การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตน้ำตาลจากอ้อย โดยหลักการประเมินวงจรชีวิต

นางสาววิจิตรา วิทยาไพโรจน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2553

ENVIRONMENTAL IMPACT EVALUATION OF SUGAR PRODUCTION FROM CANE USING LIFE CYCLE ASSESSMENT

Wichitra Witayapairot

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements for the

Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Suranaree University of Technology

Academic year 2010

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตน้ำตาลจากอ้อย
โดยหลักการประเมินวงจรชีวิต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

_____
(ผศ. ดร.สุดจิต ครุจิต)
ประธานกรรมการ

_____
(อ. ดร.ฉัตรเพชร ยศพล)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

_____
(ผศ. ดร.เนตรนภิส ตันเต็มทรัพย์)
กรรมการ

_____
(อ. ดร.อภิชน วัชเรนทร์วงศ์)
กรรมการ

_____
(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

_____
(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ ขำพิศ)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

วิจิตรา วิทยาไพโรจน์ : การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตน้ำตาลจากอ้อย โดยหลักการประเมินวงจรชีวิต (ENVIRONMENTAL IMPACT EVALUATION OF SUGAR PRODUCTION FROM CANE USING LIFE CYCLE ASSESSMENT) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.ฉัตรเพชร ยศพล, 195 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม อันได้แก่ จำแนกการใช้ทรัพยากร การใช้พลังงาน และการปล่อยมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย 1 ตัน โดยใช้หลักการประเมินวงจรชีวิต โดยมีขอบเขตในการประเมินตั้งแต่ขั้นตอนการปลูก การดูแลรักษา และการเก็บเกี่ยวอ้อย การขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงาน กระบวนการผลิตน้ำตาล และการนำผลพลอยได้ไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์พลอยได้ ได้แก่ เอทานอลจากกากน้ำตาล พลังงานไฟฟ้าและปาร์ติเกิลบอร์ดจากชานอ้อย ซึ่งไม่รวมถึงการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้และการนำไปกำจัด การดำเนินการวิจัยประกอบด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ และข้อมูลทุติยภูมิจากฐานข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมและข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ แล้วนำมาประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1 ด้วยวิธี Eco-Indicator 95 และแปลผลในรูปของดัชนีชี้วัดที่บ่งชี้ว่า ช่วงใดของวงจรชีวิตการผลิตผลิตภัณฑ์จากอ้อยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจากผลการศึกษาพบว่ากระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดส่งผลกระทบด้านสภาวะโลกร้อนมากที่สุด กระบวนการปลูกอ้อยส่งผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรดมากที่สุด และกระบวนการผลิตน้ำตาลส่งผลกระทบด้านสารก่อมะเร็งและด้านการใช้พลังงานมากที่สุด ทั้งนี้เมื่อได้ศึกษาเปรียบเทียบกับวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อยกรณีที่นำผลพลอยได้คือกากน้ำตาลและชานอ้อยไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ปาร์ติเกิลบอร์ดและไฟฟ้าพบว่า ส่งผลกระทบด้านสภาวะโลกร้อน การใช้พลังงาน และภาวะความเป็นกรดน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีการนำผลพลอยได้ไปใช้ แต่จะส่งผลกระทบด้านสารก่อมะเร็ง และด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำมากกว่ากรณีที่ไม่มีการนำผลพลอยได้ไปใช้ จากการประยุกต์ใช้หลักการประเมินวงจรชีวิตในกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้พบว่าการนำหลักการประเมินวงจรชีวิตมาใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์เป็นทางเลือกที่สำคัญอีกทางหนึ่งที่จะทำให้ทราบผลกระทบที่เกิดขึ้นและสามารถนำข้อมูลที่ได้นำไปใช้ปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตให้ได้มาตรฐาน ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด และเป็นการเพิ่มคุณลักษณะด้านความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมให้กับผลิตภัณฑ์ได้อีกวิธีหนึ่ง

สาขาวิชา<u>วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม</u> ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2553 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

WICHITRA WITAYAPAIROT : ENVIRONMENTAL IMPACT EVALUATION OF SUGAR PRODUCTION FROM CANE USING LIFE CYCLE. THESIS ADVISOR : CHATPET YOSSAPOL, Ph.D., 195 PP.

LIFE CYCLE ASSESSMENT/CANE SUGAR/ETHANOL/PARTICLE BOARD/ LIFE CYCLE INVENTORY

The objective of this research is to develop a life cycle inventory, which consists of resource and energy use and pollutant releases, and evaluate the environmental impact associated with a production of one ton of cane sugar using Life Cycle Assessment (LCA). Scope of the assessment begins with planting, maintaining, cultivating, transporting, and milling of sugar cane. The assessment also extends to the use of milling by-products which are making of ethanol from molasses, generating of electricity and making of particle board from cane bagasse. However, environmental impacts associated with the consumption of cane sugar and waste disposal are not accounted for. Inventory data are obtained from both primary field data and secondary source. SimaPro software and Eco-Indicator 95 method are used as the tool for life cycle impact assessment. The obtained results assist in identifying what life cycle stages posting the major environmental impact, i.e., making of particle board posts the most global warming impact while planting of sugar cane posts the most acidification impact and milling of cane sugar posts the most carcinogen impact and energy use. The results also shows that should the by-products are utilized (molasses for making of ethanol and bagasse for generating of electricity and making of particle board),

less global warming, energy use, and acidification impacts are achieved compared with the case where by-products not utilized. On the other hand, utilizing of by-products posts more carcinogen and eutrophication impacts. The application demonstrated in this study shows that LCA can be used as a tool to identify environmental impacts associated with production processes. LCA not only enables manufacturers to improve their production efficiency, but also shows the way how to lower environmental impacts. As a result, products can be characterized as an environmental-friendly one.

School of Environmental Engineering Student's Signature_____

Academic Year 2010 Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และการช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านวิชาการ และด้านการดำเนินการวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฉัตรเพชร ยศพล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ช่วยแก้ปัญหาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุดจิต ครุจิต ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำด้านวิชาการและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เนตรนภิส ตันเต็มทรัพย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำด้านวิชาการและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

อาจารย์ ดร.อภิชน วัชเรนทร์วงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำด้านวิชาการและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ นางสาวนารี กลิ่นกลาง เจ้าหน้าที่บริหารงานทั่วไป (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ขอขอบคุณ โรงงานกรณีศึกษาทั้ง 4 โรงงาน ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล

ขอขอบคุณ เกษตรกรในพื้นที่ 4 จังหวัดกรณีศึกษา ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลด้านอ้อย

ขอขอบคุณ นายอลงกต ศรีวิจิตรกมล นายอธิวัตร จิรจริยาเวช และนางสาวณัฐฌา มาตรสงคราม ที่ให้ความ ช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลและให้คำปรึกษาแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอบคุณเพื่อนบัณฑิตศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและให้กำลังใจตลอดมา

ขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และให้กำลังใจ ให้คำปรึกษาแก่ผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้ประสบผลสำเร็จในชีวิต

วิจิตรา วิทยาไพโรจน์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)..... ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)..... ข
กิตติกรรมประกาศ..... ง
สารบัญ..... จ
สารบัญตาราง..... ฌ
สารบัญรูป..... ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ..... ฐ

บทที่

1 บทนำ..... 1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์..... 3
1.3 สมมติฐานการวิจัย..... 3
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้นการวิจัย..... 3
1.5 ขอบเขตการศึกษา..... 4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 6
2 ปริทรรศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 7
2.1 อ้อย..... 7
2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอ้อย..... 7
2.1.2 วิธีการปลูกอ้อย..... 8
2.1.3 พื้นที่เพาะปลูกอ้อย..... 13
2.1.4 การวัดค่าความหวานของอ้อย..... 23
2.2 น้ำตาลทราย..... 27
2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำตาลทราย..... 27
2.2.2 สถิติการผลิต ส่งออกและนำเข้าน้ำตาลของประเทศไทย..... 30
2.2.3 โอกาสทางการค้า..... 31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.4 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายในประเทศไทย.....33
2.2.5 ข้อมูลโรงงานน้ำตาลทรายของประเทศไทย.....38
2.2.6 ปัญหาและผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการผลิตน้ำตาลทราย.....49
2.3 การประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Assessment; LCA).....50
2.3.1 ความหมายของการประเมินวงจรชีวิต.....50
2.3.2 หลักการประเมินวงจรชีวิต.....51
2.3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....62
2.3.4 กรณีศึกษาการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์อ้อย และน้ำตาล.....67
2.4 ความสำคัญของปัญหา.....71
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....73
3.1 รูปแบบการวิจัย.....73
3.2 วิธีการวิจัย.....74
3.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal & Scope Definition).....76
3.2.2 การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis).....79
3.2.3 การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment).....83
3.2.4 การแปลผล (Interpretation).....86
4 ผลการศึกษา.....87
4.1 เป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition).....87
4.1.1 ภาคเกษตรกรรม.....87
4.1.2 ภาคการขนส่งอ้อย.....90
4.1.3 ภาคอุตสาหกรรมการผลิต.....101
4.2 การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis).....109
4.2.1 ผลการวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis).....109
4.2.2 การปันส่วน (Allocation).....119

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.3 การตัดออกของข้อมูล (Cut-off).....120
4.3 การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment).....121
4.3.1 การเลือกข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องในการก่อให้เกิดผลกระทบ ต่อสิ่งแวดล้อม (Selection and definition of impact categories).....122
4.3.2 การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการ (Classification).....123
4.3.3 การคำนวณศักยภาพในการเกิดผลกระทบ (Characterization).....130
4.4 การแปลผล (Interpretation).....136
4.4.1 ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อย 1 ตัน.....136
4.4.2 การเปรียบเทียบกระบวนการผลิตน้ำตาลที่มีการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์และไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์จากโรงงานกรณีศึกษา.....137
5 สรุปผลการศึกษา.....142
5.1 สรุปผลการวิจัย.....142
5.1.1 เป้าหมายและขอบเขตการศึกษาวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย.....142
5.1.2 การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis).....142
5.1.3 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม.....143
5.1.4 การตีความผลกระทบของผลิตภัณฑ์จากอ้อย.....144
5.2 ข้อจำกัดของการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย.....145
5.3 การนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์.....145
5.3.1 ประโยชน์จากการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อย.....145
5.3.2 ประโยชน์จากงานวิจัยด้านการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์.....146
5.4 ข้อเสนอแนะ.....146
5.4.1 ข้อเสนอแนะในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม.....146
5.4.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป.....158

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง 149
ภาคผนวก 155
ภาคผนวก ก. แบบสอบถามในการเก็บรวบรวมข้อมูล 155
ภาคผนวก ข. ทฤษฎีอ้างอิงการกำหนดตัวอย่าง 177
ภาคผนวก ค. รายการคำนวณ 181
ภาคผนวก ง. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่.....188
ประวัติผู้เขียน 195

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 กำหนดการปฏิบัติดูแลรักษาอ้อยในฤดูการปลูกอ้อยต่างๆ 11
2.2 กำหนดการบำรุงรักษาอ้อยตอหลังเก็บเกี่ยว 12
2.3 แสดงผลการสำรวจพื้นที่ปลูกอ้อยประจำปีการผลิต 2550/51 เปรียบเทียบกับ ผลการสำรวจพื้นที่ปลูกอ้อยที่ได้ประจำปีการผลิต 2549/50 16
2.4 พื้นที่ปลูกอ้อยและผลผลิตอ้อยรายจังหวัด ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปีการผลิต 2550/51 17
2.5 ผลผลิตอ้อยและน้ำตาลทราย การบริโภค การส่งออก การนำเข้าน้ำตาลทราย ของประเทศไทย ระหว่างปี 2548-53 31
2.6 ดุลน้ำตาลโลก ปี 2551/52-ปี 2552/53 32
2.7 รายละเอียดการผลิตน้ำตาลของโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศ ประจำปีการผลิต 2552/53 40
2.8 กำลังการผลิตและวิธีการผลิตของน้ำตาลในประเทศไทย 45
2.9 การใช้น้ำและมลสารที่เกิดจากโรงงานน้ำตาล 49
2.10 ของเสียที่เกิดจากโรงงานน้ำตาล 49
2.11 ปริมาณมลสารที่เกิดจากการเผาชานอ้อย 50
2.12 ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศ (Characterization factors) 56
2.13 การคำนวณ Characterization (Global warming Potential) 56
2.14 กลุ่มผลกระทบที่ถูกนำมาใช้ในการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ ในประเทศไทย 60
2.15 กลุ่มผลกระทบที่ถูกนำมาใช้ในการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ ในประเทศไทยด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro วิธี Eco-Indicator 95 61
2.16 งานวิจัยด้านการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อาหารและเกษตรในต่างประเทศ 63
3.1 จำนวนพื้นที่และจำนวนเกษตรกรที่ปลูกอ้อยของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา ปี 2551/52 80
3.2 ที่มาของข้อมูลในแต่ละขั้นตอน 82

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

3.3 ประเภทผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากวิธีการ Eco-Indicator 95 84
3.4 ดัชนีผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการศึกษาวงจรชีวิตการผลิตภัณฑ์จากอ้อย 86
4.1 พื้นที่เขตส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานกรณีศึกษา 89
4.2 ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยถึงโรงงานน้ำตาล กรณีศึกษา 93
4.3 ข้อมูลการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยถึงสถานีขนถ่าย 95
4.4 อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย ในการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปยังสถานีขนถ่าย 99
4.5 ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล) ในการขนส่งอ้อยจากสถานีขนถ่าย แต่ละจังหวัดถึงโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา 101
4.6 อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ยในการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปโรงงาน 102
4.7 การปันส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยใช้วิธีการทางเศรษฐศาสตร์ โดยเทียบต่อผลผลิตที่ได้จากอ้อย 1 ตัน จากกระบวนการผลิตน้ำตาลของ โรงงานกรณีศึกษา 120
4.8 การปันส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยใช้วิธีการทางเศรษฐศาสตร์ โดยเทียบต่อผลผลิตที่ได้จากอ้อย 1 ตัน จากกระบวนการผลิตไฟฟ้า 121
4.9 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่นำมาพิจารณาในการประเมินวงจรชีวิต ผลิตภัณฑ์จากอ้อย 124
4.10 การจำแนกข้อมูลจากบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม 124
4.11 การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการขั้นตอนการปลูกอ้อย 125
4.12 การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการขั้นตอนการขนส่ง 126
4.13 การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการขั้นตอนการผลิตน้ำตาล 127
4.14 การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเอทานอล 128
4.15 การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า 129
4.16 การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการขั้นตอนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด 130
4.17 สรุปค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 140

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 ขอบเขตของระบบในการศึกษาวงจรชีวิตการผลิตน้ำตาล 5
2.1 แผนที่แสดงพื้นที่ปลูกอ้อยประจำปี 2550/51 และที่ตั้งโรงงานน้ำตาล ประเทศไทย.....15
2.2 แผนที่แสดงพื้นที่ปลูกอ้อยรายจังหวัด ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปีการผลิต 2550/51.....18
2.3 แผนที่แสดงพื้นที่ปลูกอ้อยรายอำเภอ จังหวัดชัยภูมิ ปีการผลิต 2550/51.....19
2.4 แผนที่แสดงพื้นที่ปลูกอ้อยรายอำเภอ จังหวัดเลย ปีการผลิต 2550/51.....20
2.5 แผนที่แสดงพื้นที่ปลูกอ้อยรายอำเภอ จังหวัดขอนแก่น ปีการผลิต 2550/51 21
2.6 แผนที่แสดงพื้นที่ปลูกอ้อยรายอำเภอ จังหวัดหนองบัวลำภู ปีการผลิต 2550/51.....22
2.7 แสดงขั้นตอนการผลิตน้ำตาล และผลผลิตที่ได้รับ 36
2.8 ผังแสดงกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และ น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ 37
2.9 แนวคิดหลักของการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์.....51
2.10 แสดง 4 ขั้นตอนของการประเมินวงจรชีวิต 52
2.11 การจำแนกข้อมูลให้อยู่ในรูปผลกระทบสิ่งแวดล้อม 55
2.12 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐาน ISO 14040.....57
2.13 กราฟแสดงผลกระทบสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิตน้ำตาลแต่ละรูปแบบ.....70
2.14 กราฟแสดงผลการศึกษาด้านการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตน้ำตาล แต่ละรูปแบบ.....71
3.1 ขั้นตอนพื้นฐานการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์.....74
3.2 แผนการดำเนินงานการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ 75
3.3 ขอบเขตการศึกษากระบวนการปลูกอ้อย 77
3.4 ขอบเขตการศึกษาขั้นตอนการขนส่งอ้อย 77

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.5 ขอบเขตการศึกษากระบวนการผลิตน้ำตาลทรายและการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ 78
3.6 แสดงพื้นที่ส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานกรณีศึกษา 79
4.1 รูปแบบการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา 92
4.2 กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล 106
4.3 แสดงกระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดจากชานอ้อย 108
4.4 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมขั้นตอนการขนส่ง 110
4.5 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการปลูกอ้อย 111
4.6 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตน้ำตาล 112
4.7 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตกระแสไฟฟ้า 113
4.8 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตกระแสไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง 114
4.9 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตเอทานอล 115
4.10 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตเอทานอล 1 ลิตร 116
4.11 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด 117
4.12 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด 1 ลูกบาศก์เมตร 118
4.13 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย 119
4.14 กราฟผลกระทบด้านสภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต 132
4.15 กราฟผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต 133
4.16 กราฟผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำที่เกิดขึ้น 134
4.17 กราฟแสดงผลกระทบด้านสารก่อมะเร็งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต 135
4.18 กราฟผลกระทบด้านการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต 136
4.19 กราฟสัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อย 1 ตัน 138
4.20 กราฟเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อย 1 ตันระหว่างกรณีที่ 1 และ 2 142
4.21 ผังแสดงผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อย 1 ตัน 143

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

LCA	=	การประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Assessment)
MIS	=	การจัดระบบสารสนเทศ (Management Information System)
WWF	=	องค์การกองทุนสัตว์ป่าโลกสากล (World Wide Fund for Nature)
MFA	=	โปรแกรมการวิเคราะห์กระบวนการผลิต (Material Flow Analysis)
C.C.S	=	ปริมาณของน้ำตาลที่มีอยู่ในอ้อย (Commercial Cane Sugar)
ISO	=	องค์การน้ำตาลระหว่างประเทศ (International Sugar Organization)
WTO	=	องค์การการค้าระหว่างประเทศ (World Trade Organization)
UNEP	=	โครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Environmental Program)
LCI	=	การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis)
LCIA	=	การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Impact Assessment)
GWP	=	ศักยภาพการเกิดภาวะโลกร้อน (Global warming Potential)
CO_2	=	คาร์บอนไดออกไซด์
CH_4	=	ก๊าซมีเทน
N_2O	=	ไนตรัสออกไซด์
CO	=	คาร์บอนมอนอกไซด์
NO_x	=	ไนโตรเจนออกไซด์
SO_2	=	ซัลเฟอร์ไดออกไซด์
HC	=	ไฮโดรคาร์บอน
SPM	=	ฝุ่นละออง (Suspended Particulate Matter)
NMVOC	=	สารอินทรีย์ระเหยได้ที่มิใช่มีเทน (Non-Methane Volatile Organic Compound)
TSP	=	ฝุ่นรวม (Total Suspended Particulate)
TSS	=	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids)
POCPs	=	ศักยภาพการเกิดโฟโตเคมิคอลออกซิแดนต์ (Photochemical Ozone Creation Potentials)
IPCC	=	Intergovernmental Panel on Climate Change

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

BOD	=	ค่าปริมาณออกซิเจนที่จุลชีพใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical oxygen demand)
MJ	=	เมกะจูล
kWh	=	กิโลวัตต์-ชั่วโมง
kg	=	กิโลกรัม
CF	=	ลูกบาศก์ฟุต (Cubic foot)
LHV	=	ค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value)

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลนับว่าเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญต่อระบบเศรษฐกิจโดยรวมของประเทศ ในแต่ละปีประเทศไทยมีรายได้จากการจำหน่ายน้ำตาลและผลิตภัณฑ์พลอยได้มูลค่ากว่า 50,000 ล้านบาท ซึ่งคิดเป็นมูลค่าการส่งออกสูงถึง 30,000 ล้านบาท นอกจากนี้ยังสร้างงานให้กับชาวไร่อ้อยและแรงงานรับจ้างในโรงงานน้ำตาลได้กว่า 600,000 คน ในปี พ.ศ. 2551 ประเทศไทยเป็นประเทศผู้ส่งออกน้ำตาลอันดับที่ 2 ของโลก หรือคิดเป็น 11% ของส่วนแบ่งการตลาดโลก รองจากประเทศบราซิล โดยมีประเทศคู่แข่งที่สำคัญ คือ ออสเตรเลีย บราซิล แอฟริกาใต้ และอินเดีย (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550) สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทรายได้ประมาณการพื้นที่ปลูกอ้อย ผลผลิตอ้อยต่อไร่ และผลผลิตน้ำตาลในปี 2551 (ปีการผลิต 2550/51) เปรียบเทียบกับปี 2550 ดังนี้ พื้นที่ปลูกอ้อย 6.0 ล้านไร่ (ลดลง 0.3 ล้านไร่) ผลผลิตอ้อย 65.9 ล้านตัน (เพิ่มขึ้น 1.5 ล้านตัน) ผลผลิตต่อไร่ 11.1 ตัน (เพิ่มขึ้น 0.9 ตัน) และผลผลิตน้ำตาล 7.0 ล้านตัน (เพิ่มขึ้น 0.3 ล้านตัน) ซึ่งแม้ว่าองค์การน้ำตาลระหว่างประเทศจะประมาณการการบริโภคน้ำตาลของโลกในปี 2551 ไว้สูงถึง 159.2 ล้านตัน (เพิ่มขึ้น 2.7%) และปริมาณการผลิตน้ำตาลของโลกก็เพิ่มขึ้นเป็น 170.3 ล้านตัน (เพิ่มขึ้น 2.6%) เช่นกัน จึงเป็นไปได้ยากที่แนวโน้มของราคาน้ำตาลในตลาดโลกจะสูงขึ้นกว่าเดิม เนื่องจากตลาดยังมีภาวะส่วนเกินอุปทานของน้ำตาล อันเป็นผลมาจากการผลิตน้ำตาลของโลกมีมากเกินกว่าความต้องการในการบริโภคเป็นปีที่ 2 ติดต่อกัน (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551) แต่จากสถานการณ์ความต้องการด้านพลังงานของประเทศที่ขยายตัวเพิ่มขึ้น ประกอบกับวิกฤตสถานการณ์ราคาน้ำมันที่ปรับตัวสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้รัฐบาลตระหนักถึงความสำคัญของการส่งเสริมการใช้พลังงานทางเลือกอื่นเพื่อมาทดแทนการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ โดยการสนับสนุนให้มีการนำผลผลิตทางการเกษตรมาเป็นพลังงาน เช่น การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อย โดยนโยบายสำคัญของรัฐบาลคือ การเร่งรัดการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอ้อยตามแผนปฏิบัติการพัฒนาด้านอ้อย ระยะ 3 ปี (ปี 2552-2554) โดยแผนดังกล่าวจะเน้นแนวทางในการพัฒนาอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลให้เกิดผลเป็นรูปธรรม ซึ่งเป้าหมายคือการเพิ่มผลผลิตอ้อยในพื้นที่ปลูกเดิม (ประมาณ 6.4 ล้านไร่) ให้ได้ผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้น โดยไม่ขยายพื้นที่การปลูก และเพิ่มค่าความหวาน (C.C.S.) จากเดิมเฉลี่ย 12.09 เป็น 13.00 C.C.S. ซึ่งนโยบายของรัฐบาลที่มุ่งส่งเสริมการผลิตพลังงานทดแทนนี้จะส่งผลให้อุปสงค์ของการนำอ้อย

และน้ำตาลมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพลังงานเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ราคาอ้อยและน้ำตาลมีเสถียรภาพมากยิ่งขึ้น และเป็นการสร้างสมดุลการค้าของประเทศ อย่างไรก็ตามนอกจากอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลจะมีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศแล้ว แต่ก็ยังมีส่วนที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากด้วยเช่นกัน ดังเห็นได้จากรายงานขององค์การกองทุนสัตว์ป่าโลกสากล (World Wide Fund for Nature : WWF) ที่ระบุว่า พื้นที่ประมาณ 10-50% ในกว่า 50 ประเทศ และพื้นที่มากกว่า 50% ในอีก 7 ประเทศ ต้องถูกแปรสภาพไปเป็นไร่อ้อยส่งผลให้ความหลากหลายทางชีวภาพลดลง และยังระบุว่าในการเพาะปลูกอ้อยจำเป็นต้องใช้น้ำเฉลี่ย 1,500-2,000 มม./เฮคเตอร์/ปี ต้องใช้สารเคมีในปริมาณสูง และจะสูญเสียหน้าดินจากการชะล้าง (Erosion) ประมาณ 15 ถึงกว่า 500 ตัน/เฮคเตอร์/ปี ส่วนในการเก็บเกี่ยวผลผลิตอ้อย อาจต้องสูญเสียดินประมาณ 3-5% และสูญเสียไนโตรเจนในดินมากกว่า 30% นอกจากนี้การเผาอ้อยและกระบวนการผลิตน้ำตาลยังก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ ซึ่งส่งผลต่อปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และโอโซนในชั้นบรรยากาศโลก (WWF, 2007) และจากสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงของระบบเศรษฐกิจในระดับโลกที่ส่งผลกระทบในทุกภาคส่วน รวมถึงภาคธุรกิจ ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมต้องมีการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบหรือเทคโนโลยในด้านต่าง ๆ เพื่อลดต้นทุนการผลิตและการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด อาทิเช่น กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรมได้ดำเนินงานโครงการพัฒนาและจัดระบบสารสนเทศ (Management Information System : MIS) เพื่อการป้องกันและควบคุมมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม และได้มีการพัฒนาโปรแกรมการวิเคราะห์กระบวนการผลิต (Material Flow Analysis : MFA) ขึ้น เพื่อช่วยในการบริหารจัดการพัฒนาประสิทธิภาพและส่งเสริมความสามารถในการแข่งขันทางธุรกิจ (เดชา พิมพิสุทธิ์, 2550)

การประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) ก็นับเป็นอีกกลยุทธ์หนึ่งที่สำคัญที่จะนำมาใช้ในการช่วยวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดทั้งวงจรผลิตภัณฑ์ ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่ง การจำหน่าย การนำมาใช้งาน การกำจัดหลังจากหมดอายุการใช้งาน งานวิจัยนี้จึงได้มีการนำหลักการประเมินวงจรชีวิตมาศึกษาการใช้พลังงาน ทรัพยากร ปริมาณการปล่อยมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์จากโรงงานน้ำตาลว่าในขั้นตอนใดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ซึ่งจากการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ในประเทศที่เกี่ยวข้องกับโรงงานน้ำตาลพบว่ามีเพียงการประเมินวงจรชีวิตของผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาล เช่น การนำกากน้ำตาลไปผลิตเอทานอลและพลังงานไฟฟ้าเท่านั้น สำหรับงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการประเมินวงจรชีวิตการผลิตน้ำตาลจากอ้อย ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ผลิตภัณฑ์น้ำตาลและผลพลอยได้ ได้แก่ การนำกากน้ำตาลมาผลิตเอทานอล การนำชานอ้อยมาผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดและพลังงานไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษานี้

จะนำไปสู่การพัฒนาแนวทางเพื่อส่งเสริมการผลิตน้ำตาลและผลิตภัณฑ์พลอยได้ให้มีประสิทธิภาพ และสามารถลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อย่างเหมาะสมต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์จากอ้อยโดยหลักการประเมินวงจรชีวิต มีวัตถุประสงค์ดังนี้

1.2.1 จำแนกการใช้ทรัพยากร การใช้พลังงานและจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย

1.2.2 ประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย โดยใช้หลักการประเมินวงจรชีวิต

1.3 สมมติฐานการวิจัย

วงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อยที่มีการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อยที่ไม่มีการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้นการวิจัย

1.4.1 การขนส่งอ้อยในแต่ละพื้นที่ เกษตรกรจะส่งอ้อยเข้าโรงงานน้ำตาลที่ใกล้แหล่งเพาะปลูกที่สุด

1.4.2 ในขั้นตอนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะไม่นำปริมาณปุ๋ยคอกที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสัมภาษณ์และแบบสอบถามมาพิจารณาใช้ในการคำนวณ เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกอ้อย

1.4.3 ปกติในกระบวนการผลิตเอทานอลจะเกิดของเสีย คือ น้ำกากส่า (Vinasse) ขึ้นในกระบวนการกลั่น ซึ่งโรงงานกรณีศึกษาได้นำไปใช้ผลิตเป็นปุ๋ยน้ำชีวภาพเพื่อจำหน่าย ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงไม่นำน้ำกากส่าที่เกิดขึ้นมาคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อม

1.4.4 ในขั้นตอนกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากโรงงานกรณีศึกษาพบว่ามีการใช้น้ำในขั้นตอนการหล่อเย็น (Blow down) ซึ่งน้ำจะถูกดึงกลับเข้าไปใช้ในระบบตลอดเวลา ดังนั้นจึงในการพิจารณาผลกระทบจึงไม่นำปริมาณน้ำหล่อเย็นมาพิจารณา เนื่องจากไม่มีการปล่อยน้ำออกสู่สิ่งแวดล้อม

1.4.5 โรงงานกรณีศึกษามีการใช้ไฟฟ้าที่ได้จากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากชานอ้อย ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงชีวมวล และในการเผาไหม้เชื้อเพลิงจะปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

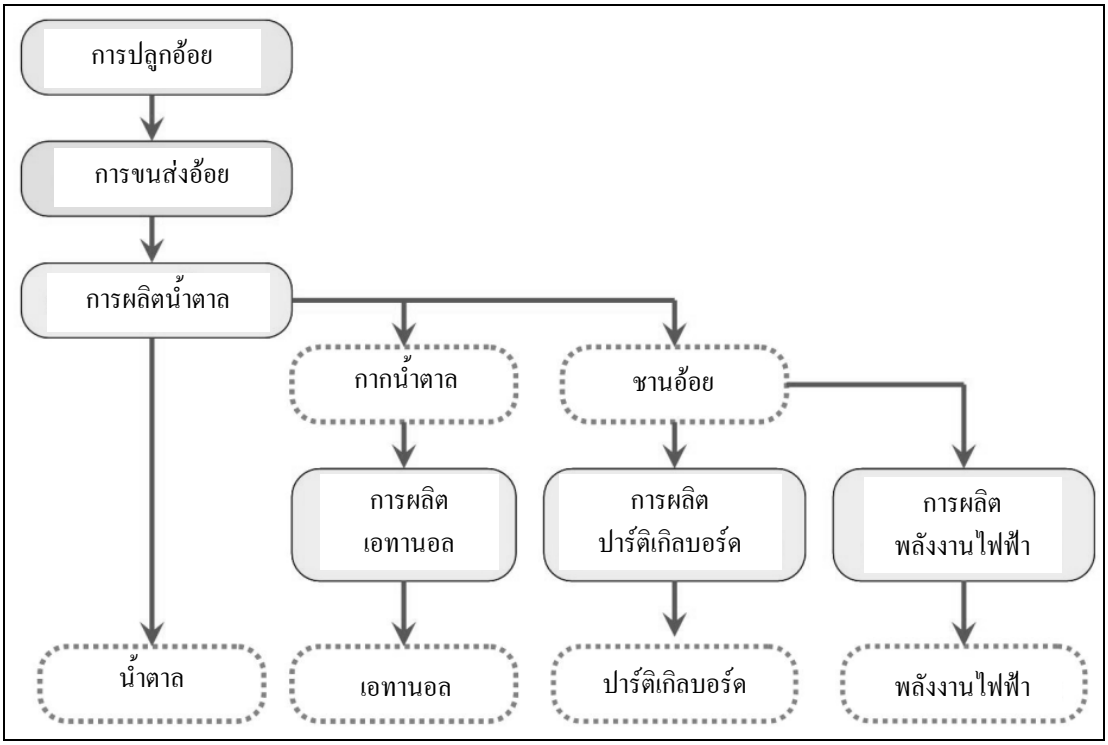
ออกมา ให้ถือว่าปริมาณคาร์บอนที่ออกมาจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงดังกล่าวเป็นคาร์บอนที่ได้จากช่วงการสังเคราะห์แสงและเจริญเติบโตของพืช ซึ่งมีการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพื่อนำไปสังเคราะห์แสงดังนั้น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ดังกล่าวจึงถือได้ว่าถูกชดเชย (Offset) ไปกับการเผาไหม้เชื้อเพลิง จึงไม่นำปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นมาพิจารณา

1.4.6 โรงงานกรณีศึกษามีพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินที่เกิดจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อย (Bagasse) ซึ่งได้ส่งจำหน่ายให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) จึงถือว่าประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้พลังงานเชื้อเพลิงชีวมวลของอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลและพลังงานส่วนเกินนี้จะถูกนำมาพิจารณาช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยใช้สมมติฐานว่ากระแสไฟฟ้าส่วนเกินที่ส่งจำหน่ายดังกล่าวจะถูกนำมาพิจารณาทดแทนผลกระทบจากการผลิตไฟฟ้าของ กฟผ.

1.4.7 ในขั้นตอนการหมักของกระบวนการผลิตเอทานอลจากโมลาสจะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้น ซึ่งถือว่าเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ จึงไม่มีการนำมาวิเคราะห์รวมเป็นปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่จะเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

1.5 ขอบเขตการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้อาศัยหลักการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตามมาตรฐาน ISO 14040 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal & Scope Definition - ISO 14040) การวิเคราะห์และทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis - ISO 14041) การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment - ISO 14042) และการแปลผลการศึกษา (Interpretation - ISO 14043) ตามลำดับ โดยขอบเขตการศึกษาเริ่มตั้งแต่กระบวนการปลูกอ้อย การขนส่งอ้อยจากไร่สู่โรงงาน เพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำตาล ซึ่งผลิตภัณฑ์หลักที่ได้ คือ น้ำตาล (Sugar) และผลิตภัณฑ์พลอยได้ คือ กากน้ำตาล (Molasses) และชานอ้อย (Bagasse) โดยกากน้ำตาลจะถูกนำไปผลิตเป็นเอทานอล (Ethanol) ส่วนชานอ้อยจะถูกนำไปผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า (Electricity) และปาร์ติเกิลบอร์ด (Particle Board) โดยขอบเขตการศึกษาจะครอบคลุมตั้งแต่การปลูกอ้อยจนกลายเป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งไม่รวมถึงการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้และการนำไปกำจัด ดังรายละเอียดในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ขอบเขตของระบบในการศึกษาวงจรชีวิตการผลิตน้ำตาล

โดยในส่วนของขั้นตอนการปลูกอ้อย ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลครอบคลุมตั้งแต่การเตรียมท่อนพันธุ์ การปลูก การดูแลรักษา และการเก็บเกี่ยว พิจารณาตลอดวงจรชีวิตของการปลูกอ้อยในส่วนของการใช้ทรัพยากร โดยเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจากเกษตรกรในพื้นที่เป้าหมาย 4 จังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ ชัยภูมิ เลย ขอนแก่น และหนองบัวลำภู ซึ่งเป็นเขตพื้นที่ส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานกรณีศึกษา จำนวน 355 ราย และจากฝ่ายไร่อ้อยของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา จำนวน 1 โรงงาน โดยการสัมภาษณ์และทำแบบสอบถาม เพื่อให้ทราบถึงวิธีการเพาะปลูก ข้อมูลรายการวัตถุดิบที่ใช้ เช่น ชนิดพันธุ์ ปริมาณท่อนพันธุ์ ปริมาณการใช้ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ยาปราบวัชพืช ปริมาณน้ำที่ใช้ในการเพาะปลูก ปริมาณผลผลิต และปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ รวมถึงมลพิษที่เกิดขึ้น

ส่วนข้อมูลทุติยภูมิจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากฝ่ายไร่อ้อยและฝ่ายวิจัยของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา สำนักงานสถิติการเกษตร กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือและครบถ้วนสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขั้นตอนการขนส่ง เก็บรวบรวมข้อมูลการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา ได้แก่ ข้อมูลแหล่งที่มาของอ้อย ระยะทางจากไร่หรือสถานีขนถ่ายเข้าสู่โรงงาน รูปแบบวิธีการขนส่ง เส้นทางการขนส่ง และน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ รวมถึงมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้น

ขั้นตอนกระบวนการผลิต เริ่มตั้งแต่กระบวนการผลิตน้ำตาลจนถึงกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พลอยได้ ได้แก่ เอทานอล ปาร์ติเกิลบอร์ดและพลังงานไฟฟ้า รวมทั้งสิ้น 4 กระบวนการจากโรงงานกรณีศึกษา จำนวน 4 โรงงาน โดยข้อมูลที่ศึกษา ได้แก่ ขั้นตอนและวิธีการผลิต รายการสารขาเข้า - ขาออกทั้งหมด ตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่อง และน้ำเสียของโรงงาน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตของการผลิตผลิตภัณฑ์จากอ้อยที่เกิดขึ้น ตั้งแต่การปลูกอ้อย การขนส่งจากไร่ถึงโรงงาน การนำอ้อยเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำตาล การนำผลิตภัณฑ์พลอยได้ (ชานอ้อย) มาเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า และนำไปผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดแทนการใช้ไม้ การนำกากน้ำตาลไปผลิตเอทานอล 95% เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปเป็นแนวทางในการปรับปรุงหรือพัฒนากระบวนการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.6.2 เพิ่มลักษณะพิเศษ (ข้อมูลด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม) ให้กับผลิตภัณฑ์น้ำตาลทรายของไทย เพื่อสร้างแรงจูงใจให้กับภาคอุตสาหกรรม/เอกชนและผู้ผลิตสินค้าโดยที่สามารถนำข้อมูลการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการเป็นสื่อให้ผู้บริโภคสามารถมีข้อมูลในการพิจารณาเลือกสินค้าที่ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สร้างภาพลักษณ์ที่ดีของสินค้าและองค์กร อีกทั้งยังเป็นแนวทางในการพัฒนากลยุทธ์ด้านการตลาด นโยบายด้านสิ่งแวดล้อมให้เข้ากับยุคสมัยที่ผู้คนส่วนใหญ่ เริ่มหันมาสนใจและห่วงใยสินค้าที่เป็นธรรมชาติส่งผลดีต่อสุขภาพและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

1.6.3 มีฐานข้อมูลด้านการประเมินวงจรชีวิตเชิงสิ่งแวดล้อม สำหรับผลิตภัณฑ์น้ำตาลและผลิตภัณฑ์ปลายน้ำ เพื่อรองรับมาตรการกีดกันทางการค้าที่จะเกิดขึ้นเกี่ยวกับการปลูกอ้อยและการผลิตน้ำตาล เพื่อใช้แนวทางและมาตรฐานให้ผู้ผลิต ผู้ส่งออกถือปฏิบัติ

บทที่ 2
ปริทรรศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 อ้อย

อ้อยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharum Officinarum L.* มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชีย จัดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในตระกูลหญ้าที่มีความสำคัญต่อมนุษย์มาก จัดเป็นพืชที่มีความสำคัญเป็นอันดับที่ 4 ของโลกรองจากข้าวสาลี ข้าวโพด และข้าว เนื่องจากอ้อยเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลทราย เชื่อกันว่ามีการค้นพบอ้อยครั้งแรกในประเทศอินเดีย เมื่อประมาณ 300 ปีก่อนคริสตกาล ปัจจุบันอ้อยมักนิยมปลูกในแถบประเทศเขตร้อนและชุ่มชื้นระหว่างเส้นรุ้งที่ 35 องศาเหนือ และ 35 องศาใต้ ประเทศที่มีการปลูกอ้อยมากได้แก่ บราซิล อินเดีย จีน เม็กซิโก ไทย และคิวบา (สำนักนโยบายเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2547)

ประเทศไทยรู้จักการปลูกอ้อยมาเป็นเวลานาน แม้ว่าจะไม่มีหลักฐานปรากฏแน่ชัดว่าเริ่มปลูกเมื่อใด แต่จากตำราแพทย์แผนโบราณ พบว่ามีการระบุว่าอ้อยเป็นสมุนไพรประเภทหนึ่ง จึงสันนิษฐานได้ว่า อ้อยเป็นพืชที่ขึ้นเองในธรรมชาติมาช้านาน จนในปัจจุบันอ้อยได้กลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย

2.1.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอ้อย

อ้อยเป็นพืชในสกุล (Genus) Saccharum ลักษณะภายนอกประกอบด้วยลำต้นที่มีข้อและปล้องชัดเจน มีใบเกิดสลับข้างกันและมีส่วนกาบใบหุ้มลำต้นไว้ รากอ้อยเป็นระบบรากฝอย แต่แข็งแรงสามารถหยั่งลงไปในดินได้ลึก ลำต้นอ้อยสามารถแตกหน่อได้จากตาของข้อล่าง ๆ ที่อยู่ชิดดิน อ้อยที่โตเต็มที่มีขนาดความสูงประมาณ 3 ถึง 8 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3.5 ถึง 5.0 เซนติเมตร มีปล้องยาว 10 ถึง 20 เซนติเมตร สีของต้นอ้อยมีตั้งแต่เกือบขาวไปจนถึงเขียวแก่ ม่วง แดง และม่วงอมฟ้า (สุภัทรา ณ วรรณพิณ และ พวงเพชร สุรัตนกวีกุล, 2541)

การเจริญเติบโตของอ้อยสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ ดังนี้ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, ม.ป.ป)

2.1.1.1 ระยะงอก (Germination phase)

เริ่มตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งหน่อโผล่พ้นดิน ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2-3 สัปดาห์ หน่อที่เกิดจากตาของท่อนพันธุ์ เรียกว่า หน่อแรก (Primary shoot)หรือหน่อแม่ (Mother shoot) จำนวนท่อนพันธุ์ที่งอกต่อไร่จะเป็นตัวกำหนดจำนวนกออ้อยในพื้นที่นั้น ระยะงอกนี้ต้องการ

แสงแดดและปุ๋ยพอประมาณ โดยเฉพาะไนโตรเจนและโปแตสเซียม ในระยะงอกอ้อยควรได้รับน้ำน้อยแต่บ่อยครั้ง

2.1.1.2 ระยะแตกกอ (Tillering phase)

การแตกกอเกิดขึ้นจากตาที่อยู่ส่วนโคนของลำต้นใต้ดินของหน่อแรกเจริญออกมาเป็นหน่อชุดที่สอง และจากหน่อชุดที่สองก็เจริญเป็นหน่อชุดที่สาม หรืออาจจะมีหน่อชุดต่อไปอีก ทำให้มีจำนวนหน่อหรือลำต้นเพิ่มขึ้น ระยะแตกกอเป็นระยะต่อเนื่องกับระยะงอก การแตกกอจะเริ่มเมื่ออายุประมาณ 1.5 เดือนเป็นต้นไป แต่ระยะที่มีการแตกกอมากที่สุดอยู่ระหว่าง 2.5-4 เดือน

2.1.1.3 ระยะย่างปล้อง (Stalk elongation phase)

เป็นระยะต่อเนื่องกับการแตกกอ ระยะนี้จะมีการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของปล้องอย่างรวดเร็ว ทำให้อ้อยทั้งลำต้นเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วด้วย เริ่มตั้งแต่อายุประมาณ 3-4 เดือน จนถึงอายุประมาณ 7-8 เดือน จากนั้นการเจริญเติบโตจะมีน้อยลง และจะเริ่มมีการสะสมน้ำตาลเพิ่มขึ้น ขนาดและความยาวของแต่ละต้นในระยะนี้จะสัมพันธ์โดยตรงกับน้ำหนักของลำต้น

2.1.1.4 ระยะแก่และสุก (Maturity and ripening phase)

เป็นระยะที่อ้อยมีอัตราการเจริญเติบโตช้าลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับระยะต่าง ๆ และเมื่อการเจริญเติบโตเริ่มช้าลง น้ำตาลที่ใบสร้างขึ้นจากการสังเคราะห์แสงก็จะถูกใช้น้อยลงและมีเหลือเก็บสะสมในลำต้นมากขึ้น ซึ่งเป็นการเริ่มต้นของระยะสุก การสะสมน้ำตาลจะเริ่มจากส่วนโคนไปหาปลาย ดังนั้นส่วนโคนจึงหวานก่อน และมีความหวานมากกว่าส่วนปลาย การสะสมน้ำตาลจะมีมากขึ้นโดยลำดับ จนกระทั่งส่วนโคน ส่วนกลางและส่วนปลายมีความหวานใกล้เคียงกัน เรียกว่า สุก

2.1.2 วิธีการปลูกอ้อย

ปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตอ้อย คือ พันธุ์อ้อย การเลือกพื้นที่และฤดูกาลปลูกอ้อย การเตรียมท่อนพันธุ์ การกำหนดตารางการปลูกและดูแลรักษาอ้อย การเตรียมดิน การปลูกอ้อย การดูแลรักษาอ้อย การบำรุงดินและใส่ปุ๋ยอ้อย การบำรุงรักษาอ้อยตอ และการเก็บเกี่ยว

2.1.2.1 พันธุ์อ้อย

ข้อควรพิจารณาในการเลือกพันธุ์อ้อย เพื่อให้ได้ผลผลิตสูง ได้แก่

- อายุการเก็บเกี่ยว อ้อยเป็นพืชที่สะสมน้ำหนักและความหวานได้สูงเพียงชั่วระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้สามารถเก็บเกี่ยวอ้อยได้ตลอดฤดู จึงควรปลูกอ้อยหลาย ๆ พันธุ์ผลผลิตต่อไร่และค่าความหวาน ความหวาน เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อรายได้ของเกษตรกร

ค่าความหวานโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 11-12 C.C.S ซึ่งผลผลิตจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่ ภูมิอากาศ และการดูแลรักษา

- ความทนทานต่อโรคและแมลง ปัญหาโรคและแมลงระบาดมีสาเหตุมาจากการขยายพื้นที่เพาะปลูก และการใช้ท่อนพันธุ์อย่างผิดวิธี ดังนั้นการใช้พันธุ์อ้อยที่ทนทานต่อโรคและแมลง จะสามารถช่วยลดปัญหาการระบาดของโรคและแมลงได้
- ความเหมาะสมต่อพื้นที่ที่ปลูก การเลือกใช้พันธุ์อ้อยที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่แต่ละพื้นที่มีส่วนสำคัญอย่างมากต่อผลผลิตอ้อย
- ความสามารถในการไว้ตอ อ้อยเป็นพืชที่สามารถเก็บเกี่ยวได้มากกว่า 3-4 ครั้ง โดยหลังจากการเก็บเกี่ยวในปีแรก อ้อยจะแตกกอขึ้นมาเรียกว่า อ้อยตอ ซึ่งเกษตรกรจะไม่ต้องลงทุนไถพื้นที่ และซื้อพันธุ์อ้อยอีก ดังนั้นอ้อยที่มีความสามารถในการแตกกอดี มีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดสูง รวมถึงอายุการไว้ตอนาน จะช่วยให้เกษตรกรได้รับกำไรมากขึ้นจากการไว้อ้อยตอ

2.1.2.2 การเลือกพื้นที่และฤดูกาลปลูกอ้อย

ปัจจัยที่ควรพิจารณาในการเลือกพื้นที่ปลูกอ้อย ได้แก่ พื้นที่ต้องมีความอุดมสมบูรณ์พอสมควร ไม่มีโรคระบาดในฤดูปลูกที่ผ่านมา เพราะโรคอ้อยบางชนิดสามารถคงอยู่ในดินได้ พื้นที่เพาะปลูกควรเป็นที่ราบ ความลาดชันไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ ระบายน้ำได้ดี และควรอยู่ในเขตที่มีการกระจายของฝนดี มีปริมาณฝนไม่ต่ำกว่า 1,000 มิลลิเมตรต่อปี มีการคมนาคมสะดวกตลอดฤดู และที่สำคัญจะต้องอยู่ห่างจากโรงงานน้ำตาลไม่เกิน 50 กิโลเมตร เพื่อลดระยะทางขนส่ง

2.1.2.3 การเตรียมท่อนพันธุ์

การเตรียมท่อนพันธุ์อ้อยควรพิจารณารายละเอียดดังนี้

- พันธุ์อ้อย ต้องมีความสมบูรณ์ตรงตามพันธุ์ ควรเป็นอ้อยปลูกใหม่ อายุประมาณ 8-10 เดือน เพราะอายุน้อยกว่า 8 เดือน เปอร์เซ็นต์การงอกจะลดลง
- ตาอ้อย ต้องสมบูรณ์ ควรมีกาบใบหุ้มเพื่อป้องกันการชำรุดของตา และลอกออกเมื่อทำการปลูก
- ขนาดท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูก ควรมี 2-3 ตา ตัดด้วยมีดสะอาดโดยให้รอยตัดมีพื้นที่หน้าตัดน้อยที่สุด (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548)

2.1.2.4 การกำหนดตารางการปลูกและดูแลรักษาอ้อย

การกำหนดตารางการปฏิบัติงานต่าง ๆ มีวัตถุประสงค์เพื่อวางแผนด้านเงินทุน และการดูแลรักษา รวมถึงการเตรียมจัดหาปัจจัยการผลิตให้เหมาะสมกับช่วงเวลาที่ต้องการ ซึ่งการปลูกอ้อยสามารถแบ่งเวลาการปลูกออกได้ตามภูมิภาคและฤดู โดยแบ่งเขตพื้นที่การปลูกอ้อยออกได้เป็น 2 เขต คือ เขตชลประทานและเขตน้ำฝน โดยมีรายละเอียดดังนี้

- เขตชลประทาน สามารถปลูกในช่วงระหว่างเดือนมกราคมถึงพฤษภาคม
- เขตน้ำฝน สามารถปลูกได้ 2 ช่วง คือ ต้นฤดูฝนและปลายฤดูฝน ต้นฤดูฝน ตั้งแต่เดือนเมษายนถึงมิถุนายน นิยมปลูกในพื้นที่ทั่วไป และปลายฤดูฝน ตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงธันวาคม นิยมปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออก (ปรีชา สุริยพันธุ์, 2542)

พิพัฒน์ วีระถาวร (อ้างถึงใน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548, หน้า 16-17) ได้สรุปกำหนดการปฏิบัติดูแลรักษาอ้อยในฤดูการปลูกอ้อยต่าง ๆ และกำหนดการบำรุงรักษาอ้อยตอหลังเก็บเกี่ยว ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ

2.1.2.5 การเตรียมดิน

- การเตรียมดินในพื้นที่ทั่วไป โดยปกติจะไถ 2-3 ครั้ง โดยการไถดะลึกประมาณ 30-50 เซนติเมตร และตากดินทิ้งไว้ประมาณ 7 วัน ให้วัชพืชตายหรือเน่าเปื่อย แล้วจึงพรวนหรือไถแปรอีกครั้ง
- การเตรียมดินในพื้นที่ที่ปลูกอ้อยมาก่อน พื้นที่ที่เคยปลูกอ้อยจะมีรถบรรทุกเข้าไปในพื้นที่ ทำให้ดินชั้นล่างเกิดเป็นดินดาน รากอ้อยไม่สามารถเจริญลึกไปถึงดินชั้นล่างได้ จึงควรไถดินดาน (Ripper) เพื่อทำลายชั้นดินดาน จากนั้นจึงไถรื้อตอ และตากดินไว้ประมาณ 2-4 สัปดาห์ แล้วจึงทำการไถดะ ไถแปรเช่นเดียวกับการเตรียมดินในพื้นที่ทั่วไป

2.1.2.6 การปลูกอ้อย

การปลูกอ้อยมี 2 วิธี คือ ปลูกด้วยแรงคนและปลูกโดยใช้เครื่องปลูก การปลูกอ้อยแบ่งได้เป็น 2 แบบ ดังนี้

- การปลูกอ้อยเป็นท่อน โดยตัดอ้อยพันธุ์ให้เป็นท่อน มีปล้อง 2 ปล้อง และมีตา 2-3 ตา แล้วนำไปปลูกในร่องอ้อย ให้แต่ละท่อนห่างกันประมาณ 50 เซนติเมตร
- การปลูกอ้อยทั้งลำ ทำได้ 2 วิธีคือ วางลำอ้อยในร่องและสับให้ขาดออกจากกัน และวางโดยไม่สับลำอ้อย การวางจะต้องวางให้โคนและยอดอ้อยซ้อนกันอยู่ตลอดทั้งร่อง

ตารางที่ 2.1 กำหนดการปฏิบัติดูแลรักษาอ้อยในฤดูการปลูกอ้อยต่าง ๆ

ลำดับ	การปฏิบัติ	ฤดูต้นฝน	ฤดูปลายฝน	เขตชลประทาน	อายุอ้อย (เดือน)
1	เลือกพื้นที่	ม.ค.	ก.ค.	พ.ย.	-
2	จัดหาพันธุ์อ้อย	ก.พ.	ส.ค.-ก.ย.	ธ.ค.	-
3	เตรียมดิน	ก.พ.-มี.ค.	ก.ย.-ต.ค.	ธ.ค.-ม.ค.	-
4	เตรียมท่อนพันธุ์อ้อย	มี.ค.-พ.ค.	ต.ค.-พ.ย.	ม.ค.-ก.พ.	-
5	ปลูก	มี.ค.-พ.ค.	ต.ค.-พ.ย.	ม.ค.-ก.พ.	0
6	ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1	มี.ค.-มิ.ย.	ต.ค.-ธ.ค.	ม.ค.-มี.ค.	0-1
7	ควบคุม กำจัดวัชพืช ครั้งที่ 1	มี.ค.-มิ.ย.	ต.ค.-ธ.ค.	ม.ค.-ก.พ.	0-1
8	ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2	มิ.ย.-ก.ค.	มี.ค.-เม.ย.	เม.ย.-พ.ค.	1-2
9	ควบคุม กำจัดวัชพืช ครั้งที่ 2	พ.ค.-ก.ค.	มี.ค.-พ.ค.	เม.ย.-พ.ค.	3-5
10	ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 3	ส.ค.-ก.ย.	ก.ค.-ส.ค.	พ.ค.-มิ.ย.	4-6
11	พรวนดิน พูนโคน	ส.ค.-ก.ย.	เม.ย.-พ.ค.	เม.ย.-พ.ค.	4-6
12	ตรวจการสุกแก่	ธ.ค.-ม.ค.	ต.ค.-พ.ย.	พ.ย.-ธ.ค.	9-10+
13	เตรียมการเก็บเกี่ยว	พ.ย.-ธ.ค.	ก.ย.-พ.ย.	ก.ย.-ต.ค.	8-10
14	เก็บเกี่ยว	ธ.ค.-มี.ค.	พ.ย.-มี.ค.	ม.ค.-มี.ค.	10+
15	บำรุงรักษาตอ	ม.ค.-พ.ค.	ธ.ค.-เม.ย.	ม.ค.-เม.ย.	หลังเก็บเกี่ยว

หมายเหตุ : ข้อมูลจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548

ตารางที่ 2.2 กำหนดการบำรุงรักษาอ้อยตอหลังเก็บเกี่ยว

ลำดับ	การปฏิบัติ	ฤดูต้นฝน	ฤดูปลายฝน	เขตชลประทาน	อายุอ้อย (เดือน)
1	ตัดแต่งตออ้อย	ม.ค.-มี.ค.	ธ.ค.-เม.ย.	ม.ค.-เม.ย.	-
2	พรวนดิน	ก.พ.-มี.ค.	ม.ค.-เม.ย.	ธ.ค.-เม.ย.	-
3	ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 1	ก.พ.-มี.ค.	ม.ค.-เม.ย.	ธ.ค.-เม.ย.	0-1
4	ควบคุม กำจัดวัชพืช ครั้งที่ 1	เม.ย.-พ.ค.	พ.ค.-มิ.ย.	พ.ค.-มิ.ย.	0-1
5	ควบคุม กำจัดวัชพืช ครั้งที่ 2	มี.ค.-มิ.ย.	ต.ค.-พ.ย.	ต.ค.-พ.ย.	3-5
6	ใส่ปุ๋ยครั้งที่ 2	ก.ค.-ส.ค.	มิ.ย.-ส.ค.	มิ.ย.-ส.ค.	4-6

หมายเหตุ : ข้อมูลจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548

2.1.2.7 การดูแลรักษาอ้อย

- การควบคุมและกำจัดวัชพืชการปลูกอ้อยที่ดีควรมีช่วงปลอดวัชพืชอย่างน้อย 4-5 เดือนขึ้นไป การกำจัดวัชพืชครั้งแรก ควรทำหลังจากปลูกอ้อยแล้ว 1 เดือน โดยทำไปพร้อมกับการใส่ปุ๋ย การกำจัดวัชพืชครั้งที่ 2 ควรทำหลังจากครั้งแรก 2 สัปดาห์หรือ 1 เดือน หรือเมื่ออ้อยมีอายุ 1.5-2 เดือน โดยทำพร้อมกับการใส่ปุ๋ย
- การให้น้ำ นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพอ้อย ซึ่งน้ำจะทำให้อ้อยแตกกอดี มีจำนวนลำมากและสามารถไว้ตอได้ระยะเวลาหลายปี การให้น้ำอ้อยจะมากน้อยแตกต่างกันไปตามระยะการเจริญเติบโตดังนี้ 1) ระยะงอก อ้อยจะต้องการความชื้นที่เหมาะสมไม่มากหรือน้อยเกินไป โดยให้น้ำพอเหมาะและบ่อย 2-3 ครั้ง ห่างกัน 5-7 วัน 2) ระยะหลังงอก อ้อยต้องการน้ำมากขึ้น โดยช่วงการให้ประมาณทุก10-14 วัน 3) ระยะแตกกอจนถึงย่างปล้อง เป็นระยะที่อ้อยเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว หากขาดน้ำในระยะนี้จะทำให้ผลผลิตลดลง ควรให้น้ำในปริมาณมากทุก 14-21 วัน 4) ระยะก่อนเก็บเกี่ยว (อายุ 9-10 เดือนขึ้นไป) คือระยะการสะสมน้ำตาล อ้อยต้องการน้ำน้อย โดยทั่วไปควรงดให้น้ำแก่อ้อย 1-1.5 เดือนก่อนการเก็บเกี่ยว
- การพูนโคนอ้อย เป็นการเอาดินระหว่างแถวอ้อยกลบที่โคนอ้อยโดยควรทำหลังจากที่อ้อยมีการแตกกอแล้ว เพื่อทำให้กออ้อยแข็งแรง ไม่ล้มง่าย โดยกลบดินหนาประมาณ 5 เซนติเมตร หลังจากนั้นเมื่อเริ่มดายหญ้าแล้ว ก็ค่อย ๆ พูนดินให้หนา

2.1.2.8 การบำรุงดินและการใส่ปุ๋ยอ้อย

- การบำรุงดิน โดยการใช้ไถดินดาน ไถให้ลึกประมาณ 50-75 เซนติเมตร ไถสวนกันในแปลงเป็นตารางหมากรุก
- การใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ยถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการปลูกอ้อย โดยเฉพาะดินที่ปลูกอ้อยมานาน การใส่ปุ๋ยควรจะใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือปุ๋ยอื่น ๆ ที่ช่วยปรับสภาพทางกายของดินร่วมกับปุ๋ยเคมี ปุ๋ยเคมีที่ใส่ควรมีธาตุอาหารครบทั้ง 3 อย่าง คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม (เอ็น-พี-เค) (ปรีชา พราหมณีย์, 2551)

2.1.2.9 การบำรุงรักษาอ้อยตอ

- การแต่งตอ ทำโดยใช้จอบคม ๆ ปาดตออ้อยตรงระดับดิน เพื่อตัดตอเก่าและหน่อที่แตกใหม่ทิ้งไปให้หมด ทำให้หน่อใหม่ที่แข็งแรงกว่าเจริญแตกตาแทงขึ้นมาจากใต้ดินพร้อมกันหลายหน่อ
- การให้น้ำและการรักษาความชื้น หากความชื้นไม่เพียงพอการงอกของอ้อยตออาจจะไม่สมบูรณ์ ทำให้ผลผลิตลดลง การป้องกันแก้ไขวิธีหนึ่งคือ เกษตรกรชาวไร่อ้อยควรเลิกเผาแปลงอ้อยทั้งก่อนและหลังเก็บเกี่ยว เพื่อให้มีเศษใบอ้อยปกคลุมดิน เพื่อช่วยรักษาระดับความชื้นในดิน
- การใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ยอ้อยตอควรใส่เพิ่มขึ้นมากกว่าอัตราเดิมประมาณครึ่งเท่า เพราะอ้อยตอต้องใช้ธาตุอาหารเพื่อการเจริญเติบโตของหน่อใหม่
- การดูแลรักษาทั่วไป ได้แก่ การควบคุมวัชพืช การพรวนดิน การพูนโคน

2.1.2.10 การเก็บเกี่ยว

- ควรเก็บเกี่ยวและขนส่งอ้อยเข้าโรงงานในเวลาที่เหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์อ้อย อ้อยบางพันธุ์ให้ผลผลิตหวานสูงในช่วงต้นฤดูหีบ แต่บางพันธุ์จะให้ผลผลิตและความหวานสูงเมื่ออายุเกิน 12 เดือน การวางแผนก่อนปลูกจึงเป็นสิ่งสำคัญ
- การเก็บเกี่ยวโดยทั่วไปยังใช้แรงงานคน โดยควรเก็บเฉพาะอ้อยที่สุกแก่เต็มที่โดนริดใบออก แล้วตัดลำต้นด้วยมีดตรงตอส่วนที่ชิดดิน และตัดยอดอ้อยตรงส่วนจุดเปราะโดยการโน้มใบที่ยอด ซึ่งจะทำให้อ้อยได้น้ำหนักและคุณภาพดี อ้อยที่ตัดควรวางในร่องให้เป็นระเบียบเพื่อความรวดเร็วในการขนย้ายอ้อยที่ตัดไปยังโรงงาน เนื่องจากอ้อยที่ค้างอยู่ในแปลงนาน ๆ จะทำให้น้ำหนักและคุณภาพของอ้อยลดลง

2.1.3 พื้นที่เพาะปลูกอ้อย

2.1.3.1 พื้นที่เพาะปลูกอ้อยของประเทศไทย

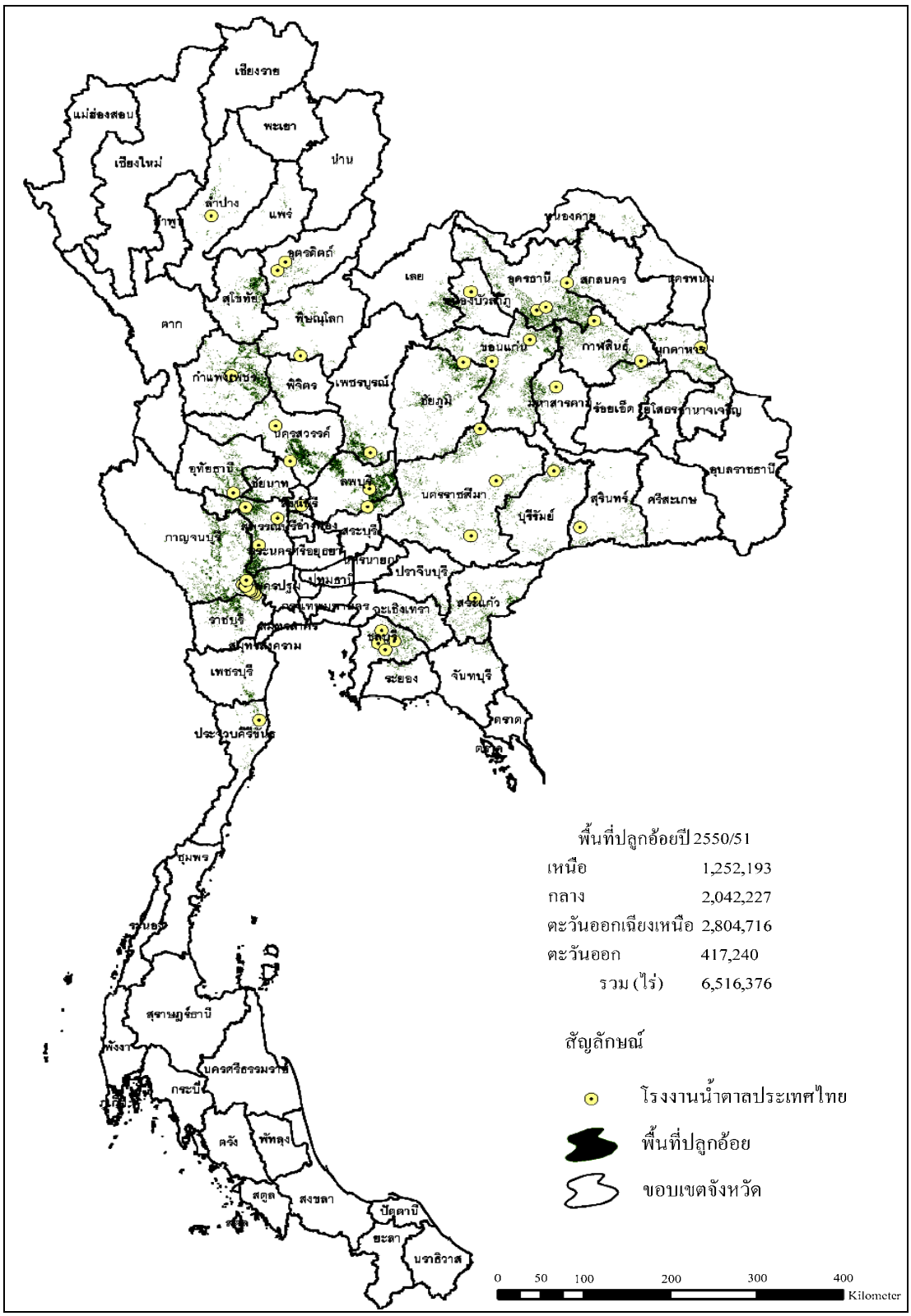
ประเทศไทยสามารถปลูกอ้อยได้ 4 ภาค คือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคเหนือ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ การพัฒนาอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็วในช่วงกว่า 10 ปี

ที่ผ่านมา ส่งผลให้มีการขยายพื้นที่เพาะปลูกอ้อยจากภาคกลางและตะวันออกไปยังภาคเหนือ และตะวันออกเฉียงเหนือ โดยในปัจจุบันผลผลิตอ้อยจากพื้นที่ภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือมีมากกว่าร้อยละ 55 ของผลผลิตอ้อยของประเทศ (สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2547) ซึ่งแผนที่แสดงพื้นที่ปลูกอ้อยของประจำปี 2551 ของประเทศไทย แสดงไว้ในรูปที่ 2.1

จากการศึกษาสำรวจพื้นที่ปลูกอ้อยในปีการผลิต 2550/51 โดยอาศัยข้อมูลจากดาวเทียมประกอบกับการเก็บรายละเอียดข้อมูลทางภาคพื้นดิน พบว่าพื้นที่ปลูกอ้อยโดยรวมทั้งประเทศ จำนวน 6,516,376 ไร่ แบ่งเป็นรายภาคได้ดังต่อไปนี้ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2551)

- ภาคเหนือ มีพื้นที่ปลูกอ้อยโดยรวมทั้งภาค จำนวน 1,252,193 ไร่ หรือ 19.22% ของพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งประเทศ
- ภาคกลาง มีพื้นที่ปลูกอ้อยโดยรวมทั้งภาค จำนวน 2,042,227 ไร่ หรือ 31.34% ของพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งประเทศ
- ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีพื้นที่ปลูกอ้อยโดยรวมทั้งภาค จำนวน 2,804,716 ไร่ หรือ 43.04% ของพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งประเทศ
- ภาคตะวันออก มีพื้นที่ปลูกอ้อยโดยรวมทั้งภาค จำนวน 417,240 ไร่ หรือ 6.40% ของพื้นที่ปลูกอ้อยทั้งประเทศ

จากผลการสำรวจแสดงให้เห็นว่า ปริมาณพื้นที่เพาะปลูกอ้อยในภาคกลางและตะวันออกลดลงจากปีที่ผ่านมา 11.88% ส่วนพื้นที่ปลูกอ้อยในภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือเพิ่มขึ้นจากปีที่ผ่านมา 5.33% ดังแสดงในตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.1 แผนที่แสดงพื้นที่ปลูกอ้อยประจำปี 2550/51 และที่ตั้งโรงงานน้ำตาลประเทศไทย (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2551)

ตารางที่ 2.3 แสดงผลการสำรวจพื้นที่ปลูกอ้อยประจำปีการผลิต 2550/51 เปรียบเทียบกับผลการสำรวจพื้นที่ปลูกอ้อยที่ได้ประจำปีการผลิต 2549/50

ภาค/พื้นที่ปลูกอ้อย	ปี 2550/51 (ไร่)	ปี 2549/50 (ไร่)	เปลี่ยนแปลง (+/-)
เหนือ	1,252,193	1,248,943	+3250 (.26%)
กลาง	2,042,227	2,200,041	- 157814(7.16%)
ตะวันออกเฉียงเหนือ	2,804,716	2,669,240	+135476 (5.07%)
ตะวันออก	417,240	437,930	-20690 (4.72%)
รวมทั้งประเทศ	6,516,376	6,556,154	-39778 (.60%)

หมายเหตุ : ข้อมูลจากสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2551

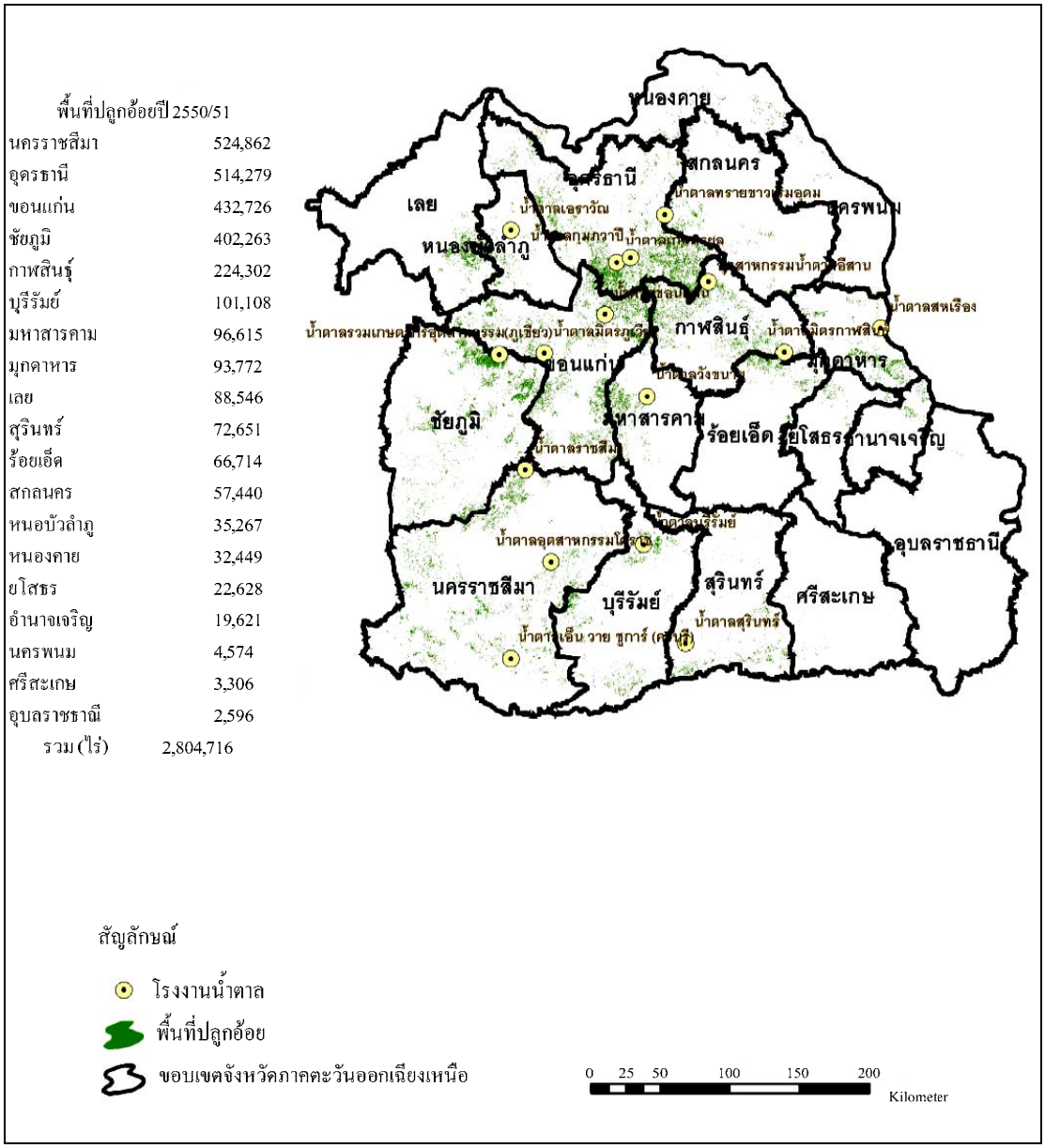
2.1.3.2 พื้นที่เพาะปลูกอ้อยของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

สาเหตุสำคัญที่มีการขยายพื้นที่เพาะปลูกอ้อยไปยังบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากขึ้น (จากเดิมประมาณ 10% เพิ่มเป็น 43.04% ในช่วงระยะเวลาประมาณ 30 ปีที่ผ่านมา) นอกเหนือจากเพื่อการขยายผลผลิตของอ้อยแล้ว เป็นเพราะพื้นที่บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีระดับอัตราผลผลิตและซูโครสสูงกว่าในพื้นที่อื่น ๆ (สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2547) ดังแสดงในตารางที่ 2.4 และรูปที่ 2.2

ตารางที่ 2.4 พื้นที่ปลูกอ้อยและผลผลิตอ้อยรายจังหวัด ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปีการผลิต2550/51

ที่	จังหวัด	พื้นที่ปลูกอ้อย (ไร่)	ปริมาณอ้อยเข้าหีบ (ตัน)	ผลผลิตเฉลี่ย (ตัน/ไร่)
	ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	2,804,716	29,754,969	11.09
1	อุดรธานี	514,279	5,457,591	11.08
2	นครราชสีมา	524,862	5,531,195	11.01
3	ขอนแก่น	432,726	4,592,139	11.08
4	ชัยภูมิ	402,263	4,287,558	11.16
5	กาฬสินธุ์	224,302	2,380,321	11.11
6	บุรีรัมย์	110,108	1,185,659	11.28
7	มุกดาหาร	93,772	1,005,444	11.23
8	เลย	88,546	949,410	11.23
9	มหาสารคาม	96,615	1,004,842	10.89
10	ร้อยเอ็ด	66,714	693,859	10.89
11	สกลนคร	57,440	618,524	11.28
12	หนองคาย	32,449	347,925	11.23
13	หนองบัวลำภู	35,267	370,036	10.99
14	ยโสธร	22,628	235,343	10.89
15	อำนาจเจริญ	19,621	202,265	10.79
16	สุรินทร์	72,651	782,319	11.28
17	นครพนม	4,574	49,043	11.23
18	อุบลราชธานี	2,592	26,958	10.89
19	ศรีสะเกษ	3,306	34,536	10.94

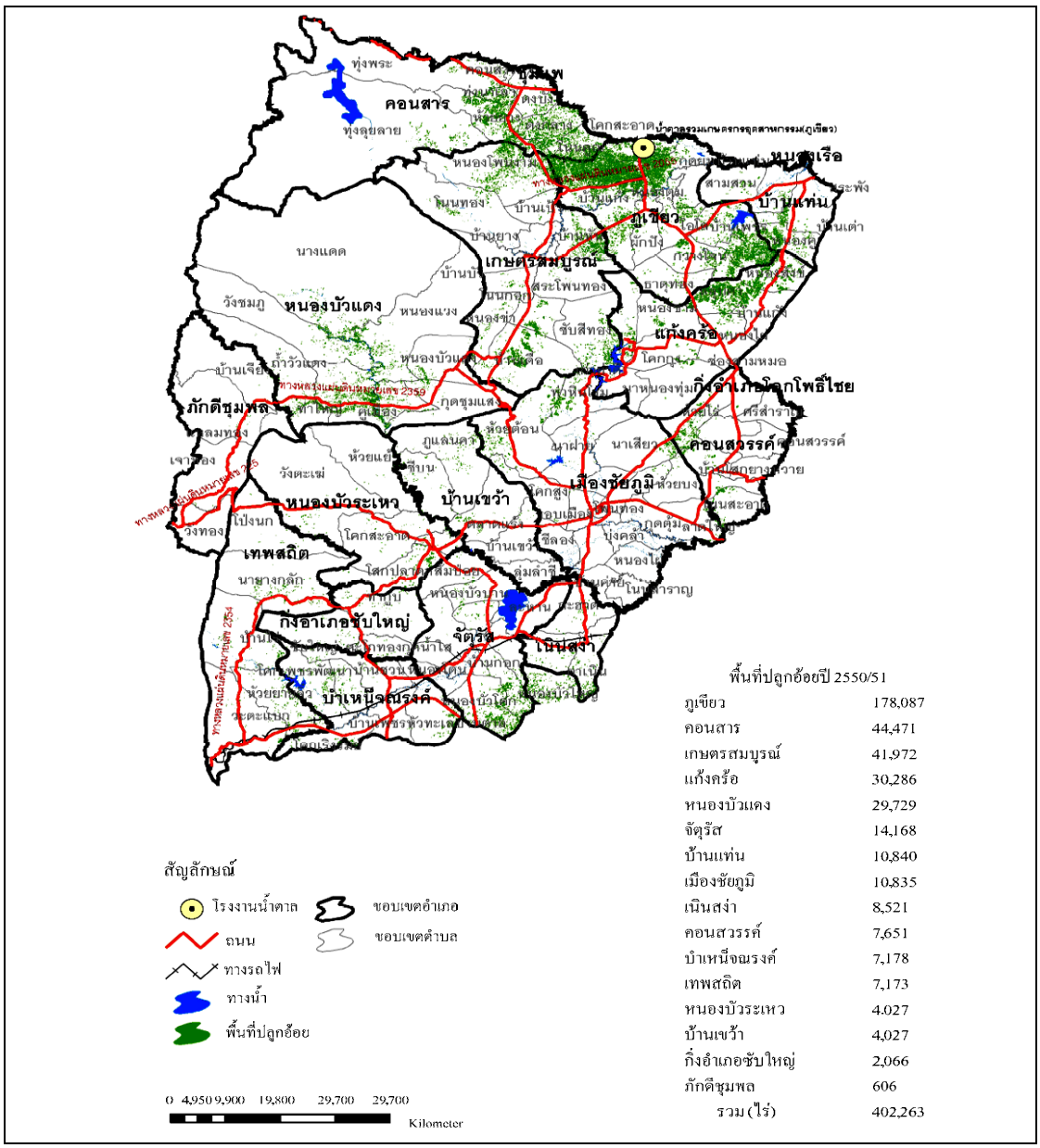
หมายเหตุ : ข้อมูลจากสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2551



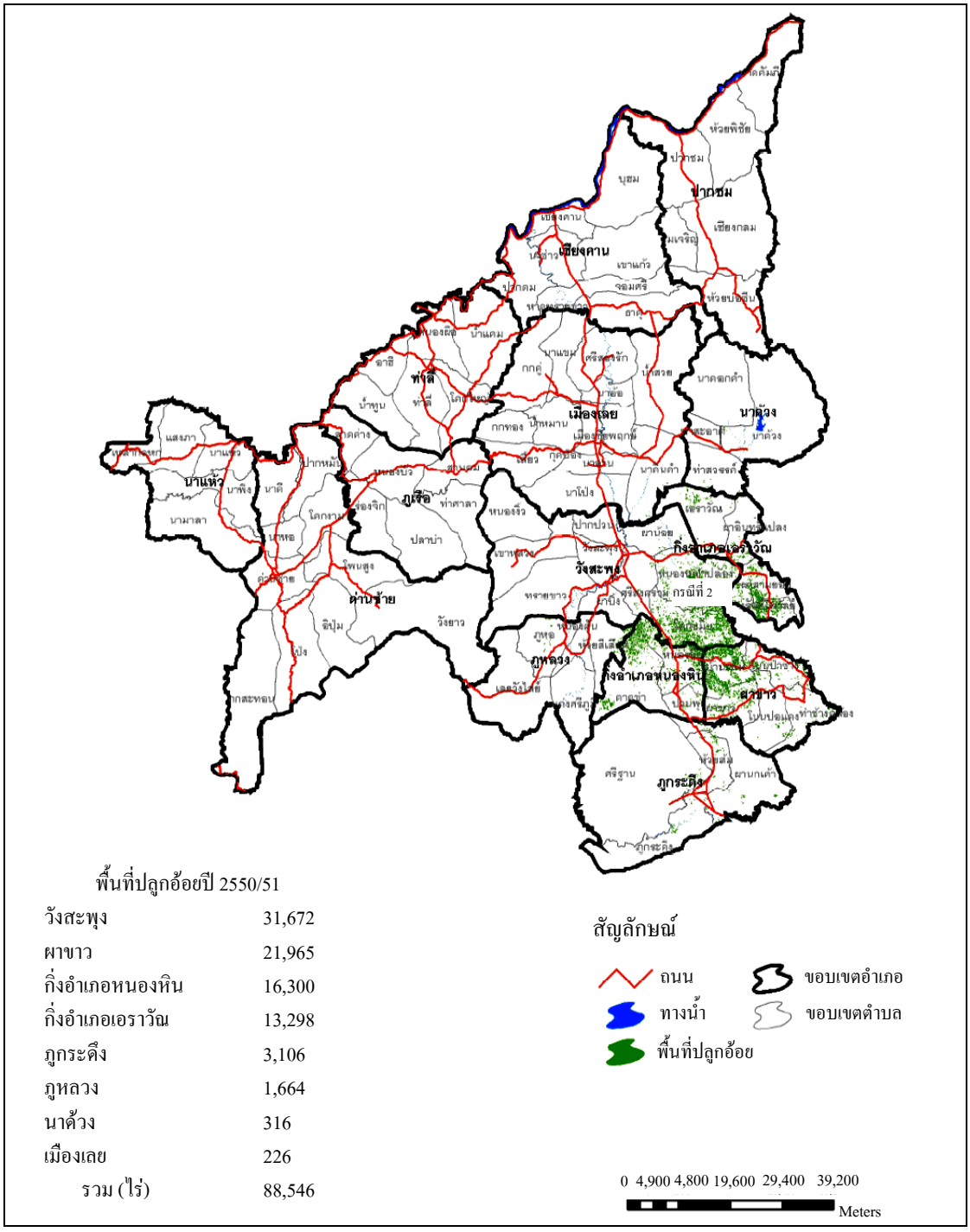
รูปที่ 2.2 แผนที่แสดงพื้นที่ปลูกอ้อยรายจังหวัด ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ปีการผลิต 2550/51 (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2551)

2.1.3.3 พื้นที่เขตส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา

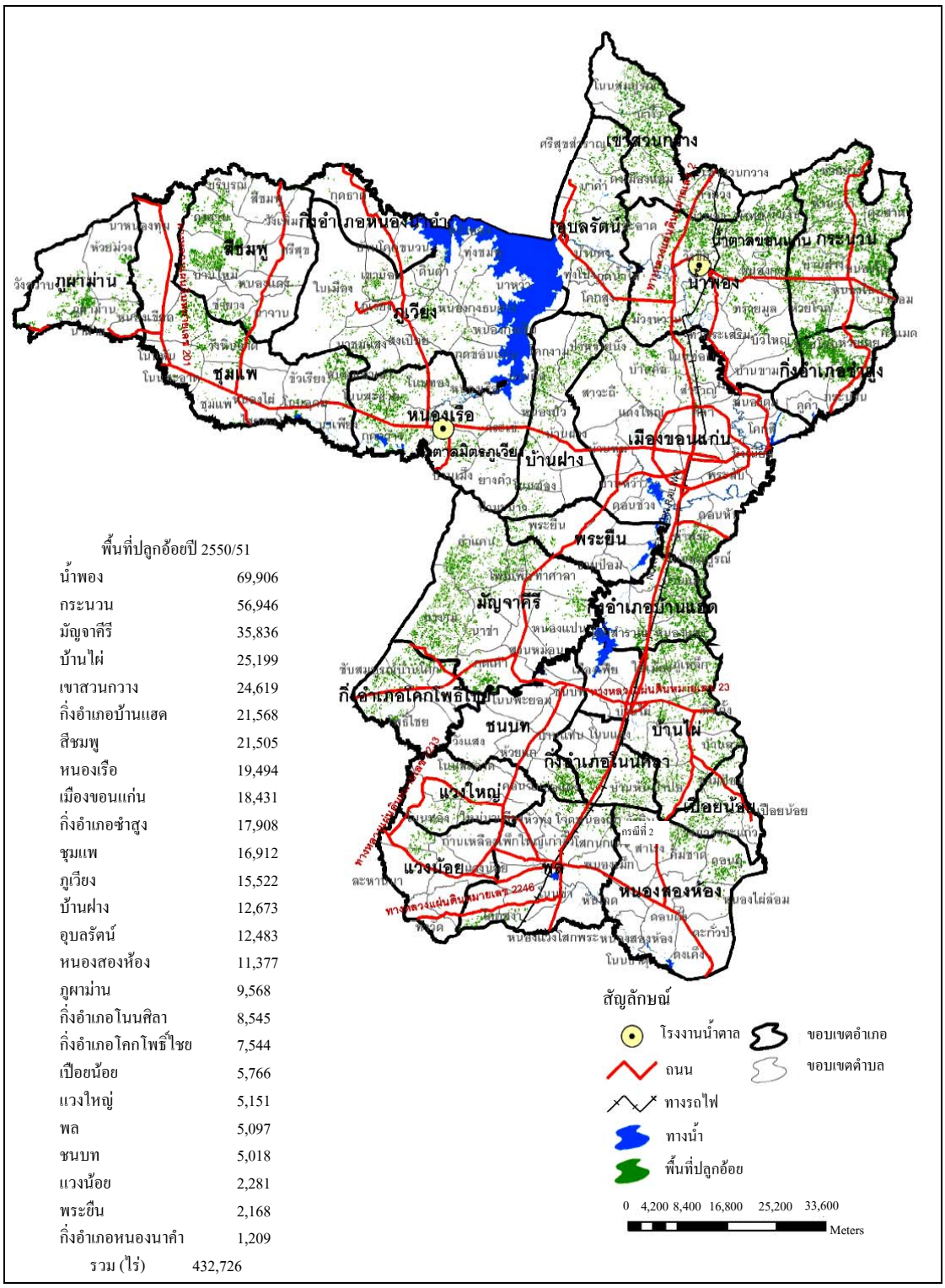
สำหรับโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา เป็นโรงงานแห่งหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีพื้นที่เขตส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานอยู่ใน 4 จังหวัด คือ ชัยภูมิ เลย ขอนแก่น และหนองบัวลำภู โดยแผนที่แสดงพื้นที่ปลูกอ้อย ปีการผลิต 2550/51 แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 2.4 2.5 และ 2.6 ตามลำดับ



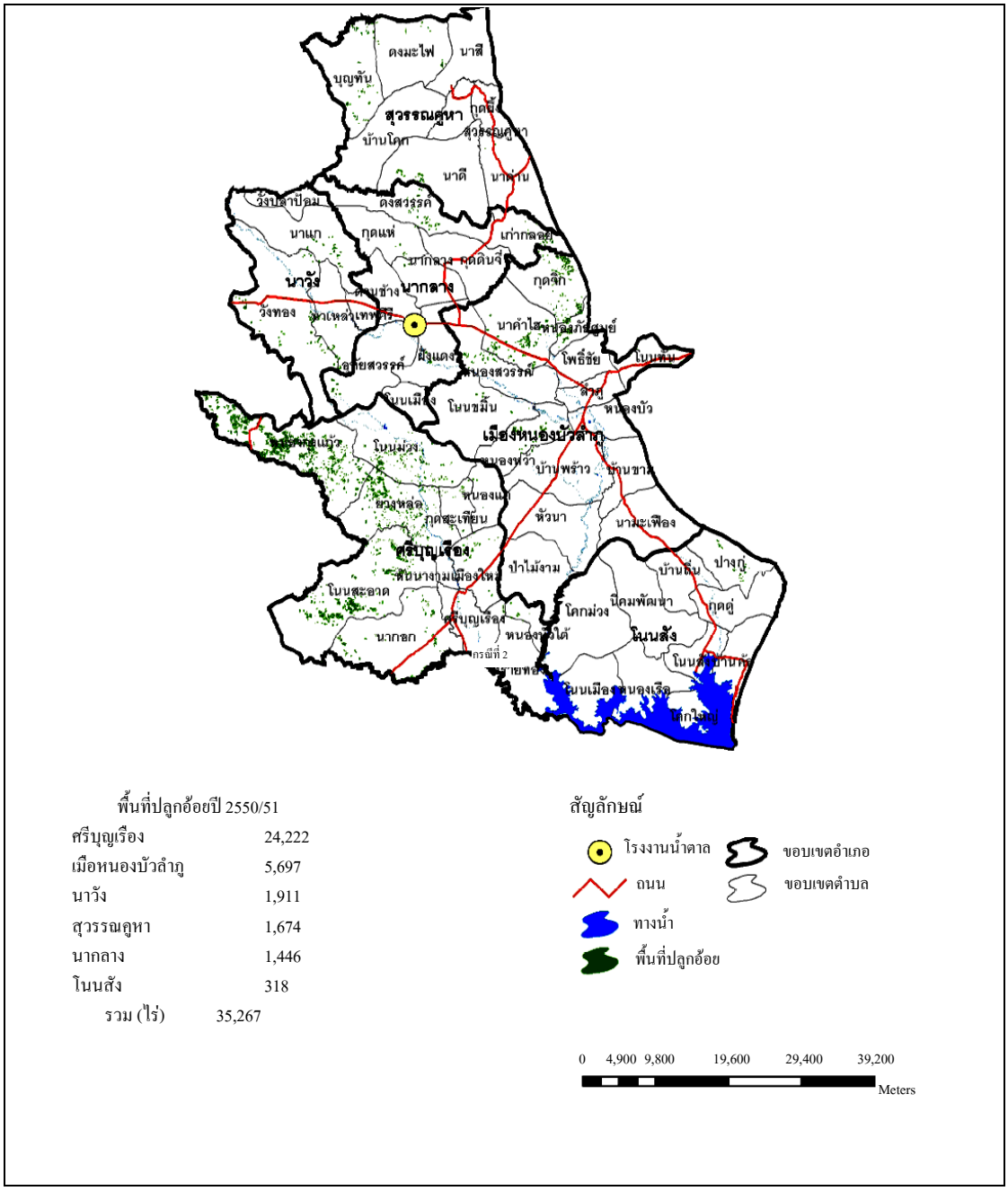
รูปที่ 2.3 แผนที่แสดงพื้นที่ปลูกอ้อยรายอำเภอ จังหวัดชัยภูมิ ปีการผลิต 2550/51 (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2551ก)



รูปที่ 2.4 แผนที่แสดงพื้นที่ปลูกอ้อยรายอำเภอ จังหวัดเลย ปีการผลิต 2550/51
(สำนักงาน คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2551ก)



รูปที่ 2.5 แผนที่แสดงพื้นที่ปลูกอ้อยรายอำเภอ จังหวัดขอนแก่น ปีการผลิต 2550/51 (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2551ก)



รูปที่ 2.6 แผนที่แสดงพื้นที่ปลูกอ้อยรายอำเภอ จังหวัดหนองบัวลำภู ปีการผลิต 2550/51 (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2551ก)

2.1.4 การวัดค่าความหวานของอ้อย

2.1.4.1 องค์ประกอบของอ้อย

โดยทั่วไปอ้อยจะประกอบด้วย 2 ส่วนที่สำคัญ คือ

- น้ำอ้อย ที่ประกอบไปด้วย น้ำ และของแข็งที่ละลายน้ำ ได้แก่ น้ำตาลซูโครส และแร่ธาตุอื่น ๆ
- ไฟเบอร์ (ของแข็งที่ไม่ละลายน้ำ) ที่ประกอบไปด้วย ชานอ้อย และดินทรายที่ปะปนอยู่ในอ้อย

2.1.4.2 ค่ามาตรฐานที่ใช้ในการวัดความหวานอ้อย

การซื้อขายอ้อยตามค่าความหวานเริ่มใช้ตั้งแต่ฤดูการผลิตปี 2535/2536 เป็นต้นมา โดยกำหนดให้ซื้อขายอ้อยตามคุณภาพความหวานวัดเป็น ซี.ซี.เอส. (Commercial Cane Sugar : C.C.S.) หมายถึง ปริมาณของน้ำตาลที่มีอยู่ในอ้อย ซึ่งสามารถหีบสกัดออกมาได้เป็นน้ำตาลทราย ซึ่งหมายความว่า ราคาอ้อยจะผันแปรไปตามคุณภาพหรือความหวาน ดังนั้น หากอ้อยมีความหวานมาก คือ มีค่า ซี.ซี.เอส สูง ชาวไร่อ้อยก็จะได้รับราคาอ้อยสูงขึ้นด้วย ซึ่งเป็นระบบที่ใช้อยู่ในประเทศออสเตรเลียเป็นแห่งแรก (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2551)

ปรีชา สุริยพันธุ์ (2542) กล่าวว่า ค่า C.C.S. ถือเป็นกุญแจสำคัญในการแก้ไขปัญหาข้อขัดแย้งระหว่างเกษตรกรชาวไร่อ้อยกับโรงงานน้ำตาลในเรื่องคุณภาพอ้อยได้ดีที่สุด และเป็นแรงจูงใจให้เกษตรกรพิถีพิถันในการทำแปลงพันธุ์ คัดเลือกพันธุ์ ดูแล ดายหญ้า ใส่ปุ๋ย ให้น้ำ ป้องกันกำจัดโรคและแมลงศัตรูตามกำหนดเวลา เพื่อให้ได้ผลตอบแทนมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อการพัฒนาอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายให้เจริญก้าวหน้ายิ่งขึ้น

ซึ่งในการคำนวณความหวานของอ้อยนั้น จะมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องคือ ค่า K_P ค่า K_B ค่าบริกซ์ (หรือจำนวนของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด) ค่าโพล (หรือจำนวนน้ำตาลซูโครส) และค่าไฟเบอร์ (หรือจำนวนของแข็งที่ไม่ละลายน้ำทั้งหมด) โดยค่าคงที่ $K_P = 0.9433$ ค่าคงที่ $K_B = 0.9660$ ค่าไฟเบอร์ (F) = เปอร์เซ็นต์เส้นใยอ้อย

ค่าบริกซ์ = (น้ำหนักของของแข็งที่ละลายอยู่ในน้ำอ้อย/น้ำหนักของอ้อย) x 100 (2.1)

ค่าโพล = (น้ำหนักของน้ำตาลซูโครสที่ละลายอยู่ในน้ำอ้อย/น้ำหนักของอ้อย) x 100 (2.2)

โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณความหวานของอ้อย (C.C.S.) คือ

$$C.C.S. = \frac{(0.9433P) - (100 - F)}{100} - \frac{1}{2}\left[\frac{(0.9660B) - (100 - F)}{100} - \frac{(0.9433P) - (100 - F)}{100}\right] \quad (2.3)$$

หมายเหตุ : ค่า $K_P = 0.9433$ และ ค่า $K_B = 0.9660$ เป็นตัวเลขของประเทศออสเตรเลีย เนื่องจากเป็นระบบที่ใช้อยู่ในประเทศออสเตรเลียเป็นแห่งแรก ซึ่งในขั้นตอนของงการหีบอ้อย จะไม่สามารถบีบเอาน้ำตาลที่มีอยู่ทั้งหมดออกมาได้ค่าที่ได้จึงมีค่า 0.9433 และ 0.9660 แต่ถ้าสามารถบีบเอาน้ำตาลออกมาได้หมด ค่านี้ก็จะเท่ากับ 1 และการคำนวณหาค่า C.C.S. ไฟเบอร์จะหมายรวมถึง ชานอ้อย และดินทรายที่ปะปนอยู่ในอ้อย (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2551)

2.1.4.3 การเก็บตัวอย่างอ้อยเพื่อหาค่าความหวาน (C.C.S.)

ในการเก็บตัวอย่างอ้อยเพื่อหาค่าความหวาน หรือ ค่า C.C.S. จะต้องเก็บตัวอย่างอ้อย 2 ชนิดด้วยกัน คือ เก็บตัวอย่างอ้อยเตรียม (Prepared cane) เพื่อใช้คำนวณหาค่าไฟเบอร์ (F) และ เก็บตัวอย่างน้ำอ้อยจากลูกหีบชุดที่ 1 เพื่อใช้คำนวณหาค่าบริกซ์ (B) และค่าโพล (P) จากนั้นจึงนำค่าที่ได้ทั้ง 3 ค่าไปคำนวณหาค่า C.C.S. ต่อไป (ปรีชา, 2542)

การเก็บตัวอย่างอ้อยเตรียม

ตัวอย่างอ้อยเตรียม จะเก็บจากจุดเปิดระหว่างเครื่องตีย่อยอ้อยกับลูกกลิ้งป้อนอ้อย ซึ่งจะถือเป็นตัวแทนของอ้อยที่เข้าหีบในวันนั้น (สำหรับใช้คำนวณไฟเบอร์) โดยมีวิธีการเก็บดังนี้

- สุ่มเก็บตัวอย่างอ้อยเตรียมทุก 2 ชั่วโมง ครั้งละ 4 กิโลกรัม เพื่อรวบรวมเป็นตัวอย่างรวม โดยในการสุ่มเก็บตัวอย่างแต่ละครั้ง จะนำตัวอย่างมาเทลงบนโต๊ะเกลี่ยให้เสมอกัน แล้วสุ่มหยิบตัวอย่างด้วยมือทั้ง 2 ข้างให้เต็มกอบ 3 ครั้ง ให้ได้น้ำหนักประมาณ 2 กิโลกรัม เก็บใส่ถุงพลาสติก หยดโทลูอีนลงไป 1 ลบ.ซม. ปิดปากถุงให้แน่น แล้วเก็บเข้าตู้เย็นที่อุณหภูมิ 0.5 องศาเซลเซียส เมื่อครบ 24 ชั่วโมง ก็จะได้ 12 ถุง
- เมื่อได้ตัวอย่างรวมครบจำนวนแล้ว นำตัวอย่างทั้งหมดมาเทรวมคลุกเคล้ากันให้ทั่ว แล้วสุ่มเก็บตัวอย่างออกมาโดยเร็วให้ได้ประมาณ 1 กิโลกรัม บรรจุลงถุงพลาสติก ใช้มือรีดถุงไล่อากาศออก ติดป้ายแสดงตัวอย่างประจำวันที่เก็บ จากนั้นจึงส่งไปวิเคราะห์ไฟเบอร์ต่อไป

การเก็บตัวอย่างน้ำอ้อยจากลูกหีบชุดแรก มีวิธีการเก็บ 2 กรณีดังนี้

- กรณีโรงงานมีลูกกลิ้งกดป้อนอ้อยจะเก็บตัวอย่างน้ำอ้อยจากส่วนที่ไหลลงใต้ชุดลูกกลิ้งกดป้อน รวมกับส่วนที่ไหลลงด้านหน้าลูกหีบชุดที่ 1
- กรณีโรงงานไม่มีลูกกลิ้งกดป้อนอ้อย จะเก็บตัวอย่างน้ำอ้อยจากส่วนที่ไหลลงด้านหน้าของลูกหีบชุดที่ 1

เมื่อได้รับสัญญาณให้เก็บตัวอย่างน้ำอ้อย พนักงานจะเตรียมภาชนะบันทึกเบอร์ วัน เวลา รหัสไว้พร้อม จากนั้นพนักงานจะปล่อยน้ำอ้อยตัวอย่างนั้นล้างท่อและรางเก็บตัวอย่างประมาณ 5 วินาที แล้วจึงเก็บตัวอย่างน้ำอ้อยประมาณ 1 ลิตร โดยจะใช้ส่วนของน้ำอ้อยตัวอย่างนั้นล้างภาชนะที่เตรียมไว้บรรจุตัวอย่างนั้นก่อน น้ำอ้อยตัวอย่างจะถูกส่งไปห้องปฏิบัติการเพื่อวิเคราะห์หาค่าบริกซ์ และ ค่าโพล โดยตัวอย่างน้ำอ้อยจะถูกแบ่งเป็น 2 ตัวอย่าง มีเบอร์ วัน เวลา และรหัสเดียวกัน และทุก ๆ 4 ชั่วโมงจะต้องทำความสะอาดท่อรางเก็บน้ำอ้อยตัวอย่างด้วยไอน้ำ

สำหรับกรณีที่รถบรรทุกอ้อยไม่สามารถเข้ากับทริปเปอร์ของโรงงานได้ จะต้องใช้พนักงานสุ่มเก็บตัวอย่างอ้อยจากรถบรรทุกประมาณ 12 ลำ แล้วนำไปหีบด้วยลูกหีบเล็กแล้วปรับด้วยแฟคเตอร์ของลูกหีบนั้น จึงจะนำไปวิเคราะห์หาค่าบริกซ์ และ ค่าโพล

2.1.4.4 การวิเคราะห์ค่าไฟเบอร์ ค่าบริกซ์ และค่าโพล

ผลการวิเคราะห์ค่า C.C.S. จะถูกต้องแม่นยำหรือไม่นั้น จะขึ้นมาตรฐานการวิเคราะห์ค่าไฟเบอร์ ค่าบริกซ์ และค่าโพล (ปรีชา, 2542)

การวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์ไฟเบอร์ของตัวอย่างอ้อยเตรียม

หลังจากได้ตัวอย่างอ้อยเตรียม 1 กิโลกรัมแล้ว จะนำมาวิเคราะห์หาค่าไฟเบอร์ตามขั้นตอนต่อไปนี้

อบถุงผ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนกระทั่งได้น้ำหนักคงที่

สุ่มหยิบอ้อยตัวอย่างที่คลุกเคล้าจนทั่วโดยเร็ว มาชั่งให้ได้ประมาณ 200 กรัม บันทึกน้ำหนักไว้ บรรจุในถุงผ้าดิบผูกปากให้แน่น จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำเย็นที่ไหลถ่ายเทนาน 1 ชั่วโมง แล้วชะด้วยน้ำร้อนอีก 1 ชั่วโมงหรือนานกว่านั้น ทำจนกระทั่งน้ำที่บีบออกจากถุงตัวอย่างมีค่าโพลน้อยกว่า 0.2 จึงหยุดชะล้าง ซึ่งระหว่างชะล้างด้วยน้ำเย็นและน้ำร้อนจะนำถุงผ้ามาบีบและปั่นแห้งทุก 15 นาที

นำตัวอย่างในถุงผ้าไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 3 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก ทำซ้ำจนกระทั่งน้ำหนัก คงที่ก็จะได้ค่าไฟเบอร์สำหรับนำไปคำนวณค่า C.C.S. ต่อไป

การวัดค่าบริกซ์ของตัวอย่างน้ำอ้อย

ค่าบริกซ์สามารถวัดได้ 2 วิธี คือ ใช้เครื่องส่องด้วยตา และใช้ไฮโดรมิเตอร์ โดยเครื่องวัดค่าบริกซ์ตามมาตรฐานต้องมีค่าความเที่ยงตรง $\pm$ 0.02 บริกซ์ หรือแบบอัตโนมัติแสดงค่าเป็นตัวเลขบนจอ มีไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมความเที่ยงตรงของค่าบริกซ์ให้อยู่ในช่วง $\pm$ 0.01 บริกซ์

การวัดค่าโพลของตัวอย่างน้ำอ้อย

การวัดค่าโพลสามารถวัดได้โดยการใช้เครื่องมือวัดค่าโพล ซึ่งอาจมีชื่อเรียกต่างกัน เช่น Saccharimeter Polarimeter สามารถใช้วิเคราะห์น้ำตาลซูโครสในสารละลายตัวอย่างน้ำอ้อย น้ำอ้อยมัสกิต และกากน้ำตาลได้ โดยอาศัยคุณสมบัติการหมุนระนาบแสงของน้ำตาลซูโครสในตัวอย่าง เครื่องวัดค่าโพลอาจเป็นแบบส่องอ่านค่าด้วยตา หรือแบบอัตโนมัติ พร้อมหลอดตัวอย่างโพล (Pol tube) ขนาดความยาว 200 มิลลิเมตร ทำด้วยแก้วบริสุทธิ์ โดยหลอดแก้วจะต้องได้มาตรฐาน ปลายหลอดทั้ง 2 ข้างต้องขนานกัน และแผ่นกระจกปิดหัวท้ายหลอดต้องสามารถปล่อยให้แสงผ่านได้ 100%

2.1.4.5 การคำนวณหาค่าความหวาน (C.C.S.)

เมื่อได้ค่าไฟเบอร์ (F) ค่าบริกซ์ (B) และค่าโพล (P) แล้ว จึงนำมาคำนวณหาค่า C.C.S จากสูตรต่อไปนี้ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2551)

$$C.C.S. = \{3\ P/2\ [1 - (F-5)/100]\} - \{B/2\ [1 - (F-3)/100]\} \quad (2.4)$$

2.1.5 ปัญหาและผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการปลูกอ้อย

การเพาะปลูกอ้อยของเกษตรกรชาวไร่อ้อย ยังประสบปัญหาที่เป็นอุปสรรคต่อการพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตอยู่หลายประการ ได้แก่

2.1.5.1 การเผาอ้อยทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว

เนื่องจากยอดและใบอ้อยมีความแหลมคมยากต่อการตัดหรือจัดเก็บ และเพื่อควบคุมปริมาณยอดอ้อยไม่ให้มีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำตาล จึงเกิดการเผาอ้อยเพื่อสะดวกต่อการตัดต้นอ้อยและการเตรียมพื้นที่เพื่อการปลูกในรอบต่อไป ดังนั้น การเผาอ้อยจึงนับว่าเป็นกิจกรรมที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อมและชั้นบรรยากาศของโลก และนอกจากนี้ยังเป็นสาเหตุสำคัญของปรากฏการณ์เรือนกระจกที่ทำให้โลกร้อนขึ้น ซึ่งขณะนี้กำลังเป็นปัญหาใหญ่ระดับโลก เพราะโลกร้อนขึ้น ส่งผลกระทบให้น้ำแข็งที่ขั้วโลกละลายอย่างรวดเร็ว สภาพอากาศทั่วโลกแปรปรวน ในบางพื้นที่เกิดมรสุม บางพื้นที่แห้งแล้ง บางพื้นที่หิมะถล่ม ซึ่งมลพิษอากาศต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุให้เกิด

ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ขึ้น ได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ก๊าซไนตรัสออกไซด์ และ NMVOC (Non-Methane Volatile Organic Compound)

2.1.5.2 การใช้สารเคมีเกษตร

สารเคมีกำจัดศัตรูพืช และสารเคมีบำรุงดิน ล้วนส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ เพราะจะทำให้สิ่งมีชีวิตที่มีประโยชน์ถูกทำลายและได้รับผลกระทบไม่ว่าจะเป็นการใช้ปุ๋ยเคมี การใช้ยาฆ่าแมลง ยาควบคุมวัชพืช ส่งผลให้ดินขาดความสมบูรณ์ อีกทั้งสารเคมีที่ใช้อาจส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ หรือแม้แต่ปนเปื้อนในดินและถูกชะลงไปในแหล่งน้ำ ทำให้มีผลกระทบต่อพืชและสัตว์ที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำ

2.1.5.3 การใช้เครื่องจักรกลการเกษตร

ขั้นตอนในการปลูกอ้อย จำเป็นต้องใช้เครื่องจักรกลในหลายขั้นตอน ทั้งเพื่อการเตรียมดินโดยการไถดิน การรดน้ำโดยใช้ปั๊มที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ดูแลรักษาโดยการใช้เครื่องพ่น เก็บเกี่ยวที่ใช้เครื่องเกี่ยว และขนส่ง ซึ่งต้องมีการใช้รถยนต์ในการขนส่งจากไร่อ้อยสู่สถานีขนถ่าย และจากสถานีขนถ่ายไปส่งไปยังโรงงานน้ำตาล ล้วนแล้วแต่มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการขับเคลื่อนเครื่องจักรดังกล่าวทั้งสิ้น จึงส่งผลกระทบด้านการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งต้องมีการนำเข้าจากต่างประเทศ เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการภายในประเทศ

2.1.5.4 การขยายพื้นที่ปลูกอ้อย

จากแนวโน้มสถานการณ์การขาดแคลนน้ำมันเชื้อเพลิง ทำให้ความต้องการเอทานอลในตลาดโลกเพิ่มสูงขึ้น อ้อยคือวัตถุดิบชนิดหนึ่งที่สามารถใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล หลาย ๆ ประเทศทั่วโลกรวมไม่เว้นแม้แต่ประเทศไทย จึงเริ่มหันมาปลูกพืชที่สามารถผลิตเป็นพลังงานได้ เช่น มันสำปะหลัง อ้อย ข้าวโพด จึงส่งผลทำให้ต้องมีการเพิ่มกำลังการผลิต ขยายพื้นที่เพาะปลูก เพื่อรองรับการขยายตัวของตลาดในอนาคต ซึ่งการขยายพื้นที่เพาะปลูกจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อการลดลงของพื้นที่ป่าธรรมชาติ

2.2 น้ำตาลทราย

2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับน้ำตาลทราย

น้ำตาลทรายในธรรมชาติ คือ ผลจากการที่พืชสังเคราะห์แสงและสร้างอาหารเป็นน้ำตาลเก็บสะสมไว้ที่ลำต้น หัว หรือผล ขึ้นอยู่กับชนิดของพืช เช่น อ้อย หัวผักกาดหวาน น้ำตาลทรายมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า ซูโครส (Sucrose) จัดเป็นน้ำตาลประเภทไดแซกคาไรด์

(Disaccharide) ซึ่งประกอบด้วยน้ำตาลโมโนแซกคาไรด์ (Monosaccharide) 2 ชนิด คือ กลูโคส (Glucose) และฟรุคโตส (Fructose) (สุภัทรา น. วรรณพิณ และพวงเพชร สุรัตนกวีกุล, 2541)

2.2.1.1 ประโยชน์ของน้ำตาลทราย

- น้ำตาลเป็นคาร์โบไฮเดรท ซึ่งถูกดูดซึมเข้าร่างกายได้ง่าย ร่างกายสามารถใช้ทดแทนพลังงานที่สูญเสียไปได้อย่างรวดเร็ว เหมาะสำหรับนักกีฬา ผู้ที่ทำงานหนัก และเด็กในวัยกำลังเจริญเติบโต น้ำตาลทราย 1 กรัม ให้พลังงาน 4 กิโลแคลอรี่
- เป็นส่วนหนึ่งของอาหารคาวหวาน เครื่องดื่ม หรือยา
- ใช้ถนอมอาหาร เช่น อาหารประเภทเชื่อมหรือแช่อิ่ม เนื่องจากสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียได้ ทำให้อาหารไม่บูดเน่า
- ทำให้เกิดการหมักโดยยีสต์ได้
- ทำปฏิกิริยากับกรดอะมิโน เพื่อใช้ในการผลิตสีสัน และส่วนประกอบปรุงแต่งสำหรับรสชาติและสีสันของขนมอบ
- การใช้น้ำตาลในทางการแพทย์ เช่น ใช้ผลิตน้ำเกลือแร่ ใช้ในผู้มีอาการท้องร่วงหรืออาเจียนอย่างรุนแรง
- การใช้น้ำตาลในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมอาหารกระป๋อง อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมแอลกอฮอล์ อุตสาหกรรมพลาสติก อุตสาหกรรมการทอผ้า อุตสาหกรรมเรซินและอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2549)

2.2.1.2 พืชที่ใช้ผลิตน้ำตาลทราย

น้ำตาลทราย สามารถผลิตได้จากพืชหลายชนิด เช่น อ้อย หัวผักกาดหวาน ข้าวฟ่างหวาน ปาล์ม และเมเปิ้ล แต่ถ้าเป็นการผลิตเพื่อการค้าแล้ว พืชหลักที่ใช้จะมีเพียง 2 ชนิด คือ อ้อย และหัวผักกาดหวาน น้ำตาลทรายมากกว่าครึ่งหนึ่งในโลกผลิตขึ้นจากอ้อย ซึ่งปลูกได้ในเขตร้อน (Tropical) และเขตกึ่งร้อน (Subtropical) โดยประเทศผู้ผลิตน้ำตาลอ้อยที่สำคัญ ได้แก่ บราซิล อินเดีย จีน เม็กซิโก ออสเตรเลีย ไทย ปากีสถาน สหรัฐอเมริกา โคลัมเบีย และ แอฟริกาใต้ ส่วนน้ำตาลทรายที่เหลือนั้นจะผลิตจากหัวผักกาดหวาน ซึ่งปลูกได้ในเขตอบอุ่นและเขตค่อนข้างหนาว โดยประเทศผู้ผลิตน้ำตาลจากหัวผักกาดหวานที่สำคัญได้แก่ สหภาพยุโรป สหรัฐอเมริกา รัสเซีย ตุรกี ยูเครน อิหร่าน ญี่ปุ่น จีน โมร็อกโก และเบลารุส

2.2.1.3 ประเภทของน้ำตาลทราย

น้ำตาลทรายแบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

- น้ำตาลทรายดิบ (Raw Sugar) เป็นน้ำตาลที่มีผลึกสีน้ำตาลเข้ม มีความหวานและความบริสุทธิ์ต่ำ เม็ดของน้ำตาลจะมีกากน้ำตาล (Molasses) หุ้มอยู่รอบ ๆ ซึ่งปัจจุบันไม่นิยมใช้บริโภคภายในประเทศ แต่ใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (Refined Sugar) และเพื่อส่งออกจำหน่ายต่างประเทศ
- น้ำตาลทรายขาว (Plantation or Mill White Sugar) ผลึกน้ำตาลจะแห้งและมีสีขาว หรือค่อนข้างขาว จะมีกากน้ำตาลติดบ้างเล็กน้อย ซึ่งน้ำตาลทรายขาวจะต่างจากน้ำตาลทรายดิบตรงที่น้ำตาลทรายขาวจะผ่านขั้นตอนการฟอกสีของน้ำอ้อย
- น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (Refined Sugar) เป็นน้ำตาลทรายขาวที่มีความบริสุทธิ์สูง ผลึกใสไร้สี มีร้อยละของน้ำตาลซูโครสไม่ต่ำกว่า 99.5% และจัดว่าเป็นอินทรีย์สารที่มีความบริสุทธิ์ (Purity Rubric) สูงมากเกือบ 100%

2.2.1.4 ผลผลิตน้ำตาลทราย

คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย ได้กำหนดมาตรการในการควบคุมด้านผลผลิตน้ำตาลและการจำหน่ายน้ำตาลทรายที่ผลิตขึ้นทั้งหมดของประเทศ โดยการแบ่งสรรโควตาปริมาณผลผลิตน้ำตาลทรายที่ได้ในแต่ละฤดูการผลิตออกเป็น 3 ส่วน คือ

- น้ำตาลทรายโควตา ก. (ใช้ในประเทศ) ได้แก่ น้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ที่คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทรายกำหนดให้โรงงานน้ำตาลผลิตเพื่อใช้บริโภคในภายในประเทศ โดยได้กำหนดปริมาณตามที่คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทรายกำหนด โดยในแต่ละฤดูการผลิต โรงงานน้ำตาลจะต้องจำหน่ายน้ำตาลโควตา ก. ให้แก่ผู้ซื้อโดยผ่านการควบคุมจากสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย
- น้ำตาลทรายโควตา ข. ได้แก่ น้ำตาลทรายดิบที่คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทรายกำหนดให้โรงงานผลิตและส่งมอบให้กับบริษัทส่งออกน้ำตาลเพื่อดำเนินการส่งออกจำหน่ายไปยังต่างประเทศ
- น้ำตาลทรายโควตา ค. (สำหรับผลิตสินค้าเพื่อการส่งออก) เป็นน้ำตาลทรายดิบหรือน้ำตาลทรายขาวหรือน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ ที่ถูกผลิตขึ้นตามที่คณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทรายกำหนดให้โรงงานน้ำตาลผลิตเพื่อการส่งออกหลังจากที่โรงงานผลิตน้ำตาลได้ครบตามโควตา ก. และ ข. แล้ว ซึ่งการจำหน่ายน้ำตาลทรายภายในประเทศนั้นจะมีลักษณะเป็นตลาดกลาง โดยที่โรงงานน้ำตาลจะดำเนินการขายอย่างเสรี แต่จะมีคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทรายควบคุมปริมาณที่จะเข้าสู่ตลาดกลาง เพื่อรักษาเสถียรภาพของราคาไว้ โดยจะกำหนดงวดของการนำน้ำตาลออกมาจำหน่ายตามความต้องการของตลาด ซึ่งปริมาณน้ำตาลทรายทั้งหมดที่จำหน่ายภาย

ในประเทศ หรือ โควตา ก. ได้ถูกแบ่งออกเป็นงวดจำหน่าย จำนวน 52 งวด ตามจำนวนสัปดาห์ในรอบปีเพื่อให้โรงงานน้ำตาลนำน้ำตาลออกจำหน่าย ให้แก่ผู้ค้าส่งหรืออุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ใช้น้ำตาลเป็นวัตถุดิบ สัปดาห์ละ 1 งวด ส่วนการดำเนินการส่งออกต้องเป็นไปตามกฎระเบียบที่กำหนดโดยหน่วยงานของรัฐบาล คือ กระทรวงอุตสาหกรรมและกระทรวงพาณิชย์ ซึ่งวิธีการส่งออกน้ำตาลของไทยนั้นจะขายให้แก่บริษัทนายหน้า และผู้ค้าน้ำตาลที่เป็นที่รู้จักกันดีในวงการค้าระหว่างประเทศ ส่วนการจำหน่ายน้ำตาลทรายโควตา ข. และโควตา ค. นั้น โรงงานน้ำตาลจะจำหน่ายผ่านทางบริษัทผู้ส่งออกน้ำตาล 7 บริษัทใหญ่ ได้แก่ บริษัท อ้อยและน้ำตาลไทย จำกัด บริษัท ค้าผลผลิตน้ำตาล จำกัด บริษัท ส่งออกน้ำตาลสยาม จำกัด บริษัท การค้าอุตสาหกรรมน้ำตาล จำกัด บริษัท เค เอส แอล เอ็กซ์ปอร์ตเทรดดิ้ง จำกัด บริษัท ที.ไอ.เอส.เอส. จำกัด และบริษัท แปซิฟิก ชูการ์ คอร์ปอเรชั่น จำกัด

2.2.2 สถิติการผลิต ส่งออกและนำเข้าน้ำตาลของประเทศไทย

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2553) ได้วิเคราะห์สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญในปี พ.ศ. 2552 เพื่อประเมินสถานการณ์การผลิต การตลาด การส่งออก การนำเข้า และราคาสินค้าเกษตรที่สำคัญ โดยได้วิเคราะห์และคาดการณ์การผลิต ส่งออก และนำเข้าน้ำตาลของประเทศไทยไว้ดังนี้

2.2.2.1 สถิติการผลิตน้ำตาลทรายของประเทศไทย

ผลผลิตน้ำตาลในปี พ.ศ. 2551/52 มีปริมาณ 7.2 ล้านตัน ซึ่งลดลงจากปีที่ผ่านมา 0.6 ล้านตัน หรือร้อยละ 7.7 โดยได้รวบรวมสถิติการผลิตน้ำตาลทรายของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548-2553 แสดงไว้ในตารางที่ 2.5

2.2.2.2 สถิติการส่งออกน้ำตาลทรายของประเทศไทย

ประเทศไทยสามารถส่งออกน้ำตาลในปี พ.ศ.2552 ได้ถึง 5.3 ล้านตัน (เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2551 ประมาณ 0.29 ล้านตัน) โดยคาดการณ์ว่าในปีการผลิต 2552/53 จะส่งออกได้ปริมาณ 5.5 ล้านตัน ส่วนมูลค่าการส่งออกประมาณ 62,000 ล้านบาท ประเทศที่ไทยส่งออกน้ำตาลทรายมากที่สุด ได้แก่ ญี่ปุ่น กัมพูชา จีน บังคลาเทศ และไต้หวัน เป็นต้น ซึ่งมีการรวบรวมสถิติของการส่งออกน้ำตาลทรายของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ.2548-2553 แสดงไว้ในตารางที่ 2.5

2.2.2.3 สถิติการนำเข้าน้ำตาลทรายของประเทศไทย

ในปี พ.ศ. 2552 ประเทศไทยนำเข้าน้ำตาลทรายจากต่างประเทศเพียงเล็กน้อยประมาณ 388 ตัน คิดเป็นมูลค่า 15.7 ล้านบาท ซึ่งน้ำตาลที่นำเข้าส่วนใหญ่เป็นน้ำตาลชนิดพิเศษที่ไม่มีการผลิตภายในประเทศ ซึ่งคาดการณ์ว่าในปีการผลิต 2552/53 ประเทศไทยอาจต้องนำเข้าน้ำตาลเพิ่มขึ้น เนื่องจากสต็อกน้ำตาลภายในประเทศมีจำนวนน้อยลง ซึ่งมีการรวบรวมสถิติของการนำเข้าน้ำตาลทรายของประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548-2553 แสดงไว้ในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ผลผลิตอ้อยและน้ำตาลทราย การบริโภค การส่งออก การนำเข้าน้ำตาลทรายของประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ.2548-2553

ปีการผลิต	ผลผลิตอ้อย (ล้านตัน)	ผลผลิตน้ำตาลทราย (ล้านตัน)	การบริโภค (ล้านตัน)	การส่งออก (ล้านตัน)	การนำเข้า (ตัน)
2547/48	49.60	5.20	2.00	3.00	4,429
2548/49	47.66	4.80	2.07	2.24	14,811
2549/50	64.37	6.70	2.01	4.43	81
2550/51	73.50	7.80	1.93	5.01	3,285
2551/52	66.78	7.20	1.90	5.30	388
2552/53	71.11	7.62	2.10	5.52	N/A

หมายเหตุ : ข้อมูลจากศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553

2.2.3 โอกาสทางการค้า

จากการที่มีการประชุมคณะมนตรีองค์การน้ำตาลระหว่างประเทศ (International Sugar Organization: ISO) ครั้งที่ 36 ระหว่างวันที่ 23-27 พฤศจิกายน พ.ศ. 2552 ณ กรุงลอนดอน ประเทศสหราชอาณาจักร ซึ่งได้มีการปรับข้อมูลดุลน้ำตาลโลกปี 2552/2553 โดยคาดว่าจะมีปริมาณการผลิตรวม 159.887 ล้านตัน ปริมาณการบริโภค 167.134 ล้านตัน ตามรายละเอียดที่แสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ดุลน้ำตาลโลก ปี 2551/52-ปี 2552/53

ปีการผลิต	2552/53	2551/52	เปลี่ยนแปลง	เปลี่ยนแปลง (%)
ปริมาณการผลิต	159.887	152.976	+6.911	+4.52
ปริมาณการบริโภค	167.134	164.316	+2.818	+1.71
เพิ่ม/ลด	-7.247	-11.340	-	-
ปริมาณนำเข้า	52.072	48.180	+3.892	+8.08
ปริมาณส่งออก	52.079	48.250	+3.829	+7.94
ปริมาณสต็อก	53.471	60.725	-7.254	-11.95

หมายเหตุ : ข้อมูลจากสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2553ก (หน่วย : ล้านตัน)

2.2.3.1 สถานการณ์น้ำตาลของประเทศไทยในปัจจุบัน

เนื่องจากผลผลิตอ้อยและน้ำตาลของไทยลดลงต่อเนื่องเป็นเวลา 3 ปี จึงทำให้ในปี พ.ศ. 2553 ประเทศไทยเป็นผู้ส่งออกน้ำตาลอันดับ 4 ของโลก โดยที่ประเทศบราซิลเป็นผู้ส่งออกอันดับที่ 1 ส่วนลำดับที่ 2 คือ กลุ่มสภาพยุโรป (EU) และอันดับที่ 3 คือ ประเทศออสเตรเลีย (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2553) โดยน้ำตาลเป็นสินค้าที่อยู่ภายใต้โควตาภาษีตามข้อตกลงขององค์การการค้าระหว่างประเทศ (WTO) มีพระราชบัญญัติอ้อยและน้ำตาลทราย พ.ศ. 2527 ควบคุมการผลิตและการจำหน่ายทั้งในและต่างประเทศ มูลค่าการผลิตน้ำตาลปีละประมาณ 50,000 ล้านบาท ทั้งนี้ผลผลิตน้ำตาลร้อยละ 70 จะส่งออกขายต่างประเทศ โดยตลาดส่งออกที่สำคัญคือ อินโดนีเซีย ญี่ปุ่น ไต้หวัน และกัมพูชา คิดเป็นรายได้จากการส่งออกปีละประมาณ 30,000 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2550)

2.2.3.2 สถานการณ์น้ำตาลของโลกในปัจจุบัน

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทรายได้สรุปสถานการณ์และแนวโน้มการผลิตน้ำตาลของโลกจากรายงานการประชุมคณะมนตรีองค์การน้ำตาลระหว่างประเทศครั้งที่ 36 โดยมีรายละเอียดต่าง ๆ ดังนี้

- ปริมาณการผลิตน้ำตาลของโลก

ในปี พ.ศ.2552/53 มีปริมาณ 159.887 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2551/52 ซึ่งมีปริมาณ 152.976 ล้านตัน (เพิ่มขึ้น 6.911 ล้านตันหรือเท่ากับ 4.52%) เนื่องจากหลายประเทศมีปริมาณการผลิตน้ำตาลเพิ่มขึ้น ซึ่งประเทศไทยมีผลผลิตน้ำตาลเพิ่มขึ้น 0.5 ล้านตัน ประเทศบราซิลเพิ่มขึ้น 1.4 ล้านตัน ประเทศอินเดียเพิ่มขึ้น1.2 ล้านตัน และสหภาพยุโรป (EU) มีผลผลิตน้ำตาลเพิ่มขึ้น 0.9 ล้านตัน

- ปริมาณการบริโภคน้ำตาลโลก

การบริโภคน้ำตาลทรายในปี พ.ศ. 2552/53 มีจำนวน 167.134 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2551/52 ซึ่งมีปริมาณ 164.316 ล้านตัน เพิ่มขึ้น 2.818 ล้านตันหรือเท่ากับ 1.71% แต่ก็ยังคงต่ำกว่าอัตราการขยายตัวของการบริโภคในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ซึ่งเฉลี่ยอยู่ที่ 2.66% ทั้งนี้เนื่องจากวิกฤตเศรษฐกิจและการเงินของโลก และราคาน้ำตาลในตลาดโลกที่ปรับตัวสูงขึ้น

- ปริมาณการส่งออก

ในปี พ.ศ. 2552/53 มีปริมาณการส่งออกน้ำตาลจำนวน 52.079 ล้านตัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2551/52 ซึ่งมีจำนวน 48.250 ล้านตัน (เพิ่มขึ้น 3.829 ล้านตันหรือเท่ากับ 7.94%) โดยมีประเทศผู้ส่งออกที่สำคัญ คือ ประเทศบราซิล สหภาพยุโรป ออสเตรเลีย และไทย

- ปริมาณการนำเข้า

ในปี พ.ศ. 2552/53 มีปริมาณนำเข้าน้ำตาลจำนวน 52.072 ล้านตัน ลดลงจากปี พ.ศ. 2551/52 ซึ่งมีจำนวน 48.180 ล้านตัน (เพิ่มขึ้น 3.892 ล้านตันหรือเท่ากับ 8.08%)

- ปริมาณเอทานอล

ผลผลิตเอทานอลของโลกในปี พ.ศ. 2552 คาดว่าจะอยู่ที่ประมาณ 75 พันล้านลิตร โดยประเทศสหรัฐอเมริกาถือเป็นผู้ผลิตและผู้ใช้เอทานอลรายใหญ่ที่สุดของโลก โดยมีผลผลิต 39.7 พันล้านลิตร รองลงมาคือ บราซิล 25.04 พันล้านลิตร ซึ่งคาดว่าในปี พ.ศ. 2553 การผลิตเอทานอลโลกจะขยายตัวเพิ่มขึ้นเป็น 84 พันล้านลิตร เพิ่มขึ้นประมาณ 12%

ในปี พ.ศ. 2552 มีอัตราการใช้เอทานอลของโลกขยายตัวประมาณ 14% จากปี พ.ศ. 2551 โดยมีการค้าเอทานอลโลกประมาณ 6 พันล้านลิตร ซึ่งประเทศบราซิลเป็นผู้ส่งออกรายใหญ่ ประมาณ 3.7 พันล้านลิตรในปี พ.ศ. 2552

2.2.3.3 แนวโน้มสถานการณ์น้ำตาลของโลก ปี 2553/54

องค์การน้ำตาลระหว่างประเทศ ได้มีการคาดการณ์ว่า ผลผลิตน้ำตาลโลกในปี พ.ศ. 2553/54 จะเริ่มเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยจะเกินดุลเล็กน้อยที่ประมาณ 0.5 ล้านตัน โดยผลผลิตน้ำตาลของประเทศอินเดียจากปี พ.ศ.2552/53 จำนวน 0.9 ล้านตัน ประเทศบราซิลจะเพิ่มขึ้นจำนวน 1 ล้านตัน ประเทศไทย ประเทศออสเตรเลีย และประเทศอื่น ๆ อีก จำนวน 1.4 ล้านตัน ซึ่งในสภาวะเกินดุลเช่นนี้ย่อมส่งผลกระทบต่อราคาน้ำตาล ดังนั้น ประเทศไทยจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญในการเพิ่มผลผลิต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการผลิตโดยรวม ให้สามารถแข่งขันได้

2.2.4 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายในประเทศไทย

ประเทศไทยมีโรงงานน้ำตาลทั้งสิ้น 46 โรง มีทั้งโรงงานขนาดเล็กที่มีกำลังผลิตเพียง 3,500 ตันต่อวัน และโรงงานขนาดใหญ่ที่มีกำลังผลิตสูงถึง 40,000 ตันต่อวัน ซึ่งโรงงานขนาดเล็กและขนาดใหญ่ต่างก็มีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน โรงงานขนาดเล็กมีข้อดีคือ ง่ายต่อการดำเนินงาน ไม่สร้างมลพิษมาก แต่ข้อเสียคือ ต้องใช้พนักงานจำนวนเกือบเท่ากับโรงงานขนาดใหญ่ ทำให้ค่าประสิทธิภาพในการทำงานต่ำ และต้นทุนการผลิตสูง ส่วนโรงงานขนาดใหญ่มีข้อดีคือ โรงงานมีประสิทธิภาพสูง ใช้พนักงานน้อย จึงทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำ แต่ข้อเสียก็คือ โรงงานอาจต้องหยุดเดินเครื่องบ่อยเพื่อรอวัตถุดิบ หรือในโรงงานที่มีขนาดใหญ่มาก ๆ ก็ต้องมีอ้อยบรรทุกด้วยรถสิบล้อมาจอดรอเข้าคิวโรงงานจำนวนมาก จึงจะเริ่มเดินเครื่องได้ ซึ่งเป็นการเสียเวลาในการรอ (ปรีชา สุริยพันธุ์, 2542)

แม้ว่าโรงงานน้ำตาลทรายในประเทศไทยจะเกิดขึ้นมานานกว่า 60 ปี แต่กระบวนการในการผลิตน้ำตาลทราย ยังคงไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากนัก ซึ่งพอจะสรุปขั้นตอนกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายได้ดังนี้

2.2.4.1 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ

ในขั้นตอนของการผลิตน้ำตาลทรายดิบ สามารถแบ่งขั้นตอนในการผลิตน้ำตาลทรายดิบออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

- กระบวนการสกัดน้ำอ้อย (Juice Extraction)

ทำการสกัดน้ำอ้อยโดยผ่านอ้อยเข้าไปในชุดลูกหีบ (4-5 ชุด) และกากอ้อยที่ผ่านการสกัดน้ำอ้อยจากลูกหีบชุดสุดท้าย จะถูกนำไปเป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ภายในเตาหม้อไอน้ำ เพื่อผลิตไอน้ำมาใช้ในกระบวนการผลิต และน้ำตาลทราย

- การทำความสะอาด หรือทำใสน้ำอ้อย (Juice Purification)

น้ำอ้อยที่สกัดได้ทั้งหมดจะเข้าสู่กระบวนการทำใส เนื่องจากน้ำอ้อยมีสิ่งสกปรกต่าง ๆ จึงต้องแยกเอาส่วนเหล่านี้ออกโดยผ่านวิธีทางกล เช่น ผ่านเครื่องกรองต่าง ๆ และวิธีทางเคมี เช่น โดยให้ความร้อน และผสมปูนขาว

- การต้ม (Evaporation)

น้ำอ้อยที่ผ่านการทำใสแล้วจะถูกนำเข้าสู่ชุดหม้อต้ม (Multiple evaporators) เพื่อระเหยเอาน้ำออก (ประมาณ 70%) โดยน้ำอ้อยข้นที่ออกมาจากหม้อต้มลูกสุดท้ายเรียกว่า น้ำเชื่อม (Syrup)

- การเคี่ยว (Crystallization)

น้ำเชื่อมที่ได้จากการต้มจะถูกนำเข้าหม้อเคี่ยวระบบสุญญากาศ (Vacuum Pan) เพื่อระเหยน้ำออกจนน้ำออกจนน้ำเชื่อมถึงจุดอิ่มตัว ที่จุดนี้ผลึกน้ำตาลจะเกิดขึ้นมา โดยที่ผลึกน้ำตาลและกากน้ำตาลที่ได้จากการเคี่ยวนี้รวมเรียกว่า มัสกิต (Messecuite)

- การปั่นแยกผลึกน้ำตาล (Centrifugaling)

มัสกิตที่ได้จากการเคี่ยวจะถูกนำไปปั่นแยกผลึกน้ำตาลออกจากกากน้ำตาล โดยใช้เครื่องปั่น (Centrifugals) ผลึกน้ำตาลที่ได้นี้จะเป็นน้ำตาลดิบ รายละเอียดดังรูปที่ 2.7

2.2.4.2 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์

ขั้นตอนกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายและน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ สามารถแบ่งขั้นตอนในการผลิตน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (หรือน้ำตาลรีไฟน์) ออกเป็น 5 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2551)

- การปั่นละลาย (Affinities Centrifugaling)

นำน้ำตาลทรายดิบมาผสมกับน้ำร้อน หรือน้ำเหลืองจากการปั่นละลาย (Green Molasses) น้ำตาลดิบที่ผสมนี้เรียกว่า แมกม่า (Magma) และแมกม่านี้จะถูกนำไปปั่นละลายเพื่อล้างคราบน้ำเหลือง หรือกากน้ำตาลออก

- การทำความสะอาด และฟอกสี (Clarification)

น้ำเชื่อมที่ได้จากหม้อปั่นละลาย (Affinated Syrup) จะถูกนำไปละลายอีกครั้งเพื่อละลายผลึกน้ำตาลบางส่วนที่ยังละลายไม่หมดจากการปั่น และผ่านตะแกรงกรองเข้าผสมกับปูนขาว เข้าฟอกสีโดยผ่านเข้าไปในหม้อฟอก (ปัจจุบันนิยมใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นตัวฟอก) จากนั้นจะผ่านเข้าสู่การกรองโดยหม้อกรองแบบใช้แรงดัน (Pressure Filter) เพื่อแยกตะกอนออกและน้ำเชื่อมที่ได้จะผ่านไปฟอกเป็นครั้งสุดท้ายโดยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange Resin) จะได้น้ำเชื่อมรีไฟน์ (Fine Liquor)

- การเคี่ยว (Crystallization)

น้ำเชื่อมรีไฟน์ที่ได้จะถูกนำเข้าหม้อเคี่ยวระบบสุญญากาศ (Vacuum Pan) เพื่อระเหยน้ำออกจนน้ำเชื่อมถึงจุดอิ่มตัว

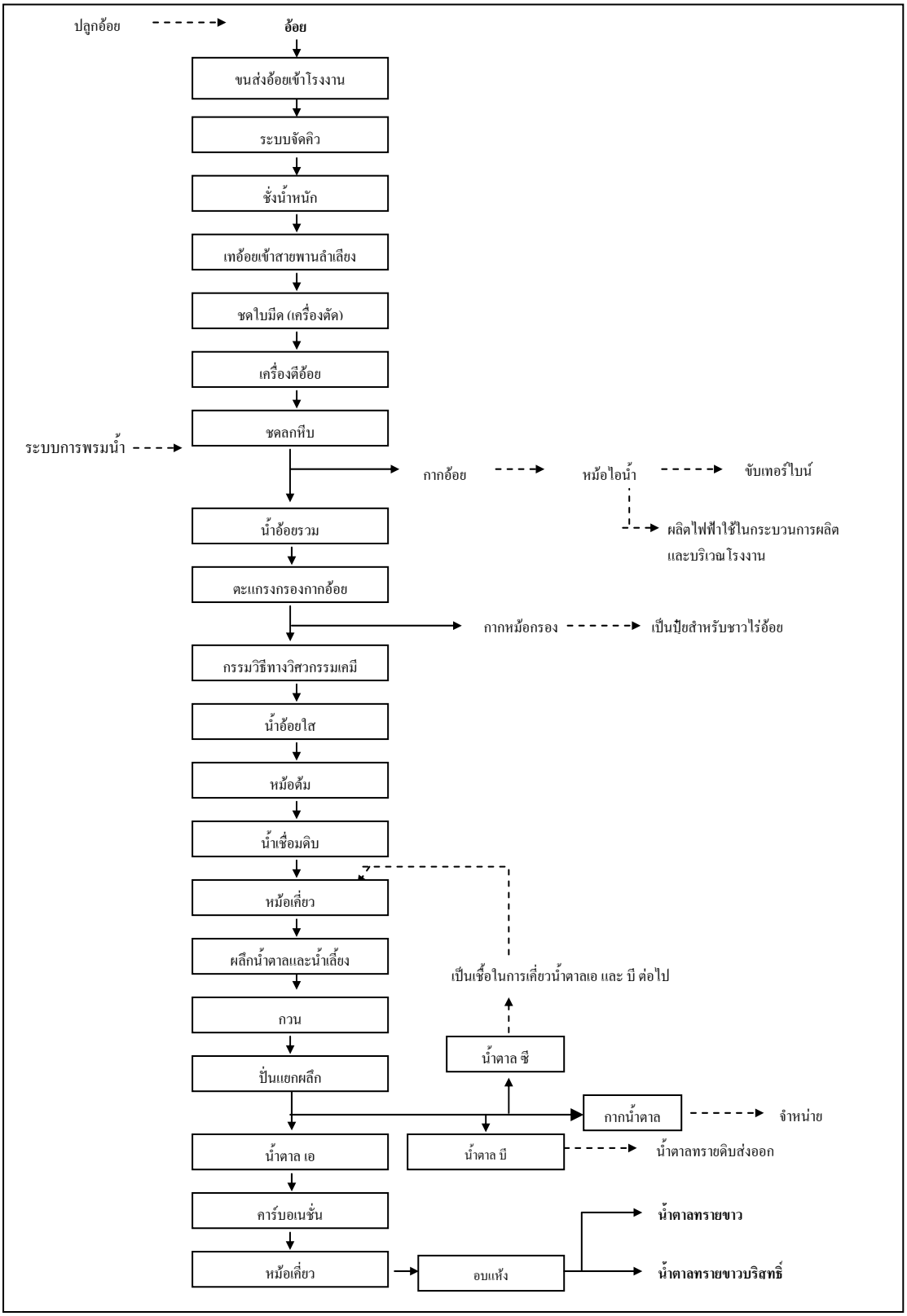
- การปั่นแยกผลึกน้ำตาล (Centrifugaling)

มัสกิตที่ได้จากการเคี่ยวจะถูกนำไปปั่นแยกผลึกน้ำตาลออกจากกากน้ำตาล โดยใช้เครื่องปั่นผลึกน้ำตาลที่ได้นี้จะเป็นน้ำตาลรีไฟน์ และน้ำตาลทรายขาว

- การอบ (Drying)

ผลึกน้ำตาลที่ได้จากการปั่นก็จะเข้าหม้ออบ (Dryer) เพื่อไล่ความชื้นออกแล้วบรรจุกระสอบเพื่อจำหน่าย รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2.8

รูปที่ 2.7 แสดงขั้นตอนการผลิตน้ำตาล และผลผลิตที่ได้รับ (สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2547)



รูปที่ 2.8 ผังแสดงกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายดิบ น้ำตาลทรายขาว และน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์

2.2.5 ข้อมูลโรงงานน้ำตาลทรายของประเทศไทย

ฤดูการหีบอ้อยเพื่อผลิตน้ำตาลจะเริ่มต้นประมาณเดือนพฤศจิกายน และจะสิ้นสุดประมาณเดือนพฤษภาคมของทุกปี โรงงานน้ำตาลต่าง ๆ ทั่วประเทศจะทำการผลิตน้ำตาลทราย 3 ประเภท คือ น้ำตาลทรายดิบสำหรับส่งออก และทำการละลายต่อเนื่อง ผลิตโดยวิธีดิฟิเคชั่น (Defecation) น้ำตาลทรายขาวสำหรับจำหน่ายในประเทศและส่งออกผลิตโดยวิธีคาร์บอเนชั่น (Carbonation) วิธีการละลายและฟอสเฟตเตชั่น (Remelting and Phosphatation) และน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ สำหรับจำหน่ายในประเทศและส่งออก ผลิตโดยวิธีคาร์บอเนชั่น และวิธีการแลกเปลี่ยนประจุโดยใช้เรซิน (Ion Exchange Resin) ซึ่งแต่ละวิธีมีรายละเอียดดังนี้

2.2.5.1 วิธีดิฟิเคชั่น (Defecation)

เป็นกรรมวิธีที่ใช้ในการทำน้ำอ้อยให้ใส ด้วยการทำให้ตกตะกอนเพื่อแยกสิ่งที่ไม่บริสุทธิ์ออก โดยอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีและฟิสิกส์ ซึ่งเริ่มต้นจากการผ่านน้ำอ้อยเข้าหม้ออุ่นน้ำอ้อยให้มีอุณหภูมิ 55-60 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงผสมปูนขาวโดยควบคุม pH ที่ 7 หรือต่ำกว่าเล็กน้อย (ทั้งนี้ไม่ควรใช้เวลาในการผสมปูนขาวนานเกิน 3 นาที เนื่องจากอาจทำให้เกิดภาวะเป็นด่างอย่างแรง ซึ่งจะเป็นการเพิ่มจำนวนสารที่ไม่ใช่น้ำตาลมากขึ้น) เมื่อน้ำอ้อยผ่านการผสมปูนขาวแล้ว จะถูกทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงประมาณ 90-105 องศาเซลเซียส จากนั้นจึงส่งน้ำอ้อยเข้าเครื่องทำใสเพื่อแยกเอาสิ่งสกปรกที่เป็นผงตะกอนออกโดยอาศัยแรงโน้มถ่วง น้ำอ้อยที่ได้ควรมี pH อยู่ในช่วง 7.0-7.2 ซึ่งจะช่วยป้องกันหรือลดการละลายตัวของน้ำตาลรีดิวซิ่ง หรือน้ำตาลอินเวอร์ทที่อาจเกิดขึ้นได้ง่าย ถ้าน้ำอ้อยใสมีฤทธิ์เป็นกรดหรือมีอุณหภูมิสูง จากนั้นน้ำอ้อยใสจะถูกส่งเข้าหม้อต้ม (Evaporator) เพื่อต้มระเหยเป็นน้ำเชื่อมในขั้นต่อไป

2.2.5.2 วิธีคาร์บอเนชั่น (Carbonation)

เป็นกรรมวิธีฟอกสีน้ำเชื่อมสำหรับการผลิตน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ โดยการแยกสิ่งสกปรกออกจากน้ำเชื่อมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งได้จากแก๊สในปล่องเตาหม้อน้ำ หรือได้จากการเผาหินปูนกับถ่านโค้ก (Lime Kiln) โดยผ่านเครื่องทำให้ก๊าซบริสุทธิ์ก่อนนำมาฟอกสี (Gas Purification Plant) การฟอกสีด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะได้คุณภาพน้ำตาลที่ดี เก็บไว้ได้นานโดยไม่เปลี่ยนสี (วาสนา วิทยาเกียรติเลิศ, 2546)

2.2.5.3 วิธีการแลกเปลี่ยนประจุโดยใช้เรซิน (Ion Exchange Resin)

เป็นกรรมวิธีทำสารละลายน้ำตาลให้บริสุทธิ์ ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับการผลิตน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ โดยน้ำเชื่อมจะถูกนำไปผ่านเรซินเพื่อแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange Resin) ซึ่งจะได้น้ำเชื่อมรีไฟน์ (Fine Liquor) ออกมา ซึ่งหลักการนี้อาศัยการแลกเปลี่ยนไอออนของธาตุต่าง ๆ เช่น การใช้ไอออนของธาตุโซเดียมแลกเปลี่ยนกับไอออนของ

ธาตุอื่น ๆ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม เป็นต้น ซึ่งธาตุเหล่านี้ถือว่าเป็นสิ่งที่ทำให้น้ำตาลไม่บริสุทธิ์ (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2533)

2.2.5.4 วิธีการละลายและฟอสเฟตเตชั่น (Remelting and Phosphatation)

เป็นกระบวนการนำน้ำตาลทรายดิบที่มีคุณภาพสูงมาทำการละลายผลึกและใช้กรดฟอสฟอริกเพื่อกำจัดตะกอนที่อยู่ด้านบนของบ่อพักในถังพักใส ก่อนนำเพื่อให้ได้น้ำเชื่อมละลาย (Remelted Liquor)

2.2.5.5 การผลิตน้ำตาลของโรงงานน้ำตาลในประเทศไทย

ในปี พ.ศ. 2553 ประเทศไทยมีโรงงานน้ำตาลรวมทั้งสิ้น 46 โรงงาน ตั้งอยู่ในภาคต่าง ๆ ทั่วประเทศ คือ ภาคเหนือ จำนวน 9 โรงงาน ภาคกลาง จำนวน 17 โรงงาน ภาคตะวันออก จำนวน 4 โรงงาน และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 16 โรงงาน ซึ่งแบ่งออกเป็นโรงงานขนาดใหญ่ (กำลังการผลิตสูงกว่า 20,000 ตันต่อวัน) จำนวน 8 โรงงาน โรงงานขนาดกลาง (กำลังการผลิตตั้งแต่ 10,000-20,000 ตันต่อวัน) จำนวน 23 โรงงาน และโรงงานขนาดเล็ก (กำลังการผลิตต่ำกว่า 10,000 ตันต่อวัน) จำนวน 15 โรงงาน โดยรายละเอียดการผลิตน้ำตาลของโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศประจำปีการผลิต 2552/53 แสดงไว้ในตารางที่ 2.7 และ 2.8

ตารางที่ 2.7 รายละเอียดการผลิตน้ำตาลของโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศ ประจำปีการผลิต 2552/53

ชื่อโรงงานน้ำตาล	ปริมาณอ้อยเข้าหีบ (ตัน)	ค่าความหวานเฉลี่ย (C.C.S.)	ปริมาณน้ำตาลที่ผลิตได้ (กระสอบ)					อัตราการผลิตเฉลี่ย	
			น้ำตาลทรายขาว	น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์	น้ำตาลทรายดิบ	น้ำตาลชนิดอื่น ๆ	รวม	น้ำตาล/ตันอ้อย (กก.)	กากน้ำตาล/ตันอ้อย (กก.)
ภาคเหนือ (9 แห่ง)	18,708,880.12	12.33	3,034,647.90	3,238,216.95	13,845,225.03	0.00	20,118,089.88	107.53	41.15
แม่วัง	297,772.270	11.81	149,502.00	0.00	142,494.36	0.00	291,996.36	98.06	44.24
อุตรดิตถ์	451,504.750	11.66	161,674.00	0.00	274,655.00	0.00	436,329.00	96.64	35.88
ไทยเอกลักษณ์	1,973,049.580	11.96	322,663.00	202,448.50	1,528,248.80	0.00	2,053,360.30	104.07	46.97
กำแพงเพชร	987,460.810	11.82	350,406.00	0.00	629,592.60	0.00	979,998.60	99.24	42.18
รวมผลฯ	1,821,828.530	11.43	124,549.50	330,532.00	1,364,431.30	0.00	1,819,512.80	99.87	40.89
นครเพชร	3,347,341.720	11.61	397,684.00	324,065.00	2,605,294.30	0.00	3,327,043.30	99.39	38.44
เกษตรไทย	5,608,240.020	11.88	1,055,392.50	683,081.00	4,010,685.90	0.00	5,749,159.40	102.51	42.63
ไทยรุ่งเรือง	2,882,304.950	11.64	415,997.00	553,520.75	1,958,267.70	0.00	2,927,785.45	101.58	43.61
พิษณุโลก	1,798,551.870	11.44	130,234.00	389,772.50	1,207,910.90	0.00	1,727,917.40	96.07	46.10
สิงห์บุรี	1,458,602.500	11.33	123,693.50	414,855.00	892,524.30	0.00	1,431,072.80	98.11	42.21
สุพรรณบุรี	380,460.150	11.24	1,058.00	3,812.00	356,019.10	0.00	360,889.10	94.86	46.70

ตารางที่ 2.7 รายละเอียดการผลิตน้ำตาลของโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศ ประจำปีการผลิต 2552/53 (ต่อ)

ชื่อโรงงานน้ำตาล	ปริมาณอ้อยเข้าหีบ (ตัน)	ค่าความหวานเฉลี่ย (C.C.S.)	ปริมาณน้ำตาลที่ผลิตได้ (กระสอบ)					อัตราการผลิตเฉลี่ย	
			น้ำตาลทรายขาว	น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์	น้ำตาลทรายดิบ	น้ำตาลชนิดอื่น ๆ	รวม	น้ำตาล/ตันอ้อย (กก.)	กากน้ำตาล/ตันอ้อย (กก.)
ภาคกลาง (17 แห่ง)	21,975,155.67	11.13	4,577,152.00	6,590,449.36	10,180,034.87	276,787.6	21,624,423.85	98.40	44.72
รีไฟน์ชัยมงคล	844,799.930	10.82	342,597.50	95,506.00	344,493.20	0.00	782,596.70	92.64	43.21
ไทยเพิ่มพูน	1,037,271.520	10.71	40,314.00	793,449.00	152,836.70	0.00	986,599.70	95.11	45.83
ไทยอุตฯ	975,756.910	10.71	185,255.00	299,528.00	414,018.00	0.00	898,801.00	92.11	46.42
ประจวบอุตฯ	889,486.120	10.68	198,387.50	301,053.50	350,756.88	0.00	850,197.88	95.58	47.33
ท่ามะกา	1,421,591.210	10.74	357,283.00	544,874.50	494,040.80	0.00	1,396,198.30	98.21	45.16
นิวกรุงไทย	767,576.050	10.72	109,863.00	293,082.00	326,877.25	0.00	729,822.25	95.08	43.82
อุตสาหกรรมน้ำตาลบ้านไร่	2,461,636.900	11.31	217,840.00	458,439.00	1,845,197.10	44.22	2,521,520.32	102.43	36.83
ไทยกาญจนบุรี	1,131,759.090	10.84	746,442.50	241,393.00	120,732.04	0.00	1,108,567.54	97.95	40.75
มิตรเกษตร	947,063.680	10.91	520,322.50	171,705.50	233,959.60	0.00	925,987.60	97.77	49.32

ตารางที่ 2.7 รายละเอียดการผลิตน้ำตาลของโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศ ประจำปีการผลิต 2552/53 (ต่อ)

ชื่อโรงงานน้ำตาล	ปริมาณอ้อยเข้าหีบ (ตัน)	ค่าความหวาน เฉลี่ย (C.C.S.)	ปริมาณน้ำตาลที่ผลิตได้ (กระสอบ)					อัตราการผลิตเฉลี่ย	
			น้ำตาลทรายขาว	น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์	น้ำตาลทรายดิบ	น้ำตาลชนิดอื่น ๆ	รวม	น้ำตาล/ตันอ้อย (กก.)	กากน้ำตาล/ตันอ้อย (กก.)
มิตรเกษตร	947,063.680	10.91	520,322.50	171,705.50	233,959.60	0.00	925,987.60	97.77	49.32
มิตรผล	3,363,048.780	11.11	396,679.50	1,398,464.3	1,385,792.09	187,629.8	3,368,565.75	100.16	46.06
บ้านโป่ง	714,196.350	10.96	169,748.50	448,110.00	40,265.20	0.00	658,123.70	92.15	42.47
ราชบุรี	1,022,670.370	10.97	195,775.00	323,778.00	470,852.13	0.00	990,405.13	96.85	49.92
ที.เอ็น.	1,431,704.750	11.83	349,777.00	92,638.50	890,475.10	89,113.60	1,422,004.20	99.32	47.79
ปราณบุรี	515,587.960	11.29	204,404.50	187,034.00	126,585.95	0.00	518,024.45	100.47	45.83
สระบุรี	2,611,943.400	11.70	417,711.00	522,727.00	1,734,609.43	0.00	2,675,047.43	102.42	46.80
ภาคตะวันออก (4 แห่ง)	3,541,257.830	11.09	1,044,046.50	477,394.50	1,987,476.60	0.00	3,508,917.60	99.09	46.33
นิวกว้าง	334,873.270	10.62	19,071.00	0.00	310,230.60	0.00	329,301.60	98.34	41.77
สหการชลบุรี	714,835.600	10.17	313,224.00	102,050.00	251,431.70	0.00	666,705.70	93.27	44.22

ตารางที่ 2.7 รายละเอียดการผลิตน้ำตาลของโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศ ประจำปีการผลิต 2552/53 (ต่อ)

ชื่อโรงงานน้ำตาล	ปริมาณอ้อยเข้าหีบ (ตัน)	ค่าความหวาน เฉลี่ย (C.C.S.)	ปริมาณน้ำตาลที่ผลิตได้ (กระสอบ)					อัตราการผลิตเฉลี่ย	
			น้ำตาลทรายขาว	น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์	น้ำตาลทรายดิบ	น้ำตาลชนิดอื่น ๆ	รวม	น้ำตาล/ตันอ้อย (กก.)	กากน้ำตาล/ตันอ้อย (กก.)
น้ำตาลและอ้อยตะวันออก	1,844,502.760	11.68	288,453.00	372,393.00	1,273,499.30	0.00	1,934,345.30	104.87	44.22
ระยอง	647,046.200	10.69	423,298.50	2,951.50	152,315.00	0.00	578,565.00	89.42	57.06
ภาค ตอ. เฉียงเหนือ (16 แห่ง)	23,800,779.48	11.95	7,572,516.00	4,664,904.30	11,791,496.33	559,518.6	24,588,435.31	103.31	42.66
สุรินทร์	1,156,724.090	12.29	461,610.00	461,622.50	330,999.70	0.00	1,254,232.20	108.43	41.88
อีสาน	861,919.460	12.15	355,444.00	0.00	509,459.20	0.00	864,903.20	100.35	35.79
มิตรผล (กาฬสินธุ์)	1,683,485.440	12.41	46,208.50	486,794.50	1,216,417.50	3,113.50	1,752,534.00	104.10	41.44
วังขนาย (มหาวัง)	221,910.900	12.47	0.00	0.00	170,813.10	52,810.50	223,623.60	100.77	37.88
เกษตรผล	1,118,458.340	12.03	481,229.00	10,010.00	652,843.80	0.00	1,144,082.80	102.29	40.87

ตารางที่ 2.7 รายละเอียดการผลิตน้ำตาลของโรงงานน้ำตาลทั่วประเทศ ประจำปีการผลิต 2552/53 (ต่อ)

ชื่อโรงงานน้ำตาล	ปริมาณอ้อยเข้าหีบ (ตัน)	ค่าความหวาน เฉลี่ย (C.C.S.)	ปริมาณน้ำตาลที่ผลิตได้ (กระสอบ)					อัตราการผลิตเฉลี่ย	
			น้ำตาลทรายขาว	น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์	น้ำตาลทรายดิบ	น้ำตาลชนิดอื่น ๆ	รวม	น้ำตาล/ตันอ้อย (กก.)	กากน้ำตาล/ตันอ้อย (กก.)
โคราช	2,556,053.160	11.65	684,806.00	807,584.80	1,158,560.40	0.00	2,650,951.20	103.71	44.13
มิตรภูเวียง	3,098,344.010	11.93	1,057,898.00	0.00	2,046,468.55	208,755.6	3,313,122.23	106.93	39.98
อ่างเวียน	1,358,453.760	11.55	387,783.00	129,414.00	602,981.60	244,444.0	1,364,622.60	100.45	46.15
ครบุรี	2,012,352.830	11.74	762,012.50	486,479.50	702,739.80	40,315.00	1,991,546.80	98.97	42.72
เริ่มอุดม	787,892.500	11.76	452,288.00	0.00	271,110.20	0.00	723,398.20	91.81	42.58
กุมภวาปี	1,129,934.930	11.90	473,285.50	245,300.00	386,660.40	10,080.00	1,115,325.90	98.71	44.30
ขอนแก่น	1,872,981.480	11.77	675,240.00	680,133.00	533,515.30	0.00	1,888,888.30	100.85	43.32
สหเรือง	875,909.850	12.96	893,625.00	0.00	126,961.70	0.00	1,020,586.70	116.52	48.83
บุรีรัมย์	1,170,503.310	11.64	355,324.50	0.00	818,486.10	0.00	1,173,810.60	100.28	42.56
รวม	2,782,530.220	12.11	315,818.50	1,357,566.00	1,289,212.68	0.00	2,962,597.18	106.47	44.19
เอราวัณ	1,113,325.200	11.80	169,943.50	0.00	974,266.30	0.00	1,144,209.80	102.77	41.76
รวม	68,485,247.48	11.58	16,301,816.5	14,216,167.9	37,680,588.66	836,306.30	69,034,879.3	100.80	43.46

หมายเหตุ : ข้อมูลจากสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2553

ตารางที่ 2.8 กำลังการผลิตและวิธีการผลิตของน้ำตาลในประเทศไทย

ชื่อโรงงาน	กำลังการผลิต (ตันอ้อยต่อวัน)	วิธีการผลิต		
		น้ำตาลทรายดิบ	น้ำตาลทรายขาวธรรมดา	น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์
1. โรงงานน้ำตาลสุรินทร์	16,000	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น	-
2. โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลแม่วัง	2,950	ดิฟิเคชั่น	ดิฟิเคชั่น	-
3. โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล อีสาน	15,000	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น	-
4. โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล	2,683	ดิฟิเคชั่น	ดิฟิเคชั่น	-
5. โรงงานน้ำตาลไทยเอกลักษณ์	18,000	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น และเรซิน	คาร์บอเนชั่น และเรซิน
6. โรงงานน้ำตาลกำแพงเพชร	8,000	ดิฟิเคชั่น	รีเมลต์ และฟอสเฟสเตชั่น	-
7. โรงงานน้ำตาลมิตรกาฬสินธุ์	20,000	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น และเรซิน	คาร์บอเนชั่น และเรซิน
8. โรงงานน้ำตาลรวมผล อุตสาหกรรม นครสวรรค์	8,800	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น	คาร์บอเนชั่น และเรซิน
9. โรงงานน้ำตาลสิงห์บุรี	11,000	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น และไอออน เอ็กซ์เชนจ์เรซิน	คาร์บอเนชั่น และ ไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน
10. โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล สุพรรณบุรี	4,228	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น และไอออน เอ็กซ์เชนจ์เรซิน	คาร์บอเนชั่น และเรซิน
11. โรงงานน้ำตาลรีไฟน์ชัยมงคล	17,731	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น และเรซิน	คาร์บอเนชั่น และเรซิน
12. โรงงานน้ำตาลนครเพชร	24,000	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น	คาร์บอเนชั่น และเรซิน

ตารางที่ 2.8 กำลังการผลิตและวิธีการผลิตของน้ำตาลในประเทศไทย (ต่อ)

ชื่อโรงงาน	กำลังการผลิต (ตันอ้อยต่อวัน)	วิธีการผลิต		
		น้ำตาลทรายดิบ	น้ำตาลทรายขาวธรรมดา	น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์
13. โรงงานน้ำตาลไทยเพิ่มพูนอุตสาหกรรม	9,635	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น	คาร์บอเนชั่น และเรซิน
14. โรงงานน้ำตาลไทยอุตสาหกรรม	14,447	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น และเรซิน	คาร์บอเนชั่น และเรซิน
15. โรงงานน้ำตาลมหาวัง (วังขนาย)	15,453	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น และเรซิน	คาร์บอเนชั่น และเรซิน
16. โรงงานน้ำตาลประจวบอุตสาหกรรม	9,131	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น และเรซิน	คาร์บอเนชั่น และเรซิน
17. โรงงานน้ำตาลกาญจนบุรี	18,038	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น และเรซิน	คาร์บอเนชั่น และเรซิน
18. โรงงานน้ำตาลเกษตรไทย	40,000	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น	คาร์บอเนชั่น
19. โรงงานน้ำตาลเกษตรผล	10,211	ดิฟิเคชั่น	ดิฟิเคชั่น	-
20. โรงงานน้ำตาลนิวกรุงไทย	8,385	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น และไอออน	คาร์บอเนชั่น และ
21. โรงงานน้ำตาลไทยรุ่งเรือง	24,000	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น	คาร์บอเนชั่น
22. โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาลรีไฟน์ชัยมงคล	11,990	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น	คาร์บอเนชั่น และไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน
23. โรงงานน้ำตาลไทยกาญจนบุรี	11,764	ดิฟิเคชั่น และคาร์บอเนชั่น	คาร์บอเนชั่น และไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน	คาร์บอเนชั่น และไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน
24. โรงงานอุตสาหกรรมมิตรเกษตร	11,890	ดิฟิเคชั่น	รีเมลต์ และคาร์บอเนชั่น	-

ตารางที่ 2.8 กำลังการผลิตและวิธีการผลิตของน้ำตาลในประเทศไทย (ต่อ)

ชื่อโรงงาน	กำลังการผลิต (ตันอ้อยต่อวัน)	วิธีการผลิต		
		น้ำตาลทรายดิบ	น้ำตาลทรายขาวธรรมดา	น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์
25. โรงงานน้ำตาลมิตรผล	21,511	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น	คาร์บอเนชั่น
26. โรงงานน้ำตาลบ้านโป่ง	9,131	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น	คาร์บอเนชั่น
27. โรงงานอุตสาหกรรมโคราช	24,000	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น	คาร์บอเนชั่น และไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน
28. โรงงานน้ำตาลราชบุรี	12,000	ดิฟิเคชั่น	รีเมลท์ และฟอสเฟสเตชั่น	รีเมลท์ ฟอสเฟสเตชั่น และเรซิน
29. โรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ที.เอ็น.	18,000	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น และเรซิน	คาร์บอเนชั่น และเรซิน
30. โรงงานน้ำตาลปราณบุรี	7,000	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น	คาร์บอเนชั่น และไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน
31. โรงงานน้ำตาลมิตรภูเวียง	15,162	ดิฟิเคชั่น	ทาโลฟลอค	-
32. โรงงานน้ำตาลนิวกว้างสุ้นหลี	6,479	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น และไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน	คาร์บอเนชั่น และไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน
33. โรงงานน้ำตาลอ่างเวียน (ราชสีมา)	36,000	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น และเรซิน	คาร์บอเนชั่น และเรซิน
34. โรงงานสหการน้ำตาลชลบุรี	5,800	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น	คาร์บอเนชั่น และเรซิน
35. โรงงานน้ำตาลครบุรี	13,690	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น และไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน	คาร์บอเนชั่น และไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน

ตารางที่ 2.8 กำลังการผลิตและวิธีการผลิตของน้ำตาลในประเทศไทย (ต่อ)

ชื่อโรงงาน	กำลังการผลิต (ตันอ้อยต่อวัน)	วิธีการผลิต		
		น้ำตาลทรายดิบ	น้ำตาลทรายขาวธรรมดา	น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์
36. โรงงานน้ำตาลสระบุรี	22,970	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น	คาร์บอเนชั่น และ ไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน
37. โรงงานน้ำตาลและอ้อยตะวันออก	17,978	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น และ ไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน	คาร์บอเนชั่น และ ไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน
38. โรงงานน้ำตาลระยอง	5,560	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น และเรซิน	คาร์บอเนชั่น และเรซิน
39. โรงงานน้ำตาลพิษณุโลก	11,994	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น	คาร์บอเนชั่น
40. โรงงานน้ำตาลทรายขาวเริ่มอุดม	20,582	ดิฟิเคชั่น	ดิฟิเคชั่น คาร์บอเนชั่น และ ไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน	คาร์บอเนชั่น และ ไอออนเอ็กซ์เชนจ์เรซิน
41. โรงงานน้ำตาลกุมภวาปี	12,000	ดิฟิเคชั่น	ดิฟิเคชั่น คาร์บอเนชั่น และเรซิน	ดิฟิเคชั่น คาร์บอเนชั่น และเรซิน
42. โรงงานน้ำตาลขอนแก่น	20,400	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น และเรซิน	คาร์บอเนชั่น และเรซิน
43. โรงงานน้ำตาลสหเรือง	14,000	ดิฟิเคชั่น	คาร์บอเนชั่น	-
44. โรงงานน้ำตาลบุรีรัมย์	12,000	ดิฟิเคชั่น	ดิฟิเคชั่น	-

หมายเหตุ : ข้อมูลจากสำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2553

2.2.6 ปัญหาและผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการผลิตน้ำตาลทราย

ปัญหาสิ่งแวดล้อมหลักที่เกิดขึ้นจากโรงงานน้ำตาล ได้แก่ มลพิษที่เกิดมาจากการได้มาซึ่งอ้อย (มลพิษทางอากาศจากการเผาอ้อย มลพิษทางดินและน้ำที่เกิดจากการใช้สารเคมีการใช้ปุ๋ย มลพิษทางอากาศจากการใช้ไฟฟ้า โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้างานวิจัยของต่างประเทศ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2.9 2.10 และ 2.11

ตารางที่ 2.9 การใช้น้ำและมลสารที่เกิดจากโรงงานน้ำตาล

Type	Flow (m^3/tc)*	Pollution Potential
Cane Washing	5	Organic Matter,(180 to 500 mg/l BOD)
Barometric Condenser	6	Organic Matter (10 to 40 mg/l BOD), Temperature around 50^{o}C
Fermented Cooling	3	Temperature around 50^{o}C
Distillation Condenser	4	Temperature around 50^{o}C
Waste Water	4	Grease, Oil, Acid, Caustic and Sugar (all in very small quantities)

หมายเหตุ : * m^3/tc : cubic meter per ton cane ข้อมูลจาก Elias Neto A., 1996, quoted in M. Regis Lima Verde Leal, 2005

ตารางที่ 2.10 ของเสียที่เกิดจากโรงงานน้ำตาล

ประเภทของของเสีย	คุณสมบัติ
น้ำกากส่า (Vinasse)	มีปริมาณอินทรีย์สารและแร่ธาตุสูง
กากตะกอน (Filter Cake)	เป็นของเสียที่เกิดขึ้นในขั้นตะแกรงกรองกากอ้อย ประมาณ 40 กก./ตันอ้อย มีปริมาณอินทรีย์สารสูง

หมายเหตุ : ข้อมูลจาก M. Regis Lima Verde Leal, 2005

ตารางที่ 2.11 ปริมาณมลสารที่เกิดจากการเผาชานอ้อย

Pollutant	Asocana Colombia 1992[1] (kg/t)	Darly and Learman 1995[1] (kg/t)	Shearrer 1971[1] (kg/t)	EPA 1977[2] (kg/t)	WHO 1997[2] (kg/t)
Particulate	2.8	3.6	1.26	2.5-3.5	8
CO	-	35.3	8.4	25-33	42
HC	-	5.2	1.68	2.0-6.6	15
NO_X	-	-	0.17	-	3

หมายเหตุ: [1] Measured [2] Estimated ข้อมูลจาก M. Regis Lima Verde Leal, 2005

2.3 การประเมินวงจรชีวิต (Life Cycle Assessment : LCA)

2.3.1 ความหมายของการประเมินวงจรชีวิต

United Nations Environment Programme (UNEP) ได้ให้คำจำกัดความของการประเมินวงจรชีวิตไว้ว่า “Life Cycle Assessment (LCA) is an environmental assessment tool for evaluation of impacts that a product (or service) has on the environment over the entire of its life-from the extraction of the raw materials from which it is made, through the manufacturing, packing and marketing processes, and the use, re-use and maintenance of the product, and on to its eventual recycling or disposal as waste at the end of its useful life.” (UNEP, 1996)

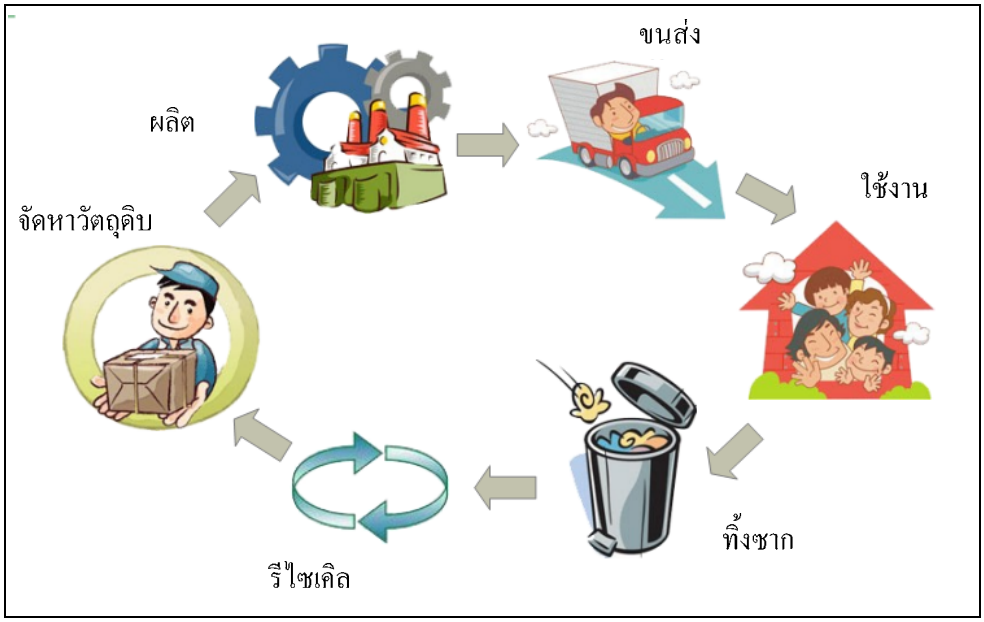
Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) ได้ให้คำจำกัดความของการประเมินวงจรชีวิตไว้ว่า เป็นกระบวนการประเมินภาระทางสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ กระบวนการ หรือกิจกรรม โดยการระบุ จำแนกปริมาณพลังงาน และวัสดุที่ใช้ รวมทั้งของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ทั้งนี้เพื่อระบุปริมาณและประเมินโอกาสที่จะปรับปรุงสิ่งแวดล้อมให้ดีขึ้นการประเมินนี้รวมถึงวัฏจักรชีวิตทั้งหมดของผลิตภัณฑ์กระบวนการหรือกิจกรรม ตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบ การขนส่ง และการจำหน่าย การใช้ การบำรุงรักษา การรีไซเคิลและการจัดการของเสีย (SETAC, 1997)

มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย (2551) ให้ความหมายการประเมินวงจรชีวิตว่า เป็นกระบวนการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบ (เชิงปริมาณ) ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to grave) โดยพิจารณาครอบคลุมถึงกระบวนการผลิตและกิจกรรมที่เกี่ยวเนื่องกันในรูปของวัตถุดิบและพลังงาน

การประเมินวงจรชีวิต จึงนับได้ว่าเป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวเนื่องกับการผลิตผลิตภัณฑ์ทั้งวงจรชีวิต ตั้งแต่การออกแบบ การสกัดวัตถุดิบ การผลิต การขนส่ง การใช้งาน ตลอดจนการจัดการผลิตภัณฑ์หลังจากการใช้งานไม่ว่าจะเป็นการนำกลับมาใช้ใหม่หรือการนำไปกำจัด โดยวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ครอบคลุมในส่วนของระบบนิเวศ สุขอนามัยชุมชน และปัญหาสิ่งแวดล้อมโลก ซึ่งฐานข้อมูลที่ได้จากการประเมินวงจรชีวิต สามารถนำไปใช้ในการตัดสินใจวางแผน จัดทำนโยบายด้านการใช้ทรัพยากร การใช้พลังงานให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสามารถนำฐานข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมไปพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อสร้างทางเลือกให้กับผู้บริโภคได้ต่อไปในอนาคต

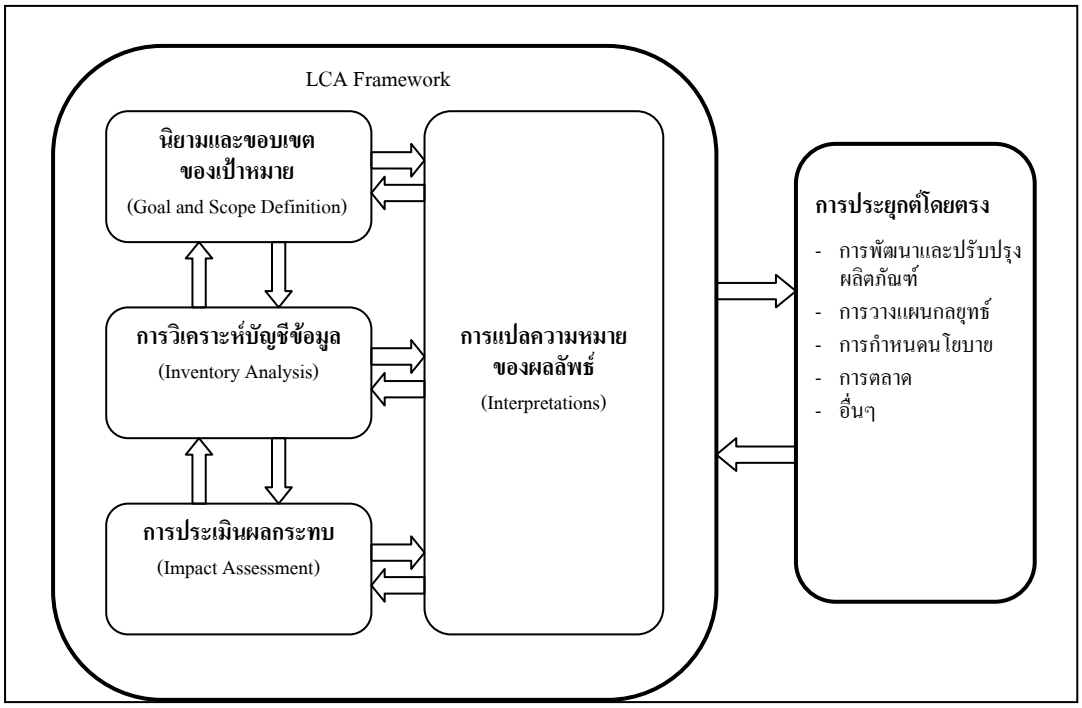
2.3.2 หลักการการประเมินวงจรชีวิต

แนวคิดของ LCA เป็นวิธีการประเมินเชิงปริมาณของการใช้ทรัพยากร มลพิษที่เกิดขึ้น และผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อโลกและระบบนิเวศของผลิตภัณฑ์หรือบริการ โดยพิจารณาตลอดวงจรชีวิต แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แนวคิดหลักของการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (ประเสริฐ, 2550)

วิธีการศึกษาการประเมินวงจรชีวิต จะดำเนินการตามขั้นตอนการประเมินวงจรชีวิตในอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 (IS0 14040, 2006) ซึ่งมี 4 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดง 4 ขั้นตอนของการประเมินวงจรชีวิต (มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย, 2551)

2.3.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)

- การกำหนดเป้าหมาย (Goal Definition)

การกำหนดเป้าหมาย เป็นขั้นตอนแรกและเป็นหัวใจสำคัญของการทำ LCA เพราะเป็นขั้นตอนในการกำหนดจุดมุ่งหมาย เหตุผลของการศึกษา การนำผลที่ได้จากการศึกษาไปใช้ เพราะหากมีการกำหนดเป้าหมายไม่ชัดเจน อาจจะนำไปสู่การศึกษาที่ไม่ถูกต้อง ครอบคลุม ขาดความครบถ้วนสมบูรณ์ของข้อมูลและนำไปสู่การวิเคราะห์และสรุปผลที่ผิดพลาดได้ ดังนั้น การกำหนดเป้าหมายหรือจุดมุ่งหมายที่ชัดเจน สามารถทำให้ผู้ที่จะนำข้อมูลไปใช้มีความเข้าใจที่ถูกต้องและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ได้ดียิ่งขึ้น

- การกำหนดขอบเขตการศึกษา (Scope Definition)

เป็นการบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการศึกษา โดยต้องมีการกำหนดขอบเขตของระบบ (System boundary) ที่ต้องการศึกษาให้ชัดเจน ซึ่งเป็นขอบเขตระหว่างผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อม หรือระบบผลิตภัณฑ์อื่นที่มีการเชื่อมโยงกัน ซึ่งประกอบด้วย

หน่วยหน้าที่หรือหน่วยวัดผลงานของระบบ (Functional Unit) มีความสำคัญในการเปรียบเทียบผลของ LCA ระหว่างระบบที่ต่างกันหรือตัววัดระหว่างผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้เป็นพื้นฐานสำหรับกำหนดการวัดหรือเก็บข้อมูลของสารขาเข้าและสารขาออก ซึ่งจะต้องประกอบด้วยปริมาณ (Quantity) ความทนทาน (Durability) และคุณภาพ (Quality)

มีการกำหนดวิธีการศึกษาและจำแนกผลกระทบ การกำหนดลักษณะของข้อมูลที่ต้องการศึกษา สมมติฐานและข้อจำกัดของการศึกษา (Assumption and Limitation) ในบางกรณี ข้อจำกัดของการศึกษาบางอย่างอาจไม่ได้มีการคาดการณ์ไว้ล่วงหน้า จึงควรมีการพิจารณาปรับปรุงแก้ไขข้อมูล เพื่อความครบถ้วนสมบูรณ์และความถูกต้องของงานวิจัย

นอกจากนี้การกำหนดขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิต สามารถแบ่งออกได้ 4 ประเภท คือ (1) Gate to gate (2) Cradle to gate (3) Cradle to grave และ (4) Cradle to cradle (ประเสริฐ ภวสันต์, 2552)

- Gate to gate เป็นการพิจารณาเฉพาะกระบวนการใดกระบวนการหนึ่งจากทั้งสายโซ่การผลิต
- Cradle to gate เป็นการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิต ภัณฑ์ตั้งแต่การสกัดวัตถุดิบจนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์มาแต่จะไม่รวมขั้นตอนการใช้งานหรือกำจัดซาก ซึ่งรูปแบบนี้เป็นแบบนิยมใช้ในการทำเอกสาร Environmental Product Declaration (EPD)
- Cradle to grave เป็นการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตเต็มรูปแบบที่ประเมินผลกระทบตั้งแต่ได้มาซึ่งวัตถุดิบมาผลิตสินค้า การผลิตสินค้า การนำไปใช้งานตลอดจนการกำจัดซากหลังหมดอายุการใช้งาน
- Cradle to cradle เป็นรูปแบบพิเศษของ Cradle to grave ได้แก่ กรณีที่ขั้นตอนการกำจัดซากผลิตภัณฑ์เป็นกระบวนการรีไซเคิลซึ่งทำให้ได้สินค้าเดิมออกมา

2.3.2.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory Analysis : LCI)

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการที่ได้นิยามไว้ในขั้นตอนการกำหนดขอบเขตการศึกษารวมทั้งการสร้างแบบจำลองของระบบผลิตภัณฑ์ (Product System) การคำนวณหาปริมาณสารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) จากระบบผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงการใช้ทรัพยากร การใช้พลังงาน เช่น การใช้เชื้อเพลิงจากฟอสซิล การใช้กระแสไฟฟ้า ใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต รวมไปถึงการปล่อยของเสียหรือมลพิษต่าง ๆ ออกสู่อากาศ น้ำ และดิน ซึ่งการวิเคราะห์จะสามารถพิจารณาได้ครอบคลุมมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับขอบเขตการศึกษาที่กำหนดไว้ โดยในกระบวนการศึกษาอาจแบ่งออกเป็นแต่ละส่วนของหน่วยข้อมูล (Data Unit) หรือทำการแบ่งการศึกษาออกเป็น

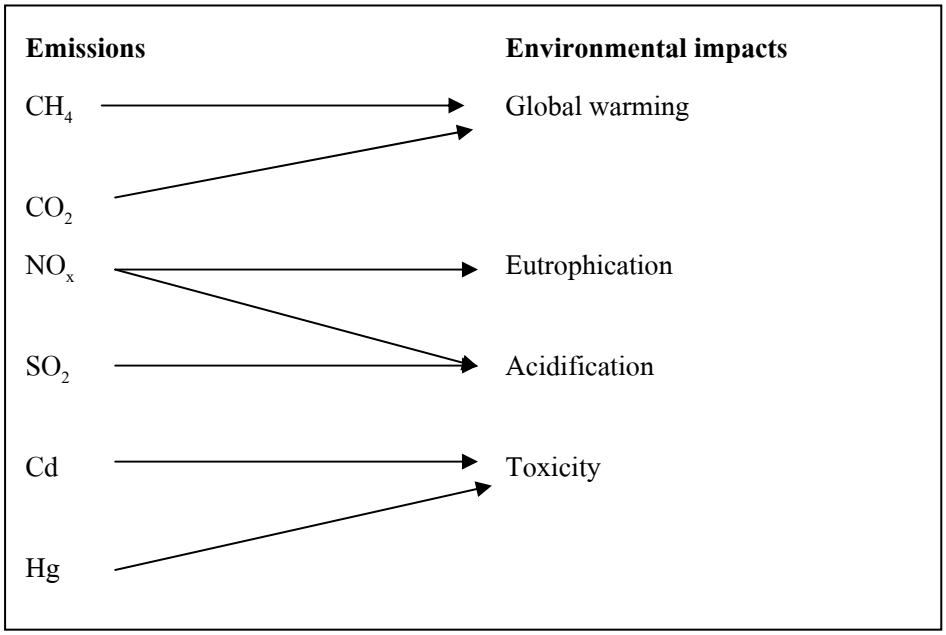
แต่ละกระบวนการ (Process Unit) เช่น การเก็บข้อมูลในรูปแบบผังกระบวนการผลิต เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีความครบถ้วนสมบูรณ์ (ISO 14040 : 2006) อีกทั้งยังทำให้ง่ายต่อการนำไปวิเคราะห์หรือการนำไปคำนวณ ซึ่งในการคำนวณ ผู้วิจัยสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูป เช่น โปรแกรม SimaPro ซึ่งมีหลายวิธีการให้เลือก เช่น การใช้วิธี Eco-indicator 95, CML 2 baseline method 2000 เป็นต้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ทำการวิจัยว่าต้องการนำเสนอข้อมูลในรูปแบบใด เพราะการนำเสนอข้อมูลให้ผู้รับเข้าใจนั้น นับเป็นเรื่องที่สำคัญ อาจเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจนำข้อมูลไปใช้เพื่อการพัฒนาหรือต่อยอดงานวิจัยได้ต่อไปในอนาคต

2.3.2.3 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Impact Assessment : LCIA)

คือ การนำข้อมูลจากขั้นตอนในการจัดทำบัญชีรายการ (LCI) มาประเมินผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อให้ได้ข้อมูลการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ทั้งหมด โดยในขั้นตอนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมประกอบด้วย 7 ขั้นตอนย่อย ๆ ดังนี้

- **Selection** การเลือกข้อมูลและคัดเลือกกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีความเกี่ยวข้องในแต่ละกระบวนการของช่วงวงจรชีวิต เช่น ข้อมูลวัตถุดิบที่ใช้ การใช้พลังงาน การขนส่ง การใช้ทรัพยากร การกำจัดของเสียและมลพิษที่เกิดขึ้นที่ทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ระดับท้องถิ่นจนถึงระดับโลก เช่น ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน ผลกระทบด้านภาวะฝนกรด การเกิดกลุ่มหมอกควัน เป็นต้น

- **Classification** การจำแนกข้อมูลสารขาเข้า (Input) และสารขาออก (Output) ในแต่ละกระบวนการที่ได้กำหนดไว้ในขอบเขตของระบบที่ต้องการศึกษา ซึ่งการจำแนกประเภท ถือว่าเป็นขั้นตอนของการวิเคราะห์คุณสมบัติเชิงคุณภาพที่สัมพันธ์กันในบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (LCI) ของระบบผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยภาระทางสิ่งแวดล้อมบางประเภท อาจส่งผลกระทบได้มากกว่าหนึ่งด้าน ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 การจำแนกข้อมูลให้อยู่ในรูปผลกระทบสิ่งแวดล้อม (มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย, 2551)

- **Characterization** การแปลงข้อมูลปริมาณสารต่าง ๆ แต่ละตัวในบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมที่อยู่ในกลุ่มผลกระทบเดียวกัน ให้อยู่ในรูปของตัวเลขที่บอกค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารแต่ละตัวมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบในระดับที่แตกต่างกัน โดยใช้ค่าอ้างอิง (Characterization factors) เช่น ค่าในการก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านภาวะโลกร้อน มีค่าอ้างอิงดังแสดงในตารางที่ 2.12 และการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมแสดงในตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.12 ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศ (Characterization factors)

ก๊าซเรือนกระจก (Emission)	**Global warming Potential : GWP (100 Year)**
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	1
ก๊าซมีเทน (CH_4)	23
ก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_20)	296

หมายเหตุ : ข้อมูลจาก IPCC, 1996

ตารางที่ 2.13 การคำนวณ Characterization (Global warming Potential)

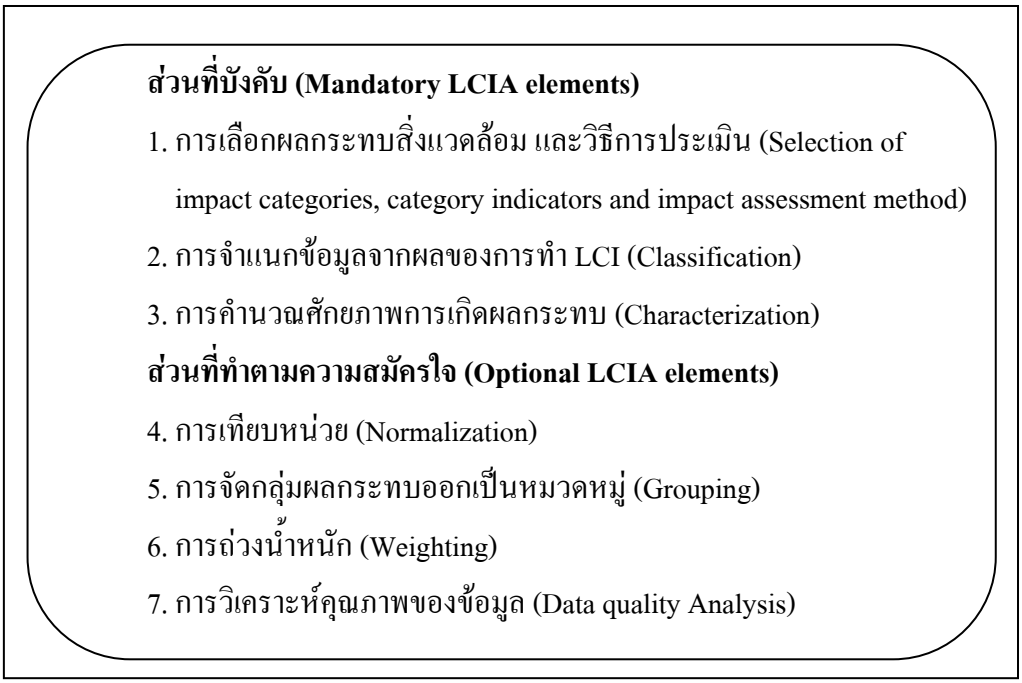
GHGs	Inventory data	Characterization factor	Result
CO_2	1000 kg	1	1000
CH_4	10 kg	23	230
N_20	1 kg	296	296
Global warming Potential : (kg CO_2-eq)			**1,526**

หมายเหตุ: ข้อมูลจากมูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย, 2551

- **Normalization** การเทียบค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเป็นการเทียบขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษา กับขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้น ๆ ในระดับประเทศ ภูมิภาค และระดับ
- **Grouping** การจัดกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมออกเป็นหมวดหมู่ เพื่อให้ทราบถึงขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละหมวดหมู่ในภาพรวม เช่น การส่งผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์ (Human Health) การส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศ (Ecosystem) การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติและพลังงาน (Resource) เป็นต้น
- **Weighting** การกำหนดน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยในการกำหนดเกณฑ์ในการกำหนดลำดับความสำคัญ อาจเปรียบเทียบในเชิงปริมาณหรือเชิงคุณภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ผู้วิจัยจะนำมาพิจารณา โดยจะมีค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบ เรียกว่า Weighting
- **Data Quality Analysis** การวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล เพื่อเป็นการตรวจสอบความน่าเชื่อถือของผลการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งตัวอย่างเทคนิคในการวิเคราะห์คุณภาพข้อมูลได้แก่ การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูล (Sensitivity Analysis) วิธีปันส่วน (Allocation) เพื่อเป็นการวิเคราะห์ความถูกต้องของข้อมูลที่ได้ตั้งแต่การเก็บรวมรวมข้อมูล การทดลอง การคำนวณ และใช้หลักสถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล

การประเมินผลกระทบตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ เป็นมาตรฐาน ISO 14040 ซึ่งได้กำหนดให้กรอบการศึกษาประกอบด้วยส่วนที่บังคับ (Mandatory) หรือการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในระดับที่เรียกว่าผลกระทบขั้นกลาง (Midpoint) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่บังคับให้แก่ผู้ศึกษาต้องดำเนินการ ได้แก่ ขั้นตอนการคัดเลือกกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ศึกษา (Selection) ขั้นตอนการจำแนกข้อมูลที่ได้จากการทำบัญชีรายการเข้ากลุ่มผลกระทบ (Classification) และการคำนวณศักยภาพการเกิดผลกระทบ (Characterization) เพื่อแปลงข้อมูลปริมาณสารต่าง ๆ แต่ละตัว

ในบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในรูปของตัวเลขที่บอกค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่ส่วนที่นอกเหนือจากขั้นตอนการนี้เป็นขั้นตอนที่เป็นทางเลือกของผู้ดำเนินการศึกษาโดยผลกระทบจะมุ่งเน้นประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นให้ไปสู่ผลกระทบขั้นปลาย (Endpoint) ซึ่งต้องอาศัยสมมติฐานและแบบจำลองในการวิเคราะห์มาก อาจทำให้ความน่าเชื่อถือของผลการศึกษาลดลงในกรณีที่มีการวิเคราะห์ที่ไม่ครอบคลุมหรือลึกซึ้งเพียงพอต่อการศึกษา ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามมาตรฐาน ISO 14040

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวงจรชีวิตของ Shonnard, 2000 อ้างถึงในหทัยชนก นัดสถาพร (2550) ได้แบ่งประเภทของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Impact Category) ออกเป็น 9 ประเภท คือ

- สภาวะโลกร้อน (Global Warming)
- การทำลายชั้นโอโซน (Ozone Depletion)
- การเกิดกลุ่มหมอกควัน (Smog Formation)
- ฝนกรดเนื่องจากความเป็นกรดในชั้นบรรยากาศ (Acid Rain)
- ความเป็นพิษต่อมนุษย์ประเภทสารพิษไม่ก่อให้เกิดมะเร็งเข้าสู่ร่างกายโดยการกิน (Human Non Carcinogenic Ingestion Toxicity)

- ความเป็นพิษต่อมนุษย์ประเภทสารพิษไม่ก่อให้เกิดมะเร็งเข้าสู่ร่างกายโดยการสูดดม (Human Non Carcinogenic Inhalation Toxicity)
- ความเป็นพิษต่อมนุษย์ประเภทสารพิษก่อให้เกิดมะเร็งเข้าสู่ร่างกายโดยการกิน (Human Carcinogenic Ingestion Toxicity)
- ความเป็นพิษต่อมนุษย์ประเภทสารพิษก่อให้เกิดมะเร็งเข้าสู่ร่างกายโดยการสูดดม (Human Carcinogenic Inhalation Toxicity
- ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ วิทยาหรือสัตว์น้ำ (Fish Toxicity)

Helias et al. (1999) ได้แบ่งประเภทของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Impact Category) ออกเป็น 2 ส่วน คือ ผลกระทบที่เกิดจากสารขาเข้า (Input Related Categories) และสารขาออก (Output Related Categories)

ผลกระทบที่เกิดจากสารขาเข้า ได้แก่

- การลดลงของทรัพยากรจากแหล่งอชีวภาพ (Extraction of abiotic resource) ได้แก่ เชื้อเพลิงจากฟอสซิล (Fossil fuels) แร่ธาตุ (Mineral)
- การลดลงของทรัพยากรจากแหล่งชีวภาพ (Extraction of biotic resource) ได้แก่ แหล่งกำเนิดชีวมวล (Biomass)
- การใช้ประโยชน์ที่ดิน (Land Use)

ผลกระทบที่เกิดจากสารขาออก ได้แก่ มลพิษที่ปลดปล่อย

- การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ (Climate Change)
- การทำลายชั้นโอโซน (Ozone Depletion)
- ความเป็นพิษต่อมนุษย์ (Human Toxicity)
- ความเป็นพิษต่อระบบนิเวศน์ (Eco-Toxicity)
- การเกิดโฟโตออกซิเดชั่น (Photo-oxidation formation)
- ฝนกรดเนื่องจากความเป็นกรดในชั้นบรรยากาศ (Acidification)
- การเกิดไนตริฟิเคชั่น (Nitrification)

จันทิมา อุทะกะ (2550) ได้แบ่งประเภทผลกระทบสิ่งแวดล้อมออกเป็น 2 ประเภทคือ ผลกระทบทั่วไป และผลกระทบเฉพาะที่ โดยผลกระทบทั่วไป ได้แก่ สภาวะที่โลกร้อนขึ้น การสูญเสียโอโซน ความเป็นกรด ความเค็ม ความแห้งแล้ง ความหลากหลายทางชีวภาพ และภาวะพืชน้ำเจริญผิดปกติ ส่วนผลกระทบเฉพาะที่ ได้แก่ การสูญเสียทรัพยากรชีวภาพและกายภาพ ความเป็นพิษต่อมนุษย์ และการเกิดฝุ่นควัน

ประเสริฐ ภวสันต์ (2552) ได้แบ่งกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมออกเป็น 3 ระดับคือ ระดับโลก (Global) ระดับภูมิภาค (Regional) และระดับท้องถิ่น (Local)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมระดับโลก ได้แก่ การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศ การทำลายชั้นโอโซน การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมระดับภูมิภาค ได้แก่ ฝนกรดเนื่องจากความเป็นกรดในชั้นบรรยากาศ การใช้ประโยชน์ที่ดิน การใช้น้ำ

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมระดับท้องถิ่น ได้แก่ ภาวะความเป็นพิษ การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ

ซึ่งในการพิจารณาคัดเลือกกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนของการประเมินผลกระทบนั้น ต้องมีความสอดคล้องกับบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากระบบที่ทำการศึกษาและสามารถอธิบายค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบที่มีความเชื่อมโยงกันระหว่างระบบผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นได้ และจากการศึกษาข้อมูลผู้วิจัยพบว่า กลุ่มผู้วิจัยในประเทศไทยมีการคัดเลือกกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในตารางที่ 2.14 และ 2.15

ตารางที่ 2.14 กลุ่มผลกระทบที่ถูกนำมาใช้ในการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ในประเทศไทย

งานวิจัย	Impact Catagory										
	Global Warming	Ozone Depletion	Acidification	Eutrophication	Photochemical	Ecotoxicity	Human Toxicity	Bulk waste, Slages/Ash	Hazadous Waste	Resources	Land use
การประเมินวัฏจักรชีวิตของการผลิตปูนซีเมนต์[1]	x									x	
การประเมินวัฏจักรชีวิตของตู้เย็นพานิชย์[2]	x	x								x	
การประเมินวัฏจักรชีวิตและวิเคราะห์ต้นทุนของการกลั่นเอทานอล[3]	x		x		x						
การประเมินวัฏจักรชีวิตของกล่องกระดาษ[4]	x		x	x	x			x			
การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์และเหล็กกล้า เพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม[5]	x	x	x	x							x
การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของหลอดฟลูออเรสเซนต์โดยหลักการประเมินวัฏจักรชีวิต[6]	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Life Cycle Assessment of Municipal Solid Waste Landfill[7]	x										

หมายเหตุ : [1]ธิดา ทัศนราพันธ์, 2539 [2]เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล, 2544 [3]ธีรนันทา ฤทธิ์มณี, 2545 [4]อรุณี องค์มงคลกุล, 2545 [5]สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547 [6]นวรัตน์ รอดประเสริฐ, 2548 และ [7]Wanichpongpan, W., 2005 ที่มาของข้อมูลอ้างถึงใน (หทัยชนก นัดสถาพร, 2550)

ตารางที่ 2.15 กลุ่มผลกระทบที่ถูกนำมาใช้ในการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ในประเทศไทยด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro วิธี Eco-Indicator 95

งานวิจัย	Impact Catagory										
	Greenhouse	Ozone layer	Acidification	Eutrophication	Heavy metals	Carcinogens	Pesticides	Summer smog	Winter smog	Energy resources	Solid waste
การประเมินความคุ้มค่าเชิงพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตไบโอเอทานอลจากมันสำปะหลัง[1]	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของกระทงที่ผลิตจากพลาสติกโฟม[2]	x	x	x	x	x	x					
การศึกษาเปรียบเทียบพลังงานเพิ่มสุทธิและผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดของวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอล[3]	x	x	x	x	x	x					
การประเมินวัฏจักรชีวิตของสีผง[4]	x	x	x		x	x				x	
Life Cycle Assessment of Milled Rice Production: Case Study in Thailand[5]	x		x	x							

หมายเหตุ : [1]เสกสรร พาป้อม และปมทอง มาลากุล ณ อยุธยา, 2551 [2]ชุติมา บุษบง ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ และงามทิพย์ ภู่วโรดม, 2551 [3]วรยุทธ สายบัวตรง และธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, 2550 [4]กฤษกร เจียมจำรัสศิลป กริณา จอมคำศรี และเสกสรร พาป้อม, ม.ป.ป [5]Kasmaprapruet et al., 2009

2.3.2.4 การแปลผลวงจรชีวิต (Life Cycle Interpretation)

ขั้นตอนการแปลผลของการทำ LCA เป็นการนำผลจากการทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมมาวิเคราะห์ เพื่อให้ได้ข้อสรุปและข้อเสนอแนะตามเป้าหมาย และขอบเขตการศึกษาที่ได้กำหนดไว้ การแปลผลอาจต้องมีการพิจารณาข้อมูลซ้ำไปซ้ำมาเพื่อพิจารณาทบทวนข้อมูล และอาจต้องเปลี่ยนแปลงขอบเขตการศึกษา เพื่อให้สอดคล้องกับความเป็นจริง และคุณภาพของข้อมูลที่รวบรวมมาได้ตามเป้าหมายที่กำหนด โดยในการแปลผลข้อมูลต้องมีความเข้าใจ (Understandable) สามารถแปลงข้อมูลให้เข้าใจง่ายและต้องเป็นข้อมูลที่สามารถนำมาเปิดเผยได้ (Presentable) และต้องมีความเชื่อถือได้ (Reliable)

2.3.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.3.1 การนำวิธีการประเมินวงจรชีวิตไปประยุกต์ใช้

มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย (2551) ได้สรุปถึงการประเมินวงจรชีวิตว่า สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกิจกรรมหรืองานวิจัยได้อย่างหลากหลาย โดยกลุ่มของผู้นำไปใช้ประโยชน์อาจจำแนกได้เป็น 4 กลุ่มหลัก ได้แก่

ภาคอุตสาหกรรม/บริษัทเอกชน

- ใช้สื่อสารให้ทราบถึงข้อมูลด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์
- ออกแบบและปรับปรุงผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิต
- ใช้ต่อรองกับผู้จัดหาวัตถุดิบให้ผลิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น
- พัฒนากลยุทธ์ด้านการตลาด ด้านนโยบาย ด้านธุรกิจ และแผนการลงทุน พัฒนานโยบายของผลิตภัณฑ์
- การจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อมประเภทที่ 3
- ลดการใช้ทรัพยากรและพลังงาน ลดการเกิดมลพิษ

ภาครัฐ

- เป็นเกณฑ์ในการจัดทำข้อกำหนดของฉลากสิ่งแวดล้อม
- การกำหนดมาตรฐานสินค้าและบริการ
- การให้การรับรองผลิตภัณฑ์ฉลากสิ่งแวดล้อมประเภทที่ 3
- พัฒนาระบบการฝาก-การขอคืน (Deposit-refund systems)
- ใช้ประกอบการพิจารณาเพื่อสนับสนุนเงินทุนหรือการทำโครงสร้างภาษีอากร

องค์กรเอกชน

- เป็นข้อมูลเผยแพร่ต่อผู้บริโภค
- เป็นข้อมูลสนับสนุนสำหรับการประชุม/สัมมนาในเวทีสาธารณะ
- ใช้เป็นข้อมูลเพื่อกดดันภาคเอกชนและรัฐบาลในการพัฒนาสิ่งแวดล้อม

ผู้บริโภค

- ใช้เป็นข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์
- มีโอกาสเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย

2.3.3.2 งานวิจัยด้านการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อาหารและเกษตรในต่างประเทศ

จากการปริทรรศน์งานวิจัยและงานศึกษาของต่างประเทศที่มีการนำหลักการประเมินวัฏจักรชีวิตมาใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารและเกษตร สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2.16

ตารางที่ 2.16 งานวิจัยด้านการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อาหารและเกษตรในต่างประเทศ

ประเภท	ชื่องานวิจัย/งานศึกษา	ชื่อผู้วิจัย/ ศึกษา	ปี (ค.ศ.)
ขนมปัง	Energy Use in Bread Baking[1]	Beech, G.A.	1980
	Life Cycle Assessment of Bread Produced on Different Scales[1]	Andersson, K. and Ohisson, T.	1999
	Life Cycle Assessment of Bread Production- a Comparison of Eight Different Scenarios[1]	Braschkat, J., Patyk, A., Quirin, M., Reinhardt, GA	2003
มันฝรั่ง	Environmental LCA of Organic Potatoes[1]	Mattsson, B., and Wallen, E.	2003
แอปเปิ้ล	Evaluation of the Environmental Impacts of Apple production Using Life Cycle Assessment (LCA) : Case Study in New Zealand[1]	Mila I Canals, L., Burnip, G.M., and Cowell, S.J.	2006
แครอท	Greenhouse Gas and Emission in the Life Cycle of Carrots and Tomatoes[1]	Carlsson, A.	1997

ตารางที่ 2.16 งานวิจัยด้านการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อาหารและเกษตรในต่างประเทศ (ต่อ)

ประเภท	ชื่องานวิจัย/งานศึกษา	ชื่อผู้วิจัย/ศึกษา	ปี (ค.ศ.)
เนื้อหมู	LCA of Animal Products from Different Housing Systems in Switzerland : Relevance of Feedstuffs, Infrastructure and Energy Use[1]	Erzinger, S., Dux, D., Zimmermann, A., and Badertscher, R.	2003
	Life Cycle Assessment of Animal Products[1]	Cederberg, C.	2003
	Comparative Life Cycle Assessment of Pork vs Tofu[1]	Hakansson, S., Gavrilita, P., and Bengoa, X.	2005
	Comparative Life Cycle Assessment of Beef Pork and Ostrich Meat : A Critical Point of View[1]	Nunez, Y., Fermoso, J., Garcia, N., and Irusta, R.	2005
เนื้อวัว	System Expansion and Allocation in Life Cycle Assessment of Milk and Beef Production[1]	Cederberg, C., and Stadig, M.	2003
	Environmental Impacts of Japanese Beef-Fattening System with Different Feeding Lengths as Evaluated by a Life Cycle Assessment Method[1]	Ogino, A., Katu, K., Osada, T., and Shimada, K.	2004
เนื้อวัว	Co-Product Allocation in Life Cycle Assessments of Seafood Production Systems : Review of Problems and Strategies[1]	Nathan, A., Nathan, P., Tyedmers, P., Sonesson, U., and Scholz, A.J.	2006
น้ำตาล	Application of the Life Cycle Assessment Methodology to Agricultural Production : an Example of Sugar Beet Production with Different Forms of Nitrogen Fertilizers [2]	Brentrup, F., Kusters, J. Kuhlmann, H., and Lammel, J.	2000
	Environmental and Human Health Impacts of Growing Genetically Modified Herbicide-Tolerant Sugar Beet : a Life-Cycle Assessment [1]	Bennett, R., Phipps, R., Strange, A., and Grey, P.	2003

ตารางที่ 2.16 งานวิจัยด้านการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อาหารและเกษตรในต่างประเทศ (ต่อ)

ประเภท	ชื่องานวิจัย/งานศึกษา	ชื่อผู้วิจัย/ ศึกษา	ปี (ค.ศ.)
น้ำตาล	Life Cycle Assessment of Cane-Sugar on the Island of Mauritius [3]	Ramjeawon, T.	2004
	Life Cycle Assessment (LCA) of Sugarcane Production in Queensland[4]	Renouf, M.	2006
	Life Cycle Assessment Combined with Exergetic Analysis in Cane Sugar Production Analysis[5]	Margarita, A., Moya, C., Domínguez, E.R., Dewulf, J., Langenhove, H.V., Gil, M.P., and Herrero, R.S.	2007
อาหารทะเล	Environmental Life Cycle Assessment of Seafood Products From Capture Fisheries[1]	Ziegler, F.	2007
มะเขือเทศ	Greenhouse Gas and Emission in the Life Cycle of Carrots and Tomatoes1	Carlsson, A.	1997
	Screening LCA of Tomato Ketchup1	Andersson, K., Ohisson, T., and Ohisson, P.	1998
	Including Environmental Aspects in Production Development : A Case Study of Tomato Ketchup[1]	Andersson, K., Ohisson, T., and Ohisson, P.	1998

หมายเหตุ : ข้อมูลจาก [1]Foster et al., 2006 [2]Brentrup et al., 2000 [3]Ramjeawon, T., 2004 [4]Renouf, M., 2006, [5]Margarita et al., 2007

2.3.3.3 งานวิจัยด้านการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อาหารและเกษตรในประเทศ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมรายได้หลักส่วนใหญ่ของประเทศมาจากภาคเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมอาหาร แต่จากการปริทรรศน์งานวิจัยพบว่า งานวิจัยด้านการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อาหารในประเทศไทยยังมีอยู่น้อยมาก ที่พบมีเพียง 3 เรื่อง ได้แก่ การประเมินวงจรชีวิตของการปลูกมันสำปะหลังและการแปรรูปแป้งมันสำปะหลัง (Khongsiri,S., 2005) การศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมผลิตภัณฑ์กุ้งแช่แข็งในประเทศไทยโดยหลักการประเมินวงจรชีวิต (Mungkung, 2006) และการประเมินวงจรชีวิตเชิงสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ข้าว

(หทัยชนก, 2551) ซึ่งเหตุผลที่มีการศึกษาเรื่องนี้น้อยเนื่องมาจากการเก็บข้อมูลในภาคเกษตรนั้นทำได้ค่อนข้างยาก และข้อมูลมีการแปรผันตลอดเวลา

Khongsiri et al. (2005) ทำการวิจัยเรื่องการประเมินวงจรชีวิตการผลิตมันสำปะหลังและแป้งมันสำปะหลัง เพื่อศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเพาะปลูกมันสำปะหลัง และโรงงานผลิตมันสำปะหลังโดยใช้เทคนิคการประเมินวงจรชีวิต โดยพิจารณาพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ ตลอดจนการปล่อยของเสียสู่สิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle-to-Grave)โดยใช้โปรแกรม SimaPro เวอร์ชั่น 5.1 ในการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในด้านการใช้ประโยชน์ที่ดิน สภาวะโลกร้อน สภาวะความเป็นพิษ สภาวะความเป็นกรด และการเกิดยูโทรฟิเคชั่น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพกระบวนการเพาะปลูกมันสำปะหลังและกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังของประเทศ

Mungkung (2006) ได้ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมผลิตภัณฑ์กุ้งแช่แข็งในประเทศไทย โดยหลักการประเมินวงจรชีวิต และกำหนดหน่วยหน้าที่ผลิตภัณฑ์ (Functional Unit) ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ กุ้งสดจากฟาร์มตัวอย่างที่นำมาผลิตเป็นกุ้งแช่แข็ง 1 กล่อง ขนาดน้ำหนัก 1.8 กิโลกรัม ขอบเขตในการศึกษาครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการอนุบาลลูกกุ้ง การทำนากุ้ง และขั้นตอนการทำกุ้งแช่แข็ง โดยศึกษาเปรียบเทียบถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากระบบการทำนากุ้ง 5 รูปแบบ ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ระบบการทำนากุ้งที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด คือ ระบบ Going to be Organic รองลงมาคือ ระบบ Probiotic ระบบ Ecological ระบบ Biological & Code of Conduct และระบบ Conventional & Code of Conduct ตามลำดับ

หทัยชนก นัดสถาพร (2551) ได้ศึกษาการประเมินวงจรชีวิตเชิงสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ข้าว โดยอาศัยหลักการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life cycle Assessment) ในการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ข้าว โดยกำหนดขอบเขตของการศึกษาใน 3 ขั้นตอนการผลิต คือ ภาคเกษตรกรรม ภาคการขนส่ง และภาคอุตสาหกรรม และกำหนดหน่วยหน้าที่ผลิตภัณฑ์ (Functional Unit) คือ ข้าวเปลือก 1 ตัน (1,000 กิโลกรัม) ที่นำมาแปรรูปโดยกระบวนการสีข้าวเป็นข้าวสาร โดยผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ศึกษาในครั้งนี้ มี 5 ประเภท คือ ภาวะโลกร้อน ฝนกรด การเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น การลดลงของพลังงาน และการลดลงของทรัพยากร ซึ่งผลการศึกษาพบว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวที่ผลิตโดยใช้พลังงานไฟฟ้าในการสีข้าว จะเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่าง ๆ มากกว่า ผลิตภัณฑ์ข้าวที่ผลิตโดยใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงแกลบ และพลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานจากเชื้อเพลิงแกลบ ทั้งนี้ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อน และด้านการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่นจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการปลูกข้าวมากที่สุด ส่วนผลกระทบด้านฝนกรด การลดลงของพลังงาน และการลดลงของทรัพยากรจะเกิดขึ้นในขั้นตอนการสีข้าวมากที่สุด

Kasmaprapruet et al. (2009) ได้ทำการศึกษากรณีศึกษาเรื่องการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ข้าวในประเทศไทย โดยกำหนดหน่วยหน้าที่ผลิตภัณฑ์ คือ 1 กิโลกรัมข้าวที่ผ่านการสีแล้ว แต่ไม่รวมถึงการบรรจุหีบห่อ ซึ่งมีขอบเขตการศึกษาตั้งแต่การเตรียมพันธุ์ การปลูก การเก็บเกี่ยว การขนส่ง การตากให้แห้ง และการสีข้าว โดยขั้นตอนของการทำ LCI ใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลในโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro โดยผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ศึกษาในครั้งนี้ มี 3 ประเภท คือ ภาวะโลกร้อน ฝนกรด การเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น สรุปผลจากการศึกษาพบว่า ผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนเท่ากับ 2.9269E+03 gCO_2-eq ผลกระทบด้านฝนกรดเท่ากับ 3.1869 gSO_2-eq และผลกระทบด้านการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น เท่ากับ12.896 gNO_3^--eq ซึ่งจากการศึกษาพบว่า 95% เกิดจากภาวะโลกร้อนจากการปลูก 2% จากการเก็บเกี่ยวและ 2% จากการเมล็ดพันธุ์และการสีข้าว

2.3.4 กรณีศึกษาการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์อ้อยและน้ำตาล

Ramjeawon (2004) ได้ศึกษาการประเมินวงจรชีวิตของน้ำตาลบนเกาะเมอร์ริเชียส เพื่อจำแนกและแสดงให้เห็นถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตของน้ำตาลบนเกาะเมอร์ริเชียส และกำหนดหน่วยหน้าที่ผลิตภัณฑ์ (Functional Unit) ที่ใช้คือ น้ำตาลดิบ 1 ตันที่ส่งออกจากเมอร์ริเชียส โดยบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำตาล 1 ตัน มีการใช้ทรัพยากรดังนี้ ที่ดิน 0.12 เฮคเตอร์ สารกำจัดศัตรูพืช 0.85 กิโลกรัม ปุ๋ยไนโตรเจน 16.5 กิโลกรัม น้ำ 553 ตัน การขนส่ง 170 ตันต่อกิโลเมตร ซึ่งรวมการใช้พลังงานทั้งสิ้นประมาณ 14,235 เมกกะจูลต่อน้ำตาล 1 ตัน โดยในจำนวนนี้เป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลและจากชานอ้อย 1,995 เมกกะจูล ปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลสูงถึง 160 กิโลกรัมต่อน้ำตาล 1 ตัน และการเผาไหม้ชานอ้อยและแหล่งพลังงานอื่น ๆ บนเกาะนั้น จะมีความเสี่ยงต่อการปลดปล่อย CO_2 สู่บรรยากาศมากถึง 932,000 ตัน โดยในการผลิตน้ำตาล 1 ตัน จะปล่อยฝุ่นละออง (Total Suspended Particulate, TSP) ทั้งสิ้น 1.7 กิโลกรัมปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ปริมาณ 1.21 กิโลกรัม ก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ (NO_X) ปริมาณ 1.26 กิโลกรัม และก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ปริมาณ 1.26 กิโลกรัมออกสู่บรรยากาศ ไนโตรเจนปริมาณ 1.7 กิโลกรัม สารกำจัดศัตรูพืชปริมาณ 0.002 กิโลกรัม ค่าซีโอดี (COD) 19.1 กิโลกรัม ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (Total Suspended Solids, TSS) ปริมาณ 13.1 กิโลกรัม และฟอสเฟต ปริมาณ 0.37 กิโลกรัม ซึ่งสรุปได้ว่าขั้นตอนการปลูกและเก็บเกี่ยวอ้อยจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด 44 เปอร์เซ็นต์ รองลงมา คือ ขั้นตอนการใช้ปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช 22 เปอร์เซ็นต์ ขั้นกระบวนการผลิตน้ำตาลและไฟฟ้า 20 การขนส่ง 13 เปอร์เซ็นต์และการเผาอ้อย 1 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สำคัญคือ ผลกระทบด้านไนตริฟิเคชั่น สภาวะความเป็นกรด และการสูญเสียพลังงานตามลำดับ โดยทางเลือกที่เป็นไปได้ในการลดการใช้ทรัพยากรและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมก็คือ

การปรับปรุงระบบชลประทาน การเพาะปลูกที่ถูกวิธี การใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างเหมาะสม การตั้งโรงงานน้ำตาลในตำแหน่งที่เหมาะสม ตลอดจนการควบคุมมลพิษทั้งในขั้นตอนการผลิตน้ำตาลและการเผาอ้อย เป็นต้น

Renouf (2006) ได้ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการปลูกอ้อยในรัฐควีนส์แลนด์ ประเทศออสเตรเลีย โดยเปรียบเทียบผลกระทบระหว่างการเพาะปลูกแบบส่งผลกระทบต่ำ (Low-impact) กับแบบส่งผลกระทบสูง (High-impact) ที่คำนึงถึงการใช้พลังงาน การใช้น้ำ และ การเกิดยูโทรฟิเคชั่น พบว่าการใช้พลังงานเฉลี่ยเท่ากับ 0.42 เมกะจูลต่อกิโลกรัม โดยระดับการใช้พลังงานสูงสุด 1.39 เมกะจูลต่อกิโลกรัม และต่ำสุด 0.14 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่อยู่ในขั้นตอนการผลิตปุ๋ย (เฉลี่ย 0.161 เมกะจูลต่อกิโลกรัม) ขั้นตอนการใช้น้ำมันในไร่ (0.12 เมกะจูลต่อกิโลกรัม) และขั้นตอนการสูบน้ำ (0.10 เมกะจูลต่อกิโลกรัม) ตามลำดับ การใช้น้ำเฉลี่ยเท่ากับ 65.6 ลิตรต่อตันอ้อย โดยระดับการใช้น้ำสูงสุด 487 ลิตรต่อตันอ้อย และต่ำสุด 3.8 ลิตรต่อตันอ้อย ซึ่งจำนวนปั๊มน้ำที่ใช้ในระบบชลประทานจะมีอิทธิพลอย่างยิ่งต่อการใช้พลังงาน สำหรับก๊าซเรือนกระจกมีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ในไร่อ้อย โดยคำนวณหาปริมาณ N_2O ที่ปล่อยสู่บรรยากาศจากอัตราการใช้ปุ๋ยไนโตรเจน ส่วนศักยภาพในการเกิดยูโทรฟิเคชั่นเฉลี่ยเท่ากับ 0.45 กรัม ฟอสเฟตต่อกิโลกรัมตันอ้อย (PO_4^{-3} (eq) g/kg cane) โดยค่าสูงสุดคือ 1.43 PO_4^{-3} (eq) g/kg cane และต่ำสุดคือ 0.07 PO_4^{-3} (eq) g/kg cane

Nguyen, T. L. T., and Gheewala, S. H. (2008) ได้ศึกษาวงจรชีวิตของการใช้เอทานอลจากโมลาส (MoE) 10% ผสมกับน้ำมันเบนซิน เพื่อการคมนาคมขนส่งในประเทศไทย โดยการศึกษาในครั้งนี้พิจารณาปัจจัยด้านการใช้พลังงาน ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้น และการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดย Functional Unit ที่ใช้คือน้ำมันเชื้อเพลิง 1 ลิตรที่ถูกใช้ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ ซึ่งผลจากการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การผลิตเอทานอลจากโมลาส (MoE) ในรูปแก๊สโซฮอล์ E10 เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันเบนซินธรรมดา จะใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและน้ำมันปิโตรเลียมน้อยกว่า 5.3 เปอร์เซ็นต์ และ 8.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่จะส่งผลกระทบในด้านภาวะโลกร้อน POCPs : (Photochemical Ozone Creation Potentials) และปรากฏการณ์สภาวการณ์เพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Nitrification) มากกว่า โดยขั้นตอนการเผาไร่อ้อยเพื่อเตรียมพื้นที่เพาะปลูกคือ สาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของ CO และก๊าซวีโอซี (VOC) ทั้งนี้ Nguyen, T. L. T., and Gheewala, S. H. ได้เสนอแนะมาตรการในการปรับปรุงวงจรชีวิตของ MoE เพื่อลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยการใช้โมลาสแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตเอทานอล การดักจับก๊าซมีเทนที่เกิดจากโรงกลั่นเพื่อนำมาใช้ผลิตพลังงาน และการใช้เป็นประโยชน์จากเศษเหลือของต้นอ้อยแทนการเผาทิ้งในไร่อ้อย

มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย (2550) ได้ศึกษาการประเมินวงจรชีวิตการผลิตและการใช้เอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อย โดยเป็นการศึกษาเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์เอทานอลจากกากน้ำตาลและมันสำปะหลังตลอดสายการผลิต ซึ่งหากเปรียบเทียบเฉพาะช่วงการทำเกษตร พบว่าการปลูกมันสำปะหลังจะปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยกว่าการปลูกอ้อย เนื่องจากกิจกรรมการเผาใบอ้อย และการเผาซากพืชเกษตร ก่อให้เกิดผลกระทบด้านภาวะโลกร้อนมากที่สุด โดยได้เสนอแนะแนวทางในการลดปัญหา คือ ลดการใช้ปุ๋ยเคมี ใช้เศษซากพืชหรือชีวมวลในการฟื้นฟูสภาพดิน ลดการเผาอ้อยก่อนตัด ลดการเผาซากใบอ้อยในแปลงหลังจากการตัดอ้อย และควรปรับปรุงสภาพดิน

Brentrup et al. (2001) ได้ทำศึกษาการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการใช้ปุ๋ยที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ ปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรต ปุ๋ยยูเรียแอมโนเนียมไนเตรต และปุ๋ยยูเรีย ในการปลูกหัวบีท (Sugar beet) ในฝั่งตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศเยอรมัน โดยใช้วิธีการศึกษาEco-indicator 95 ในการประเมินผลกระทบ โดยพบว่า การใช้ปุ๋ยยูเรียส่งผลกระทบต่อการการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนมากที่สุด และปุ๋ยแอมโมเนียมไนเตรตส่งผลกระทบน้อยที่สุด ซึ่งพบว่าจากสาเหตุดังกล่าวทำให้ส่งผลกระทบต่อภาวะความเป็นกรดและการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในน้ำมากที่สุด

Berndt et al. (2007) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการนำชานอ้อยหลายล้านตันมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงและพลังงานไอน้ำ เพื่อใช้ในกระบวนการผลิตต่าง ๆ ภายในโรงงาน ซึ่งนับเป็นทางเลือกหนึ่งของการผลิตพลังงานทางเลือกอย่างยั่งยืน (Alternative natural resource for sustainable energy) และกากชานอ้อยสามารถนำไปผลิตเส้นใยในการทำโพลีเมอร์ได้ (Bio-polymer)

Margarita et al. (2007) ได้ศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์น้ำตาล โดยใช้หลักการประเมินวงจรชีวิตผสมผสานกับวิธี Exergetic Analysis โดยมีหน่วยหน้าที่ผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาคือ น้ำตาลทรายน้ำหนัก 216 ตัน และดำเนินการศึกษาเฉพาะในขั้นตอนการเกษตรและอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นการศึกษาโดยใช้โปรแกรม SimaPro ด้วยวิธี Eco-Indicator 99 เปรียบเทียบกระบวนการผลิตน้ำตาล 4 รูปแบบ คือ

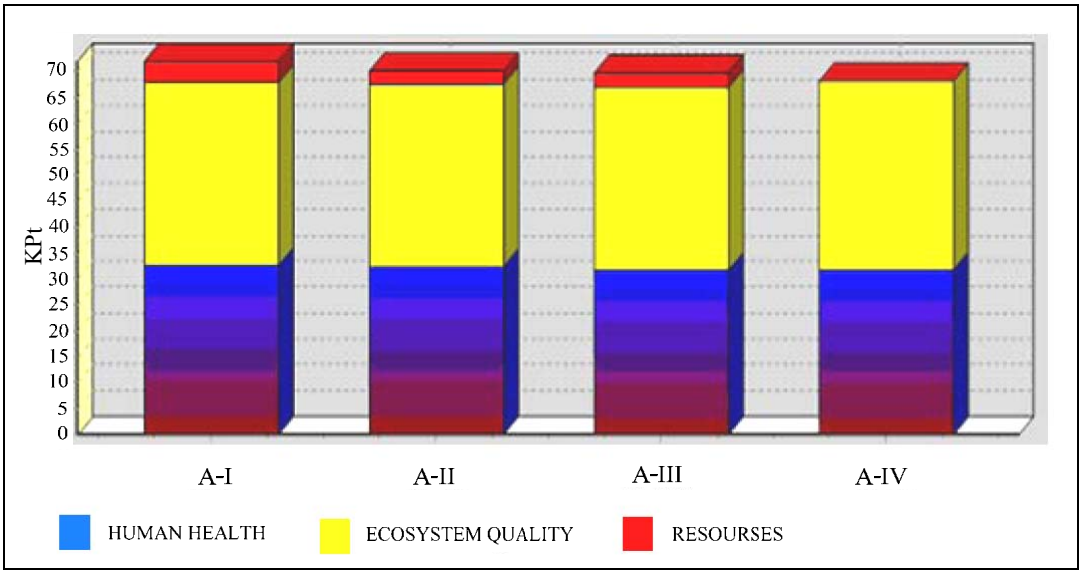
รูปแบบที่ 1: กระบวนการผลิตน้ำตาล ที่ไม่มีการนำน้ำทิ้ง ขี้เถ้า กากหม้อกรอง และโมลาส กลับมาใช้ประโยชน์

รูปแบบที่ 2: กระบวนการผลิตน้ำตาล ที่นำน้ำทิ้ง ขี้เถ้า และกากหม้อกรองกลับมาใช้ ในการปลูกอ้อย

รูปแบบที่ 3: กระบวนการผลิตน้ำตาล ที่นำขี้เถ้ากลับมาใช้ในการปลูกอ้อย และนำน้ำทิ้ง และกากหม้อกรองไปใช้ผลิตไบโอแก๊ส (Biogas)

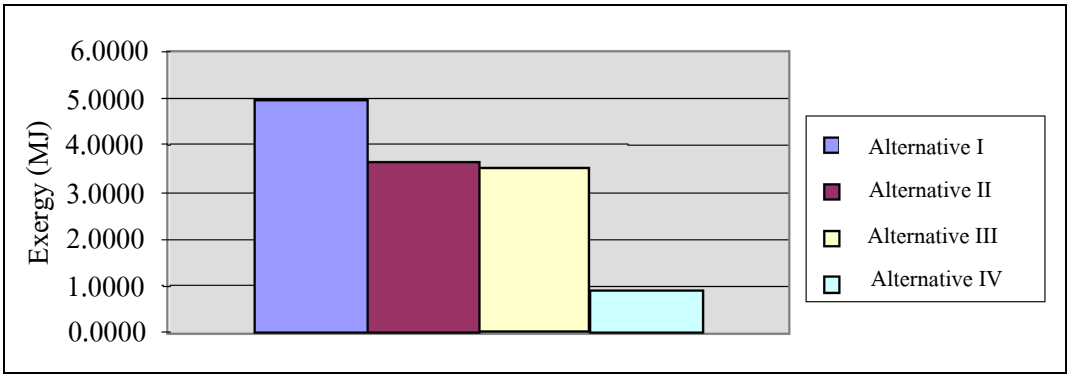
รูปแบบที่ 4 : กระบวนการผลิตน้ำตาล ที่นำขี้เถ้ากลับมาใช้ในการปลูกอ้อยนำน้ำทิ้งและกากหม้อกรองไปใช้ผลิตไบโอแก๊สและนำโมลาสไปใช้ผลิตแอลกอฮอล์และยีสต์

ผลการศึกษาพบว่า กระบวนการผลิตน้ำตาลรูปแบบที่ 1 ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยรวมมากที่สุด รองลงมาคือ กระบวนการผลิตน้ำตาลรูปแบบที่ 2 และ 3 ที่ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมในระดับที่ใกล้เคียงกันส่วนกระบวนการผลิตน้ำตาลรูปแบบที่ 4 ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงผลกระทบสิ่งแวดล้อมในกระบวนการผลิตน้ำตาลแต่ละรูปแบบ (Margarita et al., 2007)

ทั้งนี้ผลการศึกษาด้านการใช้พลังงานพบว่า กระบวนการผลิตน้ำตาลรูปแบบที่ 1 ใช้พลังงานโดยรวมมากที่สุด รองลงมา คือ กระบวนการผลิตน้ำตาลรูปแบบที่ 2 3 และ 4 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 กราฟแสดงผลการศึกษาด้านการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตน้ำตาลแต่ละรูปแบบ (Margarita et al., 2007)

จากการปริทรรศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยพบว่า งานวิจัยด้านการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อาหารในประเทศไทยยังมีค่อนข้างน้อย โดยส่วนใหญ่งานวิจัยที่เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์จากอ้อย มักจะเกี่ยวกับในเรื่องพลังงานหรือเชื้อเพลิง เช่น LCA ด้านการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล การนำชานอ้อยไปผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า และการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและข้าวโพด เป็นต้น

2.4 ความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย เป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย สามารถสร้างรายได้ให้กับประเทศไม่น้อย 50,000 ล้านบาท แต่ทั้งนี้อุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทรายก็ยังต้องเผชิญกับปัญหาที่สำคัญในด้านต่าง ๆ หลายประการ เช่น ปัญหาการขาดแคลนแรงงานตัดอ้อย ปัญหาด้านต้นทุนการผลิตสูง ปัญหาด้านการขาดเทคโนโลยีที่เหมาะสม และปัญหาราคาอ้อย เป็นต้น ส่งผลให้ความสามารถในการแข่งขันในด้านการผลิตและการส่งออกน้ำตาลทรายขาดประสิทธิภาพ ทำให้มีการเสียเปรียบทางด้านการค้าเมื่อเทียบกับประเทศคู่แข่ง (กนกวรรณ จาตกะวร, 2548)

พัลลภา เพชรวรกุล (2544) ได้ศึกษาถึงผลกระทบของมาตรการเปิดเสรีสินค้าเกษตรภายใต้องค์การการค้าโลก (WTO) ที่มีต่ออุตสาหกรรมน้ำตาลไทย พบว่าการเปิดเสรีการค้า WTO ของอุตสาหกรรมน้ำตาล จะทำให้อุตสาหกรรมน้ำตาลได้รับประโยชน์ และนำไปสู่การขยายตัวของอุตสาหกรรมอื่น ๆ ที่มีความเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมน้ำตาล อีกทั้งก่อให้เกิดการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศในระดับมหภาคด้วย โดยการลดการอุดหนุนและลดภาษีของไทย ผู้บริโภคจะได้รับประโยชน์อย่างเห็นได้ชัด เพราะระดับราคาน้ำตาลที่ลดลง และภาครัฐก็ไม่ต้องจ่ายเงิน

อุดหนุนให้กับอุตสาหกรรมนี้ แต่ทางด้านผู้ผลิตจะได้รับผลเสีย เพราะระดับราคาที่ลดลง แต่ก็ชดเชยด้วยการส่งออกที่เพิ่มขึ้น กรณีที่ประเทศอื่นเปิดเสรีด้วย ผู้ผลิตจะได้รับประโยชน์เพิ่มขึ้นจากปริมาณการส่งออกน้ำตาลที่เพิ่มขึ้น แต่สำหรับทางด้านผู้บริโภคนั้นจะได้รับผลเสีย จากการที่ราคาน้ำตาลจะสูงขึ้นเท่ากับราคาในตลาดโลก อย่างไรก็ดี แม้ผลการศึกษาจะชี้ให้เห็นถึงการขยายตัวของอุตสาหกรรมน้ำตาลและอีกหลาย ๆ สาขาการผลิต แต่ก็มีบางสาขาการผลิตที่มีการหดตัวจากผลกระทบของการเปิดเสรีน้ำตาล ข้อเสนอแนะที่สำคัญ คือ อุตสาหกรรมน้ำตาลไทยต้องมีการปรับปรุงประสิทธิภาพในการผลิต เพื่อการแข่งขันในโลกการค้าเสรี

การประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์จึงนับได้ว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิรูปที่ทั่วโลกนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อยกระดับคุณภาพของผลิตภัณฑ์และลดปัญหาสิ่งแวดล้อม แต่สำหรับในประเทศไทยนั้น ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ค่อนข้างน้อย โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ด้านเกษตรและอาหาร ดังนั้นการศึกษาวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์น้ำตาลในครั้งนี้ จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจและมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาฐานข้อมูลด้านการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ด้านเกษตรและอาหารของไทย และยังสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตอ้อยและน้ำตาล เพื่อลดต้นทุนในการผลิต และเพิ่มมูลค่าของผลิตภัณฑ์น้ำตาล เพื่อให้ประเทศไทยยังคงความเป็นผู้นำในตลาดส่งออกน้ำตาลของโลกต่อไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงวิเคราะห์ เพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย โดยใช้หลักการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) ซึ่งเป็นการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งข้อมูลปฐมภูมิและทุติยภูมิ โดยแหล่งข้อมูลปฐมภูมิ คือ โรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา เกษตรกรชาวไร่อ้อย (ในพื้นที่เขตส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานกรณีศึกษา 4 จังหวัด คือ จังหวัดชัยภูมิ เลย ขอนแก่น และหนองบัวลำภู) ส่วนแหล่งข้อมูลทุติยภูมิ คือ ฝ่ายไร่อ้อยและฝ่ายวิจัยของโรงงานน้ำตาล โรงงานผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล โรงงานผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อย โรงงานผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด สำนักงานสถิติการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน รวมถึงแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำข้อมูลมาใช้ประกอบการวิเคราะห์และประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากวงจรชีวิต

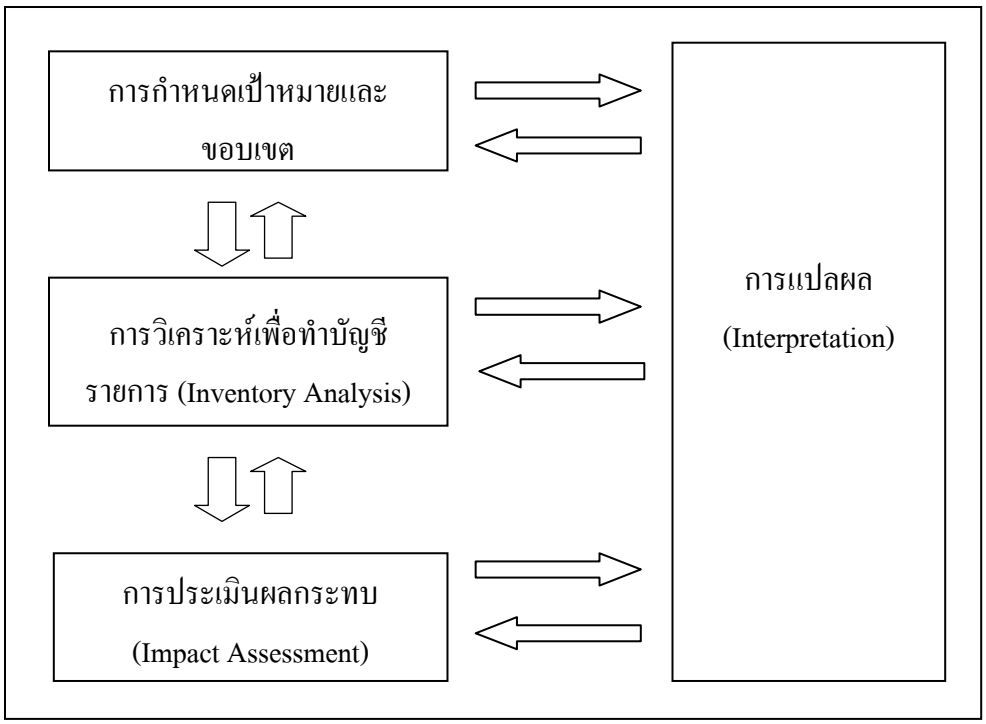
แผนการดำเนินงานเริ่มจากการศึกษาและทบทวนข้อมูลผลการศึกษา/วิจัยด้านการผลิตอ้อยและน้ำตาล รวมถึงงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวงจรชีวิตการผลิตน้ำตาล ได้แก่

- ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ สถานที่ตั้ง พื้นที่ของแหล่งผลิตอ้อย ข้อมูลด้านการปลูกอ้อย
- ข้อมูลรูปแบบวิธีการขนส่ง และน้ำหนักบรรทุกอ้อย
- ข้อมูลวิธีการผลิตน้ำตาล วิธีการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล
- ข้อมูลวิธีการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด วิธีการผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อย
- สถิติการผลิตและส่งออกน้ำตาลในตลาดโลก
- ฐานข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมหรือผลการศึกษาการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับวงจรชีวิตการผลิตน้ำตาล

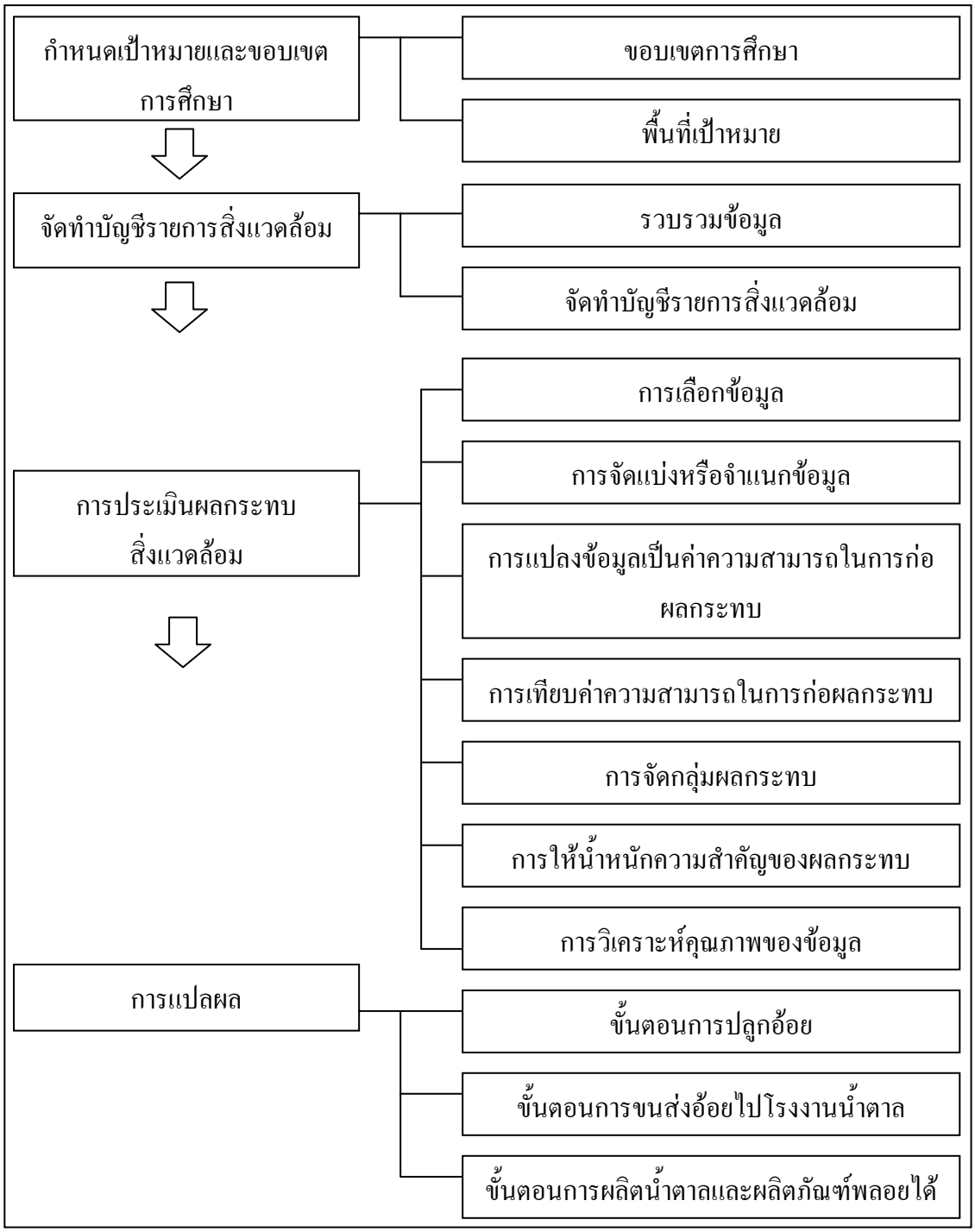
โดยการสำรวจเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ด้วยวิธีการสอบถามและการสัมภาษณ์ เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลการผลิต การใช้ทรัพยากร รวมถึงมีการเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์การปล่อยของเสีย เพื่อนำมาข้อมูลที่ได้มาจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม วิเคราะห์และประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยศึกษาข้อมูลตั้งแต่การปลูกอ้อย การขนส่ง การผลิตน้ำตาล และการผลิตผลิตภัณฑ์พลอยได้ ได้แก่ เอทานอลจากกากน้ำตาล ปาร์ติเกิลบอร์ด และพลังงานไฟฟ้าจากชานอ้อย

3.2 วิธีการวิจัย

วิธีการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) จะประเมินตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.1 และรูปที่ 3.2 โดยมีรายละเอียดขั้นตอนหลัก 4 ขั้นตอน คือ 1) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal & Scope Definition) 2) การวิเคราะห์เพื่อจัดทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis) 3) การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment) และ 4) การแปลผล (Interpretation)



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนพื้นฐานการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ (ISO 14040, 2006)



รูปที่ 3.2 แผนการดำเนินงานการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์

3.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal & Scope Definition)

ประกอบด้วยการกำหนดเป้าหมาย ขอบเขตของระบบที่ทำการศึกษา (System boundary) และการระบุหน่วยการทำงาน (Functional Unit) ของผลิตภัณฑ์ที่จะศึกษา

เป้าหมายของการศึกษา คือ การจำแนกและแสดงผลกระทบสิ่งแวดล้อมของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย

โดยขอบเขตการศึกษาในงานวิจัย เป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์จากอ้อยที่เกิดขึ้นจากโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา โรงงานผลิตเอทานอล โรงงานผลิตไฟฟ้า และโรงงานผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด รวมทั้งสิ้น 4 โรงงาน โดยแบ่งขอบเขตการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน คือ ภาคเกษตรกรรม ภาคการขนส่ง และภาคอุตสาหกรรมการผลิต

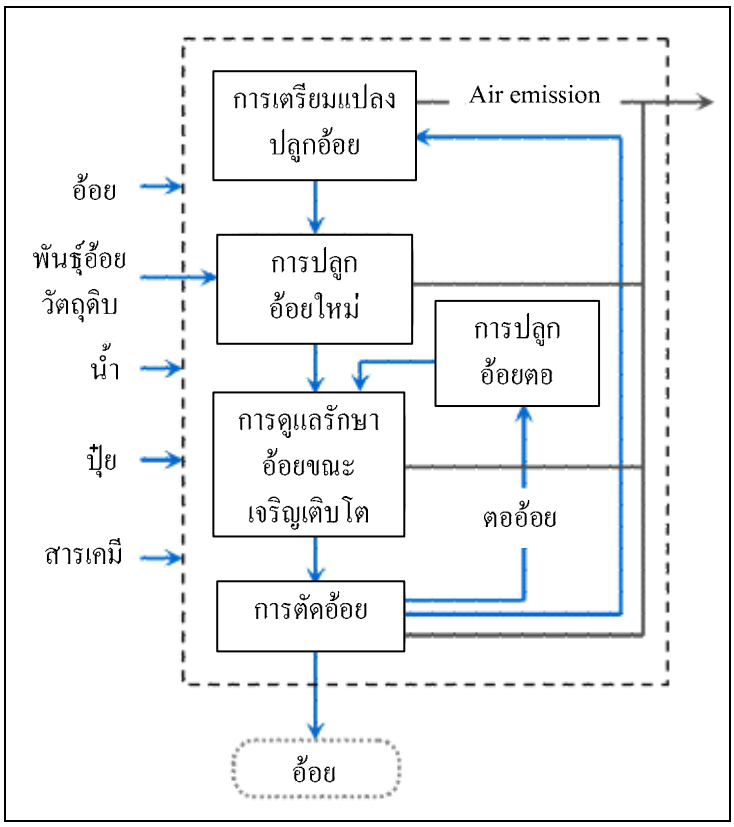
หน่วยการทำงานหรือหน่วยหน้าที่ผลิตภัณฑ์ (Function Unit) สำหรับงานวิจัย คือ อ้อยปริมาณ 1 ตัน (1,000 กิโลกรัม) ที่นำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเป็นน้ำตาล

3.2.1.1 ภาคเกษตรกรรม

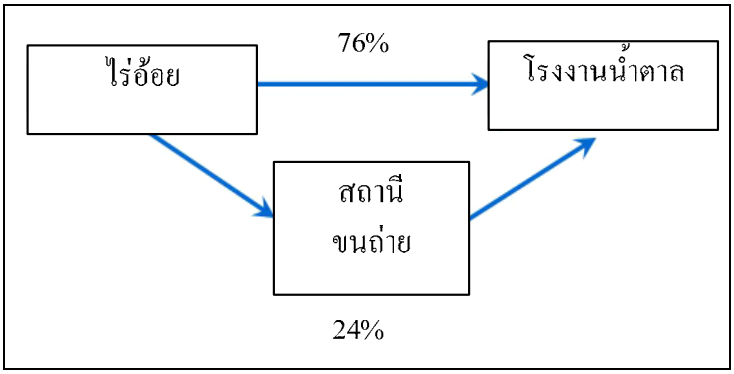
การเก็บข้อมูลปฐมภูมิเกี่ยวกับการปลูกอ้อยและการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานน้ำตาลกรณีศึกษาจากพื้นที่ปลูกอ้อยใน 4 จังหวัด ซึ่งเป็นพื้นที่เขตส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานกรณีศึกษา ได้แก่ จังหวัดชัยภูมิ จังหวัดเลย จังหวัดขอนแก่น และจังหวัดหนองบัวลำภู โดยการสัมภาษณ์และการใช้แบบสอบถามสุ่มเลือกเกษตรกรในพื้นที่ของจังหวัดดังกล่าว และมีการเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิด้านการปลูกอ้อยจากฝ่ายไร่ของโรงงานน้ำตาล ซึ่งข้อมูลที่ศึกษารวบรวม ได้แก่ วิธีการเตรียมพันธุ์อ้อย การเตรียมดิน การปลูก การดูแลรักษา ตลอดจนการเก็บเกี่ยวซึ่งข้อมูลที่ต้องมีการเก็บรวบรวม ได้แก่ ชนิดพันธุ์อ้อยที่ชาวไร่นิยมใช้ ปริมาณท่อนพันธุ์ ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ยาควบคุมวัชพืช ปริมาณน้ำและน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ ปริมาณผลผลิตอ้อยต่อไร่ และมลพิษที่เกิดขึ้นจากภาคเกษตรกรรม เป็นต้น ขอบเขตการศึกษาดังแสดงในรูปที่ 3.3

3.2.1.2 ภาคการขนส่ง

เป็นการเก็บรวมรวมข้อมูลการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา ได้แก่ ข้อมูลแหล่งที่มาของอ้อย ระยะทางการขนส่งจากแต่ละพื้นที่เพื่อนำอ้อยเข้าสู่โรงงานน้ำตาล รูปแบบวิธีการขนส่ง และอัตราการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่ง โดยจะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งจากเกษตรกรชาวไร่อ้อย ฝ่ายไร่ของโรงงานน้ำตาล และผู้ประกอบการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.4



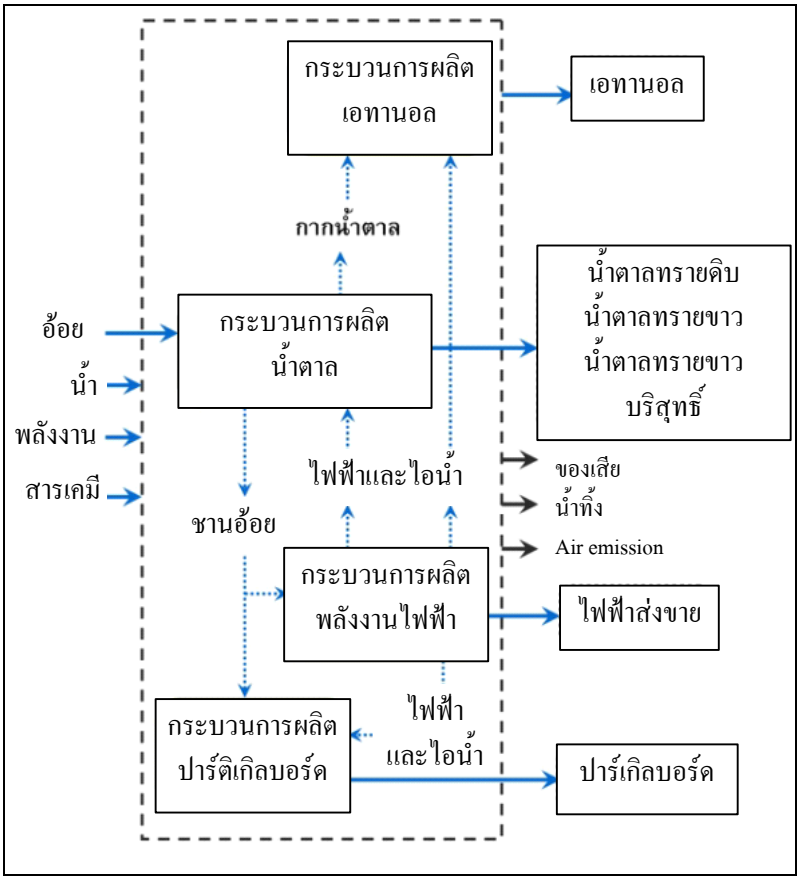
รูปที่ 3.3 ขอบเขตการศึกษากระบวนการปลูกอ้อย (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2550)



รูปที่ 3.4 ขอบเขตการศึกษาขั้นตอนการขนส่งอ้อย

3.2.1.3 ภาคอุตสาหกรรมการผลิต

เป็นการเก็บรวมรวมข้อมูลกระบวนการผลิตน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา ซึ่งใช้วิธีการผลิตรูปแบบเดียวกับโรงงานน้ำตาลส่วนใหญ่ในประเทศไทย ดังที่ได้กล่าวถึงแล้วในหัวข้อ 2.2.4 ดังนั้นโรงงานนี้จึงสามารถเป็นตัวแทนของโรงงานน้ำตาลทั่วไปในประเทศไทยได้ และที่สำคัญยังเป็นโรงงานที่มีการนำผลพลอยได้ที่เกิดขึ้นไปใช้เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์พลอยได้ชนิดอื่น ได้แก่ เอทานอล ปาร์ติเกิลบอร์ด และพลังงานไฟฟ้า โดยในการเก็บรวบรวมข้อมูลจะเก็บข้อมูลตั้งแต่ขั้นตอนและวิธีการผลิต รายการสารขาเข้าขาออกทั้งหมด รวมไปถึงมลพิษที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต เช่น มลพิษทางอากาศ มลพิษทางดินและมลพิษทางน้ำ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ จำแนกบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม และประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของแต่ละกระบวนการตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.5



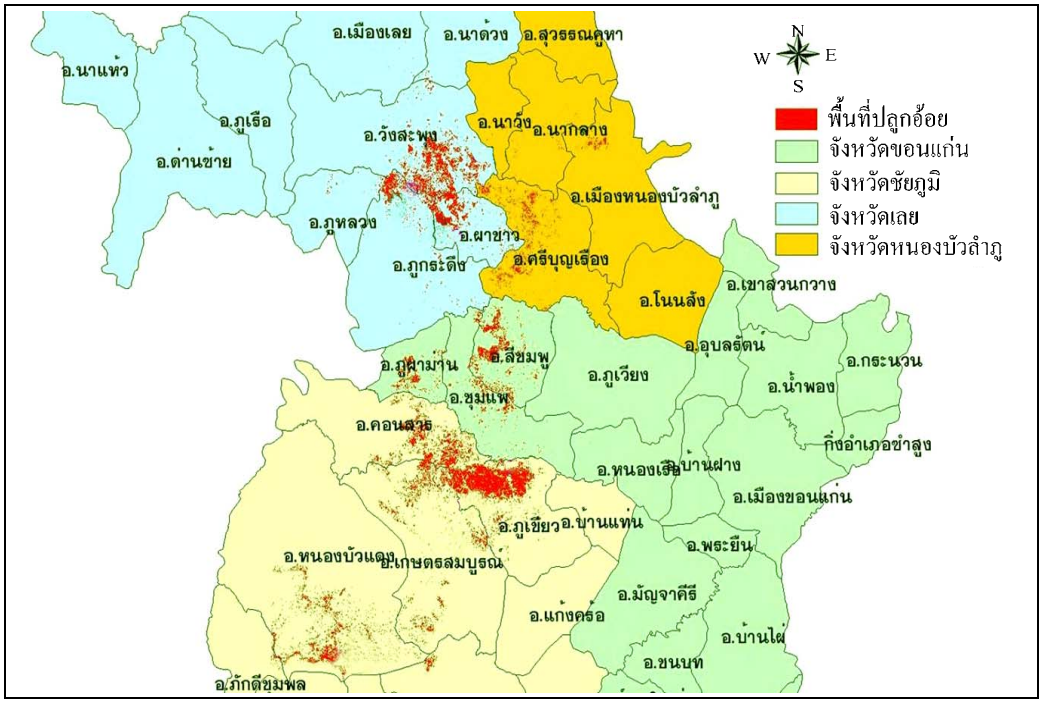
รูปที่ 3.5 ขอบเขตการศึกษากระบวนการผลิตน้ำตาลทรายและการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้

3.2.2 การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis)

เป็นการศึกษาวิเคราะห์และคำนวณหาปริมาณการใช้ทรัพยากร ปริมาณการใช้พลังงาน ปริมาณของเสีย หรือมลพิษที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแต่ละขั้นตอนในวงจรชีวิตของการผลิตน้ำตาล เพื่อจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ซึ่งประกอบด้วยสารขาเข้า (Input) ได้แก่ วัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการ การใช้พลังงาน การใช้น้ำ การใช้สารเคมี น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ ในส่วนของสารขาออก (Output) ได้แก่ ขยะ น้ำเสียที่เกิดขึ้น มลพิษทางอากาศ และของเสียจากกระบวนการผลิต

3.2.2.1 การกำหนดพื้นที่ศึกษา

ผู้วิจัยได้กำหนดพื้นที่ศึกษาจากการคัดเลือกพื้นที่ส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานที่ใช้เป็นกรณีศึกษาในเขตจังหวัดจังหวัดชัยภูมิ จังหวัดเลย จังหวัดขอนแก่น และจังหวัดหนองบัวลำภู ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงพื้นที่ส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานกรณีศึกษา

3.2.2.2 การรวบรวมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิของกระบวนการปลูกอ้อย การขนส่งอ้อยจากไร่เข้าโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา โดยใช้วิธีการสัมภาษณ์และแบบสอบถามจากเกษตรกรชาวไร่อ้อยในพื้นที่เขตส่งเสริมการปลูกของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษาในจังหวัดชัยภูมิ เลย ขอนแก่น และหนองบัวลำภู ในระหว่างวันที่ 6-13 เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2552 (ตาราง ก.1 ตัวอย่างแบบสอบถาม ภาคผนวก ก.) โดยการสุ่มตัวอย่างตามหลักการทางสถิติที่เป็นที่ยอมรับทั่วไปในการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 355 ราย จากเกษตรกรชาวไร่อ้อยทั้งหมด จำนวน 4,690 ราย ตามวิธีการของเฮนเดล ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ (เกียรติสุดา ศรีสุข, 2549) โดยใช้ตารางสำเร็จรูปในการกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างในการวิจัย (ตาราง ข.1 การกำหนดขนาดตัวอย่างของเฮนเดลและวิธีการคำนวณขนาดตัวอย่างประชากร ภาคผนวก ข.) ซึ่งทำการแบ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างในแต่ละจังหวัด ได้แก่ จังหวัดชัยภูมิ จังหวัดเลย จังหวัดขอนแก่นและจังหวัดหนองบัวลำภูจำนวน 196 81 56 และ 22 ราย ตามลำดับ ดังแสดงไว้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 จำนวนพื้นที่และจำนวนเกษตรกรที่ปลูกอ้อยของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา ปี 2551/52

พื้นที่ส่งเสริมการปลูกอ้อย (จังหวัด)	พื้นที่ (ไร่)	เกษตรกร	
		จำนวน (ราย)	ร้อยละ
ชัยภูมิ	228,436	2,596	55.3
เลย	52,064	1,064	22.7
ขอนแก่น	41,651	741	15.8
หนองบัวลำภู	6,248	289	6.2
รวม	328,399	4,690	100

หมายเหตุ : ข้อมูลจากพื้นที่ส่งเสริมการเกษตรของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา

นอกจากนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลทุติยภูมิในด้านการปลูก การขนส่งอ้อย และในส่วนของภาคอุตสาหกรรมการผลิตตั้งแต่กระบวนการผลิตน้ำตาล เอทานอล ปาร์ติเกิลบอร์ดและไฟฟ้าจากเจ้าหน้าที่ของโรงงานกรณีศึกษาโดยตรงและจากการศึกษางานวิจัยและเอกสารเพิ่มเติม โดยการสัมภาษณ์และใช้ตารางการเก็บข้อมูล รายละเอียดแสดงในภาคผนวก (ตาราง ก.2) เพื่อรวบรวมข้อมูลด้านวัตถุดิบ พลังงาน และมลพิษที่เกิดขึ้นจากการกระบวนการผลิต รายละเอียดการเก็บข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งจากการศึกษาพบว่าโรงงานกรณีศึกษาได้เล็งเห็นและให้ความสำคัญกับปัญหามลพิษที่เกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นด้านคุณภาพอากาศ ด้านมลพิษทางน้ำ เป็นต้น

โดยได้มีการตรวจวัดคุณภาพอากาศจากปล่องของโรงงานปีละ 2 ครั้ง ตามมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมและได้มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งจากการศึกษาข้อมูลพบว่า น้ำทิ้งที่เกิดขึ้นจะเกิดจากกระบวนการผลิตน้ำตาลเท่านั้น เนื่องจากในกระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดไม่มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิต จึงไม่มีน้ำเสียเกิดขึ้น ในส่วนของกระบวนการผลิตไฟฟ้าพบว่า มีการใช้น้ำในการหล่อเย็น (Blow down) ดังนั้นน้ำส่วนหนึ่งจะถูกระเหยออกไปและส่วนที่เหลือจะถูกดึงกลับเข้าไปใช้ในระบบใหม่อีกครั้ง จึงไม่มีน้ำเสียเกิดขึ้น ส่วนกระบวนการผลิตเอทานอลพบว่า กระบวนการกลั่นเอทานอลจะน้ำกากส่าออกมาซึ่งจะถูกนำไปผลิตเป็นปุ๋ยน้ำชีวภาพจึงไม่มีโดยที่น้ำทิ้งที่เกิดจากกระบวนการผลิต ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งในวันที่ 25 กุมภาพันธ์ 2552 จากโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษาเพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าบีโอดี ปริมาณไนเตรต ฟอสเฟต รายละเอียดที่มาของข้อมูลในตารางที่ 3.2 และได้คำนวณหาปริมาณ CO_2 emission จากน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำตาล รายละเอียดของการคำนวณแสดงไว้ที่ภาคผนวก ค

3.2.2.3 ข้อจำกัดด้านข้อมูล

ข้อมูลบางประเภทเป็นความลับทางการค้า ไม่สามารถนำมาเผยแพร่ได้ เนื่องจากปัจจุบันโรงงานต่าง ๆ มีตลาดการแข่งขันค่อนข้างสูงและมีคู่แข่งทางการค้าเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการได้มาซึ่งข้อมูลของกระบวนการผลิต วัตถุดิบ สารเคมี พลังงานที่ใช้ รวมไปถึงของเสียหรือมลพิษที่ถูกปล่อยออกมานั้นต้องผ่านการกลั่นกรองจากผู้บริหารของโรงงาน จึงอาจทำให้ข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมไม่ครบถ้วนสมบูรณ์เท่าที่ควร และนอกจากนี้ข้อจำกัดของฐานข้อมูลวัตถุดิบบางชนิดที่ไม่มีในประเทศไทย ต้องอาศัยการประมาณการจากแบบจำลองและฐานข้อมูลของต่างประเทศเพื่อมาอ้างอิง

ตารางที่ 3.2 ที่มาของข้อมูลในแต่ละขั้นตอน

ขั้นตอน ตลอดวงจรชีวิต	ข้อมูลที่เก็บรวบรวม	ที่มาของการเก็บรวบรวม
กระบวนการปลูกอ้อย	พื้นที่ปลูกอ้อย	การสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกร
	พื้นที่อ้อยไฟไหม้	การสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกร
	ปริมาณท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูก	การสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกร
	ปริมาณยาคุมหญ้า/ยาฆ่าแมลงที่ใช้	การสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกร
	ปริมาณปุ๋ยเคมี/ปุ๋ยคอก	การสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกร
	จำนวนคนงานตัดอ้อย	การสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกร
	ปริมาณผลผลิตต่อไร่	การสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกร
	ปริมาณเศษเหลือจากการเก็บเกี่ยวต่อไร่	การสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกร
	ปริมาณน้ำที่ใช้	ปริทรรศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
	จำนวนเกษตรกรและพื้นที่ไร่อ้อย	ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา
การขนส่งอ้อย	ระยะทางและรูปแบบในการขนส่ง	การสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกรและข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา
	ประเภทรถที่ใช้ในการบรรทุกอ้อย	การสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกร
	ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งอ้อย	การสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกร
	ข้อมูลน้ำหนักบรรทุกและอัตราสิ้นเปลืองน้ำมัน (ไป-กลับ)	ปริทรรศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
	มลพิษทางอากาศจากน้ำมันดีเซล	ปริทรรศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ตารางที่ 3.2 ที่มาของข้อมูลในแต่ละขั้นตอน (ต่อ)

ขั้นตอนตลอดวงจรชีวิต	ข้อมูลที่เก็บรวบรวม	ที่มาของการเก็บรวบรวม
กระบวนการผลิตน้ำตาล	ปริมาณวัตถุดิบ/สารเคมี/พลังงานไฟฟ้า/ไอน้ำ	รวบรวมข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา
	ปริมาณไนเตรตในน้ำเสีย	วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี Phenanthroline
	ปริมาณฟอสเฟตในน้ำเสีย	วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี Vanadomolybdophosphoric acid
	ปริมาณบีโอดีในน้ำเสีย	วิเคราะห์ตัวอย่างด้วยวิธี closed reflux
	ปริมาณ co_2 emission จากน้ำเสีย	การคำนวณจากปริมาณ BOD
กระบวนการผลิตเอทานอล	ปริมาณวัตถุดิบ/สารเคมี/พลังงานไฟฟ้าและไอน้ำ	รวบรวมข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา
กระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด	ปริมาณวัตถุดิบ/สารเคมี/พลังงานไฟฟ้าและไอน้ำ	รวบรวมข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา
กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า	ปริมาณวัตถุดิบ/สารเคมี/พลังงานไฟฟ้าและไอน้ำ	รวบรวมข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา
	ปริมาณมลพิษทางอากาศ	รวบรวมข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา

3.2.3 การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)

เป็นการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์จากอ้อย โดยใช้ข้อมูลที่ได้มาจากขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis) ซึ่งการประเมินผลกระทบของการศึกษานี้จะมุ่งเน้นที่ผลกระทบสิ่งแวดล้อมขั้นกลาง (Midpoint) โดยมีวิธีการประเมินผลกระทบ 3 ขั้นตอน คือ การคัดเลือกกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ศึกษา (Selection) การจำแนกผลกระทบออกเป็นหมวดหมู่ (Classification) และการคำนวณศักยภาพในการเกิดผลกระทบ (Characterization)

3.2.3.1 การคัดเลือกและกำหนดข้อมูลในการก่อผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Selection)

เนื่องจากผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูปในการคำนวณการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ SimaPro เวอร์ชั่น 7.1 ด้วยวิธีการ Eco-Indicator 95 ซึ่งถูกได้ถูกผลิตขึ้นโดยบริษัท Pre' Consultants ประเทศเนเธอร์แลนด์ โดยวิธีการดังกล่าวได้มีการพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้น 11 ผลกระทบ ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ประเภทผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากวิธีการ Eco-Indicator 95

Impact category	Unit
Greenhouse	kg CO_2
Ozone layer	kg CFC11
Acidification	kg SO_2
Eutrophication	kg PO_4
Heavy metals	kg Pb
Carcinogens	kg B(a)P
Pesticides	kg act.subst
Summer smog	kg C_2H_4
Winter smog	kg SPM
Energy resources	MJ LHV
Solid waste	Kg

จากผลกระทบสิ่งแวดล้อมในวิธีการ Eco-Indicator 95 ที่มีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 11 ผลกระทบ ผู้วิจัยได้พิจารณาคัดเลือกผลกระทบที่ศึกษาจากประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่อยู่ในความสนใจและพบมากในประเทศไทย ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นในบทที่ 2 ตารางที่ 2.14 และ 2.15 และเนื่องจากงบประมาณและระยะเวลาในการเก็บข้อมูลที่ค่อนข้างจำกัด ผู้วิจัยจึงได้คัดเลือกผลกระทบที่ต้องการศึกษา 5 ด้านที่สอดคล้องกับบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งเกิดจากการใช้ทรัพยากรจากกระบวนการต่าง ๆ ในวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย ได้แก่ สภาวะโลกร้อน ภาวะความเป็นกรด การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ สารก่อมะเร็ง และการใช้พลังงาน

- สภาวะโลกร้อน (Global Warming) ส่วนใหญ่เกิดจากก๊าซเรือนกระจก ซึ่งประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 60% มีเทน 15% ฟรีออน 12% โอโซน 8% และ

ไนตรัสออกไซด์ 5% ที่ห่อหุ้มโลกไว้ ทำให้กั้นรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ที่แผ่ปกคลุมผิวโลก ไม่ให้สะท้อนกลับสู่อวกาศ ทำให้อุณหภูมิบนโลกสูงขึ้น ซึ่งก๊าซส่วนใหญ่เกิดจากการโรงงานอุตสาหกรรมและการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในการคมนาคม (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2550)

- ภาวะความเป็นกรด (Acidification) เกิดจากการปล่อยมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรมและรถยนต์ ซึ่งสารพิษเหล่านี้เกิดการรวมตัวกันเมื่อจับตัวกับกลุ่มก้อนเมฆและตกลงมาก่อให้เกิดฝนกรด ซึ่งส่งผลกระทบต่อพืชและดิน รวมไปถึงอาคารบ้านเรือน เนื่องจากฝนกรดมีฤทธิ์ในการกัด
- การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Eutrophication) เกิดจากการที่มีการปล่อยสารอาหารลงสู่แหล่งน้ำมากเกินสมดุล ทำให้มีสารอาหารมากเกินไปพืชตระกูลสาหร่ายจึงเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ Algae Bloom ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขินและมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ
- สารก่อมะเร็ง (Carcinogens) เนื่องจากในยุคปัจจุบันนี้สังคมเศรษฐกิจมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องไม่ว่าจะเป็นในภาคอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรม ซึ่งล้วนส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้น อีกทั้งมีการนำสารเคมีเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตในด้านต่าง ๆ จึงส่งผลให้มนุษย์ได้รับผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อสุขภาพอนามัย ซึ่งพบว่าในปัจจุบันนี้ผู้ป่วยเป็นมะเร็งและเสียชีวิตเป็นจำนวนมาก เนื่องจากได้รับสารก่อมะเร็ง ซึ่งสะสมโดยไม่รู้ตัว เช่น VOCs (Volatile Organic Compounds) ซึ่งเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีคาร์บอนและไฮโดรเจนเป็นองค์ประกอบหลักและเป็นสารเคมีที่อันตราย ซึ่งมักนำมาใช้เป็นสารเคมี เช่น การใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ใช้เป็นสารละลายและวัตถุดิบในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ เช่น ปิโตรเคมี โรงกลั่น เป็นต้น ฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นก๊าซไม่มีสี กลิ่นฉุนแสบจมูก มักใช้ในการผลิตไม้อัด ดูดซึมได้ดีในระบบทางเดินหายใจและระบบทางเดินอาหาร จัดเป็นสารก่อมะเร็งและมีโอกาสทำให้เป็นมะเร็งเม็ดเลือดขาวได้ (หทัยรัตน์, 2551) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อตา จมูก หลอดลม ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการทำงานของหัวใจและปอด ปวดศีรษะ หมดสติ และอาจเสียชีวิตได้ ไนโตรเจนออกไซด์ ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อระบบหายใจ ไฮโดรคาร์บอน ทำให้เกิดความระคายเคืองต่อตา และอนุภาค มีผลต่อระบบทางเดินหายใจ สามารถทำให้ผู้ที่มีความผิดปกติต่าง ๆ ทางระบบหายใจมีอาการรุนแรงมากขึ้น (พิศิษฐ์, 2544)
- การใช้พลังงาน (Energy Resources) เนื่องจากวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์จากอ้อย ตั้งแต่กระบวนการปลูกไปจนถึงการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์ มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงฟอสซิลและใช้พลังงาน ไฟฟ้าและไอน้ำเป็นจำนวนมาก ดังนั้นผลกระทบจากการใช้พลังงานจึงเป็นที่ต้องศึกษาวิจัย เพราะเป็นหนึ่งในปัญหาที่สำคัญทั้งในระดับประเทศไปจนถึงระดับโลก ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ดัชนีผลกระทบสิ่งแวดล้อมในการศึกษาวงจรชีวิตการผลิตภัณฑ์จากอ้อย

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	Impact Category
สภาวะโลกร้อน	Global Warming
ภาวะความเป็นกรด	Acidification
การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ	Eutrophication
สารก่อมะเร็ง	Carcinogens
การใช้พลังงาน	Energy Resource

3.2.3.2 การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการ (Classification)

การจำแนกผลกระทบออกเป็นหมวดหมู่ (Classification) เป็นขั้นตอนการนำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Environmental Flows) ที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูล มาแจกแจงและจัดกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ต้องการศึกษา โดยดูจากความสัมพันธ์ของสารขาเข้าและสารขาออกที่เป็นสาเหตุของกลุ่มผลกระทบนั้น ๆ ซึ่งสิ่งที่ต้องระมัดระวังในการจำแนกข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม คือ การจำแนกซ้ำ เนื่องจากสารบางชนิดอาจเป็นสาเหตุของกลุ่มผลกระทบมากกว่า 1 ประเภท ส่วนกรณีที่เป็นผลกระทบต่อเนื่อง ให้จำแนกผลกระทบโดยตรงเพียงอย่างเดียว

3.2.3.3 การคำนวณศักยภาพในการเกิดผลกระทบ (Characterization)

เป็นขั้นตอนการนำข้อมูลปริมาณสารต่าง ๆ ในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมมาประเมินผลกระทบเชิงปริมาณตามกลุ่มของผลกระทบ ซึ่งในการประเมินจะต้องแปลงค่าสารแต่ละตัว (ในกลุ่มผลกระทบเดียวกัน) ให้อยู่ในรูปของตัวเลขที่บอกค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากสารแต่ละตัวมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบในระดับที่แตกต่างกัน จึงต้องนำมาเทียบอ้างอิงกับค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบ (Potential Environmental Impact)

3.2.4 การแปลผล (Interpretation)

เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น อธิบายข้อจำกัด ข้อเสนอแนะ รวมถึงการสรุปผลที่ได้จากการทำการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งในการสรุปผลการศึกษาและจัดทำข้อเสนอแนะนั้น ต้องสอดคล้องกับวัตถุประสงค์และเป้าหมายของการศึกษา โดยเนื้อหาผลสรุปครอบคลุมในส่วนของข้อมูลด้านการปลูกอ้อย ข้อมูลด้านการขนส่ง ปริมาณการใช้พลังงาน ปริมาณของเสียและการใช้ทรัพยากรที่สำคัญ ซึ่งภายหลังจากการวิเคราะห์จะสามารถให้ข้อเสนอแนะถึงโอกาสในการปรับปรุงกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ อันจะนำไปสู่การผลิตที่ประหยัดพลังงาน ลดมลภาวะและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุดได้ต่อไปในอนาคต

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1 เป้าหมายและขอบเขตการศึกษา (Goal and Scope Definition)

การประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อยมีเป้าหมายการศึกษาเพื่อจำแนกการใช้ทรัพยากร การใช้พลังงาน จัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมและประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย โดยมีขอบเขตการศึกษาครอบคลุมตั้งแต่กระบวนการปลูกอ้อย การขนส่งอ้อยจากไร่ไปยังโรงงานเพื่อนำเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำตาล การผลิตเอทานอล การผลิตไฟฟ้าและการผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด ซึ่งขอบเขตการศึกษาครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบจนกลายเป็นผลิตภัณฑ์ แต่ไม่รวมถึงการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้และการกำจัด โดยในแต่ละขั้นตอนตั้งแต่การเตรียมดิน ปลูกอ้อย การให้น้ำ การใส่ปุ๋ยและใช้สารเคมีกำจัดวัชพืชและแมลง การดูแลรักษา การเก็บเกี่ยว การขนส่งจากไร่สู่โรงงาน ล้วนแล้วส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งสิ้น ดังนั้นการรวบรวมและจัดทำฐานข้อมูลโดยหลักการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ จึงเป็นแนวทางที่จะทำให้ทราบว่าขั้นตอนใดในการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์จากอ้อยก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข และพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตให้ได้มาตรฐาน และส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด

แผนการดำเนินงานเริ่มจากการศึกษาและทบทวนข้อมูลผลการศึกษา/วิจัยด้านการผลิตอ้อยและน้ำตาล รวมถึงข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับวงจรชีวิตการผลิตน้ำตาลและผลิตภัณฑ์พลอยได้ โดยแบ่งขอบเขตการศึกษาเป็น 3 ส่วน คือ ภาคเกษตรกรรม ภาคการขนส่ง และภาคอุตสาหกรรม

4.1.1 ภาคเกษตรกรรม

4.1.1.1 สถานที่ตั้งและพื้นที่ของแหล่งผลิตอ้อย

โรงงานน้ำตาลกรณีศึกษาเป็นโรงงานแห่งหนึ่งในภาคอีสาน ซึ่งมีพื้นที่ของแหล่งผลิตอ้อยของโรงงานครอบคลุม 4 จังหวัด ได้แก่ ชัยภูมิ เลย ขอนแก่น และหนองบัวลำภู มีพื้นที่ทั้งหมดที่ผลิตอ้อยส่งเข้าโรงงานจำนวนทั้งสิ้น 328,399 ไร่ และมีพื้นที่เขตส่งเสริมการปลูกอ้อยจากจังหวัดชัยภูมิมากที่สุด จำนวน 228,436 ไร่ หรือคิดเป็น 69.56 เปอร์เซ็นต์จากพื้นที่เขตส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงาน เนื่องจากระยะทางอยู่ใกล้โรงงานน้ำตาลมากที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 พื้นที่เขตส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานกรณีศึกษา

พื้นที่ส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงาน (จังหวัด)	พื้นที่ (ไร่)	เปอร์เซ็นต์ (%)
ชัยภูมิ	228,436	69.56
เลย	52,064	15.85
ขอนแก่น	41,651	12.68
หนองบัวลำภู	6,248	1.91
รวม	**328,399**	**100**

4.1.1.2 การปลูกอ้อย

เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมปลูกอ้อยพันธุ์ K84-200 LK92-11 MPT96-273 โดยจะหาพันธุ์อ้อยอายุประมาณ 8-10 เดือน และจะเริ่มปลูกอ้อยตั้งแต่ปลายเดือนตุลาคม จนถึงกลางเดือนธันวาคม อ้อยที่ปลูกในฤดูนี้ ส่วนใหญ่จะมีผลผลิต และความหวานสูง (พิพัฒน์, 2548) จากข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์จากเกษตรกรชาวไร่อ้อยและข้อมูลจากฝ่ายไร่อ้อยของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา พบว่าส่วนในเรื่องการเตรียมดินไว้สำหรับการปลูกอ้อย โดยปกติเกษตรกรส่วนใหญ่จะทำการจ้างรถไถ โดยจะไถ 2-3 ครั้ง ประกอบด้วยการไถดะ ไถผานลึกประมาณ 30-50 เซนติเมตร และตากดินทิ้งไว้ประมาณ 7 วัน จึงทำการพรวน หรือ ไถแปรอีกครั้ง เพื่อย่อยดินให้มีขนาดเล็ก แล้วจะไถยกร่องก่อนที่จะทำการปลูกอ้อย โดยในส่วนของการปลูกอ้อยจะมี 2 วิธีการ คือ การปลูกอ้อยเป็นท่อน โดยเกษตรกรจะตัดพันธุ์อ้อยเป็นลำ สับเป็นท่อนมี 2 ปล้องให้แต่ละท่อนมี 2-3 ตา และกองรวมกันไว้ที่หัวแปลง จากนั้นก็เอาไปปลูกในร่องอ้อยให้แต่ละท่อนห่างกันประมาณ 50 เซนติเมตร หรือวิธีที่สองซึ่งเป็นวิธีที่ชาวไร่ส่วนใหญ่นิยมใช้ คือ การปลูกอ้อยทั้งลำ โดยจะวางลำอ้อยในร่องและสับอ้อยในร่องให้ขาดจากกันหรือไม่สับอ้อยเลยก็ได้ขึ้นอยู่กับเกษตรกร

จากการสอบถามเกษตรกรชาวไร่อ้อยจำนวน 355 ราย พบว่ามีพื้นที่ปลูกอ้อยเฉลี่ยประมาณ 74.56 ไร่ มีพื้นที่อ้อยไฟไหม้ทั้งสิ้นเฉลี่ย 29.7 ไร่ และในการปลูกอ้อย 1 ไร่จะใช้ท่อนพันธุ์อ้อยประมาณ 1,500 กิโลกรัม แต่ในการศึกษาในครั้งนี้ทำการศึกษาในหน่วยการศึกษาจากอ้อย 1 ตัน ซึ่งพบว่าต้องใช้ท่อนพันธุ์เท่ากับ 136.74 กิโลกรัม หลังจากที่ปลูกอ้อยแล้ว ประมาณ 15-20 วัน อ้อยก็จะเริ่มแตกหน่อ และจะงอกทั้งแปลงภายใน 30 วัน

การใช้สารเคมีในการกำจัดวัชพืช เกษตรกรชาวไร่อ้อยส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 2 ระยะคือ ระยะแรกหลังการปลูก และครั้งที่สอง คือหลังการใส่ปุ๋ยพูนโคน ซึ่งจากการศึกษาพบว่า ชาวไร่จะใช้สารเคมีกำจัดวัชพืช เช่น อาทราซีน (Atrazine) หรืออามีทรีน

(Ametryn) ประมาณ 1 กิโลกรัมต่อไร่ (0.09 กิโลกรัม/ตันอ้อย) และนิยมใช้พาราควอทหรือไกลโฟเสท 1 กิโลกรัมละลายน้ำ 4-5 ลิตรต่อไร่ (0.09 กิโลกรัม/ตันอ้อย)

การให้น้ำในไร่อ้อย ชาวไร่อ้อยส่วนใหญ่จะปลูกอ้อยโดยใช้น้ำฝน แต่ในบางพื้นที่ที่ติดกับคลองชลประทานก็สามารถให้น้ำได้ตามความต้องการและตามการเจริญเติบโต ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ ระยะงอก อายุ 0-1 เดือน ให้น้ำในปริมาณที่พอเหมาะทุก 5-7 วัน ประมาณ 2-3 ครั้ง หรือ 120 มิลลิเมตร ระยะหลังงอก จนถึงระยะแตกกอ (อายุ 1-2 เดือน) ระยะนี้หน่ออ้อยเริ่มมีรากเพิ่มขึ้น ให้น้ำทุก ๆ 10-14 วัน หรือ 630 มิลลิเมตร ระยะแตกกอจนถึงระยะย่างปล้อง (อายุประมาณ 2-6 เดือน) เป็นระยะที่อ้อยเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ให้น้ำทุก ๆ 14-21 วัน ประมาณ 625 มิลลิเมตร ระยะก่อนเก็บเกี่ยว (อายุ 9-10 เดือนขึ้นไป) การเจริญเติบโตทางลำต้นและใบของอ้อยจะสิ้นสุด ลง เริ่มมีการสะสมน้ำตาล อ้อยจึงมีความต้องการน้ำน้อย ดังนั้นการให้อ้อยรวมทั้งสิ้น 1,515 มิลลิเมตรต่อไร่ (สำราญ, 2551) หรือคิดเป็นปริมาตร 2,424 ลูกบาศก์เมตรต่อไร่ (221 ลูกบาศก์เมตรต่อตันอ้อย)

การใส่ปุ๋ย ชาวไร่อ้อยในพื้นที่เขตส่งเสริมส่วนใหญ่จะรับปุ๋ยจากโรงงานน้ำตาล โดยมีเจ้าหน้าที่ฝ่ายไร่จากโรงงานให้คำแนะนำและเป็นที่ปรึกษาเกี่ยวกับการใช้ว่าอัตราส่วนใดที่เหมาะสมและจะทำให้ได้อ้อยที่มีผลผลิตสูง โดยชาวไร่จะต้องนำตัวอย่างดินส่งไปให้ฝ่ายวิจัยของโรงงานวิเคราะห์ เพื่อให้ทราบว่าพื้นที่ปลูกต้องการธาตุอาหารหลักเท่าใดจึงจะเหมาะสมกับสภาพดิน โดยหลักการใส่ปุ๋ยนั้นจะมีการแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การใส่ปุ๋ยรองพื้น และใส่แต่งหน้า

การใส่ปุ๋ยรองพื้นส่วนใหญ่สูตรปุ๋ยที่จะใช้รองพื้นจะนิยมใช้ปุ๋ย (N-P_2O_5-K_2O) สูตร16-16-16 หรือ 16-16-8 ปกติจะใช้ประมาณ 50 กิโลกรัมต่อไร่

หลังจากการใส่ปุ๋ยรองพื้นแล้ว จะใส่ปุ๋ยสำหรับแต่งหน้า โดยเน้นปุ๋ยไนโตรเจนเป็นหลัก เช่น ปุ๋ยแอมโมเนียมซัลเฟต สูตร 21-0-0 หรือสูตร 24-6-6 ให้ใช้อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ หรือสูตรทั่วไป 15-15-15 ให้ใช้อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ก็ได้ ซึ่งรวมแล้วเกษตรกรส่วนใหญ่จะใช้ปุ๋ยในการปลูกอ้อยประมาณ 100-150 กิโลกรัมต่อไร่ (จำนาญ, 2550) ซึ่งจากการสัมภาษณ์และทำแบบสอบถามจากเกษตรกรชาวไร่อ้อยพบว่า ปริมาณการใช้ปุ๋ยเฉลี่ยทั้งหมดประมาณ 125 กิโลกรัมต่อไร่ โดยแบ่งเป็นปุ๋ยสำหรับใช้รองพื้น 62.53 กิโลกรัมต่อไร่ และปุ๋ยสำหรับแต่งหน้า 62.53 กิโลกรัมต่อไร่ หรือคิดเป็นอย่างละ 5.7 กิโลกรัมต่อตันอ้อย นอกจากนี้เกษตรกรบางรายยังใช้ปุ๋ยคอกโดยเฉลี่ยแล้วประมาณ 8.02 กิโลกรัมต่อไร่ หรือ 0.73 กิโลกรัมต่อตันอ้อย หลังจากนั้นก็ทำการพูนโคนอ้อย โดยการเอาดินระหว่างแถวอ้อยกลบโคนอ้อย เพื่อทำให้กออ้อยแข็งแรง ไม่ล้มง่าย และทำให้การเจริญของรากดีขึ้น ซึ่งการพูนดินจะทำหลังจากที่อ้อยเริ่มมี

การแตกกอ และจากข้อมูลค่าเฉลี่ยปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีที่ใส่ในใช้ในการปลูกอ้อย สามารถนำมาประเมินวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่เกิดจากกระบวนการ Soil Emissionได้เท่ากับ 0.11 กิโลกรัมต่อตันอ้อย ดังแสดงรายละเอียดการคำนวณในภาคผนวก ค.

การเก็บเกี่ยวอ้อย ระยะเวลาในการเก็บเกี่ยวอ้อย คือ ระยะเวลาที่โรงงานน้ำตาลทำการหีบอ้อยเพื่อผลิตน้ำตาล ซึ่งจะแตกต่างกันไปตามภาค ซึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือจะทำการเก็บเกี่ยวตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน โดยในการเก็บเกี่ยวอ้อยในประเทศไทยนั้นมี 2 วิธี คือ การเก็บเกี่ยวโดยใช้แรงงานคน และการใช้เครื่องจักรในการเก็บเกี่ยว

การใช้แรงงานคน โดยส่วนใหญ่ชาวไร่อ้อยจะนิยมใช้วิธีการเก็บเกี่ยวโดยการใช้แรงงานคน ซึ่งโดยทั่วไปคนงาน 1 คนจะสามารถตัดอ้อยได้วันละ 1-1.5 ตัน จากการศึกษาพบว่า ชาวไร่อ้อยจะจ้างคนงานตั้งแต่ 2-20 คนหรือเฉลี่ยประมาณ 8 คนต่อไร่ โดยในหนึ่งไร่จะเก็บเกี่ยวอ้อยได้ตั้งแต่ 8-20 ตันต่อไร่ เฉลี่ยประมาณ 10.97 ตันต่อไร่ ทั้งนี้อาจขึ้นอยู่กับพันธุ์อ้อยที่ชาวไร่เลือกใช้ การดูแลรักษา การใส่ปุ๋ย การให้น้ำ การกำจัดวัชพืช และความอุดมสมบูรณ์ของดินในพื้นที่ที่ปลูกอ้อย

การใช้เครื่องจักรในการเก็บเกี่ยว เนื่องจากแรงงานคนค่อนข้างขาดแคลนจึงมีการนำเทคโนโลยีเข้ามาเพื่อเป็นเครื่องทุ่นแรงในการตัดอ้อย ซึ่งมีทั้งเครื่องจักรที่ทำการตัดอ้อยและขนถ่ายอ้อยลงในรถบรรทุกพร้อมกัน

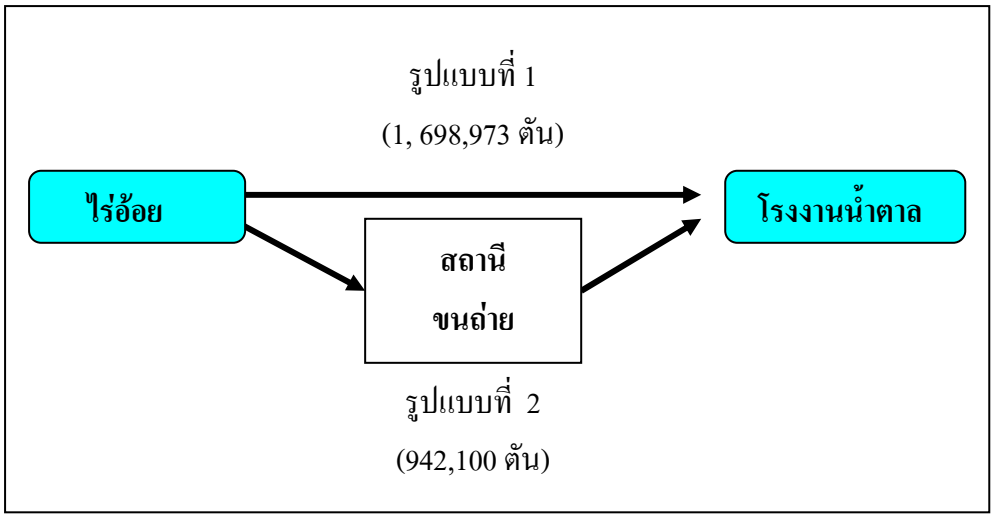
หลังจากทำการเก็บเกี่ยวอ้อยแล้วจะเหลือเศษจากการเก็บเกี่ยว เช่น ใบอ้อยซึ่งเกษตรบางรายก็จะทำการเผาทำลาย เพื่อเตรียมพื้นที่ในการปลูกครั้งต่อไป บางรายก็จะไถกลบเพื่อเป็นปุ๋ย ซึ่งพบว่า ปริมาณเศษใบอ้อยหลังจากการเก็บเกี่ยวเฉลี่ยประมาณ 3 ตันต่อไร่ หรือประมาณ 273.47 กิโลกรัมต่อตันอ้อย และนอกจากนี้ยังพบว่า เกษตรกรนิยมไว้อ้อยตอ โดยจะเริ่มทำการดูแลบำรุงรักษาอ้อยตอ โดยมีการแต่งตอและให้น้ำ ปุ๋ยตามความเหมาะสมและความต้องการของอ้อย เพื่อให้หน่ออ้อยมีความสมบูรณ์ แตกกอดี และพร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้ในฤดูกาลเก็บเกี่ยวต่อไป รายละเอียดของข้อมูลสรุปจากการสัมภาษณ์และแบบสอบถามจากเกษตรชาวไร่อ้อย แสดงไว้ในตาราง ก.4-ก.16 ในภาคผนวก ก

4.1.2 ภาคการขนส่งอ้อย

การขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานน้ำตาลตัวอย่างกรณีศึกษา ประกอบด้วยการขนส่ง 2 รูปแบบ ดังนี้ รูปแบบที่ 1 ขนส่งจากไร่อ้อยไปยังโรงงานโดยตรง และรูปแบบที่ 2 ขนส่งจากไร่อ้อยไปยังสถานีขนถ่ายในพื้นที่เขตส่งเสริมของโรงงาน รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 4.1

4.1.2.1 การขนส่งรูปแบบที่ 1

เกษตรกรชาวไร่อ้อยส่วนใหญ่มักจะนิยมใช้รถบรรทุก 10 ล้อ ในการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปยังโรงงานน้ำตาลโดยตรง เนื่องจากสามารถบรรทุกอ้อยได้มากกว่ารถประเภทอื่น ๆ โดยในปีการผลิต 2551/52 มีปริมาณอ้อยที่ขนส่งจากไร่อ้อยไปยังโรงงาน รวมทั้งสิ้น 1,698,973 ตัน ซึ่งเมื่อคำนวณแล้วจะใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล) ในการขนส่งทั้งสิ้น 2,406,776.00 ลิตร หรือคิดเป็นอัตราการใช้น้ำมันเฉลี่ย 1.42 ลิตร/ตันอ้อย รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.2



รูปที่ 4.1 รูปแบบการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา

ตารางที่ 4.2 ปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยถึงโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา

เขตส่งเสริมฯ	จังหวัด	ระยะทางเฉลี่ย (กม.)	น้ำหนักอ้อยรวม (ตัน)	น้ำหนักบรรทุก* (ตัน/เที่ยว)	อัตราสิ้นเปลืองน้ำมัน*		ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร)
					ไป (กม./ลิตร)	กลับ (กม./ลิตร)	
1	ชัยภูมิ	1	474,812	21.50	2.47	3.00	16,302.43
2	ชัยภูมิ	92	38,475	21.50	2.47	3.00	121,533.81
3	เลย	92	268,870	21.50	2.47	3.00	849,299.43
4/1	ชัยภูมิ	37	233,228	21.50	2.47	3.00	296,287.32
4/2	ขอนแก่น	45	244,562	21.50	2.47	3.00	377,861.07
5/1	หนองบัวลำภู	65	117,250	21.50	2.47	3.00	261,671.77
5/2	ขอนแก่น	30	103,829	21.50	2.47	3.00	106,947.49
6/1	เลย	75	94,268	21.50	2.47	3.00	242,748.31
6/2	เลย	65	15,275	21.50	2.47	3.00	34,089.86
7	ชัยภูมิ	20	13,351	21.50	2.47	3.00	9,168.00
8/1	ชัยภูมิ	22	2,496	21.50	2.47	3.00	1,885.38
8/2	ชัยภูมิ	28	92,557	21.50	2.47	3.00	88,981.14
น้ำหนักอ้อยทั้งหมด (ตัน)			1,698,973	น้ำมันที่ใช้ทั้งหมด (ลิตร)			2,406,776.00
อัตราการใช้น้ำมันเฉลี่ย				1.42 ลิตร/ตันอ้อย			

หมายเหตุ : * ข้อมูลน้ำหนักบรรทุกและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของรถบรรทุก 10 ล้อ จากงานวิจัยของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

4.1.2.2 การขนส่งรูปแบบที่ 2

ในการขนส่งอ้อยในรูปแบบที่ 2 เป็นการขนส่งอ้อยผ่านสถานีขนถ่ายในพื้นที่เขตส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งตั้งอยู่ในแต่ละพื้นที่ โดยแบ่งการขนส่งออกเป็น 2 ช่วง คือ การขนส่งจากไร่อ้อยถึงสถานีขนถ่าย (ใช้ข้อมูลจากการสัมภาษณ์และแบบสอบถามจากเกษตรกรชาวไร่อ้อยของเขตส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา จำนวน 355 ราย จากจำนวนเกษตรกรทั้งสิ้น 4,690 ราย โดยแบ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างในจังหวัดชัยภูมิ เลย ขอนแก่น และหนองบัวลำภู จำนวน 196 81 56 และ 22 ราย ตามลำดับ) และการขนส่งจากสถานีขนถ่ายถึงโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา (ใช้ข้อมูลจากฝ่ายไร่ของโรงงาน และข้อมูลจากรายงานการผลิตน้ำตาล ประจำปีการผลิต 2551/52 ฉบับปิดหีบ)

ช่วงที่ 1

การขนส่งจากไร่อ้อยถึงสถานีขนถ่ายในแต่ละจังหวัด มีรายละเอียดดังนี้

จังหวัดชัยภูมิ

จากการเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์และการใช้แบบสอบถามจากชาวไร่อ้อยของจังหวัดชัยภูมิ จำนวน 196 ชุด พบว่า เกษตรกรชาวไร่อ้อยในจังหวัดชัยภูมิส่วนใหญ่จะขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปยังสถานีขนถ่าย โดยใช้รถอีแต๋น (ร้อยละ 69.17) รถไถหรือรถอีแต๊ก (ร้อยละ 20.00) รถบรรทุก 4 ล้อ (ร้อยละ 6.67) และรถบรรทุก 6 ล้อ (ร้อยละ 4.17) ซึ่งคิดเป็นอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล) ในการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปยังสถานีขนถ่ายเฉลี่ยประมาณ 0.68 ลิตร/ตันอ้อย รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.3

จังหวัดเลย

จากการเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์และการใช้แบบสอบถามจากเกษตรกรชาวไร่อ้อยจากจังหวัดเลย จำนวน 81 ชุด พบว่า เกษตรกรชาวไร่อ้อยจากจังหวัดเลย ขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปยังสถานีขนถ่าย โดยใช้รถไถหรือรถอีแต๊ก (ร้อยละ 38.27) รถอีแต๋น (ร้อยละ 37.04) รถบรรทุก 6 ล้อ (ร้อยละ 16.05) และรถบรรทุก 4 ล้อ (ร้อยละ 8.64) ซึ่งคิดอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล) ในการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปยังสถานีขนถ่ายเฉลี่ยประมาณ 1.13 ลิตร/ตันอ้อย รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยถึงสถานีขนถ่าย

จังหวัด	ประเภทรถ	รายละเอียด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ	อัตราการใช้น้ำมันไป-กลับ (ลิตร/ตันอ้อย)
ชัยภูมิ	อีแต๊ก (รถไถ)	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	2.00	3.00	2.65	20.00	0.46
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	0.50	2.00	1.21		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	0.70	8.00	3.60		
	อีแต๋น	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	3.50	10.00	4.63	69.17	0.56
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	1.00	10.00	2.61		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	1.00	40.00	7.42		
	บรรทุก 4 ล้อ	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	4.50	7.00	5.38	6.67	0.72
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	2.00	5.00	3.88		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	3.00	10.00	6.25		
	บรรทุก 6 ล้อ	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	6.50	7.50	7.10	4.17	0.96
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	5.00	8.00	6.80		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	4.00	20.00	13.60		
	บรรทุก 10 ล้อ	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	-	-	-	0.00	-
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	-	-	-		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	-	-	-		
	อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย						0.68

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยถึงสถานีขนถ่าย (ต่อ)

จังหวัด	ประเภทรถ	รายละเอียด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ	อัตราการใช้น้ำมันไป-กลับ (ลิตร/ตันอ้อย)
เลย	อีแต๊ก (รถไถ)	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	1.00	3.00	1.85	38.27	1.38
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	1.00	5.00	2.55		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	0.20	21.00	8.17		
	อีแต๋น	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	1.50	4.50	2.30	37.04	1.10
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	1.00	5.00	2.53		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	0.20	12.00	4.65		
	บรรทุก 4 ล้อ	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	5.00	7.00	5.57	8.64	0.95
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	4.00	7.00	5.29		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	5.00	21.00	10.14		
	บรรทุก 6 ล้อ	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	7.00	15.00	9.69	16.05	1.10
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	4.00	20.00	10.69		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	1.00	20.00	7.92		
	บรรทุก 10 ล้อ	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	-	-	-	0.00	-
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	-	-	-		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	-	-	-		
	อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย						1.13

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยถึงสถานีขนถ่าย (ต่อ)

จังหวัด	ประเภทรถ	รายละเอียด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ	อัตราการใช้น้ำมันไป-กลับ (ลิตร/ตันอ้อย)
ขอนแก่น	อีแต๊ก (รถไถ)	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	2.00	2.50	2.17	14.29	0.92
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	1.00	2.50	2.00		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	2.00	6.00	4.33		
	อีแต๋น	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	-	-	-	0.00	-
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	-	-	-		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	-	-	-		
	บรรทุก 4 ล้อ	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	5.00	6.00	5.11	42.86	0.91
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	4.00	5.00	4.67		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	3.00	35.00	14.00		
	บรรทุก 6 ล้อ	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	8.00	10.00	9.57	33.33	1.42
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	5.00	20.00	13.57		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	1.50	15.00	9.79		
	บรรทุก 10 ล้อ	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	22.00	25.00	23.50	9.52	0.96
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	20.00	25.00	22.50		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	8.00	10.00	9.00		
	อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย						1.05

ตารางที่ 4.3 ข้อมูลการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยถึงสถานีขนถ่าย (ต่อ)

จังหวัด	ประเภทรถ	รายละเอียด	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ร้อยละ	อัตราการใช้น้ำมันไป-กลับ (ลิตร/ตันอ้อย)
หนองบัวลำภู	อีแต๊ก (รถไถ)	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	2.00	2.50	2.13	36.36	0.70
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	1.00	2.00	1.50		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	3.00	5.00	4.25		
	อีแต๋น	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	3.00	4.50	3.88	36.36	0.68
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	2.00	3.00	2.63		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	2.00	7.00	4.25		
	บรรทุก 4 ล้อ	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	5.50	6.00	5.75	18.18	1.09
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	2.50	10.00	6.25		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	2.00	15.00	8.50		
	บรรทุก 6 ล้อ	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	7.00	7.00	7.00	9.09	1.29
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	8.00	10.00	9.00		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	6.00	8.00	7.00		
	บรรทุก 10 ล้อ	ปริมาณการขนส่ง (ตัน/เที่ยว)	-	-	-	0.00	-
		การสิ้นเปลืองน้ำมัน (ลิตร/เที่ยว)	-	-	-		
		ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	-	-	-		
	อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย						0.94

จังหวัดขอนแก่น

จากการเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์และการใช้แบบสอบถามจากเกษตรกรชาวไร่อ้อยจำนวน 56 ชุด พบว่า เกษตรกรในจังหวัดขอนแก่น ขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปยังสถานีขนถ่าย โดยใช้รถบรรทุก 4 ล้อ (ร้อยละ 42.86) รถบรรทุก 6 ล้อ (ร้อยละ 33.33) รถไถหรือรถอีแต๊ก (ร้อยละ 14.29) และรถบรรทุก 10 ล้อ (ร้อยละ 9.52) ซึ่งคิดเป็นอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล) ในการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปยังสถานีขนถ่ายเฉลี่ยประมาณ 1.05 ลิตร/ตันอ้อย รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.3

จังหวัดหนองบัวลำภู

จากการเก็บข้อมูลโดยการสัมภาษณ์และการใช้แบบสอบถามจากเกษตรกรชาวไร่อ้อยจำนวน 22 ชุด พบว่าเกษตรกรในจังหวัดหนองบัวลำภู ขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปยังสถานีขนถ่าย โดยใช้รถไถหรือรถอีแต๊ก (ร้อยละ 36.36) รถอีแต๋น (ร้อยละ 36.36) รถบรรทุก 4ล้อ (ร้อยละ 18.18) และรถบรรทุก 6 ล้อ (ร้อยละ 9.09) ซึ่งคิดเป็นอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล) ในการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปยังสถานีขนถ่ายเฉลี่ยประมาณ 0.94 ลิตร/ตันอ้อย รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.3

ดังนั้น อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล) เฉลี่ย สำหรับการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปยังสถานีขนถ่าย เมื่อเปรียบเทียบตามสัดส่วนของพื้นที่เพาะปลูกอ้อยทั้ง 4 จังหวัด จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.80 ลิตร/ตันอ้อย รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.4

ทั้งนี้ อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล) เฉลี่ยของรถแต่ละประเภทในการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปยังสถานีขนถ่ายทั้ง 4 จังหวัด จะสัมพันธ์กับระยะทางการขนส่งอ้อยของแต่ละพื้นที่

ตารางที่ 4.4 อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย ในการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปยังสถานีขนถ่าย

จังหวัด	พื้นที่เพาะปลูก (ร้อยละ)	อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตร/ตัน)
ชัยภูมิ	69.56	0.68
เลย	15.85	1.13
ขอนแก่น	12.68	1.05
หนองบัว	1.90	0.94
อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย		0.80

ช่วงที่ 2

การขนส่งจากสถานีขนถ่ายถึงโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา

การขนส่งอ้อยจากสถานีขนถ่ายแต่ละเขตส่งเสริมการปลูกอ้อยไปยังโรงงานน้ำตาล ส่วนใหญ่ใช้รถพ่วง 18 ล้อในการขนส่ง ดังนั้น การขนส่งอ้อยจากสถานีขนถ่ายไปยังโรงงานของงานวิจัยในครั้งนี้ จะใช้ข้อมูลน้ำหนักบรรทุกและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของรถพ่วง 18 ล้อ ในการคำนวณ (ข้อมูลจากงานวิจัยของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย) โดยในปีการผลิต 2551/52 มีปริมาณอ้อยที่ขนส่งจากสถานีขนถ่ายไปยังโรงงานน้ำตาล ทั้งสิ้นจำนวน 942,100 ตัน ซึ่งเมื่อคำนวณแล้วจะใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล) ในการขนส่งทั้งสิ้น 596,556.4 ลิตร คิดเป็นอัตราการใช้น้ำมันเฉลี่ย 0.63 ลิตร/ตันอ้อย รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.5

ดังนั้น การขนส่งอ้อยรูปแบบที่ 2 คือ ผลรวมจากช่วงที่ 1 การขนส่งจากไร่อ้อยถึงสถานีขนถ่ายใน 4 จังหวัด มีอัตราการใช้น้ำมันเฉลี่ย 0.80 ลิตร/ตัน และช่วงที่ 2 ขนส่งอ้อยจากสถานีขนถ่ายถึงโรงงานน้ำตาล มีอัตราการใช้น้ำมันเฉลี่ย 0.63 ลิตร/ตัน ดังนั้นอัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในรูปแบบที่ 2 ทั้งสิ้นจำนวน 1.43 ลิตร/ตันอ้อย

สรุปภาพรวมการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปยังโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษาประจำปีการผลิต 2551/52 จะใช้น้ำมันเชื้อเพลิงในอัตราเฉลี่ย 1.424 ลิตร/ตันอ้อย ซึ่งแบ่งเป็นการขนส่งอ้อยในรูปแบบที่ 1 (จากไร่อ้อยไปยังโรงงานโดยตรง) โดยใช้รถบรรทุก 10 ล้อ ขนส่งอ้อยจำนวน 1,698,973 ตัน ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล) เฉลี่ย 1.42 ลิตร/ตันอ้อย และเป็นการขนส่งอ้อยรูปแบบที่ 2 โดยใช้รถอีแต๊ก (รถไถ) รถอีแต๋น รถบรรทุก 4 ล้อ รถบรรทุก 6 ล้อ และรถบรรทุก 10 ล้อ ในการขนส่งจากไร่อ้อยไปสถานีขนถ่าย และใช้รถพ่วง 18 ล้อ ในการขนส่งจากสถานีขนถ่ายไปโรงงาน โดยขนส่งอ้อยจำนวน 942,100 ตัน ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล) เฉลี่ย 1.43 ลิตร/ตันอ้อย รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ปริมาณการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล) ในการขนส่งอ้อยจากสถานีขนถ่ายแต่ละจังหวัดถึงโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา

จังหวัด	พื้นที่เพาะปลูกอ้อย (ร้อยละ)	ปริมาณอ้อยที่ขนส่งจากสถานีไปโรงงาน (ตัน)	ระยะทางเฉลี่ย (กม.)	น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	อัตราสิ้นเปลืองน้ำมัน*		ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร)
					ไป (กม./ลิตร)	กลับ (กม./ลิตร)	
ชัยภูมิ	69.56	655,329.51	33.33	36.00	2.84	5.05	333,779.6
เลย	15.85	149,359.45	77.33	36.00	2.84	5.05	176,500.3
ขอนแก่น	12.68	119,486.99	37.50	36.00	2.84	5.05	68,472.58
หนองบัวลำภู	1.90	17,924.05	65.00	36.00	2.84	5.05	17,803.86
น้ำหนักอ้อยทั้งหมด (ตัน)		942,100.00	น้ำมันที่ใช้ทั้งหมด (ลิตร)				596,556.4
อัตราการใช้น้ำมันเฉลี่ย			0.63 ลิตร/ตันอ้อย				

หมายเหตุ : * ข้อมูลน้ำหนักบรรทุกและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของรถบรรทุก 18 ล้อ จากงานวิจัยของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

ตารางที่ 4.6 อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ยในการขนส่งอ้อยจากไร่อ้อยไปโรงงาน

รูปแบบ การขนส่ง	ปริมาณอ้อยที่ขนส่ง (ตัน) A	อัตราการใช้ น้ำมันเชื้อเพลิง (ลิตร/ตันอ้อย) B	น้ำมันเชื้อเพลิง ที่ใช้ในการขนส่งทั้งหมด (ลิตร) C = (AxB)
รูปแบบที่ 1	1,698,973	1.42	2,412,542
รูปแบบที่ 2	942,100	1.43	1,347,203
รวม	2,641,073	รวม	3,759,745
อัตราการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย (ลิตร)		1.424	

4.1.3 ภาคอุตสาหกรรมการผลิต

โรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา เป็นโรงงานน้ำตาลแห่งหนึ่งในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีรายละเอียดข้อมูลเกี่ยวกับโรงงานพอสังเขป ดังนี้

- กำลังการผลิตที่ได้รับอนุญาต 18,000 ตันอ้อย/วัน (โรงงานน้ำตาลขนาดกลาง)
- ขนาดลูกหีบ จำนวนชุด จำนวนลูกกลิ้ง

โรง 1 : ขนาดลูกหีบ เส้นผ่าศูนย์กลาง 51 นิ้ว ความยาว 100 นิ้ว

จำนวนลูกหีบ 3 ชุด 9 ลูกกลิ้ง

โรง 2 : ขนาดลูกหีบ เส้นผ่าศูนย์กลาง 46 นิ้ว ความยาว 90 นิ้ว

จำนวนลูกหีบ 3 ชุด 9 ลูกกลิ้ง

- ข้อมูลปริมาณอ้อยเข้าหีบในปีการผลิต 2550/51

มีปริมาณอ้อยเข้าหีบที่เป็นอ้อยสด 2,207,308.88 ตัน และอ้อยไฟไหม้ 704,771.430 ตัน (สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, 2551)

4.1.3.1 กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา

หลังจากที่ชาวไร่อ้อยตัดอ้อยที่ได้อายุในการตัด คือประมาณ 10 เดือนขึ้นไปหรือแล้วแต่พันธุ์อ้อยก็จะบรรทุกส่งเข้าโรงงาน ซึ่งปกติจะกำหนดเปิดหีบอ้อยประมาณปลายเดือนพฤศจิกายน หรือเดือนธันวาคมของทุกปี เมื่ออ้อยมาถึงโรงงานจะผ่านระบบจัดคิว แล้วจึงไปที่ห้องชั่งเพื่อแจ้งชื่อหรือหมายเลขชาวไร่อ้อย และชั่งน้ำหนักรวมทั้งอ้อยและรถบรรทุกจากห้องชั่งรถอ้อยแต่ละคันจะไปรอจัดคิวในลานจอดรถหน้าแท่นเทอ้อย เมื่อรถบรรทุกอ้อยถูกยกบนแท่นเทอ้อย อ้อยจะไหลลงสะพานลำเลียงซึ่งมีชุดใบมีดและเครื่องตีอ้อยเพื่อเตรียมอ้อยให้เป็นเส้นใยหรือ

ฝอยละเอียดก่อนเข้าสู่ชุดลูกหีบ ส่วนรถอ้อย ที่เทอ้อย ออกแล้วจะกลับไปชั่งน้ำหนักรถเปล่าอีกครั้ง เพื่อจะได้ทราบน้ำหนักสุทธิของอ้อย ซึ่งมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

- เตรียมอ้อยป้อนลูกหีบ

เตรียมอ้อยเข้าหีบเพื่อสกัดน้ำอ้อย (Mixed Juice) ออกจากอ้อย ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์เป็นน้ำอ้อยและกากอ้อย เริ่มตั้งแต่รถอ้อยเทอ้อยลงเรียกว่า Dump มีทั้งหมด 6 Dump ซึ่งจะมีการจัดคิวเทอ้อย โดยยึดทะเบียนรถเป็นหลักในการจัดคิว จากนั้นอ้อยจะไหลไปตามสายพาน (Side Carrier) ผ่านเข้าสู่ เครื่องปรับระดับอ้อย (Equalizer) ให้สม่ำเสมอง่ายต่อการตัด จากนั้นอ้อยจะถูกตัดเป็นท่อน ๆ ด้วย Carding Knives แล้วไหลมาตามสายพานลำเลียง Main เพื่อปรับระดับอ้อยอีกครั้งด้วยเครื่อง Leveler ผ่านเข้าสู่กระบวนการตัดอ้อยด้วยใบมีด 2 ชุด จากนั้นอ้อยจะถูกปรับระดับด้วยเครื่อง Kicker ก่อนเข้าสู่ขบวนการทางไฟฟ้าเพื่อกำจัดเศษเหล็กที่มากับอ้อย แล้วอ้อยจะเข้าสู่เครื่องทุบอ้อย (Shredder) เพื่อย่อยให้ละเอียดง่ายต่อการหีบสกัดอ้อยที่ถูกทุบจนละเอียดจะไหลมาตามสายพาน ก่อนเข้าสู่การกำจัดเศษเหล็กทิ้งอีกครั้ง แล้วจึงเข้าสู่ขบวนการหีบสกัดอ้อย

- การสกัดน้ำอ้อย ซึ่งประกอบด้วยลูกหีบ 6 ชุด ดังนี้

ลูกหีบชุดที่ 1 รับอ้อยเข้ามาหีบ โดยจะได้น้ำอ้อยประมาณ 70-80% ของน้ำอ้อยทั้งหมด ส่วนกากอ้อยจะถูกส่งไปยังลูกหีบชุดที่ 2

ลูกหีบชุดที่ 2 รับกากอ้อยจากลูกหีบชุดที่ 1 และรับน้ำอ้อยพรมกากอ้อย (จากลูกหีบชุดที่ 3) หลังจากนั้นลูกหีบชุดที่ 2 ก็จะหีบสกัดน้ำอ้อย แล้วส่งไปถังเก็บน้ำอ้อย

ลูกหีบชุดที่ 3-5 รับกากอ้อยจากลูกหีบชุดก่อนหน้า และรับน้ำอ้อยพรมจากลูกหีบชุดถัดไป ส่วนกากอ้อยที่ได้ก็จะส่งไปยังลูกหีบชุดถัดไป

ลูกหีบชุดที่ 6 เป็นลูกหีบชุดสุดท้าย รับกากอ้อยจากลูกหีบชุดที่ 5 เข้ามาสกัดและรับน้ำร้อนพรมกากอ้อย เพื่อสกัดเอาน้ำตาลในอ้อยออกให้หมดโดยส่วนของกากอ้อยที่ออกจากลูกหีบชุดสุดท้าย จะถูกลำเลียงโดยสะพานลำเลียงเข้าสู่หม้อน้ำเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตไอน้ำขับเทอร์ไบน์ต่าง ๆ และผลิตกระแสไฟฟ้า เพื่อใช้ในขบวนการผลิตและบริเวณโรงงาน

- ขบวนการทำน้ำอ้อยใส

รับน้ำอ้อยรวม (Mixed Juice) มาจากแผนกลูกหีบ นำมาอุ่น เพื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้น และปรับ pH โดยการใช้น้ำปูนขาว นำไปอุ่นจนอุณหภูมิสูงขึ้น 103-105 ^{o}C ให้ pH ประมาณ 7.3-8.0 น้ำอ้อยใสที่ผ่านกรรมวิธีทำให้บริสุทธิ์แล้วจะถูกนำส่งเข้าสู่หม้อต้มระเหยต่อเนื่องกัน

- การต้มน้ำอ้อย

น้ำอ้อยที่ผ่านการทำใสแล้วจะถูกนำเข้าสู่ชุดหม้อต้ม เพื่อระเหยเอาน้ำออก (ประมาณ 70%) โดยน้ำอ้อยข้นที่ออกมาจากหม้อต้มลูกสุดท้ายเรียกว่า น้ำเชื่อม (Syrup) จนออกมาได้เป็นน้ำเชื่อม ซึ่งน้ำเชื่อมจะถูกนำไปทำให้บริสุทธิ์ โดยจะมีการเปิดให้น้ำปูนขาวไหลผ่านเข้าหม้อผสมน้ำเชื่อม จากนั้นส่งไปเก็บไว้ที่ถังพักน้ำเชื่อมละลาย ปั๊มน้ำเชื่อมจากถังพักเข้าหม้อผสมน้ำเชื่อม ผ่านน้ำเชื่อมผสมปูนขาวลงถังฟอกน้ำเชื่อม เปิดวาล์วก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ แล้วไหลผ่านถังพักเชื่อมฟอก (Supply Tank) ส่งไปที่หม้อกรองน้ำเชื่อม (Rotary Pressure Filter) ปั๊มน้ำเชื่อมจากถังพักน้ำเชื่อม ส่งไปกรองสีที่ระบบเรซิน (Resin Column) จากนั้นจึงกรองแยกผงเรซินออกจากน้ำเชื่อม แล้วจึงส่งน้ำเชื่อมไปยังหม้อเคี่ยวต่อไป

- การเคี่ยวน้ำเชื่อม

การทำงานของหม้อเคี่ยวน้ำตาลภายใต้ระบบสุญญากาศ (Vacuum Pan) เพื่อระเหยน้ำออกจากน้ำเชื่อม ทำให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นและจุดเดือดสูงขึ้น จนกระทั่งเลยจุดอิ่มตัวเป็นภาวะเหนือจุดอิ่มตัว (Super saturation) จึงทำให้น้ำตาลที่ละลายตัวอยู่แยกตัวออกมาเป็นของแข็งหรือผลึก โดยที่ผลึกน้ำตาลและกากน้ำตาลที่ได้จากการเคี่ยวนี้รวมเรียกว่า แมสควิท (Messecuit)

- การปั่นแยกน้ำตาล

เมื่อแมสควิทถูกกวนอยู่ในถังพักผลึกน้ำตาล จนผลึกน้ำตาลโตเต็มที่และอุณหภูมิลดลงแล้วจะปล่อยลงสู่หม้อปั่น เพื่อต้องการแยกเม็ดน้ำตาลออก โดยอาศัยแรงเหวี่ยงรอบ ๆ หม้อปั่น การปั่นแยกน้ำตาลจะมีระบบฉีดล้างเม็ดน้ำตาลและระบบไอน้ำเป่าไล่ความชื้น โดยช่วงเวลาของการปั่นแยกเม็ดน้ำตาลขึ้นอยู่กับชนิดและคุณภาพของแมสควิท ซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นการปั่นแยกผลึกออกจากน้ำเลี้ยงที่หม้อปั่น ส่วนที่เป็นของเหลว คือ กากน้ำตาล (Molasses) ก็จะหลุดออกมาน้ำตาลทรายดิบที่ได้จากหม้อปั่น

- การอบ และบรรจุน้ำตาล

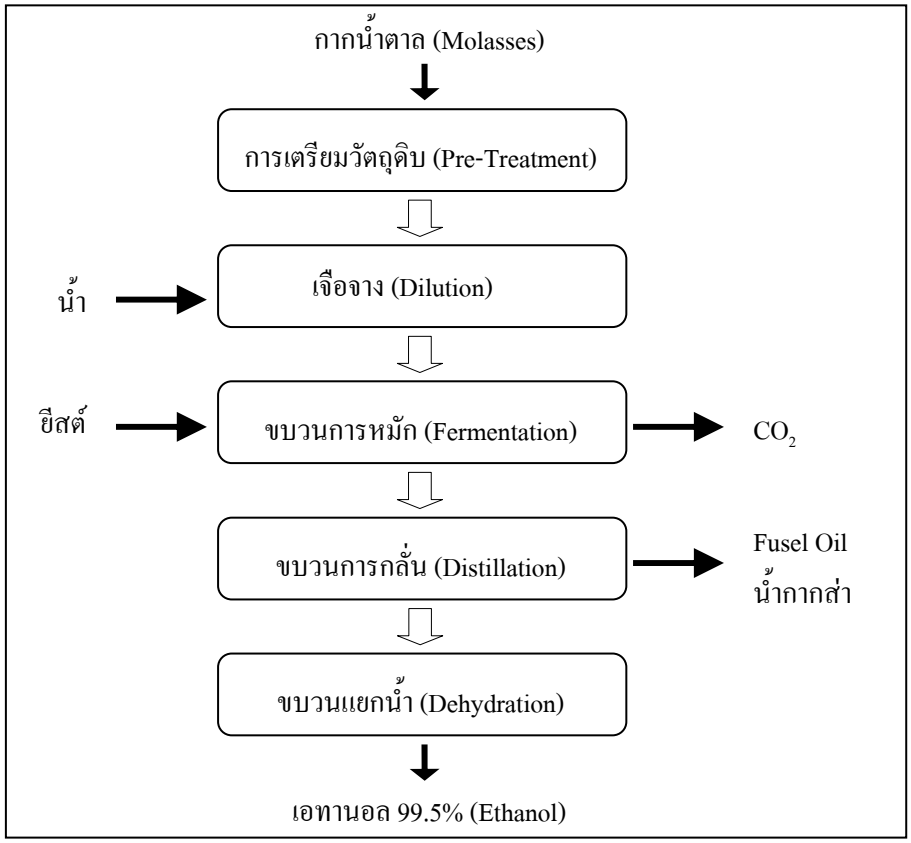
เมื่อแมสควิทผ่านหม้อปั่นไปแล้วจะถูกส่งไปเป่าด้วยอากาศเพื่อไล่ความร้อนออกจากเม็ดน้ำตาล เมื่อไล่ความร้อนแล้วจะอบให้แห้ง เมื่ออบเสร็จนำมาลงตะแกรงโยก เพื่อคัดเมล็ดและรอการขนย้ายไปจำหน่ายต่อไป

จากการศึกษากระบวนการผลิตน้ำตาลจากอ้อย โดยเฉลี่ยแล้วอ้อย 1 ตัน ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักต่าง ๆ ดังนี้ น้ำตาล 105-110 กิโลกรัม น้ำ 500-510 กิโลกรัม กากอ้อย 270-290 กิโลกรัม กากตะกอนหม้อกรอง 28-40 กิโลกรัม กากน้ำตาล 50-60 กิโลกรัม ซึ่งน้ำตาลที่ได้จากกระบวนการผลิตถือว่าเป็นผลิตภัณฑ์หลัก ส่วนที่เหลือเรียกว่า ผลิตผลพลอยได้ (By-products) นั้นสามารถนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์อื่น ๆ

4.1.3.2 กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล (Molasses)

เริ่มจากขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ (Raw material preparation) โดยนำวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต คือ กากน้ำตาลซึ่งจะถูกส่งผ่านทางท่อเข้าสู่ถังเก็บวัตถุดิบ จากนั้นนำไปเจือจาง (Dilution) ด้วยน้ำสะอาดให้มีความเข้มข้นเหลือประมาณ 25 บริกซ์ ปรับสภาพความเป็นกรดและด่างและควบคุมอุณหภูมิให้เหมาะสมแล้วจึงส่งเข้าสู่กระบวนการหมัก (Fermentation) เพื่อเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นเอทานอลด้วยการใช้ยีสต์ โดยภายในถังหมักจะควบคุม pH ให้อยู่ระหว่าง 3.0-5.0 และควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 26-32 ^{o}C ทั้งนี้จะใช้ระยะเวลาในการหมักประมาณ 16 ชั่วโมงสำหรับน้ำอ้อยใส และ 30 ชั่วโมงสำหรับกากน้ำตาล ซึ่งในกระบวนการหมัก จะได้น้ำหมักที่เรียกว่า “น้ำส่า” (Mash) ประมาณ 51.1% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 48.9% โดยน้ำส่าจะมีแอลกอฮอล์ผสมอยู่ประมาณ 8-12% โดยปริมาตร จากนั้นน้ำส่าทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะถูกปั๊มผ่านเครื่องกรอง (Filtration) เพื่อแยกกากส่าออก ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการกลั่น (Distillation) โดยในกระบวนการกลั่น จะได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ประมาณ 93% โดยปริมาตร จากนั้นจะถูกนำเข้าสู่กระบวนการแยกน้ำ (Dehydration) โดยผ่านหอดูดซับที่บรรจุตัวดูดซับประเภทซีโอไลต์ โมเลกุลของเอทานอลจะไหลผ่านช่องว่างของซีโอไลต์ออกไปได้ แต่โมเลกุลของน้ำจะถูกดูดซับไว้ ทำให้เอทานอลที่ไหลออกไปมีความบริสุทธิ์ถึง 99.5% และจะถูกนำไปเก็บไว้ที่ถังเก็บ เพื่อรอการจำหน่ายต่อไป ส่วนซีโอไลต์ที่ดูดซับน้ำไว้ก็จะถูกนำไปเข้าสู่กระบวนการรีเจนเนอเรต (Regenerate) เพื่อไล่น้ำออก ซึ่งจากขั้นตอนการกลั่นจะมีผลพลอยได้เกิดขึ้น คือ Fusel Oil และน้ำกากส่า (Vinasse) แสดงไว้ในรูปที่ 4.2

นอกจากนี้ผลพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการหมักและกระบวนการกลั่นเอทานอล สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมน้ำอัดลม น้ำยาดับเพลิง และใช้ในกระบวนการของอุตสาหกรรมเคมี และในส่วนของ Fusel Oil นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง และตัวทำละลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ส่วนน้ำกากส่า สามารถใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์สดหรือผลิตเป็นปุ๋ยน้ำชีวภาพเพื่อใช้ในการเกษตรกรรมได้ อย่างไรก็ตาม โรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา ยังไม่มีการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และ Fusel Oil กลับมาใช้ประโยชน์ มีเพียงการนำน้ำกากส่า (Vinasse) มาผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพเพื่อจำหน่ายให้กับชาวไร่อ้อยต่อไป



รูปที่ 4.2 กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล

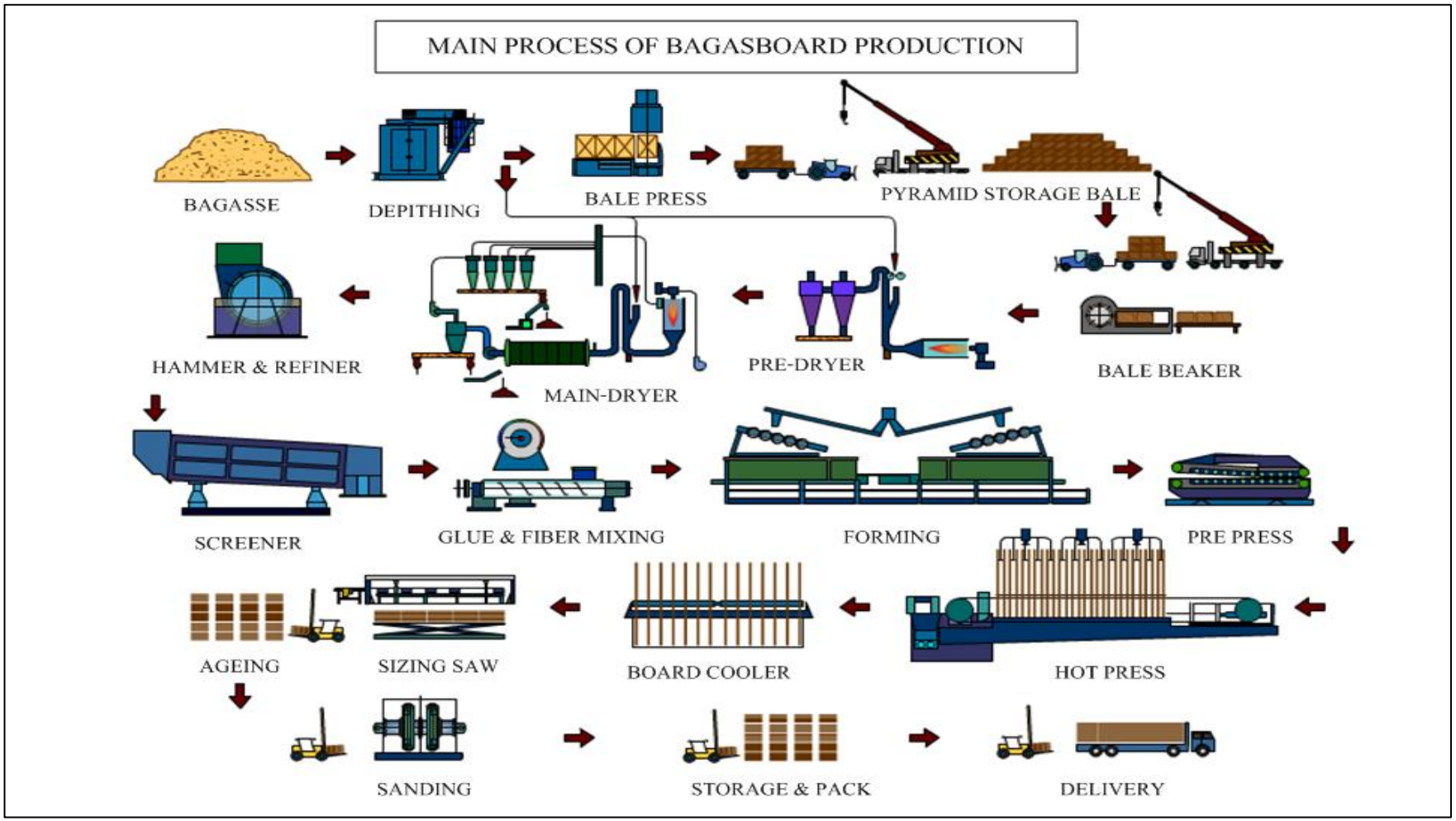
4.1.3.3 กระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดจากกากชานอ้อย (Bagasses)

กระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด เริ่มจากการนำชานอ้อยที่เหลือจากการหีบอ้อยในกระบวนการผลิตน้ำตาล นำมาแยกออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

- ส่งชานอ้อยเข้าหม้อต้มไอน้ำ (Boiler) เพื่อนำไปผลิตไอน้ำ (Steam) ในกระบวนการผลิตไฟฟ้า
- เก็บกองไว้เป็นภูเขาเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงนอกฤดูกาลหีบอ้อย
- ส่งชานอ้อยเข้าสู่กระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด

ในส่วนที่ส่งชานอ้อยเข้าสู่กระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดนั้น ชานอ้อยจะถูกลำเลียงผ่านสายพานเข้าสู่เครื่องแยกขุยอ้อยหรือ Depithor เพื่อแยกขุยอ้อย (Pith) แยกออกไปผลิตไอน้ำในกระบวนการผลิตไฟฟ้า เนื่องจากขุยอ้อยมีขนาดที่ไม่เหมาะสมต่อการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด ส่วนชานอ้อยที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการผลิต เรียกว่า ไฟเบอร์ (Fiber) จะถูกนำมาแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ในส่วนแรกจะนำไปเก็บสำรองไว้ในช่วงนอกฤดูกาลหีบ

อ้อย โดยนำไปอัดก้อนในเครื่องอัดก้อน (Bale Press) แล้วนำไปเก็บที่ลานเก็บโดยจัดเรียงเป็นรูปทรงปิรามิด ในส่วนที่สอง ชานอ้อยจะถูกนำไปอบหมาดโดยผ่านเครื่อง (Pre-dryer) จากนั้นนำไปผ่านเครื่องอบแห้ง (Main Dryer) จนความชื้นเหลือประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อผ่านกระบวนการอบแล้วนำลำเลียงเข้าเครื่องตี (Hammer Mill) และไปเข้าเครื่องร่อน (Screener) เพื่อทำการคัดขนาดให้มีความเหมาะสมต่อกระบวนการผลิต ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ขนาด คือ ขนาดเล็กที่สุด เรียกว่า ฝุ่น (Dust) โดยจะถูกนำไปเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการอบอีกครั้ง ขนาดละเอียดเรียกว่า SL ขนาดหยาบ เรียกว่า CL และขนาดใหญ่เกินไป เรียกว่า Oversize ซึ่งจะถูกนำไปตีใหม่อีกครั้ง ส่วนขนาดละเอียดและขนาดหยาบ (SL, CL) จะถูกนำไปผสมกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์(Glue and fiber mixing) จากนั้นจะนำไปผ่านเครื่องโรยขึ้นรูปแผ่น (Forming) ผ่านเครื่อง (Pre-press) นำไปอัดร้อน (Hot-press) ซึ่งจะได้บอร์ดที่มีขนาดใหญ่และมีอุณหภูมิสูง จึงต้องนำไปพึ่งเย็น (Board Cooler) แล้วนำไปผ่านเครื่องตัดขนาด (Sizing Saw) ตามที่ต้องการ จากนั้นบอร์ดที่ได้จะนำไปบ่มอีกเป็นเวลา 2 วัน (Aging) จากนั้นนำไปขัดผิวเพื่อให้ได้ความหนาที่เท่ากันทั่วทั้งแผ่น โดยจะมีการตรวจสอบคุณภาพของแผ่นเพื่อทำการคัดเกรดของบอร์ดก่อนที่จะทำการบรรจุหีบห่อ (Packing) เพื่อจัดส่งให้ลูกค้าต่อไป รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงกระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดจากชานอ้อย

4.1.3.4 กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากกากชานอ้อย (Bagasses)

มีขั้นตอนและรายละเอียดดังนี้

- เตรียมเชื้อเพลิงประเภทเปลือกไม้ ให้มีขนาดเหมาะสมก่อนนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเชื้อที่ห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ แต่ถ้าเป็นชานอ้อยและแกลบสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ทันที
- การลำเลียงเชื้อเพลิงแต่ละชนิดสู่ห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำใช้ชานอ้อยซึ่งเป็นเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีอยู่แล้วเป็นหลัก จำนวน 85% ส่วนอีก 15% เป็นเชื้อเพลิงเสริม คือ แกลบ เปลือกไม้ โดยรายละเอียดของการคำนวณปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งชานอ้อย แกลบและเปลือกไม้แสดงไว้ในภาคผนวก ค
- กระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ (Boiler) เริ่มจากการจุดไฟเผาชานอ้อยอัดแท่งจนได้อุณหภูมิในห้องเผาไหม้ตามที่กำหนด แล้วจึงป้อนเชื้อเพลิงชีวมวลเข้าสู่ห้องเผาไหม้ในอัตราส่วนเชื้อเพลิงหลัก (ชานอ้อย) 85% กับเชื้อเพลิงเสริมอย่างใดอย่างหนึ่ง (แกลบ เปลือกไม้) 15% ให้เชื้อเพลิงเผาไหม้แล้วลดการใช้ชานอ้อยอัดแท่งลงจนกระทั่งเชื้อเพลิงติดไฟได้อย่างต่อเนื่อง จึงหยุดใช้ชานอ้อยอัดแท่งโดยสิ้นเชิง ส่วนของขี้เถ้าซึ่งเหลืออยู่ในบริเวณส่วนท้ายของตะกรับ (Ash Zone) ที่เรียกว่า เถ้าหนัก (Bottom Ash) จะตกลงสู่ก้นเตาและกวาดออกโดยสายพานลำเลียงลงสู่อ่างน้ำรองรับเถ้า เพื่อลดอุณหภูมิและลดการฟุ้งกระจายของขี้เถ้า ก่อนลำเลียงด้วยสายพานไปเก็บในบ่อเก็บเถ้ารอการขนถ่ายต่อไป ส่วนที่มีน้ำหนักเบา เมื่อถูกเผาแล้วจะผสมในไอร้อนและปลิวออกจากห้องเผาไหม้ทางช่องไอร้อน เรียกว่า เถ้าเบา (Fly Ash) จะถูกจับด้วยอุปกรณ์ดักฝุ่น (Ventruri Wet Scrubber) ก่อนระบายออกสู่ภายนอก โดยมีสัดส่วนของเถ้าหนัก 80% ต่อเถ้าเบา 20%
- เครื่องกังหันไอน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Steam Turbine and Generator) ไอน้ำความดันสูงจากหม้อไอน้ำจะส่งมาที่กังหันไอน้ำ (Steam Turbine) เพื่อเปลี่ยนพลังงานความร้อนของไอน้ำให้เป็นพลังงานกล เพื่อหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า ส่วนไอน้ำความดันต่ำบางส่วนที่ดึงออกจากเครื่องกังหันไอน้ำจะส่งไปใช้งานในกระบวนการผลิตน้ำตาลของโรงงานน้ำตาลทั้งหมด
- ระบบหม้อแปลงไฟฟ้า สายส่งไฟฟ้า และระบบไฟฟ้าสำรองพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ผลิตได้ของโรงไฟฟ้าจะส่งผ่านหม้อแปลงลดแรงดันไฟฟ้า (Step Up Transformer) เพื่อใช้ในโรงไฟฟ้า และใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลของโรงงานน้ำตาล ส่วนของพลังงานที่เหลือจะส่งผ่านไปยังหม้อแปลงเพิ่มแรงดันไฟฟ้า เพื่อส่งขายให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

- หอหล่อเย็น (Cooling Tower) ของโรงไฟฟ้าเป็นระบบปิด (Close System) จะมีเครื่องควบแน่น (Condenser) ทำหน้าที่ควบแน่นไอน้ำที่ผ่านออกมาจากกังหันไอน้ำโดยการแลกเปลี่ยนความร้อน ส่วนน้ำหล่อเย็นที่ผ่านเครื่องควบแน่นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น จึงถูกส่งไประบายความร้อนที่หอหล่อเย็น ก่อนนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งในกระบวนการเหล่านี้จะมีน้ำส่วนหนึ่งระเหยหายไป ทำให้ความเข้มข้นของสารต่าง ๆ และความขุ่นในน้ำหล่อเย็นเพิ่มขึ้น จึงจำเป็นต้องระบายน้ำบางส่วนทิ้งไป เรียกว่า “Blow Down Water” และต้องเติมน้ำใหม่เข้าไปแทน เรียกว่า “Make Up Water”

4.2 การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis)

4.2.1 ผลการวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis)

ผลจากการศึกษาและทำการวิเคราะห์หาปริมาณการใช้ทรัพยากร ปริมาณการใช้พลังงาน ปริมาณกากของเสีย ผลพลอยได้ หรือมลสารทางอากาศที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแต่ละขั้นตอนในวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย เพื่อจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม ซึ่งประกอบด้วยสารขาเข้า (Input) ได้แก่ วัตถุดิบต่าง ๆ การใช้พลังงาน การใช้น้ำ การใช้สารเคมี และสารขาออก (Output) ได้แก่ น้ำทิ้ง มลพิษทางอากาศ และของเสีย รายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการปลูกอ้อย การขนส่ง การผลิตน้ำตาล การผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด และการผลิตกระแสไฟฟ้ารายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 4.4 4.5 4.6 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ ค่าปริมาณมลพิษอากาศจากน้ำมันได้จากการคำนวณจากการใช้น้ำมันดีเซล และในส่วนของการคำนวณค่ามลพิษต่าง ๆ แสดงไว้ที่ภาคผนวก ค

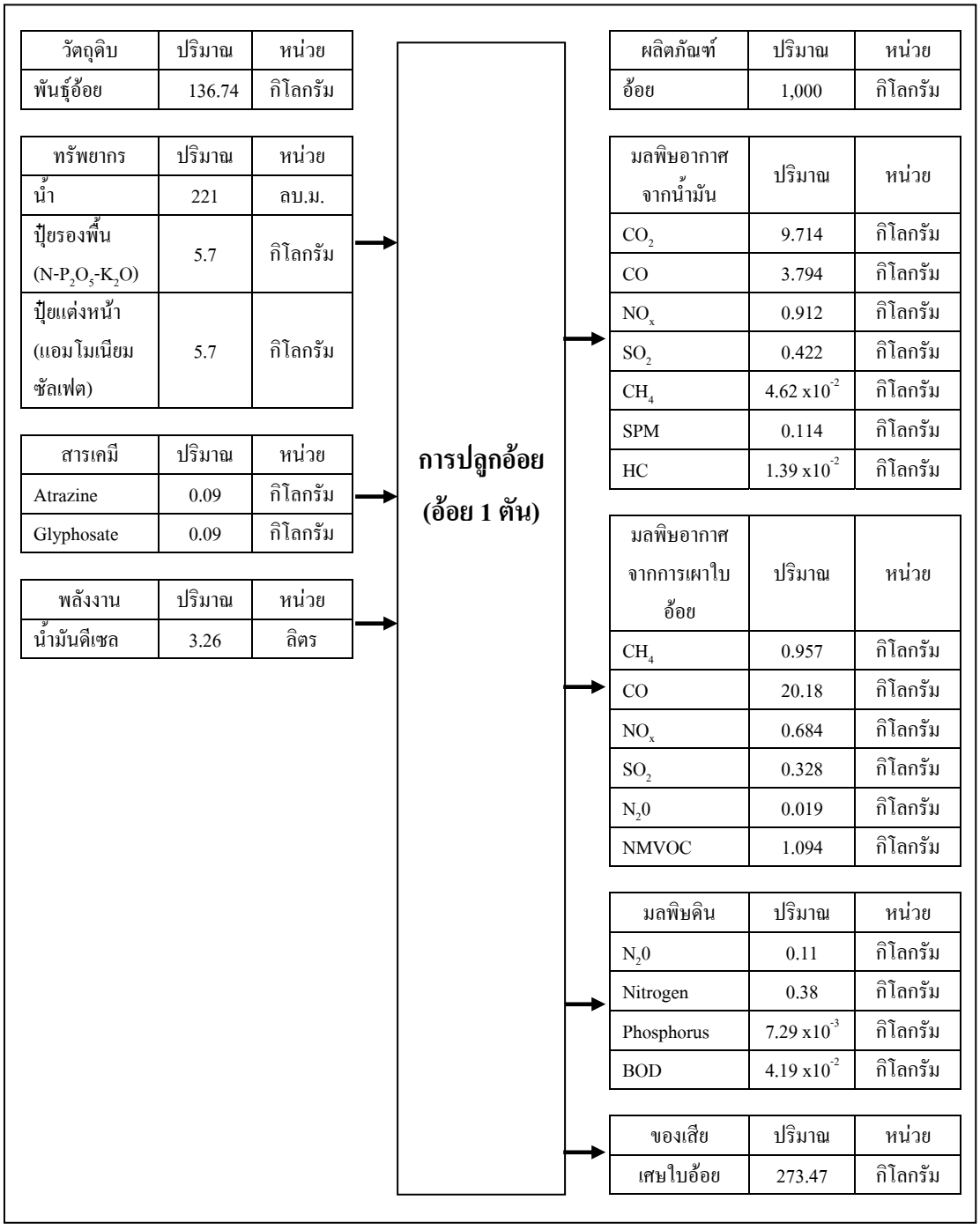
วัตถุดิบ	ปริมาณ	หน่วย
อ้อย	1000	กิโลกรัม

พลังงาน	ปริมาณ	หน่วย
น้ำมันดีเซล	1.424	ลิตร

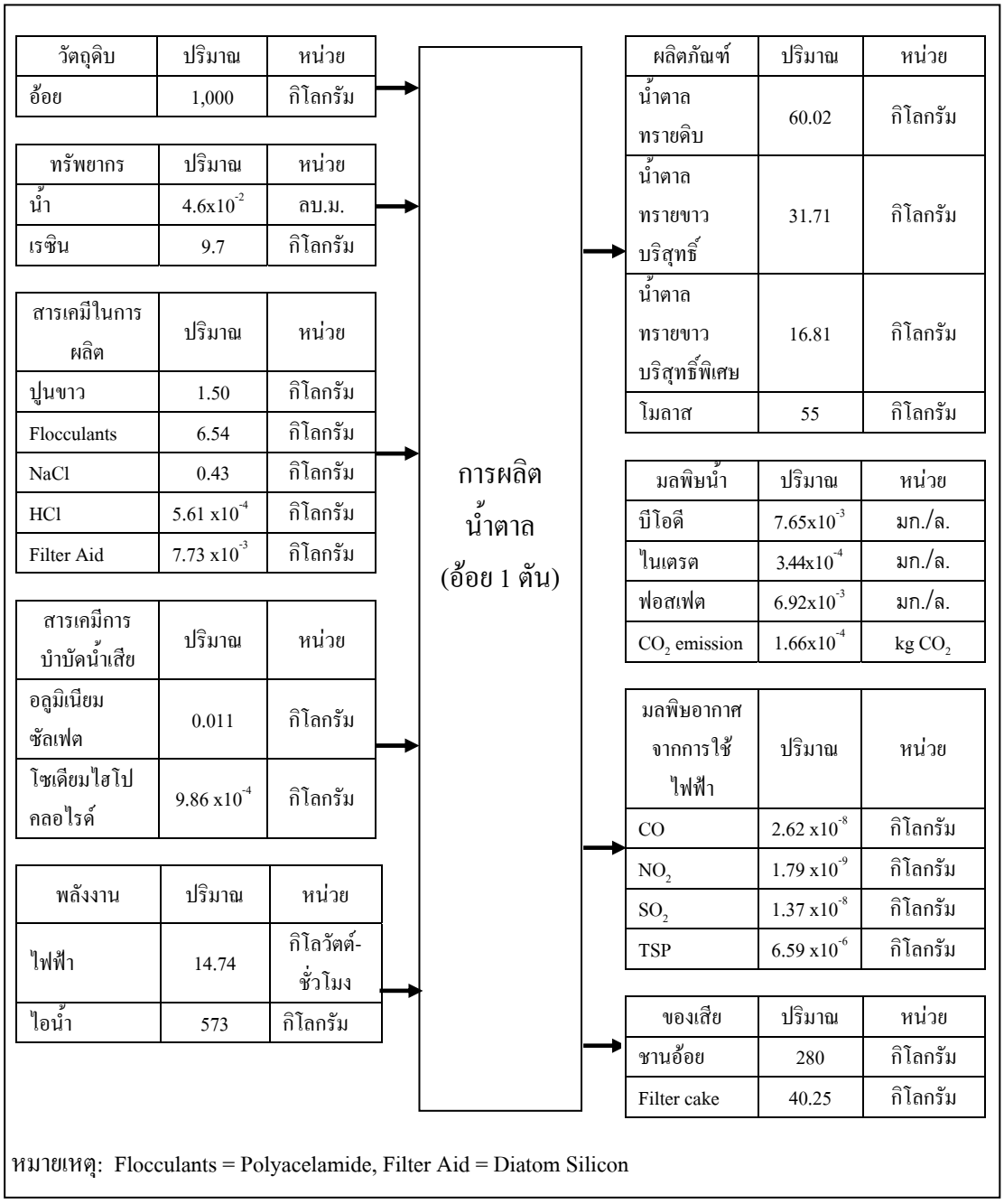
การขนส่ง
(อ้อย 1 ตัน)

มลพิษอากาศจากน้ำมัน	ปริมาณ	หน่วย
CO_2	4.244	กิโลกรัม
CO	0.151	กิโลกรัม
NO_x	0.036	กิโลกรัม
SO_2	0.017	กิโลกรัม
CH_4	5.65×10^{-4}	กิโลกรัม
SPM	1.39×10^{-3}	กิโลกรัม
HC	6.11×10^{-3}	กิโลกรัม

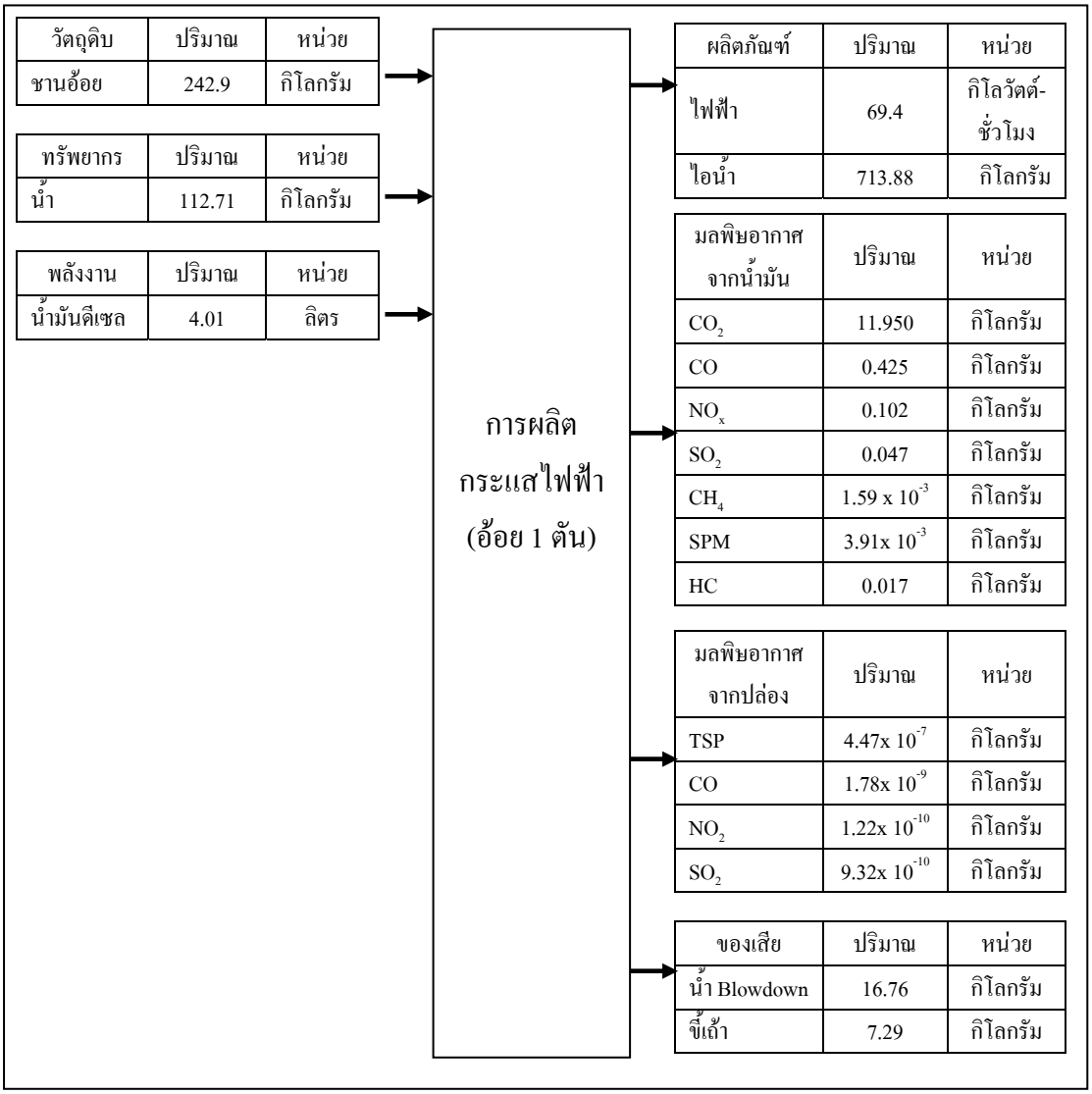
รูปที่ 4.4 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมขั้นตอนการขนส่ง



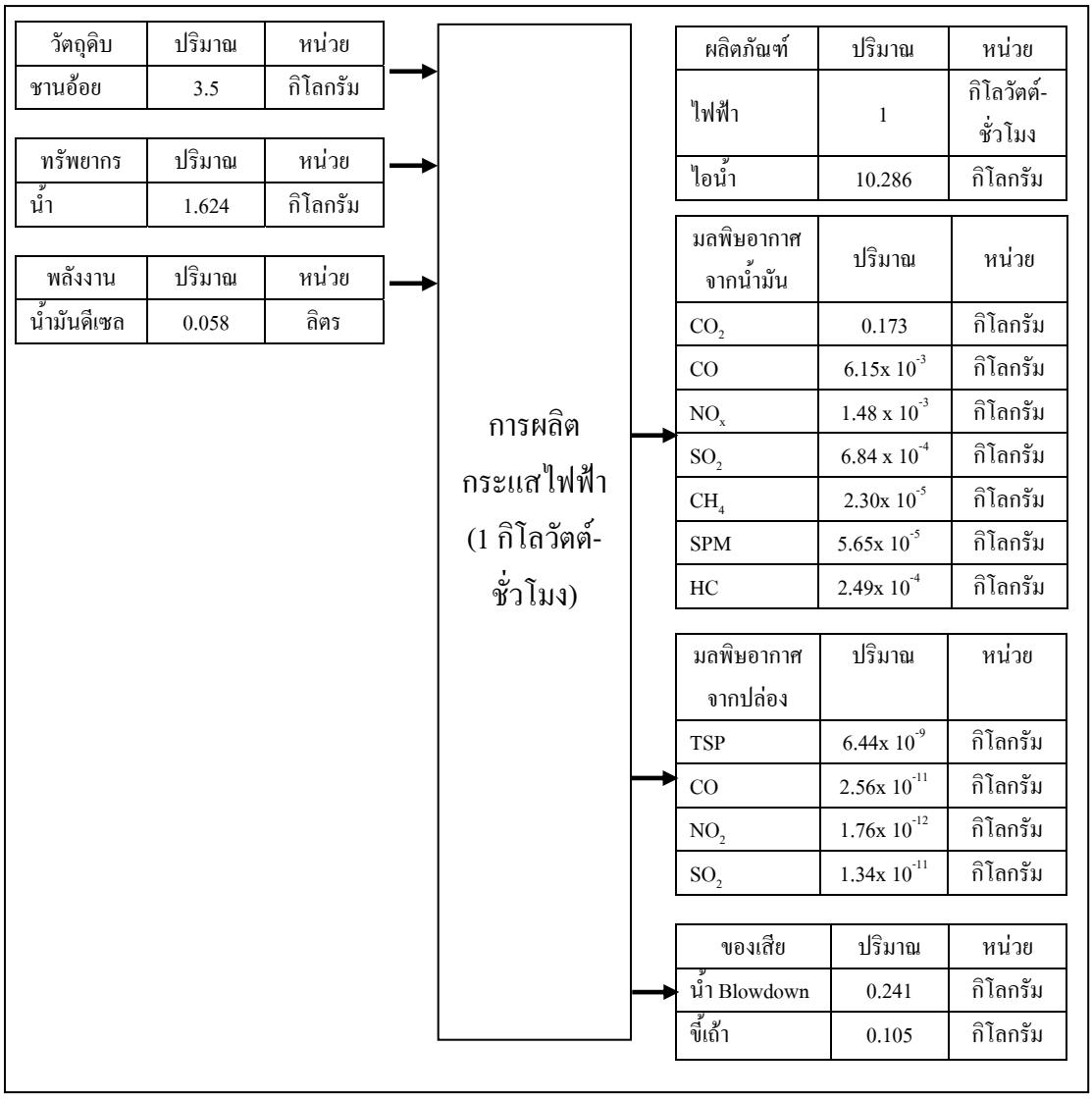
รูปที่ 4.5 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการปลูกอ้อย



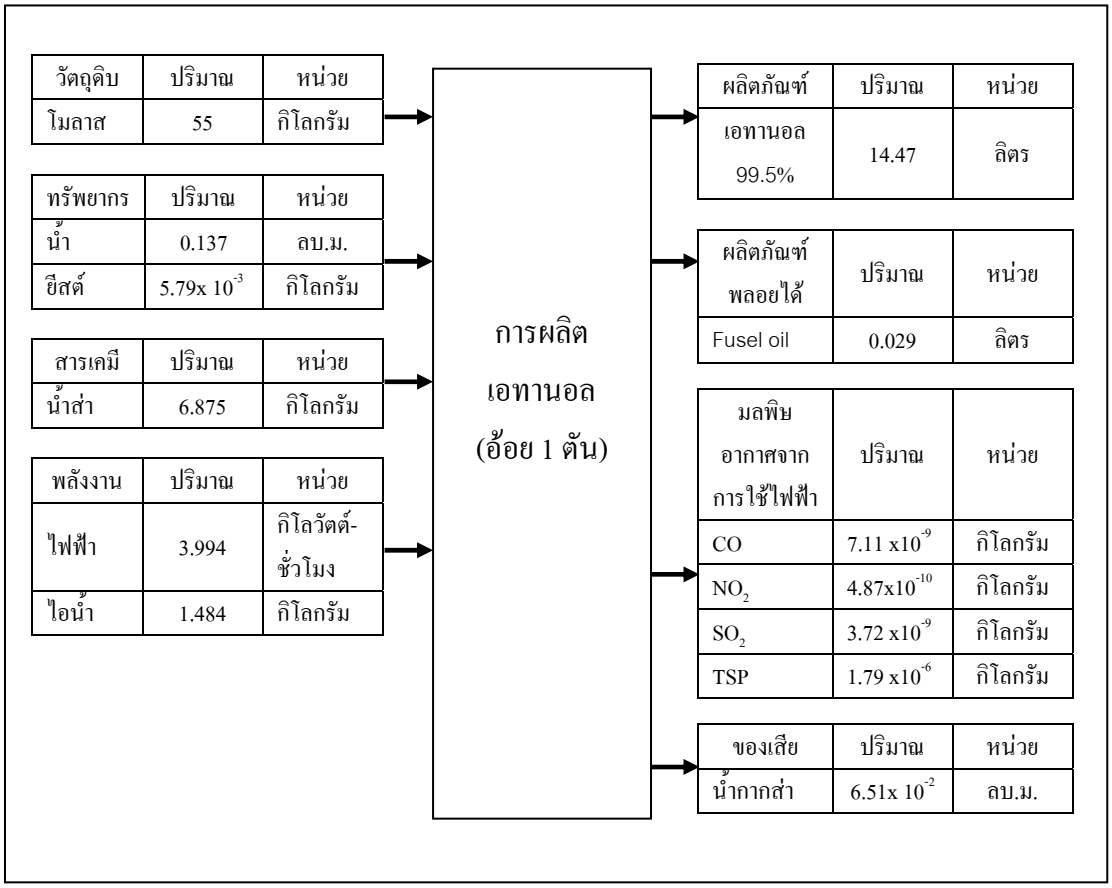
รูปที่ 4.6 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตน้ำตาล



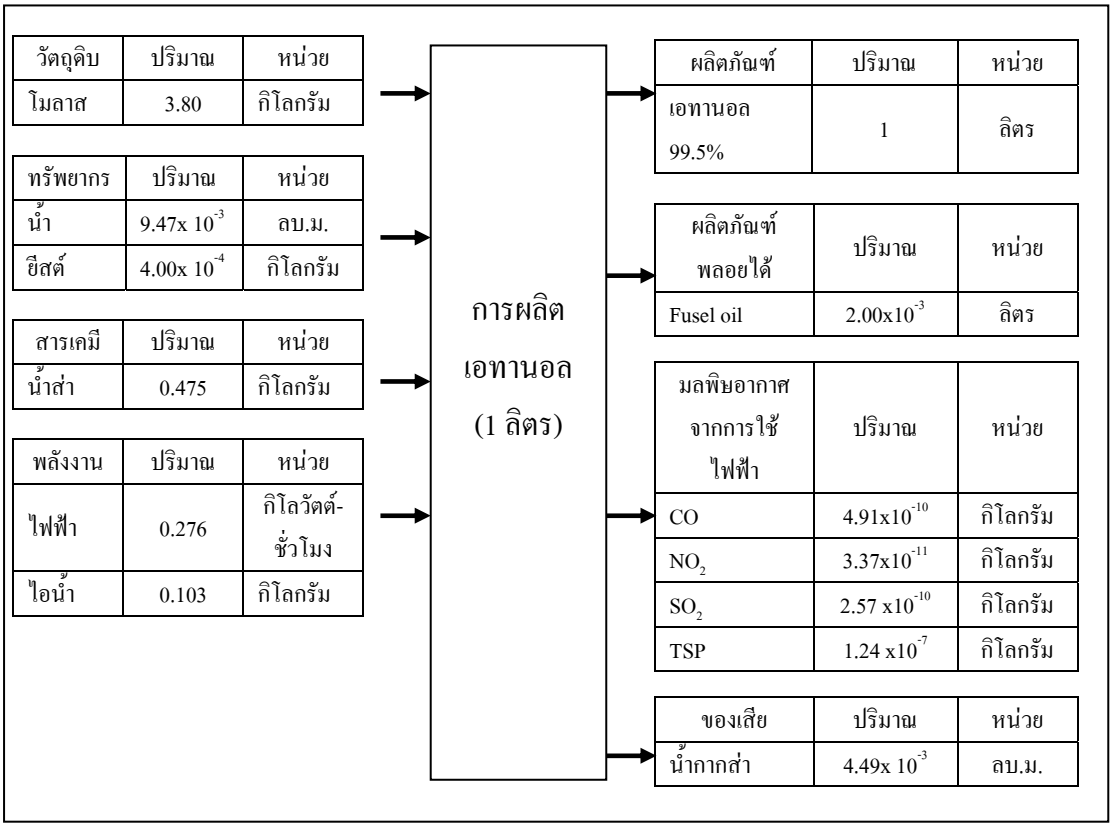
รูปที่ 4.7 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตกระแสไฟฟ้า



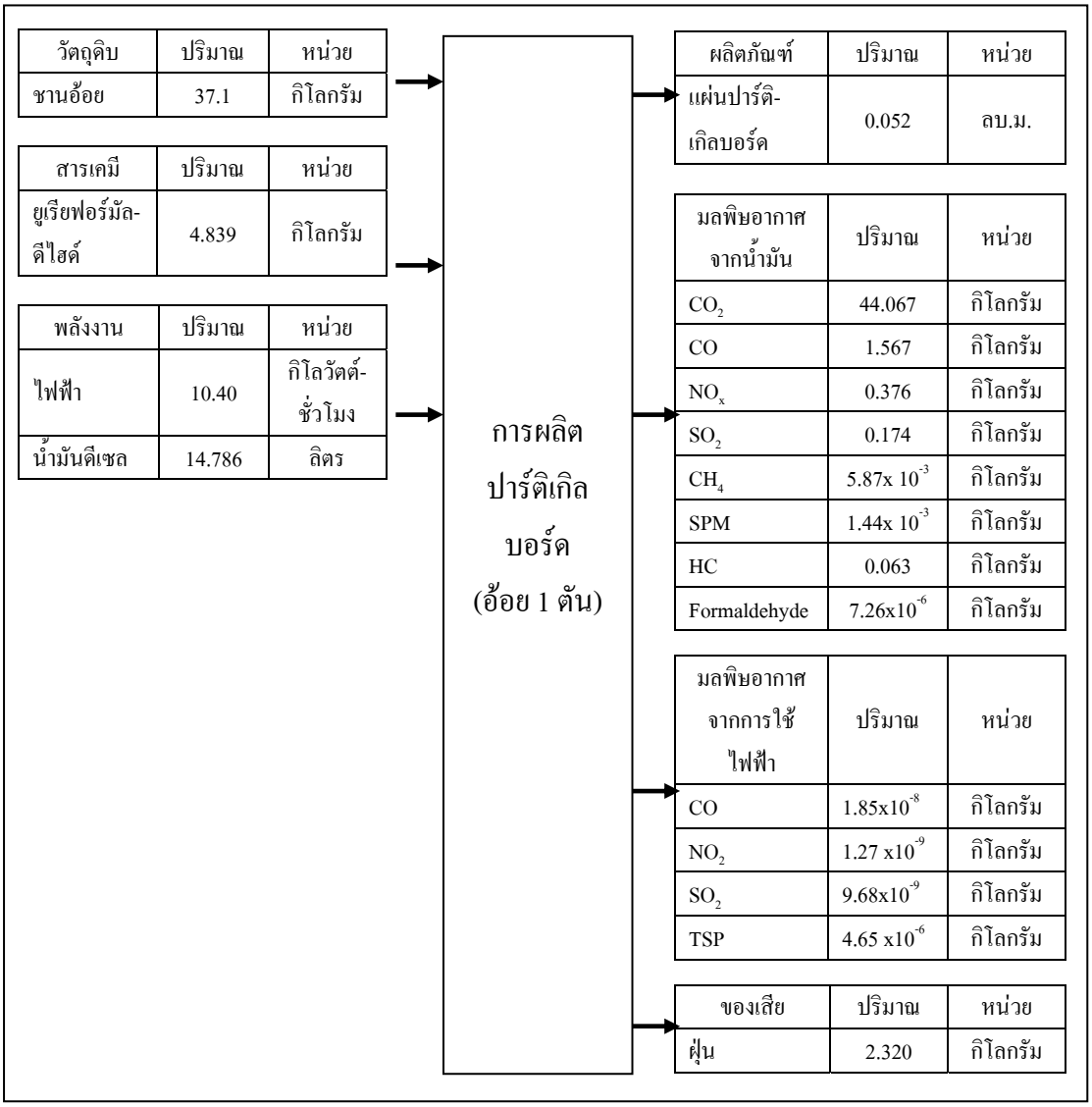
รูปที่ 4.8 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตกระแสไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง



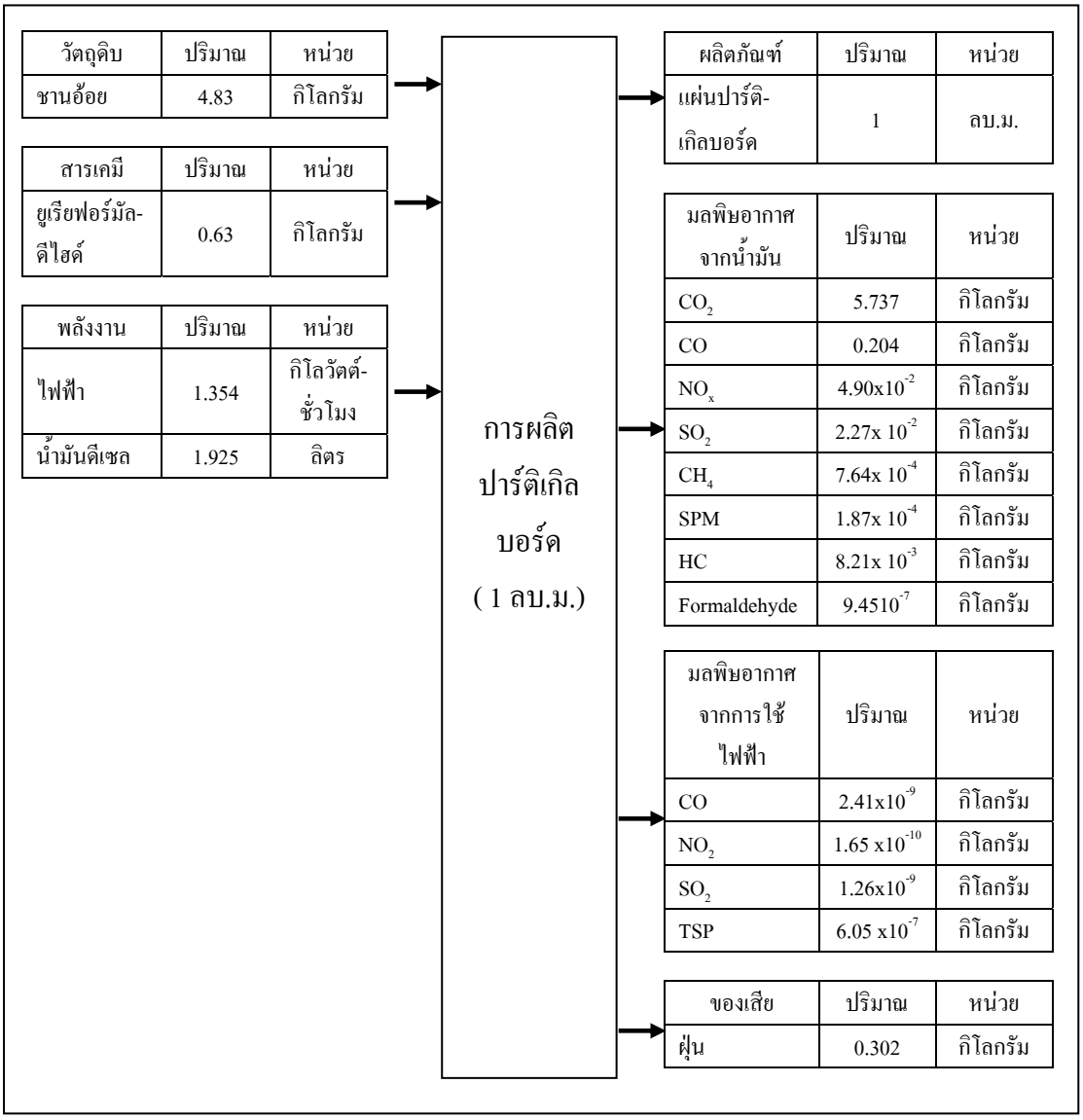
รูปที่ 4.9 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตเอทานอล



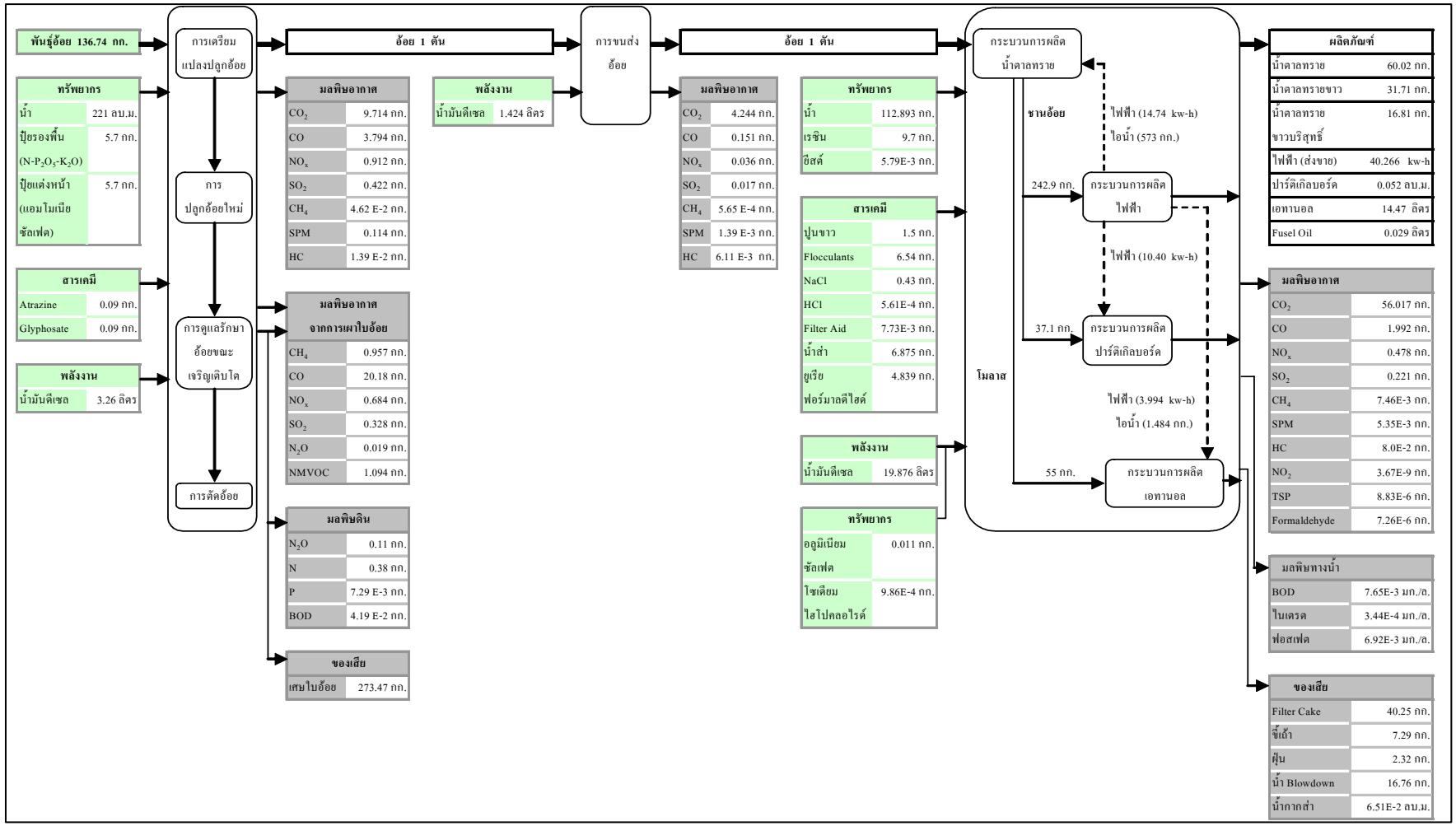
รูปที่ 4.10 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตเอทานอล 1 ลิตร



รูปที่ 4.11 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด



รูปที่ 4.12 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด 1 ลูกบาศก์เมตร



รูปที่ 4.13 บัญชีรายการสิ่งแวดล้อมของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย

4.2.2 การปันส่วน (Allocation)

ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมการผลิตส่วนใหญ่มักจะเกิดผลิตภัณฑ์หรือผลพลอยได้มากกว่าหนึ่งชนิด ซึ่งบางครั้งจะถูกนำไปเป็นวัตถุดิบหรือพลังงานในการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ การปันส่วนจึงมีความจำเป็นสำหรับการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ที่มีความซับซ้อนหรือระบบที่มีผลิตภัณฑ์หลายชนิดออกจากกระบวนการผลิต เนื่องจากระบบที่มีความซับซ้อนนั้นจะไม่สามารถจัดการเพื่อให้ครอบคลุมผลกระทบและผลที่ได้จากขอบเขตของระบบได้ทั้งหมดโดยการปันส่วนสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การปันส่วนโดยใช้ข้อมูลพื้นฐานทางเทคนิค เช่นการดำเนินการ หรือข้อมูลการออกแบบ การปันส่วนโดยใช้น้ำหนัก ปริมาตร หรือ สมบัติทางกายภาพอื่น ๆ และการปันส่วนโดยใช้ข้อมูลราคาผลิตภัณฑ์ (ธนัช ศรีพนม, 2551)

เนื่องจากในขั้นตอนการผลิตน้ำตาลจากอ้อยเกิดผลิตภัณฑ์และผลพลอยได้ซึ่งผลพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการผลิต สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้ ดังนั้นในการคิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องมีการปันส่วนผลกระทบแฝงด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์พลอยได้ (Environmental Burdens) ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ผู้ทำวิจัยเลือกวิธีการปันส่วนทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Value) เนื่องจากน้ำตาลทราย กากน้ำตาล และชานอ้อยต่างก็มีราคาและสามารถจำหน่ายได้ในท้องตลาด โดยมีรายละเอียดปริมาณผลิตภัณฑ์และผลพลอยได้ ราคาต่อหน่วย มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ และอัตราส่วนที่ใช้ในการนำไปคิดการปันส่วนภาระทางสิ่งแวดล้อม รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การปันส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยใช้วิธีการทางเศรษฐศาสตร์ โดยเทียบต่อผลผลิตที่ได้จากอ้อย 1 ตัน จากกระบวนการผลิตน้ำตาลของโรงงานกรณีศึกษา

รายการ	ปริมาณ (กิโลกรัม)	ราคาต่อหน่วย* (บาท)	มูลค่าทางLCI เศรษฐศาสตร์	อัตราส่วน (ร้อยละ)
น้ำตาลทรายดิบ	60.02	16.96	1017.94	40.00
น้ำตาลทรายขาว	31.71	20.33	644.66	25.33
น้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์	16.81	21.40	359.73	14.13
กากน้ำตาล	55.00	5.94	326.70	12.84
ชานอ้อย	280.00	0.70	196.00	7.70
รวม			2545.03	100

หมายเหตุ : * ราคาต่อหน่วยของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามราคาตลาดโลก

จากตารางข้างต้นพบว่าการได้มาซึ่งกากน้ำตาลและชานอ้อยนั้น มีมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์คิดเป็นร้อยละ 12.84 และ 7.70 ดังนั้น การคิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการผลิตน้ำตาลต้องปันส่วนภาระทางสิ่งแวดล้อมมายังการได้มาซึ่งกากน้ำตาลและชานอ้อยด้วยเช่นกัน นอกจากนี้ยังมีในส่วนของผลกระทบจากการใช้ไฟฟ้าและไอน้ำที่ได้จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ในโรงงานผลิตน้ำตาล โรงงานผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด และโรงงานผลิตเอทานอล จึงต้องมีการปันส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยใช้มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ รายละเอียดดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การปันส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยใช้วิธีการทางเศรษฐศาสตร์ โดยเทียบต่อผลผลิตที่ได้จากอ้อย 1 ตัน จากกระบวนการผลิตไฟฟ้า

รายการ	ปริมาณ*	หน่วย	ราคาต่อหน่วย** (บาท)	มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์	อัตราส่วน (ร้อยละ)
กระแสไฟฟ้า	69.4	กิโลวัตต์-ชั่วโมง	2.9278	203.19	0.08
ไอน้ำ	713.88	กิโลกรัม-ไอน้ำ	370	264,135.6	99.92
รวม				264,338.79	100

หมายเหตุ : * ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา

** ราคาต่อหน่วยอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามราคาตลาดโลก

4.2.3 การตัดออกของข้อมูล (Cut-off)

ในขั้นตอนของการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์นั้นพบว่า ผู้ศึกษาสามารถ Cut-off ข้อมูลบางส่วนได้ก็ต่อเมื่อกระบวนการไม่มีความสำคัญต่อผลิตภัณฑ์เป้าหมาย หรือเมื่อไม่มีวิธีการวัดค่า หรือการเก็บข้อมูลทำได้ยาก เนื่องจากความซับซ้อนของกระบวนการ ซึ่งในการ Cut-off สามารถพิจารณาได้จากมุมมองด้านมวล ด้านพลังงาน และด้านภาระต่อสิ่งแวดล้อม (ISO 14044, 2006)

โดยในการพิจารณาควรกำหนดเป็นร้อยละหรือเปอร์เซ็นต์ของปัจจัยการผลิตทั้งหมดของระบบที่ทำการศึกษาตัวอย่างเช่น เมื่อวัสดุหรือสารประกอบมีมวลน้อยกว่า 0.1% ของน้ำหนักทั้งหมด การพิจารณาในรูปของพลังงาน เช่น เมื่อพลังงานที่ใช้น้อยกว่า 0.1% ของการใช้พลังงานทั้งหมด และการพิจารณาในรูปของภาระต่อสิ่งแวดล้อม เช่น เมื่อการปลดปล่อย CO_2 น้อยกว่า 0.1% ของการปลดปล่อย CO_2 ทั้งหมด เป็นต้น (พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์, 2552) และจากการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้พิจาณาทำการ Cut-off ข้อมูลบางส่วนในรูปของมวล เนื่องจากไม่มีฐานข้อมูล

ในโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น รายละเอียดแสดงในตาราง ค.6 ภาคผนวก ค

4.3 การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment)

ในขั้นตอนของการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิตของผลิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย โดยใช้ข้อมูลสารขาเข้าการใช้ทรัพยากร การปล่อยของเสียหรือสารขาออกจากขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis) การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของงานวิจัย ได้พิจารณาเลือกกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีนัยสำคัญเกี่ยวข้องกับวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อยจากการปริทรรศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 โดยจะทำการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนการปลูกอ้อย การขนส่ง การผลิตน้ำตาล การผลิตเอทานอลและการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมได้ต่อไปในอนาคต โดยขั้นตอนในการประเมินผลกระทบมีรายละเอียดดังนี้

4.3.1 การเลือกข้อมูลที่มีความเกี่ยวข้องในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Selection and Definition of impact categories)

จากดัชนีผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ผู้วิจัยได้คัดเลือกและแสดงไว้ในตารางที่ 3.3 รายละเอียดในบทที่ 3 นั้น ผู้วิจัยได้พิจารณาคัดเลือกกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมไว้ 5 ประเภท ดังนี้ ภาวะโลกร้อน (Global Warming) ภาวะความเป็นกรด(Acidification) และการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Eutrophication) และการใช้พลังงาน (Energy Resource) ดังแสดงในตารางที่ 4.9 และ 4.10 เนื่องจากประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดและข้อบังคับในการก่อให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้น ผู้วิจัยจึงพิจารณาเลือกจากความถี่ของผลกระทบที่มักจะถูกนำมาพิจารณาในการประเมินวงจรชีวิตประเทศไทย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.14 และได้จากการทำการศึกษารวบรวมข้อมูลผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากอ้อย ซึ่งในกระบวนการผลิตนั้นนอกจากจะได้ผลิตภัณฑ์แล้ว ยังอาจก่อให้เกิดปัญหาด้านมลพิษต่าง ๆ ตามมาด้วย เช่น การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งทำให้ส่งผลกระทบต่อศักยภาพที่ทำให้เกิดภาวะโลกร้อนหรือแม้แต่กระบวนการผลิตน้ำตาลก็มีการใช้น้ำในกระบวนการผลิตและเกิดน้ำเสีย ซึ่งในน้ำเสียมักจะพบว่ามีแร่ธาตุต่าง ๆ เช่น ไนเตรต ฟอสเฟต ซึ่งถ้าหากมีปริมาณที่มากเกินไป ทำให้สาหร่ายหรือแพลงก์ตอนเกิดการเพิ่มจำนวนและเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว บดบังแสงและลดออกซิเจนในน้ำลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำและทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน ซึ่งจากรายงานของต่างประเทศได้มีการรายงานว่า 10% ของการเกิดภาวะแร่ธาตุเพิ่มขึ้นมาจากสาเหตุของการใช้ปุ๋ยในการทำการเกษตร เพราะเกิดไนเตรตที่ก่อให้เกิดพิษต่อแหล่งน้ำ

นอกจากนี้ยังมีก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซที่เกิดจากกระบวนการผลิตเช่นกัน อีกทั้งยังเป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส แต่มีความเป็นพิษอย่างร้ายแรงต่อมนุษย์ (Human Toxicity) เพราะจะเข้าไปขัดขวางปริมาณก๊าซออกซิเจนที่ร่างกายจำเป็นต้องใช้ ซึ่งหากได้รับในปริมาณสูง อาจทำให้ผู้ที่มีอาการโรคระบบหัวใจและหลอดเลือดมีความเสี่ยงสูงจนอาจถึงแก่ชีวิตได้ และนอกจากจะส่งผลกระทบต่อร่างกายแล้วยังถือได้ว่าเป็นก๊าซเรือนกระจกที่ก่อให้เกิดภาวะโลกร้อนด้วย และจากข้อมูลของสถาบันทรัพยากรโลก (World Resources Institute : WRI) ปี 2005 ระบุว่า ประเทศที่ปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นอันดับ 1 ของโลก คือจีน รองลงมาคืออเมริกาและยุโรป ส่วนประเทศไทยเป็นอันดับที่ 24 ของโลกแม้ว่าตัวเลขอันดับในปัจจุบันจะไม่สูงมากนัก แต่คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Intergovernmental Panel on Climate Change : IPCC) คาดการณ์ว่าในปี 2020 ไทยจะปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพิ่มจากปีละกว่า 300 ล้านตันเป็นเกือบ 600 ล้านตัน ทำให้พุ่งขึ้นเป็นอันดับ 8 ของโลก

ในส่วนของก๊าซมีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_20) ดร.ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ได้อธิบายว่า การทำการเกษตรมักปล่อยก๊าซพิษร้ายแรง 2 ชนิดออกสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งเกิดขึ้นระหว่างการเผาเศษซากพืช เผาซังข้าว การใส่ปุ๋ย รวมไปถึงการจัดการมูลสัตว์ โดยก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจะทำให้โลกร้อนสูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถึง 21 เท่า ส่วนไนตรัสออกไซด์ประมาณ 300 เท่า มักเกิดขึ้นระหว่างชาวนาพรวนดินใส่ปุ๋ยไนโตรเจน จะทำให้เกิดเป็นก๊าซไนตรัสออกไซด์ ที่ไม่มีกลิ่นไม่มีสี หรือที่มักเรียกกันว่า “แก๊สหัวเราะ” ซึ่งต้องยอมรับว่าภาคเกษตรมีส่วนร่วมในการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ, 2552)

ปัญหาการเกิดภาวะความเป็นกรด (Acidification) นั้น ในต่างประเทศแถบยุโรปพบว่าทำให้ดินในพื้นที่แถบประเทศเนเธอร์แลนด์ และเยอรมันได้รับความเสียหายมากกว่า 2000 เฮกเตอร์ต่อปี ซึ่งพบว่าเป็นระดับที่สูงมาก ดังนั้นจึงมีแผนที่จะร่วมมือกันลดผลกระทบดังกล่าวให้น้อยกว่า 5%

การใช้พลังงาน (Energy Resources) ถือได้ว่าเป็นเครื่องมือที่จะใช้วัดมลพิษทั้งหมดที่เกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม (Total Environmental Pollution) เพราะมลพิษต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจะไปเชื่อมโยงกับการแปลงเป็นพลังงานจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งในบางโอกาสถูกนำมาใช้ในการกำหนดเกณฑ์การประเมิน (Evaluation Criterion)

ตารางที่ 4.9 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่นำมาพิจารณาในการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	Impact categories	Unit
สภาวะโลกร้อน	Global warming Potential : GWP	kg CO_2-eq
ภาวะความเป็นกรด	Acidification Potential : AP	kg SO_2-eq
การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ	Eutrophication Potential : EP	kg PO^-_4-eq
สารก่อมะเร็ง	Carcinogens	kg B(a)P
การใช้พลังงาน	Energy Resources	MJ LHV

4.3.2 การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการ (Classification)

จากการจำแนกผลกระทบออกเป็นหมวดหมู่ (Classification) โดยการนำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Environmental Flows) ที่เก็บรวบรวมได้ มาจัดกลุ่มผลกระทบ โดยเลือกจากความสัมพันธ์ของสารขาเข้าและสารขาออกที่เป็นสาเหตุของกลุ่มผลกระทบนั้น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 การจำแนกข้อมูลจากบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Impact Category)	บัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (LCI data)
การใช้พลังงาน (Energy Resources)	Electricity, Steam, Fuel
สภาวะโลกร้อน (Global Warming)	CO_2 NO_2 CH_4 CO SPM HC
สารก่อมะเร็ง (Carcinogens)	SO_2 Formaldehyde NMVOCs
ภาวะความเป็นกรด (Acidification)	SO_x NO_x HCl NH_4
การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Eutrophication)	PO_4 NO NO_2 Nitrate NH_4

ตารางที่ 4.11 การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการขั้นตอนการปลูกอ้อย

การปลูกอ้อย	ผลกระทบสิ่งแวดล้อม				
	การใช้พลังงาน	ภาวะโลกร้อน	สารก่อมะเร็ง	ภาวะความเป็นกรด	การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในน้ำ
สารขาเข้า (Input)	หน่วยต่อตันอ้อย				
พันธุ์อ้อย(กก.)	136.74				
น้ำ(ลบ.ม.)	221.0				
ปุ๋ย (N-P_2O_5-K_2O, กก.)	5.700				
ปุ๋ย (แอมโมเนียมซัลเฟต)	5.700				
Atrazine (กก.)	0.090				
Glyphosate	0.090				
น้ำมันดีเซล(ลิตร)	3.260				
สารขาออก (Output)	หน่วยต่อตันอ้อย				
CO_2 (กก.)		9.714			
CO (กก.)		23.974			
NO_x (กก.)		1.615		1.615	1.615
SO_2 (กก.)			0.750	0.750	
CH_4 (กก.)		1.003			
SPM (กก.)		0.114		0.114	
HC (กก.)		1.39×10^{-2}		1.39×10^{-2}	
NMVOC (กก.)		1.094	1.094		
N_20 (กก.)		0.110			0.110
Nitrogen (กก.)					0.380
Phosphorus (กก.)					7.29×10^{-3}
BOD (กก.)					4.19×10^{-2}
เศษใบอ้อย (กก.)		273.47		273.47	

ตารางที่ 4.12 การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการขั้นตอนการขนส่ง

การขนส่ง	ผลกระทบสิ่งแวดล้อม				
	การใช้พลังงาน	ภาวะโลกร้อน	สารก่อมะเร็ง	ภาวะความเป็นกรด	การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในน้ำ
สารขาเข้า (Input)	หน่วยต่อตันอ้อย				
น้ำมันดีเซล(ลิตร)	1.424				
สารขาออก (Output)	หน่วยต่อตันอ้อย				
CO_2 (กก.)		4.244			
CO (กก.)		0.151			
NO_x (กก.)		0.036		0.036	0.036
SO_2 (กก.)			0.017	0.017	
CH_4 (กก.)		$5.65x10^{-4}$			
SPM (กก.)		$1.39x10^{-3}$		$1.39x10^{-3}$	
HC (กก.)		$6.11x10^{-3}$		$6.11x10^{-3}$	

ตารางที่ 4.13 การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการขั้นตอนการผลิตน้ำตาล

การผลิตน้ำตาล	ผลกระทบสิ่งแวดล้อม				
	การใช้พลังงาน	ภาวะโลกร้อน	สารก่อมะเร็ง	ภาวะความเป็นกรด	การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในน้ำ
สารขาเข้า (Input)	หน่วยต่อตันอ้อย				
อ้อย (กก.)	1,000				
น้ำ (ลบ.ม.)	$4.6x10^{-2}$				
เรซิน (กก.)	9.700				
ปูนขาว (กก.)	1.500				
Flocculants (กก.)	6.540				
NaCl (กก.)	0.430				
HCl (กก.)	$5.61\ x10^{-4}$				
Filter Aid (กก.)	$7.73\ x10^{-3}$				
อลูมิเนียมซัลเฟต (กก.)	0.011				
โซเดียมไฮโปคลอไรด์	$9.86\ x10^{-4}$				
ไฟฟ้า (kwh)	14.740				
ไอน้ำ (กก.)	573.00				
สารขาออก (Output)	หน่วยต่อตันอ้อย				
CO (กก.)		$2.62\ x10^{-8}$			
NO_2 (กก.)		$1.79\ x10^{-9}$		$1.79\ x10^{-9}$	$1.79\ x10^{-9}$
SO_2 (กก.)			$1.37\ x10^{-8}$	$1.37\ x10^{-8}$	
TSP (กก.)		$6.59\ x10^{-6}$			
Nitrate (กก.)					$3.44x10^{-4}$
Phosphate (กก.)					$6.92x10^{-3}$
BOD (กก.)					$7.65x10^{-3}$
Filter cake (กก.)	40.250				

หมายเหตุ : Flocculants = Polyacelamide, Filter Aid = Diatom Silicon oxide

ตารางที่ 4.14 การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการขั้นตอนการผลิตเอทานอล

การผลิตเอทานอล	ผลกระทบสิ่งแวดล้อม				
	การใช้พลังงาน	ภาวะโลกร้อน	สารก่อมะเร็ง	ภาวะความเป็นกรด	การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในน้ำ
สารขาเข้า (Input)	หน่วยต่อตันอ้อย				
โมลาส (กก.)	55.00				
น้ำ (ลบ.ม.)	0.137				
ยีสต์ (กก.)	5.79×10^{-3}				
น้ำส่า (กก.)	6.875				
ไฟฟ้า (kwh)	3.994				
ไอน้ำ (กก.)	1.484				
สารขาออก (Output)	หน่วยต่อตันอ้อย				
CO (กก.)		7.11×10^{-9}			
NO_2 (กก.)		4.87×10^{-10}		4.87×10^{-10}	4.87×10^{-10}
SO_2 (กก.)			3.72×10^{-9}	3.72×10^{-9}	
TSP (กก.)		1.79×10^{-6}			
Fusel oil (กก.)	0.029				
น้ำกากส่า (กก.)					6.51×10^{-2}

ตารางที่ 4.15 การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า

การผลิตไฟฟ้า	ผลกระทบสิ่งแวดล้อม				
	การใช้พลังงาน	ภาวะโลกร้อน	สารก่อมะเร็ง	ภาวะความเป็นกรด	การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในน้ำ
สารขาเข้า (Input)	หน่วยต่อตันอ้อย				
ชานอ้อย (กก.)	242.9				
น้ำ (ลบ.ม.)	112.71				
น้ำมันดีเซล (ลิตร)	4.01				
สารขาออก (Output)	หน่วยต่อตันอ้อย				
CO_2 (กก.)		11.950			
CO (กก.)		0.425			
NO_x (กก.)		0.102		0.102	0.102
SO_2 (กก.)			0.047	0.047	
CH_4 (กก.)		1.59×10^{-3}			
SPM (กก.)		3.91×10^{-3}		3.91×10^{-3}	
HC (กก.)		0.017		0.017	
TSP (กก.)		4.47×10^{-7}			
ขี้เถ้า (กก.)	7.290				

ตารางที่ 4.16 การจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการขั้นตอนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด

การผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด	ผลกระทบสิ่งแวดล้อม				
	การใช้พลังงาน	ภาวะโลกร้อน	สารก่อมะเร็ง	ภาวะความเป็นกรด	การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุในน้ำ
สารขาเข้า (Input)	หน่วยต่อตันอ้อย				
ชานอ้อย (กก.)	37.1				
ยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์	4.839				
ไฟฟ้า (Kwh)	10.40				
น้ำมันดีเซล(ลิตร)	14.786				
สารขาออก (Output)	หน่วยต่อตันอ้อย				
CO_2 (กก.)		44.067			
CO (กก.)		1.567			
NO_x (กก.)		0.376		0.376	0.376
SO_2 (กก.)			0.174	0.174	
CH_4 (กก.)		5.87×10^{-3}			
SPM (กก.)		1.44×10^{-3}		1.44×10^{-3}	
HC (กก.)		0.063		0.063	
TSP (กก.)		4.65×10^{-6}			
Formaldehyde (กก.)			7.26×10^{-6}		
ฝุ่น (กก.)		2.320			

การประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย มีการปลดปล่อยมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล) ซึ่งในการคำนวณค่ามลพิษที่ถูกปลดปล่อยจากการใช้น้ำมันดีเซลนั้นมีการประมาณการมลพิษจากการขนส่งโดยใช้น้ำมันดีเซล 1 ลิตร ซึ่งมีการปลดปล่อยมลพิษ ได้แก่ CO_2, CO, NO_x, SO_2, SPM, CH_4 ดังแสดงข้อมูลในตาราง ค.4 ภาคผนวก ค

นอกจากมลพิษทางอากาศที่ถูกปลดปล่อยจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล) แล้ว ในส่วนของการเก็บเกี่ยวอ้อยยังพบว่ามีเศษใบอ้อยเกิดขึ้นประมาณ 300 กิโลกรัมต่อตันอ้อย ซึ่งในบางพื้นที่เกษตรกรมักจะทำการเผาไร่อ้อย เพื่อการเตรียมดินในการปลูกอ้อยครั้งต่อไปในกรณีที่เป็นอ้อยตอ หรือเผาใบอ้อยเพื่อความสะดวกในการตัดอ้อยส่งโรงงานน้ำตาล ซึ่งจากสาเหตุดังกล่าวทำให้เกิดมลพิษทางอากาศที่เกิดจากการเผาในที่โล่ง ดังแสดงข้อมูลในตาราง ค.5 ภาคผนวก ค

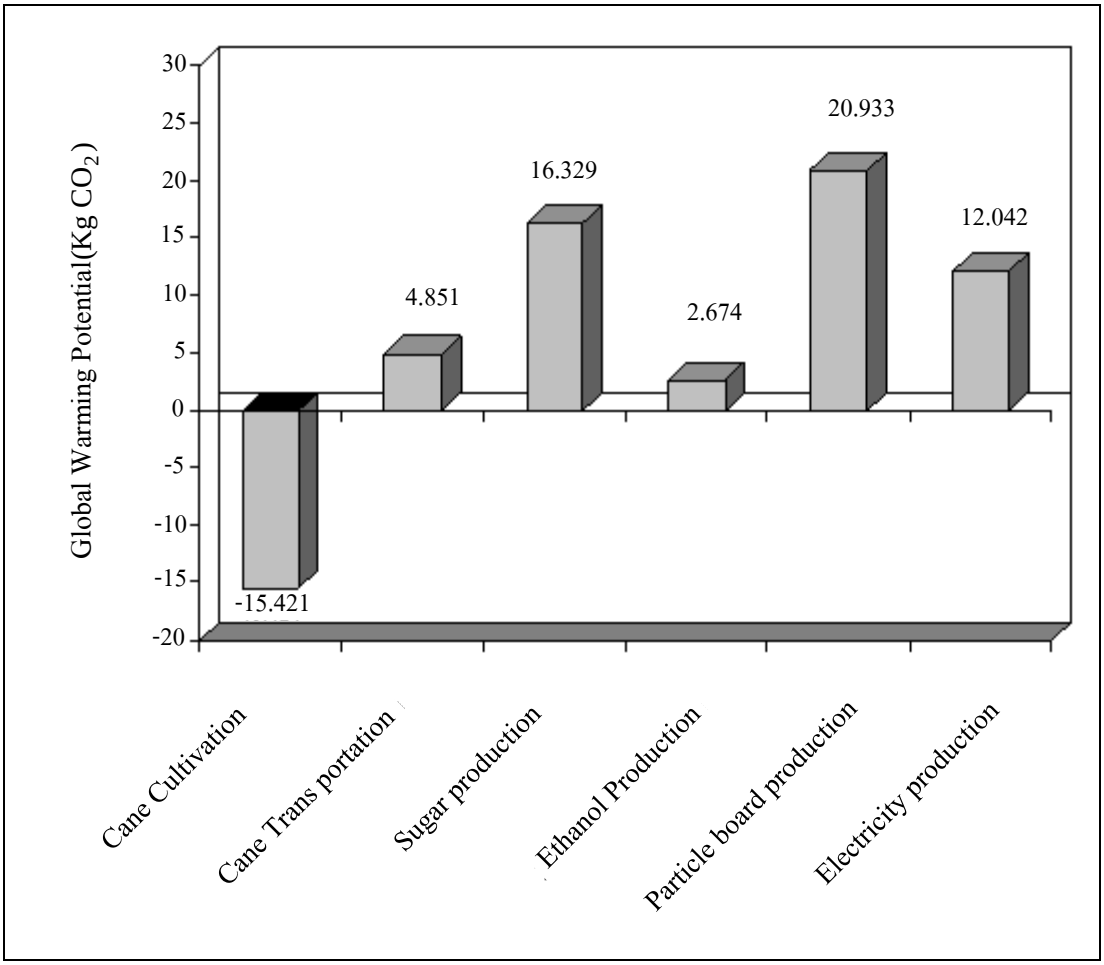
4.3.3 การคำนวณศักยภาพในการเกิดผลกระทบ (Characterization)

จากการนำข้อมูลปริมาณสารต่าง ๆ ในบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมมาประเมินผลกระทบเชิงปริมาณตามกลุ่มของผลกระทบ ซึ่งในการประเมินจะต้องแปลงข้อมูลจากปริมาณสารขาเข้าขาออกในกลุ่มผลกระทบเดียวกันให้อยู่ในรูปความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมค่าสารแต่ละตัวกับสารอ้างอิงพื้นฐาน (Equivalent or Characterization Factors) เนื่องจากสารแต่ละตัวมีศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบในระดับที่แตกต่างกัน โดยในงานวิจัยได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1 วิธี Eco-indicator 95 ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยภาพรวมของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เลือกพิจารณาทั้ง 5 ด้านในแต่ละกระบวนการตั้งแต่การปลูกอ้อย การขนส่งอ้อย การผลิตน้ำตาล การผลิตเอทานอล การผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด และการผลิตพลังงานไฟฟ้า สามารถสรุปผลได้ดังนี้

4.3.3.1 ผลกระทบด้านสภาวะโลกร้อน

จากการศึกษาผลกระทบด้านสภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการผลิตตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อย 1 ตันพบว่ากระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดก่อให้เกิดผลกระทบด้านสภาวะโลกร้อนมากที่สุดเท่ากับ 20.993 kg CO_2-eq ซึ่งสาเหตุหลักมาจากการใช้กาวยูเรียฟอมัลดีไฮด์ในกระบวนการผลิต รองลงมาคือ กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายส่งผลต่อการเกิดสภาวะโลกร้อนเท่ากับ 16.329 kg CO_2-eq กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าก่อให้เกิดผลกระทบเท่ากับ 12.042 kg CO_2-eq เนื่องมาจากชานอ้อยถือเป็นพลังงานชีวภาพ (Biomass ซึ่งในงานวิจัยนี้จะไม่นำปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นจากการเผาไหม้มาคำนวณ เนื่องจากสมมติฐานว่าปริมาณคาร์บอนที่อยู่ในเชื้อเพลิงดังกล่าวนั้น เป็นคาร์บอนที่ได้จากการเจริญเติบโตของพืชและสังเคราะห์แสง สามารถถูกดูดซับเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์แสงในการเจริญเติบโตของพืชในการปลูกครั้งต่อไป ดังนั้นจึงถือว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ถูกชดเชยไปกับการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงชีวภาพ (ชานอ้อย) ซึ่งจะช่วยลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดสภาวะโลกร้อน ในส่วนของการขนส่งก่อให้เกิดผลกระทบเท่ากับ 4.851 kg CO_2-eq กระบวนการผลิตเอทานอลก่อให้เกิดผลกระทบเท่ากับ 2.674 kg CO_2-eq ซึ่งผลกระทบส่วนใหญ่มาจากโมลาสเนื่องจากได้ถูกปันผลกระทบสิ่งแวดล้อมมาจากกระบวนการผลิตน้ำตาลในอัตราส่วน 12.84% ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.7

ส่วนกระบวนการปลูกอ้อยส่งผลกระทบน้อยที่สุดเท่ากับ -15.421 kg CO_2-eq ซึ่งจะมีค่าติดลบ เนื่องจากในการเจริญเติบโตของอ้อยเกิดกระบวนการสังเคราะห์แสงซึ่งจะช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 4.14

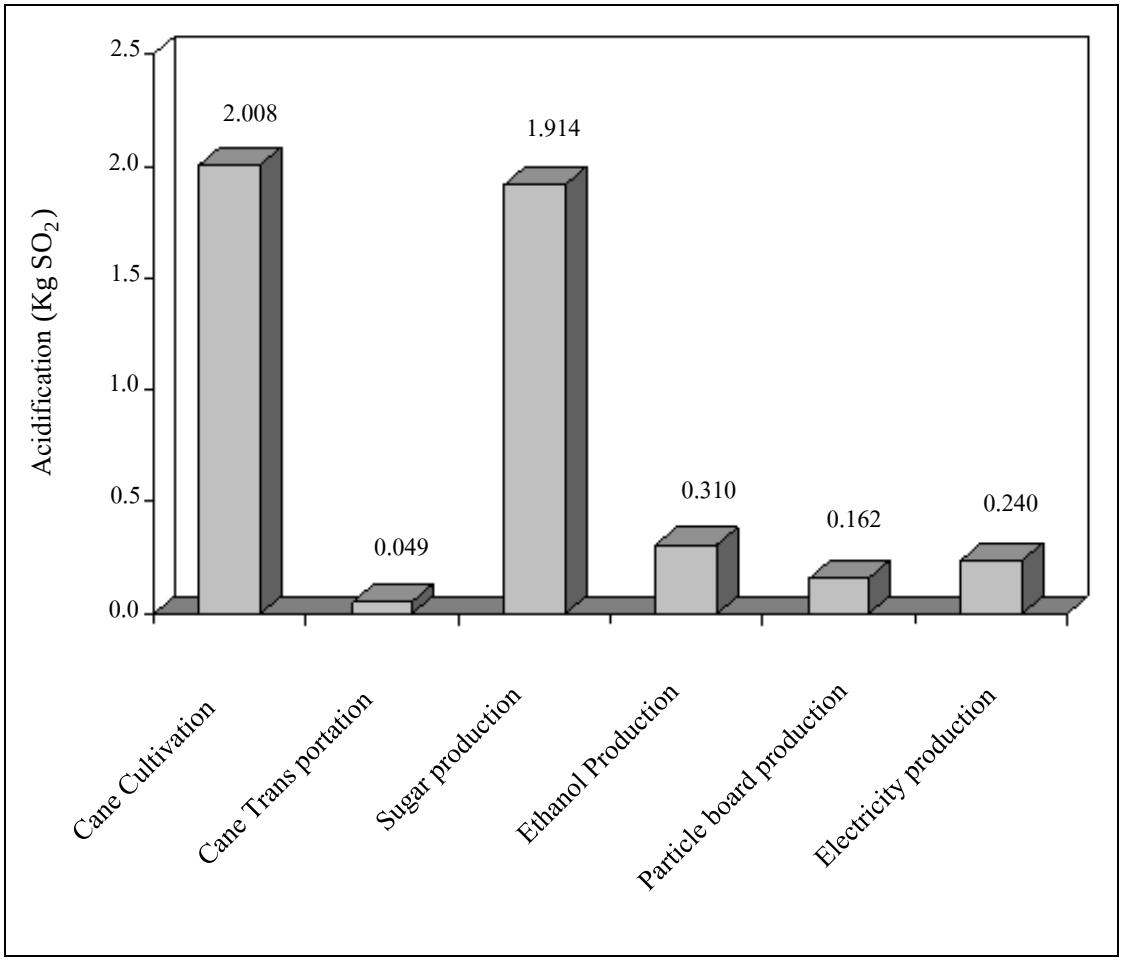


รูปที่ 4.14 กราฟผลกระทบด้านสภาวะโลกร้อนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

4.3.3.2 ผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรด

ภาวะความเป็นกรดมีสาเหตุมาจากก๊าซออกไซด์ของซัลเฟอร์ (SO_x) และก๊าซออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลในกระบวนการต่าง ๆ รวมถึงการเผาไหม้ชานอ้อยในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้ภาวะความเป็นกรดยังมีสาเหตุมาจากก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ซึ่งเกิดจากการใช้ปุ๋ยเคมีในขั้นตอนการปลูกอ้อยด้วย โดยเมื่อพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการผลิตตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อย 1 ตัน พบว่า ขั้นตอนการปลูกอ้อย ส่งผลต่อภาวะความเป็นกรดมากที่สุด 2.008 kg SO_2-eq เนื่องจากเกษตรกรชาวไร่อ้อยนิยมใช้ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยแอมโมเนียฟอสเฟตในการปลูกและการดูแลอ้อย รองลงมาคือ กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายเกิดผลกระทบเท่ากับ 1.914 kg SO_2-eq เนื่องจากมีการใช้วัตถุดิบหรือสารเคมีในขั้นตอนกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายและในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการผลิตเอทานอลเกิดผลกระทบเท่ากับ 0.310 kg SO_2-eq กระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดก่อให้เกิดผลกระทบเท่ากับ 0.162 kg SO_2-eq มาจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล) และกาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าก่อให้เกิดผลกระทบเท่ากับ 0.240 kg SO_2-eq มาจากการเผาไหม้ชานอ้อย และการขนส่งอ้อยก่อให้เกิดผลกระทบเท่ากับ 0.049 kg SO_2-eq ซึ่งมีสาเหตุมาจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล) ในการขนส่งอ้อย รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 4.15

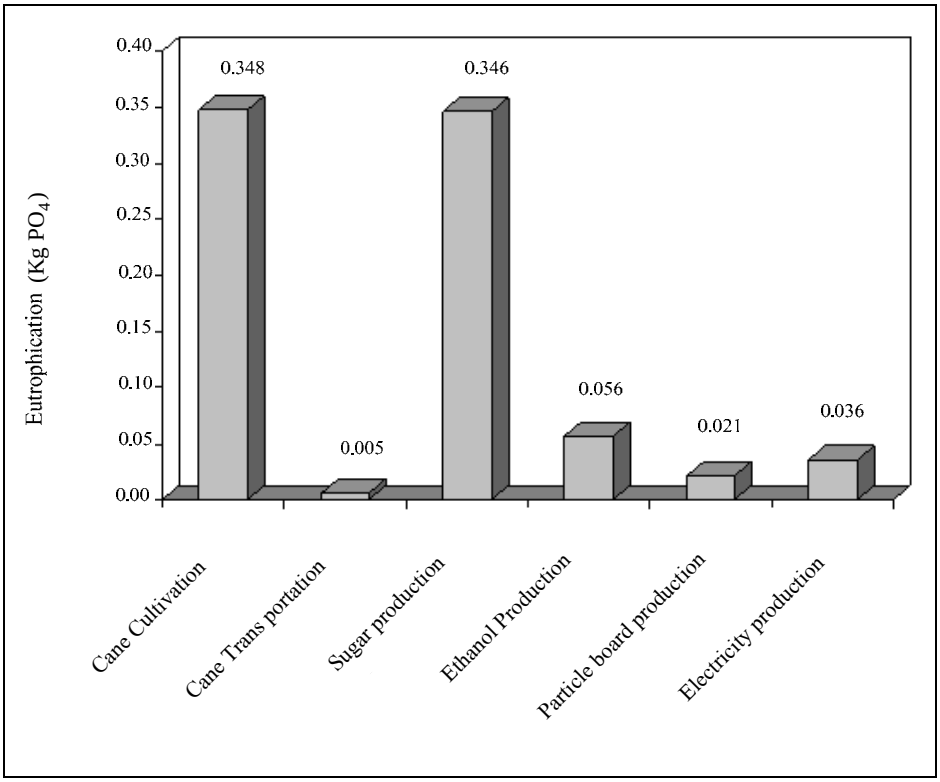


รูปที่ 4.15 กราฟผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

4.3.3.3 ผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ

การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ เกิดจากการที่มีการปล่อยสารอาหารลงสู่แหล่งน้ำมากเกินสมดุล ทำให้มีสารอาหารมากเกินไปพืชตระกูลสาหร่ายจึงเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดปรากฏการณ์ Algae bloom ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน และมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ จากการศึกษากระบวนการผลิตน้ำตาลพบว่า มีการใช้น้ำเพื่อป้อนเข้าสู่ในแต่ละ

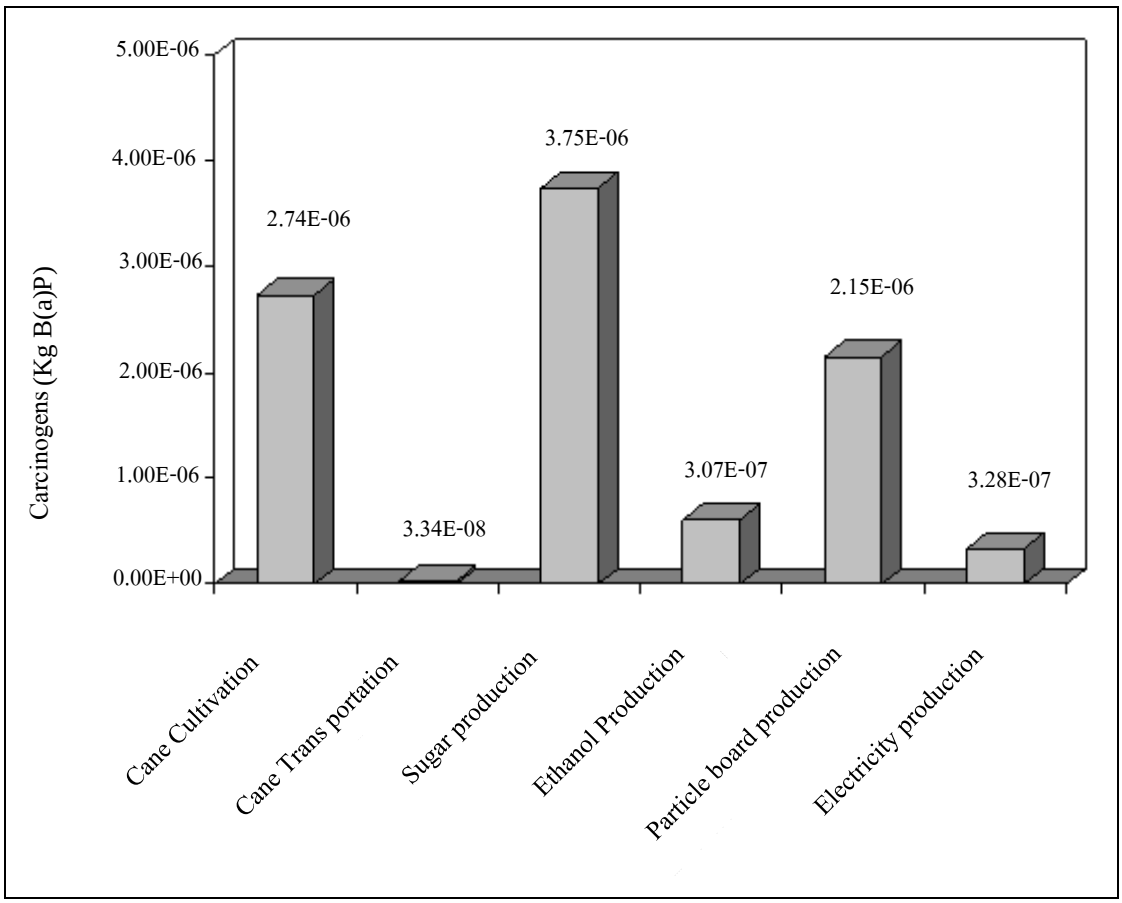
กระบวนการผลิตในกระบวนการผลิตและเกิดน้ำเสียขึ้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการเพื่อหาปริมาณไนเตรต ฟอสเฟตที่เกิดขึ้นที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตในแต่ละกระบวนการตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อย 1 ตัน พบว่า กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำมากที่สุดเท่ากับ 0.346 kg PO_4-eq เนื่องจากสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตอาจมีส่วนประกอบของธาตุไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ส่วนผลกระทบรองลงมาคือ การปลูกอ้อยก่อให้เกิดผลกระทบเท่ากับ 0.348 kg PO_4-eq เนื่องจากการใช้ปุ๋ยเคมี ซึ่งมีส่วนประกอบของแร่ธาตุอาหาร (N-P-K) กระบวนการผลิตเอทานอลก่อให้เกิดผลกระทบเท่ากับ 0.056 kg PO_4-eq ซึ่งผลกระทบส่วนใหญ่มาจากโมลาส และการใช้น้ำในกระบวนการผลิตที่ผ่านกระบวนการกำจัดความกระด้าง (Water Softening) ซึ่งมีการใช้สารเคมีในการปรับสภาพน้ำ กระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดก่อให้เกิดผลกระทบเท่ากับ 0.021 kg PO_4-eq กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าและการขนส่งอ้อยก่อให้เกิดผลกระทบเท่ากับ 0.036 kg PO_4-eq และ 0.005 kg PO_4-eq ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 กราฟผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำที่เกิดขึ้น

4.3.3.4 ผลกระทบด้านสารก่อมะเร็ง

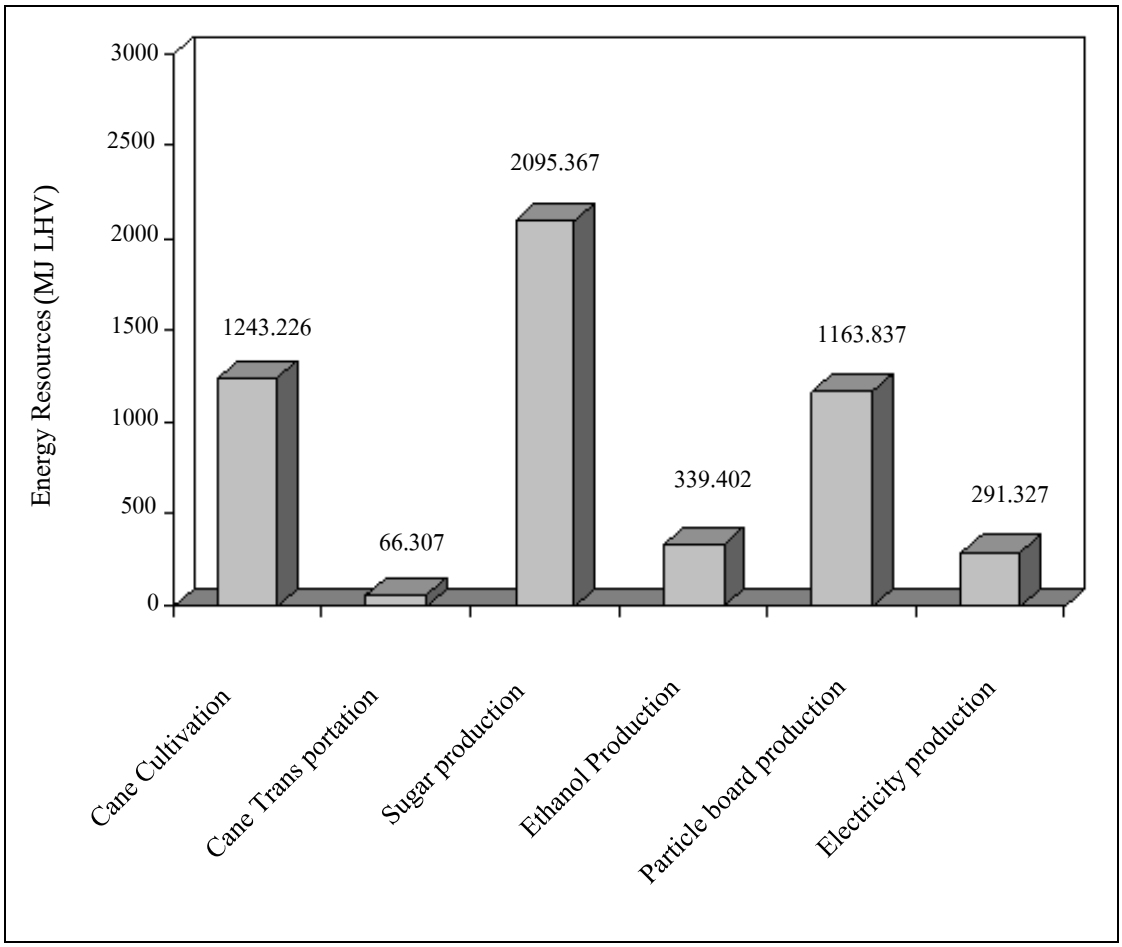
สารก่อมะเร็งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อย ได้แก่ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) ฟอร์มาลดีไฮด์ (Formaldehyde) เป็นสารเคมีที่ถูกนำมาใช้เพื่อผสมเป็นกาวในกระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด รวมถึงสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย เช่น VOCs (Volatile Organic Compounds) และก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ ซึ่งเกิดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งจากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านสารก่อมะเร็งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อย 1 ตัน พบว่า มีสารก่อมะเร็งเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายมากที่สุด เท่ากับ 3.75E-06 kg B(a)P รองลงมาคือ การปลูกอ้อย กระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด กระบวนการผลิตเอทานอล กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าและการขนส่งอ้อยก่อให้เกิดผลกระทบเท่ากับ 2.74E-06 2.15E-06 6.07E-07 3.28E-07 และ 3.34E-08 kg B(a)P ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลกระทบด้านสารก่อมะเร็งที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต

4.3.3.5 ผลกระทบด้านการใช้พลังงาน

จากการศึกษากระบวนการผลิตตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อย 1 ตัน พบว่ากระบวนการผลิตน้ำตาลมีการใช้พลังงานมากที่สุดเท่ากับ 2,095.367 MJ LHV รองลงมาคือ ขั้นตอนการปลูกอ้อย 1,243.226 MJ LHV กระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด 1163.837 MJ LHV กระบวนการผลิตเอทานอล 339.402 MJ LHV ผลกระทบที่เกิดจากการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 291.327 MJ LHV และการขนส่งอ้อย 66.307 MJ LHV ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 กราฟผลกระทบด้านการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต

4.4 การแปลผล (Interpretation)

4.4.1 ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อย 1 ตัน

ภาพรวมของการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อย 1 ตัน ตั้งแต่กระบวนการปลูกอ้อย การขนส่งอ้อยเข้าโรงงาน การผลิตน้ำตาล การผลิตเอทานอล การผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด และการผลิตไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยนี้จะไม่รวมการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้และการกำจัด โดยสามารถสรุปผลจากการศึกษาได้ดังนี้

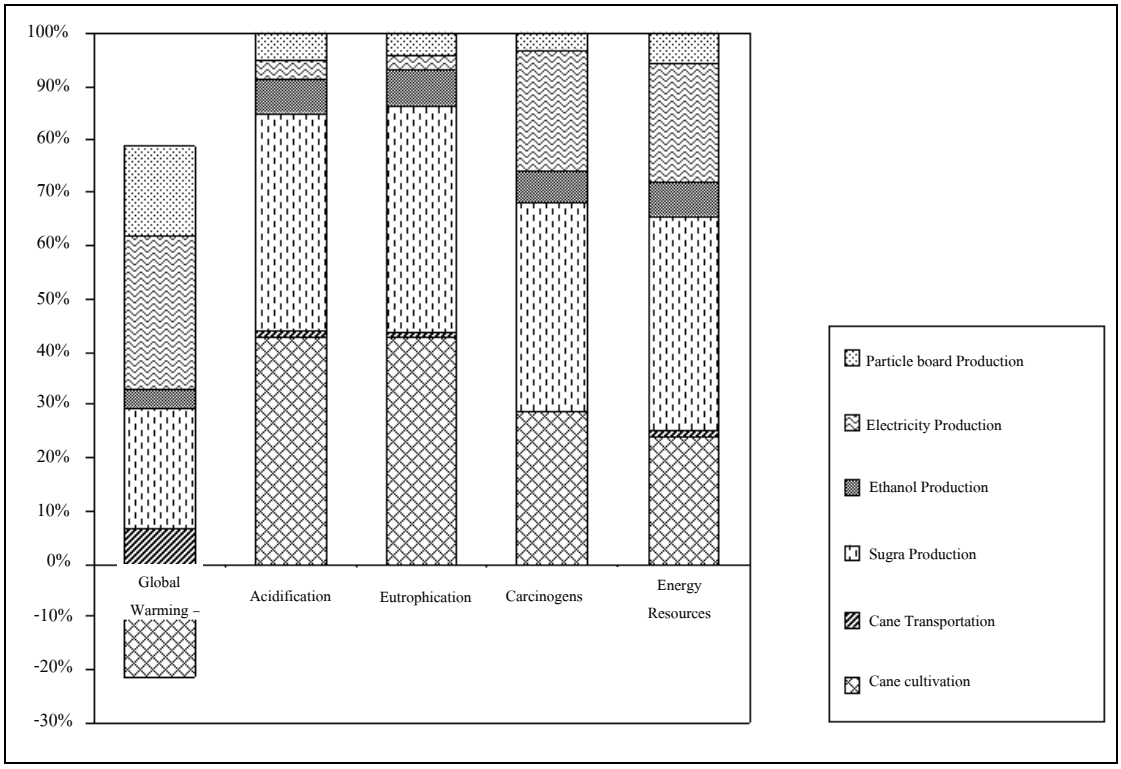
กระบวนการปลูกอ้อยจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงที่สุดในด้านภาวะความเป็นกรด และภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ ส่วนในด้านอื่นจะส่งผลกระทบสูงรองจากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย ยกเว้นผลกระทบด้านสภาวะโลกร้อนเท่านั้นที่ไม่ส่งผลกระทบเลย เนื่องจากกระบวนการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโตของต้นอ้อย จะช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ ดังนั้นกระบวนการปลูกอ้อยจึงสามารถช่วยลดผลกระทบจากสภาวะโลกร้อนได้ถึง 15.421 kg CO_2-eq

การขนส่งอ้อยส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดในทุกด้าน เนื่องมาจากปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิง (ดีเซล) ที่ใช้ในการขนส่งอ้อย 1 ตัน ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย 1.424 ลิตรต่อตันอ้อย ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับกระบวนการผลิตอื่น ๆ

กระบวนการผลิตน้ำตาลทรายจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดในทุกด้าน ยกเว้นด้านภาวะความเป็นกรด และด้านภาวะการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ เนื่องจากในขั้นตอนของการผลิตน้ำตาลมีการใช้วัตถุดิบ ใช้พลังงานเป็นจำนวนมาก และต้องผ่านขั้นตอนหรือกระบวนการผลิตหลายขั้นตอนจึงมีความสอดคล้องกับผลกระทบที่เกิดขึ้น

กระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดจะส่งผลกระทบด้านการใช้พลังงานและด้านสารก่อมะเร็งสูงกว่ากระบวนการผลิตเอทานอล กระบวนการผลิตไฟฟ้า และกระบวนการขนส่งอ้อยเข้าโรงงาน ตามลำดับ เนื่องจากในกระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดมีการใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ในขั้นตอนการอัดร้อน ซึ่งทำให้เกิดการระเหยของสารฟอร์มัลดีไฮด์ออกสู่สิ่งแวดล้อม

กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อยถือได้ว่าก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ เนื่องจากไฟฟ้าและไอน้ำที่ได้จากกระบวนการผลิต ได้ถูกนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาล เอทานอล และปาร์ติเกิลบอร์ด จึงมีการปันส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นไปยังกระบวนการผลิตอื่น ๆ รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 กราฟสัดส่วนผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อย 1 ตัน

4.4.2 การเปรียบเทียบกระบวนการผลิตน้ำตาลของโรงงานกรณีศึกษาที่มีการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์และไม่มีการนำไปใช้ประโยน์

จากสมมติฐานงานวิจัยที่ระบุไว้ว่า วงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อยที่มีการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการไม่นำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์นั้น ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์จากข้อมูลของโรงงานกรณีศึกษาเดียวกัน เพียงแต่ไม่นำส่วนของกระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด ผลิตเอทานอลและกระแสไฟฟ้ามาพิจารณาผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ซึ่งได้แบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 กระบวนการผลิตน้ำตาลที่มีการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์ในการผลิตเอทานอล แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด และผลิตกระแสไฟฟ้า

กรณีที่ 2 กระบวนการผลิตน้ำตาลที่ไม่มีการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์

ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า กรณีที่ 1 ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่ากรณีที่ 2 เกือบทุกด้าน ยกเว้นผลกระทบด้านสารก่อมะเร็ง และด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ โดยกรณีที่ 1 จะส่งผลกระทบด้านสภาวะโลกร้อนน้อยกว่ากรณีที่ 2 เท่ากับ 116.05 kg CO_2-eq หรือคิดเป็น 73.70% ด้านการใช้พลังงานน้อยกว่า 902.70 MJ LHV คิดเป็น 14.79% ภาวะฝนกรดน้อย

กว่า 0.78 kg SO_2 คิดเป็น 14.30% แต่ในส่วนของผลกระทบด้านสารก่อมะเร็งและการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำพบว่า กรณีที่ 1 ส่งผลกระทบมากกว่ากรณีที่ 2 เท่ากับ 1.8E-06 kg B(a)P คิดเป็น 19.19% และ 5.39E-3 kg PO_4 คิดเป็น 0.66% ตามลำดับ

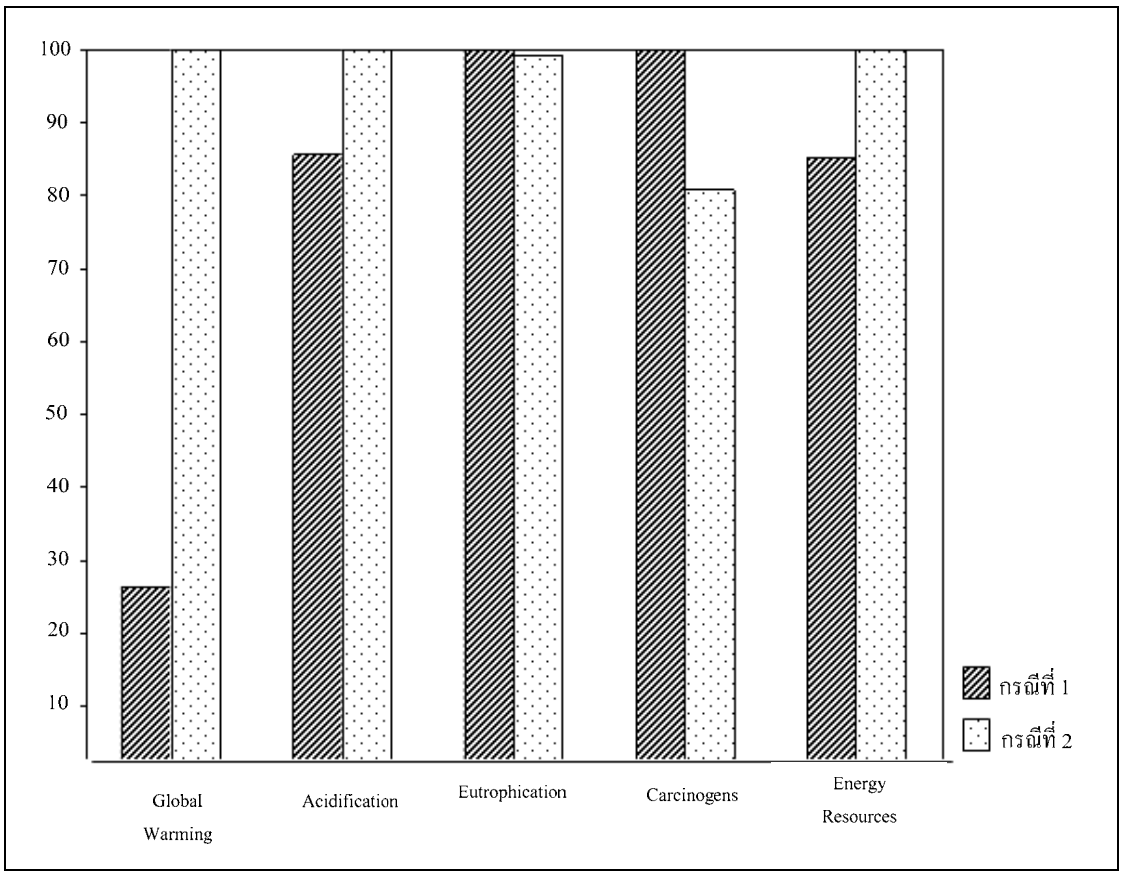
ผลจากการเปรียบเทียบกระบวนการผลิตน้ำตาลของโรงงานกรณีศึกษาที่มีการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์และไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์นั้นพบว่า ทั้ง 2 กรณีจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยกรณีที่ 1 จะส่งผลกระทบในด้านสภาวะโลกร้อน ด้านการใช้พลังงาน และภาวะฝนกรดน้อยกว่า เนื่องมาจากโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษามีการนำชานอ้อยที่ได้จากการผลิตน้ำตาลไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า จึงสามารถทดแทนการใช้ไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นจะถูกนำไปใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานน้ำตาล โรงงานเอทานอล โรงงานปาร์ติเกิลบอร์ดและโรงงานผลิตไฟฟ้าทั้งหมด และไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้ภายในโรงงานได้ถูกนำไปจำหน่ายกับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จึงสามารถลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นได้มากกว่า ส่วนกรณีที่ 2 ส่งผลกระทบด้านสารก่อมะเร็งและการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำมากกว่ากรณีที่ 1 เนื่องมาจากในแต่ละกระบวนการผลิตไม่ว่าจะเป็นการผลิตเอทานอล ปาร์ติเกิลบอร์ดและไฟฟ้า ล้วนแล้วแต่มีการใช้วัตถุดิบ สารเคมี น้ำมันเชื้อเพลิง อาทิเช่น กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ โมลาส และน้ำมันดีเซล ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านสารก่อมะเร็งและการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 4.17 และรูปที่ 4.20

ตารางที่ 4.17 สรุปค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของแต่ละกระบวนการ

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
Global warming (Kg CO_2-eq)	41.407	157.460
การปลูกอ้อย	-15.421	-15.421
การขนส่ง	4.851	4.851
การผลิตน้ำตาลทราย	16.329	168.030
การผลิตเอทานอล	2.674	-
การผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด	20.933	-
การผลิตไฟฟ้า	12.042	-
Acidification (kg SO_2-eq)	4.683	5.465
การปลูกอ้อย	2.008	2.008
การขนส่ง	0.049	0.049

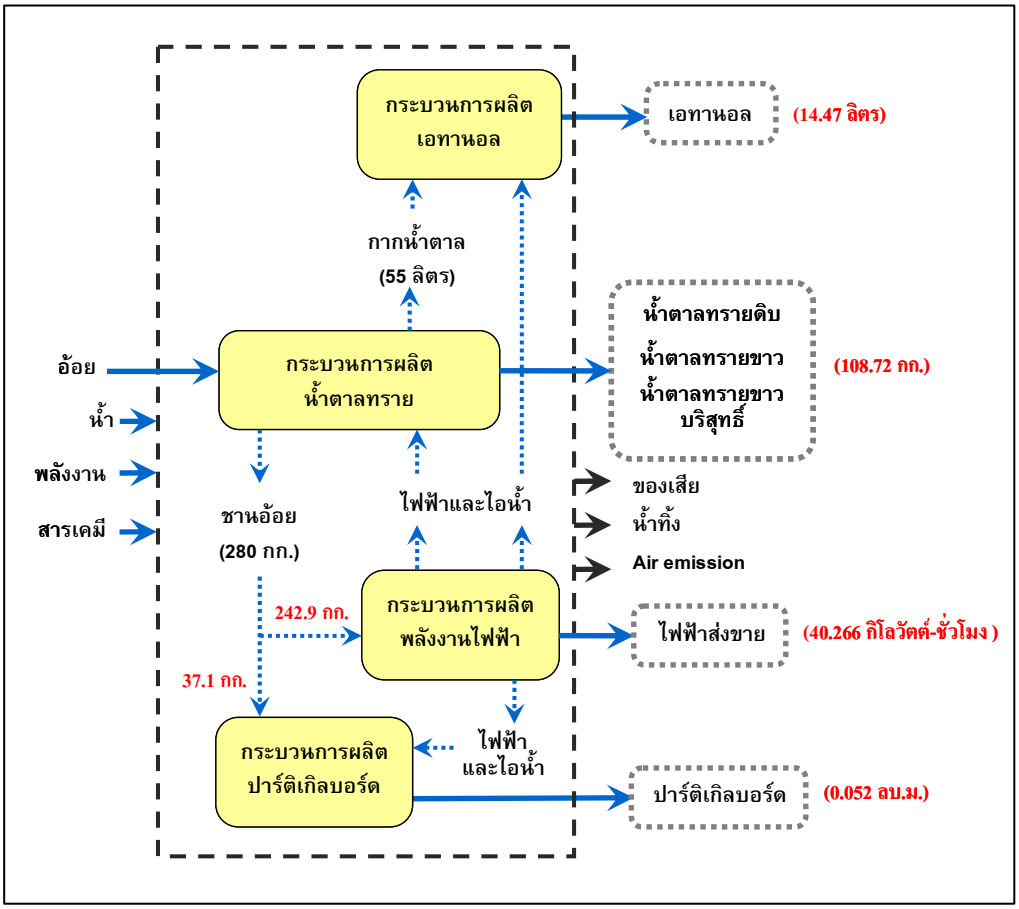
ตารางที่ 4.17 สรุปค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของแต่ละกระบวนการ (ต่อ)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อม	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
การผลิตน้ำตาลทราย	1.914	3.478
การผลิตเอทานอล	0.310	-
การผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด	0.162	-
การผลิตไฟฟ้า	0.240	-
Eutrophication (kg PO_4-eq)	0.812	0.806
การปลูกอ้อย	0.348	0.348
การขนส่ง	0.005	0.005
การผลิตน้ำตาลทราย	0.346	0.453
การผลิตเอทานอล	0.056	-
การผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด	0.021	-
การผลิตไฟฟ้า	0.036	-
การขนส่ง	66.307	206.744
การผลิตน้ำตาลทราย	2095.367	2,719.040
การผลิตเอทานอล	339.402	-
การผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด	1163.837	-
การผลิตไฟฟ้า	291.327	-



รูปที่ 4.20 กราฟผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อย 1 ตันระหว่างกรณีที่ 1 และ 2

แต่อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาถึงประโยชน์และความคุ้มค่าที่เกิดขึ้นจากการนำผลพลอยได้มาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดอื่น ๆ จะเห็นว่า ตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อยปริมาณ 1 ตัน นอกจากจะได้ผลิตภัณฑ์หลัก คือ น้ำตาลทราย 108.72 กิโลกรัมแล้ว ยังได้ผลิตภัณฑ์พลอยได้อื่น ๆ เช่น เอทานอล 14.47 ลิตร ปาร์ติเกิลบอร์ด 0.052 ลูกบาศก์เมตร และไฟฟ้าที่เหลือจากการนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งนำไปจำหน่ายให้การไฟฟ้าแห่งประเทศไทย 40.266 กิโลวัตต์ชั่วโมงดังแสดงในรูปที่ 4.21 และยังรวมถึงไอน้ำที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าที่สามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอลและน้ำตาลทรายได้มากถึง 574.484 กิโลกรัม และนอกจากนี้จากการศึกษาพบว่า โรงงานกรณีศึกษาได้ให้ความสำคัญกับระบบการจัดการสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างดี เช่น มีการจัดตั้งโครงการติดตั้งและปรับปรุงอุปกรณ์เพื่อลดมลภาวะระบบกรองฝุ่น (Dust Controller) ระบบสเปรย์ฝุ่น การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำทิ้ง ปรับปรุงการจัดเก็บขี้เลื่อยโครงการดักฝุ่นจากไซโคลน (Cyclone) และโรงงานได้มีการตรวจวัดมลพิษที่ปล่อยออกจากปล่องโรงงานตามมาตรฐานทุกปีเช่นกัน



รูปที่ 4.21 ผังแสดงผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อย 1 ตัน

ซึ่งหากคำนึงถึงผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการนำผลิตภัณฑ์พลอยได้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายมาใช้นั้น จะสามารถชดเชยการใช้ทรัพยากรธรรมชาติได้เป็นจำนวนมาก โดยเอทานอลที่เกิดจากการใช้กากน้ำตาลปริมาตร 14.47 ลิตร สามารถลดการใช้น้ำมันปิโตรเลียมในการผลิตน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95 ได้ถึง 12.93 ลิตร และกากชานอ้อยสามารถนำไปผลิตเป็นแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ดได้ 0.052 ลูกบาศก์เมตร และผลิตเป็นกระแสไฟฟ้าได้ 69.4 กิโลวัตต์-ชั่วโมง โดยปาร์ติเกิลบอร์ด 0.052 ลูกบาศก์เมตร จะสามารถช่วยลดปริมาณการใช้ไม้ได้ถึง 0.052 ลูกบาศก์เมตร และกระแสไฟฟ้า 69.4 กิโลวัตต์-ชั่วโมง จะสามารถลดปริมาณการใช้ลิกไนต์ได้ 14.37 กิโลกรัม น้ำมันเชื้อเพลิง 0.81 ลิตร น้ำมันดีเซล 0.02 ลิตร และก๊าซธรรมชาติ 489.96 ลูกบาศก์ฟุต ซึ่งนับว่าเป็นทางเลือกที่ดีในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะสามารถนำผลพลอยได้หรือของเสียมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์และพลังงานได้อย่างคุ้มค่าสูงสุด

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 เป้าหมายและขอบเขตการศึกษาวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย

การประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อยในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาตามเป้าหมายการศึกษาทุกประการคือ การจำแนกการใช้ทรัพยากร การใช้พลังงาน จัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม และประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย โดยมีขอบเขตการศึกษาครอบคลุมตั้งแต่ กระบวนการปลูกอ้อย การขนส่งอ้อยจากไร่ไปยังโรงงานน้ำตาลเพื่อเข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำตาล กระบวนการผลิตเอทานอล กระบวนการผลิตไฟฟ้า และกระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด โดยใช้วิธีการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment : LCA) ตามอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040 ซึ่งมี 4 ขั้นตอนหลัก คือ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการ การประเมินผลกระทบ และการแปลผล ซึ่งได้ทำการศึกษาโดยใช้หน่วยหน้าที่ผลิตภัณฑ์จากอ้อย 1 ตัน (1,000 กิโลกรัม) และแบ่งขอบเขตการศึกษาเป็น 3 ส่วน คือ ภาคเกษตรกรรม ภาคการขนส่ง และภาคอุตสาหกรรมการผลิต

5.1.2 การวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis)

การจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (LCI) ที่ได้จากงานวิจัยในครั้งนี้ ผู้วิจัยได้รวบรวมจากข้อมูลปฐมภูมิ ซึ่งได้จากการสัมภาษณ์และสอบถามกลุ่มตัวอย่างเกษตรกรชาวไร่อ้อย จำนวน 355 ราย ในจังหวัดชัยภูมิ จังหวัดเลย จังหวัดขอนแก่น และจังหวัดหนองบัวลำภู ในพื้นที่เขตส่งเสริมการปลูกอ้อยของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา และทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตของโรงงาน รวมทั้งเก็บรวบรวมข้อมูลทุติยภูมิจากเจ้าหน้าที่หรือพนักงานของโรงงาน และการศึกษาข้อมูลเอกสารที่เกี่ยวข้อง เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณการใช้ทรัพยากร ปริมาณการใช้พลังงาน ปริมาณกากของเสีย ผลิตภัณฑ์และผลพลอยได้ หรือมลสารทางอากาศที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแต่ละขั้นตอนในวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย และจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการปลูกอ้อย การขนส่ง การผลิตน้ำตาล การผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด การผลิตเอทานอล และการผลิตกระแสไฟฟ้า

5.1.3 ผลการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์จากอ้อย 1 ตัน จะใช้ข้อมูลที่ได้จากขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis) ซึ่งการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของงานวิจัย ผู้วิจัยได้จำแนกผลกระทบออกเป็นหมวดหมู่ (Classification) โดยการนำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม (Environmental Flows) ที่เก็บรวบรวมได้มาจัดกลุ่มผลกระทบ โดยเลือกจากความสัมพันธ์ของสารขาเข้าและสารขาออกที่เป็นสาเหตุของกลุ่มผลกระทบนั้น ๆ โดยพิจารณาคัดเลือกกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมไว้ 5 ประเภท คือ สภาวะโลกร้อน (Global Warming) ภาวะความเป็นกรด (Acidification) การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ (Eutrophication) สารก่อมะเร็ง (Carcinogens) และการใช้พลังงาน (Energy Resources) สรุปภาพรวมการประเมินผลกระทบได้ดังนี้

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านสภาวะโลกร้อน เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ดมากที่สุด เนื่องจากสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการใช้กาวยูเรียฟอมัลดีไฮด์ในกระบวนการผลิต รองลงมาคือ กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า การขนส่งอ้อย กระบวนการผลิตเอทานอล และกระบวนการปลูกอ้อย ตามลำดับ

ผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรด เกิดขึ้นจากกระบวนการปลูกอ้อยมากที่สุด เนื่องจากการใช้ปุ๋ยเคมีในการปลูกและบำรุงรักษาอ้อย รองลงมาคือ กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย กระบวนการผลิตเอทานอล กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า กระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด และการขนส่งอ้อย ตามลำดับ

ผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ เกิดขึ้นจากการปลูกอ้อยมากที่สุด เนื่องจากมีการใช้ปุ๋ยและสารเคมีในการปลูกและการดูแลอ้อย รองลงมาคือ กระบวนการผลิตน้ำตาลทราย กระบวนการผลิตเอทานอล กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า กระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด และการขนส่งอ้อย ตามลำดับ โดยสาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต และกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงาน จึงทำให้น้ำเสียที่ออกมามีปริมาณไนเตรตและฟอตเฟต ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดผลกระทบด้านการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ

ผลกระทบด้านสารก่อมะเร็ง เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายมากที่สุด ซึ่งมีสาเหตุมาจากในกระบวนการผลิตมีการใช้สารเคมี และใช้ทรัพยากรเป็นจำนวนมากกว่าจะได้ผลิตภัณฑ์น้ำตาลทรายออกมา เช่น การใช้ปูนขาวในกระบวนการทำน้ำเชื่อมใส การใช้เรซินในกระบวนการฟอกสี การใช้สารช่วยในการตกตะกอน (Flocculants) ซึ่งเป็นสารพวก Polyacelamide และการใช้สารเคมีในการบำบัดน้ำเสีย เช่น Sodium Hypochlorite เป็นต้น จึงทำให้ส่งผลกระทบ

มากกว่าด้านอื่น ๆ รองลงมาคือ กระบวนการปลูกอ้อย กระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด กระบวนการผลิตเอทานอล กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าและการขนส่งอ้อย ตามลำดับ

ผลกระทบด้านการใช้พลังงาน เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายมากที่สุด เนื่องจากการในกระบวนการผลิตน้ำตาลมีการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานไอน้ำปริมาณมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการผลิตอื่น ๆ รองลงมาคือ กระบวนการปลูกอ้อย กระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด กระบวนการผลิตเอทานอล กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า และ การขนส่งอ้อย ตามลำดับ

5.1.4 การตีความผลกระทบของผลิตภัณฑ์จากอ้อย

จากการศึกษาประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อย 1 ตัน ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยเพื่อหาคำตอบให้กับสมมติฐานการวิจัยที่ต้องการทราบว่า วงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อยที่มีการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อยที่ไม่มีการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์ ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบเป็น 2 กรณี ได้แก่ กรณีที่ 1 คือ กระบวนการผลิตน้ำตาลที่มีการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์ในการผลิตเอทานอล แผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด และผลิตกระแสไฟฟ้า กรณีที่ 2 คือ กระบวนการผลิตน้ำตาลที่ไม่มีการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์ ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 4 แล้วนั้น พบว่าผลจากการวิจัยสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัยที่ได้กำหนดไว้ คือ วงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อยที่มีการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าการไม่นำผลพลอยได้ไปใช้ ยกเว้นผลกระทบด้านด้านสารก่อมะเร็งที่มีปริมาณมากกว่า 19.19% และการเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำมากกว่า 0.66% แต่อย่างไรก็ตาม นอกจากการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าแล้ว หากพิจารณาให้ครอบคลุมถึงผลประโยชน์ที่ได้รับจะพบว่า ตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย 1 ตัน สามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้อีก เช่น กากน้ำตาลที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล กากชานอ้อยสามารถนำไปผลิตเป็นพลังงานไอน้ำกระแสไฟฟ้า และนำไปผลิตแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด ซึ่งผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เหล่านี้สามารถชดเชยการใช้ทรัพยากรธรรมชาติได้เป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นการช่วยลดการใช้น้ำมันปิโตรเลียมในการผลิตน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95 ลดปริมาณการใช้ไม้ และในการผลิตกระแสไฟฟ้าจากชานอ้อยจะช่วยลดปริมาณการใช้ลิกไนต์ น้ำมันเชื้อเพลิง น้ำมันดีเซล และก๊าซธรรมชาติได้อีกเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้พลังงานไอน้ำที่เกิดจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ยังสามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตอื่น ๆ ได้อีก ซึ่งถือได้ว่าเป็นกระบวนการผลิตที่ครบวงจร เพราะทำให้ลดปริมาณของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตได้เป็นจำนวนมาก และยังสามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ได้อีกหลายชนิด จึงนับว่าวงจรชีวิต

ผลิตภัณฑ์จากอ้อยที่มีการนำผลพลอยได้ไปใช้ประโยชน์เป็นทางเลือกที่ดีอีกทางเลือกหนึ่งในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประสิทธิภาพ และเกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อให้สอดคล้องกับยุคปัจจุบันที่ทั่วโลกหันมาให้ความสำคัญกับมาตรการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดี

5.2 ข้อจำกัดของการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย

ข้อจำกัดของการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์จากอ้อยในครั้งนี้คือ โรงงานกรณีศึกษาไม่สามารถให้ข้อมูลวัตถุดิบหรือสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตได้ครบถ้วนตามความเป็นจริง เนื่องจากเป็นเหตุผลทางค้าของโรงงาน ซึ่งอาจจะทำให้ค่าที่ได้จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น อาจคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้

5.3 การนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์จากอ้อย จะสามารถทำให้ประเทศไทยมีฐานข้อมูลด้านการพัฒนาผลิตภัณฑ์และการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์พลอยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และเกิดประโยชน์สูงสุด

5.3.1 ประโยชน์จากการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อย

การประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์จากอ้อย ที่พิจารณาตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการจนกระทั่งการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์และผลิตภัณฑ์พลอยได้ จะทำให้ทราบว่าในแต่ละขั้นตอนของวงจรชีวิตมีการใช้วัตถุดิบ สารเคมี และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด และขั้นตอนใดที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงกระบวนการผลิต หรือพัฒนาผลิตภัณฑ์ที่สามารถส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด

5.3.1.1 ประโยชน์ต่อกลุ่มผู้ผลิต

กลุ่มผู้ผลิตหรือกลุ่มโรงงานน้ำตาล สามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์จากอ้อยได้ดังนี้

- ใช้ปรับปรุงคุณภาพกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย การเตรียมมาตรการในการแก้ไขปัญหามลพิษที่เกิดจากกระบวนการผลิต และการจัดการสิ่งแวดล้อมของโรงงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
- พัฒนาแนวทางการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์พลอยได้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ได้แก่ การนำกากน้ำตาลไปใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตเอทานอล หรือการนำชานอ้อยไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระแสไฟฟ้า ที่นับวันจะมีแนวโน้มความต้องการสูงขึ้นตามความต้องการพลังงานของประเทศและของโลกที่กำลังขยายตัวมากขึ้น

5.3.1.2 ประโยชน์ต่อเกษตรกรชาวไร่อ้อย

เกษตรกรชาวไร่อ้อย สามารถใช้ข้อมูลที่ได้นำไปพัฒนาคุณภาพของอ้อย เพื่อให้สอดคล้องกับนโยบายของรัฐบาลในการเร่งรัดการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอ้อย ที่มีเป้าหมายเพื่อเพิ่มผลผลิตอ้อยในพื้นที่ปลูกเดิมโดยไม่ขยายพื้นที่การปลูก โดยให้ได้ผลผลิตต่อไร่เพิ่มขึ้น และเพิ่มค่าความหวาน (C.C.S.) ทั้งนี้นโยบายดังกล่าวจะส่งผลให้อุปสงค์ของการใช้อ้อยและกากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบเพิ่มสูงขึ้น ทำให้มีความต้องการของตลาดมากขึ้นและรองรับผลผลิตที่เกษตรกรทำการปลูกได้อย่างเพียงต่อความต้องการ สำหรับแนวทางการเพิ่มผลผลิตอ้อยและเพิ่มค่าความหวานนั้น สามารถทำได้โดยเกษตรกรควรเลือกปลูกอ้อยสายพันธุ์ที่มีความเหมาะสมกับสภาพดินและสภาพภูมิอากาศของในแต่ละพื้นที่ ควรเลือกพันธุ์อ้อยที่มีความทนทานต่อการเกิดโรคและมีความสามารถในการแตกกอดีมีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดสูง ซึ่งปัจจุบันทางโรงงานน้ำตาลได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนาสายพันธุ์อ้อยให้มีความทนทานต่อโรค มีผลผลิตและค่าความหวานสูงขึ้น และส่งเสริมให้เกษตรกรนำไปปลูกมากขึ้น

5.3.1.3 ประโยชน์ต่อการพัฒนาประเทศ

รัฐบาลสามารถใช้ประโยชน์จากการข้อมูลด้านประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์จากอ้อย โดยใช้เป็นฐานข้อมูลในการจัดทำแผนหรือนโยบายการส่งเสริมและสนับสนุนหรือเพื่อผลักดันให้เกิดโรงงานน้ำตาลทรายที่ดำเนินการอย่างครบวงจรมากขึ้น เพื่อเป็นการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ สร้างแรงงานและเป็นแนวทางในพัฒนาอุตสาหกรรมไทยให้มีประสิทธิภาพและสามารถแข่งขันกับคู่ค้าต่างประเทศได้

5.3.2 ประโยชน์จากงานวิจัยด้านการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์

งานวิจัยด้านการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหารของประเทศไทยนั้นยังมีอยู่น้อยมาก ทั้งที่ประเทศไทยเป็นประเทศ “อู่ข้าวอู่น้ำ” มีพืชผลทางการเกษตรที่หลากหลายมากมาย ดังนั้นงานวิจัยการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อยในครั้งนี้ จึงเป็นการเพิ่มฐานข้อมูลของผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหารที่สำคัญของประเทศไทย รวมทั้งยังใช้เป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาฐานข้อมูลการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์เกษตรและอาหารอื่น ๆ ได้ต่อไปในอนาคต

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ข้อเสนอแนะในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์อ้อยนั้น สามารถลดลงได้โดยจะต้องอาศัยความร่วมมือจากภาคส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญ คือ

5.4.1.1 ภาคเกษตรกรชาวไร่อ้อย

ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยพบว่าในกระบวนการปลูกอ้อย โดยเฉพาะในขั้นตอนการเตรียมพื้นที่เพาะปลูกและการเก็บเกี่ยวผลผลิต เกษตรกรสามารถมีส่วนร่วมในการลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ก่อให้เกิดสภาวะโลกร้อนได้ โดยการไม่เผาใบอ้อยเพื่อเก็บเกี่ยวผลผลิต และไม่เผาตอซังหรือเศษใบอ้อยเพื่อเตรียมแปลงปลูก เพราะเศษเหลือเหล่านี้สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ อีกทั้งยังส่งผลดีต่อหน้าดิน เพราะไม่ถูกทำลายแร่ธาตุและสารอาหารทำให้การปลูกอ้อยในครั้งต่อไปเจริญเติบโตดีขึ้นและได้ผลผลิตที่ดี

นอกจากนี้เกษตรกรยังสามารถลดผลกระทบด้านภาวะความเป็นกรด การเพิ่มขึ้นของแร่ธาตุอาหารในแหล่งน้ำ และสารก่อมะเร็งได้ โดยการลดการใช้ปุ๋ยและสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ยาฆ่าแมลง โดยหันมาใช้ปุ๋ยชีวภาพและสารสกัดชีวภาพแทน นอกจากจะปลอดภัยและยังเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายหรือลดต้นทุนการผลิตได้เป็นอย่างดี ในด้านการขนส่งเกษตรสามารถลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงจากการขนส่งอ้อยไปยังโรงงานได้ โดยการเตรียมการวางแผน ศึกษาเส้นทางและเลือกเส้นทางที่ใกล้โรงงานมากที่สุด นอกจากจะเป็นการลดต้นทุนการขนส่งแล้ว ยังลดมลพิษที่เกิดจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้

5.4.1.2 ภาคอุตสาหกรรม

โรงงานผลิตน้ำตาล ควรให้ความสำคัญกับการนำผลิตภัณฑ์พลอยได้กลับมาใช้ประโยชน์มากขึ้น ตลอดจนการหามาตรการส่งเสริม สนับสนุน หรือจูงใจให้เกษตรกรหันมาใช้ปุ๋ยชีวภาพแทนสารเคมี ลดการเผาตอซังเพื่อเตรียมการเพาะปลูก ลดการเผาใบอ้อยในฤดูเก็บเกี่ยว หรือพัฒนาแนวทางหรือรูปแบบที่เหมาะสมในการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงาน เพื่อให้สามารถขนส่งอ้อยได้มากที่สุด และประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง อีกทั้งยังเป็นการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงได้ นอกจากนี้โรงงานสามารถมีส่วนร่วมในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นได้จากกระบวนการผลิตได้ เช่น การปรับเปลี่ยนวัตถุดิบหรือเลือกใช้วัตถุดิบหรือสารเคมีในกระบวนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด เช่น ในกระบวนการผลิตปาร์ติเกิลบอร์ด ผลกระทบหลักเกิดจากการใช้กาวยูเรียฟอร์มัลดีไฮด์ในกระบวนการผลิต โรงงานอาจเปลี่ยนมาใช้กาวแทนนิน หรือกาวฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ หรือกาวเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์แทน ซึ่งอาจมีต้นทุนการผลิตที่สูงขึ้น แต่จะได้ผลิตภัณฑ์ปาร์ติเกิลบอร์ดที่มีคุณภาพกว่า เพราะมีความสามารถในการทนต่อความชื้นได้สูงกว่า และยังช่วยลดการปลดปล่อยฟอร์มาลีนออกสู่สิ่งแวดล้อมได้มากกว่า

5.4.1.3 ภาครัฐบาล

ภาครัฐบาลควรกำหนดนโยบายหรือทิศทางการบริหารจัดการการผลิตน้ำตาลเพื่อเป็นอาหารและพลังงานให้มีความชัดเจน รวมทั้งการส่งเสริมและสนับสนุนการใช้

เชื้อเพลิงชีวภาพ และการใช้ประโยชน์จากผลิตภัณฑ์พลอยได้ของโรงงานน้ำตาลทราย ตลอดจนการสนับสนุนงบประมาณ แหล่งทุน แหล่งเงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ หรือการใช้มาตรการลดหย่อนภาษีเพื่อเป็นแรงจูงใจให้กับภาคธุรกิจมากขึ้น เพื่อเป็นการพัฒนาและยกระดับคุณภาพโรงงานน้ำตาลทรายของประเทศ ต่อไปในอนาคต

5.4.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยต่อไป

จากการประเมินวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย ตั้งแต่การปลูกไปจนถึงการได้มาซึ่งผลิตภัณฑ์น้ำตาลทราย การนำกากน้ำตาลมาผลิตเป็นเอทานอล การนำชานอ้อยมาผลิตกระแสไฟฟ้าและแผ่นปาร์ติเกิลบอร์ด ทำให้ทราบว่าขั้นตอนใดส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมปริมาณเท่าไหร่ ซึ่งประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ คือ ทำให้มีฐานข้อมูลผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำไปใช้ในการพัฒนา ปรับปรุงหรืออาจนำไปใช้เป็นแนวทางในการปรับเปลี่ยนวัตถุดิบกระบวนการผลิตที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด เพื่อประโยชน์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์อีกทั้งยังเป็นการยกระดับคุณภาพและสร้างลักษณะพิเศษให้กับผลิตภัณฑ์ได้ต่อไปในอนาคต เช่น การทำคาร์บอนฟุตพริ้นท์ (Carbon Footprint) เพื่อให้ข้อมูลแก่ผู้บริโภคเกี่ยวกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของผลิตภัณฑ์ ซึ่งคำนวณในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า เป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคประกอบการพิจารณาเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังส่งเสริมให้ภาคอุตสาหกรรมของไทยทันกระแสโลกและเพิ่มขีดความสามาถในการแข่งขันในตลาดโลก และจากการศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยพบว่า ประเทศไทยยังขาดฐานข้อมูลวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์ที่เป็นข้อมูลที่สำคัญไม่ว่าจะเป็นด้านอาหาร ด้านการเกษตร พลังงานและเชื้อเพลิง เช่น ฐานข้อมูลสารเคมีกำจัดศัตรูพืช ยาฆ่าแมลง สารเคมีหรือวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตบางประเภท ทั้งนี้ หากมีการศึกษาวิจัยต่อไปในอนาคตอาจจะทำให้เป็นฐานข้อมูลที่สำคัญในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ของประเทศไทยเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงด้านการค้า การลงทุน และการพัฒนาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต (Environment Sustainable Development)

รายการอ้างอิง

กนกวรรณ จาตกะวร. (2548). **การวิเคราะห์ศักยภาพการส่งออกของอุตสาหกรรมน้ำตาลทรายไทยในตลาดโลก.** วิทยานิพนธ์ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเศรษฐศาสตร์ธุรกิจ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. (2550). **หยุดโลกร้อนด้วยชีวิตพอเพียง**. คู่มือประชาชน. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กองส่งเสริมและเผยแพร่ ส่วนสิ่งแวดล้อมศึกษา.

กฤษกร เจียมจำรัสศิลป, กริณา จอมคำศรีและเสกสรร พาป้อง (ม.ป.ป). **การประเมินวัฏจักรชีวิตของสีผง.** การประชุมวิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 15. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกียรติสุดา ศรีสุข. (2549). **การกำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างในงานวิจัย**. วารสารวัดผลและวิจัยการศึกษา ปีที่ 21 ฉบับที่ 1 พฤษภาคม 2549. ภาควิชาประเมินผลและวิจัยการศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 20.

จันทิมา อุทะกะ. (2550). **การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA)** [ออนไลน์]. ได้จาก http://www2.mtec.or.th/

จำนาญ โคตรภูเวียง. (2550) **เอกสารประกอบการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ด้านอ้อย.** [ออนไลน์]. ได้จาก http://www.mitrpholresearch.com/paper.htm

ชุติมา บุษบง, ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญและงามทิพย์ ภู่วโรดม. (2551). การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของกระทงที่ประดิษฐ์จากพลาสติกโฟม. การประชุมวิชาการเทคโนโลยีและนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น วันที่ 28-29 มกราคม 2551.

เดชา พิมพิสุทธิ์. (2550). **การประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศเพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพเชิงเศรษฐ-นิเวศน์ อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง.** สมาคมแป้งมันสำปะหลังไทย.

ธนัช ศรีพนม. (2551). การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์. **วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.** 2(1): 29-36.

ประเสริฐ ภวสันต์. (2552). **วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์โดยใช้หลักการของ Life Cycle Assessment (LCA).** เอกสารประกอบการอบรม ค่ายโครงการ Eco Design Revolution

Camp : ค่ายปฏิวัติการออกแบบลดโลกร้อน วันที่ 13-15 พฤษภาคม 2552 ณ บ้านวิทยาศาสตร์สิรินธร สวทช. อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย.

ปรีชา พราหมณีย์. (2551). **การจัดการดินและการใช้ปุ๋ยในไร่อ้อย.** เอกสารเผยแพร่อันดับที่ 57. สำนักส่งเสริมและฝึกอบรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ปรีชา สุริยพันธุ์. (2542). **การพัฒนาอ้อยและน้ำตาลไทย.** สถาบันวิจัยพืชไร่. กรมวิชาการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์: กรุงเทพฯ.

พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์. (ม.ป.ป.) **การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์** [ออนไลน์]. ได้จาก: http://ftiweb.off.fti.or.th/iei/images/pdf/2.LCA-train-2.pdf

พิพัฒน์ วีระถาวร. (2548). **อ้อยวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาล**. เอกสารประกอบการอบรมหลักสูตร "ความรู้พื้นฐานด้านอ้อย" วันที่ 24-26 มิถุนายน 2547 บริษัท มิตรผลวิจัย พัฒนาอ้อยและน้ำตาลจำกัด.

พิศิษฐ์ วัฒนสมบูรณ์. (2544). **หลักมลพิษทางอากาศ.** เล่ม 1. คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล: กรุงเทพฯ.

พัลลภา เพชรวรกุล. (2544). **การศึกษาผลกระทบของมาตรการเปิดเสรีสินค้าเกษตรภายใต้องค์การการค้าโลกที่มีต่ออุตสาหกรรมน้ำตาลไทย.**วิทยานิพนธ์เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภัทรา เพ่งธรรมกีรติ. (2552). **ไทยกับพันธกรณีลดโลกร้อนไนตรัสออกไซด์ก๊าซโลกร้อนพิษ 300 เท่า** [ออนไลน์]. ได้จาก **http://www.newsblank.com/politics**

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ. (2548). **รายงานฉบับสมบูรณ์ "การเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย".** สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. กรุงเทพฯ.

มูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย. (2551). **หลักการและกระบวนการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์.** การฝึกอบรมพัฒนาบุคลากรด้าน LCA และ Eco-Design โครงการจัดทำคู่มือข้อมูลวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ วันที่ 28-30 เมษายน 2551. กรุงเทพฯ.

วาสนา วิทยาเกียรติเลิศ. (2546). **การประยุกต์การบริหารฐานกิจกรรมในธุรกิจน้ำตาลทรายขนาดกลาง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. ภาควิชาการบัญชี. คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรยุทธ สายบัวตรงและธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ. (2550). **การศึกษาเปรียบเทียบพลังงานสุทธิและผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอล.** การประชุม

วิชาการวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17 ประจำปี 2550. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ. (2547ก). **รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย. ส่วนที่ 3. การจัดทำดัชนีชี้วัดและค่ามาตรฐานประสิทธิภาพการผลิตของระบบการผลิตโดยรวมและในแต่ละ Unit Operation.** สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. กรุงเทพฯ.

สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ. (2547ข). **รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย. ส่วนที่ 1. รายงานการศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพของอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลของไทยกับต่างประเทศ.** สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย.กรุงเทพฯ.

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2550). **รายงานการศึกษาฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาการประเมินวงจรชีวิตการผลิตและการใช้เอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อย.** กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน: กรุงเทพฯ.

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2551). **โลกร้อนผลการเจรจาต่อการปรับนโยบายและแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมและพลังงานของประเทศ.** เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ “ภาวะโลกร้อนในบริบทสังคมไทย” วันที่ 29 กรกฎาคม 2551. กรุงเทพฯ.

สุภัทรา น. วรรณพิณ และ พวงเพชร สุรัตนกวีกุล. (2541). **ประวัติการผลิตน้ำตาลจากอ้อยในประเทศไทย.** บริษัทน้ำตาลมิตรผล จำกัด.

เสกสรร พาป้องและปมทอง มาลากุล ณ อยุธยา. (2551). **การประเมินความคุ้มค่าเชิงพลังงานและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตไบโอเอทานอลจากมันสำปะหลังโดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต.** การประชุมวิชาการเทคโนโลยี และนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน.คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นวันที่ 28-29 มกราคม 2551.

สำราญ แสนสุโพธิ . (2551). **การจัดการน้ำในไร่อ้อย** เอกสารประกอบการฝึกอบรมเจ้าหน้าที่บริษัทมิตรผลวิจัย พัฒนาอ้อยและน้ำตาล จำกัด

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2549). **ความรู้เกี่ยวกับ “น้ำตาลทราย”.** กรุงเทพฯ.

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2551ก). **การศึกษาสำรวจพื้นที่ปลูกอ้อยในปีการผลิต 2550/51.** [ออนไลน์]. ได้จาก http://www.ocsb.go.th/

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2551ข). **หน่วยวัดความหวานของอ้อย.** [ออนไลน์]. ได้จาก http://www.ocsb.go.th/

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2551ค). **สรุปสถานการณ์และแนวโน้มการผลิตน้ำตาลของโลก.** [ออนไลน์]. ได้จาก http://www.ocsb.go.th/

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2553ก). **รายงานการผลิตอ้อยและน้ำตาลทรายประจำปีการผลิต 2552/53** [ออนไลน์]. ได้จาก http://www.ocsb.go.th/

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (2553ข). **โรงงานน้ำตาล.** [ออนไลน์]. ได้จาก http://www.ocsb.go.th/

สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย. (ม.ป.ป). **๕ บทบันทึกแห่งอ้อยและน้ำตาลทรายไทย**. บริษัท สันติภาพ แพ็คพริ้นท์ จำกัด : กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2550). **ตัวชี้วัดเศรษฐกิจการเกษตรของประเทศไทย ปี 2550.** ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร : กรุงเทพฯ.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2553). **สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญและและแนวโน้ม ปี 2553.** สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร: กรุงเทพฯ.

สำนักนโยบายเศรษฐกิจการพาณิชย์. (2547). **อ้อยและน้ำตาล.** สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์: กรุงเทพฯ.

หทัยชนก นัดสถาพร. (2550). **การประเมินวงจรชีวิตเชิงสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ข้าว.** นครราชสีมา : วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

หทัยรัตน์ การีเวทย์. (2551). **สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายจากการจราจรในเขตกรุงเทพมหานคร.** [ออนไลน์]. ได้จาก http://www.pcd.go.th

Berndt, C. Christopher, Hodzio, A. (2007). Bagasse Fibre for Sustainable Manufacturing. **Journal of Biobased Materials and Bioenergy**. 12: 289-300

Brentrup, F., Kusters, J., Kuhlmann, H. and Lammel, J. (2001). Application of the Life Cycle Assessment Methodology to Agricultural Production: An Example of Sugar Beet Production with Different Forms of Nitrogen Fertilizers. **European Journal of Agronomy** . 14: 221-233.

Foster, C. , Green, K., Bleda, M., Dewick, P., Evans, B., Flynn, A. and Mylan, J. (2006). **Environmental Impacts of Food Production and Consumption Final Report to the Department for Environment Food and Rural Affairs.** Manchester Business School.Defra, London. UK.

Helias A.U., Jolliet O., Finnveden G., Hauschild M., Krewitt W., and Wenk M. (1999). **Best Available Practice Regarding Impact Catagories and Category Indicators in Life Cycle Impact Assessment.** International Journal Life Cycle Assess (1999). No.3. page 167-174.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (1996). **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.** [Online]. Available: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm.

International Organization for Standardization. (2006). **ISO 14040 Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework** [Online]. Available: http://www.iso.org.

International Organization for Standardization. (2006). **ISO 14044 Environmental management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines**. [Online]. Available: http://www.iso.org**.**

Kasmaprapruet, S., Paengjuntuek, W., Saikhwan, P. and Phungrassami, H. (2009). **Life Cycle Assessment of Milled Rice Production: Case Study in Thailand**. Europearn Journal of Scientific Research. 2: 195-203.

Khongsiri, S., Harabut, V. and Mungcharoen, T. (2005). **Life Cycle Assessment or Cassava Production and Cassava Starch.** Bangkok: International Workshop on Capacity Building on "Life Cycle Assessment in APEC Economies".

Margarita, A., Moya, C., Domínguez, E.R., Dewulf, J., Langenhove, H.V., Gil, M.P. and Herrero, R.S. (2007). **Life Cycle Assessment Combined with Exergetic Analysis in Cane Sugar Production Analysis.** Central University 'Marta Abreu' of Las Villas. Cuba Ghent University. Belgium.

Mungkung, R. (2006). **Life Cycle Assessment of Thai Shrimp.** Department of Environmental Science. Faculty of Science. Kasetsart University. Bangkok. Thailand.

Nguyen, T. L. T. and Gheewala, S. H. (2008). **Life cycle assessment of fuel ethanol from cane molasses in Thailand.** International Journal Life Cycle Assess (2008). 13: 301-311.

Ramjeawon, T. (2004). **Life Cycle Assessment of Cane-Sugar on the Island of Mauritius.** Journal of Life cycle Assessment. 9: 254-260.

Regis Lima Verde Leal, M. (2005). **Better Sugar; Better Business. Mill Issue and Co-product.** [Online]. Available: http://www.aassets.panda.org/downloads/millissuesandcoproducts.pdf

Renouf, M. (2006). **Life Cycle Assessment (LCA) of Sugarcane Production in Queensland.** Interim Results of Work Part of Broader Research Project – Evaluating the Environmental Implication of Product Diversification in the Australian Sugar Industry.

Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC). (1997). **The Life Cycle Initiative** [Online]. Available**:** http://www.setac.org/

United Nations Environment Programme (UNEP). (1996). **Towards the Global Use of Life Cycle Assessment.** [Online]. Available: http://www.grida.no/news/press/2014.aspx

World Wide Fund for Nature (WWF). (2007). Global Freshwater Programme. **Sugar and the Environment: Encouraging Better Management Practice in Sugar Production.** [Online]. Available: www.panda.org/freshwater.

ภาคผนวก ก

แบบสอบถามในการเก็บรวบรวมข้อมูล

ตารางที่ ก.1 ตัวอย่างแบบสอบถามการปลูกอ้อย ดูแล เก็บเกี่ยว และการขนส่งอ้อย

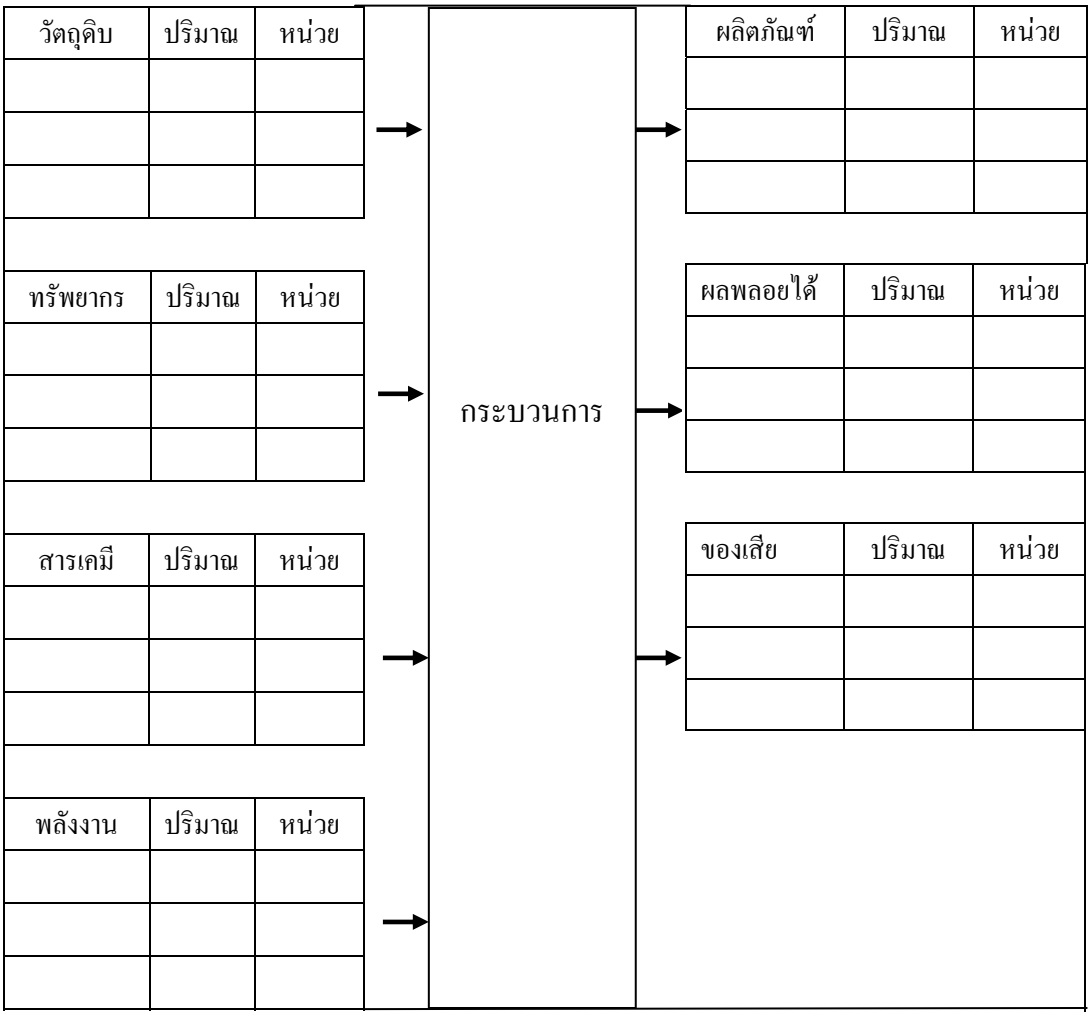
ข้อมูลทั่วไป

ชื่อ	
ที่อยู่	

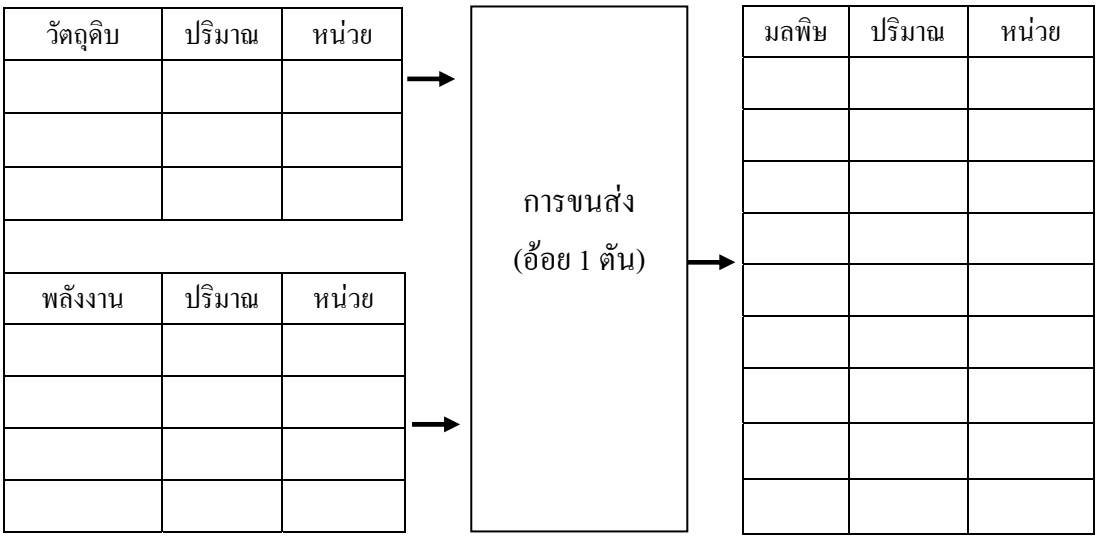
ข้อมูลการปลูก ดูแล เก็บเกี่ยว และการขนส่งอ้อย

รายละเอียด	จำนวน	หน่วย	หมายเหตุ
1 พื้นที่ปลูกอ้อย (ไร่)			
2 พื้นที่อ้อยไฟไหม้ (ไร่)			
3 ปริมาณท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูก			
4 ปริมาณยาคุมหญ้าที่ใช้ (กก./ไร่)			
5 ปริมาณยาฆ่าแมลงที่ใช้ (กก./ไร่)			
6 ปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ (กก./ไร่)			
7 ปริมาณปุ๋ยหมัก/ปุ๋ยคอกที่ใช้ (กก./ไร่)			
8 จำนวนคนงานตัดอ้อย (คน)			
9 ปริมาณอ้อยที่ได้จากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)			
10 เศษเหลือจากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)			
11 ระยะทางบรรทุกอ้อยจากไร่ไปสถานีขนถ่าย (กม.)			
12 ระยะทางบรรทุกอ้อยจากไร่ไปโรงงาน (กม.)			
13 ประเภทรถที่ใช้บรรทุกอ้อย ❑ 4 ล้อ ❑ 6 ล้อ ❑10 ล้อ ❑ รถอื่นๆ โปรดระบุ.....			
14 ปริมาณน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการบรรทุกอ้อย (ไป-กลับ) ❑ เบนซิน ❑ ดีเซล			

ตารางที่ ก.2 ตัวอย่างตารางการเก็บข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษา



ตาราง ก.3 ตัวอย่างตารางการเก็บข้อมูลจากขนส่งอ้อย



ตารางที่ ก.4 สรุปข้อมูลจากแบบสอบถาม (ด้านการปลูกอ้อย การดูแล และการเก็บเกี่ยว)

รายละเอียด		หน่วย	Min	Max	Average	Median	SD.	Count
1.	พื้นที่ปลูกอ้อย	ไร่	3	1,000	74.56	30.00	121.2	355
2.	พื้นที่อ้อยไฟไหม้	ไร่	0	500	29.70	12.00	49.3	355
3.	ปริมาณท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูก	ตัน/ไร่	0.2	4	1.50	1.50	0.56	355
4.	ปริมาณยาคุมหญ้าที่ใช้	กก./ไร่	0	2.5	0.99	1.00	0.35	355
5.	ปริมาณยาฆ่าแมลงที่ใช้	กก./ไร่	0	2	1.02	1.00	0.38	355
6.	ปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้	กก./ไร่	50	200	125.07	100.00	36.7	355
7.	ปริมาณปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกที่ใช้	กก./ไร่	0	200	8.02	0.00	27.2	355
8.	จำนวนคนงานตัดอ้อย	คน	2	20	7.88	6.00	5.28	355
9.	ปริมาณอ้อยที่ได้จากการเก็บเกี่ยว	ตัน/ไร่	8	20	10.97	10.00	2.31	355
10.	เศษเหลือจากการเก็บเกี่ยว	ตัน/ไร่	0.5	5	3.00	3.00	1.35	355

ตารางที่ ก.5 สรุปข้อมูลการขนส่งจากไร่ถึงสถานีขนถ่าย (จังหวัดหนองบัวลำภู)

ประเภทรถที่ใช้ในการบรรทุก	Min	Max	Average	Median	SD.	จำนวน	ร้อยละ
(ก) รถไถ หรือ อีแต๊ก						8	36.36
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	2	2.5	2.13	2.00	0.23		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	1	2	1.50	1.50	0.53		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	3	5	4.25	4.50	0.89		
(ข) รถอีแต๋น						8	36.36
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	3	4.5	3.88	4.00	0.58		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	2	3	2.63	2.75	0.44		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	2	7	4.25	4.00	2.05		
(ค) รถบรรทุก 4 ล้อ						4	18.18
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	5.5	6	5.75	5.75	0.29		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	2.5	10	6.25	6.25	4.33		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	2	15	8.50	8.50	7.51		
(ง) รถบรรทุก 6 ล้อ						2	9.09
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	7	7	7.00	7.00	0.00		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	8	10	9.00	9.00	1.41		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	6	8	7.00	7.00	1.41		
(จ) รถบรรทุก 10 ล้อ						0	0.00
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	-	-	-	-	-		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	-	-	-	-	-		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	-	-	-	-	-		
(ฉ) รถพ่วง 18 ล้อ						0	0.00
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	-	-	-	-	-		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	-	-	-	-	-		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	-	-	-	-	-		
รวม						22	100

ตารางที่ ก.6 สรุปข้อมูลการขนส่งจากไร่ถึงสถานีขนถ่าย (จังหวัดขอนแก่น)

ประเภทรถที่ใช้ในการบรรทุก	Min	Max	Average	Median	SD.	จำนวน	ร้อยละ
(ก) รถไถ หรือ อีแต๊ก						3	14.29
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	2	2.5	2.17	2.00	0.29		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	1	2.5	2.00	2.50	0.87		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	2	6	4.33	5.00	2.08		
(ข) รถอีแต๋น						0	0.00
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	-	-	-	-	-		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	-	-	-	-	-		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	-	-	-	-	-		
(ค) รถบรรทุก 4 ล้อ						9	42.86
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	5	6	5.11	5.00	0.33		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	4	5	4.67	4.50	0.35		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	3	35	14.00	14.00	9.14		
(ง) รถบรรทุก 6 ล้อ						7	33.33
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	8	10	9.57	10.00	0.79		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	5	20	13.57	16.00	6.13		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	1.5	15	9.79	12.00	5.61		
(จ) รถบรรทุก 10 ล้อ						2	9.52
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	22	25	23.50	23.50	2.12		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	20	25	22.50	22.50	3.54		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	8	10	9.00	9.00	1.41		
(ฉ) รถพ่วง 18 ล้อ						0	0.00
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	-	-	-	-	-		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	-	-	-	-	-		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	-	-	-	-	-		
รวม						21	100

ตารางที่ ก.7 สรุปข้อมูลการขนส่งจากไร่ถึงสถานีขนถ่าย (จังหวัดเลย)

ประเภทรถที่ใช้ในการบรรทุก	Min	Max	Average	Median	SD.	จำนวน	ร้อยละ
(ก) รถไถ หรือ อีแต๊ก						31	38.27
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	1	3	1.85	2.00	0.45		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	1	5	2.55	2.00	1.52		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	0.2	21	8.17	7.00	5.34		
(ข) รถอีแต๋น						30	37.04
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	1.5	4.5	2.30	2.00	0.77		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	1	5	2.53	2.00	0.86		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	0.2	12	4.65	4.50	2.97		
(ค) รถบรรทุก 4 ล้อ						7	8.64
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	5	7	5.57	5.00	0.79		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	4	7	5.29	5.00	0.95		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	5	21	10.14	8.00	5.52		
(ง) รถบรรทุก 6 ล้อ						13	16.05
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	7	15	9.69	10.00	1.93		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	4	20	10.69	10.00	5.07		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	1	20	7.92	4.00	7.48		
(จ) รถบรรทุก 10 ล้อ						0	0.00
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	-	-	-	-	-		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	-	-	-	-	-		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	-	-	-	-	-		
(ฉ) รถพ่วง 18 ล้อ						0	0.00
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	-	-	-	-	-		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	-	-	-	-	-		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	-	-	-	-	-		
รวม						81	100

ตารางที่ ก.8 สรุปข้อมูลการขนส่งจากไร่ถึงสถานีขนถ่าย (จังหวัดชัยภูมิ)

ประเภทรถที่ใช้ในการบรรทุก	Min	Max	Average	Median	SD.	จำนวน	ร้อยละ
(ก) รถไถ หรือ อีแต๊ก						24	20.00
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	2.00	3.00	2.65	2.50	0.31		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	0.50	2.00	1.21	1.00	0.49		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	0.70	8.00	3.60	3.00	2.17		
(ข) รถอีแต๋น						83	69.17
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	3.50	10.00	4.63	4.50	1.04		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	1.00	10.00	2.61	2.00	1.61		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	1.00	40.00	7.42	6.00	6.41		
(ค) รถบรรทุก 4 ล้อ						8	6.67
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	4.50	7.00	5.38	5.00	1.03		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	2.00	5.00	3.88	4.00	0.95		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	3.00	10.00	6.25	6.00	2.71		
(ง) รถบรรทุก 6 ล้อ						5	4.17
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	6.50	7.50	7.10	7.50	0.55		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	5.00	8.00	6.80	8.00	1.64		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	4.00	20.00	13.60	20.00	8.76		
(จ) รถบรรทุก 10 ล้อ	-	-	-	-	-	0	0.00
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	-	-	-	-	-		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	-	-	-	-	-		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	-	-	-	-	-		
(ฉ) รถพ่วง 18 ล้อ	-	-	-	-	-	0	0.00
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	-	-	-	-	-		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	-	-	-	-	-		
ระยะทางในการขนส่ง (กม.)	-	-	-	-	-		
รวม						120	100

ตาราง ก.9 ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกรชาวไร่อ้อยจังหวัดหนองบัวลำภู จำนวน 22 ชุด

รายละเอียด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1. พื้นที่ปลูกอ้อย (ไร่)	9	20	14	9	10	14	10	20	9	50	60	25	60	40	25	64	35	15	15	35	40	60
2. พื้นที่อ้อยไฟไหม้ (ไร่)	0	5	10	2	5	5	10	10	5	4	30	10	20	12	10	25	15	5	10	10	20	20
3. ปริมาณท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูก (ตัน/ไร่)	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1.5	2	1	1	1.5	2	2	1.5	1.5	1.5
4. ปริมาณยาคุมหญ้าที่ใช้ (กก./ไร่)	1	0.5	1	1	0	1	0	0.5	1	1	0.8	1	0.8	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5. ปริมาณยาฆ่าแมลงที่ใช้ (กก./ไร่)	1	0.5	1	1	1	1	1	0.5	1	1	0.8	1	0.8	1	1	1	0	1.5	1	0	1	1
6. ปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ (กก./ไร่)	150	100	100	100	100	100	50	100	100	100	100	100	200	75	100	150	150	150	100	100	100	50
7. ปริมาณปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกที่ใช้ (กก./ไร่)	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8. จำนวนคนงานตัดอ้อย (คน)	2	4	2	2	3	2	3	4	2	8	8	2	8	10	2	8	2	3	3	2	6	4
9. ปริมาณอ้อยที่ได้จากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	10	10	11	10	13	10	12	10	10	9	12	11	12	10	11	9	12	9	10	12	10	11
10. เศษเหลือจากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	1	5	3	3	4	2	4	1	2	3	3	3	2	4	2	1	2	5	4	4	2	5
11. ระยะทางในการขนส่งอ้อย																						
จากไร่ไปสถานีขนถ่าย (กม.)	3	4	5	3	5	5	5	4	7	5	2	3	2	7	3	5	15	2	2	15	6	8
จากไร่ไปโรงงาน (กม.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12. ประเภทรถที่ใช้ในการบรรทุก																						
(ก) รถไถ หรือ อีแต๊ก																						
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	2	2	2.5	2	2	2.5	2	2														
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	1	2	1	1	2	1	2	2														
(ข) รถอีแต๋น																						
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)									4	4	4.5	3	4.5	4	3	4						
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)									2.5	2	3	3	3	2.5	3	2						
(ค) รถบรรทุก 4 ล้อ																						
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																	6	5.5	5.5	6		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																	10	2.5	2.5	10		
(ง) รถบรรทุก 6 ล้อ																						
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																					7	7
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																					8	10
(จ) รถบรรทุก 10 ล้อ																						
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																						
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																						
(ฉ) รถพ่วง 18 ล้อ																						
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																						
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																						

ตาราง ก.10 ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกรชาวไร่อ้อยจังหวัดขอนแก่น จำนวน 56 ชุด

รายละเอียด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1. พื้นที่ปลูกอ้อย (ไร่)	30	17	53	50	8	10	5	14	24	9	12	31	40	25	50	60	20	11	12	40	80	15	17	113	19	100	140	20
2. พื้นที่อ้อยไฟไหม้ (ไร่)	5	7	25	20	0	6	0	8	10	3	5	20	10	5	10	20	5	0	6	10	50	4	14	50	10	10	30	20
3. ปริมาณท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูก (ตัน/ไร่)	1.5	1	2	2	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1.5	1.5	1	1	1	2.0	2	1	1.5	1.5	1	1	2	0.8	1.5	1.5	1	0.35	1
4. ปริมาณยาคุมหญ้าที่ใช้ (กก./ไร่)	1.5	2	1	1	2	2	2	2	1.5	2	2	2	1	1	1.0	1	1	2	2	1.5	1	1	1	2	2	1	1	1
5. ปริมาณยาฆ่าแมลงที่ใช้ (กก./ไร่)	1.5	1.5	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	1.5	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1	0.5	1.5	1	1	1.5	1.5	1	1	1
6. ปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ (กก./ไร่)	100	100	100	150	150	150	150	100	100	100	100	150	150	100	150	150	150	150	150	150	200	50	100	100	100	100	150	150
7. ปริมาณปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกที่ใช้ (กก./ไร่)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0
8. จำนวนคนงานตัดอ้อย (คน)	6	7	7	5	6	4	4	6	5	8	5	6	8	5	6	8	8	6	2	6	12	5	7	10	6	15	15	8
9. ปริมาณอ้อยที่ได้จากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	15	9	10	10	8	8	8	9	12	9	12	8	9	10	12	10	10	10	9	8	10	9	8	10	12	11	8	9
10. เศษเหลือจากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	1	1	5	1	3	3	2	4	4	1	1	1	1	1	2	1	1	1.5	1	4	4	1	1	2	2	2	2	1
11. ระยะทางในการขนส่งอ้อย																												
จากไร่ไปสถานีขนถ่าย (กม.)	2	5	6	5	35	16	16	14	10	14	13	3	15	2	1.5	12	12	12	14	8	10	-	-	-	-	-	-	-
จากไร่ไปโรงงาน (กม.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	35	45	12	30	30	30
12. ประเภทรถที่ใช้ในการบรรทุก																												
(ก) รถไถ หรือ อีแต๊ก																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	2	2	2.5																									
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	1	2.5	2.5																									
(ข) รถอีแต๋น																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																												
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																												
(ค) รถบรรทุก 4 ล้อ																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)				5	6	5	5	5	5	5	5	5										4	5	5	5	4		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)				5	4	5	4.5	5	4.5	5	4.5	4.5										10	10	10	5.5	10		
(ง) รถบรรทุก 6 ล้อ																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)													10	8	10	9	10	10	10								8	10
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)													20	5	17	8	9	16	20								20	20
(จ) รถบรรทุก 10 ล้อ																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																				22	25							
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																				20	25							
(ฉ) รถพ่วง 18 ล้อ																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																												
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																												

ตาราง ก.10 ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกรชาวไร่อ้อยจังหวัดขอนแก่น จำนวน 56 ชุด (ต่อ)

รายละเอียด	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
1. พื้นที่ปลูกอ้อย (ไร่)	50	10	70	30	20	12	300	64	90	100	250	80	305	200	150	20	45	120	140	200	50	35	60	367	1000	120	150	900
2. พื้นที่อ้อยไฟไหม้ (ไร่)	10	10	20	10	5	12	10	30	35	25	100	50	100	150	80	20	15	50	40	80	50	30	40	100	500	80	20	80
3. ปริมาณท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูก (ตัน/ไร่)	0.2	2	2	1	1	1.5	1	0.9	0.6	1	1.5	1.5	1	2	2	1	1	1.5	1.5	1	1.5	1.5	1	2	2	1	1.5	1.5
4. ปริมาณยาคุมหญ้าที่ใช้ (กก./ไร่)	1	1	1	1	1	1	1.5	1	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	1	1	0.5	1	2	1	1	1	1	1
5. ปริมาณยาฆ่าแมลงที่ใช้ (กก./ไร่)	1	1	1.5	1.5	1	1	1.5	1	1	1.5	1.5	1.5	0.5	1.5	1.5	1	1.5	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	2	1	1	1	1
6. ปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ (กก./ไร่)	150	100	75	50	150	150	150	100	100	150	200	100	200	100	100	100	100	150	150	150	100	100	100	150	200	100	150	200
7. ปริมาณปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกที่ใช้	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8. จำนวนคนงานตัดอ้อย (คน)	8	5	10	8	7	6	20	10	15	8	15	8	20	20	10	5	15	10	15	14	8	5	8	18	20	10	11	20
9. ปริมาณอ้อยที่ได้จากการเก็บเกี่ยว	9	10	10	10	10	8	12	10	10	10	10	10	8	10	10	10	10	10	10	10	8	10	12	15	12	15	14	8
10. เศษเหลือจากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	3	1	1	1	4	1	3	2	2	3	5	4	4	5	2.5	2	3	3	4	3	1	3	3	2	1	4	5	1
11. ระยะทางในการขนส่งอ้อย																												
จากไร่ไปสถานีขนถ่าย (กม.)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
จากไร่ไปโรงงาน (กม.)	15	15	45	65	15	15	50	12	30	40	60	60	60	60	60	60	60	60	50	60	50	55	45	50	70	75	75	40
12. ประเภทรถที่ใช้ในการบรรทุก																												
(ก) รถไถ หรือ อีแต๊ก																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																												
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																												
(ข) รถอีแต๋น																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																												
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																												
(ค) รถบรรทุก 4 ล้อ																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																												
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																												
(ง) รถบรรทุก 6 ล้อ																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	8	9	10	9	7	8	10	5																				
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	20	15	10	8	20	20	20	15																				
(จ) รถบรรทุก 10 ล้อ																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)									25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)									25	45	60	65	60	60	60	60	60	50	65	40	50	45	45	45	60	60	60	
(ฉ) รถพ่วง 18 ล้อ																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																												30
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																												50

ตาราง ก.11 ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกรชาวไร่อ้อยจังหวัดเลย จำนวน 81 ชุด

รายละเอียด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1. พื้นที่ปลูกอ้อย (ไร่)	136	10	20	80	17	127	101	140	15	125	20	17	127	126	25	20	20	220	126	15	17	236	130	80	30	25	17	29
2. พื้นที่อ้อยไฟไหม้ (ไร่)	136	5	10	70	13	28	101	120	15	101	10	17	28	126	25	8	10	150	126	15	13	150	100	70	30	15	13	6
3. ปริมาณท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูก (ตัน/ไร่)	1	1	1	1	1.5	2	1	2	1	1	1	1.5	2	2	1	1	1	1.5	1	1	1	3	1.5	2	1	1	2	2
4. ปริมาณยาคุมหญ้าที่ใช้ (กก./ไร่)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	1	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5. ปริมาณยาฆ่าแมลงที่ใช้ (กก./ไร่)	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1	1	1	1.5	1.5	1	1	1	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1	1.5	1	1	1	1	1.5	1
6. ปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ (กก./ไร่)	100	150	100	100	100	100	100	150	100	150	100	125	150	150	150	150	100	150	100	100	100	150	100	100	100	50	100	100
7. ปริมาณปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกที่ใช้ (กก./ไร่)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8. จำนวนคนงานตัดอ้อย (คน)	12	8	4	6	2	8	8	10	2	8	4	4	10	17	4	3	2	14	15	5	4	15	15	8	4	4	2	5
9. ปริมาณอ้อยที่ได้จากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	12	8	10	10	15	9	10	12	10	10	12	9	8	10	10	10	13	10	10	10	15	12	12	11	8	10	15	17
10. เศษเหลือจากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	0.5	3	5	5	4	3	3	1	4	2	2	3	4	3	5	5	1	2	3	3	2	3	3	5	1	5	2	3
11. ระยะทางในการขนส่งอ้อย																												
จากไร่ไปสถานีขนถ่าย (กม.)	15	10	1	8	5	10	6	15	3	6	1	10	10	21	4	10	0.2	7	21	3	5	7	15	8	4	4	5	8
จากไร่ไปโรงงาน (กม.)																												
12. ประเภทรถที่ใช้ในการบรรทุก																												
(ก) รถไถ หรือ อีแต๊ก																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	2	2	1.5	2	2.5	1.5	2	2	2	2	2	2.5	1	1.5	1.5	2	2.5	2	1.5	2	2	2	2	1	1.5	1.5	3	2
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	5	3	1	2	2	4	2	5	1	2	1	5	2	5	1	4	1	3	5	1	1	2	4	2	1	1	1	3
(ข) รถอีแต๋น																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																												
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																												
(ค) รถบรรทุก 4 ล้อ																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																												
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																												
(ง) รถบรรทุก 6 ล้อ																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																												
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																												
(จ) รถบรรทุก 10 ล้อ																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																												
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																												
(ฉ) รถพ่วง 18 ล้อ																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																												
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																												

ตาราง ก.11 ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกรชาวไร่อ้อยจังหวัดเลย จำนวน 81 ชุด (ต่อ)

รายละเอียด	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
1. พื้นที่ปลูกอ้อย (ไร่)	150	40	130	12	8	9	36	36	10	20	10	21	75	10	12	36	21	25	26	25	197	25	29	26	195	10	26	25
2. พื้นที่อ้อยไฟไหม้ (ไร่)	100	30	30	12	8	0	12	10	6	15	0	15	60	10	6	12	10	20	26	15	30	25	10	6	50	2	10	15
3. ปริมาณท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูก (ตัน/ไร่)	1	1.5	1	1.5	2	1	1	3	2	1	1.5	1	1	1	1	1.5	1.5	2	1.5	1.5	1	1	2	2	1.5	1.5	1.5	1
4. ปริมาณยาคุมหญ้าที่ใช้ (กก./ไร่)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5. ปริมาณยาฆ่าแมลงที่ใช้ (กก./ไร่)	1	1	1.5	1	1	1	1.5	1	1	0.5	1	1	1	1	1.5	1.5	1.5	1	1	1	1.5	1	1.5	1	0.5	1	1	1
6. ปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ (กก./ไร่)	150	150	150	150	100	100	150	150	150	100	100	150	150	150	100	100	150	150	100	100	200	100	100	50	150	150	150	50
7. ปริมาณปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกที่ใช้ (กก./ไร่)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8. จำนวนคนงานตัดอ้อย (คน)	12	3	8	2	2	2	4	5	2	2	2	4	8	3	2	5	4	4	5	5	20	6	5	2	18	2	4	4
9. ปริมาณอ้อยที่ได้จากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	12	8	11	15	10	10	13	13	10	15	9	10	13	10	11	13	10	8	10	13	12	10	15	10	12	9	10	10
10. เศษเหลือจากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	4	2	5	5	4	4	4	3	4	5	1	2	3	3	4	3	4	1	1	3	5	2	5	3	5	4	2	5
11. ระยะทางในการขนส่งอ้อย																												
จากไร่ไปสถานีขนถ่าย (กม.)	15	6	10	3	5	5	4	4	5	3	3	5	0.2	3	3	4	5	5	5	5	12	1	8	5	12	3	5	4
จากไร่ไปโรงงาน (กม.)																												
12. ประเภทรถที่ใช้ในการบรรทุก																												
(ก) รถไถ หรือ อีแต๊ก																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	2	1.5	1																									
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	5	2	2																									
(ข) รถอีแต๋น																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)				2	2	2	2	2	2	2	3	3	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1.5	2	1.5	2	3	2	4.5
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)				2	3	3	2	2	2	2	4	4	2	3	3	2	2	3	2	3	3	5	3	2	3	2	2	3
(ค) รถบรรทุก 4 ล้อ																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																												
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																												
(ง) รถบรรทุก 6 ล้อ																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																												
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																												
(จ) รถบรรทุก 10 ล้อ																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																												
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																												
(ฉ) รถพ่วง 18 ล้อ																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																												
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																												

ตาราง ก.11 ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกรชาวไร่อ้อยจังหวัดเลย จำนวน 81 ชุด (ต่อ)

รายละเอียด	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
1. พื้นที่ปลูกอ้อย (ไร่)	**23**	75	9	250	21	126	30	110	240	200	80	10	9	15	13	205	75	10	25	13	13	25	29	25	9
2. พื้นที่อ้อยไฟไหม้ (ไร่)	21	60	5	70	11	60	30	80	120	40	40	0	0	8	13	30	45	5	4	0	13	25	6	20	5
3. ปริมาณท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูก (ตัน/ไร่)	1	1.5	1	2	1	1	2	2	1.5	2	1	1	1	1.5	1.5	2	3	0.5	1	1	1	1	1.5	1	1
4. ปริมาณยาคุมหญ้าที่ใช้ (กก./ไร่)	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.5
5. ปริมาณยาฆ่าแมลงที่ใช้ (กก./ไร่)	1	0.5	1	1	1.5	1.5	1	1	1	1	1	0.5	1.5	1.5	1	1.5	1.5	1	1	1.5	0.5	1	1	1	1.5
6. ปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ (กก./ไร่)	150	150	150	200	150	200	100	150	200	200	150	150	100	150	100	200	150	100	100	100	150	100	100	150	150
7. ปริมาณปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกที่ใช้ (กก./ไร่)	90	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8. จำนวนคนงานตัดอ้อย (คน)	4	6	2	16	3	17	4	15	20	14	4	3	3	4	3	18	10	2	4	3	4	5	5	6	4
9. ปริมาณอ้อยที่ได้จากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	9	13	10	12	9	10	8	10	9	12	10	9	10	10	10	12	13	9	10	10	10	8	17	10	10
10. เศษเหลือจากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	2	4	3	1	5	1	4	4	5	2	3	3	4	1	1	5	2.5	3	4	4	2	1	1	1	5
11. ระยะทางในการขนส่งอ้อย																									
จากไร่ไปสถานีขนถ่าย (กม.)	2	0.2	3	12	5	21	12	6	7	12	8	5	3	3	20	12	1	3	4	20	20	1	8	5	3
จากไร่ไปโรงงาน (กม.)																									
12. ประเภทรถที่ใช้ในการบรรทุก																									
(ก) รถไถ หรือ อีแต๊ก																									
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																									
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																									
(ข) รถอีแต๋น																									
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	4.5	2	2	2	2																				
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	2	1	1	3	2																				
(ค) รถบรรทุก 4 ล้อ																									
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)						6	7	5	5	6	5	5													
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)						7	5	4	5	6	5	5													
(ง) รถบรรทุก 6 ล้อ																									
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)													10	8	7	10	10	10	10	8	10	10	8	10	15
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)													10	10	15	15	4	10	5	18	20	4	10	8	10
(จ) รถบรรทุก 10 ล้อ																									
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																									
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																									
(ฉ) รถพ่วง 18 ล้อ																									
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																									
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																									

ตาราง ก.12 ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกรชาวไร่อ้อยจังหวัดชัยภูมิ (เขต 1) จำนวน 58 ชุด

รายละเอียด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1. พื้นที่ปลูกอ้อย (ไร่)	50	30	60	20	80	42	40	47	80	30	40	40	40	20	48	60	50	47	30	20	30	20	70	130	35	35	140	230	70
2. พื้นที่อ้อยไฟไหม้ (ไร่)	20	20	5	30	10	22	5	15	10	20	20	40	12	10	30	5	30	7	20	20	5	10	26	100	0	30	70	130	35
3. ปริมาณท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูก (ตัน/ไร่)	2	1.5	1.2	2.5	3	1.7	2	2	3	2	2	2	2	1	1.7	1.2	2	4	1.5	2.5	2	1	1	1	2	2	1	2	1
4. ปริมาณยาคุมหญ้าที่ใช้ (กก./ไร่)	0.2	1	1	1	1	0.7	1	0.3	1	1	1	1	1	1	0.7	1	0.2	0.3	1	1	1	1	1	0.5	1.5	1.5	0.5	1	1
5. ปริมาณยาฆ่าแมลงที่ใช้ (กก./ไร่)	1.5	1	1	1	1	0.7	1	1.5	1	1	1	1	1	1.5	0.7	1	0.2	1	1	1	1	1.5	1	0.5	1.5	1.5	0.5	1	1.5
6. ปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ (กก./ไร่)	100	100	150	150	100	150	150	150	200	100	100	100	100	150	150	100	100	150	150	150	100	100	150	150	150	150	75	200	50
7. ปริมาณปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกที่ใช้ (กก./ไร่)	10	10	0	0	15	0	0	0	15	0	0	0	0	0	0	0	10	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8. จำนวนคนงานตัดอ้อย (คน)	8	6	8	8	14	8	8	8	12	8	10	8	12	5	8	7	16	3	6	8	6	16	13	15	6	6	10	16	13
9. ปริมาณอ้อยที่ได้จากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	10	10	12	15	18	12	14	18	18	18	14	14	20	12	12	12	10	15	10	15	20	12	10	11	12	12	11	9	10
10. เศษเหลือจากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	5	3	2	4	3	1	5	3	3	1	1	2	2	5	4	5	4	3	3	1	3	2	3	5	3	4	3	2	4
11. ระยะทางในการขนส่งอ้อย																													
จากไร่ไปสถานีขนถ่าย (กม.)																													
จากไร่ไปโรงงาน (กม.)	15	5	3	15	10	8	2	10	10	10	5	2	5	10	8	3	15	10	5	15	10	10	12	7	5	5	7	15	12
12. ประเภทรถที่ใช้ในการบรรทุก																													
(ก) รถไถ หรือ อีแต๊ก																													
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																													
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																													
(ข) รถอีแต๋น																													
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																													
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																													
(ค) รถบรรทุก 4 ล้อ																													
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	6	5	5.5	5	5.5	6	6	6	5.5	5	7	6	7	6	6	5.5	6	6	5	5	5	6							
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	5	5	3	4	3	7	2	6	3	5	4	2	4	4	7	3	5	6	5	4	5	4							
(ง) รถบรรทุก 6 ล้อ																													
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																							15	11	10	10	11	11	15
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																							10	4	10	10	4	10	10
(จ) รถบรรทุก 10 ล้อ																													
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																													
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																													
(ฉ) รถพ่วง 18 ล้อ																													
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																													
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																													

ตาราง ก.12 ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกรชาวไร่อ้อยจังหวัดชัยภูมิ (เขต 1) จำนวน 58 ชุด (ต่อ)

รายละเอียด	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58
1. พื้นที่ปลูกอ้อย (ไร่)	250	200	200	100	95	250	60	80	500	600	32	100	200	300	370	160	300	250	60	200	100	600	88	160	500	370	80	32	100
2. พื้นที่อ้อยไฟไหม้ (ไร่)	150	150	150	10	80	130	50	10	60	250	32	10	20	55	30	60	5	100	50	10	10	80	40	60	150	130	10	15	30
3. ปริมาณท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูก (ตัน/ไร่)	2	1	1	1.5	1	1.5	2	3.0	1.2	1.3	1.5	1.5	1.3	1.1	2	2	1.1	1.5	2	1.3	1.5	1.3	1	2	1.2	2	3	1.5	1.5
4. ปริมาณยาคุมหญ้าที่ใช้ (กก./ไร่)	1	1	1	1	1	0.7	0.5	1.0	1	1	1	1	0.5	1	1	0.5	1	0.7	0.5	0.5	1	1	1	0.5	1	1	1	1	1
5. ปริมาณยาฆ่าแมลงที่ใช้ (กก./ไร่)	1	1	1	1	0.5	0.5	1	1.5	1	1	1	1.5	1.5	1	1	1	1	0.5	1	1.5	1	1	0.5	1	1.5	1	1.5	1.5	1
6. ปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ (กก./ไร่)	200	150	150	100	150	150	75	150	200	200	100	100	100	150	200	100	200	150	150	150	100	200	100	100	200	200	50	100	100
7. ปริมาณปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกที่ใช้ (กก./ไร่)	0	10	10	0	0	0	25	0	0	60	0	0	100	0	18	0	0	0	25	100	0	60	0	0	0	18	0	0	0
8. จำนวนคนงานตัดอ้อย (คน)	14	15	15	15	20	20	8	3	20	20	10	15	20	20	18	15	20	20	14	20	12	20	10	15	20	20	3	10	15
9. ปริมาณอ้อยที่ได้จากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	9	9	9	8	15	12	12	10	12	12	12	15	13	13	11	15	13	12	12	13	8	12	11	15	12	11	10	12	12
10. เศษเหลือจากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	4	4	2	2	1	2	5	4	4	2	2	4	4	0.5	4	1	1	3	3	5	4	3	1	5	3	4	2	3	3
11. ระยะทางในการขนส่งอ้อย																													
จากไร่ไปสถานีขนถ่าย (กม.)																													
จากไร่ไปโรงงาน (กม.)	15	9	9	20	7	1	13	14	10	12	35	20	9	8	15	15	8	1	13	9	20	12	7	15	10	15	14	35	20
12. ประเภทรถที่ใช้ในการบรรทุก																													
(ก) รถไถ หรือ อีแต๊ก																													
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																													
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																													
(ข) รถอีแต๋น																													
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																													
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																													
(ค) รถบรรทุก 4 ล้อ																													
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																													
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																													
(ง) รถบรรทุก 6 ล้อ																													
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	11	10	10																										
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	10	7	7																										
(จ) รถบรรทุก 10 ล้อ																													
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)				22	24	23	22	20	25	26	25	24	20	25	27	25	25	23	22	20	22	26	24	25	25	27	20	25	24
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)				20	21	3	20	15	20	15	30	30	15	20	25	15	20	3	20	15	20	15	21	15	20	25	15	30	30
(ฉ) รถพ่วง 18 ล้อ																													
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																													
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																													

ตาราง ก.13 ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกรชาวไร่อ้อยจังหวัดชัยภูมิ (เขต 4) จำนวน 55 ชุด

รายละเอียด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1. พื้นที่ปลูกอ้อย (ไร่)	30	20	30	20	28	20	32	20	25	20	20	25	3	70	20	14	40	25	6	15	10	40	25	70	15	10	20	20	5
2. พื้นที่อ้อยไฟไหม้ (ไร่)	25	5	10	10	8	20	12	20	20	12	8	5	0	40	10	0	10	10	0	12	0	20	15	50	5	0	14	10	0
3. ปริมาณท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูก (ตัน/ไร่)	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2.5	2	1.5	2	3	2	1.5	1.5	2	2	2	1.5	2.5	1	3
4. ปริมาณยาคุมหญ้าที่ใช้ (กก./ไร่)	1	0.8	1	0.8	0.3	1	0.3	1	0.3	1	1	0.3	1	1	1	1	1	0.3	0.5	1	1	1	0.3	1	1	1	1	1	0.5
5. ปริมาณยาฆ่าแมลงที่ใช้ (กก./ไร่)	1	0.8	1	0.8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6. ปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ (กก./ไร่)	50	100	150	150	100	50	150	50	100	100	100	100	100	100	100	50	75	100	100	100	50	150	100	100	50	50	100	100	100
7. ปริมาณปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกที่ใช้ (กก./ไร่)	0	150	0	150	0	0	0	0	0	6	6	20	0	7	0	0	0	20	0	0	20	0	20	7	0	20	0	6	0
8. จำนวนคนงานตัดอ้อย (คน)	8	5	8	5	5	3	5	3	5	3	3	3	3	10	4	7	3	3	7	8	2	3	3	10	6	2	4	3	7
9. ปริมาณอ้อยที่ได้จากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	15	14	15	14	10	11	10	11	10	12	12	10	12	10	10	10	10	10	12	14	12	10	10	10	14	15	10	12	15
10. เศษเหลือจากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	5	1	5	5	4	3	3	1.5	2	5	4	2	2	5	2	3	4	4	2	1	1	2	2	5	5	1	2	4	2
11. ระยะทางในการขนส่งอ้อย																													
จากไร่ไปสถานีขนถ่าย (กม.)	4	7	4	7	20	4	20	4	20	4	4	2	1.5	5	0.7	7	2	2	3	2	6	2	2	5	2	6	0.7	4	3
จากไร่ไปโรงงาน (กม.)																													
12. ประเภทรถที่ใช้ในการบรรทุก																													
(ก) รถไถ หรือ อีแต๊ก																													
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)										3	3	2.5	2.5	3	2.5	3	3	2.5	2.5	2.5	2.5	3	2.5	3	2.5	2.5	2.5	3	2.5
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)										1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	0.5	2	2	1	2	0.5	2	1	1	1
(ข) รถอีแต๋น																													
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																													
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																													
(ค) รถบรรทุก 4 ล้อ																													
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	7	4.5	7	4.5																									
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	5	4	5	4																									
(ง) รถบรรทุก 6 ล้อ																													
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)					7.5	6.5	7.5	6.5	7.5																				
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)					8	5	8	5	8																				
(จ) รถบรรทุก 10 ล้อ																													
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																													
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																													
(ฉ) รถพ่วง 18 ล้อ																													
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																													
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																													

ตาราง ก.13 ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกรชาวไร่อ้อยจังหวัดชัยภูมิ (เขต 4) จำนวน 55 ชุด (ต่อ)

รายละเอียด	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
1. พื้นที่ปลูกอ้อย (ไร่)	4	14	30	27	14	29	40	30	6	20	30	40	30	28	26	14	20	6	500	350	500	300	350	300	500	600
2. พื้นที่อ้อยไฟไหม้ (ไร่)	0	5	12	7	7	15	5	20	2	4	15	5	30	14	15	4	2	0	200	120	300	180	100	80	300	130
3. ปริมาณท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูก (ตัน/ไร่)	2	2	1	1	1.5	1	1	1.5	2	1.5	1.5	1	1	1	1	1.5	1.5	2	1.5	2	1.5	1	2	1	1.5	1.5
4. ปริมาณยาคุมหญ้าที่ใช้ (กก./ไร่)	1	1	1	1.5	0.5	1	1.4	2	1	2	2	1.4	1	1	1.5	0.5	2	1	1	1	1	1.5	1	1.5	1	1
5. ปริมาณยาฆ่าแมลงที่ใช้ (กก./ไร่)	1	1	2	1	1.5	1.5	1	0.7	1	1	0.7	1	2	1.5	0	1.5	1	1	1	1	1	1.5	1	1.5	1	1
6. ปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ (กก./ไร่)	100	50	100	150	150	150	100	100	150	75	100	100	100	150	150	150	150	150	200	150	200	150	200	150	200	200
7. ปริมาณปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกที่ใช้ (กก./ไร่)	0	0	30	0	0	0	0	0	150	0	0	0	30	0	0	0	0	150	0	90	0	30	90	30	150	150
8. จำนวนคนงานตัดอ้อย (คน)	4	7	8	5	8	6	4	6	3	7	6	4	8	6	5	8	6	3	20	20	20	18	16	18	20	20
9. ปริมาณอ้อยที่ได้จากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	12	10	10	16	8	14	11	10	12	13	10	11	10	14	16	8	13	12	10	12	10	8	12	8	8	8
10. เศษเหลือจากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	2	5	3	2.5	5	1.5	3	3	2	4	3	2	1	1	1	3	2	2	5	1	4	3	3	4	2	3
11. ระยะทางในการขนส่งอ้อย																										
จากไร่ไปสถานีขนถ่าย (กม.)	1.5	7	6	8	6	20	40	5	1	4	5	40	6	20	8	6	4	1								
จากไร่ไปโรงงาน (กม.)																			30	36	30	35	36	35	45	45
12. ประเภทรถที่ใช้ในการบรรทุก																										
(ก) รถไถ หรือ อีแต๊ก																										
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	2.5	3																								
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	1	1																								
(ข) รถอีแต๋น																										
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)			5	5	4.5	5.5	5	4	5	4.5	4	5	5	5.5	5	4.5	4.5	5								
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)			2	4	2	3	10	5	2.5	2.5	5	10	2	3	4	2	2.5	2.5								
(ค) รถบรรทุก 4 ล้อ																										
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																										
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																										
(ง) รถบรรทุก 6 ล้อ																										
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																										
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																										
(จ) รถบรรทุก 10 ล้อ																										
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																			25	20	25	22	20	22		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																			35	25	35	30	25	30		
(ฉ) รถพ่วง 18 ล้อ																										
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																									50	50
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																									40	40

ตาราง ก.14 ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกรชาวไร่อ้อย จังหวัดชัยภูมิ (เขต 7) จำนวน 45 ชุด

รายละเอียด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1. พื้นที่ปลูกอ้อย (ไร่)	20	20	20	20	20	40	60	28	10	15	30	20	16	15	45	5	22	20	4	15	20	30	12	15	30	20	40
2. พื้นที่อ้อยไฟไหม้ (ไร่)	10	20	8	10	12	25	20	8	0	2	15	14	16	5	15	0	10	10	0	5	5	12	12	3	15	8	20
3. ปริมาณท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูก (ตัน/ไร่)	0.5	0.5	1	1	2	1.5	1	1	1	3	1	1	1	2	3	1	1.5	1.5	1.5	1	1	1	2	3	1	1	1.5
4. ปริมาณยาคุมหญ้าที่ใช้ (กก./ไร่)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2.5	1	1	1	0.3	1	1	1	1	1	1	1
5. ปริมาณยาฆ่าแมลงที่ใช้ (กก./ไร่)	1	1	1	0	1	2	0.4	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	2
6. ปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ (กก./ไร่)	150	150	150	100	100	100	100	100	100	100	150	50	150	150	150	100	100	50	100	75	50	100	150	100	75	150	150
7. ปริมาณปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกที่ใช้ (กก./ไร่)	30	200	25	0	3	0	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	0	0
8. จำนวนคนงานตัดอ้อย (คน)	2	3	2	4	3	6	8	8	4	5	5	4	4	3	5	4	3	3	3	3	2	5	2	5	5	4	5
9. ปริมาณอ้อยที่ได้จากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	15	15	9	9	10	12	9	9	11	15	10	10	9	10	13	12	10	12	12	10	10	9	20	15	10	10	12
10. เศษเหลือจากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	5	5	2	4	5	3	4	4	2	2	5	5	4	1.5	3	2	4	4	1	5	2	4	3	2	5	5	2
11. ระยะทางในการขนส่งอ้อย																											
จากไร่ไปสถานีขนถ่าย (กม.)	10	10	3	4	10	10	7	3	5	2	10	11	10	5	4	7	4	10	10	7	2	6	4	2	10	11	10
จากไร่ไปโรงงาน (กม.)																											
12. ประเภทรถที่ใช้ในการบรรทุก																											
(ก) รถไถ หรือ อีแต๊ก																											
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																											
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																											
(ข) รถอีแต๋น																											
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)			4	4	5	4	5	10	5	4	5	4	4	4	5	6	5	5	4	4	4.5	4	4	4	5	4	4
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)			2	1.5	3	3	3	7	2.5	2	2	2.5	2	2	2	1.5	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2.5	3
(ค) รถบรรทุก 4 ล้อ																											
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	5	5																									
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	3.5	3.5																									
(ง) รถบรรทุก 6 ล้อ																											
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																											
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																											
(จ) รถบรรทุก 10 ล้อ																											
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																											
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																											
(ฉ) รถพ่วง 18 ล้อ																											
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																											
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																											

ตาราง ก.15 ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกรชาวไร่อ้อยจังหวัดชัยภูมิ (เขต 7) จำนวน 45 ชุด

รายละเอียด	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
1. พื้นที่ปลูกอ้อย (ไร่)	25	20	15	16	15	20	20	30	20	10	20	45	5	12	28	60	4	15
2. พื้นที่อ้อยไฟไหม้ (ไร่)	15	10	10	6	12	14	15	15	20	10	16	35	2	4	25	30	0	0
3. ปริมาณท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูก (ตัน/ไร่)	1.5	1.5	1	1	2	1	1	1.5	1.5	1.5	2	1	1	2	2	1	1.5	1
4. ปริมาณยาคุมหญ้าที่ใช้ (กก./ไร่)	1	1	0.3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2.5	1	1	0.3	1	0.3
5. ปริมาณยาฆ่าแมลงที่ใช้ (กก./ไร่)	1	1	0.5	1.5	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0.4	1	0.2
6. ปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ (กก./ไร่)	150	100	100	150	150	150	100	100	100	150	150	100	100	150	150	150	100	75
7. ปริมาณปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกที่ใช้ (กก./ไร่)	0	0	0	0	0	0	0	150	25	100	3	0	0	0	0	0	0	0
8. จำนวนคนงานตัดอ้อย (คน)	3	3	3	4	3	4	2	5	2	4	3	8	4	2	8	12	3	4
9. ปริมาณอ้อยที่ได้จากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	10	12	10	9	10	9	10	9	9	11	10	13	15	20	9	9	12	10
10. เศษเหลือจากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	4	1	1	4	3	3	2	5	4	5	3	3	3	3	2.5	2	2	2
11. ระยะทางในการขนส่งอ้อย																		
จากไร่ไปสถานีขนถ่าย (กม.)	4	10	7	10	5	4	2	6	3	5	10	4	7	4	3	7	10	7
จากไร่ไปโรงงาน (กม.)																		
12. ประเภทรถที่ใช้ในการบรรทุก																		
(ก) รถไถ หรือ อีแต๊ก																		
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																		
(ข) รถอีแต๋น																		
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	5	5	4	4	4	4	4.5	4	4	5	5	5	6	4	10	5	4	4
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	2	2	2	2	2	1.5	2	2	2	2.5	3	2	1.5	1	7	3	2	2
(ค) รถบรรทุก 4 ล้อ																		
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																		
(ง) รถบรรทุก 6 ล้อ																		
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																		
(จ) รถบรรทุก 10 ล้อ																		
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																		
(ฉ) รถพ่วง 18 ล้อ																		
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																		
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																		

ตาราง ก.16 ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกรชาวไร่อ้อยจังหวัดชัยภูมิ (เขต 8.1) จำนวน 38 ชุด

รายละเอียด	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1. พื้นที่ปลูกอ้อย (ไร่)	18	18	8	20	17	60	30	20	40	20	10	40	8	22	60	10	20	8	40	18	22	10	40	20	20	30	35
2. พื้นที่อ้อยไฟไหม้ (ไร่)	5	5	1	4	12	15	7	5	5	5	0	10	0	12	10	0	2	0	4	5	12	0	10	5	2	5	5
3. ปริมาณท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูก (ตัน/ไร่)	2	2	1	1	3	2	3	2	1.5	2	1.5	1.5	1	2	3	1.5	1	1	1.5	1	2	1.5	1	2	1	3	1
4. ปริมาณยาคุมหญ้าที่ใช้ (กก./ไร่)	1	1	1	0.5	1	0.5	0.5	1	0.75	1	1	1	1	1	0.5	1	0.5	1	0.75	1	1	1	1	1	0.5	0.5	0.7
5. ปริมาณยาฆ่าแมลงที่ใช้ (กก./ไร่)	1.5	1	1	0.5	1	0.5	0.5	1	0.75	1	1	1.5	1	1	0.5	1	0.5	1	0.75	1	1	2	1	1	0.5	0.5	0.5
6. ปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ (กก./ไร่)	150	100	100	100	150	150	150	150	150	150	150	100	150	150	150	150	150	150	100	150	150	100	100	150	100	100	150
7. ปริมาณปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกที่ใช้ (กก./ไร่)	0	0	0	2	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	30
8. จำนวนคนงานตัดอ้อย (คน)	5	10	8	8	8	15	12	4	7	8	7	8	8	8	10	7	6	4	8	4	8	7	12	5	15	10	16
9. ปริมาณอ้อยที่ได้จากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	10	10	10	11	9	10	10	10	8	8	10	8	10	9	10	10	11	10	8	8	9	10	8	10	11	10	8
10. เศษเหลือจากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	3	5	4	5	4	3	4	5	2	4	4	3	4	4	2	2.5	3	5	4	2	5	3	2	4	5	1.5	3
11. ระยะทางในการขนส่งอ้อย																											
จากไร่ไปสถานีขนถ่าย (กม.)	8	6	3	2	6	10	3	4	8	7	12	14	3	6	10	12	2	3	8	7	6	12	14	4	2	3	3
จากไร่ไปโรงงาน (กม.)																											
12. ประเภทรถที่ใช้ในการบรรทุก																											
(ก) รถไถ หรือ อีแต๊ก																											
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	2	2																									
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	1	1																									
(ข) รถอีแต๋น																											
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)			5	5	4.5	5.5	3.5	4	3.5	3.5	4	4.5	5	4.5	5.5	4	5	5	3.5	3.5	4.5	4	4.5	4	5	3.5	
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)			2	1.5	1	2	2	2	2.5	3	2.5	5	2	1	2	2.5	1.5	2	2.5	3	1	2.5	5	2.5	1.5	2	
(ค) รถบรรทุก 4 ล้อ																											
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																											5
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																											2
(ง) รถบรรทุก 6 ล้อ																											
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																											
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																											
(จ) รถบรรทุก 10 ล้อ																											
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																											
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																											
(ฉ) รถพ่วง 18 ล้อ																											
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																											
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																											

ตาราง ก.16 ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์และแบบสอบถามเกษตรกรชาวไร่อ้อยจังหวัดชัยภูมิ (เขต 8.1) จำนวน 38 ชุด (ต่อ)

รายละเอียด	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38																	
1. พื้นที่ปลูกอ้อย (ไร่)	70	100	200	150	100	7	7	40	30	**28**	**29**																	
2. พื้นที่อ้อยไฟไหม้ (ไร่)	20	25	10	10	20	0	7	10	10	33	60																	
3. ปริมาณท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูก (ตัน/ไร่)	1	2	2	2	2	1	1	1.5	1.5	10	15																	
4. ปริมาณยาคุมหญ้าที่ใช้ (กก./ไร่)	1	0.5	1	1	0.5	1	1	1	1	1	1																	
5. ปริมาณยาฆ่าแมลงที่ใช้ (กก./ไร่)	1	0.5	1	1	0.5	1	1	1	1	0.7	1																	
6. ปริมาณปุ๋ยเคมีที่ใช้ (กก./ไร่)	150	200	100	150	150	100	100	150	100	0.5	1																	
7. ปริมาณปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยคอกที่ใช้ (กก./ไร่)	8	20	0	0	20	0	0	20	8	150	150																	
8. จำนวนคนงานตัดอ้อย (คน)	12	15	18	18	15	4	4	8	6	30	8																	
9. ปริมาณอ้อยที่ได้จากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	10	11	8	8	12	8	8	10	10	15	10																	
10. เศษเหลือจากการเก็บเกี่ยว (ตัน/ไร่)	5	3	5	3	3	3	5	5	5	8	10																	
11. ระยะทางในการขนส่งอ้อย										4	0.5																	
จากไร่ไปสถานีขนถ่าย (กม.)																												
จากไร่ไปโรงงาน (กม.)	20	18	20	20	18	20	20	12	14	5																		
12. ประเภทรถที่ใช้ในการบรรทุก											25																	
(ก) รถไถ หรือ อีแต๊ก																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																												
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																												
(ข) รถอีแต๋น																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)								5	5																			
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)								2	2.5																			
(ค) รถบรรทุก 4 ล้อ																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	4																											
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)	5									5	5																	
(ง) รถบรรทุก 6 ล้อ										4	6																	
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																												
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																												
(จ) รถบรรทุก 10 ล้อ																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)		23	22	22	23	24	24																					
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)		30	25	25	30	20	20																					
(ฉ) รถพ่วง 18 ล้อ																												
น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)																												
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร/เที่ยว)																												

ภาคผนวก ข

ทฤษฎีอ้างอิงการกำหนดตัวอย่าง

ตาราง ข.1 การกำหนดขนาดตัวอย่างของเฮนเดล

Population Size	Confidence Level			Population Size	Confidence Level		
	90%	95%	99%		90%	95%	99%
10	9	9	9	160	100	113	129
15	14	14	14	170	104	122	135
20	18	19	19	180	108	127	141
25	22	23	24	190	111	131	147
30	27	27	28	200	115	136	153
35	31	32	33	210	118	140	159
40	34	36	37	220	121	144	165
45	38	40	42	230	124	147	170
50	42	44	46	240	127	147	176
55	45	48	50	250	130	151	181
60	49	52	55	260	132	155	187
65	52	55	59	270	135	158	192
70	55	59	63	280	137	162	197
75	58	62	67	290	140	165	202
80	61	66	71	300	142	168	206
85	64	69	75	320	146	174	216
90	67	73	79	340	150	180	225
95	70	76	83	360	154	186	233
100	73	79	87	380	158	191	241
110	73	85	94	400	161	196	249
120	83	91	101	420	164	200	257
130	88	97	108	440	167	205	264
140	92	102	115	460	170	209	271
150	96	108	122	480	173	213	278
500	175	217	285	1800	235	316	484
550	181	226	300	1900	236	319	491
600	186	234	315	2000	238	322	498
650	191	241	328	2200	241	327	509

ตาราง ข.1 การกำหนดขนาดตัวอย่างของเฮนเดล (ต่อ)

Population Size	Confidence Level			Population Size	Confidence Level		
	90%	95%	99%		90%	95%	99%
700	195	248	340	2400	243	331	519
750	199	254	352	2600	245	334	528
800	202	259	362	2800	246	337	536
850	205	264	372	3000	248	340	543
900	208	269	382	3500	251	346	557
950	210	273	390	4000	253	350	569
1000	213	277	399	4500	255	354	578
1100	217	284	414	5000	256	356	585
1200	220	291	437	6000	258	361	597
1300	224	296	439	7000	260	364	606
1400	226	301	450	8000	261	366	612
1500	229	305	460	9000	262	368	617
1600	231	309	469	10000	263	369	622
1700	233	313	477				

หมายเหตุ : ที่มา : Darwin Hendel, 1997 (อ้างถึงในเกียรติสุดา ศรีสุข)

วิธีการคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างประชากรจากตารางเฮนเดล

ตาราง ข.2 จำนวนพื้นที่และจำนวนเกษตรกรที่ปลูกอ้อยของโรงงานกรณีศึกษา ปี 2551

พื้นที่ส่งเสริมการปลูกอ้อย (จังหวัด)	พื้นที่ (ไร่)	เกษตรกร	
		จำนวน (ราย)	ร้อยละ
ชัยภูมิ	228,436	2,596	55.3
เลย	52,064	1,064	22.7
ขอนแก่น	41,651	741	15.8
หนองบัวลำภู	6,248	289	6.2
รวม	328,399	4,690	100

หมายเหตุ : ข้อมูลจากพื้นที่ส่งเสริมการเกษตรของโรงงานน้ำตาลกรณีศึกษา

วิธีทำ

ถ้าประชากรชาวไร่อ้อยมีจำนวน (n) เท่ากับ 4500 ต้องใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่างประชากร354 คน และประชากรชาวไร่อ้อยมีจำนวน (n) เท่ากับ 5000 ต้องใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่างประชากร356 คน แต่ประชากรชาวไร่อ้อยมีจำนวนทั้งสิ้น (n) เท่ากับ 4,690 คน จะต้องใช้จำนวนกลุ่มตัวอย่างประชากร (กำหนดให้ใช้ตาราง ข.1 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์) สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\frac{5000-4500}{5000-4690}=\frac{356-354}{356-a}$$ ดังนั้น $a=355$ คน

ดังนั้น ขนาดกลุ่มตัวอย่างประชากรที่ต้องใช้ทั้งสิ้นมีจำนวน 355 คน เมื่อจำแนกตามจังหวัดโดยแบ่งตามร้อยละของจำนวนประชากรที่มีในแต่ละจังหวัดจะต้องใช้กลุ่มตัวอย่างประชากรดังนี้ คือจังหวัดชัยภูมิ เลย ขอนแก่น และหนองบัวลำภู จำนวน 196 81 56 และ 22 ราย ตามลำดับ

ภาคผนวก ค

รายการคำนวณ

ตารางที่ ค.1 การคำนวณปริมาณการใช้น้ำมันดีเซลจากการขนส่งเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงงานกรณีศึกษา

ชนิดเชื้อเพลิง	ระยะทางเฉลี่ย (กม.)	น้ำหนักเฉลี่ย (ตัน)	น้ำหนักบรรทุก (ตัน/เที่ยว)	อัตราสิ้นเปลืองน้ำมัน (กม./ลิตร)		ปริมาณน้ำมันที่ใช้ (ลิตร)
				ไป	กลับ	
ชานอ้อย	110.98	33.80	21.50	2.47	3.00	121.833
แกลบ	141.43	7.11	21.50	2.47	3.00	32.660
ไม้/เปลือก	144.63	13.58	21.50	2.47	3.00	63.791
รวม		54.49	รวม			218.283
ปริมาณน้ำมันที่ใช้ในในการขนส่งเชื้อเพลิงเฉลี่ย						4.01

หมายเหตุ : อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของรถบรรทุก 10 ล้อ จากงานวิจัยของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย

ตัวอย่างวิธีคำนวณ

น้ำหนักเฉลี่ยของชานอ้อย = $\underline{33.80}$ ตัน

น้ำหนักบรรทุก = 21.50 ตัน/เที่ยว

= 1.6 เที่ยว

ระยะทางเฉลี่ย = 110.98 กม.

= $\left\{\frac{110.98}{2.47}+\frac{110.98}{3.00}\right\}$

= 77.497 ลิตร/เที่ยว

ใช้น้ำมันดีเซล = 1.6 x 77.497

= 121.83 ลิตร

จากข้อมูลในตารางการคำนวณ

ปริมาณน้ำมันรวมที่ใช้ทั้งหมด = 218.28 ลิตร

ปริมาณเชื้อเพลิงทั้งหมด = 54.49 ตัน

ปริมาณน้ำมันที่ใช้เฉลี่ย = 218.283/54.49

= 4.01 ลิตร/ตัน

สรุปปริมาณน้ำมันดีเซลที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าเท่ากับ 4.01 ลิตร/ตัน

ตารางที่ ค.2 แสดงผลการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซมลพิษกรณีการผลิตไฟฟ้าจากชานอ้อยจากโรงงานกรณีศึกษา

Gas Emission	Gas Composition (%)	MW	Con. (kg/ m^3)	Bagasses Emission (kg/kwh)
CO_2	14.75	44	0.169	0.897
CO	0.024	28	1.75×10^{-4}	9.31×10^{-4}
NO_x	0.001	46	1.20×10^{-5}	6.37×10^{-5}
SO_2	0.0055	64	9.19×10^{-5}	4.88×10^{-4}

ตารางที่ ค.3 ตัวอย่างการคำนวณการปลดปล่อยมลพิษจากการผลิตไฟฟ้าโดยเชื้อเพลิงชานอ้อย

รายละเอียดการผลิตไฟฟ้า 65 MW	ปริมาณ
อัตราการการระบายอากาศในปล่อง	345, 027 m^3/hr
อุณหภูมิอากาศในปล่อง	89 °C
เส้นผ่านศูนย์กลางปล่อง	3.4 m
ความสูงของปล่อง	35.5 m

ตัวอย่างวิธีคำนวณ

ความเข้มข้นของมลพิษทางอากาศ $\frac{\text{mass}}{\text{Volume}} \left| \frac{\text{ug}}{\text{m}^3} \right| \frac{\text{uL}}{\text{L}}$

ความเข้มข้นในหน่วย ppm

at STP (°C) แก๊ส 1 โมล ปริมาตร 22.4 L

$$\frac{V2 = V1}{22.4\ L \mid 1\ atm} \left| \frac{P1}{P2} \right| \frac{T1}{T2}$$

$$\frac{}{1\ atm} \left| \frac{}{} \right| \frac{(273 + 89)\ K}{273\ K}$$

ดังนั้น ปริมาตรแก๊ส 1 โมล ที่ 89 °C 1 atm = 29.7 L

ความเข้มข้นของ CO_2 เท่ากับ 14.75% = 147,500 ppm = 147,500 uL/L

$$\text{MW : } CO_2 = 44 \text{ ug/umole} = \frac{0.169 \text{ kg}}{m^3} \left| \frac{345{,}027 \text{ } m^3}{\text{hr}} \right| \frac{1}{65 \text{ MW}} \left| \frac{1 \text{ MW}}{10^3 \text{ KW}} \right.$$

$$= 0.169 \text{ kg/ } m^3$$

$$\text{อัตราการปลดปล่อยมลพิษในรูป } CO_2 = \frac{147{,}500 \text{ uL/L}}{L} \left| \frac{1 \text{ u}}{29.7L} \right| \frac{44 \text{ ug}}{\text{umole}} \left| \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ } m^3} \right.$$

$$= 0.897 \text{ kg/kwh ของ } CO_2$$

ดังนั้น มลพิษจากการผลิตไฟฟ้าโดยเชื้อเพลิงชานอ้อยในรูป CO_2 เท่ากับ 0.897 kg/kwh ของ CO_2

ตารางที่ ค.4 ปริมาณมลพิษจากการขนส่งที่เกิดจากการใช้น้ำมันดีเซล 1 ลิตร

มลพิษอากาศ	ปริมาณมลพิษ	หน่วย
CO_2	2.98	กิโลกรัม
CO	1.06×10^{-3}	กิโลกรัม
NO_x	2.55×10^{-2}	กิโลกรัม
SO_2	1.18×10^{-2}	กิโลกรัม
CH_4	3.97×10^{-4}	กิโลกรัม
SPM	9.74×10^{-4}	กิโลกรัม
HC	4.29×10^{-3}	กิโลกรัม

หมายเหตุ : ข้อมูลปริมาณมลพิษของ CO_2, CO, NO_x, SO_2, CH_4 และ SPM จากสุกัญญา ตามสัญญา อ้างถึงในหทัยชนก, 2550 และการปลดปล่อย HC (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2551)

ตารางที่ ค.5 ค่าประมาณการของมลพิษที่ถูกปลดปล่อยจากการเผาไหม้อ้อยในที่โล่ง (Emissions from cane trash open burning)

Pollutant	Cane trash open burning			
	C fraction of trash = A	Emission ratio (ONEP, 1990)	N/C (ONEP, 1990)	Emission (g/kg dry mater)
CH_4	0.5268	5 g C/kg C in trash	-	(Ax5x16/12) = 3.5
CO	0.5268	60 g C/kg C in trash	-	(Ax60x28/12) =73.8
N_20	0.5268	7 g N/kg N in trash	0.012	(Ax0.012x7x22/14) = 0.07
$N0_x$	0.5268	121 g N/kg N in trash	0.012	(Ax0.012x121x46/14) = 2.5
NMVOC	-	-	-	2-6 (US EPA, 1995)
$S0_2$	0.1 (IEA, 2007)	Assumption: 60% S convert to $S0_2$ (Reddy and Venkattaraman, 2002)	-	1x0.6x64/32 = 1.2

หมายเหตุ : ข้อมูลค่าประมาณการของมลพิษจาดการเผาไหม้อ้อยในที่โล่ง (Nguyen, 2008)

การคำนวณปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่เกิดจากกระบวนการ Soil Emission

สูตรการคำนวณ

$$N_2O=\frac{\text{N-fertilizer Consumption x EF fertilizer_used x Conversion factor of } N_20/N_2}{\text{Average Yield of cane field}}$$

โดยที่

$N_20_{\text{ Soil Emission}}$ = ปริมาณ (กิโลกรัม N_20/ไร่)

EF fertilizer_used = สัมประสิทธิ์การปล่อยมลสาร (Emission factor) ของการใช้ปุ๋ยเคมี (หน่วย น้ำหนัก N/N) สมมติฐานให้เท่ากับ 1.5%

Conversion factor = 44

Of N_20/ N_2 = 88

N-ferlizer Consumption = 50 กิโลกรัม N/ไร่/ปี (กำหนดให้เป็นปุ๋ย NH_4)

Average Yield of cane field = 10.97 ตัน/ไร่ (ค่าที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริง)

ผลการคำนวณ $= \left(50 \times \frac{1.5}{100} \times \frac{44}{88}\right)/(10.97) = 0.1074$ กิโลกรัมต่อตันอ้อย

ดังนั้น ปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้นเท่ากับ 0.1074 กิโลกรัมต่อตันอ้อย

ตาราง ค. 6 ข้อมูลที่ถูก cut-off ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม

วัตถุดิบ/สารเคมี	กระบวนการ	ปริมาณ (กก.)	% cut-off
1. Filter aid (Diatom Silicon Oxide)	สารช่วยในการกรองในกระบวนการผลิตน้ำตาล	7.73×10^{-3}	< 0.1
2. น้ำส่า (Mash)	น้ำที่ได้จากการหมักในกระบวนการผลิตเอทานอล	6.875	0.1

หมายเหตุ : %Cut-off คิดจากปริมาณสารขาเข้าต่อปริมาณสารขาเข้าทั้งหมดของกระบวนการนั้น ๆ

การคำนวณหา CO_2 emission จากน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำตาล

วิธีทำ

สมมติฐานให้ BOD = $C_{12}H_{22}O_{11}$ (Sucrose) ดังสมการต่อไปนี้

$$C_{12}H_{22}O_{11} + 12O_2 \longrightarrow 12CO_2 + 11H_20$$

กำหนดให้ $C_{12}H_{22}O_{11}$ = (12x12) + (1x12) + (16x11) = 342 g

$12O_2$ = (12x32) = 384 g

$12CO_2$ = (12x44) = 528 g

BOD = 3.54×10^{-4} g

จากสมการข้างต้นจะได้

1 g of O_2 /g BOD = 384 / 342

= 1.12 g

ถ้า 1.12 g BOD เกิด CO_2 = 528 g

1 g of BOD = (528 / 1.12) g

= 471.42 g

ดังนั้น จะเกิด CO_2 = (471.42 g) ($3.54x10^{-4}$ g)

= 0.116 g CO_2

= 1.16×10^{-4} kg CO_2

สรุปปริมาณ CO_2 emission จากน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำตาลเท่ากับ1.16×10^{-4} kg

ภาคผนวก ง

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่

ICGSI 2009
International Conference on Green and Sustainable Innovation

International Conference on Green and Sustainable Innovation 2009
December 2 – 4, 2009, Chiang Rai

Life Cycle Assessment of Sugar Production in Northeastern Thailand

Wichita Witayapairot and Chatpet Yossapol

School of Environmental Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000
*Corresponding Author: chatpet@sut.ac.th, Tel (044) 224418, Fax (044) 224606

Abstract

Cane and cane sugar industry is playing an important role in Thai economy. Even though Thailand is a great sugar producer, but the production cost is relatively high compared to that of other countries. Life cycle assessment (LCA) of cane sugar may be utilized as a tool to determine energy and raw material costs and environmental impacts associated with production processes. The outcome of the LCA may assist in cost reduction planning and put more value added to cane sugar and its by-products as environmentally-concerned products. This may gain more opportunity to expand sugar export from Thailand in the global market. This study covers the scope of LCA beginning from farm preparation, cane cultivation, farm maintenance, cane harvesting, transportation, and sugar production. The scope also extends to the LCA of the downstream by-products of cane sugar production, i.e., ethanol production from molasses, particleboard and energy production from bagasse. The major objective is to prepare the life cycle inventory and conduct the LCA of products from cane sugar plant. The assessment is conducted according to ISO 14044:2006 which consists of four LCA phases: goal and scope definition, inventory analysis, impact assessment and interpretation by using Eco-indicator 95 methodology. Primary and secondary data are gathered and analyzed to identify the major environmental impacts. Impact categories included in the LCA are energy consumption, global warming, human toxicity, acidification, and eutrophication.

Keywords: Life cycle assessment; cane sugar; ethanol; particleboard; life cycle inventory

1. Introduction

In each year Thailand has had the income more 50,000 million baht from sugar sale which has values in exporting up to 30,000 million baht [1]. Sugar products of the country increased but Thailand still lose the advantage in the competition in the world market, because they have the capital in cane sugar higher than rival countries. Although sugar international organization will expect the sugar consuming of the world in 2008 up to 159.2 million tons (increase 2.7%) but it's quite difficult for the tendency of sugar price in the world market will be higher, because the market still have condition of the sugar demand, which affects from the world sugar production is more than the consuming requirement for 2 years consecutively

[2]. From the energy crisis in the present, the sugar production and by-product from sugar are in the topmost to adjust the production efficiency and the appropriate administration, and then LCA is important strategy to apply for analyzing the environment effect through the product cycle. So this research emphasize to study covers the scope of LCA beginning from farm preparation, cane cultivation, farm maintenance, cane harvesting, transportation, and sugar production. The scope also extends to the LCA of the downstream by-products of cane sugar production, i.e., ethanol production from molasses, particleboard and electricity production from bagasse. The study will bring to develop efficiency of the sugar production, by-products and be able to decrease the effect on the environment in the future.

2. Methods

The assessment is conducted according to ISO 14044:2006 which consists of four LCA phases: goal and scope definition, inventory analysis, impact assessment, and interpretation [3].

2.1 Goal & Scope Definition

The goal for this research is to analyze the environmental impact evaluation of sugar production from Cane Using Life Cycle Assessment and the major objective is to prepare the life cycle inventory and conduct the LCA of products from cane sugar plant covers the scope of LCA beginning from cane cultivation, transportation, and sugar production also extends to the LCA of the by-products of cane sugar production, i.e., ethanol production from molasses, particleboard and electricity from bagasse at four factories in Northeastern Thailand. The functional unit was set to 1 ton of cane. The steps of the life cycle of cane production included in the study are shown in a flow chat (Fig.1)

2.2 Inventory Analysis

Inventory analysis is the calculation, and identify quantity of resource using and air pollutant happened from procedure of each step in the life cycle of sugar production, for making the environment list, which consists of input substance i.e, raw material, energy, water, chemical and output substance i.e, waste water, air pollution, and waste from procedure

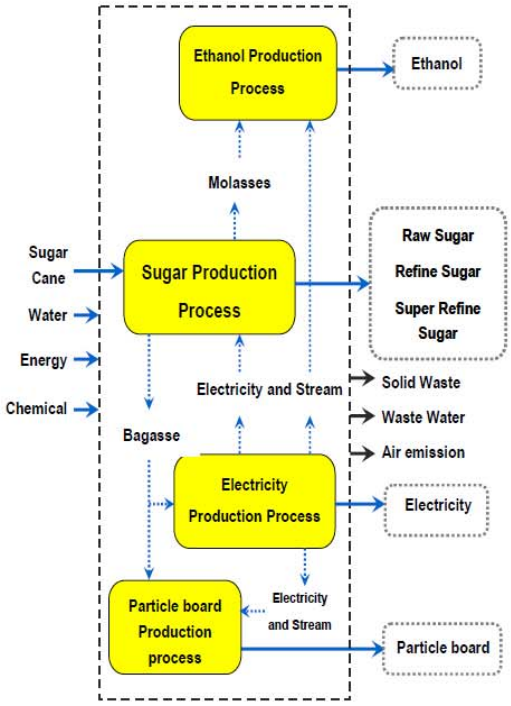


Fig. 1 System boundary for life cycle of cane

2.3 Impact Assessment

The environmental impact evaluation which happens through the life cycle of sugar products, by using the data collected from inventory analysis. The environmental impact evaluation of this study is emphasizing at the mid point of environment impact, by having the way of

affective evaluation in 3 steps such as selection, classification and characterization. [4].

2.3.1 Selection

Data Selection which concerns with procedure of each life cycle, affecting on the environment from locality level until world.

2.3.2 Classification

It is the Environmental Flows which collected to enumerate and looking at the relation of input/output substance causing the effective groups. The this research has grouped the environment effects into 5 groups of impact categories such as Energy consumption, Global Warming, Human Toxicity, Acidification and Eutrophication Potential.

2.4 Interpretation

In the interpretation step is used the results of the impact assessment to identify impact and possibilities of reducing the negative environmental effects of the subsystem under analysis.

3. Results

3.1 Inventory

The base for the primary data inventory of cane 1 ton by collecting the data from Literature review, questionnaire, interviewing from sugarcane farmers and factories are divided into 3 stage: Agricultural Stage Transportation Stage and Industrial Stage. The main data sources for the six subsystems are provided in Table 1.

3.1.1 Agricultural Stage

The agricultural step (cane cultivation, farm maintenance, cane harvesting) for cane 1 ton using cane seed 136.74 kg, fertilizer 11.39 Kg, herbicide 0.18 Kg, irrigating 221 m^3[5], diesel 3.26 l and produce soil emission: N_20, Nitrogen, BOD, Phosphorus equal 0.11, 0.38, $4.19x10^{-2}$ and $7.29x10^{-3}$ respectively. Agricultural waste about 273.47 kg and air emission from cane trash open burning are presented in Table 2

Table 2 Default parameters for estimating emissions from cane trash open burning [6]

Pollutant	Emission (g/kg dry matter)
CH_4	3.5
CO	73.8
N_2O	0.07
NO_x	2.5
NMVOC	2-6
SO_2	1.2

3.1.2 Transportation Stage

The data collection of cane to sugar factory has the average distance form farm about 47.66 km and fuel use for transportation 27.69 L based on cane 1 ton

3.1.3 Industrial Stage

On the average of 1 ton of sugar cane will get the main components as follows sugar 105-110 kg, water 500-510 kg, bagasse 270-290 kg, filter mud 28-40 kg and Molasses 50-60 kg. To estimate energy use and emission with molasses input in ethanol production and bagasse input in particle board and electricity production based on their contribution to the economy was set up. The allocation for raw sugar, refine sugar, super refine sugar, molasses and bagasse are 40%, 25.33%, 14.13%, 12.84% and 7.7% respectively.

3.2. Impact Assessment

For each inventory compartment, the impacts calculated based on Eco-indicator 95 methodology by using SimaPro 7.1

ICGSI 2009
International Conference on Green and Sustainable Innovation

Table 1 The six stages of the life cycle inventory of cane 1 ton

Main unit process	Data required	Collecting Method	Data Processing
Cane cultivation	- Cane seed use - Fertilizer use - Herbicide use - Irrigating use - Fuel use - Agricultural wastes - Cane trash burning - Diesel Emissions - Soil Emissions	- Questionnaire - Interview - Literature review	Emissions: - Soil: N_20 [4] Nitrogen, Phosphorus, BOD [7] - Air emission: cane trash burning [6]
Transportation	- Fuel use - Distance - Capacity	- Questionnaire - Interview - Sugar factory	Emissions: Diesel
Sugar production	- Material use - Electricity use - Steam use	- Sugar factory	Waste water: BOD, Nitrate, Phosphate
Ethanol production	- Material use - Electricity use - Steam use	- Ethanol factory	Air emission: Electricity
Particleboard production	- Material use - Fuel use - Electricity use	- Particleboard factory	Air emission: Dust, Formaldehyde, Diesel
Electricity production	- Material use - Fuel use - Electricity use	- Electricity factory	Air emission: TSP, SO_2, NO_x as NO_2, Diesel

4. Conclusions and Discussion

The result of impact categories for global warming potential (GWP) was shown that the score of cane cultivation is highest for all subsystems (187.14 kg CO_2) and the electricity production is lowest score for GWP (0.014 kg CO_2).The highest value for human toxicity potential (HTP) was the sugar production (4.09E-06) kg B(a)P and the second was the cane cultivation (3.96E-06) kg B(a)P. Therefore, Acidification Potential, AP was shown that the cane cultivation was the highest value (2.086 kg SO_2) and the second was sugar production (1.895 kg SO_2). The highest value of eutrophication potential, EP was the sugar production (1.177 kg PO_4) and Energy consumption potential shown that sugar production and cane cultivation was 3,396.58 MJ LHV and 2,787.42 MJ LHV respectively all data shown on Fig.2

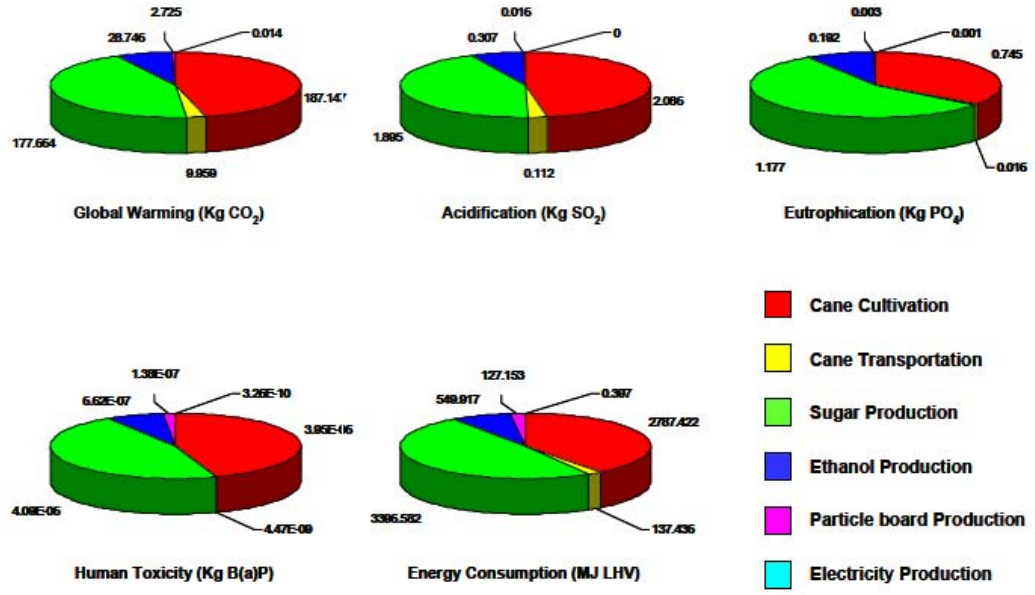


Fig. 2 Subdivision of the environmental index by impact categories and subsystems

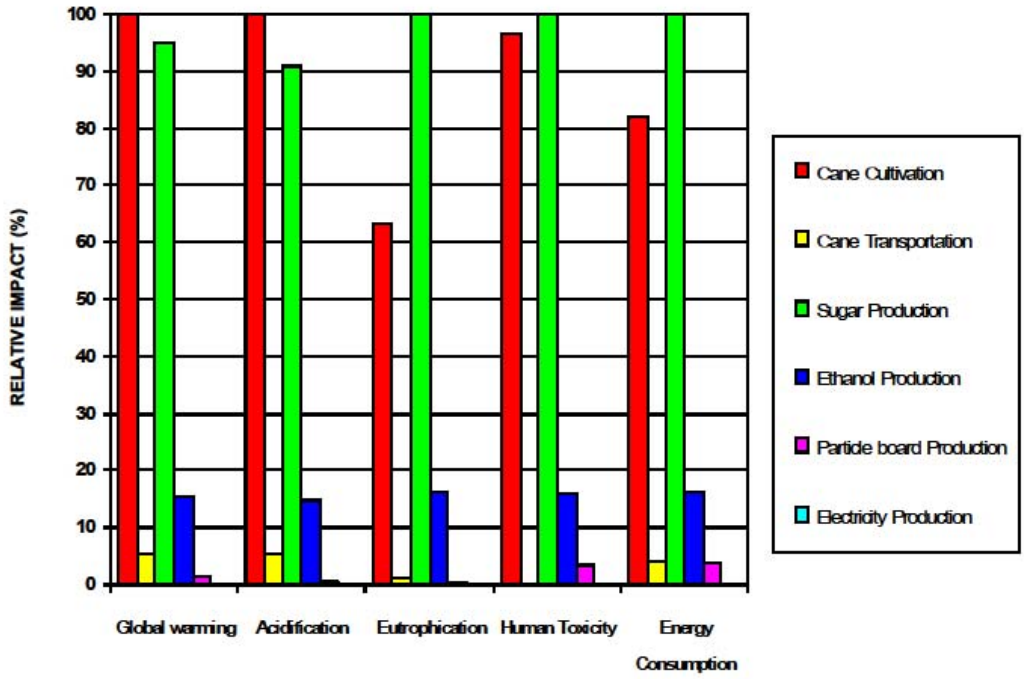


Fig. 3 Environmental impacts on a relative scale (Characterization)

Characterization results are presented on a relative scale. (Fig.3) Electricity production seems to be the system with the smallest impacts in all categories, because the major fuel of electric surplus derived from bagasse (biomass) can sale to the grid and the energy (steam) can using in sugar and ethanol factories. Electricity production from bagasse 242.9 kg can produce electric surplus 69.4 kwh. Therefore, their can reduce using lignite 14.37 kg, Fossil fuel 0.81 L, diesel 0.02 L and natural gas 489.96 CF. [8] Ethanol production from molasses can reduce using crude oil about 12.93 L for gasohol 95. Particle board production from bagasse cane reduce using wood about 0.0067 m^3.For all impact categories mentioned, the relatively high contribution made by cane cultivation and sugar production. Cane cultivation is due to the use of fertilizer and cane trash open burning from agricultural waste for emissions of various air pollutants. Also, to reduce impact from fertilizer and cane trash open burning should be recommend the farmers to use organic fertilizer and use the residue of agricultural waste lead to substantial reduction of mineral fertilizers. The government should be support the policy for using beneficial of biomass, by-product from sugar factory for improve value and reduce impact, emission to the environment.

5. Acknowledgement

The authors would like to thank all of The National Research Council of Thailand for the financial support.

6. References

[1] The Office of Agricultural Economics. (2007). Point of Agricultural Economics of Thailand , The Office of Agricultural Economics, Bangkok.

[2] The Office of Agricultural Economics. (2008). The situation and tendency of important agriculture goods 2008, The Office of Agricultural Economics, Bangkok.

[3] International Organization for Standardization. (2006). *Environmental management* - Life Cycle Assessment – Requirements and Guidelines, International Standard 14044; ISO: Geneva, Switzerland.

[4] TEI. (2007). *Life Cycle Assessment of Ethanol from Cassava and Sugar Cane,* Thailand Environmental Institute, Bangkok.

[5] Department of Agricultural, Ministry of Agriculture and Cooperative. (2008) *Knowledge of renewable energy plants: Cane chapter 4* , Bangkok, Thailand, available online at http://doa.go.th

[6] Nguyen TLT and Gheewala SH. (2008) Life cycle assessment of fuel ethanol from cane molasses in Thailand, *Int J Life Cycle Assess*, vol.13, May 2008, pp.301-311.

[7] The Department of Pollution Control. (2007). Handbook of Following Test and Assessment the Pollution Quantity from the agriculture: *Agricultural dirty water part, the office of management of water quality*, the Pollution Control Department, Bangkok.

[8] Nadsathaporn H. (2007). Environmental life cycle assessment of rice products, Suranaree University of Technology, Nakhon ratchasima, Thailand.

ประวัติผู้เขียน

นางสาววิจิตรา วิทยาไพโรจน์ เกิดเมื่อวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ.2524 ที่จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนห้วยราชพิทยาคม ระดับปริญญาตรี สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี พ.ศ. 2547 ภายหลังจากสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานที่ฝ่ายตรวจและบังคับการ กรมควบคุมมลพิษ เป็นเวลา 2 ปี ต่อมาได้เข้าทำงานที่ส่วนสิ่งแวดล้อมศึกษา กองส่งเสริมและเผยแพร่ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม เป็นเวลา 1 ปี และเนื่องจากมีความสนใจและเล็งเห็นความสำคัญของงานด้านสิ่งแวดล้อม จึงได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เมื่อปีการศึกษา 2550

งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตน้ำตาลจากอ้อย โดยหลักการประเมินวงจรชีวิต และได้เผยแพร่บทความวิชาการเรื่อง “**Life Cycle Assessment of Suga Production in Northeastern Thailand”** ในการประชุมวิชาการ “International Conference on Green and Sustainable innovation 2009” ระหว่างวันที่ 2-4 ธันวาคม พ.ศ. 2552 ณ โรงแรม เลอ เมอริเดียน เชียงรายรีสอร์ท, หน้า 418-423