและต่อคุณภาพน้ำ ถ้าธาตุอาหารสมบูรณ์มากเกินไปจนเป็นเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของประชาคมสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ นานเท่าที่ระดับของธาตุอาหารยังไม่ลดลง สภาวะดังกล่าวเรียกว่า Hypertrophication (Nutrient pollution) ส่วนแหล่งน้ำที่มีธาตุอาหารอุดมสมบูรณ์มากแต่ปราศจากผลเสียโดยชัดเจนแล้ว เนื่องจากมีปัจจัยอื่นไปจำกัดการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืชหรือผู้ผลิตขั้นต้นอื่น ก็อาจจะไม่เรียกว่าเกิดยูโทรฟิเคชันก็ได้แต่จะเป็น Hypernutrification (Nutrient contamination) (โครงการฟื้นฟูทรัพยากรประมงในทะเลสาบสงขลา, 2550 อ้างจาก Elliott and de Jonges, 2002)

8.4 โลหะหนัก (Heavy Metals)

โลหะหนัก (Heavy Metals) หากมีการปนเปื้อนโลหะหนักสู่แหล่งน้ำและอากาศจะก่อให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2550) มีดังนี้

สารหนู (Arsenic: As) สารประกอบของอาร์เซนิก เมื่อเข้าสู่ร่างกายโดยการหายใจเข้าหรือซึมผ่านทางผิวหนังทำให้เกิดอาการหลอดเลือดอักเสบ มะเร็งผิวหนัง สารนี้เป็นอันตรายต่อ คน สัตว์ พืช สารประกอบของอาร์เซนิก ใช้ในการผลิตยาฆ่าแมลง ยากำจัดศัตรูพืชและสี เป็นต้น

แคดเมียม (Cadmium: Cd) สารประกอบของแคดเมียมทุกชนิดมีความเป็นพิษมาก และไม่สลายตัวแคดเมียมทำให้เกิดโรคอิตาลี-อิตาลี ทำให้ร่างกายไม่สมดุลประกอบ มีอาการเจ็บกระดูก นอกจากนี้ แคดเมียมอาจทำให้เกิดโรคมะเร็ง แคดเมียมถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมทำสีพลาสติก ชุบโลหะ มีอยู่ในส่วนผสมของปุ๋ย ยากำจัดศัตรูพืช และสีที่ใช้กับเครื่องปั้นดินเผา

ตะกั่ว (Lead: Pb) ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้โดยการรับประทานสิ่งที่มีตะกั่วเจือปนอยู่หรือหายใจเอาตะกั่วที่ปน อยู่ในอากาศเข้าไป ตะกั่วที่อยู่ในรูปตะกั่วเฮไลด์ ตะกั่วซัลเฟต ตะกั่วไฮดรอกไซด์ และตะกั่วฟอสเฟตซึ่งไม่ละลายน้ำ เมื่อเข้าสู่ร่างกายจะสะสมอยู่ในกระดูก ผู้ที่ได้รับพิษจากตะกั่วจะมีอาการโลหิตจาง ชีด ปวดศีรษะ เบื่ออาหาร นอนไม่หลับ โกรธง่าย อ่อนเพลีย อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับตะกั่ว ได้แก่ โรงกลั่นน้ำมัน การทำสีแบตเตอรี่และ หมึกพิมพ์ เป็นต้น

แมงกานีส (Manganese: Mn) สารประกอบของแมงกานีสจะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ของสารบางชนิดในอากาศ เช่น SO_2 ให้เป็น SO_3 ซึ่งมีอันตรายต่อมนุษย์มากกว่า SO_2 แมงกานีสทำให้เกิดอาการผิดปกติของปอด ดับ ทำให้เกิดโรค Manganism ซึ่งจะมีอาการผิดปกติของระบบประสาทโรคนี้ เกิดจากการหายใจเอาสารแมงกานีสเข้าสู่ร่างกาย แมงกานีสในอากาศ ส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ และจากอุตสาหกรรมถลุงโลหะ

ปรอท (Mercury: Hg) แหล่งน้ำธรรมชาติโดยมากจะมีปรอทอยู่ราว 0.1 ppb สารประกอบของปรอทอาจถูกดูดซึมอยู่บนสารอื่น ปรอทในปลาจะอยู่ในรูป Methyl Mercury ถ้าคนรับประทานเนื้อปลาที่มี Methyl Mercury เข้าไปมากกว่า 1 มิลลิกรัม/วัน เข้าไปจะมีอันตราย ปรอททำ

ให้เกิดโรคมินามาตะ แหล่ง กากตะกอนของปรอทมาจากอุตสาหกรรมผลิตสี อุปกรณ์ไฟฟ้า และ อุตสาหกรรมคลออัลคาไลด์ ซึ่งเป็นแหล่งที่มีปรอทมากที่สุด

โครเมียม (Chromium: Cr) โครเมียมสามารถเข้าสู่ผนังเซลล์ได้ง่าย จะส่งผลในการทำ ลายดีเอ็นเอทำให้เป็นมะเร็งปอด ใช้ประโยชน์มากในอุตสาหกรรมชุบโลหะเพื่อป้องกันการถูกกัด กร่อนของแผ่นโลหะ

แบเรียม (Barium: Ba) แบเรียมเป็นสารที่มีผลต่อสมองทำให้สมองบวม กล้ามเนื้ออ่อน ล้าทำลายหัวใจ ดับและม้าม ใช้ประโยชน์ในแผ่นหน้าของหลอดรังสี แคโทด

8.5 สารก่อมะเร็ง (Carcinogen)

สารก่อมะเร็ง (Carcinogen) หมายถึง กลุ่มสารที่ชักนำหรือมีโอกาสที่จะเหนี่ยวนำให้ เกิดเป็นมะเร็งในมนุษย์ได้ สารก่อมะเร็งที่พบมีหลายชนิด ได้แก่ อะฟลาทอกซิน ไดออกซิน และ แอสเบสตอส เป็นต้น สารก่อมะเร็งเหล่านี้บางชนิด เมื่ออยู่ในสถานะหนึ่งจะไม่ก่อให้เกิดอันตราย ใดๆ แต่อาจจะเปลี่ยนเป็นสารก่อมะเร็งได้หากมีตัวเร่งปฏิกิริยา หรือเมื่อเข้าสู่ร่างกายผ่านกระบวนการทางชีวภาพ ในร่างกายมนุษย์หรือสัตว์หรือพืช ตัวอย่างของสารก่อมะเร็ง โดยก่อให้เกิดโรค ต่างๆ (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2550) ดังนี้

- สารหนู (Arsenic) พบว่า การได้รับสารนี้เป็นประจำหรือปริมาณที่มากจะก่อ ให้เกิด โรคมะเร็งของปอด และมะเร็งผิวหนัง

- แร่ใยหิน สารทนไฟ (Asbestos) พบว่า บุคคลที่สัมผัสหรือได้รับสารนี้มาก จะมี สาเหตุของการเป็นมะเร็งของเยื่อหุ้มปอด และมะเร็งปอด

- เบนซีน (Benzene) พบว่าสาเหตุของการเกิดมะเร็งเม็ดเลือดขาว (Leukemia) เกิดจาก การ สูดดมหรือสัมผัสสารนี้มากและบ่อยครั้ง

- ฟอรัมาดีไฮด์ (Formaldehyde) พบว่าถ้าได้รับสารนี้ปริมาณมาก อาจก่อให้เกิดมะเร็ง ของจมูก และมะเร็งหลังโพรงจมูก

- ยาฆ่าแมลง และยากำจัดวัชพืช (Pesticides, DDT) อาจก่อให้เกิดโรคมะเร็งทาง เคนลม หายใจและมะเร็งปอดได้

8.6 การลดลงของชั้น โอโซน (Ozone Layer Depletion)

โอโซน (O_3) เป็นก๊าซซึ่งประกอบด้วยธาตุออกซิเจนจำนวน 3 โมเลกุล มีอยู่เพียง 0.0008 เปอร์เซ็นต์ ในบรรยากาศ แต่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นเกาะป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตบนโลก โอโซนไม่ใช่ก๊าซที่มีเสถียรภาพสูง มีอายุอยู่ในอากาศได้เพียง 20 - 30 สัปดาห์แล้วสลายตัว โอโซนเกิดจากก๊าซออกซิเจน ถูกคลื่นรังสีอัลตรา ไวโอเล็ตแล้วแตกตัวเป็นออกซิเจนอะตอมเดี่ยว จากนั้นออกซิเจนอะตอมเดี่ยวยรวมตัวกับก๊าซออกซิเจนและโมเลกุล ชนิดอื่น (M) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลาง แล้วให้ผลผลิตเป็นก๊าซโอโซน โดยขั้นตอนการเกิดก๊าซ โอโซนแสดงดังสมการที่ (7) ถึง (8) (LESA, 2550)



ก๊าซโอโซนมีความสามารถดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต แต่จะสลายตัวเมื่อกระทบกับ แสง แดด เกิดเป็นก๊าซออกซิเจนและออกซิเจนอะตอมเดี่ยว และเมื่อออกซิเจนเดี่ยวยรวมตัวกับก๊าซ โอโซนอีกครั้ง จะให้ผลผลิตเป็นก๊าซออกซิเจนออกมา โดยขั้นตอนการสลายตัวของก๊าซโอโซน แสดง ดังสมการที่ (9) ถึง (10)



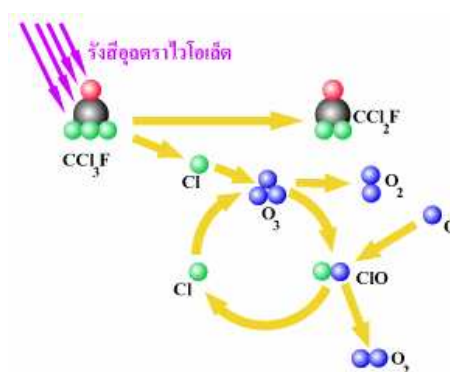
จากขั้นตอนการเกิดก๊าซโอโซนและขั้นตอนการสลายตัวของก๊าซโอโซน จะพบว่าก๊าซ โอโซนสลายตัวได้รวดเร็วกว่าก๊าซออกซิเจน และการสร้างก๊าซโอโซนให้เกิดขึ้นนั้นจำเป็นต้อง

อาศัยโมเลกุลของธาตุชนิดอื่นด้วย ดังนั้นปริมาณของก๊าซโอโซนในอากาศจึงขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตซึ่งมากกว่าอัตราการเสื่อมสลาย

การลดลงของชั้นโอโซนหลักๆ เกิดมาจาก สารประกอบคลอโรฟลูออโรคาร์บอน หรือเรียกสั้นๆ ว่า “สาร CFC” หรืออีกชื่อหนึ่ง “ฟรีออน” (Freon) เป็นสิ่งประดิษฐ์ของมนุษย์ มิได้เกิดเองตามธรรมชาติ หากแต่มีแหล่งกำเนิดจากโรงงานอุตสาหกรรม และอุปกรณ์เครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน เช่น ตู้เย็น และสเปร์ย เป็นต้น สาร CFC มีองค์ประกอบเป็นคลอรีนฟลูออไรด์ และโบรมีน ซึ่งมีความสามารถในการทำลายโอโซน ตามปกติสาร CFC ในบริเวณพื้นผิวโลกจะทำปฏิกิริยากับสารอื่นแต่เมื่อมันถูกคลื่นรังสีอัลตราไวโอเล็ตในบรรยากาศชั้นสตราโตสเฟียร์ โมเลกุลจะแตกตัวให้คลอรีนอะตอมเดี่ยว และทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซน เกิดก๊าซคลอรีนโมโนออกไซด์ (ClO) และก๊าซออกซิเจน โดยขั้นตอนการทำลายก๊าซโอโซนในบรรยากาศแสดง ดังสมการที่ (11) ถึง (12)



ถ้าหากคลอรีนจำนวน 1 อะตอมทำลายก๊าซโอโซน 1 โมเลกุล ได้เพียงครั้งเดียวก็คงไม่เป็นปัญหา แต่คลอรีน 1 อะตอม สามารถทำลายก๊าซโอโซน 1 โมเลกุลได้นับพันครั้ง เนื่องจากเมื่อคลอรีนโมโนออกไซด์ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอะตอมเดี่ยว แล้วเกิดคลอรีนอะตอมเดี่ยวขึ้นอีกครั้ง ปฏิกิริยาลูกโซ่เช่นนี้จึงเป็นการทำลายโอโซนอย่างต่อเนื่อง ดังที่แสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การทำลายโอโซนของสาร CFC

ที่มา: LESA (2550)

9. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน

ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน สามารถวัดค่าได้ในหลายรูปแบบ เช่น อัตราพลังงาน (Net energy Ratio; NER) คือค่าอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ได้จากผลิตภัณฑ์ (Output energy) กับ พลังงานที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ (Input Energy) หรืออาจวัดในรูป ค่าพลังงานเพิ่มสุทธิ (Net Energy Gain; NEG) คือค่าความแตกต่างระหว่าง พลังงานได้จากผลิตภัณฑ์ กับ พลังงานที่ใช้ผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ โดยพลังงานที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ จะหมายถึงค่าพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ เช่น พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจะหมายถึงพลังงานที่ใช้ในการเพาะปลูกวัตถุดิบ พลังงานที่ใช้ในการขนส่ง รวมถึงพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเอทานอล ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าพลังงานเพิ่มสุทธิ ในการวัดค่าประสิทธิภาพเชิงพลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากการใช้วัตถุดิบประเภทต่าง ๆ

การวิเคราะห์พลังงานเป็นวิธีการตรวจสอบและติดตามอย่างเป็นระบบของการถ่ายเท และไหลเวียนของพลังงานภายในกระบวนการผลิต เพื่อทราบปริมาณพลังงานป้อนภูมิ (พลังงานป้อนภูมิ หมายถึง พลังงานน้ำ พลังงานจากฟอสซิล เช่น น้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน น้ำ มันดิบ เป็นต้น) ที่ต้องใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ พลังงานรวมทั้งหมดที่ใช้ในการวิเคราะห์หมายถึง พลังงานทั้งหมดที่ต้องใช้เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ ตั้งแต่การสำรวจ พัฒนา นำขึ้นมาใช้จากแหล่งต่างๆทั้งบนบกและในทะเล รวมทั้งการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น พลังงานที่ใช้ในการเพาะปลูก จะรวมถึงพลังงานที่ใช้ในการผลิตปุ๋ยเคมี สารเคมีและปัจจัยการผลิตอื่นๆ ที่ใช้ในกิจกรรมการเพาะปลูก รวมทั้งวัตถุดิบอื่นๆ เพื่อผลิตเป็นปุ๋ยเคมี สารเคมี โดยปัจจัยการผลิตแต่ละชนิดต้องใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆ กัน โดยเฉพาะพลังงานป้อนภูมิ โดยค่าพลังงานที่ใช้ในการเพาะปลูกนั้น จะรวมถึงพลังงานจากรถแทรกเตอร์คันหนึ่งที่ใช้ในการเตรียมดินสำหรับการเพาะปลูก ซึ่งจะต้องใช้พลังงานเชื้อเพลิง ซึ่งถูกใช้โดยเครื่องยนต์ของรถแทรกเตอร์ และพลังงานที่ใช้โดยรวมถึงพลังงานที่ต้องใช้ในการผลิตเครื่องจักรกล โรงงาน และอื่นๆ เพื่อใช้ในการผลิตรถแทรกเตอร์ รวมทั้งพลังงานในการซ่อมบำรุงอะไหล่ น้ำมันหล่อลื่นและอื่นๆ ซึ่งจัดเป็นการใช้พลังงานทางอ้อม เมื่อรวมกับการใช้พลังงานทางตรงในรูปแบบน้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานทาง อ้อมเข้าด้วยกัน จะเป็นพลังงานรวมของการทำงานของรถแทรกเตอร์ต่อพื้นที่ 1 ไร่ หรือชั่วโมงการทำงาน นี้เป็นตัวอย่างของการคำนวณวิเคราะห์พลังงานประเภทหนึ่ง (จิรพล, 2535)

วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์พลังงาน (จิรพล, 2535)

1. เพื่อวิเคราะห์รายละเอียดปริมาณการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต โดยเพื่อใช้ในการพิจารณาประสิทธิภาพพลังงานที่ใช้ โดยจะนำไปสู่แนวทางการลดการสูญเสียและลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตต่อไป
2. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตขนาดใหญ่ ซึ่งจะช่วยในการพยากรณ์ความต้องการพลังงาน และพัฒนาแนวโน้มนโยบายที่จะลดความต้องการพลังงานลงด้วย
3. เพื่อวิเคราะห์ปริมาณของการใช้พลังงานของเทคโนโลยีพื้นฐาน เช่นการผลิตอาหาร การทำเหมือง เพื่อติดตามแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีของกระบวนการผลิต
4. เพื่อวิเคราะห์และติดตามการไหลและการถ่ายเทของพลังงานของระบบใดๆ เพื่อสะท้อนผลกระทบด้านต่างๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากการขาดแคลนพลังงานหรือการเปลี่ยนแปลงราคาพลังงาน รวมทั้งการประเมินศักยภาพการรองรับการบริโภคของระบบเศรษฐกิจใดๆ

การวิเคราะห์พลังงานอาจทำได้โดยใช้วิธีที่แตกต่างกัน 3 วิธี (จิรพล, 2535) คือ

1. การวิเคราะห์ทางสถิติ (Statistical Analysis) เป็นการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลทางสถิติที่จัดพิมพ์โดยหน่วยงานต่างๆ การวิเคราะห์โดยวิธีนี้จะทำให้ทราบปริมาณพลังงานปฐมภูมิที่ต้องใช้ในการผลิตแต่ละหน่วยของผลผลิต ส่วนใหญ่เป็นการศึกษาติดตามการใช้พลังงานทางตรง ซึ่งข้อเสียของวิธีนี้ คือไม่สามารถสะท้อนปริมาณการใช้พลังงานรวมในกระบวนการผลิตนั้นๆ ได้
2. การวิเคราะห์ปริมาณการใช้และผลผลิต (Input-Output Analysis) วิธีนี้เป็นการศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานในกระบวนการผลิต โดยใช้ตารางปริมาณการใช้วัตถุดิบและผลผลิต (Input - Output Table) ตารางดังกล่าวแสดงข้อมูลการใช้พลังงานปฐมภูมิในแต่ละหน่วยการผลิต ซึ่งถ้าการวิเคราะห์และจัดทำตารางปริมาณการใช้และผลผลิตรวมของระบบเศรษฐกิจของประเทศไทยไม่มีหรือไม่ได้จัดทำไว้ การวิเคราะห์พลังงานโดยวิธีนี้จะไม่สามารถจัดทำได้เลย

3. การวิเคราะห์กระบวนการ (Process Analysis) ประกอบด้วย การศึกษาและวิเคราะห์ 3 ขั้นตอนคือ

3.1 การตรวจสอบแบบแผนและเครือข่ายของกระบวนการผลิต ตั้งแต่การนำ วัตถุดิบเข้ามาจนถึงได้ผลผลิตจากกระบวนการผลิต

3.2 การวิเคราะห์กระบวนการย่อยแต่ละกระบวนการในระบบการผลิตรวม เพื่อทราบชนิดและปริมาณปัจจัยการผลิตที่ต้องใช้ทั้งหมดในทุกขั้นตอนของ กระบวนการย่อยที่ศึกษานั้น ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปเครื่องจักรกล วัสดุและพลังงาน

3.3 ปริมาณการใช้พลังงานของแต่ละปัจจัยการผลิต นั่นคือปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการผลิตหรือได้มาซึ่งปัจจัยการผลิตแต่ละชนิด เพื่อหาปริมาณพลังงานรวมของกระบวนการผลิตทั้งหมดเป็นหน่วยพลังงานต่อหน่วยผลผลิต

การวิเคราะห์พลังงานบางกระบวนการผลิตอาจต้องใช้มากกว่าหนึ่งวิธีจากข้างต้น เพื่อให้ทราบปริมาณพลังงานของกระบวนการนั้นๆ ซึ่งกรณีที่ใช้บ่อยคือการทำควบคู่กันระหว่างการใช้วิธีการวิเคราะห์ปริมาณปัจจัยการผลิตและผลผลิต (Input-Output Analysis) และการวิเคราะห์กระบวนการ (Process Analysis) เข้าด้วยกัน เรียกการวิเคราะห์ที่มีการใช้วิธีการทั้งสองวิธีนี้ว่าวิธีการวิเคราะห์แบบผสม (Hybrid Analysis)

10. การประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ จะพิจารณาจากต้นทุนที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์
หนึ่งๆ โดยต้นทุนของผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ จะประกอบด้วย

10.1. ต้นทุนการลงทุน (Investment Cost)

ต้นทุนการลงทุน ประกอบด้วย ที่ดิน และค่าใช้จ่ายในการพัฒนาเครื่องจักร และ
อุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ การสร้างอาคารโรงงาน โรงเก็บวัตถุดิบ การ
ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย ค่าวิศวกร รวมทั้งค่าใช้จ่ายในระบบควบคุม

10.2. ต้นทุนการดำเนินงาน (Operating cost) ต้นทุนการดำเนินงาน จะประกอบด้วย

- ค่าใช้จ่ายสำหรับวัตถุดิบ เช่น ค่าไฟฟ้า ใช้น้ำ สารเคมี และวัตถุดิบต่างๆ ในกระ
บวนการผลิต เป็นต้น
- ค่าใช้จ่ายในการบริหารและปรับปรุงรักษา ได้แก่ ค่าจ้างแรงงาน ค่าบำรุงรักษา
เครื่องจักรและอุปกรณ์ และค่าประกันภัย เป็นต้น

10.3. ต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Externality Cost)

การวิเคราะห์ต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม จะทำการต้นทุนภายนอก (Externality
Cost) ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสังคมและสิ่งแวดล้อม เช่น การเผาไหม้เชื้อเพลิงทำให้เกิดกรณีโลก
ร้อน หากมีการลดก๊าซเรือนกระจก โดยการลดพลังงานเชื้อเพลิงจะไม่เป็นเพียงการลดต้นทุนสัง
คมและผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากสถานะโลกร้อนเท่านั้น แต่ก็จะเป็นการลดต้นทุนภาย นอกที่เกี่ยวข้อง
กับการใช้พลังงาน เช่นการทำลายป่าไม้ และระบบนิเวศน์ อีกด้วย การเกิดขึ้นของต้นทุนภายนอกนี้
จะถูกแยกออกจากต้นทุนที่จะคำนวณเข้ามาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ ดังนั้นเพื่อให้ได้ต้นทุนที่แท้จริง
จึงต้องมีการรวมต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมมาคิดคำนวณด้วย (ธีรนนทา, 2545)

การประเมินความเสียหายจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากมลพิษต่างๆ ที่ถูกปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมในรูปแบบของต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยค่าต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อม จะแปรผันตามอัตราการปล่อยมลพิษ (Emission Factor; EF) และมูลค่าความเสียหายของสิ่งแวดล้อม (Value of Environment Damage; VED) โดยมูลค่าความเสียหายของสิ่งแวดล้อม จะเท่ากับค่าใช้จ่ายหรือราคาอุปกรณ์ที่ใช้ในการกำจัดมลพิษต่อ ปริมาณมลพิษที่ถูกกำจัด โดยการคิดต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (7)

$$\text{ต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม} = EF \times VED \quad (7)$$

โดยที่ EF คือ อัตราการปล่อยมลพิษ ($\text{kg}_{\text{Pollutant}} / \text{หน่วย}$)

VED คือ มูลค่าความเสียหายของสิ่งแวดล้อม (บาท / $\text{kg}_{\text{Pollution}}$)

โดยแนวทางการคิดมูลค่าความเสียหายของสิ่งแวดล้อม มี 2 วิธี ได้แก่

1. การคิดค่าใช้จ่ายมูลค่าความเสียหายของสิ่งแวดล้อม จากการบำบัดมลพิษ กล่าว คือ นำค่าใช้จ่ายจากการใช้เทคโนโลยีต่างๆ ที่นำมาบำบัดมลพิษ เช่น การประเมินค่าใช้จ่ายที่เกิดจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) สามารถคิดค่าใช้จ่ายจากการบำบัดก๊าซ SO_2 จากเครื่อง Flue Gas Desulfurification (FGS) ซึ่งเป็นเครื่องที่ใช้กำจัดก๊าซ SO_2 ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยการนำข้อมูลด้านค่าใช้จ่ายและความสามารถในการกำจัดก๊าซ SO_2 มาประเมินค่าใช้จ่ายที่เกิดจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปมูลค่า หรือต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการปล่อยก๊าซ SO_2 ส่วนในกรณีผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการปล่อยก๊าซ CO_2 ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม อาจพิจารณามูลค่าความเสียหายของสิ่งแวดล้อม จากวิธีคิดค่าใช้จ่ายในการลดค่า CO_2 โดยวิธีการปลูกป่าถาวร ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อนในการคำนวณ สามารถทำได้โดยไม่ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ อีกทั้งในประเทศมีการปลูกป่าโดยหน่วยงานต่างๆ ทั้งภาครัฐและเอกชนเป็นเวลานาน จึงมีข้อมูลที่สามารถนำไปใช้ได้ โดยจะใช้อัตราการใช้ก๊าซ CO_2 ในการสังเคราะห์แสงของต้นไม้เป็น 2.5 ตันคาร์บอน/เฮกเตอร์/ปี (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547) และค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการปลูกป่าของกรมป่าไม้เท่ากับ 5,436 บาท/เฮกเตอร์/ปี โดยกำหนดอายุต้นไม้เท่ากับ 30 ปี การลดปริมาณ CO_2 จึงจะต้องเสียค่าใช้จ่ายเท่ากับ 593 บาท/ตัน CO_2 (ธีรันทา, 2545 อ้างจาก วรรณิ, 2539)

2. มูลค่าความเสียหายของสิ่งแวดล้อม จากค่าเสียหายที่เกิดขึ้นจากมลพิษ ชนิดต่างๆ เช่น การก่อให้เกิดการเจ็บป่วยของมนุษย์โดยมีสาเหตุมาจากก๊าซ SO_2 ซึ่งการหามูลค่าความเสียหายของสิ่งแวดล้อม ก็ต้องหาว่าการไม่สบายจากก๊าซ SO_2 จะมีค่าการดูแลรักษาเท่าไร โดยก็ต้องค่าใช้จ่ายจากโรงพยาบาลหรือคลินิก ซึ่งข้อมูลดังกล่าวหาค่อนข้างยาก และต้องมีการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน (ธีรนนทา, 2545 อ้างจาก Koomey, 1997)

11. วิธีการปันส่วน (Allocation Methods)

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมหรือปริมาณการใช้พลังงาน ผู้วิจัยสามารถเชื่อมโยงกระบวนการย่อยๆ ที่อยู่ในระบบผลิตภัณฑ์โดยใช้ปริมาณอ้างอิงของวัตถุดิบหรือพลังงาน อย่งไรก็ตาม ในกระบวนการย่อยภายในระบบที่กำลังศึกษา อาจเกิดผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป แต่มีผลิตภัณฑ์เพียงหนึ่งชนิดที่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่อไปภายในระบบ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปแปรรูปใช้ใหม่เป็นวัตถุดิบในกระบวนการอื่นๆ หรือถูกทิ้งไป ดังนั้นผู้วิจัยต้องทำการปันส่วนปริมาณวัตถุดิบและพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม เข้าไปในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)

11.1 หลักการปันส่วน

การทำบัญชีรายการจะอยู่บนพื้นฐานของดุลมวลสารระหว่างสารขาเข้า-ขาออก ดังนั้นการปันส่วนจึงควรประมาณให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง และตั้งอยู่บนพื้นฐานของความสัมพันธ์และลักษณะของสารขาเข้า - ขาออก โดยหลักการของการปันส่วนมีหลักการดังนี้ (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)

- จำแนกกระบวนการที่ถูกนำไปใช้ร่วมกับระบบผลิตภัณฑ์อื่นๆ
- ผลรวมของการปันส่วนสารขาเข้า - ขาออกของกระบวนการย่อยทั้งหมดควร เท่ากับ ปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของกระบวนการย่อยที่ยังไม่ได้ทำการปันส่วน

- เมื่อมีการเลือกการปันส่วนที่เหมาะสมจากหลายกระบวนการ ต้องวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูลเพื่อแสดงลำดับการแยกกระบวนการปันส่วนที่เลือกมาใช้งาน

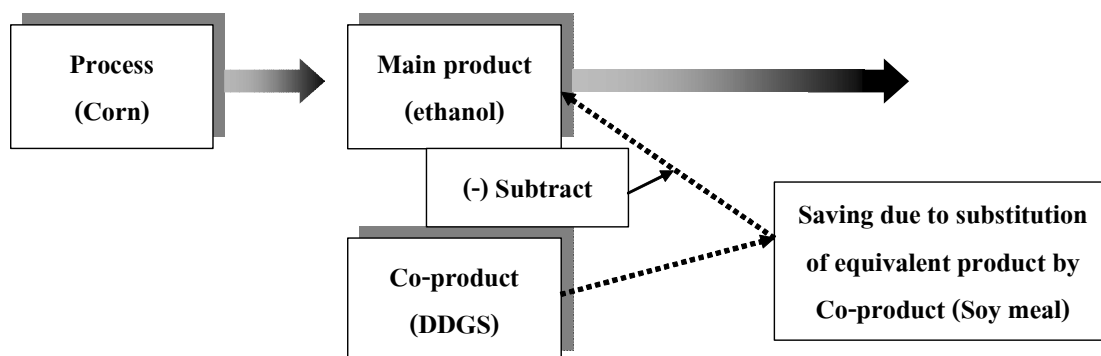
11.2 กฎของการปันส่วน

กฎของการปันส่วนแบ่งออกเป็น 3 ข้อ ดังนี้

กฎข้อที่ 1

- หลักการปันส่วน โดยการแบ่งกระบวนการย่อยที่ต้องปันส่วนเพิ่มออกเป็น 2 กระบวนการย่อย หรือมากกว่านั้น และเก็บรวบรวมข้อมูลสารขาเข้าและสารขาออกที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยๆ เหล่านั้น เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดพลาดของข้อมูล

- หลักการปันส่วนโดยการขยายระบบผลิตภัณฑ์ เพื่อจะรวมหน่วยการทำงานเพิ่มเติม (Additional functions) ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ร่วม (Co-products) แสดงดังภาพที่ 11



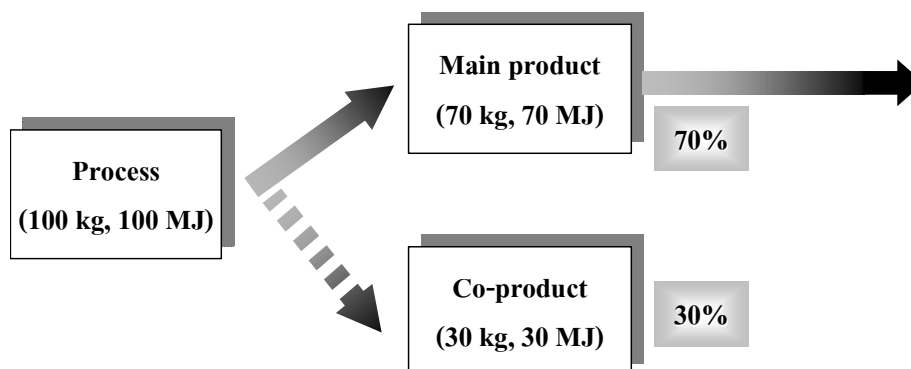
ภาพที่ 11 การหลีกเลี่ยงการปันส่วน โดยการแบ่งกระบวนการย่อย

ที่มา : Koderia (2007)

กฎข้อที่ 2

- กรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการการปันส่วนได้ ให้ทำการแยกข้อมูลสารขาเข้า-ขาออกของระบบระหว่างผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกัน หรือมีการทำงานต่างกันโดยดูความสัมพันธ์ทางกายภาพ

และวัดออกมาในเชิงปริมาณ ผลของการปันส่วนไม่จำเป็นต้องอยู่ในรูปสัดส่วนของการวัดพื้นฐาน เช่น มวลของผลิตภัณฑ์รวมทั้งที่เกิดขึ้น แสดงดังภาพที่ 12

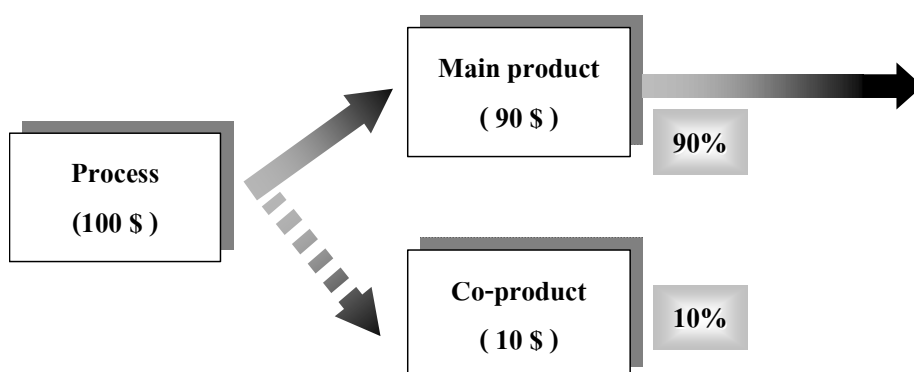


ภาพที่ 12 การปันส่วนโดยวิธีเชิงกายภาพ

ที่มา: Koder (2007)

กฎข้อที่ 3

- เมื่อความสัมพันธ์ทางกายภาพเพียงอย่างเดียวไม่สามารถใช้เป็นพื้นฐานในการปัน ส่วนให้ผู้วิจัยควรปันส่วนสารขาเข้าของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดไปในทิศทางที่สะท้อนถึง ความสัมพันธ์ ในรูปแบบอื่นๆ เช่น มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของผลิตภัณฑ์ แสดงดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 การปันส่วนโดยวิธีเชิงเศรษฐศาสตร์

ที่มา: Koder (2007)

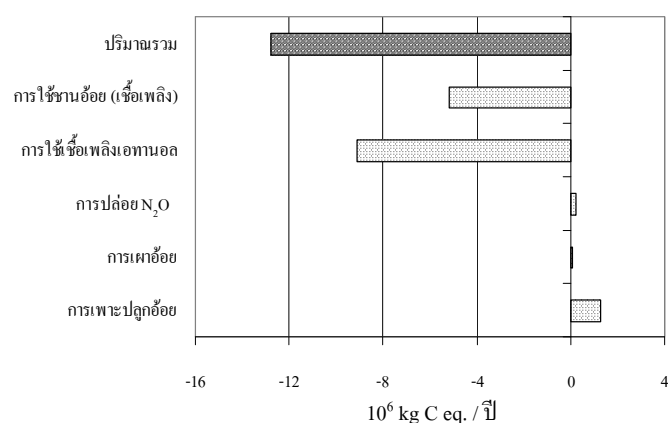
12. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ โดยจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ การศึกษาการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม การประเมินประสิทธิภาพเชิงพลังงาน การประเมินประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิตเอทานอล และผลการศึกษาวิธีการปันส่วน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

12.1 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล

ในอดีตที่ผ่านมาได้ มีงานวิจัยในด้านการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล โดยการศึกษาการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจะทำการศึกษาการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมกับแก๊สโซลีน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการรวบรวมงานวิจัยจากประเทศต่างๆรวมทั้งประเทศไทย โดยวิธีการวิจัยและผลการศึกษาามีดังต่อไปนี้

Macedo (1997) ได้ทำการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลจากอ้อย (E100) ทดแทนน้ำมันเบนซิน ในประเทศบราซิล ซึ่งขอบเขตการศึกษาจะพิจารณาการใช้พลังงาน ตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อย การขนส่ง และการผลิตเอทานอล โดยผลการศึกษาการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเพาะปลูกอ้อย การผลิตเอทานอล และการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงแทนแก๊สโซลีน แสดงได้ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตเอทานอลจากอ้อย ทดแทนการใช้ น้ำมันเบนซินในประเทศบราซิล

ภาพที่ 14 พบว่า การใช้เชื้อเพลิงเอทานอลจากอ้อยทดแทนการใช้แก๊สโซลีน ในยานพาหนะของประเทศบราซิล สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 9.13×10^6 ตัน C eq. /ปี โดยเมื่อรวมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเพาะปลูกอ้อย การเผาอ้อย และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงเอทานอล ทดแทนการใช้น้ำมันเบนซิน รวมทั้งการใช้ขานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันเตา สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ 12.75×10^6 ตัน C eq. /ปี

Kalschmitt and *et.al.* (1997) ได้ทำการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลในประเทศเยอรมัน โดยวัตถุดิบที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ มันเทศ หัวบีท และข้าวสาลี ซึ่งงานวิจัยนี้ให้พื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ เป็นหน่วยการทำงาน โดยขอบเขตการศึกษาในงานวิจัยนี้จะประกอบด้วย ขั้นตอนการเพาะปลูกวัตถุดิบ การเก็บเกี่ยววัตถุดิบ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาร่วมกับการขั้นตอนการสกัดน้ำมันเบนซิน โดยผลการศึกษาแสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้เอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ ทดแทนน้ำมันเบนซินในประเทศเยอรมัน

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	หน่วย	วัตถุดิบในการผลิตเอทานอล		
		มันเทศ	หัวบีท	ข้าวสาลี
CO ₂	kg CO ₂ / GJ	-62	-68	-62
N ₂ O	kg N ₂ O / GJ	0.032	0.019	0.036
SO ₂	kg SO ₂ / GJ	0.620	0.220	0.230
NO _x	kg NO _x / GJ	0.340	0.090	0.080

ตารางที่ 10 พบว่า กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลเมื่อเทียบกับการสกัดน้ำมันเบนซิน สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอันเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาโลกร้อนได้ แต่การผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลเมื่อเทียบกับการสกัดน้ำมันเบนซิน จะเพิ่มการปล่อยมลสารประเภท N₂O, SO₂ และ NO_x ออกสู่สิ่งแวดล้อม หรือก่อให้เกิดปัญหาสุขภาพและความเป็นกรดเพิ่มขึ้น

Kiran, L and Kidam (2002) ได้ทำการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการนำขานอ้อยมาผลิตเอทานอล ในประเทศอินเดีย โดยหน่วยงานทำงานในงานวิจัยนี้ได้แก่ ปริมาณขานอ้อย 1 ตัน ในการผลิตเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานพาหนะในสัดส่วนเอทานอล ผสมกับน้ำมันเบนซิน สัดส่วน 10:90หรือที่เรียกว่า E10 ซึ่งงานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาเป็น 2 แผนงาน ได้แก่

แผนงานที่ 1: การเผาขานอ้อย และใช้เชื้อเพลิงในรูปน้ำมันเบนซิน

แผนงานที่ 2: การนำขานอ้อยมาผลิตเอทานอลใช้เป็นเชื้อเพลิงในรูป E10

ซึ่งขอบเขตการศึกษาจะประกอบด้วย การขนส่งขานอ้อย, การผลิตเอทานอล และการใช้เอทานอลในพาหนะในรูปเชื้อเพลิง E10 โดยงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม TEAMTM (Version 3) ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยผลการศึกษาแสดงได้ตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ของการนำขานอ้อยผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลในประเทศอินเดีย

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	หน่วย	แผนงานที่ 1	แผนงานที่ 2
ภาวะโลกร้อน	kg eq. CO ₂	731	-73
การลดลงของทรัพยากร	Fraction of reserve	8.7×10^{-13}	1.5×10^{-13}
สภาวะความเป็นกรด	g eq. H ⁺	266	155
ยูโทรฟิเคชั่น	g eq. PO ₄	1,120	596
ความเป็นพิษต่อมนุษย์	kg Toxic compound	16.8	5.7

ตารางที่ 11 พบว่าการนำขานอ้อยมาผลิตเอทานอลใช้เป็นเชื้อเพลิงในรูป E10 สามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ ทุกผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ศึกษาเมื่อเทียบกับ การเผาขานอ้อย และใช้เชื้อเพลิงในรูปน้ำมันเบนซิน

Sheehan and Aden (2004) ได้ทำการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้ฟางข้าวโพดในการผลิตเอทานอล ในมลรัฐ Iowa ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งการศึกษาทำการศึกษผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากการใช้เชื้อเพลิงเอทานอล ผสมกับน้ำมันเบนซินในสัดส่วน 15:85 หรือที่เรียกว่า E85 กับการใช้น้ำมันเบนซินในยานพาหนะ โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้ระยะทางของยานพาหนะ 1 กม.

เป็นหน่วยการทำงานในงานวิจัยนี้ ขอบเขตการศึกษาในงานวิจัยนี้จะประกอบด้วย ขั้นตอนการผลิต และการเก็บฟางข้าวโพด การขนส่งฟางข้าวโพด การผลิตเอทานอล การขนส่งเอทานอล การผสมเอทานอลกับน้ำมันเบนซิน และการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลในรูป E85 ในยานพาหนะ ส่วนขอบเขตการศึกษาของน้ำมันเบนซินจะประกอบด้วยขั้นตอนการสกัดน้ำมัน และการใช้น้ำมันเบนซินในยานพาหนะ โดยผลการศึกษาในงานวิจัยนี้แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการปล่อยมลสารเปรียบเทียบระหว่างการใช้เอทานอลจากฟางข้าวโพดในรูป E85 และน้ำมันเบนซินในยานพาหนะ ในประเทศสหรัฐอเมริกา

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	หน่วย	น้ำมันเบนซิน	E85
Carbon monoxide	g CO/ กม.	0.570	0.400
Total hydrocarbons	g HC/ กม.	0.035	0.032
Non-methane organic gases	g NMOG/ กม.	0.022	0.032
Nitrogen oxides	NO _x as g NO ₂ / กม.	0.037	0.012
Formaldehyde	g HCHO/ กม.	0.0001	0.009

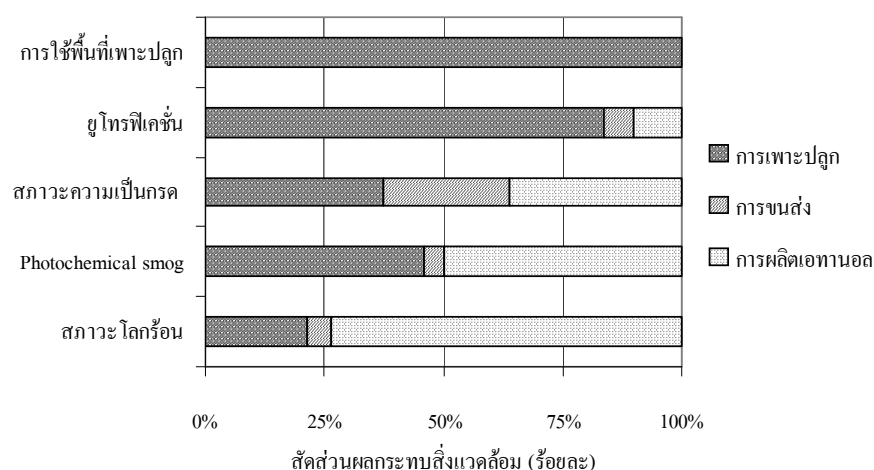
ตารางที่ 12 พบว่า การใช้เอทานอลในรูปเชื้อเพลิง E85 ทดแทนน้ำมันเบนซิน สามารถลดการปล่อยมลสารประเภท CO สารประกอบไฮโดรคาร์บอน และ NO_x ได้ แต่จะเป็นการเพิ่มมลสารประเภท NMOG และฟอร์มัลดีไฮด์ ออกสู่สิ่งแวดล้อม

Nielsen and Wenzel (2005) ได้ทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้แป้งข้าวโพดเป็นวัตถุดิบในการผลิตเชื้อเพลิงเอทานอล แทนที่เชื้อเพลิงแก๊ซโซลีนในยานพาหนะในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยการศึกษาทำการเปรียบเทียบการใช้เชื้อเพลิงแก๊ซโซลีนกับ E10 (เอทานอลผสมกับแก๊ซโซลีนในสัดส่วน 10:90) และ E85 (เอทานอลผสมกับแก๊ซโซลีนในสัดส่วน 85:15) โดยงานวิจัยนี้ใช้ระยะทาง 1 ไมล์ ของการใช้เชื้อเพลิงในยานพาหนะเป็นหน่วยการทำงานการศึกษาในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยใช้โปรแกรม SimaPro Version 6.0 ในการประเมินผลการวิเคราะห์ ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ศึกษาได้แก่ สภาวะโลกร้อน สภาวะความเป็นกรดยูโทรฟิเคชั่น และ Photochemical smog โดยผลการศึกษาสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้เชื้อเพลิง E10 E85 เปรียบเทียบกับแก๊สโซลีน ใน
ประเทศสหรัฐอเมริกา

ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	หน่วย	เชื้อเพลิงที่ใช้ในยานพาหนะ		
		แก๊สโซลีน	E10	E85
สภาวะโลกร้อน	kg CO ₂ eq.	0.53	0.51	0.36
Photochemical smog	g Ethylene eq.	0.57	0.55	0.21
สภาวะความเป็นกรด	g SO ₂ eq.	1.10	1.20	2.00
ยูโทรฟิเคชัน	g PO ₄ eq.	0.09	0.27	1.70
การใช้พื้นที่เพาะปลูก	m ² ใน 1 ปี	-	0.04	0.34

ตารางที่ 13 จะเห็นได้ว่าการใช้แป้งข้าวโพดในการผลิตเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงในยานพาหนะ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้แก๊สโซลีนสามารถลดผลกระทบทางด้านสภาวะโลกร้อน Photochemical smog แต่จะเป็นการเพิ่มผลกระทบด้านการเกิดสภาวะความเป็นกรด การเกิดยูโทรฟิเคชัน และการใช้พื้นที่ ส่วนผลการศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนในการผลิตเอทานอลตลอดวัฏจักรชีวิตของการใช้แป้งข้าวโพดในการผลิตเอทานอลแสดงได้ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 สัดส่วนผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนต่างๆ ของการผลิตเอทานอล

ภาพที่ 15 พบว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมทางด้านสถานะโลกร้อน และ Photochemical smog มาจากกระบวนการผลิตพลังงานไอน้ำ และไฟฟ้าในขั้นตอนการผลิตเอทานอล และการเพาะปลูกข้าวโพด ตามลำดับ ส่วนผลกระทบทางด้านการเกิดสภาวะความเป็นกรด และ ยูโทรฟิเคชัน มาจากขั้นตอนการเพาะปลูกข้าวโพดและกระบวนการผลิตพลังงานไอน้ำ และไฟฟ้าในขั้นตอนการผลิตเอทานอล ส่วนขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบ (ข้าวโพดและเอทานอล) เป็นขั้นตอนที่ส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

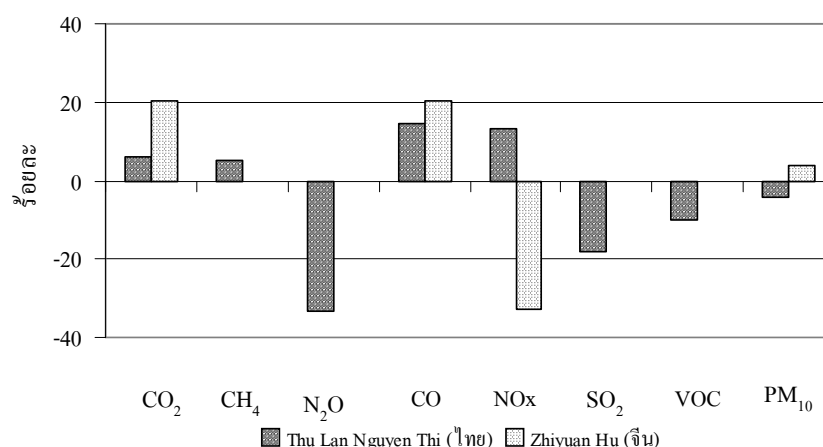
Hu and Wang . (2004) ได้ศึกษาการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในมณฑล Quangxi ประเทศจีน โดยเชื้อเพลิงเอทานอลที่ศึกษาในรูปของเอทานอล ผสมกับน้ำมันเบนซิน ในสัดส่วน 15:85 หรือที่เรียกว่า E85 ทำการเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินที่ใช้ในยานพาหนะในระยะทาง 200,000 กิโลเมตร โดยขอบเขตการศึกษาของเชื้อเพลิงเอทานอลจะเริ่มตั้งแต่การเพาะปลูกมันสำปะหลัง การขนส่ง การผลิตเอทานอล การผสมเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ จนกระทั่งการใช้เชื้อเพลิง E85 ในยานพาหนะ ส่วนขอบเขตการศึกษาของแก๊สโซฮอล์จะเริ่มจากการสกัดน้ำมันดิบ การผลิตแก๊สโซฮอล์ การขนส่ง จนกระทั่งการใช้เชื้อเพลิงในยานพาหนะ โดยผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยมลพิษมาจากฐานข้อมูลแบบจำลอง GREET 1.6 และฐานข้อมูลบริษัท Ford โดยในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมให้ผลการศึกษาสรุปได้ดังตารางที่ 14

Nguyen and *et.al.* (2006) ได้ทำการศึกษาประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันเส้น ในประเทศไทย โดยเชื้อเพลิงเอทานอลที่ศึกษาในรูป E10 หรือ เอทานอลผสมกับน้ำมันเบนซินในสัดส่วน 10:90 ทำการเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินที่ใช้ในยานพาหนะ ในหน่วยการทำงานที่ระยะทาง 1 กิโลเมตร โดยผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมใช้แบบจำลอง GREET ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยขอบเขตการศึกษาเป็นไปทำนองเดียวกับการศึกษาของ Zhiyuan Hu โดยผลการศึกษาสรุปได้ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลการศึกษาการปล่อยมลพิษจากการใช้มันสำปะหลังใน ตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิต
เอทานอลในประเทศจีนและประเทศไทย

มลพิษทางอากาศ	แก๊สโซลีน		E10	E85
	Nguyen T.	Hu Z.	Nguyen T.	Hu, Z.
CO ₂	226	243	212	194
CH ₄	0.324		0.308	
N ₂ O	0.012		0.016	
CO	1.239	3.886	1.059	3.089
NO _x	0.285	0.385	0.248	0.511
SO ₂	0.078		0.092	
VOC	0.199		0.219	
PM ₁₀	0.047	0.176	0.049	0.169

ตารางที่ 14 เมื่อทำการเปรียบเทียบการปล่อยมลพิษระหว่างการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงในยานพาหนะในรูปแก๊สโซลีน E10 และ E85 กับ แก๊สโซลีน โดยผลสัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมของเอทานอลกับแก๊สโซลีน ที่เพิ่มขึ้น หรือลดลง แสดงดังภาพที่ 16



ภาพที่ 16 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของ E10 (Thu Lan Nguyen Thi; ประเทศไทย) และ E85 (Zhiyuan Hu; ประเทศจีน) กับแก๊สโซลีน

ภาพที่ 16 พบว่าการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ที่ผลิตจากเอทานอลที่ผลิตจากมันสำปะหลังแทนเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน สามารถลดการปล่อย CO_2 , CH_4 และ CO ได้ แต่การใช้เชื้อเพลิง แก๊สโซฮอลล์ แทนแก๊สโซลีน จะเป็นการเพิ่ม N_2O , SO_2 และ VOC ส่วนผลการปล่อยมลพิษประเภท NO_x จากการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ (E10) ที่ผลิตจากเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย แทนแก๊สโซลีน สามารถลดการปล่อย NO_x ได้ แต่ในประเทศจีนที่มีการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ (E85) แทนแก๊สโซลีน จะเป็นการเพิ่ม NO_x ออกสู่สิ่งแวดล้อม ส่วนการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ E10 แทนแก๊สโซลีน ในประเทศไทยจะสามารถลดการปล่อย PM_{10} แต่จะเป็นการเพิ่ม PM_{10} ในการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ E85 แทนแก๊สโซลีน ในประเทศจีน

จากผลการศึกษางานวิจัย การศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ กับแก๊สโซลีนที่กล่าวมา พบว่าการใช้เอทานอลในรูปแบบต่างๆ สามารถลดการปล่อยมลสารบางประเภทสู่สิ่งแวดล้อม แต่ก็มี的增加การปล่อยมลสารบางประเภทสู่สิ่งแวดล้อม เมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซลีน ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษาจากงานวิจัยต่างๆ ได้ดังตารางที่ 15

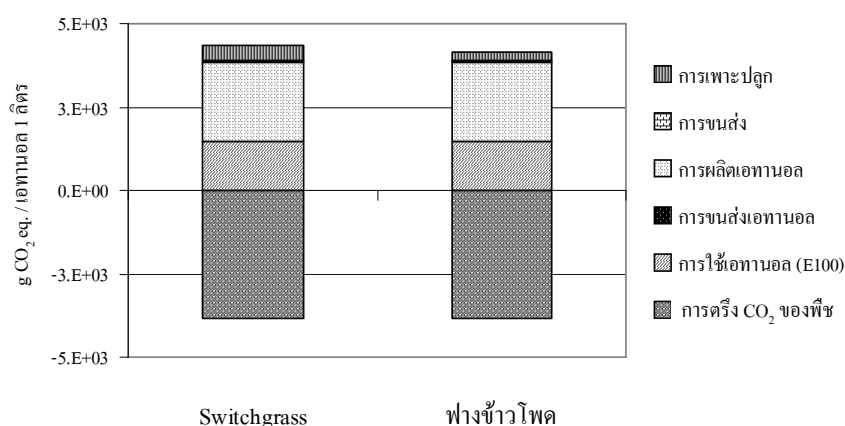
ตารางที่ 15 สรุปผลการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงในยานพาหนะ แทนแก๊สโซลีนของงานวิจัยต่างๆ

งานวิจัย	ปี	ประเทศ	วัตถุดิบ	ผลกระทบสิ่งแวดล้อม						
				Resource Depletion	Global Warming	Acidification	Eutrophication	SO _x	NO _x	Ozone Layer
Macedo	1996	บราซิล	อ้อย	na.	-	na.	na.	na.	na.	na.
			มันเทศ	-	-	±	na.	+	-	+
Kalschmitt	1996	เยอรมัน	หัวบีท	-	-	±	na.	+	-	+
			ข้าวสาลี	-	-	±	na.	+	-	+
Kidum	2002	อินเดีย	ชานอ้อย	-	-	-	-	na.	na.	na.
Sheehan	2004	สหรัฐฯ	ฟางข้าวโพด	-	-	+	na.	na	na	-
Hu	2004	จีน	มันสำปะหลัง	-	-	±	na.	na.	+	na.
Nielsen	2005	สหรัฐฯ	แป้งข้าวโพด	na.	-	+	+	na.	na.	na.
Nguyen	2006	ไทย	มันสำปะหลัง	na.	-	na.	na	+	-	na.

หมายเหตุ: - คือ การใช้เชื้อเพลิงเอทานอลสามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นๆ เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันเบนซิน
 + คือ การใช้เชื้อเพลิงเอทานอลเพิ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นๆ เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันเบนซิน
 ± คือ การใช้เชื้อเพลิงเอทานอลเมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันเบนซิน ไม่มีความแตกต่างในผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นๆ

ส่วนงานวิจัยในด้านการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล ก็อาจจะมีทั้งการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตจากการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ ในการผลิตเอทานอล โดยงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีตจากประเทศต่างๆ รวมทั้งประเทศไทยที่มีการศึกษา มีผลการศึกษาดังต่อไปนี้

Spatari and Zhang (2005) ได้ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจาก Switchgrass และ ฟางข้าวโพด ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยหน่วยการทำงาน ของงานวิจัยนี้คือ ปริมาณเอทานอล (E100) ที่ใช้ในพาหนะปริมาณ 1 ลิตร ซึ่งขอบเขตการศึกษา ของงานวิจัยนี้จะทำการพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ ขั้นตอนการเพาะปลูกวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิตเอทานอล การขนส่งเอทานอล จนกระทั่งการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลในพาหนะในรูป E100 ซึ่งงานวิจัยนี้มีการพิจารณาการดูดซับก๊าซ CO_2 ของพืชรวมด้วยโดยผลการศึกษาของงานวิจัยแสดงดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตเอทานอลจาก Switchgrass และ ฟางข้าวโพด ของประเทศสหรัฐอเมริกา

ภาพที่ 17 พบว่า ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากฟางข้าวโพดส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิ 330 กรัม CO_2 ต่อเอทานอล 1 ลิตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการใช้ Switchgrass ในการผลิตเอทานอลที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสุทธิ 489 กรัม CO_2 ต่อเอทานอล 1 ลิตร

12.2 การประเมินประสิทธิภาพเชิงพลังงานในการผลิตเอทานอล

ในอดีตที่ผ่านมา ในต่างประเทศได้มีการศึกษาด้านประสิทธิภาพเชิงพลังงานในการผลิตเอทานอล จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ เป็นจำนวนมาก โดยได้มีงานวิจัยที่ได้นำรวบรวมนงานวิจัยการศึกษาค่าประสิทธิภาพเชิงพลังงานในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ มีดังต่อไปนี้

Bentsen and *et.al.* (2006) ได้ทำการศึกษารวบรวมงานวิจัยต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาค่าสมมูลพลังงานในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเทศต่างๆ ในอดีตคือปี ค.ศ. 1991-2005 โดยงานวิจัยดังกล่าวนี้ได้รวบรวมงานวิจัยต่างๆ โดยสรุปผลการศึกษาค่าประสิทธิภาพเชิงพลังงานในรูปอัตราพลังงาน (Output/Input) รวมถึงรวบรวมว่างานวิจัยต่างๆ ได้มีการพิจารณาการปันส่วนค่าพลังงานกับผลผลิตหรือไม่ โดยผลการรวบรวมผลการศึกษาแสดงได้ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 อัตราพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ ในงานวิจัยต่างๆ

งานวิจัย	ปี	วัตถุดิบ	ประเทศ	อัตราพลังงาน	การพิจารณาการปันส่วน
Marland และ Turhollow	1991	ข้าวโพด	สหรัฐอเมริกา	1.14	X
				1.28	✓
Keeney and DeLuca	1992	ข้าวโพด	สหรัฐอเมริกา	0.83	X
				0.92	✓
Morris and Ahmed	1992	ข้าวโพด	สหรัฐอเมริกา	1.01	X
				1.51	✓
Lorenz and Morris	1995	ข้าวโพด	สหรัฐอเมริกา	1.04	X
				1.33	✓
Shapouri and <i>et al.</i>	1995	ข้าวโพด	สหรัฐอเมริกา	1.01	X
				1.24	✓
Venendaal and <i>et al.</i>	1997	ข้าวสาลี	เยอรมัน	1.10-1.70	X
			เบลเยียม	4.00-5.00	✓
			ฝรั่งเศส	1.10-5.90	na.

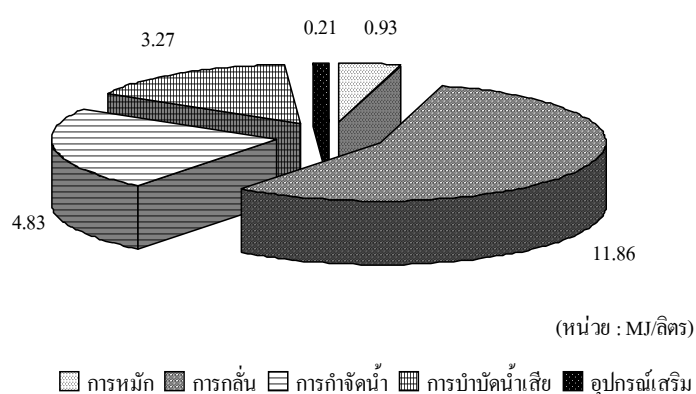
ตารางที่ 16 (ต่อ)

งานวิจัย	ปี	วัตถุดิบ	ประเทศ	อัตราพลังงาน	การพิจารณา การป้อนส่วน
Macedo	1998	อ้อย	บราซิล	9.20	X
Laughlin and et al.	1998	ข้าวโพด	สหรัฐอเมริกา	1.21	✓
		Switchgrass	สหรัฐอเมริกา	4.43	✓
Prakash and et al.	1998	อ้อย	อินเดีย	≈ 2	na.
Wang and et al.	1999	ข้าวโพด	สหรัฐอเมริกา	1.11	X
				1.42	✓
Pimental	1991	ข้าวโพด	สหรัฐอเมริกา	0.58	X
				0.69	✓
Ulgiati	2001	ข้าวโพด	อิตาลี	0.59	X
				1.36	✓
Armstrong and et al.	2002	ข้าวสาลี	เบลเยียม	1.04	X
		หัวบีท	เบลเยียม	0.93	X
Shapouri and et al.	2002	ข้าวโพด	สหรัฐอเมริกา	1.08	X
				1.33	✓
Pimental	1991	ข้าวโพด	สหรัฐอเมริกา	0.78	X
				≈ 0.83	✓
Venturi and et al.	2003	ข้าวฟ่างหวาน	อิตาลี	1.20	X
				1.21	✓
Börjesson	2004	ข้าวสาลี	สวีเดน	1.31	X
				2.05	✓
Punter and et al.	2004	ข้าวสาลี	สหรัฐอเมริกา	0.68 - 2.22	X
Pimentel and Patzek	2005	Switchgrass	อังกฤษ	0.69	na.
		เซลลูโลส (ไม้)	สหรัฐอเมริกา	0.64	na.
Nielsen and et al.	2005	ข้าวโพด	สหรัฐอเมริกา	1.90	✓

- หมายเหตุ: ✓ คือ งานวิจัยมีการพิจารณาการปันส่วนค่าการใช้พลังงานกับผลผลิตร่วม
 X คือ งานวิจัยไม่มีการพิจารณาการปันส่วนค่าการใช้พลังงานกับผลผลิตร่วม
 na. คือ ไม่ได้ระบุไว้ในงานวิจัย

การศึกษาค่าประสิทธิภาพเชิงพลังงานในงานวิจัยต่างๆ นอกจากจะมีการศึกษาวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอลที่แตกต่างกันแล้ว ก็อาจจะมีขอบเขตการศึกษาที่พิจารณาที่แตกต่างกัน โดยงานวิจัยที่ศึกษาประสิทธิภาพเชิงพลังงานในงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาามีวิธีการดำเนินการศึกษา และผลการวิจัยดังนี้

Prakash and *et.al.* (1998) ได้ทำการศึกษาค่าพลังงานสุทธิที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล โดยใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ ในประเทศอินเดีย ซึ่งขอบเขตการศึกษาจะพิจารณาเฉพาะพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเอทานอลเท่านั้น โดยขั้นตอนการผลิตเอทานอล ประกอบด้วย ขั้นตอนการหมัก การกลั่น การกำจัดน้ำ การบำบัดน้ำเสีย รวมทั้งพิจารณาพลังงานที่ใช้ในอุปกรณ์เสริมโดยมีการนำน้ำเสียมาผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล โดยผลการศึกษาพบว่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลมีค่า 21.10 MJ/ลิตร ส่วนการนำน้ำเสียมาผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไอน้ำ เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตสามารถลดการใช้พลังงานได้ 11.27 MJ/ลิตร โดยสัดส่วนการใช้พลังงานในขั้นตอนต่างๆ ในการผลิตเอทานอลแสดงดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลในประเทศอินเดีย

ภาพที่ 18 พบว่าขั้นตอนการกลั่นเป็นขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานสูงสุดในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล โดยคิดเป็นร้อยละ 56 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด เนื่องด้วยขั้นตอนการกลั่นมีการใช้

ไอน้ำในปริมาณ 2.5 กก. / เอทานอล 1 ลิตร หรือคิดเป็นค่าพลังงานได้ 11.86 MJ/ลิตร และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล ซึ่งมีค่า 9.83 MJ/ ลิตร กับค่าพลังงานที่ได้จากเอทานอล ซึ่งมีค่า 18.25 MJ/ลิตร ดังนั้นอัตราพลังงาน (Output /Input) ของการผลิตเอทานอลจากกาก น้ำตาลของงานวิจัยนี้ จึงมีค่า 1.86

Macedo (1997) ได้ทำการศึกษาสมดุลพลังงานในการผลิตเอทานอลจากอ้อย ในประเทศบราซิล ซึ่งขอบเขตการศึกษาจะพิจารณาการใช้พลังงาน ตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อย (พลังงานจะอยู่ในรูปพลังงานจากปุ๋ย ปูนขาว ยากำจัดแมลง ท่อนพันธุ์ และ เครื่อง จักร) การขนส่งอ้อย และ ขั้นตอนการผลิตเอทานอล (พลังงานจะอยู่ในรูปพลังงานจากพลังงานไฟฟ้า สารเคมี น้ำมันหล่อลื่น และเครื่องจักร) โดยผลการศึกษาค่าพลังงานที่ใช้ และค่าพลังงานที่ได้ในการผลิตเอทานอล แสดงดังตารางที่ 17

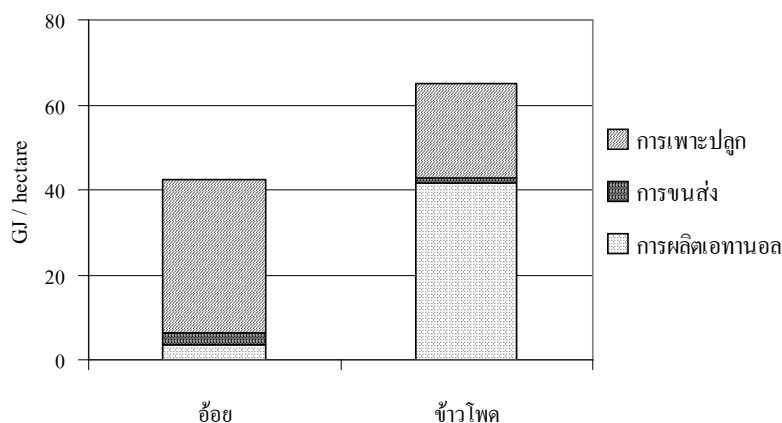
ตารางที่ 17 พลังงานที่ใช้-พลังงานที่ได้ ในการผลิตเอทานอลจากอ้อย ในประเทศบราซิล

(หน่วย : MJ/ ต้นอ้อย)		
ขั้นตอน	พลังงานที่ใช้	พลังงานที่ได้
การเพาะปลูก	154.95	
การขนส่ง	34.92	
การผลิตเอทานอล	46.08	
- เอทานอล		1,996.37
- ชานอ้อย		175.14
พลังงานรวม	235.95	2,171.51

ตารางที่ 17 แสดงพลังงานที่ใช้-พลังงานที่ได้ ในการผลิตเอทานอลจากอ้อย ในประเทศบราซิล ดังนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานที่ใช้ กับค่าพลังงานที่ได้ในการผลิตเอทานอล จะได้ค่าอัตราพลังงาน (Output /Input) ของการผลิตเอทานอลจากอ้อยในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีค่า 9.20

Marcelo (2005) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมดุลพลังงานของการผลิตเอทานอล จากอ้อย ของประเทศบราซิล และการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยใช้

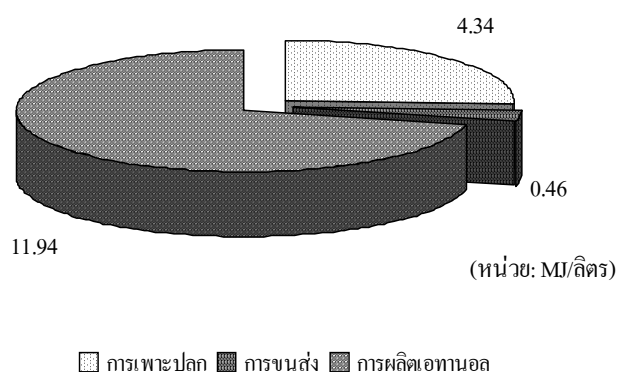
Ecological Footprint เป็นเครื่องมือในการประเมิน ซึ่งการศึกษาจะพิจารณาการใช้พลังงานใน 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการเพาะปลูก การขนส่ง และการผลิตเอทานอล โดยผลการใช้พลังงานในการผลิตเอทานอลในหน่วยการทำงานที่ พื้นที่การเพาะ ปลูก 1 เฮกเตอร์ แสดงดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากอ้อย และข้าวโพด ในพื้นที่การเพาะปลูก 1 เฮกเตอร์ ในประเทศบราซิล

ภาพที่19 พบว่าการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด (สหรัฐอเมริกา) มีการใช้พลังงานในพื้นที่การเพาะปลูก 1 เฮกเตอร์ มากกว่าการผลิตเอทานอลจากอ้อย (บราซิล) โดยการผลิตเอทานอลจากอ้อยมีการใช้พลังงาน 42.43 GJ/ เฮกเตอร์ ซึ่งมีพลังงานที่ได้จากเอทานอล 155.57 GJ/ เฮกเตอร์ จึงทำให้ได้อัตราพลังงานของการผลิตเอทานอลจากอ้อย (บราซิล) จึงมีค่า 13.67 ส่วนการผลิตเอทานอลจากข้าวโพดมีการใช้พลังงาน 65.02 GJ/ เฮกเตอร์ ซึ่งมีพลังงานที่ได้จากเอทานอล 71.44 เฮกเตอร์ จึงทำให้ได้อัตราพลังงานของการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด (สหรัฐอเมริกา) จึงมีค่า 1.10

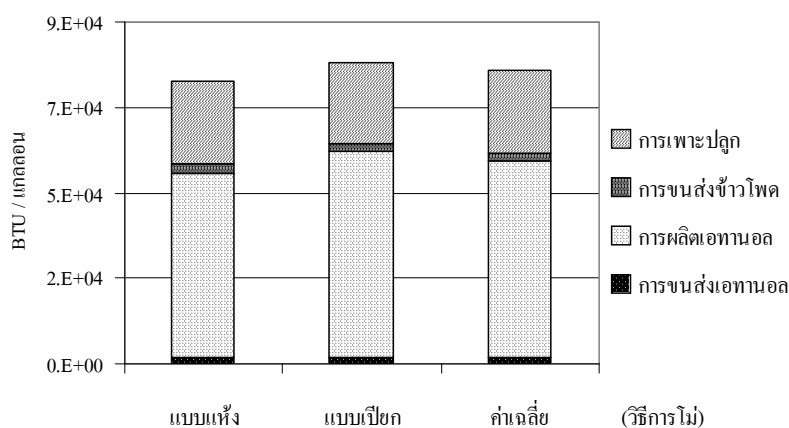
Hu and *et.al.* (2006) ได้ทำการศึกษาศักยภาพและประสิทธิภาพเชื้อเพลิงเอทานอลที่ใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในรัฐ Guangxi ประเทศจีน โดยศึกษาจากโรงงานต้นแบบขนาด 100,000 ตันที่ตั้งอยู่ในเขต Qinzhou มลรัฐ Guangxi โดยค่าประสิทธิภาพเชิงพลังงานที่ใช้ในการประเมินตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตคือ ค่าพลังงานสุทธิ (Net Energy Value; NEV) โดยกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ ขั้นเพาะปลูกและแปรรูปมันสำปะหลัง (การผลิตมันเส้น) ขั้นตอนการขนส่ง และขั้นกระบวนการผลิตเอทานอล โดยผลการใช้พลังงานในการผลิตเอทานอล 1ลิตร ในขั้นตอนต่างๆ แสดงดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ในประเทศจีน

ภาพที่ 20 พบว่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล ส่วนใหญ่อยู่ในขั้นตอนการผลิตเอทานอล โดยคิดเป็นร้อยละ 71 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด โดยพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตรมีค่า 16.732 MJ/ลิตร ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการปันส่วนการใช้พลังงานกับผลผลิตรวม (กากสำ) โดยวิธีการปันส่วนโดยวิธีเศรษฐศาสตร์ เป็นจำนวน 3.023 MJ/ลิตร จึงส่งผลทำให้มีการใช้พลังงานในการผลิตเอทานอลมีค่า 13.709 MJ/ลิตร โดยจากการศึกษาประสิทธิภาพพลังงานในรูปค่าพลังงานสุทธิ หรือผลความแตกต่างระหว่างพลังงานที่ได้จากเอทานอล (21.185 MJ/ลิตร) กับค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล ซึ่งจากการศึกษาพบว่าค่าพลังงานสุทธิในงานวิจัยนี้ มีค่า 7.475 MJ/ลิตร หรือเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพเชิงพลังงานในรูป อัตราพลังงานของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ในงานวิจัยจึงมีค่า 1.55

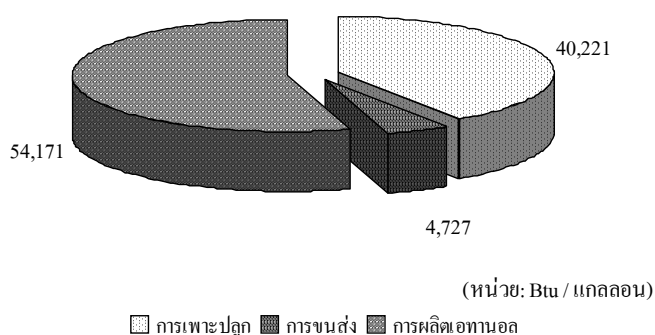
Shapouri and Duffield (2002) ได้ทำการศึกษาพลังงานที่ใช้ในวัฏจักรชีวิตของเอทานอลโดยวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิตเอทานอลที่ศึกษาได้แก่ ข้าวโพด โดยข้อมูลที่ใช้ในการประเมินได้จากการเก็บข้อมูลจากรัฐ 7 มลรัฐในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้แก่ Illinois Indiana Iowa Michigan Minnesota Ohio และ Wisconsin โดยการศึกษาการใช้พลังงานพิจารณาตั้งแต่ การเพาะปลูกข้าวโพด การขนส่งข้าวโพด กระบวนการผลิตเอทานอล (พิจารณาทั้งวิธีการไม่แบบเปียก และการไม่แบบแห้ง) และการขนส่งเอทานอลไปยังหน่วยผลิตแก๊สโซฮอล์ โดยผลการศึกษาการใช้พลังงานโดยไม่ได้พิจารณาการปันส่วนพลังงานแสดงได้ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากข้าวโพดโดยวิธีการ ไม้แบบเปียก และแบบแห้งของประเทศสหรัฐอเมริกา

ภาพที่ 21 พบว่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด ร้อยละ 61 อยู่ในขั้นตอนการผลิตเอทานอล จากค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลตลอดวัฏจักรชีวิตมีค่า 77,228 BTU/แกลลอน ซึ่งเมื่อเทียบกับพลังงานได้จากเอทานอล (83,961 BTU/ แกลลอน) ดังนั้นค่า อัตราพลังงานของการผลิตเอทานอลจากข้าวโพดเฉลี่ย ของประเทศสหรัฐอเมริกาจะมีค่า 1.08

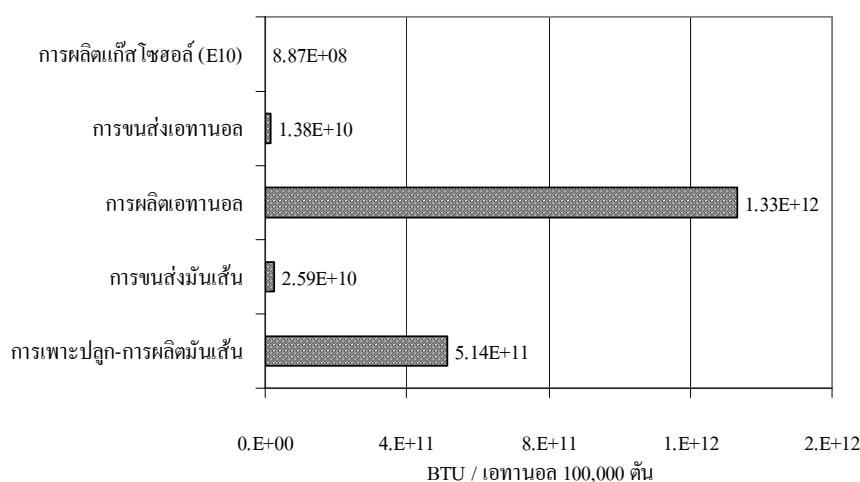
Pimental (2003) ได้ศึกษาอัตราส่วนของพลังงานในการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยขอบเขตการศึกษานี้จะพิจารณาการใช้พลังงานในการใน 3 ขั้นตอนได้แก่ การเพาะปลูกข้าวโพด การขนส่ง และการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด โดยผลการ ศึกษาการใช้พลังงานในการผลิตเอทานอล 1แกลลอน ในขั้นตอนต่างๆ แสดงดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากข้าวโพดในประเทศสหรัฐอเมริกา

ภาพที่ 22 พบว่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล ส่วนใหญ่อยู่ในขั้นตอนการผลิตเอทานอล โดยคิดเป็นร้อยละ 55 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด ซึ่งพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตรมีค่า 99,199 MJ/ลิตร ซึ่งเมื่อเทียบกับพลังงานได้จากเอทานอล (77,000 BTU/ แกลลอน) ดังนั้นค่าอัตราพลังงานของการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด จะมีค่า 0.78 ซึ่งในงานวิจัยนี้มีค่าอัตราพลังงานมีค่าน้อยกว่า 1 หรือพลังงานที่ได้จากเอทานอลมีค่าน้อยกว่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลตลอดวัฏจักรชีวิต เนื่องมาจากในงานวิจัยนี้ได้มีการพิจารณาพลังงานที่ใช้ในการก่อสร้างโรงงานผลิต เอทานอล เช่น พลังงานจากเหล็ก ซีเมนต์ รวมด้วย เป็นต้น

Leng and Wang (2007) ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล จากมันสำปะหลัง ในประเทศจีน โดยขอบเขตการศึกษาจะพิจารณาตั้งแต่การเพาะปลูกมันสำปะหลัง การผลิตมันเส้น การขนส่งมันเส้น การผลิตเอทานอล, การขนส่งเอทานอล จนกระทั่งการผสมเอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์ กับน้ำมันเบนซินจนได้แก๊สโซฮอล์ในสัดส่วนเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ กับน้ำมันเบนซิน 90 เปอร์เซ็นต์ หรือที่เรียกว่า E10 ซึ่งหน่วยการทำงานในงานวิจัยนี้ คือ เอทานอล 100,000 ดัน โดยปริมาณการใช้พลังงานในการผลิตเอทานอล 100,000 ดัน แสดงดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 พลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง
ของประเทศจีน

ภาพที่ 23 แสดงพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังของประเทศจีน พบว่า พลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลส่วนใหญ่อยู่ในขั้นตอนการผลิตเอทานอล โดยคิดเป็นร้อยละ 71 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด โดยพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลตลอดวัฏจักรชีวิตมีค่า 15,722 BTU/ลิตร ดังนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร กับพลังงานที่ได้จากเอทานอล 1 ลิตร (20,079 BTU/ลิตร) จึงได้อัตราพลังงานของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ในงานวิจัยนี้ ซึ่งมีค่า 1.28

Santos (n.d.) ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการผลิต เอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ ได้แก่ ข้าวฟ่างหวาน ข้าวสาลี หัวบีท และอ้อย โดยพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ และอัตราพลังงานที่ได้ สามารถสรุปแสดงได้ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ

ขั้นตอน	วัตถุดิบในการผลิตเอทานอล			
	ข้าวฟ่างหวาน ^a	ข้าวสาลี ^b	หัวบีท ^c	อ้อย ^d
หน่วย	MJ/ เฮกเตอร์	GJ/ เฮกเตอร์	GJ/ เฮกเตอร์	MJ/ เฮกเตอร์
การเพาะปลูก	8,972	15.40	21.10	12,805
การขนส่ง		0.75	5.43	4,492
การผลิตเอทานอล	5,010	50.60	71.50	5,468
พลังงานที่ใช้รวม	13,982	66.75	98.03	22,764
พลังงานที่ได้รวม				
- เอทานอล	49,450	63.00	120.00	133,155
- ผลผลิตรวม		5.14	7.06	13,661
อัตราพลังงาน	3.54	1.02	1.30	6.45

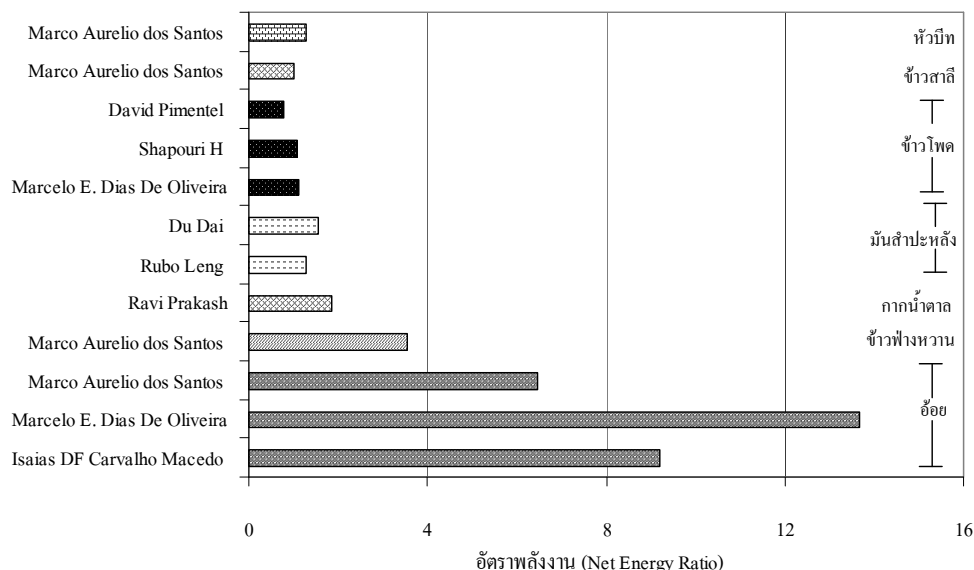
ที่มา: ^a Marco Aurelio dos Santos อ้างจาก Worley, J.W.(1992)

^b Marco Aurelio dos Santos อ้างจาก De Boo, Win (1993) และ Novem (1992)

^c Marco Aurelio dos Santos อ้างจาก De Boo, Win (1993) และ Novem (1992)

^d Marco Aurelio dos Santos อ้างจาก Macedo (1991)

ดังนั้น จากงานวิจัยที่กล่าวมา ถึงผลการศึกษาการใช้พลังงานในตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล และค่าอัตราพลังงาน (Output /Input) ของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ สามารถสรุปผลการศึกษ้อัตราพลังงาน (Output /Input) ของงานวิจัยต่างๆ ได้ดังภาพที่ 24



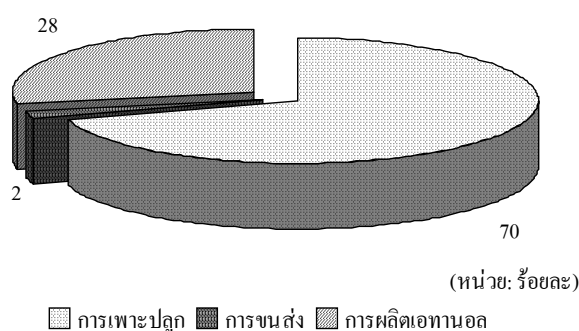
ภาพที่ 24 ค่าอัตราพลังงานของงานวิจัยต่างๆ จากการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ ในการผลิตเอทานอล

ภาพที่ 24 แสดงค่าอัตราพลังงานของงานวิจัยต่างๆ จากการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ ในการผลิตเอทานอล พบว่า การใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลมีค่าอัตราพลังงานสูงกว่าการใช้วัตถุดิบประเภทอื่นๆ อาจเนื่องมาจากอ้อยเป็นวัตถุดิบประเภทน้ำตาล ซึ่งไม่มีขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงให้กลายเป็นน้ำตาล เหมือนวัตถุดิบประเภทแป้ง อาทิเช่น มันสำปะหลัง ข้าวสาลี และ ข้าวโพด ที่ต้องมีขั้นตอนการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล จึงทำให้การผลิตเอทานอลจากอ้อยมีการใช้พลังงานในการผลิตเอทานอลน้อยกว่าการใช้วัตถุดิบประเภทอื่นๆ โดยจากงานวิจัยทั้งหมดมีเพียง 1 งานวิจัยที่ค่าอัตราพลังงานมีค่าน้อยกว่า 1 หรือค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลตลอดวัฏจักรชีวิต มีค่ามากกว่าพลังงานที่ได้จากเอทานอล คือ งานวิจัยของ David Pimentel ในปี ค.ศ. 2003 ที่ได้ศึกษาอัตราพลังงานของการผลิตเอทานอลจากข้าวโพดในประเทศสหรัฐอเมริกา สาเหตุเนื่อง มาจากในงานวิจัยนี้ ได้มีการพิจารณาพลังงานที่ใช้ในการก่อสร้างโรงงานผลิตเอทานอล อาทิเช่น พลังงานจากเหล็ก ซีเมนต์ รั้วด้วย เป็นต้น ดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น

12.3 การประเมินประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิตเอทานอล

การประเมินประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิตเอทานอล ต้องการที่จะศึกษาเพื่อทราบว่าในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบหนึ่งๆ นั้นมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนมากน้อยเพียงใด แล้วต้นทุนที่ใช้มาจากในขั้นตอนใดมากที่สุด ซึ่งในแต่ละงานวิจัยจะมีขอบเขตการศึกษาที่แตกต่างกัน โดยในอดีตที่ผ่านมาก็ได้มีงานวิจัยต่างๆ ที่ศึกษาต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอลได้ต่อไปนี้

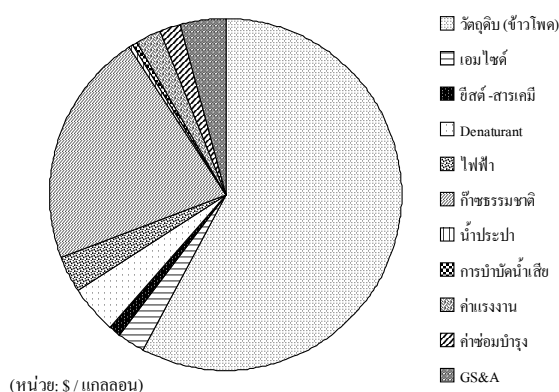
Zhang and Han (2003) ได้ทำการศึกษาด้านทุนในตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ในประเทศจีน โดยทำการศึกษาด้านทุนการผลิตเอทานอล ตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะ ปลูกมันสำปะหลัง การขนส่งมันสำปะหลัง และการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง โดยผลการศึกษาด้านทุนในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง แสดงดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ต้นทุนการผลิตเอทานอล จากมันสำปะหลัง ในประเทศจีน

ภาพที่ 25 พบว่า ต้นทุนในการผลิตเอทานอล ส่วนใหญ่อยู่ในขั้นตอนการเพาะปลูก โดยคิดเป็นร้อยละ 70 ของต้นทุนในการผลิตเอทานอล ทั้งหมด

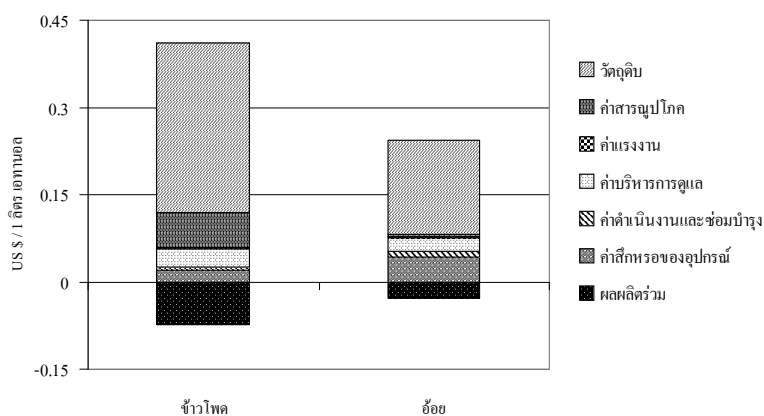
Urbanchuk (2006) ได้ทำการศึกษาด้านทุนในการผลิตเอทานอลโดยใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งการศึกษานี้ใช้วิธีการโมเดลแบ่งในการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด โดยในการศึกษาได้ทำการศึกษาด้านทุนในการดำเนินในกระบวนการผลิตเอทานอล ผลการศึกษานี้ในงานวิจัยนี้ แสดงดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด ในประเทศสหรัฐอเมริกา

ภาพที่ 26 พบว่า ต้นทุนในการผลิตเอทานอล ส่วนใหญ่อยู่ในรูปวัตถุดิบ คือข้าวโพด โดยคิดเป็นร้อยละ 58 ของต้นทุนในการผลิตเอทานอล ทั้งหมด

Quintero and Montoya (2007) ได้ทำการศึกษเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากการใช้ อ้อย และข้าวโพด เป็นวัตถุดิบในประเทศโคลัมเบีย โดยผลการศึกษา แสดงได้ดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 ต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด และอ้อย ในประเทศโคลัมเบีย

ภาพที่ 27 พบว่าต้นทุนในการผลิตเอทานอล ร้อยละ 70.84 และ ร้อยละ 66.45 อยู่ในรูปต้นทุนจากวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล สำหรับการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด และอ้อย ตามลำดับ

โดยต้นทุนการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด มีต้นทุนสูงกว่าการผลิตเอทานอลจากอ้อย 0.13 US \$ / ลิตรเอทานอล

12.4 การปันส่วน (Allocation Methods)

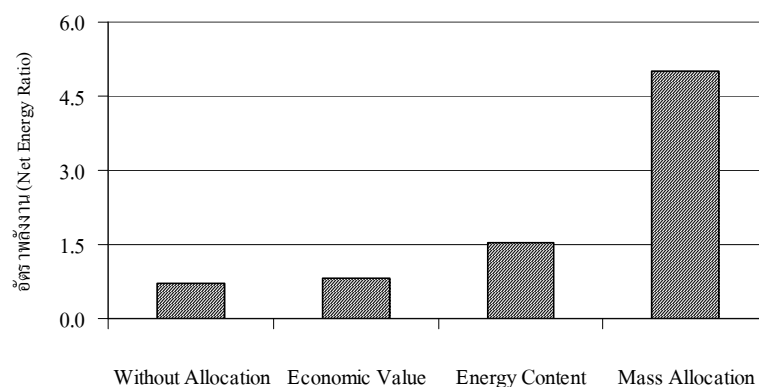
อย่างทีกล่าวนมาแล้วข้างต้นว่า วิธีการปันส่วนมีหลายวิธี โดยการปันส่วนแต่ละวิธี จะให้ผลการศึกษาที่แตกต่างกัน ซึ่งได้มีงานวิจัยที่ได้ศึกษาผลการปันส่วนวิธีต่างๆ กับผลงานวิจัยที่ได้แสดงได้ดังต่อไปนี้

Gnansounou and Dauriat (n.d.). ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการปันส่วนวิธีต่างๆ ต่อผลการ ศึกษาค่าสมมูลพลังงานในการผลิตเอทานอลจากข้าวสาลี โดยมีกากส่า (DDGS) เป็นผลผลิตร่วมในกระบวนการผลิตเอทานอลจากข้าวสาลี โดยพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตรมีค่า 30.23 MJ/ลิตร โดยค่าการปันส่วน โดยวิธีการปันส่วนวิธีต่างๆ แสดงตารางที่ 19

ตารางที่ 19 ค่าการปันส่วนโดยวิธีการปันส่วนต่างๆ ในการผลิตเอทานอลจากข้าวสาลี

วิธีการปันส่วน	เปอร์เซ็นต์การปันส่วน		ค่าการปันส่วน
	เอทานอล	ผลผลิตร่วม	
Without Allocation	100	0	1.00
Economic Value	95	5	0.95
Energy Content	61	19	0.61
Mass Allocation	12	88	0.12

ดังนั้น เมื่อพิจารณาการปันส่วนวิธีต่างๆ ต่อผลอัตราพลังงาน ที่ได้จากการผลิตเอทานอล จากข้าวสาลี โดยพลังงานที่ได้จากเอทานอลมีค่า 21.3 MJ/ลิตร โดยผลค่าอัตราพลังงานที่ได้กับวิธีการปันส่วนวิธีต่างๆ แสดงดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 ผลของวิธีการปันส่วนวิธีต่างๆต่อค่าอัตราพลังงานจากการผลิตเอทานอลจากข้าวสาลี

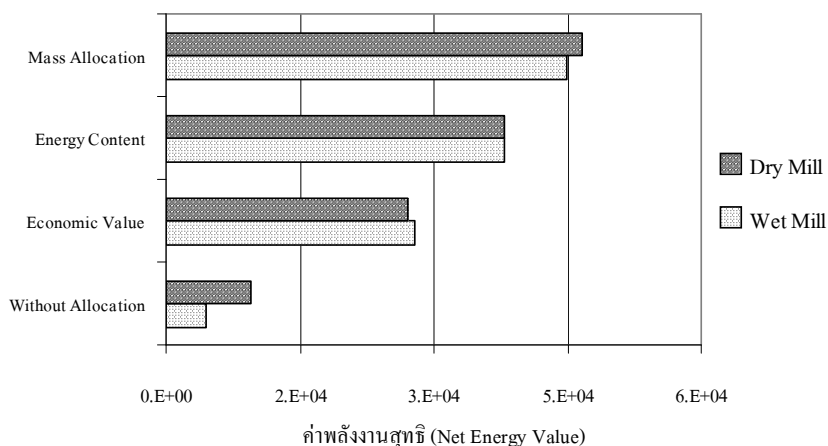
ภาพที่ 28 พบว่า การปันส่วนโดยวิธีมวล มีค่าอัตราพลังงานสูงสุด หรือกล่าวได้ว่าการปันส่วนพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล กับผลผลิตรวมมากที่สุด รองลงมาคือ การปันส่วนโดยพลังงาน และการปันส่วนโดยวิธีทางเศรษฐศาสตร์ ตามลำดับ

Shapouri and Duffield (2002) ได้ทำการศึกษาสมดุลพลังงานในการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด โดยการพิจารณาวิธีการปันส่วนวิธีต่างๆ ต่อค่าพลังงานสุทธิ ที่ได้จากการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด โดยวิธีการโม้แบบแห้ง และแบบเปียก ในประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีกากสำเป็นผลผลิตร่วมในการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลมีค่า 79,503 และ 74,447 BTU/แกลลอน สำหรับการโม้แบบเปียก และแบบแห้งตามลำดับ โดยค่าการปันส่วนโดยวิธีต่างๆ ในการผลิตเอทานอลจากข้าวโพดในงานวิจัยนี้ แสดงดังตารางที่ 20

ดังนั้น เมื่อพิจารณาการปันส่วนวิธีต่าง ต่อผลค่าพลังงานสุทธิ ที่ได้จากการผลิตเอทานอล จากข้าวโพด โดยพลังงานที่ได้จากเอทานอลมีค่า 83,961 BTU/ แกลลอน โดยผลค่าพลังงานสุทธิที่ได้ กับวิธีการปันส่วนวิธีต่างๆ แสดงดังภาพที่ 29

ตารางที่ 20 ค่าการปันส่วนโดยวิธีการปันส่วนต่างๆ ในการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด

วิธีการปันส่วน	วิธีการไม่	เปอร์เซ็นต์การปันส่วน		ค่าการปันส่วน
		เอทานอล	ผลผลิตรวม	
Without Allocation	แบบแห้ง	100	0	1.00
	แบบเปียก	100	0	1.00
Economic Value	แบบแห้ง	70	30	0.70
	แบบเปียก	76	24	0.76
Energy Content	แบบแห้ง	57	43	0.57
	แบบเปียก	61	39	0.61
Mass Allocation	แบบแห้ง	48	52	0.48
	แบบเปียก	49	51	0.49



ภาพที่ 29 ผลของวิธีการปันส่วนวิธีต่างๆ ต่อค่าพลังงานสุทธิจากการผลิตเอทานอลจากข้าวโพด

ภาพที่ 29 พบว่า การปันส่วนโดยวิธีมวล มีค่าพลังงานสุทธิสูงสุด หรือกล่าวได้ว่ามีการปันส่วนพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล กับผลผลิตรวมมากที่สุด รองลงมาคือ การปันส่วนโดยพลังงานและการปันส่วนโดยวิธีทางเศรษฐศาสตร์ตามลำดับ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC)	1 เครื่อง
2. โปรแกรม Microsoft Excel 2003	1 ชุด
3. โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro เวอร์ชัน 7.0	1 ชุด

วิธีการ

1. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

วิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต มาจากหลักการของอนุกรมมาตรฐาน ISO14040 ซึ่งวิธีการดำเนินการประเมินวัฏจักรชีวิตมี 4 ขั้นตอนหลัก ดังต่อไปนี้

1.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการวิจัย (Goal and scope definition)

1.1.1 การกำหนดเป้าหมาย (Goal)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ ในการผลิตเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานพาหนะในรูปแก๊สโซฮอลล์ โดยศึกษาว่าวัตถุดิบประเภทใดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดรวมทั้งศึกษาว่าตลอดวัฏจักรของการผลิตเอทานอลขั้นตอนใดในการผลิตเอทานอลส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด เพื่อหาแนวทางในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรของการผลิตเอทานอล

1.1.2 หน่วยการทำงาน (Functional Unit)

หน่วยการทำงาน กำหนดขึ้นเพื่อใช้เป็นพื้นฐานสำหรับการเก็บข้อมูลของมวลสารเข้าและมวลสารออกของกระบวนการที่ศึกษา โดยงานวิจัยนี้กำหนดเอทานอลบริสุทธิ์ (99.5

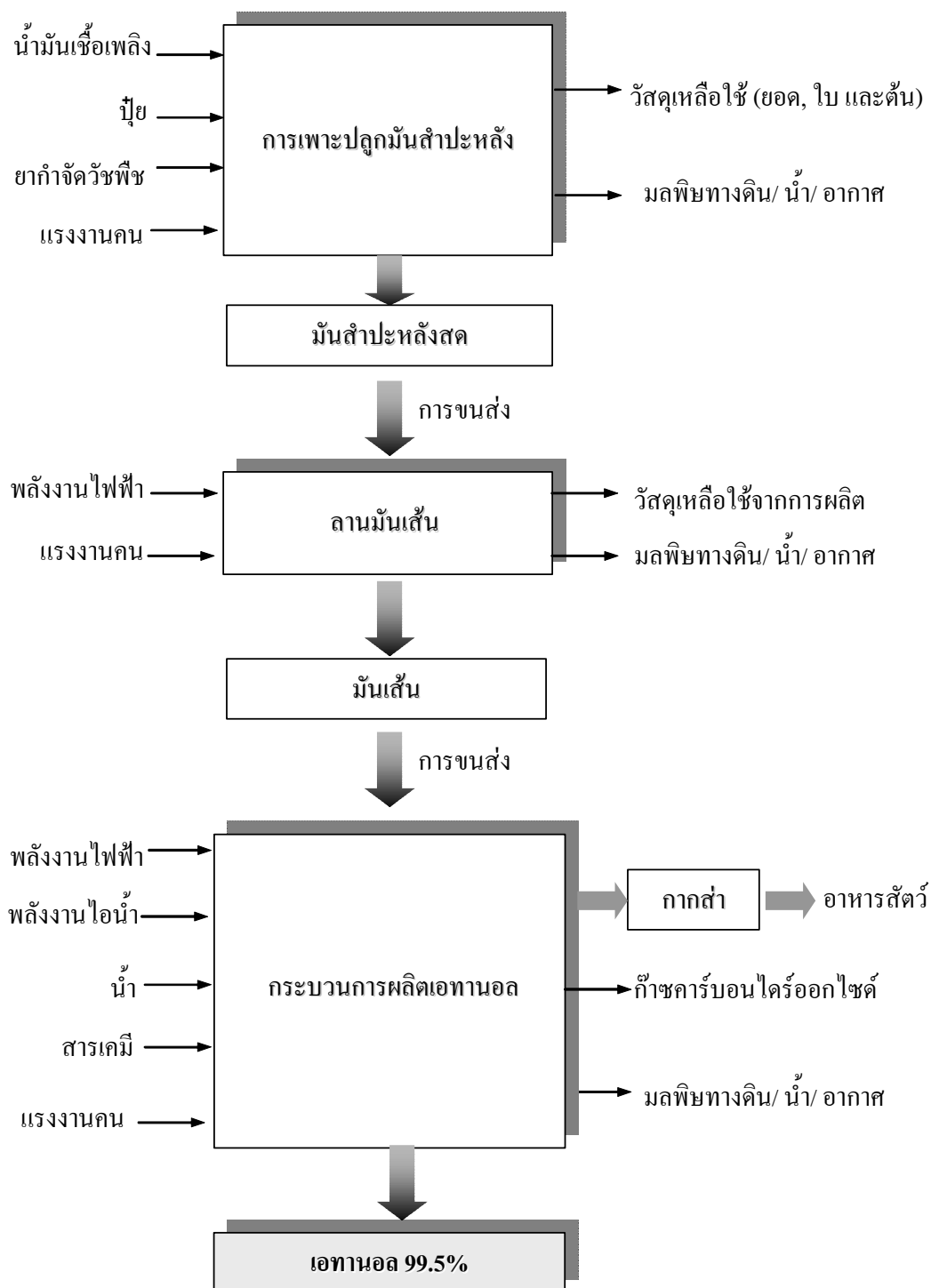
เปอร์เซ็นต์) ปริมาณ 100,000 ลิตร/วัน เป็นหน่วยเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ

1.1.3 การกำหนดขอบเขตงานวิจัย (Scope and System boundary)

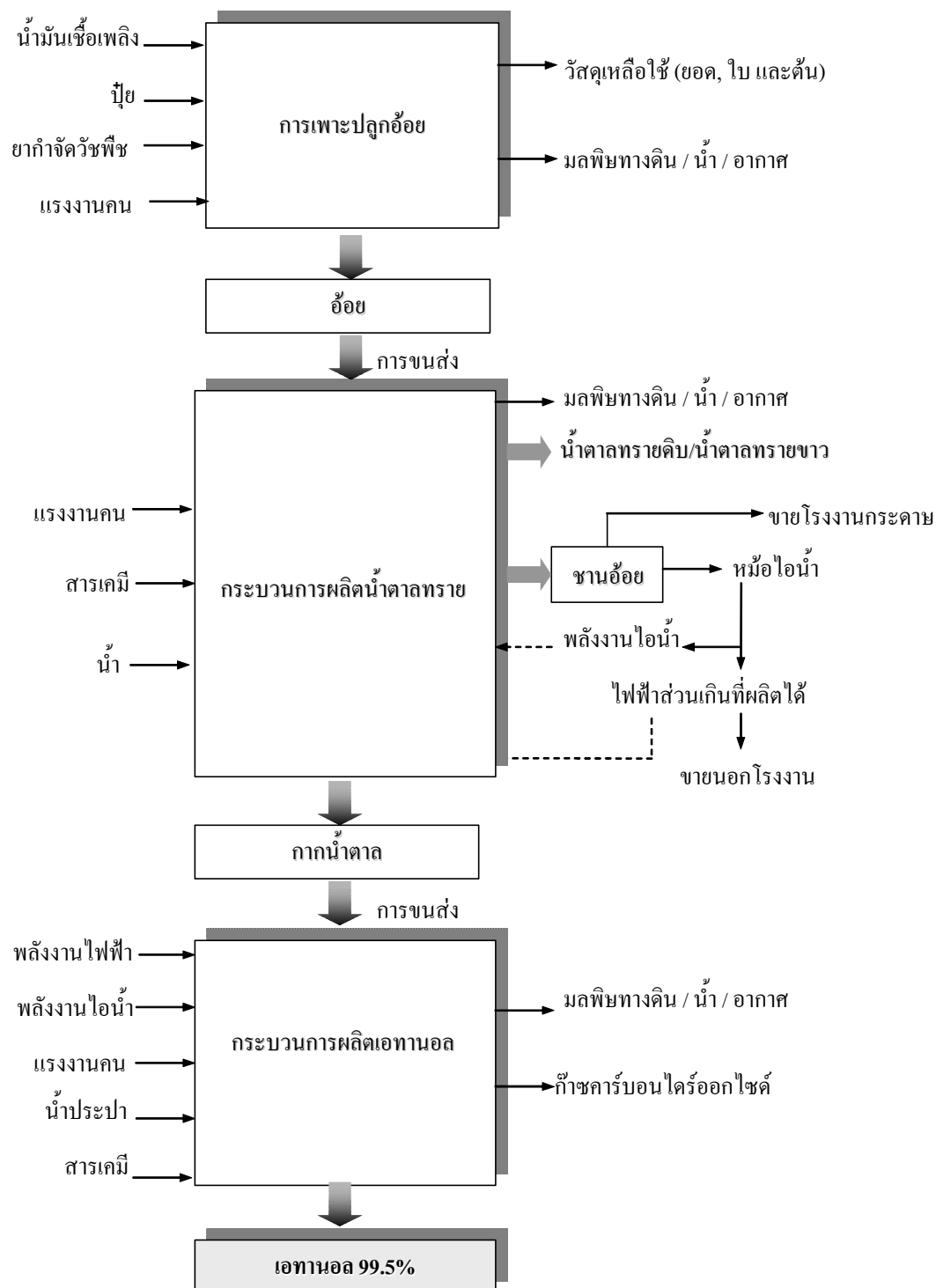
วัตถุดิบที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล ได้แก่ มันสำปะหลังในรูปมันเส้น กากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมจากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย และอ้อย โดยการศึกษาจะทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตั้งแต่การเพาะปลูกวัตถุดิบ (มันสำปะหลังและอ้อย) การขนส่งวัตถุดิบไปยังแหล่งแปรรูป (ลานมันเส้น และโรงงานน้ำตาลทราย) การแปรรูปวัตถุดิบ (การผลิตมันเส้น และการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมจากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย) การขนส่งวัตถุดิบที่แปรรูปแล้ว (มันเส้น และกากน้ำตาล) ไปยังโรงงานผลิตเอทานอล ส่วนการผลิตเอทานอลจากอ้อยการขนส่งจะมีการขนส่งจากไร่อ้อยไปยังโรงงานเอทานอลโดยตรง และกระบวนการผลิตเอทานอลจะได้เอทานอลบริสุทธิ์ (99.5 เปอร์เซ็นต์) โดยขอบเขตการศึกษาของวัตถุดิบแต่ละประเภทแสดงดังภาพที่ 30 ถึงภาพที่ 32

งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์ และประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล โดยการใช้ฐานข้อมูลจากโปรแกรม SimaPro 7.0 และ ฐานข้อมูลประเทศไทยและ วิธี Eco-Indicator 95 ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการวิเคราะห์ผลการศึกษา ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ โดยพิจารณาจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่พบมากในประเทศไทย ได้แก่

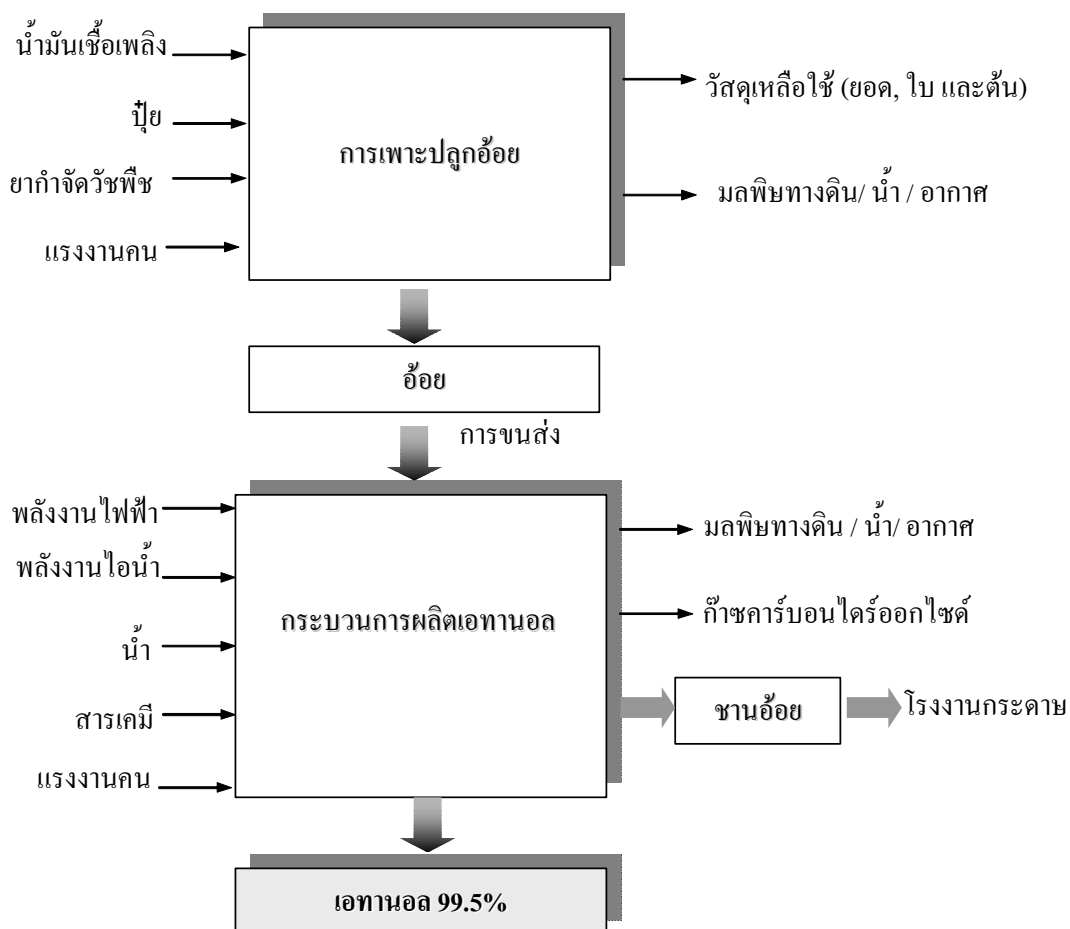
- การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gas)
- การปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน (Eutrophication)
- การปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดกรด (Acidification)
- การปล่อยโลหะหนัก (Heavy Metals)
- การปล่อยสารก่อมะเร็ง (Carcinogens)
- การปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้น โอโซน (Ozone Layer Depletion)



ภาพที่ 30 ขอบเขตการศึกษาของการใช้มันสำปะหลังในรูปมันเส้นเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล



ภาพที่ 31 ขอบเขตการศึกษาของการใช้กากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมของกระบวนการผลิต น้ำตาลทรายเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล



ภาพที่ 32 ขอบเขตการศึกษาของการใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล

1.1.4 การตั้งสมมติฐานและข้อจำกัดในงานวิจัย (Limitation and Assumption)

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตในประเทศไทย ฐานข้อมูลของการผลิตวัตถุดิบหลายชนิดของประเทศไทยยังไม่มีรวบรวมไว้อย่างเป็นระบบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีฐานข้อมูลทั้งของต่างประเทศเป็นหลักซึ่งได้จากโปรแกรม SimaPro 7.0 และฐานข้อมูลที่เป็นของประเทศไทย ที่มีการเก็บรวบรวมไว้แล้ว เช่น พลังงานไฟฟ้า น้ำมันดีเซล เป็นต้น

ข้อจำกัดในการทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ ในงานวิจัยนี้มีดังนี้

งานวิจัยนี้ไม่ได้พิจารณา

-ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการเผาวัสดุเหลือจากการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อย

-ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการสร้างและซ่อมบำรุงโรงงานผลิตเอทานอล และโรงงานที่เกี่ยวข้อง

-ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากอาหารเลี้ยงเชื้อ และยีสต์ในขั้นตอนการเตรียมกล้าเชื้อ เนื่องจาก ไม่มีฐานข้อมูลผลกระทบสิ่งแวดล้อมของต่างประเทศ และในประเทศที่ชัดเจน

1.2. การวิเคราะห์บัญชีรายการ (Inventory analysis)

ขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการ (Life Cycle Inventory; LCI) จะประกอบด้วย การเก็บข้อมูล และการระบุชนิดและปริมาณการใช้วัตถุดิบ น้ำ พลังงาน การปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อม โดยงานวิจัยนี้ข้อมูลที่ใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ตลอดวัฏจักรชีวิตของการใช้มันสำปะหลัง ถากน้ำตาล และอ้อย ในการผลิตเอทานอล จะมีการใช้ข้อมูลทุกข้อมูเป็นหลัก ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้มีการเก็บรวบรวมไว้แล้วจากหน่วยงานต่างๆ หรือข้อมูลจากงานวิจัยที่มีการตีพิมพ์เผยแพร่อย่างเป็นทางการ และข้อมูลปฐมภูมิซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากการสอบถามจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการที่ศึกษา โดยแหล่งข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ของขั้นตอนต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ แสดงดังตารางที่ 21 ถึง 23

ตารางที่ 21 แหล่งข้อมูลในขั้นตอนการเพาะปลูกวัตถุดิบและขั้นตอนการขนส่งที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขั้นตอน	ข้อมูลที่ต้องการ	แหล่งข้อมูล
การเพาะปลูก	ผลผลิตอ้อยเฉลี่ยต่อไร่	
	ปริมาณเชื้อเพลิง	- พฤติกรรมและรูปแบบการใช้พลังงานในการเพาะปลูก : มันสำปะหลัง (จิรพล, 2535)
	ปริมาณยากำจัดวัชพืช	
	ปริมาณปุ๋ยที่ใช้	- พฤติกรรมและรูปแบบการใช้พลังงานในการเพาะปลูก : อ้อย (จิรพล, 2535)
	ปริมาณแรงงานคน	
การขนส่ง	มลพิษที่ออกสู่สิ่งแวดล้อม	- โปรแกรม SimaPro 7.0
		- ฐานข้อมูลประเทศไทย -น้ำมันดีเซล (Varabuntoonvit, V, 2002)
	ระยะทางการขนส่ง	- กรมการขนส่งทางบก
	ความจุของยานพาหนะ	- การศึกษาเปรียบเทียบวัฏจักรพลังงานและ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอด วงจรชีวิต ระหว่างการใช้ดีเซลผสมเอทานอลชนิด 95 เปอร์เซ็นต์ และ 99.5 เปอร์เซ็นต์ ในภาค การขนส่งในประเทศไทย. (จักรภพ, 2546)
	อัตราการใช้เชื้อเพลิง	- โปรแกรม SimaPro 7.0
	มลพิษที่ออกสู่สิ่งแวดล้อม	- โปรแกรม SimaPro 7.0
		- ฐานข้อมูลประเทศไทย -น้ำมันดีเซล (Varabuntoonvit, V, 2002)

ตารางที่ 22 แหล่งข้อมูลในขั้นตอนการผลิตมันเส้นและกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายของการผลิตเอทานอลที่ใช้ในงานวิจัย

ขั้นตอน	ข้อมูลที่ต้องการ	แหล่งข้อมูล
การผลิตมันเส้น	อัตราการผลิตมันเส้น ปริมาณแรงงานคน ปริมาณไฟฟ้า	- การวิเคราะห์การลงทุนในการผลิตมันเส้นสะอาด : กรณีศึกษา อำเภอ เสิงสาง จังหวัด นครราชสีมา (วรินทร์, 2546)
	มลพิษที่ออกสู่สิ่งแวดล้อม	- โปรแกรม SimaPro 7.0 - ฐานข้อมูลประเทศไทย -พลังงานไฟฟ้า (Varabuntoonvit, V, 2002)
การผลิตกากน้ำตาล	ปริมาณอ้อยที่เข้าหีบ ปริมาณชานอ้อยที่ได้/ใช้ ปริมาณไฟฟ้าใช้/ขาย ปริมาณไอน้ำใช้/ขาย ปริมาณสารเคมี ปริมาณผลผลิตรวม	- การบูรณาการกระบวนการผลิตเอทานอลกับโรงงานน้ำตาล และโรงงานแป่งมันสำปะหลังและประเมินเชิงเทคโนโลยีในการทำเอทานอลให้บริสุทธิ์.(บุญยพัต, 2546)
	มลพิษที่ออกสู่สิ่งแวดล้อม	- โปรแกรม SimaPro 7.0 - ฐานข้อมูลประเทศไทย -พลังงานไฟฟ้า (Varabuntoonvit, V, 2002)

ตารางที่ 23 แหล่งข้อมูลในขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ข้อมูลที่ต้องการ	วัตถุดิบ	แหล่งข้อมูล
ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้	มันสำปะหลัง	- การศึกษาต้นแบบโรงงานเอทานอลโดยการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตมันเส้น (เจริญศักดิ์, 2546)
ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้		- As Assessment of Ethanol Supply Potential from Crops in Thailand (Yosin, S, 2007)
ปริมาณไอน้ำที่ใช้		
ปริมาณน้ำประปาที่ใช้		
ปริมาณสารเคมีที่ใช้	กากน้ำตาล	- การบูรณาการกระบวนการผลิตเอทานอลกับโรงงานน้ำตาล, โรงงานแป่งมันสำปะหลัง และประเมิณเชิงเทคโนโลยีในการทำเอทานอลให้บริสุทธิ์. (บุญยพัฒน์, 2546)
ปริมาณแรงงานคนที่ใช้		- การประเมินพลังงานและเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตเอทานอล (พองพศ, 2544.)
ปริมาณผลผลิตรวมที่ได้		
ปริมาณน้ำเสีย	อ้อย	- การบูรณาการกระบวนการผลิตเอทานอลกับโรงงานน้ำตาลและ โรงงานแป่งมันสำปะหลังและประเมิณเชิงเทคโนโลยีในการทำเอทานอลให้บริสุทธิ์.(บุญยพัฒน์, 2546)
		- As Assessment of Ethanol Supply Potential from Crops in Thailand. (Yosin, S, 2007)
มลพิษที่ออกสู่สิ่งแวดล้อม	มันสำปะหลัง / กากน้ำตาล/ อ้อย	- โปรแกรม SimaPro 7.0
		- ฐานข้อมูลประเทศไทย -พลังงานไฟฟ้า (Varabuntoonvit, V, 2002)
		- ฐานข้อมูลประเทศไทย -น้ำประปา (นงศ์นุช, 2547)

1.3. การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)

ในงานวิจัยนี้ ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.0 และโปรแกรม Microsoft Excel สำหรับและประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมใช้วิธี Eco-Indicator 95 ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากข้อมูลบัญชีรายการที่รวบรวมได้ แล้วทำการแปลผลบัญชีรายการหรือข้อมูลไปสู่ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในประเภทต่างๆ สำหรับการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่

1.3.1 การจำแนกประเภท (Classification)

1.3.2 การกำหนดบทบาท (Characterization)

1.3.3 การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization)

1.3.4 การให้สัดส่วนน้ำหนัก (Weighting)

ซึ่งรายชื่อรายละเอียดการคำนวณแต่ละขั้นตอน แสดงรายละเอียดก่อนหน้านี้แล้ว

1.4 การแปลผลการศึกษา (Interpreted)

การแปลผล และการตีความโดยการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมร่วมกับการทำบัญชีรายการเพื่อให้ได้ข้อสรุปและข้อเสนอแนะตามวัตถุประสงค์ และเป้าหมาย เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างผลการศึกษาและวัตถุประสงค์การศึกษา

2. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน

งานวิจัยนี้จะใช้ค่าพลังงานเพิ่มสุทธิ (Net Energy Gain: NEG) เป็นค่าในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน โดยค่าพลังงานเพิ่มสุทธิคือค่าความแตกต่างระหว่างพลังงานที่ได้จากเอทานอล กับพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 1 หน่วย โดยพลังงานที่ได้จากเอทานอลสามารถวัดได้จากค่าความร้อนต่ำ (Low Heating Value: LHV) หรือค่าความร้อนสูง (High Heating Value: HHV) ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกค่าพลังงานความร้อนต่ำ ซึ่งค่าพลังงานความร้อนต่ำของเอทานอลมีค่าประมาณ 21 MJ/ลิตร (กระทรวงพลังงาน, 2551) ดังนั้นถ้าหากค่าพลังงานเพิ่มสุทธิจากเอทานอลที่ผลิตจากวัตถุดิบใดมีค่าสูงแสดงว่า วัตถุดิบนั้นมีประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูงในการผลิตเอทานอล

งานวิจัยนี้จะมีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงพลังงานของการใช้วัตถุดิบต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล ในหน่วยการทำงานที่ เอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 100,000 ลิตร/วัน ซึ่งนอกจากนี้ยังพิจารณาประสิทธิภาพเชิงพลังงานในรูปหน่วยการทำงานใน พื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ เพื่อพิจารณาว่าในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ วัตถุดิบประเภทใดที่มีประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูงสุด เมื่อเทียบพลังงานที่ใช้ในการเพาะปลูก 1 ไร่ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์

ดังนั้น ในการหาค่าพลังงานเพิ่มสุทธิ จึงต้องมีการหาค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล โดยค่าพลังงานที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล จะพิจารณาจากการใช้พลังงานปฏุมภูมิ เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน น้ำมันดิบ น้ำมันเตา เป็นต้น โดยค่าพลังงานที่ใช้ในตลอดวัฏจักรชีวิตของวัตถุดิบประเภทต่างๆ ในขั้นตอนต่างๆตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล มีดังต่อไปนี้

- พลังงานที่ใช้ในการเพาะปลูก ($E_{\text{การเพาะปลูก}}$)

การเพาะปลูกวัตถุดิบนั้น มีปัจจัยต่างๆ ในการเพาะปลูกหลายประเภทได้แก่ เชื้อเพลิงที่ใช้ในเครื่องจักรกลที่ใช้ในการเพาะปลูก ยากำจัดวัชพืชและปุ๋ยที่ใช้ในการบำรุงดูแลในการเพาะปลูก รวมทั้งแรงงานคนที่ใช้ในการเพาะปลูก ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการเพาะปลูกจึงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (13)

$$E_{\text{การเพาะปลูก}} = EC_{\text{เชื้อเพลิง}} + EC_{\text{ยากำจัดวัชพืช}} + EC_{\text{ปุ๋ย}} + EC_{\text{แรงงานคน}} \quad (13)$$

โดยที่ ค่า EC คือ ค่าการใช้พลังงานในส่วนต่างๆ (MJ/หน่วยการทำงาน) ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$EC = \text{ปริมาณการใช้ (หน่วย / หน่วยการทำงาน)} \times \text{ค่าพลังงาน (MJ / หน่วย)}$$

โดยที่ค่าพลังงานของเชื้อเพลิง ปุ๋ย ยากำจัดวัชพืช และแรงงานคน จากการใช้พลังงานปฏุมภูมิ แสดงการคำนวณดังตารางผนวกที่ ค1 – ค3

- พลังงานที่ใช้ในการขนส่ง ($E_{\text{การขนส่ง}}$)

ปริมาณพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการขนส่งจะขึ้นอยู่กับชนิดพาหนะในการขนส่ง ระยะทาง และปริมาณการขนส่ง ต่อหน่วยการทำงาน ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการขนส่งจึงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (14)

$$E_{\text{การขนส่ง}} = [\text{อัตราการใช้พลังงาน (MJ /ตัน-กม.)} \times \text{ระยะทาง (กม.)}] \times \text{ปริมาณการขนส่ง (ตัน /หน่วยการทำงาน)} \quad (14)$$

โดยที่ อัตราการใช้พลังงาน สามารถคำนวณได้จาก

$$\text{อัตราการใช้พลังงาน} = \frac{\text{อัตราการใช้น้ำมัน (ลิตร/ กม.)} \times \text{ค่าพลังงานเชื้อเพลิง (MJ /ลิตร)}}{\text{ความจุพาหนะ (ตัน)}}$$

- พลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสด ($E_{\text{มันเส้น}}$)

การผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสด จะมีการใช้พลังงานจาก 2 ส่วนได้แก่พลังงานจากแรงงานคนที่ใช้ในการผลิตมันเส้นและพลังงานจากเครื่องสับมันเส้น ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตมันเส้นจึงสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (15)

$$E_{\text{มันเส้น}} = EC_{\text{ไฟฟ้า}} + EC_{\text{แรงงานคน}} \quad (15)$$

โดยที่ค่าพลังงานของพลังงานไฟฟ้า และ แรงงานคน ของการผลิตมันเส้น จากการใช้พลังงานปฐมภูมิ แสดงการคำนวณดังตารางผนวกที่ ค1 – ค3

- พลังงานที่ใช้ในการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ($E_{\text{กากน้ำตาล}}$)

การผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย โรงงานน้ำตาลทรายจะสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้า และพลังงานไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ได้เองภายในโรงงาน โดยใช้ชานอ้อยที่ได้จากขั้นตอนการสกัดหีบอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการผลิต ดังนั้น

พลังงานไฟฟ้าและไอน้ำที่ใช้จะ ไม่พิจารณาในงานวิจัยนี้ แต่เนื่องด้วยการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำ มี ปริมาณส่วนเกินขายให้ภายนอกโรงงานน้ำตาลทราย ซึ่งพลังงานส่วนนี้ในงานวิจัยนี้พิจารณาเป็นค่า คิดลบ หรือสามารถลดพลังงานป้อนที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำได้ ดังนั้นพลังงานที่ใช้ใน กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายจึงพิจารณาที่พลังงานที่ใช้ในการผลิตน้ำประปา และสารเคมีที่ใช้ใน กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย รวมทั้งพลังงานจากแรงงานคนที่ใช้ ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการผลิต กากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (16)

$$E_{\text{กากน้ำตาล}} = EC_{\text{น้ำประปา, สารเคมี}} + EC_{\text{แรงงานคน}} - EC_{\text{ไฟฟ้าส่วนเกิน}} - EC_{\text{ไอน้ำส่วนเกิน}} \quad (16)$$

โดยที่ค่าพลังงานของพลังงานไฟฟ้า พลังงานไอน้ำ น้ำประปา และ สารเคมี ของการผลิต กากน้ำตาล จากการ ใช้พลังงานป้อนภูมิ แสดงการคำนวณดังตารางผนวกที่ ก.1 – ก.3

- พลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเอทานอล ($E_{\text{เอทานอล}}$)

ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ จะมีปัจจัยในกระบวนการผลิตใน ทำนองเดียวกัน คือ พลังงานไฟฟ้า พลังงานไอน้ำ และสารเคมีประเภทต่างๆ รวมทั้งแรงงานคน ซึ่ง ในงานวิจัยนี้กำหนดแรงงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ มีค่าเท่ากัน โดย พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (17)

$$E_{\text{การผลิตเอทานอล}} = EC_{\text{ไฟฟ้า}} + EC_{\text{ไอน้ำ}} + EC_{\text{สารเคมี}} + EC_{\text{แรงงานคน}} \quad (17)$$

โดยที่ค่าพลังงานของพลังงานไฟฟ้า, พลังงานไอน้ำ และสารเคมีประเภทต่างๆ ในการผลิต เอทานอล จากการ ใช้พลังงานป้อนภูมิ แสดงการคำนวณดังตารางผนวกที่ ก.1 – ก.3 ซึ่งในการ พิจารณาพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจะไม่พิจารณารวมพลังงานที่ใช้จากอาหารเลี้ยงเชื้อ และ ยีสต์ในขั้นตอนการเตรียมกล้าเชื้อ เนื่องจาก ไม่มีข้อมูลด้านพลังงานที่ใช้ในการผลิตอาหารเลี้ยงเชื้อ และยีสต์ที่ชัดเจน

- พลังงานที่ใช้ทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ

($E_{\text{เอทานอล (มันเส้น)}}$, $E_{\text{เอทานอล (กากน้ำตาล)}}$ และ $E_{\text{เอทานอล (อ้อย)}}$)

เมื่อคำนวณพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลแล้ว จึงสามารถคำนวณพลังงานรวมที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันเส้น กากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาล และอ้อย ดังสมการ(18) ถึง (20)

$$E_{\text{เอทานอล (มันเส้น)}} = E_{\text{การเพาะปลูก}} + E_{\text{การขนส่ง}} + E_{\text{มันเส้น}} + E_{\text{การผลิตเอทานอล (มันเส้น)}} \quad (18)$$

$$E_{\text{เอทานอล (กากน้ำตาล)}} = E_{\text{การเพาะปลูก}} + E_{\text{การขนส่ง}} + E_{\text{กากน้ำตาล}} + E_{\text{การผลิตเอทานอล (กากน้ำตาล)}} \quad (19)$$

$$E_{\text{เอทานอล (อ้อย)}} = E_{\text{การเพาะปลูก}} + E_{\text{การขนส่ง}} + E_{\text{การผลิตเอทานอล (อ้อย)}} \quad (20)$$

3. วิธีการปันส่วน (Allocation Methods)

กระบวนการผลิตเอทานอล นอกจากจะมีเอทานอลเป็นผลผลิตหลักแล้ว ยังมีผลผลิตร่วมที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น กากสำที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น จะมีโปรตีนในปริมาณสูงซึ่งสามารถนำไปขายเป็นอาหารสัตว์ได้ต่อไปหรือ ขานอ้อยที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อยสามารถขายยังโรงงานกระดาษได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีการปันส่วนผลกระทบ สิ่งแวดล้อมและพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล กับผลผลิตร่วมที่ได้ โดยผลผลิตร่วมในกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ แสดงดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 ผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ

วัตถุดิบในการผลิตเอทานอล	ผลผลิตร่วม
มันสำปะหลัง	กากส่า
	ก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์ (CO ₂)
	ฟูเซลอยล์ (Fusel oil)
กากน้ำตาล	ก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์ (CO ₂)
	ฟูเซลอยล์ (Fusel oil)
อ้อย	ชานอ้อย
	ก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์ (CO ₂)
	ฟูเซลอยล์ (Fusel oil)

โดยงานวิจัยนี้เลือกพิจารณาผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล เฉพาะกากส่าจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น และชานอ้อยจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย ส่วนก๊าซ CO₂ และ ฟูเซลอยล์ ไม่ได้พิจารณาในงานวิจัยนี้ เนื่องจากก๊าซ CO₂ มีข้อจำกัดด้านการขนส่ง ทำให้ความเป็นไปได้ในการลงทุนไม่แน่นอน ส่วนฟูเซลอยล์ ปริมาณฟูเซลอยล์ที่ได้จากกระบวนการกลั่นมีปริมาณน้อยและประเทศไทยยังไม่มีเทคโนโลยีการนำไปใช้ประโยชน์ที่ชัดเจน (กล้าณรงค์, 2549)

โดยวิธีการปันส่วน (Allocation Methods) มีได้หลายวิธีด้วยกัน ได้แก่การปันส่วนโดยมวล (Mass Allocation) การปันส่วนโดยพลังงาน (Energy Allocation) และ การปันส่วนโดยวิธีทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Allocation) โดยวิธีการปันส่วนโดยมวล (Mass Allocation) ไม่เหมาะกับงานวิจัยนี้ เนื่องจาก เอทานอลมีสถานะเป็นของเหลว ดังนั้น เมื่อพิจารณาโดยมวลในปริมาณเอทานอล 100,000 ลิตร จึงมีค่าที่ 78.90 ตัน (ความหนาแน่นของเอทานอลมีค่า 0.789 กก./ลิตร) จึงส่งผลให้เมื่อเปรียบเทียบปริมาณเอทานอลกับปริมาณกากส่า และชานอ้อยที่ได้ จึงทำให้ปริมาณเอทานอลมีค่าน้อย ดังนั้นการปันส่วนโดยมวลจึงไม่เหมาะสมในงานวิจัยนี้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการปันส่วนโดยวิธีทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้ราคาตลาด (Market Value) ในการปันส่วนเนื่องด้วยราคาตลาดของเอทานอล และราคาของผลผลิตร่วม ได้แก่ กากส่า และชานอ้อย มีอยู่ชัดเจน ซึ่งสามารถนำมาพิจารณาการปันส่วนได้ อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้มีการวิเคราะห์การเปรียบเทียบวิธีการปันส่วนโดยวิธีต่างๆ ในลำดับถัดไป โดยวิธีการปันส่วนสามารถทำได้โดยการนำค่าการปันส่วนที่ได้

จากการคำนวณ ไปคู่กับค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล และผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดในตลอดวัฏจักรชีวิตจากกระบวนการผลิตเอทานอล โดยการคำนวณค่าการปันส่วนโดยใช้ราคาตลาดในการปันส่วนค่าพลังงานที่ใช้ และผลกระทบสิ่งแวดล้อมกับผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิต สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (21)

$$\text{ค่าการปันส่วน} = \frac{(\text{ปริมาณที่ผลิตได้} \times \text{ราคาตลาด})_{\text{ผลิตภัณฑ์ที่พิจารณา}}}{(\text{ปริมาณที่ผลิตได้} \times \text{ราคาตลาด})_{\text{ผลิตภัณฑ์ที่พิจารณา}} + (\text{ปริมาณที่ผลิตได้} \times \text{ราคาตลาด})_{\text{ผลิตภัณฑ์ทั้งหมด}}} \quad (21)$$

โดยวิธีการปันส่วนวิธีอื่นๆ คิดในทำนองเดียวกันนี้ โดยการเปลี่ยนจากค่าราคาตลาด เป็นปริมาณ ในหน่วยมวล และค่าพลังงานที่ได้จากเอทานอลและผลิตร่วม สำหรับวิธีการปันส่วนโดยมวล และวิธีการปันส่วนโดยพลังงานตามลำดับ

ดังนั้นค่าการปันส่วนโดยวิธีทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้ราคาตลาด ของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันเส้น กากน้ำตาล และอ้อย ในงานวิจัยนี้สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (22) ถึง (24) ตามลำดับ

$$AF_{\text{เอทานอล(มันเส้น)}} = \frac{(Q_{\text{เอทานอล}} \times P_{\text{เอทานอล}})}{(Q_{\text{เอทานอล}} \times P_{\text{เอทานอล}}) + (Q_{\text{กากส่ำ}} \times P_{\text{กากส่ำ}})} \quad (22)$$

$$AF_{\text{เอทานอล (กากน้ำตาล)}} = \frac{(Q_{\text{เอทานอล}} \times P_{\text{เอทานอล}})}{(Q_{\text{เอทานอล}} \times P_{\text{เอทานอล}})} \quad (23)$$

$$AF_{\text{เอทานอล (อ้อย)}} = \frac{(Q_{\text{เอทานอล}} \times P_{\text{เอทานอล}})}{(Q_{\text{เอทานอล}} \times P_{\text{เอทานอล}}) + (Q_{\text{ชานอ้อย}} \times P_{\text{ชานอ้อย}})} \quad (24)$$

โดยที่ AF คือ ค่าการปันส่วน (Allocation Factor)
 Q คือ ปริมาณที่ได้จากกระบวนการผลิต (หน่วย)
 P คือ ราคาตลาด (บาท/ หน่วย)

ส่วนกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล ในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ซึ่งในการพิจารณาค่าการใช้พลังงานและผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากกระบวนการผลิตกากน้ำตาล จึงต้องมีการปันส่วนพลังงานที่ใช้ และผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น กับผลผลิตหลักของกระบวนการคือน้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ และชายอ้อยที่เหลือจากนำไปเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต โดยผลผลิตหลัก และผลผลิตร่วมในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย แสดงดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ชนิดผลผลิตหลักและผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

ผลผลิตหลัก	ผลผลิตร่วม
น้ำตาลทรายดิบ	ชานอ้อย
น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์	กากน้ำตาล

โดยสมการการคำนวณค่าการปันส่วน (Allocation Factor) ของการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย แสดงดังสมการที่ (25)

$$AF_{\text{กากน้ำตาล}} = \frac{(Q_{\text{กากน้ำตาล}} \times P_{\text{กากน้ำตาล}})}{(Q_{\text{กากน้ำตาล}} \times P_{\text{กากน้ำตาล}}) + (Q_{\text{น้ำตาลทราย}} \times P_{\text{น้ำตาลทราย}}) + (Q_{\text{ชานอ้อย}} \times P_{\text{ชานอ้อย}})} \quad (25)$$

ดังนั้น จึงสามารถสรุปสมการการคำนวณค่าการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล จากวัตถุดิบมันสำปะหลัง กากน้ำตาล และอ้อย โดยมีการปันส่วนกับผลผลิตร่วม แสดงดังสมการที่ (26) ถึง (28) ตามลำดับ

$$E_{\text{เอทานอล (มันเส้น)}} = [E_{\text{การเพาะปลูก}} + E_{\text{การขนส่ง}} + E_{\text{มันเส้น}} + E_{\text{การผลิตเอทานอล (มันเส้น)}}] \times AF_{\text{เอทานอล(มันเส้น)}} \quad (26)$$

$$E_{\text{เอทานอล (กากน้ำตาล)}} = [E_{\text{การเพาะปลูก}} + E_{\text{การขนส่ง (อ้อย)}} + E_{\text{กากน้ำตาล}}] \times AF_{\text{กากน้ำตาล}} + [E_{\text{การผลิตเอทานอล (กากน้ำตาล)}} + E_{\text{การขนส่ง (กากน้ำตาล)}}] \times AF_{\text{เอทานอล (กากน้ำตาล)}} \quad (27)$$

$$E_{\text{เอทานอล (อ้อย)}} = [E_{\text{การเพาะปลูก}} + E_{\text{การขนส่ง}} + E_{\text{การผลิตเอทานอล (อ้อย)}}] \times AF_{\text{เอทานอล (อ้อย)}} \quad (28)$$

ส่วนการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล จากมันสำปะหลัง, กากน้ำตาล และอ้อย โดยมีการปันส่วนกับผลผลิตร่วม แสดงดังสมการที่ (29) ถึง (31)

$$Env_{\text{เอทานอล (มันเส้น)}} = [Env_{\text{การเพาะปลูก}} + Env_{\text{การขนส่ง}} + Env_{\text{มันเส้น}} + Env_{\text{การผลิตเอทานอล (มันเส้น)}}] \times AF_{\text{เอทานอล (มันเส้น)}} \quad (29)$$

$$Env_{\text{เอทานอล (กากน้ำตาล)}} = [Env_{\text{การเพาะปลูก}} + Env_{\text{การขนส่ง (อ้อย)}} + Env_{\text{กากน้ำตาล}}] \times AF_{\text{กากน้ำตาล}} + [Env_{\text{การขนส่ง (กากน้ำตาล)}} + Env_{\text{การผลิตเอทานอล (กากน้ำตาล)}}] \times AF_{\text{เอทานอล (กากน้ำตาล)}} \quad (30)$$

$$Env_{\text{เอทานอล (อ้อย)}} = [Env_{\text{การเพาะปลูก}} + Env_{\text{การขนส่ง}} + Env_{\text{การผลิตเอทานอล (อ้อย)}}] \times AF_{\text{เอทานอล (อ้อย)}} \quad (31)$$

โดยที่ Env คือ ค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนต่างๆ ในตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล

4. การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ จะทำการวิเคราะห์โดยหาต้นทุนในการผลิตเอทานอล ว่าวัตถุดิบประเภทใดในการผลิตเอทานอลมีต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด ซึ่งแสดงว่าวัตถุดิบนั้นมีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์สูงสุด หรือมีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุด โดยต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอลของการใช้มันสำปะหลังในรูปมันเส้นและอ้อย จะพิจารณาต้นทุนตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อย การขนส่งวัตถุดิบ การผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสด จนกระทั่งถึงต้นทุนในขั้นตอนการผลิตเอทานอล ส่วนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล จะพิจารณาตั้งแต่ต้นทุนกากน้ำตาลที่เป็นผลผลิตร่วมในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ซึ่งซื้อโดยตรงจากโรงงานน้ำตาลทราย การขนส่งกากน้ำตาลมายังโรงงานผลิตเอทานอล จนกระทั่งถึงต้นทุนที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล ซึ่งต้นทุนที่ใช้วิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตเอทานอลของงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ต้นทุนการลงทุน (Investment Cost) ต้นทุนการดำเนินงาน (Operating Cost) และต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม (External Cost) โดยรายละเอียดวิธีการวิเคราะห์ต้นทุนแต่ละประเภท มีดังต่อไปนี้

4.1 ต้นทุนการลงทุน (Investment Cost)

ต้นทุนการลงทุน เป็นต้นทุนที่ใช้ในการลงทุนในการดำเนินการต่างๆ โดยขั้นตอนต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล จะมีต้นทุนการผลิตในการลงทุนที่แตกต่างกันออกไป โดยรายการต้นทุนที่ใช้ในการลงทุนที่พิจารณา ในงานวิจัยนี้แสดงได้ดังตารางที่ 26

ข้อกำหนดในการพิจารณาต้นทุนการผลิตในการผลิตเอทานอลในงานวิจัยนี้

- ขั้นตอนการเพาะปลูกไม่พิจารณาการลงทุนด้านพื้นที่การเพาะปลูก เนื่องจากไม่มีข้อมูลที่แน่ชัดด้านการลงทุนซื้อ หรือการเช่าพื้นที่การเพาะปลูก
- ขั้นตอนการเพาะปลูกไม่พิจารณาอุปกรณ์ย่อยๆ ในการเพาะปลูก เช่น จอบ เสียมมีด ตัดหญ้า เนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวมีต้นทุนต่ำ เมื่อเทียบกับต้นทุนการผลิตในการลงทุนทั้งหมด
- ขั้นตอนการเพาะปลูกจะไม่พิจารณาต้นทุน จากท่อนพันธุ์ เนื่องจากเกษตรกรเกษตรกร จะมีการใช้ท่อนพันธุ์จากการเพาะปลูกพืชเดิมของตนเองที่เก็บเกี่ยวแล้ว
- ขั้นตอนการเพาะปลูกไม่พิจารณาต้นทุนการผลิต ด้านรถแทรกเตอร์ เนื่องจาก การไถเตรียมหน้าดินของเกษตรกร ร้อยละ 80 มีการว่าจ้างในการเตรียมหน้าดิน
- ขั้นตอนการขนส่งไม่มีต้นทุนในการลงทุน เนื่องจากมีการว่าจ้างในการขนส่งวัตถุดิบ
- ความเสื่อมราคาของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจะไม่คิดกับค่าการลงทุนการผลิต เนื่องจากได้รวมกับมูลค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์แล้ว (อภิศักดิ์, 2549)

โดยราคาดัชนีและแหล่งข้อมูลทั้งหมดของการผลิตในขั้นตอนการเพาะปลูก การผลิตเอทานอล แสดงรายละเอียด ในตารางผนวกที่ ง1- ง5

ตารางที่ 26 รายการต้นทุนการลงทุนและอายุการใช้งานในตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล

ขั้นตอน	รายการ	อายุการใช้งาน
การเพาะปลูก ^a	เครื่องสูบน้ำ	10
	เครื่องพ่นยากำจัดศัตรูพืช	10
การขนส่ง	-	-
การผลิตมันเส้น ^b	ลานมันเส้น	10
	เครื่องสับหัวมันสำปะหลัง	5
	ตาชั่ง	5
	คราด พลั่ว	5
	ผ้าใบ	3
	ไม้พลิกชั้นมัน ไม้คั่นชั้นมัน	2
	เข่ง ไม้กวาด	2
การผลิตเอทานอล ^c	ถังผสม	20
	ถังแอมโมเนียมซัลเฟต	20
	ถังโพแทสเซียมฟอสเฟต	20
	ถัง Termamyl	20
	ถังกรดซัลฟูริก ถัง AMG	20
	ถังย่อยแป้งครั้งที่ 1 (Liquefaction)	20
	ถังย่อยแป้งครั้งสุดท้าย (Saccharification)	20
	ถังหมัก	20
	ถังดักเก็บก๊าซ CO ₂	20
	เครื่องกรอง	20
	ถังพัก	20
	หอกลั่น / หอดูดซับ (Molecular Sieve)	20
	ถังเก็บน้ำ ถังเก็บเอทานอล	20
	เครื่องสกัดหีบอ้อย	20
	ถังกากน้ำตาล	20

ที่มา: ^a จีรพล (2535) ^b วรินทร์ (2545) ^c Yosin, S (2007)

ขั้นตอนการผลิตเอทานอลจะมีการพิจารณาต้นทุนการผลิตจากค่าใช้จ่ายเริ่มแรกของ
โครงการ การสร้างโรงงานผลิตเอทานอล ซึ่งจะอยู่ในระยะก่อสร้างโดยค่าใช้จ่ายในการลงทุนการผลิต
ของโรงงานเอทานอลในงานวิจัยนี้ คือ

1. ที่ดินและค่าใช้จ่ายในการพัฒนาที่ดิน โดยโครงการมีการซื้อที่ดินรวมค่าใช้จ่ายใน
การพัฒนาที่ดิน ที่ดินไร่ละ 500,000 บาท โดยโครงการผลิตเอทานอล 100,000ลิตร ใช้พื้นที่ 127ไร่
(อภิศักดิ์, 2549)

2. ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายส่วนนี้คิดเป็นร้อยละ 30
ของมูลค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ (อภิศักดิ์, 2549 อ้างจาก Ulrich, 1984)

3. การสร้างอาคารและโรงเก็บวัตถุดิบ อุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายส่วนนี้คิดเป็นร้อยละ 24
ของมูลค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ (อภิศักดิ์, 2549 อ้างจาก Ulrich, 1984)

4. ค่าวิศวกร ค่าใช้จ่ายส่วนนี้คิดเป็นร้อยละ 40 ของมูลค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์ (อภิ
ศักดิ์, 2549 อ้างจาก Ulrich, 1984)

5. ค่าใช้จ่ายในการจัดการ โดยค่าใช้จ่ายส่วนนี้หมายถึง ค่าสาธารณูปโภคในระยะ
ก่อสร้าง ค่าธรรมเนียมในการทำสัญญาเป็นต้น อุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายส่วนนี้คิดเป็นร้อยละ 30 ของมูลค่า
เครื่องจักรและอุปกรณ์ (อภิศักดิ์, 2549 อ้างจาก Ulrich, 1984)

6. ค่าใช้จ่ายในการควบคุม อุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายส่วนนี้คิดเป็นร้อยละ 25 ของมูลค่า
เครื่องจักรและอุปกรณ์ (อภิศักดิ์, 2549 อ้างจาก Ulrich, 1984)

7. ค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบบำบัดน้ำเสียโดยต้นทุนในการสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย
ของ โรงงานเอทานอลที่กำลังการผลิต 100,000 ลิตร มีค่าประมาณ 35 ล้านบาท โดยรายละเอียด
แสดงดังตารางผนวกที่ 5 (Yosin, S, 2007)

เมื่อได้ต้นทุนการผลิตที่ใช้ในการลงทุนในขั้นตอนต่างๆก็สามารถนำต้นทุนที่ได้ แปลงค่าต้นทุนให้อยู่ในรูปหน่วยการทำงาน ของงานวิจัยนี้ ก็ให้อยู่ในหน่วย บาท/เอทานอล 100,000 ลิตรได้ (Yosin, 2001) โดยคำนวณได้จากสมการที่ (32)

$$A = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (32)$$

โดยที่ A คือต้นทุนการลงทุน (บาทต่อปี)
 P คือ ต้นทุนการลงทุนในกระบวนการผลิต (บาท)
 i คือ อัตราคิดลด (ร้อยละ)
 n คือ อายุการใช้งาน (ปี)

ในงานวิจัยนี้ ใช้ค่าอัตราคิดลดร้อยละ 5 ซึ่งเป็นอัตราพันธบัตรรัฐบาล เพราะหมายถึงค่าเสียโอกาสของทุน ซึ่งก็คือผลตอบแทนของการใช้ทุนไปในทางเลือกที่ดีที่สุด (อภิศักดิ์, 2549) ส่วนอายุโครงการ หมายถึงช่วงระยะโครงการที่โครงการให้ผลประโยชน์ โดยงานวิจัยนี้ให้อายุโครงการของโรงงานผลิตเอทานอลมีค่า 20 ปี ตามอายุของเครื่องจักร (อภิศักดิ์, 2549)

ดังนั้น เมื่อได้ต้นทุนในการลงทุนในหน่วย บาทต่อปี ก็สามารถหาค่าต้นทุนการผลิตในหน่วย บาท / เอทานอล 100,000 ลิตรได้โดย หาค่าต้นทุนการลงทุน (บาท/ปี) ด้วยปริมาณผลผลิตที่ผลิตได้ต่อปีโดยกระบวนการผลิตเอทานอลของโรงงานเอทานอลที่กำลังการผลิต 100,000 ลิตร/วัน ซึ่งงานวิจัยนี้ กำหนด 1 ปีโรงงานผลิตเอทานอลดำเนินงาน 330 วัน ดังนั้น 1 ปีสามารถผลิตเอทานอลได้ 3.30×10^8 ลิตร

4.2 ต้นทุนการดำเนินงาน (Operating Cost)

ต้นทุนการดำเนินงาน จะประกอบด้วยต้นทุนหลายๆ ด้าน โดย ในขั้นตอนต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล จะมีต้นทุนในการดำเนินงานที่แตกต่างกันออกไป โดยราคาและแหล่งข้อมูลของต้นทุนแต่ละชนิดแสดงรายละเอียดดังตารางผนวกที่ ง7 โดยรายการต้นทุนที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนในการผลิตเอทานอล แสดงได้ดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 รายการต้นทุนการดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล

ขั้นตอน	รายการ
การเพาะปลูก	เชื้อเพลิง
	ปุ๋ย
	ยากำจัดวัชพืช
	ค่าแรงงานคน
การขนส่ง	เชื้อเพลิง
	ค่าแรงงานคน
การผลิตมันเส้น	ค่าไฟฟ้า
	ค่าแรงงานคน
กระบวนการผลิตเอทานอล	ค่าไฟฟ้า
	ค่าไอน้ำ
	สารเคมี
	แรงงานคน

4.3 ต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม (External Cost)

ต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะวัดจาก ผลการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม จากขั้นตอนต่าง ๆ ในตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล ว่ามลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม เมื่อตีค่าเป็นความเสียหายที่เกิดขึ้นจะเป็นปริมาณเงินเท่าใด โดยมลพิษที่พิจารณาความเสียหายเป็นต้นทุนเมื่อปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยการคำนวณหาค่าต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมในตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7) ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

ในงานวิจัยนี้ พิจารณาต้นทุนต่อหน่วยการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม ของมลพิษแต่ละประเภท โดยค่าได้มาจากค่าเฉลี่ยจากค่าต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากงานวิจัยต่างๆ แสดงรายละเอียดดังตารางผนวกที่ ง12 ซึ่งสามารถสรุปค่าต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ดังตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ประเภทมลพิษและต้นทุนผลกระทบเมื่อปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อม

ประเภทมลพิษ		ต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อม ; VED (บาท / kg _{Pollution})
ก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์	(CO ₂)	1.807
ก๊าซซัลเฟอร์ไดร็อกไซด์	(SO ₂)	78.412
ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์	(NO _x)	121.434
ก๊าซไดไนโตรเจนออกไซด์	(N ₂ O)	144.899
ก๊าซมีเทน	(CH ₄)	10.069

ในกระบวนการผลิตเอทานอลนอกจากจะมีเอทานอล เป็นผลผลิตหลักแล้ว ยังมีผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล ซึ่งสามารถขายได้ต่อไป ได้แก่ กากสำจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น ซึ่งสามารถขายเป็นอาหารสัตว์ได้ต่อไป ส่วนกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อยจะมีขานอ้อยเป็นผลผลิตร่วม ซึ่งสามารถขายโรงงานกระดาษได้ ดังนั้น รายได้ที่ขายผลผลิตร่วมเหล่านี้ สามารถหักลบต้นทุนในการผลิตเอทานอลได้ โดยราคาผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล แสดงดังตารางผนวกที่ 38 ดังนั้นต้นทุนรวมทั้งหมดในการผลิตเอทานอล แสดงสามารถสรุปรวมได้ดังภาพที่ 33

$$\begin{array}{rcl}
 & \text{ต้นทุนการลงทุน (Investment Cost)} & \\
 & + & \\
 & \text{ต้นทุนการดำเนินงาน (Operating Cost)} & \\
 \text{ต้นทุนรวมในการผลิตเอทานอล} = & + & \\
 & \text{ต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม (External Cost)} & \\
 & - & \\
 & \text{ราคาผลผลิตร่วม (Co-Product)} &
 \end{array}$$

ภาพที่ 33 ต้นทุนทั้งหมดในการผลิตเอทานอล

ผลและวิจารณ์

1. การทำบัญชีรายการ

การทำบัญชีรายการ เป็นการรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยข้อมูลเหล่านั้นจะประกอบด้วย

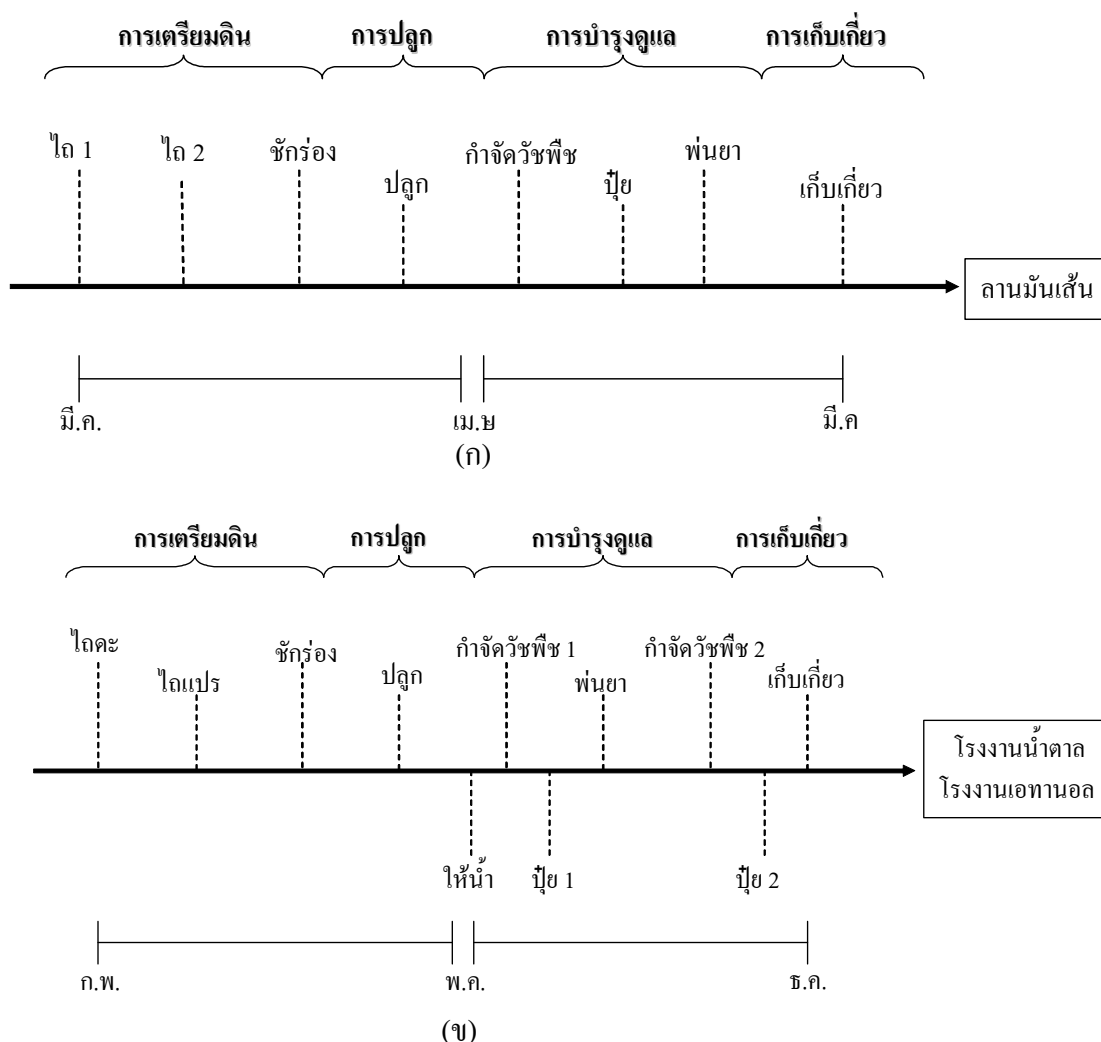
- ชนิด และปริมาณ ของการใช้พลังงานด้านต่างๆ เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานไอน้ำ และ พลังงานเชื้อเพลิง เป็นต้น
- ชนิด และปริมาณ ของการใช้ปัจจัยการผลิตประเภทต่างๆ เช่น ยากำจัดวัชพืช ปุ๋ยเคมี สารเคมี เป็นต้น
- ปริมาณแรงงานคนที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล
- ชนิด และปริมาณของผลผลิตรวมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น กากสำ ชานอ้อย กากคาร์บอนไดร็อกไซด์ เป็นต้น
- ชนิด และปริมาณมลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ในขั้นตอนต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล

การทำบัญชีรายการในงานวิจัยนี้จะเสนอตามขั้นตอนต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิต ของการผลิตเอทานอล โดยจะเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะปลูกวัตถุดิบ (มันสำปะหลังและอ้อย) การขนส่ง การแปรรูปวัตถุดิบ (การผลิตมันเส้นและการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย) และ กระบวนการผลิตเอทานอลจนได้เอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์

1.1 ขั้นตอนการเพาะปลูก

ข้อมูลในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อยได้จากรายงานวิจัย เรื่อง “การศึกษาพฤติกรรมและ รูปแบบการใช้พลังงานในการเพาะปลูก; มันสำปะหลัง” และ “การศึกษาพฤติกรรมและ รูปแบบการใช้พลังงานในการเพาะปลูก; อ้อย ” (จิรพล, 2535) โดยข้อมูลการเพาะปลูกมันสำปะหลังได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูล 14 จังหวัด โดยแบ่งเป็น 8 เขตเกษตรเศรษฐกิจ 1,055 ครัวเรือน โดยรายละเอียดจังหวัดที่ศึกษา แสดงรายละเอียดในตารางผนวกที่ ก1 ส่วนการเพาะปลูกอ้อยได้จาก

การเก็บรวบรวมข้อมูล 10 จังหวัด โดยแบ่งเป็น 5 เขตเกษตรเศรษฐกิจ 1,048 ครัวเรือน แต่เนื่องจากในการเพาะปลูกอ้อย เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 8 11 และ 12 มีการใช้ปุ๋ยสูตร 21-0-0 คิดเป็น ร้อยละ 67 ของประเภทปุ๋ยที่ใช้ในการเพาะปลูกอ้อยทั้งหมด ส่วนเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 1 3 และ 15 มีการใช้ปุ๋ยสูตรอื่นๆ ที่แตกต่างออกไป ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงขอพิจารณาเฉพาะเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 8 11 และ 12 ที่มีการเก็บรวบรวมข้อมูล 726 ครัวเรือน จาก 6 จังหวัด ครัวเรือน โดยรายละเอียดจังหวัดที่ศึกษา แสดงรายละเอียดในตารางผนวกที่ ก2 ขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อยจะเริ่มตั้งแต่ การเตรียมดิน การปลูก การบำรุงดูแลรักษา ไปจนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิตที่ได้ โดยขั้นตอนแต่ละช่วงเวลา แสดงดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 ลำดับและขั้นตอนการเพาะปลูกวัตถุดิบ

(ก) มันสำปะหลัง

(ข) อ้อย

โดยรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อยมีดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนการเตรียมดิน

ขั้นตอนการเตรียมดินก่อนการเพาะปลูกจะช่วยให้พื้นที่ที่ผ่านการเก็บเกี่ยวในฤดูการเพาะปลูกที่ผ่านมา สามารถใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกใหม่ได้ โดยการไถพรวนดินกำจัดวัชพืชโดยรถแทรกเตอร์จะทำแนวร่องเพาะปลูกเพื่อความสะดวกในการเพาะปลูก และเพื่อป้องกันการสูญเสียของพันธุ์พืช

- ขั้นตอนการเตรียมพันธุ์และการปลูก

ขั้นตอนการเตรียมพันธุ์ จะเริ่มตั้งแต่การเก็บรวบรวมท่อนพันธุ์ทั้งจากแปลงเพาะปลูกเดิมของตนเองที่เก็บเกี่ยวแล้ว เมื่อได้ท่อนพันธุ์สำหรับการเพาะปลูกแล้วจึงทำการสุ่มรวมกองไว้ในไร่นากว่าการเตรียมดินจะเสร็จ จากนั้นจะทำการปลูกก็สับท่อนพันธุ์ให้ได้ขนาดพอเหมาะ แล้ววางรายตามแนวร่องปลูก

- ขั้นตอนการบำรุงดูแล

ขั้นตอนการบำรุงดูแลการเพาะปลูกจะประกอบด้วยกิจกรรมที่สำคัญ ได้แก่ การกำจัดวัชพืชโดยการไถพรวนและการใช้สารเคมี รวมทั้งการใส่ปุ๋ยรายละเอียดในขั้นตอนการบำรุงดูแลในแต่ละกิจกรรมมีดังต่อไปนี้

ก. การกำจัดวัชพืชโดยวิธีกล การกำจัดวัชพืชโดยวิธีกลในพื้นที่การเพาะปลูกสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การถางวัชพืชด้วยแรงงานคนโดยใช้ จอบ เสียม การไถพรวน ด้วยแรงงานสัตว์และรถแทรกเตอร์

ข. การพ่นยากำจัดวัชพืช การกำจัดวัชพืชนอกจากจะการใช้การไถพรวนดินและตากหญ้าแล้วเกษตรกรยังสามารถใช้วิธีพ่นยาในการกำจัดวัชพืชอีกวิธีหนึ่ง

ค.การใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ยในการเพาะปลูกของเกษตรกรนั้นสามารถใช้ได้ทั้งปุ๋ยคอกและปุ๋ยเคมี

ง.การสูบน้ำ ส่วนใหญ่เกษตรกรสูบน้ำเข้าพื้นที่การเกษตร ตามความจำเป็น แม้พื้นที่การเพาะปลูกจะอยู่ในเขตชลประทานหรือไม่ แต่ถ้าพื้นที่การเพาะปลูกมีปริมาณฝนตกเหมาะสมก็ไม่จำเป็นต้องสูบน้ำเข้าพื้นที่การเกษตร

- ขั้นตอนการเก็บเกี่ยว

การเก็บเกี่ยววัตถุดิบในพื้นที่การเพาะปลูกสามารถทำได้โดยใช้เครื่องกล เช่น รถแทรกเตอร์ หรือโดยแรงงานคนขุดหัวมันโดยตรง ซึ่งการเก็บเกี่ยววัตถุดิบเป็นกิจกรรมที่ใช้แรงงานคนเป็นส่วนใหญ่ โดยผลผลิตของแต่ละพื้นที่จะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของพันธุ์อ้อย

ในการเพาะปลูกอ้อยและมันสำปะหลังให้ผลผลิตต่อไร่ และพื้นที่เพาะปลูกวัตถุดิบที่ต้องการใช้ในหน่วยการทำงานที่ศึกษา หรือ เอทานอล 100,000 ลิตร/วัน แสดงดังตารางที่ 29

ตารางที่ 29 ผลผลิตต่อไร่ของวัตถุดิบ และพื้นที่เพาะปลูกวัตถุดิบเพื่อผลิตเอทานอลปริมาณ 100,000 ลิตร

รายการ	วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอล		
	มันสำปะหลัง	กากน้ำตาล (อ้อย)	อ้อย
ผลผลิตต่อไร่ (ตัน/ไร่)	2.03	9.02	9.02
พื้นที่การเพาะปลูก (ไร่)	310.63	841.08	133.69

ขั้นตอนต่างๆ ในการเพาะปลูกนั้นบางขั้นตอนจะมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อใช้ในการเพาะปลูกได้แก่ รถแทรกเตอร์ที่ใช้ในการไถพรวนเตรียมดินก่อนการเพาะปลูกและการเก็บเกี่ยวผลผลิต เครื่องสูบน้ำในการสูบน้ำเข้าพื้นที่การเกษตรในการเพาะปลูก และเครื่องพ่นยาประเภทใช้เครื่องยนต์ โดยรายละเอียดปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล และน้ำมันเบนซิน) ในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่แสดงดังตารางผนวกที่ ก.3 ส่วนปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ในการเพาะปลูก เพื่อนำผลผลิตที่ได้มาผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงดังตารางที่ 30

การเพาะปลูกวัตถุดิบมีการใช้สารเคมีในการเพาะปลูก เช่น สารกำจัดวัชพืช และปุ๋ยเคมี โดยปริมาณ การใช้ยากำจัดวัชพืชและปุ๋ยเคมี รวมทั้งปริมาณการใช้เครื่องจักรต่างๆในการเพาะปลูก เช่น การเตรียมดิน การไถพรวนและการฉีดยาเพื่อกำจัดวัชพืช และการสูบน้ำ ในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ แสดงดังตารางผนวกที่ ก4 – ก5 ส่วนปริมาณการใช้ปัจจัยในการเพาะปลูก เพื่อนำผลผลิตที่ได้ มาผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงดังตารางที่ 31

แรงงานคนก็มีส่วนสำคัญในการเพาะปลูก เนื่องจากบางขั้นตอนในการเพาะปลูกยังจำเป็นต้องใช้แรงงานคนเป็นจำนวนมาก เช่น การปลูก การไถพรวนเพื่อกำจัดวัชพืช และการเก็บเกี่ยว โดยรายละเอียดปริมาณแรงงานคนที่ใช้ในการเพาะปลูกในขั้นตอนต่างๆในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ แสดงดังตารางผนวกที่ ก6 ส่วนปริมาณแรงงานคนที่ใช้ในการเพาะปลูก เพื่อนำผลผลิตที่ได้มาผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงดังตารางที่ 32

ตารางที่ 30 ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเพาะปลูกวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล

(หน่วย: ลิตร/เอทานอล 100,000 ลิตร)			
กิจกรรมและรายละเอียด	มันสำปะหลัง	กากน้ำตาล (อ้อย)	อ้อย
การเตรียมดิน	1,510.44	4,188.58	665.78
การเตรียมพันธุ์และการปลูก			
การบำรุงดูแล			
- การไถพรวนกำจัดวัชพืช			
- การพ่นยากำจัดวัชพืช(น้ำมัน	43.10	126.16	20.05
เบนซิน)	13.76	33.64	5.35
- การสูบน้ำ			
ดีเซล		16.82	2.67
เบนซิน		412.13	65.51
การเก็บเกี่ยว	34.95		
ปริมาณเชื้อเพลิงรวม			
ดีเซล	1,588.49	4,331.56	688.50
เบนซิน	13.76	445.77	70.86

ตารางที่ 31 กิจกรรมและปริมาณปุ๋ยและยากำจัดวัชพืชในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและ อ้อย
(หน่วย: หน่วย/ เอทานอล 100,000 ลิตร)

กิจกรรมและรายละเอียด	หน่วย	มันสำปะหลัง	กากน้ำตาล	อ้อย
การเตรียมดิน				
- รถแทรกเตอร์	ชั่วโมง	307.52	571.93	90.91
การเตรียมพื้นที่และการปลูก				
การบำรุงดูแล				
- การใส่ปุ๋ย				
สูตรปุ๋ย 15-15-15	ตัน	6.98		
สูตรปุ๋ย 21-0-0	ตัน		48.81	7.80
- การไถพรวนกำจัดวัชพืช				
รถแทรกเตอร์	ชั่วโมง	49.70	67.29	10.70
- การพ่นยากำจัดวัชพืช				
เครื่องพ่นยา	ชั่วโมง	810.43	2,817.62	447.86
ยากำจัดศัตรูพืช	กก.	0.93	353.25	56.15
- การสูบน้ำ				
เครื่องสูบน้ำ	ชั่วโมง		1,387.78	220.59
การเก็บเกี่ยว				

ตารางที่ 32 ปริมาณแรงงานคนที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อย
(หน่วย: ชม.-คน / เอทานอล 100,000 ลิตร)

กิจกรรมและรายละเอียด	มันสำปะหลัง	กากน้ำตาล	อ้อย
การเตรียมดิน	819.29	878.68	139.67
การเตรียมพื้นที่และการปลูก	4,400.97	22,434.49	3,565.97
การบำรุงดูแล			
- การใส่ปุ๋ย	2,290.90	3,705.04	588.92
- การไถพรวนกำจัดวัชพืช	11,000.18	20,765.79	3,300.73
- การพ่นยากำจัดวัชพืช	799.87	916.48	145.68
การเก็บเกี่ยว	11,757.35	36,316.01	5,772.44
แรงงานรวม	32,138.56	85,016.49	13,513.41

ตารางที่ 30 31 และ 32 พบว่าการเพาะปลูกอ้อยเพื่อผลิตกากน้ำตาลจะมีการใช้เชื้อเพลิงและปัจจัยในการเพาะปลูกสูงสุด เนื่องจาก การเพาะปลูกอ้อยเพื่อผลิตกากน้ำตาลมีการใช้พื้นที่การเพาะปลูกสูงสุด กล่าวคือ ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ต้องการกากน้ำตาลในรูปผลผลิตรวม กับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย 275.50 ตัน ซึ่งต้องใช้อ้อยในการผลิต 7,587 ตัน แต่ในงานวิจัยนี้จะมีการปันส่วนค่าการใช้พลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม กับน้ำตาลซึ่งเป็นผลผลิตหลักในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายภายหลัง

แรงงานคนที่ใช้ในการเพาะปลูก นอกจากจะมาจากแรงงานจากเกษตรกรผู้ซึ่งเป็นเจ้าของพื้นที่ในการเพาะปลูกแล้ว ยังมีการว่าจ้างแรงงานคนเพื่อใช้ในการเพาะปลูก โดยสัดส่วนของการว่าจ้างเกษตรกรในการเพาะปลูกมันสำปะหลัง และอ้อย ในขั้นตอนต่างๆ ในการเพาะปลูกแสดงดังตารางที่ 33

ตารางที่ 33 ร้อยละการว่าจ้างแรงงานคนที่ใช้ในการเพาะปลูกในขั้นตอนต่างๆ

(หน่วย: ร้อยละ)

กิจกรรมและรายละเอียด	มันสำปะหลัง	อ้อย
การเตรียมดิน	84	88
การเตรียมพันธุ์และการปลูก	67	80
การบำรุงดูแล	na.	66
การเก็บเกี่ยว	89	98

ที่มา: จีรพล (2535)

ตารางที่ 33 แสดงสัดส่วนการว่าจ้างแรงงานคนที่ใช้ในการเพาะปลูกในขั้นตอนต่างๆ พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่จะมีการว่าจ้างแรงงานคนเพื่อใช้ในการเพาะปลูก เนื่องจาก ขนาดพื้นที่ในการเพาะปลูกมีขนาดใหญ่เกินกว่ากำลังแรงงานคนภายในครัวเรือนเกษตรกร จะสามารถดำเนินการเพาะปลูกเองได้

1.2 ขั้นตอนการขนส่ง

การขนส่งตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆจะมีลำดับขั้นตอนการขนส่งที่แตกต่างกันไป กล่าวคือ การขนส่งในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ในรูปมันเส้น การขนส่งเริ่มจากการขนส่งมันสำปะหลังจากไร่มันสำปะหลังไปยังลานมันเส้น จากนั้นก็มีการขนส่งมันเส้นจากลานมันเส้นไปสู่โรงงานผลิตเอทานอล ส่วนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย การขนส่งจะเริ่มจากการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปยังโรงงานน้ำตาลทราย จากนั้นก็ขนส่งกากน้ำตาลไปสู่โรงงานผลิตเอทานอล ส่วนการผลิตเอทานอลจากอ้อย จะมีการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปสู่โรงงานเอทานอลโดยตรง โดยรายละเอียดการขนส่งในด้านต่างๆ มีดังต่อไปนี้

- การขนส่งวัตถุดิบจากพื้นที่เพาะปลูกวัตถุดิบไปยังแหล่งแปรรูป (ลานมัน และ โรงงานน้ำตาลทราย)

ปี พ.ศ. 2546 จากการสำรวจลานมันในประเทศไทย พบว่า มีลานมันทั่วประเทศ 871 แห่ง (มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย, 2550) ในงานวิจัยนี้จะกำหนดระยะทางจากไร่มันสำปะหลังไปยังลานมันเส้นที่ระยะทาง 10 กิโลเมตร เนื่องจากการตั้งลานมันจะตั้งในบริเวณใกล้ตำแหน่งพื้นที่การเพาะปลูกมันสำปะหลัง

ปี พ.ศ.2549 ประเทศไทยมีจำนวนโรงงานน้ำตาลทราย 46 โรงงาน (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2551) แต่ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะโรงงานน้ำตาลทรายที่ตั้งอยู่ใกล้โรงงานเอทานอล โดยจากที่สำรวจโรงงานน้ำตาลทรายที่ตั้งใกล้โรงงานผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมี 16 โรงงาน ซึ่งระยะทางจากไร่อ้อยไปยังโรงงานน้ำตาลทราย จะพิจารณาไร่อ้อยที่ตั้งใกล้อยู่ในอำเภอที่ใกล้โรงงานน้ำตาลทรายมากที่สุด โดยพิจารณาความต้องการอ้อย จากกำลังการผลิต และ ถ้าอำเภอที่อยู่ใกล้ปริมาณอ้อยไม่เพียงพอกับปริมาณความต้องการ ก็จะพิจารณาไร่อ้อยที่อำเภอใกล้เคียงไป จนกระทั่งอ้อยเพียงพอต่อความต้องการของโรงงานน้ำตาลทราย

- การขนส่งวัตถุดิบที่แปรรูปแล้ว (มันเส้น และกากน้ำตาล จากแหล่งแปรรูปไปยัง โรงงานเอทานอล

ข้อมูลในการขนส่งจากแหล่งแปรรูปไปยังโรงงานเอทานอล ได้จากการคำนวณหา ระยะทางเฉลี่ยของจากแหล่งแปรรูปไปยังโรงงานเอทานอลทั่วประเทศ ซึ่งปัจจุบันโรงงานผลิตเอทานอลมีจำนวน 45 โรงงาน โดยรายชื่อโรงงานผลิตเอทานอลแสดงดังตารางแสดงดังตารางผนวกที่ ก7 (กระทรวงพลังงาน, 2550) โดยแบ่งเป็นโรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ 23 โรงงาน โรงงานที่ใช้อ้อยและกากน้ำตาล 12 โรงงาน และโรงงานที่ใช้วัตถุดิบหลายประเภท 10 โรงงาน ซึ่งระยะทางจากโรงงานน้ำตาลทรายไปยังโรงงานเอทานอล จะพิจารณาคำ แหน่งโรงงาน น้ำตาลที่ใกล้โรงงานเอทานอลที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบมากที่สุด โดยพิจารณาความต้องการกาก น้ำตาลของโรงงานเอทานอล จากกำลังการผลิตเอทานอล และ ถ้าโรงงานน้ำตาลทรายที่อยู่ใกล้ ปริมาณกากน้ำตาลไม่เพียงพอ กับปริมาณความต้องการของโรงงานเอทานอล ก็จะพิจารณาโรงงาน น้ำตาลที่ไกลถัดไปจนกระทั่งกากน้ำตาลเพียงพอต่อความต้องการของโรงงานเอทานอล ส่วนการขนส่งมันเส้นไปยังโรงงานผลิตเอทานอล งานวิจัยนี้กำหนดให้ว่าปริมาณมันเส้นที่ตำแหน่งลานมันเส้นที่อยู่ใกล้ที่สุด มีปริมาณมันเส้นเพียงพอต่อความต้องการของโรงงาน ผลิตเอทานอล

- การขนส่งไร่อ้อยไปยังโรงงานเอทานอล (สำหรับการผลิตเอทานอลจากอ้อย)

ระยะทางจากไร่อ้อยไปยังโรงงานผลิตเอทานอล จะพิจารณาไร่อ้อยที่ตั้งใกล้อยู่ใน อำเภอที่ใกล้โรงงานผลิตเอทานอลที่ใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบมากที่สุดโดยพิจารณาความต้องการอ้อยจาก กำลังการผลิต ซึ่งถ้าอำเภอที่อยู่ใกล้ปริมาณอ้อยไม่เพียงพอกับปริมาณความต้องการก็จะพิจารณาไร่อ้อยที่อำเภอไกลถัดไป จนกระทั่งอ้อยเพียงพอต่อความต้องการของโรงงานเอทานอล

ข้อมูลระยะทางและรายละเอียดในขั้นตอนการขนส่งในด้านต่างๆ ที่ได้จากการคำนวณ แสดงตารางผนวกที่ ก8 ถึง ก11 โดยชนิดพาหนะที่ใช้ในการขนส่งขั้นตอนต่างๆ ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในการขนส่งเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร และระยะทางการขนส่งตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจาก วัตถุดิบประเภทต่างๆ ที่คำนวณได้ในงานวิจัยนี้ แสดงได้ดังตารางที่ 34

ตารางที่ 34 ชนิดพาหนะและระยะทางทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลของวัตถุดิบประเภทต่างๆ

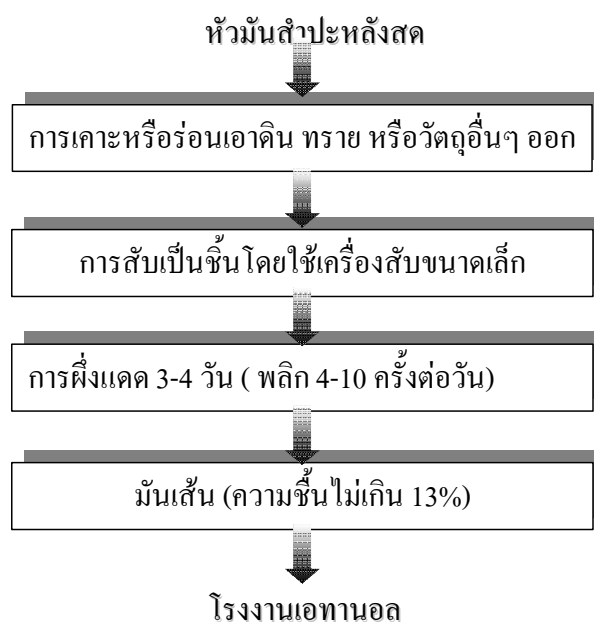
วัตถุดิบ	เส้นทาง-ปลายทาง	ชนิดพาหนะ	ปริมาณ (ตัน)	ระยะทาง 1 เที้ยว (กม.)	ระยะทาง ทั้งหมด (กม.)
<u>มันสำปะหลัง</u>					
มันสำปะหลัง	ไร่มันสำปะหลัง-ลานมัน	รถสิบล้อ	630.57	10.00	394.11
มันเส้น	ลานมัน-โรงงานเอทานอล	รถสิบล้อ	290.06	14.39	260.87
<u>กากน้ำตาล</u>					
อ้อย	ไร่อ้อย-โรงงานน้ำตาล	รถสิบล้อ	7,586.50	57.51	28,169.59
กากน้ำตาล	โรงงานน้ำตาล-โรงงานเอทานอล	รถสิบล้อ	275.50	37.36	643.29
<u>อ้อย</u>					
อ้อย	ไร่อ้อย – โรงงานเอทานอล	รถสิบล้อ	1,205.94	22.23	1675.50

จากงานวิจัยของ จักรภพ (2546) กล่าวว่า ปัจจุบันความจุของยานพาหนะของรถบรรทุกที่ใช้ขนส่งวัตถุดิบมีค่า 20 ตัน แต่เนื่องงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดของฐานข้อมูลโปรแกรม SimaPro 7.0 ที่มีค่าความจุรถบรรทุก 10 ล้อที่ขนาดความจุ 16 ตัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงขอกำหนดความจุของรถบรรทุกสิบล้อที่ใกล้เคียงกับความจุ 20 ตันมากที่สุด คือรถบรรทุกสิบล้อขนาดความจุ 16 ตัน

1.3 ขั้นตอนการแปรรูปวัตถุดิบ

1.3.1 ขั้นตอนการผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสด

ข้อมูลทางด้านการผลิตมันเส้นใช้ ข้อมูล จากงานวิจัยเรื่อง “การวิเคราะห์การลงทุนในการผลิตมันเส้นสะอาด: กรณีศึกษาอำเภอเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมา” (วรินธร, 2545) โดยข้อมูลได้จากการสัมภาษณ์เกษตรกรผู้ผลิตมันเส้นในโครงการมันเส้นสะอาดใน โครงการมันเส้นสะอาดของธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์การเกษตร (ธ.ก.ส.) สาขาเสิงสาง จังหวัดนครราชสีมาจำนวน 54 ราย โดยค่าเฉลี่ยปัจจัยการผลิตในการผลิตมันเส้น แสดงรายละเอียดในตารางผนวกที่ ก12 โดยขั้นตอนการผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสด สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 35



ภาพที่ 35 ขั้นตอนการผลิตมันเส้นจากหว้ามันสำปะหลังสด

ภาพที่ 35 แสดงขั้นตอนการผลิตมันเส้นจากหว้ามันสำปะหลังสด โดยขั้นตอนการผลิตมันเส้นเริ่มโดยการนำหว้ามันสดที่เก็บเกี่ยวจากการเพาะปลูก (อายุประมาณ 8-12 เดือน) โดยเกษตรกร จะทำการพยายามเคาะดินทรายที่ติดมากับหว้ามันสำปะหลังออก จากนั้นก่อนเข้าผ่านเครื่องสับเพื่อ หั่นมันสำปะหลังสดให้เป็นชิ้นที่มีขนาดเล็ก ซึ่งเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้วิธีการสับด้วยเครื่องสับหว้า มันสำปะหลังขนาดเล็ก จากนั้นนำไปตากแดดบนลานคอนกรีตประมาณ 3-4 วันให้แห้งเป็นการ ลดความชื้นในหว้ามัน ระหว่างการตากแดดจะต้องใช้คราดกลับมันเส้น 6-10 ครั้ง/วัน เพื่อให้ความ ชื้นระเหยอย่างทั่วถึง เมื่อระดับความชื้นได้มาตรฐาน จึงทำการขนส่งมันเส้นที่ได้ความชื้นไม่เกิน 13 เปอร์เซ็นต์ ไปยังโรงงานผลิตเอทานอลต่อไป

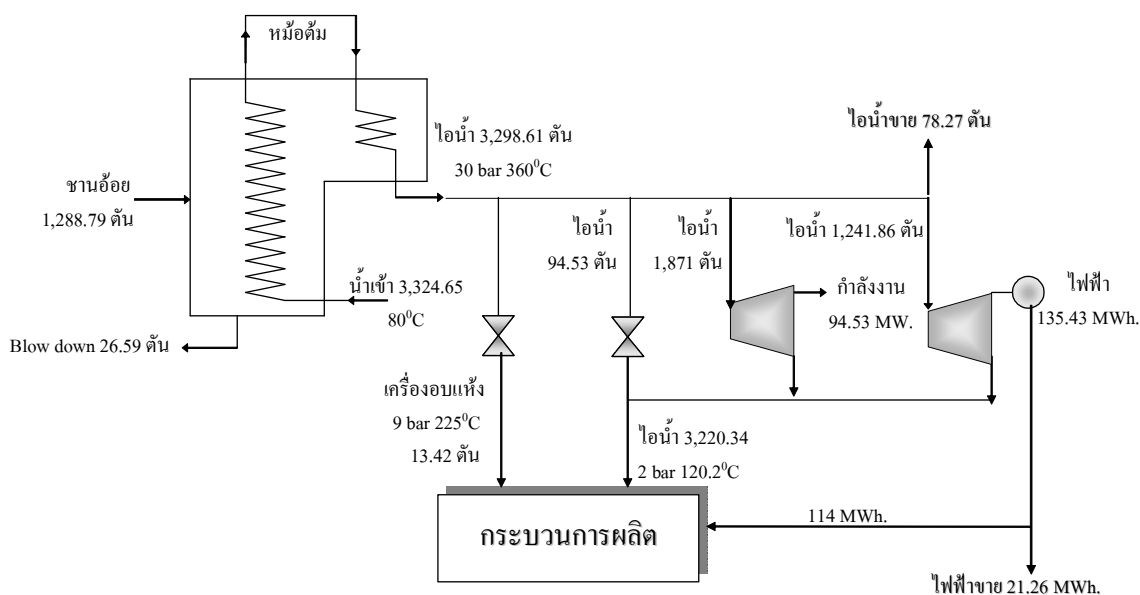
ดังนั้นปัจจัยที่ใช้ในการผลิตมันเส้นจึงมีพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องสับมันเส้น และแรง งานคนที่ใช้ในการผลิตมันเส้น โดยปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องสับมันเส้น และแรงงานคน ที่ใช้ในการผลิตมันเส้น เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงได้ดังตารางที่ 35

ตารางที่ 35 พลังงานไฟฟ้าและแรงงานคนที่ใช้ในขั้นตอนผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสด

(หน่วย : หน่วย / เอทานอล 100,000 ลิตร)		
รายการ	หน่วย	ค่าของพารามิเตอร์
ปริมาณมันเส้น	ตัน	290.06
อัตราการใช้ไฟฟ้าของเครื่องสับมันสำปะหลัง	kWh	87.02
แรงงานคนที่ใช้ในการผลิตมันเส้น		
- การเคาะดินออก	ชม.-คน	305.33
- การรวบรวมมันเส้นเข้าเครื่องสับ	ชม.-คน	305.33
- การพลิกและกลับมันเส้น	ชม.-คน	915.98
- การรวมมันเส้นเพื่อบรรจุใส่ภาชนะ	ชม.-คน	305.33

1.3.2 ขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

โรงงานน้ำตาลทรายที่นำมาใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้ข้อมูลจากรายงานวิจัยเรื่อง “การบูรณาการกระบวนการผลิตเอทานอลกับโรงงานน้ำตาลและโรงงานแปรงมันสำปะหลังและประเมินเชิงเทคโนโลยีในการทำเอทานอลให้บริสุทธิ์ ” (บุญพัต, 2546) โดยโรงงานน้ำตาลทรายในงานวิจัยนี้เป็นโรงงานน้ำตาลแห่งหนึ่งที่ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งโรงงานน้ำตาลทรายจะมีการใช้ขานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำใช้ภายในโรงงานน้ำตาลทราย โดยพลังงานไอน้ำที่ผลิตได้จะใช้ในส่วนกำลังงานและผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ภายในโรงงาน และยังมีพลังงานไอน้ำ และไฟฟ้าส่วนเกินที่เหลือขายภายนอกโรงงานซึ่งรายละเอียดสมมูลมวลจากแหล่ง ข้อมูลแสดงในตารางผนวกที่ ก13 โดยสมมูลมวลภายในส่วนการผลิตและจ่ายไอน้ำภายในโรงงานน้ำตาลทรายเพื่อผลิตกากน้ำตาลเป็นผลผลิตร่วมในกระบวนการผลิต โดยใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงดังภาพที่ 37

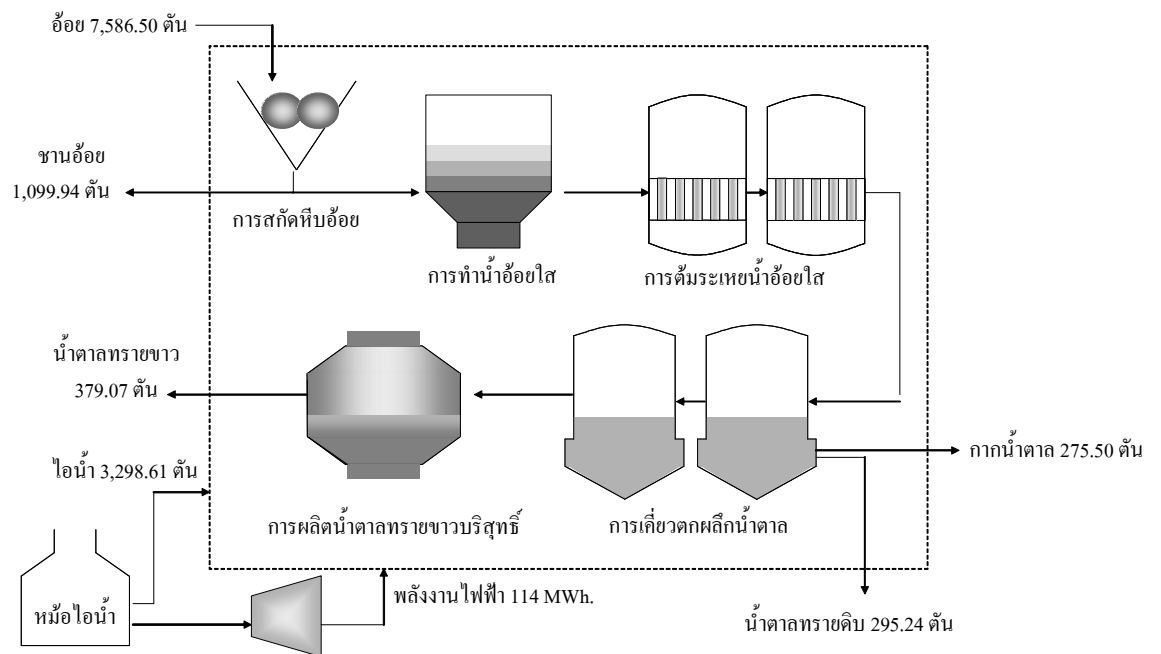


ภาพที่ 36 แผนภูมิการผลิตและจ่ายไอน้ำของโรงงานน้ำศาลในฤดูการหีบอ้อย

จากภาพที่ 36 พบว่าไอน้ำร้อนยิ่งยวดที่ผลิตได้ ความดัน 30 บาร์ อุณหภูมิ 360 องศาเซลเซียส ในอัตรา 3,299 ตัน จะถูกนำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการต่างๆ ดังนี้

- การผลิตไฟฟ้า ซึ่งใช้ระบบผลิตความร้อนไฟฟ้าร่วม แบบ Topping Cycle โดยใช้ไอน้ำในอัตรา 1,242 ตัน สามารถผลิตไฟฟ้าได้ 135.43 MWh. ซึ่งจะจ่ายให้แก่กระบวนการผลิต 114 MWh. และขายให้การไฟฟ้า 21.26 MWh. ไอน้ำหลังผ่านกังหันไอน้ำจะมีความดัน 2 บาร์ อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส
- การผลิตกำลังงาน โดยใช้ไอน้ำอัตรา 1,871 ตัน ผ่านกังหันไอน้ำซึ่งจะได้กำลังงานรวม 94.53 MWh
- การใช้เป็นไอน้ำส่วนเสริมกระบวนการผลิต ในอัตรา 94.53 ตัน โดยผ่านวาล์วลดความดันให้เหลือความดัน 2 บาร์ อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส
- การขายพลังงานไอน้ำให้โรงงานกระดาษ (MPPB) อัตรา 78.27 ตัน

ส่วนขั้นตอนกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายโดยมีกากน้ำตาลเป็นผลผลิตร่วมในกระบวนการผลิต แสดงได้ดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 แผนภาพกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย และได้กากน้ำตาลเป็นผลผลิตร่วม

พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย และพลังงานที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย รวมทั้งปริมาณสารเคมีและน้ำประปาที่ใช้ ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย โดยจะได้กากน้ำตาล เป็นผลผลิตร่วม ซึ่งกากน้ำตาลในส่วนนี้ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงได้ดังตารางที่ 36

ตารางที่ 36 พลังงานที่ได้ และพลังงานที่ใช้ในการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

(หน่วย: หน่วย / เอทานอล 100,000 ลิตร)

รายการ	หน่วย	ปริมาณที่ผลิตได้	ปริมาณที่ใช้	ปริมาณที่ขาย
มวลสารขาเข้า				
อ้อย	ตัน	-	7,586.50	-
น้ำ	ตัน	-	3,813.18	-
Ca(OH) ₂	ตัน	-	49.77	-
พลังงานไอน้ำ	ตัน	3,298.61	3,220.34	78.27
พลังงานไฟฟ้า	MWh.	135.43	114.16	21.26
มวลสารขาออก				
ชานอ้อย	ตัน	2,388.73	1,288.79	1,099.94
น้ำตาลทรายดิบ	ตัน	789.00	1.79	295.24
น้ำตาลทรายขาว	ตัน	379.07	-	379.07
กากน้ำตาล	ตัน	275.50	-	-

ปริมาณผลผลิตหลัก (น้ำตาลทราย) และผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายสามารถสรุปแสดงได้ดังตารางที่ 37

ตารางที่ 37 ผลผลิตหลักและผลผลิตร่วมที่ได้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

(หน่วย: หน่วย / เอทานอล 100,000 ลิตร)

ผลผลิตและผลผลิตร่วม	หน่วย	ปริมาณ
ชานอ้อย	ตัน	1,099.94
น้ำตาลทรายดิบ	ตัน	295.24
น้ำตาลทรายขาว	ตัน	379.07
กากน้ำตาล	ตัน	275.50

1.4 ขั้นตอนการผลิตเอทานอล

1.4.1 การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันเส้น

ขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น ข้อมูลได้จากงานวิจัยเรื่อง “การศึกษาต้นแบบโรงงานเอทานอลโดยการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตจากมันเส้น” (เจริญศักดิ์, 2546) โดยงานวิจัยดังกล่าว ได้ศึกษาถึงโรงงานต้นแบบโดยใช้มันเส้นเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล โดยการผลิตเอทานอลใช้ระบบ Conventional Fermentation (CF) จนได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งโรงงานต้นแบบผลิตเอทานอลนี้ได้ดำเนินการก่อสร้างโรงงานต้นแบบโดยบริษัทอุไทยเส็ง จำกัด ร่วมกับองค์การสุรา กรมสรรพสามิต โดยขั้นตอนการผลิตเอทานอลมีดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนการเตรียมมันเส้นและการโม่ (Sterilization Cleaning and milling) ขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น เริ่มจากการนำมันเส้นมาโม่แห้งโดยใช้เครื่อง Hammer mill และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 มิลลิเมตร แล้วนำมันเส้นที่โม่ได้ผสมกับน้ำ ก็จะได้มันเส้นโม่ที่ผสมน้ำพร้อมที่จะทำการย่อยแป้งในขั้นตอนต่อไป

- ขั้นตอนการผสมและการย่อยแป้งครั้งแรก (Mixing and Liquefaction) ขั้นตอนนี้เริ่มโดยนำมันเส้นแห้งโม่ผสมน้ำที่ได้จากขั้นตอนแรกมาเติม 0.1 เปอร์เซ็นต์ (w/w) $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ และน้ำย่อย Termamyl 120L (Novo enzyme, Nordisk, Denmark) ที่ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ (v/v) และปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 5.5-6.0 ด้วย NaOH ทำการย่อยแป้งในถังปฏิกรณ์ โดยทำการเปิดไอน้ำเข้าถังปฏิกรณ์เพื่อต้มให้ความร้อนโดยตรง จนกระทั่งภายในถังปฏิกรณ์มีค่าอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส โดยระยะเวลาต้มประมาณ 1 ชั่วโมง และรักษาอุณหภูมิให้อยู่ในช่วง 95-100 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะได้มันเส้นหลังย่อยที่มีปริมาณสูงขึ้น พร้อมทั้งจะทำการย่อยต่อในขั้นการย่อยครั้งสุดท้าย

- ขั้นตอนการย่อยแป้งครั้งสุดท้าย (Saccharification) ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่เปลี่ยนแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคส เพื่อให้ยีสต์สามารถนำไปใช้งานได้ง่าย โดยเป็นการทำงานของน้ำย่อย AMG 300L (Amyloglucosidase) (Novo enzyme, Nordisk, Denmark) ที่ความเข้มข้น 0.1 เปอร์เซ็นต์ (v/w) ภายในถังปฏิกรณ์จะทำการหล่อเย็นลงมาจากอุณหภูมิประมาณ 55-60 องศาเซลเซียส

เชีส ทำการรักษาอุณหภูมินี้เป็นระยะเวลา 15 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะได้มันเส้นหลังย่อยครั้งสุดท้าย เข้าสู่กระบวนการหมักในขั้นต่อไป

- ขั้นตอนการหมัก (Fermentation) การหมักเอทานอล จะใช้เวลาในการหมักน้อยกว่า 2 ชั่วโมง เนื่องจากการหมัก ต่อจากขั้นตอนการย่อยแป้งครั้งสุดท้ายซึ่งใช้อุณหภูมิ 55 – 60 องศาเซลเซียส ในขั้นตอนการหมักทำโดยการเติมเชื้อจากถังเตรียมกล้าเชื้อ (Starter) ลงสู่ถังหมัก เพื่อทำการหมักน้ำตาลให้เป็นแอลกอฮอล์ โดยทำการหมักที่อุณหภูมิ 30-35 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

- ขั้นตอนการกรอง- การกลั่น (Filtration and Distillation) หลังจากผ่านการหมักครบ 48 ชั่วโมง จะทำการกรองน้ำสำทั้งหมดด้วยเครื่องกรอง โดยเครื่องกรองจะมีตะแกรงขนาด 70 Mesh ซึ่งหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็ว 725 รอบ/นาที น้ำสำหลัง จากการหมักจะถูกปั๊มเข้าสู่ตะแกรงกรองที่หมุนอย่างต่อเนื่อง ส่วนที่เป็นน้ำ เอทานอลและอนุภาคเล็ก รวมทั้งเซลล์ยีสต์จะสามารถผ่านตะแกรงกรองออกไปได้ แต่ส่วนที่เป็นกากมันที่เหลือจากการย่อยและหมักจะไม่สามารถตะแกรงกรองออกไปได้ จะถูกเหวี่ยงสู่ด้านบนและแยกออกด้านหลังของตัวเครื่อง กากสำส่วนนี้เป็นผลพลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิต ซึ่งสามารถนำไปขายเป็นอาหารสัตว์ได้ต่อไป ส่วนน้ำสำทั้งหมดที่กรองได้จะเก็บไว้ในถังพักสำก่อนที่จะกลั่นต่อไป

- ขั้นตอนการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์ (เอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์) เทคโนโลยีการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์ของโรงงานผลิตเอทานอลที่ศึกษา เลือกใช้เทคโนโลยี Molecular Sieve Dehydrator ในการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ หรือที่มักเรียกกันว่า วิธีการใช้สารกรองโมเลกุล โดยใช้ซีโอไลต์ เป็นวัสดุ ในการดูดซับ

โดยข้อมูลโดยรวมทั้งมวลสารขาเข้า-ออกของการผลิตเอทานอลจากมันเส้น และแหล่งข้อมูล แสดงในตารางผนวกที่ ก.14 – ก.15 โดยภาพขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปแบบมันเส้น รวมทั้งมวลสารขาเข้า – ออก สรุปได้แสดงดังภาพที่ 38

ตารางที่ 38 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าและไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จาก
มันเส้น จำแนกตามขั้นตอนต่างๆ

(หน่วย: หน่วย / เอทานอล 100,000 ลิตร)

ขั้นตอนการผลิตเอทานอล	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	พลังงานไอน้ำ (ตัน)
การเตรียมมันเส้นและการโม้	4,518.10	23.23
การผสมและการย่อยแป้งครั้งแรก	1,621.90	48.55
การย่อยแป้งครั้งสุดท้าย	854.48	3.00
การเตรียมกล้าเชื้อสำหรับหมัก	-	-
การหมัก	15,118.20	-
การกรอง-การกลั่น	2,432.80	243.28
การทำให้เอทานอลบริสุทธิ์	3,524.66	-
ปริมาณรวม	28,070.14	318.06

ตารางที่ 39 ปริมาณน้ำและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น

(หน่วย: หน่วย / เอทานอล 100,000 ลิตร)

ขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น	สารเคมี	หน่วย	ปริมาณสารเคมีที่ใช้
การเตรียมมันเส้นและการโม้	H ₂ O	ตัน	602.41
	CaCl ₂ ·2H ₂ O	ตัน	0.28
การผสมและการย่อยแป้งครั้งแรก	Termamyl	ตัน	0.21
	NaOH	ตัน	0.53
การย่อยแป้งครั้งสุดท้าย	AMG	ตัน	0.24
	H ₂ SO ₄	ตัน	0.45
การเตรียมกล้าเชื้อสำหรับหมัก	na	na	na
การหมัก	-	-	-
การกรองและการกลั่น	-	-	-
การทำให้เอทานอลบริสุทธิ์	-	-	-

กระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น นอกจากจะมีเอทานอลเป็นผลผลิตหลักแล้ว ยังมีผลผลิตร่วมที่เกิดขึ้นร่วมด้วย โดยชนิดและปริมาณผลผลิตร่วมที่เกิดขึ้นแสดงดังตารางที่ 40

ตารางที่ 40 ปริมาณเอทานอลและผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น

(หน่วย / เอทานอล 100,000 ลิตร)		
ผลิตหลักและผลผลิตร่วม	หน่วย	ปริมาณ
เอทานอล 99.5 เปอร์เซนต์	ลิตร	100,000
กากส่า	ตัน	111.36
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	ตัน	57.03

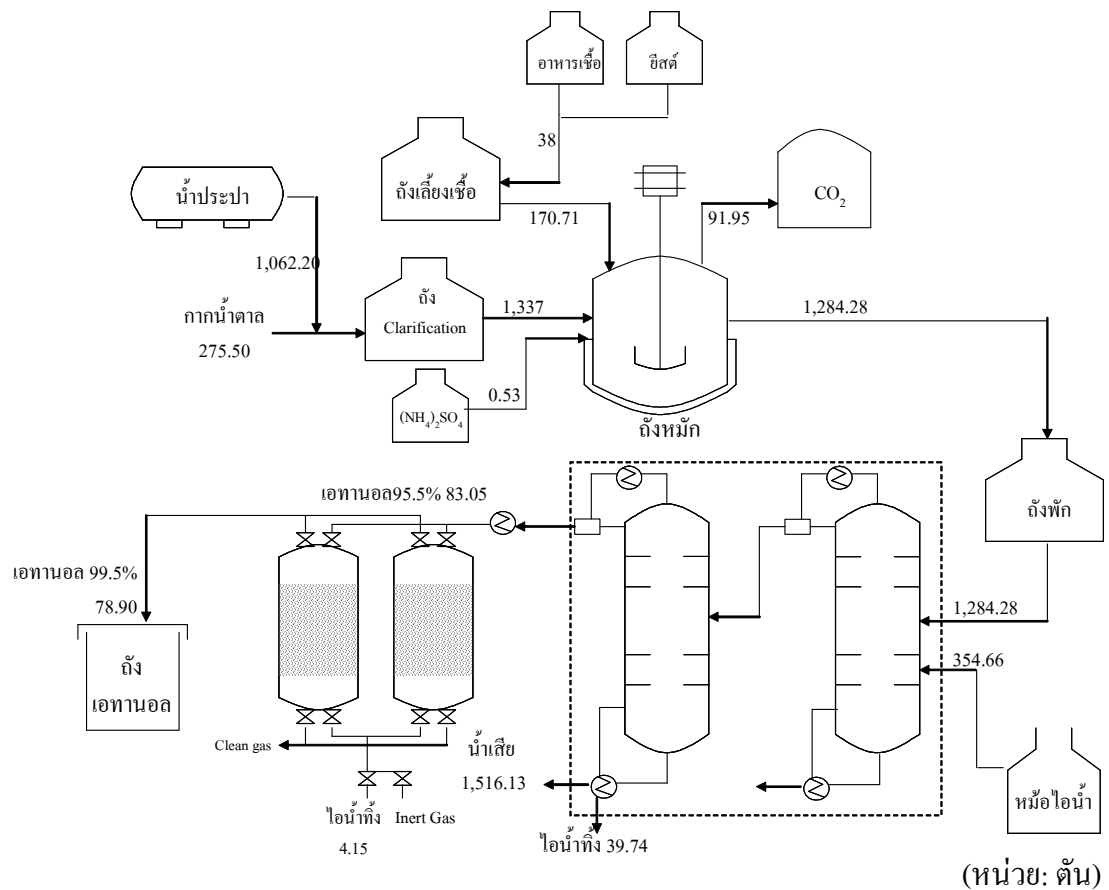
1.4.2 การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล

การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลได้ข้อมูลจากงานวิจัยเรื่อง “การบูรณาการกระบวนการผลิตเอทานอลกับโรงงานน้ำตาล โรงงานแปรรูปมันสำปะหลังและประเมิณเชิงเทคโนโลยีในการทำเอทานอลให้บริสุทธิ์” (บุญพัต, 2546) ซึ่งข้อมูลได้จากโรงงานแห่งหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และงานวิจัยเรื่อง “การประเมินพลังงานและเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตเอทานอล” (พองศ์, 2544) ซึ่งข้อมูลมวลสารขาเข้า-ขาออก ในงานวิจัยนี้ได้จากค่าเฉลี่ยของ 2 งานวิจัยนี้ โดยรายละเอียดมวลสารขาเข้า-ขาออก ของ 2 งานวิจัยดังกล่าว แสดงรายละเอียดในตารางผนวกที่ ก 14 และ ก 16 โดยภาพขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล รวมทั้งมวลสารขาเข้า – ออก สามารถสรุปแสดงดังภาพที่ 39 ซึ่งสามารถสรุปขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลได้ดังนี้

- ขั้นตอนการหมัก (Fermentation) ขั้นตอนนี้เริ่มจากการนำกากน้ำตาลเจือจางกับน้ำ แล้วหมักทิ้งไว้เพื่อเป็นการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้กลายเป็นเอทานอล โดยในงานวิจัยที่ศึกษานี้ให้กระบวนการดำเนินงานที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยมีการกวนอย่างช้าๆ และมีการเติมยีสต์ประมาณ 0.3 กรัม/สารละลาย 100 มิลลิลิตร และ แอมโมเนียมซัลเฟต โดยใช้เวลาในการหมักประมาณ 48 ชั่วโมง

- ขั้นตอนการกลั่น (Distillation) การกลั่นในขั้นตอนแรกจะใช้หอกลั่นจำนวน 2 หอ โดยที่หอแรกจะมีการป้อนไอน้ำเข้าไปโดยตรง เนื่องจากสารละลายที่ได้จากถังหมักจะมีสารจำพวกกากของเส้นใยและสารอินทรีย์ต่างๆ ปะปนอยู่ค่อนข้างมาก ดังนั้นการใช้หม้อต้มซ้ำกับหอแรกจึงไม่เหมาะสม เนื่อง จากอาจทำให้เกิดการอุดตันภายในหม้อต้มซ้ำได้ง่าย เอทานอลที่ได้จากหอจะมีความเข้มข้นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร สารละลายเอทานอลนี้จะถูกทำให้เข้มข้นขึ้นในหอที่ 2 ซึ่งเป็นหอกลั่นแบบธรรมดาต่อไป

- ขั้นตอนการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์ (เอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์) ขั้นตอนการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์ ใช้เทคโนโลยี Molecular Sieve Dehydrator ในการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น



ภาพที่ 39 มวลสารเข้า-ออก และขั้นตอนของกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากกากน้ำตาล

โดยปริมาณพลังงานไฟฟ้า และไอน้ำที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงดังตารางที่ 41

ปริมาณสารเคมีและน้ำที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนต่างๆในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากกากน้ำตาล แสดงได้ดังตารางที่ 42 ส่วนชนิดและปริมาณผลผลิตรวมที่เกิดขึ้นในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากกากน้ำตาล แสดงดังตารางที่ 43

ตารางที่ 41 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าและไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากกากน้ำตาล จำแนกตามขั้นตอนต่างๆ

(หน่วย: หน่วย / เอทานอล 100,000 ลิตร)		
ขั้นตอนการผลิตเอทานอล	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	พลังงานไอน้ำ (ตัน)
การเตรียมกล้าเชื้อสำหรับหมัก	-	-
การหมัก	13,574.84	-
การกลั่น	2,059.04	354.66
การทำให้เอทานอลบริสุทธิ์	3,524.66	-
ปริมาณรวม	19,158.54	354.66

ตารางที่ 42 ปริมาณน้ำและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากกากน้ำตาล

(หน่วย: หน่วย / เอทานอล 100,000 ลิตร)			
ขั้นตอนการผลิตเอทานอล	สารเคมี	หน่วย	ปริมาณที่ใช้
การเตรียมกล้าเชื้อสำหรับหมัก	ยีสต์	ตัน	0.06
	อาหารเชื้อ	ตัน	37.41
การหมัก	น้ำประปา	ตัน	1,062.20
	แอมโมเนียมซัลเฟต	ตัน	0.53
การกรองและการกลั่น	-	-	-
การทำให้เอทานอลบริสุทธิ์	-	-	-

ตารางที่ 43 ปริมาณเอทานอลและผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากกากน้ำตาล

ผลิตภัณฑ์และผลผลิตร่วม	หน่วย	ปริมาณ
เอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์	ลิตร	100,000
ก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์	ตัน	91.95

1.4.3 การผลิตเอทานอลจากอ้อย

การผลิตเอทานอลจากอ้อยได้ข้อมูลจากงานวิจัยเรื่อง “การบูรณาการกระบวนการผลิตเอทานอลกับโรงงานน้ำตาล โรงงานแปรรูปมันสำปะหลังและประเมิณเชิงเทคโนโลยีในการทำเอทานอลให้บริสุทธิ์” (บุญพัฒน์, 2546) ซึ่งข้อมูลได้จากโรงงานแห่งหนึ่งในภาคตะวันออก เชียงเหนือ และงานวิจัยเรื่อง “As Assessment of Ethanol Supply Potential from Crops in Thailand” (Suthumma, 2007) ซึ่งเก็บข้อมูลจากโรงงานต้นแบบของกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยข้อมูลมวลสารขาเข้า-ขาออก ในงานวิจัยนี้ได้จากค่าเฉลี่ยของ 2 งานวิจัยนี้โดยรายละเอียดมวลสารขาเข้า-ขาออก ของ 2 งานวิจัยดังกล่าวแสดงรายละเอียดในตารางผนวกที่ ก14 และ ก17 โดยภาพขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากอ้อย รวมทั้งมวลสารขาเข้า-ออก สามารถสรุปแสดงดังภาพที่ 40 โดยจากรูปสามารถสรุปขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลได้ดังนี้

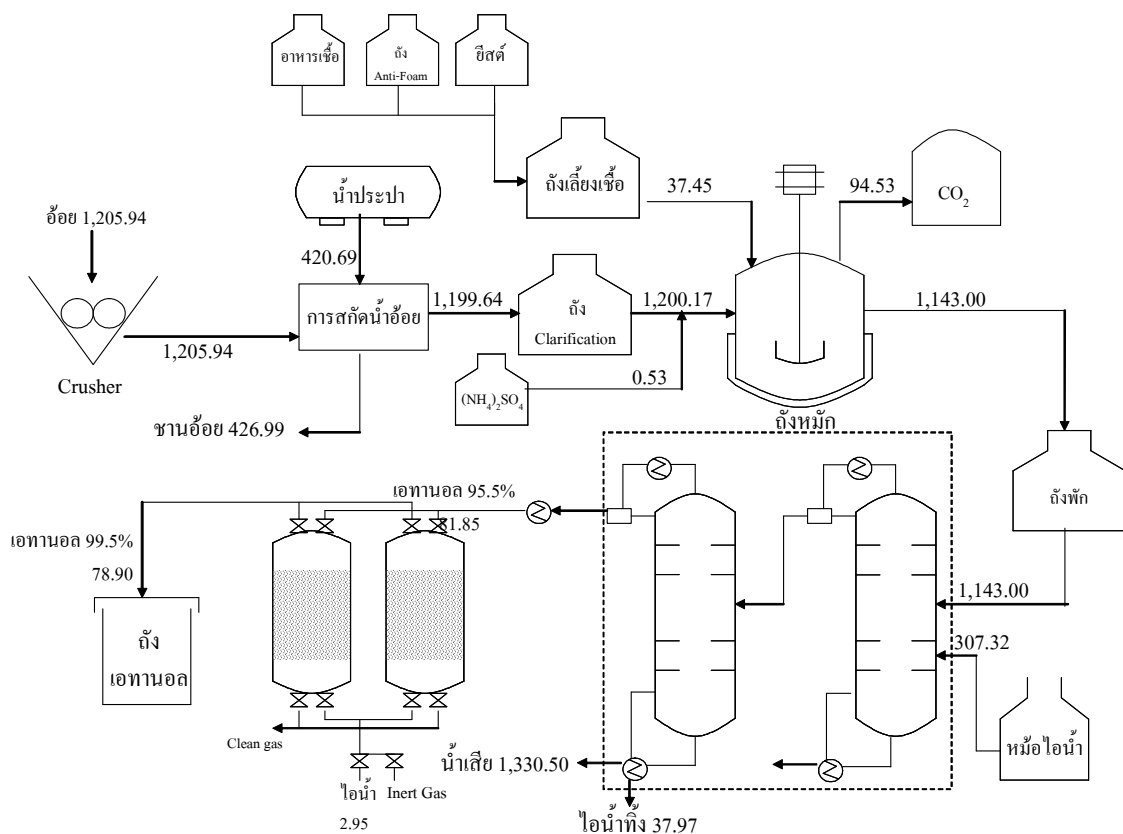
- ขั้นตอนการสกัดน้ำอ้อย (Extraction) ขั้นตอนการสกัดน้ำอ้อยเริ่มโดยการนำอ้อยผ่านเข้าสู่มีดตัดอ้อยเพื่อตัดอ้อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วลำเลียงโดยสายพานไปยังเชรดเดอร์ เพื่อที่ข่อยอ้อยเป็นชิ้นให้ละเอียดอีกครั้งก่อนลำเลียงไปยังลูกหีบ ลูกหีบจะทำการหีบและสกัดน้ำอ้อยจากอ้อย ในการหีบอ้อยจะได้ขานอ้อยโดยขานอ้อยจะเป็นผลผลิตร่วมของกระบวนการผลิตเอทานอลซึ่งสามารถขายยังโรงงานกระดาษได้ต่อไป

- ขั้นตอนการหมัก (Fermentation) จากนั้นนำน้ำอ้อยที่ได้เจือจางกับน้ำ แล้วหมักทิ้งไว้เพื่อเป็นการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสให้กลายเป็นเอทานอล โดยในงานวิจัยที่ศึกษานี้ให้กระบวนการดำเนินงานที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โดยมีการกวนอย่างช้าๆ และมีการเติมยีสต์ประมาณ 0.3

กรัม/สารละลาย 100 มิลลิลิตร และ แอมโมเนียมซัลเฟต โดยใช้เวลาในการหมักประมาณ 48 ชั่วโมง

- ขั้นตอนการกลั่น (Distillation) การกลั่นในกระบวนการผลิตเอทานอลจาก อ้อย มีหลักการในทำนองเดียวกับกระบวนการผลิตเอทานอล จากกากน้ำตาล

- ขั้นตอนการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์ (เอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์) ขั้นตอนการ ทำให้เอทานอลบริสุทธิ์ ใช้เทคโนโลยี Molecular Sieve Dehydrator ในการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น



(หน่วย: ตัน)

ภาพที่ 40 มวลสารเข้า-ออก และขั้นตอนของกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากอ้อย

ปริมาณพลังงานไฟฟ้า และไอน้ำที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากอ้อยแสดงดังตารางที่ 44 และปริมาณสารเคมีและน้ำที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากอ้อย แสดงได้ดังตารางที่ 45

ตารางที่ 44 ปริมาณพลังงานไฟฟ้าและไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรจาก อ้อย จำแนกตามขั้นตอนต่างๆ

(หน่วย: หน่วย / เอทานอล 100,000 ลิตร)

ขั้นตอนการผลิตเอทานอล	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	พลังงานไอน้ำ (ตัน)
การสกัดหีบอ้อย	11,578.95	-
การเตรียมน้ำเชื้อสำหรับหมัก	-	-
การหมัก	12,081.51	-
การกลั่น	2,018.42	307.32
การทำให้เอทานอลบริสุทธิ์	3,524.66	-
ปริมาณรวม	29,203.54	307.32

ตารางที่ 45 ปริมาณน้ำและสารเคมีที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากอ้อย

(หน่วย: หน่วย / เอทานอล 100,000 ลิตร)

ขั้นตอนการผลิตเอทานอล	สารเคมี	หน่วย	ปริมาณสารเคมีที่ใช้
การสกัดหีบอ้อย	H ₂ O	ตัน	420.69
	ยีสต์	ตัน	0.058
การเตรียมน้ำเชื้อสำหรับหมัก	อาหารเชื้อ	ตัน	37.39
	Anti foam	ตัน	0.0187
การหมัก	แอมโมเนียมซัลเฟต	ตัน	0.53
การกรองและการกลั่น	-	-	-
การทำให้เอทานอลบริสุทธิ์	-	-	-

กระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย นอกจากจะมีเอทานอลเป็นผลผลิตหลักแล้ว ยังมีผลผลิตร่วมที่เกิดขึ้นร่วมด้วย โดยชนิดและปริมาณผลผลิตร่วมที่เกิดขึ้นแสดงดังตารางที่ 46

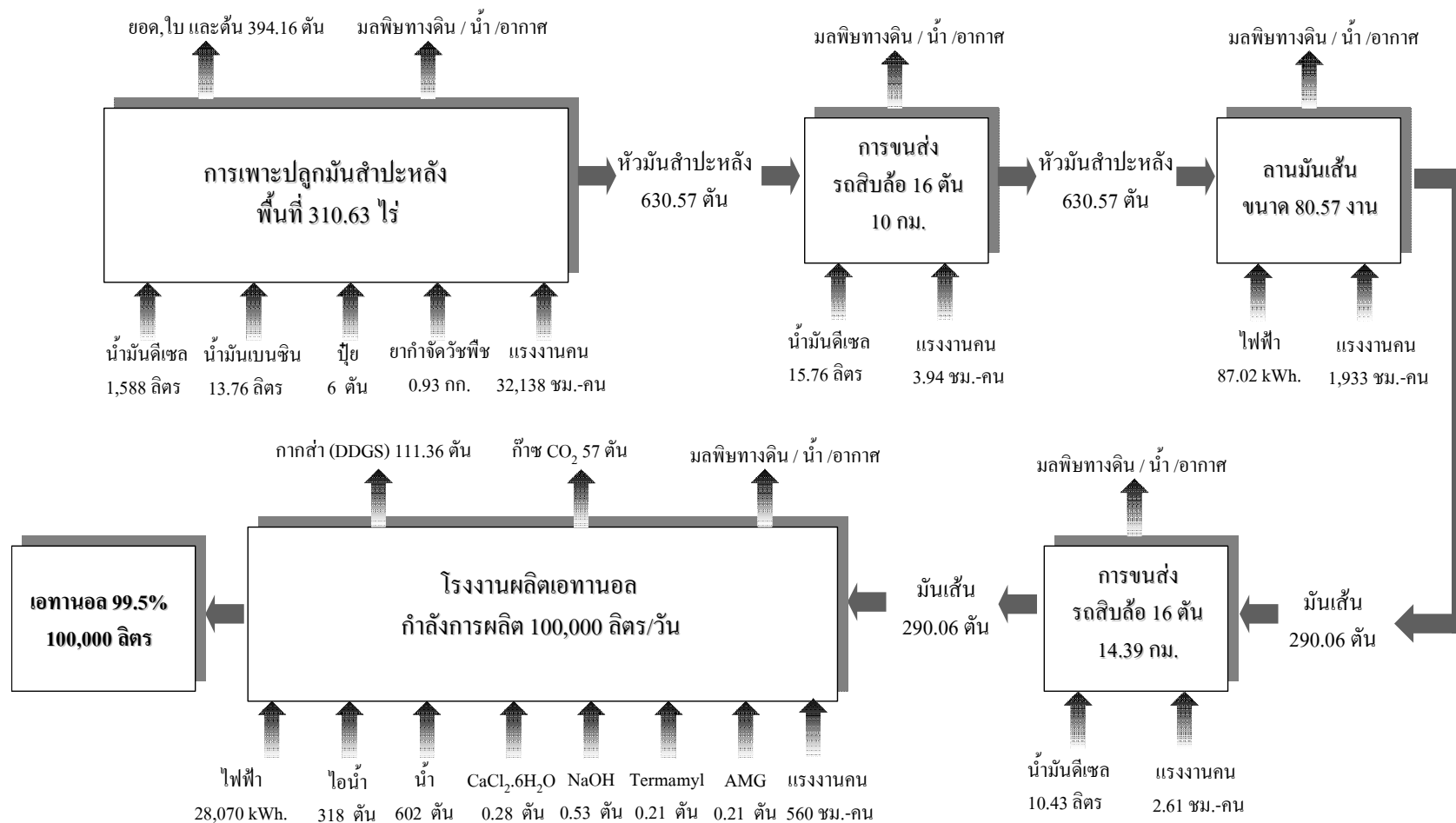
ตารางที่ 46 ปริมาณเอทานอลและผลผลิตรวมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร
จากอ้อย

ผลิตภัณฑ์และผลผลิตรวม	หน่วย	ปริมาณ
เอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์	ลิตร	100,000
ก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์	ตัน	94.35
ขานอ้อย	ตัน	426.99

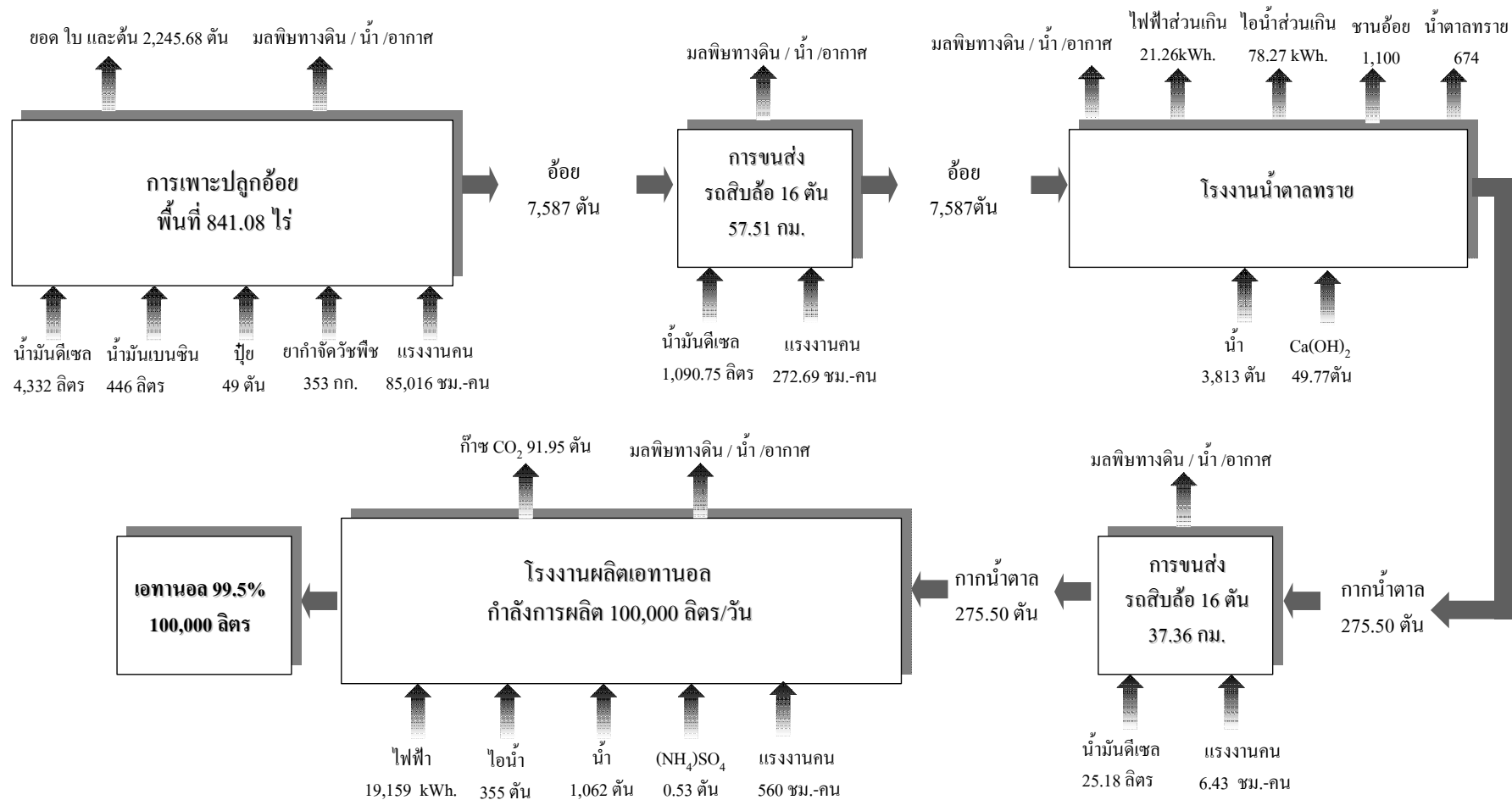
จากขั้นตอนต่างๆ ตลอดจนวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ ตั้งแต่การเพาะปลูกวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบจากไร่เพาะปลูกไปยังแหล่งแปรรูป (ลานมันเส้น และโรงงานน้ำตาลทราย) การแปรรูปวัตถุดิบ (การผลิตมันเส้นและ การผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย) การขนส่งวัตถุดิบที่แปรรูปแล้วไปยังโรงงานผลิตเอทานอล และกระบวนการผลิตเอทานอล สามารถสรุปมวลสารเข้า-ออกในขั้นตอนต่างๆ ตลอดจนวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ ในงานวิจัยนี้ แสดงดังภาพที่ 41 ถึง 43

1.5 วิธีการปันส่วน (Allocation Methods)

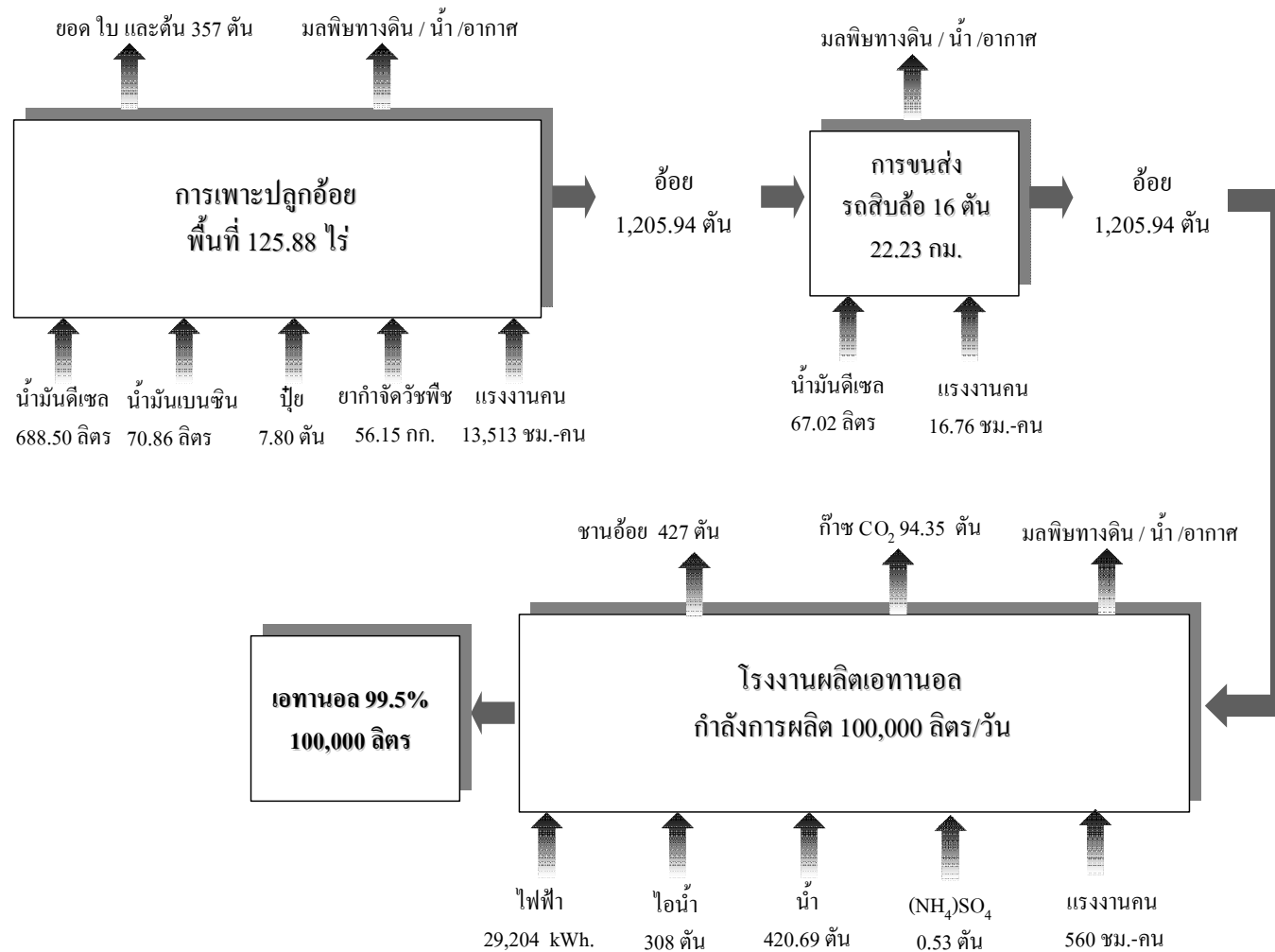
อย่างที่กล่าวไว้ข้างต้นแล้วว่า กระบวนการผลิตเอทานอล นอกจากได้เอทานอลเป็นผลผลิตหลักแล้วยังมีผลผลิตร่วมเกิดขึ้นร่วมในกระบวนการผลิตเอทานอลซึ่งผลผลิตร่วมนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะมีการปันส่วนค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นกับผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการปันส่วนทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้ค่าราคาตลาดในการปันส่วนค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นกับผลผลิตร่วมที่ได้ (กากส่า และขานอ้อย) ซึ่งในกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบต่างประเภทกัน ก็จะมีผลผลิตร่วมที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ และค่าการปันส่วนที่ได้ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้



ภาพที่ 41 มวลสารเข้า-ออก ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร/วัน โดยใช้มันสำปะหลังในรูปแบบมันเส้นเป็นวัตถุดิบ



ภาพที่ 42 มวลสารเข้า-ออก ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร/วัน โดยใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ



ภาพที่ 43 มวลสารเข้า-ออก ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร/วัน โดยใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบ

1.5.1 กระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น

กระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น มีผลผลิตร่วมเกิดขึ้น ได้แก่ กากสำที่ได้จากการกรองน้ำสำก่อนกระบวนการหมัก เนื่องด้วยกากสำประกอบด้วยสารอาหารประเภทโปรตีนปริมาณสูง ดังนั้นกากสำนี้จึงสามารถนำไปตากแห้งและขายเป็นอาหารสัตว์ได้ต่อไป โดยปริมาณและราคาของผลผลิตร่วม รวมทั้งค่าการปันส่วน (Allocation Factor) ที่ได้ จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น แสดงได้ดังตารางที่ 47

ตารางที่ 47 ปริมาณผลผลิตร่วมและค่าการปันส่วนที่ได้จากการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันสำปะหลังในรูปมันเส้น

ผลผลิตหลัก-ผลผลิตร่วม	ปริมาณ	ราคา (บาท / หน่วย)	ราคารวม (บาท)	ร้อยละ
เอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์ (ลิตร)	100,000	17.52	1,752,000	0.95*
กากสำ (ตัน)	111.36	900	100,224	0.05
<u>ปริมาณรวม</u>	190.26		1,852,224	1.00

หมายเหตุ: * คือ ค่าการปันส่วน

1.5.2 กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล

กากน้ำตาลเป็นผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการน้ำตาลทราย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีการปันส่วนพลังงานที่ใช้ และ ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการผลิตกากน้ำตาลกับน้ำตาลทรายซึ่งเป็นผลผลิตหลัก และขานอ้อยที่เป็นผลผลิตร่วมที่เหลือจากการนำไปเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย โดยขานอ้อยที่เหลือจากการนำไปเป็นเชื้อเพลิงสามารถนำไปขายยังโรงงานกระดาษได้ต่อไป โดยปริมาณและราคาตลาด รวมทั้งค่าการปันส่วนที่ได้ จากกระบวนการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย แสดงได้ดังตารางที่ 48

ตารางที่ 48 ปริมาณผลผลิตร่วมที่ได้จากการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

ผลผลิตหลักและผลผลิตร่วม	ปริมาณ (ตัน)	ราคา (บาท / ตัน)	ราคารวม (บาท)	ร้อยละ
น้ำตาลทรายดิบ	295.24	16,410	4,844,888	0.38
น้ำตาลทรายขาว	379.01	17,310	6,560,663	0.51
ชานอ้อย	1,099.44	400	439,776	0.03
กากน้ำตาล	275.5	3,800	1,046,900	0.08*
<u>ปริมาณรวม</u>	2,049.19		12,892,227	1.00

หมายเหตุ: * คือ ค่าการปันส่วน

กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลจะมี ก๊าซ CO₂ ที่ได้จากกระบวนการหมัก และยังมีฟิวเซลล์ออย์ ที่เป็นผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการกลั่น เช่นเดียวกับกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ไม่ได้พิจารณาการใช้ประโยชน์จากก๊าซ CO₂ และฟิวเซล ออยล์ จากเหตุผลที่กล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้น กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลจึงมีค่าการปันส่วนเท่ากับ 1 หรือไม่มีการปันส่วนค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล และ ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นกับผลผลิตร่วมที่ได้ ดังนั้นสามารถสรุปปริมาณและราคาของผลผลิตโดยรวม ทั้งค่าการปันส่วนที่ได้ จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล แสดงได้ดังตารางที่ 49

ตารางที่ 49 ปริมาณผลผลิตร่วมที่ได้จากการผลิตเอทานอล 100,000ลิตร จากกากน้ำตาล

ผลผลิตหลักและผลผลิตร่วม	ปริมาณ	ราคา (บาท / หน่วย)	ราคารวม (บาท)	ร้อยละ
เอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์ (ลิตร)	100,000	17.52	1,752,000	1.00*

หมายเหตุ: * คือ ค่าการปันส่วน

1.5.3 กระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย

กระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อยนั้น จะมีชานอ้อย จากการสกัดน้ำอ้อย เป็นผลพลิตร่วมซึ่งชานอ้อยที่ได้สามารถนำไปขายยังโรงงานกระดาษได้ต่อไป โดยปริมาณและราคาของผลพลิตร่วม รวมทั้งค่าการปันส่วน ที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย แสดงได้ดังตารางที่ 50

ตารางที่ 50 ปริมาณผลพลิตร่วมที่ได้จากการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรจากอ้อย

ผลผลิตหลักและผลพลิตร่วม	ปริมาณ	ราคา (บาท / หน่วย)	ราคารวม (บาท)	ร้อยละ
เอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์ (ลิตร)	100,000	17.52	1,752,000	0.91*
ชานอ้อย (ตัน)	426.99	400	170,796	0.09
ปริมาณรวม			1,922,796	1.00

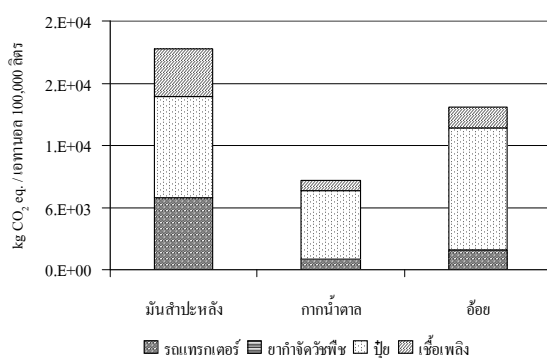
หมายเหตุ: * คือ ค่าการปันส่วน (Allocation Fact

2. ผลการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

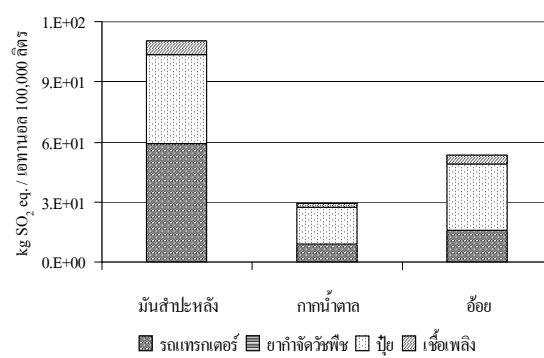
การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม จะพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดยจะพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะปลูกวัตถุดิบ การขนส่ง การแปรรูปวัตถุดิบ (การผลิตมันเส้น และการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย) กระบวนการผลิตเอทานอล และผลกระทบสิ่งแวดล้อมรวมทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดยผลการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ มีดังต่อไปนี้

2.1 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการเพาะปลูก

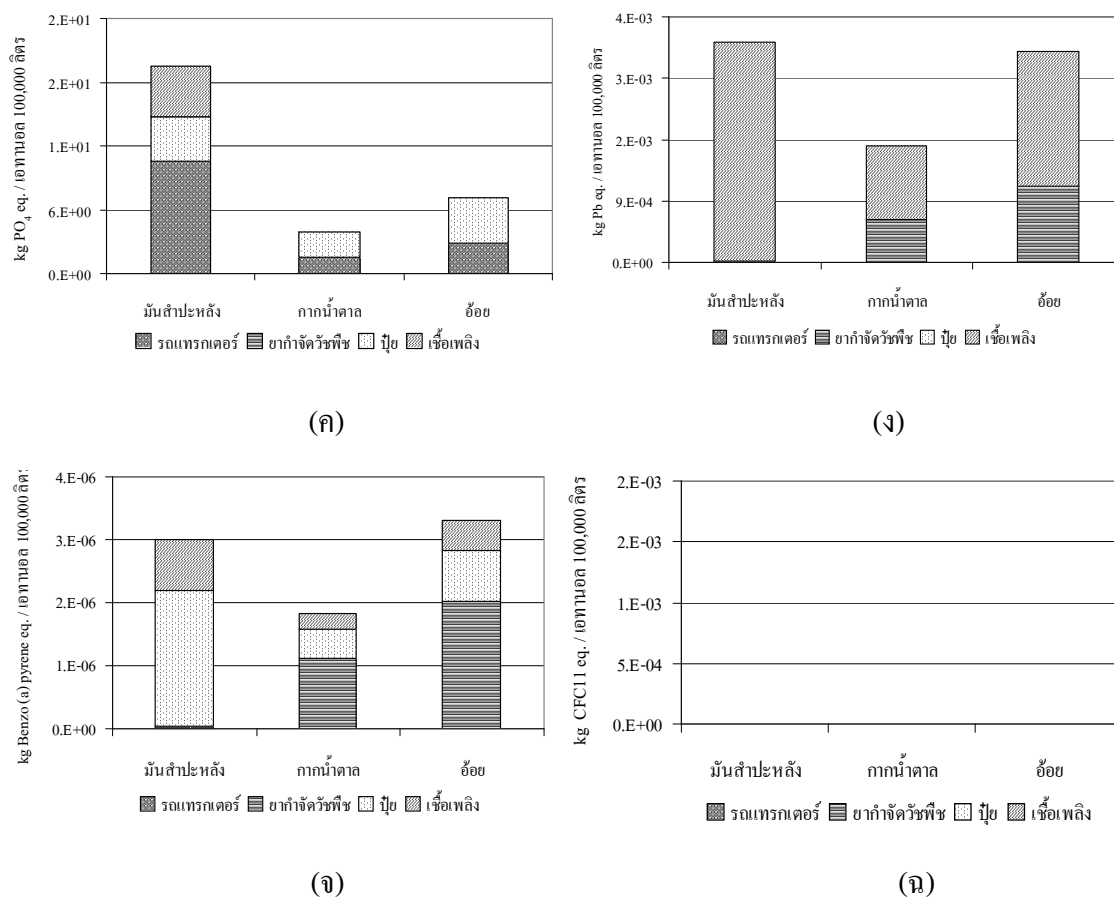
การวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการเพาะปลูก จะมีการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในการเพาะปลูก ได้แก่ มลสารที่เกิดจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซิน) มลสารที่เกิดจากกระบวนการผลิตปุ๋ยและยากำจัดวัชพืช และมลสารที่ปล่อยจากรถแทรกเตอร์ระหว่างการเตรียมดินก่อนการเพาะปลูก และการกำจัดวัชพืช โดยผลการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในขั้นตอนการเพาะปลูกวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงดังภาพที่ 44



(ก)



(ข)



ภาพที่ 44 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในการเพาะปลูก เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

(ก) Greenhouse Gas (ข) Acidification (ค) Eutrophication
(ง) Heavy metals (จ) Carcinogens (ฉ) Ozone layer depletion

ภาพที่ 44 (ก) แสดงผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการเพาะปลูกวัตถุดิบเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการเพาะปลูกเฉลี่ยร้อยละ 61 ร้อยละ 22 และ ร้อยละ 17 มาจากการกระบวนการการผลิตปุ๋ย รถแทรกเตอร์ในการไถดินเพื่อเตรียมดินก่อนการเพาะปลูก และกระบวนการผลิตเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) ตามลำดับ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเพาะปลูกวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า การเพาะปลูกมันสำปะหลังในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สูงกว่าการเพาะปลูกอ้อยเพื่อผลิตเอทานอลโดยตรง และ การเพาะปลูกอ้อยเพื่อผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ตามลำดับ แม้ว่าการเพาะปลูกอ้อย 1 ไร่จะมีการปล่อยก๊าซ

เรือนกระจก 129 kg CO₂ eq./ไร่ ซึ่งมากกว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลังที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 72.4 kg CO₂eq./ไร่ โดยสาเหตุที่การเพาะปลูกอ้อย 1 ไร่จะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงกว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลัง เนื่องด้วยการเพาะปลูกอ้อยมีการใช้ปุ๋ยสูตร 21-0-0 ในปริมาณ 58.03 กก./ไร่ ซึ่งกระบวนการผลิตปุ๋ย 21-0-0 จะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปริมาณ 97.5 kg CO₂ eq. /ไร่ ซึ่งสูงกว่า การใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในปริมาณ 22.48 กก.ต่อไร่ ที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกปริมาณ 33 kg CO₂ eq. /ไร่ แต่เนื่องจากการเพาะปลูกมันสำปะหลังเพื่อผลิตมันเส้น ในการผลิตเอทานอล ต้องใช้พื้นที่การเพาะปลูกถึง 310.36 ไร่ ส่วนการเพาะปลูกอ้อยเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร มีการใช้พื้นที่ 133.69 ไร่ จึงทำให้การเพาะปลูกมันสำปะหลังในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ส่งผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงกว่าการเพาะปลูกอ้อย และอีกสาเหตุที่ทำให้การเพาะปลูกมันสำปะหลังในการผลิตเอทานอล มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงกว่าการเพาะปลูกอ้อย เนื่องจากการเพาะปลูกมันสำปะหลังมีการใช้รถแทรกเตอร์ในการเพาะปลูกมากกว่าการเพาะปลูกอ้อย โดยการเพาะปลูกมันสำปะหลังมีการใช้รถแทรกเตอร์ 1.15 ชม./ไร่ ส่วนการเพาะปลูกอ้อยมีการใช้รถแทรกเตอร์ 0.76 ชม./ไร่ ส่วนการเพาะปลูกอ้อยเพื่อผลิตกากน้ำตาลในรูปผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายมีการใช้พื้นที่การเพาะปลูกถึง 841.08 ไร่ แต่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด เนื่องด้วยมีการปันส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกับน้ำตาลทราย ซึ่งเป็นผลผลิตหลักในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

ภาพที่ 44 (ข) แสดงผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่าการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดในขั้นตอนการเพาะปลูก เฉลี่ย ร้อยละ 50 มาจากกระบวนการผลิตปุ๋ย และร้อยละ 43 มาจากรถแทรกเตอร์ที่ใช้ไถดินในการเตรียมดินก่อนการเพาะปลูกและเพื่อกำจัดวัชพืช โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดของการเพาะปลูกวัตถุดิบประเภทต่างๆ ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า การเพาะปลูกมันสำปะหลังในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ส่งผลต่อการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดสูงสุด รองลงมาคือการเพาะปลูกอ้อยเพื่อผลิตเอทานอล และ การเพาะปลูกอ้อย เพื่อผลิตกากน้ำตาลในรูปผลิตร่วมในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายตามลำดับ เนื่องจากการเพาะปลูกมันสำปะหลัง มีการใช้รถแทรกเตอร์ในการเพาะปลูกมากกว่าการเพาะปลูกอ้อย และการการเพาะปลูกมันสำปะหลังมีการใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกมันสำปะหลัง สำหรับการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรสูงกว่าการเพาะปลูกอ้อย จึงส่งผลทำให้การเพาะปลูกมันสำปะหลัง ส่งผลต่อการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดสูงสุด

ภาพที่ 44 (ค) แสดงการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชัน จากขั้นตอนการเพาะปลูก วัตถุประสงค์เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า การปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันจากการเพาะปลูก ร้อยละ 54 มาจากการปล่อยมลสารประเภท NO ออกจากเครื่องยนต์ในการเตรียมดิน ก่อนการเพาะปลูกและเพื่อกำจัดวัชพืช ส่วนอีก ร้อยละ 36 และ ร้อยละ 15 มาจากกระบวนการผลิตปุ๋ยและกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเพาะปลูก ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันของการเพาะปลูกวัตถุประสงค์ประเภทต่างๆ ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรพบว่า การเพาะปลูกมันสำปะหลังในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ส่งผลต่อการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันสูงสุด รองลงมาคือการเพาะปลูกอ้อยเพื่อผลิตเอทานอล และการเพาะปลูกอ้อยเพื่อผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ตามลำดับ โดยสาเหตุมาจากปริมาณการใช้รถแทรกเตอร์และปริมาณการใช้พื้นที่การเพาะปลูกวัตถุประสงค์ ซึ่งเป็นไปทำนองเดียวกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรด ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

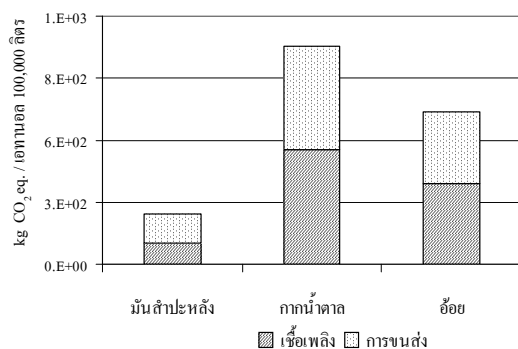
ภาพที่ 44 (ง) แสดงการปล่อยโลหะหนักจากการเพาะปลูกวัตถุประสงค์ เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า โดยเฉลี่ยการปล่อยโลหะหนักจากการเพาะปลูก ร้อยละ 63 มาจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิง และอีกร้อยละ 37 มาจากกระบวนการผลิตยากำจัดวัชพืช (Atrazine) โดยการปล่อยโลหะหนักจากกระบวนการผลิตยากำจัดวัชพืชมาจากการผลิตน้ำมันเตา และกระบวนการผลิตไฟฟ้าโดยคิดเป็นร้อยละ 44 และ ร้อยละ 28 ของการปล่อยโลหะหนักจากกระบวนการผลิตยากำจัดวัชพืช ตามลำดับ ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบการปล่อยโลหะหนักจากการเพาะปลูกวัตถุประสงค์ประเภทต่างๆ ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า การเพาะปลูกมันสำปะหลัง ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ส่งผลต่อการปล่อยโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อมสูงสุด รองลงมาคือ การเพาะปลูกอ้อยเพื่อผลิตเอทานอล และการเพาะปลูกอ้อยเพื่อผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ตามลำดับ แม้ว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลังมีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง และยากำจัดวัชพืช น้อยกว่าการเพาะปลูกอ้อย คือการเพาะปลูกมันสำปะหลัง จะมีการใช้เชื้อเพลิง 5.15 ลิตรต่อไร่ และยากำจัดวัชพืชปริมาณ 0.003 กก./ไร่ ซึ่งน้อยกว่าปริมาณเชื้อเพลิงและยากำจัดวัชพืชที่ใช้ในการเพาะปลูกอ้อยที่มีการใช้เชื้อเพลิง 5.69 ลิตร/ไร่ และยากำจัดวัชพืชในปริมาณ 0.42 กก./ไร่ แต่เนื่องด้วยการเพาะปลูกมันสำปะหลังมีการใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร มากกว่าการเพาะปลูกอ้อย จึงส่งผลทำให้การเพาะปลูกมันสำปะหลัง ส่งผลต่อการปล่อยโลหะหนักสูงกว่าการเพาะปลูกอ้อย

ภาพที่ 44 (จ) แสดงผลการปล่อยสารก่อมะเร็งจากการเพาะปลูกวัตถุดิบเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า การปล่อยโลหะหนักจากการเพาะปลูกอ้อย ร้อยละ 60 มาจากกระบวนการผลิตยากำจัดวัชพืช และอีกร้อยละ 24 และร้อยละ 14 มาจากกระบวนการผลิตปุ๋ย และน้ำมันเชื้อเพลิง ส่วนการปล่อยโลหะหนักจากการเพาะปลูกมันสำปะหลัง ร้อยละ 72 มาจากกระบวนการผลิตปุ๋ย และร้อยละ 27 มาจากกระบวนการผลิตน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบการปล่อยสารก่อมะเร็งจากการเพาะปลูกวัตถุดิบประเภทต่างๆ ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่าการเพาะปลูกอ้อยในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ส่งผลต่อการปล่อยสารก่อมะเร็งสูงสุด รองลงมาคือ การเพาะปลูกมันสำปะหลังเพื่อผลิตเอทานอล และการเพาะปลูกอ้อยเพื่อผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ตามลำดับ สาเหตุเนื่องจากการเพาะปลูกอ้อยมีการใช้ยากำจัดวัชพืชมากกว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลังจึงส่งผลทำให้การเพาะปลูกอ้อย ส่งผลต่อการปล่อยโลหะหนักสูงกว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลัง

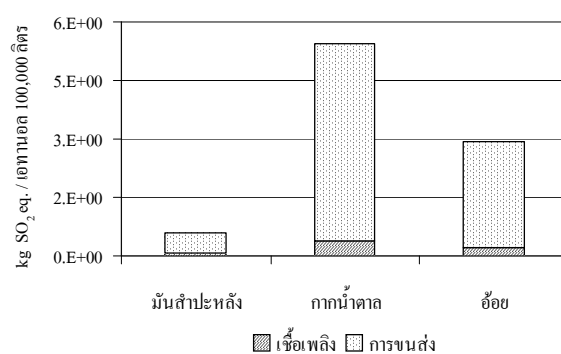
ภาพที่ 44 (ข) แสดงผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน จากการเพาะปลูก พบว่า การเพาะปลูกวัตถุดิบประเภทต่างๆ เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ไม่มีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน ออกสู่สิ่งแวดล้อม

2.2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการขนส่ง

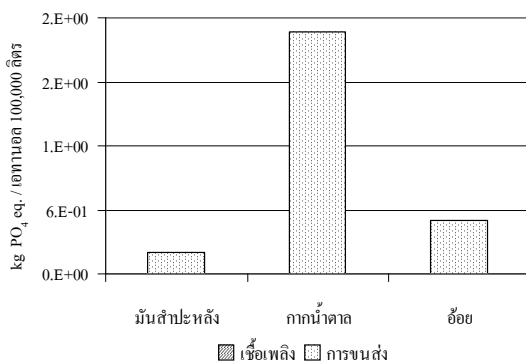
การวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการขนส่ง จะมีการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ในการขนส่ง ได้แก่ มลสารที่เกิดจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) ที่ใช้ในยานพาหนะในการขนส่ง และ มลสารที่ปล่อยจากพาหนะระหว่างการเดินทางตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล โดยผลการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในขั้นตอนการขนส่งตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ แสดงดังภาพที่ 45



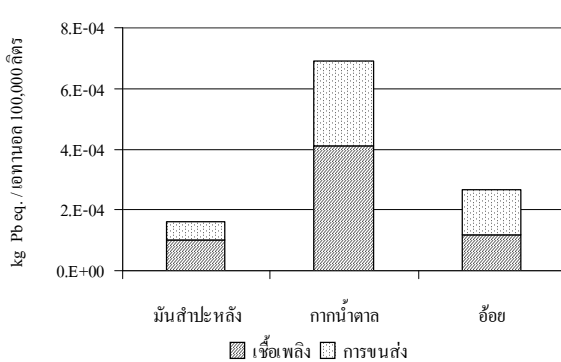
(ก)



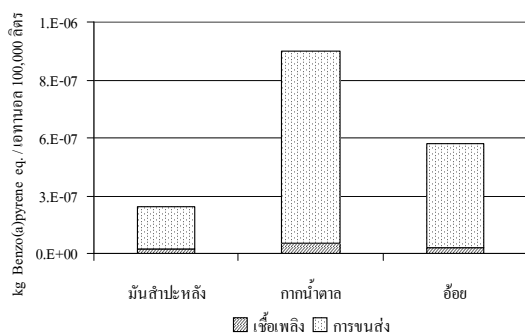
(ข)



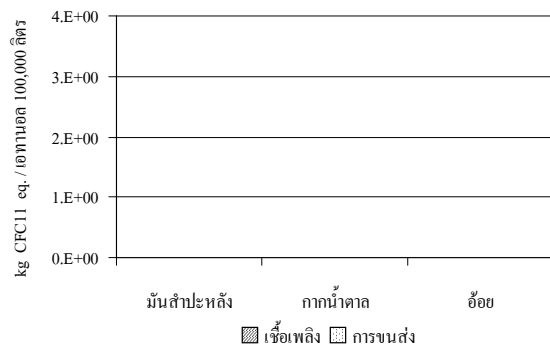
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

ภาพที่ 45 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในการขนส่ง เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

(ก) Greenhouse Gas

(ข) Acidification

(ค) Eutrophication

(ง) Heavy metals

(จ) Carcinogens

(ฉ) Ozone layer depletion

ภาพที่ 45 (ก) แสดงผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งวัตถุดิบ ตลอดจนวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่ง ร้อยละ 51 มาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของยานพาหนะในระหว่างการขนส่งวัตถุดิบ และ ร้อยละ 49 มาจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิง โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งวัตถุดิบประเภทต่างๆตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่าการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ส่งผลผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนส่งสูงสุด รองลงมาคือ อ้อยและมันสำปะหลัง ตามลำดับ เนื่องจากใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล มีการขนส่งวัตถุดิบในปริมาณสูง และระยะทางไกล คือ มีการขนส่งอ้อยและกากน้ำตาลปริมาณรวม 7,862 ตัน ในระยะทางรวม 95 กม./1 เทียว ส่วนการผลิตเอทานอลจากอ้อยและมันสำปะหลังในรูปแบบมันเส้น มีการขนส่งวัตถุดิบ ปริมาณรวม 1,206 และ 921 ตัน ตามลำดับ และระยะทางรวมที่ 22.23 และ 24.39 กม./1 เทียว ตามลำดับ จึงส่งผลทำให้การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สูงกว่าการใช้ อ้อยและมันสำปะหลัง แม้ว่าจะมีการปันส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อม กับ น้ำตาลทราย ซึ่งเป็นผลผลิตหลักในกระบวนการผลิตน้ำตาลแล้วก็ตาม

ภาพที่ 45 (ข) และ 45 (จ) แสดงผลการปล่อยผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรด และสารก่อมะเร็ง จากการขนส่งตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า ผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งสอง มีผลในทำนองเดียวกัน คือ การปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดและสารก่อมะเร็งจากการขนส่ง ร้อยละ 94 มาจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิง และร้อยละ 6 มาจากการปล่อยมลสารจากยานพาหนะระหว่างการขนส่งวัตถุดิบ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดและสารก่อมะเร็งจากการขนส่งวัตถุดิบประเภทต่างๆตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ส่งผลต่อการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรด และสารก่อมะเร็ง จากด้านการขนส่งสูงสุด รองลงมาคืออ้อยและมันสำปะหลัง ตามลำดับ โดยสาเหตุเป็นทำนองเดียวกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกดังที่กล่าวมาแล้ว

ภาพที่ 45 (ค) แสดงผลการปล่อยผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชัน จากการขนส่งตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า การปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชัน ร้อยละ 99 มาจากจากยานพาหนะระหว่างการขนส่งวัตถุดิบ และเมื่อทำการเปรียบเทียบการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันจากการขนส่งวัตถุดิบประเภทต่างๆตลอดวัฏจักรชีวิตของการ

ผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ส่งผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันจากการขนส่งสูงสุด รองลงมาคือ อ้อย และมันสำปะหลัง ตามลำดับ โดยเหตุผลเป็นเช่นเดียวกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ภาพที่ 45(ง) แสดงผลการปล่อยผลการปล่อยโลหะหนัก จากการขนส่งตลอดวัฏจักรชีวิต การผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า การปล่อยโลหะหนัก ร้อยละ 57 มาจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิง และร้อยละ 43 มาจากยานพาหนะในระหว่างขนส่งวัตถุดิบ และเมื่อทำการเปรียบเทียบการปล่อยโลหะหนักจากการขนส่งวัตถุดิบประเภทต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ส่งผลต่อการปล่อยโลหะหนักจากการขนส่งสูงสุด รองลงมาคือ อ้อย และมันสำปะหลัง ตามลำดับ โดยเหตุผลเป็นเช่นเดียวกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ภาพที่ 45 (จ) พบว่า การใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ไม่มีการปล่อยมลสารที่เป็นสาเหตุให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนจากการขนส่ง

2.3 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการแปรรูปวัตถุดิบ

2.3.1 การผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสด

การผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสด มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากด้านเดียว คือ ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องสับขนาดเล็ก เพื่อสับมันเส้นให้เป็นชิ้นขนาดเล็ก โดยการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ต้องพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องสับมันเส้นประมาณ 87.02 kWh/เอทานอล 100,000 ลิตร โดยผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสด หรือที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า เพื่อใช้ในเครื่องสับมันเส้นในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงดังตารางที่ 51

ตารางที่ 51 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ จากการผลิตมันเส้นเพื่อผลิต เอทานอล 100,000 ลิตร
(หน่วย: เอทานอล 100,000 ลิตร)

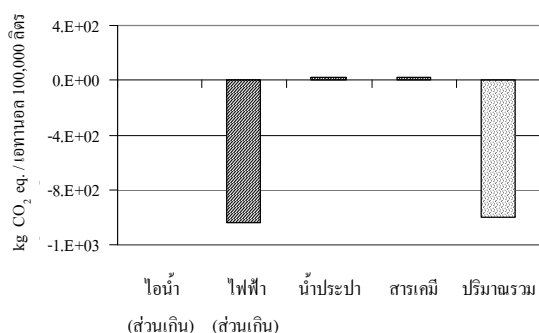
ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	หน่วย	ปริมาณ
ก๊าซเรือนกระจก	kg CO ₂ eq.	50.35
สภาวะความเป็นกรด	kg SO ₄ eq.	1.79×10^{-4}
ยูโทรฟิเคชั่น	kg PO ₄ eq.	8.16×10^{-6}
สารก่อมะเร็ง	kg Benzo(a)pyrene eq.	0.00
โลหะหนัก	kg Pb eq.	0.00
การลดลงของชั้น โอโซน	kg CFC11 eq.	0.00

ตารางที่ 51 แสดงผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ จากการผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสดเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า การผลิตมันเส้นมีการปล่อย CO₂ N₂O HFC-134a และ CH₄ ออกสู่สิ่งแวดล้อมหรือคิดเป็น 50.35 kg CO₂eq./เอทานอล 100,000 ลิตร ซึ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจก มาจากกระบวนการผลิตถ่านหิน และน้ำมันดิบ เพื่อใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้า และการผลิตพลังงานไฟฟ้า มีการปล่อย SO₂ SO₃ NH₃ HCl และ NO₂ ซึ่งเป็นมลสารที่ก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรดออกสู่สิ่งแวดล้อม หรือคิดเป็น 1.79×10^{-4} kg SO₂ eq./เอทานอล 100,000 ลิตร นอกจากนี้การผลิตพลังงานไฟฟ้ายังมีการปล่อย NO₃⁻ COD และ NH₃ ซึ่งเป็นมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชั่น ออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยคิดเป็น 8.16×10^{-6} kg PO₄⁻ eq./เอทานอล 100,000 ลิตร โดยการผลิตมันเส้นเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล (หรือกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า) ไม่มีการปล่อยสารก่อมะเร็ง โลหะหนัก และมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน ออกสู่สิ่งแวดล้อม

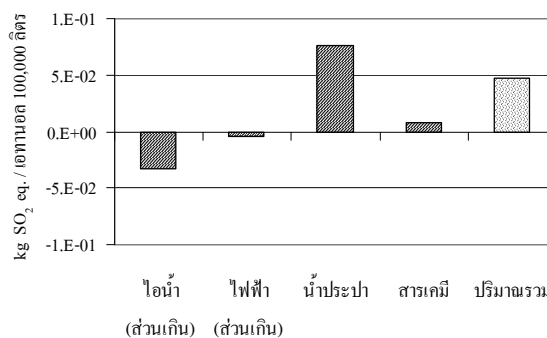
2.3.1 การผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายมีกระบวนการผลิตไอน้ำ และพลังงานไฟฟ้าใช้ได้เองภายในโรงงาน โดยใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต ดังนั้นผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากพลังงานไฟฟ้า และไอน้ำที่ใช้ภายในโรงงานจะไม่พิจารณาในส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิด ขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ดังนั้นผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย จะพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตน้ำประปา และสารเคมี (Ca(OH)₂) ที่ใช้ในขั้นตอนการทำน้ำอ้อยใส

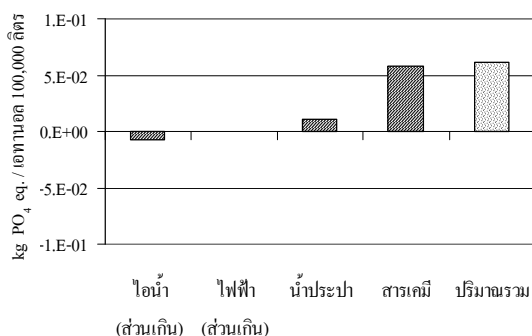
นอกจากนี้กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายยังมีพลังงานไฟฟ้า และพลังงานไอน้ำส่วน เกินขายให้ภายนอกโรงงาน ดังนั้นการพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากพลังงานไฟฟ้าและไอน้ำส่วนนี้จะป็นค่าติดลบ หรือมีค่าเป็นบวกต่อผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาล เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงดังภาพที่ 46



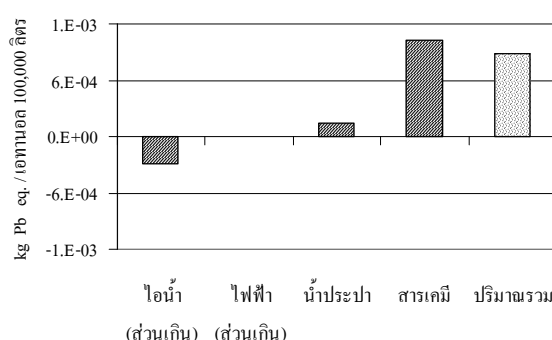
(ก)



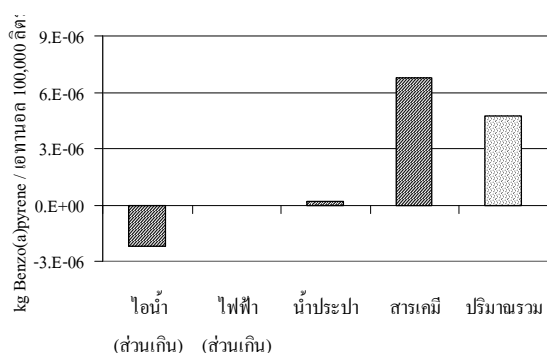
(ข)



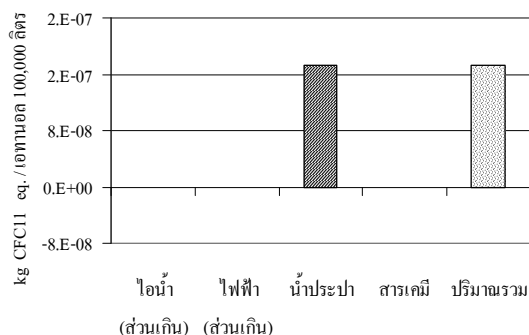
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

ภาพที่ 46 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมใน
กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

(ก) Greenhouse Gas (ข) Acidification (ค) Eutrophication
(ง) Heavy metals (จ) Carcinogens (ฉ) Ozone layer depletion

ภาพที่ 46 (ก) แสดงการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย พบว่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาจากกระบวนการผลิตแกลเลียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ในกระบวนการทำน้ำอ้อยใส ซึ่งมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 18.8 kg CO₂ eq. / เอทานอล 100,000 ลิตร โดยคิดเป็นร้อยละ 51 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในการผลิตกากน้ำตาล และ ร้อยละ 41 มาจากกระบวนการผลิตน้ำประปาโดยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก อาทิ เช่น CO₂ N₂O HFC1-34a HFC116 CH₄ และ FC16 สู่สิ่งแวดล้อม หรือคิดเป็น 17.70 kg CO₂ eq./เอทานอล 100,000 ลิตร ซึ่งมาจากกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยคิดเป็นร้อยละ 76 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในกระบวนการผลิตน้ำประปา โดยพลังงานไอน้ำและพลังงานไฟฟ้าที่โรงงานน้ำตาลสามารถผลิตได้เอง โดยใช้ขานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการผลิต และขายให้ภายนอกโรงงาน ผลส่วนนี้จะคิดเป็นผลบวกต่อสิ่งแวดล้อม หรือคิดได้ว่าสามารถลดผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้ -0.15 และ -1,040 kg CO₂/เอทานอล 100,000 ลิตร สำหรับพลังงานไอน้ำ และพลังงานไฟฟ้า ตามลำดับ เนื่องด้วยกระบวนการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำที่โรงงานผลิตได้เองจะช่วยลดผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจาก กระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจากพลังงานปรมาณู (ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน น้ำ สำหรับพลังงานไฟฟ้า และ น้ำมันเตาสำหรับพลังงานไอน้ำ) และสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำ ดังนั้นเมื่อรวมปริมาณสุทธิในการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการผลิตกากน้ำตาลจึงมีค่าเป็นลบ หรือพลังงานไฟฟ้าและไอน้ำที่ผลิตได้เอง และขายให้ภายนอกโรงงานสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกได้มากกว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตสารเคมี และน้ำประปา

ภาพที่ 46 (ข) แสดงผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดจากการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย พบว่า กระบวนการผลิตน้ำประปาและสารเคมี เพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร มีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรด 0.084 kg SO₂ eq. / เอทานอล 100,000 ลิตร ส่วนพลังงานไฟฟ้าและไอน้ำที่ส่งขายภายนอกโรงงาน สามารถลดการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดได้ -0.037kg SO₂ eq. / เอทานอล 100,000 ลิตร

นอล 100,000 ลิตร ดังนั้นการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย มีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดรวมที่ค่า $0.047 \text{ kg SO}_2 \text{ eq./เอทานอล 100,000 ลิตร}$

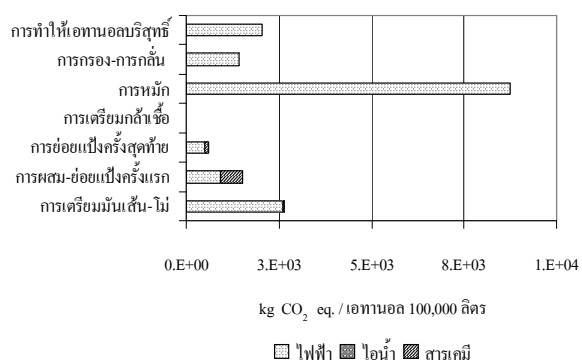
ภาพที่ 46(ค) 46(ง) และ 46(จ) แสดงผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชัน โลหะหนัก และสารก่อมะเร็ง โดยผลการปล่อยมลสารดังกล่าวมีผลทำนองเดียวกันคือ การปล่อยมลสารส่วนใหญ่ร้อยละ 90 โดยประมาณมาจากกระบวนการผลิต Ca(OH)_2 ที่ใช้ในขั้นตอนการทำน้ำอ้อยใส โดยมีค่า $0.058 \text{ kg PO}_4 \text{ eq.}$, 0.001 kg Pb eq. และ $6.77 \times 10^{-6} \text{ kg Benzo(a)pyrene eq.}$ ต่อเอทานอล 100,000 ลิตร สำหรับการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชัน โลหะหนัก และสารก่อมะเร็งตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับการลดผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชัน โลหะหนัก และสารก่อมะเร็งจากพลังงานไอน้ำที่ขายภายนอกโรงงานซึ่งมีค่า $-0.0076 \text{ kg PO}_4 \text{ eq.}$ $-0.00028 \text{ kg Pb eq.}$ และ $-2.21 \times 10^{-6} \text{ kg Benzo(a)pyrene eq.}$ /เอทานอล 100,000 ลิตร ตามลำดับ จึงทำให้ผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชัน โลหะหนัก และสารก่อมะเร็ง จากกระบวนการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย มีค่าเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อม หรือกล่าวได้ว่าผลจากการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากพลังงานไอน้ำที่ขายภายนอกโรงงานมีค่าน้อยกว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำตาลและสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

ภาพที่ 46(ฉ) พบว่า ผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน มาจากกระบวนการผลิตน้ำประปาคิดเป็นร้อยละ 100 จากผลกระทบจากกระบวนการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายทั้งหมด หรือมีค่า $1.72 \times 10^{-7} \text{ kg CFC11 eq.}$ /เอทานอล 100,000 ลิตร โดยมาจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปา ร้อยละ 14 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนทั้งหมดจากกระบวนการผลิตน้ำประปา และไม่มีการลดผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน จากพลังงานไอน้ำและไฟฟ้า เนื่องจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำ จากพลังงานปฏิกิริยา (ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน น้ำสำหรับพลังงานไฟฟ้า และ น้ำมันเตา สำหรับพลังงานไอน้ำ) และสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำ ไม่มีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน

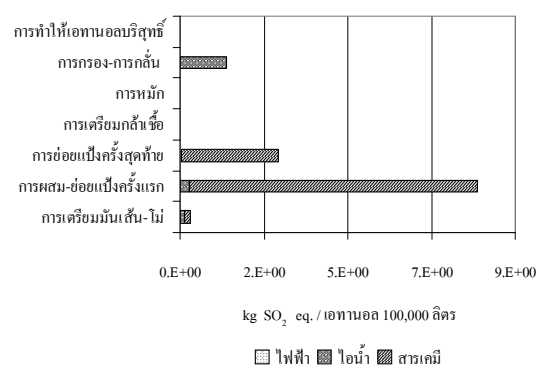
2.4 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล

2.4.1 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น

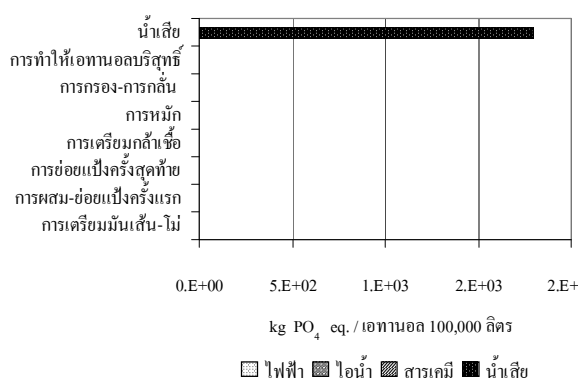
ขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันเส้นจะพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการ การผลิตพลังงานไฟฟ้า พลังงานไอน้ำ และสารเคมีต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล เช่น NaOH H_2SO_4 และ $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ เป็นต้น โดยผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น แสดงได้ดังภาพที่ 47



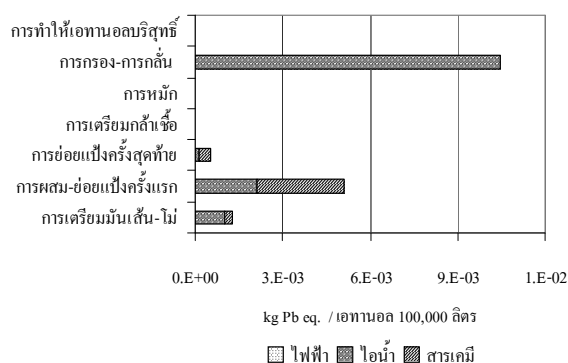
(ก)



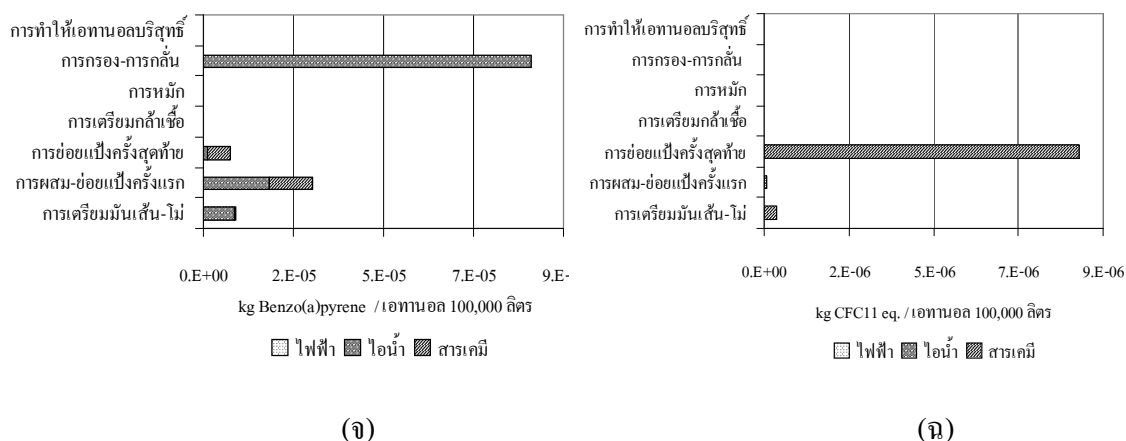
(ข)



(ค)



(ง)



ภาพที่ 47 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรจากมันเส้น

(ก) Greenhouse Gas (ข) Acidification (ค) Eutrophication
(ง) Heavy metals (จ) Carcinogens (ฉ) Ozone layer depletion

ภาพที่ 47 (ก) แสดงผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น พบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 96 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น มาจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า ซึ่งกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะมีการปล่อยก๊าซ CO_2 , N_2O และ CH_4 ออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณ 0.60 , 3.5×10^{-7} และ 6.4×10^{-4} kg/ไฟฟ้า 1 kWh ตามลำดับ ดังนั้นในการผลิตเอทานอลจากมันเส้น 100,000 ลิตร ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้า 28,070 kWh จึงมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก $16,267$ kg CO_2 eq. /เอทานอล 100,000 ลิตร โดยขั้นตอนการหมักมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด หรือคิดเป็นร้อยละ 54 ของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการผลิตเอทานอล จึงส่งผลให้ขั้นตอนการหมักมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด ส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้นอีก ร้อยละ 3.58 มาจากกระบวนการผลิต NaOH ที่ใช้ในขั้นตอนการย่อยแป้งครั้งแรก โดยกระบวนการผลิต NaOH จะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 1.15 kg CO_2 / NaOH 1 kg. ซึ่งในกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้นมีการใช้ NaOH 530 kg จึงทำให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิต NaOH ในปริมาณ 608 kg CO_2 / เอทานอล 100,000 ลิตร

ภาพที่ 47 (ข) แสดงผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น พบว่า ร้อยละ 87 และ ร้อยละ 13 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิด

สภาวะความเป็นกรดทั้งหมดจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น มาจากกระบวนการผลิตสารเคมีเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล และกระบวนการผลิตไอน้ำ ตามลำดับ โดยร้อยละ 74 และร้อยละ 25 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดจากกระบวนการผลิตสารเคมี มาจากกระบวนการผลิต NaOH ที่ ในขั้นตอนการย่อยแป้งครั้งแรก และ H_2SO_4 ที่ใช้ในขั้นตอนการย่อยแป้งครั้งสุดท้ายตามลำดับ โดยกระบวนการผลิต NaOH และ H_2SO_4 จะมีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดปริมาณ 7.64 และ 2.61 kg SO_2 /เอทานอล 100,000 ลิตร ตามลำดับ

ภาพที่ 47 (ค) แสดงผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น จากภาพพบว่า ร้อยละ 100 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันทั้งหมดจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น มาจากมลสารที่ปล่อยมาจากน้ำเสีย โดยน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้นจะมีค่า COD ประมาณ 84 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น จะมีน้ำเสียปริมาณ 1,024 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นในการผลิตเอทานอลจากมันเส้นจึงมีค่า COD ที่ 86 ตัน /เอทานอล 100,000 ลิตร ซึ่งส่งผลให้มีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันในปริมาณ 1,800 kg. PO_4^{3-} eq. /เอทานอล 100,000 ลิตร

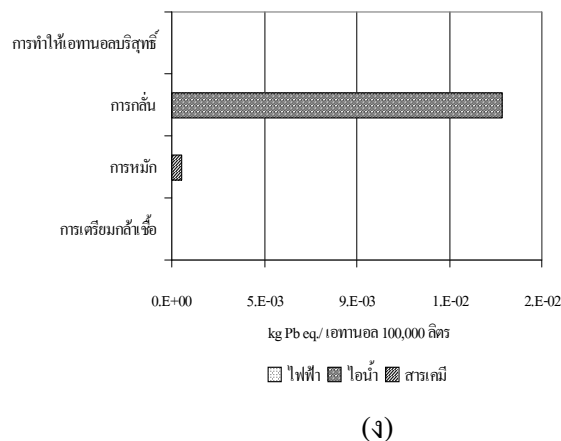
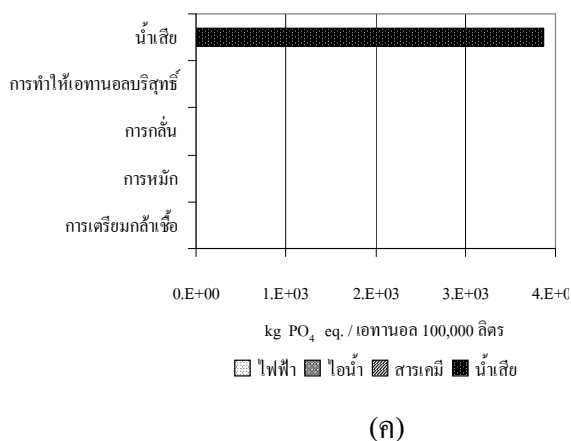
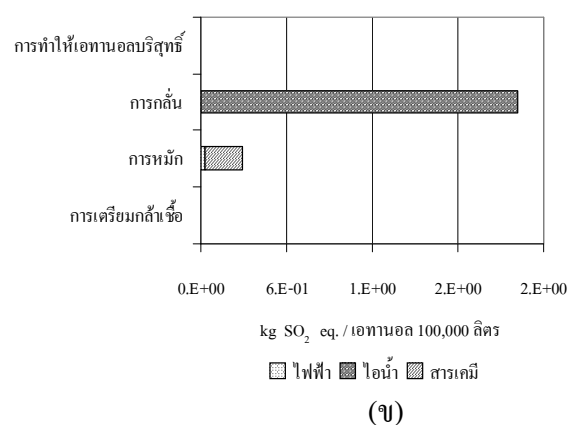
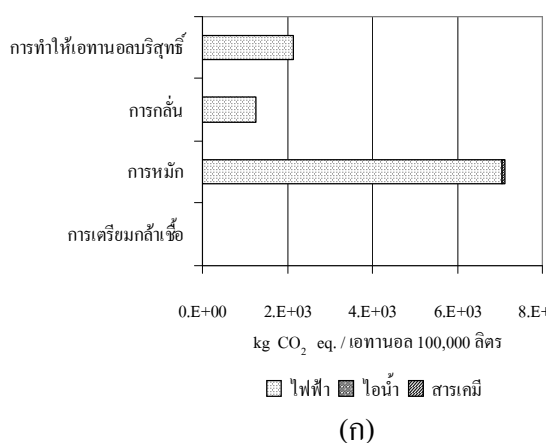
ภาพที่ 47(ง) และ 47 (จ) แสดงผลการปล่อยโลหะหนัก และสารก่อมะเร็งจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น พบว่าผลการปล่อยโลหะหนัก และสารก่อมะเร็ง มีค่าทำนองเดียวกันคือโดยเฉลี่ย ร้อยละ 63 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดและสารก่อมะเร็ง ทั้งหมดจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น มาจากกระบวนการผลิตไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการกลั่น เนื่องจากกระบวนการผลิตไอน้ำมีการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ ซึ่งจะมีการปล่อยโลหะหนัก และ สารก่อมะเร็ง 4.53×10^{-5} kg Pb eq. และ 3.54×10^{-7} kg Benzo(a)pyrene eq /การผลิตไอน้ำ 1 ตัน ตามลำดับ โดยในกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น มีการใช้ไอน้ำ 318 ตัน ดังนั้นการผลิตเอทานอลจากมันเส้น จึงมีการปล่อยโลหะหนักและสารก่อมะเร็งสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณ 0.014 kg Pb eq. และ 1.13×10^{-4} kg Benzo(a)pyrene eq. / เอทานอล 100,000 ลิตร

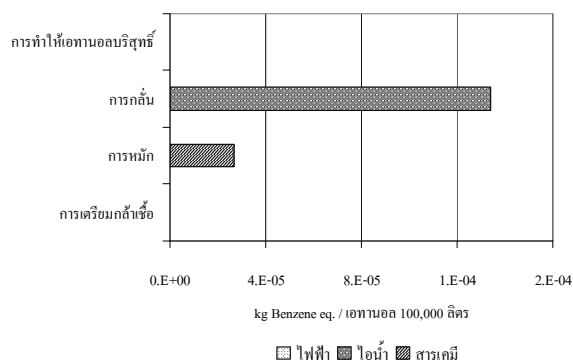
ภาพที่ 47 (ฉ) แสดงผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น พบว่าร้อยละ 96 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนทั้งหมดจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น มาจากกระบวนการผลิต H_2SO_4 ที่ในขั้นตอนการย่อยแป้งครั้งสุดท้ายโดยกระบวนการผลิต H_2SO_4 จะมีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการ

ลดลงของชั้นโอโซนในปริมาณ $1.96 \times 10^{-8} \text{ kg CFC11 eq. / H}_2\text{SO}_4 \text{ 1 กก.}$ ตามลำดับ ซึ่งในกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้นมีการใช้ H_2SO_4 450 กก. จึงทำให้มีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนจากกระบวนการผลิต NaOH ในปริมาณ $8.82 \times 10^{-6} \text{ kg CFC11}$ ต่อ เอทานอล 100,000 ลิตร

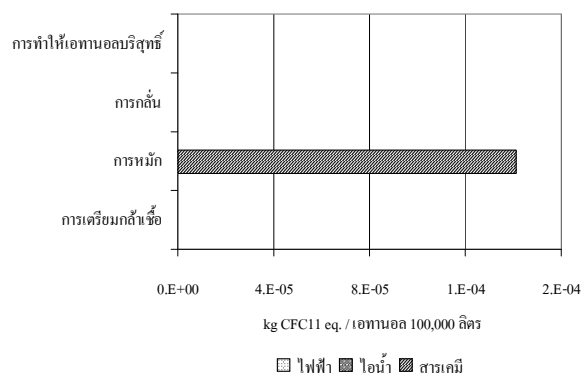
2.4.2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล

กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล จะพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า พลังงานไอน้ำและสารเคมีต่างๆ เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต และ น้ำ ประปาที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล โดยผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล แสดงได้ดังภาพที่ 48





(จ)



(ฉ)

ภาพที่ 48 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากกากน้ำตาล

(ก) Greenhouse Gas

(ข) Acidification

(ค) Eutrophication

(ง) Heavy metals

(จ) Carcinogens

(ฉ) Ozone layer depletion

ภาพที่ 48(ก) แสดงผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล พบว่าร้อยละ 68 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล มาจากระบวนการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในขั้นตอนการหมัก โดยกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะมีการปล่อยก๊าซ CO_2 , N_2O และ CH_4 ออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณ 0.60 3.5×10^{-7} และ $6.4 \times 10^{-4} \text{ kg} / \text{ไฟฟ้า } 1 \text{ kWh}$. ตามลำดับ ซึ่งขั้นตอนการหมักมีการใช้พลังงานไฟฟ้า $13,575 \text{ kWh} / \text{เอทานอล } 100,000 \text{ ลิตร}$ ดังนั้นจึงมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณ $8,720 \text{ kg CO}_2 \text{ eq.} / \text{เอทานอล } 100,000 \text{ ลิตร}$ ส่วนอีกร้อยละ 20 และ ร้อยละ 12 มาจากระบวนการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในขั้นตอนการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์ และขั้นตอนการกลั่น โดยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณ $2,150$ และ $1,250 \text{ kg CO}_2 \text{ eq.} / \text{เอทานอล } 100,000 \text{ ลิตร}$ ตามลำดับ

ภาพที่ 48(ข) แสดงผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล พบว่า ร้อยละ 88 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล มาจากระบวนการผลิตไอน้ำในขั้นตอนการกลั่น เนื่องด้วยกระบวนการผลิตไอน้ำ มีการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำมันเตาจะมีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรด เช่น SO_2 , NH_3 , HCl , HF และ NO สู่สิ่งแวดล้อม หรือคิดเป็น $0.0062 \text{ kg SO}_2 \text{ eq.} / \text{การผลิตไอน้ำ } 1 \text{ ตัน}$ ซึ่งในกระบวนการ

ผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล มีการใช้ไอน้ำในกระบวนการผลิตประมาณ 355 ตัน ดังนั้นในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล จึงมีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณ $2.20 \text{ kg SO}_2 \text{ eq /เอทานอล } 100,000 \text{ ลิตร}$ ส่วนขั้นตอนการหมักมีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดในปริมาณสูงรองลงมา โดยคิดเป็นร้อยละ 12 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลซึ่ง มาจากกระบวนการผลิตแอมโมเนียมซัลเฟต $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ ที่ใช้ในขั้นตอนการหมักโดยกระบวนการผลิต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ จะมีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดในปริมาณ $0.001 \text{ kg SO}_2 \text{ ต่อ } (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \text{ 1 กก.}$ ซึ่งในกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการใช้ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 530 กก. จึงทำให้มีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดจากกระบวนการผลิต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ในปริมาณ 0.058 kg SO_2 ต่อ เอทานอล 100,000 ลิตร โดยการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดจากกระบวนการผลิต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ มาจากกระบวนการผลิตน้ำมันเตาที่ใช้ในการผลิต โดยคิดเป็นร้อยละ 33 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดจากกระบวนการผลิต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ทั้งหมด

ภาพที่ 48(ค) แสดงผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล พบว่า ร้อยละ 100 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล มาจากมลสารที่ปล่อยมาจากน้ำเสีย โดยน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลจะมีค่าซีโอดีประมาณ 135 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากกากน้ำตาล จะมีน้ำเสียปริมาณ 1,304 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีค่าซีโอดีที่ 176 ตัน/เอทานอล 100,000 ลิตร จึงมีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันในปริมาณ $3,870 \text{ kg.PO}_4^- \text{ /เอทานอล } 100,000 \text{ ลิตร}$

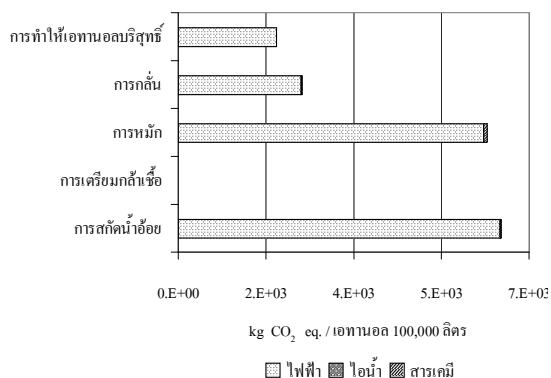
ภาพที่ 48(ง) และ 48(จ) แสดงผลการปล่อยโลหะหนักและสารก่อมะเร็ง จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล พบว่าผลการปล่อยโลหะหนัก และสารก่อมะเร็ง มีค่าทำนองเดียวกัน คือ การปล่อยโลหะหนักและสารก่อมะเร็ง ร้อยละ 97 และ ร้อยละ 83 ตามลำดับ จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมาจากการผลิตไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการกลั่น เนื่องด้วยกระบวนการผลิตไอน้ำ มีการใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำมันเตาจะมีการปล่อยโลหะหนัก เช่น Pb Cd Hg Cu และ Ni เป็นต้น ออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณ $4.53 \times 10^{-5} \text{ kg Pb eq. /การผลิตไอน้ำ 1 ตัน}$ และสารก่อมะเร็งประเภท Benzo(a)pyrene Benzene สารประกอบอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และ PAH เป็นต้น ออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณ $3.54 \times 10^{-7} \text{ kg}$

Benzo(a)pyrene eq / การผลิตไอน้ำ 1 ตัน ซึ่งในกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล มีการใช้ไอน้ำ 355 ตัน ดังนั้นในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลจึงมีการปล่อยโลหะหนัก และสารก่อมะเร็งสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณ 0.01 kg Pb eq. และ 1.26×10^{-4} kg Benzo(a)pyrene eq / เอทานอล 100,000 ลิตร ตามลำดับ ส่วนการปล่อยโลหะหนักอีกร้อยละ 3 และ สารก่อมะเร็งอีก ร้อยละ 17 มาจากกระบวนการผลิต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ในขั้นตอนการหมัก โดยกระบวนการผลิต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ จะมีการปล่อยโลหะหนักและสารก่อมะเร็งในปริมาณ 4.92×10^{-4} kg Pb eq. และ 2.51×10^{-5} kg Benzo (a) pyrene eq. / เอทานอล 100,000 ลิตร ตามลำดับ

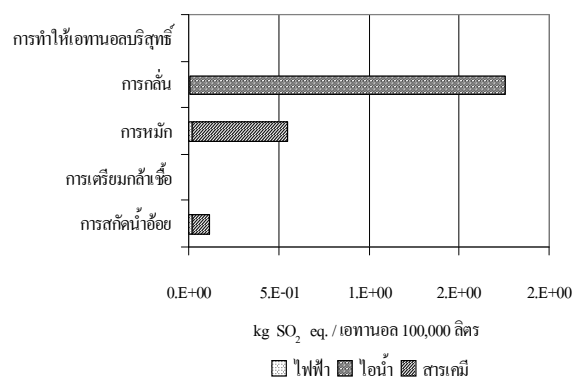
ภาพที่ 48(จ) แสดงผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล พบว่าร้อยละ 100 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนมาจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล มาจากกระบวนการผลิต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ที่ใช้ในขั้นตอนการหมัก โดยกระบวนการผลิต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ จะมีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนในปริมาณ 2.65×10^{-7} kgCFC11 eq / $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1 กก. ซึ่งในกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการใช้ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 530 กก. จึงทำให้มีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนจากกระบวนการผลิต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ในปริมาณ 1.40×10^{-4} kg CFC11 / เอทานอล 100,000 ลิตร

2.4.3 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากอ้อย

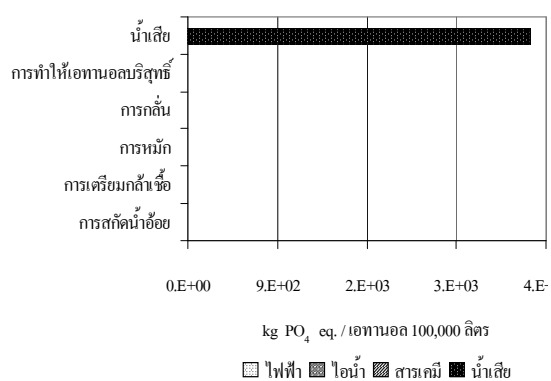
กระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย จะพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตไฟฟ้า ไอน้ำ แอมโมเนียมซัลเฟต และ น้ำประปา ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย โดยผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ จากการผลิตเอทานอลจากอ้อย แสดงได้ดังภาพที่ 49



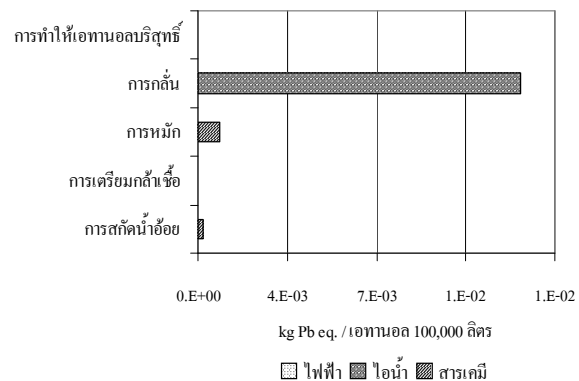
(ก)



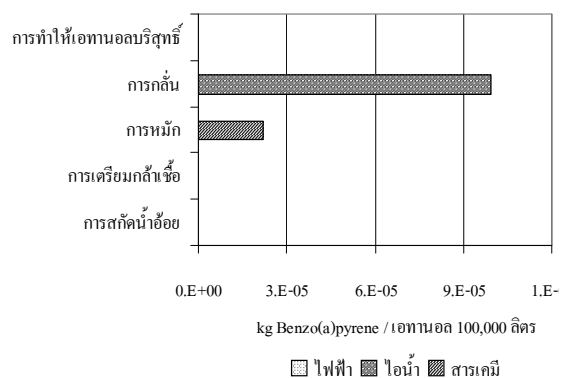
(ข)



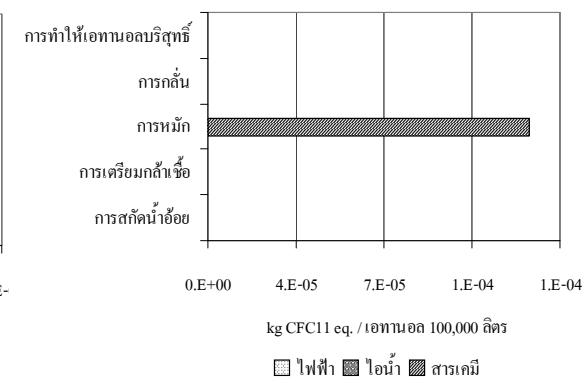
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

ภาพที่ 49 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรจากอ้อย

(ก) Greenhouse Gas

(ข) Acidification

(ค) Eutrophication

(ง) Heavy metals

(จ) Carcinogens

(ฉ) Ozone layer depletion

ภาพที่ 49(ก) แสดงผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย พบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ร้อยละ 38 ร้อยละ 36 ร้อยละ 15 และ ร้อยละ 11 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดในกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย อยู่ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในขั้นตอนการสกัดน้ำอ้อย การหมัก การกลั่น และ การทำให้เอทานอลบริสุทธิ์ ตามลำดับ โดยกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะมีการปล่อยก๊าซ CO_2 , N_2O และ CH_4 ออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณ 0.60 3.5×10^{-7} และ 6.4×10^{-4} kg ต่อไฟฟ้า 1 kWh ตามลำดับ ดังนั้นในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 29,203 kWh จึงมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกรวม 1.78×10^4 kg CO_2 eq. /เอทานอล 100,000 ลิตร

ภาพที่ 49(ข) แสดงผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย พบว่าการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดมีผลในทางองเดียวกับกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล คือ ร้อยละ 72 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย มาจากกระบวนการผลิตไอน้ำในขั้นตอนการกลั่น โดยมีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดปริมาณ 0.55 kg SO_2 eq. /เอทานอล 100,000 ลิตร ส่วนอีกร้อยละ 23 และ ร้อยละ 5 มาจากกระบวนการผลิต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ที่ใช้ในขั้นตอนการหมัก และ กระบวนการผลิตน้ำประปาในขั้นตอนการสกัดน้ำอ้อย ตามลำดับ โดยกระบวนการผลิต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ จะมีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดในปริมาณ 0.58 kg SO_2 /เอทานอล 100,000 ลิตร ส่วนกระบวนการผลิตน้ำประปาจะมีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดในปริมาณ 2.51×10^{-7} kg SO_2 /น้ำประปา 1 ลิตร ซึ่งในขั้นตอนการสกัดหีบอ้อยใช้น้ำประปาปริมาณ 421 ลูกบาศก์เมตร/เอทานอล 100,000 ลิตร ดังนั้นจึงมีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดในปริมาณ 0.11 kg SO_2 /เอทานอล 100,000 ลิตร

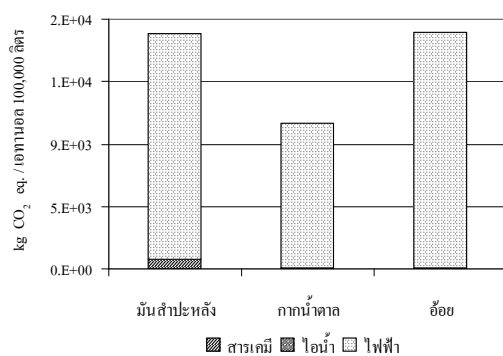
ภาพที่ 49 (ค) แสดงผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย จากภาพพบว่า ร้อยละ 100 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากอ้อย มาจากมลสารที่ปล่อยมาจากน้ำเสีย โดยน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อยจะมีค่าซีโอดี ประมาณ 135 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากอ้อย จะมีน้ำเสียปริมาณ 1,272 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นในการผลิตเอทานอลจากอ้อยมีค่าซีโอดีที่ 172 ดัน/เอทานอล 100,000 ลิตร จึงมีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันในปริมาณ $3,440$ kg PO_4^- /เอทานอล 100,000 ลิตร

ภาพที่ 49(ง) และ 49(จ) แสดงผลการปล่อยโลหะหนักและสารก่อมะเร็ง จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย พบว่าผลการปล่อยโลหะหนัก และสารก่อมะเร็ง มีค่าทำนองเดียวกัน คือ ร้อยละ 92 ของการปล่อยโลหะหนักและ ร้อยละ 81 ของการปล่อยสารก่อมะเร็ง มาจากกระบวนการผลิตไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการกลั่น โดยมีการปล่อยโลหะหนักและสารก่อมะเร็ง สู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณ 0.013 kg Pb eq. และ $9.91 \times 10^{-5} \text{ kg Benzo(a)pyrene eq.}$ / เอทานอล 100,000 ลิตร ตามลำดับ ส่วนอีกร้อยละ 7 ของการปล่อยโลหะหนักและ ร้อยละ 18 ของการปล่อยสารก่อมะเร็ง มาจากกระบวนการผลิต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ที่ใช้ในขั้นตอนการหมัก โดยมีการปล่อยโลหะหนัก และ สารก่อมะเร็ง สู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณ $8.77 \times 10^{-4} \text{ kg Pb eq.}$ และ $2.22 \times 10^{-5} \text{ kg Benzo (a) pyrene eq.}$ / เอทานอล 100,000 ลิตร ตามลำดับ

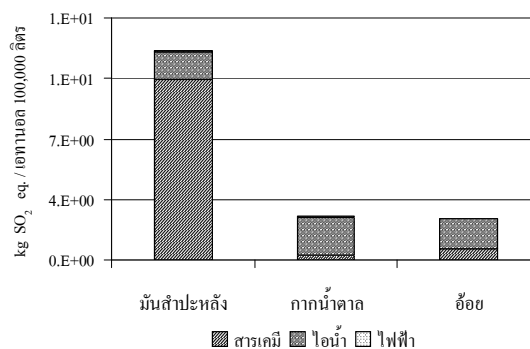
ภาพที่ 49(ฉ) แสดงผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย พบว่า ร้อยละ 100 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนมาจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย มาจากกระบวนการผลิต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ที่ใช้ในขั้นตอนการหมัก โดยมีค่าการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนจากกระบวนการผลิต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ในปริมาณ $1.28 \times 10^{-4} \text{ kg CFC11 eq.}$ / เอทานอล 100,000 ลิตร

2.4.4 การเปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ

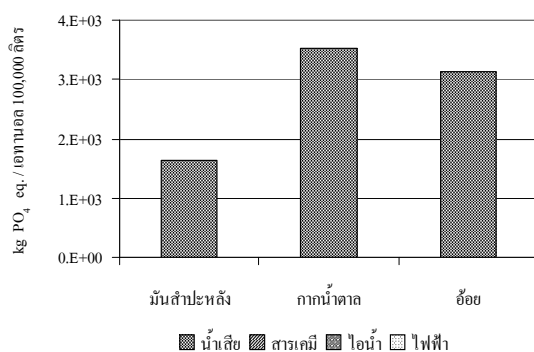
การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ จากการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ แสดงได้ดังภาพที่ 50



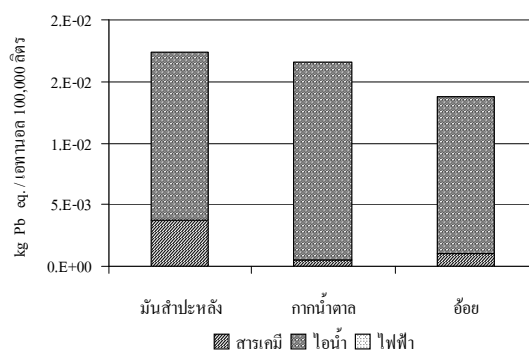
(ก)



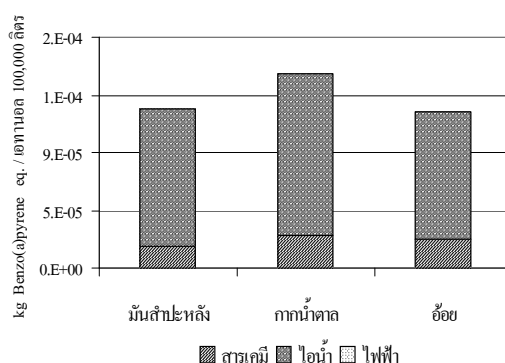
(ข)



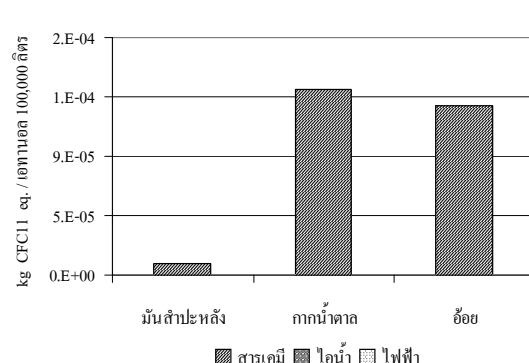
(ก)



(ง)



(จ)



(ฉ)

ภาพที่ 50 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากขั้นตอนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ

(ก) Greenhouse Gas

(ข) Acidification

(ค) Eutrophication

(ง) Heavy metals

(จ) Carcinogens

(ฉ) Ozone layer depletion

ภาพที่ 50 (ก) แสดงผลการเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณต่ำสุด เนื่องด้วยการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 98 มาจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า ดังนั้นจึงส่งผลให้การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในขั้นตอนการผลิตเอทานอลปริมาณต่ำกว่าการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง และอ้อย จึงมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลต่ำที่สุด

ภาพที่ 50 (ข) แสดงผลการเปรียบเทียบการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังส่งผลต่อการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดในปริมาณสูงที่สุด เนื่องด้วยการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมีการใช้สารเคมี (NaOH และ H_2SO_4) ในขั้นตอนการย่อยแป้ง (การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล และอ้อย ไม่ใช้ NaOH และ H_2SO_4 ในการผลิตเอทานอล) ซึ่งกระบวนการผลิต NaOH และ H_2SO_4 มีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดในปริมาณสูง หรือคิดเป็นร้อยละ 86 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดทั้งหมดในขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง จึงส่งผลให้การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดสูงกว่าการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล และอ้อย

ภาพที่ 50 (ค) แสดงผลการเปรียบเทียบการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลส่งผลต่อการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันในปริมาณสูงที่สุด เนื่องด้วยการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล มีการใช้น้ำประปาในปริมาณสูง เพื่อใช้ในการเจือจางกากน้ำตาล จึงส่งผลให้มีการปล่อยปริมาณน้ำเสียที่ค่าซีโอดีสูง ในปริมาณมากกว่าการผลิตเอทานอลจากอ้อย และมันสำปะหลัง ตามลำดับ

ภาพที่ 50 (ง) แสดงผลการเปรียบเทียบการปล่อยโลหะหนักจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังส่งผลต่อการปล่อยโลหะหนักในปริมาณสูงสุด รองลงมาคือ การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล และอ้อย ตามลำดับ เนื่องด้วยการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมีการใช้สารเคมี (NaOH และ H_2SO_4) ในขั้นตอนการย่อยแป้ง (การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและอ้อย ไม่ใช้ NaOH และ H_2SO_4 ในการผลิตเอทานอล) ซึ่งกระบวนการผลิต NaOH และ H_2SO_4 มีการปล่อยโลหะหนักในปริมาณสูง หรือคิดเป็นร้อยละ 21 ของการปล่อยโลหะหนักทั้งหมดในขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง จึงส่งผลให้การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ปล่อยโลหะหนักสูงกว่าการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล และอ้อย ส่วนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการปล่อยโลหะหนักในขั้นตอนการผลิตเอทานอลสูงรองลงมา เนื่องด้วยการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการใช้น้ำในปริมาณสูงที่สุด ซึ่งกระบวนการผลิตไอน้ำมีการปล่อยโลหะหนักในปริมาณสูง โดยคิดเป็น ร้อยละ 97 ของการปล่อยโลหะหนักทั้งหมดในขั้น

ตอนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล จึงส่งผลให้การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการปล่อยโลหะหนักในปริมาณสูงรองลงมา

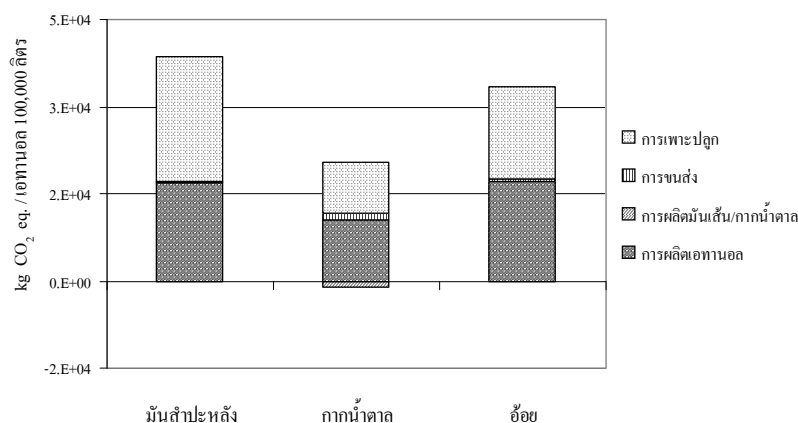
ภาพที่ 50 (จ) แสดงการเปรียบเทียบการปล่อยสารก่อมะเร็งจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลส่งผลต่อการปล่อยสารก่อมะเร็งในปริมาณสูงสุด เนื่องด้วยการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการใช้น้ำในปริมาณสูงสุด ซึ่งกระบวนการผลิตไอน้ำมีการปล่อยสารก่อมะเร็งในปริมาณสูง โดยคิดเป็น ร้อยละ 83 ของการปล่อยสารก่อมะเร็งทั้งหมดในขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล จึงส่งผลให้การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการปล่อยสารก่อมะเร็งในปริมาณสูงสุด รองลงมาคือการผลิตเอทานอลมันสำปะหลัง และ อ้อยตามลำดับ

ภาพที่ 50 (ข) แสดงผลการเปรียบเทียบการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลส่งผลต่อการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนในปริมาณสูงสุด เนื่องด้วยกระบวนการผลิต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ มีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนในปริมาณสูงโดยคิดเป็น ร้อยละ 99 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนทั้งหมดในขั้นตอนการผลิตเอทานอล จึงส่งผลให้การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนในปริมาณสูงสุด

2.5 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล

จากการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต ในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ ในขั้นตอนต่างๆ ตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะปลูก การขนส่ง การแปรรูปวัตถุดิบ (การผลิตมันเส้น และกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย) จนกระทั่งขั้นตอนการผลิตเอทานอล จะเป็นผลการศึกษาแยกในแต่ละขั้นตอน แต่เมื่อนำผลการศึกษาแต่ละขั้นตอนมารวมกัน และทำการเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากการใช่วัตถุดิบแต่ละประเภท มีดังต่อไปนี้

การปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ แสดงผลการศึกษาดังภาพที่ 51

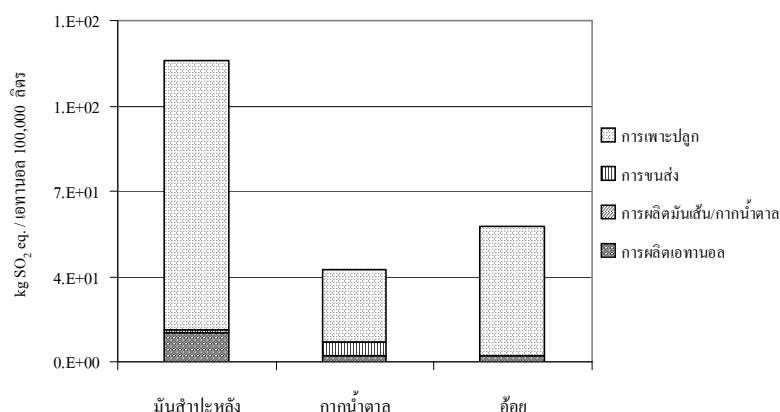


ภาพที่ 51 ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ

ภาพที่ 51 แสดงการเปรียบเทียบผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ พบว่า ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง มาจากขั้นตอนการเพาะปลูกมากที่สุด โดยคิดเป็น ร้อยละ 55 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ส่วนอีกร้อยละ 43 มาจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล ส่วนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 60 ร้อยละ 41 และ ร้อยละ 7 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล มาจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล ขั้นตอนการเพาะปลูกและขั้นตอนการขนส่ง ตามลำดับ ซึ่งในขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาล จะสามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขายพลังงานไฟฟ้าส่วนเกิน ได้ร้อยละ 5 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล สำหรับการผลิตเอทานอลจากอ้อย พบว่า ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมาจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลเป็นส่วนใหญ่ โดยคิดเป็นร้อยละ 51 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากอ้อย และอีกร้อยละ 47 และร้อยละ 2 มาจากการเพาะปลูก และการขนส่ง ตามลำดับ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า การใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ

ดิบในการผลิตเอทานอล ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด รองลงมาคือ อ้อยและกากน้ำตาล ตามลำดับ เนื่องด้วยการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อม สูงกว่าการผลิตเอทานอลจากอ้อย และกากน้ำตาลในทุกขั้นตอน ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล โดยตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะปลูก แม้ว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลัง มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ น้อยกว่าการเพาะปลูกอ้อยในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ แต่การเพาะปลูกมันสำปะหลังเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร มีการใช้พื้นที่การเพาะปลูกสูงกว่าการเพาะปลูกอ้อย จึงส่งผลทำให้มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูงกว่าการเพาะปลูกอ้อย ส่วนการเพาะปลูกอ้อย เพื่อผลิตกากน้ำตาล ในการผลิตเอทานอล มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่ำที่สุด เนื่องด้วยมีการปันส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกับน้ำตาลทราย ซึ่งเป็นผลผลิตหลักของกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ส่วนในขั้นตอนการผลิตเอทานอล พบว่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ยร้อยละ 96 มาจากกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งการผลิตเอทานอลจากอ้อยมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด เพราะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในขั้นตอนการสกัดน้ำอ้อย แต่เมื่อมีการปันส่วนผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกับชานอ้อยซึ่งเป็นผลผลิตร่วม พบว่า ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจึงมีค่าใกล้เคียงกับกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง คือ 17,000 kg CO₂/เอทานอล 100,000 ลิตร ส่วนขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณต่ำสุด เนื่องจากไม่มีขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ จึงส่งผลให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าปริมาณต่ำกว่าการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง และอ้อย ดังนั้นเมื่อรวมการปล่อยก๊าซเรือนกระจกตลอด วัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล จึงส่งผลให้การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันเส้นมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด รองลงมาคือ อ้อย และกากน้ำตาล ตามลำดับ

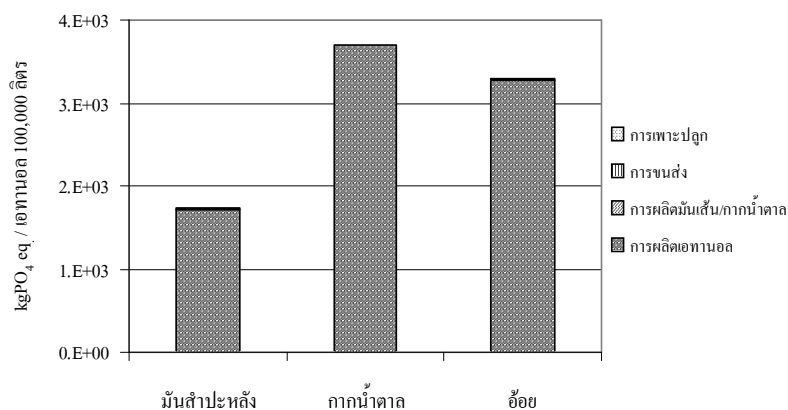
การปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรด ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ แสดงผลการศึกษาดังภาพที่ 52



ภาพที่ 52 ผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ

ภาพที่ 52 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ พบว่า การปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดจากการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง อ้อย และกากน้ำตาล มาจากขั้นตอนการเพาะปลูกมากที่สุด โดยเฉลี่ยคิดเป็น ร้อยละ 88 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล เนื่องด้วยการเพาะปลูกมีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรด จากกระบวนการผลิตปุ๋ย และจากการใช้รถแทรกเตอร์ โดยคิดเป็นร้อยละ 50 และร้อยละ 43 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดทั้งหมดจากการเพาะปลูก ตาม ลำดับ โดยการเพาะปลูกมันสำปะหลังมีการใช้รถแทรกเตอร์ในการเพาะปลูกมากกว่าการเพาะปลูกอ้อย จึงส่งผลให้การปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดจากการเพาะปลูกมันสำปะหลังมีค่า 15.69 kg SO₂ /พื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ ซึ่งมีความมากกว่าการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดจากการใช้รถแทรกเตอร์ ในการเพาะปลูกอ้อยซึ่งมีค่า 10.11 kg SO₂ /พื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ และเนื่องจากการเพาะปลูกมันสำปะหลังเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร มีการใช้พื้นที่การเพาะปลูกสูงกว่าการเพาะปลูกอ้อย ดังนั้นจึงส่งผลให้การใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ส่งผลต่อการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลสูงสุด รองลงมาคือ อ้อย และกากน้ำตาล ตามลำดับ

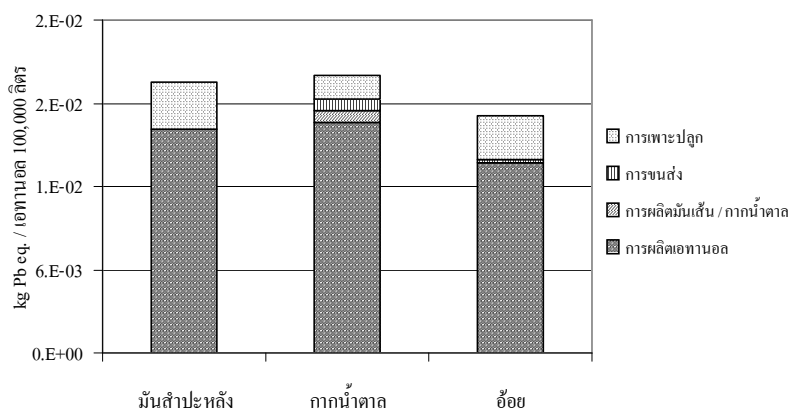
การปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชั่น ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ แสดงผลการศึกษาดังภาพที่ 53



ภาพที่ 53 ผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชัน ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ

ภาพที่ 53 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชัน ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า ผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันจากการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง อ้อย และกากน้ำตาล มาจากขั้นตอนกระบวนการผลิตเอทานอลมากที่สุด คิดเป็น ร้อยละ 99 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล เนื่องด้วยกระบวนการผลิตเอทานอลมีปริมาณน้ำเสียซึ่งมีค่าซีโอดีสูง ในปริมาณมาก โดยปริมาณน้ำเสียมีค่า 1000-1,300 ลูกบาศก์เมตร/เอทานอล 100,000 ลิตร จึงส่งผลให้เกิดยูโทรฟิเคชันในแหล่งน้ำในปริมาณมาก โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชัน ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ส่งผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันสูงสุด รองลงมาคือ อ้อย และมันสำปะหลัง ตามลำดับ เนื่องจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการใช้น้ำประปาในการเจือจางกับกากน้ำตาลในปริมาณสูง จึงส่งผลให้น้ำเสียในปริมาณสูง และมีค่าซีโอดีในปริมาณน้ำเสียสูง ซึ่งน้ำเสียมีค่าซีโอดีเท่ากับ 3,872 kg COD /เอทานอล 100,000 ลิตร ในขณะที่กระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อยและมันเส้นน้ำเสียมักมีค่าซีโอดีเท่ากับ 3,778 และ 1,892 kg COD / เอทานอล 100,000 ลิตร

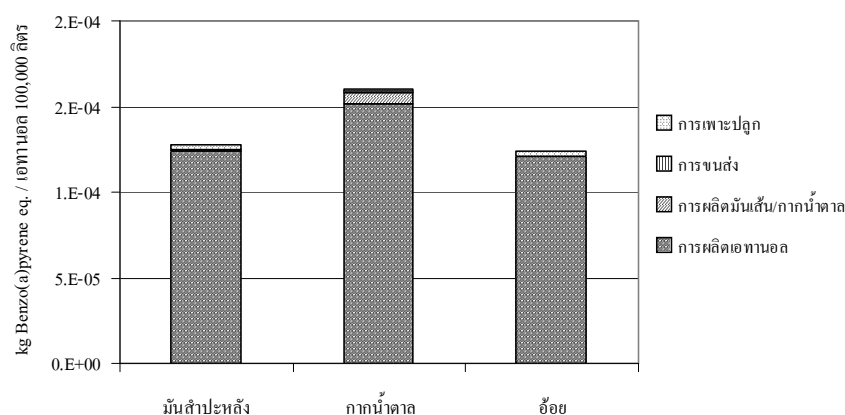
การปล่อยโลหะหนักตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ แสดงผลการศึกษาดังภาพที่ 54



ภาพที่ 54 ผลการปล่อยโลหะหนักตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ

ภาพที่ 54 แสดงการเปรียบเทียบผลการปล่อยโลหะหนัก ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า ผลการปล่อยโลหะหนักจากการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง อ้อย และกากน้ำตาล มาจากขั้นตอนกระบวนการผลิตเอทานอลมากที่สุด คิดเป็น ร้อยละ 80 ของการปล่อยโลหะหนักทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล โดยร้อยละ 82 ของการปล่อยโลหะหนักจากกระบวนการผลิตเอทานอลมาจากการกระบวนการผลิตน้ำมันเตา เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ ในขั้นตอนการกลั่นและการปล่อยโลหะหนักอีกร้อยละ 17 ของการปล่อยโลหะหนักทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล มาจากขั้นตอนการเพาะปลูก ซึ่งการปล่อยโลหะหนักจากขั้นตอนการเพาะปลูก ร้อยละ 60 ของการปล่อยโลหะหนักในขั้นตอนการเพาะปลูก มาจากการกระบวนการผลิตเชื้อเพลิง ส่วนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลจะมีการปล่อยโลหะหนักในขั้นตอนการขนส่ง และกระบวนการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลอีกร้อยละ 9 ของการปล่อยโลหะหนักทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากกาก น้ำตาล เมื่อทำการเปรียบเทียบการปล่อยโลหะหนักตลอดวัฏจักรชีวิต ของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ส่งผลผลการปล่อยโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อมสูงสุด รองลงมาคือการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อยตามลำดับ เนื่องจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการใช้ไอน้ำในปริมาณสูงกว่า การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง และอ้อย และเนื่องจากการปล่อยโลหะหนักตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล ร้อยละ 69 มาจากการกระบวนการผลิตไอน้ำ จึงส่งผลการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ส่งผลผลการปล่อยโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อมสูงสุด

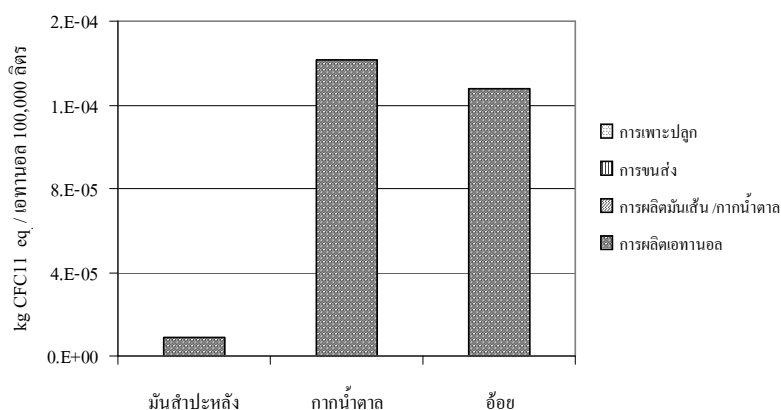
การปล่อยสารก่อมะเร็ง ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากการใช้
วัตถุดิบประเภทต่างๆ แสดงผลการศึกษาดังภาพที่ 55



ภาพที่ 55 ผลการปล่อยสารก่อมะเร็งตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร
ของวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ

ภาพที่ 55 แสดงการเปรียบเทียบผลการปล่อยสารก่อมะเร็ง ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า ผลการปล่อยสารก่อมะเร็งจากการผลิตเอทานอลจากมันสำปะ หลัง อ้อย และกากน้ำตาล มาจากขั้นตอนกระบวนการผลิตเอทานอลมากที่สุด คิดเป็น ร้อยละ 95 ของการปล่อยโลหะหนักทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล โดยการปล่อยสารก่อมะเร็งจากกระบวนการผลิตเอทานอล ร้อยละ 77 ของการปล่อยสารก่อมะเร็งจากกระบวนการผลิตเอทานอล มาจากกระบวนการผลิตน้ำมันเตา เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ เพื่อใช้ในขั้นตอนการกลั่น โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบการปล่อยสารก่อมะเร็งตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ส่งผลต่อการปล่อยสารก่อมะเร็งออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณสูงสุด รองลงมาคือมันสำปะหลัง และอ้อย ตามลำดับ สาเหตุที่กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการปล่อยโลหะหนักออกสู่สิ่งแวดล้อม ในปริมาณสูงสุด เป็นไปทำนองเดียวกับผลการศึกษากการปล่อยโลหะหนัก กล่าวคือ กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการใช้ไอน้ำในปริมาณสูงกว่า การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง และอ้อย และเนื่องด้วยการปล่อยสารก่อมะเร็งตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล ร้อยละ 80 มาจากกระบวนการผลิตไอน้ำจึงส่งผลให้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ส่งผลต่อการปล่อยโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อมสูงสุด

การปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน ที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากการใช้วัตถุดิบแต่ละประเภทแสดงผลการศึกษาดังภาพที่ 56



ภาพที่ 56 ผลกระทบการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ

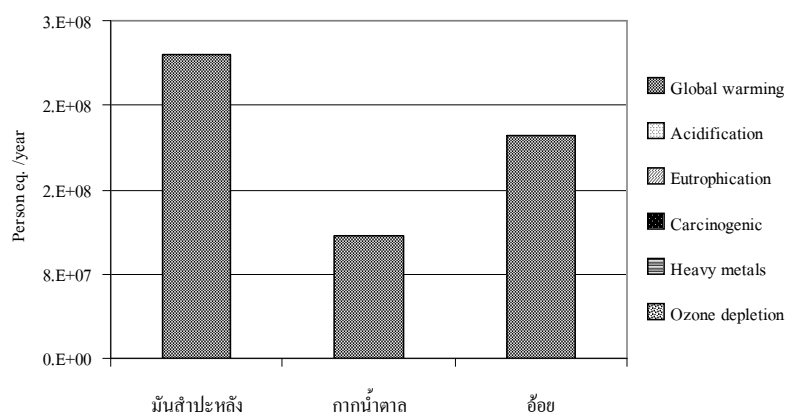
ภาพที่ 56 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า ผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน จากการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง อ้อย และกากน้ำตาล มาจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลมากที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 100 ของการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล โดยการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและอ้อย ร้อยละ 100 มาจากกระบวนการผลิต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ที่ใช้ในขั้นตอนการหมัก ส่วนการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ร้อยละ 95 มาจากกระบวนการผลิต H_2SO_4 ที่ใช้ในขั้นตอนการย่อยแป้งครั้งแรก โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ส่งผลต่อการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณสูงสุด รองลงมา คือ อ้อย และ มันสำปะหลัง ตามลำดับ โดยสาเหตุที่การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล และอ้อย มีค่าการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน สูงกว่ากระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง เนื่องด้วยมีการใช้ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและอ้อย ซึ่งกระบวนการผลิต $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ มีการปล่อย

มลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนในปริมาณ 2.65×10^{-7} kg CFC 11eq. / $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1 กก. (กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและอ้อยใช้ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ปริมาณ 530 กก.) ส่วนการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้นมาจากกระบวนการผลิต H_2SO_4 ซึ่งมีการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนในปริมาณ 1.96×10^{-8} kg CFC11 eq. / $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 1 กก. (กระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันเส้นใช้ H_2SO_4 ปริมาณ 450 กก.)

2.5 การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ

งานวิจัยทำการศึกษำขั้นตอนการหาขนาดผลกระทบสิ่งแวดล้อม เพื่อต้องการศึกษาเพิ่มเติมต่อไปว่า ผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในภาพรวมทั้งหมดอย่างไร การเปรียบเทียบขนาดผลกระทบสิ่งแวดล้อม ทำโดยการเทียบกับปริมาณทั้งหมดที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่กำหนด หรือเทียบต่อจำนวนประชากร 1 คน ว่าเป็นต้นเหตุในการเกิดผลกระทบมากน้อยเพียงใดในช่วงเวลาที่กำหนด โดยการหาคำผลกระทบสิ่งแวดล้อมแต่ละค่า กับค่าการให้ขนาดของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี โดยในงานวิจัยนี้ใช้ค่าขนาดของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของทวีปยุโรปจากโปรแกรม SimaPro 7.0 ซึ่งมีค่าแสดงดังตารางผนวกที่ ข7 โดยค่าการให้ขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อม มีการให้ขนาดด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด (13,477 Person eq. / kg.year) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะขอกำหนดผลการหาขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในแต่ละขั้นตอน ตั้งแต่การเพาะปลูกวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิตมันเส้น การผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย และกระบวนการผลิตเอทานอล โดยผลการเปรียบเทียบขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลของวัตถุดิบประเภทต่างๆ มีดังต่อไปนี้

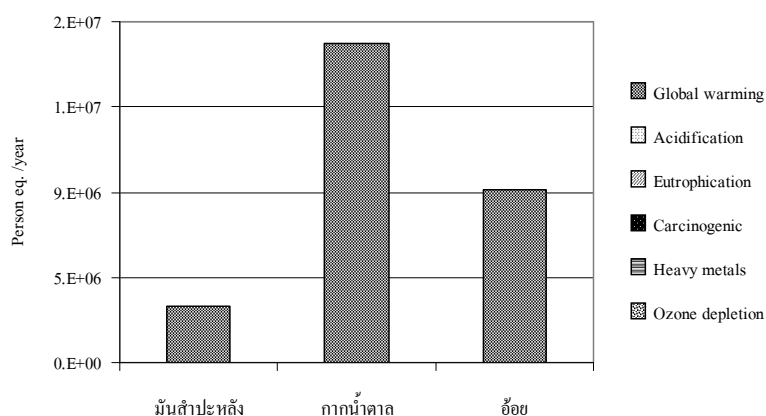
ขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการเพาะปลูกเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงได้ดังภาพที่ 57



ภาพที่ 57 ขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆในขั้นตอนการเพาะปลูก วัตถุประสงค์ประเภทต่างๆ ในการผลิตเอทานอล

ภาพที่ 57 แสดงขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆจากขั้นตอนการเพาะปลูกวัตถุประสงค์ประเภทต่างๆในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดยจากการให้ค่าขนาดของผลกระทบที่ให้ค่าขนาดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด จึงส่งผลทำให้การเพาะปลูกมันสำปะหลังที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณสูงที่สุด ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด รองลงมาคือ การเพาะปลูกอ้อย เพื่อผลิตเอทานอลโดยตรง และการเพาะปลูกอ้อย เพื่อผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ตามลำดับ ดังแสดงเหตุผลโดยละเอียดก่อนนี้ ดังภาพที่ 44 (ก) กล่าวคือ การเพาะปลูกมันสำปะหลัง ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ต้องใช้พื้นที่การเพาะปลูกมากกว่าการเพาะปลูกอ้อยเพื่อผลิตเอทานอล และ อีกสาเหตุคือ การเพาะปลูกมันสำปะหลังมีการใช้รถแทรกเตอร์ในการเพาะปลูกมากกว่าการเพาะปลูกอ้อย ส่วนการเพาะปลูกอ้อยเพื่อผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายมีการใช้พื้นที่การเพาะปลูกสูงสุด แต่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด เนื่องด้วยมีการปันส่วนการปล่อยก๊าซเรือนกระจกกับน้ำตาลทราย ซึ่งเป็นผลผลิตหลักในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

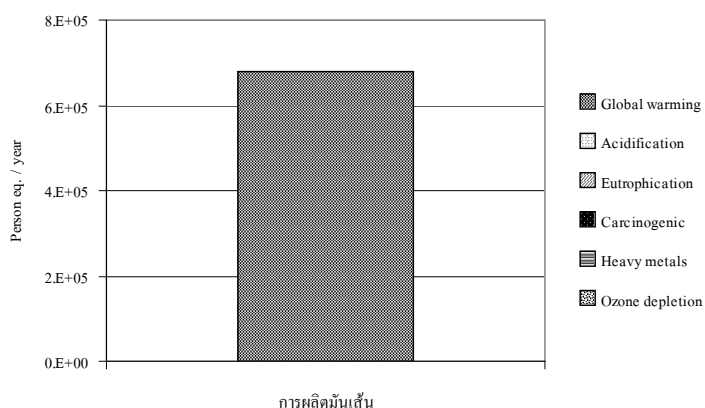
ขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงได้ดังภาพที่ 58



ภาพที่ 58 ขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ จากขั้นตอนการขนส่ง

ภาพที่ 58 แสดงการหาขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆจากขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบประเภทต่างๆ ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่าการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการขนส่งมากที่สุด รองลงมาคือ การผลิตเอทานอลจากอ้อย และมันสำปะหลังตามลำดับ เนื่องจากการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล มีการขนส่งในปริมาณสูง และระยะทางไกล กว่าผลิตเอทานอลจาก อ้อยและมันสำปะหลังในรูปแบบมันเส้น ดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น จึงส่งผลทำให้การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงกว่าการใช้ อ้อยและ มันสำปะหลัง แม้ว่าจะมีการปันส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อม กับ น้ำตาลทราย ซึ่งเป็นผลผลิตหลักในกระบวนการผลิตน้ำตาลแล้ว

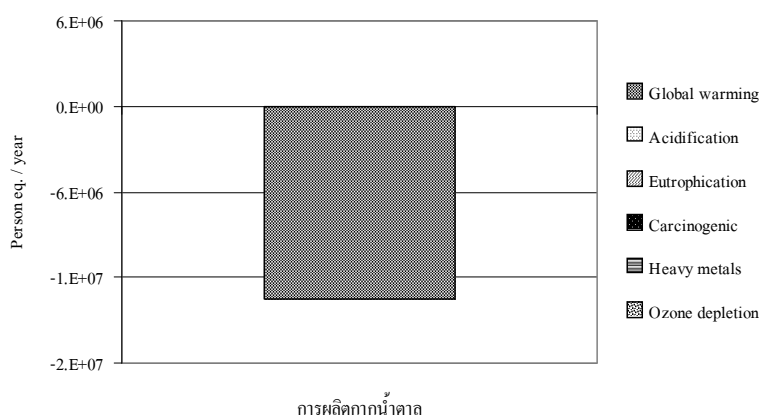
ขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตมันเส้น เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงได้ดังภาพที่ 59



ภาพที่ 59 ขนาดผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตมันเส้น

ภาพที่ 59 แสดงการหาขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆจากขั้นตอนการผลิตมันเส้น ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร เนื่องด้วยการผลิตมันเส้น จะมีการปล่อยผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องสับมันเส้น ดังนั้นจึงพบว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ผลิตมันเส้นในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ส่งผลผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 6.75×10^5 Person eq. /year หรือคิดเป็น ร้อยละ 100 ของการปล่อยผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมดของการผลิตมันเส้น

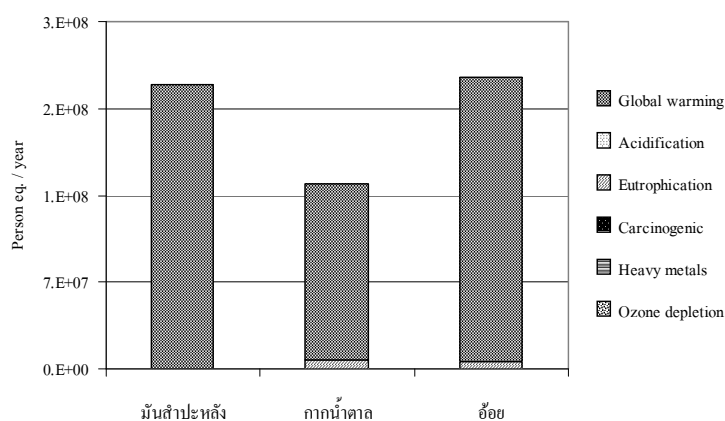
ขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิต ร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย แสดงได้ดังภาพที่ 60



ภาพที่ 60 ขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆจากขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาล

ภาพที่ 60 แสดงขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆจากขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย พบว่าการผลิตกากน้ำตาลสามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ 1.35×10^7 Person eq./ year เนื่องด้วยกระบวนการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ และมีพลังงานไอน้ำและพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินขายให้ภายนอกโรงงาน ซึ่งจากการที่โรงงานน้ำตาลทรายขายพลังงานไฟฟ้าภายนอกโรงงานนั้น สามารถลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าได้ -1.35×10^7 Person eq. /year หรือคิดเป็นร้อยละ 100 ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมด หรือกล่าวได้ว่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ที่เกิดจากกระบวนการผลิตเอทานอล โดยมีค่า 0.61 Person eq./year ซึ่งเมื่อเทียบกับผลจากการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จึงถือว่ามีย่าน้อยมาก ดังนั้น จึงกล่าวสรุปได้ว่ากระบวนการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายสามารถลด ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นได้

การหาขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตเอทานอล จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ แสดงได้ดังภาพที่ 61

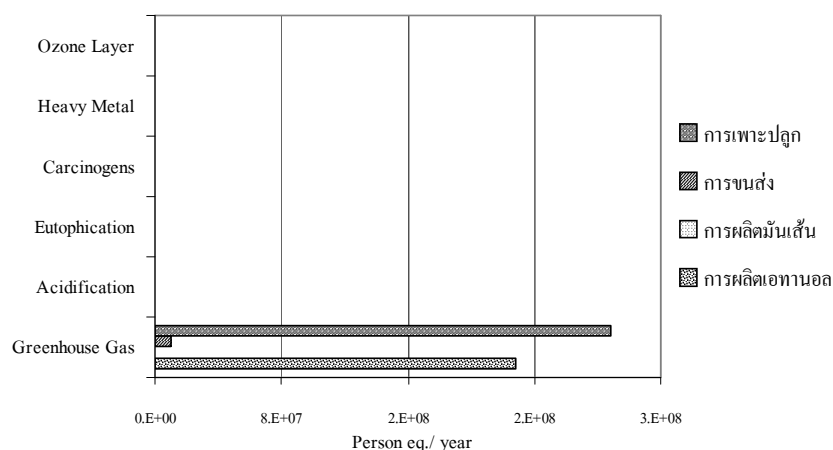


ภาพที่ 61 ขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ

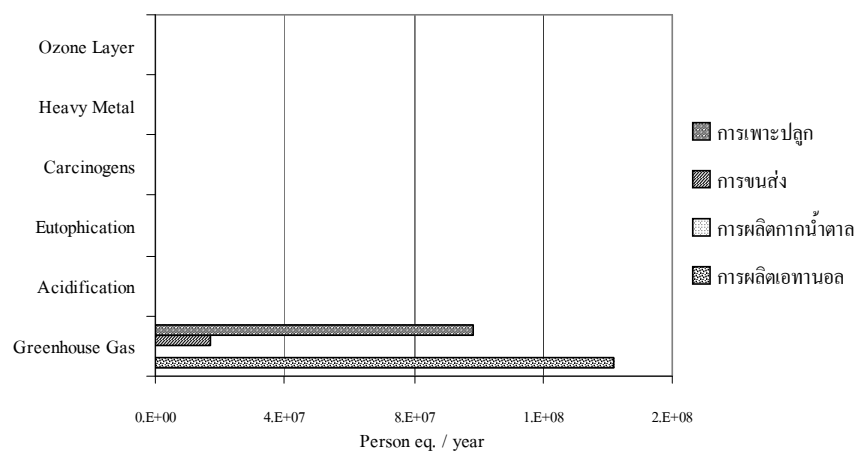
ภาพที่ 61 แสดงขนาดของผลกระทบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า ร้อยละ 97 มาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และร้อยละ 3 มาจากการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชัน และเมื่อรวมผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ

พบว่า ขั้นตอนการผลิตเอทานอลอ้อย ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด คือมีค่า 2.35×10^8 Person eq./year ส่วนกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและกากน้ำตาลมีค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ 2.29×10^8 และ 1.49×10^8 Person eq./year ตามลำดับ สาเหตุที่กระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อยและกากน้ำตาลมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในปริมาณ สูงกว่าการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล เนื่องด้วยกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย และมันสำปะหลังมีการใช้ปริมาณไฟฟ้าในกระบวนการผลิตเอทานอลในปริมาณสูงกว่ากระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล เพราะกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อยมีการใช้ไฟฟ้าเพิ่มในขั้นตอนการสกัดน้ำอ้อยในปริมาณสูง ส่วนกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในขั้นตอนการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล ซึ่งกระบวนการผลิตไฟฟ้าจะมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตปริมาณสูง ดังนั้น จึงส่งผลให้การผลิตเอทานอลจากอ้อยและมันสำปะหลังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตเอทานอลในปริมาณสูงกว่าการผลิตเอทานอลจาก กากน้ำตาล ส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในปริมาณสูงรองลงมาจากการปล่อยก๊าซเรือนกระจก เนื่องจากกระบวนการผลิตเอทานอล มีการปล่อยน้ำเสียที่มีค่าซีโอดีสูงออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณมาก

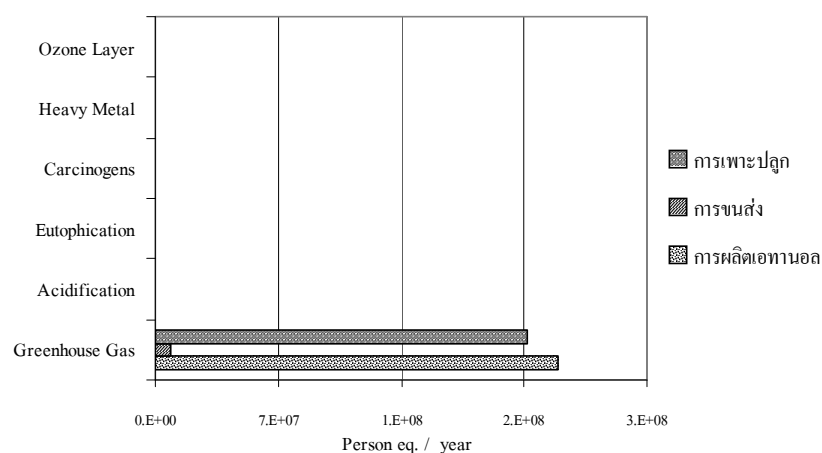
ขนาดของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ แสดงได้ดังภาพที่ 62



(ก)



(ก)



(ค)

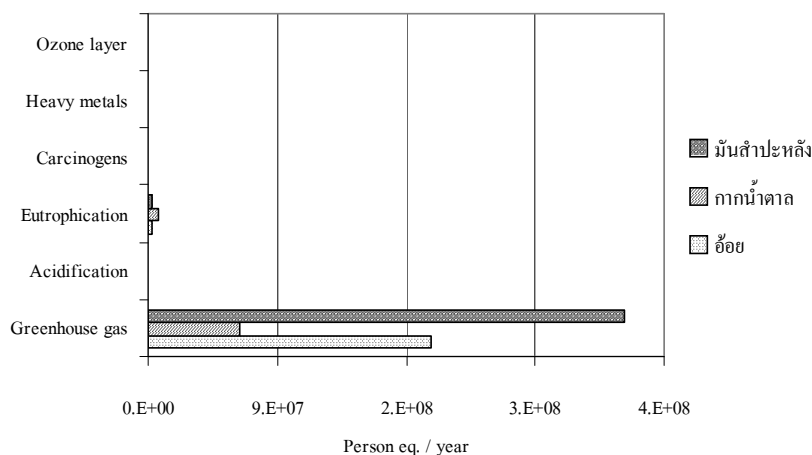
ภาพที่ 62 ขนาดของผลกระทบของผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่างๆ
 (ก) มันสำปะหลัง (ข) กากน้ำตาล (ง) อ้อย

ภาพที่ 62 แสดงขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล จะมาจากผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ร้อยละ 100 ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมด เนื่องจากค่าขนาดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ทำให้ขนาดผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีค่าสูงสุด

ภาพที่ 62(ก) แสดงขนาดของผลกระทบของผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากการใช้น้ำมันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ พบว่า ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ร้อยละ 55 ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมด มาจากขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลัง เนื่องด้วยการเพาะปลูกมันสำปะหลังมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก จากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิง กระบวนการผลิตปุ๋ย รวมทั้งจากรถแทรกเตอร์ที่ใช้ โดยขั้นตอนการผลิตเอทานอลเป็นขั้นตอนที่มีส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมรองลงมา โดยคิดเป็นร้อยละ 43 ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมด โดยผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจะมาจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า ส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลอีกร้อยละ 2 มาจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิง และระหว่างการผลิตขนส่งวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล

ภาพที่ 62(ข) และ 62(ค) แสดงขนาดของผลกระทบของผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากการใช้น้ำตาลและอ้อย เป็นวัตถุดิบ พบว่า มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมในทำนองเดียวกัน คือ ผลกระทบสิ่งแวดล้อม เฉลี่ยร้อยละ 55 ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมด มาจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล ซึ่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลมาจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต ส่วนอีกร้อยละ 43 ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมด มาจากขั้นตอนการเพาะปลูก โดยมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิง กระบวนการผลิตปุ๋ย รวมทั้งจากรถแทรกเตอร์ที่ใช้ในการเพาะปลูก ส่วนอีกร้อยละ 7 ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมด มาจากขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบ

ผลการเปรียบเทียบขนาดของผลกระทบของผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ แสดงดังภาพที่ 63



ภาพที่ 63 การเปรียบเทียบขนาดของผลกระทบ ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้าน ต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่างๆ

ภาพที่ 63 แสดงผลการเปรียบเทียบขนาดของผลกระทบของผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่าตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลการใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงสุด รองลงมาคือการผลิตเอทานอลจาก อ้อยและกากน้ำตาล ตามลำดับ

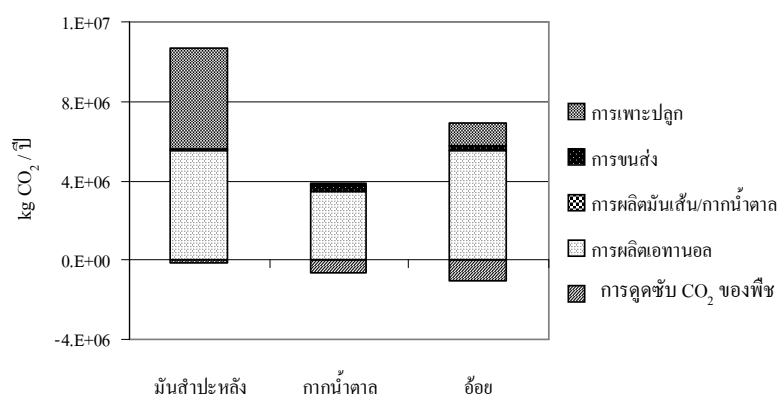
2.6 การพิจารณาผลการตรึงก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์ของพืช (มันสำปะหลัง และอ้อย)

การเพาะปลูกพืชจะมีการตรึงก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์โดยอาศัยกระบวนการสังเคราะห์แสง ซึ่งเป็นกระบวนการนำ CO_2 รวมตัวกับน้ำ เกิดเป็นก๊าซออกซิเจน และน้ำตาล ซึ่งจะถูกพืชเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบคาร์บอนต่างๆที่สิ่งมีชีวิตอื่นๆ สามารถนำไปใช้เป็นประโยชน์ได้ โดยประสิทธิภาพในการตรึง CO_2 โดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสงในพืชนั้นขึ้น อยู่กับปัจจัยแวดล้อมหลายประการ ลักษณะเรือนพุ่มของพืช เช่นจำนวนพื้นที่ใบต่อต้น การจัดเรียงตัวของใบตลอดจนลักษณะการตั้งของใบก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อกระบวนการดังกล่าว (รวิ, 2550 อ้างจาก Salisbury and Ross, 1992) ซึ่งค่าการตรึงก๊าซ CO_2 ของพืช และแหล่งข้อมูล แสดงดังตารางที่ 52

ตารางที่ 52 ค่าการตรึงก๊าซ CO₂ ของมันสำปะหลัง และอ้อยในช่วงการเพาะปลูก (1 ปี)

วัตถุดิบ	ค่าการดูดซับก๊าซ CO ₂ (kg CO ₂ / ไร่)	แหล่งข้อมูล
มันสำปะหลัง	392.32	Leng, R and Wang, C (2007)
อ้อย	9,307.52	Beeharry, R (2001)

โดยการเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร/วัน ในระยะเวลา 1 ปี (กำหนดให้ 1 ปีดำเนินการผลิตเอทานอล 330 วัน) กับการตรึงก๊าซ CO₂ ของมันสำปะหลัง และอ้อย ในระยะเวลา 1 ปี โดยผลการปล่อย และการตรึงก๊าซ CO₂ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ดังแสดงภาพที่ 64



ภาพที่ 64 การปล่อยก๊าซ CO₂ ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร และการตรึงก๊าซ CO₂ ของพืช ในระยะเวลา 1 ปี

ภาพที่ 64 แสดงผลการปล่อยก๊าซ CO₂ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร และการตรึงก๊าซ CO₂ ของพืช ในระยะเวลา 1 ปี พบว่าการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดร็อกไซด์สูงที่สุดในปริมาณสูงสุด เนื่องด้วย การเพาะปลูกมันสำปะหลังเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรมีการใช้พื้นที่การเพาะปลูกมากกว่าการเพาะปลูกอ้อย ส่วนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลการปล่อยก๊าซ CO₂ น้อยที่สุด เนื่องจาก มีการปันส่วนการปล่อยก๊าซ CO₂ กับน้ำตาลทรายซึ่งเป็นผลผลิตหลักในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ซึ่งการปล่อยก๊าซ CO₂ ร้อยละ 99 ของการปล่อยก๊าซ CO₂ ในขั้นตอนการผลิตเอทานอล มาจากการผลิตไฟฟ้า ซึ่งการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด เพราะไม่มีขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ

เหมือนการผลิตเอทานอลจากมันเส้นและอ้อย จึงส่งผลให้การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการปล่อย CO_2 ออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณน้อยที่สุด ซึ่งเมื่อพิจารณาผลการตรึงก๊าซ CO_2 ของมันสำปะหลัง และอ้อย พบว่าการเพาะปลูกอ้อยในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ในระยะเวลา 1 ปีมีการตรึงก๊าซ CO_2 มากที่สุด โดยคิดเป็นร้อยละ 15.4 ของการปล่อยก๊าซ CO_2 จากการผลิตเอทานอลตลอดวัฏจักรชีวิตในเวลา 1 ปี ส่วนการเพาะปลูกมันสำปะหลังในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ในระยะเวลา 1 ปีมีการตรึงก๊าซ CO_2 น้อยที่สุด โดยคิดเป็นเพียงร้อยละ 1.09 ของการปล่อยก๊าซ CO_2 จากการผลิตเอทานอลตลอดวัฏจักรชีวิตในเวลา 1 ปี เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชที่สามารถตรึงก๊าซ CO_2 ได้น้อย หรือในปริมาณ $392.32 \text{ kg CO}_2 / \text{ไร่}$ จึงส่งผลให้การเพาะปลูกมันสำปะหลังมีการตรึงก๊าซ CO_2 จากเพาะปลูกมันสำปะหลังในการผลิตเอทานอลตลอดวัฏจักรชีวิตได้น้อยที่สุด

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าถึงแม้มีการพิจารณาการตรึงก๊าซ CO_2 ของพืช การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลก็ยังคงมีการปล่อยก๊าซ CO_2 หรือก๊าซเรือนกระจกสูงสุด รองลงมาคือการผลิตเอทานอลจากอ้อย และกากน้ำตาลตามลำดับ

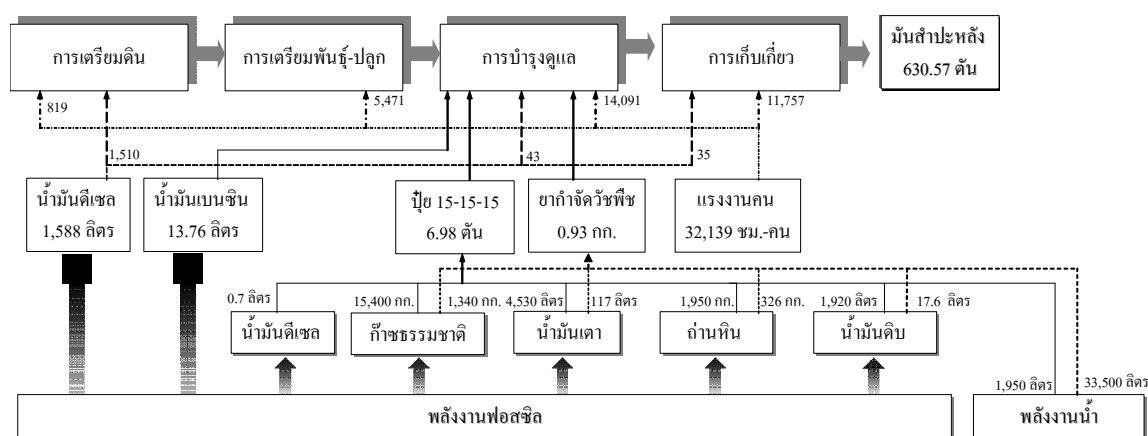
3. ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน จะพิจารณาการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดยจะพิจารณาตั้งแต่พลังงานที่ใช้ในการเพาะปลูกวัตถุดิบ การขนส่ง การแปรรูปวัตถุดิบ (การผลิตมันเส้น และการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย) และกระบวนการผลิตเอทานอล นอกจากนี้งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการผลิตเอทานอลในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพเชิงพลังงานของวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลในรูปพื้นที่การเพาะปลูก โดยผลการศึกษาการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร มีดังต่อไปนี้

3.1 ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในขั้นตอนการเพาะปลูก

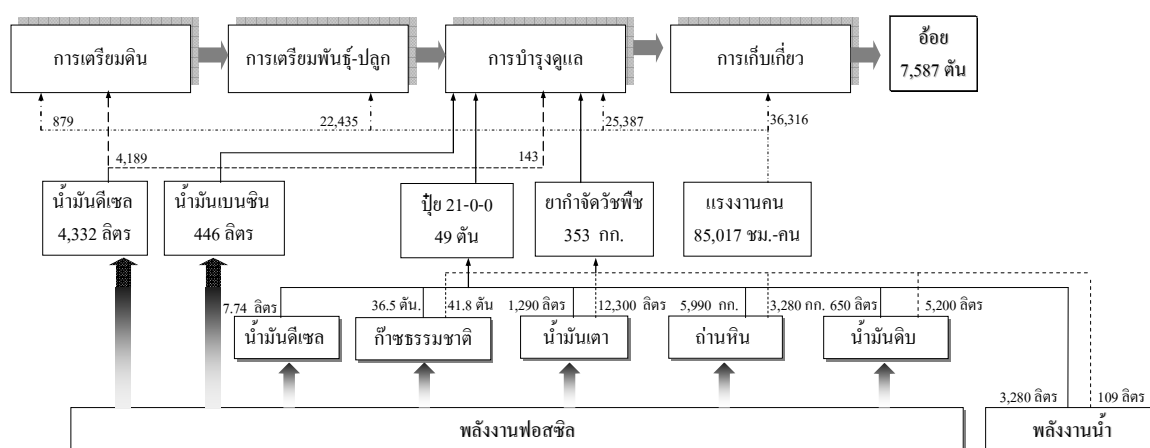
การใช้พลังงานในการเพาะปลูกวัตถุดิบเพื่อผลิตเอทานอล จะมีการวิเคราะห์พลังงานในรูปแบบต่างๆ ที่ใช้ในการเพาะปลูก ได้แก่ พลังงานจากเชื้อเพลิง ปุ๋ย ยากำจัดวัชพืช รวมถึงแรงงานคนที่ใช้ในการเพาะปลูก โดยการวิเคราะห์พลังงานจะวิเคราะห์การใช้พลังงานให้อยู่ในรูปจากพลัง

งานปฐมนิธิ เช่น พลังงานจากน้ำมันเชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันเตา และถ่านหิน เป็นต้น ซึ่งพลังงานปฐมนิธิที่ใช้ในการผลิตปัจจัยการผลิตต่างๆ ต่อหน่วย ในงานวิจัยนี้ แสดงดังตารางผนวกที่ ค.3 โดยชนิดและปริมาณพลังงานปฐมนิธิที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลัง เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงดังภาพที่ 65

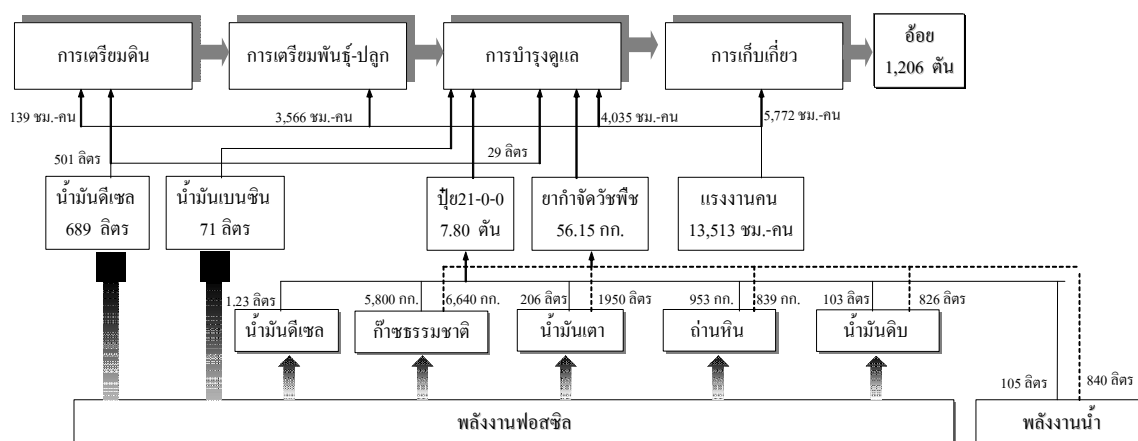


ภาพที่ 65 พลังงานปฐมนิธิที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

ส่วนพลังงานปฐมนิธิที่ใช้ในการเพาะปลูกอ้อย เพื่อผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายในการผลิตเอทานอลและผลิตเอทานอลโดยตรงแสดงดังภาพที่ 66



(ก)



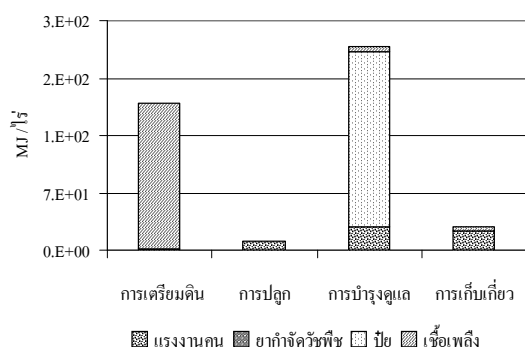
(ข)

ภาพที่ 66 พลังงานปฐมภูมิที่ใช้ในการเพาะปลูกอ้อย

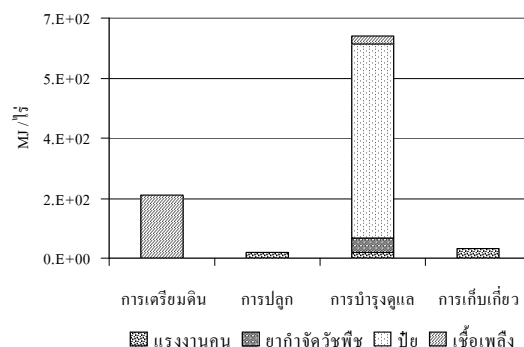
- (ก) การผลิตกากน้ำตาลในการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับ
กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร
- (ข) การผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

ภาพที่ 65 และ 66 แสดงพลังงานปฐมภูมิที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลัง และ อ้อย พบว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลัง จะมีการใช้พลังงานปฐมภูมิในทำนองเดียวกับการอ้อย กล่าวคือ มีการใช้พลังงานปฐมภูมิในรูป ปุ๋ย และยากำจัดวัชพืช (Atrazine) ที่ใช้ในการบำรุงดูแลในการเพาะ และมีใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซลและน้ำมันเบนซิน) เพื่อใช้ในรถแทรกเตอร์เพื่อใช้ในการเตรียมดิน และการไถในการกำจัดวัชพืช โดยการเพาะปลูกอ้อยเพื่อผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย จะมีการใช้พลังงานปฐมภูมิมากกว่าการผลิตเอทานอลจากอ้อย โดยตรง เนื่องจากกระบวนการผลิตน้ำตาลมีการใช้อ้อยปริมาณ 7,586.50 ตัน เพื่อผลิตกากน้ำตาลในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ส่วนการผลิตเอทานอลจากอ้อยโดยตรงมีการใช้อ้อยในปริมาณ 1,206 ตัน แต่ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานในงานวิจัยนี้ จะมีการปันส่วนพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล กับน้ำตาลทรายซึ่งเป็นผลผลิตหลักในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

ผลวิเคราะห์การใช้พลังงานในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อย จำแนกตามขั้นตอนการเพาะปลูกของวัตถุดิบ ในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ แสดงดังภาพที่ 67



(ก.)



(ข.)

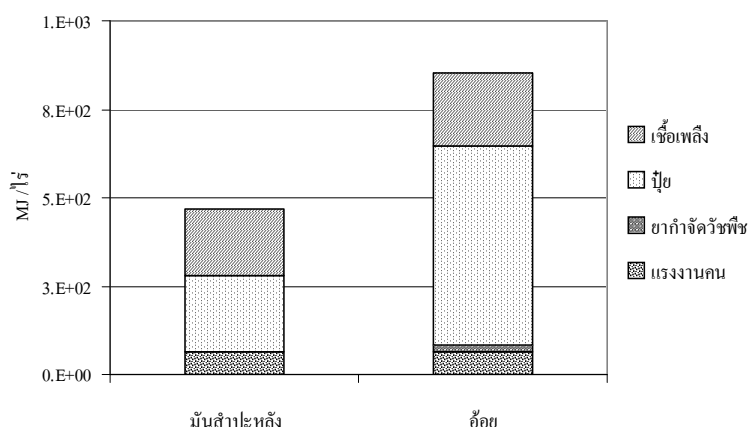
ภาพที่ 67 การใช้พลังงานในการเพาะปลูกวัตถุดิบแต่ละชนิด ในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่

(ก) มันสำปะหลัง

(ข) อ้อย

ภาพที่ 67(ก) และ 67(ข) แสดงพลังงานที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลัง และอ้อยในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ พบว่า การใช้พลังงานในการเพาะปลูกมันสำปะหลัง และอ้อย ในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ มีผลในทำนองเดียวกัน คือ ขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานสูงสุด คือ ขั้นตอนการบำรุงดูแล โดยคิดเป็น ร้อยละ 53 และ ร้อยละ 67 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในการเพาะปลูกมันสำปะหลัง และอ้อย ตามลำดับ ซึ่งในขั้นตอนการบำรุงดูแล พลังงานส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปปุ๋ยที่ใช้ในการเพาะปลูก คิดเป็นร้อยละ 46 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการเพาะปลูก เนื่องด้วยกระบวนการผลิตปุ๋ยมีการใช้พลังงานปฏิกิริยาปริมาณสูง ส่วนขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานสูงสุดรองลงมา คือ ขั้นตอนการเตรียมดิน โดยคิดเป็นร้อยละ 32 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในการเพาะปลูกซึ่งในขั้นตอนการเตรียมดินพลังงานส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปเชื้อเพลิงที่ใช้ในรถแทรกเตอร์ในการไถพรวนหน้าดิน เพื่อเตรียมการเพาะปลูก

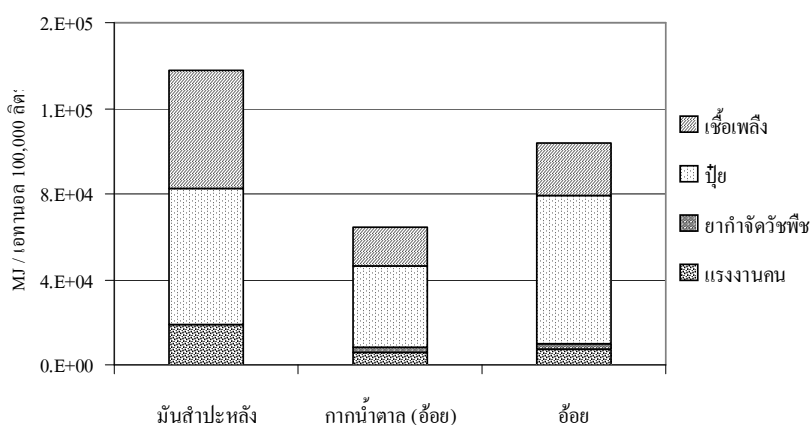
การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการเพาะปลูกของมันสำปะหลัง และอ้อย ในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ แสดงได้ดังภาพที่ 68



ภาพที่ 68 พลังงานที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อยในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่

ภาพที่ 68 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อยในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ พบว่าการเพาะปลูกอ้อย ในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ มีการใช้พลังงานสูงกว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลัง โดยสาเหตุหลักมาจากการเพาะปลูกอ้อยมีการใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในปริมาณ 58.02 กก. มากกว่ามันสำปะหลังที่มีการใช้ปุ๋ยสูตร 21-0-0 ปริมาณ 22.48 กก. และอีกสาเหตุมาจากการเพาะปลูกอ้อยมีการใช้ปริมาณเชื้อเพลิงและยากำจัดวัชพืชต่อไร่ มากกว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลัง

การเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการเพาะปลูกวัตถุดิบเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงได้ดังภาพที่ 69

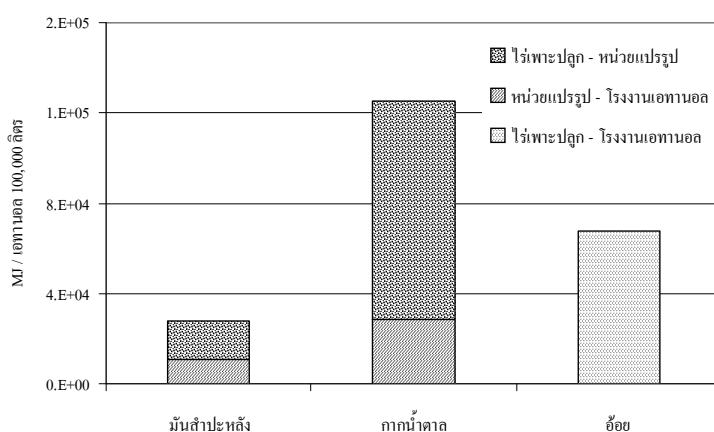


ภาพที่ 69 การใช้พลังงานในการเพาะปลูกวัตถุดิบ เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

ภาพที่ 69 แสดงการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการเพาะปลูกวัตถุดิบ เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลังเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรมีการใช้พลังงานสูงสุด รองลงมาคือการเพาะปลูกอ้อยเพื่อผลิตเอทานอล และการปลูกอ้อยเพื่อผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมของกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ตามลำดับ สาเหตุเนื่องด้วยการปลูกมันสำปะหลัง ต้องใช้พื้นที่ถึง 310.63 ไร่เพื่อให้ได้มันสำปะหลัง 630.57 ตัน ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ส่วนการปลูกอ้อยใช้พื้นที่ 133.69 ไร่ เพื่อให้ได้อ้อย 1,205.94 ตัน ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ส่วนการเพาะปลูกอ้อย เพื่อผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลมีการใช้พลังงานในการเพาะปลูกน้อยกว่ามันสำปะหลัง ทั้งที่มีการใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกถึง 841.08 ไร่ เพื่อปลูกอ้อย 7,586.50 ตันให้โรงงานน้ำตาลทราย ในการผลิตกากน้ำตาลในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แต่มีการใช้พลังงานในการเพาะปลูกอ้อยในปริมาณต่ำสุด เนื่องด้วยมีการปันส่วนพลังงานที่ใช้ในการเพาะปลูกอ้อยกับน้ำตาลทราย ซึ่งเป็นผลผลิตหลักในกระบวนการผลิตน้ำตาล

3.2 ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในขั้นตอนการขนส่ง

การขนส่งวัตถุดิบ ต้องมีการใช้พลังงานในรูปแบบเชื้อเพลิงในยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง และแรงงานคน โดยการขนส่งจะมีการขนส่งในหลายขั้นตอน คือ การขนส่งจากไร่เพาะปลูกวัตถุดิบไปยัง แหล่งแปรรูปวัตถุดิบ (และการขนส่งวัตถุดิบที่แปรรูปแล้วไปยังโรงงานผลิตเอทานอล ส่วนการผลิตเอทานอลจากอ้อย ก็จะมีการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปยังโรงงานเอทานอลโดย ตรง โดยพลังงานที่ใช้ในการขนส่งวัตถุดิบต่างๆ เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงได้ดังภาพที่ 70



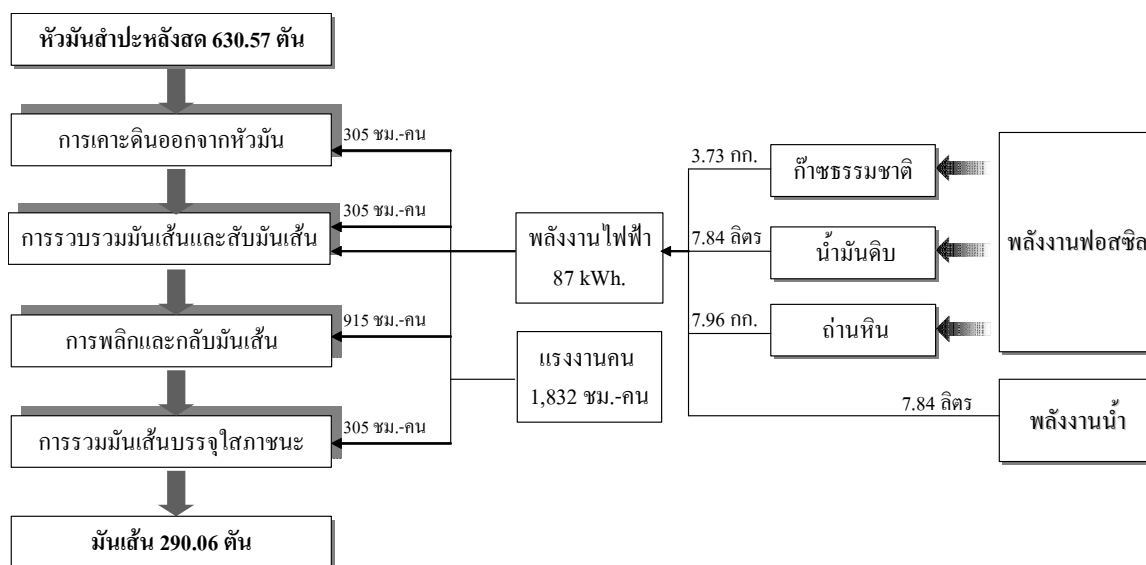
ภาพที่ 70 พลังงานที่ใช้ในการขนส่งตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

ภาพที่ 70 แสดงพลังงานที่ใช้ในการขนส่งตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลมีการใช้พลังงานในการขนส่งสูงสุด รองลงมาคืออ้อย และ มันสำปะหลัง ตามลำดับ เนื่องการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการขนส่งอ้อย จากไร่อ้อยถึงโรงงานน้ำตาลทรายในปริมาณ 7,586 ตัน ในระยะ ทาง 57.51 กม./1 เทียว และ ระยะทางจากโรงงานน้ำตาลทรายถึงโรงงานเอทานอล 37.36 กม./ 1 เทียว จึงเป็นสาเหตุทำให้การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลมีการใช้พลังงานในด้านการขนส่งสูงสุด แม้จะมีการปันส่วนพลังงานที่ใช้ ในส่วนระยะทางการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยถึงโรงงานน้ำตาลทรายให้กับน้ำตาลทราย ซึ่งเป็นผลผลิตหลักในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายแล้วก็ตาม ในขณะที่การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมีการขนส่งมันสำปะหลังและมันเส้น ระยะทางรวมประมาณ 24.36 กม./ 1 เทียว ในปริมาณการขนส่งมันสำปะหลังสดและมันเส้นรวมปริมาณ 920.63 ตัน จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้การใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลมีค่าการใช้พลังงานในการขนส่งต่ำที่สุด

3.3 ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานจากขั้นตอนการแปรรูปวัตถุดิบ

3.3.1 การผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสด

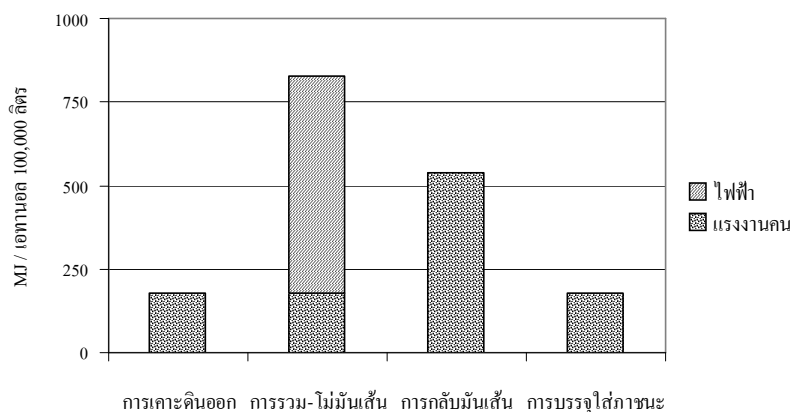
การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ส่วนใหญ่จำเป็นต้องแปรรูปหัวมันสำปะหลังสดให้อยู่ ในรูปมันเส้นก่อนดังที่กล่าวเห็นผลไว้ข้างต้น โดยพลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตมันเส้น เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงดังภาพที่ 71



ภาพที่ 71 พลังงานปฏุมภูมิที่ใช้ในผลิตมันเส้น เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

ภาพที่ 71 แสดงพลังงานปฏุมภูมิที่ใช้ในการผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสด พบว่า พลังงานปฏุมภูมิที่ใช้ในการผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสด จะอยู่ในรูปพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องตัวมันเส้น ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้า 87 kWh สำหรับมันเส้น 290.06 ตัน ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดยพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปแรงงานคน ดังนั้นในขั้นตอนการผลิตมันเส้น จึงมีการใช้พลังงานปฏุมภูมิในปริมาณน้อย เมื่อเทียบกับขั้นตอนอื่นๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากมันเส้น

ผลการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสด เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จำแนกตามประเภทพลังงาน (พลังงานคน และพลังงานไฟฟ้า) ในขั้นตอนต่างๆ ในการผลิตมันเส้น แสดงดังภาพที่ 72



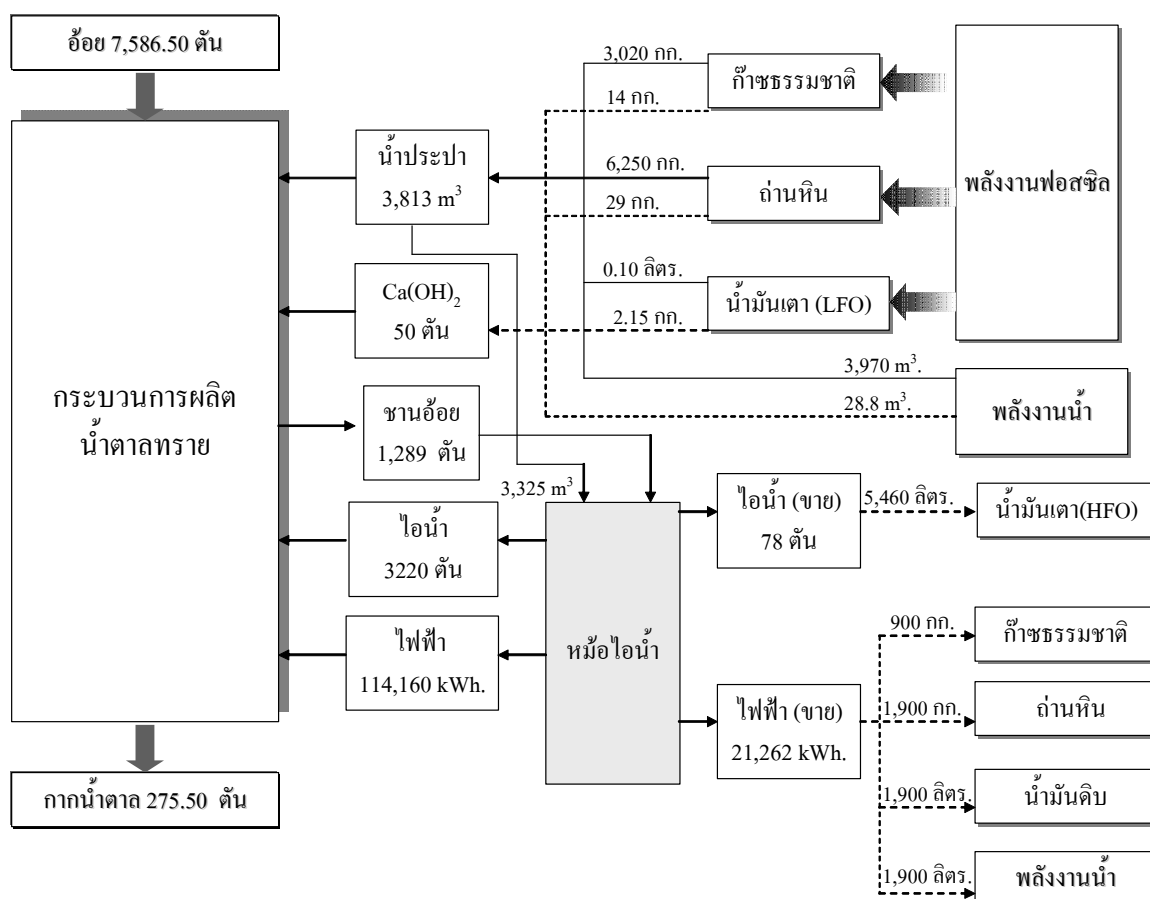
ภาพที่ 72 พลังงานที่ใช้ในการผลิตมันเส้นเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

ภาพที่ 72 แสดงพลังงานที่ใช้ในการผลิตมันเส้น เพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตมันเส้นส่วนใหญ่ร้อยละ 48 จะอยู่ในขั้นตอนการรวบรวมมันเส้นเข้าเครื่องโม่เพื่อบดหัวมันสำปะหลังสดให้เป็นชิ้นเล็กๆ เนื่องด้วยขั้นตอนนี้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องโม่มันสำปะหลังเพื่อสับมันเส้นให้มีขนาดเล็ก ส่วนขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานในการผลิตมันเส้น รองลงมาคือขั้นตอนการพลิกกลับมันเส้น เนื่องจากขั้นตอนการพลิกกลับมันเส้น มีการใช้แรงงานคนพลิกกลับมันเส้นที่ลานมันวันละ 4-8 ครั้ง เป็นเวลาประมาณ 2-3 วัน ซึ่งขั้นตอนนี้มีการใช้พลังงานในรูปแรงงานคนสูงสุด

3.3.2 การผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

อย่างที่กล่าวไว้แล้วว่า กระบวนการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย มีการใช้ขานอ้อยที่ได้จากการสกัดหีบอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำและพลังงานไฟฟ้าใช้เองภายในโรงงาน ซึ่งพลังงานส่วนนี้จะไม่พิจารณาในส่วนพลังงานที่ใช้ในการผลิตกากน้ำตาลเนื่องจากไม่มีการใช้พลังงานปฏุมภูมิ ในกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังมีพลังงานไอน้ำและพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เหลือจากการใช้ภายในโรงงานขายไปยังภายนอกโรงงาน ซึ่งพลังงานส่วนนี้จะพิจารณาเป็นค่าคิดลบ เนื่องด้วย พลังงานส่วนนี้เปรียบได้ว่า สามารถลดการใช้พลังงานปฏุมภูมิได้ ดังนั้นค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย จึงพิจารณาเฉพาะพลังงานในการผลิตน้ำประปา และ Ca(OH)_2 ใช้ในขั้นตอนการทำน้ำอ้อยใสในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

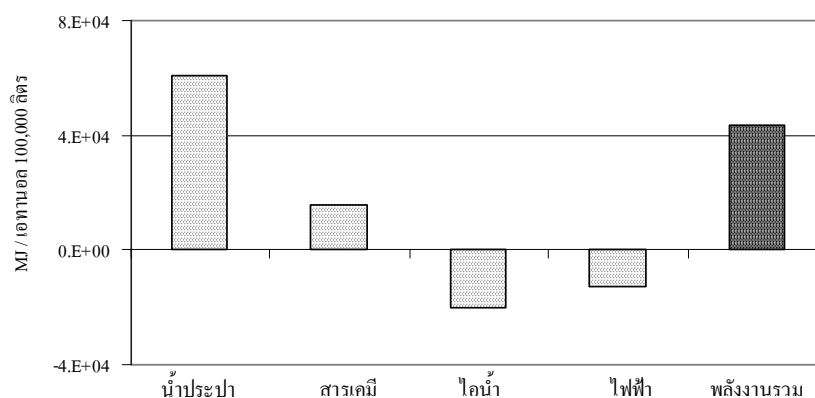
โดยพลังงานปฏุมภูมิที่ใช้ในการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิต
น้ำตาลทราย เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงดังภาพที่ 73



ภาพที่ 73 พลังงานปฏุมภูมิที่ใช้ในการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับ กระบวนการ
ผลิตน้ำตาลทราย เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

ภาพที่ 73 แสดงพลังงานปฏุมภูมิที่ใช้ในการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับ กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่าเมื่อเทียบพลังงานปฏุมภูมิที่ใช้ในกระบวนการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย จะอยู่ในส่วนพลังงานปฏุมภูมิที่ใช้ในการผลิตน้ำประปาและ Ca(OH)_2 ซึ่งจะมีค่ามากกว่าพลังงานปฏุมภูมิที่ลดได้จากพลังงานไฟฟ้า และพลังงานไอน้ำส่วนเกินที่โรงงานน้ำตาลผลิตได้ และขายให้ภายนอกโรงงาน

โดยผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในกระบวนการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงดังภาพที่ 74



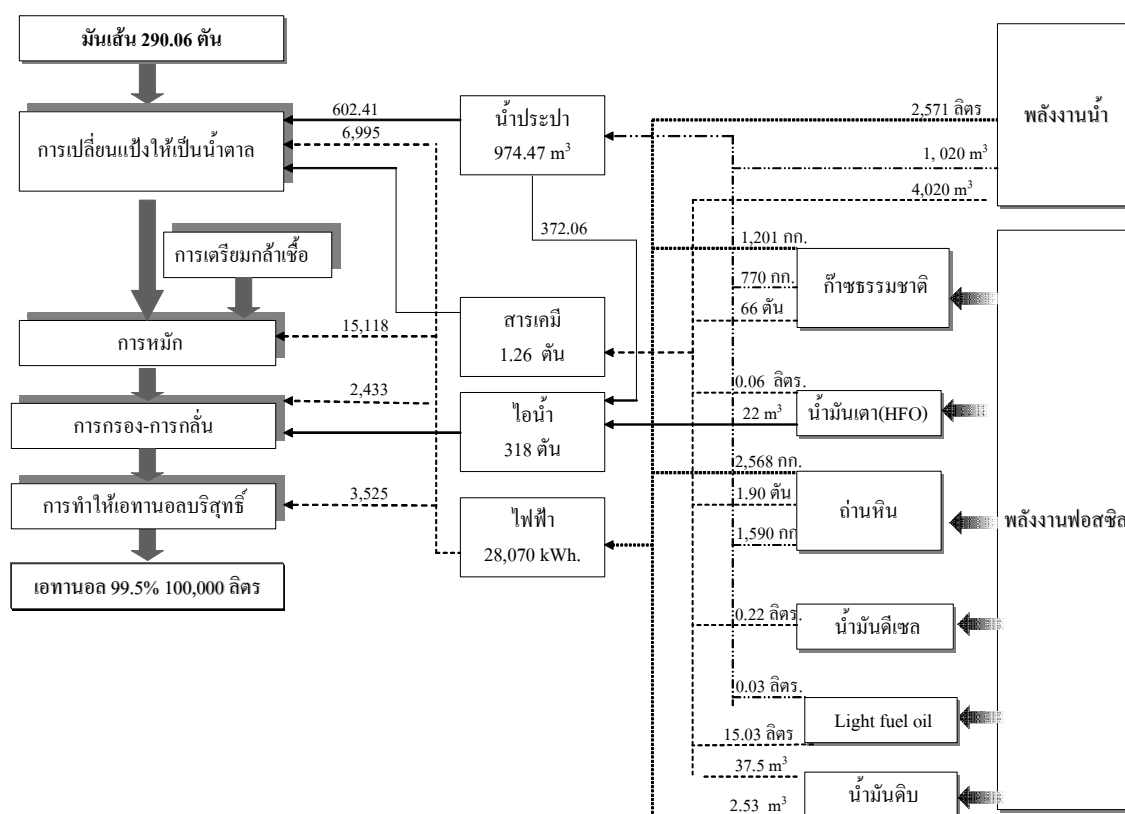
ภาพที่ 74 พลังงานที่ใช้ในการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วม ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

ภาพที่ 74 แสดง พลังงานที่ใช้ในการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่าพลังงานรวมที่ใช้ในการผลิตกากน้ำตาลมีค่าเป็นบวก หรือกล่าวได้ว่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตสารเคมี และน้ำประปาที่ใช้ในกระบวนการผลิตกากน้ำตาลมีค่ามากกว่าพลังงานไฟฟ้าและพลังงานไอน้ำที่โรงงานน้ำตาลทรายขายให้ภายนอกโรงงาน เนื่องด้วยในการผลิตน้ำตาลทรายมีการใช้น้ำประปาปริมาณ 3,813 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็นค่าพลังงานได้ 762,635 MJ/เอทานอล 100,000 ลิตร หรือร้อยละ 80 ของพลังงานที่ใช้ในการผลิตกากน้ำตาล(ไม่รวมพลังงานไอน้ำและไฟฟ้าที่ผลิตใช้ได้เอง) และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ในขั้นตอนการทำน้ำอ้อยใสในปริมาณ 49.77 ตัน/กากน้ำตาล 275.50 ตัน ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ซึ่งคิดเป็นค่าพลังงานได้ 194,582 MJ/เอทานอล 100,000 ลิตร หรือร้อยละ 20 ของพลังงานที่ใช้ในการผลิตกากน้ำตาล ซึ่งเมื่อป็นส่วนค่าการใช้พลังงานกับผลผลิตหลักคือน้ำตาลทรายและขานอ้อย ซึ่งเป็นผลผลิตร่วมแล้ว คิดเป็นค่าการใช้พลังงานรวมได้ถึง 76,578 MJ/เอทานอล 100,000 ลิตร ซึ่งมากกว่าพลังงานไฟฟ้าและพลังงานไอน้ำส่วนเกินที่ขายภายนอกโรงงานซึ่งคิดเป็นค่าพลังงานหลังป็นส่วนค่าการใช้พลังงานกับน้ำตาลทรายและขานอ้อยได้ 32,948 MJ/เอทานอล 100,000 ลิตร ดังนั้นจึงทำให้พลังงานรวม สำหรับการผลิตกากน้ำตาลมีค่า 43,629 MJ/เอทานอล 100,000 ลิตร

3.4 ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิตเอทานอล

3.4.1 การผลิตเอทานอลจากมันเส้น

การวิเคราะห์การใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิตเอทานอล จะทำพิจารณาการใช้พลังงานจำแนกตามขั้นตอนการผลิตเอทานอล โดยขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันเส้นนั้นมี 8 ขั้นตอน ดังที่กล่าวมาแล้ว โดยพลังงานที่วิเคราะห์การใช้พลังงานจะประกอบด้วยพลังงานไฟฟ้า พลังงานไอน้ำ แรงงานคนและพลังงานจากสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต โดยพลังงานปฏุมภูมิที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากมันเส้น 100,000 ลิตร แสดงดังภาพที่ 75

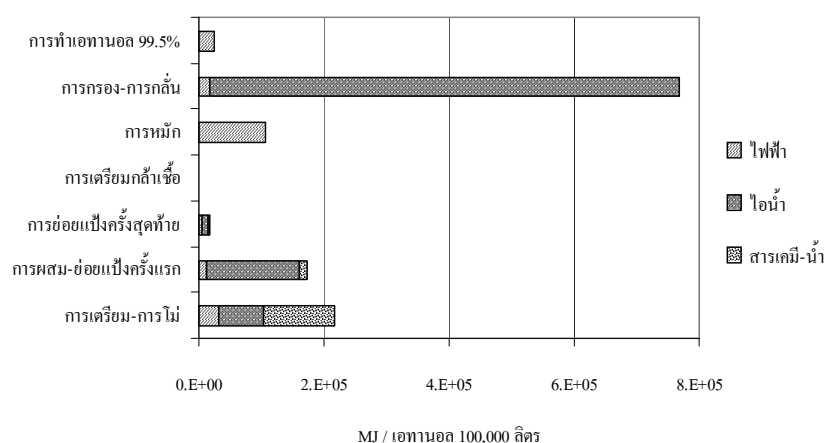


ภาพที่ 75 พลังงานปฏุมภูมิที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น

หมายเหตุ: สารเคมีประกอบด้วย $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 0.28 ตัน NaOH 0.53 ตัน และ H_2SO_4 0.82 ตัน

ภาพที่ 75 แสดงพลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากมันเส้น 100,000 ลิตรพบว่า กระบวนการผลิตเอทานอลจะมีการใช้พลังงานปฏิกิริยา ในหลายรูป ได้แก่ น้ำประปา สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, NaOH และ H_2SO_4) พลังงานไอน้ำ และพลังงานไฟฟ้า โดยพลังงานไอน้ำ ในกระบวนการผลิตเอทานอลเพื่อใช้ในการกลั่นในการผลิตเอทานอล จะมีการใช้พลังงานปฏิกิริยามากที่สุดคือมีการใช้น้ำมันเตา 22,000 ลิตรโดยคิดเป็นพลังงาน ได้ถึง 7.54×10^5 MJ/เอทานอล 100,000 ลิตร หรือคิดเป็นร้อยละ 58 ของพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากมันเส้นทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น แสดงดังภาพที่ 76



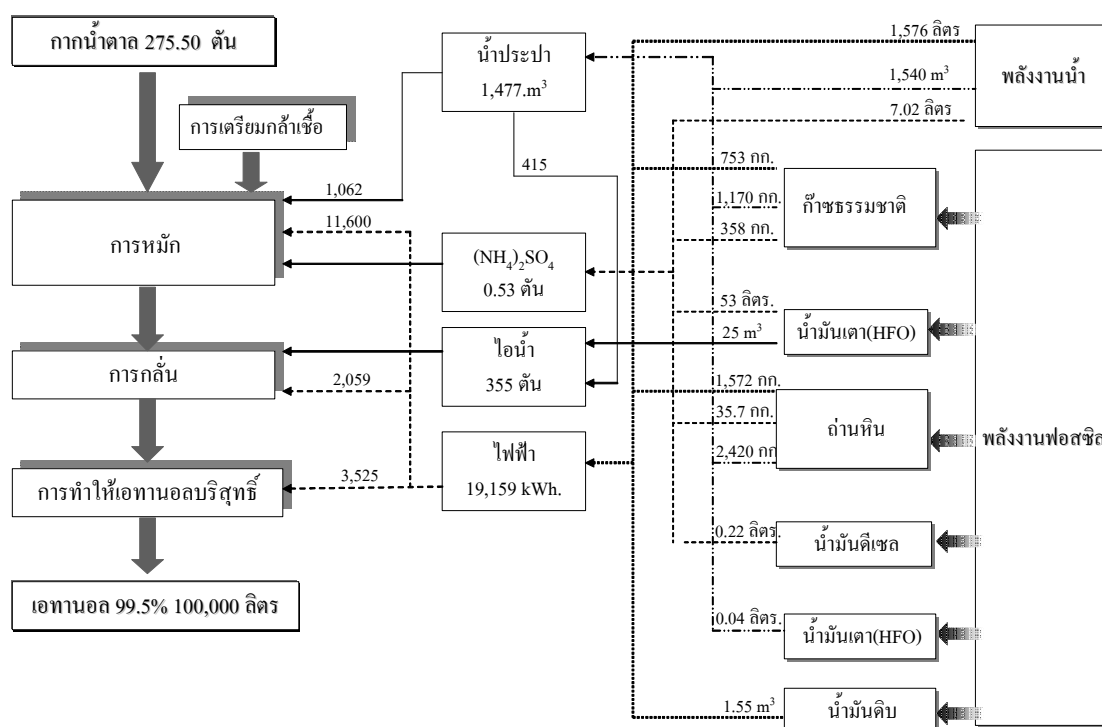
ภาพที่ 76 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรจากมันเส้น

ภาพที่ 76 แสดงพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรจากมันเส้นพบว่า พลังงานที่ใช้สูงสุดในกระบวนการผลิตเอทานอล มาจากขั้นตอนการกรอง-กลั่น โดยคิดเป็น ร้อยละ 59 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น โดยพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการกรอง-กลั่น ร้อยละ 98 อยู่ในรูปพลังงานไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการกลั่น ส่วนอีกร้อยละ 17 และร้อยละ 13 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น มาจากขั้นตอนการเตรียม-การไม่มันเส้น และ ขั้นตอนการผสม-การย่อยแป้งครั้งแรก ตามลำดับ โดยพลังงานที่ใช้จะอยู่ในรูปน้ำประปา พลังงานไอน้ำ และพลังงานไฟฟ้า และร้อยละ 8 และ ร้อยละ 2 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการผลิตเอทานอลมาจากขั้นตอนการหมัก และขั้นตอนการทำให้เอทานอล

บริสุทธิ์ ซึ่งพลังงานที่ใช้อยู่ในรูปพลังงานไฟฟ้า โดยพลังงานจากแรงงานคนไม่ได้แสดงรวมในภาพที่ 76 เนื่องจากพลังงานแรงงานคนที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรมีค่าเพียง 139 MJ / เอทานอล 100,000 ลิตร หรือคิดเป็น ร้อยละ 0.0092 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการผลิตเอทานอล โดยพลังงานในรูปแรงงานคนที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงรายละเอียดดังตารางผนวกที่ ก.6

3.4.2 การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล

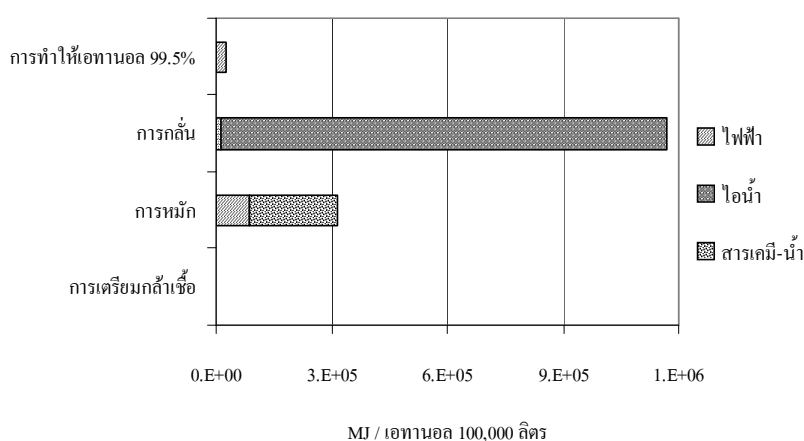
ขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล มีขั้นตอนการผลิตเอทานอลน้อยกว่าการผลิตเอทานอลจากมันเส้น เนื่องจาก กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบประเภทน้ำตาล ไม่มีขั้นตอนในการเปลี่ยนแปลงให้เป็นน้ำตาล โดยขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลประกอบด้วย การเตรียมกล้าเชื้อ การหมัก การกลั่น และการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์ (99.5 เปอร์เซ็นต์) โดยการวิเคราะห์การใช้พลังงานก็จะวิเคราะห์ประเภทพลังงานเช่นเดียวกับกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น คือ พลังงานไฟฟ้า พลังงานไอน้ำ แรงงานคนและพลังงานจากสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต โดยพลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล 100,000 ลิตร แสดงดังภาพที่ 77



ภาพที่ 77 พลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากกากน้ำตาล

ภาพที่ 77 แสดงพลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล 100,000 ลิตร พบว่าพลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีลักษณะทำนองเดียวกับการผลิตเอทานอลจากมันเส้น คือกระบวนการผลิตเอทานอลจะมีการใช้พลังงานปฏิกิริยา ในรูปน้ำประปา สารเคมี ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) พลังงานไอน้ำ และพลังงานไฟฟ้า โดยพลังงานไอน้ำ เพื่อใช้ในการกลั่นของกระบวนการผลิตเอทานอลจะมีการใช้พลังงานปฏิกิริยามากที่สุด คือมีการใช้น้ำมันเตา 25,000 ลิตร โดยคิดเป็นพลังงานได้ถึง 1.15×10^6 MJ/เอทานอล 100,000 ลิตร หรือคิดเป็นร้อยละ 76 ของพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากกากน้ำตาล แสดงได้ดังภาพที่ 78

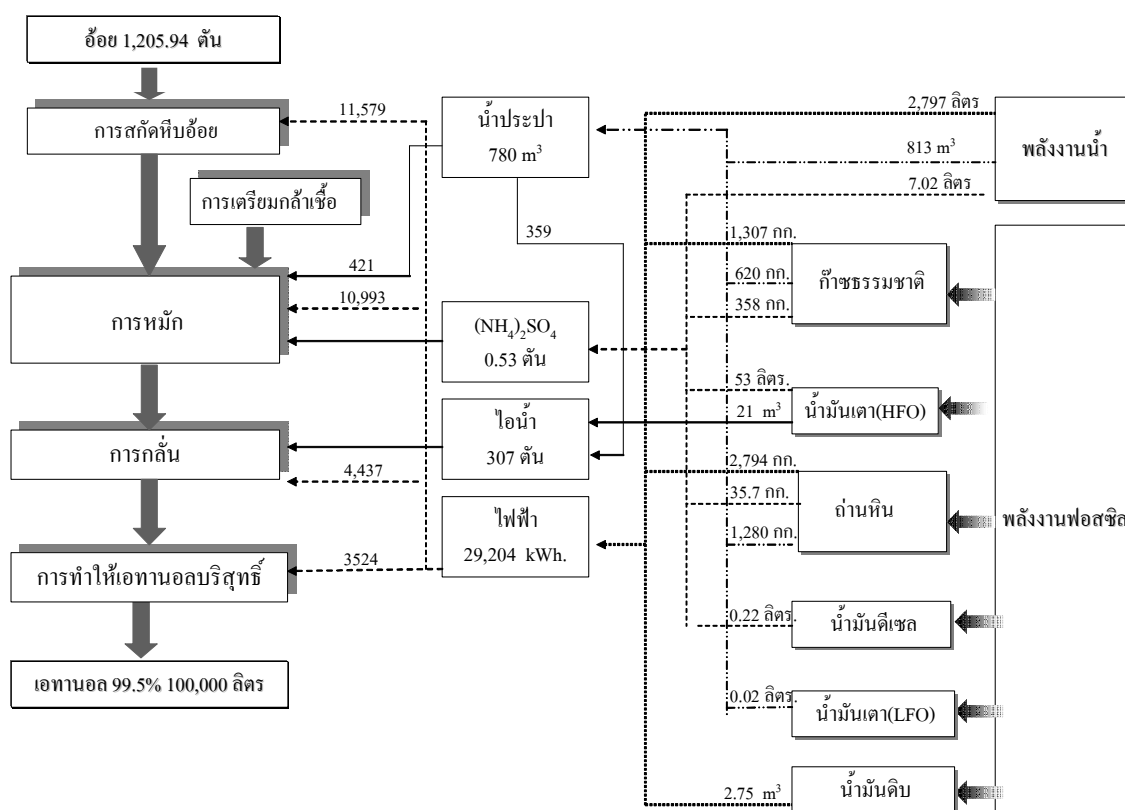


ภาพที่ 78 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรจากกากน้ำตาล

ภาพที่ 78 แสดงพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรจากกากน้ำตาล พบว่า พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลร้อยละ 77 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการผลิตเอทานอล มาจากขั้นตอนการกรอง-การกลั่น โดยพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการกลั่น ร้อยละ 99 อยู่ในรูปพลังงานไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการกลั่น ส่วนขั้นตอนการหมักเป็นขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานสูงรองลงมา โดยคิดเป็นร้อยละ 21 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการผลิตเอทานอล โดยพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการหมัก จะอยู่ในรูป $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ และน้ำประปาที่ใช้ และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และอีกร้อยละ 2 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการผลิตเอทานอลจะอยู่ในรูปพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในขั้นตอนการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์

3.4.3 การผลิตเอทานอลจากอ้อย

ขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากอ้อย มีลักษณะเช่นเดียว กับกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล คือมีขั้นตอนการเตรียมกล้าเชื้อ การหมัก การกลั่น และกระบวนการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์ แต่กระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อยจะเพิ่มขั้นตอนการสกัดน้ำอ้อยขึ้น โดยพลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากอ้อย 100,000 ลิตร แสดงดังภาพที่ 79

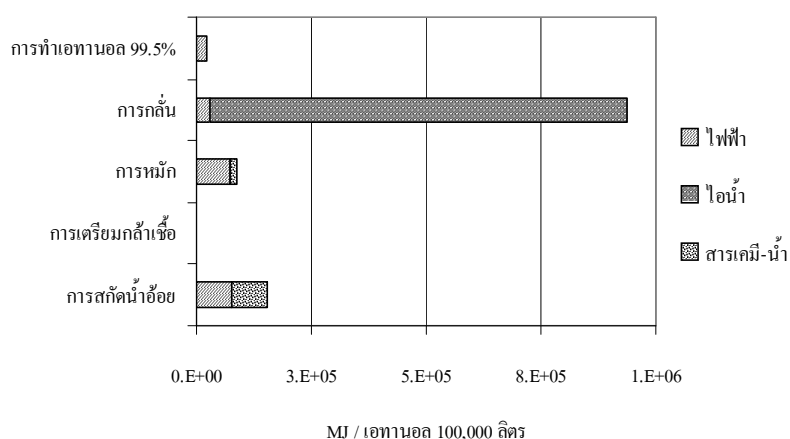


ภาพที่ 79 พลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากอ้อย

ภาพที่ 79 แสดงพลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากอ้อย 100,000 ลิตร พบว่า พลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากอ้อยมีลักษณะทำนองเดียวกับ การผลิตเอทานอลจากมันเส้น คือกระบวนการผลิตเอทานอลจะมีการใช้พลังงานปฏิกิริยา ในรูปน้ำประปา สารเคมีที่ใช้ได้แก่ (NH₄)₂SO₄ พลังงานไอน้ำ และพลังงานไฟฟ้า โดยพลังงานไอน้ำ เพื่อใช้ในการกลั่นในกระบวนการผลิตเอทานอลจะมีการใช้พลังงานปฏิกิริยามากที่สุด คือมีการใช้น้ำมันเตา 21,000 ลิตร โดย

คิดเป็นพลังงานได้ถึง 9.09×10^5 MJ/เอทานอล 100,000 ลิตร หรือคิดเป็นร้อยละ 75 ของพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากอ้อยทั้งหมด

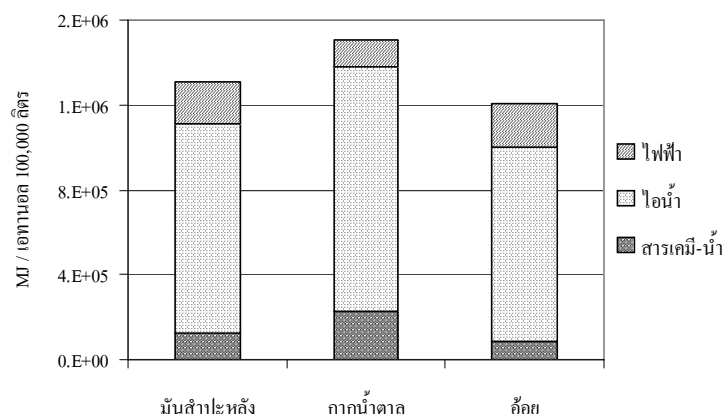
ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากอ้อย แสดงได้ดังภาพที่ 80



ภาพที่ 80 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรจากอ้อย

ภาพที่ 80 แสดงพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากอ้อย พบว่า พลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลส่วนใหญ่มาจากขั้นตอนการกรอง-การกลั่น โดยคิดเป็นร้อยละ 78 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการผลิตเอทานอล โดยพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการกลั่นร้อยละ 97 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในขั้นตอนการกลั่นอยู่ในรูปพลังงานไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการกลั่น ส่วนขั้นตอนการสกัดน้ำอ้อยและขั้นตอนการหมักเป็นขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานสูงรองลงมา โดยคิดเป็นร้อยละ 13 และร้อยละ 7 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการผลิตเอทานอลตามลำดับ โดยพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการสกัดน้ำอ้อย และขั้นตอนการหมัก พลังงานที่ใช้จะอยู่ในรูปพลังงานไฟฟ้า และน้ำประปาที่ใช้ และอีกร้อยละ 2 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในกระบวนการผลิตเอทานอลจะอยู่ในรูปพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในขั้นตอนการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์

การเปรียบเทียบการใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิตเอทานอล จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ แสดงผลการศึกษาดังภาพที่ 81

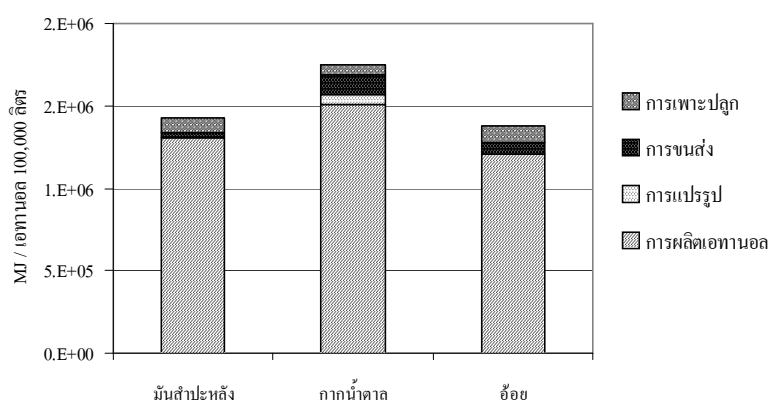


ภาพที่ 81 การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบ ประเภทต่างๆ

ภาพที่ 81 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล โดยเฉลี่ย ร้อยละ 76 ร้อยละ 13 และ ร้อยละ 11 อยู่ในรูปพลังงานจากไอน้ำ ไฟฟ้า และสารเคมี-น้ำ ตามลำดับ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการผลิตเอทานอลของวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า การใช้กากน้ำตาลในการผลิตเอทานอล มีการใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิตเอทานอลสูงสุด รองลงมาคือ มั่นสำปะหลัง และอ้อย ตามลำดับ เนื่องด้วยการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการใช้ปริมาณการใช้ไอน้ำ ในขั้นตอนการกลั่นในปริมาณสูง และอีกสาเหตุคือการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการป้อนส่วนสูง (ค่าการป้อนส่วนเท่ากับ 1) หรือไม่มีการป้อนส่วนการใช้พลังงานกับผลผลิตรวม ส่วนการผลิตเอทานอลจากมั่นสำปะหลัง และอ้อยมีค่าการป้อนส่วนเท่ากับ 0.95 และ 0.91 ตามลำดับ จึงส่งผลให้การใช้กากน้ำตาลมีการใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิตเอทานอลสูงสุด แต่การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำที่สุด เนื่องด้วย การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล ไม่มีขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ เหมือนกับการผลิตเอทานอลจากมั่นสำปะหลังและอ้อย จึงส่งผลให้การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณน้อยกว่าการผลิตเอทานอลจากมั่นสำปะหลัง และอ้อย

3.5 ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล (หน่วยการทำงาน: เอทานอล 100,000 ลิตร)

การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากการใช้น้ำมันสำปะหลังในรูปมันเส้น กากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมจากระบวนการผลิตน้ำตาลทราย และอ้อย เป็นวัตถุดิบในการผลิต แสดงผลการใช้พลังงานที่ใช้รวมตลอดวัฏจักรชีวิตดังภาพที่ 82

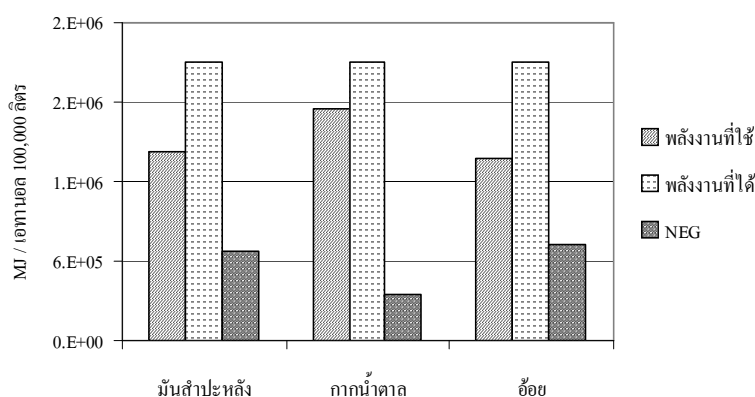


ภาพที่ 82 พลังงานที่ใช้ในตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบประเภทต่างๆ

ภาพที่ 82 แสดงพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า ขั้นตอนการผลิตเอทานอลเป็นขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานสูงสุด โดยเฉลี่ย คิดเป็นร้อยละ 88 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล ส่วนขั้นตอนการเพาะปลูกเพื่อในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อย มีการใช้พลังงานสูง รองลงมาจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล โดยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 7 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล ส่วนขั้นตอนการขนส่งในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล มีการใช้พลังงานสูง รองลงมาจากขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล โดยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 7 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลของวัตถุดิบแต่ละประเภท พบว่าการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร มีการใช้พลังงานสูงสุด รองลงมา คือมันสำปะหลัง และ อ้อยตามลำดับ เนื่องด้วยขั้นตอนการกลั่นเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการใช้น้ำในปริมาณสูง

และกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล มีผลผลิตร่วมเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตในปริมาณน้อย คือ ฟิวเซลล์ออยล์ และ ก๊าซ CO_2 เป็นผลผลิตร่วม ซึ่งในงานวิจัยนี้ไม่ได้พิจารณาร่วมในการวิเคราะห์ จึงทำให้มีค่าการปันส่วน มีค่าเป็น 1 หรือไม่มีการปันส่วนกับผลผลิตร่วม ส่วนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น และอ้อยมีผลผลิตร่วมในกระบวนการผลิตเอทานอล ได้แก่ กากสำ และ ชานอ้อย จึงทำให้มีค่าการปันส่วนที่ 0.95 และ 0.91 สำหรับการผลิตเอทานอลจากมันเส้น และจากอ้อยตามลำดับ จึงส่งผลทำให้กระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันเส้น และอ้อย มีค่าต่ำกว่าการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล

การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร กับพลังงานที่ได้จากเอทานอล 100,000 ลิตร เพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพเชิงพลังงานในรูปพลังงานเพิ่มสุทธิ (Net Energy Gain: NEG) แสดงผลการวิเคราะห์ได้ดังภาพที่ 83



ภาพที่ 83 ค่าพลังงานเพิ่มสุทธิของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรของวัตถุดิบประเภทต่างๆ

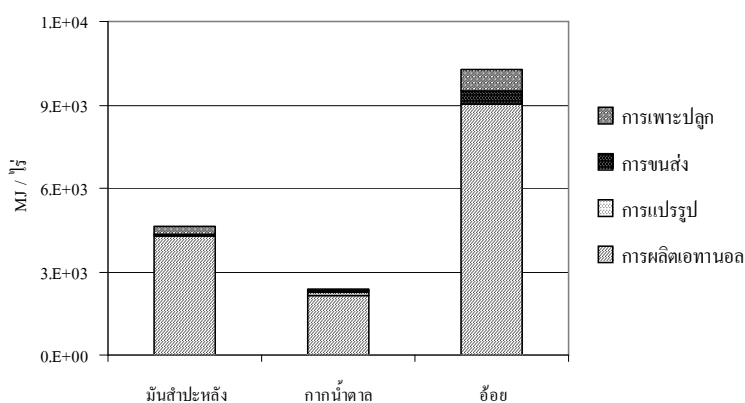
ภาพที่ 83 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ซึ่งแสดงรายละเอียดดังภาพที่ 82 กับพลังงานที่ได้จากเอทานอล 100,000 ลิตร ซึ่งมีค่า 2,110,000 MJ/เอทานอล 100,000 ลิตร (โดยวัดจากค่าพลังงานความร้อนต่ำ (Low Heating Value: LHV) ของเอทานอล ซึ่งมีค่า 21.10 MJ/ลิตร) ดังนั้นผลการเปรียบเทียบความต่างระหว่างพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล กับพลังงานที่ได้จากเอทานอล พบว่าการใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล มีค่าพลังงานเพิ่มสุทธิสูงสุดหรือมีประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูงสุด คือมีค่าพลังงานเพิ่มสุทธิที่ 7.23×10^6 MJ/เอ

ทานอล 100,000 ลิตร รองลงมาคือการใช้มันสำปะหลัง และกากน้ำตาลในการผลิตเอทานอล ซึ่งมีค่าพลังงานเพิ่มสุทธิที่ 6.76×10^6 และ 3.54×10^6 MJ/เอทานอล 100,000 ลิตร ตามลำดับ

3.6 ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล (หน่วยการทำงาน: พื้นที่การเพาะปลูกวัตถุดิบ 1 ไร่)

การวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล จากการที่กล่าวมาแล้ว คือการพิจารณาที่หน่วยการทำงานที่ปริมาณเอทานอล 100,000 ลิตร ส่วนในหัวข้อนี้จะพิจารณาประสิทธิภาพเชิงพลังงานของการผลิตเอทานอลของหน่วยการทำงานที่พื้นที่การเพาะปลูกวัตถุดิบ 1 ไร่เพื่อศึกษาประสิทธิภาพเชิงพลังงานในการผลิตเอทานอลของวัตถุดิบประเภทต่างๆ ในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ ว่าวัตถุดิบประเภทใดจะมีประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูงสุด

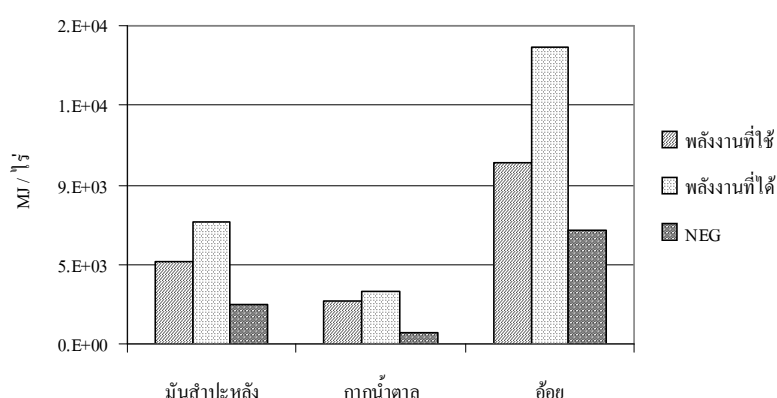
ผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในการผลิตเอทานอลตลอดวัฏจักรชีวิตในหน่วยการทำงานที่ พื้นที่การเพาะปลูกวัตถุดิบ 1 ไร่แสดงได้ดังภาพที่ 84



ภาพที่ 84 พลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลในพื้นที่การเพาะปลูกวัตถุดิบ 1 ไร่ ของวัตถุดิบประเภทต่างๆ

ภาพที่ 84 แสดงพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลในพื้นที่การเพาะปลูกวัตถุดิบ 1 ไร่ เพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล พบว่าการใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ มีการใช้พลังงานสูงสุดรองลงมาคือการใช้มันสำปะหลัง และกากน้ำตาล

ในการผลิตเอทานอล เนื่องจากการเพาะปลูกอ้อยและมันสำปะหลังในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ ให้ผลผลิต 9.02 และ 2.03 ตัน/ไร่ สำหรับการเพาะปลูกอ้อย และมันสำปะหลัง ตามลำดับ ซึ่งจากการเพาะปลูกอ้อย 1 ไร่ให้ผลผลิตสูงกว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลัง จึงทำให้การใช้อ้อยในการผลิตเอทานอลในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ มีการใช้พลังงานในการขนส่งวัตถุดิบ และในกระบวนการผลิตเอทานอล มากกว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลัง แต่เมื่อพิจารณาผลผลิตเอทานอลที่ได้ต่อพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ พบว่าพื้นที่อ้อย 1 ไร่ ให้ผลผลิตเอทานอลสูงสุด คืออ้อย 1 ไร่ ให้ผลผลิตอ้อย 9.02 ตัน สามารถผลิตเอทานอลได้ 747.94 ลิตร ส่วนการเพาะปลูกมันสำปะหลัง 1 ไร่ให้ผลผลิตมันสำปะหลังสด 2.03 ตัน ซึ่งสามารถผลิตมันเส้น 0.95 ตัน ซึ่งสามารถผลิตเอทานอลได้ 327.52 ลิตร ส่วนการเพาะปลูกอ้อยในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ ในการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตรวมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย สามารถผลิตกากน้ำตาลได้ 0.30 ตัน ซึ่งกากน้ำตาลที่ได้สามารถผลิตเอทานอลได้ 141.70 ลิตร ดังนั้นเมื่อทำการวิเคราะห์พลังงานเพิ่มสุทธิโดยทำการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ กับพลังงานที่ได้จากเอทานอลในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ แสดงได้ดังภาพที่ 85



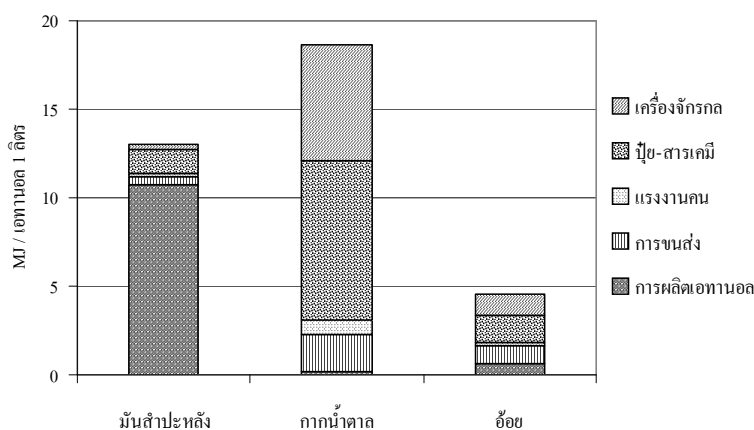
ภาพที่ 85 ค่าพลังงานเพิ่มสุทธิของการผลิตเอทานอลในพื้นที่การเพาะปลูกวัตถุดิบ 1 ไร่
ของวัตถุดิบประเภทต่างๆ

ภาพที่ 85 แสดงค่าพลังงานเพิ่มสุทธิของการผลิตเอทานอลในพื้นที่การเพาะปลูกวัตถุดิบ 1 ไร่ ของวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่าพลังงานที่ได้จากเอทานอลในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ ของการเพาะปลูกอ้อย ให้พลังงานในรูปผลผลิตเอทานอลสูงสุด คือ อ้อย 1 ไร่ ให้พลังงานในรูปผลผลิตเอทานอลที่ผลิตได้ 16,762.47 MJ/ไร่ ส่วนพื้นที่การเพาะปลูกมันสำปะหลัง และอ้อย ในรูปการผลิต

กากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ ให้พลังงานในรูปผลผลิตเอทานอล 6,910.88 และ 2,982.87 MJ/ไร่ ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อทำการเทียบความแตกต่างระหว่างพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ กับพลังงานที่ได้จากเอทานอลในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ พบว่า การใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลมีค่าพลังงานที่ได้จากเอทานอลในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ กับพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ สูงสุด หรือมีค่าพลังงานเพิ่มสุทธิสูงสุด รองลงมาคือ การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง และกากน้ำตาล ตามลำดับ ดังนั้นการใช้อ้อยในการผลิตเอทานอล ในหน่วยการทำงานในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ มีประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูงสุด รองลงมาคือ มันสำปะหลังและกาก น้ำตาล ตามลำดับ ซึ่งผลประสิทธิภาพพลังงานในรูปค่าพลังงานเพิ่มสุทธิในหน่วยการทำงานในพื้นที่ การเพาะปลูก 1 ไร่ นี้ มีความสอดคล้องกับหน่วยการทำงานที่เอทานอล 100,000 ลิตร ดังที่กล่าวแล้วข้างต้น

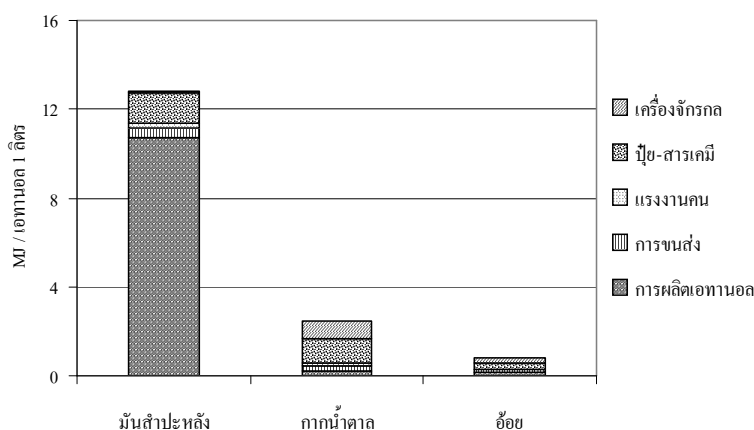
3.7 ผลการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพเชิงพลังงานของวัตถุดิบประเภทต่างๆ ในการผลิตเอทานอลกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาประสิทธิภาพเชิงพลังงานของการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ ในการผลิตเอทานอล ในประเทศไทยมีการศึกษาบ้างแล้ว ซึ่งการศึกษาแต่ละงานวิจัยก็จะมีขอบเขตการศึกษาและผลการวิจัยที่แตกต่างกันออกไป เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการศึกษางานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆ ได้แก่ งานวิจัย เรื่อง “การเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงพลังงานของวัตถุดิบอุตสาหกรรมเอทานอล” ของ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (National Metal and Materials Technology Center: MTEC) (บุญวรรณ, 2549) ซึ่งงานวิจัยนี้มีการศึกษาประสิทธิภาพเชิงพลังงานของการใช้มันสำปะหลัง อ้อย และกากน้ำตาลในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร โดยพิจารณาพลังงานที่ใช้ในส่วนต่างๆ ในการผลิตเอทานอลตลอดวัฏจักรชีวิต ได้แก่ เครื่องจักรกล ปุ๋ย สารเคมี แรงงานคน การขนส่ง และกระบวนการผลิตเอทานอล โดยข้อมูลกระบวนการผลิตเอทานอล ได้ใช้ข้อมูลจากงานวิจัยของประเทศบราซิล โดยผลการใช้พลังงานในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร กรณียังไม่ได้มีการปันส่วนพลังงานที่ใช้กับผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล แสดงได้ดังภาพที่ 86



ภาพที่ 86 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตรจากการศึกษาของ MTEC กรณียังไม่มี การปันส่วนพลังงานกับผลผลิตร่วม

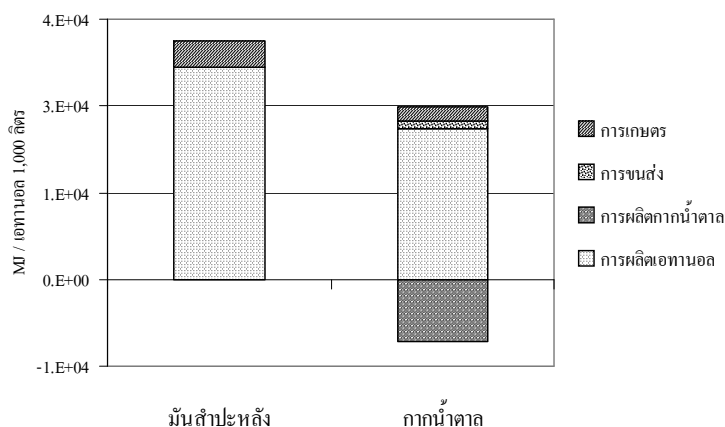
ภาพที่ 86 แสดงผลการศึกษาพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตรจากการศึกษาของ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ กรณียังไม่มี การปันส่วนพลังงานกับผลผลิตร่วม พบว่า การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล มีการใช้พลังงานในการผลิตเอทานอลสูงสุดรอง ลงมาคือ มันสำปะหลัง และอ้อยตามลำดับ ซึ่งพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจาก กากน้ำตาล พลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่อ้อยละ 48 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในการผลิตเอทานอล อยู่ใน รูปพลังงานจากปุ๋ยและสารเคมีที่ใช้ในการเพาะปลูก ส่วนพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิต เอทานอลจากมันสำปะหลังพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่อ้อยละ 82 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด ในการผลิต เอทานอล อยู่ในรูปพลังงานจากกระบวนการผลิตเอทานอล และเมื่อมีการพิจารณาการปันส่วน พลังงานที่ใช้กับผลผลิตร่วม ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวนี้ได้มีการปันส่วนโดยวิธีการปันส่วนโดยมวล โดย มีการปันส่วนพลังงานที่ใช้กับน้ำตาลทราย ชานอ้อย ในกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล โดยพิจารณาเป็น อ้อย 1 ตันได้น้ำตาลทราย 100 กก. ชานอ้อย 250 กก. และกากน้ำตาล 50 กก. หรือ คิดเป็น ค่าการปันส่วนของกากน้ำตาลได้เป็น 0.125 ส่วนการผลิตเอทานอลจากอ้อย มีการปันส่วน การใช้พลังงานได้ว่าในกระบวนการผลิตเอทานอลมีชานอ้อยเป็นผล ผลิตร่วม ร้อยละ 82 หรือคิด เป็นค่าการปันส่วน ของเอทานอลที่ผลิตจากอ้อยได้ 0.18 ส่วนกระบวนการผลิตเอทานอลจากมัน สำปะหลังในรูปมันเส้นไม่ได้เกิดผลผลิตร่วมจึงมีค่าปันส่วนมีค่าเท่ากับ 1 ซึ่งเมื่อพิจารณาพลังงานที่ ใช้ในการผลิตเอทานอลโดยมีการปันส่วนการใช้พลังงานกับ ผลผลิตร่วมสามารถแสดงผลการใช้ พลังงานในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร แสดงดังภาพที่ 87



ภาพที่ 87 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตรจากการศึกษาของ MTEC กรณี มีการปันส่วนพลังงานกับผลผลิตร่วม

ภาพที่ 87 แสดงผลการศึกษากำลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร จากการศึกษาศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ กรณีมีการปันส่วนค่าการใช้พลังงานกับผลผลิตร่วม พบว่าเมื่อมีการปันส่วนพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลกับผลผลิตร่วมที่ได้ส่งผลทำให้พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและอ้อยมีค่าลดลง จึงส่งผลให้การใช้มันสำปะหลังในการผลิตเอทานอล ซึ่งไม่มีการปันส่วนพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลกับผลผลิตร่วม มีการใช้พลังงานสูงสุด รองลงมาคือ การใช้กากน้ำตาล และอ้อย ในการผลิตเอทานอล ตามลำดับ

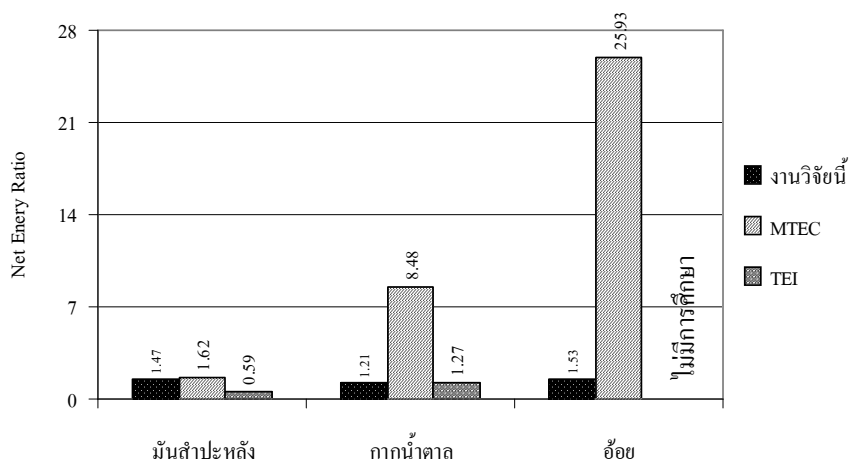
ส่วนงานวิจัยเรื่อง “การศึกษาเปรียบเทียบการผลิตและการใช้เอทานอลจาก มันสำปะหลัง และอ้อย” (มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย, 2550) ของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (Thailand Environmental Institute: TEI) ที่มีการศึกษาประสิทธิภาพเชิงพลังงานของการใช้มันสำปะหลัง และกากน้ำตาลในการผลิตเอทานอล 1,000 ลิตร โดยพิจารณาการใช้พลังงานตั้งแต่ ขั้นตอนการเพาะปลูก การขนส่ง วัตถุดิบ การผลิตกากน้ำตาล การขนส่งกากน้ำตาล และกระบวนการผลิตเอทานอล ซึ่งข้อมูลจากกระบวนการผลิตเอทานอลได้จากการเก็บข้อมูลโดยตรง จากโรงงานเอทานอลในประเทศไทย โดยในงานวิจัยนี้ได้มีการปันส่วนด้วยวิธีการปันส่วนทางเศรษฐศาสตร์ โดยมีการปันส่วนพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล กับน้ำตาลทราย ซึ่งเป็นผลผลิตหลักในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ส่วนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังไม่มีการปันส่วน โดยผู้วิจัยให้เหตุผลไว้ว่าไม่มีเทคโนโลยีในการนำกากสำที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังไปใช้ประโยชน์ที่ชัดเจน โดยผลการใช้พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 1,000 ลิตร แสดงได้ดังภาพที่ 88



ภาพที่ 88 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 1,000 ลิตร จากการศึกษาของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

ภาพที่ 88 แสดงพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 1,000 ลิตรจากการศึกษาของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย พบว่า พลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง และกากน้ำตาล ร้อยละ 89.24 และ ร้อยละ 87.73 มาจากพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเอทานอล ตามลำดับ โดยจากการศึกษาของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย พบว่า ตลอดวัฏจักรการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมีการใช้พลังงาน มากกว่าการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล โดยการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ในขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย พลังงานในขั้นตอนนี้มีค่าติดลบ เนื่องจากมีพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินเหลือขายภายนอกโรงงานจากการผลิตไฟฟ้าใช้เองภายในโรงงาน โดยใช้ชานอ้อยที่ได้จากการสกัดหีบอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตพลังงานใช้เองภายในโรงงาน

การเปรียบเทียบผลการศึกษา ประสิทธิภาพเชิงพลังงานในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ ของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าวกับงานวิจัยนี้ ในรูปอัตราส่วนพลังงาน (Net Energy Ratio) หรืออัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ได้จากเอทานอล กับพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล แสดงผลการเปรียบเทียบการศึกษาได้ดังภาพที่ 89



ภาพที่ 89 การเปรียบเทียบค่าอัตราพลังงานของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ ของงานวิจัยต่างๆ กับงานวิจัยนี้

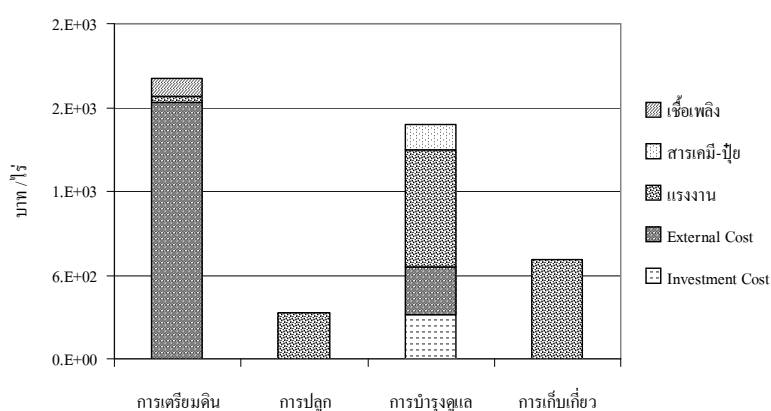
ภาพที่ 89 แสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราพลังงานของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ ของงานวิจัยต่างๆ กับงานวิจัยนี้พบว่าจากการศึกษาของ MTEC และงานวิจัยนี้ การใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลมีค่าอัตราพลังงานสูงสุด หรือมีประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูงสุด ส่วนการศึกษาของ MTEC และ TEI ศึกษาพบว่าการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลมีประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูงกว่าการใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ซึ่งมีผลขัดแย้งกับงานวิจัยนี้ เนื่องด้วยการศึกษาของ MTEC และ TEI ไม่ได้มีการปันส่วนการใช้พลังงานกับ กากสำที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการพิจารณาปันส่วนการใช้พลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล กับกากสำที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น เนื่องจาก งานวิจัยของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน เรื่อง การนำของเสียจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า (กล้าณรงค์, 2549) ได้กล่าวไว้ว่า “กากสำเป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่ต้องการเทคโนโลยีในการผลิตขั้นสูง และมีการสร้างตลาดภายในประเทศ สำหรับใช้ในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์โอกาสทางการตลาดจึงมีสูง ทำให้ความเป็นไปได้ในการลงทุนสูง” งานวิจัยนี้จึงได้มีการพิจารณาการปันส่วนการใช้พลังงานในการผลิตเอทานอลกับกากสำที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง

4. ผลการวิเคราะห์ด้านความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

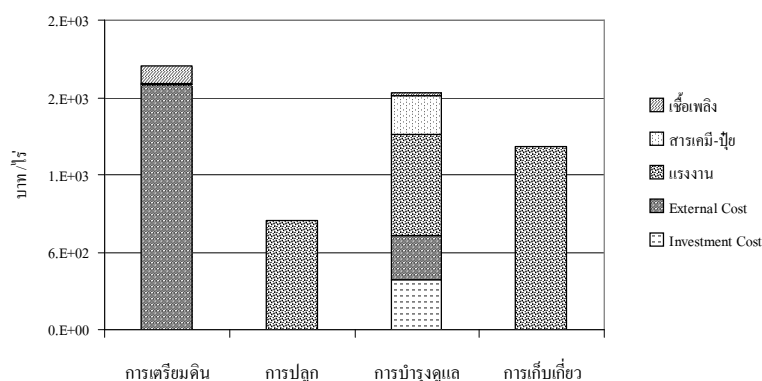
การวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในงานวิจัยนี้ จะทำการศึกษาต้นทุนและค่าใช้จ่ายในการผลิตเอทานอล 3 ประเภท ได้แก่ ต้นทุนการลงทุน ต้นทุนการดำเนินงาน และต้นทุนด้านผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยจะพิจารณาต้นทุนในการผลิตเอทานอลในแต่ละขั้นตอนของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดยการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันเส้นและการผลิตเอทานอลจากอ้อย จะพิจารณาตั้งแต่พลังงานที่ใช้ในการเพาะปลูกวัตถุดิบ การขนส่ง การแปรรูปวัตถุดิบ(การผลิตมันเส้น) และกระบวนการผลิตเอทานอล ส่วนการผลิตเอทานอลจาก กากน้ำตาลจะพิจารณาตั้งแต่ราคาต้นทุนกากน้ำตาลที่ซื้อจากโรงงานน้ำตาล การขนส่งกากน้ำตาล ไปยังโรงงานเอทานอล และกระบวนการผลิตเอทานอล โดยผลการศึกษาต้นทุนในการผลิตเอทานอลในแต่ละขั้นตอนที่ได้มีดังต่อไปนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในขั้นตอนการเพาะปลูก

ต้นทุนการลงทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกวัตถุดิบ ที่มีการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย เครื่องพ่นยาในการกำจัดวัชพืช และเครื่องสูบน้ำ ส่วนต้นทุนการดำเนินงานที่วิเคราะห์ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย ปุ๋ย ยากำจัดวัชพืช และค่าจ้างแรงงานคน ส่วนต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะประเมินค่าจากมลสารประเภท CO_2 , SO_2 , N_2O , CH_4 และ NO_x ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากการเพาะปลูกเป็นต้นทุนในการเพาะปลูก โดยผลการวิเคราะห์ต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกวัตถุดิบในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ จำแนกตามขั้นตอนการเพาะปลูก แสดงดังภาพที่ 90



(ก)



(ข)

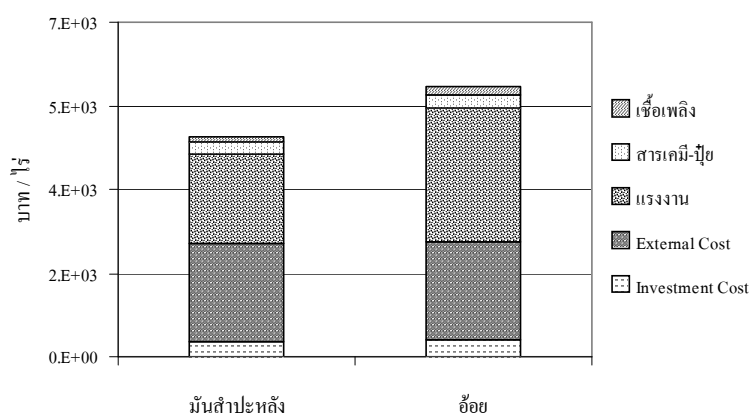
ภาพที่ 90 ต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกวัตถุดิบในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่

(ก) มันสำปะหลัง (ข) อ้อย

ภาพที่ 90 แสดงต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลัง และอ้อยในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ พบว่า ต้นทุนการเพาะปลูกอ้อย และมันสำปะหลังมีผลในทำนองเดียวกัน คือ ต้นทุนการเพาะปลูก โดยเฉลี่ยร้อยละ 38 ของต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกทั้งหมด มาจากขั้นตอนการเตรียมดิน ซึ่งต้นทุนส่วนใหญ่ในขั้นตอนการเตรียมดินจะอยู่ในรูปต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยคิดเป็น ร้อยละ 92 ของต้นทุนทั้งหมดในขั้นตอนการเตรียมดิน หรือคิดเป็นต้นทุนเฉลี่ย 2,000 บาท/ไร่ ซึ่งต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการเตรียมดินนี้ มาจากการปล่อยมลพิษจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิงในรถแทรกเตอร์และมลพิษจากรถแทรกเตอร์ขณะที่ใช้ในการเตรียมดิน ซึ่งการเตรียมดินในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อยของรถแทรกเตอร์จะมีการปล่อยก๊าซ CO₂ ออกมา 33.25 และ 24.23 kg CO₂ /ไร่ ตามลำดับ ส่วนต้นทุนที่ใช้การเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อยที่มีต้นทุนรองจากขั้นตอนการเตรียมดิน คือขั้นตอนการบำรุงรักษา โดยเฉลี่ยได้ร้อยละ 33 ของต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกทั้งหมด ซึ่งต้นทุนในขั้นตอนการบำรุงดินในการเพาะปลูกโดยเฉลี่ย ร้อยละ 45 ของต้นทุนในขั้นตอนการบำรุงรักษา อยู่ในรูปค่าจ้างแรงงานคน เนื่องจากขั้นตอนนี้จะมีการใส่ปุ๋ย การกำจัดวัชพืชโดยวิธีการพ่นยา และการไถพรวนเพื่อกำจัดวัชพืช ซึ่งขนาดพื้นที่ในการเพาะปลูกมีขนาดใหญ่เกินกว่ากำลังแรงงานคนในครัวเรือนของเกษตรกร จึงต้องมีการว่าจ้างแรงงานคน ส่วนอีกร้อยละ 55 ของต้นทุนในการบำรุงรักษาประกอบด้วยต้นทุนการการลงทุน (เครื่องพ่นยา และเครื่องสูบน้ำ) ต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อม และต้นทุนจากค่าปุ๋ยและยากำจัดวัชพืช ตามลำดับ ซึ่งขั้นตอนการเก็บเกี่ยว และขั้นตอนการปลูก มีการใช้ต้นทุนในการเพาะปลูก รองลงมา ตามลำดับ ซึ่ง

ต้นทุนที่ใช้ในขั้นตอนการเก็บเกี่ยว และขั้นตอนการปลูก จะอยู่ในรูปค่าจ้างแรงงานคนที่ใช้ในการปลูก และเก็บเกี่ยวผลผลิต โดยต้นทุนในการเก็บเกี่ยวผลผลิตอ้อยมีค่าสูง คือ 1,300 บาท/ไร่ เนื่องจากการเก็บเกี่ยวอ้อยมีการใช้แรงงานมากในการเก็บเกี่ยว คือ 72.60 ชม-คน/ไร่

การเปรียบเทียบต้นทุนการเพาะปลูกอ้อยและมันสำปะหลัง ในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ แสดงได้ดังภาพที่ 91

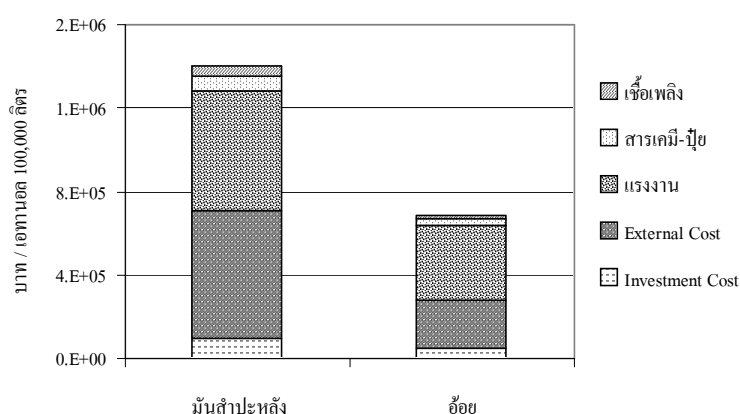


ภาพที่ 91 การเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกวัตถุดิบในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่

ภาพที่ 91 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อยในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ พบว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลัง ต้นทุนส่วนใหญ่ร้อยละ 45 และ 40 จะอยู่ในรูปต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อม และ ค่าจ้างแรงงานคนที่ใช้ในการเพาะปลูก ตามลำดับ ส่วนการเพาะปลูกอ้อย ร้อยละ 50 และ ร้อยละ 36 จะอยู่ในรูปต้นทุนจากค่าจ้างแรงงานคนที่ใช้และผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการเพาะปลูก ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลัง และอ้อยว่า การเพาะปลูกอ้อย 1 ไร่มีต้นทุนการเพาะปลูก 5,640 บาท/ไร่ ซึ่งสูงกว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลังที่มีต้นทุน 4,600 บาท/ไร่ เนื่องด้วยการเพาะ ปลูกอ้อย จะมีต้นทุนด้านค่าจ้างแรงงานคนมากกว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลัง โดยการเพาะปลูกอ้อย มีการใช้แรงงานคนรวม 157 ชม-คน/ไร่ ในขณะที่การเพาะปลูกมันสำปะหลังมีการใช้แรงงาน คน 103 ชม-คน/ไร่ จึงส่งผลให้การเพาะปลูกอ้อยมีต้นทุนในการเพาะปลูกสูงกว่ามันสำปะหลัง และเมื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนการเพาะปลูกกับผลผลิตที่ได้พบว่า การเพาะปลูกมันสำปะหลังมีต้นทุน 2.27 บาท/กก. ส่วนการเพาะปลูกอ้อยมีค่า 0.63 บาท/กก. สาเหตุที่ทำให้ต้นทุนการเพาะปลูกอ้อยต่อผลผลิต มีค่าต่ำ

กว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลัง เนื่องด้วยอ้อย 1 ไร่ ให้ผลผลิต 9.02 ตัน/ไร่ ซึ่งมากกว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลังที่ให้ผลผลิต 2.03 ตัน/ไร่

การเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกวัตถุดิบระหว่างมันสำปะหลัง และอ้อย เพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงดังภาพที่ 92



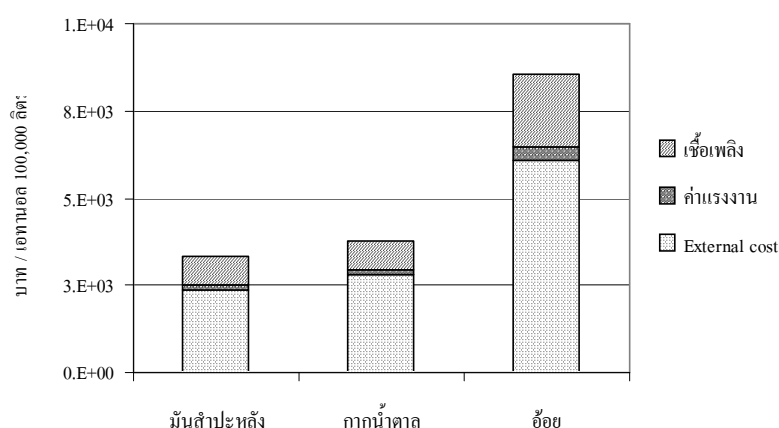
ภาพที่ 92 การเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

ภาพที่ 92 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกวัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า การเพาะปลูกมันสำปะหลังเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร มีต้นทุนในการเพาะปลูกมากกว่าการเพาะปลูกอ้อย เนื่องจากในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันสำปะหลัง ต้องการมันเส้น 290.06 ตัน หรือมันสำปะหลัง 630.57 ตัน ต้องมีการใช้พื้นที่การเพาะปลูกมันสำปะหลัง 310.36 ไร่ ซึ่งมากกว่าการใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกอ้อย ที่ใช้พื้นที่ในการเพาะปลูก 133.69 ไร่ เพื่อผลิตอ้อย 1,205.94 ตัน ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

4.2 ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในขั้นตอนการขนส่ง

การขนส่งวัตถุดิบตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล มีต้นทุนที่ใช้ในการขนส่ง ได้แก่ เชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง ค่าจ้างแรงงานในการขนส่ง และค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ปล่อยออกมาจากกระบวนการผลิตเชื้อเพลิง และยานพาหนะระหว่างการขนส่ง โดยการผลิตเอทา

นอกจากมันสำปะหลังจะมีการขนส่งมันสำปะหลังจากไร่มันสำปะหลังไปยังลานมัน และการขนส่งมันเส้นจากลานมันไปยังโรงงานผลิตเอทานอล ส่วนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลจะมีการขนส่งกากน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลทรายไปยังโรงงานผลิตเอทานอล และการผลิตเอทานอลจากอ้อยจะมีการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปยังโรงงานผลิตเอทานอล โดยผลต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งของวัตถุดิบประเภทต่างๆ ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงดังภาพที่ 93

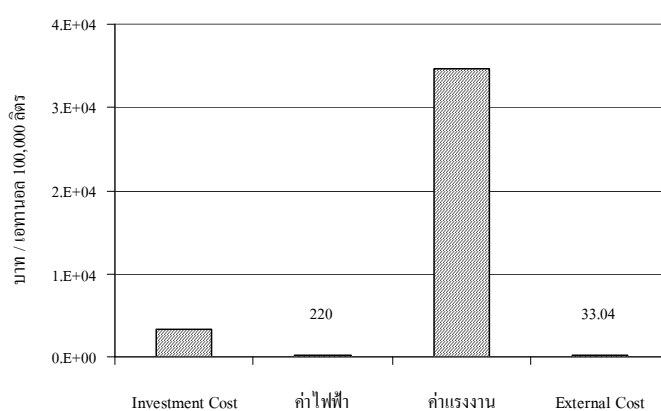


ภาพที่ 93 ต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งวัตถุดิบเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

ภาพที่ 93 แสดงต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งวัตถุดิบเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่าการใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล มีต้นทุนในด้านการขนส่งสูงสุด รองลงมาคือ การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและมันสำปะหลัง ตามลำดับ เนื่องด้วยการใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล มีการขนส่งอ้อยในปริมาณ 1,206 ตัน ในระยะทาง 22.23 กม./ 1 เทียว ดังนั้นการผลิตเอทานอลจากอ้อย จึงมีระยะทางการขนส่งโดยรถสิบล้อขนาดความจุ 16 ตัน ปริมาณรวม 1,206 กม. ซึ่งมากกว่าการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลมีการขนส่งกากน้ำตาล 275.50 ตัน ในระยะทาง 37.36 กม./ 1 เทียว จึงมีระยะทางการขนส่งโดยรถสิบล้อขนาดความจุ 16 ตัน ปริมาณรวม 514.63 กม. ส่วนการใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบมีการขนส่งมันสำปะหลังและมันเส้นปริมาณรวม 920.63 กม. ในระยะทางรวม 24.39 กม./ 1 เทียว จึงมีระยะทางการขนส่งโดยรถสิบล้อขนาดความจุ 16 ตัน ปริมาณรวม 643 กม. สาเหตุดังกล่าว จึงทำให้ใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลมีปริมาณการใช้เชื้อเพลิง และ ค่าจ้างแรงงานในการขนส่งปริมาณสูง รวมทั้งต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการขนส่งปริมาณสูง ซึ่งส่งผลทำให้มีต้นทุนด้านการขนส่งสูงสุด

4.3 ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ในขั้นตอนการผลิตมันเส้น

การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง จะต้องมีการผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสดที่ลานมันเส้นก่อนส่งไปยังมันเส้นไปยังโรงงานผลิตเอทานอล ซึ่งต้นทุนที่ใช้ในการผลิตมันเส้นจะมีต้นทุนการลงทุน ต้นทุนการดำเนินงาน (ต้นทุนค่าไฟฟ้า และ ค่าจ้างแรงงาน) และต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม โดยผลการศึกษาด้านต้นทุนที่ใช้ในการผลิตมันเส้นเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงดังภาพที่ 94



ภาพที่ 94 ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตมันเส้นเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

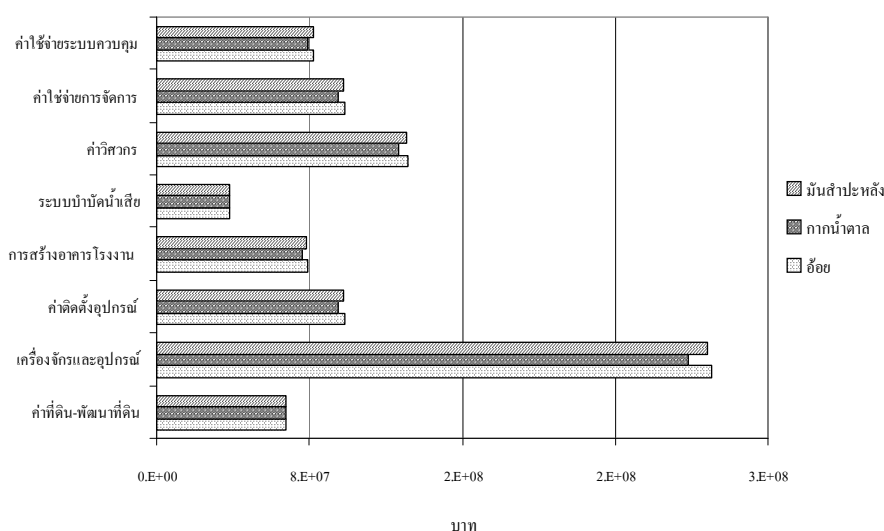
ภาพที่ 94 แสดง ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสดเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรพบว่า ต้นทุนที่ใช้ส่วนใหญ่ในการผลิตมันเส้น คือค่าจ้างแรงงานคน โดยคิดเป็นร้อยละ 90 ของต้นทุนที่ใช้ทั้งหมดในการผลิตมันเส้น ต้นทุนที่ใช้รองลงมา ร้อยละ 8.70 มาจาก ต้นทุนการลงทุนที่ใช้ในการผลิตมันเส้น เช่น ลานตากมันเส้น เครื่องสับหัวมันสำปะหลังขนาดเล็ก คราดไม้พลิกขึ้นมัน เป็นต้น ส่วนต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมมีค่าเพียง 33 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร หรือคิดเป็น ร้อยละ 0.09 ของต้นทุนที่ใช้ทั้งหมดในการผลิตมันเส้น เนื่องจากต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมมีจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อใช้ในเครื่องสับมันเส้น ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเพียง 87.02 kWh./เอทานอล 100,000 ลิตร ซึ่งการผลิตไฟฟ้าจะมีการปล่อย CO₂ เพียง 52.38 kg CO₂/เอทานอล 100,000 ลิตร จึงส่งผลให้ขั้นตอนการผลิตมันเส้นมีต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมในปริมาณต่ำ เมื่อเทียบกับขั้นตอนอื่นๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล

4.4 ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ในขั้นตอนการผลิตเอทานอล

ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอล ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ต้นทุน 3 ด้านได้แก่ ต้นทุนการลงทุน ต้นทุนการดำเนินงาน และ ต้นทุนด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยรายละเอียด ต้นทุนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร มีดังต่อไปนี้

4.4.1 ต้นทุนการลงทุน (Investment Cost)

ต้นทุนการลงทุนในกระบวนการผลิตเอทานอล จะพิจารณาต้นทุนที่ใช้ในการซื้อที่ดินที่ใช้ตั้งโรงงาน เครื่องจักรและอุปกรณ์ ค่าติดตั้งเครื่องจักรและอุปกรณ์ ต้นทุนการสร้างอาคารโรงงาน, ค่าวิศวกรในการออกแบบโรงงาน ค่าใช้จ่ายในการจัดการและระบบควบคุม และระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งในการวิเคราะห์ต้นทุนการลงทุนจะพิจารณาที่ค่าเครื่องจักรและอุปกรณ์เป็นหลัก โดยค่าใช้จ่ายด้านอื่นๆ จะเป็นสัดส่วนกับต้นทุนจากเครื่องจักรและอุปกรณ์ดังที่กล่าวไว้แล้วดังบทที่ 3 โดยต้นทุนการลงทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอลที่กำลังการผลิต 100,000 ลิตร ของวัตถุดิบแต่ละประเภทแสดงได้ดังรูปที่ 95

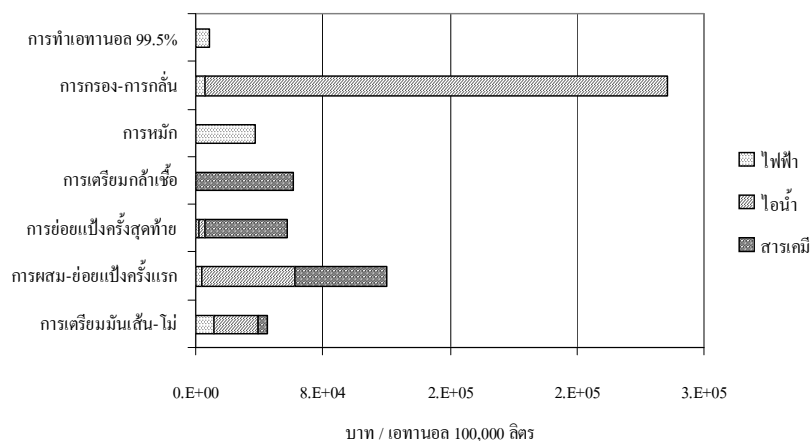


ภาพที่ 95 ต้นทุนการลงทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ ที่กำลังการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

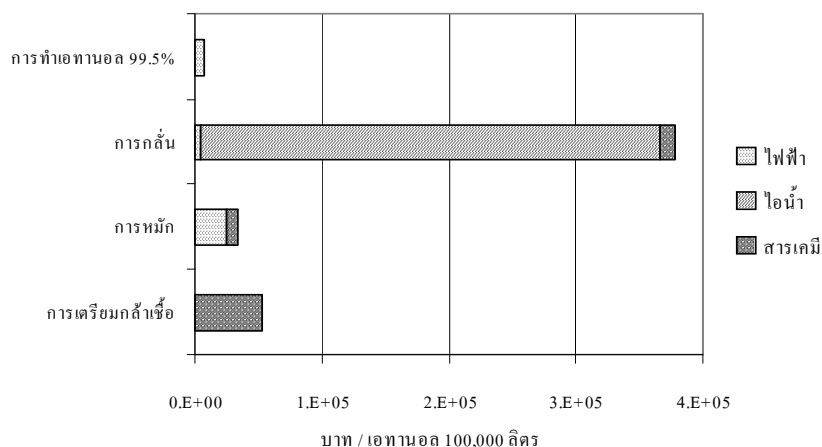
ภาพที่ 95 แสดงต้นทุนการลงทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด คือ 801 ล้านบาท เนื่องด้วยกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล ไม่ต้องมีอุปกรณ์ในการเตรียมวัตถุดิบเหมือนกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้นที่ต้องมีอุปกรณ์ ในขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงให้เป็นน้ำตาล หรือกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อยที่ต้องมีเครื่องสกัดน้ำอ้อย โดยรายละเอียดต้นทุนแต่ละอุปกรณ์แสดงดังตารางผนวกที่ ง.4

4.4.2 ต้นทุนการดำเนินงาน (Operating Cost)

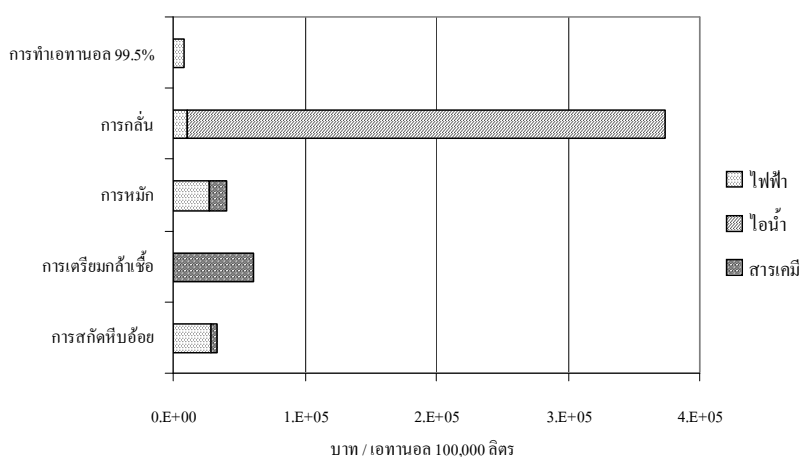
ต้นทุนการดำเนินงาน ในกระบวนการผลิตเอทานอลจะประกอบด้วย ต้นทุนจากพลังงานไฟฟ้า พลังงานไอน้ำ สารเคมีที่ใช้ในการผลิตเอทานอล และค่าแรงงานคน โดยต้นทุนการดำเนินงานในกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ ที่กำลังการผลิต 100,000 ลิตร แสดงได้ดังภาพที่ 96



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 96 ต้นทุนการดำเนินงานจากกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

(ก) มันสำปะหลัง (ข) กากน้ำตาล (ค) อ้อย

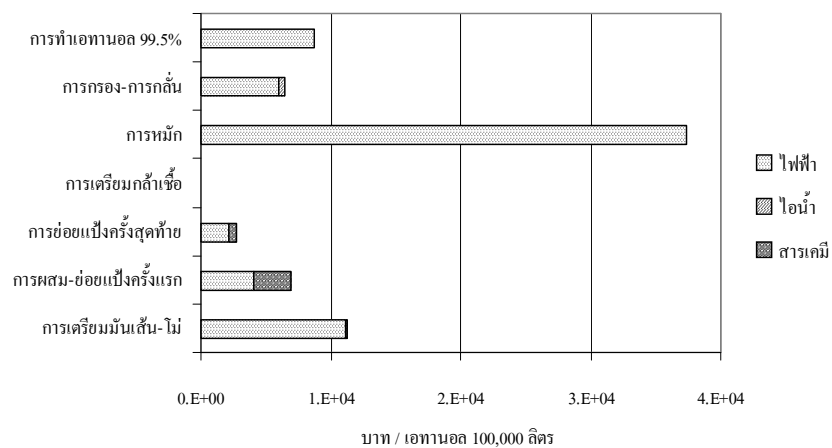
ภาพที่ 96(ก) แสดง ต้นทุนการดำเนินงานจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันสำปะหลังในรูปมันเส้น พบว่าขั้นตอนการกลั่นมีต้นทุนการดำเนินงานในการผลิตเอทานอลสูงสุด โดยคิดเป็นร้อยละ 52 ของต้นทุนการดำเนินงานทั้งหมด โดยต้นทุนการดำเนินงานส่วนใหญ่ของขั้นตอนการกลั่นอยู่ในรูปพลังงานไอน้ำ เนื่องด้วยการกลั่นเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรให้ได้เอทานอล 95.5 เปอร์เซ็นต์ ต้องใช้ไอน้ำประมาณ 243 ตัน ซึ่งต้องใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง 17,010 ลิตร หรือคิดเป็นจำนวนเงิน 272,160 บาท (น้ำมันเตา 1 ลิตรมีต้นทุน 16 บาท) ส่วน

ขั้นตอนการย่อยแป้งมีต้นทุนการดำเนินงานในขั้นตอนการผลิตเอทานอลรองลงมา โดยคิดเป็นร้อยละ 31 ของต้นทุนการดำเนินงานทั้งหมด โดยต้นทุนการดำเนินงานของขั้นตอนการย่อยแป้งส่วนใหญ่อยู่ในรูปพลังงานไอน้ำเพื่อต้มให้ความร้อนภายในถังปฏิกริยามีอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และต้นทุนจากน้ำย่อยที่ใช้ในการย่อยแป้ง โดยการย่อยแป้งครั้งแรกมีการค่าใช้จ่ายต้นทุนจากน้ำย่อย Termamy1 120L ที่ใช้ย่อยแป้งเป็นเงิน 37,800 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร ส่วนขั้นตอนการย่อยแป้งครั้งสุดท้ายมีค่าใช้จ่ายจากน้ำย่อย AMG ที่ใช้ย่อยแป้งเป็นเงิน 41,768 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร ส่วนค่าใช้จ่ายแรงงาน คนในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร มีค่า 5,818 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร หรือคิดเป็นร้อยละ 1 ของต้นทุนในการดำเนินงานทั้งหมด ซึ่งค่าจ้างแรงงานคนแสดงรายละเอียดดังตารางผนวกที่ 6

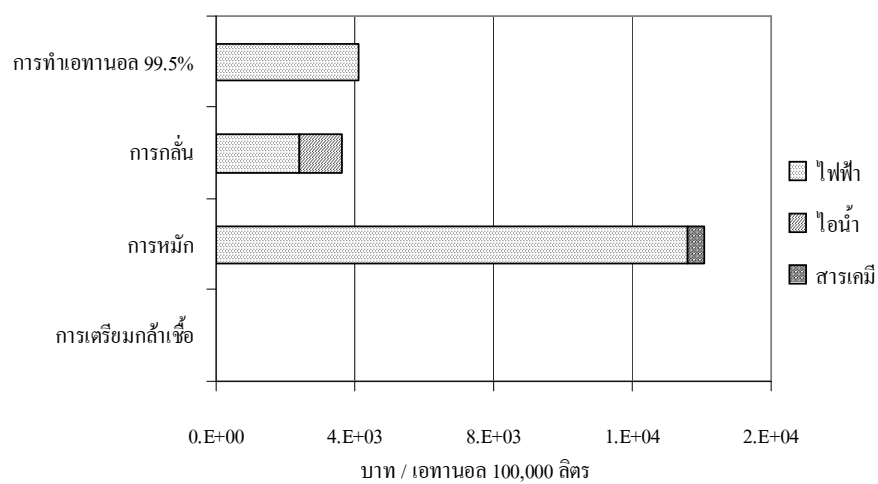
ภาพที่ 96(ข) และ 96(ค) แสดง ต้นทุนในการดำเนินงานจากกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากกากน้ำตาล และอ้อย พบว่าขั้นตอนการกลั่นมีต้นทุนการดำเนินงานในการผลิตเอทานอลสูงสุด โดยเฉลี่ย คิดเป็นร้อยละ 75 ของต้นทุนในการดำเนินงานทั้งหมด ซึ่งต้นทุนส่วนใหญ่ของขั้นตอนการกลั่นในกระบวนการผลิตเอทานอลอยู่ในรูปพลังงานไอน้ำ โดยคิดเป็นค่าใช้จ่ายได้ 397,000 และ 344,000 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร สำหรับกระบวนการกลั่นในกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล และ อ้อยตาม ตามลำดับ ส่วนต้นทุนอีกร้อยละ 10 ของต้นทุนในการดำเนินงานทั้งหมด จะอยู่ในรูปอาหารเลี้ยงเชื้อในขั้นตอนการเตรียมกล้าเชื้อ ซึ่งคิดเป็นค่าใช้จ่ายได้ 56,000 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร ส่วนต้นทุนที่เหลือจะอยู่ในรูปค่าไฟฟ้าที่ใช้ในขั้นตอนการหมัก และขั้นตอนการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์ ตามลำดับ สำหรับค่าแรงงานคนในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร มีค่าเช่นเดียวกับกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น คือ 5,818 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร

4.4.3 ต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อม (External Cost)

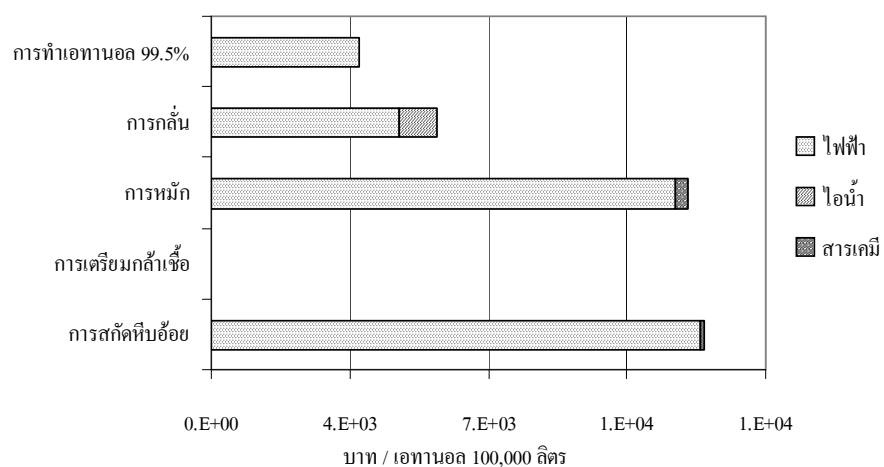
ต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ปล่อยจาก ขั้นตอนการผลิตเอทานอลจะพิจารณาจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยมลสารประเภท CO_2 SO_2 N_2O CH_4 และ NO_x ที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า พลังงานไอน้ำ และสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตเอทานอลโดยผลการศึกษาด้านต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ปล่อยจากกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงได้ดังภาพที่ 97



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 97 ต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

(ก) มันสำปะหลัง (ข) กากน้ำตาล (ค) อ้อย

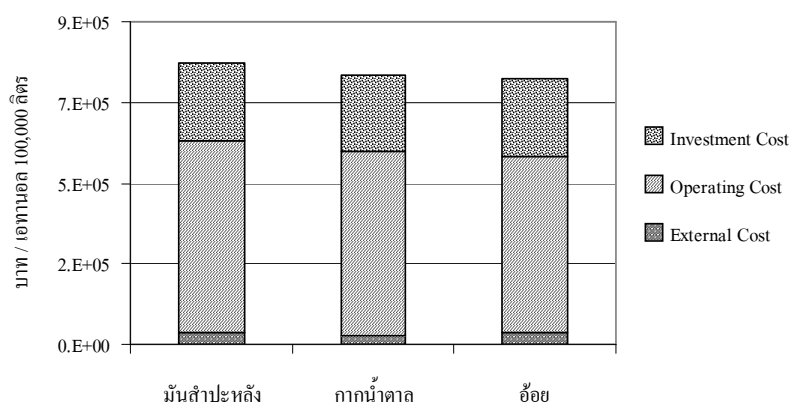
ภาพที่ 97(ก) แสดงต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันเส้น 100,000 ลิตร พบว่า ต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่มาจากกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล โดยคิดเป็นร้อยละ 95 ของต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมดในกระบวนการผลิตเอทานอล เนื่องด้วยกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า 1 kWh มีการปล่อย มลสาร CO_2 , CH_4 และ N_2O ออกสู่สิ่งแวดล้อมปริมาณ 0.6 kg CO_2 , 0.007 kg CH_4 และ 9.45×10^{-5} kg N_2O ดังนั้นกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรซึ่งมีการใช้ไฟฟ้า 28,070 kWh จึงมีการปล่อย CO_2 , CH_4 และ N_2O ปริมาณ 16,842 kg CO_2 , 196 kg CH_4 และ 2.65 kg N_2O หรือคิดเป็นต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมรวมได้ 31,300 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร หรือคิดเป็นร้อยละ 90 ของต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมทั้งหมดจากกระบวนการผลิตเอทานอล โดยขั้นตอนการหมักมีต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุด โดยคิดเป็นร้อยละ 48 ของต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมด เนื่องด้วยขั้นตอนการหมักมีการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในกระบวนการผลิตเอทานอล

ภาพที่ 97(ข) แสดงต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล 100,000 ลิตร พบว่า ต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม ร้อยละ 92 ของต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมดมาจากกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล ขั้นตอนการหมักมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด จึงส่งผลให้ขั้นตอนการหมักมีต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุด คือมีค่า 14,100 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร โดยคิดเป็นร้อยละ 65 ของต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมด ส่วนอีกร้อยละ 19 และร้อยละ 17 มาจากกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในขั้นตอนการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์ และขั้นตอนการกลั่นตามลำดับ โดยขั้นตอนการกลั่น นอกจากจะมีต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าแล้ว ยังมีต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากพลังงานไอน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการกลั่น โดยต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไอน้ำมา จากกระบวนการผลิตน้ำมันเตาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ โดยการผลิตไอน้ำ 1 ตันมีการปล่อยมลสาร N_2O , SO_2 และ NO_x ออกสู่สิ่งแวดล้อมเป็นหลักปริมาณ 0.018 kg N_2O , 0.00094 kg SO_2 และ 0.0053 kg NO_x ซึ่งเมื่อคิดเป็นเป็นต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากไอน้ำที่ใช้ในการกลั่นปริมาณ 355 ตัน เป็นเงิน 1,210 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร

ภาพที่ 97 (ค) แสดงต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย 100,000 ลิตร พบว่า ต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม ร้อยละ 96 ของต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมดจากกระบวนการผลิตเอทานอล มาจากกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย ขั้นตอนการสกัดน้ำอ้อยมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด จึงส่งผลให้ขั้นตอนการสกัดน้ำอ้อย มีต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุด คือมีค่า 12,400 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร โดยคิดเป็นร้อยละ 37 ของต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมด ส่วนอีกร้อยละ 36 ร้อยละ 17 และร้อยละ 11 มาจากต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการหมัก การกลั่น และการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์ ตามลำดับ

4.4.4 ต้นทุนรวมทั้งหมดที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเอทานอล

เมื่อนำต้นทุนที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเอทานอลทั้งหมดจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ มาเปรียบเทียบกัน ผลการศึกษาการเปรียบเทียบแสดงผลได้ดังภาพที่ 98



ภาพที่ 98 ต้นทุนรวมทั้งหมดที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ของ วัตถุดิบประเภทต่างๆ

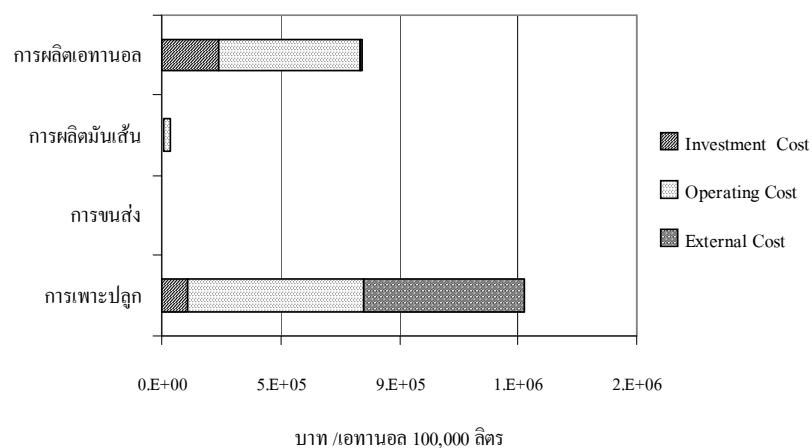
ภาพที่ 98 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนทั้งหมดที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรของวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า ต้นทุนการดำเนินงานเป็นต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอลสูงสุด โดยคิดเป็นร้อยละ 68 ของต้นทุนทั้งหมดในขั้นตอนการผลิตเอทานอล ส่วนต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมมีต้นทุนน้อยที่สุด หรือคิดเป็นร้อยละ 4 ของต้นทุนทั้งหมดในขั้นตอนการผลิตเอทานอลทั้งหมด โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนรวมทั้งหมดในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า ต้นทุนรวมในขั้นตอนการผลิตเอทานอลของวัตถุดิบประเภทต่างๆ มีต้นทุนใกล้เคียงกัน โดยการใช้มันสำปะหลังในรูปมันเส้นในการผลิตเอทานอลเป็นวัตถุดิบที่ใช้ต้นทุนในขั้นตอนการผลิตเอทานอลสูงสุดคือมีต้นทุนกระบวนการผลิตเอทานอลรวม 7.83×10^5 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร รองลงมาคือ ขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและอ้อย ตามลำดับ โดยมีต้นทุนรวมในขั้นตอนการผลิตเอทานอลรวม 7.50×10^5 และ 7.42×10^5 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร ซึ่งสาเหตุที่การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันเส้นมีต้นทุนรวมในขั้นตอนการผลิตเอทานอลสูงกว่าการผลิตเอทานอลจากกาก น้ำตาลและอ้อย เนื่องจาก กระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง มีขั้นตอนการเปลี่ยนแปลง ให้เป็นน้ำตาล (ขั้นตอนการย่อยแป้งครั้งแรกและการย่อยแป้งครั้งสุดท้าย) ซึ่งขั้นตอนนี้มีการใช้สาร เกลือ และน้ำย่อยหลายชนิด ได้แก่ $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ น้ำย่อย Termamyl NaOH น้ำย่อย AMG และ H_2SO_4 โดยต้นทุนจากสารเคมี และน้ำย่อยเหล่านี้ คิดเป็นร้อยละ 7 ของต้นทุนทั้งหมดของกระบวนการผลิตเอทานอลทั้งหมด ซึ่งต้นทุนในส่วนนี้กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล และ อ้อยไม่มี เนื่องจากกากน้ำตาล และอ้อย เป็นวัตถุดิบประเภทน้ำตาล จึงไม่ต้องมีขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงให้เป็นน้ำตาล ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ มันสำปะหลังในรูปมันเส้น เป็นวัตถุดิบที่ใช้ต้นทุนรวมในกระบวนการผลิตเอทานอลสูงกว่ากากน้ำตาลและอ้อย ส่วนต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย มีต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุด เนื่องจาก ต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยร้อยละ 90 มาจากกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นกระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด จึงส่งผลให้กระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อยมีต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุด หรือมีค่า 2.16×10^5 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร ส่วนต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง และกากน้ำตาลมีค่า 2.15×10^5 และ 2.09×10^5 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร ตามลำดับ

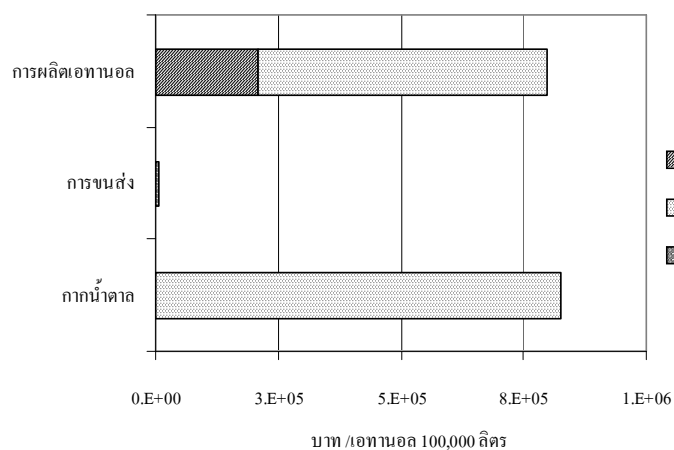
4.5 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนรวมทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตเอทานอลตลอดวัฏจักรชีวิตจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ

ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอลตลอดวัฏจักรชีวิต จากที่กล่าวมาแล้ว ตั้งแต่ขั้นตอนการเพาะปลูกวัตถุดิบ (มันสำปะหลัง และอ้อย) การขนส่งวัตถุดิบ การแปรรูปวัตถุดิบหรือการผลิตมันเส้นจากหัวมันสำปะหลังสด(ส่วนกากน้ำตาลในงานวิจัยนี้จะพิจารณาด้านต้นทุนกากน้ำตาลที่ซื้อได้จากโรงงาน น้ำตาล) และจนกระทั่งกระบวนการผลิตเอทานอลจนได้เอทานอล 99.5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง

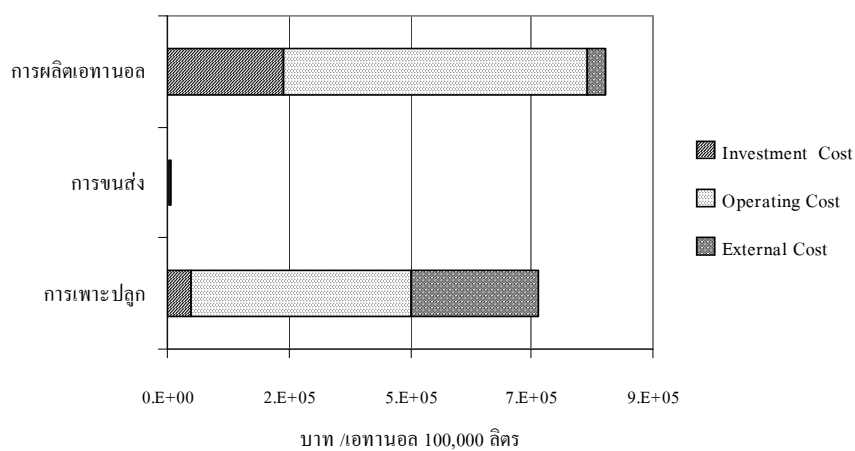
เมื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากขั้นตอนต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล สามารถแสดงผลการศึกษาดังภาพที่ 98



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 99 ต้นทุนรวมทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

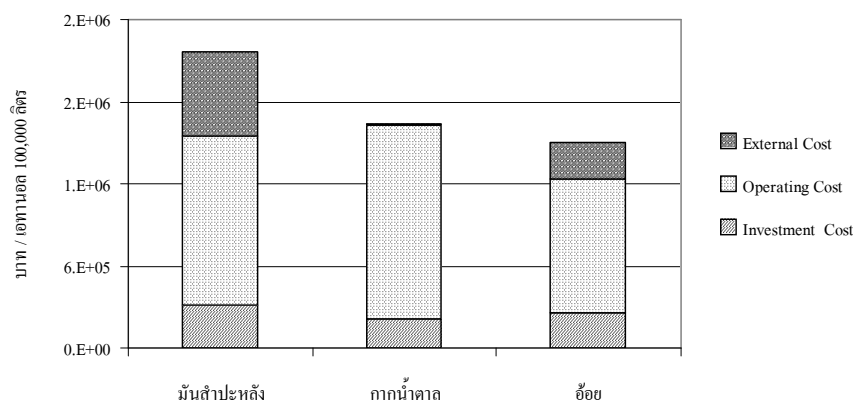
(ก) มันสำปะหลัง (ข) กากน้ำตาล (ค) อ้อย

ภาพที่ 99 (ก) แสดง ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันสำปะหลัง พบว่า ต้นทุนที่ใช้ทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ร้อยละ 63 และ ร้อยละ 35 มาจากขั้นตอนการเพาะปลูก และ ขั้นตอนการผลิตเอทานอล ตามลำดับ สาเหตุที่ขั้นตอนการเพาะปลูกมีต้นทุนรวมในปริมาณสูง เนื่องจากการเพาะปลูกมันสำปะหลังเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร มีการปล่อยมลสารประเภท CO_2 SO_2 NO_x N_2O และ CH_4 ออกสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณสูง โดยมาจากขั้นตอนการเตรียมดินก่อนการเพาะปลูก มีการไถเตรียมหน้าดินด้วยรถแทรกเตอร์ โดยต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมคิดเป็นร้อยละ 28 ของต้นทุนทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล และมาจากต้นทุนจากค่าจ้างแรงงานคนปริมาณสูง โดยคิดเป็นร้อยละ 26 ของต้นทุนทั้งหมดที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล

ภาพที่ 99(ข) แสดง ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล 100,000 ลิตร จำแนกตามขั้นตอนการผลิต พบว่า ต้นทุนที่ใช้ทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล ร้อยละ 51 อยู่ในรูปต้นทุนของกากน้ำตาลที่ซื้อจากโรงงานน้ำตาล โดยกากน้ำตาลที่ซื้อจากโรงงานน้ำตาลมีต้นทุนที่ 3,000 บาท/กากน้ำตาล 1 ตัน (ปี พ.ศ. 2550) ซึ่งในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลต้องใช้กากน้ำตาล 275.50 ตัน ดังนั้นจึงคิดเป็นต้นทุนได้ 8.27×10^5 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร ส่วนต้นทุนจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล คิดเป็นร้อยละ 49 ของต้นทุนในการผลิตเอทานอลทั้งหมด

ภาพที่ 99(ค) แสดง ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากอ้อย 100,000 ลิตร จำแนกตามขั้นตอนการผลิต พบว่า ต้นทุนที่ใช้ทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากอ้อย ร้อยละ 54 และ ร้อยละ 46 มาจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล และขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อยตามลำดับ

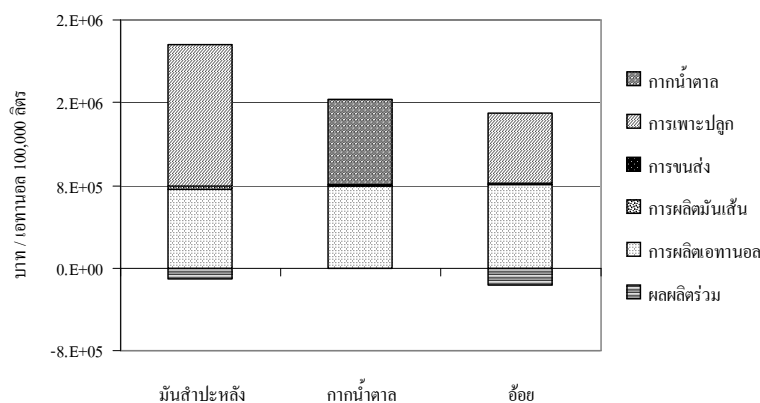
การเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล ของวัตถุดิบประเภทต่างๆ จำแนกตามประเภทต้นทุนการผลิตเอทานอล แสดงดังภาพที่ 100



ภาพที่ 100 การเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ จำแนกตามประเภทต้นทุนการผลิตเอทานอล

ภาพที่ 100 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตเอทานอลจากการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่าการใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล มีต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลสูงสุด รองลงมาคือกากน้ำตาลและ อ้อย ตามลำดับ โดยต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล ร้อยละ 57 ร้อยละ 87 และร้อยละ 64 อยู่ในรูปต้นทุนการดำเนินงาน สำหรับการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง กากน้ำตาล และ อ้อย ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุที่การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล ต้นทุนส่วนใหญ่อยู่ในรูปต้นทุนการดำเนินงาน เนื่องด้วยต้นทุนจากกากน้ำตาลที่ซื้อจากโรงงานน้ำตาลมีค่าสูง คือมีค่าที่ 3,000 บาท/ตัน ซึ่งในกระบวนการผลิตเอทานอลต้องใช้กากน้ำตาลประมาณ 275.50 ตัน หรือ คิดเป็น 8.27×10^5 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร หรือคิดเป็น ร้อยละ 51 ของต้นทุนทั้งหมดในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล แต่การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมปริมาณน้อย หรือร้อยละ 0.40 ของต้นทุนทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล เนื่องจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล มีต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมเพียงจากขั้นตอนการขนส่งกากน้ำตาล และขั้นตอนการผลิตเอทานอลเท่านั้น ซึ่งคิดเป็นต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ 6,589 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร ส่วนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง และอ้อย มีต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อม คิดเป็นร้อยละ 29 และร้อยละ 18 ของต้นทุนทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล ตามลำดับ โดยต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมส่วนใหญ่จะอยู่ในขั้นตอนการเพาะปลูกวัตถุดิบ ดังที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้

การเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอล จำแนกตามขั้นตอนการผลิต และพิจารณา
ร่วมกับผลผลิตรวมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล แสดงได้ดังภาพที่ 101

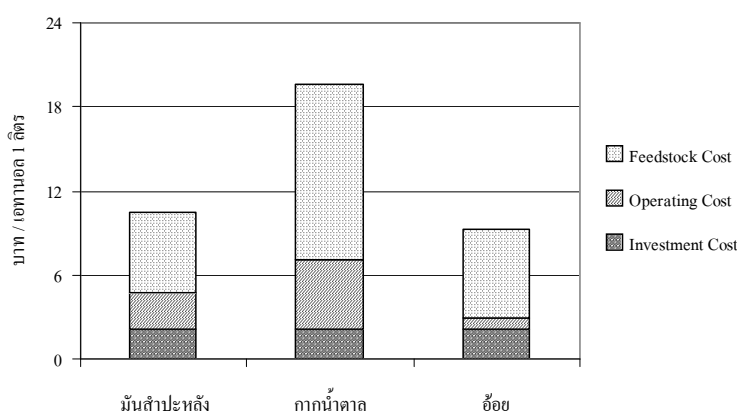


ภาพที่ 101 ต้นทุนที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จาก วัตถุดิบ
ประเภทต่างๆ จำแนกตามขั้นตอนการผลิตเอทานอล

ภาพที่ 101 แสดงต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ
จำแนกตามขั้นตอนการผลิตเอทานอล และพิจารณามูลค่าของผลผลิตรวม พบว่า การผลิตเอทานอล
จากอ้อย มีรายได้จากการขายผลผลิตรวมสูงสุด เนื่องจาก กระบวนการผลิตเอทานอลจากอ้อย มี
ชานอ้อยเป็นผลผลิตร่วมในกระบวนการผลิต 427 ตัน ซึ่งชานอ้อยที่ได้สามารถขายยังโรงงานกระ
ดาษได้ทีราค่า 400 บาท/ตัน หรือคิดเป็นรายได้จากการขายชานอ้อยได้ถึง 170,800 บาท/เอทานอล
100,000 ลิตร ส่วนกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง มีกากสำ เป็นผลผลิตร่วม 111.36
ตัน ซึ่งสามารถขายเป็นอาหารสัตว์ได้ต่อไป ซึ่งกากสำมีราคาที่ 900 บาท/ตัน ดังนั้นรายได้จากการ
ขายกากสำจึงมีค่า 100,224 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร ส่วนกระบวนการผลิตเอทานอลจากกาก
น้ำตาลไม่มีรายได้จากการขายผลผลิตร่วม เนื่องจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลที่
เพียง ก๊าซ CO₂ และฟิวเซลล์ออยล์เป็นผลผลิตร่วม ซึ่งงานวิจัยนี้ไม่ได้พิจารณา เนื่องจากประเทศไทย
ยังไม่มีเทคโนโลยีจากผลผลิตร่วมดังกล่าวไปใช้ที่ชัดเจน ดังนั้นจากการศึกษาจึงสามารถสรุปได้ว่า
การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมีต้นทุนทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิต (ต้นทุนหลังจากหักลบราย
ได้จากผลผลิตรวม) ในการผลิตสูงสุด โดยคิดเป็น 21.24 บาท/เอทานอล 1ลิตร ส่วนการผลิตเอทา
นอลจากกากน้ำตาล และอ้อยมีต้นทุนทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิต 16.32 และ 13.36 บาท/
เอทานอล 1 ลิตร ตามลำดับ

4.6 การเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย

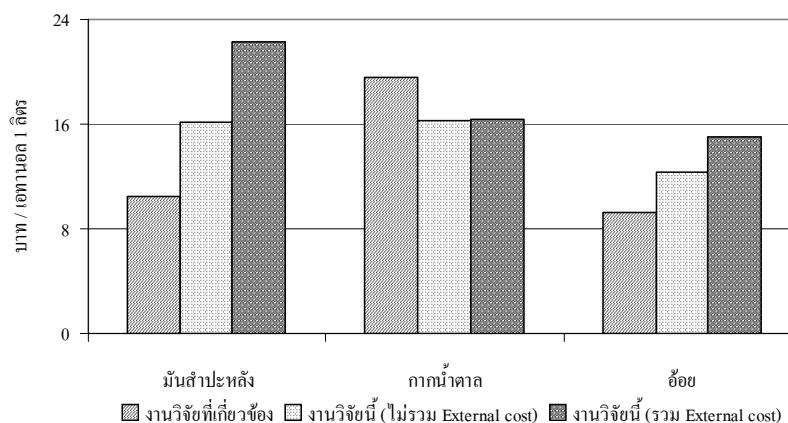
งานวิจัยอื่นๆ ที่ทำการศึกษาต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ ในประเทศไทย ได้แก่ งานวิจัยเรื่อง “A Study of Ethanol Production Cost for Gasoline Substitute in Thailand and Its Competitiveness” (Yosin, S, 2007) โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาต้นทุนการผลิตเอทานอล ซึ่งงานวิจัยได้ศึกษาต้นทุนของวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล (มันสำปะหลัง กากน้ำตาล และอ้อย) จากราคาตลาด รวมทั้งพิจารณาต้นทุนการลงทุนจากกระบวนการผลิตเอทานอล และต้นทุนในการดำเนินการผลิตในกระบวนการผลิตเอทานอล โดยไม่ได้พิจารณาต้นทุนจากการเพาะปลูกวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบและต้นทุนด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งจากผลการศึกษาต้นทุนการผลิตเอทานอล 1 ลิตรจากงานวิจัยดังกล่าว แสดงดังภาพที่ 102



ภาพที่ 102 ต้นทุนในการผลิตเอทานอล 1 ลิตรจากงานวิจัยของสุธรรมมา โยสิน

ภาพที่ 102 แสดงต้นทุนในการผลิตเอทานอล 1 ลิตรจากงานวิจัยของสุธรรมมา โยสิน พบว่าต้นทุนการผลิตเอทานอล 1 ลิตรจากงานวิจัยดังกล่าว ส่วนใหญ่อยู่ในรูปต้นทุนจากวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล (มันสำปะหลัง กากน้ำตาล และอ้อย) คือ ต้นทุนของมันสำปะหลัง กากน้ำตาล และอ้อย อยู่ที่ 5.75, 12.5 และ 6.29 บาท ต่อการผลิตเอทานอล 1 ลิตร ตามลำดับ ส่วนปริมาณต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอลรองลงมาคือต้นทุนการดำเนินงาน และต้นทุนการลงทุน ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนทั้งหมดในการผลิตเอทานอลของวัตถุดิบแต่ละประเภท พบว่า การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล มีต้นทุนทั้งหมดในการผลิตสูงสุด คือ 19.57 บาท/ลิตร และรองลงมาคือ การ

ผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง และอ้อย ตามลำดับ ซึ่งมีต้นทุนทั้งหมดในการผลิตเอทานอลที่ 10.46 และ 9.20 บาท/ลิตร ตามลำดับ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบผลการศึกษาของงานวิจัยของสุธรรมมา โยสิน กับงานวิจัยนี้ แสดงผลการเปรียบเทียบการศึกษาแสดงดังภาพที่ 103



ภาพที่ 103 การเปรียบเทียบต้นทุนในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร ของงานวิจัยนี้ กับ งานวิจัยของสุธรรมมา โยสิน

ภาพที่ 103 แสดงการเปรียบเทียบผลการศึกษาต้นทุนในการผลิตเอทานอล 1 ลิตรในงานวิจัยนี้กับงานวิจัยของสุธรรมมา โยสินพบว่าต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้กรณีไม่มีการพิจารณาต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อม มีผลการศึกษาในทำนองเดียวกัน คือต้นทุนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล มีต้นทุนสูงสุด รองลงมาคือการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง และอ้อย ตามลำดับ แต่เมื่องานวิจัยนี้มีการพิจารณาต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อม รวมด้วย พบว่าต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมีต้นทุนการผลิตสูงสุด รองลงมาคือต้นทุนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล และอ้อย ตามลำดับ สาเหตุที่เมื่อพิจารณาต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมรวม แล้วทำให้การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมีค่าสูงสุดเนื่องจากการเพาะปลูกมันสำปะหลังมีต้นทุนจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมในปริมาณสูง

5. การวิเคราะห์ผลการลดการใช้พลังงาน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล

5.1 การนำน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลผลิตก๊าซชีวภาพ โดยนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล

จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล พบว่าขั้นตอนการผลิตเอทานอลเป็นขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานมากที่สุด หรือคิดเป็นร้อยละ 90 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล โดยพลังงานส่วนใหญ่ ร้อยละ 70 ของพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล อยู่ในรูปพลังงานไอน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการกลั่นในกระบวนการผลิตเอทานอล ดังนั้นการลดการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล จึงมุ่งเน้นไปที่ขั้นตอนการกลั่นในกระบวนการผลิตเอทานอล ส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันร้อยละ 100 มาจากการปล่อยน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอล เนื่องด้วยน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลจะมีค่าซีโอดีสูง ส่วนผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมจากการปล่อยโลหะหนัก และสารก่อมะเร็ง พบว่า ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล ร้อยละ 60 ของการปล่อยโลหะหนัก และสารก่อมะเร็ง มาจากกระบวนการผลิตน้ำมันเตาเพื่อใช้ในขั้นตอนการกลั่นในกระบวนการผลิตเอทานอล ดังนั้นการลดการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล และผลกระทบด้านการมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชัน การปล่อยโลหะหนัก และสารก่อมะเร็ง จึงมุ่งเน้นไปที่กระบวนการผลิตใช้ไอน้ำในขั้นตอนการกลั่นในกระบวนการผลิตเอทานอล ดังนั้นการนำน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลมาผลิตก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันเตา ในการผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในขั้นตอนการกลั่น จึงเป็นแนวทางการลดการใช้พลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นได้

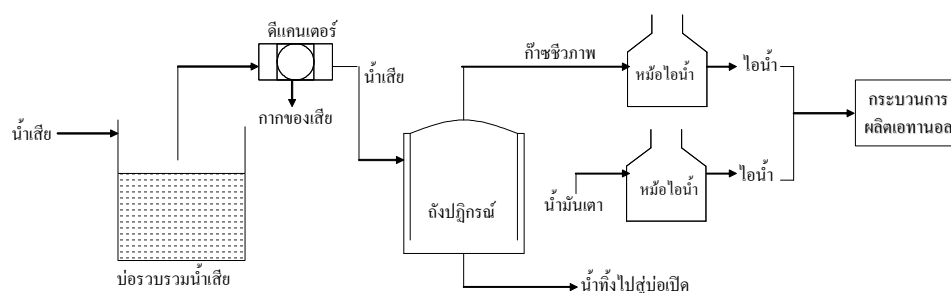
ระบบบำบัดน้ำเสียที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพสามารถผลิตได้จากการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ เป็นกระบวนการที่สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายและเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ จุลินทรีย์ที่มีความสำคัญในการเกิดก๊าซชีวภาพ คือจุลินทรีย์ที่มีชื่อว่า มีเทนแบคทีเรีย (Methanogenic Bacteria) เป็นจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทน มีการเจริญเติบโตค่อนข้างช้าและไวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมมาก ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลในส่วนระบบบำบัดน้ำเสียสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากงานวิจัยเรื่อง “การบูรณาการกระบวนการผลิตเอทานอลกับโรงงานน้ำตาลและประเมิณเชิงเทคโนโลยี

โลยีในการทำเอทานอลให้บริสุทธิ์” (บุญยพัต, 2546) โดยในงานวิจัยดังกล่าวนี้ได้ทำการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบถังปฏิกรณ์ตรึงจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศ ที่มีตัวกลางบรรจุเป็นตาข่ายในลอน โดยรายละเอียดค่าต่างๆ ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำแสดงดังตารางที่ 53

ตารางที่ 53 รายละเอียดในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย

รายการ	หน่วย	ข้อมูล
กำลังการผลิตของโรงงานเอทานอล	ลิตร	100,000
อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ	m ³ / kg COD	0.4
COD ที่ออกจากระบบก๊าซชีวภาพ		
- น้ำเสียจากวัตถุดิบเป็นมันสำปะหลัง	mg / ลิตร	8,110
- น้ำเสียจากวัตถุดิบเป็นอ้อยและกากน้ำตาล	mg / ลิตร	3,150
ค่าพลังงานเทียบเท่า	m ³ ก๊าซชีวภาพ / ตันน้ำ	120

ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ จากน้ำเสียเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำแทนเชื้อเพลิงฟอสซิล มีอุปกรณ์ ได้แก่ ถังปฏิกรณ์ ระบบป้อนน้ำเสีย บ่อรวบรวมน้ำเสีย และวัสดุตัวกลางเป็นตาข่ายในลอน โดยแผนภาพระบบบำบัดน้ำเสียในการผลิตก๊าซชีวภาพแสดงดังภาพที่ 104



ภาพที่ 104 ระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

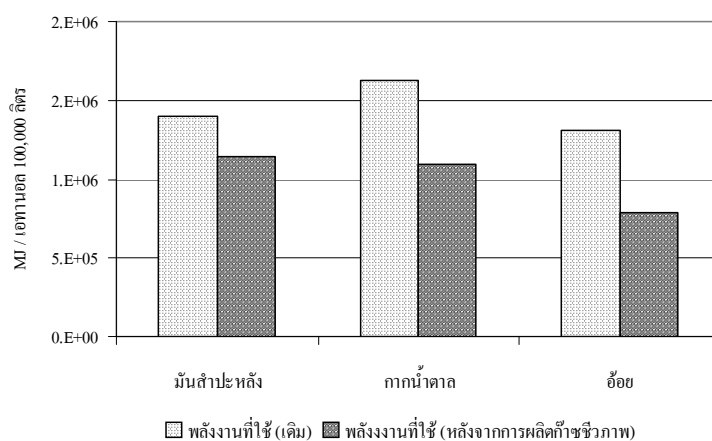
การนำน้ำเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลมาผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ จะมีปริมาณน้ำเสียและไอน้ำที่ผลิตได้จากการผลิตก๊าซชีวภาพจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ แสดงได้ดังตารางที่ 54

ตารางที่ 54 ปริมาณก๊าซชีวภาพและไอน้ำที่ผลิตได้จากน้ำเสียในกระบวนการผลิตเอทานอล

รายการ	หน่วย	วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล		
		มันสำปะหลัง	กากน้ำตาล	อ้อย
ปริมาณน้ำเสีย	m ³	1,023.71	1,303.63	1,272.07
ปริมาณ COD ในน้ำเสีย	kg/m ³	84	135	135
ปริมาณ COD ^a	kg/m ³	25.19	40.5	40.5
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้	m ³	10,314.90	21,118.81	20,607.53
ปริมาณไอน้ำที่ได้	ตัน	85.96	175.99	171.73

หมายเหตุ: ^a คือ ปริมาณ COD หลังจากออกซิไดเซอร์ โดยมีค่าร้อยละ 30 ของค่า COD ก่อนเข้าเครื่องดีแคนเตอร์

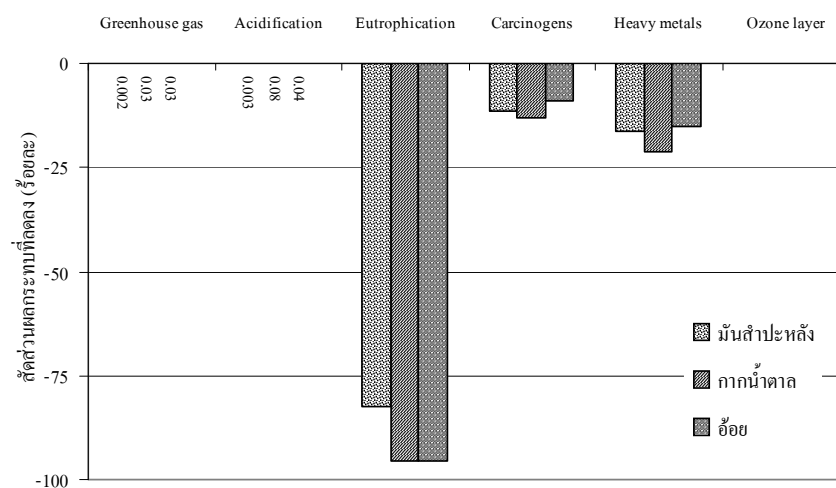
ดังนั้นเมื่อทำวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล เมื่อมีการนำเอาน้ำเสียมาผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไอน้ำแทนน้ำมันเตา แสดงผลการใช้พลังงานดังภาพที่ 105



ภาพที่ 105 การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร กับการลดการใช้พลังงาน โดยการนำน้ำเสียมาผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตเชื้อเพลิงใช้ในการผลิตไอน้ำในการผลิตเอทานอล

ภาพที่ 105 แสดง การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร กับการลดการใช้พลังงานโดยการนำน้ำเสียมาผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตเชื้อเพลิง เพื่อใช้ในการผลิตไอน้ำในกระบวนการผลิตเอทานอล พบว่า การผลิตก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำแทนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล(น้ำมันเตา) สามารถลดพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลจากมันเส้น กากน้ำตาล และอ้อย ได้ร้อยละ 10 ร้อยละ 20 และร้อยละ 25 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลตามลำดับ โดยสาเหตุที่การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล และอ้อย สามารถลดการใช้พลังงานมากกว่าการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันเส้น เนื่องจากระบวนการเอทานอลจากอ้อย และกากน้ำตาล มีปริมาณน้ำเสียและค่าซีไอดีในน้ำเสีย มากกว่ากระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น จึงส่งผลให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพและปริมาณไอน้ำได้มากกว่า จึงทำให้การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและอ้อย สามารถลดการใช้พลังงานในสัดส่วนมากกว่าการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันเส้น

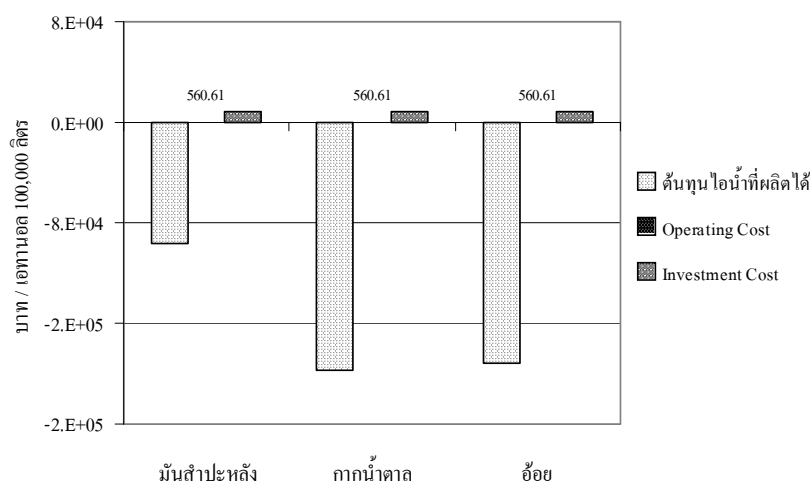
สัดส่วนการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ เมื่อมีการนำน้ำเสียมาผลิตก๊าซชีวภาพ เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล สามารถแสดงภาพที่ 106



ภาพที่ 106 สัดส่วนการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการนำน้ำเสียมาผลิตก๊าซชีวภาพในการผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล

ภาพที่ 106 แสดง การลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการนำน้ำเสียมาผลิตก๊าซชีวภาพในการผลิตเชื้อเพลิง เพื่อใช้ในการผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล พบว่าการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำแทนพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิล (น้ำมันเตา) สามารถลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชัน ได้เฉลี่ยร้อยละ 91 เนื่องจากการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียสามารถลดปริมาณน้ำเสีย และค่าซีโอดีในน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์ หลังผลิตก๊าซชีวภาพได้ร้อยละ 91 เมื่อเทียบค่าซีโอดีในน้ำเสียก่อนเข้าระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ จึงส่งผลให้ สามารถลดผลการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชันได้ในปริมาณสูง ส่วนการการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ สามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมทางด้านการปล่อยโลหะหนัก และสารก่อมะเร็ง เฉลี่ยได้ร้อยละ 18 และร้อยละ 11 ตามลำดับ เนื่องด้วยการการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ สามารถลดปริมาณการใช้ไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการกลั่นได้ ซึ่งไอน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิงการผลิต ซึ่งกระบวนการผลิตน้ำมันเตา จะมีการปล่อยโลหะหนัก และสารก่อมะเร็งในปริมาณสูง ดังนั้นการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ จึงเท่ากับเป็นการลดปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ จึงเป็นสาเหตุให้การผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ สามารถลดการปล่อยโลหะหนัก และสารก่อมะเร็งได้

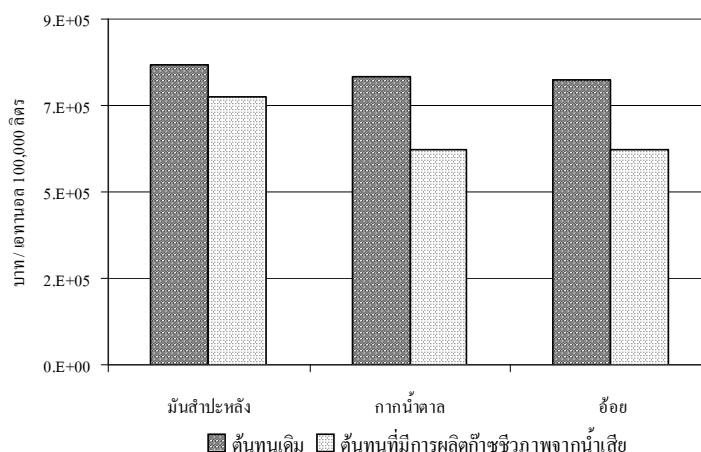
ต้นทุนใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสีย ของโรงงานผลิตเอทานอลที่กำลังการผลิต 100,000 ลิตร แสดงดังตารางผนวกที่ ง.12 โดยผลต้นทุนที่ใช้ในการก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเอทานอลที่กำลังการผลิต 100,000 ลิตร กับผลการลดต้นทุนจากน้ำมันเตาที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำแสดงดังภาพที่ 107



ภาพที่ 107 ต้นทุนที่ใช้ และต้นทุนที่ลดได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียเพื่อผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล

ภาพที่ 107 แสดงต้นทุนที่ใช้ และต้นทุนที่ลดได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียเพื่อผลิตไอน้ำใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล พบว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ มีทั้งการเพิ่มต้นทุนการลงทุน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน แต่จะสามารถลดต้นทุนจากน้ำมันเตาที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำได้ โดยต้นทุนการลงทุนที่เพิ่มขึ้นในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำจะอยู่ในค่าของ เครื่องเติมอากาศ ระบบกำจัดตะกอนและ ระบบท่อซึ่งคิดเป็นต้นทุนประมาณ 8,482 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร ส่วนต้นทุนการดำเนินงานจะอยู่ในค่าค่าตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และ ค่าติดตามดูแล ซึ่งคิดเป็นค่าได้ 560 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร ส่วนต้นทุนที่ลดได้จากการลดปริมาณน้ำมันเตาที่ใช้ สามารถลดต้นทุนเฉลี่ยได้ 70,900 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร

การเปรียบเทียบต้นทุนรวมทั้งหมดในขั้นตอนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ก่อนและหลังการนำน้ำเสียมาผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล แสดงดังภาพที่ 108



ภาพที่ 108 การเปรียบเทียบต้นทุนของขั้นตอนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ก่อนและหลังการนำน้ำเสียมารผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิต ไอน้ำใช้ในการผลิตเอทานอล

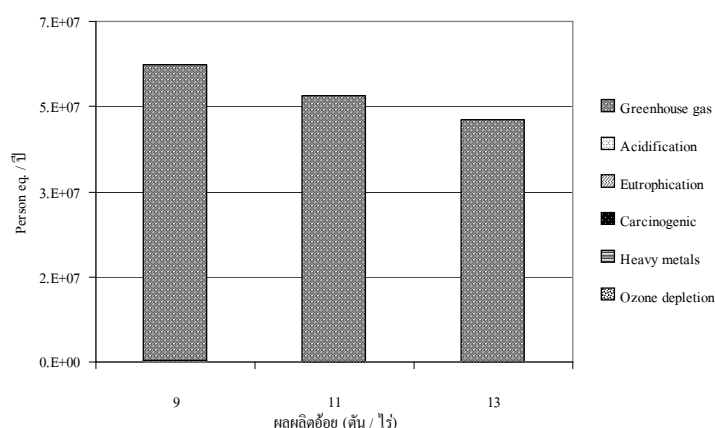
ภาพที่ 108 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนก่อนและหลังการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอล เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ พบว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบกับต้นทุนรวมทั้งหมด จากการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันเส้น กากน้ำตาล และอ้อย เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำ สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ร้อยละ 5.90 ร้อยละ 14.30 และร้อยละ 14.10 ตามลำดับ สาเหตุที่การการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียในกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและอ้อย สามารถลดต้นทุนได้มากกว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง เนื่องจากการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียในกระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและอ้อย สามารถผลิตก๊าซชีวภาพและปริมาณไอน้ำได้มากกว่า จึงทำให้การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและอ้อย สามารถลดต้นทุนการผลิตทั้งหมดมากกว่าการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันเส้น

5.2 การเพิ่มผลผลิตในการเพาะปลูก

จากผลการศึกษาพบว่า ผลกระทบสิ่งแวดล้อมเฉลี่ย ร้อยละ 47 มาจากขั้นตอนการเพาะปลูกวัตถุดิบ ดังนั้นการลดปัญหาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล จึงมุ่งประเด็นที่ขั้นตอนการเพาะปลูก ซึ่งการลดปัญหาที่เกิดจากการเพาะปลูกสามารถทำได้โดยการ

ลดพื้นที่การเพาะปลูกหรือการเพิ่มอัตราผลผลิตการเพาะปลูกต่อไร่ โดยงานวิจัยเรื่อง “อิทธิพลของระยะแถวปลูกและอัตราปุ๋ยที่มีต่อการเพิ่มผลผลิต และคุณภาพของอ้อยปลูก ทั้งข้าวโพดและต้นฝั ในกลุ่มดินเนื้อหยาบ” (ศุภฤกษ์, 2547) พบว่า อ้อยที่ปลูกในระยะแถวที่ชิดขึ้นสามารถให้ผลผลิตอ้อย มีปริมาณมากขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทั้ง 2 แปลงที่ทำการศึกษา โดยการเปลี่ยนระยะแถวปลูกจาก 24 ร่อง/ไร่ ไปเป็น 48 และ 67 ร่อง/ไร่ ทำให้มีผลผลิตอ้อยสดเพิ่มขึ้นร้อยละ 11.5 และ ร้อยละ 35.6 ตามลำดับ ในอ้อยแปลงปลูกข้าวโพด ส่วนในแปลงอ้อยปลูกต้นฝัผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 22.5 และร้อยละ 37.9 ตามลำดับ

ผลการเพิ่มผลผลิตอ้อยต่อไร่ โดยเพิ่มจากอัตราผลผลิตอ้อย 9.02 ตันต่อไร่ (งานวิจัยนี้) เป็น 11 และ 13 ตัน/ไร่ หรือผลผลิตอ้อยต่อไร่เพิ่มร้อยละ 22 และร้อยละ 33 โดยการใช้ปัจจัยต่างๆ ในการเพาะปลูกใช้ปริมาณเดิม ผลการศึกษาลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากการเพิ่มผลผลิตอ้อยต่อไร่ แสดงดังภาพที่ 109

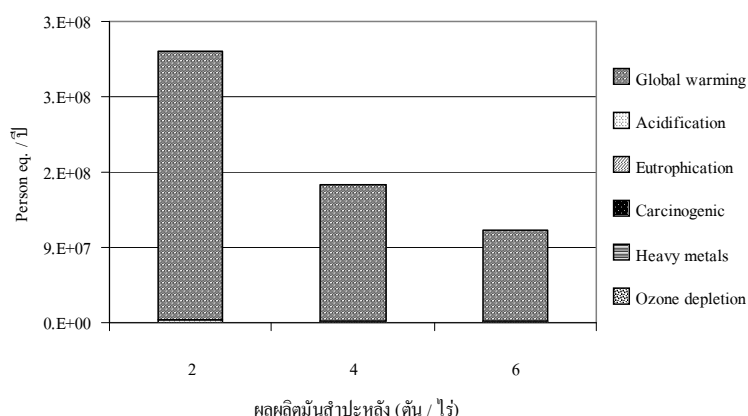


ภาพที่ 109 ผลการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อย จากการเพิ่มผลผลิตอ้อย ต่อไร่

ภาพที่ 109 แสดงผลการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อย จากการเพิ่มผลผลิตอ้อย พบว่าการเพิ่มผลผลิตอ้อยในการเพาะปลูก จาก 9.02 ตันต่อไร่ เป็น 11 และ 13 ตัน/ไร่ โดยที่ไม่มีการเพิ่มปัจจัยอื่นๆ ในการเพาะปลูกสามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อยได้ ร้อยละ 10 และ 19 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับผลผลิตมันสำปะหลังที่ 9.02 ตัน/ไร่

การเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลัง ต่อไร่ สามารถทำได้หลายวิธี เช่น จากการศึกษา ของโอภาส บุญเสียง (2539) พบว่าการปลูกมันสำปะหลังในช่วงต้นฤดูฝน เมื่อเทียบกับการเพาะปลูกปลายฤดูฝน สามารถเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังเฉลี่ย ร้อยละ 42 ร้อยละ 27 และร้อยละ 20 สำหรับการเพาะปลูกมันสำปะหลัง พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ระยะเวลา 90 และระยะของ 60 ตามลำดับ

ผลการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังต่อไร่ โดยเพิ่มจาก 2 ตัน/ไร่ (งานวิจัยนี้) เป็น 4 และ 6 ตัน/ไร่ โดยการใช้ปัจจัยต่างๆในการเพาะปลูกใช้ปริมาณเดิม ผลการศึกษาการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังต่อไร่แสดงดังภาพที่ 110 ได้แสดงดังภาพที่ 110



ภาพที่ 110 ผลการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลัง จากการเพิ่มผลผลิต ต่อไร่

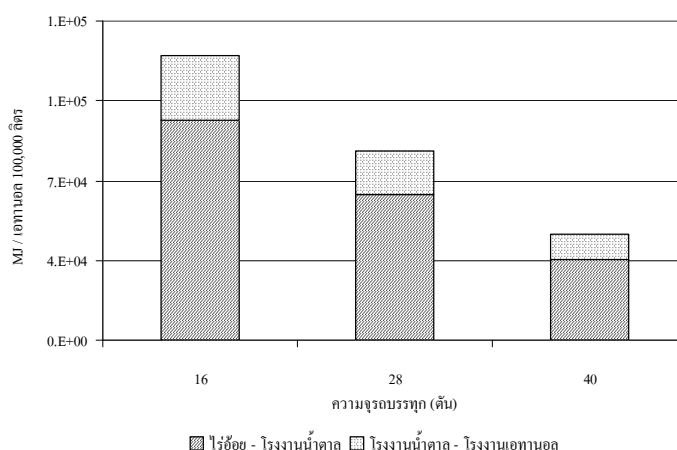
ภาพที่ 110 แสดงผลการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการเพาะปลูก จากการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังต่อไร่ พบว่าการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังเป็น 4 และ 6 ตัน/ไร่ โดยที่ไม่มีการเพิ่มปัจจัยอื่นๆในการเพาะปลูก สามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลังได้ ร้อยละ 49 และ 66 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับผลผลิตมันสำปะหลังที่ 2.03 ตัน/ไร่

5.3 การเปลี่ยนขนาดความจุของรถบรรทุกในการขนส่งวัตถุดิบจากรถบรรทุก 10 ล้อขนาด 16 ตัน เป็นรถบรรทุกที่มีความจุมากขึ้น

จากผลการศึกษาการใช้พลังงานจากการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล พบว่าการขนส่งมีการใช้พลังงานในปริมาณสูงรองจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล โดยคิดเป็นร้อยละ 7.00 ของพลัง

งานที่ใช้ทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการขนส่งจากการขนส่งในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล พบว่า มีค่า ร้อยละ 6.90 ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล เนื่องด้วยการขนส่งวัตถุดิบ (อ้อย) จากไร่อ้อยไปยังโรงงานน้ำตาล ที่การขนส่งในปริมาณสูง และระยะทางไกล จึงทำให้มีการใช้เชื้อเพลิงในปริมาณสูง จึงส่งผลให้มีการใช้พลังงานและปล่อยมลพิษจากระบวนการผลิตเชื้อเพลิง และจากยานพาหนะระหว่างการขนส่งปริมาณสูง ดังนั้นการลดปัญหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการขนส่งนี้ สามารถทำได้โดยการเพิ่มขนาดความจุของรถบรรทุกในการขนส่งวัตถุดิบจากรถบรรทุก 10 ล้อขนาด 16 ตัน เป็นรถบรรทุกขนาดต่างๆ ซึ่งงานวิจัยนี้ ขอกำหนดการเพิ่มขนาดรถบรรทุกเป็นรถบรรทุกขนาด 28 ตัน และรถพ่วงขนาด 40 ตัน ซึ่งการเพิ่มความจุของรถบรรทุกจะสามารถลดจำนวนเที่ยวในการขนส่ง และปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง โดยการเปรียบเทียบการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมของรถบรรทุกขนาด 16 28 และ 40 ตัน แสดงดังตารางผนวกที่ ข.8

การเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการขนส่งวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลจากรถบรรทุก 10 ล้อขนาด 16 ตัน 28 ตัน และรถพ่วงขนาด 40 ตัน แสดงดังภาพที่ 111

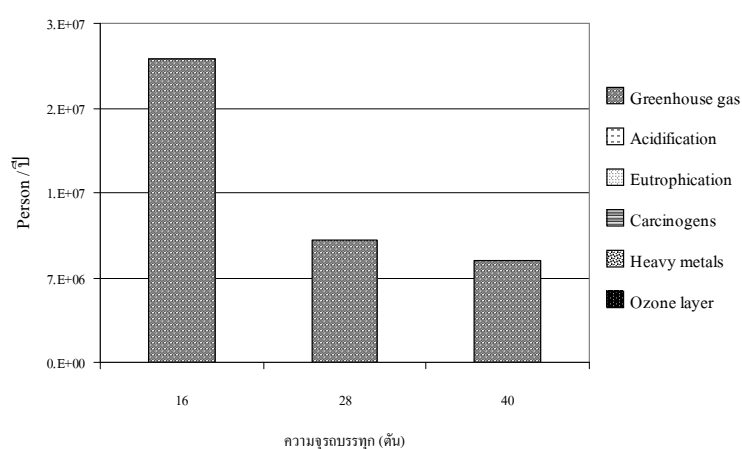


ภาพที่ 111 การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการขนส่งในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลระหว่างรถบรรทุก 10 ล้อขนาด 16 28 และ 40 ตัน

ภาพที่ 111 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการขนส่งในการผลิตเอทานอลจาก กากน้ำตาลระหว่างรถบรรทุก 10 ล้อ ขนาด 16 ตันที่เป็นพาหนะการขนส่งในงานวิจัยนี้ กับรถบรรทุก

ขนาด 28 และ 40 ตัน พบว่าการเปลี่ยนมาใช้รถบรรทุกที่มีความจุมากขึ้น แทนรถสิบล้อขนาด 16 ตันในการขนส่งเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร สามารถลดการใช้พลังงานได้ 42,279 และ 78,840 MJ ต่อเอทานอล 100,000 ลิตร สำหรับรถบรรทุกขนาด 28 และ 40 ตัน ตามลำดับ โดยสามารถลดการใช้พลังงานได้ร้อยละ 34 และร้อยละ 63 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการขนส่ง

การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อม ในการขนส่งวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลจากรถบรรทุก 10 ล้อขนาด 16 ตัน กับรถบรรทุกขนาด 28 40 ตัน แสดงดังภาพที่ 112



ภาพที่ 112 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการขนส่งในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลระหว่างรถบรรทุก 10 ล้อขนาด 16 28 และ 40 ตัน

ภาพที่ 112 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการขนส่งในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลระหว่างรถบรรทุก 10 ล้อขนาด 16 ตัน ที่เป็นตัวแทนพาหนะการขนส่งในงานวิจัยนี้ กับรถบรรทุก 28 และ 40 ตัน พบว่าการเปลี่ยนมาใช้รถบรรทุก 28 และ 40 ตัน แทนรถสิบล้อขนาด 20 ตันในการขนส่งเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร สามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม ได้ร้อยละ 60 และ ร้อยละ 67 ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมดจากการขนส่ง

6. การตรวจสอบความอ่อนไหวของข้อมูล (Sensitivity Check)

การตรวจสอบความอ่อนไหวของข้อมูล เป็นกระบวนการประเมินผลที่เกิดจากการเปลี่ยนค่าปัจจัยต่อผลลัพธ์ของการศึกษาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์และบทสรุปที่ได้จากการศึกษา ความอ่อนไหวของผลการศึกษอาจเกิดจากความไม่แน่นอนของข้อมูล การตรวจสอบความอ่อนไหวทำได้โดย การตรวจสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการศึกษาซึ่งได้จากการเปลี่ยนสมมติฐานและข้อมูลให้แตกต่างกันไป จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้จากสมมติฐาน และข้อมูลที่ต่างกันดังกล่าวมาเปรียบเทียบกัน โดยการตรวจสอบความอ่อนไหวของงานวิจัยนี้มีดังต่อไปนี้

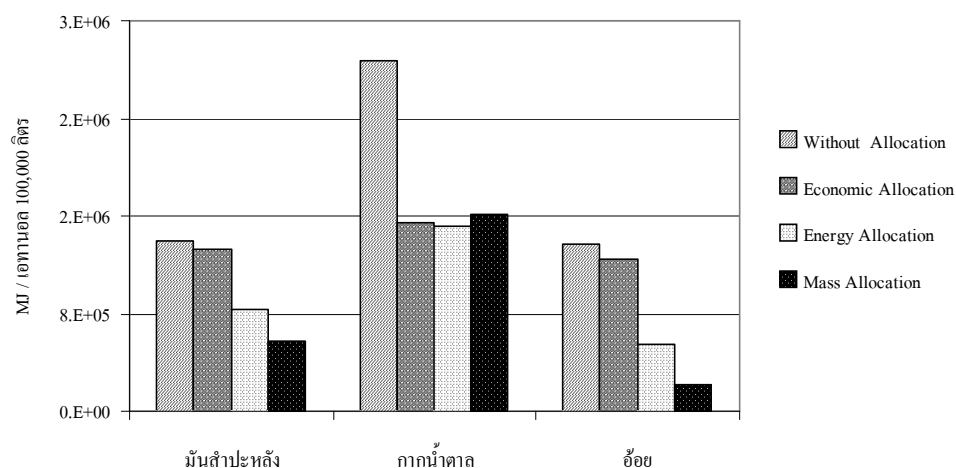
6.1 การเปรียบเทียบวิธีการปันส่วนวิธีต่างๆ

การปันส่วนมีหลายวิธี อย่างที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งแต่ละวิธีก็มีจุดประสงค์เดียวกัน คือปันส่วนพลังงานที่ใช้ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น กับผลผลิตรวมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ซึ่งหัวข้อนี้มีความต้องการตรวจสอบว่าวิธีการปันส่วนวิธีอื่นๆ จะมีผลการศึกษาแตกต่างกับวิธีการปันส่วนโดยวิธีทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้หรือไม่ โดยรายละเอียดการคิดค่าการปันส่วนของการปันส่วนวิธีต่างๆ แสดงในตารางผนวกที่ ก18 ส่วนค่าการปันส่วนในวิธีการปันส่วนวิธีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 55

ตารางที่ 55 ค่าการปันส่วนโดยวิธีการปันส่วนแบบต่างๆ ในงานวิจัยนี้

กระบวนการ	ค่าการปันส่วน		
	Mass Allocation	Energy Allocation	Economic Allocation
<u>กระบวนการผลิตน้ำตาล</u>			
กากน้ำตาล	0.13	0.13	0.08
<u>กระบวนการผลิตเอทานอล</u>			
มันสำปะหลัง	0.41	0.60	0.95
กากน้ำตาล	1.00	1.00	1.00
อ้อย	0.16	0.40	0.91

ผลการวิเคราะห์พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดยวิธีการปันส่วนวิธีต่างๆ แสดงดังภาพที่ 113

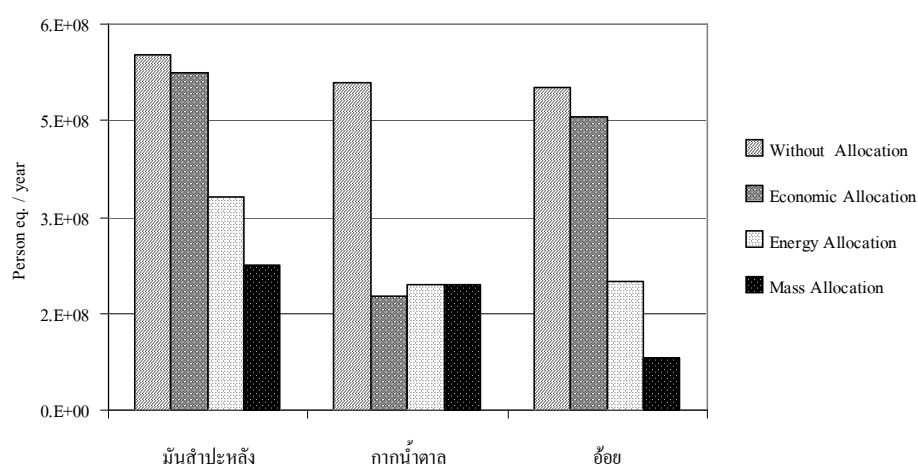


ภาพที่ 113 พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดยวิธีการปันส่วนแบบต่างๆ

ภาพที่ 113 แสดง พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดยวิธีการปันส่วนแบบต่างๆ พบว่าค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร หลังจากการปันส่วนค่าพลังงานกับผลผลิตรวมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลด้วยวิธีการปันส่วนวิธีต่างๆ มีผลในทำนองเดียวกัน คือการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลมีการใช้พลังงานสูงสุด รองลงมา คือมันสำปะหลัง และ อ้อย ตามลำดับ ซึ่งวิธีการปันส่วนด้วยวิธีการปันส่วนโดยวิธีการปันส่วนทางเศรษฐศาสตร์ มีการปันส่วนกับพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลกับผลผลิตรวมที่ได้จากกระบวนการผลิตน้อยที่สุด หรือมีค่าการปันส่วนของกระบวนการผลิตเอทานอลมีค่าสูง (ค่าการปันส่วนของการผลิตเอทานอลมีค่า 0.95 และ 0.91 สำหรับกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง และอ้อย ตามลำดับ) จึงส่งผลให้ค่าการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล โดยการปันส่วนโดยวิธีทางเศรษฐศาสตร์มีค่าสูงสุด รองลงมาคือการปันส่วนโดยวิธีการปันส่วนโดยพลังงาน และมวล ตามลำดับ สาเหตุที่วิธีการปันส่วนโดยวิธีทางเศรษฐศาสตร์มีการปันส่วนค่าการใช้พลังงานน้อยที่สุด เนื่องด้วยราคาตลาดของเอทานอล มีราคาสูงกว่าราคาของผลผลิตรวมที่ขายได้ คือเอทานอล 100,000 ลิตร สามารถขายได้ 1,752,000 บาท ส่วนกากส่าและขานอ้อยที่เป็นผลผลิตร่วมจากกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง และอ้อย สามารถขายได้ในราคา 100,224 และ 170,794 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร จึงส่งผลให้วิธีการปันส่วนโดยวิธีเศรษฐศาสตร์มีการปัน

ส่วนค่าการใช้พลังงานในปริมาณน้อย ส่วนวิธีการปันส่วนโดยมวลมีการปันส่วนการใช้พลังงานมาก เนื่องด้วยเอทานอล 100,000 ลิตร เมื่อคิดในปริมาณเชิงมวลมีค่า 78.90 ตัน (ความหนาแน่นของเอทานอลมีค่าประมาณ 0.789 กก./ลิตร) ซึ่งเมื่อเทียบกับปริมาณกากสาและขานอ้อยที่เป็นผลผลิตร่วมจากระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง และอ้อย ซึ่งมีปริมาณ 111.36 และ 426.99 ตัน/เอทานอล 100,000 ลิตร จึงทำให้มีค่าการปันส่วนน้อยหรือส่งผลให้วิธีการปันส่วนโดยมวลมีการปันส่วนการใช้พลังงานกับผลผลิตร่วมในปริมาณมาก เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการปันส่วนกับค่าการใช้พลังงานของวัตถุดิบประเภทต่างๆ ในการผลิตเอทานอล พบว่า การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลมีการปันส่วนพลังงานสูงสุด คิดเป็นร้อยละ 45 เมื่อเทียบกับพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลก่อนการปันส่วน เนื่องด้วยมีการปันส่วนพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อย การขนส่งอ้อยไปยังโรงงานน้ำตาล และกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย กับน้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว ซึ่งเป็นผลผลิตหลัก และขานอ้อยซึ่งเป็นผลผลิตร่วมในกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ จากการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดยวิธีการปันส่วนแบบต่างๆ แสดงดังภาพที่ 114



ภาพที่ 114 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดยวิธีการปันส่วนแบบต่างๆ

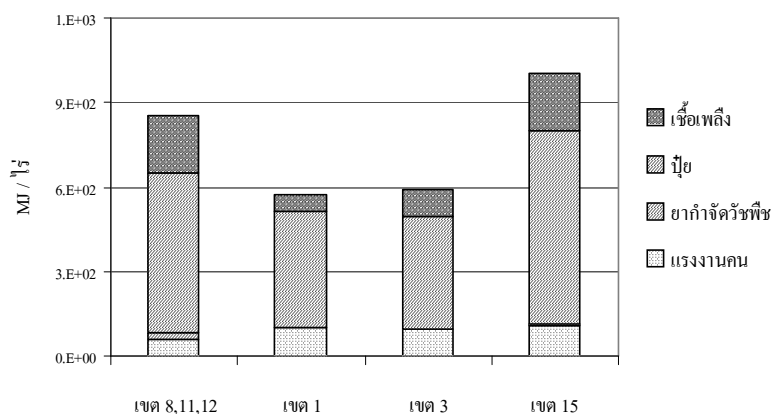
ภาพที่ 114 แสดงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดย วิธีการปันส่วนแบบต่างๆ พบว่า ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร หลังจากการ

ปันส่วนกับผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอลด้วยวิธีการปันส่วนวิธีต่างๆ มีค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมไปในทำนองเดียวกัน คือการใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุด รองลงมาคือ อ้อย และกากน้ำตาล ซึ่งวิธีการปันส่วนด้วยวิธีการปันส่วนโดยวิธีทางเศรษฐศาสตร์มีการปันส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อม ที่ใช้ในการผลิตเอทานอลกับผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตน้อยที่สุด จึงส่งผลให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลโดยการปันส่วนโดยวิธีทางเศรษฐศาสตร์มีค่าสูงสุด รองลงมาคือการปันส่วนโดยวิธีการปันส่วนโดยพลังงานและมวลตามลำดับโดยสาเหตุเป็นทำนองเดียวกับผลการใช้พลังงานในการผลิตเอทานอล

6.2 การวิเคราะห์การเพาะปลูกอ้อยในเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 1, 3 และ 15

เนื่องด้วยการเพาะปลูกอ้อยในเขตเกษตรเศรษฐกิจต่างๆมีชนิดปุ๋ยที่ใช้ในการเพาะ ปลูกอ้อยแตกต่างกัน โดย เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 1 ใช้ปุ๋ยสูตร 13-13-16 ส่วนเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 3 ใช้ปุ๋ยสูตร 12-10-8 และ และ เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 15 ใช้ปุ๋ยสูตร 15-15-15 โดยจะแตกต่างกับการใช้ปุ๋ยส่วนใหญ่ที่ใช้ปุ๋ยสูตร 21-0-0 ซึ่งใช้ในการเพาะปลูกอ้อยในเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 8 11 12 (ใช้เป็นตัวแทนการเพาะปลูกอ้อยในงานวิจัยนี้) โดยจากการศึกษาพบว่าชนิดปุ๋ยที่ใช้ในการเพาะปลูกอ้อยมีผลกระทบต่อผลการศึกษาการใช้พลังงาน และผลกระทบสิ่งแวดล้อม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการที่จะทราบว่าเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 1 3 และ 15 มีผลการศึกษาการใช้พลังงาน ผลกระทบสิ่งแวดล้อม และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ จากเพาะปลูกอ้อยเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร มีแตกต่าง กับเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 8 11 12 ซึ่งเป็นเขตเกษตรเศรษฐกิจตัวแทนการเพาะปลูกอ้อยในงานวิจัยนี้หรือไม่ ซึ่งรายละเอียดปริมาณปัจจัยที่ใช้ในการผลิต อาทิเช่น เชื้อเพลิง ปุ๋ย ยากำจัดวัชพืช และแรงงานคนที่ใช้ในการเพาะปลูกในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ ของเขตเกษตรเศรษฐกิจต่างๆ แสดงดังตารางผนวกที่ ก3-ก5

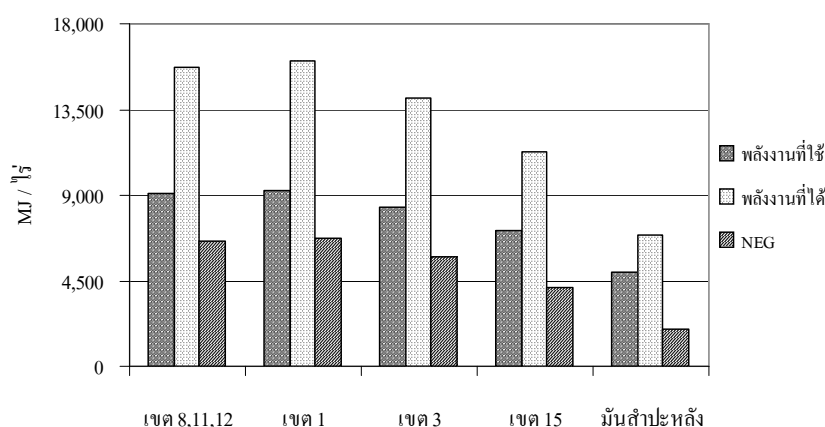
ผลการศึกษาวิเคราะห์การใช้พลังงานในการเพาะปลูกอ้อยในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ ของเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 1 3 และ 15 กับ เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 8 11 12 (ตัวแทนการเพาะปลูกอ้อยในงานวิจัยนี้) แสดงดังภาพที่ 115



ภาพที่ 115 การใช้พลังงานในการเพาะปลูกอ้อยในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ ในเขตเกษตรเศรษฐกิจต่างๆ

ภาพที่ 115 แสดง การใช้พลังงานในการเพาะปลูกอ้อย ในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ ในเขตเกษตรเศรษฐกิจต่างๆ พบว่าเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 8 11 12 (ตัวแทนการเพาะปลูกอ้อยในงานวิจัยนี้) มีการใช้พลังงานในการเพาะปลูกอ้อย ต่อพื้นที่ 1 ไร่ สูงกว่าเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 1 และ 3 เนื่องจากเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 8 11 12 มีการใช้ปุ๋ยสูตร 21-0-0 ซึ่งมีค่าพลังงานที่ 9.96 MJ /กก. โดยมีปริมาณการใช้ปุ๋ย 58.03 ตัน/ไร่ ในขณะที่เขตเกษตรเศรษฐกิจ 1 และ 3 มีการใช้ปุ๋ยในสูตร 12-10-8 ในปริมาณ 57.80 กก./ไร่และ 13-21-21 ในปริมาณ 44.90 กก./ไร่ ตามลำดับ ซึ่งปุ๋ยสูตร 12-10-8 และ 13-21-21 มีค่าพลังงานที่ 7.12 และ 9.46 MJ/กก. ตามลำดับ และเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 8 11 12 มีการใช้เชื้อเพลิง (น้ำมันดีเซล) ในการเพาะปลูกในปริมาณสูง โดยมีการใช้น้ำมันดีเซลในรถแทรกเตอร์เพื่อการเตรียมดินเฉลี่ย 5.98 ลิตร/ไร่ ในขณะที่เขตเกษตรเศรษฐกิจ 1 และ 3 มีการใช้น้ำมันดีเซลในรถแทรกเตอร์เฉลี่ย 2.11 ลิตร และเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 8 11 12 (ตัวแทนการเพาะปลูกอ้อยในงานวิจัยนี้) มีการใช้เชื้อเพลิงในเครื่องสูบน้ำสูงกว่าเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 1 และ 3 ส่วนเขตเกษตรเศรษฐกิจ 1 3 ไม่มีการสูบน้ำเพื่อใช้ในการเพาะปลูก ดังนั้นจึงทำให้เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 8 11 12 มีการใช้พลังงานในการเพาะปลูกสูงกว่าเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 1 3 ส่วนเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 15 มีการใช้พลังงานในการเพาะปลูกต่อไร่สูงสุด เนื่องด้วยเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 15 มีปริมาณการใช้เชื้อเพลิงในปริมาณ 5.70 ลิตร/ไร่ และปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในปริมาณ 72.10 ตันต่อไร่ ซึ่งสูงกว่าเขตเกษตรเศรษฐกิจ อื่นๆ จึงส่งผลให้ เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 15 มีการใช้พลังงานในการเพาะปลูกต่อไร่สูงสุด

การพิจารณาประสิทธิภาพในรูปค่าพลังงานเพิ่มสุทธิ โดยพิจารณาผลผลิตอ้อยต่อไร่ที่ได้ แล้วนำไปผลิตเอทานอล พบว่าเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 8 11 12 (ตัวแทนการเพาะปลูกอ้อยในงานวิจัยนี้) 1 2 และ 15 ให้ผลผลิตเอทานอล 747.94 762.86 671.65 และ 534.83 ลิตร/ไร่ ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อทำการเปรียบเทียบพลังงานที่ได้จากเอทานอล จากการเพาะปลูกอ้อยในพื้นที่ 1 ไร่ และ พลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลที่ได้จากอ้อยในพื้นที่การเพาะปลูกวัตถุดิบ 1 ไร่ แสดงดังภาพที่ 116

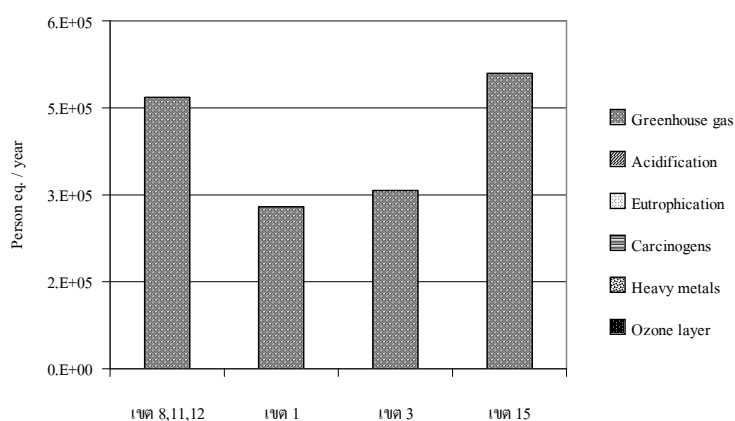


ภาพที่ 116 ค่าพลังงานเพิ่มสุทธิจากเอทานอลที่ได้วัตถุดิบจากการเพาะปลูกในพื้นที่ 1 ไร่ ในเขตเกษตรเศรษฐกิจ ต่างๆ

ภาพที่ 116 แสดงค่าพลังงานเพิ่มสุทธิจากเอทานอลที่ได้วัตถุดิบ ในพื้นที่ การเพาะปลูก 1 ไร่ ในเขตเกษตรเศรษฐกิจต่างๆ พบว่า ค่าพลังงานสุทธิของเอทานอลที่ผลิตจากอ้อยในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ในเขตเกษตรเศรษฐกิจ 8 11 12 (ตัวแทนการเพาะปลูกอ้อยในงานวิจัยนี้), 1 และ 2 มีค่าใกล้เคียงกัน คือมีค่าพลังงานเพิ่มสุทธิระหว่าง 5,763 ถึง 6,759 MJ/ไร่ ส่วนเอทานอลที่ผลิตจากอ้อยในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ในเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 15 มีค่าพลังงานเพิ่มสุทธิที่ 4,134 MJ ต่อ ไร่ ซึ่ง มีค่าต่ำกว่าเขตเกษตรเศรษฐกิจอื่นๆ เนื่องด้วยเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 15 มีค่าการใช้พลังงานในปริมาณค่อนข้างสูง แต่ผลผลิตอ้อยที่ปลูกได้มีค่าเพียง 6.45 ตัน/ไร่ จึงส่งผลให้เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 15 มีค่าพลังงานสุทธิจากเอทานอลที่ผลิตจากอ้อยในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ ต่ำที่สุด และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานเพิ่มสุทธิในการเพาะปลูกอ้อยในทุกเขตเกษตรเศรษฐกิจ กับพลังงานเพิ่มสุทธิในการเพาะปลูกมันสำปะหลังในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ พบว่าค่าพลังงานสุทธิของการเพาะ

ปลูกอ้อยทุกเขตเกษตรเศรษฐกิจในการผลิตเอทานอลมีค่ามากกว่าค่าพลังงานเพิ่มสุทธิ ของการเพาะปลูกมันสำปะหลังในการผลิตเอทานอล ซึ่งมีค่าพลังงานเพิ่มสุทธิ 1,954 MJ/ไร่

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในการเพาะปลูกอ้อยในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ของเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 1 3 และ 15 กับ เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 8 11 12 (ตัวแทนการเพาะปลูกอ้อยในงานวิจัยนี้) แสดงดังภาพที่ 117

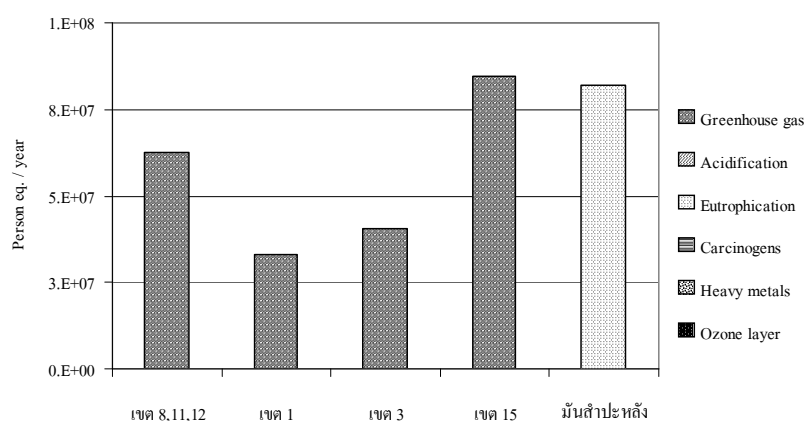


ภาพที่ 117 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในการเพาะปลูกอ้อย ในพื้นที่การเพาะปลูกวัตถุดิบในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ ของเขตเกษตรเศรษฐกิจต่างๆ

ภาพที่ 117 แสดงผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในการเพาะปลูกอ้อย ในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ ของเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 1 3 และ 15 กับ เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 8 11 12 (ตัวแทนการเพาะปลูกอ้อยในงานวิจัยนี้) พบว่าผลกระทบด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีผลกระทบมากที่สุด เนื่องด้วยงานวิจัยนี้ให้ค่าขนาดผลกระทบสิ่งแวดล้อม ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งสาเหตุที่ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการเพาะปลูกอ้อยในแต่ละเขตเกษตรเศรษฐกิจมีค่าแตกต่างกัน เนื่องด้วยประเภทปุ๋ยที่ใช้ในการเพาะปลูกอ้อย ซึ่งการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 88 ของการปล่อยก๊าซเรือนกระจกทั้งหมด มาจากกระบวนการผลิตปุ๋ยที่ใช้ในการเพาะปลูก โดยพบว่าเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 15 ส่งผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด เนื่องด้วยเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 15 มีการใช้ปุ๋ย $\text{N P}_2\text{O}_5$ และ K_2O ในสูตร 15-15-15 ในปริมาณ 72 กก./ไร่ ซึ่งมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณ 1.47 kg CO_2 /กก. ส่วนเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 8 11 12 (ตัวแทนการเพาะปลูกอ้อยในงานวิจัยนี้) มีการใช้ปุ๋ยสูตร 21-0-0 ในปริมาณ 58.03 ดัน/ไร่ โดยการ

ปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปริมาณ 1.68 kg CO₂/กก. และเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 3 1 ซึ่งมีการใช้ปุ๋ยสูตร 13-13-31 และ 12-10-8 ในปริมาณ 57.80 และ 44.90 ตัน/ไร่ ตามลำดับ ซึ่งมีการก๊าซเรือนกระจกในปริมาณ 1.32 และ 1.13 kg CO₂ /กก. ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 15 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด

ผลการศึกษาการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากการเพาะปลูกอ้อยในเขตเกษตรเศรษฐกิจต่างๆ ของการเพาะปลูกมันสำปะหลัง ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงได้ดังภาพที่ 118

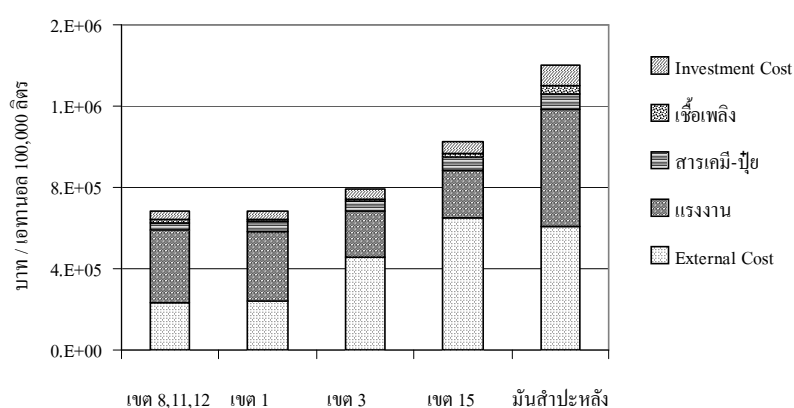


ภาพที่ 118 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในการเพาะปลูกอ้อย ของเขตเกษตรเศรษฐกิจต่างๆ และการเพาะปลูกมันสำปะหลังในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

ภาพที่ 118 แสดง ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในการเพาะปลูกอ้อย ของเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 1 3 และ 15 กับ เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 8 11 12 และ การเพาะปลูกมันสำปะหลัง ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการเพาะปลูกอ้อยในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร มีผลสอดคล้องไปทำนองเดียวกับผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ คือเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 15 ส่งผลต่อการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด รองลงมาคือ เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 3, 1 และ เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 8 11 12 (ตัวแทนการเพาะปลูกอ้อยในงานวิจัยนี้) ตามลำดับ เนื่องจาก เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 15 มีผลผลิตอ้อย ต่อไร่ ในปริมาณค่าที่สุด จึงส่งผลให้มีการใช้พื้นที่การเพาะปลูกสูง ซึ่งทำให้มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมสิ่งแวดล้อมในปริมาณสูงสุด โดยผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการเพาะปลูกอ้อยในเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 15 ยังมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงกว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลัง เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดยการเพาะปลูกอ้อยในเขต

เกษตรเศรษฐกิจที่ 15 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 2.32×10^4 kg CO₂/เอทานอล 100,000 ลิตร ซึ่งมากกว่าการเพาะปลูกมันสำปะหลังที่มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจก 2.25×10^4 kg CO₂/เอทานอล 100,000 ลิตร

ผลจากการวิเคราะห์ต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกอ้อย เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ในเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 1 3 และ 15 กับ เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 8, 11,12 (ตัวแทนการเพาะปลูกอ้อยในงานวิจัยนี้) แสดงดังภาพที่ 119



ภาพที่ 119 ต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกอ้อย เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ในเขตเกษตรเศรษฐกิจต่างๆ

ภาพที่ 118 แสดงต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกอ้อย เพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ในเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 1 3 และ 15 กับ เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 8, 11,12 พบว่าร้อยละ 52 และ 33 ของต้นทุนทั้งหมดในการผลิตเอทานอล 100,000ลิตร อยู่ในรูป ต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม และค่าจ้างแรงงานคนจากการเพาะปลูกอ้อย ตามลำดับ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนในการเพาะปลูกอ้อยในแต่ละเขตเกษตรเศรษฐกิจเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า ต้นทุนการเพาะปลูกอ้อยของเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 15 มีต้นทุนการเพาะปลูกอ้อยสูงสุด รองลงมาคือ เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 3 เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 8 11 12 (ตัวแทนการเพาะปลูกอ้อยในงานวิจัยนี้) และเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 1 ตามลำดับ เนื่องจากเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 15 มีต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุด เนื่องจากเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 15 มีผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมสูงสุด ดังเหตุผลที่กล่าวแล้วข้างต้น และผลผลิตอ้อยต่อไร่ของการเพาะปลูกในเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 15 มีค่าต่ำสุด คือมีผลผลิตอ้อย

6.45 ต้นต่อไร่ ซึ่งทำให้มีการใช้พื้นที่การเพาะปลูกอ้อยในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรสูงสุด จึงส่งผลให้ต้นทุนการเพาะปลูกอ้อยของเขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 15 มีต้นทุนการเพาะปลูกอ้อยสูงสุด ส่วนเขตเกษตรเศรษฐกิจ 3 เขตเกษตรเศรษฐกิจ 8 11 12 (ตัวแทนการเพาะปลูกอ้อยในงาน วิจัยนี้) และ เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ 1 มีผลผลิตอ้อย 8.10 9.02 และ 9.20 ต้น/ไร่ ตามลำดับ ดังนั้นจึงส่งผลให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมแปรตามผลผลิตต่อไร่ หรือพื้นที่การเพาะปลูกอ้อย โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบต้นทุนในการเพาะปลูกอ้อยในทุกเขตเกษตรเศรษฐกิจกับต้นทุนรวมในการเพาะปลูกมันสำปะหลัง ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรพบว่าต้นทุนรวมในการเพาะปลูกอ้อยในทุกเขตเกษตรเศรษฐกิจ มีค่าน้อยกว่าต้นทุนรวมในการเพาะปลูกมันสำปะหลัง

6.3 การผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสดในน้ำฤดูเก็บเกี่ยวแทนมันเส้น

การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังส่วนใหญ่จะผลิตเอทานอลในรูปแบบมันเส้น จากเหตุผลที่ได้กล่าวไว้แล้ว แต่ในบางโรงงานผลิตเอทานอลก็จะมีการผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสดในน้ำฤดูเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาว่าการผลิตเอทานอลในรูปแบบมันเส้น และหัวมันสำปะหลังสด มีการใช้พลังงาน ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ รวมทั้งต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอล แตกต่างกันหรือไม่ ซึ่งการผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสดจะมีส่วนที่แตกต่างจากการผลิตเอทานอลจากมันเส้นหลายๆ ประการจากนั้น ตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

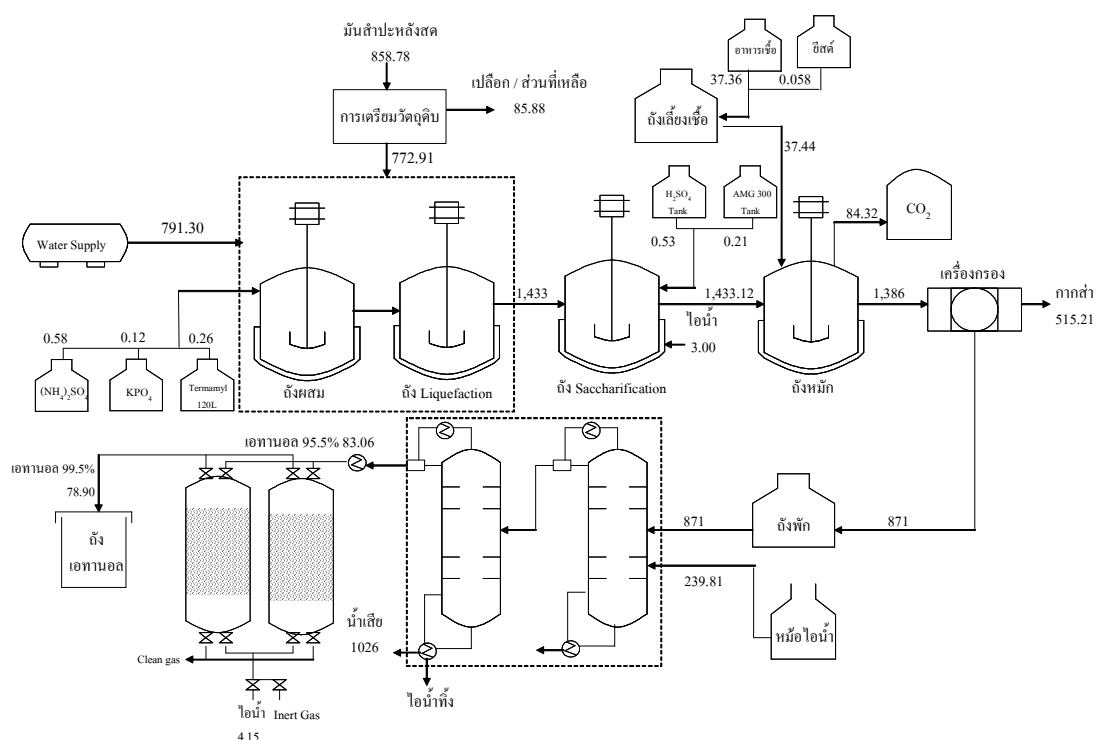
- **ขั้นตอนการเพาะปลูก** ขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลังในการผลิตมันเส้นเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ต้องการพื้นที่การเพาะปลูก 310.63 ไร่ ส่วนการเพาะปลูกมันสำปะหลังในการผลิตเอทานอลในรูปแบบหัวมันสำปะหลังสด ต้องการพื้นที่ 423.04 ไร่ ซึ่งการผลิตเอทานอลในรูปแบบมันสำปะหลังสดมีการใช้พื้นที่มากกว่า เนื่องด้วยกระบวนการผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสดต้องการหัวมันสำปะหลังสดในปริมาณ 858.78 ตัน ในขณะที่การผลิตเอทานอลจากมันเส้นต้องการวัตถุดิบมันเส้น 290.06 ตันหรืออยู่ในรูปหัวมันสำปะหลังสด 630.57 ตัน

- **ขั้นตอนการขนส่ง** ขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลจากมันเส้น จะมีการขนส่งวัตถุดิบ 2 ส่วนคือ ระยะทางจากไร่มันสำปะหลังถึงลานมัน และระยะทางจากไร่มันถึงโรงงานเอทานอล โดยจากการคำนวณคิดเป็นระยะทางรวมได้ 24.39 กม. ส่วนการผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสดมีระยะทางส่วนเดียว คือพิจารณาระยะทางจากไร่มันสำปะหลัง ถึงโรงงาน

เอทานอลโดยตรง ซึ่งจากการคำนวณได้ระยะทาง 28.15 กม. โดยยานพาหนะการขนส่งเป็นรูปแบบเดียวกันหมด คือ รถสิบล้อ ขนาดความจุพาหนะ 16 ตัน

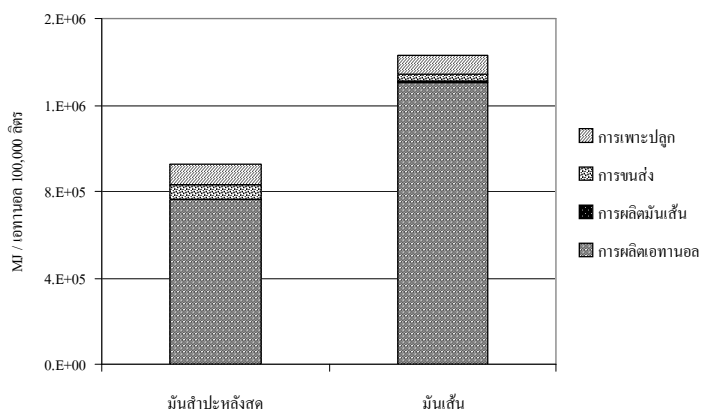
- **ขั้นตอนการแปรรูปวัตถุดิบ (การผลิตมันเส้น)** ขั้นตอนการแปรรูปวัตถุดิบ จะมีเฉพาะการผลิตเอทานอลจากมันเส้น ซึ่งขั้นตอนนี้จะมีการแปรรูปมันสำปะหลังสด โดยทำการลดความชื้นของมันสำปะหลัง โดยการตากมันสำปะหลังหลังจากสับโดยเครื่องสับ ให้เหลือความชื้นประมาณ ร้อยละ 13 ที่ก่อนส่งไปยังโรงงานเอทานอล

- **ขั้นตอนการผลิตเอทานอล** ขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสด เมื่อเทียบกับการผลิตเอทานอลจากมันเส้น จะมีการเพิ่มขั้นตอนการเตรียมมันสำปะ หลังก่อนเข้าขั้นตอนการย่อยแป้ง โดยข้อมูลของกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังสด ได้ข้อมูลจากงานวิจัย เรื่อง “As Assessment of Ethanol Supply Potential from Crops in Thailand” (Suthumma, 2006) ซึ่งเก็บข้อมูลจากโรงงานต้นแบบของกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี โดยแผนภาพกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากหัวมันสำปะหลังสดแสดงดังภาพที่ 120 ซึ่งรายละเอียดมวลสารขาเข้า-ขาออกของกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงดังตารางผนวกที่ ก15



ภาพที่ 120 แผนภาพกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากหัวมันสำปะหลังสด

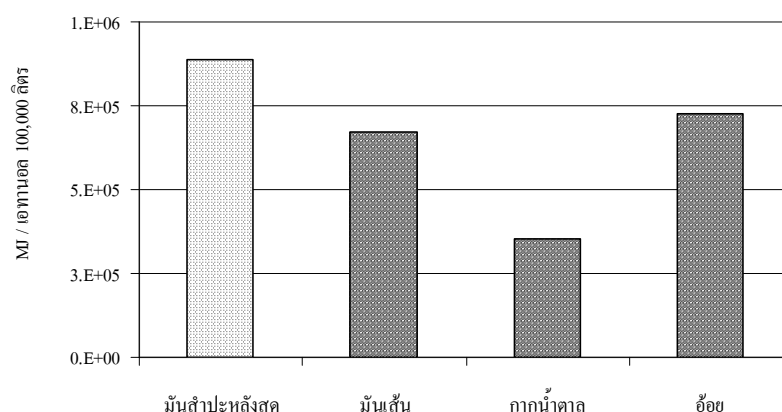
ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันสำปะหลังในรูปมันเส้น และหัวมันสำปะหลังสด แสดงดังภาพที่ 121



ภาพที่ 121 การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น และหัวมันสำปะหลังสด

ภาพที่ 121 แสดงการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น และหัวมันสำปะหลัง พบว่า พลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากมันเส้นสูงกว่าการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังสด โดยพลังงานที่ใช้ร้อยละ 88 และร้อยละ 12 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล มาจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล และการเพาะปลูก ตามลำดับ โดยขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลังในการผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสด มีค่าการใช้พลังงานมากกว่าขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลังในการผลิตเอทานอลจากมันเส้น เนื่องจากการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังสด มีการใช้ปริมาณหัวมันสำปะหลังสดมากกว่า จึงทำให้มีการใช้พื้นที่การเพาะปลูกมากกว่า จึงส่งผลให้การใช้พลังงานในขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลังเพื่อผลิตเอทานอล ในรูปมันสำปะหลังสดมากกว่าการผลิตเอทานอลในรูปมันเส้น แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่าการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันเส้นมีค่า การใช้พลังงานมากกว่าการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันสำปะหลังสด เนื่องด้วยขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันเส้น มีปริมาณกากสาซึ่งเป็นผลผลิตร่วมในปริมาณ 515.12 ตัน/เอทานอล 100,000 ลิตร ซึ่งมากกว่าการผลิตเอทานอลจากมันเส้นที่มีปริมาณกากสา 111 ตัน/เอทานอล 100,000 ลิตร จึงทำให้การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังสดมีค่าการปันส่วนน้อยกว่าค่าการปันส่วนของการผลิตเอทานอลจากมันเส้น

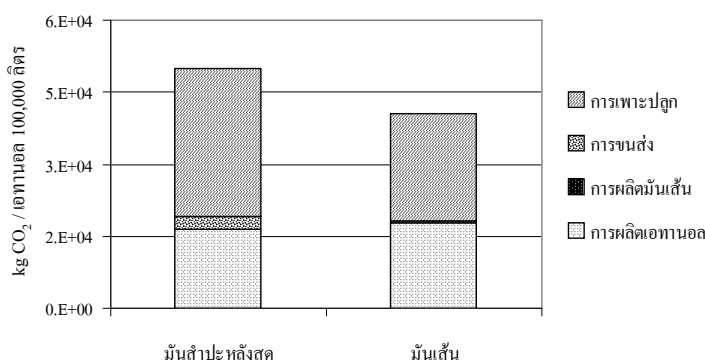
จึงส่งผลให้มีการผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสดมีการปันส่วนการใช้พลังงานกับผลผลิตรวมมากกว่าการผลิตเอทานอลจากมันเส้น จึงเป็นสาเหตุให้การผลิตเอทานอลจากมันเส้นมีการใช้พลังงานมากกว่าการผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสดโดยการทำการเปรียบเทียบค่าพลังงานสุทธิ ของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังสด มันเส้น กากน้ำตาล และอ้อย แสดงได้ดังภาพที่ 122



ภาพที่ 122 การเปรียบเทียบค่าพลังงานเพิ่มสุทธิต่อการผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสดกับวัตถุดิบประเภทต่างๆ ในงานวิจัยนี้

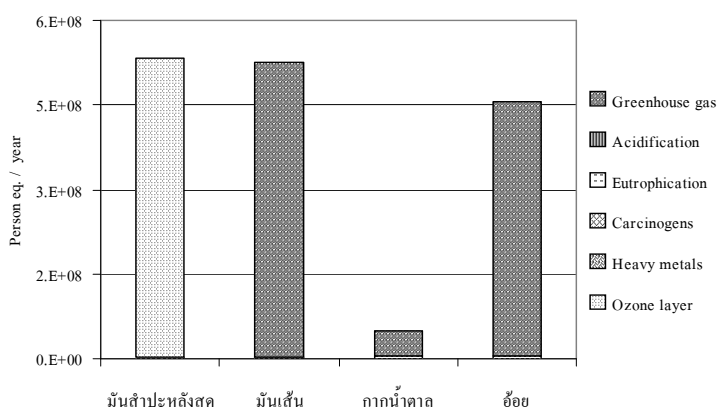
ภาพที่ 122 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานเพิ่มสุทธิต่อการผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสด กับวัตถุดิบประเภทต่างๆ (มันเส้น กากน้ำตาล และ อ้อย) ในงานวิจัยนี้ พบว่าการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันสำปะหลังสด มีค่าพลังงานเพิ่มสุทธิสูงสุด คือมีค่า 8.87×10^5 MJ/เอทานอล 100,000 ลิตร เนื่องด้วย การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปแบบหัวมันสำปะหลังสดมีกากส่าเป็นผลผลิตร่วมในปริมาณสูง จึงทำให้มีการปันส่วนค่าการใช้พลังงานในการผลิตเอทานอลกับกากส่าซึ่งเป็นผลผลิตร่วมในปริมาณสูง จึงส่งผลทำให้ค่าพลังงานเพิ่มสุทธิจากการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังสดมีค่าสูงสุด

งานวิจัยนี้ให้ค่าขนาดผลกระทบสิ่งแวดล้อม ด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ดังนั้นการพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจึงมุ่งประเด็นไปที่ผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในขั้นตอนต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสด และมันเส้น กรณียังไม่ได้มีการปันส่วนกับกากส่า โดยผลการศึกษาแสดงดังภาพที่ 123



ภาพที่ 123 การเปรียบเทียบการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากการใช้มันสำปะหลังสดและมันเส้นเป็นวัตถุดิบ

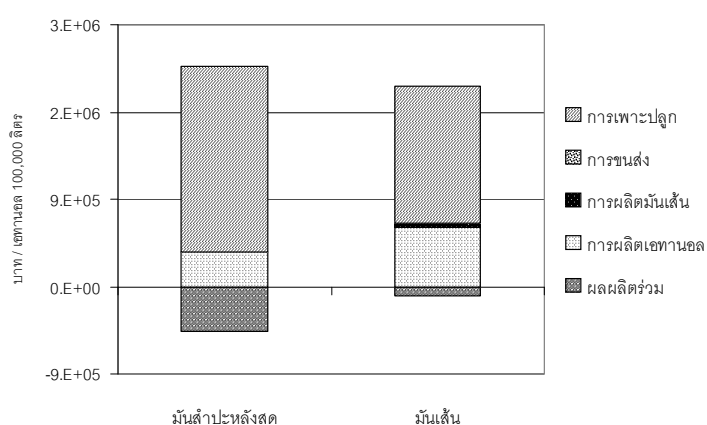
ภาพที่ 123 แสดงการเปรียบเทียบผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่สิ่งแวดล้อมจากผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดยการใช้มันสำปะหลังสด และมันเส้น เป็นวัตถุดิบ พบว่าผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ร้อยละ 58 มาจากขั้นตอนการเพาะปลูก เนื่องด้วยการผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสด มีการใช้หัวมันสำปะหลังสดมากกว่าการผลิตเอทานอลจากมันเส้นจึงทำให้มีการใช้พื้นที่การเพาะปลูกมากกว่า จึงเป็นสาเหตุให้การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังสดมีผลการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากกว่าการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปแบบมันเส้น และเมื่อทำการป้อนส่วนค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อม กับค่าซึ่งเป็นผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาล และทำการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมด กับการใช้กากน้ำตาล และ อ้อยในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงผลการศึกษาได้ดังภาพที่ 124



ภาพที่ 124 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรจากการใช้มันสำปะหลังสด กับวัตถุดิบประเภทต่างๆ

ภาพที่ 124 แสดงการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากการใช้มันสำปะหลังสด มันเส้น กากน้ำตาล และอ้อยเป็นวัตถุดิบ พบว่า เมื่อมีการปันส่วนค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมกับกากสำ ทำให้การผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสดและมันเส้น มีค่าใกล้เคียงกัน คือการผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสด และมันเส้น ส่งผลผลกระทบสิ่งแวดล้อม 5.34×10^8 และ 5.24×10^8 Person eq. /year ตามลำดับ โดยตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังสด และมันเส้น ส่งผลผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงกว่าการผลิตเอทานอลจาก อ้อย และ กากน้ำตาล

ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันสำปะหลังในรูปมันเส้น และหัวมันสำปะหลังสด แสดงดังภาพที่ 125

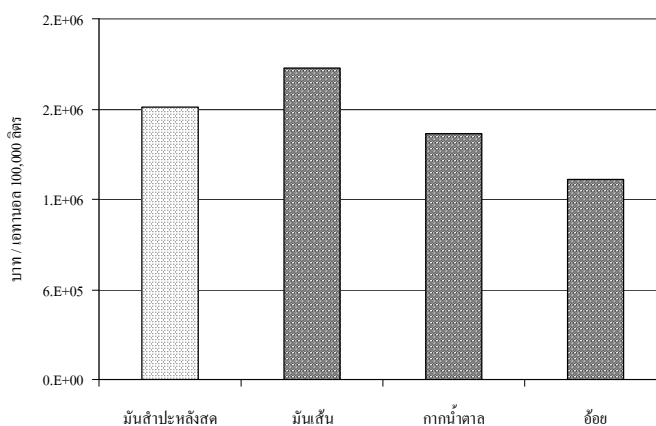


ภาพที่ 125 การเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น และ หัวมันสำปะหลังสด

ภาพที่ 125 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น และหัวมันสำปะหลัง พบว่าการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังสด มีต้นทุนการผลิตมากกว่าการผลิตเอทานอลจากมันเส้น โดยการผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสด และมันเส้นมีต้นทุนการผลิตเอทานอล 22.78 และ 19.66 บาท/ลิตร โดยต้นทุนร้อยละ 76 ของต้นทุนทั้งหมด อยู่ในขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลัง โดยต้นทุนการเพาะปลูกมันสำปะหลัง เพื่อผลิตเอทานอลในรูปมันสำปะหลังสดมีค่ามากกว่าการผลิตเอทานอลในรูปมันเส้น เนื่องด้วยการเพาะปลูกมันสำปะหลัง เพื่อผลิตเอทานอลในรูปมันสำปะหลังสด มีการใช้พื้นที่การเพาะปลูกมากกว่าการผลิตเอทานอล

ในรูปแบบเส้น ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่เมื่อพิจารณาปริมาณกากสำซึ่งเป็นผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล ซึ่งกากสำที่สามารถขายเป็นอาหารสัตว์ได้นี้สามารถลดต้นทุนการผลิตได้ ดังนั้นเมื่อหักลบต้นทุนทั้งหมดที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตเอทานอลกับผลผลิตร่วมที่ผลิตได้พบว่า ต้นทุนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังสด และมันเส้นมีค่า 18.13 และ 18.65 บาท /ลิตร ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อหักลบกับกากสำที่เป็นผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล แล้ว การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังสด กลับมีค่าน้อยกว่าการผลิตเอทานอลจากมันเส้น เนื่องจาก กระบวนการผลิตเอทานอลจากมันเส้นจะมีปริมาณกากสำในรูปผลผลิตร่วมในปริมาณ 515.21 ตัน/เอทานอล 100,000 ลิตร ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าการผลิตเอทานอลจากมันเส้นที่มีปริมาณกากสำจากกระบวนการผลิตเอทานอล 111.36 ตัน/เอทานอล 100,000 ลิตร ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอลหลังหักค่าผลผลิตร่วมที่ได้จากกระบวนการผลิต การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังสดมีค่าต่ำกว่าการผลิตเอทานอลจากมันเส้น 0.53 บาท/เอทานอล 1 ลิตร

การเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอลหลังจากหักค่าผลผลิตร่วมที่ขายได้ กับต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล และอ้อย แสดงดังภาพที่ 126



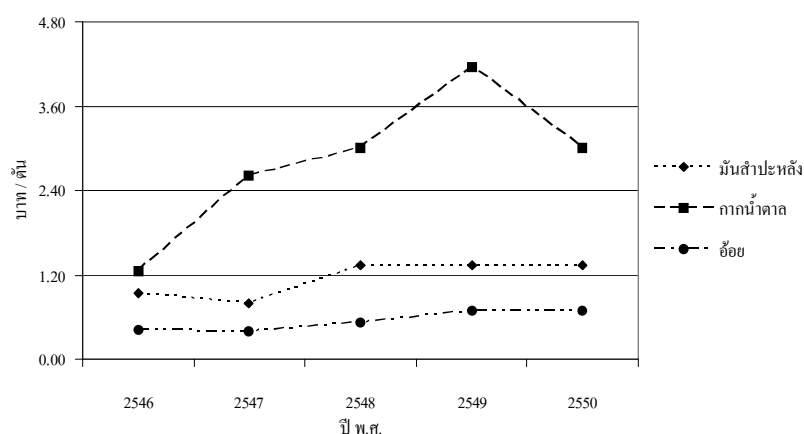
ภาพที่ 126 การเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น หัวมันสำปะหลังสด กากน้ำตาล และอ้อย หลังจากหักค่าผลผลิตร่วมที่ขายได้

ภาพที่ 126 แสดง การเปรียบเทียบต้นทุนที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากมันเส้น หัวมันสำปะหลังสด กากน้ำตาล และอ้อย หลังจากหักค่าผลผลิตร่วมที่ขายได้พบว่า ต้นทุนใน

การผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสดมีค่าต่ำกว่ามันเส้น แต่ก็ยังมีค่าสูงกว่าการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล และอ้อย ตามลำดับ

6.4 การเปลี่ยนแปลงราคากากน้ำตาล

จากผลการศึกษาต้นทุนจากการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล พบว่า ร้อยละ 51 ของต้นทุนทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล มาจากต้นทุนจากราคากากน้ำตาลที่ซื้อจากโรงงานน้ำตาลทราย ซึ่งราคากากน้ำตาลมีแนวโน้มราคาไม่แน่นอน โดยราคาเอทานอลในช่วง 5 ปีที่ผ่านมาค่อนข้างมีการเปลี่ยนแปลงและผันผวน ตามปริมาณอ้อยที่ผลิตได้ในแต่ละปี โดยราคากากน้ำตาลในปี พ.ศ.2546-2550 และแหล่งข้อมูลแสดงดังตารางผนวกที่ ง.11 โดยแนวโน้มราคากากน้ำตาล กับราคามันสำปะหลัง และอ้อย ใน 5 ปี ที่ผ่านมาแสดงดังภาพที่ 127

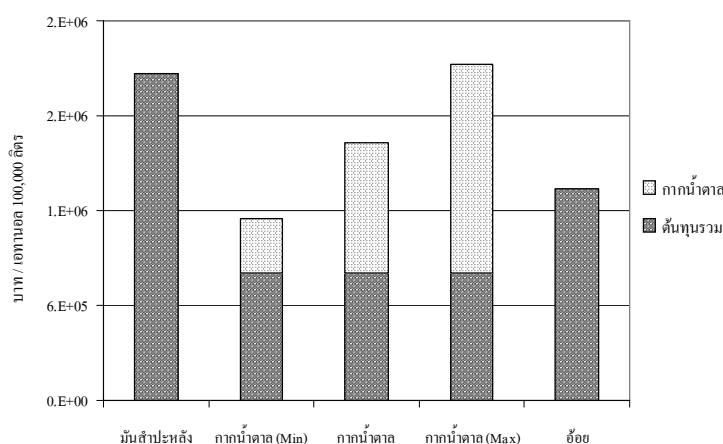


ภาพที่ 127 แนวโน้มราคากากน้ำตาล มันสำปะหลัง และอ้อย ในปี พ.ศ. 2546-2550

ที่มา: สำนักงานเกษตรเศรษฐกิจ, 2550 (มันสำปะหลัง และ อ้อย)

ภาพที่ 127 แสดงแนวโน้มราคากากน้ำตาล มันสำปะหลัง และอ้อย ในปีพ.ศ.2546-2550 พบว่าราคากากน้ำตาลมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงมาก เมื่อเทียบกับราคามันสำปะหลัง และอ้อยที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าเนื่องด้วยกากน้ำตาลเป็นผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ปริมาณที่ได้มีปริมาณไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย รวมทั้งปริมาณความต้องการกากน้ำตาลของโรงงานผลิตเอทานอล ก็มีส่วนให้ราคากากน้ำตาลมีค่าสูงขึ้น

การพิจารณาต้นทุนการผลิตเอทานอลจากเอทานอลจากกากน้ำตาล เมื่อราคากากน้ำตาลมีค่าสูงสุดที่ 4.8 บาท/กก. ในปี พ.ศ.2549 และราคากากน้ำตาลที่ต่ำที่สุด 1.25 บาท/กก. ในปี พ.ศ. 2546 และ ราคา 3.0 บาท/กก. ในปี พ.ศ.2550 หรือปีฐานในงานวิจัยนี้ กับต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง และอ้อย แสดงดังภาพที่ 128



ภาพที่ 128 ต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง อ้อย กับกากน้ำตาลในระดับราคาระดับต่างๆ

ภาพที่ 128 แสดง ต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง อ้อย กับกากน้ำตาลในระดับราคาต่างๆ ได้แก่ ราคากากน้ำตาลต่ำสุดในปี พ.ศ.2546 มีค่า 1.25 บาท/กก. ราคากากน้ำตาลสูงสุด ในปี พ.ศ.2549 มีค่า 4.8 บาท/กก. และราคากากน้ำตาลในปี พ.ศ.2550 ซึ่งเป็นค่าที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ โดยมีค่า 3.0 บาท/กก. พบว่า ต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล ร้อยละ 50-60 ของต้นทุนทั้งหมดในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล มาจากต้นทุนของกากน้ำตาลที่ซื้อจากโรงงานน้ำตาลทราย ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงราคากากน้ำตาล จึงส่งผลต่อต้นทุนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล โดยเมื่อราคากากน้ำตาลมีค่า 1.25 บาท/กก. จึงส่งผลทำให้ต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีค่า 11.50 บาท/ลิตร ซึ่งมีต้นทุนน้อยกว่าการผลิตเอทานอลจากอ้อย และมันสำปะหลัง แต่เมื่อราคากากน้ำตาลอยู่ที่ 4.8 บาท/กก. พบว่าต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลอยู่ที่ 21.28 บาท/ลิตร ซึ่งมากกว่าต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปแบบเส้นที่มีต้นทุนในการผลิตเอทานอลอยู่ที่ 20.68 บาท/ลิตร ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าราคากากน้ำตาลที่ผลโดยตรงต่อต้นทุนในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ

1.1 การศึกษาการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ

- การใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ ในการผลิตเอทานอลส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกและมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรดสูงสุด รองลง มาคือการผลิตเอทานอลจาก อ้อย และกากน้ำตาล ตามลำดับ โดยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกเฉลี่ย ร้อยละ 40 -50 มาจากขั้นตอนการเพาะปลูก และร้อยละ 50-60 มาจากขั้นตอนกระบวนการผลิตเอทานอล ส่วนการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรด ร้อยละ 88 มาจากขั้นตอนการเพาะปลูก

- การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชั่นสูงสุด รองลง มาคือการผลิตเอทานอลจาก อ้อยและมันสำปะหลัง ตามลำดับ โดยการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชั่น เฉลี่ยร้อยละ 99 มาจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล

- การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการปล่อยโลหะหนักสูงสุด รองลงมาคือการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อย ตามลำดับ โดยการปล่อยโลหะ ร้อยละ 80 มาจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล และร้อยละ 17 มาจากขั้นตอนการเพาะปลูกวัตถุดิบ

- การใช้กากน้ำตาล ในการผลิตเอทานอลส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการปล่อยสารก่อมะเร็งสูงสุด รองลง มาคือการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อย ตามลำดับ โดยการปล่อยสารก่อมะเร็งเฉลี่ย ร้อยละ 95 มาจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล

- การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ ในการผลิตเอทานอลส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนสูงสุดรองลงมาคือการผลิตเอทานอล จาก อ้อย และ มันสำปะหลัง ตามลำดับ โดยการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซนเฉลี่ย ร้อยละ 100 มาจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล

1.2 การศึกษาขนาดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ตลอดจนวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ ซึ่งงานวิจัยนี้ให้ขนาดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงสุด โดยจากการศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนต่างๆ ตลอดจนวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

- การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากขั้นตอนการเพาะปลูกสูงสุด รองลงมาคือ การผลิตเอทานอลจากอ้อย และกากน้ำตาลตามลำดับ

- การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากขั้นตอนการขนส่งสูงสุด รองลงมาคือ การผลิตเอทานอลจากอ้อย และ มันสำปะหลัง ตามลำดับ

- ขั้นตอนการผลิตมันเส้นเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในปริมาณ 6.75×10^5 Person eq./ปี

- กระบวนการผลิตกากน้ำตาล ในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ 1.35×10^7 Person eq. / ปี

- ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตเอทานอล มาจากผลด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 97 และการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชัน ร้อยละ 3 โดยการผลิตเอทานอลจากอ้อย ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ในขั้นตอนการผลิตเอทานอล สูงสุด รองลงมา คือการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและกากน้ำตาล ตามลำดับ

1.3 การศึกษาเปรียบเทียบ ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ ในขั้นตอนต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ

- ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ร้อยละ 55 มาจากขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลัง และร้อยละ 43 มาจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล และร้อยละ 2 มาจากขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบ ตามลำดับ

- ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล ร้อยละ 58 มาจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล และร้อยละ 40 มาจากขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อย และร้อยละ 7 มาจากขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบ ซึ่งขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมจากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย สามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ร้อยละ 5 ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล

- ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากอ้อย ร้อยละ 51 มาจากขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อย และร้อยละ 47 มาจากขั้นตอนการผลิตเอทานอล และร้อยละ 2 มาจากขั้นตอนการขนส่งวัตถุดิบ

- การศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตลอดวัฏจักรชีวิตของวัตถุดิบประเภทต่างๆ ในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่า

- การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในรูปมันเส้น ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุด โดยมีค่า 5.24×10^8 Person eq./ปี รองลงมาคือการผลิตเอทานอลจาก อ้อยและกาก น้ำตาลตามลำดับ โดยมีค่า 4.56×10^8 และ 1.77×10^8 Person eq./ปี ตามลำดับ

- ผลกระทบสิ่งแวดล้อมมาจากผลกระทบด้านการปล่อยก๊าซเรือนกระจกร้อยละ 98 และการปล่อยมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชัน ร้อยละ 2 ของผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล โดยประมาณ

2. การประเมินประสิทธิภาพเชิงพลังงานในรูปค่าพลังงานเพิ่มสุทธิตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ

2.1 การศึกษาการใช้พลังงาน ในขั้นตอนต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ

- การใช้มันสำปะหลังในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร มีการใช้พลังงานในด้านขั้นตอนการเพาะปลูกวัตถุดิบสูงสุด รองลงมา คือการเพาะปลูกอ้อย เพื่อผลิตเอทานอลโดยตรงและการเพาะปลูกอ้อย เพื่อผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ตามลำดับ โดยพลังงานที่ใช้ในการเพาะปลูกเฉลี่ยร้อยละ 60 ร้อยละ 30 และ ร้อยละ 10 มาจากพลังงานในรูปปุ๋ยเคมี เชื้อเพลิง และแรงงานคน ตามลำดับ

-การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล มีการใช้พลังงานในด้านการขนส่งสูงสุด รองลงมาคือการใช้อ้อย และมันสำปะหลังตามลำดับ

- ขั้นตอนการผลิตมันเส้นในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร มีการใช้พลังงานทั้งหมด 1,726 MJ/เอทานอล 100,000 ลิตร โดยคิดเป็นพลังงานจากแรงงานคน ร้อยละ 63 และพลังงานไฟฟ้า ร้อยละ 37 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในการผลิตมันเส้น

- ขั้นตอนการผลิตกากน้ำตาล ในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายมีการใช้พลังงานในรูปพลังงานจากสารเคมีและน้ำประปาที่ใช้มีค่า 76,577 MJ /เอทานอล 100,000 ลิตร และกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าและไอน้ำได้เอง และมีพลังงานไฟฟ้าและไอน้ำส่วนเกิน ซึ่งสามารถขายพลังงานไอน้ำและไฟฟ้าส่วนเกินภายนอกโรงงาน หรือคิดเป็นค่าพลังงานได้ -32,946 MJ /เอทานอล 100,000 ลิตร ดังนั้นพลังงานสุทธิในการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตรมีค่า 43,629 MJ /เอทานอล 100,000 ลิตร

- การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีการใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิตเอทานอล สูงสุด รองลงมา คือการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง และอ้อย ตามลำดับ โดยพลังงานที่ใช้ ร้อยละ 76 ร้อยละ 13 และร้อยละ 11 อยู่ในรูปพลังงานไอน้ำ พลังงานไฟฟ้า และสารเคมี-น้ำประปา ตามลำดับ

2.2 การศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภท ต่างๆ

- ขั้นตอนที่มีการใช้พลังงานมากที่สุดตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล คือ ขั้นตอนการผลิตเอทานอล โดยคิดเป็นร้อยละ 89 รองลงมาคือขั้นตอนการเพาะปลูก และขั้นตอนการขนส่ง โดยคิดเป็นร้อยละ 6 และร้อยละ 5 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดตลอด วัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล ตามลำดับ

- การใช้กากน้ำตาล เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลมีการใช้พลังงานสูงสุด คือมีการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 1.73×10^6 MJ/เอทานอล 100,000 ลิตร รองลงมา คือ การใช้มันสำปะหลัง และอ้อย ในการผลิตเอทานอล ซึ่งมีค่าการใช้พลังงานตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 1.43×10^6 และ 1.38×10^6 MJ/เอทานอล 100,000 ลิตร ตามลำดับ

2.3 การศึกษาประสิทธิภาพเชิงพลังงานในรูปค่าพลังงานเพิ่มสุทธิ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร และประสิทธิภาพเชิงพลังงานในหน่วยการทำงานที่พื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ

- ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร โดยใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบมีค่าพลังงานเพิ่มสุทธิสูงสุด คือมีค่า 7.23×10^5 MJ/เอทานอล 100,000 ลิตร หรือกล่าวได้ว่าการผลิตเอทานอลจากอ้อย มีประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูงสุด รองลงมาคือการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง และกากน้ำตาลตามลำดับ โดยมีค่าพลังงานเพิ่มสุทธิเท่ากับ 6.70×10^5 และ 3.66×10^5 MJ/เอทานอล 100,000 ลิตร ตามลำดับ

- การศึกษาค่าพลังงานเพิ่มสุทธิ ของการผลิตเอทานอลในหน่วยการทำงานในพื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ พบว่า มีผลสอดคล้องกับหน่วยการทำงานที่เอทานอล 100,000 ลิตร คือ ตลอดวัฏจักรชีวิตจากการผลิตเอทานอลจากอ้อย มีค่าพลังงานเพิ่มสุทธิสูงสุด โดยมีค่า 6,466 MJ/พื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่ รองลงมาคือการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง และกากน้ำตาลตามลำดับ คือมีค่าพลังงานเพิ่มสุทธิเท่ากับ 2,233 และ 589 MJ/พื้นที่การเพาะปลูก 1 ไร่

3. การประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ

3.1 การศึกษาต้นทุนประเภทต่างๆ ที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร จากวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่า

- การเพาะปลูกมันสำปะหลังเพื่อผลิตเอทานอล ต้นทุนร้อยละ 45 และ 40 จะอยู่ในรูปต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม และ ค่าจ้างแรงงานคนที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังตามลำดับ ส่วนการเพาะปลูกอ้อย ร้อยละ 50 และ 36 จะอยู่ในรูปต้นทุนจากค่าจ้างแรงงานคนและต้นทุนด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม ตามลำดับ

- ขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลังเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร มีต้นทุนในการเพาะปลูกมากกว่าการเพาะปลูกอ้อยเนื่องจากการเพาะปลูกมันสำปะหลังเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร มีการใช้พื้นที่การเพาะปลูกมากกว่าการเพาะปลูกอ้อยเพื่อผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

- การใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล มีต้นทุนในด้านการขนส่งสูงสุด รองลงมาคือ การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและมันสำปะหลัง

- ขั้นตอนการผลิตมันเส้น ต้นทุนที่ใช้ ร้อยละ 90 อยู่ในรูปค่าจ้างแรงงานคน และ ร้อยละ 9 อยู่ในรูปต้นทุนการลงทุนที่ใช้ในการผลิตมันเส้น

- ต้นทุนที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่าง ๆ โดยเฉลี่ยร้อยละ 68 อยู่ในรูปต้นทุนการดำเนินงานในการผลิตเอทานอล ร้อยละ 28 อยู่ในรูปต้นทุนการลงทุน และ ร้อยละ 4 อยู่ในรูปต้นทุนด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

- การใช้มันสำปะหลังในรูปมันเส้นในการผลิตเอทานอล มีต้นทุนรวมในขั้นตอนการผลิตเอทานอลสูงสุด โดยมีต้นทุน 7.83×10^5 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร รองลงมาคือ การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล และอ้อย ตามลำดับ ซึ่งมีต้นทุนรวมในขั้นตอนการผลิตเอทานอล 7.50×10^5 และ 7.42×10^5 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร

3.2 การศึกษาเปรียบเทียบต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล จากการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ

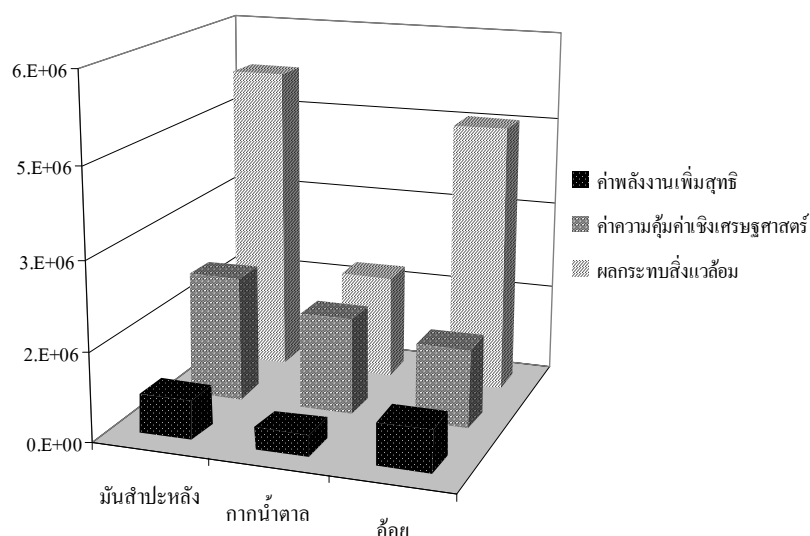
- ต้นทุนรวมทั้งหมดที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ร้อยละ 63 มาจากต้นทุนในขั้นตอนการเพาะปลูกมันสำปะหลังและ ร้อยละ 35 มาจากต้นทุนในขั้นตอนการผลิตเอทานอล

- ต้นทุนรวมทั้งหมดที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล ร้อยละ 51 อยู่ในรูปต้นทุนของกากน้ำตาลที่ซื้อจากโรงงานน้ำตาลทราย และ ร้อยละ 49 มาจากต้นทุนในขั้นตอนการผลิตเอทานอล

- ต้นทุนรวมทั้งหมดที่ใช้ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากอ้อย ร้อยละ 54 มาจากต้นทุนในขั้นตอนการผลิตเอทานอล และร้อยละ 46 มาจากต้นทุนในขั้นตอนการเพาะปลูกอ้อย

- การเปรียบเทียบต้นทุนรวมที่ใช้ ตลอดวัฏจักรชีวิตการผลิตเอทานอลของวัตถุดิบประเภทต่างๆ พบว่าการใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล มีต้นทุนรวมในการผลิตสูงสุด คือมีต้นทุน 2.07×10^6 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร รองลงมาคือการใช้ กากน้ำตาลและอ้อย ในการผลิตเอทานอล โดยมีต้นทุน 1.63×10^6 และ 1.34×10^6 บาท/เอทานอล 100,000 ลิตร ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า อ้อยมีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ สูงสุด รองลงมา คือ กากน้ำตาล และมันสำปะหลัง ตามลำดับ

ดังนั้น จากผลการศึกษาทั้ง 3 ด้าน คือ ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่าวัตถุดิบแต่ละประเภท ก็จะมีประสิทธิภาพในด้านต่างๆ ที่แตกต่างกันออกไป โดยเมื่อทำสรุปการเปรียบเทียบผลการศึกษา 3 ด้านของการใช้วัตถุดิบประเภทต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร แสดงได้ดังภาพที่ 127



ภาพที่ 127 การเปรียบเทียบผลการศึกษา 3 ด้านของการใช้วัตถุดิบประเภทต่าง ๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร

หมายเหตุ: ค่าพลังงานเพิ่มสุทธิ หน่วย คือ MJ / เอทานอล 100,000 ลิตร

ค่าความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ หน่วย คือ บาท / เอทานอล 100,000 ลิตร

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม หน่วย คือ 10^3 Person eq./year/ เอทานอล 100,000 ลิตร

ภาพที่ 127 แสดงการเปรียบเทียบผลการศึกษาทั้ง 3 ด้านของการใช้วัตถุดิบประเภท ต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร พบว่าการผลิตเอทานอลจากอ้อย มีประสิทธิภาพสูงสุดใน 2 ด้าน คือ ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ส่วนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีประภาพสูงสุด ด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม กล่าวคือ ตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่ำที่สุด ส่วนตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมีประสิทธิภาพต่ำที่สุดใน 2 ด้าน คือด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ดังนั้น ถ้ากำหนดความสำคัญของประสิทธิภาพทั้ง 3 ด้าน ให้มีความสำคัญเท่ากัน ดังนั้นงานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าการผลิตเอทานอลจากอ้อยมีประสิทธิภาพใน

การผลิตเอทานอลตลอดวัฏจักรชีวิตสูงสุด รองลงมาคือการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล และมันสำปะหลัง ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม การใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลในประเทศไทย ยังมีข้อจำกัดอยู่หลายประการ เช่น ปริมาณอ้อยที่ปัจจุบันสามารถผลิตได้ในประเทศไทย ยังไม่เพียงพอต่อความต้องการของโรงงานน้ำตาล แล้วการเพาะปลูกอ้อยมีฤดูกาลเก็บเกี่ยวสั้น มีเพียงช่วงเดือน ธันวาคม ถึงมีนาคมเท่านั้น การใช้อ้อยไม่สามารถทำสโตกได้ จึงทำให้สามารถใช้วัตถุดิบได้ไม่เกิน 4-5 เดือน ขณะเดียวกันอ้อยยังเป็นพืชควบคุมภายใต้พระราชบัญญัติอ้อยและน้ำตาล (2527) ผลผลิตอ้อยที่ได้จะต้องเข้าสู่ระบบแบ่งปันผลประโยชน์ระหว่างชาวไร่อ้อย กับ โรงงานผู้ผลิต ดังนั้นแนวทางในการแก้ปัญหาในปัจจุบัน ก็คือรัฐบาลเร่งนโยบายเพิ่มพื้นที่การเพาะปลูกอ้อย เพื่อเพิ่มผลผลิตผลผลิตอ้อยของประเทศ ซึ่งจากการคาดการณ์ในอนาคตจึงมีการคาดการณ์ได้ว่าผลผลิตอ้อยจะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 65 ล้านตัน/ปีในปี พ.ศ.2550 เป็นประมาณ 80 ล้านตัน/ปี ในปี พ.ศ. 2552 ส่วนการใช้กากน้ำตาลในการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลในประเทศ ยังมีปริมาณไม่มากพอที่จะเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอลของประเทศ ส่วนผลผลิตมันสำปะหลังของประเทศมีค่าประมาณ 25-30 ล้านตัน ซึ่งเมื่อหักลบกับความต้องการมันสำปะหลังของอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง หรืออุตสาหกรรมมันอัดเม็ดแล้ว มีปริมาณมันสำปะหลังเหลือสำหรับการผลิตเอทานอล ประมาณ 4.5-5.2 ล้านตัน ดังนั้นมันสำปะหลังจึงเป็นวัตถุดิบทางเลือกที่สำคัญในการผลิตเอทานอลของประเทศ แต่จากผลการศึกษา พบว่า มันสำปะหลังมีผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลสูงสุด และมีประสิทธิภาพเชิงเศรษฐศาสตร์ ในการผลิตเอทานอลต่ำที่สุด โดยปัญหาอยู่ที่การเพาะปลูกมันสำปะหลัง ให้ผลผลิตต่อไร่ในปริมาณต่ำ ซึ่งส่งผลให้การผลิตเอทานอลจึงต้องใช้พื้นที่ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังในปริมาณสูง ดังนั้นแนวทางการแก้ปัญหาคือ การเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังต่อไร่ ซึ่งจะทำการลดพื้นที่การเพาะปลูก จึงสามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นได้ โดยวิธีการเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังนั้น มีหลายวิธีดังที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น และก็เป็นแนวการศึกษาในอนาคตต่อไป

ข้อเสนอแนะ

แนวทางการศึกษาในอนาคต

จากผลการศึกษาด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ตลอดจนวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ จะแสดงผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ซึ่งระดับปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของวัตถุดิบประเภทต่างๆ จะมีความเหมาะสมกับการผลิตในประเทศไทยหรือไม่ อาจทำการศึกษาเปรียบเทียบกับสารเพิ่มค่าออกเทนที่เอทานอลมาใช้แทนที่ หรือสาร MTBE (Methyl tertiary-butyl ether) เพื่อที่จะศึกษาว่าปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อม และการใช้พลังงานในการผลิตเอทานอลมีค่าเท่าไร เมื่อเทียบกับปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิต MTBE โดยการวิเคราะห์ อาจศึกษาในรูปค่าประสิทธิภาพเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Eco-Efficiency)

จากผลการศึกษาจากงานวิจัยนี้ ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ ตลอดจนวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ จะพบว่าผลการ ศึกษาแต่ละด้านจะมีผลที่แตกต่างกันไป คืออ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลที่มีประสิทธิภาพเชิงพลังงานและมีความคุ้มค่าสูงสุดเชิงเศรษฐศาสตร์ ส่วนกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบที่มีประสิทธิภาพเชิงพลังงานต่ำที่สุด แต่ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตในการผลิตเอทานอลต่ำที่สุด ดังนั้นการศึกษาในอนาคตจึงน่าจะมีการศึกษาเปรียบเทียบความสำคัญระหว่างผลการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม ประสิทธิภาพเชิงพลังงาน และความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อที่จะชี้เฉพาะว่าวัตถุดิบใดเป็นวัตถุดิบที่มีประสิทธิภาพโดยรวมสูงที่สุด เนื่องด้วยความสำคัญของประสิทธิภาพในแต่ละด้านนั้น อาจมีความสำคัญที่แตกต่างกัน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม . 2550 . ระยะเวลาระหว่างอำเภอ. <http://www.doh.go.th/dohweb/index-back.html>. แหล่งที่มา: <http://www.doh.go.th> , 1 มกราคม 2550.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม.กระทรวงอุตสาหกรรม 2550. โลหะหนัก.www2.diw.go.th/env/pdf/env%20helt.pdf. แหล่งที่มา: www.diw.go.th , 1 เมษายน 2550.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2549. รายงานการสำรวจและคาดการณ์ผลผลิตอ้อยโรงงาน ปีการผลิต 2549โดยใช้เทคโนโลยีการสำรวจระยะไกลและระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์.

กระทรวงพลังงาน. 2551.การกำหนดราคาเอทานอล. http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/usr/bers/gasohol_2008/510103_Ethanol_Price_Q4y51.pdf.แหล่งที่มา: www.doeb.go.th, 1 มกราคม 2551.

_____. 2551. ผู้ประกอบการที่ได้รับอนุญาตก่อสร้างโรงงานผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง. www.dede.go.th/dede/uploads/media. แหล่งที่มา: www.doeb.go.th, 1 มกราคม 2551.

_____. 2551.รายงานพลังงานทดแทนของประเทศไทยปี 2550.

_____. 2251. สถิติการจัดหาและจัดจำหน่าย. www.doeb.go.th/information/infor_data.html. แหล่งที่มา: www.doeb.go.th , 1 มกราคม 2551.

กล้าณรงค์ ศรีรอด .2546. การศึกษาสถานภาพของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตแก๊สโซฮอล์. ในรายงานการสัมมนาเผยแพร่ผลงานวิจัยด้านพลังงานทดแทน. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ.

_____. 2546. การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ.

_____ . และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2549. การนำของเสียจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า, น.1-42. ในรายงานการสัมมนาการนำของเสียจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

การประปานครหลวง.2550. อัตราค่าน้ำประปา. <http://www.mwa.co.th/watercost.html> 2550.
แหล่งที่มา: www.mwa.co.th, 1 เมษายน 2550.

เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ.2548. โอกาสมันสำปะหลังกับอุตสาหกรรม. หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลัง ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีแห่งชาติ. กรุงเทพฯ.

คณะกรรมการพลังงาน.2545. รายงานพลังงานทดแทน เอทานอล และไบโอดีเซล.

โครงการฟื้นฟูทรัพยากรประมงในทะเลสาบสงขลา. ยูโทรฟิเคชัน. [www.skonline.com /download /downloadnica/utro8.pdf](http://www.skonline.com/download/downloadnica/utro8.pdf). แหล่งที่มา: www.skonline.com, 1 เมษายน 2550.

จักรภพ นาคฤทธิ. 2546. การศึกษาเปรียบเทียบวัฏจักรพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตระหว่างการใช้ดีเซลผสมเอทานอลชนิด 95 % และ 99.5% ในภาคการขนส่งในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จิรพล สีนธนาวา.2535. รายงานการวิจัยเรื่องพฤติกรรมและรูปแบบการใช้พลังงานในการเพาะปลูก : อ้อย. มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพฯ.

_____. 2535. รายงานการวิจัยเรื่องพฤติกรรมและรูปแบบการใช้พลังงานในการเพาะปลูก : มันสำปะหลัง. มหาวิทยาลัยมหิดล. กรุงเทพฯ.

เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์. 2546. การศึกษาต้นแบบโรงงานเอทานอลโดยการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตมันเส้น. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ.

ธนาคารเพื่อการส่งออกและนำเข้าแห่งประเทศไทย (EXIM). ราคาากน้ำตาล. http://www.exim.go.th/news/main_notic.asp?section. แหล่งที่มา: <http://www.exim.go.th>, 1 เมษายน 2550.

ธีรันทา ฤทธิมนี .2545.การประเมินวัฏจักรชีวิตและการวิเคราะห์ต้นทุนของการกลั่นเอทานอลโดยใช้ตัวเก็บรังสีแสงอาทิตย์ชนิดท่อความร้อน.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นงศันุช พุฒิชัยวิบูลย์. 2547. การประเมินวัฏจักรชีวิตของโรตาลีคอมเพรสเซอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

บุญขัติ สุภานิช.2546. การบูรณาการกระบวนการผลิตเอทานอลกับโรงงานน้ำตาลและโรงงานแปรรูปมันสำปะหลังและประเมินเชิงเทคโนโลยีในการทำเอทานอลให้บริสุทธิ์. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. กรุงเทพฯ.

บุษยวรรณ อาริยธรรม.2549. การเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงพลังงานของวัตถุดิบอุตสาหกรรมเอทานอล. ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. ปทุมธานี.

ปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. 2550. ราคาน้ำมัน. http://www.pttplc.com/TH/nc_oi.aspx
แหล่งที่มา : www.pttplc.com, 1 เมษายน 2550.

พอพงศ์ อนุศิษฐ์. 2544. การประเมินพลังงานและเศรษฐศาสตร์ของกระบวนการผลิตเอทานอล. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วรินทร์ ถนัดคำ.2545.การวิเคราะห์การลงทุนในการผลิตมันเส้นสะอาด: กรณีศึกษา อำเภอ เสงฆา จังหวัดนครราชสีมา.วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รวี เสธฐักดี .2548. การวิจัยการใช้พืชเพื่อลดมลสารในอากาศ. แหล่งที่มา www.ku.ac.th/ED/book/001/ravee.html, 10 ตุลาคม 2550.

มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2550. รายงาน การศึกษา
เปรียบเทียบการผลิตและการใช้เอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อย.

มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย. 2550. การผลิตและการแปรรูปมันสำปะหลัง.
www.tapiocathai.org/statistic/45-46/Zone1-45.html. แหล่งที่มา: www.tapiocathai.org ,
1 เมษายน 2550.

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย. ภาวะความเป็นกรด. www.howproductsimpact.net/box/thaiversion/impactassessments/impactassessmentsacidification.htm. แหล่งที่มา www.howproductimpact.net, 10 ตุลาคม 2550.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2550. มันสำปะหลัง. http://www.doa.go.th/power_oil/cassava/index.html. แหล่งที่มา: <http://www.doa.go.th/>, 1 มกราคม 2550.

. 2550. กระบวนการผลิตเอทานอล
จากอ้อย. <http://www.doa.go.th/fieldcrops/cane/oth/004.HTML>. แหล่งที่มา: <http://www.doa.go.th/>, 1 มกราคม 2550.

. 2551. สถิติการเกษตรประเทศไทย.
<http://www.oae.go.th/statistic/yearbook49/>. แหล่งที่มา: <http://www.oae.go.th/> , 1
มกราคม 2551.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. 2550. สรุปสถานการณ์อ้อยและน้ำตาลทราย.
http://www.ocsb.go.th/show_list.asp?id=14. แหล่งที่มา: <http://www.ocsb.go.th/>,
1 มกราคม 2550.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2550. สารก่อกัมเร่ง. http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?i1=66&i2=35&noshow=1.
แหล่งที่มา www.tistr.or.th , 1 เมษายน 2550.

สโมสรณ์ศึกษาแพทยศิริราช (สพศ.) .2550.รายงานอุตสาหกรรมเอทานอล.

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2547. รายงานคู่มือการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ภายใต้โครงการ“การจัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตปูนซีเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม”.

ศุภฤกษ์ กลิ่นหวล. 2547. อิทธิพลของระยะแถวปลูกและอัตราปุ๋ยที่มีต่อการเพิ่มผลผลิต และคุณภาพของอ้อยปลูกทั้งข้ามแล้งและต้นฝนในกลุ่มดินเนื้อหยาบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อภิศักดิ์ อุ่มจินสา. 2549. การศึกษาความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ ของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

อาชัย พิทยภาคย์. 2545. การประเมินศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนจากพืชน้ำมันทอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

โอมฤทธิ หาระบุตร. 2547. การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของคอมเพรสเซอร์แบบหมุนโดยใช้โปรแกรมไซมาโปร 5.1 และโปรแกรมกานี 4.0. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โอภาส บุญเส็ง.2539. พันธุกรรมและปุ๋ยเคมีในการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพมันสำปะหลัง วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Beeharry, R.2001. Carbon balance of sugarcane bioenergy systems. **Biomass and Bioenergy**. 20 (2001) 361–370.

Bentsenl, M, Karen, C and Ipsen, H. 2006. **Energy Balance of 2nd Generation Bioethanol Production In Denmark**. Available Source: [http://www.bioethanol.info/ Publications /Energy%20Balance_bioethanol.pdf](http://www.bioethanol.info/Publications/Energy%20Balance_bioethanol.pdf)

Gnansounou, E and Dauriat, A .n.d. **Energy Balance of bioethanol: A synthesis** . Available

Source: http://www.eners.ch/downloads/eners_0510_ebce_paper.pdf.

Hu, Z and Wang, C .2004. Economic, environment and energy life cycle assessment of automobiles fueled by bio-ethanol blends in China. **Renewable energy**.29 (2004) 2183-2192.

_____, Dai, D, Pu, G,. 2006. Energy efficiency and potential of cassava fuel ethanol in Guangxi region of China. **Energy Conservation and management** .47: 1686–1699.

Kaltschmit,M , Reinhardt, G.A. and Stelzer,T.1997.Life Cycle Analysis of Biofuels Under Different Environmental Aspects.**Journal of Biomass and Bioenergy**. 12:121-134.

Koomey, J and Krause, F.1997.**Introduction to Environmental Externality Costs**. Available Source: <http://enduse.lbl.gov/info/Externalities.pdf>.

Kodera,K. 2007.**Analysis of allocation methods of bioethanol LCA**. Internship at CML Leiden University. Available Source: http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/students/keiji_kodera/analysis_allocation_methods_bioethanol.pdf.

Kiran, L and Kidam.2002. Environmental benefits on life cycle basis of using bagasse-derived ethanol as a gasoline oxygenate in India. **Journal of energy Policy** 20 : 371-384.

Learning center for Earth Science and Astronomy (LESA).2550.ลดลงของชั้นโอโซน.www.lesa.in.th/4/o-zone_down/o-zone_down_index.html. แหล่งที่มา: www.lesa.in.th,1 ธันวาคม2550.

-
- . 2550. ภาวะเรือนกระจก. www.lesa.in.th/3/greenhouse/greenhouse_index.html. แหล่งที่มา: www.lesa.in.th, 1 ธันวาคม 2550.
- Leng, R and Wang, C. 2007. Life cycle inventory and energy analysis of cassava-based fuel ethanol in China. **Journal of Cleaner Production**. 16(2007): 374-384.
- Macedo. 1997. Greenhouse gas emission and energy balance in bio-ethanol production and utilization in Brazil (1996). **Journal of Biomass and bioenergy**. 14: 77-81.
- Malca, J. 2005. Renewability and life-cycle energy efficiency of bioethanol and bio-ethyl tertiary butyl ether (bioETBE): Assessing the implications of allocation. **Journal of Energy**. 31(15): 3362-3380.
- Marcelo, E. 2005. **Ethanol as fuel: Energy, Carbon dioxide Balance and Ecological Footprint** Available Source: <http://www.wilsoncenter.org/news/docs/ethanol%20as%20a%20fuel.pdf>.
- Nguyen, T., Shabbir, H, and Garivait, S. 2006. Assessing energy, environmental and economic performance of bio-ethanol in Thailand. **In International conference on green and Sustainable Innovation**. Chiangmai University, Chiangmai.
- Nielsen, H and Wenzel, H. 2005. **Environmental Assessment of Ethanol Produced from Corn Starch and used as an Alternative to Conventional Gasoline for Car Driving**. The Institute for Product Development Technical University of Denmark. Available Source: <http://www.ipu.dk/upload/publikationer/bio-ethanol-report.pdf>.
- Pimental, D. 2003. Ethanol fuel: energy Balance, Economic, and environment. Impact are negative. **Natural Resource Research**. 12. Available Source: <http://www.ethanol-gec.org/netenergy/neypimentel.pdf>

- Prakash R, Henham, A and Bhat, I.1998. Net energy and gross pollution from bioethanol production in India. **Journal of Fuel**. 77(1998): 1629-1633.
- Quintero, J.A. , Montoya, M.I. 2007. Fuel ethanol production from sugarcane and corn: Comparative analysis for a Colombian case. **Journal of Energy**. 33(3): 385-399..
- Santos, M.n.d.. **Energy analysis of Crops Used for Producing Ethanol and CO₂ Emission**. Available Source: <http://www.ivig.coppe.ufrj.br/doc/alcofoen.pdf>.
- Seungdo Kim and Bruce E. Dale. 2002. Allocation Procedure in Ethanol Producing System from Corn Grain.I System Expansion. **Int J LCA (2002)**. Available Source: http://www.ncga.com/ethanol/pdfs/Allocation_Procedures_Fuel_Ethanol-Final.pdf.
- Shapouri, H and Duffield, J.A. 2002. The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update .U.S. Department of Agriculture, **Economic Research Service**. Available Source: <http://www.transportation.anl.gov/pdfs/AF/265.pdf>
- Sheehan,J and Aden, A. 2004. Energy and Environmental Aspects of Using Corn Stover for Fuel Ethanol. **Journal of Industrial Ecology**. 7: 3–4. Available Source: <http://www.mitpressjournals.org/doi/pdf/10.1162/108819803323059433?cookieSet=1>.
- Spatari, S and Zhang, Y.2005.Life cycle assessment of switchgrass and corn stover-Driven Ethanol-Fueled Automobile..**Journal of Environment Science Technology**.Available Source: <http://pubs.acs.org/cgi-bin/article.cgi/esthag/2005/39/i24/pdf/es048293+.pdf>.
- Urbanchuk, M. 2006 .**Economic impact on the farm community of cooperative ownership of ethanol production**. Available Source: <http://www.ncga.com/ethanol /pdfs/2006 /FarmerOwnedEthanolEconomicImpact.pdf>

Varabuntoonvit, V. 2002. **Life Cycle Assessment for Power Generation Systems in Thailand Using Nets Methods**. M.Eng. Thesis. Kasetsart University.

Yosin, S. 2001. **The Potential of ethanol production from sugarcane in Thailand** .Seminar report, King Mongkut's University of Technology Thonburi.

_____ and Sorapipattana,C. 2007. A Study of Ethanol Production Cost for Gosoline Substitution in Thailand and Its Competitiveness. **Thammasat Int J.Sc.Tech.**, **12(1): 69-80**. Available Source: http://www.tijsat.tu.ac.th /issues/2007/no1/2007_V12_No1_8.PDF.

Zhang, C and Han, W. 2003. Life Cycle economic analysis of fuel ethanol derived from cassava in southwest China. **Journal of Renewable and sustainable Energy**. 7: 353-366.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
การทำบัญชีรายการ

1. ข้อมูลด้านการเพาะปลูก

ตารางผนวกที่ ก1 พื้นที่ศึกษาและจำนวนครัวเรือนเกษตรกรที่เพาะปลูกมันสำปะหลัง จำแนกตาม
เขตเกษตรเศรษฐกิจ

ภาค	เขตเกษตรเศรษฐกิจ	จังหวัด	จำนวนครัวเรือน ที่สัมภาษณ์
เหนือ	8	กำแพงเพชร	37
	1	หนองคาย	61
		อุดรธานี	63
	3	กาฬสินธุ์	50
		ขอนแก่น	74
		ร้อยเอ็ด	41
	4	บุรีรัมย์	48
	5	ชัยภูมิ	72
ตะวันออกเฉียงเหนือ		นครราชสีมา	278
	13	ฉะเชิงเทรา	69
		ปราจีนบุรี	54
	15	ชลบุรี	58
		ระยอง	130
	16	จันทบุรี	20
ตะวันออก			
รวม			1,055

ที่มา: จีรพล (2535)

ตารางผนวกที่ ก2 พื้นที่ศึกษาและจำนวนครัวเรือนเกษตรกรที่เพาะปลูกอ้อย จำแนกตามเขต
เกษตรเศรษฐกิจ

ภาค	เขตเกษตรเศรษฐกิจ	จังหวัด	จำนวนครัวเรือนที่ สัมภาษณ์
ตะวันออกเฉียงเหนือ	1	อุดรธานี	72
	3	ขอนแก่น	49
เหนือ	8*	กำแพงเพชร	89
กลาง	11*	นครปฐม	69
		สุพรรณบุรี	171
ตะวันตก	12*	กาญจนบุรี	284
		ราชบุรี	275
		ประจวบคีรีขันธ์	38
ตะวันออก	15	ชลบุรี	141
		ระยอง	60
รวม			1,048

หมายเหตุ: * คือ เขตเกษตรเศรษฐกิจที่ศึกษาในงานวิจัยนี้

ที่มา: จีรพล (2535)

ตารางผนวกที่ 3 ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อย

(หน่วย: ลิตร/ไร่)

กิจกรรมและรายละเอียด	เขตเกษตรเศรษฐกิจ															
	มันสำปะหลัง									อ้อย						
	1	3	4	5	8	13	15	16	เฉลี่ย	1	3	8*	11*	12*	15	เฉลี่ย*
การเตรียมดิน	4.60	2.30	4.40	6.00	5.10	6.20	6.10	4.20	4.86	1.50	2.51	5.30	4.95	4.70	4.90	4.98
การเตรียมพันธุ์และการปลูก																
การบำรุงดูแล																
- การใส่ปุ๋ย																
- การไถพรวนกำจัดวัชพืช	0.01	0.20	0.20	0.10	0.60	0.00	0.00	0.00	0.14	0.10	0.11	0.04	0.10	0.30	0.45	0.15
- การพ่นยากำจัดวัชพืช (เบนซิน)	0.00	0.00	0.00	0.01	0.30	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	0.04
- การสูบน้ำ																
ดีเซล										0.00	0.00	0.06	0.00	0.01	0.21	0.02
เบนซิน										0.00	0.00	0.46	0.65	0.37	0.14	0.49
การเก็บเกี่ยว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.11							
ปริมาณเชื้อเพลิงรวม (ลิตร/ไร่)																
ดีเซล	4.61	2.50	4.60	6.10	5.70	7.10	6.10	4.20	5.11	1.60	2.62	5.40	5.05	5.01	5.56	5.15
เบนซิน	0.00	0.00	0.00	0.01	0.30	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.46	0.65	0.50	0.14	0.54

ตารางผนวกที่ ๓4 กิจกรรมและปริมาณปุ๋ยและยากำจัดวัชพืชในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อย

(หน่วย: หน่วย/ไร่)

กิจกรรมและรายละเอียด	เขตเกษตรเศรษฐกิจ															
	มันสำปะหลัง									อ้อย						
	1	3	4	5	8	13	15	16	เฉลี่ย	1	3	8*	11*	12*	15	เฉลี่ย*
การเตรียมดิน																
รถแทรกเตอร์ (ชม.)	1.20	1.20	0.90	0.90	1.20	0.90	0.90	0.70	0.99	0.20	1.00	0.70	0.65	0.70	0.70	0.68
การเตรียมพื้นที่และการปลูก																
การบำรุงดูแล																
การใส่ปุ๋ย (กก)	16.00	26.30	20.20	20.40	17.00	25.60	36.10	18.20	22.48	57.80	44.90	52.20	69.45	52.43	72.10	58.03
การไถพรวนกำจัดวัชพืช																
เครื่องจักร (ชม.)	0.01	0.20	0.20	0.10	0.80	0.00	0.00	0.00	0.16	0.12	0.10	0.03	0.02	0.18	0.05	0.08
การพ่นยากำจัดวัชพืช																
เครื่องพ่นยา (ชม.)	0.00	0.00	0.50	0.10	1.40	2.80	4.10	11.70	2.58	0.19	0.17	5.13	2.00	2.92	0.14	3.35
สารเคมีชนิดน้ำ (ลิตร)	0.00	0.00	0.10	0.20	0.60	0.50	0.80	1.40	0.45	0.01	0.01	0.35	0.10	0.08	0.13	0.18
สารเคมีชนิดผง (กก.)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.12	0.67	0.46	0.02	0.42
การสูบน้ำ																
เครื่องสูบน้ำ (ชม.)										0.00	0.00	4.00	0.65	0.30	0.25	1.65
การเก็บเกี่ยว																

ตารางผนวกที่ ก5 ประเภทปุ๋ยที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อย

(หน่วย: ร้อยละ)

รายการ	เขตเกษตรเศรษฐกิจ															
	มันสำปะหลัง									อ้อย						
	1	3	4	5	8	13	15	16	เฉลี่ย	1	3	8*	11*	12*	15	เฉลี่ย*
<u>สูตรปุ๋ย</u>																
15-15-15	56	32	100	80	55	45	68	31	59	17	20	26	10	28	74	21
16-20-0	22	19	-	8	-	5	-	13	8	10	2	-	3	2	-	2
16-16-8	7	1	-	2	-	4	-	13	3	6	24	5	-	-	-	2
46-0-0	3	7	-	2	18	2.7	4	6	5	-	-	2	2	7	3	4
21-0-0	2	19	-	2	18	-	13	-	7	-	4	67	82	52	11	67
16-8-8	-	4	-	2	-	-	-	6	2	-	4	-	-	-	-	0
13-13-21	2	-	-	-	-	3	9	25	5	4	28	2	-	8	-	3
16-8-4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	0
12-10-8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51	-	-	-	-	-	0
ปุ๋ยคอก	-	6	-	2	-	39	5	-	6	-	-	-	-	-	4	0
อื่นๆ	8	12	-	-	9	1	2	6	5	3	18	-	3	2	8	2
ผลผลิต (ตัน /ไร่)	1.9	1.6	2.6	2.1	2.1	1.9	2.5	1.5	2.03	9.20	8.10	8.90	9.45	8.70	6.45	9.02

ที่มา: จีรพล (2535)

ตารางผนวกที่ ๓6 แรงงานที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อย

(หน่วย: ชม.-คน /ไร่)

กิจกรรมและรายละเอียด	เขตเกษตรเศรษฐกิจ															
	มันสำปะหลัง									อ้อย						
	1	3	4	5	8	13	15	16	เฉลี่ย	1	3	8*	11*	12*	15	เฉลี่ย*
การเตรียมดิน	3.00	8.70	1.10	1.60	1.60	1.50	2.60	1.00	2.64	3.40	3.70	0.70	0.65	0.76	0.90	0.70
การเตรียมพันธุ์และการปลูก																
การเตรียมท่อนพันธุ์	6.50	6.10	3.90	2.90	2.40	2.90	3.10	2.80	3.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
การปลูก	17.70	20.50	12.20	10.80	9.80	10.70	12.50	16.10	13.79	37.00	44.80	50.00	42.25	37.83	46.25	43.36
การบำรุงดูแล																
การใส่ปุ๋ย	8.90	9.60	5.60	5.80	2.10	9.50	14.80	2.70	7.38	7.10	11.20	4.70	7.10	5.73	6.80	5.84
การไถพรวนกำจัดวัชพืช	47.70	48.20	40.80	55.00	39.10	23.40	17.60	11.50	35.41	39.50	51.00	20.00	38.30	34.53	55.60	30.94
การพ่นยากำจัดวัชพืช	0.00	0.00	0.50	0.10	1.40	2.80	4.10	11.70	2.58	0.19	0.17	5.13	2.00	2.92	0.14	3.35
การเก็บเกี่ยว	58.00	49.20	26.20	33.80	49.60	29.80	31.20	25.00	37.85	66.60	70.70	71.80	76.70	69.30	62.75	72.60
แรงงานรวม (ชั่วโมง ต่อไร่)	148.80	142.30	90.30	110.00	106.00	80.60	85.90	70.80	103.46	153.79	181.57	152.33	167.00	151.07	172.44	156.80

ที่มา: จีรพล (2535)

2 ข้อมูลด้านการขนส่ง (การคำนวณ)

การคำนวณระยะทาง ในงานวิจัยนี้ มีข้อกำหนด ในแต่ละระยะทางด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.1 การผลิตเอทานอลโดยใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ

ก) ระยะทางจากไร่มันสำปะหลังถึงลานมันเส้น

- งานวิจัยนี้กำหนดระยะทางจากไร่มันสำปะหลังถึงลานมันเส้นที่ระยะ 10 กม. เนื่องจาก ตำแหน่งลานมันเส้น จะตั้งอยู่บริเวณไร่เพาะปลูกมันสำปะหลัง

ข) ระยะทางจากลานมันเส้นถึงโรงงานเอทานอล

- งานวิจัยนี้กำหนด ว่าลานมันในตำแหน่งอำเภอที่ใกล้ที่สุดมีปริมาณมันเส้นเพียงพอ กับความต้องการของโรงงานผลิตเอทานอล

- งานวิจัยนี้กำหนดว่าลานมันเส้นกับโรงงานเอทานอลอยู่ในอำเภอเดียวกันกำหนด ระยะทางจากลานมันเส้นถึงโรงงานเอทานอลที่ระยะทาง 10 กิโลเมตร

2.2 การผลิตเอทานอลโดยใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ

ก) ระยะทางจากไร่อ้อยถึงโรงงานน้ำตาล

- งานวิจัยนี้กำหนดระยะเวลาเปิดหีบอ้อยของโรงงานน้ำตาลทรายเป็นระยะเวลา 90 วัน (3 เดือน) ดังนั้นใน 1 ปี โรงงานน้ำตาลทรายมีความต้องการอ้อยเป็นเวลา 90 วัน

- งานวิจัยนี้กำหนดว่าไร่อ้อยกับโรงงานน้ำตาลทรายอยู่ในอำเภอเดียวกัน กำหนด ระยะทางจากไร่อ้อยเส้นถึงโรงงานน้ำตาลทรายที่ระยะทาง 10 กิโลเมตร

- งานวิจัยนี้กำหนดว่าไร่อ้อยส่งผลผลิตอ้อยให้แก่โรงงานน้ำตาลทรายที่อยู่ตำแหน่งที่ใกล้ที่สุดเท่านั้น

- งานวิจัยนี้ กำหนดว่าถ้าปริมาณอ้อยที่ไร่อ้อยที่อำเภอที่อยู่ใกล้ที่สุดปริมาณไม่เพียงพอ กับความต้องการของโรงงานน้ำตาล ก็มีกรนำอ้อยจากอำเภอที่ใกล้ถัดไปจน กว่าปริมาณอ้อยจะเพียงพอต่อความต้องการของโรงงานน้ำตาลทราย

ข) ระยะทางจากโรงงานน้ำตาลถึงโรงงานเอทานอล

- งานวิจัยนี้กำหนดการผลิตเอทานอล 1 ลิตร ต้องการกากน้ำตาล 0.0028 ตัน
- งานวิจัยนี้กำหนดว่าโรงงานน้ำตาลทรายที่ความต้องการอ้อย 1 ตันในการผลิตน้ำตาลทราย มีปริมาณกากน้ำตาลที่ส่งให้โรงงานเอทานอล 0.036 ตัน
- งานวิจัยนี้กำหนดว่าโรงงานน้ำตาลทรายกับโรงงานเอทานอลที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบอยู่ในอำเภอเดียวกัน กำหนดระยะทางจากโรงงานน้ำตาลทรายกับโรงงานเอทานอลที่ระยะทาง 10 กิโลเมตร
- งานวิจัยนี้กำหนดว่าโรงงานน้ำตาลทรายส่งผลผลิตกากน้ำตาลให้แก่โรงงานเอทานอลที่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบที่อยู่ตำแหน่งที่ใกล้ที่สุดเท่านั้น
- งานวิจัยนี้ กำหนดว่าถ้าปริมาณกากน้ำตาลที่โรงงานน้ำตาลที่อำเภอที่อยู่ใกล้ที่สุดปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของโรงงานเอทานอล ก็มีการนำกากน้ำตาลจาก โรงงานน้ำตาลที่ใกล้ถัดไปจนกว่าปริมาณกากน้ำตาลจะเพียงพอต่อความต้องการของโรงงานเอทานอล

2.3 การผลิตเอทานอลโดยใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบ

ก) ระยะทางจากไร่อ้อยถึงโรงงานเอทานอล

- งานวิจัยนี้กำหนดการผลิตเอทานอล 1 ลิตร ต้องการอ้อย 0.0127 ตัน
- งานวิจัยนี้ กำหนดว่าไร่อ้อยกับโรงงานเอทานอลที่ใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบอยู่ในอำเภอเดียวกัน กำหนดระยะทางจากไร่อ้อยกับโรงงานเอทานอลที่ระยะทาง 10 กิโลเมตร
- งานวิจัยนี้ กำหนดว่าไร่อ้อยส่งผลผลิตอ้อยให้แก่โรงงานเอทานอลที่ใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบที่อยู่ตำแหน่งที่ใกล้ที่สุดเท่านั้น
- งานวิจัยนี้ กำหนดว่าถ้าปริมาณอ้อยที่ไร่อ้อยที่อำเภอที่อยู่ใกล้ที่สุดปริมาณไม่เพียงพอกับความต้องการของโรงงานเอทานอล ก็มีการนำอ้อยจากไร่อ้อยที่ใกล้ถัดไปจนกว่าปริมาณอ้อยจะเพียงพอต่อความต้องการของโรงงานเอทานอล

ตารางผนวกที่ ก7 โรงงานเอทานอลในประเทศไทย จำแนกตามวัตถุดิบหลักที่ใช้ในการผลิต

ผู้ประกอบการ	จังหวัด	วัตถุดิบ	กำลังการผลิต (ลิตร/วัน)
บริษัท พรวิไล อินเตอร์เนชั่นแนล กรุ๊ปฯ	อยุธยา	กากน้ำตาล	25,000
บมจ. ไทยแอลกอฮอล์	นครปฐม	กากน้ำตาล	200,000
บริษัท ไทยอะโกรเอนเนอร์จี จำกัด	สุพรรณบุรี	กากน้ำตาล	150,000
บริษัท ไทยง้วน เอทานอล จำกัด	ขอนแก่น	มันสำปะหลัง	130,000
บริษัท ขอนแก่นแอลกอฮอล์ จำกัด	ขอนแก่น	อ้อย/กากน้ำตาล	150,000
บริษัท เพโตรกรีน จำกัด	ชัยภูมิ	อ้อย/กากน้ำตาล	200,000
บริษัท อินเตอร์เนชั่นแนล แก๊สโซฮอลล์	ระยอง	มันสำปะหลัง	150,000
บริษัท น้ำตาลไทยเอทานอล จำกัด	กาญจนบุรี	อ้อย/กากน้ำตาล	200,000
บริษัท ฟาวิญทิพย์ จำกัด	ปราจีนบุรี	มันสำปะหลัง	120,000
บริษัท เอกรัฐพัฒนา จำกัด	นครสวรรค์	มันสำปะหลัง	200,000
บริษัท เกลือเอทานอล จำกัด	นครราชสีมา	อ้อย/กากน้ำตาล	100,000
บริษัท ราชบุรีเอทานอล จำกัด	ราชบุรี	มันสำปะหลัง/กากน้ำตาล	150,000
บริษัท ไทยรุ่งเรืองพลังงาน จำกัด	สระบุรี	อ้อย/กากน้ำตาล	120,000
บริษัท เพโตรกรีน จำกัด	กาฬสินธุ์	อ้อย/กากน้ำตาล	200,000
บริษัท บุญเอนก จำกัด	นครราชสีมา	มันสำปะหลัง	1,050,000
บริษัท ปิกนิก เอทานอล จำกัด	ฉะเชิงเทรา	มันสำปะหลัง	250,000
บริษัท เอรಾವันเอทานอล จำกัด	หนองบัวลำภู	อ้อย/กากน้ำตาล	200,000
บริษัท อี เอส เพาเวอร์ จำกัด	สระแก้ว	มันสำปะหลัง/กากน้ำตาล	150,000
บริษัท ไทยรุ่งเรืองพลังงาน จำกัด	เพชรบูรณ์	อ้อย/กากน้ำตาล	200,000
บริษัท เอสดีเอทานอล จำกัด ¹⁾	อุดรธานี	มันสำปะหลัง	200,000
บริษัท สยามเอทานอล ชัยภูมิ จำกัด	ชัยภูมิ	มันสำปะหลัง	100,000
บริษัท บุรีรัมย์เอทานอล จำกัด	บุรีรัมย์	มันสำปะหลัง/กากน้ำตาล	200,000
บริษัท เอ็นวายเอทานอล จำกัด	นครราชสีมา	มันสำปะหลัง/กากน้ำตาล	150,000
บริษัท อุตสาหกรรมอ่างเวียน จำกัด ^{m)}	นครราชสีมา	อ้อย/กากน้ำตาล	160,000
บริษัท น้ำตาลไทยเอทานอล จำกัด ⁿ⁾	กำแพงเพชร	อ้อย/มันสำปะหลัง	200,000
บริษัท กิมฟอง จำกัด	ระยอง	มันสำปะหลัง	330,000
บริษัท สยามอินเตอร์โปรดักส์ จำกัด	ฉะเชิงเทรา	มันสำปะหลัง	150,000
บริษัท สยามเอทานอลอุตสาหกรรม จำกัด	ระยอง	มันสำปะหลัง	100,000

ตารางผนวกที่ ก7 (ต่อ)

ผู้ประกอบการ	จังหวัด	วัตถุดิบ	กำลังการผลิต (ลิตร/วัน)
บริษัท ทรัพย์ทิพย์ จำกัด	ลพบุรี	มันสำปะหลัง	200,000
บมจ. พี.เอส.ซี. สตาร์ช โปรดักส์	ชลบุรี	มันสำปะหลัง	150,000
บริษัท ซี.ไอแกเนติก คาร์บอน จำกัด	นครราชสีมา	กากมันสำปะหลัง	100,000
บริษัท ที พี เค เอทานอล จำกัด	นครราชสีมา	มันสำปะหลัง	1,020,000
บริษัท เซ็นทรัลเอ็นเนอร์ยี จำกัด	กำแพงเพชร	มันสำปะหลัง	340,000
บริษัท อิมเพรสเทคโนโลยี จำกัด	ฉะเชิงเทรา	มันสำปะหลัง	200,000
บริษัท อุตสาหกรรมน้ำตาลอีสาน จำกัด	กาฬสินธุ์	กากน้ำตาล/มันสำปะหลัง	120,000
บริษัท ไทผิง เอทานอล จำกัด	สระแก้ว	มันสำปะหลัง	300,000
บริษัท สวนอุตสาหกรรมพลังงาน จำกัด	อุทัยธานี	มันสำปะหลัง	200,000
บริษัท เฟรนส์ ฟอว์ แลนด์ จำกัด	อุบลราชธานี	มันสำปะหลัง	700,000
บริษัท พาวเวอร์ เอ็นเนอร์ยี จำกัด	อุบลราชธานี	มันสำปะหลัง	400,000
บริษัท ไซอิก เอ็นจิเนียริง จำกัด	ฉะเชิงเทรา	มันสำปะหลัง	400,000
บริษัท อีพีพี เอทานอล จำกัด	สระแก้ว	มันสำปะหลัง	200,000
บริษัท แอ็ดวานซ์เพาเวอร์ซัพพลาย จำกัด	สระแก้ว	มันสำปะหลัง	500,000
บริษัท สระแก้วไบโอเอทานอล จำกัด	สระแก้ว	มันสำปะหลัง	500,000
บริษัท ขอนแก่นแอลกอฮอล์ จำกัด	กาฬสินธุ์	กากน้ำตาล อ้อย มันสำปะหลัง	150,000
บริษัท ขอนแก่นแอลกอฮอล์ จำกัด	ชลบุรี	กากน้ำตาล อ้อย มันสำปะหลัง	100,000

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2551)

ตารางผนวกที่ 8 ระยะทางระหว่างไร่มันสำปะหลัง ถึงลานมันเส้นในประเทศไทย

ผู้ประกอบการ	ที่ตั้งโรงงาน (ตำบล/อำเภอ/จังหวัด)	ที่ตั้งลานมันเส้น (อำเภอ/จังหวัด)	ระยะทาง(กม.) ^a
บริษัท ไทยจ๊วน เอทานอล จำกัด	โนนศิลา / กิ่งอำเภอโนนศิลา/ ขอนแก่น	บ้านไผ่/ขอนแก่น	11.70
บริษัท อินเตอร์ฯ แก๊สโซฮอลล์ Co. จำกัด	หนองบัว /บ้านค่าย/ ระยอง	แกลง/ ระยอง	54.98
บริษัท ฟ้าขวัญทิพย์ จำกัด	เขาไม้แก้ว /กบินทร์บุรี /ปราจีนบุรี	กบินทร์บุรี /ปราจีนบุรี	10.00
บริษัท เอกรัฐพัฒนา จำกัด	หนองโพ /ตากลิ /นครสวรรค์	ตากลิ /นครสวรรค์	10.00
บริษัท บุญเอนก จำกัด	ตะลุง/ปึกธงชัย /นครราชสีมา	ปึกธงชัย /นครราชสีมา	10.00
บริษัท เอสดีเอทานอล จำกัด	หนองบัว /เมืองอุดรธานี /อุดรธานี	เมืองอุดรธานี /อุดรธานี	10.00
บริษัท กิมฟอง จำกัด	เมืองระยอง / ระยอง	บ้านฉาง / ระยอง	25.15
บริษัท สยามอินเตอร์โปรดักส์ จำกัด	เกาะขนุน /พนมสารคาม /ฉะเชิงเทรา	พนมสารคาม /ฉะเชิงเทรา	10.00
บริษัท ทรัพย์ทิพย์ จำกัด	ชัยบาดาล / ลพบุรี	ท่าหลวง / ลพบุรี	18.57
บมจ. พี.เอส.ซี.สตาร์ช โปรดักส์	หนองใหญ่/หนองใหญ่/ชลบุรี	บ้านบึง/ชลบุรี	43.41
บริษัท ที พี เค เอทานอล จำกัด	ตะแบกบาน / ทรบุรี / นครราชสีมา	ทรบุรี / นครราชสีมา	10.00
บริษัท อิมเพรสเทคโนโลยี จำกัด	เขาหินซ้อน / พนมสารคาม / ฉะเชิงเทรา	พนมสารคาม /ฉะเชิงเทรา	10.00
บริษัท อีบีพี เอทานอล จำกัด	หนองน้ำใส /วัฒนานคร /สระแก้ว	วัฒนานคร /สระแก้ว	10.00
บริษัท สระแก้วไปโอเอทานอล จำกัด	บ้านแก่ง / เมืองสระแก้ว /สระแก้ว	เมืองสระแก้ว / สระแก้ว	10.00
ระยะทาง ไร่มันสำปะหลัง – ลานมัน (กม.)			14.39

ที่มา: ^a กรมทางหลวง (2550)

ตารางผนวกที่ ๑๑ ระยะทางไร้อ้อย ถึงโรงงานน้ำตาลทรายในประเทศไทย

โรงงานน้ำตาลทราย	ที่ตั้งโรงงานน้ำตาลทราย (ตำบล/อำเภอ/จังหวัด)	ปริมาณอ้อยที่ต้องการ ^๑ (ตัน/ปี)	ตำแหน่งไร้อ้อย (อำเภอ / จังหวัด)	กำลังผลิตไร้อ้อย ^๒ (ตัน / ปี)	ระยะทาง ^๓ (กม.)	ปริมาณ × ระยะทาง (ตัน.กม.)
โรงงานน้ำตาลสระบุรี	คำพราน /วังม่วง /สระบุรี	2,067,300	วังม่วง /สระบุรี	339,040	10.00	3,390,400
			พัฒนานิคม/ ลพบุรี	950,425	13.43	12,764,207
			มวกเหล็ก /สระบุรี	298,077	29.75	8,867,790
			ท่าหลวง / ลพบุรี	479,758	31.33	15,030,818
โรงงานน้ำตาลท่ามะกา	ท่ามะกา /ท่ามะกา / กาญจนบุรี	1,623,420	ท่ามะกา / กาญจนบุรี	370,840	10.00	3,708,400
			ท่าม่วง/ กาญจนบุรี/	622,322	16.31	10,150,071
			เมือง / กาญจนบุรี	612,797	27.64	16,937,709
			พนมทวน / กาญจนบุรี	17,461	28.25	493,273
โรงงานน้ำตาลวังขนาย	วังขนาย /ท่าม่วง /กาญจนบุรี	1,390,770	ท่าม่วง/ กาญจนบุรี	622,322	10.00	6,223,220
			ท่ามะกา / กาญจนบุรี	370,840	16.31	6,048,400
			บ่อพลอย / กาญจนบุรี	397,608	48.90	19,443,031
โรงงานน้ำตาลมิตรผล	หนองมะคำโม่ง /ด่านช้าง / สุพรรณบุรี	1,935,990	ด่านช้าง /สุพรรณบุรี	1,229,100	10.00	12,291,000
			หนองหญ้าไซ/สุพรรณบุรี	706,890	44.7	31,597,983

ตารางผนวกที่ ก9 (ต่อ)

โรงงานน้ำตาลทราย	ที่ตั้งโรงงานน้ำตาลทราย (ตำบล/อำเภอ/จังหวัด)	ปริมาณอ้อยที่ต้องการ (ตัน/ปี)	ตำแหน่งไร่อ้อย (อำเภอ / จังหวัด)	กำลังผลิตไร่อ้อย ^b (ตัน / ปี)	ระยะทาง ^c (กม.)	ปริมาณ × ระยะห่าง (ตัน.กม.)
โรงงานน้ำตาลขอนแก่น	น้ำพอง / น้ำพอง /ขอนแก่น	1,836,000	น้ำพอง /ขอนแก่น	460,207	10.00	4,602,070
			เขาสวนกวาง/ขอนแก่น	487,597	17.59	8,576,831
			กระนวน/ขอนแก่น	767,964	24.35	18,699,923
			อุบลรัตน์ /ขอนแก่น	120,232	38.05	4,574,827
โรงงานอุตสาหกรรมอ่างเวียน	แก้งสนามนาง /แก้งสนามนาง/ นครราชสีมา	3,240,000	แก้งสนามนาง / นครราชสีมา	295,432	10.00	2,954,320
			คง / นครราชสีมา	181,528	52.53	9,535,665
			พิมาย /นครราชสีมา	220,618	78.68	17,358,224
			ครบุรี / นครราชสีมา	168,086	172.8	29,045,260
			ชัยบาดาล /ลพบุรี	862,937	177.63	153,283,499
			ท่าหลวง /ลพบุรี	1,142,869	191.94	219,362,275
			พัฒนานิคม /ลพบุรี	368,530	220.69	81,330,885
โรงงานน้ำตาลรวมเกษตรกรอุตุฯ	โคกสะอาด /ภูเขียว/ ชัยภูมิ	1,620,000	ภูเขียว/ ชัยภูมิ	1,251,369	10.00	12,513,690
			บ้านแท่น /ชัยภูมิ	181,389	33.37	6,052,950
			คอนสาร /ชัยภูมิ	187,242	38.33	7,176,985
โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลอีสาน	สำราญ /สามชัย /กาฬสินธุ์	540,000	สามชัย /กาฬสินธุ์	407,633	10.00	4,076,330
			คำม่วง/กาฬสินธุ์	132,367	9.74	1,289,254

ตารางผนวกที่ ก9 (ต่อ)

โรงงานน้ำตาลทราย	ที่ตั้งโรงงานน้ำตาลทราย (ตำบล/อำเภอ/จังหวัด)	ปริมาณอ้อยที่ต้องการ (ตัน/ปี)	ตำแหน่งไร่อ้อย (อำเภอ / จังหวัด)	กำลังผลิตไร่อ้อย ^b (ตัน / ปี)	ระยะทาง ^c (กม.)	ปริมาณ × ระยะทาง (ตัน.กม.)
โรงงานน้ำตาลมิตรภูเวียง	หนองเรือ /หนองเรือ /ขอนแก่น	1,364,580	หนองเรือ /ขอนแก่น	134,803	10.00	1,348,030
			ภูเวียง / ขอนแก่น	225,878	19.44	4,391,068
			บ้านฝาง/ขอนแก่น	132,361	26.48	3,504,919
			ชุมแพ /ขอนแก่น	112,400	35.91	4,036,284
			เมือง /ขอนแก่น	343,675	48.71	16,740,409
			น้ำพอง /ขอนแก่น	415,463	87.71	36,440,259
โรงงานน้ำตาลไทยอุตสาหกรรม	ตะครี้น้อย /ท่ามะกา /กาญจนบุรี	1,300,230	ท่ามะกา / กาญจนบุรี	370,840	10.00	3,708,400
			ท่าม่วง/ กาญจนบุรี/	622,322	16.31	10,150,071
			เมือง / กาญจนบุรี	307,068	27.64	8,487,359
โรงงานน้ำตาลมิตรเกษตร	ดอนขมิ้น /ท่ามะกา / กาญจนบุรี	1,070,100	ท่ามะกา / กาญจนบุรี	370,840	10.00	3,708,400
			ท่าม่วง/ กาญจนบุรี/	622,322	16.31	10,150,071
			ด่านมะขามเตี้ย / กาญจนบุรี	76,938	50.43	3,879,983
โรงงานน้ำตาลสระบุรี	ลำพวาน /วังม่วง /สระบุรี	2,067,300	วังม่วง /สระบุรี	339,040	10.00	3,390,400
			พัฒนานิคม/ ลพบุรี	950,425	13.43	12,764,207
			มวกเหล็ก /สระบุรี	298,077	29.75	8,867,790.
			ท่าหลวง / ลพบุรี	479,758	31.33	15,030,818

ตารางผนวกที่ ก9 (ต่อ)

โรงงานน้ำตาลทราย	ที่ตั้งโรงงานน้ำตาลทราย (ตำบล/อำเภอ/จังหวัด)	ปริมาณอ้อยที่ต้องการ (ตัน/ปี)	ตำแหน่งไร่อ้อย (อำเภอ / จังหวัด)	กำลังผลิตไร่อ้อย ^บ (ตัน / ปี)	ระยะทาง ^ค (กม.)	ปริมาณ × ระยะห่าง (ตัน.กม.)
โรงงานน้ำตาลทรายขาวเริ่มอุดม	หนองสระปลา/หนองหาน / อุดรธานี	1,876,680	หนองหาน /อุดรธานี	85,238	10.00	852,380
			กุมภวาปี/อุดรธานี	550,913	37.35	20,576,600
			โนนสะอาด/อุดรธานี	737,828	68.84	50,792,079
			หนองแสง/อุดรธานี	478,401	74.75	35,760,474
โรงงานอุตสาหกรรมโคราช	หนองระเวียง /พินาย / นครราชสีมา	2,160,000	พินาย /นครราชสีมา	220,618	10.00	2,206,180
			ชุมพวง/นครราชสีมา	63,546	39.51	2,510,702
			ห้วยแถลง /นครราชสีมา	155,840	40.43	6,300,611
			จักราช /นครราชสีมา	238,478	42.36	10,101,928
			บัวใหญ่ / นครราชสีมา	122,886	55.22	6,785,764
			บ้านเหลื่อม / นครราชสีมา	166,832	63.74	10,633,871
			แก้งสนามนาง / นครราชสีมา	295,432	78.68	23,244,589
			กิ่ง อ พระทองคำ / นครราชสีมา	136,728	86.51	11,828,339
			ปักธงชัย / นครราชสีมา	130,125	90.95	11,834,868
			ด่านขุนทด / นครราชสีมา	476,546	107.81	51,376,424
			ปากช่อง / นครราชสีมา	152,969	144.53	22,108,609

ตารางผนวกที่ ก9 (ต่อ)

โรงงานน้ำตาลทราย	ที่ตั้ง โรงงานน้ำตาลทราย (ตำบล/อำเภอ/จังหวัด)	ปริมาณอ้อยที่ต้องการ (ตัน/ปี)	ตำแหน่งไร่อ้อย (อำเภอ / จังหวัด)	กำลังผลิตไร่อ้อย ^b (ตัน / ปี)	ระยะทาง ^c (กม.)	ปริมาณ × ระยะห่าง (ตัน.กม.)
โรงงานน้ำตาลมิตรภาพสินธุ์	สมสะอาด /กุฉินารายณ์ /กาฬสินธุ์	1,800,000	กุฉินารายณ์ /กาฬสินธุ์	296,577	10.00	2,965,770
			โพนทอง / ร้อยเอ็ด	111,463	26.67	2,972,718
			โพธิ์ชัย / ร้อยเอ็ด	102,329	51.24	5,243,337
			นามน /กาฬสินธุ์	83,588	64.53	5,393,933
			กิ่ง อ ดอนจาน /กาฬสินธุ์	188,683	69.92	13,192,715
			ศรีธาตุ /อุดรธานี	661,157	117.38	77,606,608
			กุมภวาปี /อุดรธานี	550,913	145.32	80,058,677
			โนนสะอาด /อุดรธานี	737,828	176.82	130,462,746
			หนองแสง /อุดรธานี	267,462	225.14	60,216,394
โรงงานน้ำตาล เอ็น.วาย.ชูการ์	จระเข้หิน /ครบุรี /นครราชสีมา	1,232,100	ครบุรี / นครราชสีมา	168,086	10.00	1,680,860
			ปักธงชัย / นครราชสีมา	130,125	50.7	6,597,337
			วังน้ำเขียว / นครราชสีมา	123,708	68.76	8,506,162
			สีคิ้ว / นครราชสีมา	404,046	84.54	34,158,048
			ปากช่อง / นครราชสีมา	493,676	126.7	62,548,749
ปริมาณรวม				28,387,711		1,632,495,259
ระยะทางไร่อ้อย-โรงงานน้ำตาล (กม.)					57.51	

- ที่มา: ^a สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (2551)
^b กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2549)
^c กรมทางหลวง (2551)

ตารางผนวกที่ ก10 ระยะทางโรงงานน้ำตาลทรายถึงโรงงานเอทานอล

โรงงานเอทานอล	ที่ตั้งโรงงานเอทานอล (ตำบล/อำเภอ/จังหวัด)	ความต้องการ กากน้ำตาล ^a (ตัน/วัน)	โรงงานน้ำตาล	ที่ตั้งโรงงานน้ำตาล (ตำบล/อำเภอ/จังหวัด)	กากน้ำตาล ^b ส่งโรงงาน เอทานอล (ตัน/วัน)	ระยะทาง ^c (กม.)	ปริมาณ × ระยะทาง (ตัน.กม.)
บริษัท พรวิไล อินเตอร์เนชั่นแนล กรุ๊ป จำกัด	ศาลาลอย /ท่าเรือ /อยุธยา	68.80	โรงงานน้ำตาลสระบุรี	คำพราน /วังม่วง /สระบุรี	68.80	69.01	4,753.06
บมจ. ไทยแอลกอฮอล์	บางไทรป่า/ บางเลน/ นครปฐม	551	โรงงานน้ำตาลท่ามะกา	ท่ามะกา/ท่ามะกา / กาญจนบุรี	551	56.41	31,081.91
บริษัท ไทยอะโกรเอนเนอร์จี จำกัด	หนองมะค่าโมง/ ค่านช้าง/ สุพรรณบุรี	413.25	โรงงานน้ำตาลมิตรผล	ค่านช้าง / สุพรรณบุรี	413.25	20.00	8,265.00
บริษัท ขอนแก่นแอลกอฮอล์ จำกัด	น้ำพอง/ ขอนแก่น	413.25	โรงงานน้ำตาลขอนแก่น	ตำบลน้ำพอง /น้ำพอง /ขอนแก่น	413.25	20.00	8,265.00
บริษัท อุตสาหกรรมอ่างเวียน จำกัด	แก้งสนามนาง/ นครราชสีมา	440.80	โรงงานอุตสาหกรรมอ่างเวียน	แก้งสนามนาง /แก้งสนามนาง/ นครราชสีมา	440.80	20.00	8,816.00

ตารางผนวกที่ ก10 (ต่อ)

โรงงานเอทานอล	ที่ตั้งโรงงานเอทานอล (ตำบล/อำเภอ/จังหวัด)	ความต้องการ กากน้ำตาล ^๑ (ตัน/วัน)	โรงงานน้ำตาล	ที่ตั้งโรงงานน้ำตาล (ตำบล/อำเภอ/จังหวัด)	กากน้ำตาล ^๒ ส่งโรงงาน เอทานอล (ตัน/วัน)	ระยะทาง ^๓ (กม.)	ปริมาณ × ระยะทาง (ตัน.กม.)
บริษัท เพโตรกรีน จำกัด	ภูเขียว/ ชัยภูมิ	551.00	โรงงานน้ำตาลรวมเกษตรกรอุดรฯ	โคกสะอาด /ภูเขียว/ ชัยภูมิ	551.00	20.00	11,020.00
บริษัท น้ำตาลไทยเอทานอล จำกัด	ท่าไม้ /ท่ามะกา /กาญจนบุรี	551.00	โรงงานน้ำตาลไทยอุตสาหกรรม	ตะครี้นาเอน /ท่ามะกา /กาญจนบุรี	520.09	20.00	10,401.84
			โรงงานน้ำตาลมิตรเกษตร	ดอนขมิ้น /ท่ามะกา / กาญจนบุรี	30.91	20.00	618.16
บริษัท ไทยรุ่งเรืองพลังงาน จำกัด	กิ่ง อ.วังม่วง / สระบุรี	330.00	โรงงานน้ำตาลสระบุรี	คำพราน /วังม่วง /สระบุรี	330.00	20.00	6,612.00
บริษัท เอราวัณเอทานอล จำกัด	นากลาง/ นากลาง/ หนองบัวลำภู	551.00	โรงงานน้ำตาลทรายขาวเริ่มอุดม	หนองสระปลา/หนองหาร / อุดรธานี	551.00	120.32	66,296.32
บริษัท เค.ไอเอทานอล จำกัด	พิมาย/ นครราชสีมา	275.50	โรงงานอุตสาหกรรมโคราช	พิมาย /นครราชสีมา	275.50	20.00	5,510.00
บริษัท เอ็นวายเอทานอล จำกัด	ครบุรี/ นครราชสีมา	413.25	โรงงานน้ำตาล เอ็น.วาย.ชูการ์	จระเข้หิน /ครบุรี /นครราชสีมา	413.25	20.00	8,265.00
บริษัท อุตสาหกรรมน้ำตาลอีสาน จำกัด	สำราญ/ สามชัย/ กาฬสินธุ์	330.60	โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล อีสาน	สำราญ /สามชัย /กาฬสินธุ์	216.00	20.00	4,320.00
			โรงงานน้ำตาลมิตรกาฬสินธุ์	สมสะอาด /ภูจินารายณ์ /กาฬสินธุ์	114.60	73.96	8,475.82
ปริมาณกากน้ำตาลรวม (ตัน)					4,890.13		182,700.11
ระยะทางโรงงานน้ำตาลทรายถึงโรงงานเอทานอล (กม.)					37.36		

ที่มา: ^a กระทรวงพลังงาน (2551)

^b สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (2551)

^c กรมทางหลวง (2550)

ตารางผนวกที่ ก11 ระยะทางไร้อ้อยถึงโรงงานเอทานอล

โรงงาน	ตำแหน่งโรงงานเอทานอล	อ้อยที่ต้องการ ^า (ตัน/ ปี)	ตำแหน่งไร้อ้อย	อ้อยผลิตได้ ^บ (ตัน / ปี)	อ้อยที่ส่งให้โรงงาน เอทานอล(ตัน/ ปี)	ระยะทาง ^ค (กม.)	ปริมาณ × ระยะทาง (ตัน.กม.)
บริษัท ขอนแก่นแอลกอฮอล์ จำกัด	น้ำพอง/ ขอนแก่น	693,682.50	น้ำพอง/ ขอนแก่น	460,207	460,207	10	4,602,070
			กระนวน/ขอนแก่น	764,964	233,475	24.35	5,685,116
บริษัท อุตสาหกรรมอ่างเวียน จำกัด	แก้งสนามนาง/ นครราชสีมา	739,928.00	แก้งสนามนาง/ นครราชสีมา	295,432	295,432	10	2,954,320
			กิ่งอ.บัวลาย / นครราชสีมา	5,156	5,156	10.96	56,509
			บัวใหญ่/ นครราชสีมา	122,886	122,886	24.45	3,004,562
			บ้านเหลื่อม/ นครราชสีมา	166,832	166,832	29.54	4,928,217
			คง/นครราชสีมา	181,528	149,622	52.53	7,859,643
บริษัท เพโตรกรีน จำกัด	ภูเขียว/ ชัยภูมิ	924,910.00	ภูเขียว/ ชัยภูมิ	1,251,369	924,910	10	9,249,100
บริษัท น้ำตาลไทยเอทานอล จำกัด	ท่าไม้/ท่ามะกา/กาญจนบุรี	924,910.00	ท่ามะกา /กาญจนบุรี	370,840	370,840	10	3,708,400
			ท่าม่วง /กาญจนบุรี	622,332	622,332	16.31	10,150,234.
บริษัท ไทยรุ่งเรืองพลังงาน จำกัด	กิ่ง อ.วังม่วง / สระบุรี	554,946.00	กิ่ง อ.วังม่วง / สระบุรี	339,040	339,040	10	3,390,400
			มวกเหล็ก/ สระบุรี	298,077	215,906	29.75	6, 423,203
บริษัท เกลือเอทานอล จำกัด	หนองระเวียง /พิมาย/ นครราชสีมา	462,455.00	พิมาย/ นครราชสีมา	220,618	220,618	10	2,206,180
			ห้วยแถลง/ นครราชสีมา	155,840	155,840	40.43	6,300,611.
			จักราช / นครราชสีมา	238,473	85,997	42.36	3,642,832.

ตารางผนวกที่ ก11 (ต่อ)

โรงงาน	ตำแหน่งโรงงานเอทานอล	อ้อยที่ต้องการ ^า (ตัน/ ปี)	ตำแหน่งไร่อ้อย	อ้อยผลิตได้ ^บ (ตัน / ปี)	อ้อยที่ส่งให้โรงงาน เอทานอล (ตัน/ ปี)	ระยะทาง ^ค (กม.)	ปริมาณ × ระยะห่าง (ตัน.กม.)
บริษัท เอรಾವันเอทานอล จำกัด	นากลาง/ นากลาง/ หนองบัวลำภู	924,910.00	นากลาง/ หนองบัวลำภู	36,194	36,194	10	361,940
			กิ่งอ.เอรಾವัน /เลย	153,940	153,940	20.15	3,101,891
			เมือง/ หนองบัวลำภู	54,901	54,901	36.56	2,007,180.
			วังสะพุง /เลย	268,935	268,935	44.66	12,010,637
			สุวรรณคูหา /หนองบัวลำภู	16,951	16,951	51.31	869,755
			กิ่งอ.หนองหิน /เลย	103,314	103,314	52.64	5,438,448
			อ เมือง /เลย	10,068	10,068	64.66	650,996
			ศรีบุญเรือง/ หนองบัวลำภู	199,401	199,401	66.16	13,192,370
			โนนสัง/หนองบัวลำภู	5,838	5,838	73.92	431,544
			ผาขาว /เลย	155,702	75,368	77.59	5,847,803
ปริมาณรวม					5,294,003.00		118,073,970
ระยะทางระหว่างไร่อ้อยถึงโรงงานเอทานอล (กม.)							22.33

ที่มา: ^า กระทรวงพลังงาน (2551)

^บ สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (2551)

^ค กรมทางหลวง (2550)

3. ข้อมูลด้านการแปรรูปวัตถุดิบ

ตารางผนวกที่ ก12 พลังงานและแรงงานคนที่ใช้ในการผลิตมันเส้นเพื่อผลิตเอทานอล

รายละเอียด	หน่วย	พลังงานที่ใช้
<u>พลังงานทางตรง</u>		
- อัตราการใช้พลังงานของเครื่องสับ	kWh / ตันมันเส้น	0.30
<u>แรงงานคน</u>		
- การเคาะร้อนเอาดินออก		4
- การรวบรวมมันเส้นเข้าเครื่องสับ	คน-ชม./ ตันมันเส้น	4
- การพลิกและกลับมันเส้น		12
- การบรรจุใส่ภาชนะ		4
<u>ผลผลิตมันเส้น</u>	ตันมันเส้น / ตันมันสำปะหลัง	0.46

ที่มา: วรินทร์ (2548)

ตารางผนวกที่ ก13 วัตถุดิบและพลังงานที่ใช้ และผลผลิตหลักและผลผลิตร่วมที่ได้ในการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

รายการ	หน่วย	ปริมาณที่ผลิตได้	ปริมาณที่ใช้	ปริมาณที่ขาย
<u>มวลสารขาเข้า</u>				
อ้อย	ตัน	-	995.47	-
น้ำ	ตัน	-	781.33	-
Ca(OH) ₂	ตัน	-	6.53	-
พลังงานไอน้ำ	ตัน	432.83	420.80	12.03
พลังงานไฟฟ้า	MWh	17.77	14.98	2.79

ตารางผนวกที่ ก13 (ต่อ)

รายการ	หน่วย	ปริมาณที่ผลิตได้	ปริมาณที่ใช้	ปริมาณที่ขาย
<i>มวลสารขาออก</i>				
ชานอ้อย	ตัน	313.44	169.11	144.33
น้ำตาลทรายดิบ	ตัน	103.53	64.79	38.74
น้ำตาลทรายขาว	ตัน	49.74	-	49.74
กากน้ำตาล	ตัน	36.15	-	-

ที่มา: บุญยพัต (2546)

4. ข้อมูลด้านการผลิตเอทานอล

ตารางผนวกที่ ก14 แหล่งข้อมูลโรงงานผลิตเอทานอลจากงานวิจัยต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

งานวิจัย	โรงงานที่เก็บข้อมูล	วัตถุดิบที่ใช้	งานวิจัยนี้
เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์.การศึกษาโรงงานเอทานอลโดยการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตจากมันเส้น.	โรงงานต้นแบบ โดยบริษัทอูไทยเส็ง	มันสำปะหลัง (มันเส้น)	โรงงาน A
Suthamma Yoosin, An Assessment of ethanol supply potential from crops in Thailand.	TISTR's Pilot Plant	มันสำปะหลัง อ้อย	โรงงาน B
พองศ์ อนุศิษฐ์.การประเมินพลังงานและเศรษฐศาสตร์ของการผลิตเอทานอล.	โรงงานไทยแอลกอฮอล์	กากน้ำตาล	โรงงาน C
บุญยพัต สุกานิช. การบูรณาการกระบวนการผลิตเอทานอลกับโรงงานน้ำตาลและโรงงานแปรรูปมันสำปะหลังและประเมินเชิงเทคโนโลยีในการทำเอทานอลให้บริสุทธิ์.	โรงงานแห่งหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	กากน้ำตาล อ้อย	โรงงาน D

4.1 การผลิตเอทานอลจากมันเส้น

ตารางผนวกที่ ก15 มวลสารขาเข้า-มวลสารขาออก ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000 ลิตร
จากมันเส้น

ขั้นตอนการผลิตเอทานอล	(หน่วย : ตัน / เอทานอล 100,000 ลิตร)	
	โรงงานผลิตเอทานอล	
	โรงงาน A	โรงงาน B
<u>การเตรียมวัตถุดิบ</u>		
<u>มวลสารขาเข้า</u>		
- มันเส้น	290.06	-
- มันสำปะหลัง	-	858.78
- น้ำ	602.41	-
- ไฟฟ้า	4,518.1	-
- ไอน้ำ	23.23	-
<u>มวลสารขาออก</u>		
- มันเส้นผสมน้ำ	915.70	-
- มันสำปะหลัง (ปอกเปลือก)	-	772.91
- เปลือกมันสำปะหลัง	-	85.88
<u>ขั้นการผสมและการย่อยแป้งครั้งแรก</u>		
<u>มวลสารขาเข้า</u>		
- มันเส้นผสมน้ำ	915.70	-
- มันสำปะหลัง (ปอกเปลือก)	-	772.91
- น้ำ	-	791.30
- NaOH	0.53	-
- $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.28	-
- Termamyl 120L	0.21	0.26
- KPO_4	-	0.12
- $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	-	0.58
- ไฟฟ้า	1,621.9	na.
- ไอน้ำ	48.55	na.

ตารางผนวกที่ ก.15 (ต่อ)

(หน่วย : ตัน / เอทานอล 100,000 ลิตร)		
ขั้นตอนการผลิตเอทานอล	โรงงานผลิตเอทานอล	
	โรงงาน A	โรงงาน B
มวลสารขาออก		
- น้ำมันปะหลัง หรือ น้ำมันหลังย่อย	965.27	1,565.17
ขั้นตอนการย่อยครั้งสุดท้าย		
มวลสารขาเข้า		
- น้ำมันปะหลัง หรือ น้ำมัน หลังย่อยครั้งแรก	965.27	1,565.17
- AMG	0.24	0.21
- H ₂ SO ₄	0.45	0.53
- ไฟฟ้า	854.48	na.
- ไอน้ำ	3.00	na.
มวลสารขาออก		
- น้ำมันปะหลัง หรือ น้ำมัน หลังย่อยครั้งสุดท้าย	968.96	1,565.91
การเตรียมกล้าเชื้อ		
มวลสารขาเข้า		
- ยีสต์	na.	0.058
- อาหารเชื้อ	na.	37.36
- Anti foam	na.	0.0187
มวลสารขาออก		
- กล้าเชื้อ	100	37.44

ตารางผนวกที่ ก15 (ต่อ)

ขั้นตอนการผลิตเอทานอล	โรงงานผลิตเอทานอล	
	โรงงาน A	โรงงาน B
<u>การหมัก</u>		
<u>มวลสารขาเข้า</u>		
- มันสำปะหลัง หรือ มันเส้น	968.93	1,565.91
หลังย่อยครั้งสุดท้าย		
- กล้าเชื้อ	100	37.44
- ไฟฟ้า	15,118.20	na.
<u>มวลสารขาออก</u>		
- CO ₂	57.00	84.32
- เอทานอล 10%	1,011.93	1519.03
<u>ขั้นตอนการกรองการกลั่น</u>		
<u>มวลสารขาเข้า</u>		
- เอทานอล10%	1,011.93	1,519.03
- ไอน้ำ	243.28	239.81
- ไฟฟ้า	2,432.8	na.
<u>มวลสารขาออก</u>		
- เอทานอล 95.5%	86.34	83.06
- น้ำเสีย	1,024.61	1,026.79
- กากส่ำ (DDGS)	111.36	648.99
- ไอน้ำทิ้ง	32.90	na.
<u>การทำเอทานอลบริสุทธิ์</u>		
<u>มวลสารขาเข้า</u>		
- เอทานอล95.5%	86.34	83.06
- ไฟฟ้า	3524.66 ^a	na.
<u>มวลสารขาออก</u>		
- เอทานอล99.5%	78.97	78.90
- อื่นๆ	7.37	4.15

4.2 การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล

ตารางผนวกที่ ก16 มวลสารขาเข้า-มวลสารขาออก ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000ลิตร
จากกากน้ำตาล

(หน่วย : ตัน/ เอทานอล 100,000ลิตร)			
ขั้นตอนการผลิตเอทานอล	โรงงานผลิตเอทานอล		ค่าเฉลี่ย
	โรงงาน C	โรงงาน D	
<u>การเตรียมกล้าเชื้อ</u>			
มวลสารขาเข้า			
- ยีสต์	0.060	na.	0.060
- อาหารเชื้อ	37.41	na.	37.41
มวลสารขาออก			
- กล้าเชื้อ	38	na.	38
<u>การหมัก</u>			
มวลสารขาเข้า			
- กากน้ำตาล	221.00	330.00	275.50
- น้ำ	924.39	1,200	1,062.20
- กล้าเชื้อ	38.00	na.	38
- (NH ₄) ₂ SO ₄	0.53	na.	0.53
- ไฟฟ้า	13,574.84	na.	13,574.84
มวลสารขาออก			
- CO ₂	85.53	96.92	91.95*
- เอทานอล 10%	1,098.39	1,433.08	1,284.28*
<u>การกลั่น</u>			
มวลสารขาเข้า			
- เอทานอล10%	1,098.39	1,433.08	1,284.28*
- ไอน้ำ	334.68	374.64	354.66
- ไฟฟ้า	2,048.01	na.	2,059.04

ตารางผนวกที่ ก16 (ต่อ)

(หน่วย : ตัน/ เอทานอล 100,000ลิตร)

ขั้นตอนการผลิตเอทานอล	โรงงานผลิตเอทานอล		ค่าเฉลี่ย
	โรงงาน C	โรงงาน D	
มวลสารขาออก			
- เอทานอล 95.5%	83.55	83.05	83.05
- น้ำเสีย	1,303.58	1,691.09	1,516.13*
- ใอน้ำทิ้ง	45.94	33.58	39.76
การทำเอทานอลบริสุทธิ์			
มวลสารขาเข้า			
- เอทานอล95.5%	83.55 ^a	83.05	83.05
- ใอน้ำ	10.89 ^a	-	-
- ไฟฟ้า	-	3,524.66	3,524.66
มวลสารขาออก			
- เอทานอล99.5%	78.90 ^a	78.90	78.90
- อื่นๆ	15.54 ^a	4.15	4.15

หมายเหตุ : * คือ ค่าที่ได้จากการทำสมดุลมวลของกระบวนการผลิตเอทานอล

^a คือ ค่ามวลสารขาเข้าและมวลสารขาออกของกระบวนการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์แบบอะซิโโทรปซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้พิจารณาการทำให้เอทานอลบริสุทธิ์แบบดูดซับ Molecular Sieve จึงใช้ เฉพาะค่าของโรงงาน D

4.3 การผลิตเอทานอลจากอ้อย

ตารางผนวกที่ ก17 มวลสารขาเข้า-มวลสารขาออก ในกระบวนการผลิตเอทานอล 100,000ลิตร
จากอ้อย

(หน่วย :ตัน/ เอทานอล 100,000ลิตร)			
ขั้นตอนการผลิตเอทานอล	โรงงานผลิตเอทานอล		ค่าเฉลี่ย
	โรงงาน B	โรงงาน D	
<u>การสกัดหีบอ้อย</u>			
มวลสารขาเข้า			
- อ้อย	1,144.67	1,267.20	1,205.94
- น้ำ	516.64	324.73	420.69
- ไฟฟ้า	na.	11,578.95	11,578.95
มวลสารขาออก			
- น้ำอ้อย	1,262.43	1,136.84	1,199.64
- ชานอ้อย	398.88	455.09	426.99
<u>การเตรียมน้ำกลั่นเชื้อ</u>			
มวลสารขาเข้า			
- ยีสต์	0.058	na.	0.058
- อาหารเชื้อ	37.39	na.	37.39
- Anti foam	0.0187	na.	0.0187
มวลสารขาออก			
- น้ำกลั่นเชื้อ	37.45	na.	37.45
<u>การหมัก</u>			
มวลสารขาเข้า			
- น้ำอ้อย + น้ำกลั่นเชื้อ	1,299.88	1,174.29	1,237.10
- (NH ₄) ₂ SO ₄	0.530	na.	0.530
- ไฟฟ้า	na.	na.	12,081.51 ^a

ตารางผนวกที่ ก17 (ต่อ)

(หน่วย : ตัน/ เอทานอล 100,000ลิตร)

ขั้นตอนการผลิตเอทานอล	โรงงานผลิตเอทานอล		ค่าเฉลี่ย
	โรงงาน B	โรงงาน D	
มวลสารขาออก			
- CO ₂	92.70	96.00	94.35
- เอทานอล 10%	1,207.71	1,078.29	1,143.00
การกลั่น			
มวลสารขาเข้า			
- เอทานอล10%	1,207.71	1,078.29	1,143.00
- ไอน้ำ	240.00	374.64	307.32
- ไฟฟ้า	na.	na.	2,018.42 ^a
มวลสารขาออก			
- เอทานอล 95.5%	83.12	80.35	81.85
- น้ำเสีย	1,427.59	1,334.61	1,330.50*
- ไอน้ำทิ้ง	na.	37.97	37.97
การทำเอทานอลบริสุทธิ์			
มวลสารขาเข้า			
- เอทานอล95.5%	83.12	80.63	81.85
- ไฟฟ้า	na.	3,524.66	3,524.66
มวลสารขาออก			
- เอทานอล99.5%	78.90	78.90	78.90
- อื่นๆ	4.22	1.73	2.95

หมายเหตุ: * คือ ค่าที่ได้จากการทำสมดุลมวลของกระบวนการผลิตเอทานอล

- ^a คือ ค่าการใช้ไฟฟ้าที่ได้จากโรงงาน C เนื่องด้วยโรงงาน B ไม่มีข้อมูลการใช้ไฟฟ้าโดยละเอียดในแต่ละขั้นตอน มีเพียงข้อมูลการใช้ไฟฟ้ารวมที่มีการใช้ไฟฟ้า ปริมาณ 27,000 kWh. ต่อเอทานอล 100,000 ลิตร โดยจากงานวิจัย (พอพงส์, 2544) กล่าวไว้ว่า
- ค่าพลังงานไฟฟ้าในขั้นตอนการหมักมีค่า 10.57 kWh / 1 ตันเอทานอล 10 เปอร์เซ็นต์
 - ค่าพลังงานไฟฟ้าในขั้นตอนการกลั่นมีค่า 24.66 kWh / 1 ตันเอทานอล 95.5 เปอร์เซ็นต์

ตารางผนวกที่ ก18 ค่าการปันส่วนของกระบวนการผลิตกากน้ำตาลในรูปผลผลิตร่วมกับกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย

ผลผลิต	ปริมาณ (ตัน)	Mass allocation Factor	ค่าพลังงานความร้อน (MJ / หน่วย)	พลังงาน (MJ)	Energy allocation Factor	ราคา (บาท / หน่วย)	ราคา (บาท)	Economic allocation Factor
น้ำตาลทรายดิบ	295.24	0.14	10050	2,967,162	0.17	16410	4,844,888	0.38
น้ำตาลทรายขาว	379.01	0.18	10050	3,809,051	0.22	17310	6,560,663	0.51
ชานอ้อย	1099.44	0.54	7530	8,278,783	0.48	400	439,776	0.03
กากน้ำตาล	275.5	0.13	8210	2,261,855	0.13	3800	1,046,900	0.08
<u>ปริมาณรวม</u>	2049.19	1.00		17,316,851	1.00		12892227.50	1.00

ตารางผนวกที่ ก19 ค่าการปันส่วนของกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบประเภทต่างๆ

ผลผลิต	ปริมาณ (ตัน)	Mass allocation Factor	ค่าพลังงานความร้อน (MJ / หน่วย)	พลังงาน (MJ)	Energy allocation Factor	ราคา (บาท / หน่วย)	ราคา (บาท)	Economic allocation Factor
<u>มันสำปะหลัง</u>								
เอทานอล 99.5%	78.9	0.41	21.00	2,100,000	0.60	17.52	1,752,000	0.95
กากสำ	111.36	0.59	12810.00	1,426,522	0.40	900	100,224	0.05
ปริมาณรวม	190.26	1.00		3,526,522	1.00		1,852,224	1.00
<u>กากน้ำตาล</u>								
เอทานอล 99.5%	78.9	1.00	21.00	2,100,000	1.00	17.52	1,752,000	1.00
ปริมาณรวม	78.9	1.00		2,100,000	1.00		1,752,000	1.00
<u>อ้อย</u>								
เอทานอล 99.5%	78.9	0.16	21.00	2,100,000	0.40	17.52	1,752,000	0.91
ขานอ้อย	426.99	0.84	7530.00	3,215,235	0.60	400	170,796	0.09
ปริมาณรวม	505.89	1.00		5,315,235	1.00		1,922,796	1.00

ภาคผนวก ข.

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

1. ค่าเทียบเท่าของมลสารของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ

ตารางผนวกที่ ข1 ค่าเทียบเท่าของมลสารของการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

(หน่วย: kg CO₂ / kg)

มลสาร	ค่าเทียบเท่า	แหล่งที่ปล่อย
Carbon dioxide	1	อากาศ
Carbon dioxide, biogenic	1	อากาศ
Carbon dioxide, fossil	1	อากาศ
Carbon dioxide, in air	-1	อากาศ
Chlorinated fluorocarbons, hard	7,100	อากาศ
Chlorinated fluorocarbons, soft	1,600	อากาศ
Chloroform	25	อากาศ
Dinitrogen monoxide	270	อากาศ
Ethane, 1-chloro-1,1-difluoro-, HCFC-142	1,800	อากาศ
Ethane, 1,1-dichloro-1-fluoro-, HCFC-141b	580	อากาศ
Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	150	อากาศ
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	100	อากาศ
Ethane, 1,1,1-trifluoro-, HCFC-143a	3,800	อากาศ
Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	1,200	อากาศ
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	4,500	อากาศ
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	7,000	อากาศ
Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124	440	อากาศ
Ethane, 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoro-, HCFC-123	90	อากาศ
Ethane, chloropentafluoro-, CFC-115	7,000	อากาศ
Ethane, hexafluoro-, HFC-116	6,200	อากาศ
Ethane, pentafluoro-, HFC-125	3,400	อากาศ
Methane	11	อากาศ
Methane, biogenic	11	อากาศ

ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

(หน่วย: kg CO ₂ / kg)		
มลสาร	ค่าเทียบเท่า	แหล่งที่ปล่อย
Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	4,900	อากาศ
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	4,900	อากาศ
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	1,600	อากาศ
Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	13,000	อากาศ
Methane, dichloro-, HCC-30	15	อากาศ
Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	7,100	อากาศ
Methane, fossil	11	อากาศ
Methane, tetrachloro-, CFC-10	1,300	อากาศ
Methane, tetrafluoro-, FC-14	4,500	อากาศ
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	3,400	อากาศ

ตารางผนวกที่ ข2 ค่าเทียบเท่าของมลสารที่ก่อให้เกิดสภาวะความเป็นกรด

(หน่วย: kg SO ₂ / kg)		
มลสาร	ค่าเทียบเท่า	แหล่งที่ปล่อย
Ammonia	1.88	อากาศ
Ammonium nitrate	0.4	อากาศ
Ammonium, ion	1.78	อากาศ
Hydrogen chloride	0.88	อากาศ
Hydrogen fluoride	1.6	อากาศ
Nitric acid	0.51	อากาศ
Nitric oxide	1.07	อากาศ
Nitrogen dioxide	0.7	อากาศ
Nitrogen oxides	0.7	อากาศ
Sulfur oxides / Sulfur dioxide	1	อากาศ
Sulfur trioxide	0.8	อากาศ
Sulfuric acid	0.65	อากาศ

ตารางผนวกที่ ข3 ค่าเทียบเท่าของมลสารที่ก่อให้เกิดยูโทรฟิเคชัน

(หน่วย: kg PO₄⁻ / kg)

มลสาร	ค่าเทียบเท่า	แหล่งที่ปล่อย
Ammonia	0.33	อากาศ
Ammonia	0.33	น้ำ
Ammonia	0.33	ดิน
Ammonium carbonate	0.12	อากาศ
Ammonium nitrate	0.074	อากาศ
Ammonium nitrate	0.074	ดิน
Ammonium, ion	0.33	อากาศ
Ammonium, ion	0.33	ดิน
Ammonium, ion	0.33	น้ำ
COD, Chemical Oxygen Demand	0.022	น้ำ
Kjeldahl-N	0.42	น้ำ
Nitrate	0.1	น้ำ
Nitrate	0.1	ดิน
Nitrate	0.1	อากาศ
Nitric acid	0.093	อากาศ
Nitric acid	0.093	น้ำ
Nitric acid	0.093	ดิน
Nitric oxide	0.2	อากาศ
Nitrite	0.13	อากาศ
Nitrite	0.13	น้ำ
Nitrogen	0.42	น้ำ
Nitrogen dioxide	0.13	อากาศ
Nitrogen oxides	0.13	น้ำ
Nitrogen oxides	0.13	ดิน
Nitrogen oxides	0.13	อากาศ
Nitrogen, total	0.42	อากาศ
Nitrogen, total	0.42	น้ำ

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

(หน่วย: kg PO₄⁻ / kg)

มลสาร	ค่าเทียบเท่า	แหล่งที่ปล่อย
Nitrogen, total	0.42	ดิน
Phosphate	1	น้ำ
Phosphate	1	อากาศ
Phosphate	1	ดิน
Phosphoric acid	0.97	น้ำ
Phosphoric acid	0.97	อากาศ
Phosphoric acid	0.97	ดิน
Phosphorus	3.06	อากาศ
Phosphorus	3.06	ดิน
Phosphorus	3.06	น้ำ
Phosphorus pentoxide	1.34	อากาศ
Phosphorus pentoxide	1.34	น้ำ
Phosphorus pentoxide	1.34	ดิน
Phosphorus, total	3.06	อากาศ
Phosphorus, total	3.06	น้ำ
Phosphorus, total	3.06	ดิน

ตารางผนวกที่ ข4 ค่าเทียบเท่าของสารก่อมะเร็ง

(หน่วย: kg Benzo(a)pyrene/ kg)

มลสาร	ค่าเทียบเท่า00000	แหล่งที่ปล่อย
Acrylonitrile	0.00022	อากาศ
Arsenic	0.044	อากาศ
Benzene	0.000044	อากาศ
Benzene, ethyl-	0.000044	อากาศ
Benzo(a)pyrene	1	อากาศ
Chromium VI	0.44	อากาศ
Ethene, chloro-	0.000011	อากาศ

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

มลสาร	(หน่วย: kg Benzo (a) pyrene/ kg)	
	ค่าเทียบเท่า	แหล่งที่ปล่อย
Fluoranthene	1	อากาศ
Hydrocarbons, aromatic	0.000044	อากาศ
Metals, unspecified	0.0001786	อากาศ
Nickel	0.0044	อากาศ
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	0.4792	อากาศ
Tar	0.000044	อากาศ

ที่มา: โปรแกรม SimaPro Version 7

ตารางผนวกที่ ข5 ค่าเทียบเท่าของโลหะหนัก

มลสาร	(หน่วย: kg Pb / kg)	
	ค่าเทียบเท่า	แหล่งที่ปล่อย
Antimony	2	น้ำ
Arsenic, ion	1	น้ำ
Barium	0.014	น้ำ
Boron	0.03	น้ำ
Cadmium	50	อากาศ
Cadmium oxide	50	อากาศ
Cadmium, ion	3	น้ำ
Chromium	0.2	น้ำ
Copper, ion	0.005	น้ำ
Heavy metals, unspecified	1	อากาศ
Lead	1	อากาศ
Lead	1	น้ำ
Manganese	1	อากาศ
Manganese	0.02	น้ำ
Mercury	1	อากาศ

ตารางผนวกที่ ๕ (ต่อ)

(หน่วย: kg Pb / kg)		
มลสาร	ค่าเทียบเท่า	แหล่งที่ปล่อย
Mercury	10	น้ำ
Metallic ions, unspecified	0.002223	น้ำ
Metals, unspecified	0.03867	อากาศ
Molybdenum	0.14	น้ำ
Nickel, ion	0.5	น้ำ

ที่มา: โปรแกรม SimaPro Version 7

ตารางผนวกที่ ข6 ค่าเทียบเท่าของมลสารที่ก่อให้เกิดการลดลงของชั้นโอโซน

(หน่วย: kg CFC11 / kg)

มลสาร	ค่าเทียบเท่า	แหล่งที่ปล่อย
Chlorinated fluorocarbons, hard	1	อากาศ
Chlorinated fluorocarbons, soft	0.055	อากาศ
Ethane, 1-chloro-1,1-difluoro-, HCFC-142	0.065	อากาศ
Ethane, 1,1-dichloro-1-fluoro-, HCFC-141b	0.11	อากาศ
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	0.12	อากาศ
Ethane, 1,1,1-trifluoro-2,2-chlorobromo-, Halon 2311	0.14	อากาศ
Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-2-bromo-, Halon 2401	0.25	อากาศ
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	1.07	อากาศ
Ethane, 1,2-dibromotetrafluoro-, Halon 2402	7	อากาศ
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	0.8	อากาศ
Ethane, 2-chloro-1,1,1,2-tetrafluoro-, HCFC-124	0.022	อากาศ
Ethane, 2,2-dichloro-1,1,1-trifluoro-, HCFC-123	0.02	อากาศ
Ethane, chloropentafluoro-, CFC-115	0.5	อากาศ
Methane, bromo-, Halon 1001	0.6	อากาศ
Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	4	อากาศ
Methane, bromodifluoro-, Halon 1201	1.4	อากาศ
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	16	อากาศ
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	0.055	อากาศ
Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	1	อากาศ
Methane, dibromodifluoro-, Halon 1202	1.25	อากาศ
Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	1	อากาศ
Methane, tetrachloro-, CFC-10	1.08	อากาศ
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	1	อากาศ
Propane, 1,3-dichloro-1,1,2,2,3-pentafluoro-, HCFC-225cb	0.033	อากาศ
Propane, 3,3-dichloro-1,1,1,2,2-pentafluoro-, HCFC-225ca	0.025	อากาศ

ที่มา: โปรแกรม SimaPro Version 7

ตารางผนวกที่ ข7 ค่าการให้ขนาดผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Normalization Factor)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	ค่าขนาดผลกระทบสิ่งแวดล้อม (kg/ Person eq. / year)
Greenhouse gas	0.0000742
Acidification	0.00888
Eutrophication	0.0262
Carcinogens	106
Heavy metals	17.8
Ozone layer	1.24

ตารางผนวกที่ ข8 การเปรียบเทียบอัตราการใช้เชื้อเพลิงและมลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมของรถบรรทุกขนาด 16 28 และ 40 ตัน

รายการ	ความจุรถบรรทุก (ตัน)		
	16	28	40
มลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม (กก./กม.)			
- Benzo(a)pyrene	2.50×10^{-11}	7.68×10^{-12}	3.00×10^{-12}
- Benzene	5.00×10^{-10}	1.54×10^{-9}	6.00×10^{-10}
- Cd	1.31×10^{-10}	7.50×10^{-11}	3.25×10^{-11}
- CH ₄	9.50×10^{-10}	2.00×10^{-7}	7.20×10^{-8}
- CO	5.10×10^{-5}	1.34×10^{-5}	4.75×10^{-6}
- CO ₂	1.57×10^{-2}	4.82×10^{-3}	1.89×10^{-3}
- N ₂ O	2.20×10^{-6}	6.75×10^{-7}	2.65×10^{-7}
- NMVOC	2.75×10^{-5}	6.61×10^{-6}	2.28×10^{-6}
- NO	1.95×10^{-4}	6.14×10^{-5}	2.46×10^{-5}
- PM ₁₀	1.25×10^{-5}	3.38×10^{-6}	1.26×10^{-6}
- Pb	1.11×10^{-9}	5.00×10^{-10}	2.11×10^{-10}
- SO	1.30×10^{-5}	4.00×10^{-6}	1.56×10^{-6}
- Zn	3.44×10^{-7}	2.04×10^{-7}	9.00×10^{-8}

ภาคผนวก ค.

การประเมินประสิทธิภาพเชิงพลังงาน

1. ค่าพลังงานของปัจจัยการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล

ตารางผนวกที่ ค1 ค่าพลังงานของปัจจัยการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล ที่ใช้ทั้งหมดในงานวิจัย

รายการ	หน่วย	ค่าพลังงาน	แหล่งที่มา
น้ำมันเบนซิน	MJ / ลิตร	31.48	กระทรวงพลังงาน(2551)
น้ำมันดีเซล	MJ / ลิตร	36.42	กระทรวงพลังงาน (2551)
ปุ๋ยไนโตรเจน	MJ / กก.	46.15	จากการคำนวณ
ปุ๋ยฟอสฟอรัส	MJ / กก.	9.37	จากการคำนวณ
ปุ๋ยโพแทสเซียม	MJ / กก.	1.94	จากการคำนวณ
ยากำจัดวัชพืช (Atrazine)	MJ / กรัม	99.29	จากการคำนวณ
พลังงานไฟฟ้า	MJ / kWh.	7.41	จากการคำนวณ
พลังงานไอน้ำ	MJ / ตัน	3,249	จากการคำนวณ
น้ำประปา	MJ / ลิตร	0.02	จากการคำนวณ
Ca(OH) ₂	MJ / กก.	3.91	จากการคำนวณ
CaCl ₂ ·6H ₂ O	kJ / กรัม	6.06	จากการคำนวณ
NaOH	MJ / กรัม	17.12	จากการคำนวณ
H ₂ SO ₄	MJ / กก.	0.11	จากการคำนวณ
(NH ₄) ₂ SO ₄	MJ / กก.	28.99	จากการคำนวณ
Termamyl	MJ / กรัม	6.32	เจริญศักดิ์ (2546)
AMG	MJ / กรัม	6.32	เจริญศักดิ์ (2546)
แรงงานคน	MJ / คน-ชม.	0.63	อาชัย (2545)

1.1 วิธีการคำนวณค่าพลังงาน

การคำนวณค่าพลังงาน คำนวณได้นำปริมาณพลังงานปฐมภูมิที่ใช้ในการผลิต (พลังงานปฐมภูมิจะประกอบด้วย น้ำมันดีเซล ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ไฟฟ้า พลังงานน้ำ น้ำมันดิบและน้ำมันเตา เป็นต้น) คูณด้วยค่าพลังงานความร้อนของพลังงานปฐมภูมิ โดยค่าพลังงานความร้อนของพลังงานปฐมภูมิแสดงดังตารางผนวกที่ ค2

ตารางผนวกที่ ค2 ค่าพลังงานความร้อนของพลังงานปฐมภูมิ

ประเภท	ค่าพลังงานความร้อน	หน่วย	แหล่งที่มา
น้ำมันดีเซล	36.42	MJ / ลิตร	กระทรวงพลังงาน (2551)
น้ำมันเบนซิน	31.48	MJ / ลิตร	กระทรวงพลังงาน (2551)
ก๊าซธรรมชาติ	33.07	MJ / กก.	กระทรวงพลังงาน (2551)
ถ่านหิน	26.37	MJ / กก.	กระทรวงพลังงาน (2551)
พลังงานน้ำ	0.01	MJ/ ลิตร	SimaPro 7.0
น้ำมันดิบ	39.7	MJ/ ลิตร	กระทรวงพลังงาน (2551)
น้ำมันเตา (Heavy Fuel Oil)	43.07	MJ/ ลิตร	กระทรวงพลังงาน (2551)
น้ำมันเตา (Light fuel oil)	34.53	MJ/ ลิตร	กระทรวงพลังงาน (2551)

โดยค่าพลังงานปฐมภูมิที่ใช้ในการผลิตของปัจจัยการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล แสดงดังตารางผนวกที่ ค3

ตารางผนวกที่ ค3 ปริมาณพลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตปัจจัยการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิต

รายการ ^a	หน่วย	น้ำมันดีเซล (ลิตร)	ก๊าซธรรมชาติ (กก.)	ถ่านหิน (กก.)	ไฟฟ้า (kWh.)	พลังงานน้ำ (ลิตร)	น้ำมันดิบ (ลิตร)	น้ำมันเตา HFO (ลิตร)	น้ำมันเตา LFO (ลิตร)
พลังงานไฟฟ้า ^b	1 kWh		0.043	0.092		0.091	0.090		
น้ำประปา ^c	1 ลิตร		2.64×10^{-5}		0.018	1.04			2.54×10^{-8}
ไอน้ำ	1 ตัน		0.031		20.9	1,220		70	2.97×10^{-5}
ปุ๋ย N	1 ตัน	0.75	1,000	229	209			126	
ปุ๋ย K ₂ O	1 ตัน		212	32.7		7,900			
ปุ๋ย P ₂ O ₅	1 ตัน		220	69		2.80×10^4			
ยากำจัดวัชพืช	1 กก.		1.73		2.54			0.54	
H ₂ SO ₄	1 ตัน		3.32						
Ca(OH) ₂	1 กก.				0.043			0.077	5.62×10^{-5}
(NH ₄)SO ₄	1 กก.	4.10×10^{-4}	0.67	0.05	0.15			0.10	
NaOH	1 ตัน		123	39	39.7	7,550	70.8		0.027
CaCl ₂ .6H ₂ O	1 กก.		5.70×10^{-3}	0.1701	0.10	54.7		2.22×10^{-4}	2.00×10^{-3}

ที่มา: ^a โปรแกรม SimaPro Version 7

- ^b Varabuntoonvit, V (2002)

- ^c นงศ์นุช (2547)

-

- ตัวอย่างการคำนวณค่าพลังงานความร้อนของพลังงานไฟฟ้า

พลังงานปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันดิบ ถ่านหิน และพลังงานน้ำ ดังนั้นค่าพลังงานไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จากสมการที่

$$En_{\text{พลังงานไฟฟ้า}} = (Q_{\text{ก๊าซธรรมชาติ}} \times En_{\text{ก๊าซธรรมชาติ}}) + (Q_{\text{น้ำมันดิบ}} \times En_{\text{น้ำมันดิบ}}) + (Q_{\text{ถ่านหิน}} \times En_{\text{ถ่านหิน}}) + (Q_{\text{พลังงานน้ำ}} \times En_{\text{พลังงานน้ำ}})$$

โดยที่ En คือ ค่าพลังงาน (MJ / หน่วย)

Q คือ ปริมาณที่ใช้ (หน่วย)

ดังนั้นค่าพลังงานความร้อนของพลังงานไฟฟ้า มีค่า

$$\begin{aligned} En_{\text{พลังงานไฟฟ้า}} \text{ (MJ / kWh)} &= [(4.28 \times 10^{-2}) \times 33.07] + [(9.01 \times 10^{-2}) \times 39.70] \\ &\quad + [(9.15 \times 10^{-2}) \times 26.37] + [(9.16 \times 10^{-2}) \times 0.01] \\ &= 7.41 \text{ MJ / KWh} \end{aligned}$$

โดยค่าพลังงานปัจจัยการผลิตตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตเอทานอล คำนวณได้ในทำนองเดียวกันนี้ โดยการหาคำนวณแปรตามชนิดและปริมาณพลังงานปฏิกิริยาที่ใช้

1.2 พลังงานจากแรงงานคน

พลังงานที่ใช้จากแรงงานคน ได้จากการศึกษาของงานวิจัยเรื่อง “การประเมินศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงทดแทนจากพืชเชื้อเพลิงท้องถิ่น” ที่มีการกล่าวถึงการใช้พลังงานคนในการทำงาน และกิจกรรมอื่นๆ ประจำวันแสดงดังตารางผนวกที่ ค4

ตารางผนวกที่ ค4 พลังงานจากแรงงานคนที่ใช้ในกิจกรรมประจำวันในแต่ละวัน

กิจกรรม	เวลา (ชม.)	พลังงานที่ใช้ (MJ)
ช่วงเวลานอน	8	2.02
ช่วงเวลาทำงาน	7	4.32
ช่วงเวลาทำกิจกรรมอื่น	2	1.51
ช่วงเวลาที่เหลือจากการทำงาน	7	2.47

ที่มา: อาชัย (2545)

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงกำหนดแรงงานคนในการทำงานมีค่าเท่ากับ 4.32 MJ/7 ชั่วโมง/วัน
ดังนั้นค่าพลังงานแรงงานคนในการทำงานจึงมีค่า 0.63 MJ/คน-ชม

ตารางผนวกที่ ค5 ค่าพลังงานความร้อนของเอทานอลและผลผลิตรวมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล

รายการ	หน่วย	ค่าพลังงานความร้อน	แหล่งที่มา000
เอทานอล	MJ / ลิตร	21.00	กระทรวงพลังงาน (2550)
ซานอ้อย	MJ / กิโลกรัม	7.53	กระทรวงพลังงาน (2550)
กากส่ำ (DDGS)	MJ / กิโลกรัม	12.81	Malca, J (2005)
น้ำตาลทราย	MJ / กิโลกรัม	10.05	Malca, J (2005)
กากน้ำตาล	MJ / กิโลกรัม	8.21	Malca, J (2005)

ตารางผนวกที่ ค6 จำนวนคนงานและพลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอลของโรงงานเอทานอลที่
กำลังการผลิต 100,000 ลิตร/วัน

ตำแหน่ง	จำนวน (คน)	จำนวนชั่วโมงทำงาน (ชม)	พลังงานที่ใช้ (MJ)
ผู้จัดการทั่วไป	1	8	4.96
ผู้จัดการฝ่าย	5	8	24.8
วิศวกร	10	8	49.6
ผู้ช่วยฝ่ายบริหาร	5	8	24.8
หัวหน้าแผนก	7	8	34.72
เลขานุการ	5	8	24.8
พลังงานรวม (MJ / เอทานอล 100,000ลิตร)			163.68

ที่มา: อภิศักดิ์ (2549)

ภาคผนวก ง.

การประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

1. รายละเอียดต้นทุนต่างๆ ในด้านการเพาะปลูก

ตารางผนวกที่ 1 ต้นทุนที่ใช้ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังและอ้อย

รายการ	แหล่งขาย / แหล่งข้อมูล	ราคา (บาทต่อหน่วย)	ราคาเฉลี่ย (บาทต่อหน่วย)
เครื่องสูบน้ำ (รุ่น WP2-55)	บริษัท โนวา อินเตอร์เทรด	8,200	8,200
เครื่องพ่นยากำจัดวัชพืช	บริษัท รุจิรา จำกัด	6,500	6,500
ยากำจัดวัชพืช ประเภท Atrazine (กก.)	สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร	156	156
ปุ๋ย สูตร 15-15-15 (ตัน)	บริษัท ไทยเซ็นทรัลเคมี จำกัด	7,900	7,550
	บริษัท ปุ๋ยไทย จำกัด	7,750	
	บริษัท อากเนย์ เกษตรกรรม	8,000	
	บริษัท ปุ๋ยไวคิง จำกัด	7,200	
	บริษัท ปุ๋ยแห่งชาติ	6,800	
	บริษัท คาร์กิลล์สยาม จำกัด	8,000	
	บริษัท เวิลด์เฟอท	7,200	
ปุ๋ย สูตร 21-0-0 (ตัน)	บริษัท ไทยเซ็นทรัลเคมี จำกัด	4,250	4,290
	บริษัท ปุ๋ยไทย จำกัด	4,200	
	บริษัท เจียไต๋ จำกัด	4,400	
	บริษัท อากเนย์ เกษตรกรรม	4,400	
	บริษัท ปุ๋ยแห่งชาติ	4,200	
ปุ๋ย สูตร 13-13-21 (ตัน)	บริษัท ปุ๋ยไทย จำกัด	7,750	7,790
	บริษัท อากเนย์ เกษตรกรรม	8,000	
	บริษัท ปุ๋ยไวคิง จำกัด	8,000	
	บริษัท คาร์กิลล์สยาม จำกัด	8,000	
	บริษัท เวิลด์เฟอท	7,200	

2. รายละเอียดต้นทุนต่างๆ ในด้านการขนส่ง

ตารางผนวกที่ ง2 ราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2550 (วันที่ 6 ม.ค. 2550 – 10 พ.ย. 2550)

(หน่วย: บาท/ลิตร)

วัน/เดือน/ปี	น้ำมันเบนซิน 95	น้ำมันดีเซล	วัน/เดือน/ปี	น้ำมันเบนซิน 95	น้ำมันดีเซล
06/01/07	26.49	22.94	02/06/07	29.99	25.34
09/01/07	25.99	22.94	07/07/07	30.39	25.34
13/01/07	25.59	22.54	11/07/07	30.39	25.74
19/01/07	25.19	22.54	14/07/07	29.99	25.74
03/02/07	25.59	22.94	19/07/07	29.59	25.74
08/02/07	25.59	23.34	17/07/07	29.19	25.74
21/02/07	25.59	22.94	04/08/07	28.79	25.74
24/02/07	25.99	22.94	09/08/07	28.39	25.34
01/03/07	26.39	23.34	01/09/07	28.79	25.74
04/03/07	26.79	23.34	08/09/07	29.19	26.14
08/03/07	27.19	23.34	13/09/07	29.19	25.54
13/03/07	27.59	23.74	18/09/07	29.59	26.94
29/03/07	27.99	24.14	22/09/07	29.99	27.34
04/04/07	28.39	24.54	17/10/07	30.39	27.34
11/04/07	28.79	24.94	23/10/07	30.79	27.74
26/04/07	29.19	25.34	31/10/07	31.19	28.14
03/05/07	25.59	25.34	08/11/07	31.69	28.14
12/05/07	29.99	25.34	09/11/07	31.69	28.64
19/05/07	30.39	25.34	10/11/07	31.99	28.64
ราคาน้ำมันเฉลี่ย (บาท/ลิตร)				28.57	25.18

ที่มา : ปีโตรเลียมแห่งประเทศไทย [ปตท.] (2550)

3. รายละเอียดต้นทุนต่างๆ ในด้านการแปรรูปวัตถุดิบ

ตารางผนวกที่ ง3 ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตมันเส้น (Investment Cost)

รายการ	หน่วย	ต้นทุน (บาท/หน่วย)	อายุการใช้งาน (ปี)
ลานตากมันเส้น	1 งาน	19440	10
เครื่องสับหัวมันขนาดเล็ก	1 เครื่อง	3489	5
ตาข่าย	1 เครื่อง	800	5
คราด	1 อัน	155	5
พลั่ว	1 อัน	131	5
ผ้าใบ	1 ผืน	843	3
ไม้พลิกชั้นมัน	1 อัน	60	2
ไม้ดันชั้นมัน	1 อัน	60	2
ข่ง	1 ใบ	150	2
ไม้กวาด	1 อัน	31	2

ที่มา : วรินทร์ (2548)

3. รายละเอียดต้นทุนต่างๆ ในด้านการแปรรูปวัตถุดิบ

ตารางผนวกที่ ๔4 รายละเอียดต้นทุนต่างๆ ในด้านการผลิตเอทานอล

รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคารวม	วัตถุดิบในการผลิตเอทานอล		
				มันสำปะหลัง	กากน้ำตาล	อ้อย
เครื่องปอกเปลือกมัน*	1	2,500,000	2,500,000	มี	ไม่มี	ไม่มี
เครื่องล้างมันสำปะหลัง*	1	1,500,000	1,500,000	มี	ไม่มี	ไม่มี
Silcer*	1	3,583,000	3,583,000	มี	ไม่มี	ไม่มี
เครื่องโม่มันสำปะหลัง*	1	5,630,625	5,630,625	มี	ไม่มี	ไม่มี
Hummer mill*	1	1,023,750	1,023,750	มี	ไม่มี	ไม่มี
ถังผสม	2	281,953	563,906	มี	ไม่มี	ไม่มี
ถังแอมโมเนียมซัลเฟต	1	475,591	475,591	มี	มี	มี
ถังโพแทสเซียมซัลเฟต	1	144,281	144,281	มี	ไม่มี	ไม่มี
ถัง Tremamyl	1	212,283	212,283	มี	ไม่มี	ไม่มี
ถังกรดซัลฟูริก	1	420,464	420,464	มี	ไม่มี	ไม่มี
ถังน้ำย่อย AMG	1	212,283	212,283	มี	ไม่มี	ไม่มี
ถัง Liquefaction	2	281,953	563,906	มี	ไม่มี	ไม่มี
ถัง Saccharification	6	498,544	2,991,264	มี	ไม่มี	ไม่มี

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย	ราคารวม	วัตถุดิบในการผลิตเอทานอล		
				มันสำปะหลัง	กากน้ำตาล	อ้อย
ถังหมัก	12	4,393,893	52,726,716	มี	มี	มี
ถังดักเก็บ CO ₂	1	2,655,944	2,655,944	มี	มี	มี
เครื่องกรอง	1	6,431,000	6,431,000	มี	มี	มี
ถังพัก	2	954,547	1,909,094	มี	มี	มี
หอกกลั่น	1	61,000,000	61,000,000	มี	มี	มี
หอดูดซับ (Molecular Sieve)	12	10,500,000	126,000,000	มี	มี	มี
ถังเก็บน้ำ	6	800,000	4,800,000	มี	มี	มี
ถังเก็บเอทานอล	2	4,249,061	8,498,122	มี	มี	มี
เครื่องสกัดน้ำอ้อย	1	7,678,000	7,678,000	ไม่มี	ไม่มี	มี
เครื่อง Mills	1	4,606,800	4,606,800	ไม่มี	ไม่มี	มี
ถัง Clarification	2	345,053	690,106	ไม่มี	ไม่มี	มี
ถังกากน้ำตาล	1	518,984	518,984	ไม่มี	มี	ไม่มี
ต้นทุนรวมทั้งหมด				826,071,474	801,543,868	830,840,750

หมายเหตุ: * คือ อุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นในกระบวนการผลิตเอทานอลจากหัวมันสำปะหลังสด

ที่มา: Yosin, S (2001)

ตารางผนวกที่ ๖5 รายละเอียดต้นทุนต่างๆ ในระบบบำบัดน้ำเสียของกระบวนการผลิตเอทานอลที่
กำลังผลิต 100,000 ลิตร

รายการ	ราคา (บาท)
เครื่องเติมอากาศ	15,000,000
เครื่องกำจัดตะกอน	8,500,000
บ่อน้ำเสีย	5,000,000
รวม	28,500,000
Foundation (10%)	2,850,000
ระบบไฟฟ้าและควบคุม (15%)	4,275,000
รวม	35,625,000

ที่มา: Yosin, S (2001)

ตารางผนวกที่ ๖6 ค่าแรงงานพนักงานในตำแหน่งต่างๆ ของการผลิตเอทานอลที่กำลังการผลิต
100,000 ลิตร

ตำแหน่ง	จำนวน (คน)	เงินเดือน(บาท/เดือน)	ค่าใช้จ่าย(บาท /วัน)
ผู้จัดการทั่วไป	1	30,000.00	1,000.00
รองผู้จัดการ	1	15,000.00	500.00
พนักงานประจำ	2	7,260.00	484.00
เสมียน	1	4,440.00	148.00
คนขับรถ	2	4,440.00	296.00
ยาม	6	4,440.00	888.00
หัวหน้าคนงาน	3	7,260.00	726.00
พนักงานฝ่ายปฏิบัติงาน	9	4,440.00	1,332.00
คนงาน	3	4,440.00	444.00
รวม	28	81,720.00	5,818.00

ที่มา: อภิศักดิ์ (2549)

ตารางผนวกที่ 7 ราคาของพลังงานไฟฟ้า พลังงานไอน้ำ สารเคมี และน้ำประปาที่ใช้ในการผลิตเอทานอล

รายการ	หน่วย	ราคา (บาท / หน่วย)	แหล่งที่มา
พลังงานไฟฟ้า	kWh.	2.35	เจริญศักดิ์ (2546)
น้ำมันเตา	ลิตร	16.00	ปตท. (2550)
น้ำประปา	ลิตร	0.01	การประปานครหลวง (2550)
CaCl ₂ .2H ₂ O	กก.	20	เจริญศักดิ์ (2546)
น้ำย่อย Termamyl	กก.	180	เจริญศักดิ์ (2546)
NaOH	กก.	20	เจริญศักดิ์ (2546)
น้ำย่อย AMG	กก.	200	เจริญศักดิ์ (2546)
H ₂ SO ₄	ลิตร	13	เจริญศักดิ์ (2546)
แอมโมเนียมซัลเฟต	กก.	25	เจริญศักดิ์ (2546)
กากน้ำตาล	กก.	3.0	เจริญศักดิ์ (2546)
ยีสต์	กก.	28	เจริญศักดิ์ (2546)

ตารางผนวกที่ 8 ราคาเอทานอลและผลผลิตรวมที่ได้จากกระบวนการผลิตเอทานอล

รายการ	หน่วย	ราคา (บาท / หน่วย)	แหล่งที่มา
เอทานอล 99.5%	ลิตร	17.52	กระทรวงพลังงาน (2551)
น้ำตาลทรายดิบ	กก	16.41	คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (2550)
น้ำตาลทรายขาว	กก.	17.31	คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย (2550)
ขานอ้อย	กก.	0.40	กระทรวงพลังงาน (2551)
กากส่า	กก.	0.90	EXIM (2550)

ตารางผนวกที่ ๙ ราคาเฉลี่ยเอทานอลในปี พ.ศ.2550

ไตรมาส	ราคาเอทานอล (บาทต่อลิตร)
1/2550 (ก.พ.-มี.ค.)	19.33
2/2550 (เม.ย.-มิ.ย)	18.62
3/2550 (ก.ค.-ก.ย)	16.82
4/2550 (ต.ค.-ธ.ค)	15.29
ราคาเฉลี่ย	17.52

ที่มา: กระทรวงพลังงาน (2550)

ตารางผนวกที่ ๑๐ แนวโน้มราคากากน้ำตาลในปี พ.ศ.2546-2550

ปี	ราคากากน้ำตาล (บาทต่อตัน)	แหล่งที่มา
2547	2.6	www.thannews.th.com
2548	3.0	www.manager.com
2549 (มี.ค.)	4.8	www.osch.go.th
2549 (ต.ค.)	3.5	www.exim.go.th
2550	3.0	www.kasetcity.com

ตารางผนวกที่ 11 ต้นทุนผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากมลสารประเภทต่างๆ จากแหล่งข้อมูลต่างๆ

ประเภทมลสาร	แหล่งที่มา	ต้นทุน (kg / \$)	ต้นทุน (kg/บาท)	ค่าเฉลี่ย (kg/บาท)
CO ₂	Chernick และ Caverhill (1989)	0.093	3.094	1.807
	Schiberg et al (1989)	0.060	1.989	
	CEC Staff (1989)	0.029	0.958	
	Implied by NY PSC (1989)	0.003	0.111	
	NY PSC (1989)	0.088	2.947	
	MA DPU (1990)	0.088	2.947	
	M.N. El-Kordy (2001)	0.018	0.602	
SO ₂	EPRI (1987)	2.800	93.570	78.412
	Hohmeyer (1988)	2.743	91.654	
	Chernick และ Caverhill (1989)	2.028	67.783	
	Schiberg et al (1989)	1.102	36.839	
	Implied by NY PSC (1989)	1.058	35.365	
	NY PSC (1989)	1.720	57.468	
	MA DPU (1990)	1.653	55.258	
NO _x	M.N. El-Kordy (2001)	5.666	189.358	121.434
	EPRI (1987)	0.154	5.157	
	Hohmeyer (1988)	3.428	114.568	
	Chernick และ Caverhill (1989)	3.483	116.410	
	Schiberg et al (1989)	2.976	99.464	
	Implied by NY PSC (1989)	2.072	69.257	
	NY PSC (1989)	7.496	250.503	
N ₂ O	MA DPU (1990)	7.165	239.451	144.899
	M.N. El-Kordy (2001)	2.294	76.665	
	Schiberg et al (1989)	4.078	136.303	
	NY PSC (1989)	4.563	152.512	

ตารางผนวกที่ 11 (ต่อ)

ประเภทมลสาร	แหล่งที่มา	ต้นทุน (kg / \$)	ต้นทุน (kg/บาท)	ค่าเฉลี่ย (kg/บาท)
CH ₄	Schiberg et al (1989)	0.419	13.999	
	MA DPU (1990)	0.243	8.104	10.069
	NY PSC (1989)	0.243	8.104	

หมายเหตุ: ค่าเงินมีค่า 33.42 บาทต่อ 1 เหรียญดอลลาร์สหรัฐอเมริกา (ค่าเฉลี่ยค่าเงินในปี พ.ศ.2550)

ที่มา : Koomey, J and Krause, F (1997)

ตารางผนวกที่ 12 ต้นทุนที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ ในการผลิตไอน้ำใช้
ในกระบวนการผลิตเอทานอล

รายการ	ต้นทุนที่ใช้ (บาท)
<u>ค่าอุปกรณ์</u>	
- ถังปฏิกรณ์ ถังเก็บก๊าซ และระบบท่อ	3,900,325
- วัสดุตัวกลางตายในถ่าน	3,122,549
- ระบบ Flare	3,437,500
- ระบบ Burner	5,416,667
<u>ค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง</u>	
- ค่าควบคุมและติดตั้ง	3,969,260
- ค่าออกแบบทางวิศวกรรม	6,350,816
- ค่าเริ่มต้นเดินระบบ	4,763,112
- ค่าดำเนินโครงการ (10 เปอร์เซ็นต์)	1,587,704
<u>ต้นทุนรวม</u>	<u>32,547,933</u>
<u>ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (บาท / ปี)</u>	
- ค่าตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ	125,000
- ค่าติดตามดูแล	60,000
<u>ต้นทุนรวม</u>	<u>185,000</u>

ที่มา: บุญยพัต (2546)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	วรยุทธ สายบัวตรง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	13 ตุลาคม พ.ศ. 2526
สถานที่เกิด	ปทุมธานี
ประวัติการศึกษา	ระดับอุดมศึกษา วท.บ. (เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง (พ.ศ. 2548)
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	โครงการพัฒนานักนิเทศศึกษาและวิจัย ภาควิชาวิศวกรรม เคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้ศูนย์ความเป็นเลิศด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมีและ วัสดุขั้นสูง สำนักคณะกรรมการอุดมศึกษา