การพัฒนาเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลในประเทศไทย

อัครพล โพธิ์ศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

DEVELOPMENT OF EVALUATION TOOL OF ENERGY AND GREENHOUSE GASSES EMISSIONS FOR FUEL ETHANOL PRODUCTION IN THAILAND

AKKHRAPON POSREE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING

MAJOR IN MECHANICAL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2014

COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การพัฒนาเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลในประเทศไทย

ผู้วิจัย นายอัครพล โพธิ์ศรี

คณะกรรมการสอบ

รองศาสตราจารย์ ดร.รัชพล สันติวรากร	ประธานกรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรชา บุดดาดี	กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.ธนรัฐ ศรีวีระกุล	กรรมการ

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรชา บุดดาดี)

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นท แสงเทียน)

รักษาราชการแทนคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อริยาภรณ์ พงษ์รัตน์)

รักษาราชการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2557

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้โดยความกรุณาของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรชา บุดดาดี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นในการศึกษาและการดำเนินชีวิต จึงขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เพื่อน พี่และน้อง ๆ นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้ความช่วยเหลือและขวัญกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

ท้ายนี้ คุณความดีและประโยชน์ใด ๆ อันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ บิดา มารดา ครู อาจารย์ ผู้ประศาสน์วิชาความรู้ และเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

(นายอัครพล โพธิ์ศรี)
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การพัฒนาเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลในประเทศไทย

โดย : อัครพล โพธิ์ศรี

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บรรชา บุคคาดี

ศัพท์สำคัญ : กากน้ำตาล มันสำปะหลัง เอทานอล แก๊สโซฮอล์ ก๊าซเรือนกระจก

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อวิเคราะห์ และพัฒนาเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรการผลิต และการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลจากผลิตผลทางการเกษตรที่มีศักยภาพในประเทศไทย 3 ชนิดคือ กากน้ำตาล ชานอ้อย และมันสำปะหลัง โดยในการศึกษานี้ได้ทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของพลังงานที่ใช้ พลังงานที่ได้รับ และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ตลอดวัฏจักรชีวิตซึ่งครอบคลุมตั้งแต่การปลูกพืช การเตรียม/ผลิตวัตถุดิบ การขนส่งวัตถุดิบสำหรับทุกกิจกรรมการผลิต กิจกรรมการผลิตเอทานอล การผลิตแก๊สโซฮอล์ โดยครอบคลุมแก๊สโซฮอล์ทุกประเภทที่มีจำหน่ายในประเทศไทยได้แก่ E10 E20 และ E85 และการใช้แก๊สโซฮอล์ทั้ง 3 ชนิดดังกล่าว ในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล เครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกพัฒนาขึ้นประกอบด้วยการวิเคราะห์และประเมินพลังงานที่ใช้ พลังงานที่ได้รับ และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากการผลิตและการใช้เชื้อเพลิงเอทานอลจากวัตถุดิบ 3 ประเภทดังกล่าว โดยทำการวิเคราะห์และประเมินความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของตัวแปรต่างๆตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ จากการทดสอบการประมวลผลของเครื่องมือที่พัฒนาขึ้นกับกรณีตัวอย่างจำนวน 9 ตัวอย่าง พบว่าเครื่องมือดังกล่าวสามารถประมวลและแสดงผลการประมวลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถแสดงผลการประมวลออกมาในรูปตัวเลขของค่าพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก และปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยในแต่ละช่วงกิจกรรมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้เครื่องมือดังกล่าวยังพัฒนาเพื่อให้สามารถแก้ไขความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่วิเคราะห์ขึ้นมาใหม่ได้ เพื่อให้ใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละพื้นที่ และรูปแบบการศึกษา วิเคราะห์และพัฒนาในงานวิจัยนี้ยังสามารถประยุกต์และใช้เป็นแนวทางสำหรับการศึกษาพืชที่มีศักยภาพชนิดอื่นได้ด้วย

ABSTRACT

TITLE : DEVELOPMENT OF EVALUATION TOOL OF ENERGY AND GREENHOUSE GASSES EMISSIONS FOR FUEL ETHANOL PRODUCTION IN THAILAND

BY : AKKHRAPON POSREE

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : MECHANICAL ENGINEERING

CHAIR : ASST. PROF. BANCHA BUDDADEE

KEYWORDS : MOLASSES / CASSAVA / ETHANOL / GASOHOL / GREENHOUSE GASES

In this research, the development of evaluation tool of energy and greenhouse gasses emissions for fuel ethanol production is proposed as a tool to assist in planning for ethanol plant in Thailand. Raw materials for ethanol production considered in this study are molasses, bagasse and cassava which are potentially available raw materials in Thailand. The mathematical expression between amount of raw materials and energy usage, energy gained and greenhouse gasses emissions are analyzed for all activities throughout the whole life cycle; planting, raw materials preparation, transportation of materials for all manufacturing activities, ethanol production, gasohol blending process and usage of gasohol in personal cars. Three types of gasohol including in consideration are E10, E20 and E85. The evaluation tool of energy and greenhouse gasses developed is utilized to assess the energy usage, energy gained and greenhouse gasses emissions in each activity in the whole life cycle. The 9 demonstration examples are successfully presented to illustrate the performance of the tool developed. Besides of that, the methodology and tool developed in this research can also be adapted in order to apply to suit with other cases or other potential raw material.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	**ก**
บทคัดย่อภาษาไทย	**ข**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**ค**
สารบัญ	**ง**
สารบัญตาราง	**ฉ**
สารบัญภาพ	**ช**
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์และเป้าหมาย	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	3
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์	5
2.2 อ้อย	11
2.3 การผลิตน้ำตาล	18
2.4 กากน้ำตาล	20
2.5 ชานอ้อย	23
2.6 มันสำปะหลัง	23
2.7 กระบวนการผลิตเอทานอล	27
2.8 การผลิตน้ำมันเบนซิน	33
2.9 หลักการพื้นฐานของการผลิตน้ำมันแก๊สโซฮอล์	36
2.10 มลพิษที่เกิดขึ้นจากแก๊สโซฮอล์	37
2.11 ก๊าซเรือนกระจก	38
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	41

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3 วิธีดำเนินการวิจัย	
3.1 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลของวัตถุดิบ	45
3.2 ขั้นตอนการพัฒนาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์	48
3.3 ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ	49
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
4.1 ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของวัตถุดิบ	51
4.2 ผลการพัฒนาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์	58
4.3 วิธีการใช้งานเครื่องมือช่วยในการประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก	63
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	117
5.2 ข้อเสนอแนะ	120
เอกสารอ้างอิง	**122**
ภาคผนวก	
ก รายละเอียดการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์	125
ข รายละเอียดการสร้างเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ	149
ประวัติผู้วิจัย	**185**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	กำหนดการปฏิบัติดูแลรักษาอ้อยในฤดูการปลูกอ้อยต่าง ๆ	15
2.2	กำหนดการบำรุงรักษาอ้อยตอหลังเก็บเกี่ยว	16
2.3	องค์ประกอบต่าง ๆ ของกากน้ำตาล	22
2.4	คุณสมบัติของเชื้อเพลิง	28
2.5	ความสัมพันธ์ในการเกิดมลพิษโดยเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันเบนซิน	38
2.6	ค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจกโดยเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ใน 100 ปี	40
4.1	ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของวัตถุดิบภาคการเกษตรของอ้อย	52
4.2	ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของวัตถุดิบภาคการเกษตรของมันสำปะหลัง	52
4.3	ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของกระบวนการผลิตกากน้ำตาลและชานอ้อย	53
4.4	ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของกระบวนการผลิตเอทานอล	54
4.5	ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของกระบวนการผลิตและการใช้งานแก๊สโซฮอล์	55
4.6	ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของภาคขนส่ง	57
4.7	ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของการใช้วัตถุดิบจากกากน้ำตาล	58
4.8	ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของการใช้วัตถุดิบจากชานอ้อย	61
4.9	ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของการใช้วัตถุดิบจากมันสำปะหลัง	62
4.10	ระยะทางในแต่ละช่วงการขนส่งกรณีศึกษาการใช้วัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว)	71
4.11	ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10	75
4.12	ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20	80
4.13	ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85	85
4.14	ระยะทางในแต่ละช่วงการขนส่งกรณีศึกษาการใช้วัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน)	86

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.15	ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10	91
4.16	ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20	96
4.17	ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85	101
4.18	ระยะทางในแต่ละช่วงการขนส่งกรณีศึกษาการใช้วัตถุดิบมันสำปะหลัง	102
4.19	ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10	107
4.20	ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20	111
4.21	ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85	115

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ของอนุกรมมาตรฐานที่เกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิต	8
2.2	กรอบการดำเนินงาน LCA จากอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040	9
2.3	ขั้นตอนการผลิตเอทานอล	29
2.4	หน่วยต่าง ๆ ในการกลั่นน้ำมันดิบ	36
2.5	กระบวนการผสมเพื่อผลิตน้ำมันแก๊สโซฮอล์	37
3.1	กรอบวิธีการดำเนินการวิจัย	44
3.2	กิจกรรมการผลิตและการใช้เอทานอลจากกากน้ำตาล	45
3.3	กิจกรรมการผลิตและการใช้เอทานอลจากชานอ้อย	46
3.4	กิจกรรมการผลิตและการใช้เอทานอลจากมันสำปะหลัง	47
4.1	รถบรรทุก 10 ล้อ ใช้บรรทุกอ้อยและมันสำปะหลัง	56
4.2	รถบรรทุก 10 ล้อพ่วง ใช้บรรทุกชานอ้อย	56
4.3	รถบรรทุก 18 ล้อ ใช้ขนส่งกากน้ำตาล เอทานอลและแก๊สโซฮอล์	57
4.4	ผังงานการใช้งานโปรแกรมช่วยในการประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก	63
4.5	การเปิดโปรแกรมเพื่อเริ่มใช้งานเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก	64
4.6	หน้า main ของเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก	65
4.7	วิธีการเลือกอ้อยเป็นวัตถุดิบตั้งต้นที่ต้องการคำนวณ	66
4.8	วิธีการเลือกใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตเอทานอล	66
4.9	กล่องใส่ค่าเริ่มต้นในการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตเอทานอล	67
4.10	การกรอกข้อมูลเริ่มต้นและเริ่มการคำนวณ	67
4.11	ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิต	68
4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมการผลิต	69
4.13	กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมการผลิต	69
4.14	ปุ่มกลับหน้า main เพื่อเริ่มต้นการคำนวณใหม่	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.15	การเลือกวัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10	72
4.16	การเลือกใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10	72
4.17	การเลือกประเภทแก๊สโซฮอล์ E10 และใส่ค่าในโปรแกรมประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว	73
4.18	ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10	73
4.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10	74
4.20	กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10	74
4.21	การเลือกวัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20	76
4.22	การเลือกใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20	77
4.23	การเลือกประเภทแก๊สโซฮอล์ E20 และใส่ค่าในโปรแกรมประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว	77
4.24	ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20	78
4.25	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20	78
4.26	กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.27	การเลือกวัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85	81
4.28	การเลือกใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85	82
4.29	การเลือกประเภทแก๊สโซฮอล์ E85 และใส่ค่าในโปรแกรมประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว	82
4.30	ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85	83
4.31	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85	84
4.32	กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85	84
4.33	การเลือกวัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10	87
4.34	การเลือกใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10	88
4.35	การเลือกประเภทแก๊สโซฮอล์ E10 และใส่ค่าในโปรแกรมประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน	88
4.36	ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10	89
4.37	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10	90

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.38	กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10	90
4.39	การเลือกวัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20	92
4.40	การเลือกใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20	93
4.41	การเลือกประเภทแก๊สโซฮอล์ E20 และใส่ค่าในโปรแกรมประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน	93
4.42	ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20	94
4.43	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20	95
4.44	กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20	95
4.45	การเลือกวัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85	97
4.46	การเลือกใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85	98
4.47	การเลือกประเภทแก๊สโซฮอล์ E85 และใส่ค่าในโปรแกรมประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน	98
4.48	ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85	99

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.49	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85	100
4.50	กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85	100
4.51	การเลือกวัตถุดิบมันสำปะหลัง เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10	103
4.52	การเลือกประเภทแก๊สโซฮอล์ E10 และใส่ค่าในโปรแกรมประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลัง	104
4.53	ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังสำหรับการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10	105
4.54	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10	105
4.55	กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10	106
4.56	การเลือกวัตถุดิบมันสำปะหลัง เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20	108
4.57	การเลือกประเภทแก๊สโซฮอล์ E20 และใส่ค่าในโปรแกรมประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลัง	109
4.58	ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังสำหรับการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20	109
4.59	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20	110

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.60	กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20	110
4.61	การเลือกวัตถุดิบมันสำปะหลัง เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85	112
4.62	การเลือกประเภทแก๊สโซฮอล์ E85 และใส่ค่าในโปรแกรมประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลัง	113
4.63	ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังสำหรับการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85	113
4.64	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85	114
4.65	กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85	114

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

จากสถานการณ์วิกฤติด้านราคาน้ำมันในตลาดโลกที่มีความผันผวนซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคต ได้ส่งผลกระทบโดยตรงต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจของประเทศไทย ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อต้นทุนทางด้านการผลิตทั้งในภาคเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ดังนั้นรัฐบาลจึงได้เล็งเห็นความสำคัญในการเตรียมพร้อมและแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการส่งเสริมพัฒนาการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนจึงเป็นเรื่องสำคัญ เห็นได้จากนโยบายและแผนการพัฒนาด้านพลังงานของประเทศ รวมถึงมติคณะรัฐมนตรีวันที่ 8 มิถุนายน 2547 ที่กำหนดให้เรื่องการใช้พลังงานทดแทนเป็นวาระแห่งชาติที่มีความสำคัญและเร่งด่วนที่ทุกฝ่ายจะต้องดำเนินการให้เป็นรูปธรรมและต่อเนื่อง ซึ่งหนึ่งในกลุ่มของพลังงานทดแทนที่ต้องได้รับการส่งเสริมอย่างกว้างขวาง ได้แก่ การใช้เอทานอลสำหรับผสมเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์เพื่อเป็นเชื้อเพลิง โดยการพิจารณาจากศักยภาพการผลิตพลังงานทดแทนโดยเน้นเอทานอลที่ได้จากพืชผลทางการเกษตร ซึ่งถือว่าประเทศไทยมีศักยภาพเพียงพอ เนื่องจากประเทศไทยมีแหล่งวัตถุดิบทางการเกษตรเป็นจำนวนมาก เช่น อ้อย และมันสำปะหลัง เป็นต้น ซึ่งนอกจากจะช่วยลดการนำเข้าน้ำมันแล้ว ในขณะเดียวกันยังสามารถช่วยแก้ปัญหาในเรื่องของราคาพืชผลทางการเกษตรตกต่ำ ทำให้เกษตรกรมีรายได้เพิ่มขึ้นอีกทางหนึ่งด้วย

เพื่อเป็นการส่งเสริมการผลิตและการใช้เอทานอลให้เป็นไปอย่างถูกต้องและมีประโยชน์สูงสุด จำเป็นต้องมีข้อมูลสำหรับประกอบการตัดสินใจกำหนดนโยบายและแผนการพัฒนาที่ดี โดยเฉพาะการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตของการผลิตเอทานอลเพื่อผลิตเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์รวมไปถึงการใช้งานเป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล การประเมินต้นทุนพลังงานที่ได้จากเอทานอลต่อค่าพลังงานที่ใช้ในการดำเนินงานแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิต และปริมาณการปล่อยมลพิษจากทุกขั้นตอนจนได้เอทานอลมาผสมเป็นน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ซึ่งข้อมูลที่ได้มานั้นจะช่วยในการตัดสินใจวางแผนหรือนโยบายในการก่อสร้างโรงงานเอทานอลได้ในระดับหนึ่ง

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA) เป็นวิธีการหนึ่งทางวิทยาศาสตร์ที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบัน และมีความเหมาะสมสำหรับนำมาใช้เพื่อ

ประเมินวงจรชีวิตของการผลิตและการใช้เอทานอล อันจะช่วยให้สามารถประเมินและคำนวณต้นทุนพลังงาน และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตและการใช้เอทานอลได้อย่างถูกต้อง โดยใช้หลักของการทำสมดุลของสสารและพลังงาน (Mass and Energy Balances) มาประเมินการใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยมลพิษในทุก ๆ จุดของกระบวนการผลิตและการใช้ นับตั้งแต่จุดแรกที่มีการปลูกพืชสำหรับใช้ผลิตเอทานอลมาจนถึงการนำไปผสมกับน้ำมันเชื้อเพลิง ส่งไปจำหน่ายในสถานีบริการน้ำมันและใช้งานในรถยนต์ส่วนบุคคล ซึ่งผลที่ได้จากการวิเคราะห์จะช่วยแสดงระดับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการผลิตและการใช้เอทานอล ซึ่งประโยชน์ของการศึกษาสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลายแนวทาง เช่น ใช้บ่งบอกถึงศักยภาพที่เป็นไปได้ในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ใช้เป็นแนวทางและเกณฑ์มาตรฐานในการปรับปรุงประสิทธิภาพของการปลูกพืชวัตถุดิบ การขนส่ง การผลิตเอทานอลและน้ำมันแก๊สโซฮอล์ให้ประหยัดพลังงานและเกิดมลพิษจากการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงต่ำที่สุด หรือใช้เป็นแนวทางสำหรับการกำหนดที่ตั้งโรงงานผลิตเอทานอล (Zoning) อย่างมีประสิทธิภาพโดยเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดด้วย เป็นต้น งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินวัฏจักรชีวิตการผลิตและการใช้เอทานอลจากผลผลิตทางการเกษตร เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาสร้างสมการในการคำนวณปริมาณพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงการผลิต แล้วนำสมการที่สร้างได้มาพัฒนาเป็นเครื่องมือช่วยในการคำนวณเพื่อหาค่าพลังงานและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกตามหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

1.2 วัตถุประสงค์และเป้าหมาย

1.2.1 เพื่อศึกษาและประเมินพลังงาน และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากทั้งวัฏจักรชีวิตของการผลิต และการใช้เอทานอลในรูปแบบของแก๊สโซฮอล์เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

1.2.2 เพื่อพัฒนาเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลในประเทศไทย โดยใช้สร้างโปรแกรมการคำนวณในโปรแกรม Microsoft Office Excel

1.3 ขอบเขตการศึกษา

การพัฒนาเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลในประเทศไทยนี้ เป็นการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลค่าพลังงานและ

ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของการนำผลผลิตทางการเกษตรซึ่งได้แก่ กากน้ำตาล ชานอ้อย และมันสำปะหลังมาใช้ในการผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล โดยวิธีการประเมินวัฏจักรชีวิตประเมินปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้น ตั้งแต่เริ่มต้นปลูกพืชวัตถุดิบ การเก็บเกี่ยว และการขนส่งพืชวัตถุดิบ การผลิตเอทานอล การขนส่งเอทานอล การผสมเอทานอลกับน้ำมันเบนซินเป็นน้ำมัน แก๊สโซฮอล์ E10 E20 และE85 การขนส่งไปจำหน่ายในสถานีบริการน้ำมันและการใช้งานแก๊สโซฮอล์ โดยมีขอบเขตของงานวิจัยดังต่อไปนี้

1.3.1 เก็บรวบรวมข้อมูลพลังงานที่ใช้ไปและพลังงานที่ได้รับรวมถึงการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกระบวนการปลูกพืชที่ใช้เป็นวัตถุดิบ กระบวนการผลิตเอทานอลของโรงงานเอทานอลที่มีในประเทศไทย กระบวนการขนส่งในแต่ละช่วง การผลิตและการใช้งานแก๊สโซฮอล์ E10 E20 และE85

1.3.2 วิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานที่รวบรวมเพื่อหาค่าสมดุลมวลสารของก๊าซเรือนกระจกและพลังงานในวัฏจักรชีวิตของเอทานอล สำหรับการผลิต การขนส่ง กระบวนการผลิตแก๊สโซฮอล์และการใช้งานในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล โดยพิจารณาถึงกรณีการผลิตเอทานอลดังนี้

1.3.2.1 การใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ

1.3.2.2 การใช้ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบ

1.3.2.3 การใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ

1.3.3 พัฒนาเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลในประเทศไทย จากการนำผลผลิตทางการเกษตรซึ่งได้แก่ กากน้ำตาล ชานอ้อยและมันสำปะหลังมาใช้ในการผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล โดยพัฒนาเครื่องมือช่วยคำนวณในโปรแกรม Microsoft Office Excel

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

1.4.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.4.2 วิเคราะห์ข้อมูลที่รวบรวมเพื่อสร้างสมการในการคำนวณ

1.4.3 พัฒนาโปรแกรมประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากสมการที่วิเคราะห์ได้

1.4.4 เขียนรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้ศึกษาและประเมินพลังงาน และการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิต และการใช้เอทานอลในรูปแบบของแก๊สโซฮอล์เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล จากผลิตพืชผลทางการเกษตรที่มีศักยภาพในการผลิตเอทานอลในประเทศไทย

1.5.2 ได้เครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลในประเทศไทย เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงสำหรับผู้ที่สนใจ และยังใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาฐานข้อมูลและการพัฒนาการคำนวณสำหรับพืชผลทางการเกษตรที่มีศักยภาพในการผลิตเอทานอลในอนาคต

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Assessment: LCA)

2.1.1 ความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่/แปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังจากการใช้งาน ซึ่งอาจกล่าวได้ว่าพิจารณาผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to Grave) โดยมีการระบุปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ใช้ รวมถึงของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม เพื่อที่จะหาวิธีการในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด สมาคมพิษวิทยาด้านสิ่งแวดล้อมและสารเคมี (Society of Environment Toxicology and Chemical: SETAC) ได้ให้นิยามของ LCA ว่า "เป็นกระบวนการที่ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยพิจารณาครอบคลุมถึงกระบวนการผลิตและกิจกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวเนื่องกันในรูปของวัตถุดิบและพลังงาน ซึ่งการประเมินนี้จะทำตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์อย่างละเอียด เช่น กระบวนการผลิต การบรรจุ การคัดแยก การบำรุงรักษา และการแปรรูปใช้ใหม่ รวมถึงกิจกรรมอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โดยยึดหลักของระบบนิเวศ สุขอนามัย และการนำทรัพยากรมาใช้เป็นหลัก" ส่วนองค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization: ISO) ได้นิยามความหมายของ LCA ไว้ในอนุกรมมาตรฐาน ISO14040 ว่า "เป็นการเก็บรวบรวมและการประเมินค่าของสารขาเข้าและสารขาออก รวมถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่มีโอกาสเกิดขึ้นในระบบผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรชีวิต"

2.1.2 หลักการสำคัญของ LCA

เทคนิคของการประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นจะแตกต่างจากเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ที่มีอยู่ คือ LCA เป็นกระบวนการประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หรือหน้าที่ของผลิตภัณฑ์ (function) ตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น โดยเน้นผลเชิงปริมาณชัดเจน จึงทำให้การศึกษา LCA มีความซับซ้อนมากกว่าเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เพราะต้องทำการวิเคราะห์ตั้งแต่แหล่งกำเนิดของทรัพยากรที่นำมาใช้ไปจนถึงขั้นตอนการทำลายซากผลิตภัณฑ์ โดยพิจารณาถึงผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในทุกประเด็นที่เกิดขึ้น และให้ความสำคัญทั้งในเรื่องของ

ทรัพยากรที่สิ้นเปลืองไปและสารอันตรายที่ถูกปล่อยออกมา แต่ LCA จะเป็นการมองผลกระทบในภาพรวมที่จะก่อให้เกิดปัญหาต่อโลก เช่น การทำให้โลกร้อนขึ้น มากกว่าที่จะมองเฉพาะสารพิษที่ปล่อยออกมา

การประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ดังนี้

2.1.2.1 การบ่งชี้และระบุปริมาณของภาระทางสิ่งแวดล้อม (Environmental loads) ในทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้อง/ที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ๆ เช่น พลังงานและวัตถุดิบที่ถูกใช้ การปล่อยของเสียและการแพร่กระจายของมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม

2.1.2.2 การประเมินและการหาค่าของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Impacts) ที่มีโอกาสเกิดขึ้น โดยพิจารณาจากปริมาณภาระทางสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่ถูกบ่งชี้มาในขั้นตอนแรก

2.1.2.3 การประเมินหาโอกาสในการปรับปรุงทางสิ่งแวดล้อม และใช้ข้อมูลที่มีการแสดงถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกิจกรรมเหล่านี้เป็นองค์ประกอบในการตัดสินใจ

วัตถุประสงค์ของ LCA คือ การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากผลิตภัณฑ์หรือหน้าที่การใช้งานของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น LCA จึงเป็นเพียงเครื่องมือหนึ่งซึ่งช่วยสนับสนุนการตัดสินใจทางด้านสิ่งแวดล้อม ไม่ได้แทนที่เครื่องมือวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมชนิดอื่น ๆ ซึ่งถูกกำหนดขึ้นเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะอย่าง เช่น การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental impact assessment) ที่ใช้สำหรับวิเคราะห์การสร้างหรือต่อเติมโรงงานหรือสาธารณูปโภคชนิดใหม่ การประเมินความเสี่ยง (Risk assessment) ซึ่งเป็นการประเมินผลกระทบของสารมลพิษต่าง ๆ จากการดำเนินการติดตั้งอุปกรณ์เฉพาะแห่ง อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบวัตถุประสงค์และคุณลักษณะของเครื่องมือทางสิ่งแวดล้อมแต่ละชนิดจะพบว่าการทำ LCA เป็นการพิจารณาตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตและไม่มีข้อจำกัดด้านภูมิศาสตร์และระยะเวลาอีกด้วย

2.1.3 ประวัติความเป็นมาของ LCA

การศึกษา LCA เป็นผลสืบเนื่องมาจากวิกฤตการณ์พลังงานในช่วงปี ค.ศ.1970 และจากนโยบายการประหยัดพลังงานของรัฐบาลประเทศต่าง ๆ ได้ส่งผลกระทบหลักต่อการปลูกจิตสำนึกด้านสิ่งแวดล้อม การศึกษา LCA จึงถูกพัฒนาขนานไปกับแนวความคิดที่ต้องการวิเคราะห์ความต้องการใช้พลังงานสำหรับแต่ละภาคอุตสาหกรรมอย่างละเอียด จากนั้นการศึกษา LCA ได้ขยายเพิ่มเติมถึงการวิเคราะห์ทรัพยากรชนิดอื่น ๆ ด้วย รวมถึงผลกระทบจากการแพร่มลพิษและของเสียที่เกิดขึ้น ไม่ได้วิเคราะห์แค่ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปเพียงอย่างเดียว

ความสนใจในเรื่อง LCA เริ่มมีมากขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ.1980 เพราะมีการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ 2 เรื่องคือ 1) ภาครัฐของประเทศต่าง ๆ เริ่มนำผลการศึกษา LCA ไปใช้มากขึ้น 2) มีการ

พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณผลกระทบของผลิตภัณฑ์สำหรับเปรียบเทียบความรุนแรงของปัญหาที่ต่างประเภทกัน เช่น การทำให้โลกร้อนขึ้นและการลดลงของทรัพยากร อย่างไรก็ตาม ผลการศึกษาที่แสดงในรายงานสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันอาจเกิดความขัดแย้งกัน เนื่องจากมีการใช้วิธีการ ข้อมูล และการใช้ถ้อยคำตีความที่ต่างกัน จึงต้องมีการกำหนดมาตรฐานในการจัดทำรายงานด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งหลังจากนั้นไม่นานได้มีการจัดประชุมระดับนานาชาติเกี่ยวกับวิธีการต่าง ๆ และหลักเกณฑ์การปฏิบัติสำหรับการจัดทำ LCA ขึ้นมา ซึ่งปัจจุบันอยู่ภายใต้การดูแลของสมาคม SETAC

ปัจจุบันความรู้เกี่ยวกับ LCA ได้พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เป็นที่รู้จักและได้รับการยอมรับมากขึ้น โดยถูกนำมาใช้ในการกำหนดกลยุทธ์และการกำหนดนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม เช่น โครงการด้านสิ่งแวดล้อมของสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme: UNEP) ได้ส่งเสริมการจัดทำ LCA ภายใต้โครงการ Life Cycle Initiative นอกจากนี้ยังมีบริษัทผู้ประกอบการในยุโรปกลุ่มหนึ่งได้ร่วมกันจัดตั้งองค์กรเอกชนในนามของ Society for the Promotion of Life Cycle Development (SPOLD) เพื่อส่งเสริมการนำแนวความคิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยคำนึงถึงวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ และองค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน (International Standards Organization: ISO) ได้ออกอนุกรมมาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ชุด ISO 14040 เพื่อกำหนดรูปแบบวิธีการและขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อให้เป็นมาตรฐานให้นักวิจัยด้าน LCA ได้ใช้ในการศึกษาต่อไป

2.1.4 อนุกรมมาตรฐาน ISO 14040

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์เป็นอีกหนึ่งเครื่องมือด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมที่ถูกบรรจุอยู่ในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับ LCA มีทั้งหมด 7 ฉบับ ดังนี้

2.1.4.1 ISO 14040 – Life cycle assessment – Principles and framework เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงหลักการ นิยามศัพท์ และกรอบการดำเนินงานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

2.1.4.2 ISO 14041 – Life cycle assessment – Goal and scope definition and Life Cycle Inventory (LCI) analysis เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการกำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต การวิเคราะห์และจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

2.1.4.3 ISO 14042 – Life cycle assessment – Life Cycle Impact Assessment (LCIA) เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

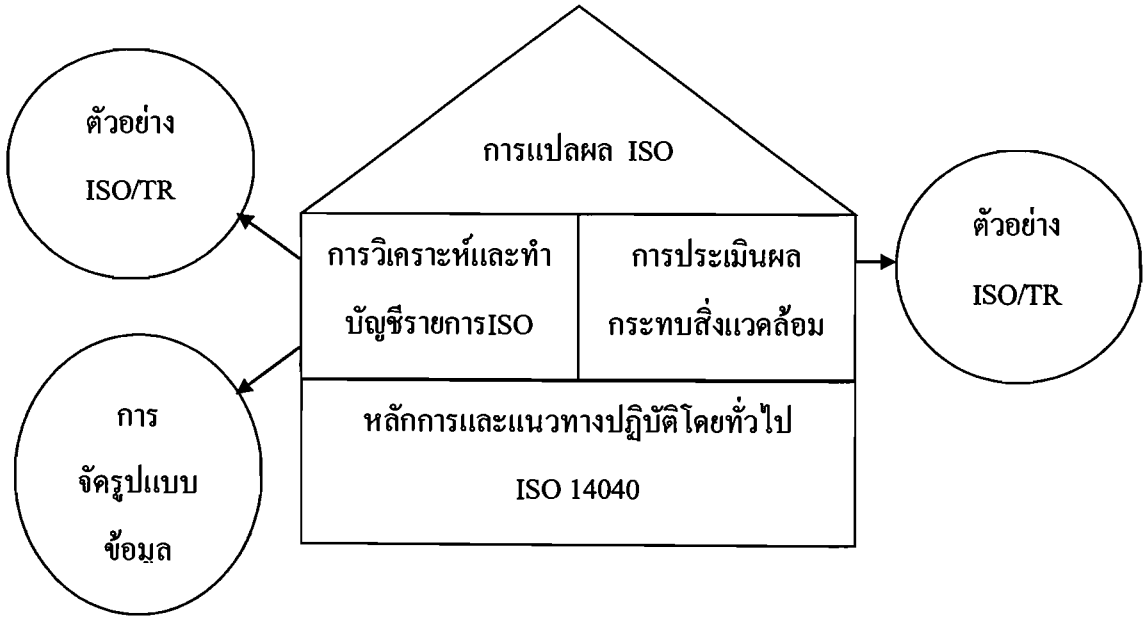
2.1.4.4 ISO 14043 – Life cycle assessment – Life Cycle Interpretation เป็นมาตรฐานที่กล่าวถึงการแปลผลข้อมูลที่ได้จากการทำ LCI และ LCIA

2.1.4.5 ISO/TR 14047 – Life cycle assessment – Illustrative example on how to apply ISO 14042 – Life cycle impact assessment เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14042 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

2.1.4.6 ISO/TR 14048 – Life cycle assessment – LCA Data Documentation Format เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้าน LCA

2.1.4.7 ISO/TR 14049 – Life cycle assessment – Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

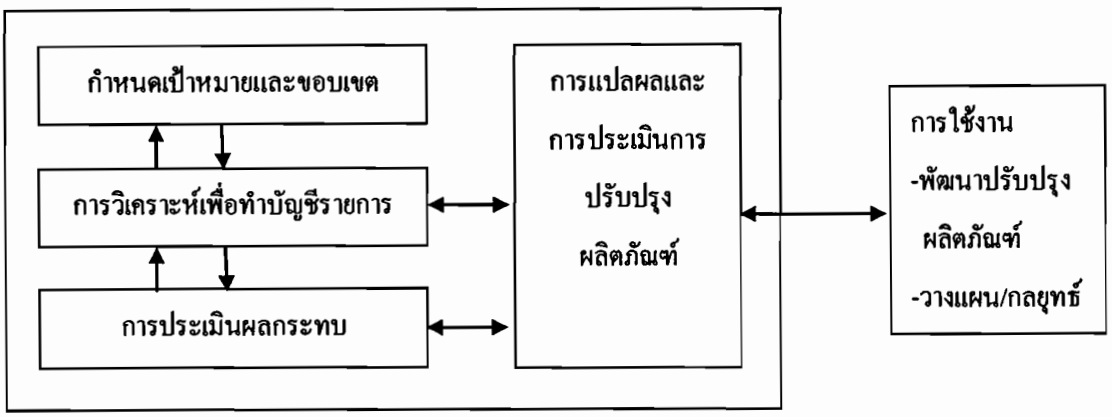
อนุกรมมาตรฐานที่เกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิตมีความสัมพันธ์ ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของอนุกรมมาตรฐานที่เกี่ยวกับการประเมินวัฏจักรชีวิต

2.1.5 กรอบการดำเนินงานของ LCA

อ้างอิงเนื้อหาจากอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040-14043 การทำ LCA จะแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 กรอบการดำเนินงาน LCA จากอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040

2.1.5.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต การศึกษา LCA ต้องทราบว่าอะไรคือสิ่งที่จะทำการศึกษาและจะศึกษาอย่างไร ซึ่งผลของการศึกษาจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นกับการกำหนดขอบเขตและเป้าหมายของการศึกษานั่นเอง โดย LCA สามารถนำไปใช้กับเป้าหมายหลัก ๆ ที่มีความแตกต่างกัน ได้แก่

1) เพื่อวิเคราะห์จุดแข็งและจุดอ่อนของผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

2) เพื่อการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ซึ่งต้องอาศัยความรู้พื้นฐานของการออกแบบและข้อมูลในเชิงตัวเลขค่อนข้างมาก

3) เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด ซึ่งต้องอาศัยความรู้ของระบบผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องและข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกซื้อ

การศึกษา LCA เพื่อเป้าหมายหลักทั้ง 3 ข้อข้างต้นนี้จะทำให้ได้ข้อมูลในเชิงวิทยาศาสตร์ที่สามารถช่วยให้การวิเคราะห์ผลมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น อันจะนำไปสู่การประยุกต์ใช้และพัฒนาในด้านอื่น ๆ เช่น การปรับปรุงกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ การออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ และการจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อม และจากเป้าหมายของการศึกษาดังกล่าวนี้เองจะเป็นตัวบ่งบอกระดับของรายละเอียดที่ต้องทำการศึกษา เช่น หากต้องการศึกษาเพื่อจัดทำฉลากสิ่งแวดล้อมและใช้เผยแพร่ข้อมูลสู่สาธารณะ อาจจำเป็นต้องมีหน่วยงานภายนอกเข้ามาประกัน

คุณภาพของข้อมูลด้วย หรือหากศึกษาเพื่อการออกแบบหรือปรับปรุงผลิตภัณฑ์ใหม่จะต้องมีขั้นตอนของการประเมินการปรับปรุงเพิ่มเข้ามาด้วยเช่นกัน แต่หากต้องการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงกัน และมีการใช้วัสดุที่ใกล้เคียงกัน การศึกษา LCA อาจศึกษาได้โดยการประเมินเปรียบเทียบเฉพาะส่วนที่แตกต่างกันเท่านั้น ซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า "การวิเคราะห์ความแตกต่าง (difference analysis)"

ขอบเขตการศึกษา LCA จะสัมพันธ์กับความซับซ้อนของเป้าหมายการศึกษา และจะมีผลกระทบโดยตรงต่อระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการศึกษา นั่นคือ หากการศึกษามีเป้าหมายที่ต้องการความน่าเชื่อถือของข้อมูลสูง หรือต้องการเผยแพร่ข้อมูลสู่สาธารณะ ของเขตการศึกษา ระยะเวลา และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการย่อมสูงตามไปด้วย

ในการเปรียบเทียบทางเลือกของการผลิตผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ นั้นจะต้องมีหลักเกณฑ์ในการเลือกอย่างเหมาะสม ลักษณะหน้าที่การใช้งาน (Function) จึงเป็นพื้นฐานสำคัญที่สุดที่ต้องมีการกำหนดขึ้นมา ตัวอย่างเช่น บริษัทแห่งหนึ่งต้องการเลือกใช้ภาชนะบรรจุเครื่องดื่มระหว่างถ้วยกระดาษที่ใช้แล้วทิ้งกับถ้วยเซรามิค ถ้าทำการเปรียบเทียบระหว่างความคงทนในการใช้งานของถ้วยกระดาษที่ใช้แล้วทิ้งกับถ้วยเซรามิคซึ่งมีค่าช่วงชีวิตที่ต่างกันมากย่อมไม่สามารถทำได้ จึงควรเปรียบเทียบหน่วยเป็นต่อการดื่มกาแฟ 1 ถ้วย หรือการบริโภคเครื่องดื่มร้อนใน 1 ปีของพนักงาน แทนที่จะเปรียบเทียบหน้าที่การใช้งานของถ้วยกาแฟจะดีกว่า หรือตัวอย่างเรื่องการขนส่งอาจทำการเปรียบเทียบระหว่างรถยนต์นั่งขนาด 4 คนซึ่งขับเคลื่อนโดยใช้เครื่องยนต์เทียบกับรถยนต์ที่ขับเคลื่อนโดยการใช้พลังงานไฟฟ้า หน่วยการทำงาน (Functional unit) ควรเป็นพลังงานที่ใช้ต่อระยะทาง 1,000 กิโลเมตรของถนนส่วนบุคคล

2.1.5.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม จุดประสงค์ของการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมคือการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากกระบวนการต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายและขอบเขต และคำนวณเพื่อหาจำนวนสารขาเข้า (inputs) และสารขาออก (outputs) ของระบบผลิตภัณฑ์ (product system) ซึ่งสารขาเข้าและสารขาออกที่ได้เหล่านี้รวมถึงการใช้ทรัพยากรและการปล่อยสารสู่อากาศ น้ำ และดิน การเก็บข้อมูลควรอยู่ในรูปที่เข้าใจง่ายและควรประกอบด้วย รายละเอียดของกระบวนการผลิต ผังการไหลของกระบวนการ และลักษณะของข้อมูล (เช่น คุณภาพ แหล่งที่มา ข้อจำกัดของข้อมูล)

2.1.5.3 การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment) จัดเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เทคนิคในการจัดการข้อมูลด้านคุณภาพ และปริมาณเพื่อนำมาจำแนกและประเมินผลของสภาวะทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากองค์ประกอบของบัญชีรายการ การประเมินผลกระทบนั้นมีขั้นตอนย่อย 2 ขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ ประกอบด้วย การ

จำแนกข้อมูลเข้าไปอยู่ในกลุ่มของผลกระทบ (Classification) และการจำแนกและจัดรูปแบบข้อมูลตามลักษณะ (Characterization) และขั้นตอนที่เป็นทางเลือกให้ศึกษาเพิ่มเติม เช่น การเทียบหน่วย (Normalization) และการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting)

2.1.5.4 การแปลผล (Interpretation) ขั้นตอนการแปลผลเป็นการนำผลการศึกษาที่ได้รับจากการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (LCI) และการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (LCIA) มาเชื่อมโยงเพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผล และจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่มาจากผลลัพธ์ของการทำ LCA รวมถึงจัดทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้สามารถเข้าใจได้ง่าย สมบูรณ์ครบถ้วน และมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาที่กำหนดไว้

การแปลผลการศึกษาประกอบไปด้วยขั้นตอนหลัก ได้แก่ (1) การจำแนกประเด็นที่สำคัญที่มาจากผลลัพธ์ของขั้นตอนการวิเคราะห์ LCI และ LCIA ของการทำ LCA (2) การประเมินค่า (evaluation) เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ ความอ่อนไหวของผลการศึกษา และความสอดคล้องของข้อมูล และ (3) การจัดทำบทสรุป ข้อเสนอแนะและรายงานผล

2.2 อ้อย (Sugar cane)

อ้อยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Saccharum Officinarum L.* มีถิ่นกำเนิดในทวีปเอเชีย จัดเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวในตระกูลหญ้าที่มีความสำคัญต่อมนุษย์มาก จัดเป็นพืชที่มีความสำคัญเป็นอันดับที่ 4 ของโลกรองจากข้าวสาลี ข้าวโพด และข้าว เนื่องจากอ้อยเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาลทราย เชื่อกันว่ามีการค้นพบอ้อยครั้งแรกในประเทศอินเดีย เมื่อประมาณ 300 ปีก่อนคริสตกาล ปัจจุบันอ้อยมักนิยมปลูกในแถบประเทศเขตร้อนและชุ่มชื้นระหว่างเส้นรุ้งที่ 35 องศาเหนือและ 35 องศาใต้ ประเทศที่มีการปลูกอ้อยมากได้แก่ บราซิล อินเดีย จีน เม็กซิโก ไทย และคิวบา (สำนักนโยบายเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2547) ประเทศไทยรู้จักการปลูกอ้อยมาเป็นเวลานาน แม้ว่าจะไม่มีหลักฐานปรากฏแน่ชัดว่าเริ่มปลูกเมื่อใด แต่จากตำราแพทย์แผนโบราณ พบว่ามีการระบุว่าอ้อยเป็นสมุนไพรประเภทหนึ่งจึงสันนิษฐานได้ว่า อ้อยเป็นพืชที่ขึ้นเองในธรรมชาติมาช้านาน จนในปัจจุบันอ้อยได้กลายเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของประเทศไทย

2.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับอ้อย

อ้อยเป็นพืชในสกุล (Genus) Saccharum ลักษณะภายนอกประกอบด้วยลำต้นที่มีข้อและปล้องชัดเจน มีใบเกิดสลับข้างกันและมีส่วนกาบใบหุ้มลำต้นไว้ รากอ้อยเป็นระบบรากฝอยแต่แข็งแรงสามารถหยั่งลงไปในดินได้ลึก 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

2.2.1.1 ระยะงอก (Germination phase) เริ่มตั้งแต่ปลูกจนกระทั่งหน่อโผล่พ้นดิน ซึ่งใช้เวลาประมาณ 2-3 สัปดาห์หน่อที่เกิดจากตาของท่อนพันธุ์ เรียกว่า หน่อแรก (Primary shoot) หรือหน่อแม่ (Mother shoot) จำนวนท่อนพันธุ์ที่งอกต่อไร่จะเป็นตัวกำหนดจำนวนกออ้อยในพื้นที่นั้น ระยะงอกนี้ต้องการแสงแดดและปุ๋ยพอประมาณ โดยเฉพาะไนโตรเจนและโปแตสเซียม ในระยะงอกอ้อยควรได้รับน้ำน้อยแต่บ่อยครั้ง

2.2.1.2 ระยะแตกกอ (Tillering phase) การแตกกอเกิดขึ้นจากตาที่อยู่ส่วนโคนของลำต้นใต้ดินของหน่อแรกเจริญออกมาเป็นหน่อชุดที่สอง และจากหน่อชุดที่สองก็เจริญเป็นหน่อชุดที่สาม หรืออาจจะมีหน่อชุดต่อไปอีก ทำให้มีจำนวนหน่อหรือลำต้นเพิ่มขึ้น ระยะแตกกอเป็นระยะต่อเนื่องกับระยะงอก การแตกกอจะเริ่มเมื่ออายุประมาณ 1.5 เดือนเป็นต้นไป แต่ระยะที่มีการแตกกอมากที่สุดอยู่ระหว่าง 2.5-4 เดือน

2.2.1.3 ระยะย่างปล้อง (Stalk elongation phase) เป็นระยะต่อเนื่องกับการแตกกอ ระยะนี้จะมีการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของปล้องอย่างรวดเร็ว ทำให้อ้อยทั้งลำต้นเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วด้วย เริ่มตั้งแต่อายุประมาณ 3-4 เดือน จนถึงอายุประมาณ 7-8 เดือน จากนั้นการเจริญเติบโตจะมีน้อยลงและจะเริ่มมีการสะสมน้ำตาลเพิ่มขึ้น ขนาดและความยาวของแต่ละต้นในระยะนี้จะสัมพันธ์โดยตรงกับน้ำหนักของลำต้น

2.2.1.4 ระยะแก่และสุก (Maturity and ripening phase) เป็นระยะที่อ้อยมีอัตราการเจริญเติบโตช้าลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับระยะต่าง ๆ และเมื่อการเจริญเติบโตเริ่มช้าลง น้ำตาลที่ใบสร้างขึ้นจากการสังเคราะห์แสงก็จะถูกใช้น้อยลงและมีเหลือเก็บสะสมในลำต้นมากขึ้น ซึ่งเป็นการเริ่มต้นของระยะสุก การสะสมน้ำตาลจะเริ่มจากส่วนโคนไปหาปลาย ดังนั้นส่วนโคนจึงหวานก่อน และมีความหวานมากกว่าส่วนปลาย การสะสมน้ำตาลจะมีมากขึ้นโดยลำดับ จนกระทั่งส่วนโคน ส่วนกลางและส่วนปลายมีความหวานใกล้เคียงกัน เรียกว่า สุก

2.2.2 วิธีการปลูกอ้อย

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

2.2.2.1 พันธุ์อ้อย ข้อควรพิจารณาในการเลือกพันธุ์อ้อย เพื่อให้ได้ผลผลิตสูง ได้แก่

1) อายุการเก็บเกี่ยว อ้อยเป็นพืชที่สะสมน้ำหนักและความหวานได้สูงเพียงชั่วระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นเพื่อให้สามารถเก็บเกี่ยวอ้อยได้ตลอดฤดู จึงควรปลูกอ้อยหลายๆ พันธุ์ ผลผลิตต่อไร่และค่าความหวาน ความหวาน เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อรายได้ของเกษตรกร ค่าความหวานโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 11-12 C.C.S ซึ่งผลผลิตจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับลักษณะพื้นที่ ภูมิอากาศและการดูแลรักษา

2) ความทนทานต่อโรคและแมลง ปัญหาโรคและแมลงระบาดมีสาเหตุมาจากการขยายพื้นที่เพาะปลูก และการใช้ท่อนพันธุ์อย่างผิดวิธี ดังนั้นการใช้พันธุ์อ้อยที่ทนทานต่อโรคและแมลง จะสามารถช่วยลดปัญหาการระบาดของโรคและแมลงได้

3) ความเหมาะสมต่อพื้นที่ที่ปลูก การเลือกใช้พันธุ์อ้อยที่เหมาะสมกับสภาพพื้นที่แต่ละพื้นที่มีส่วนสำคัญอย่างมากต่อผลผลิตอ้อย

4) ความสามารถในการไว้ตอ อ้อยเป็นพืชที่สามารถเก็บเกี่ยวได้มากกว่า 3-4 ครั้ง โดยหลังจากการเก็บเกี่ยวในปีแรก อ้อยจะแตกกอขึ้นมา เรียกว่า อ้อยตอ ซึ่งเกษตรกรจะไม่ต้องลงทุนไถพื้นที่ และซื้อพันธุ์อ้อยอีก ดังนั้นอ้อยที่มีความสามารถในการแตกกอดี มีเปอร์เซ็นต์การอยู่รอดสูง รวมถึงอายุการไว้ตอนาน จะช่วยให้เกษตรกรได้รับกำไรมากขึ้นจากการไว้อ้อยตอ

2.2.2.2 การเลือกพื้นที่และฤดูกาลปลูกอ้อย

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

2.2.2.3 การเตรียมท่อนพันธุ์ การเตรียมท่อนพันธุ์อ้อยควรพิจารณารายละเอียดดังนี้

1) พันธุ์อ้อย ต้องมีความสมบูรณ์ตรงตามพันธุ์ ควรเป็นอ้อยปลูกใหม่ อายุประมาณ 8-10 เดือน เพราะอายุน้อยกว่า 8 เดือน เปอร์เซ็นต์การงอกจะลดลง

2) ตาอ้อย ต้องสมบูรณ์ ควรมีกาบใบหุ้มเพื่อป้องกันการชำรุดของตาและลอกออกเมื่อทำการปลูก

3) ขนาดท่อนพันธุ์ที่ใช้ปลูก ควรมี 2-3 ตา ตัดด้วยมีดสะอาดโดยให้รอยตัดมีพื้นที่หน้าตัดน้อยที่สุด

2.2.2.4 การกำหนดตารางการปลูกและดูแลรักษาอ้อย

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

1) เขตชลประทาน สามารถปลูกในช่วงระหว่างเดือนมกราคมถึงพฤษภาคม

2) เขตน้ำฝน สามารถปลูกได้ 2 ช่วง คือ ต้นฤดูฝนและปลายฤดูฝน ต้นฤดูฝน ตั้งแต่เดือนเมษายนถึงมิถุนายน นิยมปลูกในพื้นที่ทั่วไป และปลายฤดูฝน ตั้งแต่เดือนตุลาคมถึงธันวาคม นิยมปลูกในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคตะวันออก (ปรีชา สุริยพันธุ์, 2542) พิพัฒน์ วีระถาวร (2548) ได้สรุปกำหนดการปฏิบัติดูแลรักษาอ้อยในฤดูการปลูกอ้อยต่าง ๆ และกำหนดการบำรุงรักษาอ้อยตอหลังเก็บเกี่ยว ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ

2.2.2.5 การเตรียมดิน

1) การเตรียมดินในพื้นที่ทั่วไป โดยปกติจะไถ 2-3 ครั้ง โดยการไถดะลึกประมาณ 30-50 เซนติเมตร และตากดินทิ้งไว้ประมาณ 7 วัน ให้วัชพืชตายหรือเน่าเปื่อย แล้วจึงพรวนหรือไถแปรอีกครั้ง

2) การเตรียมดินในพื้นที่ที่ปลูกอ้อยมาก่อน พื้นที่ที่เคยปลูกอ้อยจะมีรถบรรทุกเข้าไปในพื้นที่ ทำให้ดินชั้นล่างเกิดเป็นดินดาน รากอ้อยไม่สามารถเจริญลึกไปถึงดินชั้นล่างได้ จึงควรไถดินดาน (Ripper) เพื่อทำลายชั้นดินดาน จากนั้นจึงไถรื้อตอ และตากดินไว้ประมาณ 2-4 สัปดาห์ แล้วจึงทำการไถดะ ไถแปรเช่นเดียวกับการเตรียมดินในพื้นที่ทั่วไป

2.2.2.6 การปลูกอ้อย 2 วิธี คือ ปลูกด้วยแรงคนและปลูกโดยใช้เครื่องปลูก การปลูกอ้อยแบ่งได้เป็น 2 แบบ ดังนี้

1) การปลูกอ้อยเป็นท่อน โดยตัดอ้อยพันธุ์ให้เป็นท่อน มีปล้อง 2 ปล้อง และมีตา 2-3 ตา แล้วนำไปปลูกในร่องอ้อย ให้แต่ละท่อนห่างกันประมาณ 50 เซนติเมตร

2) การปลูกอ้อยทั้งลำ ทำได้ 2 วิธีคือ วางลำอ้อยในร่องและสับให้ขาดออกจากกัน และวางโดยไม่สับลำอ้อย การวางจะต้องวางให้โคนและยอดอ้อยซ้อนกันอยู่ตลอดทั้งร่อง

ตารางที่ 2.1 กำหนดการปฏิบัติดูแลรักษาอ้อยในฤดูการปลูกอ้อยต่าง ๆ (พิพัฒน์ วีระถาวร, 2548)

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 กำจัดวัชพืชครั้งที่ 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 กำจัดวัชพืชครั้งที่ 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

ตารางที่ 2.2 กำหนดการบำรุงรักษาอ้อยตอหลังเก็บเกี่ยว (พิพัฒน์ วีระถาวร, 2548)

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

2.2.2.7 การดูแลรักษาอ้อย

1) การควบคุมและกำจัดวัชพืชการปลูกอ้อยที่ดีควรมีช่วงปลอดวัชพืชอย่างน้อย 4-5 เดือนขึ้นไป การกำจัดวัชพืชครั้งแรก ควรทำหลังจากปลูกอ้อยแล้ว 1 เดือน โดยทำไปพร้อมกับการใส่ปุ๋ย การกำจัดวัชพืชครั้งที่ 2 ควรทำหลังจากครั้งแรก 2 สัปดาห์หรือ 1 เดือน หรือเมื่ออ้อยมีอายุ 1.5-2 เดือน โดยทำพร้อมกับการใส่ปุ๋ย

2) การให้น้ำ นับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเพิ่มผลผลิตและคุณภาพอ้อย ซึ่งน้ำจะทำให้อ้อยแตกกอดี มีจำนวนลำมากและสามารถไว้ตอได้ระยะเวลาหลายปี การให้น้ำอ้อยจะมากน้อยแตกต่างกันไปตามระยะการเจริญเติบโตดังนี้ 1) ระยะงอก อ้อยจะต้องการความชื้นที่เหมาะสมไม่มากหรือน้อยเกินไป โดยให้น้ำพอเหมาะและบ่อย 2-3 ครั้ง ห่างกัน 5-7 วัน 2) ระยะหลังงอก อ้อยต้องการน้ำมากขึ้น โดยช่วงการให้ประมาณทุก 10-14 วัน 3) ระยะแตกกอจนถึงย่างปล้อง เป็นระยะที่อ้อยเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว หากขาดน้ำในระยะนี้จะทำให้ผลผลิตลดลง ควรให้น้ำในปริมาณมากทุก 14-21 วัน 4) ระยะก่อนเก็บเกี่ยว (อายุ 9-10 เดือนขึ้นไป) คือระยะการสะสมน้ำตาล อ้อยต้องการน้ำน้อย โดยทั่วไปควรงดให้น้ำแก่อ้อย 1-1.5 เดือนก่อนการเก็บเกี่ยว

3) การพูนโคนอ้อย เป็นการเอาดินระหว่างแถวอ้อย กลบที่โคนอ้อยโดยควรทำหลังจากที่อ้อยมีการแตกกอแล้ว เพื่อทำให้กออ้อยแข็งแรง ไม่ล้มง่าย โดยกลบดินหนาประมาณ 5 เซนติเมตร หลังจากนั้นเมื่อเริ่มคายหญ้าแล้ว ก็ค่อย ๆ พูนดินให้หนา

2.2.2.8 การบำรุงดินและการใส่ปุ๋ยอ้อย

1) การบำรุงดิน โดยการใช้ไถดินดาน ไถให้ลึกประมาณ 50-75 เซนติเมตร ไถสวนกันในแปลงเป็นตารางหมากรุก

2) การใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ยถือว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการปลูกอ้อย โดยเฉพาะดินที่ปลูกอ้อยมานาน การใส่ปุ๋ยควรจะใส่ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด หรือปุ๋ยอื่น ๆ ที่ช่วยปรับสภาพทางกายภาพของดินร่วมกับปุ๋ยเคมี ปุ๋ยเคมีที่ใส่ควรมีธาตุอาหารครบทั้ง 3 อย่าง คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม (เอ็น-พี-เค)

2.2.2.9 การบำรุงรักษาอ้อยตอ

1) การแต่งตอ ทำโดยใช้จอบคม ๆ ปาดตออ้อยตรงระดับดิน เพื่อตัดตอเก่าและหน่อที่แตกใหม่ทิ้งไปให้หมด ทำให้หน่อใหม่ที่แข็งแรงกว่าเจริญแตกตาแทงขึ้นมาจากใต้ดินพร้อมกันหลายหน่อ

2) การให้น้ำและการรักษาความชื้น หากความชื้นไม่เพียงพอ การงอกของอ้อยตออาจจะไม่สมบูรณ์ ทำให้ผลผลิตลดลง การป้องกันแก้ไขวิธีหนึ่งคือ เกษตรกรชาวไร่อ้อยควรเลิกเผาแปลงอ้อยทั้งก่อนและหลังเก็บเกี่ยว เพื่อให้มีเศษใบอ้อยปกคลุมดิน เพื่อช่วยรักษาระดับความชื้นในดิน

3) การใส่ปุ๋ย การใส่ปุ๋ยอ้อยตอควรใส่เพิ่มขึ้นมากกว่าอัตราเดิมประมาณครึ่งเท่า เพราะอ้อยตอต้องใช้ธาตุอาหารเพื่อการเจริญเติบโตของหน่อใหม่

4) การดูแลรักษาทั่วไป ได้แก่ การควบคุมวัชพืช การพรวนดิน การพูนโคน

2.2.2.10 การเก็บเกี่ยว

1) ควรเก็บเกี่ยวและขนส่งอ้อยเข้าโรงงานในเวลาที่เหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์อ้อย อ้อยบางพันธุ์ให้ผลผลิตหวานสูงในช่วงต้นฤดูหีบ แต่บางพันธุ์จะให้ผลผลิตและความหวานสูงเมื่ออายุเกิน 12 เดือน การวางแผนก่อนปลูกจึงเป็นสิ่งสำคัญ

2) การเก็บเกี่ยวโดยทั่วไปยังใช้แรงงานคน โดยควรเก็บเฉพาะอ้อยที่สุกแก่เต็มที่โดนริดใบออก แล้วตัดลำต้นด้วยมีดตรงตอส่วนที่ชิดดิน และตัดยอดอ้อยตรงส่วนจุดเปราะโดยการโน้มใบที่ยอด ซึ่งจะทำให้อ้อยได้น้ำหนักและคุณภาพดี อ้อยที่ตัดควรวางในร่องให้เป็นระเบียบเพื่อความรวดเร็วในการขนย้ายอ้อยที่ตัดไปยังโรงงาน เนื่องจากอ้อยที่ค้างอยู่ในแปลงนาน ๆ จะทำให้น้ำหนักและคุณภาพของอ้อยลดลง

2.3 การผลิตน้ำตาล

2.3.1 กระบวนการผลิตน้ำตาล มีขั้นตอนดังนี้

2.3.1.1 การเตรียมชิ้นอ้อย อ้อยจะถูกนำไปชั่งน้ำหนัก แล้วเทลงบนสะพานลำเลียงอ้อยผ่านไปเข้ามีดตัดเพื่อตัดอ้อยออกเป็นท่อนเล็กๆ จากนั้นจะส่งต่อมายังเครื่องฉีกย่อยอ้อย (Shredders) ซึ่งจะทำหน้าที่ฉีกอ้อยออกเป็นฝอย โดยที่ไม่สกัดน้ำอ้อยออก

2.3.1.2 การหีบสกัดน้ำอ้อยจากอ้อย อ้อยที่ละเอียดแล้วจะถูกส่งไปยังเครื่องมือที่ใช้สกัดน้ำอ้อย คือ ชุดลูกหีบที่มีน้ำหนักมากที่ติดตั้งเป็นแถวต่อเนื่องกัน แถวหนึ่งอาจประกอบด้วยชุดลูกหีบ 4-6 ชุด และเพื่อให้มีการสกัดน้ำอ้อยออกมามากที่สุด จึงมีการพรมน้ำอ้อยและน้ำลงไปในกากอ้อยที่ออกมาจากลูกหีบแต่ละชุด ซึ่งการพรมน้ำนี้จะช่วยให้สามารถสกัดน้ำตาลออกมาจากอ้อยได้มากกว่าร้อยละ 95 สำหรับกากอ้อยที่ได้จากการหีบสกัดชุดสุดท้ายจะเหลือน้ำตาลน้อยมากและมีความชื้นประมาณร้อยละ 48 ถึงร้อยละ 52 จะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตไอน้ำ และสามารถนำไปแปรรูปเป็นเยื่อกระดาษบอร์ดชนิด ต่าง ๆ ได้

2.3.1.3 การทำให้น้ำอ้อยใส น้ำอ้อยที่ได้จากการหีบสกัดจะมีลักษณะสีเขียวเข้มถึงดำ ขุ่นข้น และมีสภาพเป็นกรดอย่างอ่อน ดังนั้นจึงต้องกำจัดความขุ่น สี และทำน้ำอ้อยให้เป็นกลางรวมทั้งกำจัดสิ่งปนเปื้อนออกโดยผ่านกระบวนการทำให้ใส ซึ่งจะใช้ความร้อนและปูนขาวปรับสภาพน้ำอ้อยให้เป็นกลางและปูนขาวจะจับกับสารละลายต่างๆ ปล่อยให้ตกตะกอนแล้วนำส่วนที่ใสไปทำการต้มเคี่ยวเป็นผลึกน้ำตาลต่อไป ส่วนตะกอนนั้นจะนำไปผ่านเครื่องกรองสุญญากาศ (Rotary drum vacuum filters) เพื่อแยกเอาส่วนน้ำอ้อยซึ่งยังคงมีความหวาน กลับเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตอีกครั้งหนึ่งส่วนกากตะกอน (Filter cake) ที่แยกออกจะส่งไปใช้ทำปุ๋ยต่อไป

2.3.1.4 การต้มและการเคี่ยวให้น้ำตาลตกผลึก น้ำอ้อยที่ผ่านการทำให้ใสจะมีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 85 ซึ่งจะต้องทำการต้มระเหยน้ำออกไปประมาณ 2 ใน 3 ส่วน โดยหม้อดิน (Evaporator) ที่มีการวางต่อกัน โดยปกติจะวาง เรียงกัน 4 ใบ น้ำเชื่อม (Syrup) ในหม้อสุดท้ายมีความเข้มข้นประมาณ 60 บริกซ์ น้ำเชื่อมหลังจากผ่านตะแกรงกรองแล้ว จะถูกส่งไปยังหม้อเคี่ยว (Vacuum pan) เพื่อต้มเคี่ยวจนน้ำเชื่อมมีความเข้มข้นเกินกว่าสภาวะอิ่มตัว น้ำตาลซูโครสจะแยกเป็นผลึกออกมาจากน้ำเชื่อม ในสภาพที่มีผลึกน้ำตาลซูโครสปนอยู่ในน้ำเชื่อมอิ่มตัว เรียกสารละลายผสมนี้ว่า แมสควิท (Massecuite) เมื่อทำให้แมสควิทนี้เย็นตัวลงด้วยรางกวนแบบตั้งหรือแบบนอน ผลึกน้ำตาลซูโครสจะยิ่งเติบโตได้ดีและแข็ง พร้อมที่จะนำไปแยกผลึกต่อไป

2.3.1.5 การปั่นแยกผลึกและทำให้แห้ง แมสคิวทที่เย็นตัวลงเป็นผลึกน้ำตาลซูโครสที่แข็งดีแล้ว จะถูกปล่อยลงในเครื่องปั่นแยกที่เรียกว่า Centrifugal ภายในเป็นลักษณะคล้ายตะแกรงที่มีรูเล็ก ๆ ขนาด 400-600 ช่องต่อตารางนิ้วหมุนด้วยความเร็วประมาณ 1000-1800 รอบต่อนาที ซึ่งจะแยกกากน้ำตาลหรือที่เรียกว่า โมลาส (Molasses) ออกไป ส่วนเมล็ดน้ำตาลจะนำไปผ่านการอบให้แห้ง เก็บเข้าโกดังเพื่อการจำหน่ายต่อไป

2.3.2 วัสดุเศษเหลือที่เกิดขึ้นจากโรงงานผลิตน้ำตาลและการนำไปใช้ประโยชน์

ในการผลิตน้ำตาลจากอ้อย จะมีวัสดุเศษเหลือที่สำคัญ 4 อย่าง คือ กากน้ำตาล กากอ้อย กากตะกอน และเถ้าลอยชานอ้อย ซึ่งสามารถนำวัสดุเศษเหลือที่ได้เหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ ดังนี้

2.3.2.1 กากน้ำตาล (Molasses) เป็นของเหลวสีดำที่เหนียวข้น ซึ่งไม่สามารถที่จะตกผลึกน้ำตาลได้อีกด้วยเครื่องจักรของโรงงานน้ำตาลธรรมดา โดยทั่วไปจะมีซูโครสปนอยู่ในกากน้ำตาลประมาณร้อยละ 7.5 กากน้ำตาลสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ คือ

1) ใช้เป็นวัสดุดิบในอุตสาหกรรมผลิตแอลกอฮอล์และเหล้า

2) ใช้ผลิตเป็นผงชูรส

3) ใช้เป็นวัสดุปรับคุณภาพดิน เนื่องจากมีส่วนประกอบของโพแทสเซียมอินทรียวัตถุและธาตุอาหารรองอื่น ๆ อีกมาก

4) ใช้ผสมกับชานอ้อยสำหรับทำถ่านเพื่อเป็นเชื้อเพลิงใช้ในครัวเรือน

2.3.2.2 กากอ้อยหรือชานอ้อย (Bagasse) เป็นวัสดุที่เหลือจากการหีบอ้อย มีลักษณะเป็นเส้นใย โดยที่ชานอ้อยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ คือ

1) นำมาเผาเพื่อเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำในการผลิตไอน้ำมาใช้ในการต้มเคี่ยวน้ำตาล

2) ใช้ผลิตเป็นปุ๋ยหมัก

3) ใช้ทำเยื่อกระดาษ

4) นำไปอัดเป็นแผ่นคล้ายไม้อัดเพื่อใช้ในการก่อสร้างและเฟอร์นิเจอร์ต่าง ๆ

ในประเทศไทยจะใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำในโรงงานเกือบทั้งสิ้นโดยปริมาณชานอ้อยที่เผาเป็นเชื้อเพลิงนั้นมีประมาณร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของปริมาณชานอ้อยทั้งหมด ที่เหลือก็ทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ การใช้ชานอ้อยมาทำเยื่อกระดาษและอัดเป็นแผ่นยังมีปริมาณไม่มาก ดังนั้นจึงยังเหลือชานอ้อยที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์อีกมาก

2.3.2.3 กากตะกอนอ้อย (Filter cake) เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานน้ำตาลหลังจากที่กรองเอาน้ำอ้อยเพื่อผลิตเป็นน้ำตาลไปแล้ว มีลักษณะเป็นของแข็งคล้ายดินร่วนและมี

ปริมาณธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียมและแคลเซียมอยู่มาก ดังนั้นจึงมีการนำกากตะกอนอ้อยมาใช้เป็นปุ๋ย

2.3.2.4 เถ้าลอยชานอ้อย (Bagasse fly ash) เถ้าลอยนี้เกิดจากการนำชานอ้อยมาเผาเพื่อเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำในโรงงานน้ำตาล และเพื่อไม่ให้เถ้าลอยที่เกิดขึ้น ฟุ้งกระจาย จึงมีการฉีดน้ำเป็นฝอยเพื่อสัมผัสกับเถ้าลอยให้เถ้าลอยตกลงมา เถ้าลอยจึงมีลักษณะเป็นก้อนเถ้าที่เปียก มีสีดำ จากนั้นจึงรวบรวมและนำไปทิ้ง

2.4 กากน้ำตาล (Molasses)

ในการผลิตเอทานอลทั้งที่เป็นเครื่องดื่มและเชื้อเพลิง มักนิยมใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบ เนื่องจากสามารถดำเนินการกระบวนการหมักได้ง่าย ยีสต์สามารถใช้น้ำตาลแล้วเปลี่ยนเป็นเอทานอลได้เลย สำหรับประเทศไทยที่มีสภาพภูมิอากาศร้อนชื้น มีการปลูกอ้อยกันมากและมีโรงงานผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อยอยู่ในบริเวณแหล่งเพาะปลูกหลายโรงงาน กากน้ำตาลอ้อยที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายจึงหาง่าย ราคาถูก และมีปริมาณมาก สามารถนำไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลได้

กากน้ำตาล (Molasses) เป็นของเหลวที่มีลักษณะข้นเหนียวสีน้ำตาลดำ ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำตาลทรายจากอ้อย โดยกรรมวิธีเริ่มจากการนำอ้อยเข้าหีบได้น้ำอ้อย กรองเอากากออกจากน้ำอ้อย แล้วเคี่ยวน้ำอ้อยจนได้ผลึกของน้ำตาลทรายตกตะกอนออกมา แยกผลึกน้ำตาลทรายออกจากกากน้ำตาลด้วยหม้อปั่น (Centrifuge) ผลพลอยได้ที่สำคัญจากการผลิตน้ำตาลทรายด้วยวิธีนี้ได้แก่ กากน้ำตาล ขี้ตะกอน (Filter cake) และกากอ้อย (Bagasses) กากน้ำตาลต่างชนิดกันจะมีองค์ประกอบและคุณสมบัติต่างกัน แม้ในกากน้ำตาลชนิดเดียวกันก็ยังต่างกันอีกด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับท้องถิ่นที่ทำการผลิต กรรมวิธีของโรงงาน ฤดูกาล และสภาพการเก็บเกี่ยว กากน้ำตาลมีองค์ประกอบดังแสดงในตารางที่ 2.3 ค่าที่ได้เป็นค่าที่พบในกากน้ำตาลของหลายประเทศที่มีการผลิตน้ำตาล ความถ่วงจำเพาะของกากน้ำตาลมีค่าเท่ากับ 1.39-1.49 องค์ประกอบหลักของกากน้ำตาลคือคาร์โบไฮเดรต ได้แก่ น้ำตาลซูโครส กลูโคส และฟรุกโทส กากน้ำตาลบีทจะมีน้ำตาลกลูโคสและฟรุกโทสในปริมาณน้อย แต่จะมีน้ำตาลราฟฟิโนสเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งต่างจากกากน้ำตาลอ้อย กากน้ำตาลอ้อยและกากน้ำตาลบีทมีส่วนที่เป็นสารประกอบอนินทรีย์ในปริมาณสูง มีวิตามินและสารที่จำเป็นสำหรับการเจริญ (growth factor) ในปริมาณที่แตกต่างกัน

ในอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลจะใช้ black strap molasses เป็นหลัก ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นน้ำตาลซูโครส และมี growth factor ต่าง ๆ มากกว่า refinery molasses โดยทั่วไปแล้วกากน้ำตาลเป็น residual syrup ที่มาสามารถตกผลึกน้ำตาลโดยกรรมวิธีง่าย ๆ ได้อีก ซึ่งในการผลิตน้ำตาลทราย

นั้นจะมีกากน้ำตาลเป็นผลพลอยได้เกิดขึ้นประมาณ 4-6 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณอ้อยที่ใช้ในการผลิต กากน้ำตาลสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิดตามกรรมวิธีในการผลิตน้ำตาลทรายคือ

2.4.1 กากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตน้ำตาลทรายขาว (Plantation white sugar) ซึ่งเราเรียกว่า Black strap molasses จะมีปริมาณน้ำตาลอยู่ประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์

2.4.2 กากน้ำตาลที่ได้จากการผลิตน้ำตาลทรายขาวบริสุทธิ์ (Refine sugar) ซึ่งเราเรียกว่า Refinery molasses จะมีปริมาณน้ำตาลอยู่ประมาณ 48 เปอร์เซ็นต์

2.4.3 กากน้ำตาลที่ได้จากการทำบางส่วนของน้ำอ้อยแปรสภาพให้เข้มข้นโดยการระเหย (Inverted can juice) ซึ่งเราเรียกว่า Invert molasses หรือ High test molasses วิธีนี้เป็นการผลิตกากน้ำตาลโดยตรง มีน้ำตาลอยู่ประมาณ 77 เปอร์เซ็นต์

จากข้อมูลจะเห็นได้ว่ากากน้ำตาลมีประโยชน์อยู่มากมาย เนื่องจากในกากน้ำตาลประกอบด้วยน้ำตาลและแร่ธาตุต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์โดยตรง สามารถใช้เป็นอาหารสัตว์และการหมักเอทานอล เนื่องจากกากน้ำตาลประกอบด้วยน้ำตาลเป็นส่วนใหญ่ซึ่งเป็นแหล่งอาหาร พลังงานที่เหมาะสมและราคาไม่แพง จึงมีการใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์หลายชนิด ใช้เป็นปุ๋ย เพราะในกากน้ำตาลมีไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งเป็นสารอาหารที่สำคัญสำหรับพืช นอกจากนี้กากน้ำตาลยังใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมการหมักหลายชนิด เช่น อุตสาหกรรมการหมักแอลกอฮอล์ สุรา กรดมะนาว กรดน้ำส้ม กรดแล็กติก ผงชูรส ยีสต์ขนมปัง และยีสต์อาหารสัตว์ เนื่องจากกากน้ำตาลมีราคาถูกและเหมาะสมกว่าเมื่อเทียบกับวัตถุดิบชนิดอื่น ๆ

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบต่าง ๆ ของกากน้ำตาล (นุชนาถ ลอยจิ๋ว, 2551)

Carbohydrates	**Percentage values (%)**			
	Solids	**Sugars**	**Sucrose**	**Invert**
Blackstrap	80-86	50-65	30-40	10-25
Refinery	76-84	50-58	32-42	14-20
High test	82-86	72-75	-	72-75
Vitamins	**Percentage values (mg/kg)**			
	Cane			
Biotin	3			
Folic acids	0.04			
Inositol	6000			
Pantothenate	55			
Pyridoxin	3			
Riboflavin	3			
Thaiamine	2			
Nicotinic acid	800			
Choline	600			
Minerals	**Percentage values (%)**			
	Cane		**Molasses**	
Sodium	0.1-0.4		0.3-0.7	
Potassium	1.5-5.0		2-7	
Calcium	0.4-0.8		0.1-0.5	
Chlroide	0.7-3.0		0.5-1.5	
Phosphorus	0.03-0.1		0.02-0.1	
Sulphur	0.3-0.8		0.15-0.5	

2.5 ชานอ้อย (Bagasse)

ชานอ้อย (Bagasse) หมายถึง เศษเหลือจากการหีบเอาน้ำอ้อยออกจากท่อนอ้อยแล้ว เมื่อท่อนอ้อยผ่านลูกหีบชุดแรกอาจจะมีน้ำอ้อยตกค้างเหลืออยู่ยังหีบออกไม่หมด แต่พอผ่านลูกหีบชุดที่ 3-4 ก็จะมีน้ำอ้อยตกค้างอยู่น้อยมากหรือแทบจะไม่เหลืออยู่เลย คือเหลือแต่เส้นใยล้วน ๆ ผลพลอยได้อันดับต่อมาได้แก่ ฟิลเตอร์มัด (Filter Mud) หรือบางแห่งก็เรียกฟิลเตอร์ เพรสเค้ก หรือฟิลเตอร์เค้ก หรือฟิลเตอร์มัด (Filter-Press Cake, Filter or Filter muck) ซึ่งจะถูกแยก กรอง หรือทำให้น้ำอ้อยบริสุทธิ์โดยวิธีอื่นใดก็ตาม สิ่งสกปรกที่แยกออกมาก็คือ ฟิลเตอร์เค้ก ผลพลอยได้อันดับสุดท้ายจากโรงงานน้ำตาล ได้แก่ กากน้ำตาล หรือโมลาส (Molasses) ซึ่งมีลักษณะข้นเหนียว สีน้ำตาลแก่ที่ไม่สามารถจะสกัดเอาน้ำตาลออกได้อีกโดยวิธีปกติ

ในอดีตใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงสำหรับต้มน้ำในหม้อน้ำให้เดือด แล้วใช้กำลังไอน้ำสำหรับเดินเครื่องจักรไอน้ำและสำหรับกำเนิดไฟฟ้าในระยะเวลาต่อมา ชานอ้อยในยุคก่อน ๆ ยังมีน้ำตาลที่หีบออกไม่หมดหลงเหลืออยู่มาก และเป็นการสะดวกในการที่ป้อนชานอ้อยจากลูกหีบลูกสุดท้ายเข้าสู่เตาต้มน้ำหรือ Boiler ได้ทันที ถึงกระนั้นก็ตามชานอ้อยก็ยังคงเหลืออยู่อีกมาก เนื่องจากหม้อน้ำใช้ไม่หมด ทำให้เกิดปัญหาในการกำจัดและทำลายให้หมดไปจากบริเวณโรงงาน จึงมีการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากชานอ้อยโดยวิธีการต่าง ๆ เช่น ไม้อัด เยื่อกระดาษ พลาสติก เอทานอล เป็นต้น

2.6 มันสำปะหลัง (Cassava)

การปลูกมันสำปะหลังในภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย ส่วนใหญ่แล้วจะทำด้วยวิธีการที่คล้ายกัน จะแตกต่างกันในส่วนของพันธุ์ที่ใช้ และช่วงเวลาการปลูก โดยเกษตรกรต้องเลือกพันธุ์ของมันให้เหมาะกับชนิดของดินในพื้นที่ และเลือกช่วงเวลาให้เหมาะสมกับพันธุ์และฤดูกาล การปลูกมันสำปะหลังมีขั้นตอน ลักษณะเด่นและข้อจำกัดของพันธุ์มันสำปะหลังแต่ละชนิดดังนี้

2.6.1 การเลือกพันธุ์มันสำปะหลัง

ในโรงงานอุตสาหกรรมตั้งแต่อดีต จนถึงปัจจุบันได้รับรองพันธุ์ของมันสำปะหลังได้ 8 พันธุ์ ได้แก่ ระยอง 1 ระยอง 3 ระยอง 60 ระยอง 90 ระยอง 5 ระยอง 72 ระยอง 7 และระยอง 9

พันธุ์ระยอง 5 เป็นพันธุ์ที่มีลำต้นสีเขียว ใบสีเขียว ก้านใบสีม่วง ลำต้นตั้งตรง แตกกิ่งที่ระดับกลางของลำต้น เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรปลูกมากเป็นอันดับสอง ข้อดี คือ ถ้าปลูกในสภาพดินดีจะให้ผลผลิตสูงมาก แต่ปริมาณแป้งในหัวสดอยู่ในระดับปานกลาง ไม่เกิดปัญหาลำต้นหักล้ม

ขนาดหัวใกล้เคียงกันโดยเรียงเป็นชั้นรอบโคนต้น ไม่มีก้านหัวจึงเหมาะสำหรับใช้เครื่องขุดมันสำปะหลัง ข้อเสีย คือ ผลผลิตต่ำเมื่อปลูกในดินเลว และอ่อนแอต่อโรคใบไหม้และใบจุด

พันธุ์ระยอง 90 เป็นพันธุ์ที่มีลำต้นสีน้ำตาล ใบสีเขียวอ่อน ก้านใบสีเขียวอ่อน ลำต้นโค้ง แตกกิ่งที่ระดับต่ำของลำต้น เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรปลูกมากเป็นอันดับสาม ข้อดี คือ ให้ปริมาณแป้งในหัวสดสูงมาก ข้อเสีย คือ ถ้าปลูกในสภาพดินดี จะให้ทรงไม่ดี โดยจะแตกกิ่งมาก ไม่สะดวกต่อการดูแลรักษาและเก็บเกี่ยว ขนาดของหัวโตไม่สม่ำเสมอ ไม่เหมาะกับการใช้เครื่องขุดมันสำปะหลัง

พันธุ์ระยอง 72 เป็นพันธุ์ที่มีลำต้นสีเขียว ใบสีเขียว ก้านใบสีม่วง ลำต้นตั้งตรง คล้ายพันธุ์ระยอง 5 ต่างกันที่ลำต้นไม่แตกกิ่ง เป็นพันธุ์ที่เกษตรกรปลูกมากเป็นอันดับสี่ ข้อดี คือ ถ้าปลูกในสภาพดินดี ให้ผลผลิตสูงมาก แต่ปริมาณแป้งในหัวสดอยู่ในระดับปานกลาง ข้อเสีย คือ ปริมาณแป้งในหัวสดจะต่ำมากถ้าเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูฝน ควรเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งเท่านั้น ขนาดของหัวโตไม่สม่ำเสมอ มีก้านหัว ไม่เหมาะกับการใช้เครื่องขุดมันสำปะหลัง

พันธุ์ระยอง 7 เป็นพันธุ์ที่มีลำต้นสีน้ำตาล ใบสีเขียวอ่อน ก้านใบสีเขียวอ่อนปนแดงอ่อน ลำต้นตั้งตรง ไม่แตกกิ่ง เป็นพันธุ์ใหม่ที่กำลังเร่งผลิตท่อนพันธุ์เพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก ข้อดี คือ ถ้าปลูกในสภาพดินดีและความชื้นดินสูง จะให้ผลผลิตและปริมาณแป้งในหัวสดสูงมาก ลงหัวเร็ว ไม่เกิดปัญหาลำต้นหักล้ม ท่อนพันธุ์ให้ความงอกเร็วมาก ขนาดหัวใกล้เคียงกันโดยเรียงเป็นชั้นรอบโคนต้น ไม่มีก้านหัวเหมาะสำหรับใช้เครื่องขุดมันสำปะหลัง นอกจากนี้ยังสามารถปลูกได้ดีทั้งต้นฤดูฝนและปลายฤดูฝน ข้อเสีย คือ ไม่ควรปลูกในสภาพดินเลวและแห้งแล้ง เพราะจะให้ลำต้นแคระแกรน ผลผลิตไม่สูง ด้วยเหตุที่ท่อนพันธุ์ให้ความงอกเร็วมาก ดังนั้นเมื่อลำต้นเจริญเติบโตผ่านช่วงแล้งมาแล้ว เมื่อถูกน้ำฝน มีผลให้ลำต้นแตกตา เวลาตัดต้นพันธุ์ที่แตกตาไปปลูกควรปลูกในดินที่มีความชื้นสูง จะให้ต้นพันธุ์ที่เจริญเติบโตตามปกติ พันธุ์นี้ค่อนข้างอ่อนแอต่อไรแดง และโรคใบไหม้

พันธุ์ระยอง 9 เป็นพันธุ์ที่มีลำต้นสีน้ำตาล ใบสีเขียวอ่อน ก้านสีใบเขียวอ่อนปนชมพู ลำต้นตั้งตรงและสูงมาก ไม่แตกกิ่ง เป็นพันธุ์ใหม่ที่กำลังเร่งผลิตท่อนพันธุ์เพื่อส่งเสริมให้เกษตรกรปลูก ข้อดี คือ เจริญเติบโตได้เร็วมากในสภาพแวดล้อมทั่วไป ลำต้นตั้งตรงและสูงมาก ข้อเสีย คือ ถ้าปลูกในสภาพดินดี จะให้ลำต้นโตมาก และลงหัวช้า พันธุ์นี้ค่อนข้างอ่อนแอต่อไรแดง

2.6.2 ฤดูการปลูก (growing season)

ในประเทศไทยมันสำปะหลังสามารถปลูกได้ตลอดปีโดยใช้ปริมาณน้ำฝนไม่มากนัก แต่เกษตรกรมักนิยมปลูกกันมากในช่วงต้นฤดูฝน ปลายฤดูฝน ช่วงหนาว และช่วงร้อน ในทางทฤษฎีพบว่า การปลูกมันสำปะหลังเพื่อให้ได้ผลผลิตสูงสุด ควรจัดวันปลูก เพื่อให้ช่วงอายุตั้งแต่

3-12 เดือน ได้รับปริมาณน้ำฝนมากที่สุด ดังนั้น การปลูกมันสำปะหลังในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ จะให้ผลผลิตสูงสุด

2.6.3 การเตรียมดิน (land preparation)

โดยธรรมชาติของมันสำปะหลังเป็นพืชหัวมีความต้องการเนื้อดินที่หลวมเพื่อความสะดวกในการออกรากฝอย (initial fibrous root) และการเพิ่มขนาดของรากสะสมอาหาร (storage root) ดังนั้นความแน่นของดิน (soil compaction) จึงเป็นอุปสรรค์ต่อการลงหัวของมันสำปะหลัง การเตรียมดินปลูกมันสำปะหลังนั้นต้องพิจารณาหลายปัจจัย ได้แก่ ภูมิอากาศ สภาพพื้นที่ ชนิดของดิน วัชพืช และวัฒนธรรมการปลูกของแต่ละแหล่งปลูก ปัจจัยหลักในการกำหนดรูปแบบของการเตรียมดินปลูกมันสำปะหลัง คือ ชนิดของดิน (soil types) และการระบายน้ำ (drainage) แบบของการเตรียมดินมี 2 แบบ คือ แบบพื้นราบหรือไม่ยกร่อง และแบบยกร่อง

2.6.4 การเตรียมท่อนพันธุ์ (stakes preparation)

การเก็บรักษาท่อนพันธุ์ (storage) ต้นมันสำปะหลังที่ตัดไว้เพื่อใช้ปลูกนั้นอ่อนแอต่ออากาศร้อน โรค และแมลง การเก็บรักษาต้นโดยกองทิ้งไว้ สรีรวิทยาภายในต้นจะเสื่อมลง เนื่องจากกระบวนการหายใจ (respiration) และกระบวนการลดความชื้น (dehydration) ต้นที่ตัดทิ้งไว้ ประกอบไปด้วยเนื้อเยื่อที่มีชีวิตและกระบวนการเมตาโบลิซึมยังคงดำเนินการอยู่ โดยมีคาร์โบไฮเดรทที่ละลายน้ำได้ (soluble carbohydrates) อยู่ภายในต้นได้ถึง 60 วัน หลังจากนั้นถ้านำต้นไปปลูกจะมีผลต่อความแข็งแรงของต้นที่งอก ความชื้นภายในต้นไม่ควรต่ำกว่า 60 เปอร์เซ็นต์ การเก็บรักษาต้น ควรมีการใช้ยาป้องกันเชื้อราและแมลง กองในที่ร่ม ในที่มีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 70-80 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิอยู่ระหว่าง 20-23 องศาเซลเซียส ความร้อนในบรรยากาศและการถูกแสงแดดโดยตรง จะช่วยเร่งกระบวนการ respiration และ dehydration ให้เกิดเร็วขึ้น ถ้าเก็บรักษาต้นระยะยาว ควรฝั่งส่วนโคนลงดินประมาณ 5-10 เซนติเมตร และรดน้ำลงดินด้วยเพื่อให้ต้นดูดไปหล่อเลี้ยงภายในต้น

2.6.5 เทคนิคการปลูก (planting techniques)

ตำแหน่งการปลูก (stake position) พันธุ์ ลักษณะดิน และภูมิอากาศ จะเป็นตัวกำหนดการปลูกแบบตั้ง (vertical) แบบเอียง (inclined) และแบบนอนหรือฝังในดิน (horizontal) การปลูกแบบตั้งให้ความงอกเร็วกว่าการปลูกแบบเอียงและแบบนอน สำหรับการปลูกแบบตั้งต้น มันสำปะหลังจะพัฒนาเป็นต้น (sprout) คลุมพื้นที่ได้เร็ว ให้ระบบรากลึก ทำให้ลดการหักล้มของต้น การปลูกแบบนอน จะให้ระบบรากตื้น การปลูกแบบตั้งและแบบเอียง การออกของหัวรอบเหง้าจะแน่น ทำให้เก็บเกี่ยวได้ยากกว่าการปลูกแบบนอน ความลึกในการปลูก (planting depth) ความลึกในการปลูกมีผลต่อความยากง่ายในการเก็บเกี่ยวหัว โดยการปลูกตื้นจะเก็บเกี่ยวหัวได้ง่ายกว่าการปลูก

ลึก การปลูกแบบนอนจะเก็บเกี่ยวได้ง่ายกว่าการปลูกแบบตั้งและเอียง โดยทั่วไป การปลูกแบบตั้งหรือแบบเอียง ควรปลูกให้ลึกลงดินประมาณ 2 ใน 3 ส่วนของท่อนปลูก การพิจารณาความลึกในการปลูกขึ้นอยู่กับความชื้นและชนิดของดิน ในดินร่วนทรายควรปลูกลึกกว่าดินร่วนเหนียว ในดินแห้งแล้งควรปลูกลึกกว่าในดินชื้น

2.6.6 การใช้ปุ๋ย (fertilizer application)

การใช้ปุ๋ยเคมีกับมันสำปะหลัง จากการทดลองพบว่ามันสำปะหลังมีความต้องการปุ๋ย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ในอัตราส่วน 2 : 1 : 2 ดังนั้น ปุ๋ยเคมีที่กรมวิชาการเกษตรแนะนำให้เกษตรกรใช้ คือ ปุ๋ยเคมีสูตร 15-7-18 หรือ 15-15-15 หรือ 16-8-14 โดย ดินร่วนเหนียว (clayey loam) ใช้อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ดินร่วนทราย (sandy loam) ใช้อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ และดินทราย (sandy) ใช้อัตรา 100 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปุ๋ยเคมีควรใส่ครั้งเดียวในขณะที่ดินมีความชื้น โดยใส่เมื่อมันสำปะหลังอายุได้ประมาณ 1 เดือนหลังจากปลูก การใส่ปุ๋ยเคมีควรขุดหรือโรยสองข้างลำต้นรัศมีพุ่มใบแล้วพรวนดินกลบเพื่อป้องการสูญเสียปุ๋ยเคมี ถ้าไม่มีการพรวนดินกลบปุ๋ยเคมี อาจสูญเสียโดยการชะล้างและแสงแดดมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ก่อนที่พืชจะนำไปใช้ประโยชน์การใช้ปุ๋ยอินทรีย์กับมันสำปะหลัง ปุ๋ยอินทรีย์ที่เกษตรกรนิยมใช้ คือ ปุ๋ยมูลไก่ผสมแกลบซึ่งมีธาตุไนโตรเจน 2.5 เปอร์เซ็นต์ ฟอสฟอรัส 1.4 เปอร์เซ็นต์ โพแทสเซียม 3.7 เปอร์เซ็นต์ แคลเซียม 9.02 เปอร์เซ็นต์ แมกนีเซียม 0.92 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลอง พบว่า ดินร่วนเหนียวใช้อัตรา 500 กิโลกรัมต่อไร่ ดินร่วนทรายใช้อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ และดินทรายใช้อัตรา 1,000-2,000 กิโลกรัมต่อไร่

2.6.7 การเก็บเกี่ยว (harvesting)

มันสำปะหลังเป็นพืชที่ได้เปรียบพืชชนิดอื่น คือสามารถยืดอายุเก็บเกี่ยวได้ โดยมันจะเริ่มมีหัวเมื่ออายุประมาณ 3 เดือนเป็นต้นไป หัวจะเจริญขึ้นเรื่อย ๆ โดยสะสมแป้งมากขึ้นหลังจาก 6 เดือนไปแล้ว เปอร์เซ็นต์แป้งจะไม่เปลี่ยนไปมากนัก แต่ปริมาณแป้งจะเพิ่มขึ้นโดยน้ำหนักหัวสดเพิ่มขึ้นจาก 1.2 ตันต่อไร่ เมื่ออายุ 6 เดือนเป็น 4.1 ตันต่อไร่ เมื่ออายุ 12 เดือน และ 7.2 ตันต่อไร่ เมื่ออายุได้ 16 เดือน เมื่อคิดเทียบเป็นสัดส่วนพบว่าการเก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 6 8 10 เดือน จะได้ผลผลิตเพียงร้อยละ 46 และร้อยละ 70 ของผลผลิตเมื่ออายุ 12 เดือน และเมื่อเก็บเกี่ยวในช่วงอายุมันมากกว่า 12 เดือน พบว่า ผลผลิตยังเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ อย่างไรก็ตาม แม้การเก็บเกี่ยวมันเมื่ออายุมากกว่า 12 เดือนจะให้ผลผลิตสูงขึ้น แต่จะทำให้การปลูกรุ่นต่อไปไม่ตรงกับฤดูกาลที่เหมาะสมและหัวมันจะมีขนาดใหญ่ มีเส้นใยมากซึ่งตลาดไม่ต้องการ การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลัง ส่วนใหญ่ใช้แรงงานคนในการขุด โดยตัดต้นมันออกให้เหลือตอยาวประมาณ 30-50 เซนติเมตร ถ้าหากดินมีความชื้นหรือพื้นที่ปลูกเป็นดินทรายมีความร่วนซุยมาก อาจใช้วิธีการถอนหรือขุดด้วยจอบหรือใช้

คานงัดและใช้เครื่องทุ่นแรง เช่น จอบขุดแบบประยุกต์ จากนั้นจึงสับหัวมันออกจากเหง้าแล้วขนส่งสู่โรงงานแปรสภาพต่อไป อย่างไรก็ตามปัจจุบันแรงงานภาคเกษตรหายากมาก การเก็บเกี่ยวมันสำปะหลังต้องขึ้นอยู่กับอายุ พันธุ์ สภาพแวดล้อม และกลไกของตลาด มันสำปะหลังสามารถเก็บเกี่ยวได้ตั้งแต่อายุ 7-24 เดือนหลังจากปลูก สำหรับการปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทย มีการปลูกกันมากในช่วงต้นฤดูฝนประมาณเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม และในช่วงปลายฤดูฝนประมาณเดือนตุลาคมถึงธันวาคม

2.7 กระบวนการผลิตเอทานอล

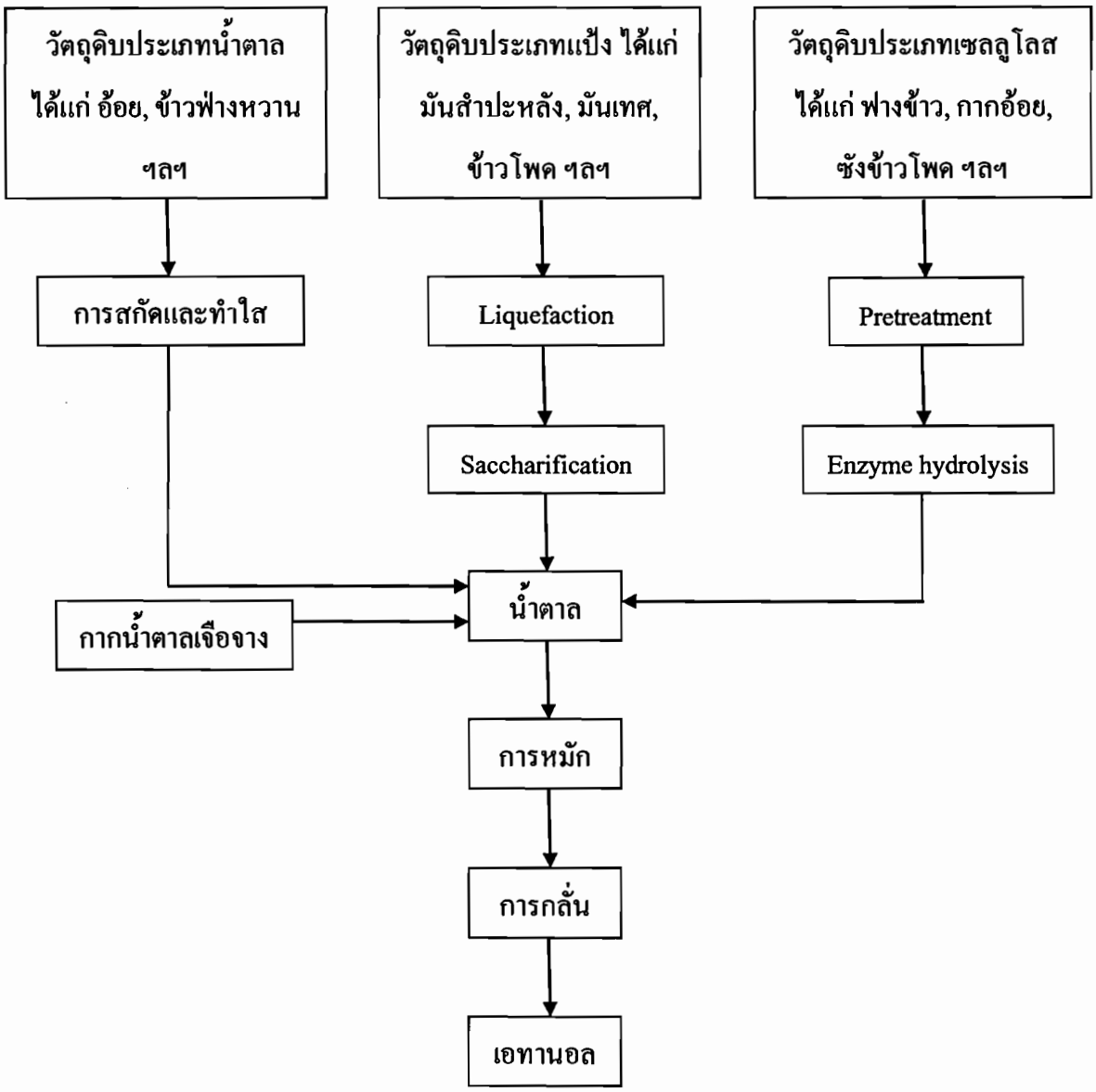
สารประกอบเอทานอล หมายถึง วัสดุใสที่ไม่มีสี ติดไฟได้ เป็นสารเคมีอินทรีย์ที่ได้จากกากหมักจำพวกพืชในกลุ่มแป้งหรือน้ำตาล หรือ ที่เรียกว่า เอทิลแอลกอฮอล์ มีผสมอยู่ในสุราหรือเครื่องดื่มที่ผสมแอลกอฮอล์ทุกชนิดที่ใช้บริโภค เอทานอลจะมีลักษณะและโครงสร้างเคมีคล้ายกับสารเคมีอินทรีย์อีกชนิดหนึ่ง คือ เมทานอล หรือเมทิลแอลกอฮอล์ แต่เมทานอลสกัดจากขบวนการกลั่นวัสดุปิโตรเคมีและเป็นวัสดุที่มีพิษ ส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ที่ไม่นำมาบริโภคหรือมาใช้โดยตรงกับมนุษย์หรือสัตว์ ซึ่งเอทานอลในทางเคมีเป็นกลุ่มสารประกอบอินทรีย์มีสูตรทางเคมี C2H5OH ที่ประกอบไปด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน เป็นไฮดรอกซิล ดิริเวทีฟของไฮโดรคาร์บอน โดยจะเกิดจากการแทนที่ของไฮโดรเจนอะตอมด้วย hydroxyl group (OH) เอทานอลบริสุทธิ์ (anhydrous) ที่มีจุดเดือด ที่ 78.5 องศาเซลเซียส โดยที่คุณสมบัติของเอทานอลจะเป็นสารเพิ่มค่า อ๊อคเทน ในน้ำมันเบนซิน ซึ่งจะต้องนำมาใช้ทดแทนสาร MTBE (Methyl Tertiary Butyl Ether) ที่ผสมกับน้ำมันเบนซินที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งสาร MTBE นี้มีการค้นพบว่าเป็นสารที่มีอันตรายต่อมนุษย์ และคุณสมบัติของเอทานอล จะมีความแตกต่างจากเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ ดังแสดงตารางที่ 2.4 เพราะฉะนั้นในการที่จะนำเอทานอลมาใช้แทนน้ำมันเบนซินนั้นจะต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติที่แตกต่าง เพื่อจะให้เครื่องยนต์ทำงานได้เหมาะสมนั้น

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของเชื้อเพลิง (Characteristic of Fuel) (นุชนาถ ลอยจิ๋ว, 2551)

คุณสมบัติ	gasoline	Light diesel	Ethanol	Methanol
Chemical Formula	C 8.26 H 15.5	C 10.8 H18.7	C2H5OH	CH3OH
Molecular Weight	114.8	148.6	46.07	32.04
Specific Gravity	0.72 – 0.78	0.84 – 0.88	0.785	0.792
Oxygen Content (wt %)	-	-	34.8	50.5
Boiling Oont	27 - 225	188 - 343	78	65
Reid Vapor Pressure (kPa)	55 - 103	-	16	32
Higher Heating Value (kJ/kg)	47,300	44,800	29,700	22,700
Lower Heating Value (kJ/kg)	44,000	42,500	26,900	20,000
Heat of Vaporization (kJ/kg)	305	270	840	1,103
LHV of Stoich.Mixture (kJ/kg)	2,830	2,740	2,690	2,680
Specific Heat (kJ/kg•K)				
Liquid	2.4	2.2	2.5	2.6
Vapor	1.7	1.7	1.93	1.72
Research Octane Number (RON)	92 - 98	-	107	106
Motor Octane Number (MON)	80 - 90	-	89	92
Cetane Number	10	45 – 55	3	8
Stoichiomtric A/F ratio	14.6	14.5	9	6.5
Adiabatic flame temperature (K)	2,266	-	2,197	-

ในการผลิตเอทานอลจากพืชมีขั้นตอนและขบวนการโดยย่อตามที่แสดงในภาพที่ 2.3 เอทานอล (Ethanol) ที่ผลิตจากพืชผลทางการเกษตร เช่น มันสำปะหลัง อ้อย และกากน้ำตาล ในกระบวนการผลิต หากใช้วัตถุดิบประเภทแป้ง และเซลลูโลส จะต้องนำมาย่อยให้เป็นน้ำตาลก่อน โดยการใช้กรด แบคทีเรีย หรือเอนไซม์ ส่วนวัตถุดิบที่เป็นน้ำตาลในรูปที่เหมาะสมสามารถนำมาหมักกับเชื้อยีสต์ได้เลย ซึ่งจะใช้เวลาในการหมักประมาณ 2-3 วัน กรณีที่เป็นการหมักแบบชั่วคราว หากหมักแบบต่อเนื่องจะใช้เวลา 36 ชั่วโมง จะได้เอทานอลที่ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 8-12 โดยปริมาตร จากนั้นนำไปกลั่นแยกแบบลำดับส่วน จะได้เอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 95 โดยปริมาตร ในกรณีที่ต้องนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงผสมก๊าซโซฮอล์จะต้องแยกส่วนน้ำออกอีกให้ได้

ความบริสุทธิ์มากกว่า 99.5 เปอร์เซ็นต์ โดยวิธีการกลั่นกับสารตัวที่สาม หรือแยกด้วยเครื่องโมเลกุลาซีฟ (molecular sieve) หรือเครื่องแยกระบบเมมเบรนในขบวนการหลากหลายรูปแบบนี้มีขั้นตอนและการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน แล้วแต่วัตถุดิบหรือสภาพของวัตถุดิบที่นำเข้ากระบวนการการผลิตเอทานอล



ภาพที่ 2.3 ขั้นตอนการผลิตเอทานอล

2.7.1 การเตรียมน้ำตาลเพื่อการหมักเอทานอล

การเตรียมเปลี่ยนแป้งหรือวัสดุเซลลูโลสอื่นเป็นน้ำตาลเพื่อให้มีสภาพเหมาะกับการหมักเอทานอลด้วยยีสต์ในส่วนต่อไปวัตถุดิบส่วนที่เป็นแป้งที่ได้จากธัญพืชจำเป็นต้องผ่านขบวนการย่อยสลายแป้งโดยใช้เอนไซม์ร่วมในขบวน การเอนไซม์นี้เป็นกลุ่ม อะไมเลส (Amylase)ซึ่งมี 2 ประเภทคือ

2.7.1.1 การย่อยแป้งแบบกลุ่ม ทำให้ได้แป้งโมเลกุลเล็ก และเด็กซตริน เอนไซม์ประเภทนี้ คือ แอลฟาอะไมเลส (Alfa-amylase)

2.7.1.2 การย่อยแป้งจากปลาย ทำให้ได้กลูโคส เอนไซม์ประเภทนี้ คือ เบต้าอะไมเลส (Beta-amylase) และกลูโคสอะไมเลส Alucosamylase

2.7.2 การหมักเอทานอล

ในกระบวนการหมักหากใช้วัตถุดิบที่เป็นประเภทแป้ง และเซลลูโลส จะต้องนำมาย่อยให้เป็นน้ำตาลก่อน โดยการใช้กรดแบคทีเรียหรือเอนไซม์ ส่วนวัตถุดิบที่เป็นน้ำตาลสามารถนำมาหมักกับเชื้อยีสต์ได้โดยตรง ใช้เวลาในการหมักประมาณ 2-3 วัน กรณีที่เป็นการหมักแบบถังหมัก หากหมักแบบต่อเนื่องจะใช้เวลาประมาณ 36 ชั่วโมง จะได้แอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นประมาณร้อยละ 8 -12 โดยปริมาตร ซึ่งในขบวนการหมักเอทานอลจะเป็นการหมักเอทานอลโดยใช้ยีสต์มีองค์ประกอบที่ต้องมีความเข้าใจและจัดการให้มีความสมดุลย์ 2 ส่วนคือ (1) ลักษณะเฉพาะและคุณสมบัติของยีสต์ และ (2) จัดการให้มีปัจจัยที่จำเป็นต่อการทำงานของยีสต์ การหมักเอทานอลส่วนมากใช้ยีสต์สายพันธุ์ Saccharomyces cerevisiae ซึ่งสามารถผลิตเอทานอลได้สูงและสามารถทนสภาพแวดล้อมที่มีเอทานอลได้ดีกว่าสายพันธุ์อื่น การทำงานของยีสต์ในการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นเอทานอลเกิดขึ้นในระดับเซลและปลดปล่อยเอทานอล ออกมาภายนอกเซลล์ ตามทฤษฎีการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นเอทานอลได้ 51.1% และส่วนที่เหลือ 48.9% เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในทางปฏิบัติมีน้ำตาลเพียงประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์เท่านั้นที่เปลี่ยนเป็นเอทานอล ส่วนที่เหลือยีสต์จะใช้ในการเจริญเติบโตและสร้างสารอื่นได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ 46.5 อะซิตัสดีไฮด์ 0.3 กรดอะซิติก 0.25 กลีเซอรีน 3.0 กรดแลกติก กรดซัลซินิก ฟูเซลออยล์ 0.25-0.50 และเฟอฟูรอล อีกเล็กน้อย ซึ่งในการหมัก ยีสต์จะมีการทำงานเกิดขึ้นสภาวะที่มีออกซิเจนต่ำ โดยที่ยีสต์จะใช้กูลโคสส่วนใหญ่ในการผลิตเอทานอลและคาร์บอนไดออกไซด์และได้พลังงานในรูป ATP ขั้นตอนนี้เรียกว่า ethanol fermentations ดังแสดงในสมการ (2.2) ในสภาพที่มีออกซิเจนยีสต์จะใช้กลูโคสส่วนใหญ่เพื่อการเจริญเติบโตและพลังงานในรูป ATP เรียกขั้นตอนนี้ว่า การหายใจ respiration และปัจจัยที่จำเป็นต่อการทำงานของยีสต์ในขบวนการหมัก เพื่อให้มีประสิทธิภาพการหมักสูงสุดและได้ปริมาณเอทานอลสูง จำเป็นต้องมีปัจจัยสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม

ต่อการทำงานของยีสต์ในการหมักเอทานอล มีองค์ประกอบและปัจจัยสำคัญทางด้านสภาพแวดล้อม อื่น ๆ ดังนี้

2.7.2.1 องค์ประกอบส่วนที่เป็นส่วนสำคัญ

1) ปริมาณคาร์บอน ในการหมักยีสต์จะใช้คาร์บอนจาก

- น้ำตาลกลูโคส และฟรักโตสใช้หมักได้ดีเท่ากัน โดยปกติแหล่งน้ำตาลที่หาได้ง่ายได้จากกากน้ำตาล น้ำอ้อย ข้าวฟ่างหวาน และชูการ์บีท

- เป็นน้ำตาลที่ได้จากการย่อยแป้งด้วยเอนไซม์ เช่นจากแป้งมันชนิดต่าง ๆ รวมทั้งมันสำปะหลัง ข้าวโพด และธัญพืชต่าง ๆ

- เป็นน้ำตาลที่ได้จากการย่อยเซลลูโลสด้วยขบวนการจุลชีวเคมีหรือขบวนการเคมี เช่นจากกระดาษ ใยจากต้นพืชและขี้เลื่อย ซึ่งในปัจจุบันยังอยู่ในขั้นพัฒนาให้มีต้นทุนต่ำลง

2) ปริมาณไนโตรเจน ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญของยีสต์ และเป็นซับสเตรทสำหรับการสังเคราะห์โปรตีนทำให้จำนวนเซลล์เพิ่มขึ้น นับว่าเป็นส่วนสำคัญที่กระตุ้นการหมักหรือการผลิตแอลกอฮอล์ (เอทานอล) โดยในตัวของยีสต์จะมีปริมาณไนโตรเจน ประมาณ10 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง โดยส่วนใหญ่ยีสต์จะสามารถใช้ไนโตรเจนในรูป แอมโมเนียมอิออน ในอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลนิยมใช้เกลือแอมโมเนียมซัลเฟต ที่เป็นแหล่งให้ธาตุไนโตรเจนและให้ซัลเฟอร์ไปพร้อมกัน (สำหรับยีสต์บางชนิดอาจใช้ไนโตรเจนในรูปกรดอะมิโน)

3) ปริมาณซัลเฟอร์ ซัลเฟอร์ เป็นธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเซลล์ ยีสต์มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบ 0.4 % แหล่งซัลเฟอร์ที่ยีสต์ใช้ได้ดีคือ

- กรดแอมมอโนเมทไทโอนีน

- เกลือซัลเฟต ในรูปแอมโมเนียมซัลเฟต ที่มีราคาถูกและเป็นแหล่งไนโตรเจนพร้อมกันไป

4) ปริมาณธาตุที่จำเป็นอื่น ๆ ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญและการทำงานของยีสต์คือ

- แมกนีเซียม

- แคลเซียม ไวตามินในการเจริญได้แก่ ไบโอติน กรดแพนโทแทนนิต ไทอะมีน กรดนิโคตินิค และไพริดอกซิน ในปริมาณเล็กน้อย

2.7.2.2 ปัจจัยแวดล้อมอื่นระหว่างการหมัก

การหมักเชิงอุตสาหกรรมต้องมีการควบคุมสิ่งแวดล้อมในการหมักในทุกขั้นตอน

เพื่อให้ประสิทธิภาพการหมักสูงสุด ทั้งนี้ต้องมีความสอดคล้องกับคุณลักษณะประจำสายพันธุ์ของยีสต์ที่ใช้

1) ความเข้มข้นของน้ำตาล ในสภาพการหมักที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลสูงจะช่วยลดการปนเปื้อนเชื้ออื่นได้ดี แต่น้ำตาลสูงจะยับยั้งการเจริญและการหมักเอทานอล และคุณสมบัตินี้เป็นลักษณะประจำสายพันธุ์ของยีสต์ เมื่อเทียบกันกับกรณีความเข้มข้นเอทานอลจะมีผลยับยั้งการหมักรุนแรงกว่า แต่หากมีภาวะทั้งน้ำตาลและเอทานอลเข้มข้นและเอทานอลสูงจะยิ่งเสริมกันให้มีลักษณะยับยั้งการหมักรุนแรงขึ้น

2) ระดับอุณหภูมิ ในการหมักยีสต์สายพันธุ์ S-cerevisiae สามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิปานกลาง ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิต่ำสุดที่จะทนได้คือ 5-10 องศาเซลเซียส ในสภาพที่อาหารอุดมสมบูรณ์ยีสต์จะทนอุณหภูมิสูงได้ดี และจะหยุดเจริญเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส และเกินกว่า 40 องศาเซลเซียส การควบคุมอุณหภูมิในการหมักเชิงอุตสาหกรรมเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อประสิทธิภาพการหมักที่ดี และจำเป็นต้องมีระบบหล่อเย็นเพื่อควบคุมอุณหภูมิในถังหมัก

3) ค่าพีเอช pH ยีสต์สายพันธุ์ S cerevisiae สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาพการหมักเอทานอลจากน้ำตาลที่ค่าพีเอชอยู่ในช่วง 2.4-8.6 โดยมีค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 4.5 ซึ่งในสภาพเป็นกรดอ่อนนี้สามารถช่วยควบคุมการปนเปื้อนแบคทีเรียได้ดี การหมักเอทานอลจากซูโครสมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง พีเอชมากกว่าการใช้กลูโคส

4) ความเข้มข้นของเอทานอล ในสภาพที่มีเอทานอลสูงการเจริญเติบโตและการหมักยีสต์จะถูกยับยั้งเพราะเอทานอลมีผลต่อเอนโซม์และสรีรวิทยาของเซลล์ เมื่อเปอร์เซ็นต์เอทานอลมากกว่า 1 โดยน้ำหนัก มีผลทำให้การเจริญลดลงและจะหยุดลงเมื่อมีเอทานอล 4.7-7.8 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยต่อจากนั้นจะเป็นการหมักเอทานอลจนถึงเอทานอลความเข้มข้น 14 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การที่ยีสต์ไม่เจริญทำให้อัตราการหมักลดลงด้วย เชื้อ Scerevisiae เป็นยีสต์ที่ทนเอทานอลมากที่สุด และในสภาพที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวเกี่ยวข้องกับสภาวะฟอสโฟโลปิดที่เยื่อหุ้มเซลล์

5) ปริมาณออกซิเจน ในขั้นตอนการเตรียมหัวเชื้อ ออกซิเจนมีความสำคัญมาก เนื่องจากยีสต์มีการเจริญเติบโตสูงในสภาวะที่มีออกซิเจนมาก แต่จะมีผลให้การหมักลดลงออกซิเจนส่งเสริมให้การออกซิเดชันสมบูรณ์ และมีการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ในออกซิเจนยังเกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัว ที่มีความสำคัญที่ทำให้ยีสต์

ทนเอทานอลได้มากขึ้น ดังนั้นในสภาวะที่ขาดออกซิเจน ยีสต์ไม่สามารถสังเคราะห์กรดไขมันไม่อิ่มตัวได้ จึงต้องมีการเติมกรดไขมันไม่อิ่มตัวเพื่อให้ยีสต์สามารถอยู่รอดได้ ยีสต์ใช้ออกซิเจนในการหายใจเพื่อการเจริญเติบโต ดังนั้นในกระบวนการหมักอย่างต่อเนื่องควรมีการให้อากาศบ้างในระหว่างการหมัก เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ทดแทนเซลล์ที่ตายลง และยังพบว่าการให้อากาศปริมาณเล็กน้อย ทำให้การใช้กลูโคสได้มากขึ้น และช่วยให้ยีสต์มีความทนทานต่อเอทานอลได้ดี

6) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์มีผลยับยั้งการเติบโตของยีสต์ ทั้งในภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน ที่ความดันบรรยากาศปกติ หากมีคาร์บอนไดออกไซด์สูงจะเกิดการยังยั้งการเจริญและการหมักอย่างรุนแรง โดยคาร์บอนไดออกไซด์มีผลยับยั้งการเกิดปฏิกิริยาดีคาร์บอกซิเลชัน และคาร์บอนไดออกไซด์ยังมีผลต่อเยื่อหุ้มเซลล์ทำให้การขนถ่ายสารเข้าออกเซลล์เปลี่ยนไป

2.7.3 การกลั่นเอทานอล และการแยกน้ำออกจากเอทานอล

การกลั่นเอทานอลเป็นขบวนการกลั่นแยกน้ำออกจากเอทานอล ซึ่งเมื่อถึงความเข้มข้นของสารละลายที่ 95 %โดยน้ำหนักจะเกิดรูป Azeotrope ของสารละลาย ซึ่งการกลั่นแยกน้ำออกแบบธรรมดาไม่สามารถแยกเอทานอลให้บริสุทธิ์ได้ ดังนั้นการแยกน้ำออกจาก เอทานอลทำให้ได้เอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ 99.5% นั้น ปัจจุบันมีขบวนการแยกน้ำออกจากเอทานอลอยู่ด้วยกัน 3 วิธีคือ

2.7.3.1 การแยกน้ำโดยการกลั่นด้วยการเติมสารตัวที่สาม

2.7.3.2 การใช้โมเลกูล่าซีฟ

2.7.3.3 การแยกน้ำโดยการใช้ Membraneหรือที่เรียกว่า ขบวนการ Pervaporation

2.8 การผลิตน้ำมันเบนซิน

น้ำมันเชื้อเพลิงเครื่องยนต์เบนซิน หรือที่เรียกกันว่าน้ำมันเบนซิน เป็นน้ำมันที่ได้จากการปรุงแต่งคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นน้ำมันโดยตรง และจากการแยกก๊าซธรรมชาติเหลว (Condensate) น้ำมันเบนซินจะผสมสารเคมีเพื่อเพิ่มคุณภาพให้เหมาะสมกับการใช้งาน เช่น สารเคมีเพิ่มค่าออกเทน (Octane Number) สารเคมีสำหรับป้องกันสนิมและการกัดกร่อนในถังน้ำมันและท่อน้ำมัน รวมทั้งสารเคมีช่วยทำความสะอาดคาร์บูเรเตอร์ เป็นต้น

กระบวนการกลั่นน้ำมันดิบ คือ การเปลี่ยนแปลงสภาพน้ำมันดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปชนิดต่าง ๆ ตามความต้องการของตลาดที่แตกต่างกันตามประเภทของการใช้ประโยชน์ เช่น ก๊าซหุงต้ม น้ำมันเบนซิน น้ำมันเครื่องบิน น้ำมันก๊าด น้ำมันดีเซล น้ำมันเตา ยางมะตอย นอกจากนั้นยังใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิตน้ำมันหล่อลื่น และจาระบี รวมทั้งเคมีภัณฑ์ต่าง ๆ ด้วย

กระบวนการกลั่นน้ำมันของแต่ละโรงกลั่นอาจแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น คุณสมบัติของน้ำมันดิบที่นำเข้ามากลั่น ชนิดและคุณภาพของผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่ต้องการ แต่โดยทั่วไปแล้วกระบวนการกลั่นจะประกอบด้วยกรรมวิธีย่อยที่สำคัญดังต่อไปนี้

2.8.1 การแยก (Separation)

กรรมวิธีการแยกน้ำมันดิบ คือ การแยกส่วนประกอบทางกายภาพของน้ำมันดิบ ซึ่งส่วนมากจะแยกโดยใช้วิธีการกลั่นลำดับส่วน (Fractional Distillation) โดยเมื่อส่งน้ำมันดิบ (Crude Oil) เข้ามากลั่นในหอกลั่น สารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดต่าง ๆ ที่รวมกันอยู่ในน้ำมันดิบ ซึ่งมีระดับของจุดเดือดที่แตกต่างกันก็จะกลายเป็นไอ ซึ่งเมื่อควบแน่นแล้วก็จะทำให้ได้น้ำมันสำเร็จรูปประเภท ต่าง ๆ ชั้นสุดยอดของหอกลั่นซึ่งมีอุณหภูมิต่ำสุดจะเป็นก๊าซหุงต้ม (LPG) รอง ๆ ลงมาซึ่งอุณหภูมิสูงขึ้นจะเป็นส่วนของน้ำมันเบนซิน น้ำมันก๊าด และน้ำมันดีเซล ตามลำดับ ส่วนน้ำมันที่อยู่ก้นหอกลั่นหากนำไปผ่านกรรมวิธีอื่น ๆ ก็จะแยกออกเป็นน้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน และส่วนที่เหลือก็จะเป็นน้ำมันเตา และยางมะตอย

2.8.2 การเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมี (Conversion)

เป็นการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลหรือโครงสร้างทางเคมี เพื่อให้คุณภาพของน้ำมันเหมาะสมกับความต้องการใช้ประโยชน์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วน อาจมีประมาณไม่เท่ากับปริมาณผลิตภัณฑ์น้ำมันที่ต้องการใช้ เช่น น้ำมันเบนซินที่กลั่นได้น้ำมันดิบด้วยวิธีการกลั่นลำดับส่วนอาจมีปริมาณไม่พอกับความต้องการ ฉะนั้นผู้กลั่นน้ำมันจึงต้องหาทางผลิตน้ำมันเบนซินให้มากขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างโมเลกุลของน้ำมัน หลักพื้นฐานของวิธีนี้ ได้แก่ การทำให้โมเลกุลของน้ำมันหนักแตกตัวด้วยความร้อน (Thermal Cracking) หรือแตกตัวด้วยสารเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Cracking) หรือการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลของน้ำมันเบาให้ได้โมเลกุลที่หนักกว่า และมีคุณสมบัติที่แตกต่างออกไป (Polymerization) นอกจากนั้นยังมีวิธีเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของไฮโดรคาร์บอนอื่น ๆ อีก เช่น วิธีแอลกิเลชั่น (Alkylation) วิธีไอโซเมอไรเซชั่น (Isomerization) และวิธีปฏิรูปด้วยสารเร่งปฏิกิริยา (Catalytic Reforming) ที่ทำให้เกิดการจัดรูปโมเลกุลของปิโตรเลียมใหม่ ให้มีค่าออกเทน สูงขึ้น

2.8.3 การปรับปรุงคุณภาพ (Treating)

เป็นการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นลำดับส่วน ให้มีคุณภาพที่เหมาะสมกับสภาพการใช้งานและความต้องการของตลาด ซึ่งได้แก่ การกำจัดสิ่งเจือปนซึ่งอาจเจือปนมาตั้งแต่ในน้ำมันดิบหรือระหว่างกรรมวิธีการกลั่นหรือเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี การปรับปรุงคุณภาพยังรวมถึงการผสม โดยการนำน้ำมันชนิดต่าง ๆ มาผสมตามสัดส่วนที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปตามมาตรฐานที่กำหนด เช่น การผสมน้ำมันเบนซินให้ได้ค่าออกเทน

ตามมาตรฐาน เป็นต้น หน่วยต่าง ๆ ในกระบวนการกลั่นน้ำมัน (Common process units found in a refinery) สามารถจำแนกได้ตามภาพที่ 2.4 ซึ่งมีรายละเอียดต่อไปนี้

2.8.3.1 Atmospheric Distillation Unit คือ หน่วยการกลั่นน้ำมันดิบแบบแยกเป็นส่วนๆ

2.8.3.2 Vacuum Distillation Unit หน่วยการกลั่นที่บริเวณตอนล่างที่เป็นกากที่เหลือจากการกลั่นในข้อที่ 1

2.8.3.3 Naphtha Hydrotreater Unit หน่วยแยกซัลเฟอร์ออกจากเนฟทาจากการกลั่นในข้อ 1 ต้องทำ hydrotreater แนฟทา ก่อนส่งเข้าใน Catalytic Reformer Unit (หน่วยที่เติมสารคาตาลิสต์)

2.8.3.4 Catalytic Reformer Unit หน่วยการเติมสารคาตาลิสต์เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจุดเดือดของเนฟทาให้สูงขึ้น เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าออกเทนสูงขึ้น (higher octane reformate) รวมทั้งเพิ่มค่าสารอโรมาติก (aromatics) โอลิฟีน (olefins) และไซคลิกไฮโดรคาร์บอน (cyclichydrocarbon) สิ่งสำคัญที่เหลือ (an important byproduct) ที่เกิดขึ้นคือ เกิดมีไฮโดรเจนออกมาระหว่างขบวนการคาตาลิสต์ ไฮโดรเจนถูกนำไปใช้ใน hydrotreater และ hydrocracker

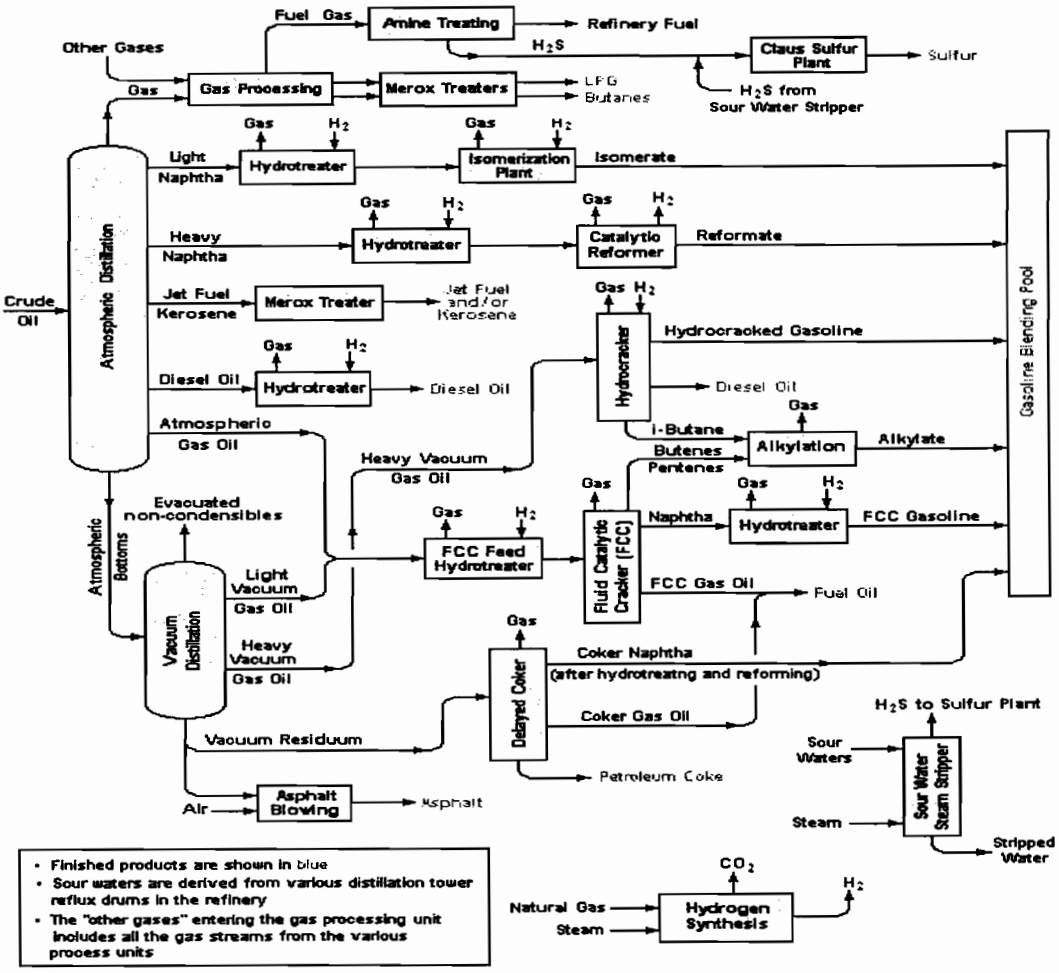
2.8.3.5 Distillate Hydrotreater Unit หน่วยที่แยกซัลเฟอร์ออกจากดีเซลหลังจากการกลั่นในข้อ 1

2.8.3.6 Fluid Catalytic Converter Unit หน่วยที่เปลี่ยนแปลงคาตาลิติกที่เป็นของไหล

2.8.3.7 Dimerization Unit หน่วยที่มีการรวมกันของโมเลกุลที่เหมือนกัน

2.8.3.8 Isomerization Unit หน่วยที่มีสารประกอบตั้งแต่ 2 ชนิด ขึ้นไป ที่มีองค์ประกอบทางเคมีที่มีโมเลกุลเท่ากัน แต่คุณสมบัติทางเคมี และฟิสิกส์ ต่างกัน

2.8.3.9 Gas storage units หน่วยที่เป็นที่กักเก็บก๊าซโพรเพน (Propane) และก๊าซเชื้อเพลิงอื่น ๆ ที่มีการรักษาความดันให้มีสภาพอยู่ในสถานะของเหลว เพื่อสะดวกแก่การบรรจุในถังรูปทรงกลม หรือรูปทรงกระบอก



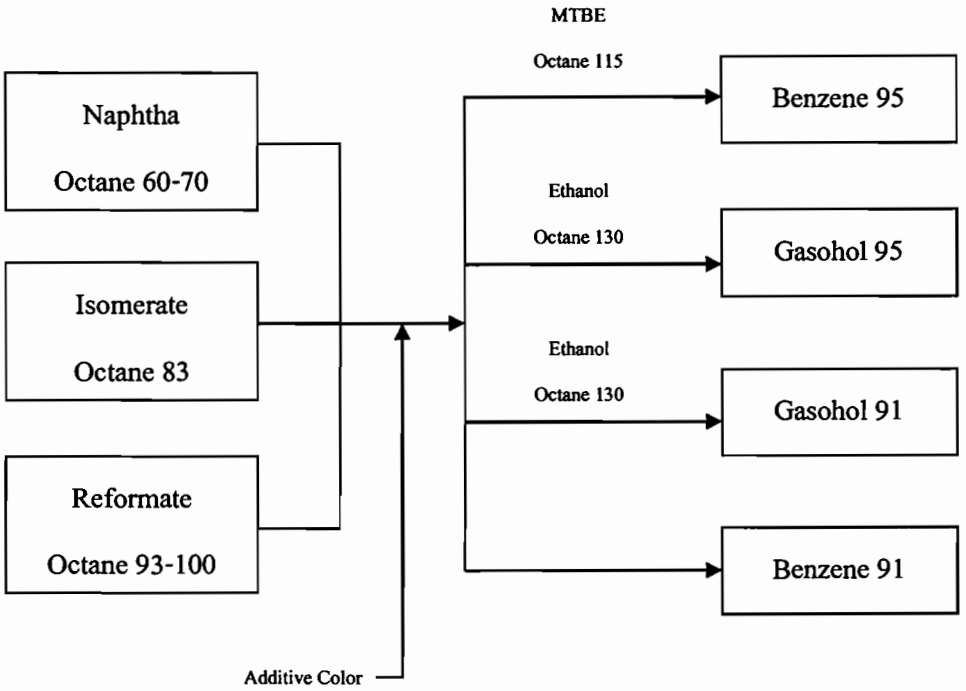
ภาพที่ 2.4 หน่วยต่าง ๆ ในการกลั่นน้ำมันดิบ

2.9 หลักการพื้นฐานของการผลิตน้ำมันแก๊สโซฮอล์

กระบวนการในการกลั่นน้ำมันดิบนั้นจะได้เชื้อเพลิงพื้นฐานออกมาหลายชนิด เชื้อเพลิงพื้นฐานเหล่านี้จะมีค่าออกเทนที่ได้จากการกลั่นแต่ละครั้งไม่เท่ากัน ดังนั้นในการที่จะผลิตเชื้อเพลิงแต่ละครั้งนั้นมีอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน โดยเชื้อเพลิงพื้นฐานที่ได้ออกมาจากการกลั่นจะนำมาเติมสารเพื่อเพิ่มค่าออกเทน

น้ำมันแก๊สโซฮอล์ คือ น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผ่านการผลิตมาจากน้ำมันเบนซินผสมกับเอทานอล (Ethanol) โดยใช้เอทานอลมาเป็นส่วนผสมแทนที่การใช้ MTBE เพื่อให้ได้เชื้อเพลิงที่มีค่าออกเทนเหมือนกับเบนซินที่เติมสาร MTBE ปกติ ซึ่งมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันเบนซิน และสามารถใช้แทนกันได้ โดยในการผสมแต่ละครั้งจะมีอัตราส่วนที่ใช้ในการผสมที่ไม่แน่นอน โดยจะมีองค์ประกอบ ได้แก่ Naphtha ซึ่งมีค่า Octane 60-70 Isomerate ซึ่งมีค่า Octane 83 Reformate ซึ่งมี

ค่า Octane 93-100 โดยจะนำเอาเอทานอลมาเป็นตัวผสมเพื่อช่วยในการเพิ่มค่าออกเทนให้ได้ตามที่กำหนด โดยการเรียกน้ำมันแก๊สโซฮอล์จะเรียกตามอัตราส่วนผสมของเอทานอลที่มีอยู่ในน้ำมันเบนซิน โดยจะเรียกตามเปอร์เซ็นต์ของเอทานอลที่ใช้ทำการผสมอยู่ โดยถ้ามีเอทานอลเป็นตัวผสมอยู่ 10 % ของน้ำมันเชื้อเพลิงทั้งหมด จะเรียกว่า E10 เป็นต้น



ภาพที่ 2.5 กระบวนการผสมเพื่อผลิตน้ำมันแก๊สโซฮอล์

2.10 มลพิษที่เกิดขึ้นจากแก๊สโซฮอล์

ในโลกมนุษย์มีปัญหาต่าง ๆ มากมาย แต่ปัญหาหนึ่งที่นับวันจะทวีความรุนแรงขึ้นทุกทีก็คือคือปัญหามลภาวะเป็นพิษ ปัญหานี้เกิดจากการกระทำของมนุษย์เอง เช่น การทำให้เกิดปัญหาที่ดินเสื่อมคุณภาพ ปัญหาการใช้ยาฆ่าแมลง ปัญหาน้ำเสียจากโรงงานแล้วระบายลงในแม่น้ำลำคลอง ปัญหาคราบน้ำมันที่ลอยอยู่ในทะเลแล้วไปเกาะอยู่ตามชายหาด ปัญหาอากาศเป็นพิษอันเนื่องมาจากน้ำมือของมนุษย์ทั้งสิ้น นักวิทยาศาสตร์พยายามที่จะแก้ไขอยู่ตลอดเวลา แต่ก็ไม่สามารถทำได้หมดทุกส่วน เช่น การพยายามใช้วิธีทางวิทยาศาสตร์ทำน้ำเสียที่ระบายออกมาจากโรงงานให้เป็นน้ำที่บริสุทธิ์ก่อนที่จะปล่อยลงสู่แม่น้ำลำธาร แม้จะได้ผลบ้างแต่ก็ยังไม่ใช่วิธีที่ดีที่สุด ปัญหาเรื่องมลพิษนี้เป็นอันตรายต่อมนุษย์มาก โดยในที่นี้จะแสดงให้เห็นถึงปริมาณมลพิษที่ออกมาจากการใช้งานแก๊สโซฮอล์และเบนซินที่ออกมาจากรถยนต์ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ความสัมพันธ์ในการเกิดมลพิษโดยเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำมันเบนซิน (ณัฐพล พุทธรัตน์, 2551)

เอทานอล %	CO	HC	NO_x
100 %	29	71	86
95 %	36	79	86
24 %	50	87	120
12 %	81	96	92

นอกเหนือจากการเกิดมลพิษที่เกิดจากการใช้งานแล้ว ยังมีการเกิดมลพิษจากการผลิตเชื้อเพลิงด้วย โดยการประเมินแก๊สเรือนกระจก (Greenhouse gas) รวมถึงมลพิษทางอากาศที่กำหนดในขอบเขตการศึกษา (ประกอบด้วย คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) ไดไนโตรเจนออกไซด์ (N_2O) ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2) เป็นต้น) ดำเนินการได้โดยการวิเคราะห์จากการใช้วัตถุดิบและเชื้อเพลิง และการตรวจวัดการปล่อยมลพิษประเภทต่าง ๆ จากโรงงานตัวอย่าง ซึ่งเมื่อพิจารณาตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตแก๊สโซฮอล์ที่ใช้ส่วนผสมจากเอทานอลจากผลผลิตทางการเกษตร เห็นได้ว่าทุกช่วงกิจกรรมตั้งแต่ภาคการเกษตร การขนส่ง การผลิตเอทานอล ไปจนถึงการผลิตแก๊สโซฮอล์ ล้วนมีส่วนเกี่ยวข้องต่อการปล่อยแก๊สเรือนกระจกและมลพิษที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยมีความมากน้อยแตกต่างกันโดยหลักใหญ่ขึ้นกับลักษณะการใช้เชื้อเพลิง ปริมาณและประเภทของเชื้อเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งคือเชื้อเพลิงฟอสซิลที่อยู่ในแต่ละช่วงการผลิต

2.11 ก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซเรือนกระจก (GHG) คือก๊าซที่เป็นองค์ประกอบของบรรยากาศ และมีคุณสมบัติยอมให้รังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์ผ่านทะลุมายังผิวโลกได้ แต่จะดูดกลืนรังสีคลื่นยาวช่วงอินฟาเรดที่แผ่ออกจากพื้นผิวโลกเอาไว้ จากนั้นก็จะคายพลังงานความร้อนให้กระจายอยู่ในบรรยากาศจึงเปรียบเสมือนกระจกที่ปกคลุมผิวโลกให้มีภาวะสมดุลทางอุณหภูมิและเหมาะสมต่อสิ่งมีชีวิตบนผิวโลก ประเภทของก๊าซเรือนกระจกที่สำคัญมีดังนี้ (กมลทิพย์ อรัญศิริ, 2553)

2.11.1 ประเภทของก๊าซเรือนกระจก

หน่วยงานที่มีหน้าที่โดยตรงกับการกำหนดชนิดของก๊าซเรือนกระจกและแหล่งปล่อยคือ Intergovernmental Panel for Climate Change หรือ IPCC ซึ่งเป็นคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศได้รายงานไว้ทั้งหมด 6 ประเภท ดังนี้

2.11.1.1 คาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon Dioxide: CO_2) คาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นได้หลายลักษณะ เช่น ภูเขาไฟระเบิด การหายใจของสิ่งมีชีวิต รวมทั้งกิจกรรมของมนุษย์ซึ่งส่วนใหญ่มาจากการใช้พลังงาน เช่น การขนส่ง ภาคอุตสาหกรรมต่าง ๆ การเผาป่า การเผาเชื้อเพลิง ซึ่งจะให้ผลผลิตของปฏิกิริยาคือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2.11.1.2 มีเทน (Methane: CH_4) ก๊าซมีเทนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ไม่มีสี ติดไฟได้ เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของก๊าซธรรมชาติ และอาจได้มาจากการหมักปุ๋ยมูลสัตว์ การทำนาข้าวที่มีน้ำท่วมขังจะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ใต้ระดับน้ำ การเลี้ยงสัตว์ การย่อยสลายสารที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบในที่ที่ไม่มีออกซิเจน เช่น หลุมฝังกลบ เป็นต้น ซึ่งมีเทนมีผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนถึง 21 เท่า ในระยะเวลา 100 ปี

2.11.1.3 ไนตรัสออกไซด์ (Nitrous Oxide: N_2O) ไนตรัสออกไซด์ถูกปล่อยออกมาในระหว่างการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล ไอเสียจากรถยนต์ การเกษตรที่ใช้ปุ๋ยซึ่งมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เมื่อถูกย่อยสลายในดินก็จะเกิดการปล่อยไนตรัสออกไซด์สู่อากาศ ซึ่งไนตรัสออกไซด์ปริมาณ 1 หน่วยน้ำหนักจะมีผลกระทบต่อภาวะโลกร้อนถึง 310 เท่าของคาร์บอนไดออกไซด์ในระยะเวลา 100 ปี

2.11.1.4 ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน (Hydrofluorocarbon: HFC) ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนเป็นสารที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจนและฟลูออรีน โดยนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตต่าง ๆ เช่น การผลิตกระป๋องฉีดละอองสาร สารเป่าโฟม วัสดุบรรจุภัณฑ์ สารละลายและสารทำความเย็น เป็นต้น ซึ่งไฮโดรฟลูออโรคาร์บอนมีความแตกต่างจากก๊าซเรือนกระจกอื่น ๆ เนื่องจากไม่ทำลายโอโซน แต่สามารถทำให้โลกร้อนได้มากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์

2.11.1.5 เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน (Perfluorocarbon: PFC) เปอร์ฟลูออโรคาร์บอนเป็นก๊าซเรือนกระจกอีกชนิดหนึ่งที่ไม่ทำลายชั้นโอโซนเช่นเดียวกับไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน และนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตกระป๋องฉีดละอองสาร สารเป่าโฟมและสารทำความเย็นเป็นต้น แต่เปอร์ฟลูออโรคาร์บอนก็สามารถทำให้โลกร้อนขึ้นสูงกว่าคาร์บอนไดออกไซด์

2.11.1.6 ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์ (Sulfur Hexafluoride: SF_6) ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์เป็นสารประกอบอนินทรีย์ที่ไม่มีกลิ่น ไม่มีพิษ ไม่ละลายในน้ำ แต่ละลายในตัวทำละลายนิยมใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการ

เปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศระบุว่า ซัลเฟอร์เฮกซะฟลูออไรด์เป็นก๊าซเรือนกระจกที่สามารถสร้างผลกระทบรุนแรงกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ 23,900 เท่า เนื่องจากก๊าซนี้มีความหนาแน่นสูง

2.11.2 การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจก

มีใช้วิธีการที่จะช่วยในการประเมิน เช่น การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) กลไกการพัฒนาสะอาด (Clean Development Mechanism) และระบบขั้นตอนของ IPCC การคำนวณปริมาณก๊าซเรือนกระจกตามขั้นตอน Tier 1 ของ IPCC จะคิดจากความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลการใช้พลังงาน เชื้อเพลิง วัตถุดิบที่ใช้ในกิจกรรม (Activity Data) และค่าสัมประสิทธิ์การปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission Factor) ของกิจกรรมนั้น ๆ ที่เป็นมาตรฐานและได้รับการยอมรับดังสมการที่ (2.1) และคำนวณออกมาเป็นค่าเทียบเท่าคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Equivalent) ดังสมการที่ (2.2) โดยใช้ตัวบ่งชี้โอกาสในการเกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential, GWP) ทั้งนี้ IPCC ได้กำหนดค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจกชนิดต่าง ๆ ดังตารางที่ 2.6

$$\text{GHG}\,(g) = \text{Activity Data} \times \text{Emission Factor} \tag{2.1}$$

$$CO_2\text{equivalent}\,(g) = \text{GHG}\,(g) \times \text{GWP} \tag{2.2}$$

ตารางที่ 2.6 ค่า GWP ของก๊าซเรือนกระจกโดยเปรียบเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ใน 100 ปี (กมลทิพย์ อรัญศิริ, 2553)

Greenhouse Gases	Chemical formula	GWP 100
Carbon dioxide	CO_2	1
Methane	CH_4	21
Nitrous oxide	N_2O	310
Hydrofluorocarbon	HFC_s	140 – 11,700
Sulphur hexafluoride	SF_6	23,900
Perfluorocarbon	PFC_s	6,500 – 9,200

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิจิตรา วิทยาไพโรจน์ (2553) ได้ศึกษาการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตน้ำตาลจากอ้อยโดยใช้หลักการประเมินวงจรชีวิต ได้จัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม อันได้แก่ จำแนกการใช้ทรัพยากร การใช้พลังงาน การปล่อยมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม และการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นของวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์จากอ้อย 1 ตัน การดำเนินการวิจัยประกอบด้วยการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ และข้อมูลทุติยภูมิจากฐานข้อมูลบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมและข้อมูลจากแหล่งต่าง ๆ แล้วนำมาประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.1 ด้วยวิธี Eco-Indicator 95 จากการประยุกต์ใช้หลักการประเมินวงจรชีวิตในกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ พบว่าการนำหลักการประเมินวงจรชีวิตมาใช้ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์ เป็นทางเลือกที่สำคัญอีกทางหนึ่งที่จะทำให้ทราบผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นและสามารถนำข้อมูลที่ได้นำไปใช้ปรับปรุงแก้ไขและพัฒนาประสิทธิภาพการผลิตให้ได้มาตรฐานส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด และเป็นการเพิ่มคุณลักษณะด้านความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมให้กับผลิตภัณฑ์ได้อีกวิธีหนึ่ง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2550) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประเมินวงจรชีวิตการผลิตและการใช้เอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประเมินปริมาณพลังงาน และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากทั้งวงจรกิจกรรมของการผลิตและการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิง เปรียบเทียบกับการผลิตและการผลิตและการใช้น้ำมันเบนซินเมื่อคิดในหน่วยการเปรียบเทียบที่เท่ากันและกำหนดระดับ มาตรฐานพลังงานที่ใช้ต่อการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบ (เช่น มันสำปะหลัง กากน้ำตาล) และการขนส่งเอทานอล เพื่อยกระดับเทคโนโลยีการผลิตเอทานอลให้มีประสิทธิภาพ ประหยัดพลังงานและลดมลภาวะจากกระบวนการผลิต และการขนส่งเอทานอล โดยจะเลือกใช้วิธีการของ CML 2 Baseline 2003 ซึ่งเมื่อพิจารณาสัดส่วนของพลังงานที่ออกมาต่อพลังงานที่ใช้ พบว่าแก๊สโซฮอล์จากมันสำปะหลัง (กรณีสมมติฐาน) มีค่าสูงที่สุด แสดงถึงประสิทธิภาพเชิงบวกที่ได้ในเชิงพลังงาน ในขณะที่สายการผลิตน้ำมันเบนซิน 95 มีค่าสัดส่วนพลังงานขาออกต่อพลังงานขาเข้าน้อยที่สุด เนื่องจากรูปแบบของการขนส่ง MTBE นั้นส่วนใหญ่มาจากต่างประเทศ และในช่วงการกลั่นน้ำมันพื้นฐานเพื่อผลิตเบนซินต้องใช้พลังงานสูงกว่าการกลั่นน้ำมันพื้นฐานเพื่อใช้ผลิตแก๊สโซฮอล์ นอกจากนี้พลังงานที่ใช้สำหรับการผลิต MTBE และการผลิตเบนซิน 95 เป็นพลังงานที่มาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นหลัก ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมสูงกว่าพลังงานที่ใช้สำหรับการผลิตเอทานอล ซึ่งมุ่งเน้น

การใช้พลังงานทดแทน เช่น ชีวมวล และการผลิตเบนซิน 95 มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงที่สุด โดยช่วงที่เกิดก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดคือ ช่วงการกลั่นน้ำมัน และผสมเพื่อผลิตเป็นน้ำมันเบนซิน โดยหากเทียบช่วงการผลิตเอทานอลกับการผลิตMTBE พบว่าการผลิต MTBE มีค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสูงกว่าเอทานอล อาจเนื่องมาจากในกระบวนการผลิต MTBE นั้นมีการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็นพลังงานในกระบวนการผลิต ในขณะที่การผลิตเอทานอลใช้เชื้อเพลิงแบบชีวมวล

วรยุทธ สายบัวตรง (2550) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบพลังงานเพิ่มสุทธิและผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอลของประเทศไทย ซึ่งวัตถุดิบที่ศึกษาได้แก่ มันสำปะหลัง และอ้อย (กากน้ำตาลและน้ำอ้อย) โดยการศึกษาจะศึกษาตลอดวัฏจักรชีวิตโดยจะดำเนินตามอนุกรมมาตรฐาน ISO14040 และใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.0 วิธี Eco-indicator 95 สำหรับประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยขอบเขตการศึกษาจะทำการศึกษาตั้งแต่การเพาะปลูกวัตถุดิบ การขนส่ง การแปรรูปวัตถุดิบ จนกระทั่งกระบวนการผลิตเอทานอล จากการศึกษาพบว่า วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอลที่มีประสิทธิภาพพลังงานสูงสุดคือ อ้อย มันสำปะหลังในรูปมันเส้นและกากน้ำตาล ตามลำดับ โดยตลอดวัฏจักรชีวิตขั้นตอนการกลั่นในกระบวนการการผลิตเอทานอล มีการใช้พลังงานสูงสุด ส่วนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และพบว่าการใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุด ซึ่งผลกระทบส่วนใหญ่มาจากขั้นตอนการเพาะปลูกและขั้นตอนการขนส่ง พบว่า อ้อยเป็นวัตถุดิบที่มีประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูงสุด รองลงมา คือ มันสำปะหลังและกากน้ำตาลตามลำดับ โดยขั้นตอนการผลิตเอทานอลมีการใช้พลังงานสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 60-90 ของพลังงานทั้งหมด ในการผลิตเอทานอลตลอดวัฏจักรชีวิต โดยพลังงานส่วนใหญ่ที่ใช้ในกระบวนการผลิตเอทานอล จะใช้ในขั้นตอนการกลั่นโดยคิดเป็นร้อยละ 70-80 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ผลิตเอทานอล ส่วนผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมพบว่าการใช้กากน้ำตาลส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อมสูงสุดในทุกด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ศึกษา โดยผลกระทบส่วนใหญ่มาจากขั้นตอนการเพาะปลูกและการขนส่ง โดยผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการเพาะปลูก ส่วนใหญ่มาจากกระบวนการผลิตปุ๋ย และการศึกษาขนาดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตเอทานอลตลอดวัฏจักรชีวิตที่มีต่อมนุษย์พบว่า ผลกระทบด้านการปล่อยสารก่อมะเร็งมีผลกระทบที่มีต่อมนุษย์สูงสุด รองลงมาคือ การปล่อยโลหะหนักและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

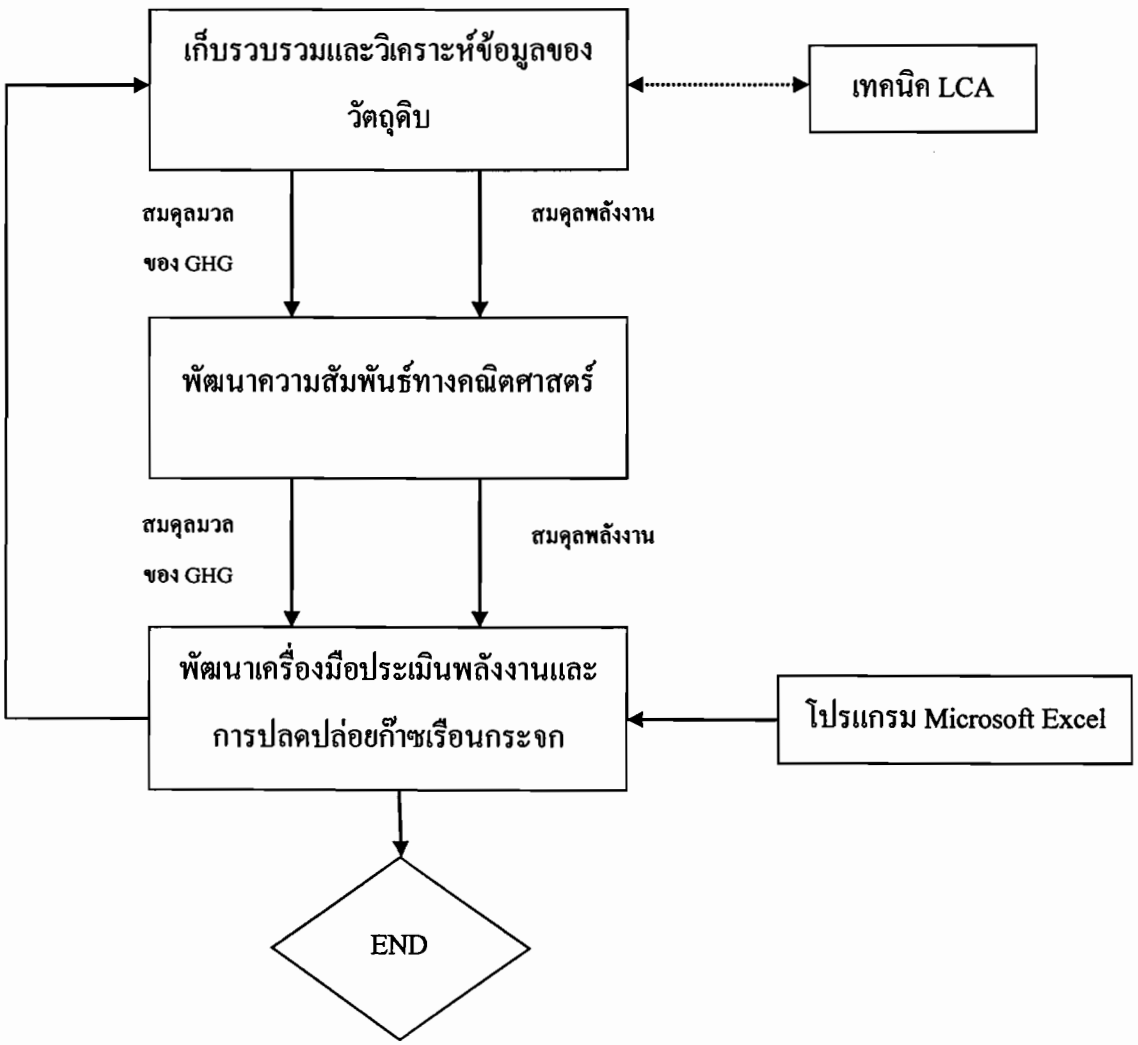
นุชนาถ ลอยจิ๋ว (2551) ได้ทำศึกษาเอทานอลที่ได้จากกากน้ำตาลหรือโมลาส โดยจะอาศัยหลักการการประเมินผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) มาวิเคราะห์ระบบผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% ซึ่งแบ่งได้ 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเกษตร ขั้นตอนการขนส่ง และขั้นตอนการการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% ผลจาก

การศึกษา ในการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% ในปริมาณ 1 ลิตร จะมีการใช้พลังงานในขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ ขั้นตอนการเกษตร มีการใช้พลังงาน 1.10 เมกะจูล ขั้นตอนการขนส่งมีการใช้พลังงาน 1.75 เมกะจูล และขั้นตอนการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% มีการใช้พลังงาน 8.67 เมกกะจูล และเมื่อวิเคราะห์ค่าผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5 % พบว่า กระบวนการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% มีการเกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมากที่สุด รองลงมาคือกระบวนการเกษตร และกระบวนการขนส่งตามลำดับ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

กรอบวิธีการดำเนินการวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 3 ขั้นตอนหลัก ดังแสดงในภาพที่ 3.1 ซึ่งรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนได้อธิบายไว้ดังต่อไปนี้



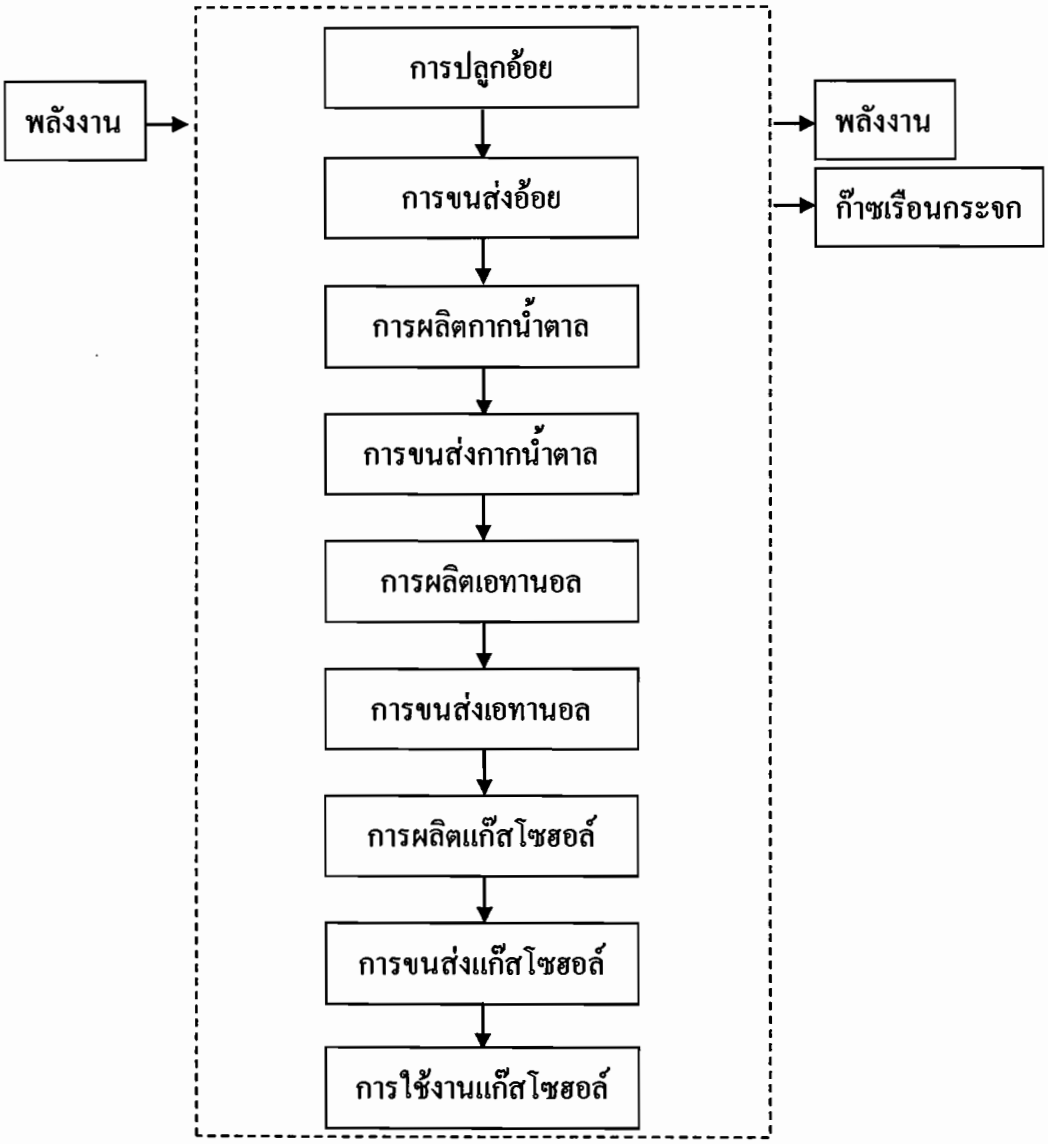
ภาพที่ 3.1 กรอบวิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ขั้นตอนการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลของวัตถุดิบ

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนต่าง ๆ ตามหลักการของการประเมินวัฏจักรชีวิตของกระบวนการผลิตและการใช้งานเอทานอลจากวัตถุดิบที่ต้องการศึกษา 3 ชนิด คือ กากน้ำตาล ชานอ้อย และมันสำปะหลัง เพื่อใช้เป็นข้อมูลขั้นต้นซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1.1 การผลิตและการใช้เอทานอลจากกากน้ำตาล

ในการผลิตและการใช้เอทานอลจากกากน้ำตาลมีกระบวนการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลตามขั้นตอนในแต่ละกิจกรรมการผลิต ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 กิจกรรมการผลิตและการใช้เอทานอลจากกากน้ำตาล

ทั้งนี้ข้อมูลที่ทำการศึกษาและรวบรวมสามารถจำแนกได้ดังนี้

3.1.1.1 ภาคการเกษตร ทำเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ครอบคลุมกิจกรรมตั้งแต่การปลูกอ้อยใหม่ การปลูกตอ การเตรียมพื้นที่ การบำรุงรักษาและการเก็บเกี่ยว

3.1.1.2 ภาคการผลิต

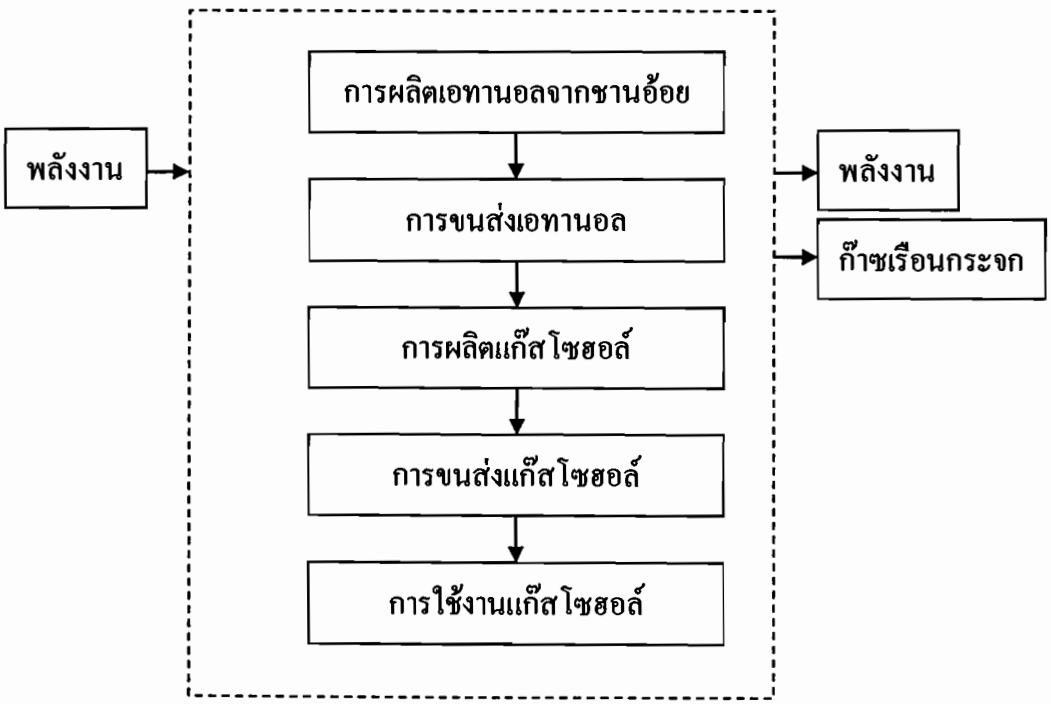
1) ภาคการผลิตกากน้ำตาล ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของกากน้ำตาลจากกระบวนการผลิตน้ำตาลโดยการปันส่วนกากน้ำตาลโดยค่าพลังงาน

2) ภาคการผลิตเอทานอล การผลิตแก๊สโซฮอล์ประเภท E10 E20 และ E85 และการใช้งานแก๊สโซฮอล์ดังกล่าวในรถยนต์ส่วนบุคคล จะเก็บข้อมูลและวิเคราะห์การใช้พลังงานและก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อม

3.1.1.3 ภาคการขนส่ง ทำการเก็บข้อมูลของน้ำหนักบรรทุกและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันในขาไปและขากลับ และอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

3.1.2 การผลิตและการใช้เอทานอลจากชานอ้อย

ในการผลิตและการใช้เอทานอลจากชานอ้อยมีกระบวนการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลตามขั้นตอนในแต่ละกิจกรรมการผลิต ดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 กิจกรรมการผลิตและการใช้เอทานอลจากชานอ้อย

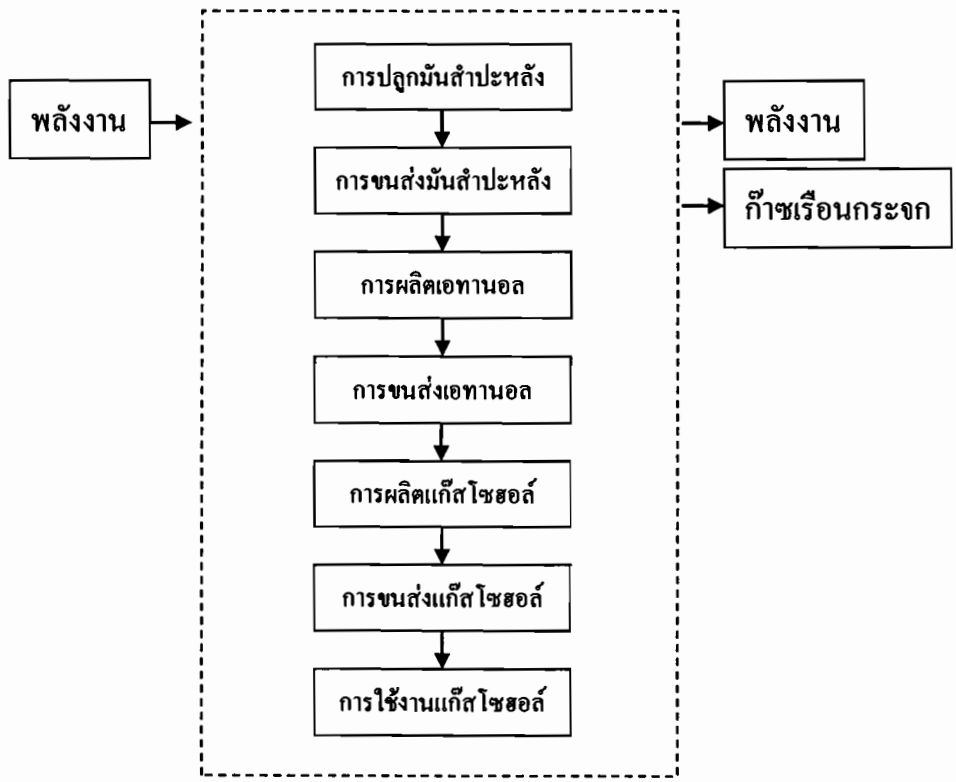
ในงานวิจัยนี้ ส่วนของการใช้ชานอ้อยมาผลิตเป็นเอทานอล จะนำเอาชานอ้อยส่วนที่เป็นชานอ้อยส่วนเกินจากโรงงานน้ำตาลที่เหลือจากการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำเพื่อใช้ในโรงงานน้ำตาลแล้ว ดังนั้นจึงถือว่าไม่มีพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก และการปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่สิ่งแวดล้อมในการได้มาซึ่งชานอ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ในการเก็บข้อมูลก็จะมีกิจกรรมดังนี้

3.1.2.1 ภาคการผลิตเอทานอล การผลิตแก๊สโซฮอล์ประเภท E10 E20 และ E85 และการใช้ งานแก๊สโซฮอล์ดังกล่าวในรถยนต์ส่วนบุคคล จะเก็บข้อมูลและวิเคราะห์การใช้พลังงานและก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อม

3.1.2.2 ภาคการขนส่ง ทำการเก็บข้อมูลของน้ำหนักบรรทุกและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันในขาไปและขากลับ และอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

3.1.3 การผลิตและการใช้เอทานอลจากมันสำปะหลัง

ในการผลิตและการใช้เอทานอลจากมันสำปะหลังมีกระบวนการเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลตามขั้นตอนในแต่ละกิจกรรมการผลิต ดังแสดงในภาพที่ 3.4 ซึ่งมีการเก็บข้อมูลดังนี้



ภาพที่ 3.4 กิจกรรมการผลิตและการใช้เอทานอลจากมันสำปะหลัง

3.1.3.1 ภาคการเกษตร ในการดำเนินงานจะพิจารณาเก็บข้อมูลครอบคลุมตั้งแต่การเตรียมแปลงปลูก การปลูก การดูแลรักษาและการการเก็บเกี่ยว

3.1.3.2 ภาคการผลิตเอทานอล จากมันสำปะหลัง การผลิตแก๊สโซฮอล์ประเภท E10, E20 และ E85 และการใช้งานแก๊สโซฮอล์ดังกล่าวในรถยนต์ส่วนบุคคล จะเก็บข้อมูลการใช้พลังงานและก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

3.1.3.3 ภาคการขนส่ง ทำการเก็บข้อมูลของน้ำหนักบรรทุกและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันในขาไปและขากลับ และอัตราการปล่อยก๊าซเรือนกระจก

3.2 ขั้นตอนการพัฒนาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ใช้สมมติฐานคือในการผลิตเอทานอล 1 หน่วย ได้ค่าพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเป็นค่า ๆ หนึ่ง และจะมีค่าคงที่ในทุกหน่วยการผลิต จากสมมติฐานนี้ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้สมการเชิงเส้นเป็นโมเดลของสมการที่ใช้ในการคำนวณ

3.2.1 พัฒนาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้านพลังงาน

ในขั้นตอนนี้จะเป็นนำข้อมูลขั้นต้นที่เกี่ยวกับการใช้พลังงานในแต่ละช่วงการผลิตและการใช้งานแก๊สโซฮอล์ ทั้งพลังงานขาเข้าและขาออกในแต่ละกิจกรรม เพื่อพัฒนาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่จะนำไปใช้ในการพัฒนาเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยในรูปแบบของความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจะเป็นสมการเชิงเส้น ซึ่งมีรูปแบบทั่วไปดังสมการที่ (3.1)

$$Y = mX + c \tag{3.1}$$

โดยที่ Y = ปริมาณพลังงานขาเข้า/ขาออกของแต่ละกิจกรรมการผลิต

m = ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล

X = ปริมาณตั้งต้นของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอล

c = ค่าคงที่

เมื่อตั้งสมมติฐานว่าไม่มีพลังงานเกิดขึ้นเมื่อไม่มีการใส่ค่าปริมาณตั้งต้นของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอล เพราะฉะนั้นรูปแบบของสมการที่ได้จะเป็นดังสมการที่ (3.2) ซึ่งจะเป็นสมการที่ใช้งานจริง

$$Y = mX \tag{3.2}$$

3.2.1 พัฒนาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ด้านก๊าซเรือนกระจก

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำข้อมูลขั้นต้นที่เกี่ยวกับก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อมในแต่ละช่วงการผลิตและการใช้งานแก๊สโซฮอล์ เพื่อพัฒนาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่จะนำไปใช้ในการพัฒนาเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยในรูปแบบของความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจะเป็นสมการเชิงเส้น ซึ่งมีรูปแบบทั่วไปดังสมการที่ (3.3)

$$\bar{Y} = \bar{m}\bar{X} + \bar{c} \tag{3.3}$$

โดยที่ $\bar{Y}$ = ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยของแต่ละกิจกรรมการผลิต

$\bar{m}$ = ค่าสัมประสิทธิ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูล

$\bar{X}$ = ปริมาณตั้งต้นของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอล

$\bar{c}$ = ค่าคงที่

เมื่อตั้งสมมติฐานว่าไม่มีพลังงานเกิดขึ้นเมื่อไม่มีการใส่ค่าปริมาณตั้งต้นของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอล เพราะฉะนั้นรูปแบบของสมการที่ได้จะเป็นดังสมการที่ (3.4) ซึ่งจะเป็นสมการที่ใช้งานจริง

$$\bar{Y} = \bar{m}\bar{X} \tag{3.4}$$

3.3 ขั้นตอนการพัฒนาเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ในขั้นตอนนี้จะนำสมการความสัมพันธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์มาสร้างเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในโปรแกรม Microsoft Office Excel โดยนำเอาโปรแกรม Visual Basic For Microsoft Office Excel มาใช้ร่วมช่วยในการเขียนชุดคำสั่งเพื่อนำมาพัฒนารูปแบบของเครื่องมือประเมินที่สร้างขึ้นให้สวยงามและง่ายต่อการใช้งาน

Microsoft Office Excel เป็นโปรแกรมประเภท Spreadsheet ซึ่งเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับบันทึกวิเคราะห์ และนำแสดงข้อมูลเกี่ยวกับตัวเลข อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น งานด้านคำนวณ การสร้างกราฟ แผนภูมิแท่ง และฐานข้อมูล โปรแกรม Microsoft Office Excel เป็นโปรแกรมที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ เช่น งานด้านบัญชี โดยการนำเอาสูตรและ

Faction ในการคำนวณหาค่าทางการเงิน ด้านวิศวกรรม โดยมีการรวบรวมสูตรและคำสั่งในการคำนวณหาค่าทางวิศวกรรมไว้มากมายเพื่อให้ผู้ใช้สามารถคำนวณหาค่าทางวิศวกรรมได้สะดวก ถูกต้องและรวดเร็ว งานด้านวิจัย โดยสามารถเก็บรายละเอียดข้อมูลจากแบบสอบถาม และนำมาวิเคราะห์ หรือแม้กระทั้งสามารถนำเอาข้อมูลจาก Microsoft Office Excel นำไปวิเคราะห์ ในโปรแกรม SPSS ได้ งานด้านธุรกิจและการจัดการ โดยการสร้างรายงานในรูปแบบต่างๆ เช่น รายงานที่เป็นตัวเลข แผนภูมิ รวมถึงการวิเคราะห์ข้อมูลได้ ด้านโปรแกรม โดยเราสามารถพัฒนาเป็นโปรแกรมเหมือนภาษาอื่นๆ ได้ โดยการนำเอาภาษา Visual Basic For Microsoft Office Excel มาใช้งานร่วมกับ Microsoft Office Excel ได้ และสามารถนำไปประยุกต์ได้ตามงานสาขาอื่นๆ อีกมากมายตามลักษณะงานของตนเอง

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการดำเนินงานวิจัยตามกรอบวิธีการดำเนินการวิจัยตามที่ได้กล่าวในบทที่ 3 ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ได้แก่ การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของวัตถุดิบ การพัฒนาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ และการพัฒนาเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ได้ผลการวิจัยดังต่อไปนี้

4.1 ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของวัตถุดิบ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงผลของการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลที่จำเป็น ทั้งข้อมูลภาคการเกษตร ภาคการผลิตและภาคการขนส่งแยกตามชนิดของวัตถุดิบแต่ละประเภท ได้แก่ กากน้ำตาล มันสำปะหลัง และชานอ้อย โดยผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 และ 4.5 ซึ่งใช้เป็นข้อมูลขั้นต้นในการที่จะใช้ในการพัฒนาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ต่อไป

4.1.1 ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของวัตถุดิบภาคการเกษตร

ข้อมูลของวัตถุดิบภาคการเกษตรที่เก็บและวิเคราะห์มาได้ แบ่งเป็นภาคการเกษตรจากพืชวัตถุดิบ 2 ชนิดคือ อ้อยและมันสำปะหลัง โดยเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลมาจากผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในส่วนของวัตถุดิบอ้อย ทำการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยที่มีขอบเขตการศึกษาของกระบวนการปลูกอ้อย ครอบคลุมตั้งแต่การเตรียมแปลงปลูก การปลูก การดูแลรักษาและการเก็บเกี่ยวอ้อย โดยพิจารณาครอบคลุมตลอดวงจรชีวิตของการปลูกอ้อยในส่วนของการใช้ทรัพยากรสำคัญ ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิง ปุ๋ยเคมี สารเคมี น้ำ และผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในกิจกรรมต่างๆ เช่น การไถปรับแต่งพื้นที่ก่อนปลูก และการตัดอ้อยโดยใช้เครื่อง รวมถึงการเผาอ้อยก่อนเก็บเกี่ยว และการใส่ปุ๋ยเคมีประเภทไนโตรเจนยังเป็นขั้นตอนสำคัญที่ก่อให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่ง

ในส่วนของวัตถุดิบมันสำปะหลัง ทำการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลจากงานวิจัยที่มีขอบเขตการศึกษาของกระบวนการปลูกมันสำปะหลัง ครอบคลุมตั้งแต่การเตรียมแปลงปลูก การปลูก การดูแลรักษาและการเก็บเกี่ยว โดยพิจารณาครอบคลุมตลอดวงจรชีวิตของการปลูกมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นกระบวนการที่ต้องใช้ทรัพยากรสำคัญต่างๆ ได้แก่ น้ำมันเชื้อเพลิง ปุ๋ยเคมี สารเคมี

และน้ำ ที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม เช่น การเกิดก๊าซเรือนกระจก และน้ำเสียจากกระบวนการผลิต ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของวัตถุดิบภาคการเกษตรของอ้อย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2550)

รายละเอียดข้อมูล	ค่าที่ได้
พื้นที่ในการปลูกอ้อย	10.63 ไร่
ผลผลิตจากการปลูกอ้อย	9.65 ตัน/ไร่
ค่าพลังงานที่ใช้	23,515 เมกะจูล
ปริมาณอ้อยที่ต้องใช้ในการผลิตเอทานอล	0.1026 ตัน/ลิตรเอทานอล
ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากภาคการเกษตร	0.321 $kgCO_2eq$/ลิตรเอทานอล
ค่าสัมประสิทธิ์ปันส่วนกากน้ำตาลโดยค่าพลังงาน	0.23

ตารางที่ 4.2 ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของวัตถุดิบภาคการเกษตรของมันสำปะหลัง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2550)

รายละเอียดข้อมูล	ค่าที่ได้
พื้นที่ในการปลูกมันสำปะหลัง	1.91 ไร่
ผลผลิตจากการปลูกมันสำปะหลัง	3.25 ตัน/ไร่
ค่าพลังงานที่ใช้	3,771 เมกะจูล
ปริมาณมันสำปะหลังที่ต้องใช้ในการผลิตเอทานอล	0.00612 ตัน/ลิตรเอทานอล
ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากภาคการเกษตร	0.208 $kgCO_2eq$/ลิตรเอทานอล

4.1.2 ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของกระบวนการผลิตกากน้ำตาลและชานอ้อย

การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยได้รวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลจากผลงานวิจัยที่ได้มีการดำเนินการโดยผู้วิจัย หน่วยงานราชการและเอกชนที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ขอบเขตการศึกษาของกระบวนการผลิตน้ำตาลครอบคลุมตั้งแต่ การรับอ้อย การผลิตน้ำตาล การผลิตกากน้ำตาล ชานอ้อย ซึ่งในการเก็บข้อมูลของชานอ้อยจะเป็นข้อมูลของชานอ้อยที่เป็นส่วนเกินจากโรงงานน้ำตาลหลังจากนำไปใช้ในการผลิตพลังงานไอน้ำและไฟฟ้า เพื่อใช้สำหรับกระบวนการ

ผลิตน้ำตาลในโรงงาน และพิจารณาภาพรวมของการใช้ทรัพยากร พลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของกระบวนการผลิตกากน้ำตาลและชานอ้อย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2550 ; Bancha Buddadee, 2007)

รายละเอียดข้อมูล	ค่าที่ได้
วัตถุดิบอ้อยที่ใช้[1]	1 ตัน
ชานอ้อยส่วนเกินจากกระบวนการ[1]	130.70 กิโลกรัม
ไฟฟ้าเหลือใช้จากกระบวนการ[1]	10.79 กิโลวัตต์-ชั่วโมง
ค่าความร้อนเชื้อเพลิงกากอ้อย[2]	7.35 เมกะจูล/กิโลกรัม
ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการ[1]	-0.078 $kgCO_2eq$/ลิตรเอทานอล
ความหนาแน่นของชานอ้อย[2]	120 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร

4.1.3 ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของกระบวนการผลิตเอทานอล

การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลมาจากผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีขอบเขตการศึกษาของกระบวนผลิตเอทานอล ครอบคลุมตั้งแต่ การรับวัตถุดิบ กระบวนการหมัก กระบวนการกลั่น และกระบวนการกำจัดน้ำจนได้เป็นผลิตภัณฑ์เอทานอลความบริสุทธิ์ 99.5% รวมไปถึงการผลิตพลังงานไอน้ำและไฟฟ้าเพื่อใช้สำหรับกระบวนการผลิตเอทานอลในโรงงาน การพิจารณาภาพรวมของการใช้ทรัพยากร พลังงานและการปล่อยมลสารทางอากาศ ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของกระบวนการผลิตเอทานอล (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2550 ; Bancha Buddadee, 2007)

ประเภทวัตถุดิบ / รายละเอียดข้อมูล	กากน้ำตาล[1]	ชานอ้อย[2]	มันสำปะหลัง[1]
พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล	22.650 เมกะจูล/ลิตรเอทานอล	602.95 เมกะจูล/1000 ลิตรเอทานอล	31.870 เมกะจูล/ลิตรเอทานอล
ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้	0.1026 ตันอ้อย/ลิตรเอทานอล	6.63 ตันชานอ้อย/1000 ลิตรเอทานอล	0.00612 ตันมันสำปะหลัง/ลิตรเอทานอล
ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตเอทานอล	0.012 $kgCO_2eq$/ลิตรเอทานอล	3,307 $kgCO_2eq$/1000 ลิตรเอทานอล	2.068 $kgCO_2eq$/ลิตรเอทานอล
ไฟฟ้าเหลือใช้	-	119.30 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ตันชานอ้อย	-

4.1.4 ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของกระบวนการผลิตและการใช้งานแก๊สโซฮอล์

การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลมาจากผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีขอบเขตการศึกษาของกระบวนผลิตน้ำมันเบนซิน ซึ่งเป็นน้ำมันพื้นฐานเพื่อผสมกับเอทานอลเป็นแก๊สโซฮอล์ สัดส่วนการผสมน้ำมันเบนซิน รวมไปถึงข้อมูลการใช้เชื้อเพลิงและค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้งานแก๊สโซฮอล์ของรถยนต์นั่งส่วนบุคคล ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5

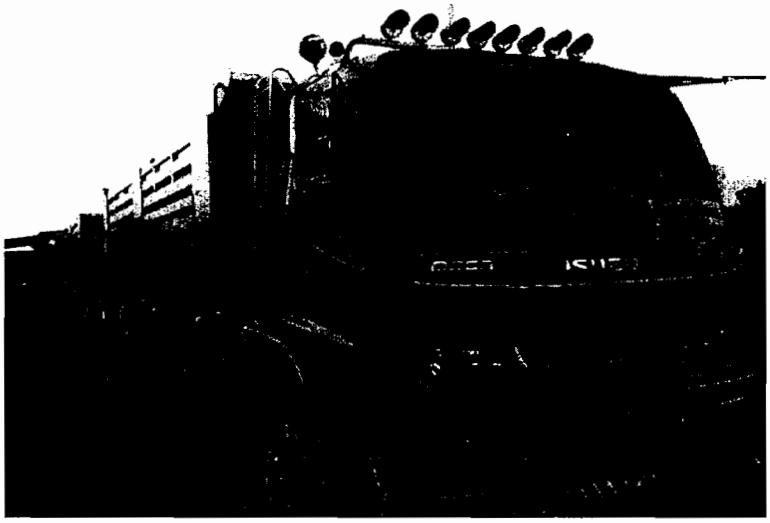
ตารางที่ 4.5 ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของกระบวนการผลิตและการใช้งานแก๊สโซฮอล์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2550)

รายละเอียดข้อมูล	ค่าที่ได้
ค่าความร้อนของเอทานอล	21.100 เมกะจูล/ลิตรเอทานอล
พลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่นน้ำมันพื้นฐาน	988 เมกะจูล/900 ลิตร
ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตน้ำมันพื้นฐาน	152 $kgCO_2eq$/900 ลิตร
ค่าความร้อนแก๊สโซฮอล์ E10	30.18 เมกะจูล/ลิตร
ค่าความร้อนแก๊สโซฮอล์ E20	29.71 เมกะจูล/ลิตร
ค่าความร้อนแก๊สโซฮอล์ E85	22.61 เมกะจูล/ลิตร
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย	2.292 เมกะจูล/กิโลเมตร
ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้งานแก๊สโซฮอล์ E10	0.3686 $kgCO_2eq$/ไมล์
ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้งานแก๊สโซฮอล์ E20	0.3664 $kgCO_2eq$/ไมล์
ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้งานแก๊สโซฮอล์ E85	0.3471 $kgCO_2eq$/ไมล์

4.1.5 ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของภาคขนส่ง

การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลในขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลน้ำหนักบรรทุก อัตราการสิ้นเปลือง และค่าการปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อมของรถบรรทุกประเภทต่างๆ จากงานวิจัยของสถาบันสิ่งแวดล้อมไทยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการคำนวณ โดยมีสมมติฐานในการขนส่งอ้อยไปโรงงานน้ำตาล และการขนส่งมันสำปะหลังไปโรงงานเอทานอลใช้รถบรรทุก 10 ล้อ ในการขนส่งชานอ้อยไปโรงงานเอทานอลใช้รถบรรทุก 10 ล้อพ่วง ส่วนในการขนส่งกากน้ำตาลเอทานอลและแก๊สโซฮอล์ใช้รถบรรทุก 18 ล้อ ประเภทรถต่างๆ แสดงในภาพที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.6

ภาพที่ 4.1 รถบรรทุก 10 ล้อ ใช้บรรทุกอ้อยและมันสำปะหลัง



ภาพที่ 4.2 รถบรรทุก 10 ล้อพ่วง ใช้บรรทุกชานอ้อย

ภาพที่ 4.3 รถบรรทุก 18 ล้อ ใช้ขนส่งกากน้ำตาล เอทานอลและแก๊สโซฮอล์

ตารางที่ 4.6 ผลการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลของภาคขนส่ง (Bancha Buddadee, 2007; วิจิตรา วิทยาไพโรจน์, 2553)

ประเภทวัตถุดิบ / รายละเอียดข้อมูล	รถ 10 ล้อ[2]	รถ 10 ล้อพ่วง[1]	รถ 18 ล้อ[2]
น้ำหนักบรรทุก	21.50 ตัน	-	30.00 ตัน
อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลขาไป	2.47 กิโลเมตร/ลิตร	6.00 กิโลเมตร/ลิตร	2.84 กิโลเมตร/ลิตร
อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลขากลับ	3.00 กิโลเมตร/ลิตร	6.00 กิโลเมตร/ลิตร	5.05 กิโลเมตร/ลิตร
ขนาดหางพ่วง (กว้างxยาวxสูง)	-	5.5 เมตร x 2.3 เมตร x 2.5 เมตร	-

ส่วนค่าอื่นๆ ที่ต้องทำการเก็บรวบรวมเพื่อนำมาใช้ในการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Bancha Buddadee, 2007) ค่าที่ได้ทำการเก็บรวบรวม ได้แก่ ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล เท่ากับ 36.37 เมกะจูล/ลิตร ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตน้ำมันดีเซล เท่ากับ 2.613 $kgCO_2eq$/กิโลเมตร และค่า การปล่อยก๊าซเรือนกระจกเนื่องจากไอเสีย (Tailpipe Emission) เท่ากับ 0.465 $kgCO_2eq$/ลิตร

4.2 ผลการพัฒนาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์

เมื่อนำข้อมูลขั้นต้นที่ได้มาพัฒนาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ ซึ่งรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก. ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์โดยในแต่ละกิจกรรมการผลิตจะสร้างสมการการคำนวณเพื่อหาค่าพลังงานขาเข้า พลังงานขาออกและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ต่อปริมาณวัตถุดิบที่นำมาใช้น้ำหนัก 1 ตัน ซึ่งความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่วิเคราะห์จะอยู่ในรูปแบบของสมการเชิงเส้นมีรายละเอียดดังนี้

4.2.1 ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของการใช้วัตถุดิบจากกากน้ำตาล

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาทำการวิเคราะห์สร้างสมการเพื่อคำนวณหาค่าพลังงานขาเข้า พลังงานขาออกและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อน้ำหนักอ้อย 1 ตัน ในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิต ซึ่งในกิจกรรมการปลูกอ้อย การผลิตเอทานอลและการผลิตแก๊สโซฮอล์ จะได้สมการเพื่อคำนวณค่าพลังงานขาเข้าและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในส่วนของกิจกรรมการผลิตกากน้ำตาล จะแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีนำเอาชานอ้อยส่วนเกินที่ได้จากโรงงานน้ำตาลไปผลิตเอทานอลและกรณีที่ไม่มีการนำเอาชานอ้อยส่วนเกินไปผลิตเอทานอล ในกิจกรรมส่วนนี้จะได้สมการเพื่อคำนวณค่าพลังงานขาออกและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในส่วนของกิจกรรมภาคการขนส่งจะได้สมการเพื่อคำนวณค่าพลังงานขาเข้าและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในภาคขนส่งนี้สมการที่ได้จะเป็นค่าต่ออ้อย 1 ตันและระยะทางขนส่ง 1 กิโลเมตร รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของการใช้วัตถุดิบจากกากน้ำตาล

กิจกรรมการผลิต	สมการการคำนวณ
การปลูกอ้อย	E_{in}= 52.72X (MJ)
	Emission = 3.13X ($kgCO_2eq$)
การขนส่งอ้อย	E_{in}= 1.25X (MJ/km)
	Emission = 0.1330X ($kgCO_2eq/km$)
การผลิตกากน้ำตาล ***ในกรณีที่ไม่นำชานอ้อยส่วนเกินไปผลิตเอทานอล**	E_{out}= 229.83X (MJ)
	Emission = -0.7602X ($kgCO_2eq$)
การผลิตกากน้ำตาล ***ในกรณีที่นำชานอ้อยส่วนเกินไปผลิตเอทานอล**	E_{out}= 8.8844X (MJ)
	Emission = -0.7602X ($kgCO_2eq$)
การขนส่งกากน้ำตาล	E_{in}= 0.0303X (MJ/km)
	Emission = 3.58e-3X ($kgCO_2eq/km$)

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของการใช้วัตถุดิบจากกากน้ำตาล (ต่อ)

กิจกรรมการผลิต	สมการการคำนวณ	
การผลิตเอทานอล	E_{in}= 220.76X (MJ)	
	Emission = 0.1170X ($kgCO_2eq$)	
การขนส่งเอทานอล	E_{in}= 6.50e-3X (MJ/km)	
	Emission = 7.69e-4X ($kgCO_2eq/km$)	
การผลิตแก๊สโซฮอล์	E10	E_{in}= 96.53X (MJ)
		E_{out}= 2942.65X (MJ)
		Emission = 14.8210X ($kgCO_2eq$)
	E20	E_{in}= 42.90X (MJ)
		E_{out}= 1422.14X (MJ)
		Emission = 6.5871X ($kgCO_2eq$)
	E85	E_{in}= 1.89X (MJ)
		E_{out}= 259.38X (MJ)
		Emission = 0.2905X ($kgCO_2eq$)
การขนส่งแก๊สโซฮอล์	E10	E_{in}= 65.03e-3X (MJ/km)
		Emission = 7.69e-3X ($kgCO_2eq/km$)
	E20	E_{in}= 32.51e-3X (MJ/km)
		Emission = 3.85e-3X ($kgCO_2eq/km$)
	E85	E_{in}= 7.65e-3X (MJ/km)
		Emission = 9.05e-4X ($kgCO_2eq/km$)
การใช้งานแก๊สโซฮอล์	E10	Emission = 294.0532X ($kgCO_2eq$)
	E20	Emission = 141.3078X ($kgCO_2eq$)
	E85	Emission = 24.3944X ($kgCO_2eq$)

หมายเหตุ : * X = ปริมาณอ้อย (ตัน)

4.2.2 ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของการใช้วัตถุดิบจากชานอ้อย

การวิเคราะห์ข้อมูลในส่วนของการใช้ชานอ้อยเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล ชานอ้อยที่นำมาใช้จะเป็นการใช้ชานอ้อยส่วนเกินที่ได้จากโรงงานน้ำตาลซึ่งเป็นชานอ้อยส่วนที่เหลือจากการใช้ในการผลิตไอน้ำในโรงงานแล้วอีกด้วย กิจกรรมการผลิตจึงจะเริ่มตั้งแต่การขนส่งชานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลไปยังโรงงานเอทานอล ไปจนถึงการใช้งานแก๊สโซฮอล์ แสดงในตารางที่ 4.8

4.2.3 ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของการใช้วัตถุดิบจากมันสำปะหลัง

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาทำการวิเคราะห์สร้างสมการเพื่อคำนวณหาค่าพลังงานขาเข้า พลังงานขาออกและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกต่อน้ำหนักมันสำปะหลัง 1 ตัน ซึ่งในกิจกรรมการปลูกมันสำปะหลัง การผลิตเอทานอลและการผลิตแก๊สโซฮอล์ จะได้สมการเพื่อคำนวณค่าพลังงานขาเข้าและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในส่วนของกิจกรรมภาคการขนส่งจะได้สมการเพื่อคำนวณค่าพลังงานขาเข้าและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ในภาคขนส่งนี้สมการที่ได้จะเป็นค่าต่อมันสำปะหลัง 1 ตันและระยะทางขนส่ง 1 กิโลเมตร รายละเอียดแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของการใช้วัตถุดิบจากชานอ้อย

กิจกรรมการผลิต	สมการการคำนวณ
การขนส่งชานอ้อย	E_{in}= 0.1044X (MJ/km)
	Emission = 17.31e-3X ($kgCO_2eq/km$)
การผลิตเอทานอล	E_{in}= 11.89X (MJ)
	E_{out}= 56.12X (MJ)
	Emission = 65.20X ($kgCO_2eq$)
การขนส่งเอทานอล	E_{in}= 13.15e-3X (MJ/km)
	Emission = 1.56e-3X ($kgCO_2eq/km$)

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของการใช้วัตถุดิบจากชานอ้อย (ต่อ)

กิจกรรมการผลิต	สมการการคำนวณ	
การผลิตแก๊สโซฮอล์	E10	E_{in}= 195.23X (MJ)
		E_{out}= 5951.69X (MJ)
		Emission = 29.9763X ($kgCO_2eq$)
	E20	E_{in}= 86.77X (MJ)
		E_{out}= 2876.36X (MJ)
		Emission = 13.3228X ($kgCO_2eq$)
	E85	E_{in}= 3.828X (MJ)
		E_{out}= 524.63X (MJ)
		Emission = 0.5878X ($kgCO_2eq$)
การขนส่งแก๊สโซฮอล์	E10	E_{in}= 131.52e-3X (MJ/km)
		Emission = 15.56e-3X ($kgCO_2eq$/km)
	E20	E_{in}= 65.76e-3X (MJ/km)
		Emission = 7.78e-3X ($kgCO_2eq$/km)
	E85	E_{in}= 15.47e-3X (MJ/km)
		Emission = 1.83e-3X ($kgCO_2eq$/km)
การใช้งานแก๊สโซฮอล์	E10	Emission = 594.7414X ($kgCO_2eq$)
	E20	Emission = 285.8040X ($kgCO_2eq$)
	E85	Emission = 49.3418X ($kgCO_2eq$)

หมายเหตุ : * X = ปริมาณอ้อย (ตัน)

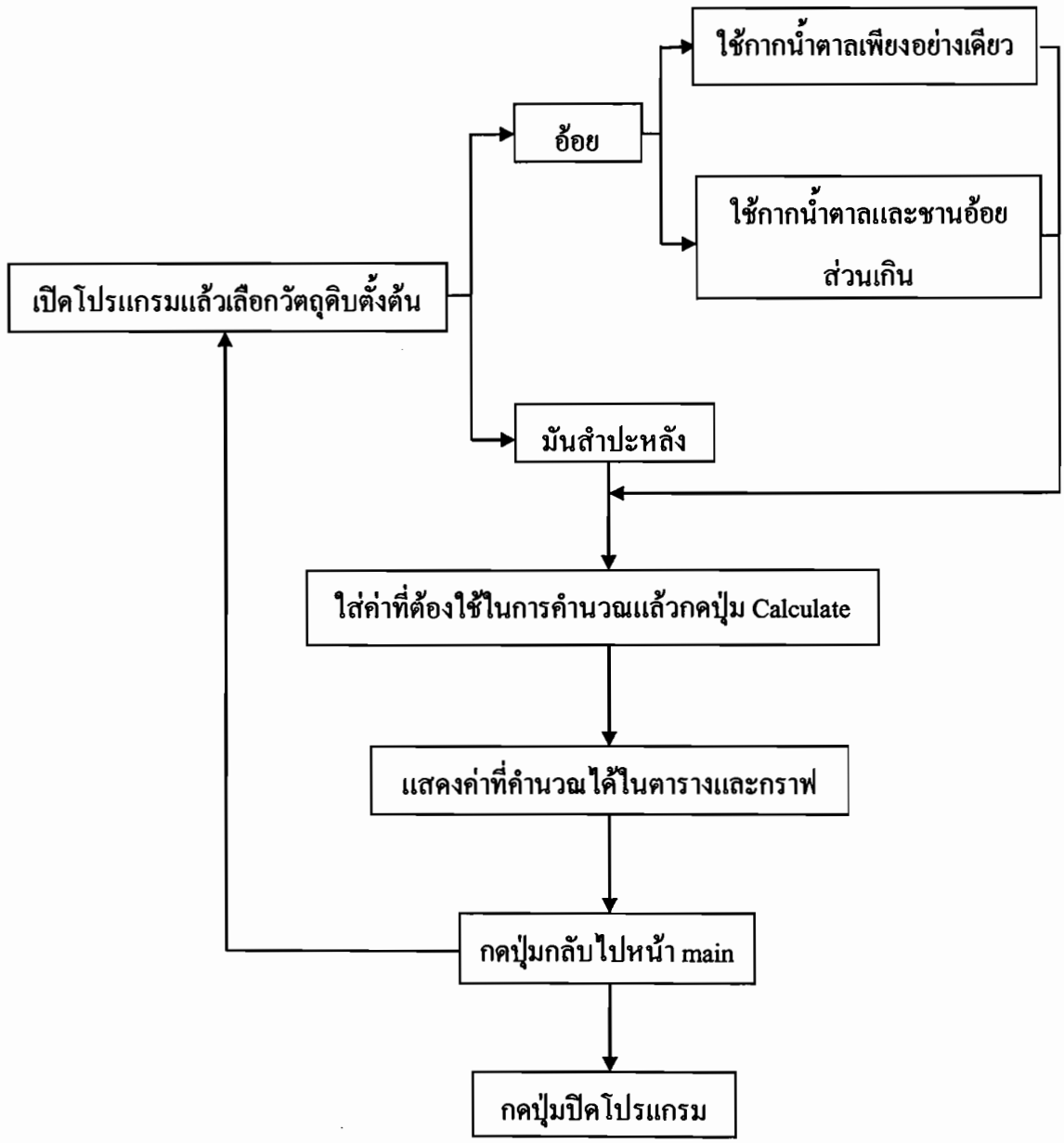
ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของการใช้วัตถุดิบจากมันสำปะหลัง

กิจกรรมการผลิต	สมการการคำนวณ	
การปลูกมันสำปะหลัง	E_{in}= 607.49X (MJ)	
	Emission = 33.99X ($kgCO_2eq$)	
การขนส่งมันสำปะหลัง	E_{in}= 1.25X (MJ/km)	
	Emission = 0.1330X ($kgCO_2eq/km$)	
การผลิตเอทานอล	E_{in}= 5207.52X (MJ)	
	Emission = 337.91X ($kgCO_2eq$)	
การขนส่งเอทานอล	E_{in}= 108.98e-3X (MJ/km)	
	Emission = 12.89e-3X ($kgCO_2eq/km$)	
การผลิตแก๊สโซฮอล์	E10	E_{in}= 1617.66X (MJ)
		E_{out}= 49315.75X (MJ)
		Emission = 248.38X ($kgCO_2eq$)
	E20	E_{in}= 718.96X (MJ)
		E_{out}= 23833.52X (MJ)
		Emission = 110.39X ($kgCO_2eq$)
	E85	E_{in}= 31.72X (MJ)
		E_{out}= 4347.26X (MJ)
		Emission = 4.87X ($kgCO_2eq$)
การขนส่งแก๊สโซฮอล์	E10	E_{in}= 1.0898X (MJ/km)
		Emission = 0.1289X ($kgCO_2eq/km$)
	E20	E_{in}= 0.5449X (MJ/km)
		Emission = 0.0645X ($kgCO_2eq/km$)
	E85	E_{in}= 0.1282X (MJ/km)
		Emission = 15.17e-3X ($kgCO_2eq/km$)
การใช้งานแก๊สโซฮอล์	E10	Emission = 4928.0296X ($kgCO_2eq$)
	E20	Emission = 2368.1734X ($kgCO_2eq$)
	E85	Emission = 408.8564X ($kgCO_2eq$)

หมายเหตุ : * X = ปริมาณอ้อย (ตัน)

4.3 วิธีการใช้งานเครื่องมือช่วยในการประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

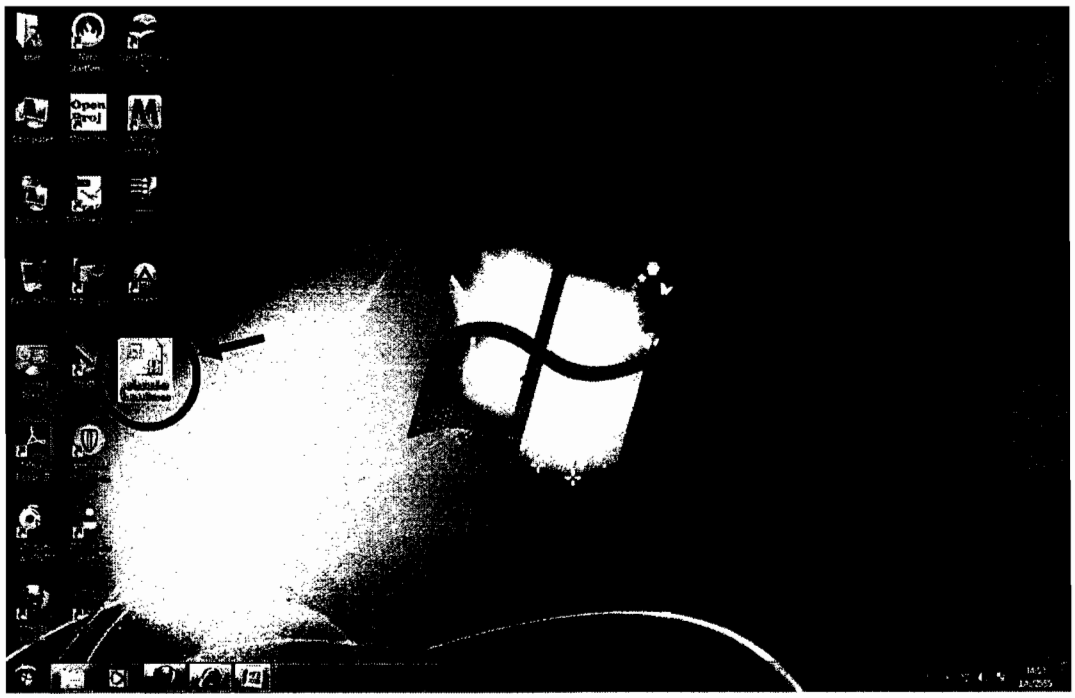
หลังจากที่นำความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ได้มาสร้างเครื่องมือการประเมินในโปรแกรม Microsoft Office Excel แล้วการประมวลผลโดยโปรแกรมดังกล่าวได้ออกแบบขั้นตอนในการพัฒนาโดยมีรายละเอียดดังแผนงานที่ได้แสดงในภาพที่ 4.4



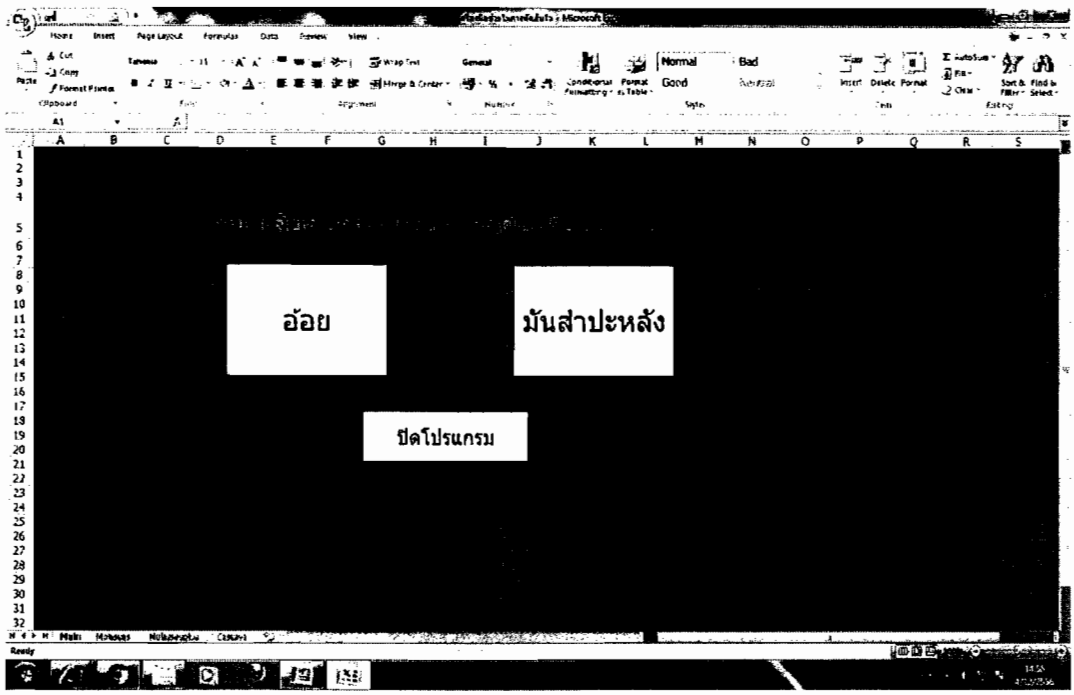
ภาพที่ 4.4 ผังงานการใช้งานโปรแกรมช่วยในการประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

สำหรับการใช้งานโปรแกรมเครื่องมือช่วยในการประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่พัฒนาขึ้นมีขั้นตอนการใช้งานดังต่อไปนี้

4.3.1 ดับเบิ้ลคลิ๊กที่ไฟล์เครื่องมือประเมินเพื่อเริ่มการใช้งานดังภาพที่ 4.5 และเมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมาจะปรากฏหน้า main ของเครื่องมือช่วยในการคำนวณแสดงดังภาพที่ 4.6 ซึ่งจะมีปุ่มให้เลือกวัตถุดิบที่ต้องการใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตและการใช้เอทานอลให้เลือก

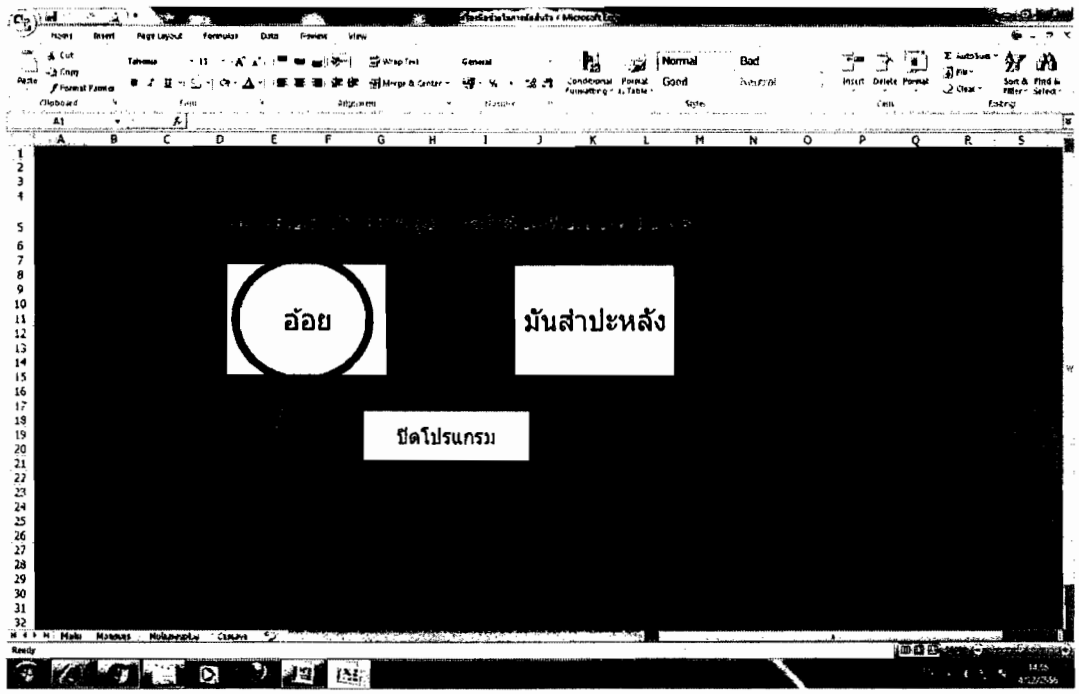


ภาพที่ 4.5 การเปิดโปรแกรมเพื่อเริ่มใช้งานเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

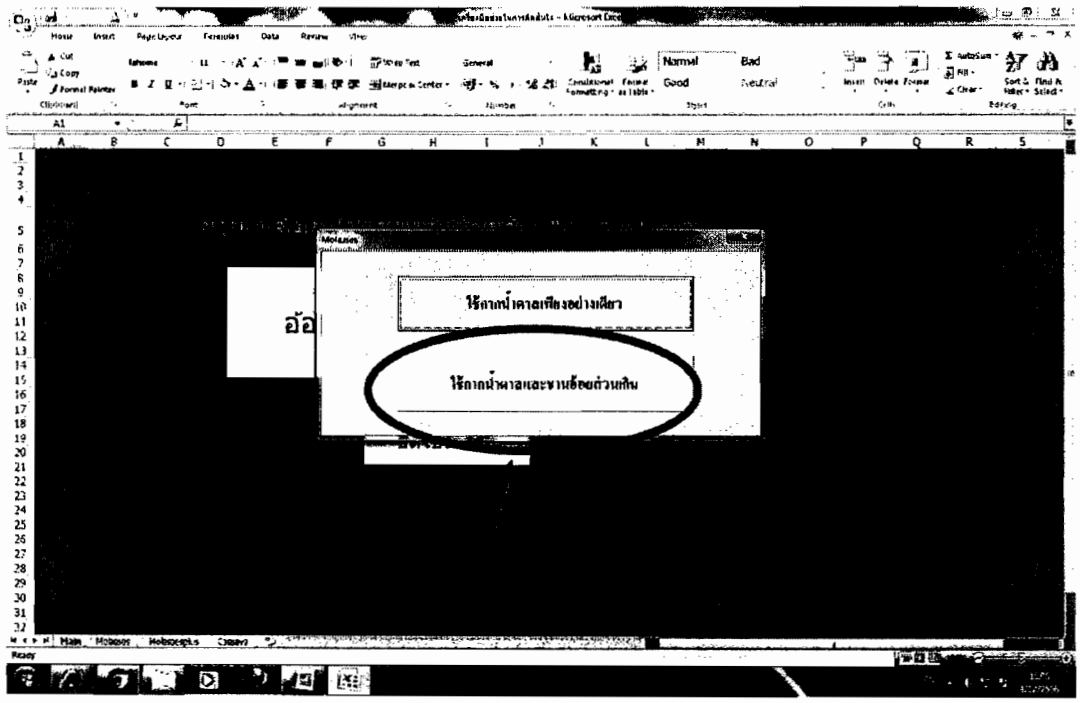


ภาพที่ 4.6 หน้า main ของเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

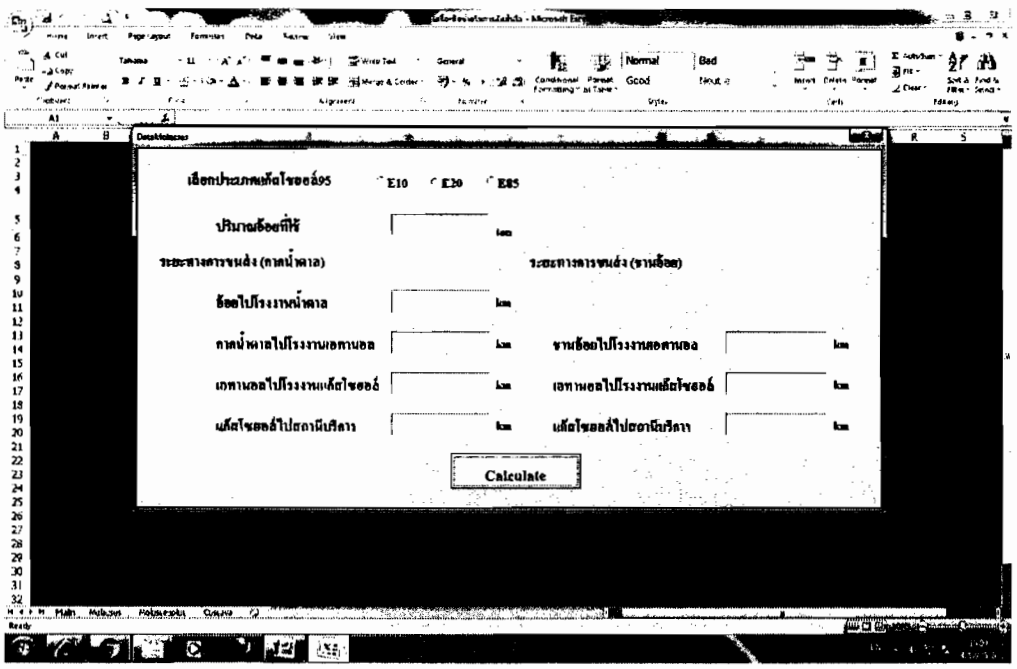
4.3.2 เลือกวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตและการใช้เอทานอลที่ต้องการคำนวณปริมาณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกมาในแต่ละกิจกรรมการผลิต โดยจะยกตัวอย่างในกรณีที่เลือกอ้อยเป็นวัตถุดิบตั้งต้น ให้กดที่ปุ่ม “อ้อย” จะปรากฏกล่องให้เลือกว่าจะเลือกใช้กากน้ำตาลในการผลิตเอทานอลเพียงอย่างเดียว หรือใช้ชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตเอทานอลด้วย ดังภาพที่ 4.7 ในตัวอย่างนี้จะเลือกใช้ชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตเอทานอลด้วย จากนั้นใส่ค่าเริ่มต้นในเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการคำนวณ ซึ่งประกอบด้วย การเลือกประเภทแก๊สโซฮอล์ ซึ่งมีให้เลือกคือ E10 E20 และ E85 ปริมาณอ้อยที่ใช้เป็นวัตถุดิบ และระยะทางการขนส่งระหว่างกิจกรรมการผลิตในแต่ละช่วง ดังภาพที่ 4.8 และ 4.9



ภาพที่ 4.7 วิธีการเลือกอ้อยเป็นวัตถุดิบตั้งต้นที่ต้องการคำนวณ

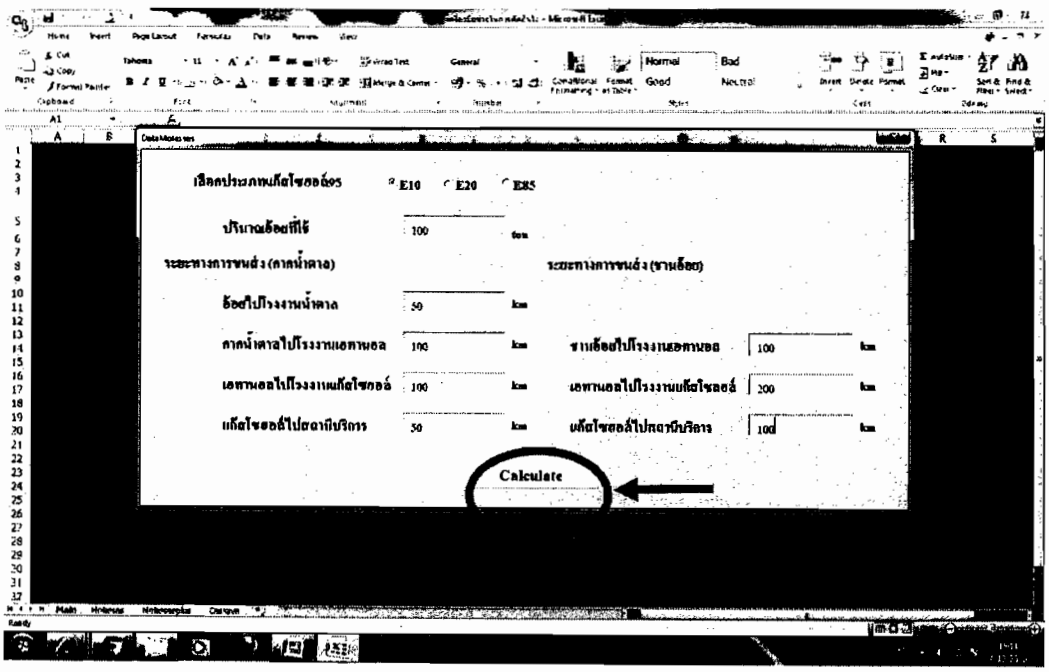


ภาพที่ 4.8 วิธีการเลือกใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตเอทานอล



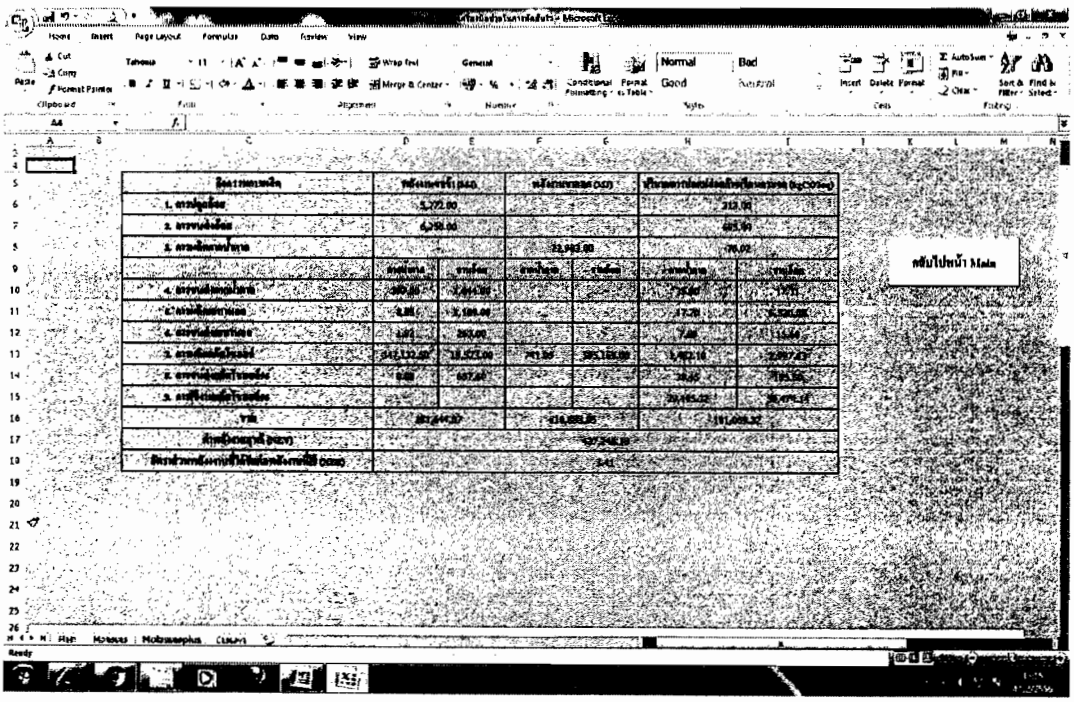
ภาพที่ 4.9 กล่องใส่ค่าเริ่มต้นในการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตเอทานอล

4.3.3 กดเลือกประเภทของแก๊สโซฮอล์และกรอกค่าอื่นๆ ให้ครบทุกช่องแล้วกดที่ปุ่ม "Calculate" ดังภาพที่ 4.10

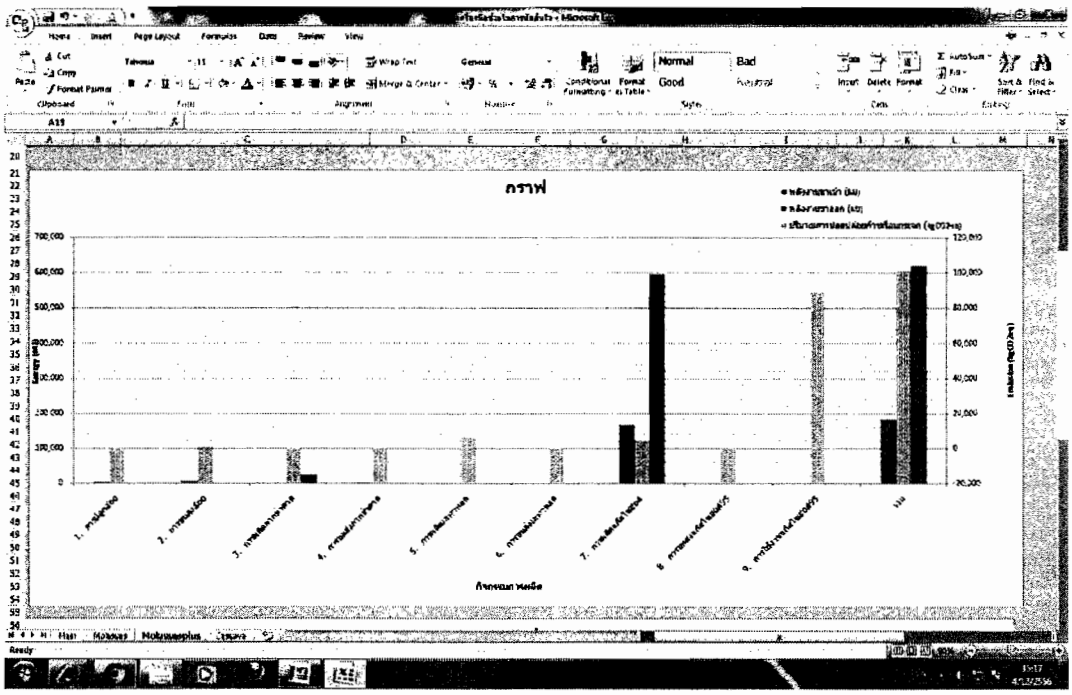


ภาพที่ 4.10 การกรอกข้อมูลเริ่มต้นและเริ่มการคำนวณ

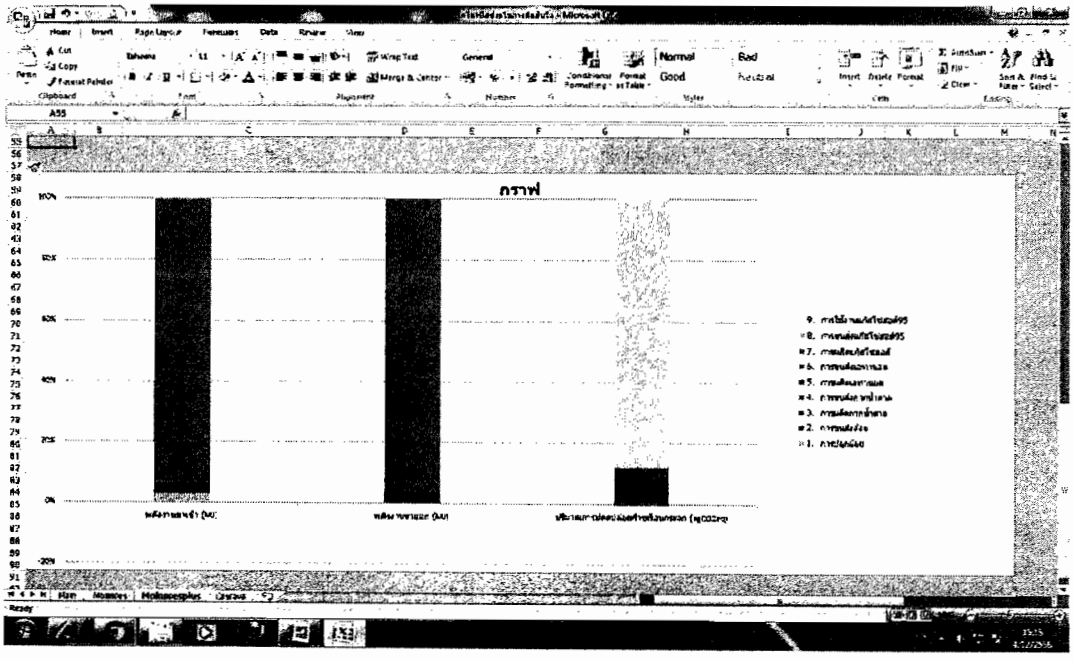
4.3.4 เครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจะคำนวณค่าพลังงานขาเข้า ขาออก และปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกมาในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิต โดยจะแสดงค่าผลการคำนวณเป็นตัวเลขในตารางดังภาพที่ 4.11 และแสดงเป็นกราฟแท่งซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้จากค่าจากตาราง ในกราฟแรกจะแสดงค่าปริมาณพลังงานที่ใช้และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อม โดยแกนตั้งข้างซ้ายคือค่าพลังงานที่ใช้ หน่วยเป็น เมกะจูล (MJ) แกนตั้งด้านขวาคือค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก หน่วยเป็น $kgCO_2eq$ แกนนอนคือช่วงกิจกรรมการผลิต ดังภาพที่ 4.12 ส่วนในกราฟที่สองแสดงค่าสัดส่วนของค่าพลังงานขาเข้า พลังงานขาออกและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อมในแต่ละกิจกรรมการผลิต โดยเทียบเป็น 100% โดยแกนตั้งคือค่าสัดส่วน แกนนอนคือประเภทของค่าพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.11 ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิต

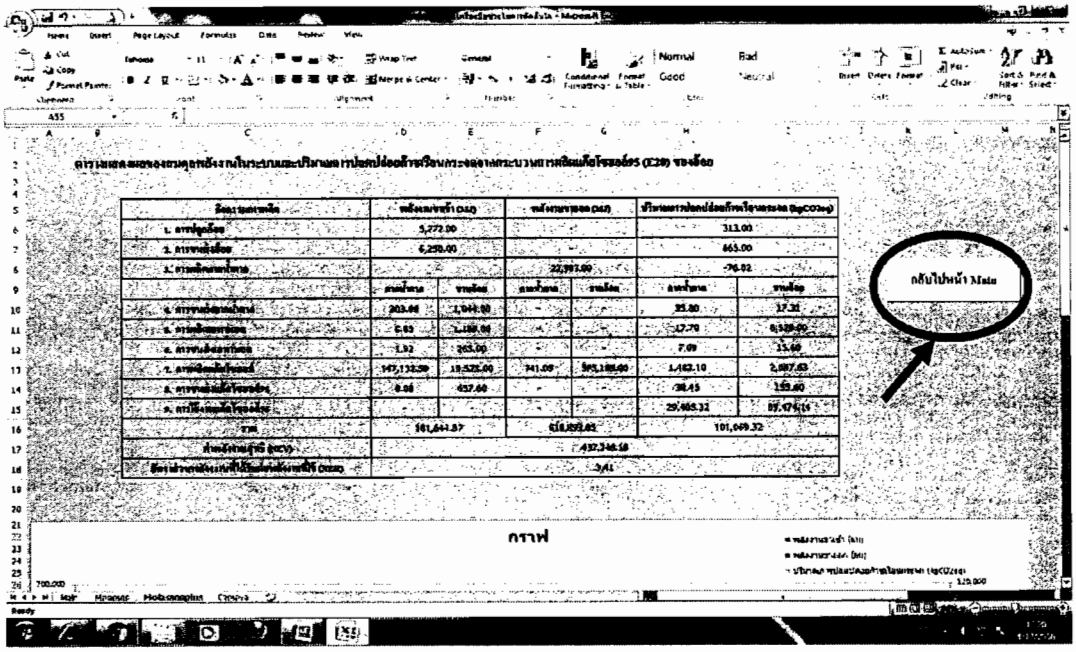


ภาพที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมการผลิต



ภาพที่ 4.13 กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมการผลิต

4.3.5 เมื่อต้องการเริ่มต้นการคำนวณใหม่ให้กดที่ปุ่ม "กลับไปหน้า main" อยู่ข้างตารางแสดงผลการคำนวณ โปรแกรมจะกลับไปยังหน้า main เพื่อเริ่มต้นการคำนวณใหม่เหมือนตอนเริ่มการใช้งานเช่นเดิม ดังภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 ปุ่มกลับหน้า main เพื่อเริ่มต้นการคำนวณใหม่

4.4 กรณีศึกษา

4.4.1 กรณีศึกษาการใช้วัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว)

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการใช้งานโปรแกรมเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยได้นำข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องและต้องป้อนในโปรแกรม เพื่อตรวจสอบผลของการประมวลผลที่ได้จากโปรแกรมดังกล่าว ทั้งนี้ข้อมูลต่างๆ ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลจากสภาพพื้นที่จริง เช่น ระยะทางระหว่างแหล่งปลูกอ้อยถึงโรงงานน้ำตาล ระยะทางระหว่างโรงงานน้ำตาลถึงโรงงานเอทานอล ระยะทางระหว่างโรงงานเอทานอลถึงคลังผสมน้ำมันแก๊สโซฮอล์และระยะทางระหว่างคลังผสมน้ำมันแก๊สโซฮอล์ถึงสถานีบริการ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2550) โดยรายละเอียดของข้อมูลที่ป้อนมีดังนี้วัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตเอทานอลคือ อ้อย ปริมาณ 40,000 ตัน เลือกวิธีการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการคำนวณ เขตที่ใช้ในการเลือกแหล่งปลูกอ้อยคืออำเภอน้ำพอง โรงงานน้ำตาลS1 และโรงงานเอทานอล S2 ในจังหวัดขอนแก่น ส่วนคลังน้ำมันที่ใช้ในการผสมเป็นแก๊สโซฮอล์และสถานีบริการ

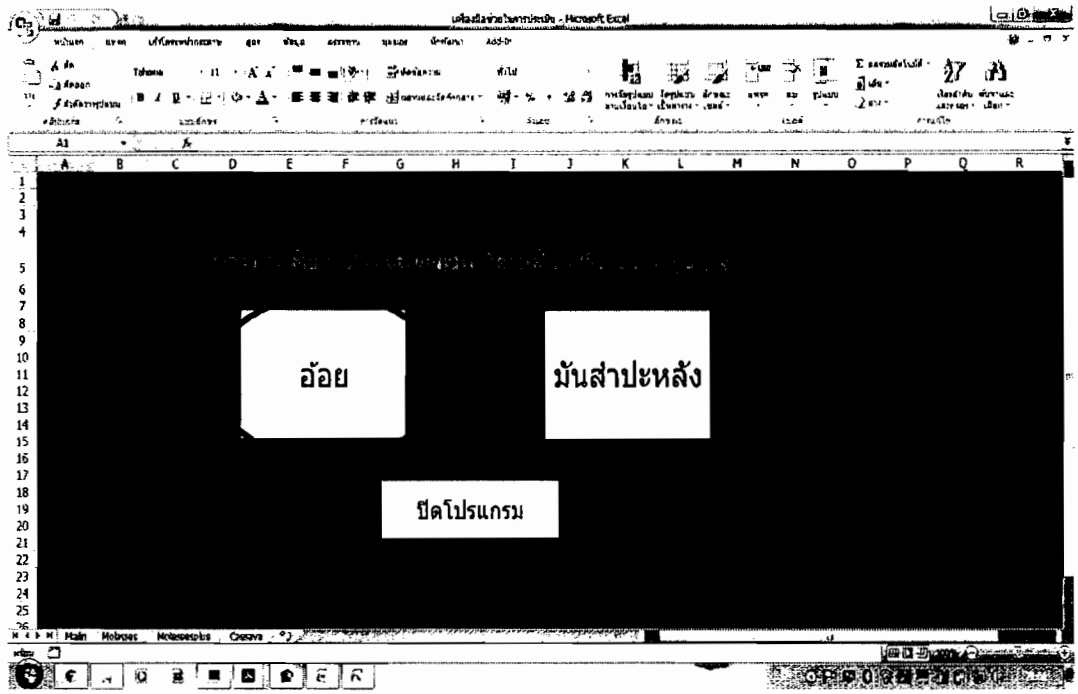
ใช้ค่าระยะทางเฉลี่ยจากงานวิจัยที่อ้างอิง ซึ่งมีค่าดังตารางที่ 4.10 โดยในกรณีศึกษานี้จะมี 3 หัวข้อย่อยเป็นการเลือกการผลิตประเภทของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ได้แก่ แก๊สโซฮอล์ E10 E20 และE85

ตารางที่ 4.10 ระยะทางในแต่ละช่วงการขนส่งกรณีศึกษาการใช้วัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2550)

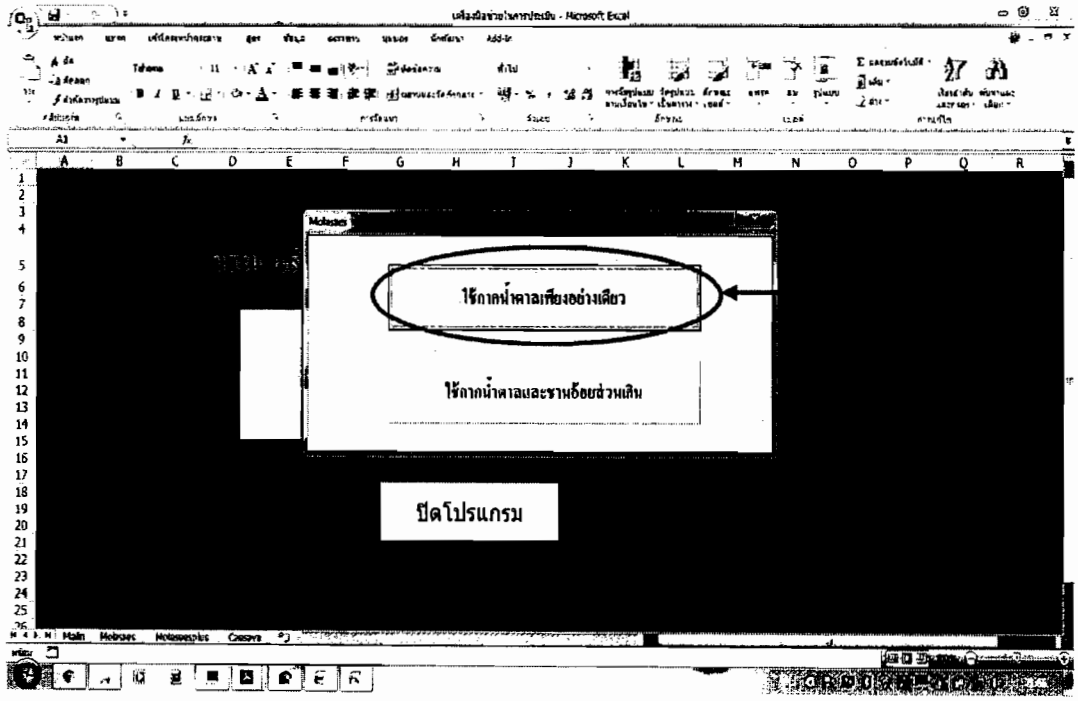
รายละเอียดข้อมูล	ค่าที่ได้
ระยะทางระหว่างแหล่งปลูกอ้อยถึงโรงงานน้ำตาลS1	25.00 km.
ระยะทางระหว่างโรงงานน้ำตาลS1ถึงโรงงานเอทานอลS2	78.05 km.
ระยะทางระหว่างโรงงานเอทานอลS2ถึงคลังผสมน้ำมันแก๊สโซฮอล์	330.17 km.
ระยะทางระหว่างคลังผสมน้ำมันแก๊สโซฮอล์ถึงสถานีบริการ	65.58 km.

4.4.1.1 กรณีศึกษาการใช้วัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว) ผลิตแก๊สโซฮอล์ E10

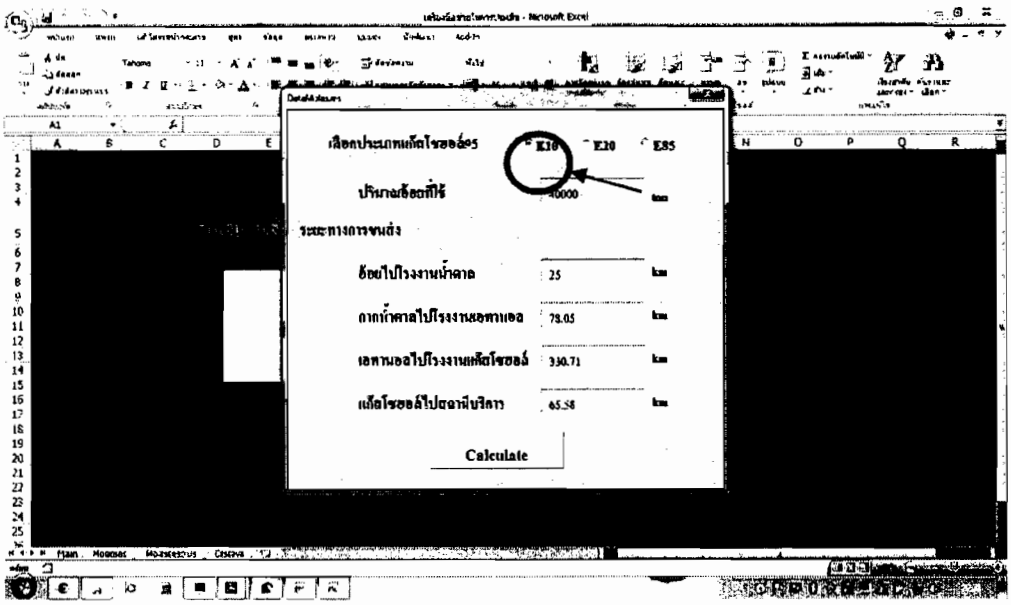
ขั้นตอนวิธีการเริ่มใช้งานโปรแกรมเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการใช้วัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว) ในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10 และการป้อนค่าต่างๆ จากตารางที่ 4.10 ลงในโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 4.15, 4.16 และ 4.17



ภาพที่ 4.15 การเลือกวัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10

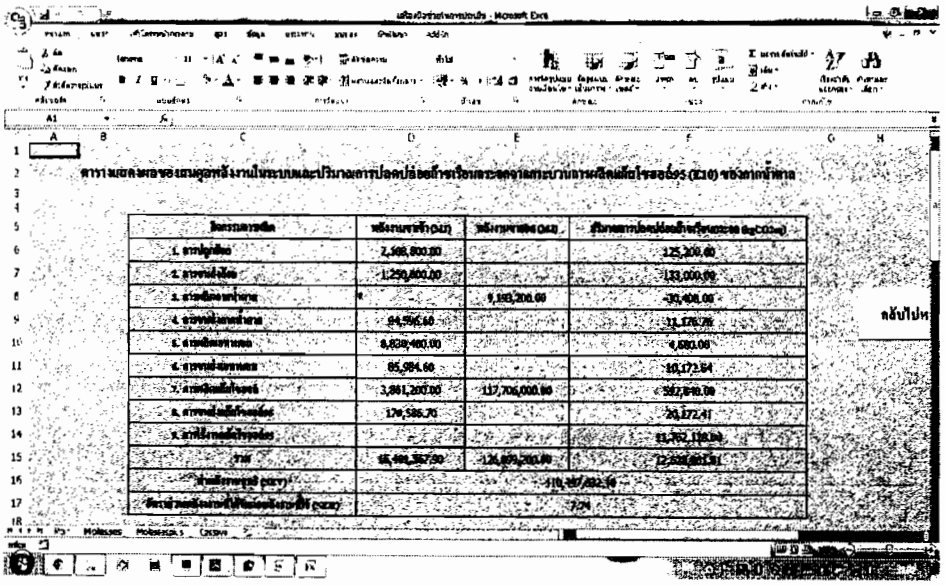


ภาพที่ 4.16 การเลือกใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10

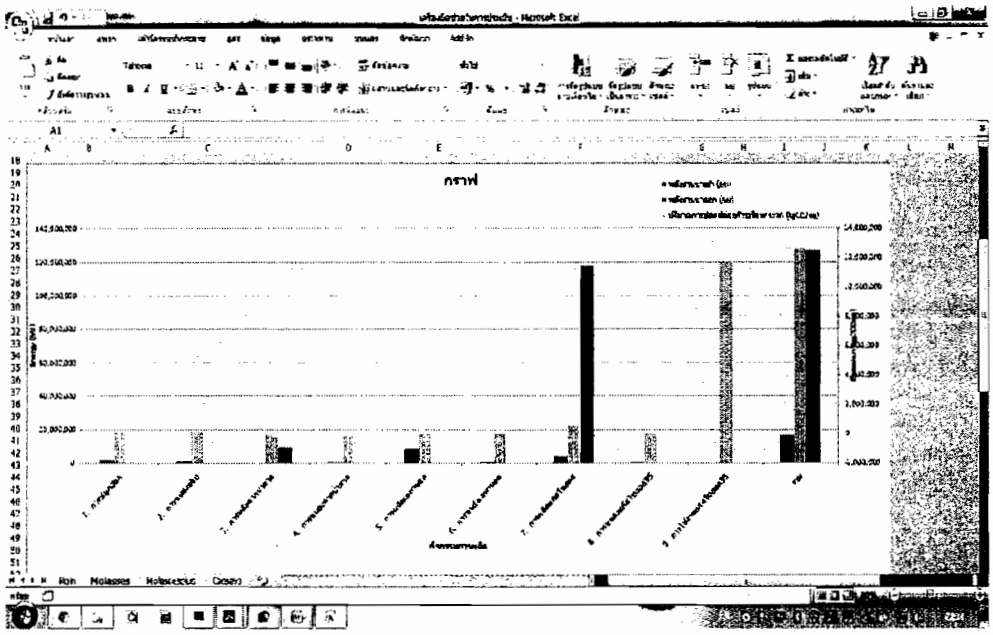


ภาพที่ 4.17 การเลือกประเภทแก๊สโซฮอล์ E10 และใส่ค่าในโปรแกรมประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว

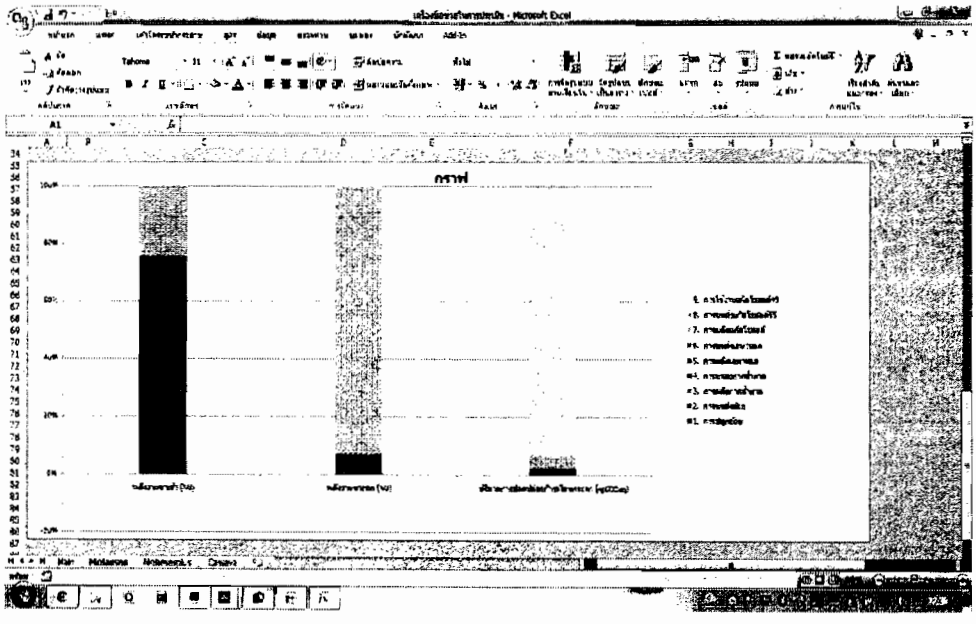
ผลการคำนวณและกราฟของโปรแกรมช่วยในการประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแสดงผลออกมาดังภาพที่ 4.18, 4.19, 4.20 และตารางที่ 4.11



ภาพที่ 4.18 ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10



ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10



ภาพที่ 4.20 กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10

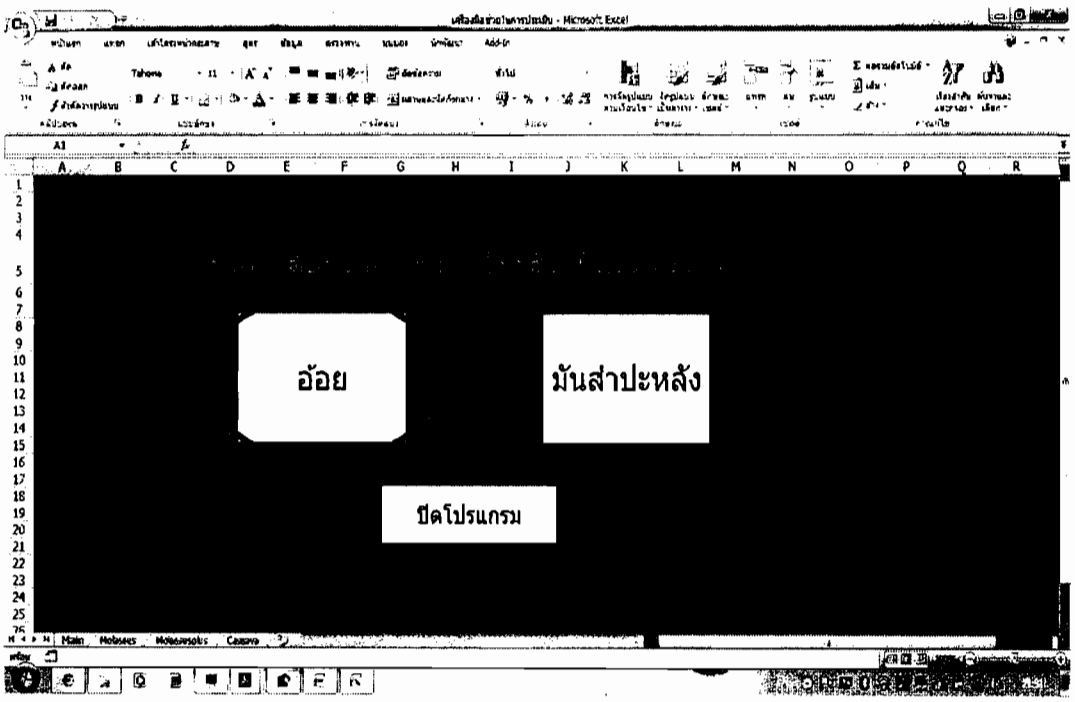
ตารางที่ 4.11 ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10

กิจกรรมการผลิต	พลังงานขาเข้า (MJ)	พลังงานขาออก (MJ)	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO2eq)
1. การปลูกอ้อย	2,108,800.00	-	125,200.00
2. การขนส่งอ้อย	1,250,000.00	-	133,000.00
3. การผลิตกากน้ำตาล	-	9,193,200.00	-30,408.00
4. การขนส่งกากน้ำตาล	94,596.60	-	11,176.76
5. การผลิตเอทานอล	8,830,400.00	-	4,680.00
6. การขนส่งเอทานอล	85,844.20	-	10,156.03
7. การผลิตแก๊สโซฮอล์	3,861,200.00	117,706,000.00	592,840.00
8. การขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95	170,586.70	-	20,172.41
9. การใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95	-	-	11,762,128.00
รวม	16,401,427.50	126,899,200.00	12,628,945.20
ค่าพลังงานสุทธิ (NEV)	110,497,772.50		
อัตราส่วนพลังงานที่ได้รับต่อพลังงานที่ใช้ (NER)	7.74		

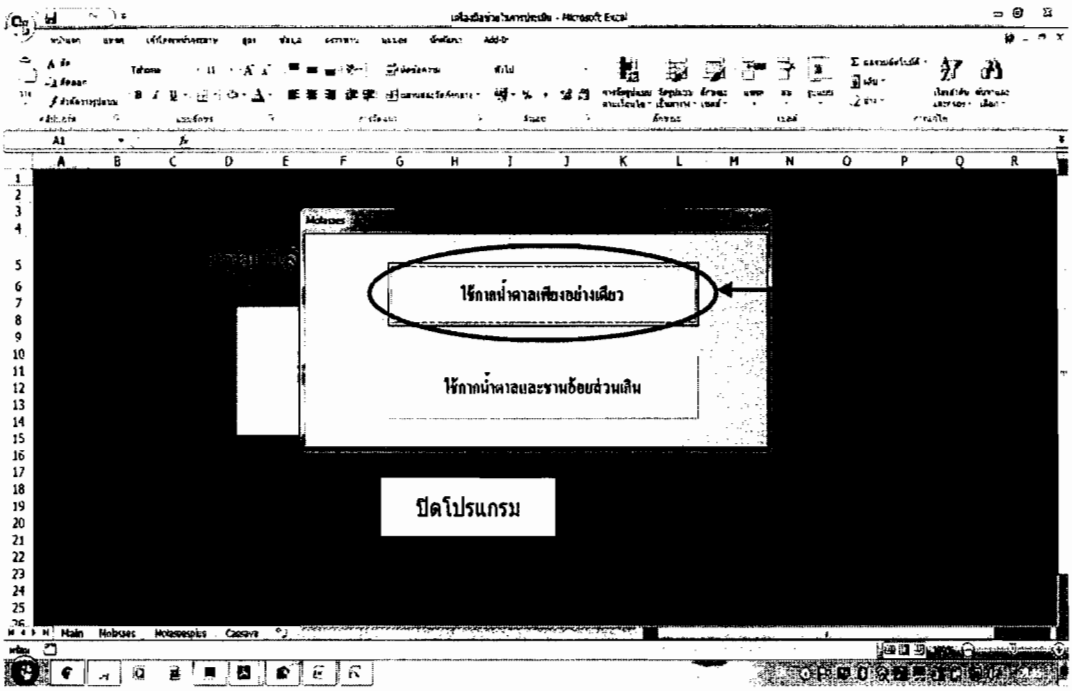
จากผลการคำนวณค่าพลังงานในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของกรณีศึกษา พบว่า ค่าพลังงานขาเข้าที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมการผลิต เมื่อไม่พิจารณาค่าพลังงานในช่วงของการขนส่ง กิจกรรมในช่วงการผลิตเอทานอลมีค่ามากที่สุด ในส่วนของผลการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของกรณีศึกษา พบว่า ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมการผลิต เมื่อไม่พิจารณาค่าพลังงานในช่วงของการขนส่งและการใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95 กิจกรรมในช่วงการผลิตแก๊สโซฮอล์มีค่ามากที่สุด

4.4.1.2 กรณีศึกษาการใช้วัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว) ผลิตแก๊สโซฮอล์ E20

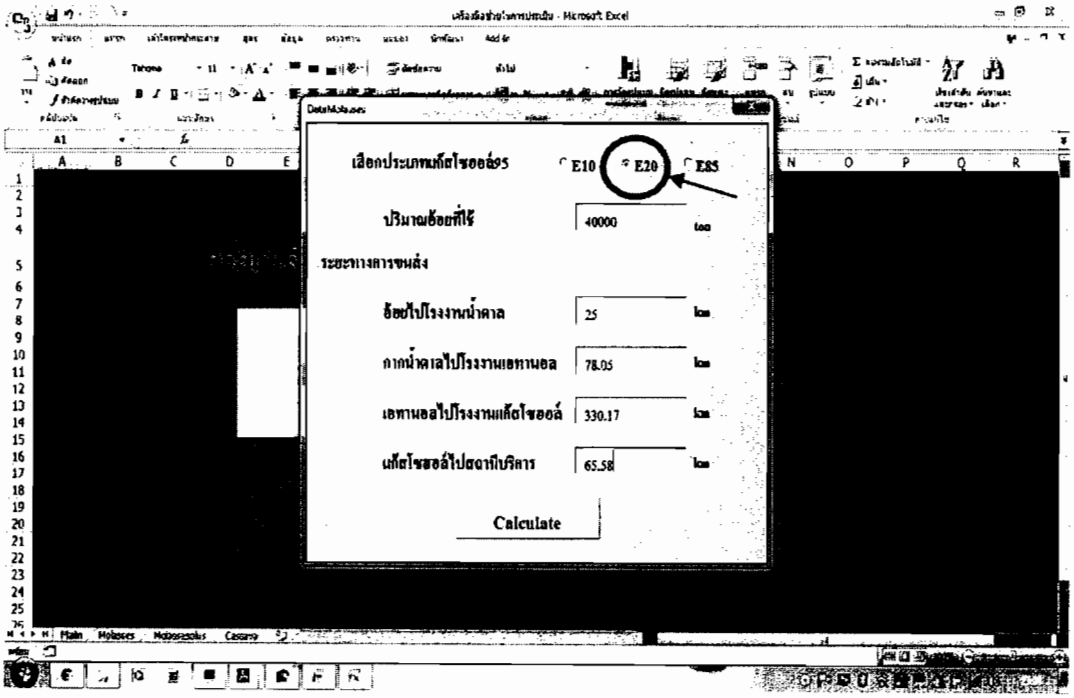
ขั้นตอนวิธีการเริ่มใช้งานโปรแกรมเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการใช้วัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว) ในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20 และการป้อนค่าต่างๆ จากตารางที่ 4.10 ลงในโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 4.21, 4.22 และ 4.23



ภาพที่ 4.21 การเลือกวัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20

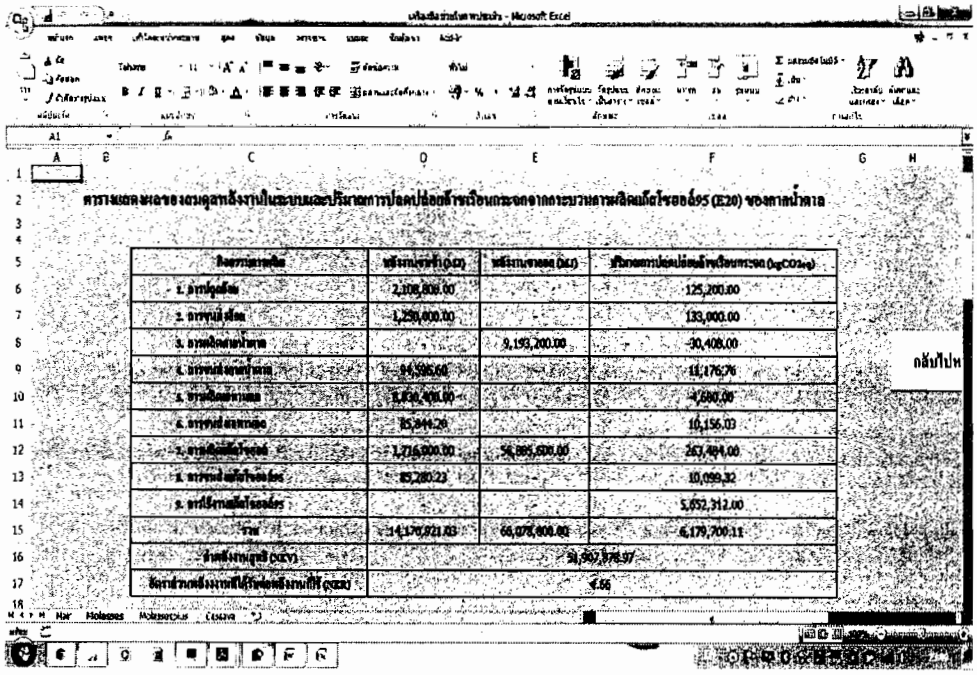


ภาพที่ 4.22 การเลือกใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20



ภาพที่ 4.23 การเลือกประเภทแก๊สโซฮอล์ E20 และใส่ค่าในโปรแกรมประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว

ผลการคำนวณและกราฟของโปรแกรมช่วยในการประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแสดงผลออกมาดังภาพที่ 4.24, 4.25, 4.26 และตารางที่ 4.12

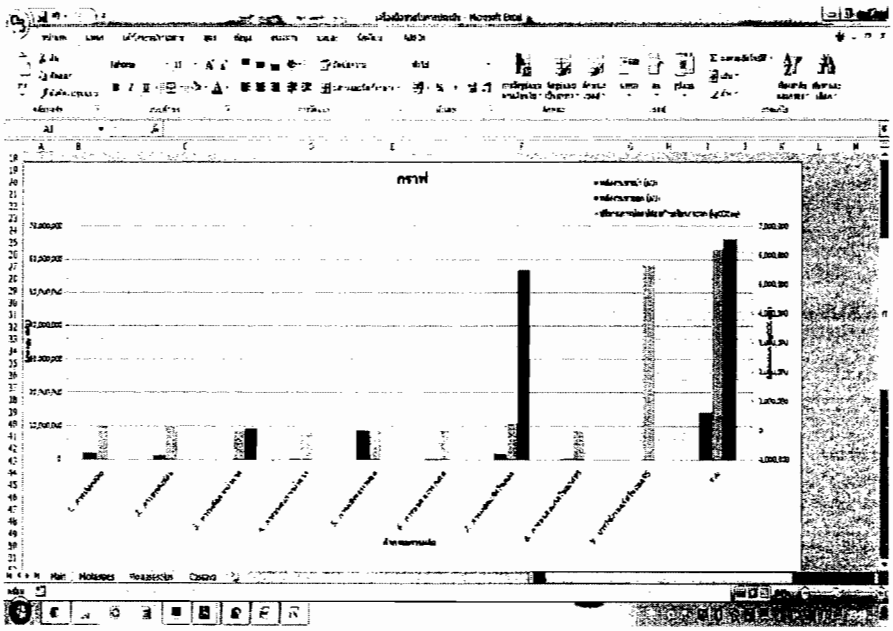


ตารางแสดงผลรวมดุลพลังงานในระบบและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตแก๊สโซฮอล์95 (E20) ของกากน้ำตาล

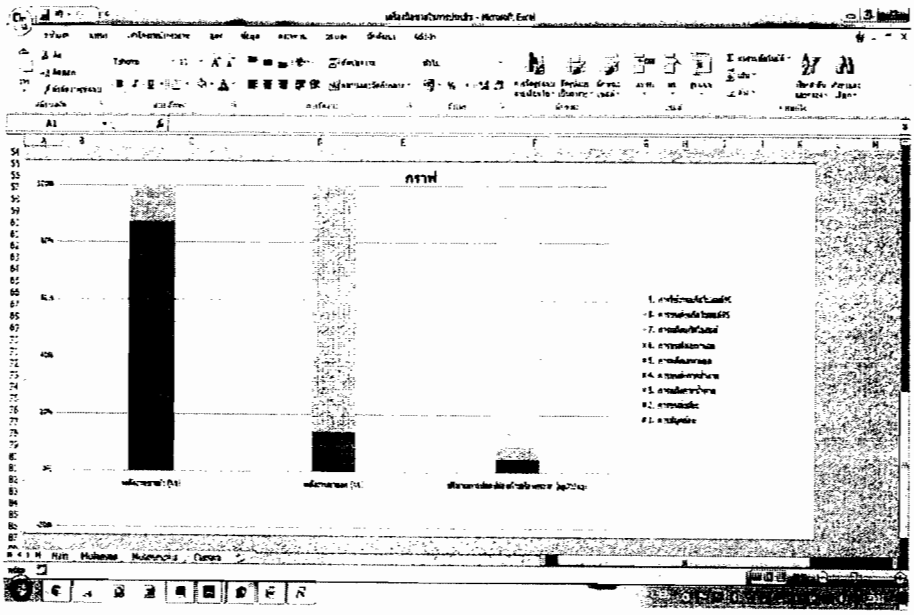
ปัจจัยการผลิต	พลังงานที่ใช้ (MJ)	พลังงานจากผล (MJ)	ปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO2eq)
1. อากาศยานขึ้น	2,108,808.00		125,200.00
2. อากาศยานขึ้น	1,250,000.00		133,000.00
3. อากาศยานน้ำตาล		9,193,200.00	-30,408.00
4. อากาศยานน้ำตาล	94,500.00		11,176.76
5. อากาศยานน้ำตาล	8,450,400.00		4,680.00
6. อากาศยานน้ำตาล	85,944.28		10,156.00
7. อากาศยานน้ำตาล	1,716,000.00	56,885,600.00	263,494.00
8. อากาศยานน้ำตาล	85,280.23		10,099.32
9. อากาศยานน้ำตาล			5,652,312.00
รวม	14,170,921.03	66,078,800.00	6,179,709.11
ผลพลังงานสุทธิ (MJ/L)		51,907,878.97	
อัตราส่วนพลังงานที่ได้จากพลังงานที่ใช้ (MJ/L)		4.66	

กลับไปห

ภาพที่ 4.24 ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20



ภาพที่ 4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20



ภาพที่ 4.26 กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20

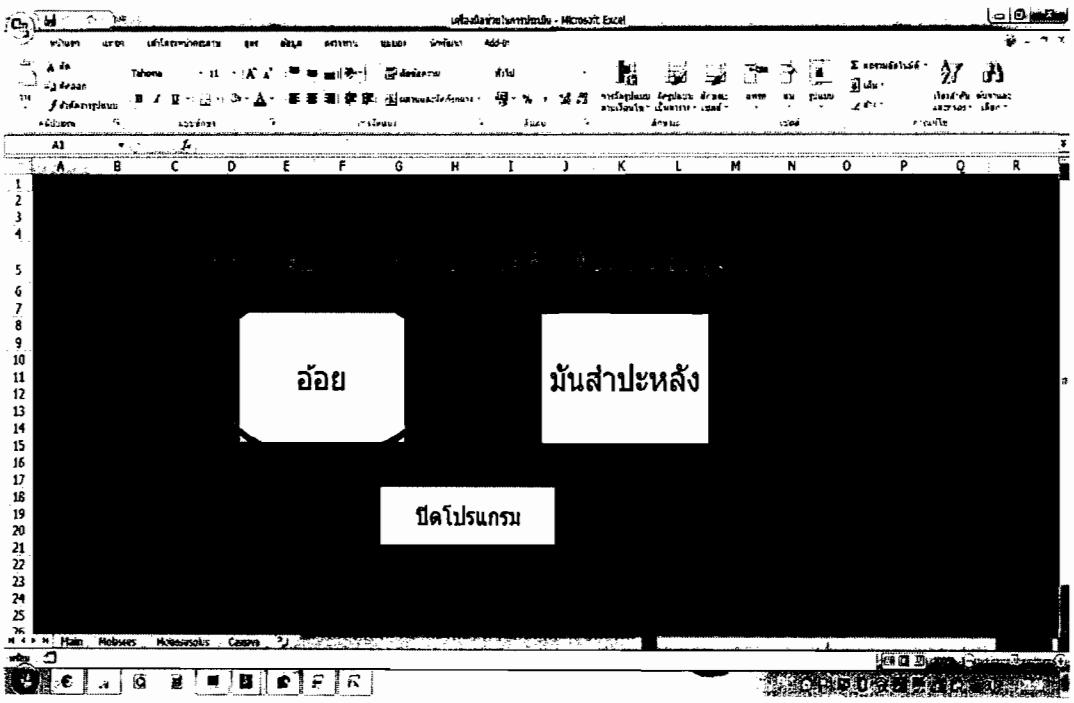
ตารางที่ 4.12 ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20

กิจกรรมการผลิต	พลังงานขาเข้า (MJ)	พลังงานขาออก (MJ)	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO2eq)
1. การปลูกอ้อย	2,108,800.00	-	125,200.00
2. การขนส่งอ้อย	1,250,000.00	-	133,000.00
3. การผลิตกากน้ำตาล	-	9,193,200.00	-30,408.00
4. การขนส่งกากน้ำตาล	94,596.60	-	11,176.76
5. การผลิตเอทานอล	8,830,400.00	-	4,680.00
6. การขนส่งเอทานอล	85,844.20	-	10,156.03
7. การผลิตแก๊สโซฮอล์	1,716,000.00	56,885,600.00	263,484.00
8. การขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95	85,280.23	-	10,099.32
9. การใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95	-	-	5,652,312.00
รวม	14,170,921.03	66,078,800.00	6,179,700.11
ค่าพลังงานสุทธิ (NEV)	51,907,878.97		
อัตราส่วนพลังงานที่ได้รับต่อพลังงานที่ใช้ (NER)	4.66		

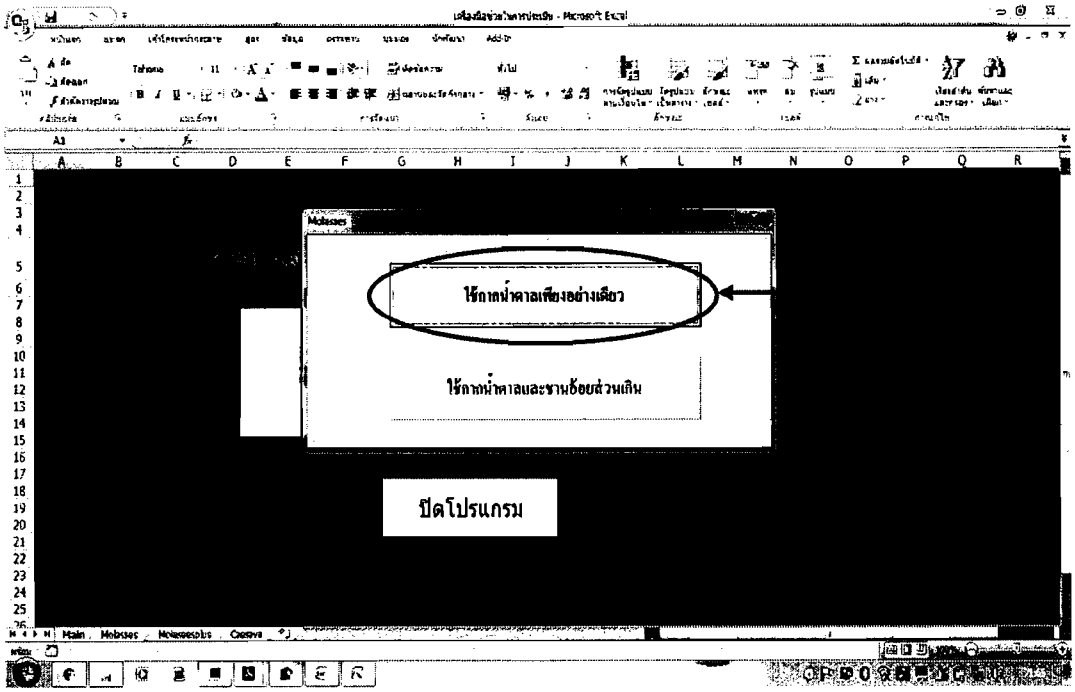
จากผลการคำนวณค่าพลังงานในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของกรณีศึกษา พบว่า ค่าพลังงานขาเข้าที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมการผลิต เมื่อไม่พิจารณาค่าพลังงานในช่วงของการขนส่ง กิจกรรมในช่วงการผลิตเอทานอลมีค่ามากที่สุด ในส่วนของผลการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของกรณีศึกษา พบว่า ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมการผลิต เมื่อไม่พิจารณาค่าพลังงานในช่วงของการขนส่งและการใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95 กิจกรรมในช่วงการผลิตแก๊สโซฮอล์มีค่ามากที่สุด

4.4.1.3 กรณีศึกษาการใช้วัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว) ผลิตแก๊สโซฮอล์ E85

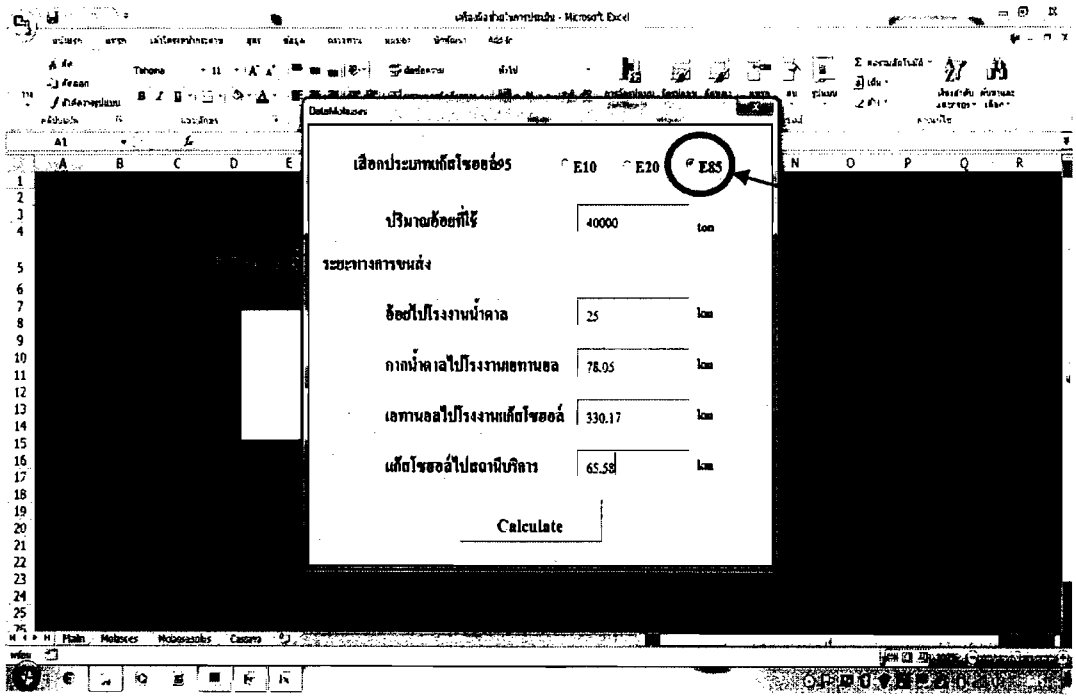
ขั้นตอนวิธีการเริ่มใช้งานโปรแกรมเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการใช้วัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว) ในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85 และการป้อนค่าต่างๆ จากตารางที่ 4.10 ลงในโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 4.27, 4.28 และ 4.29



ภาพที่ 4.27 การเลือกวัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85

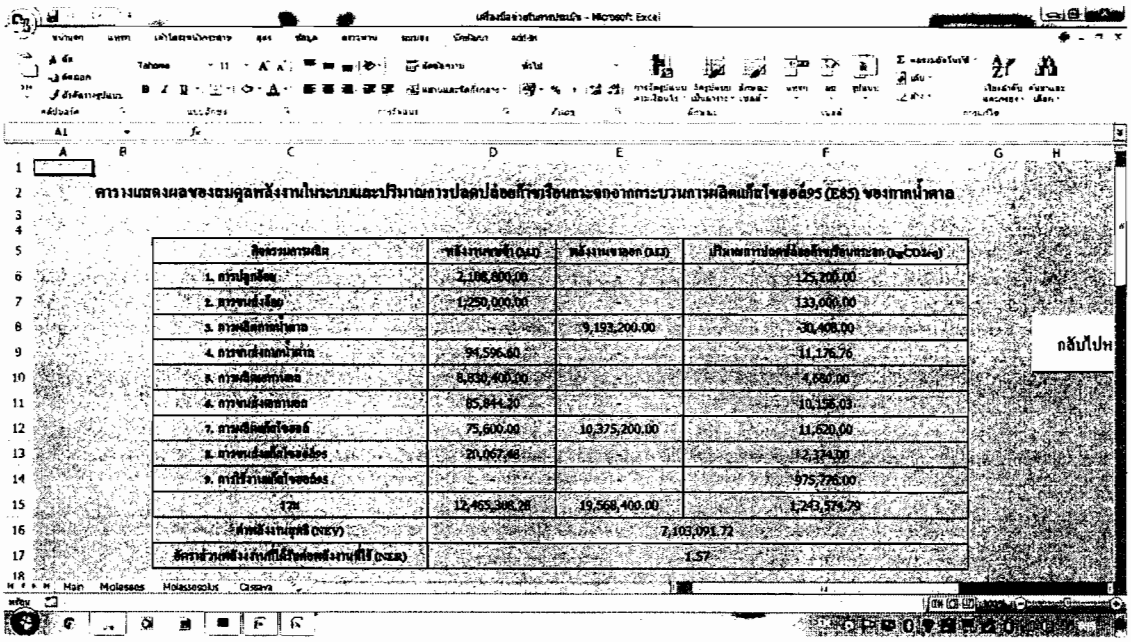


ภาพที่ 4.28 การเลือกใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85



ภาพที่ 4.29 การเลือกประเภทแก๊สโซฮอล์ E85 และใส่ค่าในโปรแกรมประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียว

ผลการคำนวณและกราฟของโปรแกรมช่วยในการประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแสดงผลออกมาดังภาพที่ 4.30, 4.31, 4.32 และตารางที่ 4.13

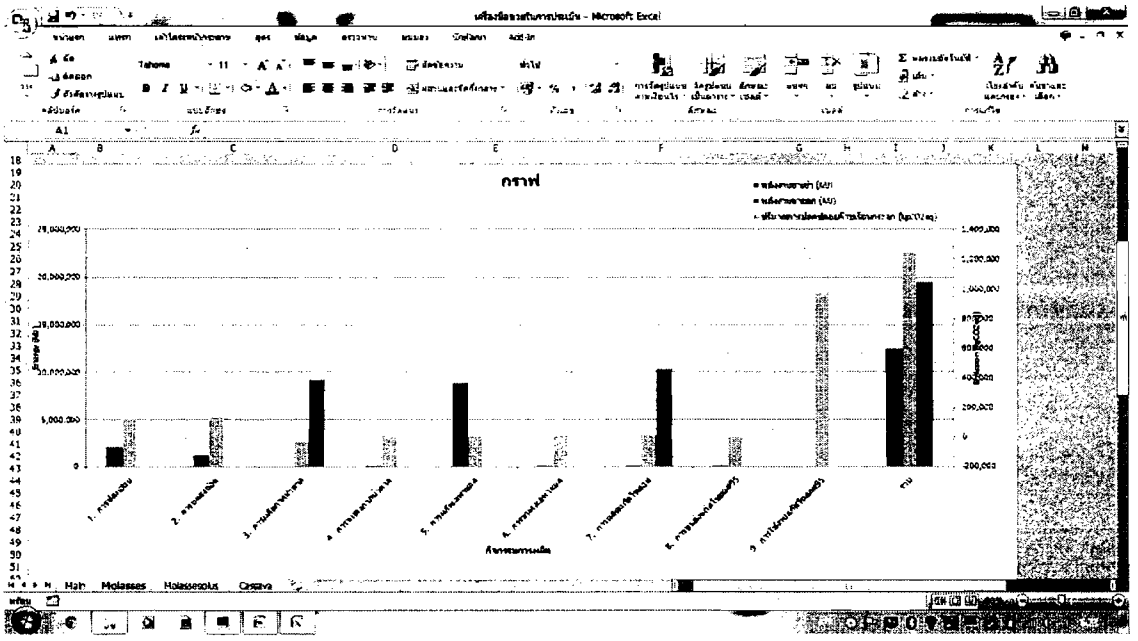


ตารางแสดงผลของชุดคุลพลังงานในระบบและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตแก๊สโซฮอล์95 (E85) จากกากน้ำตาล

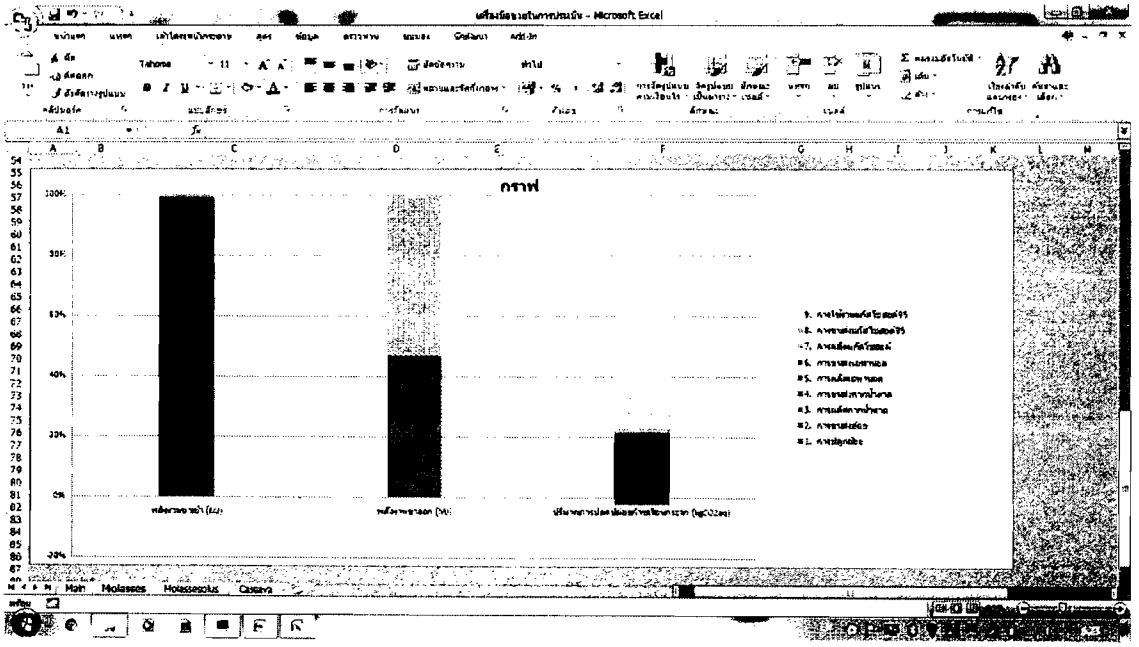
กิจกรรมการผลิต	พลังงานเข้า (MJ)	พลังงานออก (MJ)	เปรียบเทียบการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)
1. การปลูกอ้อย	2,106,800.00	-	125,208.00
2. การขนส่งอ้อย	1,250,000.00	-	133,000.00
3. การผลิตกากน้ำตาล	-	9,193,200.00	30,408.00
4. การขนส่งกากน้ำตาล	94,596.80	-	11,176.76
5. การผลิตเอทานอล	8,830,400.00	-	4,680.00
6. การขนส่งเอทานอล	85,841.20	-	10,158.03
7. การผลิตน้ำมันเบนซิน	75,600.00	10,375,200.00	11,620.00
8. การขนส่งน้ำมันเบนซิน	21,067.48	-	12,334.00
9. การใช้งานน้ำมันเบนซิน	-	-	975,726.00
รวม	12,465,308.28	19,568,400.00	1,243,574.79
ค่าพลังงานสุทธิ (NEV)	7,103,091.72		
อัตราส่วนพลังงานที่ได้ต่อพลังงานที่ใช้ (NER)	1.57		

กลับไปห

ภาพที่ 4.30 ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85



ภาพที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85



ภาพที่ 4.32 กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85

ตารางที่ 4.13 ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลเพียงอย่างเดียวในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85

กิจกรรมการผลิต	พลังงานขาเข้า (MJ)	พลังงานขาออก (MJ)	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO2eq)
1. การปลูกอ้อย	2,108,800.00	-	125,200.00
2. การขนส่งอ้อย	1,250,000.00	-	133,000.00
3. การผลิตกากน้ำตาล	-	9,193,200.00	-30,408.00
4. การขนส่งกากน้ำตาล	94,596.60	-	11,176.76
5. การผลิตเอทานอล	8,830,400.00	-	4,680.00
6. การขนส่งเอทานอล	85,844.20	-	10,156.03
7. การผลิตแก๊สโซฮอล์	75,600.00	10,375,200.00	11,620.00
8. การขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95	20,067.48	-	2,374.00
9. การใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95	-	-	975,776.00
รวม	12,465,308.28	19,568,400.00	1,243,574.79
ค่าพลังงานสุทธิ (NEV)	7,103,091.72		
อัตราส่วนพลังงานที่ได้รับต่อพลังงานที่ใช้ (NER)	1.57		

จากผลการคำนวณค่าพลังงานในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของกรณีศึกษา พบว่าค่าพลังงานขาเข้าที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมการผลิต เมื่อไม่พิจารณาค่าพลังงานในช่วงของการขนส่งกิจกรรมในช่วงการผลิตเอทานอลมีค่ามากที่สุด ในส่วนของผลการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของกรณีศึกษา พบว่า ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมการผลิต เมื่อไม่พิจารณาค่าพลังงานในช่วงของการขนส่งและการใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95 กิจกรรมในช่วงการปลูกอ้อยมีค่ามากที่สุด

4.4.2 กรณีศึกษาการใช้วัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน)

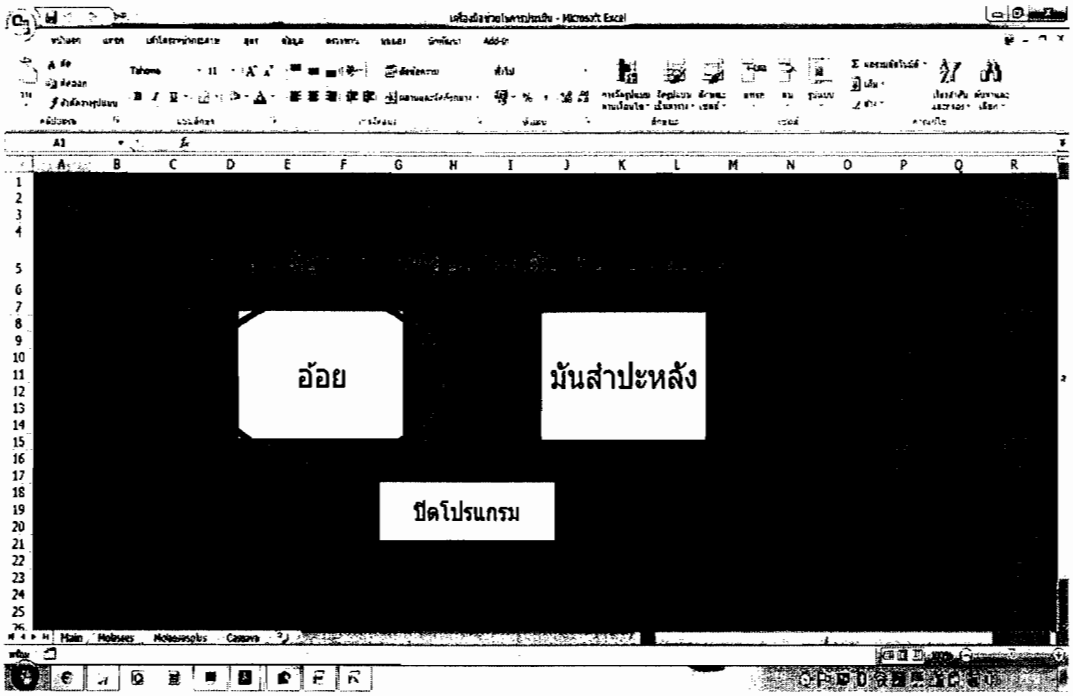
ในกรณีศึกษานี้ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการใช้งานโปรแกรมเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยได้นำข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องและต้องป้อนในโปรแกรม ซึ่งข้อมูลต่างๆ ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลจากสภาพพื้นที่จริงเหมือนกับกรณีศึกษาในหัวข้อ 4.4.1 เช่น ระยะทางระหว่างแหล่งปลูกอ้อยถึงโรงงานน้ำตาล ระยะทางระหว่างโรงงานน้ำตาลถึงโรงงานเอทานอล ระยะทางระหว่างโรงงานเอทานอลถึงคลังผสมน้ำมันแก๊สโซฮอล์และระยะทางระหว่างคลังผสมน้ำมันแก๊สโซฮอล์ถึงสถานีบริการ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2550) โดยรายละเอียดของข้อมูลที่ป้อนมีดังนี้วัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตเอทานอล คือ อ้อย ปริมาณ 40,000 ตัน เลือกวิธีการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการคำนวณ เขตที่ใช้ในการเลือกแหล่งปลูกอ้อยคืออำเภอน้ำพอง โรงงานน้ำตาล S1 และโรงงานเอทานอล S2 ในจังหวัดขอนแก่น ส่วนคลังน้ำมันที่ใช้ในการผสมเป็นแก๊สโซฮอล์และสถานีบริการใช้ค่าระยะทางเฉลี่ยจากงานวิจัยที่อ้างอิง ซึ่งมีค่าดังตารางที่ 4.14 โดยในกรณีศึกษานี้จะมี 3 หัวข้อย่อยเป็นการเลือกการผลิตประเภทของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ได้แก่ แก๊สโซฮอล์ E10 E20 และE85

ตารางที่ 4.14 ระยะทางในแต่ละช่วงการขนส่งกรณีศึกษาการใช้วัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน) (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2550)

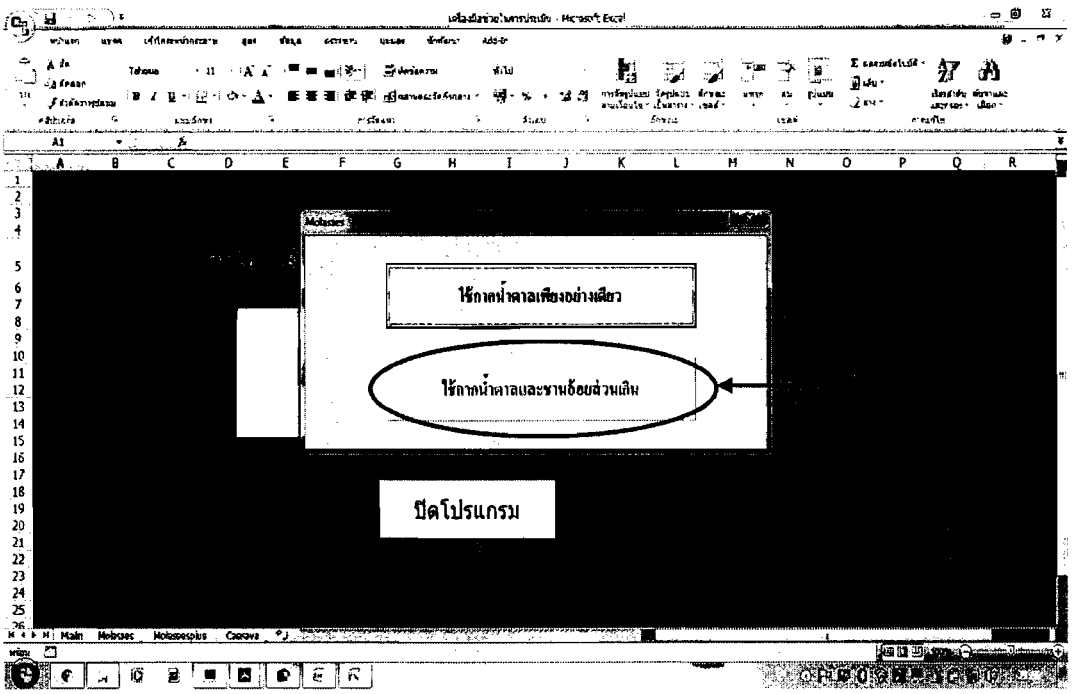
รายละเอียดข้อมูล	ค่าที่ได้
ระยะทางระหว่างแหล่งปลูกอ้อยถึงโรงงานน้ำตาลS1	25.00 km.
ระยะทางระหว่างโรงงานน้ำตาลS1ถึงโรงงานเอทานอลS2	78.05 km.
ระยะทางระหว่างโรงงานเอทานอลS2ถึงคลังผสมน้ำมันแก๊สโซฮอล์	330.17 km.
ระยะทางระหว่างคลังผสมน้ำมันแก๊สโซฮอล์ถึงสถานีบริการ	65.58 km.

4.4.2.1 กรณีศึกษาการใช้วัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน) ผลิตแก๊สโซฮอล์ E10

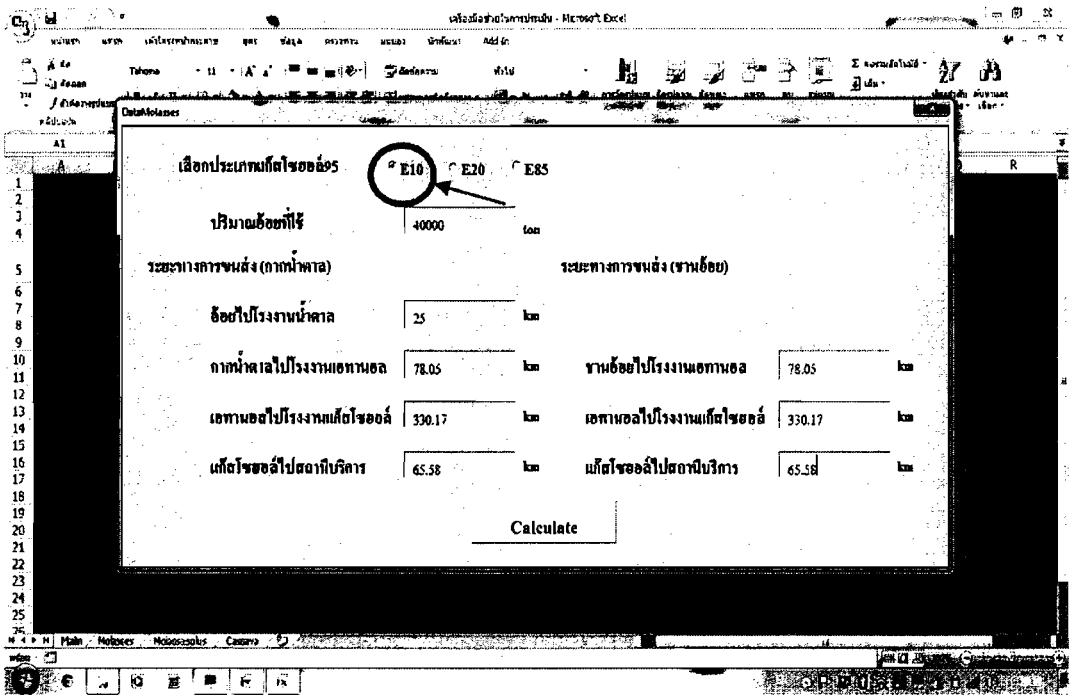
ขั้นตอนวิธีการเริ่มใช้งานโปรแกรมเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการใช้วัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน) ในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10 และการป้อนค่าต่างๆ จากตารางที่ 4.14 ลงในโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 4.33, 4.34 และ 4.35



ภาพที่ 4.33 การเลือกวัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10

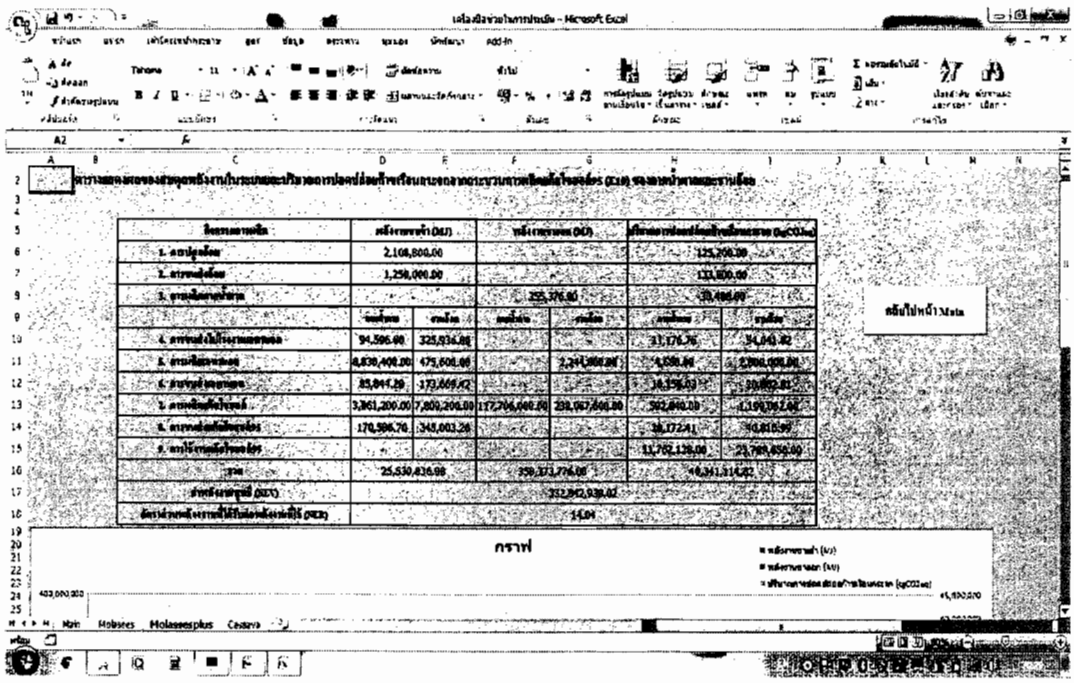


ภาพที่ 4.34 การเลือกใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10

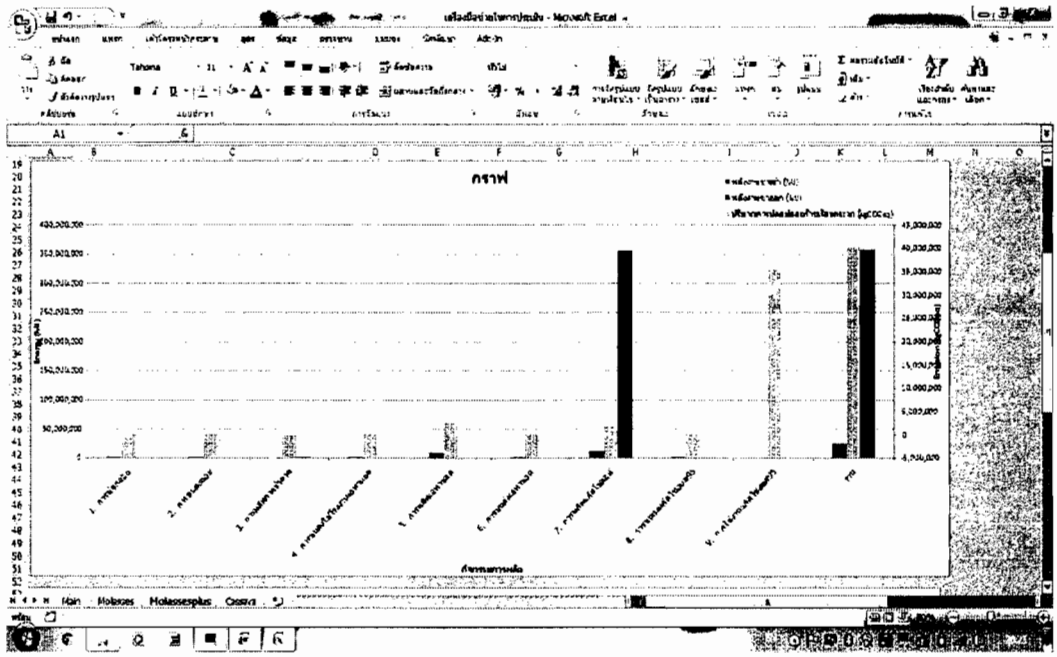


ภาพที่ 4.35 การเลือกประเภทแก๊สโซฮอล์ E10 และใส่ค่าในโปรแกรมประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน

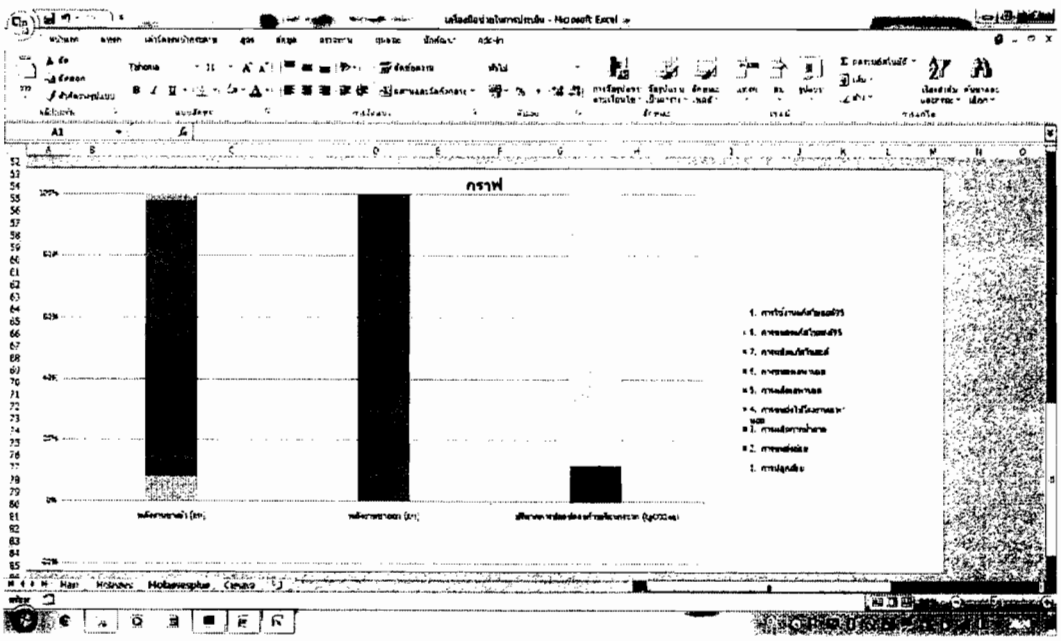
ผลการคำนวณและกราฟของโปรแกรมช่วยในการประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแสดงผลออกมาดังภาพที่ 4.36, 4.37, 4.38 และตารางที่ 4.15



ภาพที่ 4.36 ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10



ภาพที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10



ภาพที่ 4.38 กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10

ตารางที่ 4.15 ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10

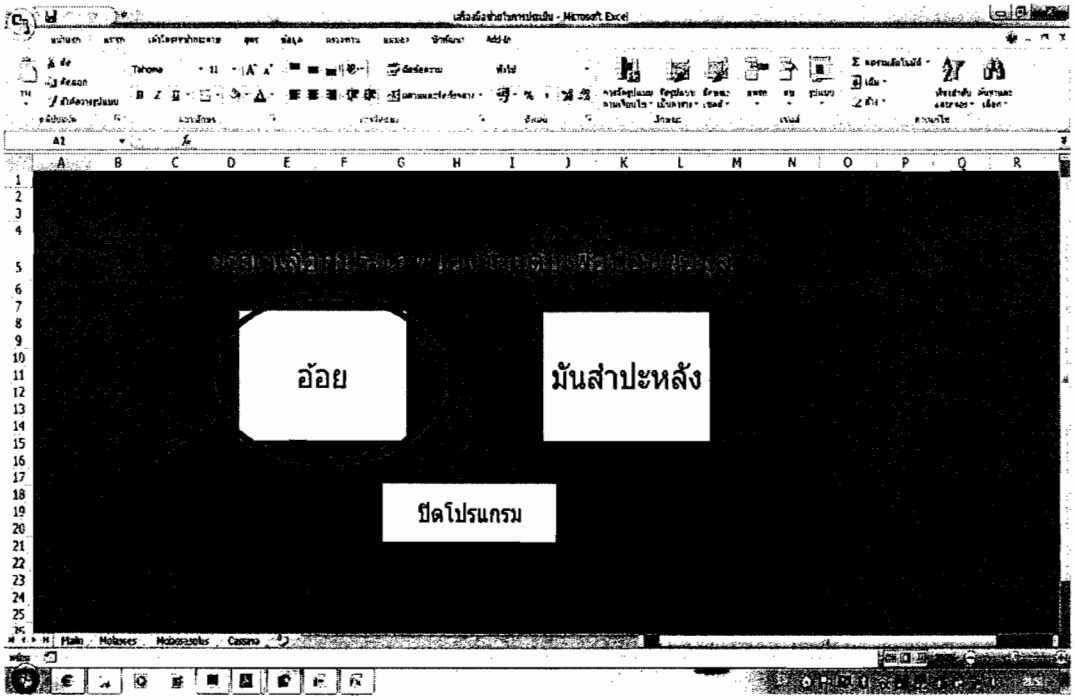
กิจกรรมการผลิต	พลังงานขาเข้า (MJ)		พลังงานขาออก (MJ)		ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO2eq)	
1. การปลูกอ้อย	2,108,800.00		-		125,200.00	
2. การขนส่งอ้อย	1,250,000.00		-		133,000.00	
3. การผลิตกากน้ำตาล	-		355,376.00		-30,408.00	
	กากน้ำตาล	ชานอ้อย	กากน้ำตาล	ชานอ้อย	กากน้ำตาล	ชานอ้อย
4. การขนส่งกากน้ำตาล	94,596.60	325,936.80	-	-	11,176.76	54,041.82
5. การผลิตเอทานอล	8,830,400.00	475,600.00	-	2,244,800.00	4,680.00	2,608,000.00
6. การขนส่งเอทานอล	85,844.20	173,669.42	-	-	10,156.03	20,602.61
7. การผลิตแก๊สโซฮอล์	3,861,200.00	7,809,200.00	117,706,000.00	238,067,600.00	592,840.00	1,199,052.00
8. การขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95	170,586.70	345,003.26	-	-	20,172.41	40,816.99
9. การใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95	-	-	-	-	11,762,128.00	23,789,656.00
รวม	25,530,836.98		358,373,776.00		40,341,114.62	
ค่าพลังงานสุทธิ (NEV)	332,842,939.02					
อัตราส่วนพลังงานที่ได้รับต่อพลังงานที่ใช้ (NER)	14.04					

จากผลการคำนวณค่าพลังงานในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของกรณีศึกษา พบว่า ค่าพลังงานขาเข้าที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมการผลิต เมื่อไม่พิจารณาค่าพลังงานในช่วงของการขนส่ง ส่วนของการใช้กากน้ำตาลกิจกรรมในช่วงการผลิตเอทานอลมีค่ามากที่สุด ส่วนของการใช้ชานอ้อยกิจกรรมในช่วงการผลิตแก๊สโซฮอล์จะมีค่ามากที่สุด

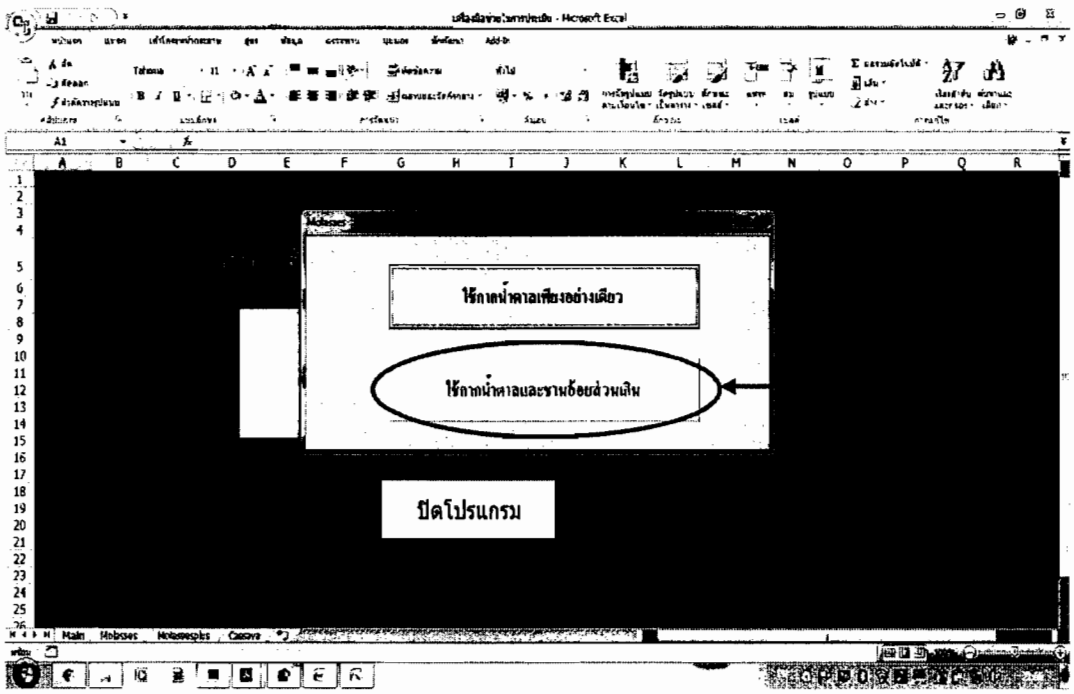
ผลการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของกรณีศึกษา พบว่า ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมการผลิต เมื่อไม่พิจารณาค่าพลังงานในช่วงของการขนส่งและการใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95 ส่วนของการใช้กากน้ำตาลกิจกรรมในช่วงการผลิตแก๊สโซฮอล์มีค่ามากที่สุด ส่วนของการใช้ชานอ้อยกิจกรรมในช่วงการผลิตเอทานอลจะมีค่ามากที่สุด

4.4.2.2 กรณีศึกษาการใช้วัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน) ผลิตแก๊สโซฮอล์ E20

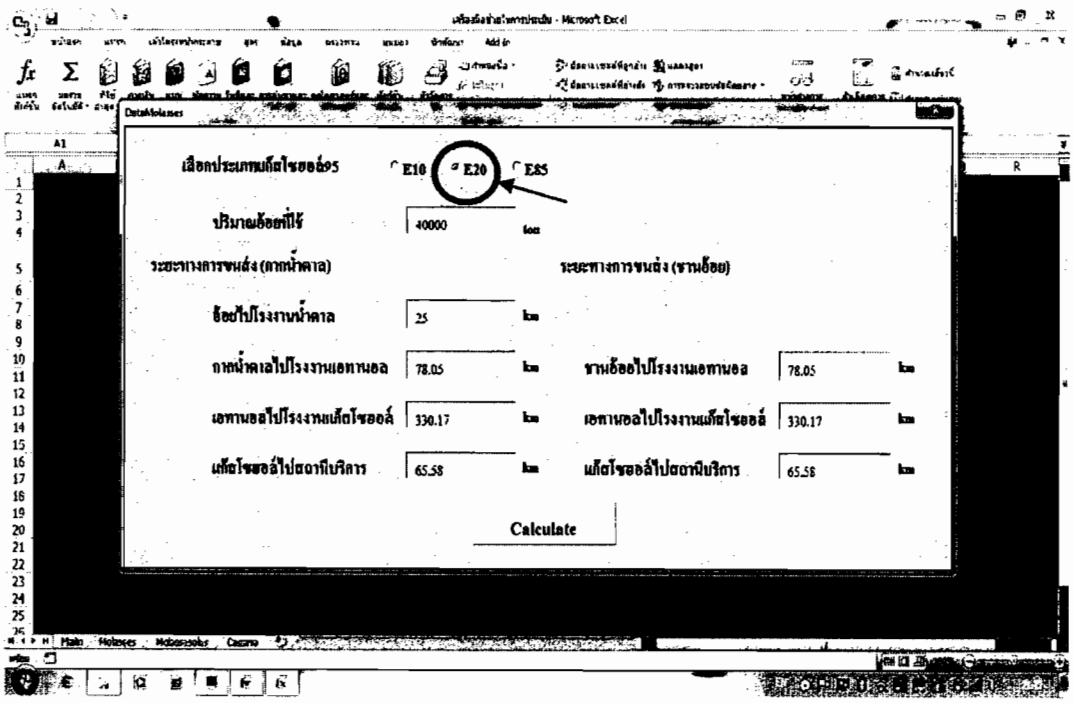
ขั้นตอนวิธีการเริ่มใช้งานโปรแกรมเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการใช้วัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน) ในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20 และการป้อนค่าต่างๆ จากตารางที่ 4.14 ลงในโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 4.39, 4.40 และ 4.41



ภาพที่ 4.39 การเลือกวัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20

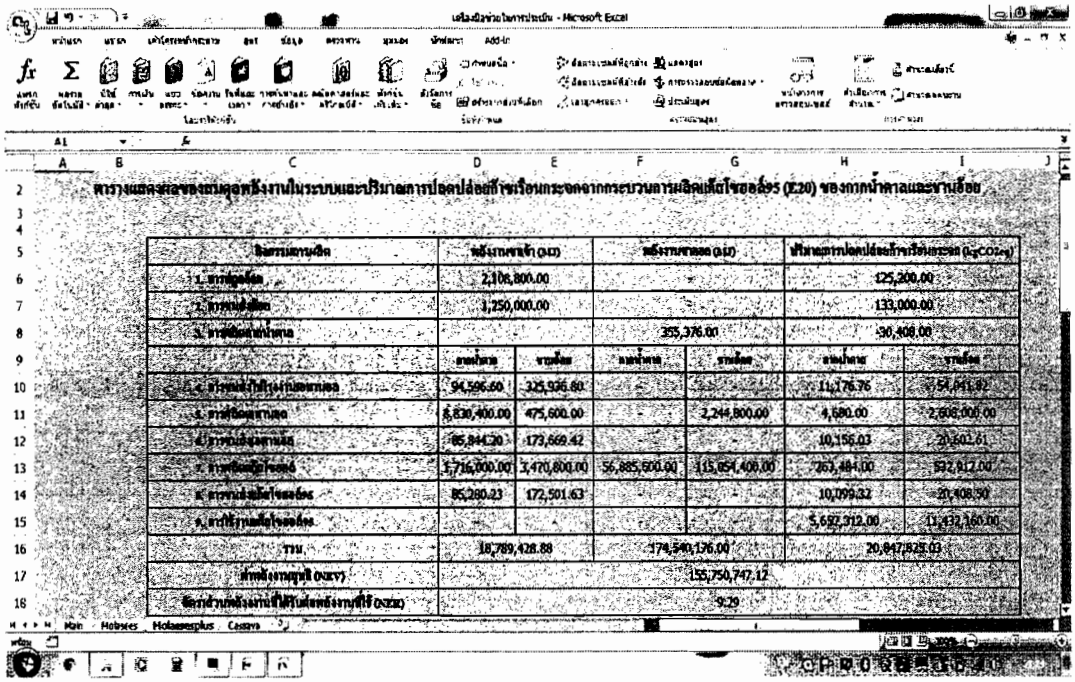


ภาพที่ 4.40 การเลือกใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20



ภาพที่ 4.41 การเลือกประเภทแก๊สโซฮอล์ E20 และใส่ค่าในโปรแกรมประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน

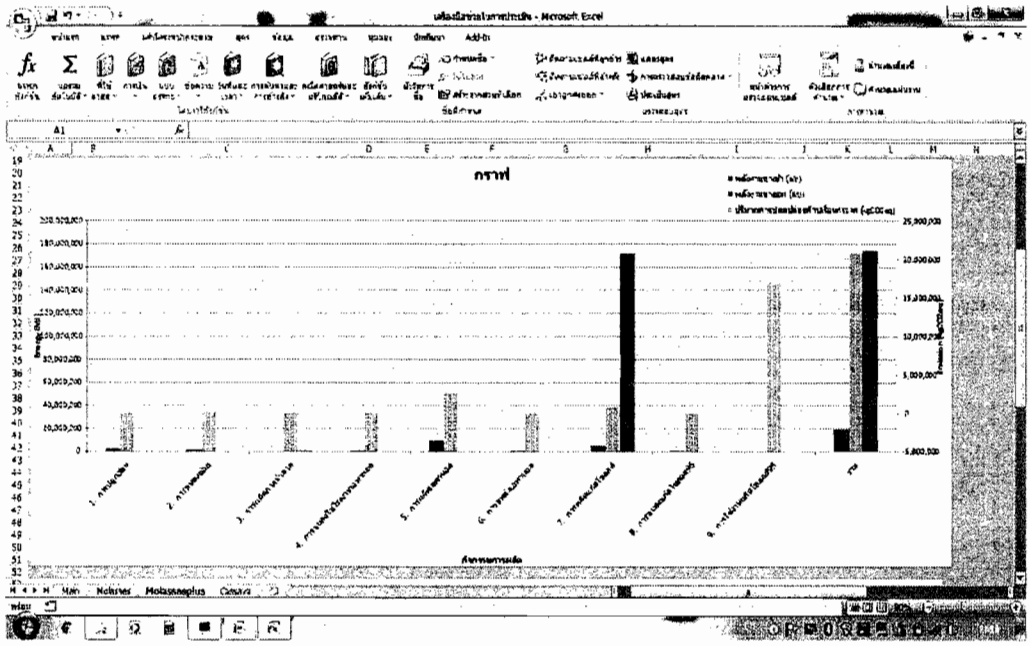
ผลการคำนวณและกราฟของโปรแกรมช่วยในการประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแสดงผลออกมาดังภาพที่ 4.42, 4.43, 4.44 และตารางที่ 4.16



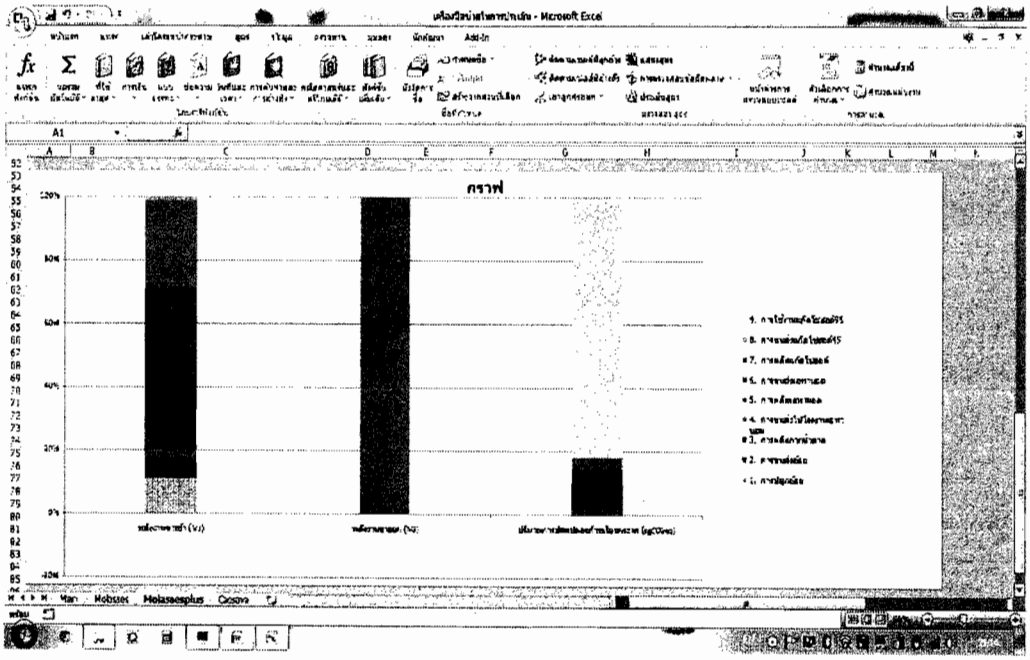
ตารางแสดงผลของชนิดพลังงานในระบบและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตแก๊สโซฮอล์95 (E20) ของกากน้ำตาลและชานอ้อย

ชื่อกระบวนการผลิต	พลังงานขาเข้า (MJ)		พลังงานขาออก (MJ)		ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2e$)	
1. การหมัก	2,106,800.00		-		125,200.00	
2. การกลั่น	1,250,000.00		-		133,000.00	
3. การผลิตแก๊สโซฮอล์			355,376.00		30,408.00	
	ขาเข้าหลัก	ขาเสีย	ขาเข้าหลัก	ขาเสีย	ขาเข้าหลัก	ขาเสีย
1.1 การผลิตน้ำตาลทราย	94,596.60	325,936.80	-	-	11,176.76	2,154,941.92
1.2 การผลิตเอทานอล	6,830,400.00	475,600.00	-	2,244,800.00	4,680.00	2,908,000.00
1.3 การผลิตเอทานอล	85,844.20	173,669.42	-	-	10,156.03	20,602.61
2. การผลิตน้ำมันเบนซิน	5,716,000.00	3,470,800.00	56,885,600.00	115,654,400.00	763,484.00	932,912.00
3. การผลิตน้ำมันแก๊สโซฮอล์	85,280.23	172,501.63	-	-	10,099.32	20,408.50
4. การใช้งานน้ำมันแก๊สโซฮอล์	-	-	-	-	5,697,312.00	11,432,160.00
TTU	18,789,428.88		174,540,176.00		20,947,825.03	
ค่าพลังงานสุทธิ (NEV)			155,750,747.12			
อัตราส่วนพลังงานที่ได้รับต่อพลังงานที่ใช้ (EER)			9.29			

ภาพที่ 4.42 ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20



ภาพที่ 4.43 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20



ภาพที่ 4.44 กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20

ตารางที่ 4.16 ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20

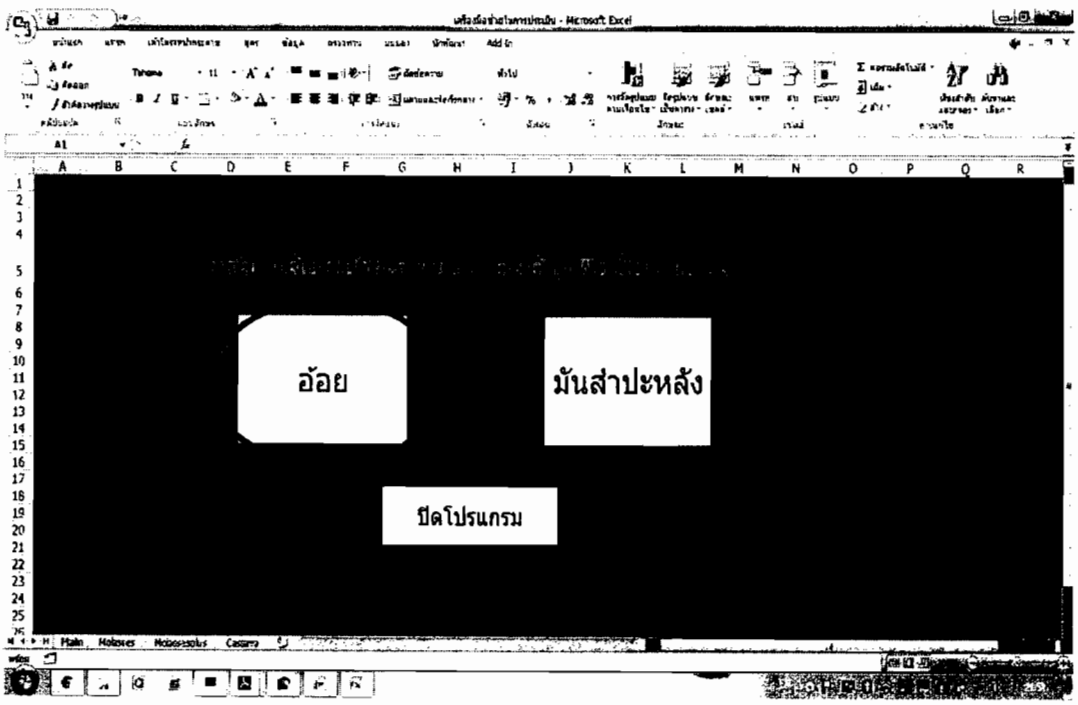
กิจกรรมการผลิต	พลังงานขาเข้า (MJ)		พลังงานขาออก (MJ)		ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO2eq)	
1. การปลูกอ้อย	2,108,800.00		-		125,200.00	
2. การขนส่งอ้อย	1,250,000.00		-		133,000.00	
3. การผลิตกากน้ำตาล	-		355,376.00		-30,408.00	
	กากน้ำตาล	ชานอ้อย	กากน้ำตาล	ชานอ้อย	กากน้ำตาล	ชานอ้อย
4. การขนส่งกากน้ำตาล	94,596.60	325,936.80	-	-	11,176.76	54,041.82
5. การผลิตเอทานอล	8,830,400.00	475,600.00	-	2,244,800.00	4,680.00	2,608,000.00
6. การขนส่งเอทานอล	85,844.20	173,669.42	-	-	10,156.03	20,602.61
7. การผลิตแก๊สโซฮอล์	1,716,000.00	3,470,800.00	56,885,600.00	115,054,400.00	263,484.00	532,912.00
8. การขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95	85,280.23	172,501.63	-	-	10,099.32	20,408.50
9. การใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95	-	-	-	-	5,652,312.00	11,432,160.00
รวม	18,789,428.88		174,540,176.00		20,847,825.03	
ค่าพลังงานสุทธิ (NEV)	155,750,747.12					
อัตราส่วนพลังงานที่ได้รับต่อพลังงานที่ใช้ (NER)	9.29					

จากผลการคำนวณค่าพลังงานในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของกรณีศึกษา พบว่า ค่าพลังงานขาเข้าที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมการผลิต เมื่อไม่พิจารณาค่าพลังงานในช่วงของการขนส่ง ส่วนของการใช้กากน้ำตาลกิจกรรมในช่วงการผลิตเอทานอลมีค่ามากที่สุด ส่วนของการใช้ชานอ้อยกิจกรรมในช่วงการผลิตแก๊สโซฮอล์จะมีค่ามากที่สุด

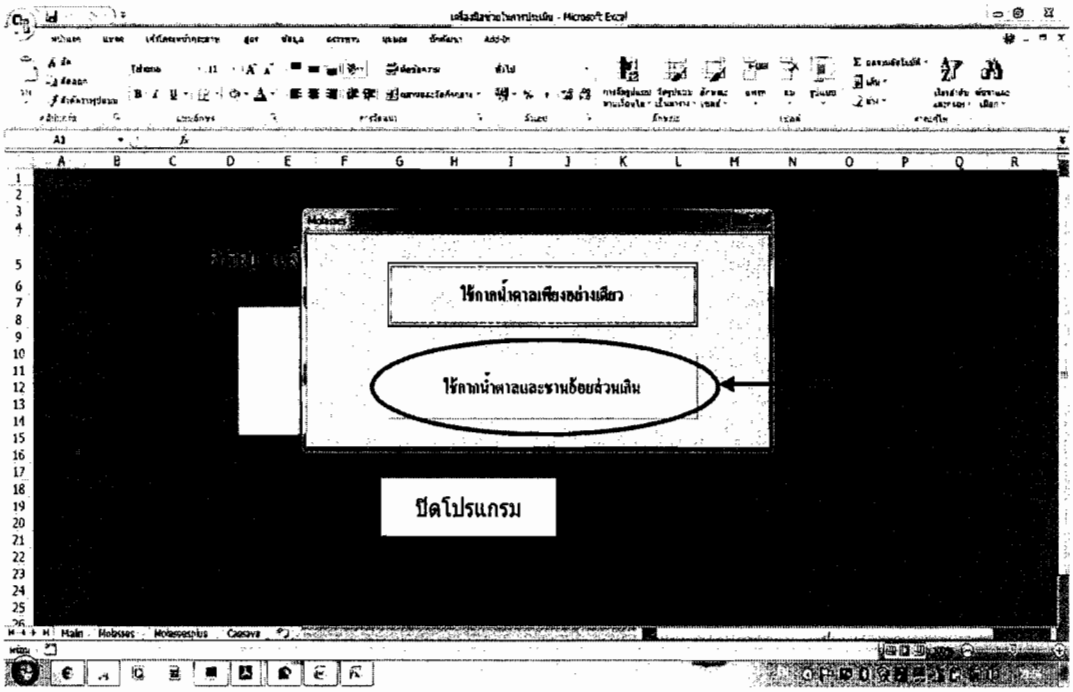
ผลการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของกรณีศึกษา พบว่า ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมการผลิต เมื่อไม่พิจารณาค่าพลังงานในช่วงของการขนส่งและการใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95 ส่วนของการใช้กากน้ำตาลกิจกรรมในช่วงการผลิตแก๊สโซฮอล์มีค่ามากที่สุด ส่วนของการใช้ชานอ้อยกิจกรรมในช่วงการผลิตเอทานอลจะมีค่ามากที่สุด

4.4.2.3 กรณีศึกษาการใช้วัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน) ผลิตแก๊สโซฮอล์ E85

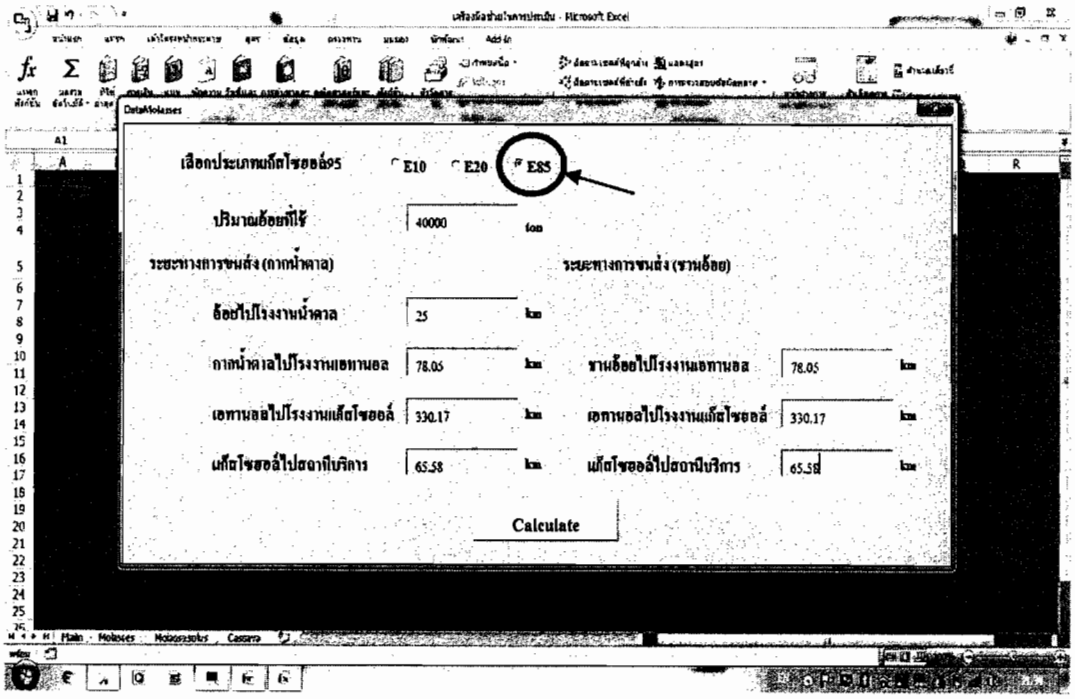
ขั้นตอนวิธีการเริ่มใช้งานโปรแกรมเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการใช้วัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน) ในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85 และการป้อนค่าต่างๆ จากตารางที่ 4.14 ลงในโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 4.45, 4.46 และ 4.47



ภาพที่ 4.45 การเลือกวัตถุดิบอ้อย (ใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน) เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85

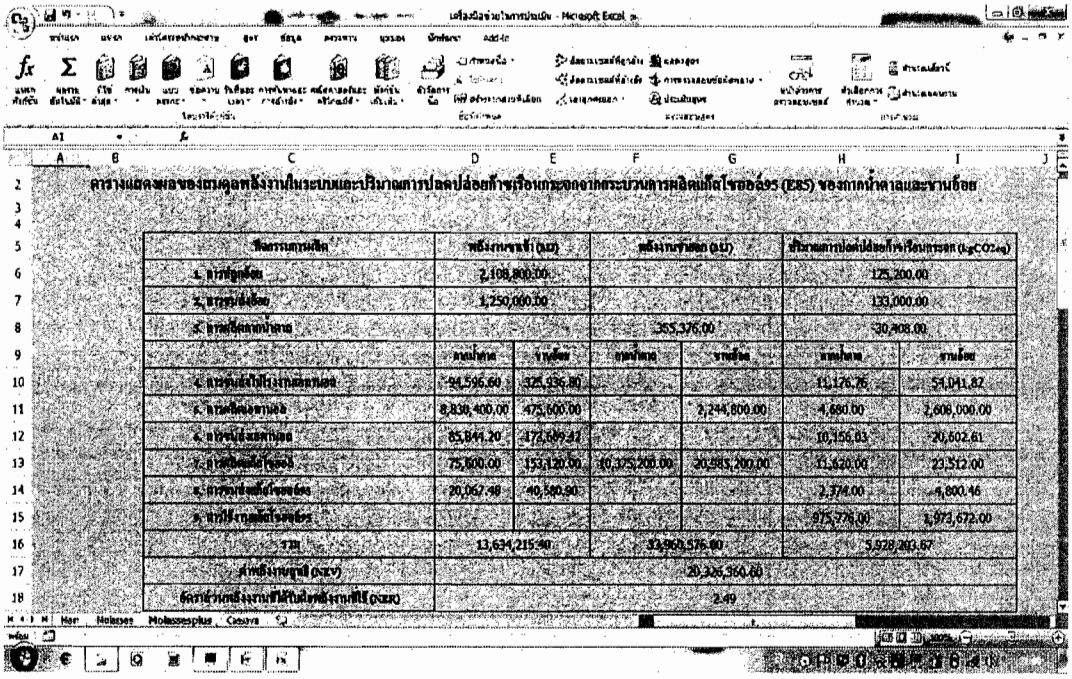


ภาพที่ 4.46 การเลือกใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85



ภาพที่ 4.47 การเลือกประเภทแก๊สโซฮอล์ E85 และใส่ค่าในโปรแกรมประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกิน

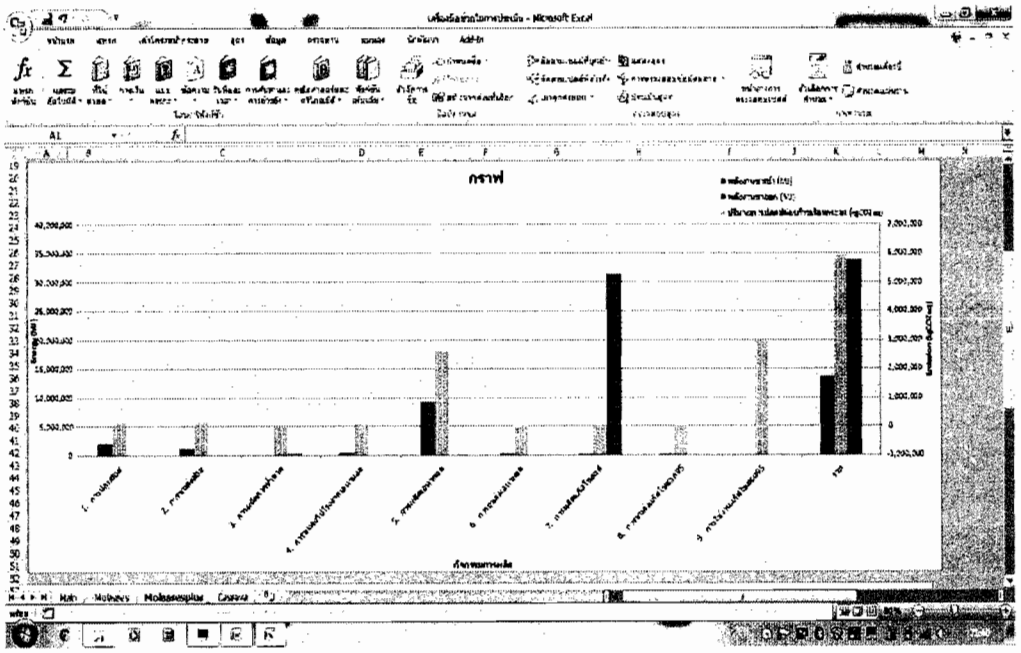
ผลการคำนวณและกราฟของโปรแกรมช่วยในการประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแสดงผลออกมาดังภาพที่ 4.48, 4.49, 4.50 และตารางที่ 4.16



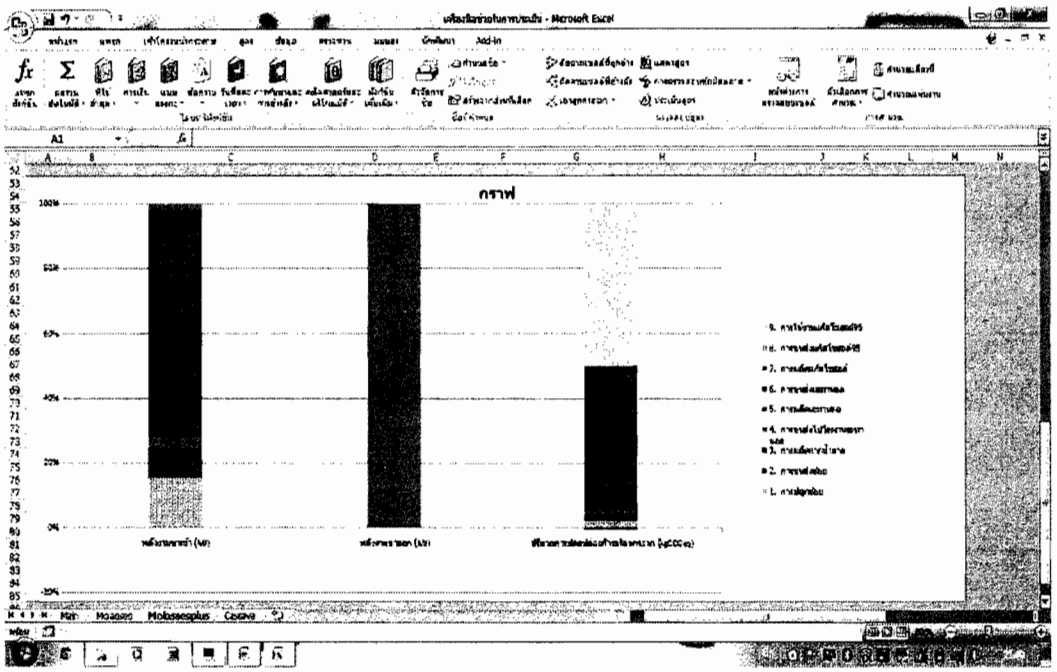
ตารางแสดงผลของเทคนิคพลังงานในระบบและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตแก๊สโซฮอล์95 (E85) ของกากน้ำตาลและชานอ้อย

ชื่อกระบวนการผลิต	พลังงานความร้อน (MJ)		พลังงานไฟฟ้า (MJ)		ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)	
4. การหมัก	2,108,800.00				125,200.00	
5. การกลั่น	1,250,000.00				120,000.00	
6. การผลิตเอทานอล			365,376.00		30,408.00	
	กากน้ำตาล	ชานอ้อย	กากน้ำตาล	ชานอ้อย	กากน้ำตาล	ชานอ้อย
1. กระบวนการปรับปรุงกากน้ำตาล	94,596.60	325,936.80			11,176.76	51,041.82
2. การผลิตเอทานอล	8,830,400.00	475,600.00		2,244,800.00	4,680.00	2,608,000.00
3. การกลั่นเอทานอล	85,844.20	172,699.41			10,156.03	20,602.61
4. การผลิตเอทานอลไร้น้ำ	75,600.00	151,120.00	10,375,200.00	20,985,200.00	11,820.00	23,512.00
5. การบำบัดน้ำเสีย	20,067.48	40,580.90			2,374.00	4,800.46
6. การใช้งานผลิตภัณฑ์					975,776.00	1,973,672.00
รวม	13,634,215.90		33,960,576.00		5,928,203.67	
ค่าพลังงานสูงสุด (MJ)			20,326,360.60			
อัตราส่วนพลังงานที่ได้กับพลังงานที่ใช้ (MJ)			2.49			

ภาพที่ 4.48 ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85



ภาพที่ 4.49 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85



ภาพที่ 4.50 กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85

ตารางที่ 4.17 ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของการผลิตจากการใช้กากน้ำตาลและชานอ้อยส่วนเกินในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85

กิจกรรมการผลิต	พลังงานขาเข้า (MJ)		พลังงานขาออก (MJ)		ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO2eq)	
1. การปลูกอ้อย	2,108,800.00		-		125,200.00	
2. การขนส่งอ้อย	1,250,000.00		-		133,000.00	
3. การผลิตกากน้ำตาล	-		355,376.00		-30,408.00	
	กากน้ำตาล	ชานอ้อย	กากน้ำตาล	ชานอ้อย	กากน้ำตาล	ชานอ้อย
4. การขนส่งกากน้ำตาล	94,596.60	325,936.80	-	-	11,176.76	54,041.82
5. การผลิตเอทานอล	8,830,400.00	475,600.00	-	2,244,800.00	4,680.00	2,608,000.00
6. การขนส่งเอทานอล	85,844.20	173,669.42	-	-	10,156.03	20,602.61
7. การผลิตแก๊สโซฮอล์	75,600.00	153,120.00	10,375,200.00	20,985,200.00	11,620.00	23,512.00
8. การขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95	20,067.48	40,580.90	-	-	2,374.00	4,800.46
9. การใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95	-	-	-	-	975,776.00	1,973,672.00
รวม	13,634,215.40		33,960,576.00		5,928,203.67	
ค่าพลังงานสุทธิ (NEV)	20,326,360.60					
อัตราส่วนพลังงานที่ได้รับต่อพลังงานที่ใช้ (NER)	2.49					

จากผลการคำนวณค่าพลังงานในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของกรณีศึกษา พบว่า ค่าพลังงานขาเข้าที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมการผลิต เมื่อไม่พิจารณาค่าพลังงานในช่วงของการขนส่ง ส่วนของการใช้กากน้ำตาลกิจกรรมในช่วงการผลิตเอทานอลมีค่ามากที่สุด ส่วนของการใช้ชานอ้อยกิจกรรมในช่วงการผลิตเอทานอลจะมีค่ามากที่สุดเช่นกัน

ผลการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของกรณีศึกษา พบว่า ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมการผลิต เมื่อไม่พิจารณาค่าพลังงานในช่วงของการขนส่งและการใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95 ส่วนของการใช้กากน้ำตาลกิจกรรมในช่วงการปลูกอ้อยมีค่ามากที่สุด ส่วนของการใช้ชานอ้อยกิจกรรมในช่วงการผลิตเอทานอลจะมีค่ามากที่สุด

4.4.3 กรณีศึกษาการใช้วัตถุดิบมันสำปะหลัง

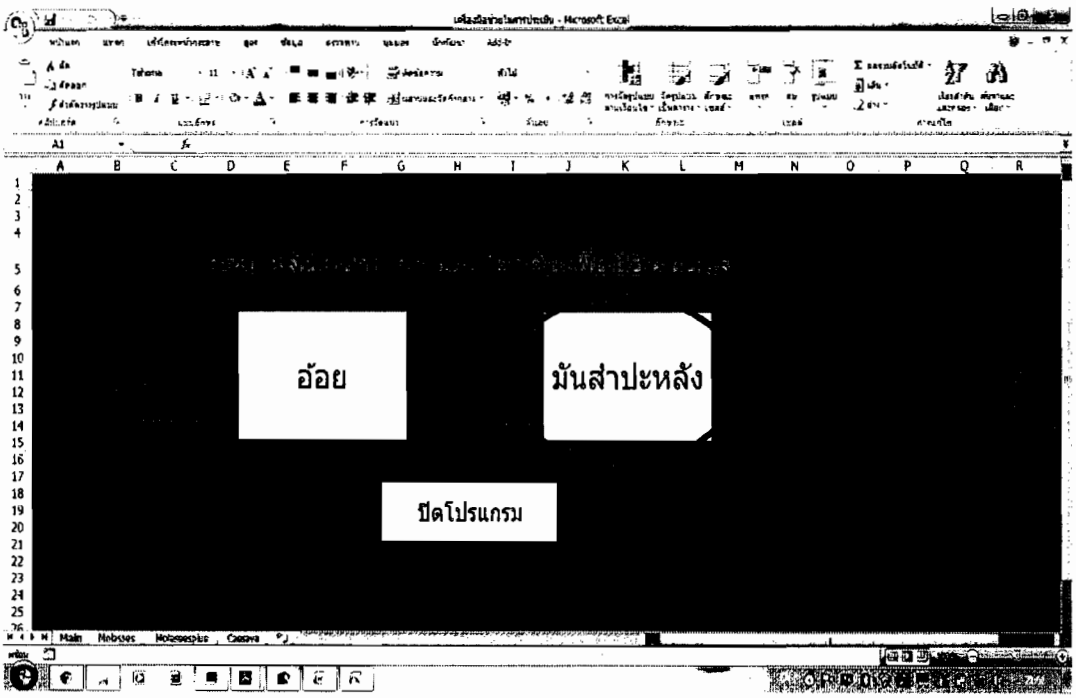
ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการใช้งานโปรแกรมเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยได้นำข้อมูลต่างๆที่เกี่ยวข้องและต้องป้อนในโปรแกรม เพื่อตรวจสอบผลของการประมวลผลที่ได้จากโปรแกรมดังกล่าว ทั้งนี้ข้อมูลต่างๆ ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลจากสภาพพื้นที่จริง เช่น ระยะทางระหว่างแหล่งปลูกมันสำปะหลังถึงโรงงานเอทานอล ระยะทางระหว่างโรงงานเอทานอลถึงคลังผสมน้ำมันแก๊สโซฮอล์และระยะทางระหว่างคลังผสมน้ำมันแก๊สโซฮอล์ถึงสถานีบริการ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2550) โดยรายละเอียดของข้อมูลที่ป้อนมีดังนี้วัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตเอทานอลคือ มันสำปะหลังปริมาณ 2,429.50 ตัน ส่วนโรงงานเอทานอล คลังน้ำมันที่ใช้ในการผสมเป็นแก๊สโซฮอล์และสถานีบริการใช้ค่าระยะทางเฉลี่ยจากงานวิจัยที่อ้างอิง ซึ่งมีค่าดังตารางที่ 4.18 โดยในกรณีศึกษานี้จะมี 3 หัวข้อย่อยเป็นการเลือกการผลิตประเภทของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ได้แก่ แก๊สโซฮอล์ E10 E20 และE85

ตารางที่ 4.18 ระยะทางในแต่ละช่วงการขนส่งกรณีศึกษาการใช้วัตถุดิบมันสำปะหลัง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2550)

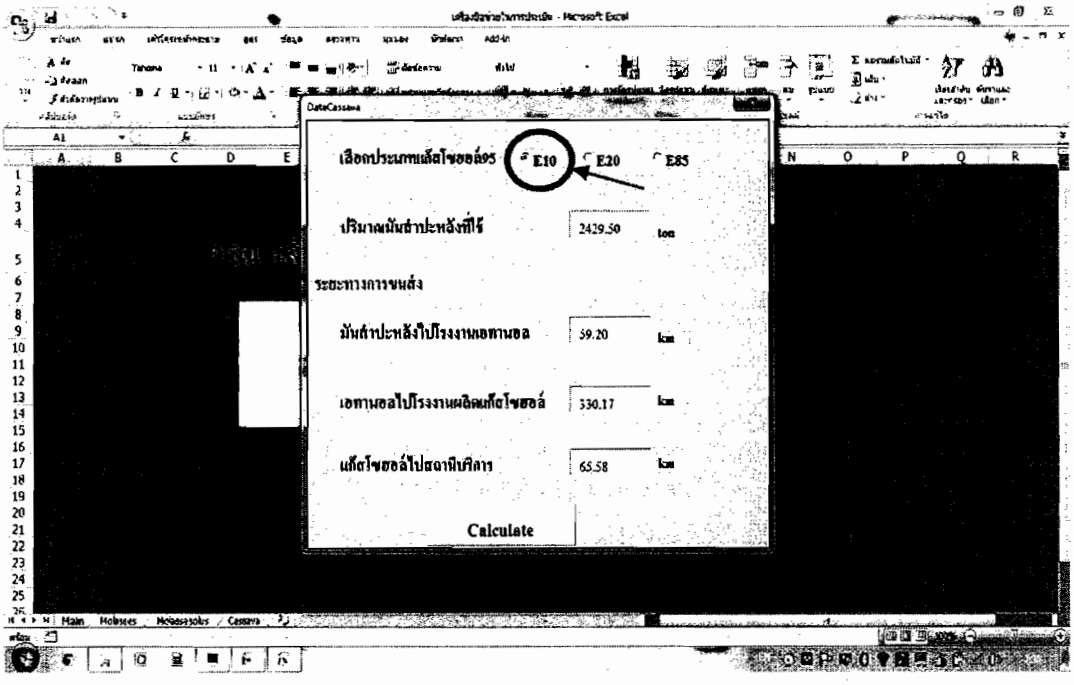
รายละเอียดข้อมูล	ค่าที่ได้
ระยะทางระหว่างแหล่งปลูกมันสำปะหลังถึงโรงงานเอทาอล	59.20 km.
ระยะทางระหว่างโรงงานเอทานอลถึงคลังผสมน้ำมันแก๊สโซฮอล์	330.17 km.
ระยะทางระหว่างคลังผสมน้ำมันแก๊สโซฮอล์ถึงสถานีบริการ	65.58 km.

4.4.3.1 กรณีศึกษาการใช้วัตถุดิบมันสำปะหลัง ผลิตแก๊สโซฮอล์ E10

ขั้นตอนวิธีการเริ่มใช้งานโปรแกรมเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการใช้วัตถุดิบมันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10 และการป้อนค่าต่างๆ จากตารางที่ 4.18 ลงในโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 4.51 และ 4.52

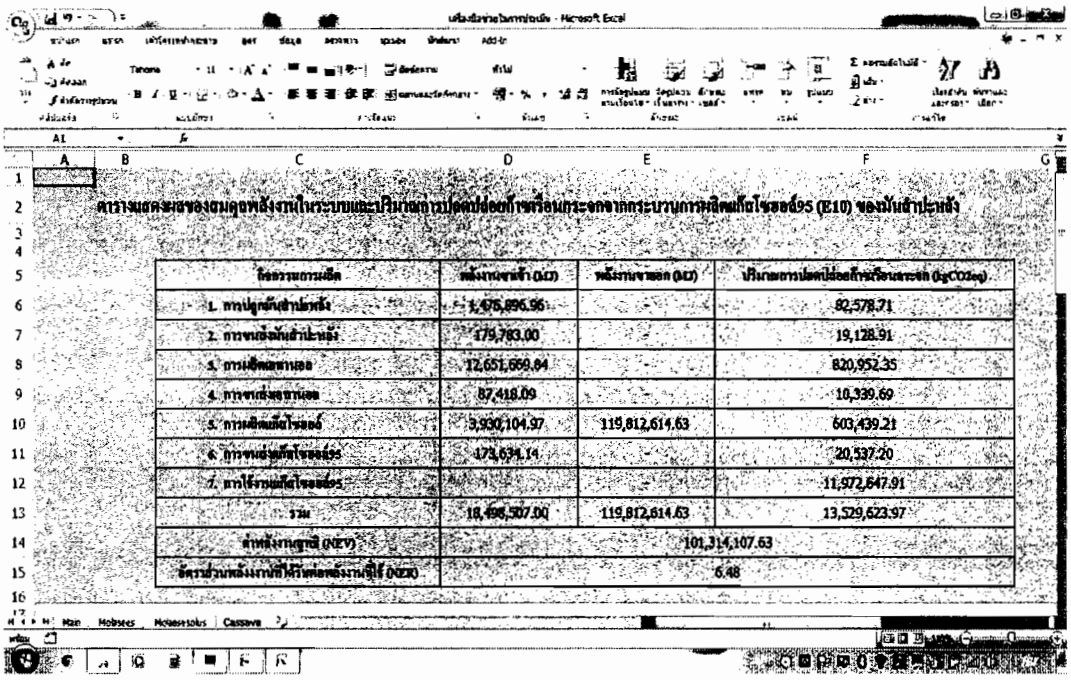


ภาพที่ 4.51 การเลือกวัตถุดิบมันสำปะหลัง เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10



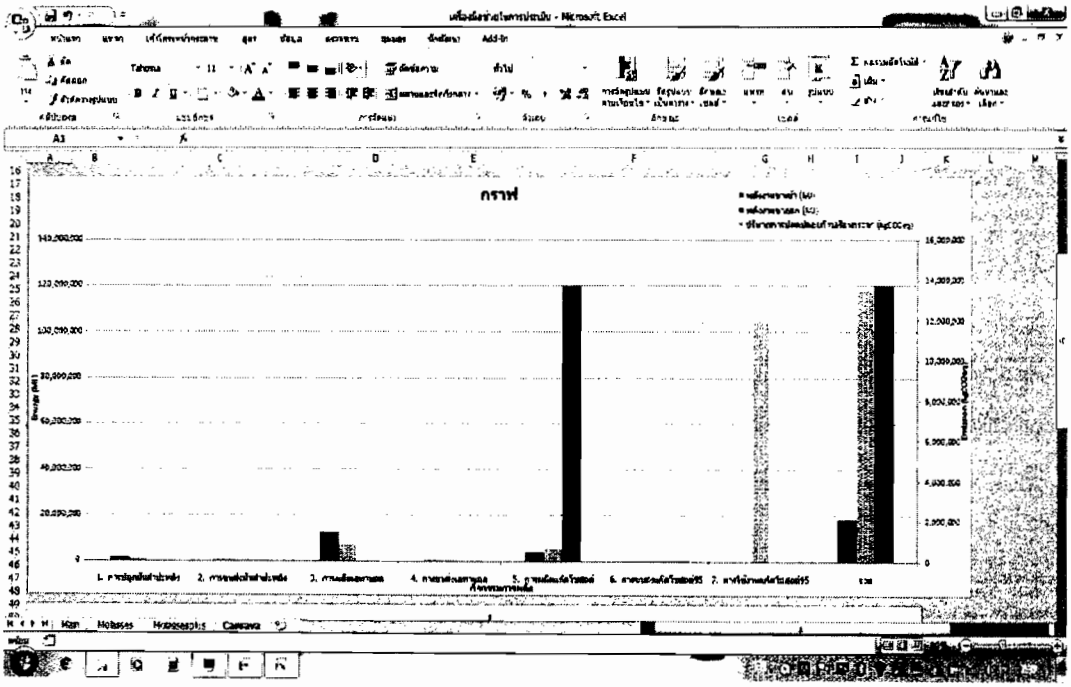
ภาพที่ 4.52 การเลือกประเภทแก๊สโซฮอล์ E10 และใส่ค่าในโปรแกรมประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลัง

ผลการคำนวณและกราฟของโปรแกรมช่วยในการประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแสดงผลออกมาดังภาพที่ 4.53, 4.54, 4.55 และตารางที่ 4.19

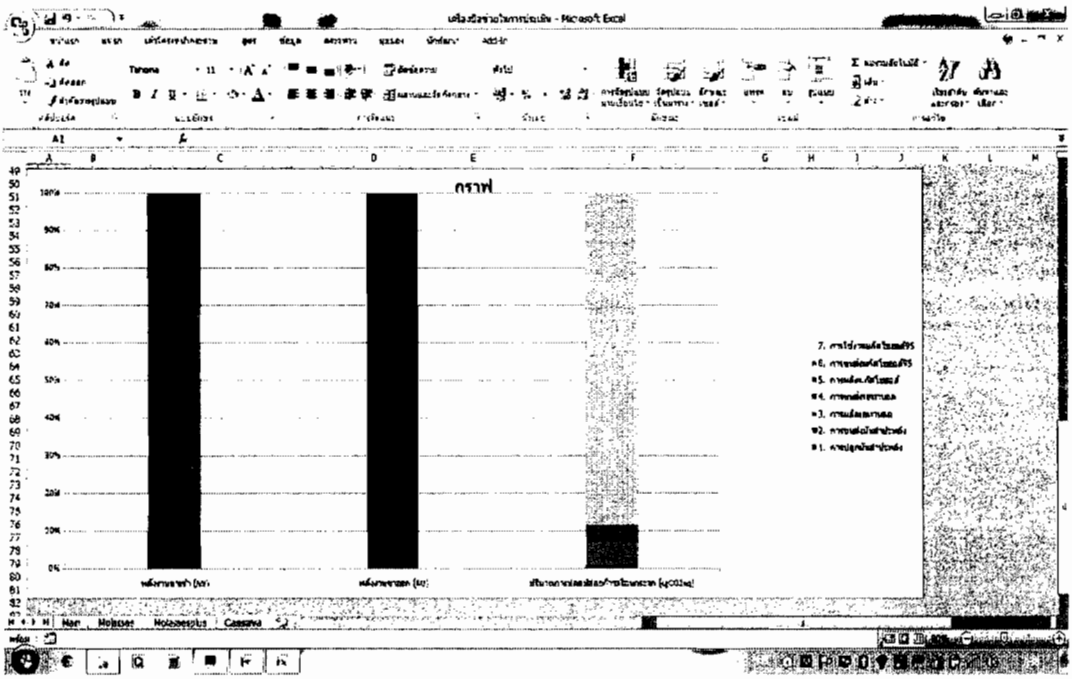


กิจกรรมการผลิต	พลังงานขาเข้า (MJ)	พลังงานขาออก (MJ)	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO2eq)
1. การปลูกมันสำปะหลัง	1,476,896.96	-	82,578.71
2. การขนส่งมันสำปะหลัง	179,783.00	-	19,128.91
3. การผลิตเอทานอล	12,651,669.04	-	820,952.35
4. การขนส่งเอทานอล	87,418.09	-	10,339.69
5. การผลิตแก๊สโซฮอล์	3,930,104.97	119,812,614.63	603,439.21
6. การขนส่งแก๊สโซฮอล์95	173,634.14	-	20,537.20
7. การใช้งานแก๊สโซฮอล์95	-	-	11,972,647.91
รวม	18,498,507.00	119,812,614.63	13,529,623.97
ค่าพลังงานสุทธิ (NEV)	101,314,107.63		
อัตราส่วนพลังงานที่ได้จากผลิตพลังงานชีวภาพ (NER)	6.48		

ภาพที่ 4.53 ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังสำหรับการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10



ภาพที่ 4.54 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10



ภาพที่ 4.55 กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10

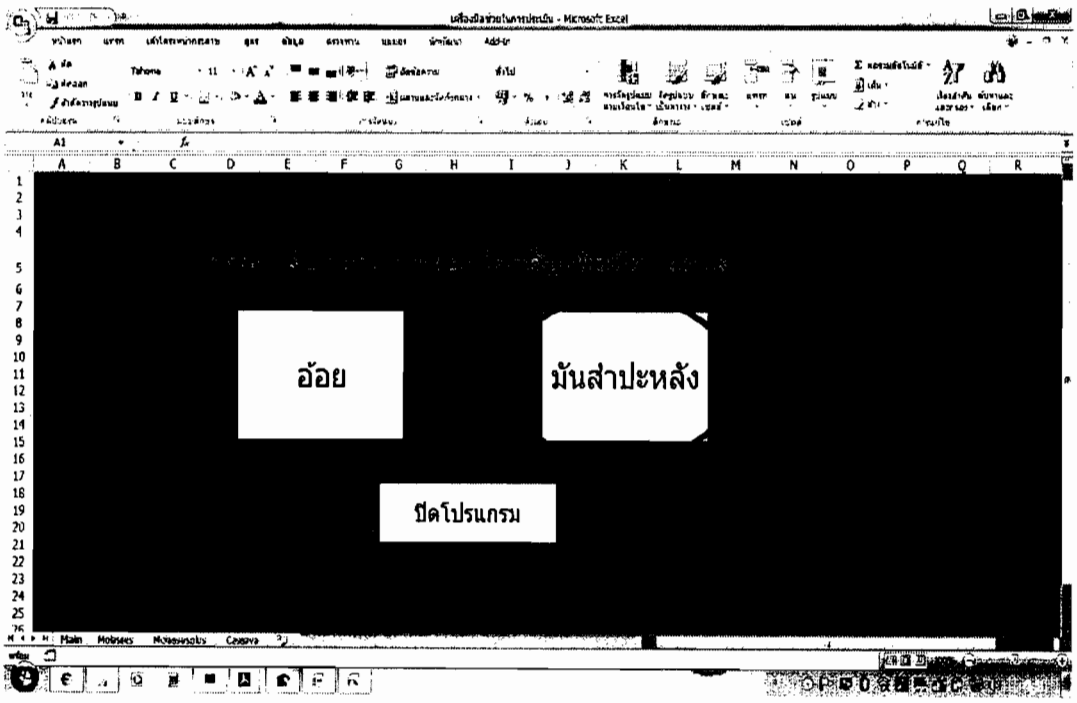
ตารางที่ 4.19 ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E10

กิจกรรมการผลิต	พลังงานขาเข้า (MJ)	พลังงานขาออก (MJ)	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO2eq)
1. การปลูกมันสำปะหลัง	1,475,896.96	-	82,578.71
2. การขนส่งมันสำปะหลัง	179,783.00	-	19,128.91
5. การผลิตเอทานอล	12,651,669.84	-	820,952.35
6. การขนส่งเอทานอล	87,418.09	-	10,339.69
7. การผลิตแก๊สโซฮอล์	3,930,104.97	119,812,614.63	603,439.21
8. การขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95	173,634.14	-	20,537.20
9. การใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95	-	-	11,972,647.91
รวม	18,498,507.00	119,812,614.63	13,529,623.97
ค่าพลังงานสุทธิ (NEV)	101,314,107.63		
อัตราส่วนพลังงานที่ได้รับต่อพลังงานที่ใช้ (NER)	6.48		

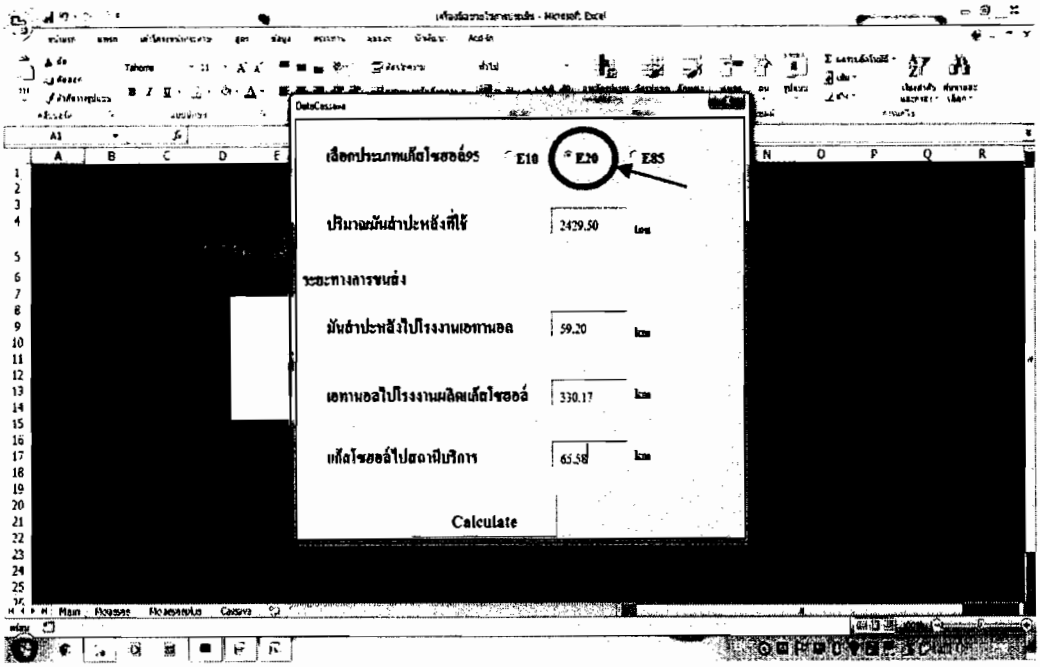
จากผลการคำนวณค่าพลังงานในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของกรณีศึกษา พบว่า ค่าพลังงานขาเข้าที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมการผลิต เมื่อไม่พิจารณาค่าพลังงานในช่วงของการขนส่ง กิจกรรมในช่วงการผลิตเอทานอลมีค่ามากที่สุด ในส่วนของผลการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของกรณีศึกษา พบว่า ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมการผลิต เมื่อไม่พิจารณาค่าพลังงานในช่วงของการขนส่งและการใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95 กิจกรรมในช่วงการผลิตเอทานอลมีค่ามากที่สุดเช่นกัน

4.4.3.2 กรณีศึกษาการใช้วัตถุดิบมันสำปะหลัง ผลิตแก๊สโซฮอล์ E20

ขั้นตอนวิธีการเริ่มใช้งานโปรแกรมเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการใช้วัตถุดิบมันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20 และการป้อนค่าต่างๆ จากตารางที่ 4.18 ลงในโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 4.56 และ 4.57

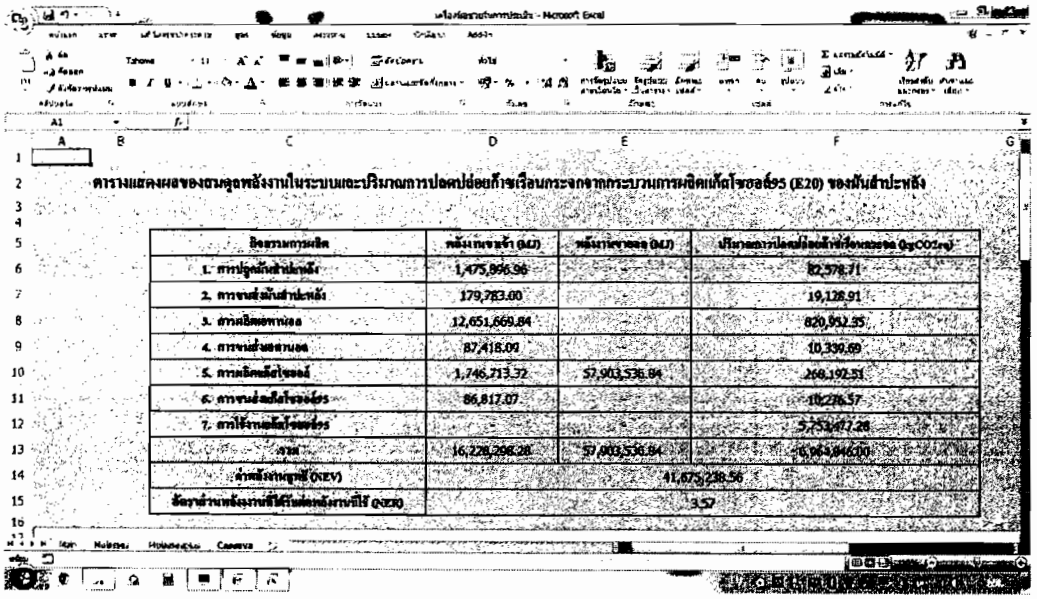


ภาพที่ 4.56 การเลือกวัตถุดิบมันสำปะหลัง เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20

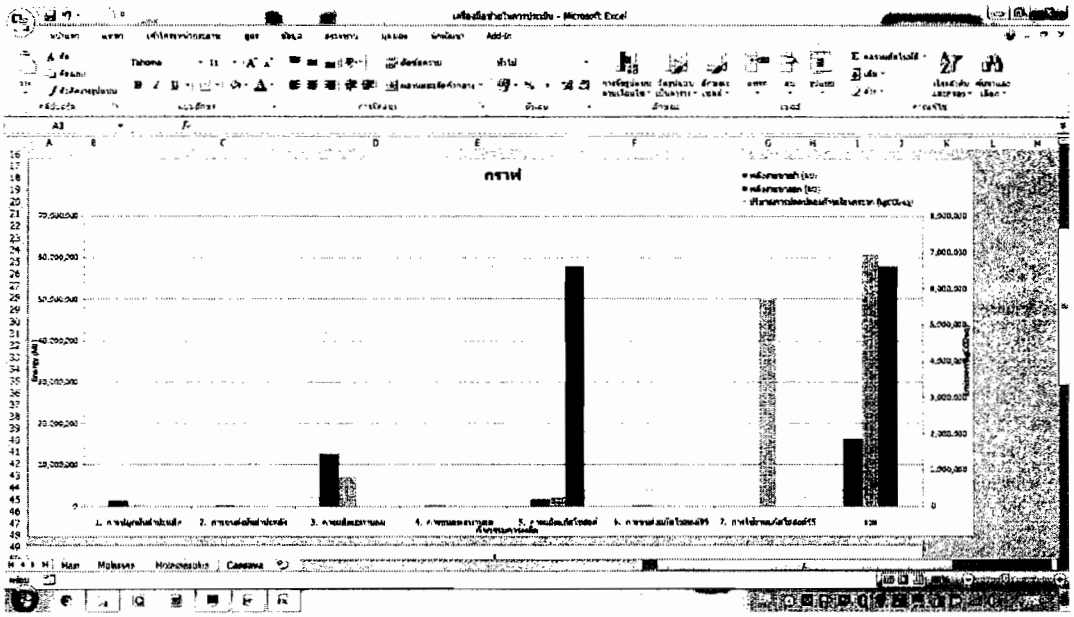


ภาพที่ 4.57 การเลือกประเภทแก๊สโซฮอล์ E20 และใส่ค่าในโปรแกรมประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลัง

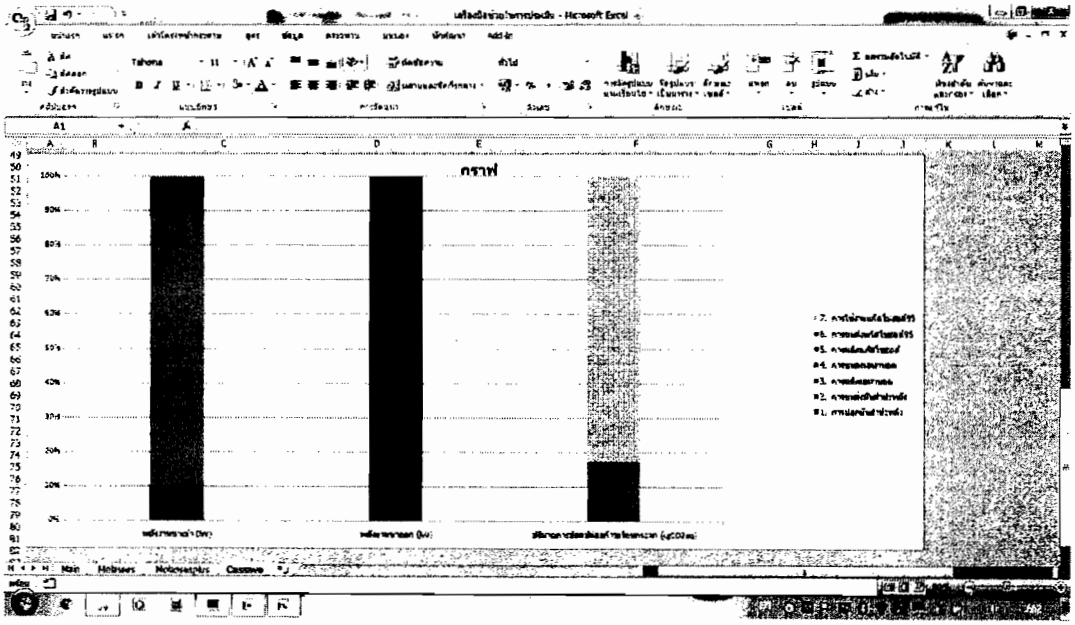
ผลการคำนวณและกราฟของโปรแกรมช่วยในการประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแสดงผลออกมาดังภาพที่ 4.58, 4.59, 4.60 และตารางที่ 4.20



ภาพที่ 4.58 ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังสำหรับการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20



ภาพที่ 4.59 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20



ภาพที่ 4.60 กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20

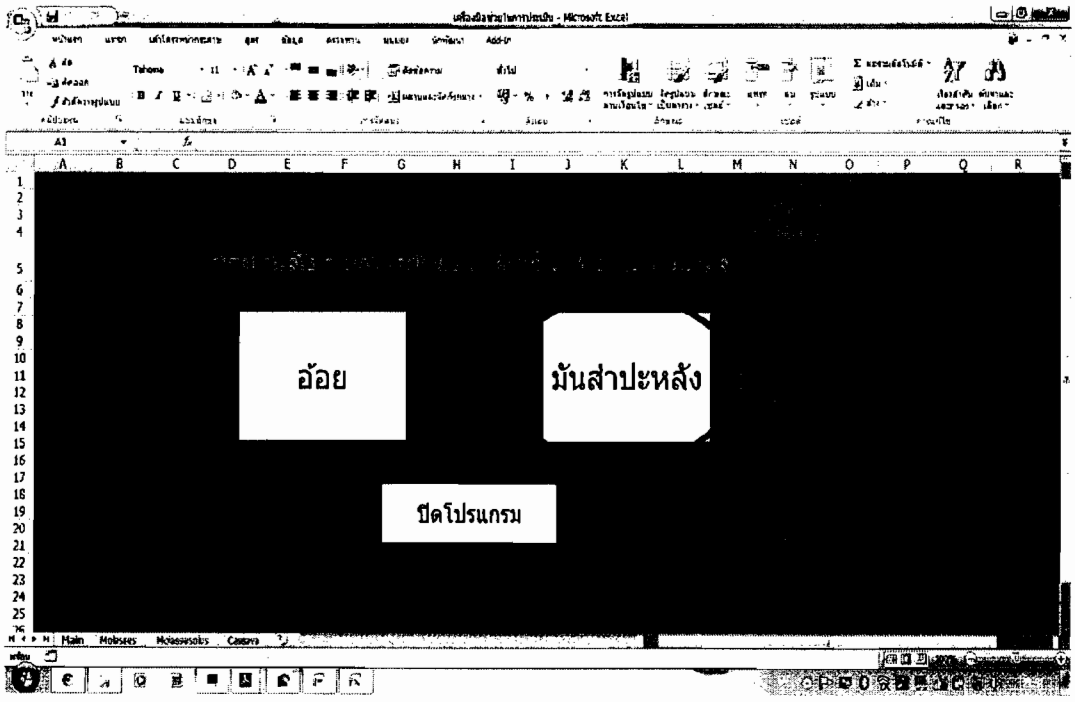
ตารางที่ 4.20 ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20

กิจกรรมการผลิต	พลังงานขาเข้า (MJ)	พลังงานขาออก (MJ)	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO2eq)
1. การปลูกมันสำปะหลัง	1,475,896.96	-	82,578.71
2. การขนส่งมันสำปะหลัง	179,783.00	-	19,128.91
5. การผลิตเอทานอล	12,651,669.84	-	820,952.35
6. การขนส่งเอทานอล	87,418.09	-	10,339.69
7. การผลิตแก๊สโซฮอล์	1,746,713.32	57,903,536.84	268,192.51
8. การขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95	86,817.07	-	10,276.57
9. การใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95	-	-	5,753,477.28
รวม	16,228,298.28	57,903,536.84	6,964,946.00
ค่าพลังงานสุทธิ (NEV)	41,675,238.56		
อัตราส่วนพลังงานที่ได้รับต่อพลังงานที่ใช้ (NER)	3.57		

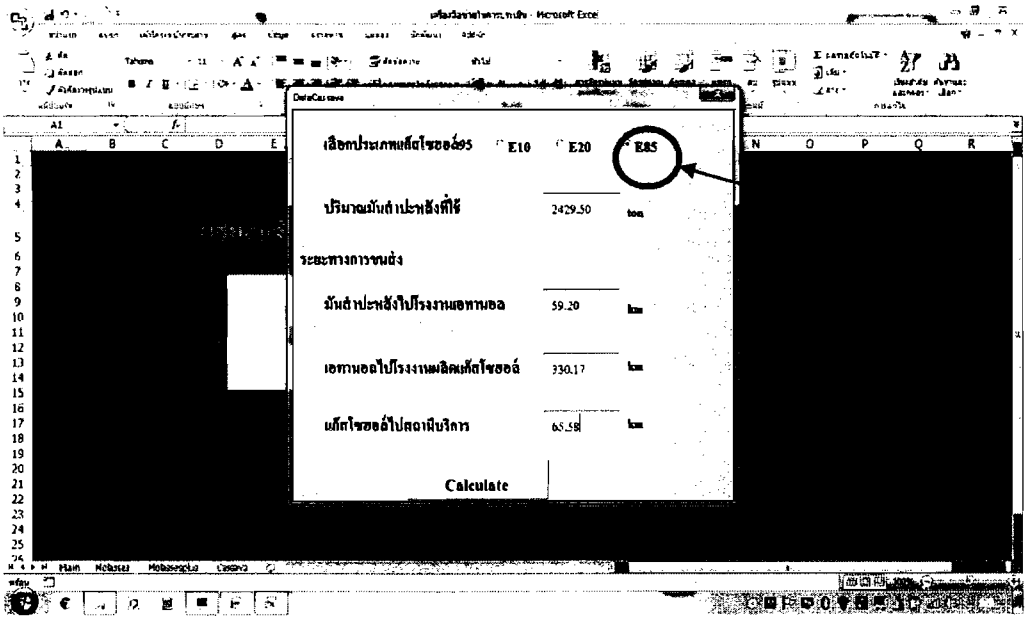
จากผลการคำนวณค่าพลังงานในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของกรณีศึกษา พบว่า ค่าพลังงานขาเข้าที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมการผลิต เมื่อไม่พิจารณาค่าพลังงานในช่วงของการขนส่ง กิจกรรมในช่วงการผลิตเอทานอลมีค่ามากที่สุด ในส่วนของผลการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของกรณีศึกษา พบว่า ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมการผลิต เมื่อไม่พิจารณาค่าพลังงานในช่วงของการขนส่งและการใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95 กิจกรรมในช่วงการผลิตเอทานอลมีค่ามากที่สุดเช่นกัน

4.4.3.3 กรณีศึกษาการใช้วัตถุดิบมันสำปะหลัง ผลิตแก๊สโซฮอล์ E85

ขั้นตอนวิธีการเริ่มใช้งานโปรแกรมเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการใช้วัตถุดิบมันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E20 และการป้อนค่าต่างๆ จากตารางที่ 4.18 ลงในโปรแกรมแสดงดังภาพที่ 4.61 และ 4.62

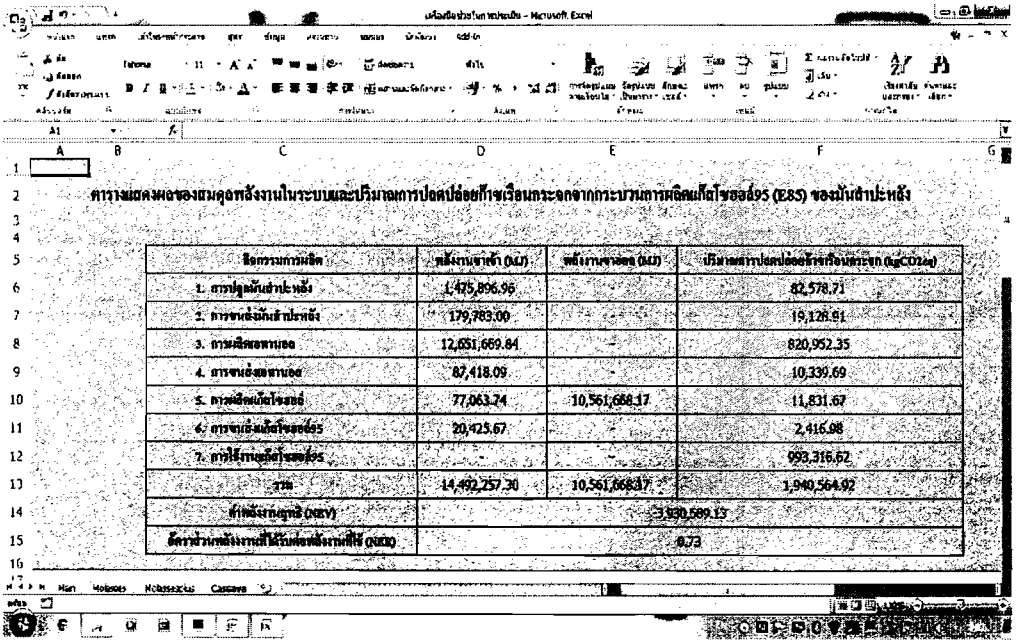


ภาพที่ 4.61 การเลือกวัตถุดิบมันสำปะหลัง เป็นวัตถุดิบตั้งต้นในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85



ภาพที่ 4.62 การเลือกประเภทแก๊สโซฮอล์ E85 และใส่ค่าในโปรแกรมประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลัง

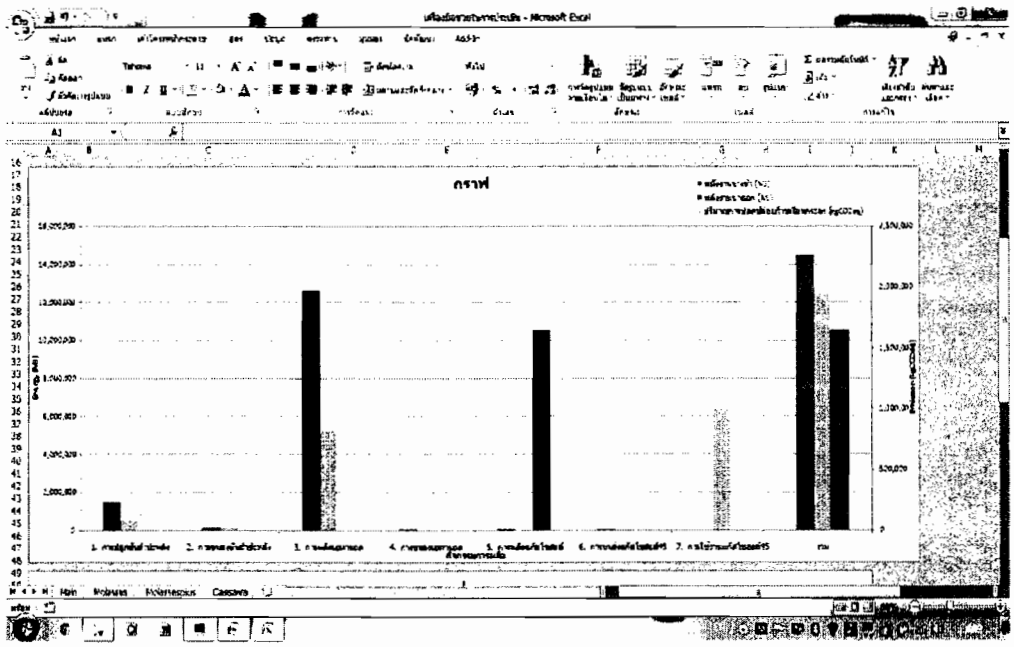
ผลการคำนวณและกราฟของโปรแกรมช่วยในการประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกแสดงผลออกมาดังภาพที่ 4.63, 4.64, 4.65 และตารางที่ 4.21



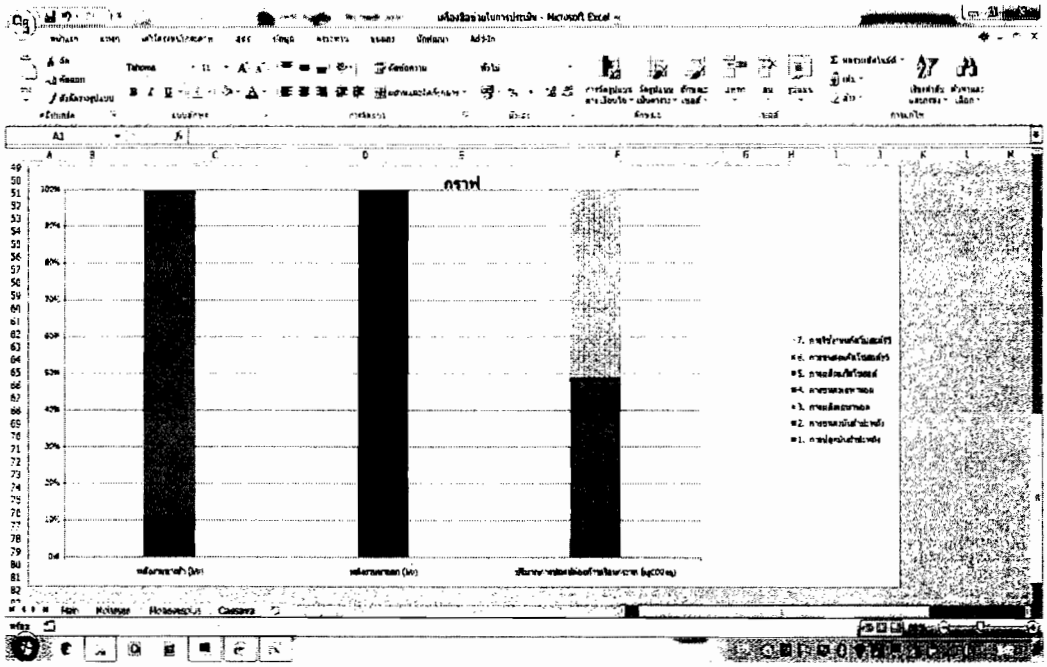
ตารางแสดงผลของสมดุลพลังงานในระบบและปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตแก๊สโซฮอล์95 (E85) ของมันสำปะหลัง

ลำดับกระบวนการผลิต	พลังงานเข้า (MJ)	พลังงานออก (MJ)	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO2eq)
1. การปลูกมันสำปะหลัง	1,425,896.96	-	82,578.71
2. การขนส่งมันสำปะหลัง	179,783.00	-	19,128.91
3. กระบวนการผลิตเอทานอล	12,651,669.84	-	820,952.35
4. การขนส่งเอทานอล	87,418.09	-	10,339.69
5. กระบวนการผลิตโซฮอล์	77,063.74	10,561,668.17	11,831.67
6. การขนส่งแก๊สโซฮอล์95	20,425.67	-	2,416.98
7. การใช้งานแก๊สโซฮอล์95	-	-	993,316.62
รวม	14,492,257.30	10,561,668.17	1,940,564.92
ค่าพลังงานสุทธิ (NEV)		-3,930,589.13	
อัตราส่วนพลังงานที่ได้กับพลังงานที่ใช้ (NER)		0.73	

ภาพที่ 4.63 ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังสำหรับการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85



ภาพที่ 4.64 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงาน ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85



ภาพที่ 4.65 กราฟแท่งแสดงเปอร์เซ็นพลังงานขาเข้า พลังงานขาออก ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85

ตารางที่ 4.21 ผลการคำนวณพลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมของการผลิตเอทานอลจากการใช้มันสำปะหลังในการผลิตแก๊สโซฮอล์ E85

กิจกรรมการผลิต	พลังงานขาเข้า (MJ)	พลังงานขาออก (MJ)	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (kgCO2eq)
1. การปลูกมันสำปะหลัง	1,475,896.96	-	82,578.71
2. การขนส่งมันสำปะหลัง	179,783.00	-	19,128.91
5. การผลิตเอทานอล	12,651,669.84	-	820,952.35
6. การขนส่งเอทานอล	87,418.09	-	10,339.69
7. การผลิตแก๊สโซฮอล์	77,063.74	10,561,668.17	11,831.67
8. การขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95	20,425.67	-	2,416.98
9. การใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95	-	-	993,316.62
รวม	14,492,257.30	10,561,668.17	1,940,564.92
ค่าพลังงานสุทธิ (NEV)	-3,930,589.13		
อัตราส่วนพลังงานที่ได้รับต่อพลังงานที่ใช้ (NER)	0.73		

จากผลการคำนวณค่าพลังงานในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของกรณีศึกษา พบว่า ค่าพลังงานขาเข้าที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมการผลิต เมื่อไม่พิจารณาค่าพลังงานในช่วงของการขนส่ง กิจกรรมในช่วงการผลิตเอทานอลมีค่ามากที่สุด ในส่วนของผลการคำนวณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิตของกรณีศึกษา พบว่า ค่าการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมการผลิต เมื่อไม่พิจารณาค่าพลังงานในช่วงของการขนส่งและการใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95 กิจกรรมในช่วงการผลิตเอทานอลมีค่ามากที่สุดเช่นกัน

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษา เก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตการผลิตและการใช้เอทานอลจากกากน้ำตาล ชานอ้อยและมันสำปะหลัง ซึ่งถือเป็นวัตถุดิบที่มีศักยภาพที่ใช้ในการผลิตเชื้อเพลิงเอทานอลในประเทศไทย ได้ผลสรุปดังนี้

5.1.1 ภาคการเกษตร

5.1.1.1 การปลูกอ้อยใช้พลังงานไป 52.72 MJ ต่อตันอ้อย และมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน 3.13 kg CO_2eq ต่อตันอ้อย

5.1.1.2 การปลูกมันสำปะหลังต้องใช้พลังงาน 607.49 MJ ต่อตันมันสำปะหลัง และมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน 33.99 kg CO_2eq ต่อตัน

5.1.2 ภาคการผลิต

5.1.2.1 การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล ประกอบด้วยกระบวนการผลิตกากน้ำตาลซึ่งจะได้พลังงานไฟฟ้าคิดเป็น 229.83 MJ ต่อตันอ้อย และมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน -0.7602 kg CO_2eq ต่อตันอ้อย กระบวนการผลิตเอทานอลมีการใช้พลังงาน 220.76 MJ ต่อตันอ้อย และมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน 0.1170 kg CO_2eq ต่อตันอ้อย และกระบวนการผลิตแก๊สโซฮอล์ใช้พลังงาน 96.53 MJ ต่อตันอ้อย 42.90 MJ ต่อตันอ้อย และ 1.89 MJ ต่อตันอ้อย สำหรับ E10 E20 และE85 ตามลำดับ และมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน 14.8210 kg CO_2eq ต่อตันอ้อย 6.5871 kg CO_2eq ต่อตันอ้อย และ0.9205 kg CO_2eq ต่อตันอ้อย สำหรับ E10 E20 และE85 ตามลำดับ ในขณะเดียวกันก็จะได้ผลผลิตแก๊สโซฮอล์ซึ่งมีพลังงานเท่ากับ 2,942.65 MJ ต่อตันอ้อย 1,422.14 MJ ต่อตันอ้อย และ 259.38 MJ ต่อตันอ้อย สำหรับ E10 E20 และ E85 ตามลำดับ

5.1.2.2 การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลร่วมกับชานอ้อยส่วนเกินที่ได้จากโรงงานน้ำตาล ประกอบด้วยกระบวนการผลิตกากน้ำตาล (กรณีนำชานอ้อยส่วนเกินไปร่วมในการผลิตเอทานอล) ซึ่งได้รับพลังงานไฟฟ้าคิดเป็น 8.8844 MJ ต่อตันอ้อย และมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน -0.7602 kg CO_2eq ต่อตันอ้อย กระบวนการผลิตเอทานอลมีการใช้พลังงาน 11.89 MJ ต่อตันอ้อย แต่ได้พลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเผากากเท่ากับ 56.12 MJ ต่อตันอ้อย และมีการ

ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน 65.20 kg CO_2eq ต่อตันอ้อย และกระบวนการผลิตแก๊สโซฮอล์ใช้พลังงาน 195.23 MJ ต่อตันอ้อย 86.77 MJ ต่อตันอ้อย และ 3.828 MJ ต่อตันอ้อย สำหรับ E10 E20 และE85 ตามลำดับ และมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน 29.9763 kg CO_2eq ต่อตันอ้อย 13.3228 kg CO_2eq ต่อตันอ้อย และ0.5878 kg CO_2eq ต่อตันอ้อย สำหรับ E10 E20 และE85 ตามลำดับ ในขณะเดียวกันก็จะได้ผลผลิตแก๊สโซฮอล์ซึ่งมีพลังงานเท่ากับ 5,951.69 MJ ต่อตันอ้อย 2,876.36 MJ ต่อตันอ้อย และ 524.63 MJ ต่อตันอ้อย สำหรับ E10 E20 และE85 ตามลำดับ

5.1.2.3 การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง ประกอบด้วยกระบวนการผลิตเอทานอลซึ่งมีการใช้พลังงาน 5,207.52 MJ ต่อตันมันสำปะหลัง และมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน 337.91 kg CO_2eq ต่อตันมันสำปะหลัง และกระบวนการผลิตแก๊สโซฮอล์ใช้พลังงาน 1,617.66 MJ ต่อตันมันสำปะหลัง 718.96 MJ ต่อตันมันสำปะหลัง และ 31.72 MJ ต่อตันมันสำปะหลัง สำหรับ E10 E20 และE85 ตามลำดับ และมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน 248.38 kg CO_2eq ต่อตันมันสำปะหลัง 110.39 kg CO_2eq ต่อตันมันสำปะหลัง และ4.87 kg CO_2eq ต่อตันมันสำปะหลัง สำหรับ E10 E20 และE85 ตามลำดับ ในขณะเดียวกันก็จะได้ผลผลิตแก๊สโซฮอล์ซึ่งมีพลังงานเท่ากับ 49,315.75 MJ ต่อตันมันสำปะหลัง 23,833.52 MJ ต่อตันมันสำปะหลัง และ 4,347.26 MJ ต่อตันมันสำปะหลัง สำหรับ E10 E20 และE85 ตามลำดับ

5.1.3 ภาคการขนส่ง

5.1.3.1 การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลประกอบด้วย การขนส่งอ้อยไปยังโรงงานน้ำตาลใช้พลังงาน 1.25 MJ ต่อตันอ้อย-km และมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน 0.1330 kg CO_2eq ต่อตันอ้อย-km การขนส่งกากน้ำตาลไปผลิตเอทานอลใช้พลังงาน 0.0303 MJ ต่อตันอ้อย-km มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน 3.58×10^{-3} kg CO_2eq ต่อตันอ้อย-km และการขนส่งเอทานอลเพื่อผลิตแก๊สโซฮอล์ใช้พลังงาน 6.50×10^{-3} MJ ต่อตันอ้อย-km และมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน 7.69×10^{-4} kg CO_2eq ต่อตันอ้อย-km ส่วนการขนส่งแก๊สโซฮอล์จากโรงผสมไปยังสถานีบริการเชื้อเพลิงนั้นใช้พลังงาน 65.03×10^{-3} MJ ต่อตันอ้อย-km 32.51×10^{-3} MJ ต่อตันอ้อย-km และ 7.65×10^{-3} MJ ต่อตันอ้อย-km สำหรับ E10 E20 และE85 ตามลำดับ และมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน 7.69×10^{-3} kg CO_2eq ต่อตันอ้อย-km 3.85×10^{-3} kg CO_2eq ต่อตันอ้อย-km และ 9.05×10^{-4} kg CO_2eq ต่อตันอ้อย-kmสำหรับ E10 E20 และE85 ตามลำดับ

5.1.3.2 การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลร่วมกับชานอ้อยส่วนเกินที่ได้จากโรงงานน้ำตาลประกอบด้วย การขนส่งชานอ้อยไปยังโรงงานเอทานอลใช้พลังงาน 0.1044 MJ ต่อตันอ้อย-km มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน 17.31×10^{-3} kg CO_2eq ต่อตันอ้อย-km และการขนส่งเอทานอลเพื่อผลิตแก๊สโซฮอล์ใช้พลังงาน 13.15×10^{-3} MJ ต่อตันอ้อย-km และมีการ

ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน $1.56x10^{-3}$ kg CO_2eq ต่อตันอ้อย-km ส่วนการขนส่งแก๊สโซฮอล์จากโรงผสมไปยังสถานีบริการเชื้อเพลิงนั้นใช้พลังงาน $131.52x10^{-3}$ MJ ต่อตันอ้อย-km $65.76x10^{-3}$ MJ ต่อตันอ้อย-km และ $15.47x10^{-3}$ MJ ต่อตันอ้อย-km สำหรับ E10 E20 และE85 ตามลำดับ และมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน $15.56x10^{-3}$ kg CO_2eq ต่อตันอ้อย-km $7.78x10^{-3}$ kg CO_2eq ต่อตันอ้อย-km และ $1.83x10^{-3}$ kg CO_2eq ต่อตันอ้อย-km สำหรับ E10 E20 และE85 ตามลำดับ

5.1.3.3 การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังประกอบด้วย การขนส่งมันสำปะหลังไปยังโรงงานเอทานอลใช้พลังงาน 1.25 MJต่อตันมันสำปะหลัง-km มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน 0.1330 kg CO_2eq ต่อตันมันสำปะหลัง-km และการขนส่งเอทานอลเพื่อผลิตแก๊สโซฮอล์ใช้พลังงาน $108.98x10^{-3}$ MJ ต่อตันมันสำปะหลัง-km และมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน $12.89x10^{-3}$ kg CO_2eq ต่อตันมันสำปะหลัง-km ส่วนการขนส่งแก๊สโซฮอล์จากโรงผสมไปยังสถานีบริการเชื้อเพลิงนั้นใช้พลังงาน 1.0898 MJ ต่อตันมันสำปะหลัง-km 0.5449 MJ ต่อตันมันสำปะหลัง-km และ 0.1282 MJ ต่อตันมันสำปะหลัง-km สำหรับ E10 E20 และE85 ตามลำดับ และมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน 0.1289 kg CO_2eq ต่อตันมันสำปะหลัง-km 0.0645 kg CO_2eq ต่อตันมันสำปะหลัง-km และ $15.17x10^{-3}$ kg CO_2eq ต่อตันมันสำปะหลัง-km สำหรับ E10 E20 และE85 ตามลำดับ

5.1.4 ภาคการใช้งานแก๊สโซฮอล์ในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล

5.1.4.1 การใช้แก๊สโซฮอล์ที่ได้จากการผลิตจากกากน้ำตาลในรถยนต์นั่งส่วนบุคคลมีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน 294.0532 kg CO_2eq ต่อตันอ้อย 141.3078 kg CO_2eq ต่อตันอ้อย และ 24.3944 kg CO_2eq ต่อตันอ้อย สำหรับ E10 E20 และE85 ตามลำดับ

5.1.4.2 การใช้งานแก๊สโซฮอล์ที่ผลิตจากกากน้ำตาลร่วมกับชานอ้อยส่วนเกินในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจำนวน 594.7414 kg CO_2eq ต่อตันอ้อย 285.8040 kg CO_2eq ต่อตันอ้อย และ 49.3418 kg CO_2eq ต่อตันอ้อย สำหรับ E10 E20 และE85 ตามลำดับ

5.1.4.3 การใช้งานแก๊สโซฮอล์ที่ผลิตจากมันสำปะหลังในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกมีค่าเท่ากับ 4,928.0296 kg CO_2eq ต่อตันมันสำปะหลัง 2,368.1734 kg CO_2eq ต่อตันมันสำปะหลัง และ 408.8564 kg CO_2eq ต่อตันมันสำปะหลัง สำหรับ E10 E20 และE85 ตามลำดับ

ผู้วิจัยได้นำผลจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องมาประกอบการพัฒนาเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยผลที่ได้จากการประมวลผลของเครื่องมือดังกล่าวจะแสดงออกมาในรูปตัวเลขของค่าพลังงานขาเข้า

พลังงานขาออก และปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปลดปล่อยออกมาในแต่ละช่วงกิจกรรมการผลิต จนถึงการใช้งานเอทานอลในรูปแบบของการใช้งานแก๊สโซฮอล์ในรถยนต์นั่งส่วนบุคคล โดยเครื่องมือนี้สามารถนำมาใช้งานได้จริงดังจะเห็นได้จากผลที่ได้จากการทดสอบการประมวลผลกับกรณีตัวอย่างดังแสดงในหัวข้อที่ 4.4 ทั้งนี้เครื่องมือที่พัฒนาขึ้นนี้น่าจะเป็นประโยชน์ต่อทั้งภาครัฐเอกชนและผู้สนใจเพื่อใช้ประกอบการวางนโยบายและแผนสำหรับการสร้างโรงงานเอทานอล และในกรณีที่ข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลง เครื่องมือดังกล่าวนี้ยังพัฒนาเพื่อให้สามารถแก้ไขความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่วิเคราะห์ขึ้นมาใหม่ได้ เพื่อให้ใกล้เคียงกับค่าที่เกิดขึ้นจริงในแต่ละพื้นที่ นอกจากนี้รูปแบบการศึกษา วิเคราะห์และพัฒนาในงานวิจัยนี้ยังอาจประยุกต์และใช้เป็นแนวทางสำหรับการศึกษาถึงพืชชนิดอื่นที่มีศักยภาพในการผลิตเอทานอลเพิ่มเติมในอนาคตอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกนี้ จะมีความน่าเชื่อถือมากขึ้นถ้ามีการรวบรวมข้อมูลที่ใกล้เคียงความเป็นจริง ซึ่งอาจจะแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่เพาะปลูก ภูมิประเทศ เทคโนโลยีการผลิต และปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการใช้พลังงานและก๊าซเรือนกระจกในแต่ละช่วงการผลิต โดยโปรแกรมที่ใช้ในการพัฒนาเครื่องมือช่วยในการประเมินนี้คือโปรแกรม Microsoft Office Excel ซึ่งเป็นที่ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย ทำให้ง่ายต่อการนำไปพัฒนาเพื่อสร้างตัวเลือกในการคำนวณของพืชที่มีศักยภาพอื่นๆ หรือนำไปดัดแปลงสมการการคำนวณเพื่อให้เหมาะสมกับข้อมูลของแต่ละพื้นที่ได้โดยง่ายอีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กมลทิพย์ อรัญศิริ. การปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากวัสดุและกระบวนการก่อสร้าง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2553.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. รายงานการศึกษาฉบับสมบูรณ์โครงการศึกษาการประเมินวงจรชีวิตการผลิตและการใช้เอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อย. กรุงเทพมหานคร : กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2550.

กิตติศักดิ์ พนิกรณ์. การใช้ประโยชน์กากมันสำปะหลังและชานอ้อยในการปรับปรุงดินเค็มสำหรับการปลูกผักบุ้งจีน. การค้นคว้าอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2551.

คมเดช งามสมจิตร. การศึกษาจลนพลศาสตร์การหมักเอทานอลจากน้ำอ้อยและกากน้ำตาล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2553.

ณัฐพล พุทธรัตน์. การศึกษาผลกระทบของการผลิตเอทานอลเป็นเชื้อเพลิงในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2551.

นุชนาถ ลอยจิ๋ว. การวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบผลิตเอทานอลสำหรับเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551.

ปรีชา สุริยพันธุ์. การพัฒนาอ้อยและน้ำตาลไทย. กรุงเทพมหานคร : กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2542.

พิพัฒน์ วีระถาวร. อ้อยวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมน้ำตาล. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานกองทุนสงเคราะห์อุตสาหกรรมน้ำตาลทราย, 2548.

วรยุทธ สายบัวตรง. การศึกษาเปรียบเทียบพลังงานเพิ่มสุทธิและผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

วิจิตรา วิทยาไพโรจน์. การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของการผลิตน้ำตาลจากอ้อยโดยหลักการประเมินวงจรชีวิต. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2553.

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. คู่มือการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์. กรุงเทพมหานคร : สถาบันสิ่งแวดล้อม, 2547.

สิรวัลภ์ เรืองช่วย และคณะ. การดูดซับตะกั่วในน้ำเสียจากโรงงานน้ำตาลโดยใช้เถ้าลอยชานอ้อย. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต, 2550.

Bancha Buddadee. Multi-Objective Optimization Model for Excess Bagasse Utilization Focusingon Global Warming Potential: A Case Study for Thailand. Doctor's Thesis: Chulalongkorn University, 2007.

Wikipedia. Oil refinery. http://en.wikipedia.org/wiki/Oil_refinery. July 30, 2012.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายละเอียดการสร้างความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์

1. การผลิตและการใช้เอทานอลจากกากน้ำตาล

1.1 การปลูกอ้อย

ข้อมูลที่ใช้ : ไร่อ้อยที่ปลูก 10.63 ไร่

ผลผลิตที่ได้ 9.65 ton/ไร่

ค่าพลังงานที่ใช้ 23,515 MJ

ค่าสัมประสิทธิ์ปันส่วนกากน้ำตาลโดยค่าพลังงาน 0.23

วัตถุดิบอ้อยที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 102.60 ton / 1000 $L_{เอทานอล}$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจก 321 $kgCO_2eq$ / 1000 $L_{เอทานอล}$

สมการที่ได้ :

$$E_{in} = \frac{23{,}515\ MJ \times 0.23}{9.65\ \frac{ton}{ไร่} \times 10.63\ ไร่} = 52.72\ \frac{MJ}{ton}$$

$$Emission = \frac{321\ kgCO_2eq}{1{,}000\ L_{เอทานอล}} \times \frac{1{,}000\ L_{เอทานอล}}{102.60\ ton} = 3.13\ \frac{kgCO_2eq}{ton}$$

1.2 การขนส่งอ้อย

ข้อมูลที่ใช้ : รถบรรทุก 10 ล้อ

น้ำหนักบรรทุก 21.50 ton

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล ขาไป 2.47 km/L

ขากลับ 3.00 km/L

ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล 36.37 MJ/L

Tailpipe emission 0.465 $kgCO_2eq/km$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตน้ำมันดีเซล 2.613 $kgCO_2eq/L$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซลในขาไป

$(2.613\ kgCO_2eq/L)/(2.47\ km/L) = 1.058\ kgCO_2eq/km$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซลในขากลับ

$(2.613\ kgCO_2eq/L)/(3.00\ km/L) = 0.871\ kgCO_2èq/km$

<u>สมการที่ได้</u> :

$$E_{in} = \left(\frac{36.37\frac{MJ}{L}}{2.47\frac{km}{L}} + \frac{36.37\frac{MJ}{L}}{3.00\frac{km}{L}}\right)/21.50\ ton = 1.25\ \frac{MJ}{ton-km}$$

$$Emission = \frac{\left\{[(0.465+1.058)+(0.465+0.871)]\left[\frac{kgCO_2eq}{km}\right]\right\}}{21.50\ ton} = 0.1330\frac{kgCO_2eq}{ton-km}$$

1.3 การผลิตกากน้ำตาล

<u>ข้อมูลที่ใช้</u> : วัตถุดิบอ้อย 1 ตัน

ชานอ้อยส่วนเกินจากกระบวนการ 130.70 kg

ค่าความร้อนเชื้อเพลิงกากอ้อย 7.35 MJ/kg

ไฟฟ้าเหลือใช้ 10.73 kWh

ค่าสัมประสิทธิ์ปันส่วนกากน้ำตาลโดยค่าพลังงาน 0.23

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจก -78 $kgCO_2eq$ / 1000 $L_{เอทานอล}$

<u>สมการที่ได้</u> :

(ค่าพลังงานขาออกในกรณีที่ไม่มีการนำชานอ้อยส่วนเกินไปผลิตเอทานอล)

$$E_{out} = \left[\frac{\left(130.70kg\times\frac{7.35MJ}{kg}\right)+\left(10.73kWh\times\frac{3.6MJ}{kWh}\right)}{1\ ton}\right]\times 0.23 = 229.83\ \frac{MJ}{ton}$$

(ค่าพลังงานขาออกในกรณีที่มีการนำชานอ้อยส่วนเกินไปผลิตเอทานอล)

$$E_{out} = \left[\frac{\left(10.73kWh\times\frac{3.6MJ}{kWh}\right)}{1\ ton}\right]\times 0.23 = 8.8844\ \frac{MJ}{ton}$$

$$Emission = \frac{-78\ kgCO_2eq}{1{,}000\ L_{เอทานอล}}\times\frac{1{,}000\ L_{เอทานอล}}{102.60\ ton} = -0.7602\ \frac{kgCO_2eq}{ton}$$

1.4 การขนส่งกากน้ำตาล

ข้อมูลที่ใช้ : รถบรรทุก 18 ล้อ

น้ำหนักบรรทุก 30 ton

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล ขาไป 2.84 km/L

ขากลับ 5.05 km/L

ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล 36.37 MJ/L

วัตถุดิบอ้อย 1 ton ได้กากน้ำตาล 45.42 kg

กากน้ำตาล 30,000 kg ใช้อ้อย 30,000/45.42 = 660.50 ton

Tailpipe emission 0.465 $kgCO_2eq/km$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตน้ำมันดีเซล 2.613 $kgCO_2eq/L$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซลในขาไป

$$(2.613\ kgCO_2eq/L)/(2.84\ km/L) = 0.920\ kgCO_2eq/km$$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซลในขากลับ

$$(2.613\ kgCO_2eq/L)/(5.05\ km/L) = 0.517\ kgCO_2eq/km$$

สมการที่ได้ :

$$E_{in} = \frac{\left(\frac{36.37\frac{MJ}{L}}{2.84\frac{km}{L}} + \frac{36.37\frac{MJ}{L}}{5.05\frac{km}{L}}\right)}{660.50\ ton} = 0.0303\ \frac{MJ}{ton - km}$$

$$Emission = \frac{\left\{[(0.465 + 0.920) + (0.465 + 0.517)]\left[\frac{kgCO_2eq}{km}\right]\right\}}{660.50\ ton}$$

$$= 3.58 \times 10^{-3}\ \frac{kgCO_2eq}{ton - km}$$

1.5 การผลิตเอทานอล

<u>ข้อมูลที่ใช้</u> : พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 22,650 MJ / 1000 $L_{เอทานอล}$

วัตถุดิบอ้อยที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 102.6 ton / 1000 $L_{เอทานอล}$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจก 12 $kgCO_2eq$ / 1000 $L_{เอทานอล}$

<u>สมการที่ได้</u> :

$$E_{in} = \frac{22{,}650\ MJ}{1{,}000\ L_{เอทานอล}} \times \frac{1{,}000\ L_{เอทานอล}}{102.6\ ton} = 220.76\ \frac{MJ}{ton}$$

$$Emission = \frac{12\ kgCO_2eq}{1{,}000\ L_{เอทานอล}} \times \frac{1{,}000\ L_{เอทานอล}}{102.60\ ton} = 0.1170\ \frac{kgCO_2eq}{ton}$$

1.6 การขนส่งเอทานอล

<u>ข้อมูลที่ใช้</u> : รถบรรทุก 18 ล้อ

ขนาดบรรทุก 30,000 L

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล ขาไป 2.84 km/L

ขากลับ 5.05 km/L

ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล 36.37 MJ/L

เอทานอล 1,000 L ใช้อ้อย 102.6 ton

เอทานอล 30,000 L ใช้อ้อย (30,000/1,000)x102.6 = 3,078 ton

Tailpipe emission 0.465 $kgCO_2eq/km$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตน้ำมันดีเซล 2.613 $kgCO_2eq/L$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซลในขาไป

(2.613 $kgCO_2eq/L$)/(2.84 km/L) = 0.920 $kgCO_2eq/km$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซลในขากลับ

(2.613 $kgCO_2eq/L$)/(5.05 km/L) = 0.517 $kgCO_2eq/km$

<u>สมการที่ได้</u> :

$$E_{in} = \frac{\left(\frac{36.37\,\frac{MJ}{L}}{2.84\,\frac{km}{L}} + \frac{36.37\,\frac{MJ}{L}}{5.05\,\frac{km}{L}}\right)}{3{,}078\ ton} = 6.50 \times 10^{-3}\ \frac{MJ}{ton - km}$$

$$Emission = \frac{\left\{[(0.465 + 0.920) + (0.465 + 0.517)]\left[\frac{kgCO_2eq}{km}\right]\right\}}{3{,}078\ ton} = 7.69 \times 10^{-4}\ \frac{kgCO_2eq}{ton - km}$$

1.7 การผลิตแก๊สโซฮอล์

<u>ข้อมูลที่ใช้</u> :

น้ำมันพื้นฐาน ; พลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่นน้ำมันพื้นฐาน 900 L เท่ากับ 988 MJ

$$E_{in} = \frac{988\ MJ}{900\ L} = 1.10\ \frac{MJ}{L}$$

สูตรการผสมแก๊สโซฮอล์ 95 สำหรับน้ำมันพื้นฐาน 900 L

Isomerate	ค่าความร้อน	27.532 MJ/L	ปริมาณ 285 L
Reformate	ค่าความร้อน	32.829 MJ/L	ปริมาณ 597 L
Heavy Naptha	ค่าความร้อน	34.658 MJ/L	ปริมาณ 18 L

$$E_{out} = \frac{(285 \times 27.532) + (597 \times 32.829) + (18 \times 34.658)}{900}\left[\frac{MJ}{L}\right] = 31.19\ \frac{MJ}{L}$$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจก 152 $kgCO_2eq$/ 900 L = 0.1689 $kgCO_2eq$/L

เอทานอล ; อ้อย 1 ton ผลิตเอทานอลได้ 9.75 L

ค่าความร้อนของเอทานอล 21.10 MJ/L

$$E_{out} = 21.10\ \frac{MJ}{L}$$

<u>สมการที่ได้</u> :

E10 ; ปริมาตรเอทานอล 9.75 L/ton

ปริมาตรน้ำมันพื้นฐาน 9.75x9 = 87.75 L/ton

$$E_{in} = 87.75\frac{L}{ton} \times 1.10\frac{MJ}{L} = 96.53\ \frac{MJ}{ton}$$

$$E_{out} = \left(87.75\frac{L}{ton} \times 31.19\frac{MJ}{L}\right) + \left(9.75\frac{L}{ton} \times 21.10\frac{MJ}{L}\right) = 2{,}942.65\ \frac{MJ}{ton}$$

$$\text{Emission} = 87.75\frac{L}{ton} \times 0.1689\frac{kgCO_2eq}{L} = 14.8210\ \frac{kgCO_2eq}{ton}$$

E20 ; ปริมาตรเอทานอล 9.75 L/ton

ปริมาตรน้ำมันพื้นฐาน 9.75x4 = 39.00 L/ton

$$E_{in} = 39.00\frac{L}{ton} \times 1.10\frac{MJ}{L} = 42.90\ \frac{MJ}{ton}$$

$$E_{out} = \left(39.00\frac{L}{ton} \times 31.19\frac{MJ}{L}\right) + \left(9.75\frac{L}{ton} \times 21.10\frac{MJ}{L}\right) = 1{,}422.14\ \frac{MJ}{ton}$$

$$\text{Emission} = 39.00\frac{L}{ton} \times 0.1689\frac{kgCO_2eq}{L} = 6.5871\ \frac{kgCO_2eq}{ton}$$

E85 ; ปริมาตรเอทานอล 9.75 L/ton

ปริมาตรน้ำมันพื้นฐาน 9.75x(15/85) = 1.72 L/ton

$$E_{in} = 1.72\frac{L}{ton} \times 1.10\frac{MJ}{L} = 1.89\ \frac{MJ}{ton}$$

$$E_{out} = \left(1.72\frac{L}{ton} \times 31.19\frac{MJ}{L}\right) + \left(9.75\frac{L}{ton} \times 21.10\frac{MJ}{L}\right) = 259.38\ \frac{MJ}{ton}$$

$$\text{Emission} = 1.72\frac{L}{ton} \times 0.1689\frac{kgCO_2eq}{L} = 0.2905\ \frac{kgCO_2eq}{ton}$$

1.8 การขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95

ข้อมูลที่ใช้ : รถบรรทุก 18 ล้อ

ขนาดบรรทุก 30,000 L

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล ขาไป 2.84 km/L

ขากลับ 5.05 km/L

ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล 36.37 MJ/L

Tailpipe emission 0.465 $kgCO_2eq/km$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตน้ำมันดีเซล 2.613 $kgCO_2eq/L$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซลในขาไป

$(2.613\ kgCO_2eq/L)/(2.84\ km/L) = 0.920\ kgCO_2eq/km$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซลในขากลับ

$(2.613\ kgCO_2eq/L)/(5.05\ km/L) = 0.517\ kgCO_2eq/km$

สมการที่ได้ :

E10 ; แก๊สโซฮอล์ 95 30,000 L

ใช้เอทานอล 3,000 L

ใช้อ้อย 3,000/9.75 = 307.69 ton

$$E_{in} = \frac{\left(\frac{36.37\frac{MJ}{L}}{2.84\frac{km}{L}} + \frac{36.37\frac{MJ}{L}}{5.05\frac{km}{L}}\right)}{307.69\ ton} = 65.03 \times 10^{-3}\ \frac{MJ}{ton - km}$$

$$Emission = \frac{\left\{[(0.465 + 0.920) + (0.465 + 0.517)]\left[\frac{kgCO_2eq}{km}\right]\right\}}{307.69\ ton} = 7.69 \times 10^{-3}\ \frac{kgCO_2eq}{ton - km}$$

E20 ; แก๊สโซฮอล์ 95 30,000 L

ใช้เอทานอล 6,000 L

ใช้อ้อย 6,000/9.75 = 615.38 ton

$$E_{in} = \frac{\left(\frac{36.37\frac{MJ}{L}}{2.84\frac{km}{L}} + \frac{36.37\frac{MJ}{L}}{5.05\frac{km}{L}}\right)}{615.38\ ton} = 32.51 \times 10^{-3}\ \frac{MJ}{ton - km}$$

$$Emission = \frac{\left\{[(0.465 + 0.920) + (0.465 + 0.517)]\left[\frac{kgCO_2eq}{km}\right]\right\}}{615.38\ ton} = 3.85 \times 10^{-3}\ \frac{kgCO_2eq}{ton - km}$$

E85 ; แก๊สโซฮอล์ 95 30,000 L

ใช้เอทานอล 25,500 L

ใช้อ้อย 25,500/9.75 = 2,615.38 ton

$$E_{in} = \frac{\left(\frac{36.37\frac{MJ}{L}}{2.84\frac{km}{L}} + \frac{36.37\frac{MJ}{L}}{5.05\frac{km}{L}}\right)}{2{,}615.38\ ton} = 7.65 \times 10^{-3}\ \frac{MJ}{ton - km}$$

$$Emission = \frac{\left\{[(0.465 + 0.920) + (0.465 + 0.517)]\left[\frac{kgCO_2eq}{km}\right]\right\}}{2{,}615.38\ ton} = 9.05 \times 10^{-4}\ \frac{kgCO_2eq}{ton - km}$$

1.9 การใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95

ข้อมูลที่ใช้ : ค่าความร้อนแก๊สโซฮอล์ E10 30.18 MJ/L

ค่าความร้อนแก๊สโซฮอล์ E20 29.71 MJ/L

ค่าความร้อนแก๊สโซฮอล์ E85 22.61 MJ/L

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเฉลี่ย 2.292 MJ/km

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย ;

แก๊สโซฮอล์ E10 (30.18 MJ/L)/(2.292 MJ/km) = 13.17 km/L

แก๊สโซฮอล์ E20 (29.17 MJ/L)/(2.292 MJ/km) = 12.73 km/L

แก๊สโซฮอล์ E85 (22.61 MJ/L)/(2.292 MJ/km) = 9.86 km/L

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้งาน ;

แก๊สโซฮอล์ E10 0.3686 $kgCO_2eq/mile$ = 0.2290 $kgCO_2eq/km$

แก๊สโซฮอล์ E20 0.3664 $kgCO_2eq/mile$ = 0.2277 $kgCO_2eq/km$

แก๊สโซฮอล์ E85 0.3471 $kgCO_2eq/mile$ = 0.2157 $kgCO_2eq/km$

<u>สมการที่ได้</u> :

E10 ; อ้อย 1 ton ผลิตแก๊สโซฮอล์ E10 ได้ 9.75+87.75 = 97.50 L/ton

$$\text{Emission} = 13.17\frac{\text{km}}{\text{L}} \times 0.2290\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{km}} \times 97.50\frac{\text{L}}{\text{ton}} = 294.0532\ \frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{ton}}$$

E20 ; อ้อย 1 ton ผลิตแก๊สโซฮอล์ E20 ได้ 9.75+39.00 = 48.75 L/ton

$$\text{Emission} = 12.73\frac{\text{km}}{\text{L}} \times 0.2277\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{km}} \times 48.75\frac{\text{L}}{\text{ton}} = 141.3078\ \frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{ton}}$$

E85 ; อ้อย 1 ton ผลิตแก๊สโซฮอล์ E85 ได้ 9.75+1.72 = 11.47 L/ton

$$\text{Emission} = 9.86\frac{\text{km}}{\text{L}} \times 0.2157\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{km}} \times 11.47\frac{\text{L}}{\text{ton}} = 24.3944\ \frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{ton}}$$

2. การผลิตและการใช้เอทานอลจากชานอ้อย

2.1 การขนส่งชานอ้อย

ข้อมูลที่ใช้ : รถบรรทุก 10 ล้อ หางพ่วง 2 หาง ขนาดหางพ่วง กว้าง 5.5 ม. ยาว 2.3 ม. สูง 2.5 ม.

ความหนาแน่นของชานอ้อย 120 kg/m^3

น้ำหนักบรรทุก = 2*5.5*2.3*2.5*120/1000 = 7.59 ton

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซลเฉลี่ย 6 km/L

ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล 36.37 MJ/L

วัตถุดิบอ้อย 1 ton ได้ชานอ้อย 130.70 kg

ชานอ้อย 7.59 ton ใช้อ้อย 7.590/0.1307 = 58.07 ton

Tailpipe emission 0.569 $kgCO_2eq/km$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตน้ำมันดีเซล 2.613 $kgCO_2eq/L$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซล

(2.613 $kgCO_2eq/L$)/(6.0 km/L) = 0.436 $kgCO_2eq/km$

สมการที่ได้ :

$$E_{in} = \frac{\left(\frac{36.37\frac{MJ}{L}}{6.00\frac{km}{L}}\right)}{58.07\ ton} = 0.1044\ \frac{MJ}{ton - km}$$

$$Emission = \frac{\left\{[(0.569 + 0.436)]\left[\frac{kgCO_2eq}{km}\right]\right\}}{58.07\ ton} = 17.31 \times 10^{-3}\ \frac{kgCO_2eq}{ton - km}$$

2.2 การผลิตเอทานอล

ข้อมูลที่ใช้ : พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 602.95 MJ / 1000 $L_{เอทานอล}$

วัตถุดิบชานอ้อยที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 6.63 ton of bagasse / 1000 $L_{เอทานอล}$

วัตถุดิบอ้อยที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 6.63/0.1307 = 50.72 ton / 1000 $L_{เอทานอล}$

ไฟฟ้าเหลือใช้ 119.30 kWh / ton of bagasse

= 119.30*(6.63/50.72) = 15.59 kWh / ton

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจก 3,307 $kgCO_2eq$ / 1000 $L_{เอทานอล}$

<u>สมการที่ได้</u> :

$$E_{in} = \frac{602.95\ MJ}{1{,}000\ L_{เอทานอล}} \times \frac{1{,}000\ L_{เอทานอล}}{50.72\ ton} = 11.89\ \frac{MJ}{ton}$$

$$E_{out} = \frac{\left(15.59 kWh \times \frac{3.6 MJ}{kWh}\right)}{1\ ton} = 56.12\ \frac{MJ}{ton}$$

$$Emission = \frac{3{,}307\ kgCO_2eq}{1{,}000\ L_{เอทานอล}} \times \frac{1{,}000\ L_{เอทานอล}}{50.72\ ton} = 65.20\ \frac{kgCO_2eq}{ton}$$

2.3 การขนส่งเอทานอล

<u>ข้อมูลที่ใช้</u> : รถบรรทุก 18 ล้อ

ขนาดบรรทุก 30,000 L

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล ขาไป 2.84 km/L

ขากลับ 5.05 km/L

ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล 36.37 MJ/L

เอทานอล 1,000 L ใช้อ้อย 50.72 ton

เอทานอล 30,000 L ใช้อ้อย (30,000/1,000)x50.72 = 1,521.6 ton

Tailpipe emission 0.465 $kgCO_2eq/km$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตน้ำมันดีเซล 2.613 $kgCO_2eq/L$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซลในขาไป

(2.613 $kgCO_2eq/L$)/(2.84 km/L) = 0.920 $kgCO_2eq/km$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซลในขากลับ

(2.613 $kgCO_2eq/L$)/(5.05 km/L) = 0.517 $kgCO_2eq/km$

<u>สมการที่ได้</u> :

$$E_{in} = \frac{\left(\frac{36.37\frac{MJ}{L}}{2.84\frac{km}{L}} + \frac{36.37\frac{MJ}{L}}{5.05\frac{km}{L}}\right)}{1{,}521.6\ ton} = 13.15 \times 10^{-3}\ \frac{MJ}{ton - km}$$

$$\text{Emission} = \frac{\left\{[(0.465 + 0.920) + (0.465 + 0.517)]\left[\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{km}}\right]\right\}}{1{,}521.6\ \text{ton}} = 1.56 \times 10^{-3}\ \frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{ton} - \text{km}}$$

2.4 การผลิตแก๊สโซฮอล์

ข้อมูลที่ใช้ :

น้ำมันพื้นฐาน ; พลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่นน้ำมันพื้นฐาน 900 L เท่ากับ 988 MJ

$$E_{in} = \frac{988\ \text{MJ}}{900\ \text{L}} = 1.10\ \frac{\text{MJ}}{\text{L}}$$

สูตรการผสมแก๊สโซฮอล์ 95 สำหรับน้ำมันพื้นฐาน 900 L

Isomerate	ค่าความร้อน	27.532	MJ/L	ปริมาณ 285 L
Reformate	ค่าความร้อน	32.829	MJ/L	ปริมาณ 597 L
Heavy Naptha	ค่าความร้อน	34.658	MJ/L	ปริมาณ 18 L

$$E_{out} = \frac{(285 \times 27.532) + (597 \times 32.829) + (18 \times 34.658)}{900}\left[\frac{\text{MJ}}{\text{L}}\right] = 31.19\ \frac{\text{MJ}}{\text{L}}$$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจก 152 $kgCO_2eq$/ 900 L = 0.1689 $kgCO_2eq$/L

เอทานอล ; อ้อย 1 ton ผลิตเอทานอลได้ 19.72 L

ค่าความร้อนของเอทานอล 21.10 MJ/L

$$E_{out} = 21.10\ \frac{\text{MJ}}{\text{L}}$$

สมการที่ได้ :

E10 ; ปริมาตรเอทานอล 19.72 L/ton

ปริมาตรน้ำมันพื้นฐาน 19.72x9 = 177.48 L/ton

$$E_{in} = 177.48\frac{\text{L}}{\text{ton}} \times 1.10\frac{\text{MJ}}{\text{L}} = 195.23\ \frac{\text{MJ}}{\text{ton}}$$

$$E_{out} = \left(177.48\frac{\text{L}}{\text{ton}} \times 31.19\frac{\text{MJ}}{\text{L}}\right) + \left(19.72\frac{\text{L}}{\text{ton}} \times 21.10\frac{\text{MJ}}{\text{L}}\right) = 5{,}951.69\ \frac{\text{MJ}}{\text{ton}}$$

$$\text{Emission} = 177.48\frac{\text{L}}{\text{ton}} \times 0.1689\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{L}} = 29.9763\ \frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{ton}}$$

E20 ; ปริมาตรเอทานอล 19.72 L/ton

ปริมาตรน้ำมันพื้นฐาน 19.72x4 = 78.88 L/ton

$$\text{E}_{\text{in}} = 78.88\frac{\text{L}}{\text{ton}} \times 1.10\frac{\text{MJ}}{\text{L}} = 86.77\ \frac{\text{MJ}}{\text{ton}}$$

$$\text{E}_{\text{out}} = \left(78.88\frac{\text{L}}{\text{ton}} \times 31.19\frac{\text{MJ}}{\text{L}}\right) + \left(19.72\frac{\text{L}}{\text{ton}} \times 21.10\frac{\text{MJ}}{\text{L}}\right) = 2{,}876.36\ \frac{\text{MJ}}{\text{ton}}$$

$$\text{Emission} = 78.88\frac{\text{L}}{\text{ton}} \times 0.1689\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{L}} = 13.3228\ \frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{ton}}$$

E85 ; ปริมาตรเอทานอล 19.72 L/ton

ปริมาตรน้ำมันพื้นฐาน 19.72x(15/85) = 3.48 L/ton

$$\text{E}_{\text{in}} = 3.48\frac{\text{L}}{\text{ton}} \times 1.10\frac{\text{MJ}}{\text{L}} = 3.828\ \frac{\text{MJ}}{\text{ton}}$$

$$\text{E}_{\text{out}} = \left(3.48\frac{\text{L}}{\text{ton}} \times 31.19\frac{\text{MJ}}{\text{L}}\right) + \left(19.72\frac{\text{L}}{\text{ton}} \times 21.10\frac{\text{MJ}}{\text{L}}\right) = 524.63\ \frac{\text{MJ}}{\text{ton}}$$

$$\text{Emission} = 3.48\frac{\text{L}}{\text{ton}} \times 0.1689\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{L}} = 0.5878\ \frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{ton}}$$

2.5 การขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95

ข้อมูลที่ใช้ : รถบรรทุก 18 ล้อ

ขนาดบรรทุก 30,000 L

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล ขาไป 2.84 km/L

ขากลับ 5.05 km/L

ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล 36.37 MJ/L

Tailpipe emission 0.465 $kgCO_2eq/km$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตน้ำมันดีเซล 2.613 $kgCO_2eq/L$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซลในขาไป

(2.613 $kgCO_2eq/L$)/(2.84 km/L) = 0.920 $kgCO_2eq/km$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซลในขากลับ

(2.613 $kgCO_2eq/L$)/(5.05 km/L) = 0.517 $kgCO_2eq/km$

<u>สมการที่ได้</u> :

E10 ; แก๊สโซฮอล์ 95 30,000 L

ใช้เอทานอล 3,000 L

ใช้อ้อย 3,000/19.72 = 152.13 ton

$$E_{in} = \frac{\left(\frac{36.37\frac{MJ}{L}}{2.84\frac{km}{L}} + \frac{36.37\frac{MJ}{L}}{5.05\frac{km}{L}}\right)}{152.13\ ton} = 131.52 \times 10^{-3}\ \frac{MJ}{ton - km}$$

$$Emission = \frac{\left\{[(0.465 + 0.920) + (0.465 + 0.517)]\left[\frac{kgCO_2eq}{km}\right]\right\}}{152.13\ ton} = 15.56 \times 10^{-3}\frac{kgCO_2eq}{ton - km}$$

<u>*E20*</u> ; แก๊สโซฮอล์ 95 30,000 L

ใช้เอทานอล 6,000 L

ใช้อ้อย 6,000/19.72 = 304.26 ton

$$E_{in} = \frac{\left(\frac{36.37\frac{MJ}{L}}{2.84\frac{km}{L}} + \frac{36.37\frac{MJ}{L}}{5.05\frac{km}{L}}\right)}{304.26\ ton} = 65.76 \times 10^{-3}\ \frac{MJ}{ton - km}$$

$$Emission = \frac{\left\{[(0.465 + 0.920) + (0.465 + 0.517)]\left[\frac{kgCO_2eq}{km}\right]\right\}}{304.26\ ton} = 7.78 \times 10^{-3}\frac{kgCO_2eq}{ton - km}$$

E85 ; แก๊สโซฮอล์ 95 30,000 L

ใช้เอทานอล 25,500 L

ใช้อ้อย 25,500/19.72 = 1,293.10 ton

$$E_{in} = \frac{\left(\frac{36.37\frac{MJ}{L}}{2.84\frac{km}{L}} + \frac{36.37\frac{MJ}{L}}{5.05\frac{km}{L}}\right)}{1{,}293.10\ ton} = 15.47 \times 10^{-3}\ \frac{MJ}{ton - km}$$

$$Emission = \frac{\left\{[(0.465 + 0.920) + (0.465 + 0.517)]\left[\frac{kgCO_2eq}{km}\right]\right\}}{1{,}293.10\ ton} = 1.83 \times 10^{-3}\ \frac{kgCO_2eq}{ton - km}$$

2.6 การใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95

ข้อมูลที่ใช้ : ค่าความร้อนแก๊สโซฮอล์ E10 30.18 MJ/L

ค่าความร้อนแก๊สโซฮอล์ E20 29.71 MJ/L

ค่าความร้อนแก๊สโซฮอล์ E85 22.61 MJ/L

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเฉลี่ย 2.292 MJ/km

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย ;

แก๊สโซฮอล์ E10 (30.18 MJ/L)/(2.292 MJ/km) = 13.17 km/L

แก๊สโซฮอล์ E20 (29.17 MJ/L)/(2.292 MJ/km) = 12.73 km/L

แก๊สโซฮอล์ E85 (22.61 MJ/L)/(2.292 MJ/km) = 9.86 km/L

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้งาน ;

แก๊สโซฮอล์ E10 0.3686 $kgCO_2eq/mile$ = 0.2290 $kgCO_2eq/km$

แก๊สโซฮอล์ E20 0.3664 $kgCO_2eq/mile$ = 0.2277 $kgCO_2eq/km$

แก๊สโซฮอล์ E85 0.3471 $kgCO_2eq/mile$ = 0.2157 $kgCO_2eq/km$

สมการที่ได้ :

E10 ; อ้อย 1 ton ผลิตแก๊สโซฮอล์ E10 ได้ 19.72+177.48 = 197.2 L/ton

$$\text{Emission} = 13.17\frac{\text{km}}{\text{L}} \times 0.2290\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{km}} \times 197.2\frac{\text{L}}{\text{ton}} = 594.7414\ \frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{ton}}$$

E20 ; อ้อย 1 ton ผลิตแก๊สโซฮอล์ E20 ได้ 19.72+78.88 = 98.6 L/ton

$$\text{Emission} = 12.73\frac{\text{km}}{\text{L}} \times 0.2277\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{km}} \times 98.6\frac{\text{L}}{\text{ton}} = 285.8040\ \frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{ton}}$$

E85 ; อ้อย 1 ton ผลิตแก๊สโซฮอล์ E85 ได้ 19.72+3.48 = 23.2 L/ton

$$\text{Emission} = 9.86\frac{\text{km}}{\text{L}} \times 0.2157\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{km}} \times 23.2\frac{\text{L}}{\text{ton}} = 49.3418\ \frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{ton}}$$

3. การผลิตและการใช้เอทานอลจากมันสำปะหลัง

3.1 การปลูกมันสำปะหลัง

ข้อมูลที่ใช้ : ไร่มันที่ปลูก 1.91 ไร่

ผลผลิตที่ได้ 3.25 ton/ไร่

ค่าพลังงานที่ใช้ 3,771 MJ

วัตถุดิบมันสำปะหลังที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 6.12 ton / 1000 $L_{เอทานอล}$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจก 208 $kgCO_2eq$ / 1000 $L_{เอทานอล}$

สมการที่ได้ :

$$E_{in} = \frac{3{,}771\ MJ}{3.25\ \frac{ton}{ไร่} \times 1.91\ ไร่} = 607.49\ \frac{MJ}{ton}$$

$$Emission = \frac{208\ kgCO_2eq}{1{,}000\ L_{เอทานอล}} \times \frac{1{,}000\ L_{เอทานอล}}{6.12\ ton} = 33.99\ \frac{kgCO_2eq}{ton}$$

3.2 การขนส่งมันสำปะหลัง

ข้อมูลที่ใช้ : รถบรรทุก 10 ล้อ

น้ำหนักบรรทุก 21.50 ton

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล ขาไป 2.47 km/L

ขากลับ 3.00 km/L

ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล 36.37 MJ/L

Tailpipe emission 0.465 $kgCO_2eq/km$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตน้ำมันดีเซล 2.613 $kgCO_2eq/L$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซลในขาไป

(2.613 $kgCO_2eq/L$)/(2.47 km/L) = 1.058 $kgCO_2eq/km$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซลในขากลับ

(2.613 $kgCO_2eq/L$)/(3.00 km/L) = 0.871 $kgCO_2eq/km$

<u>สมการที่ได้</u> :

$$E_{in} = \left(\frac{36.37\frac{MJ}{L}}{2.47\frac{km}{L}} + \frac{36.37\frac{MJ}{L}}{3.00\frac{km}{L}}\right)/21.50\ ton = 1.25\ \frac{MJ}{ton-km}$$

$$Emission = \frac{\left\{[(0.465+1.058)+(0.465+0.871)]\left[\frac{kgCO_2eq}{km}\right]\right\}}{21.50\ ton} = 0.1330\frac{kgCO_2eq}{ton-km}$$

3.3 การผลิตเอทานอล

<u>ข้อมูลที่ใช้</u> : พลังงานที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 31,870 MJ / 1000 $L_{เอทานอล}$

วัตถุดิบมันสำปะหลังที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 6.12 ton / 1000 $L_{เอทานอล}$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจก 2,068 $kgCO_2eq$ / 1000 $L_{เอทานอล}$

<u>สมการที่ได้</u> :

$$E_{in} = \frac{31{,}870\ MJ}{1{,}000\ L_{เอทานอล}} \times \frac{1{,}000\ L_{เอทานอล}}{6.12\ ton} = 5{,}207.52\ \frac{MJ}{ton}$$

$$Emission = \frac{2{,}068\ kgCO_2eq}{1{,}000\ L_{เอทานอล}} \times \frac{1{,}000\ L_{เอทานอล}}{6.12\ ton} = 337.91\ \frac{kgCO_2eq}{ton}$$

3.4 การขนส่งเอทานอล

<u>ข้อมูลที่ใช้</u> : รถบรรทุก 18 ล้อ

ขนาดบรรทุก 30,000 L

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล ขาไป 2.84 km/L

ขากลับ 5.05 km/L

ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล 36.37 MJ/L

เอทานอล 1,000 L ใช้มันสำปะหลัง 6.12 ton

เอทานอล 30,000 L ใช้มันสำปะหลัง (30,000/1,000)x6.12 = 183.6 ton

Tailpipe emission 0.465 $kgCO_2eq/km$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตน้ำมันดีเซล 2.613 $kgCO_2eq/L$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซลในขาไป

(2.613 $kgCO_2eq/L$)/(2.84 km/L) = 0.920 $kgCO_2eq/km$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซลในขากลับ

(2.613 $kgCO_2eq/L$)/(5.05 km/L) = 0.517 $kgCO_2eq/km$

<u>สมการที่ได้</u> :

$$E_{in} = \frac{\left(\frac{36.37\frac{MJ}{L}}{2.84\frac{km}{L}} + \frac{36.37\frac{MJ}{L}}{5.05\frac{km}{L}}\right)}{183.6\ ton} = 108.98 \times 10^{-3}\ \frac{MJ}{ton - km}$$

$$Emission = \frac{\left\{[(0.465 + 0.920) + (0.465 + 0.517)]\left[\frac{kgCO_2eq}{km}\right]\right\}}{183.6\ ton} = 12.89 \times 10^{-3}\ \frac{kgCO_2eq}{ton - km}$$

3.5 การผลิตแก๊สโซฮอล์

<u>ข้อมูลที่ใช้</u> :

น้ำมันพื้นฐาน ; พลังงานที่ใช้ในกระบวนการกลั่นน้ำมันพื้นฐาน 900 L เท่ากับ 988 MJ

$$E_{in} = \frac{988\ MJ}{900\ L} = 1.10\ \frac{MJ}{L}$$

สูตรการผสมแก๊สโซฮอล์ 95 สำหรับน้ำมันพื้นฐาน 900 L

Isomerate	ค่าความร้อน	27.532 MJ/L	ปริมาณ 285 L
Reformate	ค่าความร้อน	32.829 MJ/L	ปริมาณ 597 L
Heavy Naptha	ค่าความร้อน	34.658 MJ/L	ปริมาณ 18 L

$$E_{out} = \frac{(285 \times 27.532) + (597 \times 32.829) + (18 \times 34.658)}{900}\left[\frac{MJ}{L}\right] = 31.19\ \frac{MJ}{L}$$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจก 152 $kgCO_2eq$/ 900 L = 0.1689 $kgCO_2eq/L$

เอทานอล ; มันสำปะหลัง 1 ton ผลิตเอทานอลได้ 163.40 L

ค่าความร้อนของเอทานอล 21.10 MJ/L

$$E_{out} = 21.10\ \frac{MJ}{L}$$

<u>สมการที่ได้</u> :

E10 ; ปริมาตรเอทานอล 163.40 L/ton

ปริมาตรน้ำมันพื้นฐาน 163.40x9 = 1,470.60 L/ton

$$E_{in} = 1{,}470.60\frac{L}{ton} \times 1.10\frac{MJ}{L} = 1{,}617.66\ \frac{MJ}{ton}$$

$$E_{out} = \left(1{,}470.60\frac{L}{ton} \times 31.19\frac{MJ}{L}\right) + \left(163.40\frac{L}{ton} \times 21.10\frac{MJ}{L}\right) = 49{,}315.75\ \frac{MJ}{ton}$$

$$\text{Emission} = 1{,}470.60\frac{L}{ton} \times 0.1689\frac{kgCO_2eq}{L} = 248.38\frac{kgCO_2eq}{ton}$$

E20 ; ปริมาตรเอทานอล 163.40 L/ton

ปริมาตรน้ำมันพื้นฐาน 163.40x4 = 653.60 L/ton

$$E_{in} = 653.60\frac{L}{ton} \times 1.10\frac{MJ}{L} = 718.96\ \frac{MJ}{ton}$$

$$E_{out} = \left(653.60\frac{L}{ton} \times 31.19\frac{MJ}{L}\right) + \left(163.40\frac{L}{ton} \times 21.10\frac{MJ}{L}\right) = 23{,}833.52\ \frac{MJ}{ton}$$

$$\text{Emission} = 653.60\frac{L}{ton} \times 0.1689\frac{kgCO_2eq}{L} = 110.39\ \frac{kgCO_2eq}{ton}$$

E85 ; ปริมาตรเอทานอล 163.40 L/ton

ปริมาตรน้ำมันพื้นฐาน 163.40x(15/85) = 28.84 L/ton

$$E_{in} = 28.84\frac{L}{ton} \times 1.10\frac{MJ}{L} = 31.72\ \frac{MJ}{ton}$$

$$E_{out} = \left(28.84\frac{L}{ton} \times 31.19\frac{MJ}{L}\right) + \left(163.40\frac{L}{ton} \times 21.10\frac{MJ}{L}\right) = 4{,}347.26\ \frac{MJ}{ton}$$

$$\text{Emission} = 28.84\frac{L}{ton} \times 0.1689\frac{kgCO_2eq}{L} = 4.87\ \frac{kgCO_2eq}{ton}$$

3.6 การขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95

ข้อมูลที่ใช้ : รถบรรทุก 18 ล้อ

ขนาดบรรทุก 30,000 L

อัตราสิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล ขาไป 2.84 km/L

ขากลับ 5.05 km/L

ค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล 36.37 MJ/L

Tailpipe emission 0.465 $kgCO_2eq/km$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการผลิตน้ำมันดีเซล 2.613 $kgCO_2eq/L$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซลในขาไป

$(2.613\ kgCO_2eq/L)/(2.84\ km/L) = 0.920\ kgCO_2eq/km$

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้น้ำมันดีเซลในขากลับ

$(2.613\ kgCO_2eq/L)/(5.05\ km/L) = 0.517\ kgCO_2eq/km$

สมการที่ได้ :

E10 ; แก๊สโซฮอล์ 95 30,000 L

ใช้เอทานอล 3,000 L

ใช้มันสำปะหลัง 3,000/163.40 = 18.36 ton

$$E_{in} = \frac{\left(\frac{36.37\frac{MJ}{L}}{2.84\frac{km}{L}} + \frac{36.37\frac{MJ}{L}}{5.05\frac{km}{L}}\right)}{18.36\ ton} = 1.0898\ \frac{MJ}{ton - km}$$

$$Emission = \frac{\left\{[(0.465 + 0.920) + (0.465 + 0.517)]\left[\frac{kgCO_2eq}{km}\right]\right\}}{18.36\ ton} = 128.92 \times 10^{-3}\ \frac{kgCO_2eq}{ton - km}$$

E20 ; แก๊สโซฮอล์ 95 30,000 L

ใช้เอทานอล 6,000 L

ใช้มันสำปะหลัง 6,000/163.40 = 36.72 ton

$$E_{in} = \frac{\left(\frac{36.37\frac{MJ}{L}}{2.84\frac{km}{L}} + \frac{36.37\frac{MJ}{L}}{5.05\frac{km}{L}}\right)}{36.72\ ton} = 0.5449\ \frac{MJ}{ton - km}$$

$$Emission = \frac{\left\{[(0.465 + 0.920) + (0.465 + 0.517)]\left[\frac{kgCO_2eq}{km}\right]\right\}}{36.72\ ton} = 64.46 \times 10^{-3}\ \frac{kgCO_2eq}{ton - km}$$

E85 ; แก๊สโซฮอล์ 95 30,000 L

ใช้เอทานอล 25,500 L

ใช้มันสำปะหลัง 25,500/163.40 = 156.06 ton

$$E_{in} = \frac{\left(\frac{36.37\frac{MJ}{L}}{2.84\frac{km}{L}} + \frac{36.37\frac{MJ}{L}}{5.05\frac{km}{L}}\right)}{156.06\ ton} = 0.1282\ \frac{MJ}{ton - km}$$

$$Emission = \frac{\left\{[(0.465 + 0.920) + (0.465 + 0.517)]\left[\frac{kgCO_2eq}{km}\right]\right\}}{156.06\ ton} = 15.17 \times 10^{-3}\ \frac{kgCO_2eq}{ton - km}$$

3.7 การใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95

ข้อมูลที่ใช้ : ค่าความร้อนแก๊สโซฮอล์ E10 30.18 MJ/L

ค่าความร้อนแก๊สโซฮอล์ E20 29.71 MJ/L

ค่าความร้อนแก๊สโซฮอล์ E85 22.61 MJ/L

อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเฉลี่ย 2.292 MJ/km

อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย ;

แก๊สโซฮอล์ E10 (30.18 MJ/L)/(2.292 MJ/km) = 13.17 km/L

แก๊สโซฮอล์ E20 (29.17 MJ/L)/(2.292 MJ/km) = 12.73 km/L

แก๊สโซฮอล์ E85 (22.61 MJ/L)/(2.292 MJ/km) = 9.86 km/L

ค่าการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากการใช้งาน ;

แก๊สโซฮอล์ E10 0.3686 $kgCO_2eq/mile$ = 0.2290 $kgCO_2eq/km$

แก๊สโซฮอล์ E20 0.3664 $kgCO_2eq/mile$ = 0.2277 $kgCO_2eq/km$

แก๊สโซฮอล์ E85 0.3471 $kgCO_2eq/mile$ = 0.2157 $kgCO_2eq/km$

<u>สมการที่ได้</u> :

<u>E10</u> ; มันสำปะหลัง 1 ton ผลิตแก๊สโซฮอล์ E10 ได้ 163.40+1,470.60 = 1,634 L/ton

$$\text{Emission} = 13.17\frac{\text{km}}{\text{L}} \times 0.2290\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{km}} \times 1{,}634\frac{\text{L}}{\text{ton}} = 4{,}928.0296\ \frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{ton}}$$

<u>E20</u> ; มันสำปะหลัง 1 ton ผลิตแก๊สโซฮอล์ E20 ได้ 163.40+653.60 = 817 L/ton

$$\text{Emission} = 12.73\frac{\text{km}}{\text{L}} \times 0.2277\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{km}} \times 817\frac{\text{L}}{\text{ton}} = 2{,}368.1734\ \frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{ton}}$$

<u>E85</u> ; มันสำปะหลัง 1 ton ผลิตแก๊สโซฮอล์ E85 ได้ 163.40+28.84 = 192.24 L/ton

$$\text{Emission} = 9.86\frac{\text{km}}{\text{L}} \times 0.2157\frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{km}} \times 192.24\frac{\text{L}}{\text{ton}} = 408.8564\ \frac{\text{kgCO}_2\text{eq}}{\text{ton}}$$

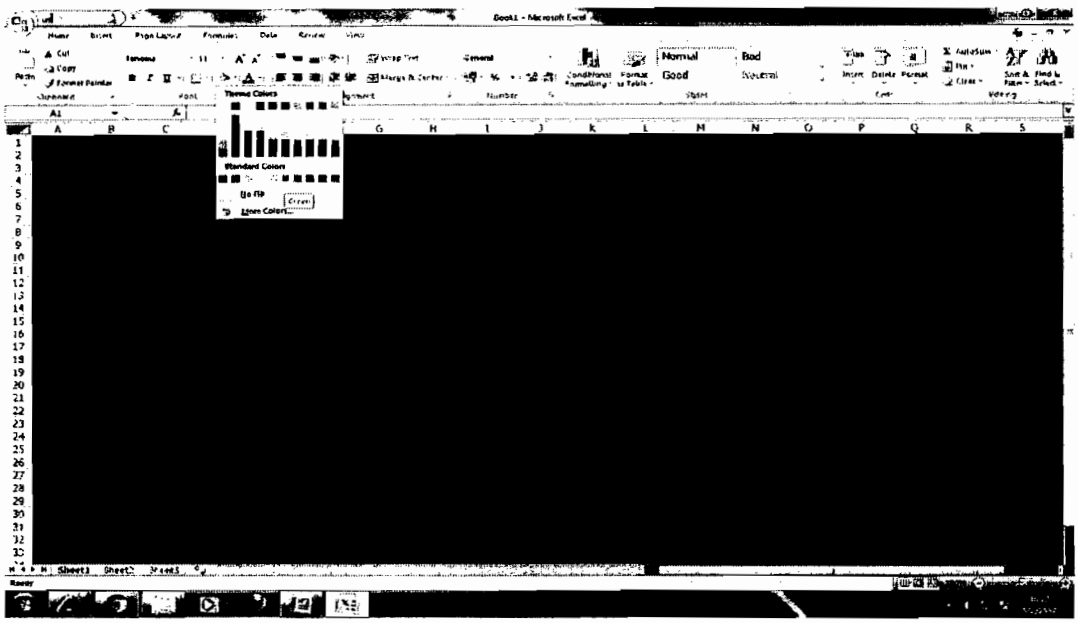
ภาคผนวก ข

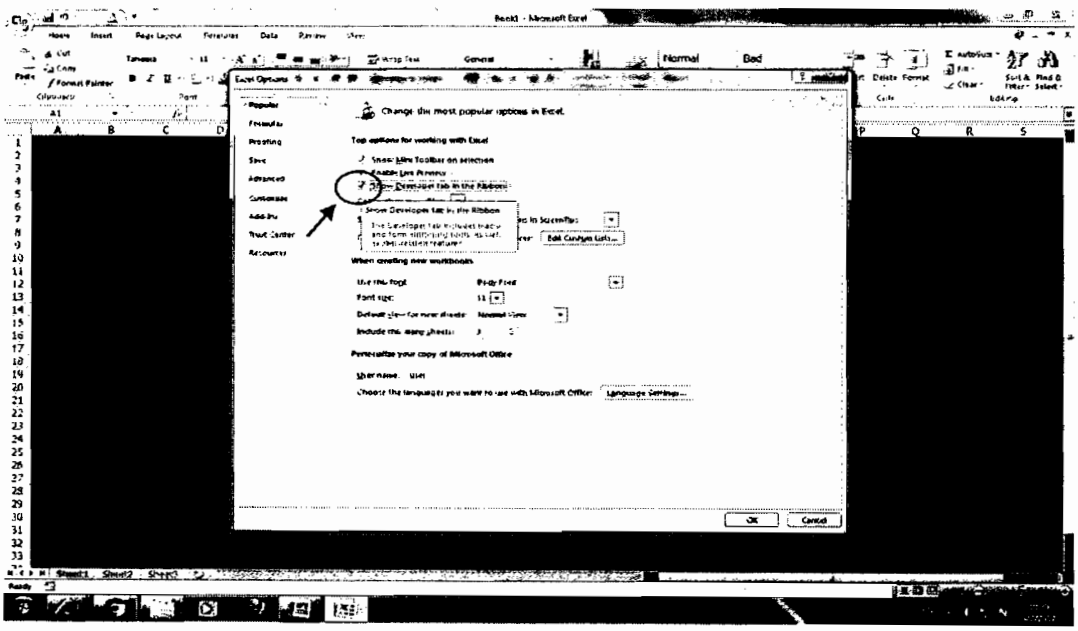
รายละเอียดการสร้างเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ขั้นตอนการสร้างเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

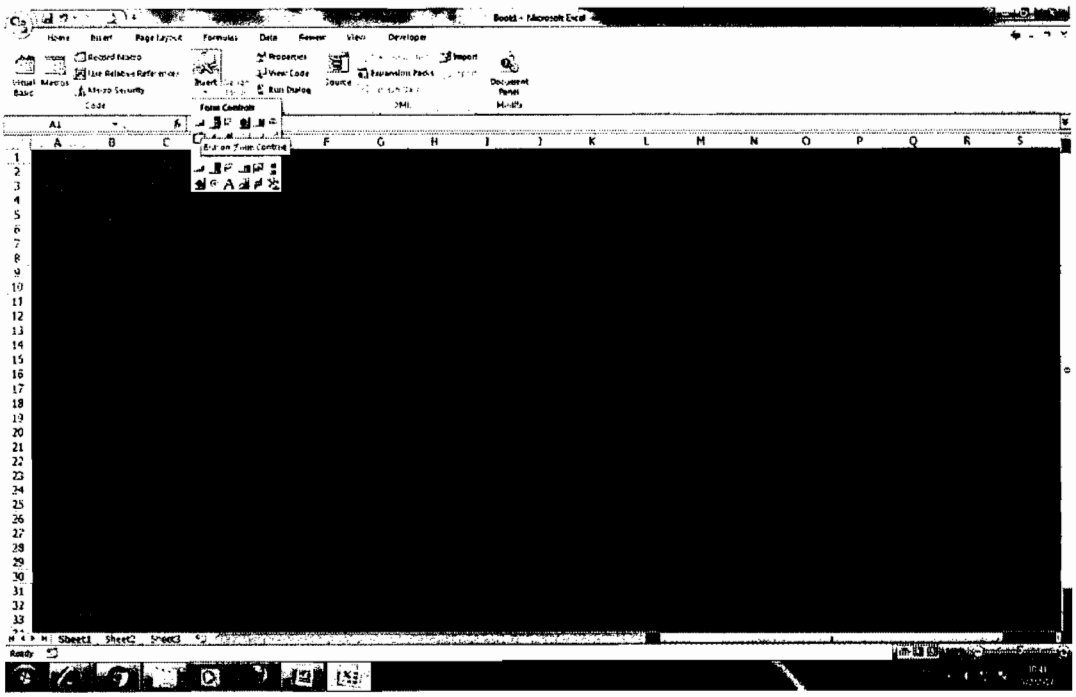
ผู้วิจัยได้นำสมการที่ได้จากการพัฒนาความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ในบทที่ 4 มาใช้ในการสร้างเครื่องมือประเมินพลังงานและการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาในโปรแกรม Microsoft Excel ร่วมกับโปรแกรม Microsoft Visual Basic ในการสร้างเพื่อให้ง่ายต่อการใช้งาน โดยมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

1. เปิดโปรแกรม Microsoft Excel แล้วทำการปรับสีพื้น และเพิ่ม Developer tab ใน Excel options

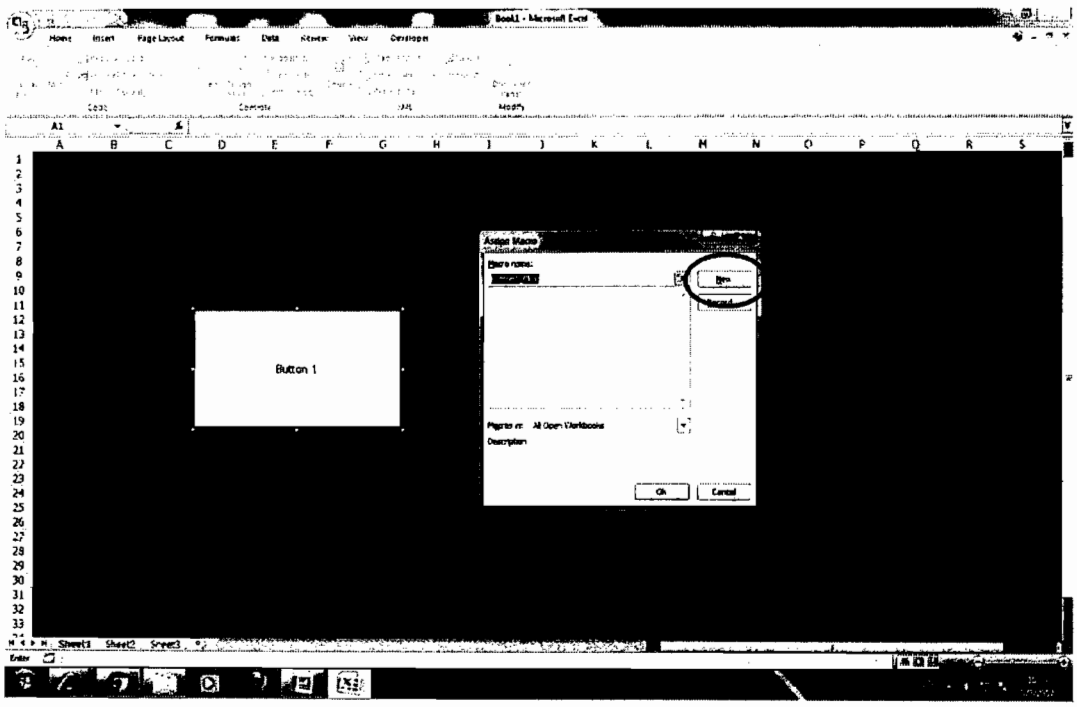


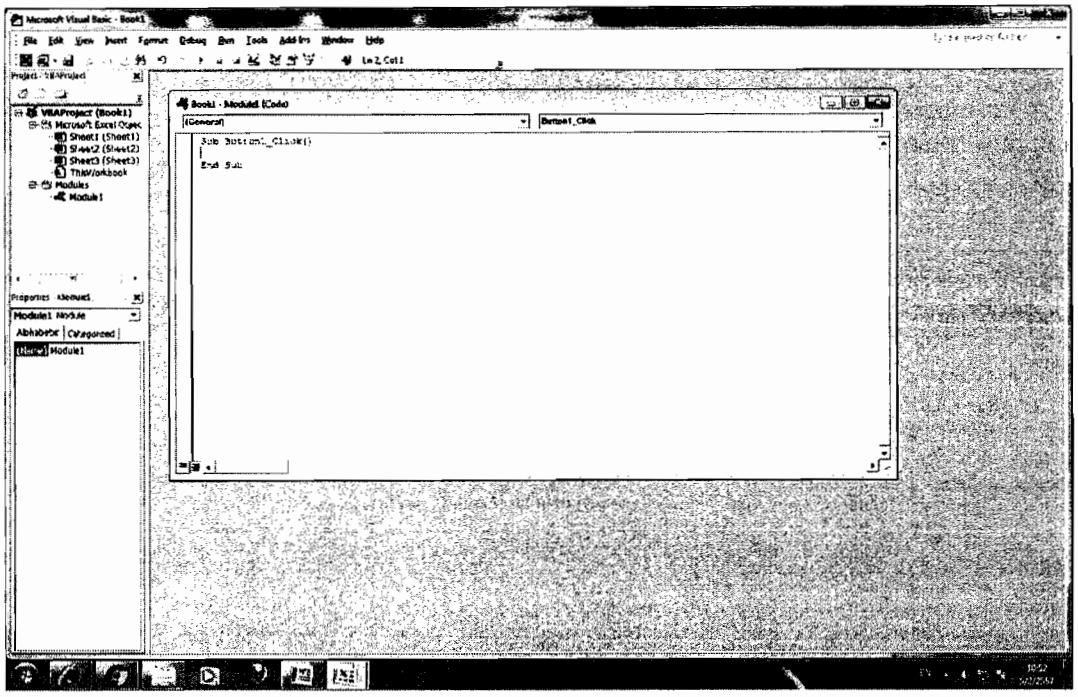


2. ใน tab Developer เลือก Insert > Button เพื่อสร้างปุ่ม



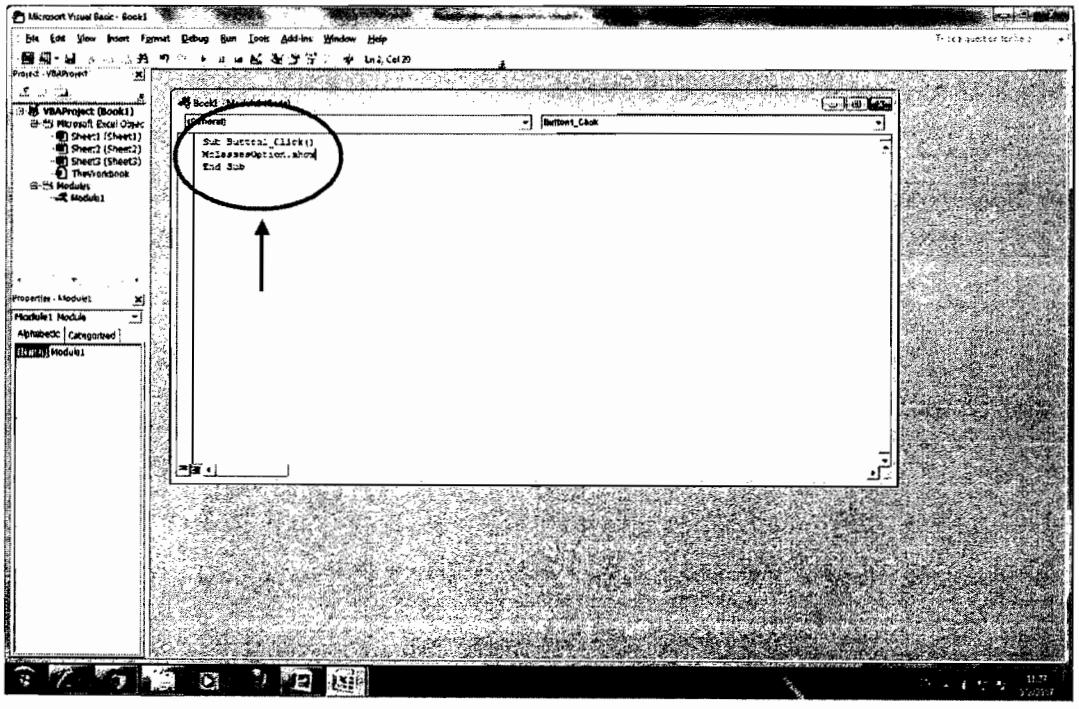
3. ลาก cells ที่ต้องการสร้างปุ่ม แล้วกด New จะปรากฏหน้าดังรูป



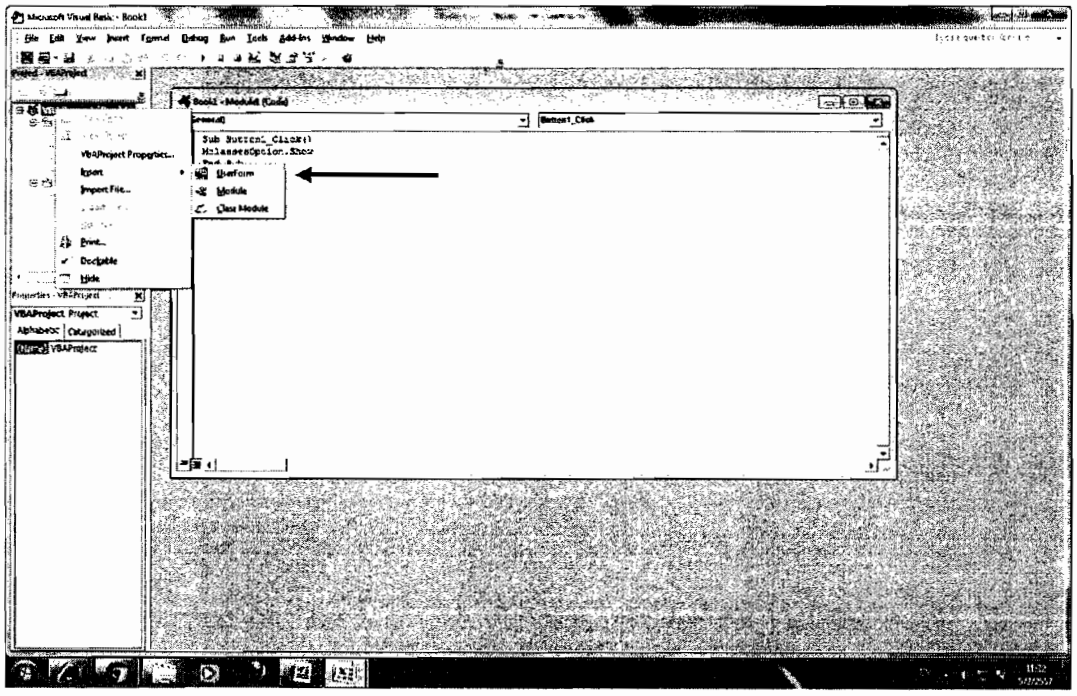


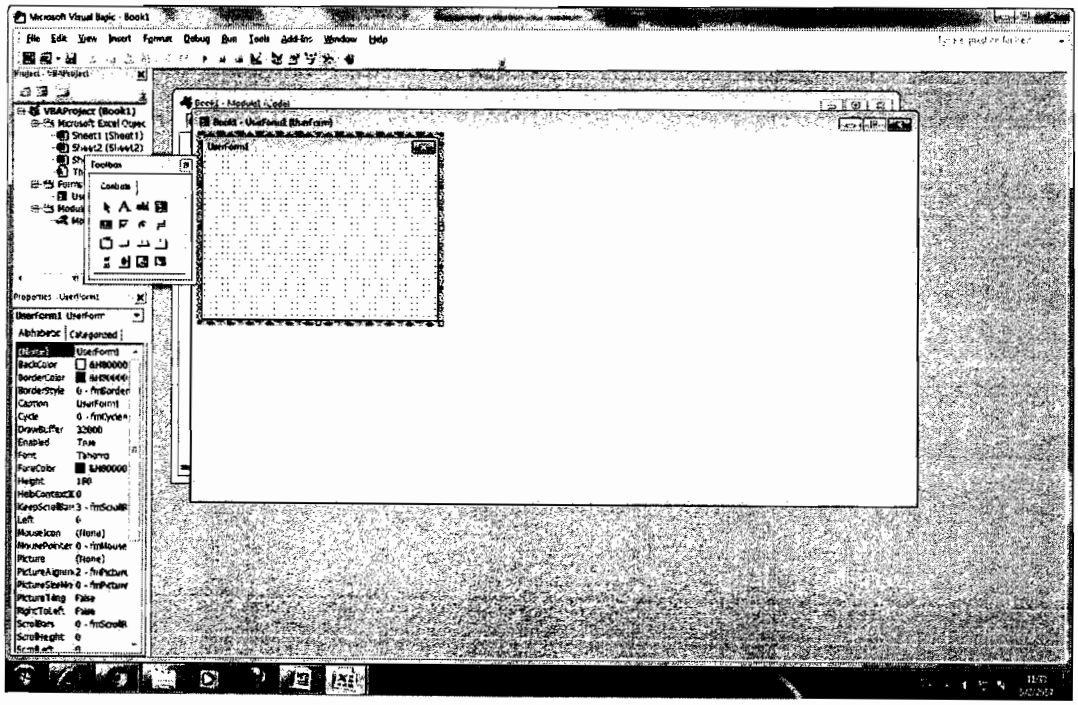
4. พิมพ์ code :

```
Sub Button1_Click()

MolassesOption.Show

End Sub
```

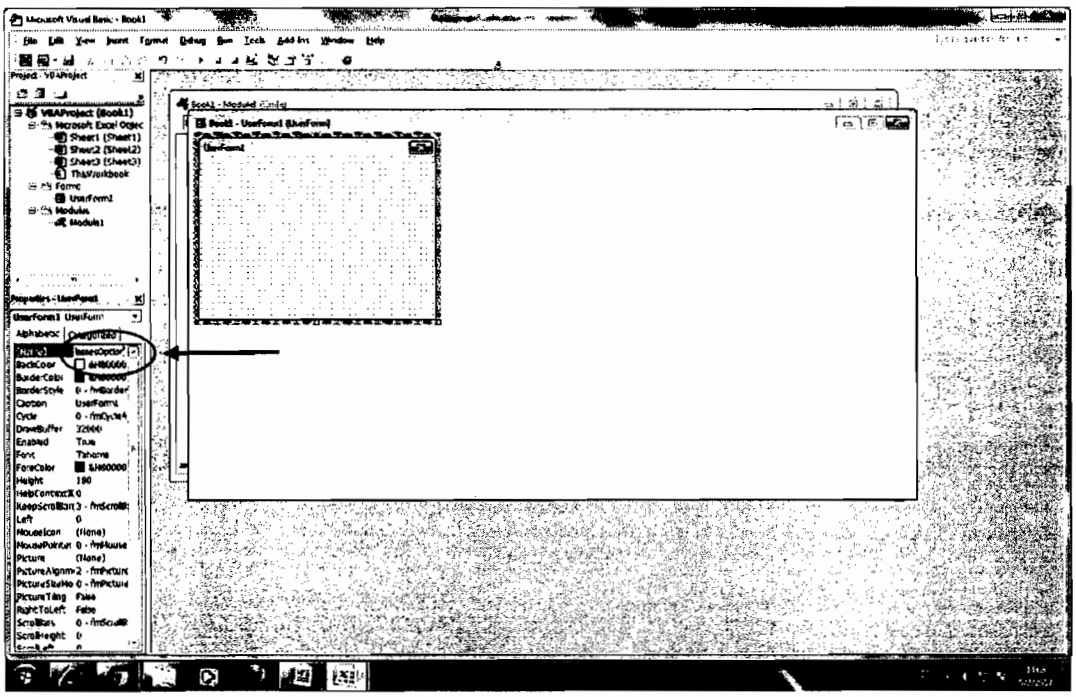


5. คลิกขวาที่ VBAProject เลือก Insert > UserForm

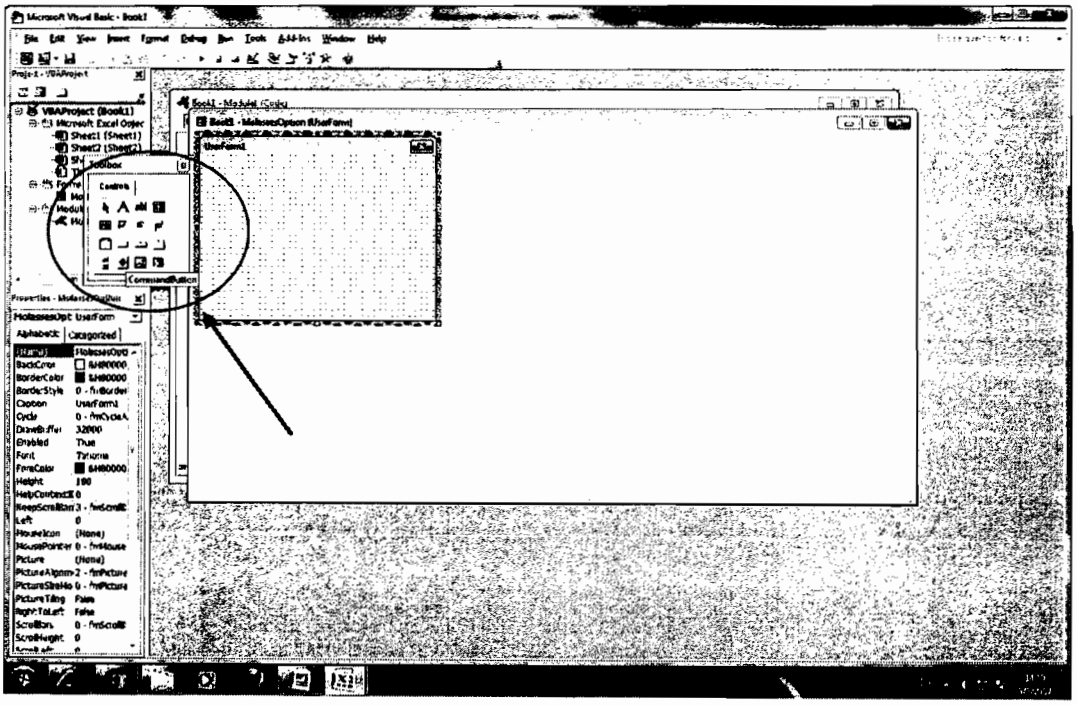


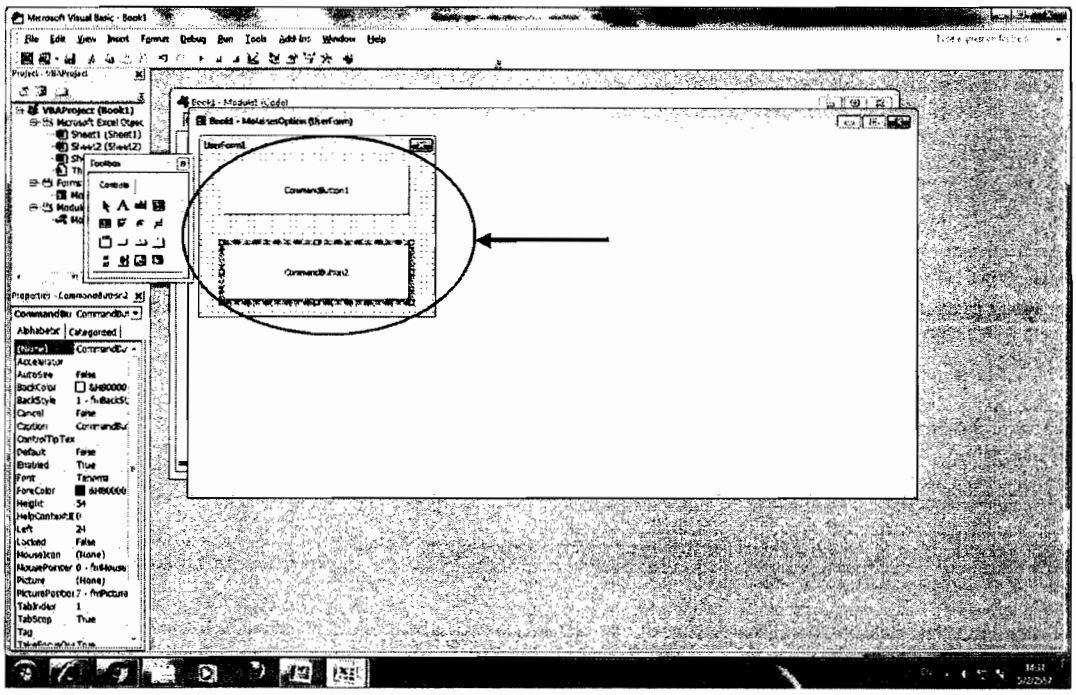


6. เปลี่ยนชื่อจาก Userform1 เป็น MolassesOption

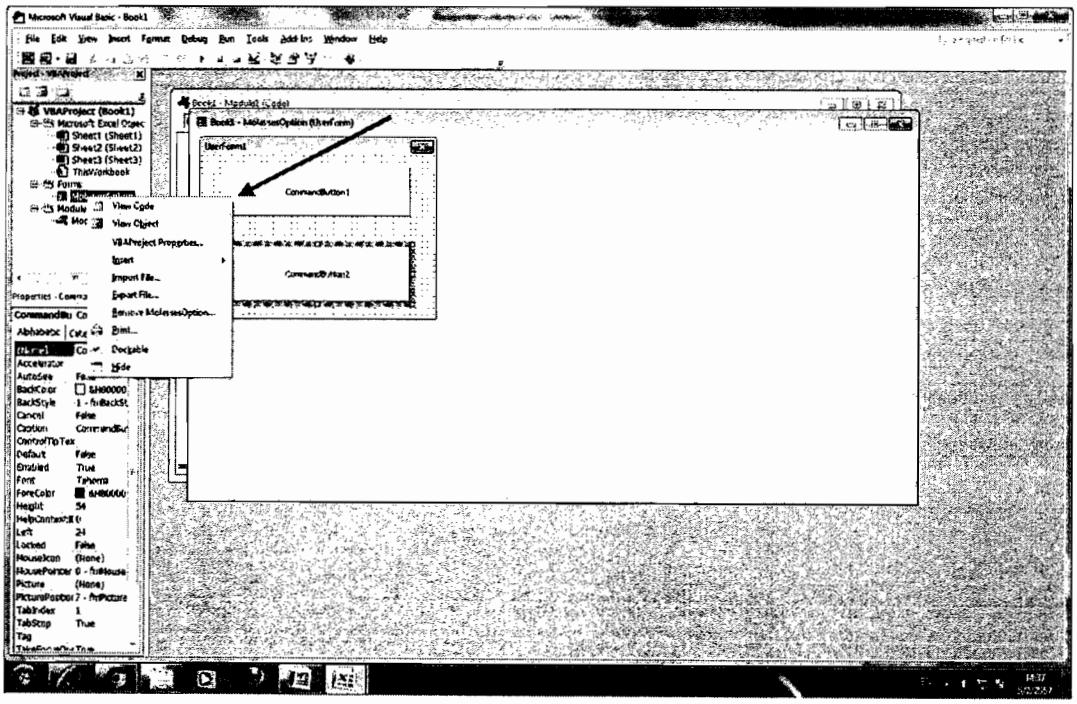


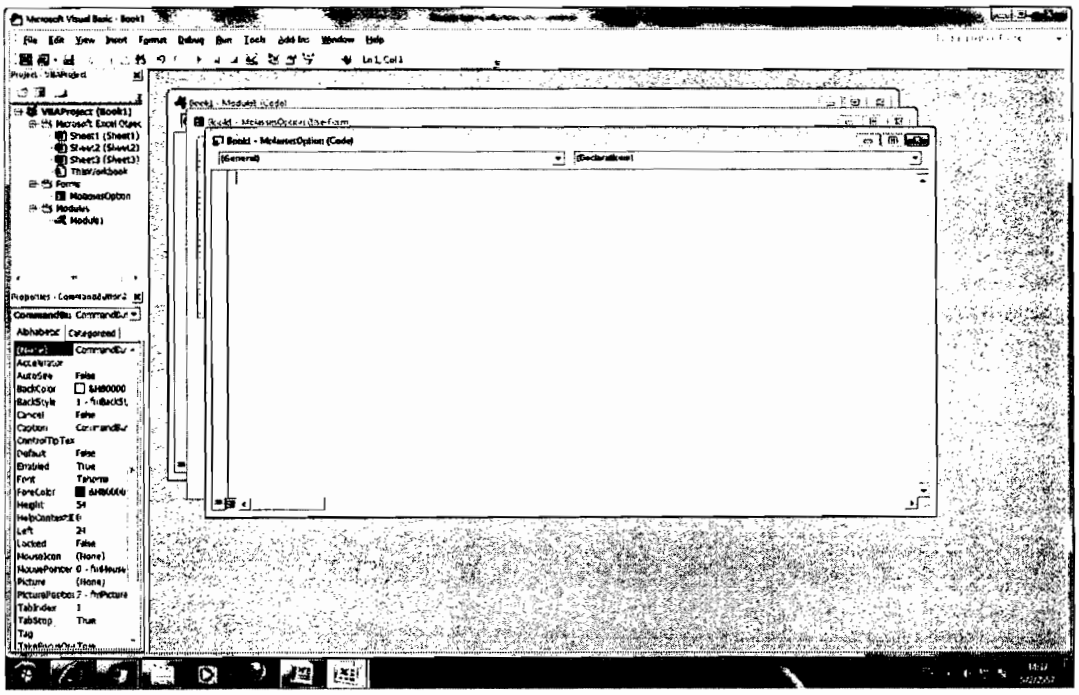
7. คลิกที่ Command button แล้ว ลากเส้นสร้างปุ่ม 2 อัน





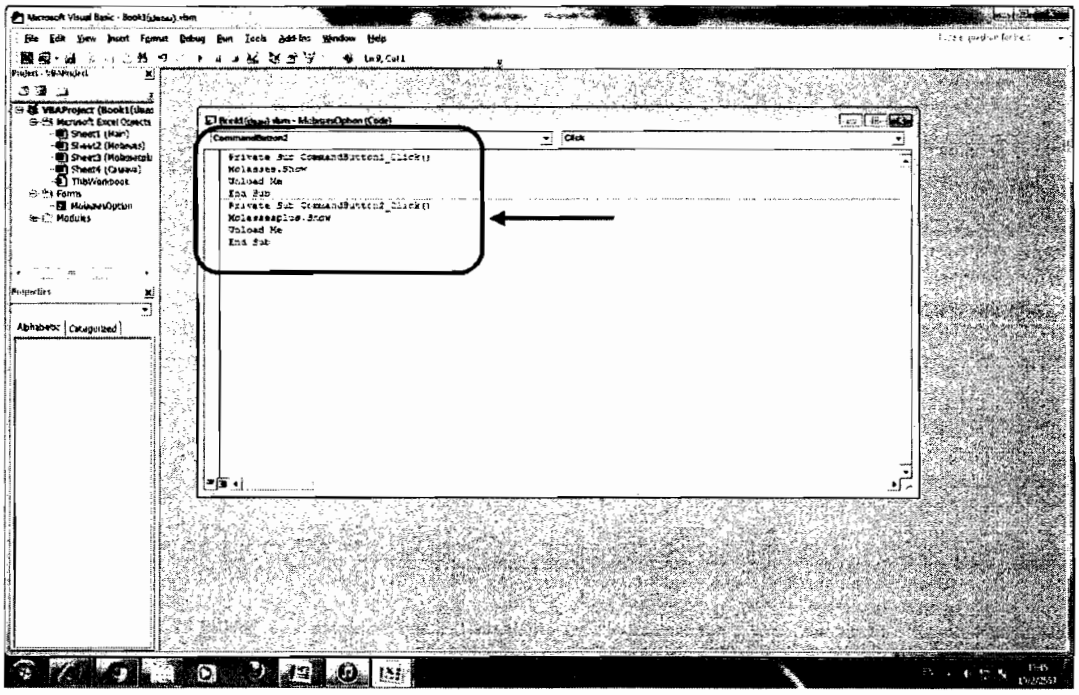
8. คลิกขวา ที่ Forms > MolassesOption เลือก View Code



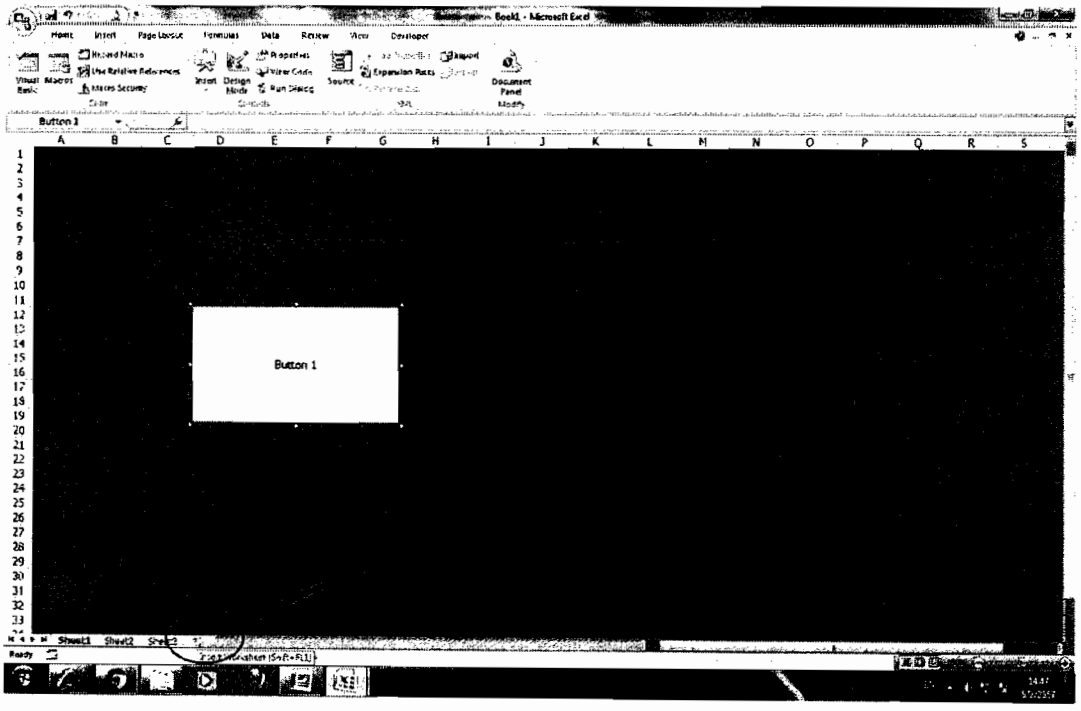


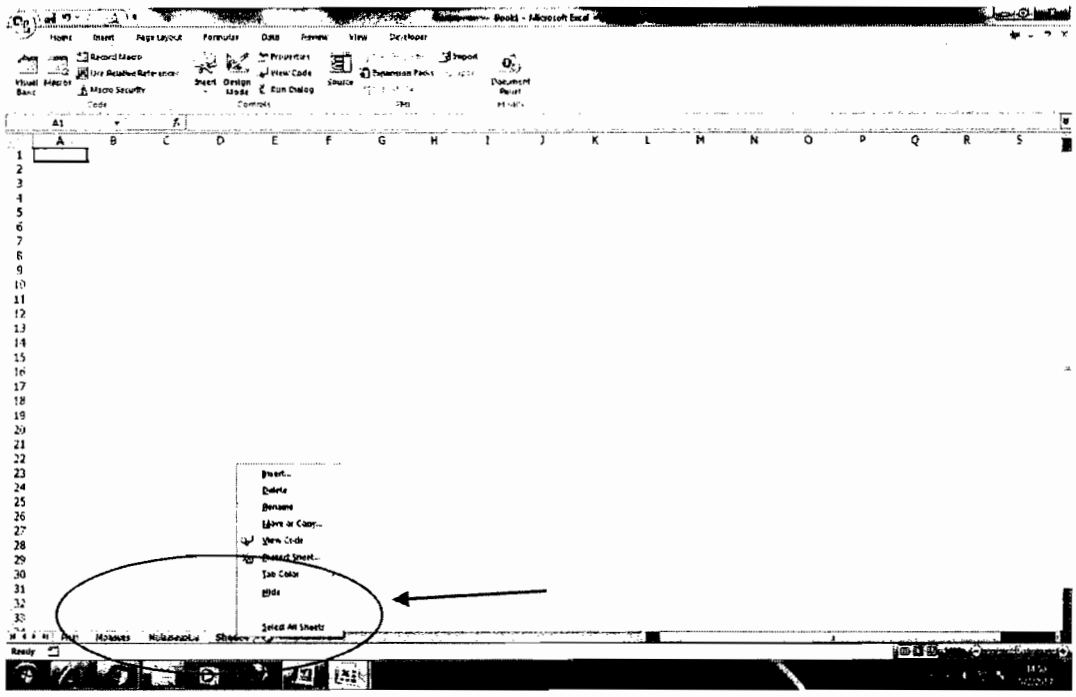
9. พิมพ์ code :

```
Private Sub CommandButton1_Click()

Molasses.Show

Unload Me

End Sub

Private Sub CommandButton2_Click()

Molassesplus.Show

Unload Me

End Sub
```

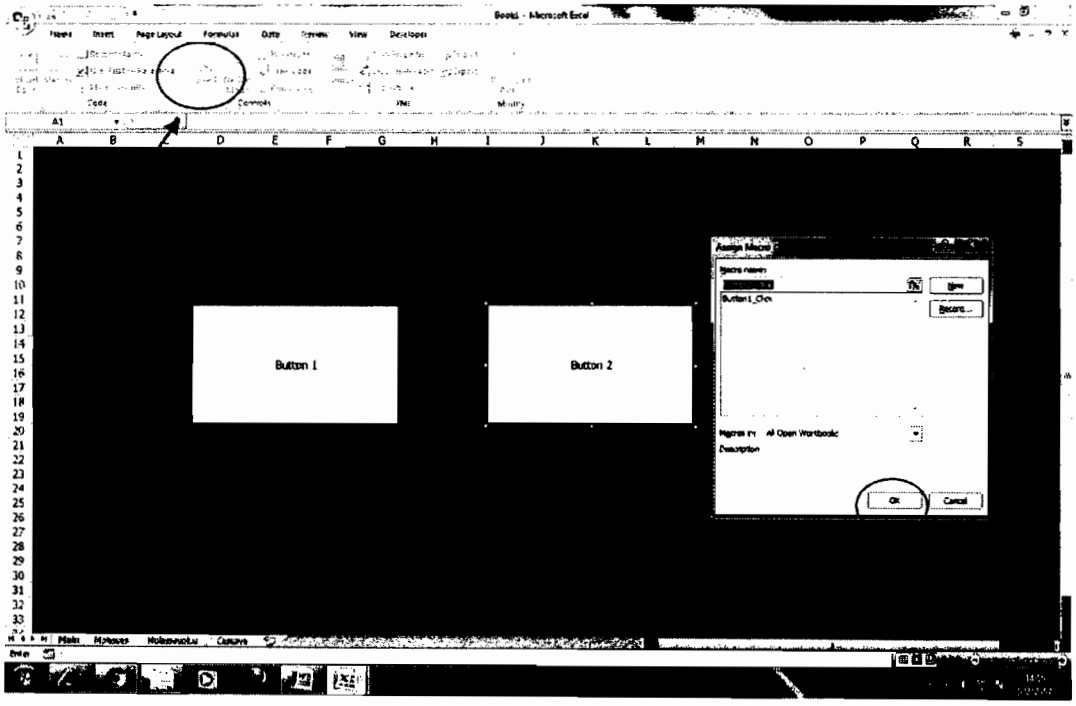


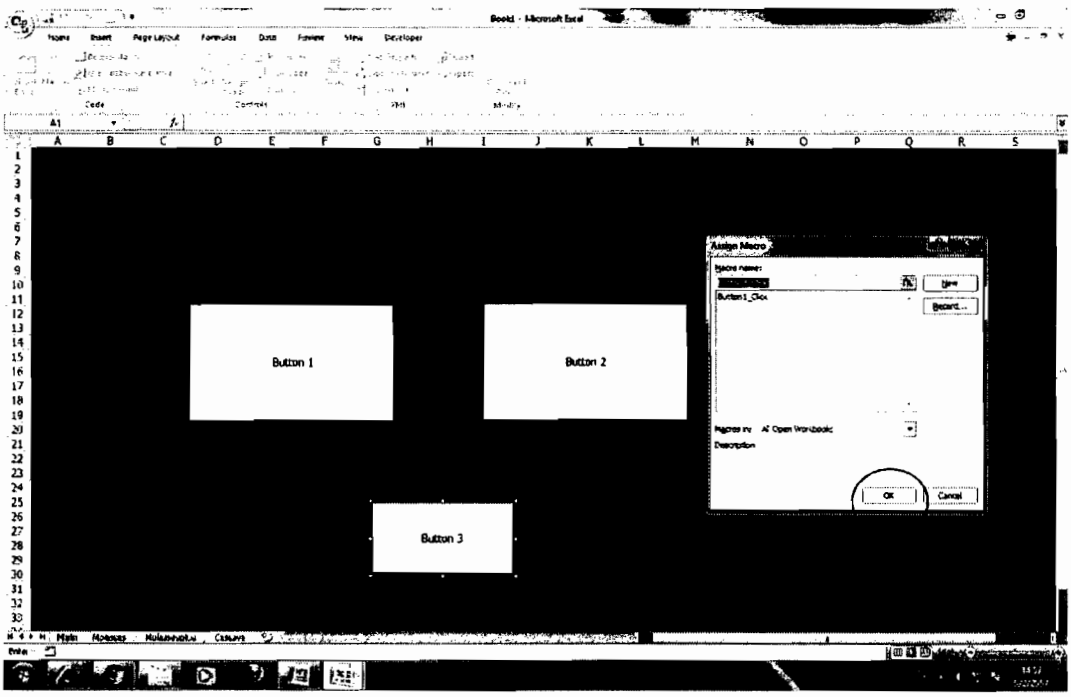
10. กลับไปที่หน้า Excel แล้วเพิ่ม Sheet ให้มี 4 แผ่น และทำการเปลี่ยนชื่อ Sheet เป็น Main, Molasses, Molassesplus และ Cassava ตามลำดับ



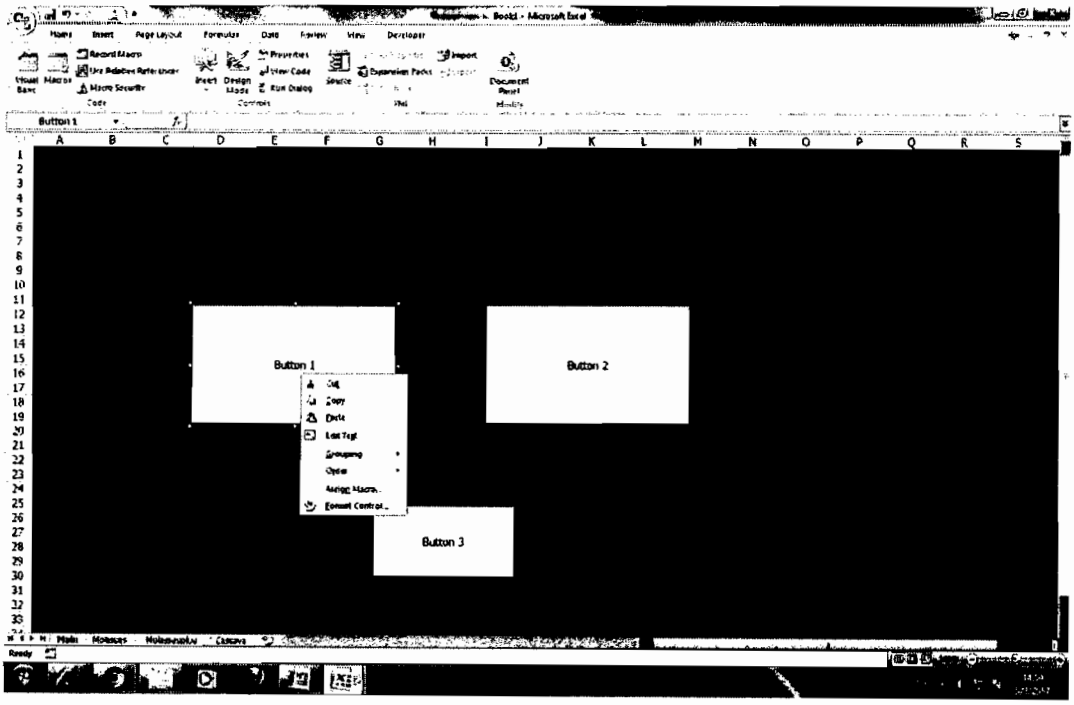


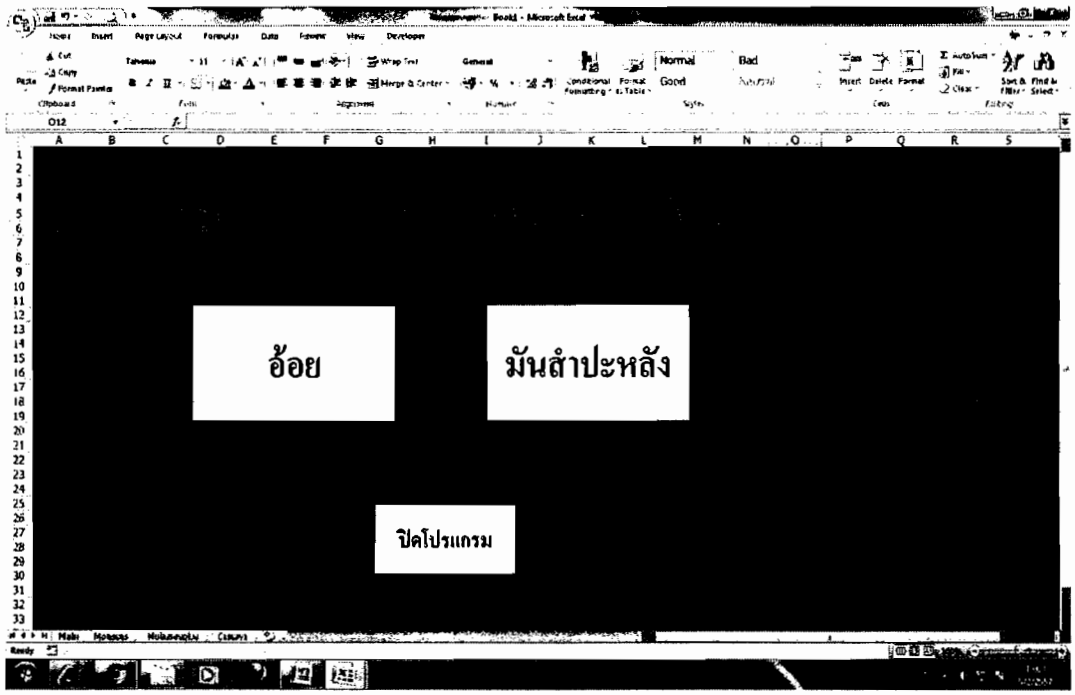
11. ใน tab Developer เลือก Insert > Button สร้างปุ่มเพิ่มอีก 2 อัน แล้วกด OK





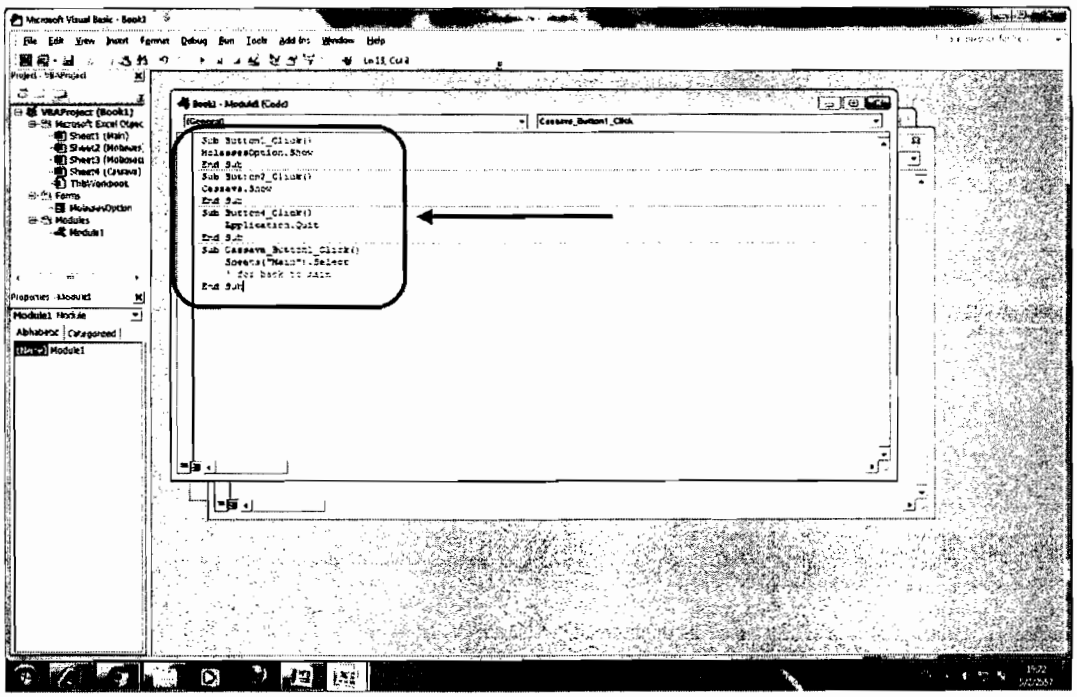
12. เปลี่ยนชื่อปุ่มเป็น อ้อย, มันสำปะหลัง และปิดโปรแกรม ตามรูป



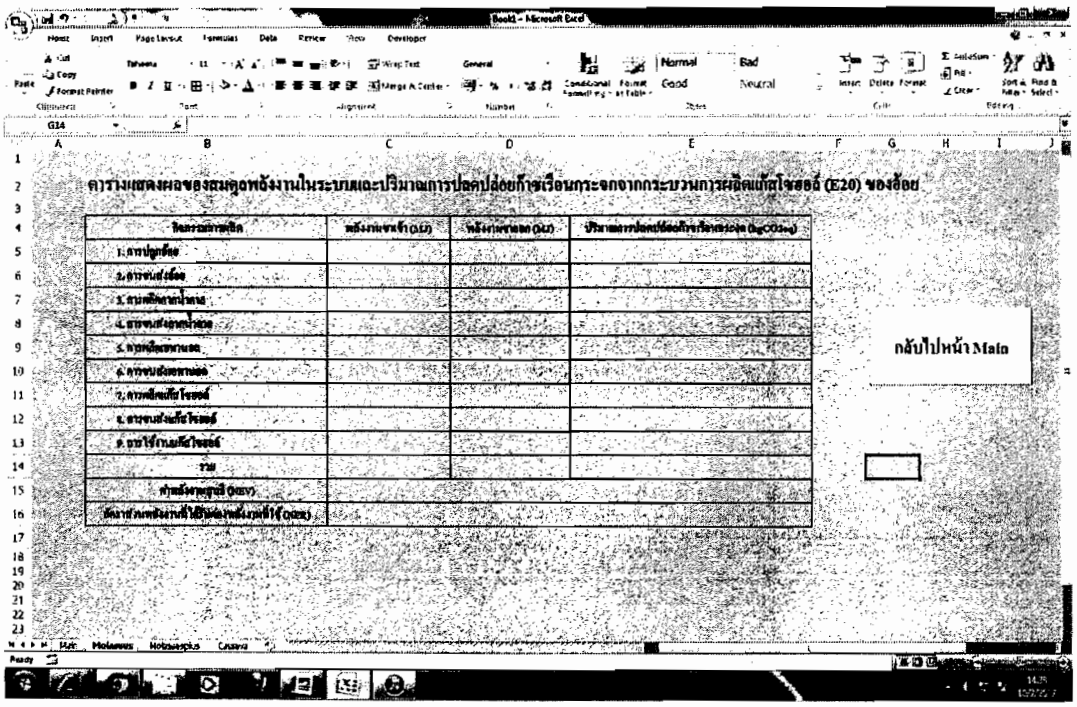


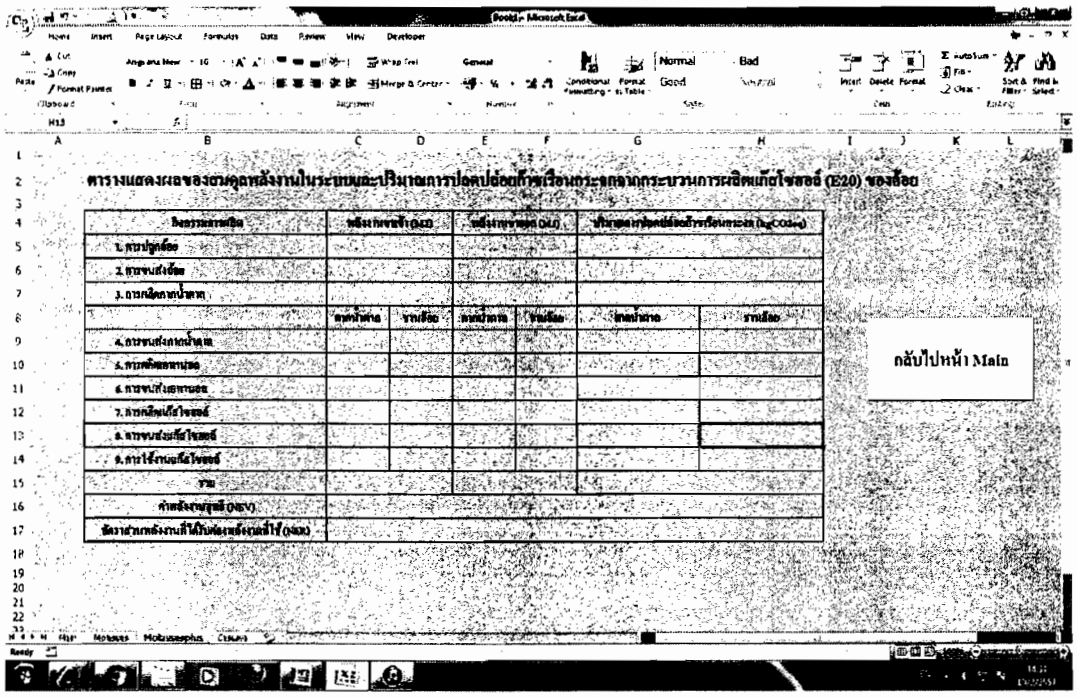
13. กลับไปที่หน้าของ Visual Basic ที่ Modules > Module1 เลือก View Code แล้วพิมพ์ code ดังนี้ :

```
Sub Button1_Click()
MolassesOption.Show
End Sub
Sub Button2_Click()
Cassava.Show
End Sub
Sub Button4_Click()
    Application.Quit
End Sub
Sub Cassava_Button1_Click()
    Sheets("Main").Select
    ' for back to main
End Sub
```



14. กลับไปที่หน้าของ Excel สร้างตารางและสร้างปุ่มเหมือนในขั้นตอนข้อที่ 11 ใน sheet ทั้ง 3 แผ่นดังรูป



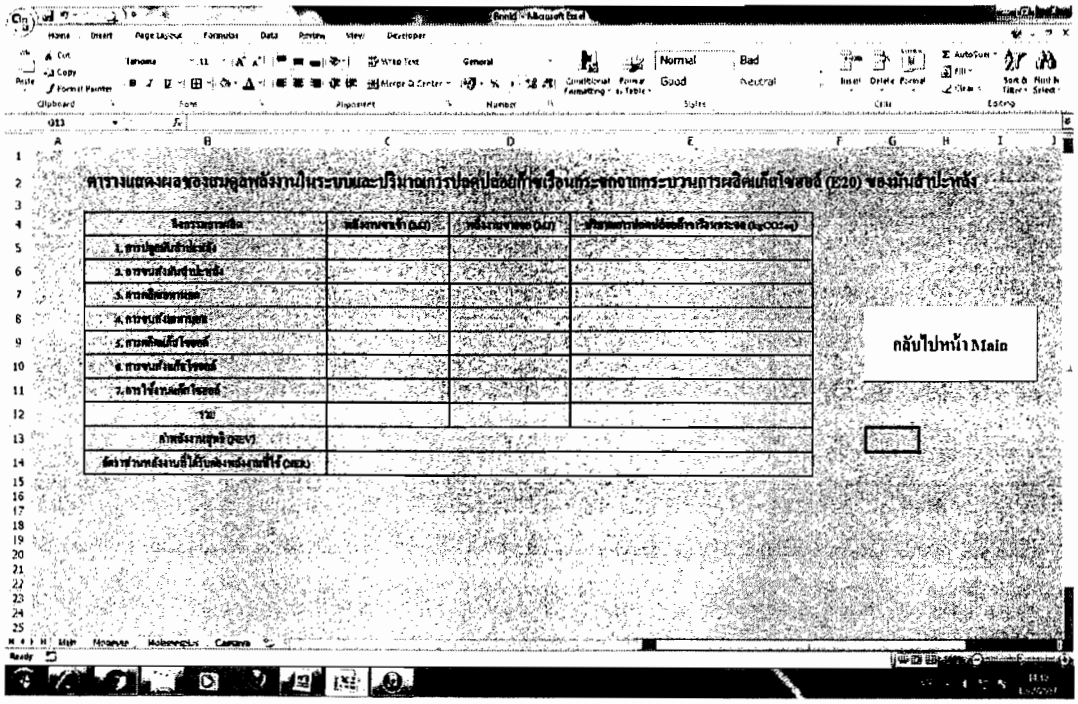


ตารางแสดงผลของอนุกรมหลังงานในระบบและปริมาณการปลดปล่อยที่เหลือนกระจกจากกระบวนการผลิตแก๊สโซฮอล์ (E20) ของอ้อย

ชื่อของกลุ่มเกษตรกร	พลังงานขาเข้า (MJ)	พลังงานขาออก (MJ)	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)
1. ขนปลูกอ้อย			
2. ขนขนส่งอ้อย			
3. ขนหีบอ้อยเป็นน้ำตาล			

	ขนน้ำตาล	รวมอ้อย	ขนน้ำตาล	รวมอ้อย	ขนน้ำตาล	รวมอ้อย
4. ขนขนส่งขนน้ำตาล						
5. ขนหีบขนอ้อย						
6. ขนขนส่งขนอ้อย						
7. ขนหีบแก๊สโซฮอล์						
8. ขนขนส่งแก๊สโซฮอล์						
9. ขนใช้งานแก๊สโซฮอล์						
รวม						
ค่าพลังงานสุทธิ (NEV)						
อัตราส่วนพลังงานที่ได้กับพลังงานที่ใช้ (NER)						

กลับไปหน้า Main

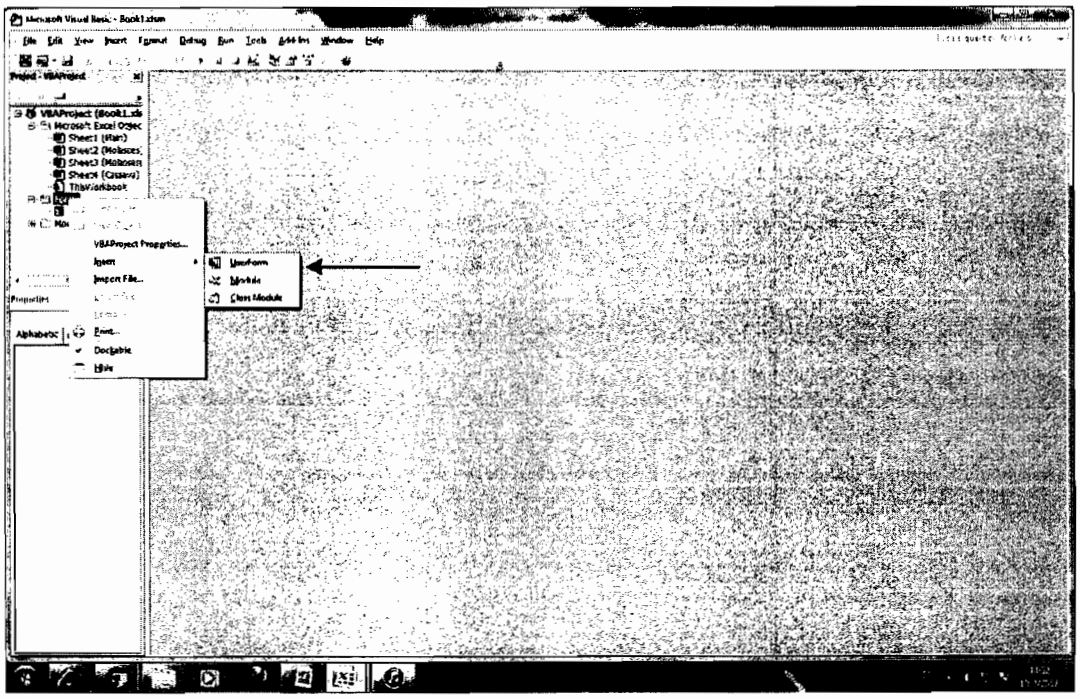


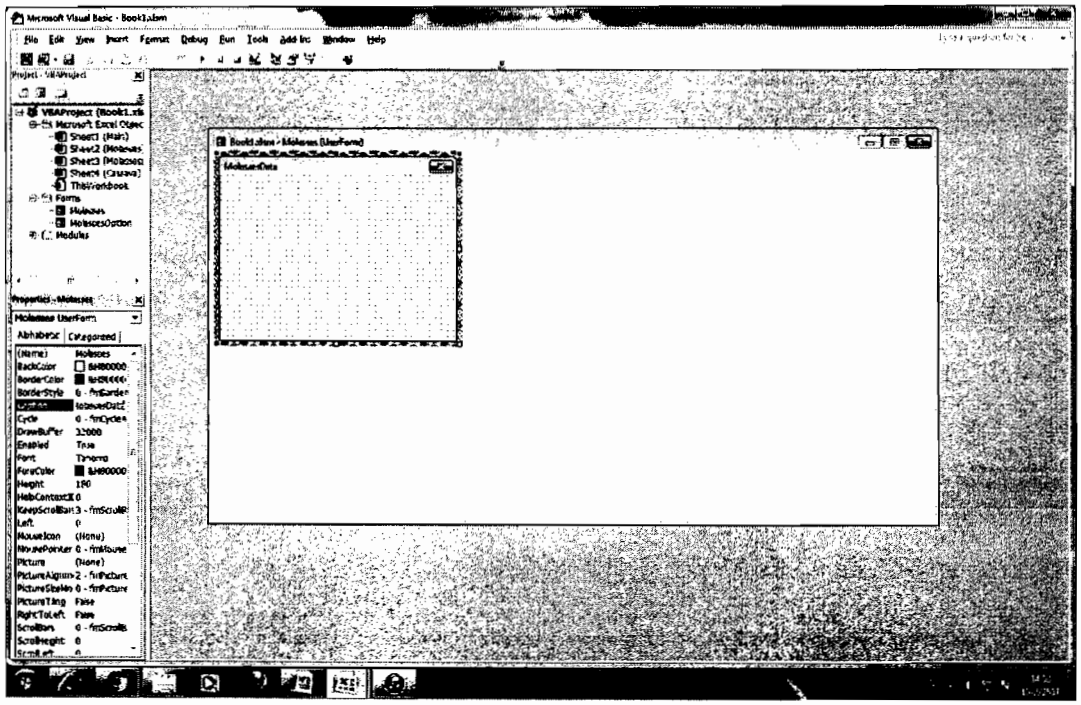
ตารางแสดงผลของอนุกรมหลังงานในระบบและปริมาณการปลดปล่อยที่เหลือนกระจกจากกระบวนการผลิตแก๊สโซฮอล์ (E20) ของมันสำปะหลัง

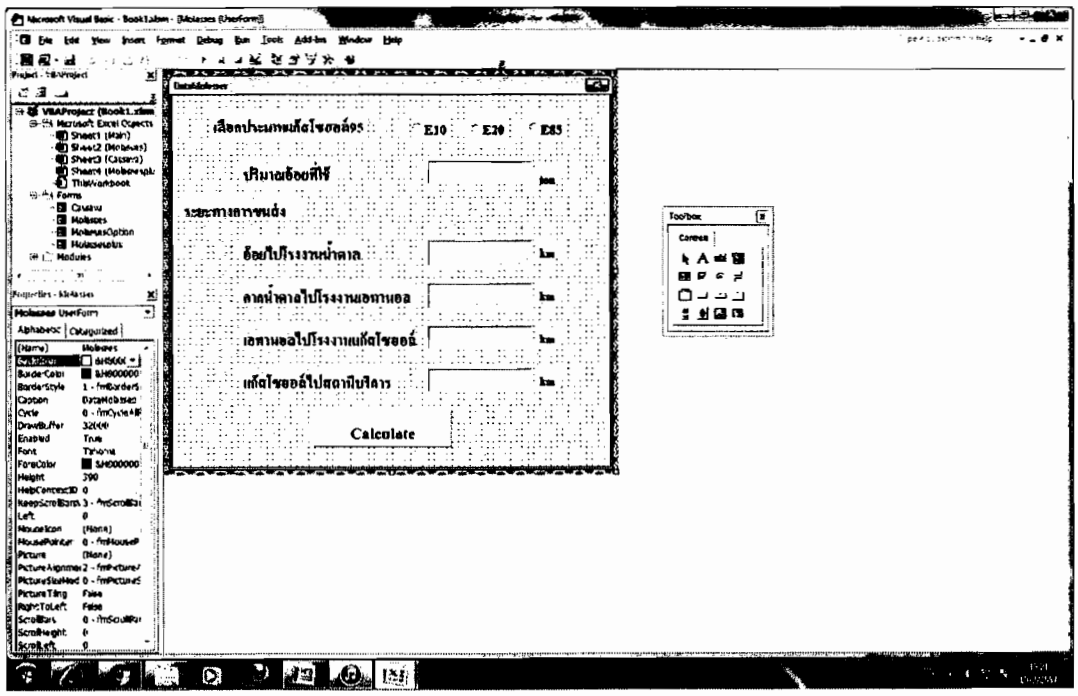
ชื่อของกลุ่มเกษตรกร	พลังงานขาเข้า (MJ)	พลังงานขาออก (MJ)	ปริมาณการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ($kgCO_2eq$)
1. ขนปลูกมันสำปะหลัง			
2. ขนขนส่งมันสำปะหลัง			
3. ขนหีบขนมันสด			
4. ขนขนส่งขนมันสด			
5. ขนหีบแก๊สโซฮอล์			
6. ขนขนส่งแก๊สโซฮอล์			
7. ขนใช้งานแก๊สโซฮอล์			
รวม			
ค่าพลังงานสุทธิ (NEV)			
อัตราส่วนพลังงานที่ได้กับพลังงานที่ใช้ (NER)			

กลับไปหน้า Main

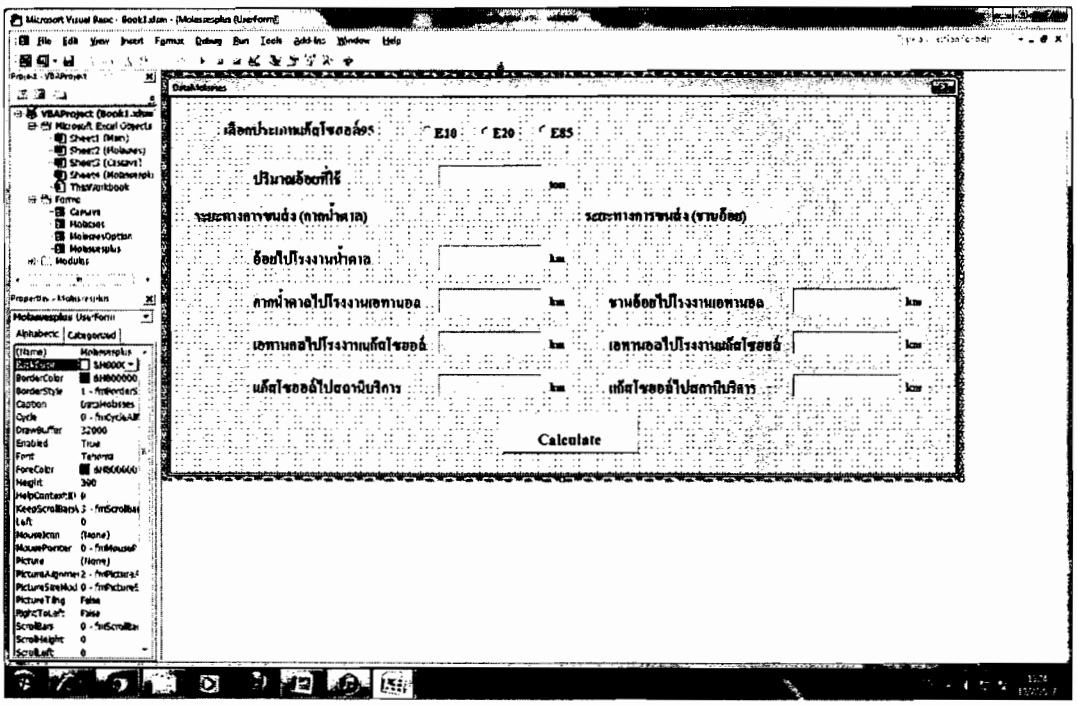
15. กลับไปที่หน้าของ Visual Basic ที่ Forms > Insert เลือก UserForm สร้าง Form เพื่อกรอกข้อมูลที่ต้องใช้สำหรับการใช้กากน้ำตาลอย่างเดียวเป็นวัตถุดิบ เปลี่ยนชื่อและสร้างแบบฟอร์มโดยมีรูปร่างดังรูป



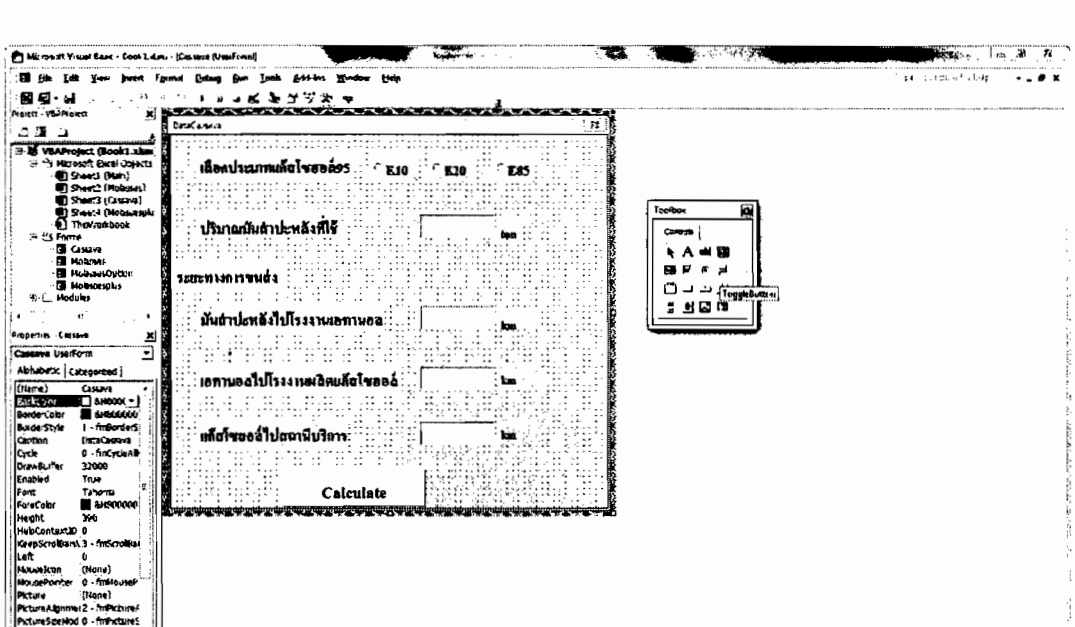




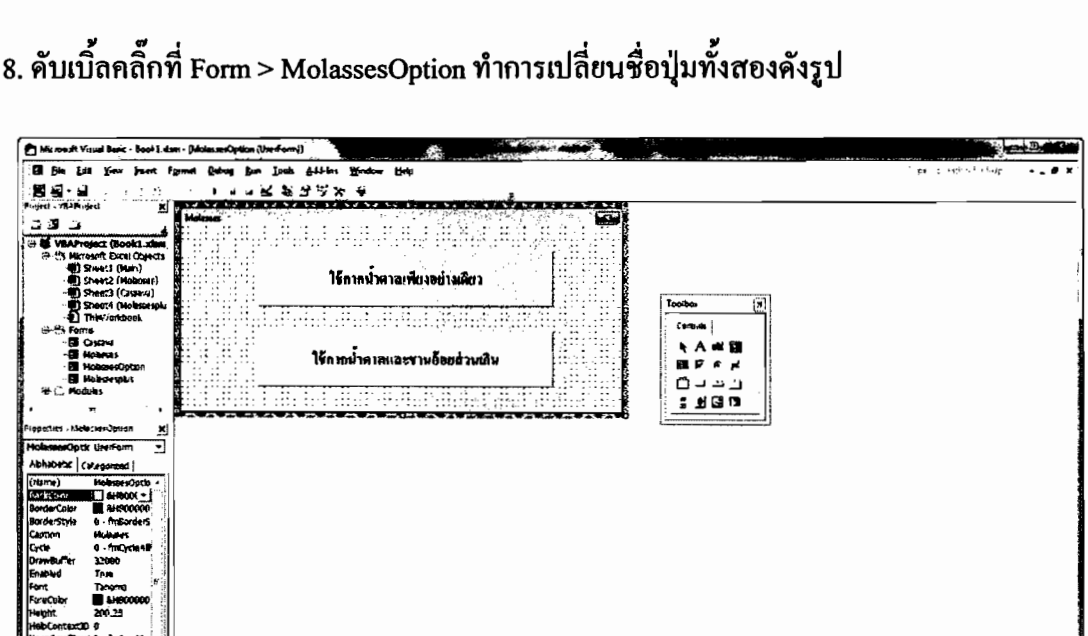
16. ที่ Forms > Insert เลือก UserForm สร้าง Form เพื่อกรอกข้อมูลที่ต้องใช้สำหรับการใช้กากน้ำตาล และชานอ้อยเป็นวัตถุดิบ เปลี่ยนชื่อและสร้างแบบฟอร์มโดยมีรูปร่างดังรูป



17. ที่ Forms > Insert เลือก UserForm สร้าง Form เพื่อกรอกข้อมูลที่ต้องใช้สำหรับการใช้มันสำปะหลังเป็นวัตถุดิบ เปลี่ยนชื่อและสร้างแบบฟอร์มโดยมีรูปร่างดังรูป



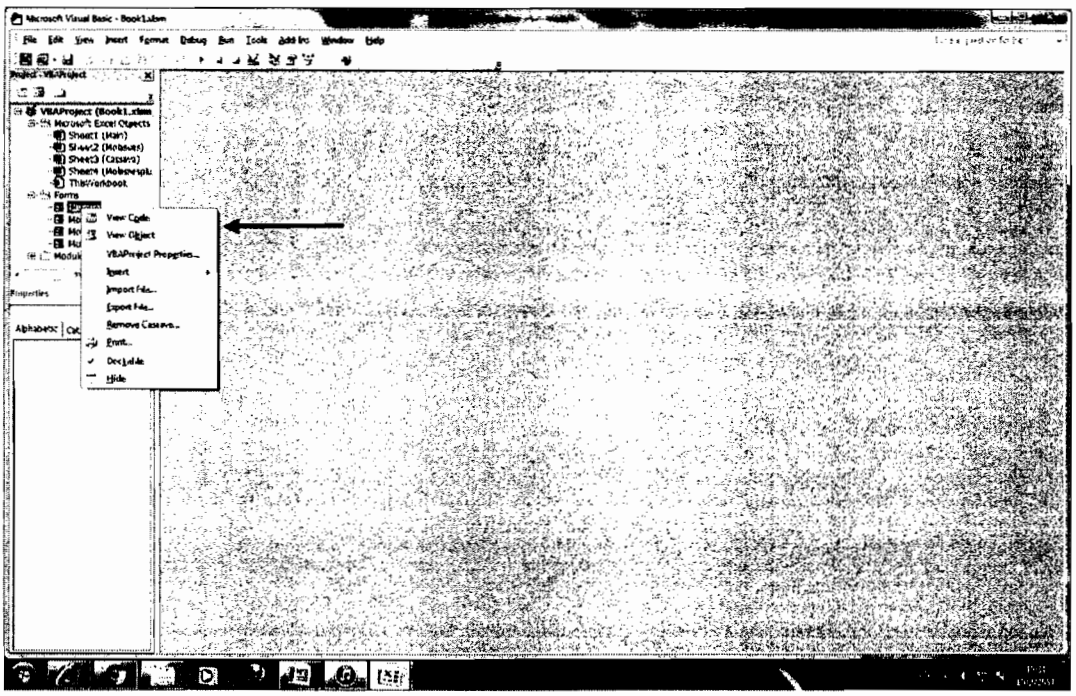
18. ดับเบิ้ลคลิ๊กที่ Form > MolassesOption ทำการเปลี่ยนชื่อปุ่มทั้งสองดังรูป

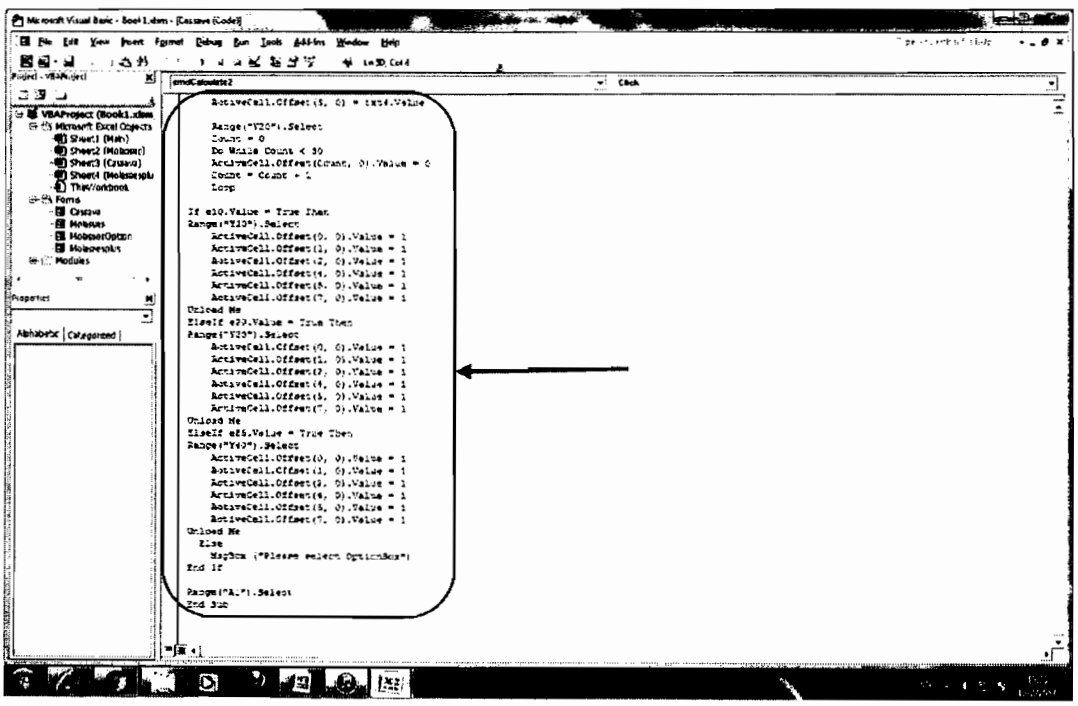


19. ที่ Forms คลิ๊กขวา Cassava เลือก View Code แล้วพิมพ์ code :

```
Private Sub cmdCalculate2_Click()


ActiveWorkbook.Sheets("Cassava").Activate
   Range("Z2").Select
   ActiveCell.Value = txt1.Text
   ActiveCell.Offset(1, 0) = txt2.Value
   ActiveCell.Offset(2, 0) = txt3.Value
   ActiveCell.Offset(3, 0) = txt4.Value


   Range("Y20").Select
   Count = 0
   Do While Count < 30
   ActiveCell.Offset(Count, 0).Value = 0
   Count = Count + 1
   Loop


If e10.Value = True Then
Range("Y20").Select
   ActiveCell.Offset(0, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(1, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(2, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(4, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(5, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(7, 0).Value = 1
Unload Me
```

```
ElseIf e20.Value = True Then
Range("Y30").Select
   ActiveCell.Offset(0, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(1, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(2, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(4, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(5, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(7, 0).Value = 1
Unload Me
ElseIf e85.Value = True Then
Range("Y40").Select
   ActiveCell.Offset(0, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(1, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(2, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(4, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(5, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(7, 0).Value = 1
Unload Me
 Else
   MsgBox ("Please select OptionBox")
End If

Range("A1").Select
End Sub
```



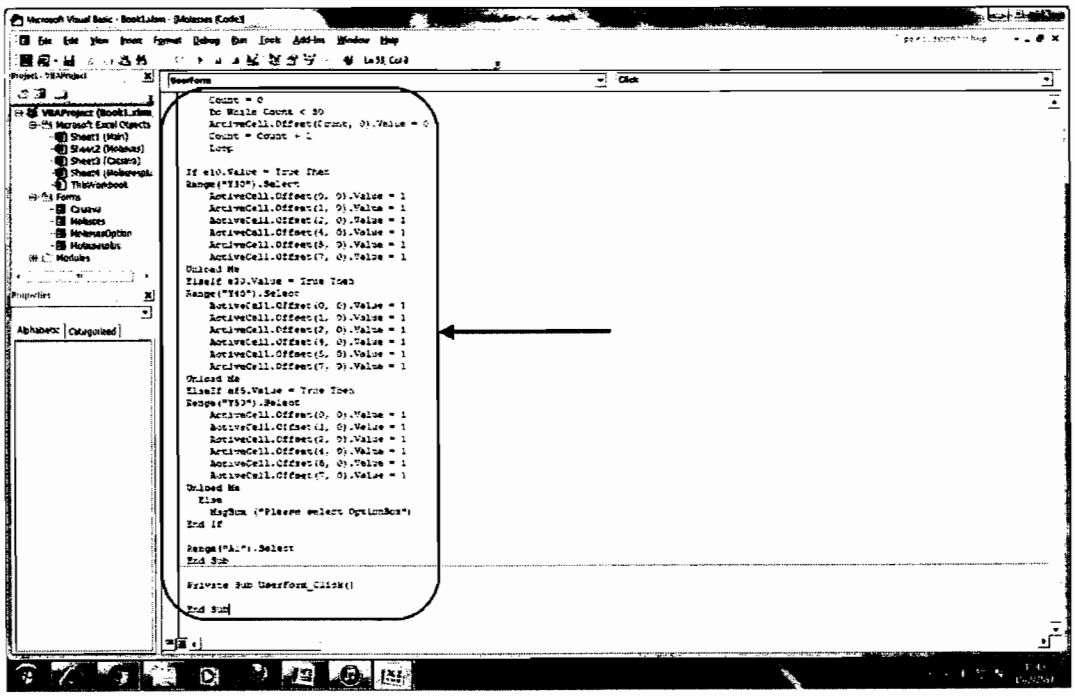


ในการเขียน code จะเป็นการสั่งให้ค่าที่ผู้ใช้ใส่ใน Form ของ Cassava ปรากฏในเซลล์คอลัมน์ Z2 ถึง Z5 และค่าที่เลือกชนิดของน้ำมันแก๊สโซฮอล์จะปรากฏในเซลล์คอลัมน์ Y20 ถึง Y49 เป็นเลข 0 และ1 หมายความว่าเมื่อเลือกน้ำมันชนิดใดแล้ว น้ำมันที่เลือกจะแสดงตัวเลข 1 ส่วนที่ไม่ได้เลือกจะแสดงตัวเลข 0

20. ที่ Forms คลิ๊กขวา Molasses เลือก View Code แล้วพิมพ์ code :

```
Private Sub cmdCalculate_Click()
ActiveWorkbook.Sheets("Molasses").Activate
  Range("Z2").Select
  ActiveCell.Value = txt1.Text
  ActiveCell.Offset(1, 0) = txt2.Value
  ActiveCell.Offset(2, 0) = txt3.Value
  ActiveCell.Offset(3, 0) = txt4.Value
  ActiveCell.Offset(4, 0) = txt5.Value

  Range("Y30").Select
  Count = 0
  Do While Count < 30
  ActiveCell.Offset(Count, 0).Value = 0
  Count = Count + 1
  Loop

If e10.Value = True Then
Range("Y30").Select
  ActiveCell.Offset(0, 0).Value = 1
  ActiveCell.Offset(1, 0).Value = 1
  ActiveCell.Offset(2, 0).Value = 1
  ActiveCell.Offset(4, 0).Value = 1
  ActiveCell.Offset(5, 0).Value = 1
  ActiveCell.Offset(7, 0).Value = 1
Unload Me
```

```
ElseIf e20.Value = True Then
Range("Y40").Select
   ActiveCell.Offset(0, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(1, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(2, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(4, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(5, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(7, 0).Value = 1
Unload Me
ElseIf e85.Value = True Then
Range("Y50").Select
   ActiveCell.Offset(0, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(1, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(2, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(4, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(5, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(7, 0).Value = 1
Unload Me
 Else
   MsgBox ("Please select OptionBox")
End If
Range("A1").Select
End Sub
Private Sub UserForm_Click()


End Sub
```



ในการเขียน code จะเป็นการสั่งให้ค่าที่ผู้ใช้ใส่ใน Form ของ Molasses ปรากฏในเซลล์คอลัมน์ Z2 ถึง Z6 และค่าที่เลือกชนิดของน้ำมันแก๊สโซฮอล์จะปรากฏในเซลล์คอลัมน์ Y30 ถึง Y59 เป็นเลข 0 และ1

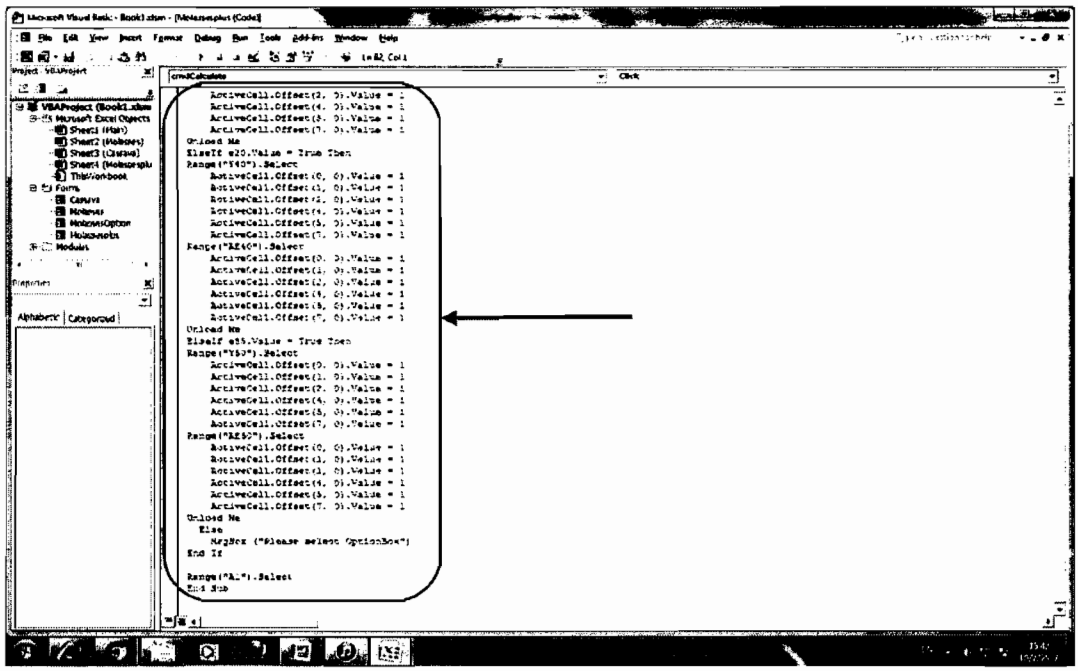
21. ที่ Forms คลิ๊กขวา Molassesplus เลือก View Code แล้วพิมพ์ code :

```
Private Sub cmdCalculate_Click()
ActiveWorkbook.Sheets("Molassesplus").Activate
  Range("Z2").Select
  ActiveCell.Value = txt1.Text
  ActiveCell.Offset(1, 0) = txt2.Value
  ActiveCell.Offset(2, 0) = txt3.Value
  ActiveCell.Offset(3, 0) = txt4.Value
  ActiveCell.Offset(4, 0) = txt5.Value

  Range("AE4").Select
```

```
ActiveCell.Value = txt11.Text
ActiveCell.Offset(1, 0) = txt12.Value
ActiveCell.Offset(2, 0) = txt13.Value

Range("Y30").Select
Count = 0
Do While Count < 30
ActiveCell.Offset(Count, 0).Value = 0
Count = Count + 1
Loop
Range("AE30").Select
Count = 0
Do While Count < 30
ActiveCell.Offset(Count, 0).Value = 0
Count = Count + 1
Loop

If e10.Value = True Then
Range("Y30").Select
   ActiveCell.Offset(0, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(1, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(2, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(4, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(5, 0).Value = 1
   ActiveCell.Offset(7, 0).Value = 1
Range("AE30").Select
```

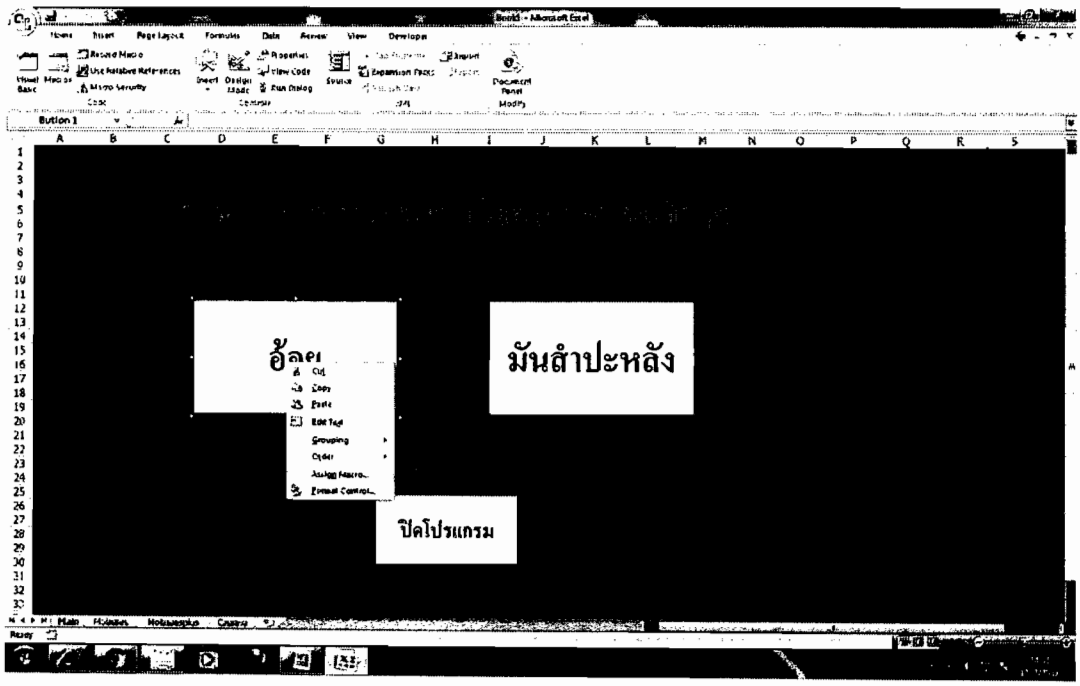
```
    ActiveCell.Offset(0, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(1, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(2, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(4, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(5, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(7, 0).Value = 1
Unload Me
ElseIf e20.Value = True Then
Range("Y40").Select
    ActiveCell.Offset(0, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(1, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(2, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(4, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(5, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(7, 0).Value = 1
Range("AE40").Select
    ActiveCell.Offset(0, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(1, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(2, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(4, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(5, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(7, 0).Value = 1
Unload Me
ElseIf e85.Value = True Then
Range("Y50").Select
    ActiveCell.Offset(0, 0).Value = 1
```

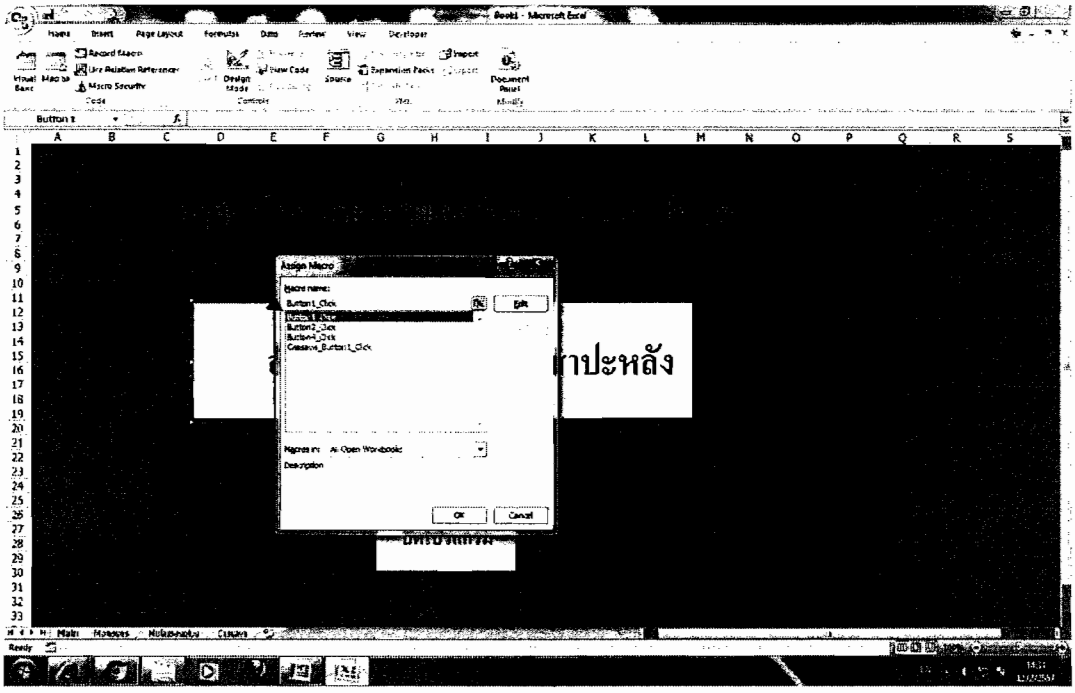
```
    ActiveCell.Offset(1, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(2, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(4, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(5, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(7, 0).Value = 1
Range("AE50").Select
    ActiveCell.Offset(0, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(1, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(2, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(4, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(5, 0).Value = 1
    ActiveCell.Offset(7, 0).Value = 1
Unload Me
  Else
    MsgBox ("Please select OptionBox")
End If

Range("A1").Select
End Sub
```



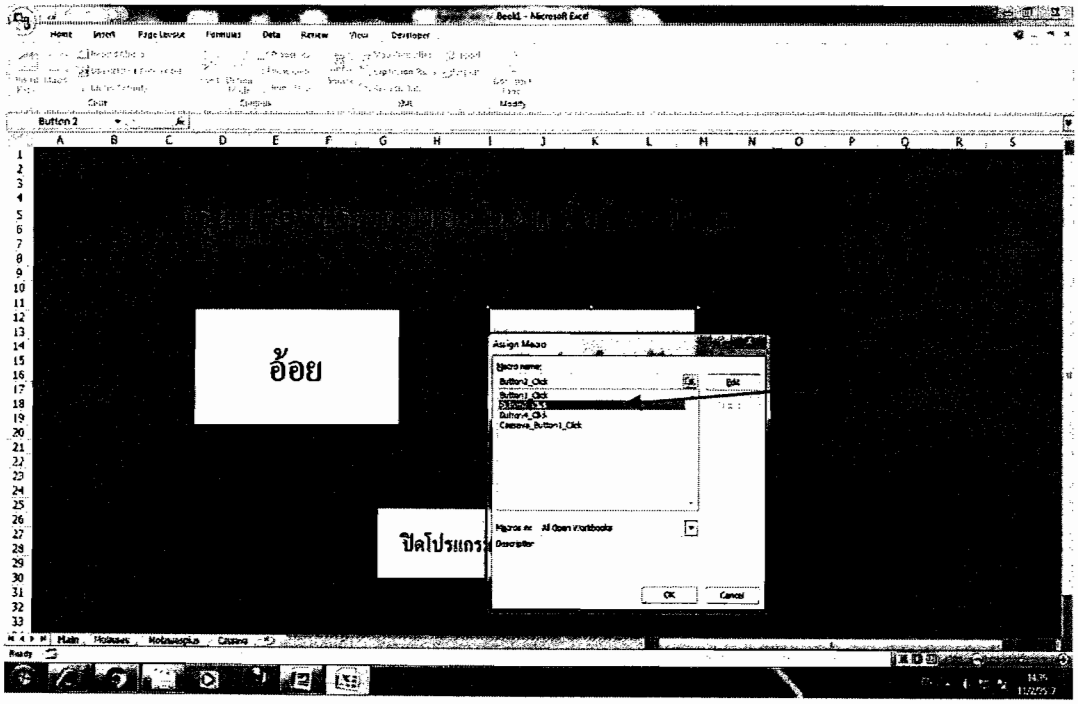
ในการเขียน code จะเป็นการสั่งให้ค่าที่ผู้ใช้ใส่ใน Form ของ Molassesplus ปรากฏในเซลล์คอลัมน์ Z2 ถึง Z6 และเซลล์คอลัมน์ AE4 ถึง AE6 ส่วนค่าที่เลือกชนิดของน้ำมันแก๊สโซฮอล์จะปรากฏในเซลล์คอลัมน์ Y30 ถึง Y59 และเซลล์คอลัมน์ AE30 ถึง AE59 เป็นเลข 0 และ1

22. กลับไปที่หน้าของ Excel ในชีท Main ทำการกำหนดมาโครโดยคลิ๊กขวาที่ปุ่มอ้อย เลือก Assign Macro แล้วเลือก Button1_Click กด OK

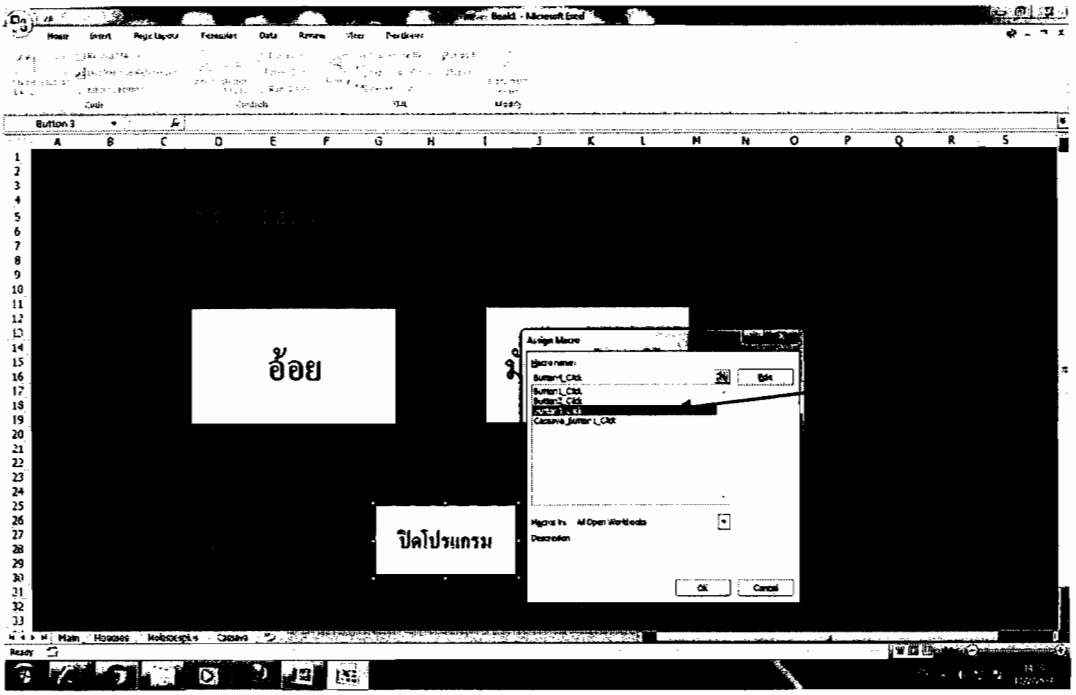




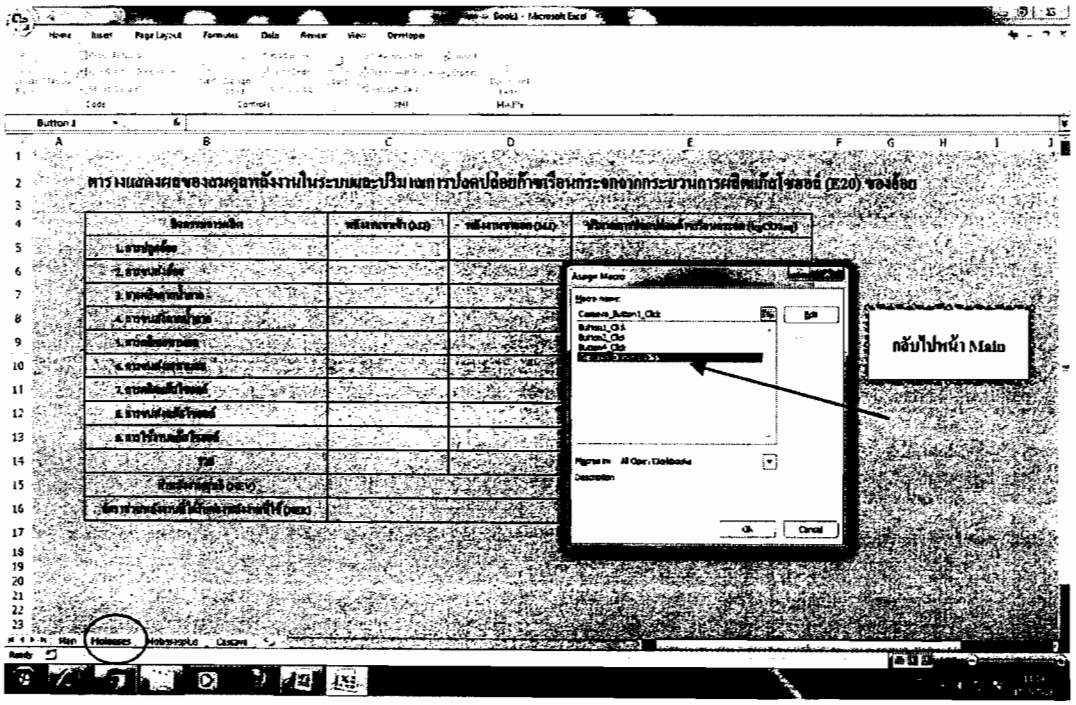
23. ในชีท Main กำหนดมาโครปุ่มมันสำปะหลัง เลือก Assign Macro แล้วเลือก Button2_Click กด OK

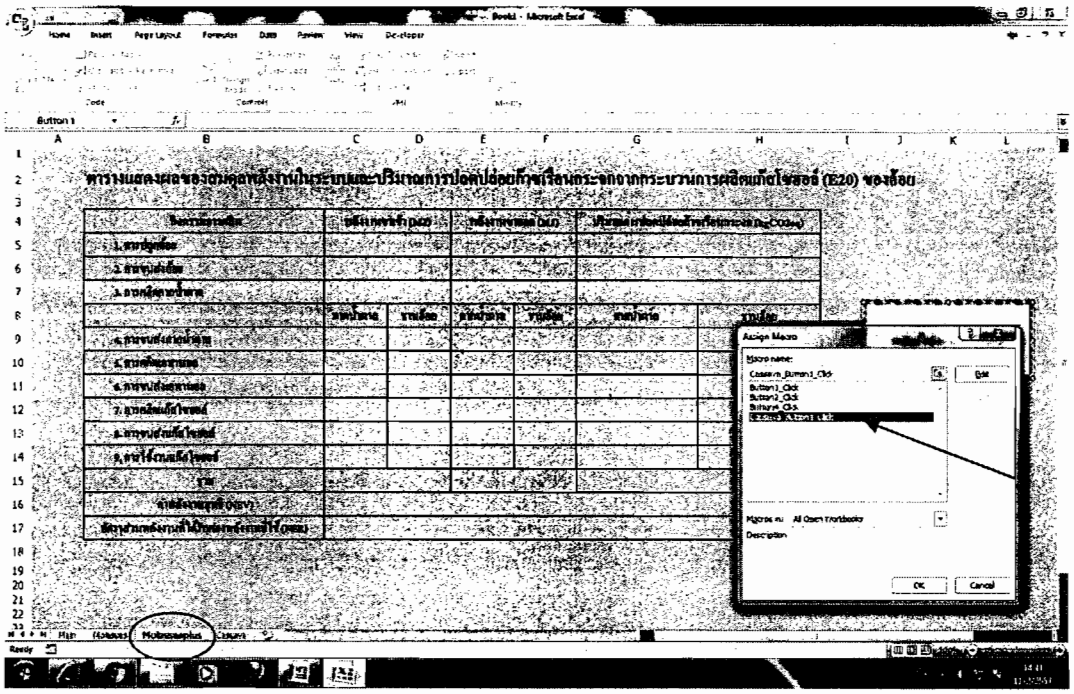


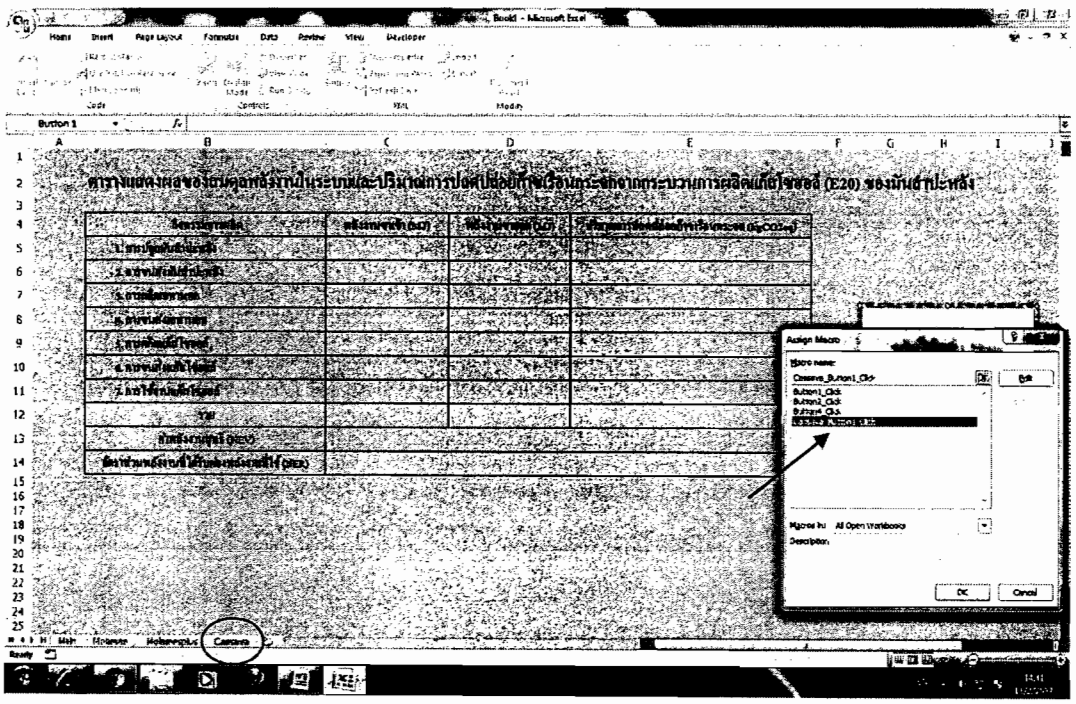
24. ในชีท Main กำหนดมาโครปุ่มปิดโปรแกรม เลือก Assign Macro แล้วเลือก Button4_Click กด OK



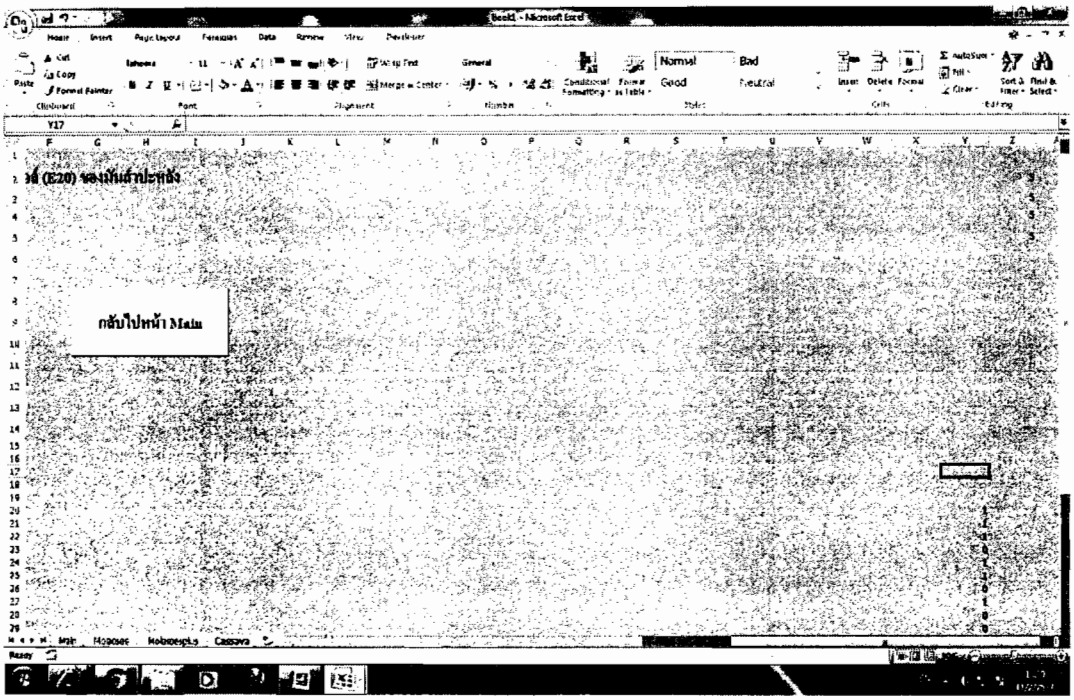
25. ในชีท Molasses, Molassesplus และ Cassava กำหนดมาโครปุ่มกลับไปหน้า Main เลือก Assign Macro แล้วเลือก Cassava_Button1_Click กด OK ทำทั้ง 3 ชีท



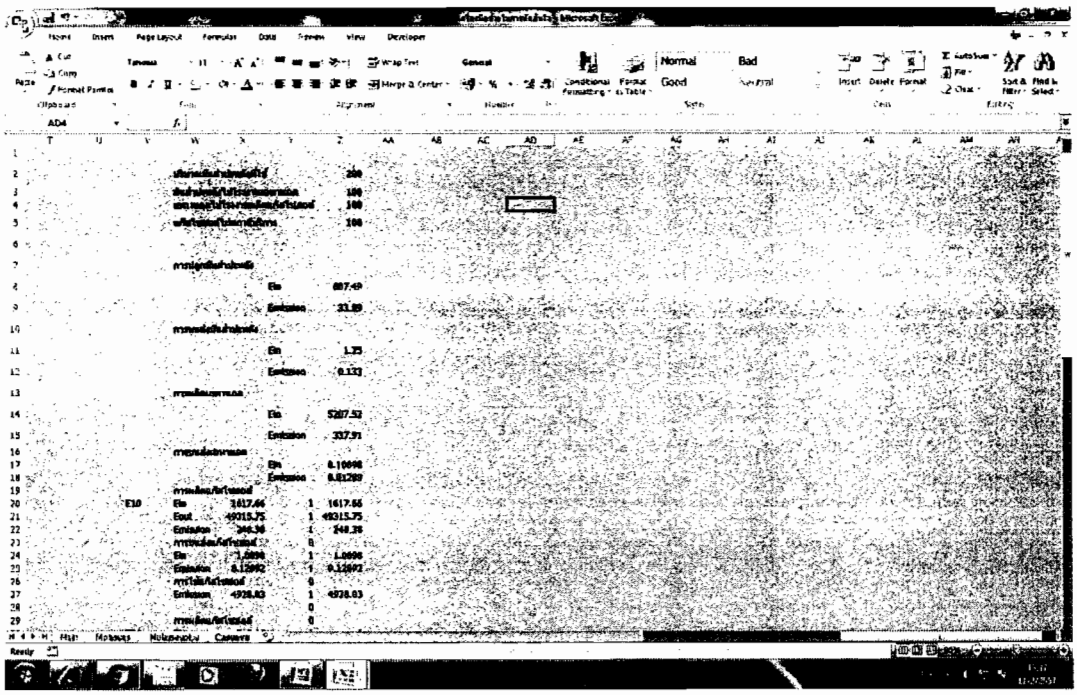




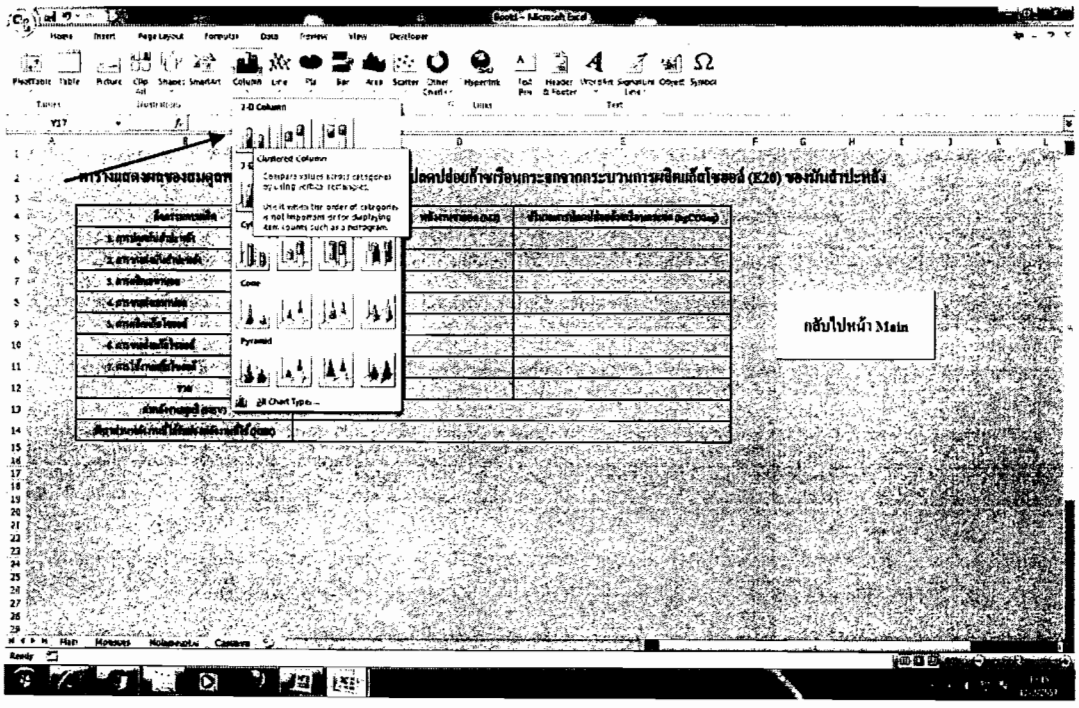
26. จากนั้นจะได้ค่าที่ต้องใช้ในการคำนวณของสมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นมา ซึ่งค่าที่ใส่ในแต่ละ Form ของการเลือกวัตถุดิบที่ต้องการใช้จะถูกส่งไปยังเซลล์ที่กำหนดไว้ในขั้นตอนการเขียน code ของ Form ตัวอย่างเช่น ใน Form ของ Cassava ค่าที่ใส่ใน Form จะมี 4 ค่า ได้แก่ ปริมาณมันสำปะหลังที่ใช้ ค่านี้จะถูกส่งไปยังเซลล์ Z2 ค่าระยะทางการขนส่งมันสำปะหลังไปโรงงานเอทานอล ค่านี้จะถูกส่งไปยังเซลล์ Z3 ค่าระยะทางการขนส่งเอทานอลไปโรงงานผลิตแก๊สโซฮอล์ ค่านี้จะถูกส่งไปยังเซลล์ Z4 และค่าระยะทางการขนส่งแก๊สโซฮอล์ไปสถานีบริการ ค่านี้จะถูกส่งไปยังเซลล์ Z5 และค่าของชนิดน้ำมันที่เลือก ตัวอย่างเช่น ถ้าเลือกน้ำมัน E10 ค่าเลข 1 จะถูกส่งไปยังเซลล์ Y20 ถึง Y27 นอกนั้นเป็นค่า 0 ดังรูป

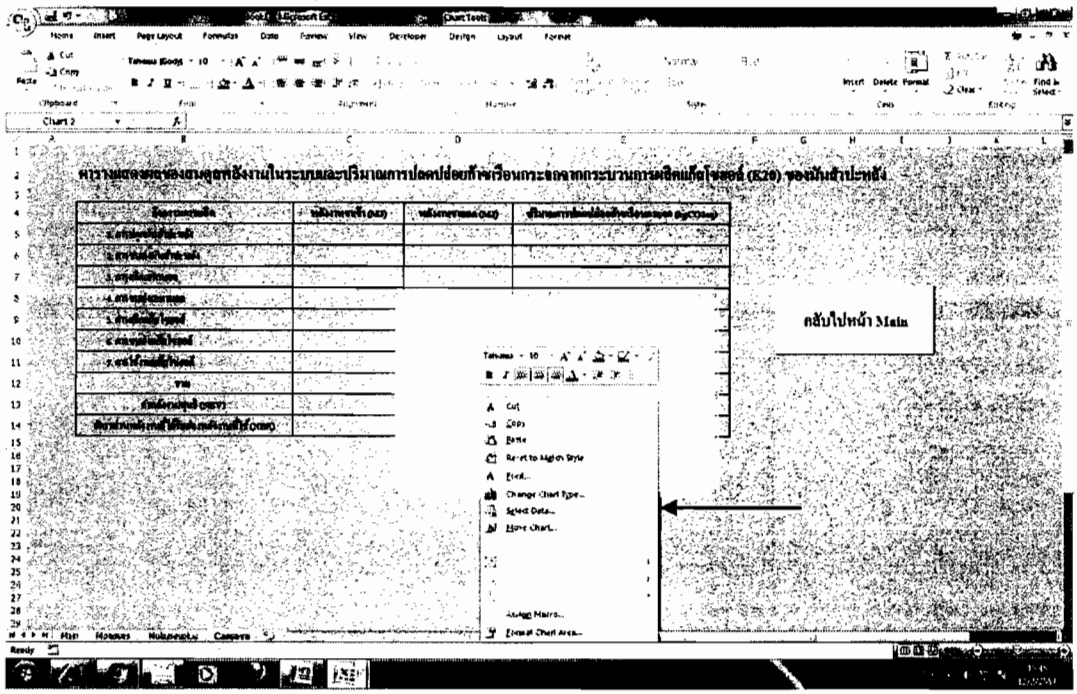


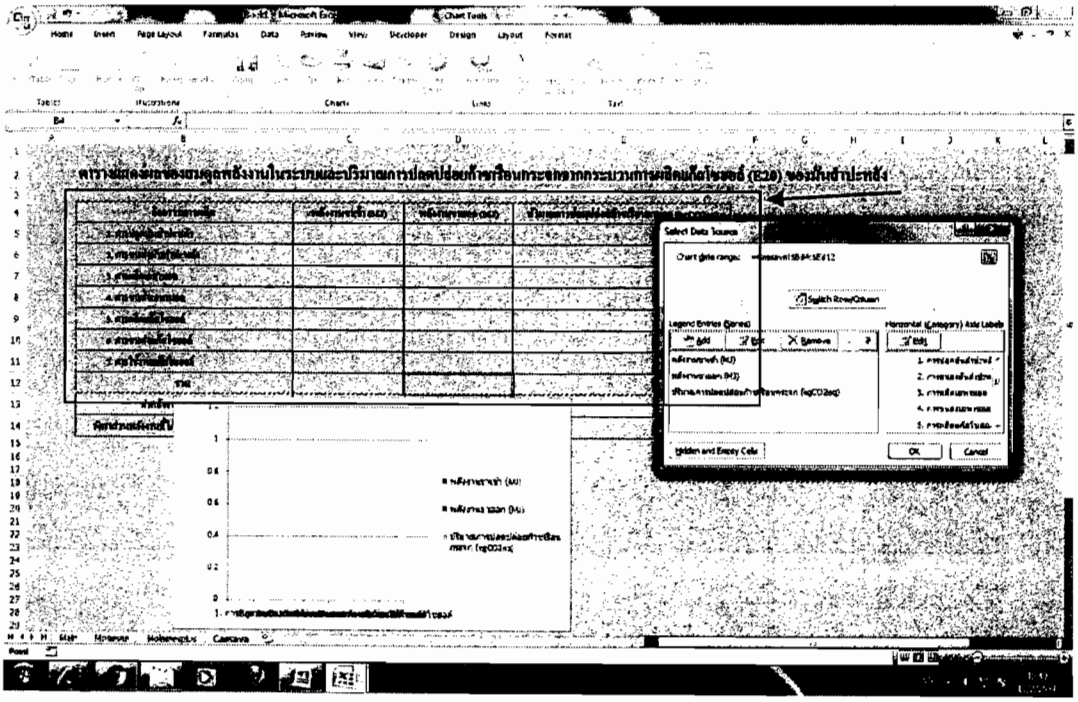
จากนั้นเขียนรายละเอียดของค่าที่ถูกส่งมาจาก Form เพื่อไม่ให้สับสน และเขียนรายละเอียดค่าคงที่ที่ใช้ในการคำนวณ เพื่อที่จะนำค่าแต่ละเซลล์มาคำนวณแล้วแสดงผลการคำนวณในตาราง ตัวอย่างดังรูป

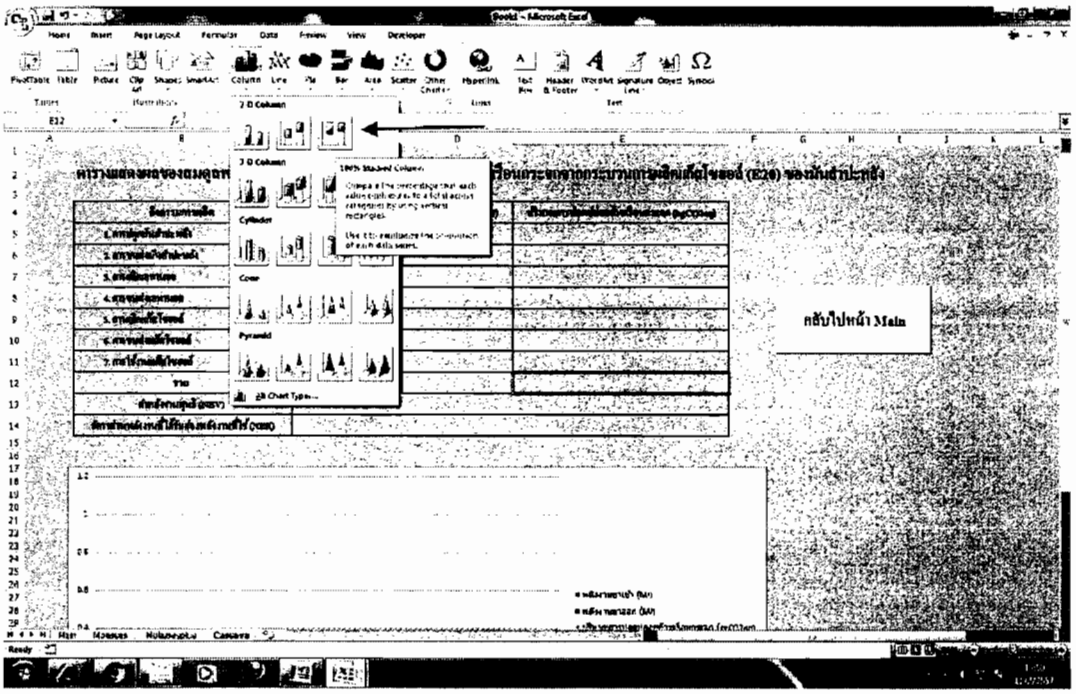


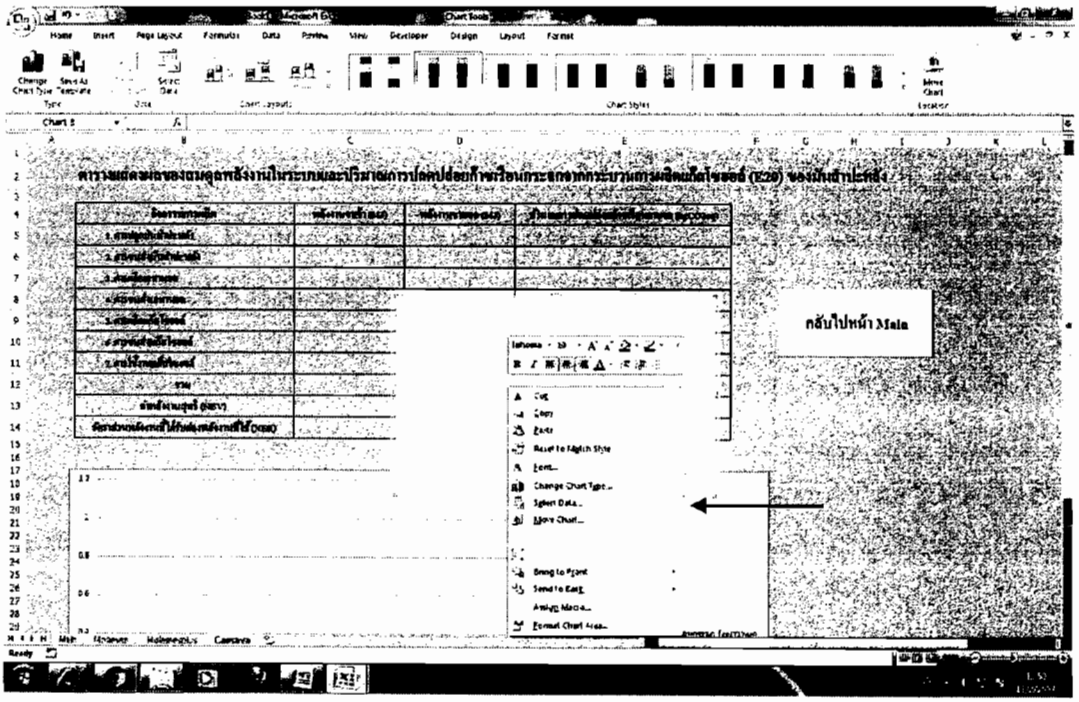
27. สร้างกราฟในแต่ละชีท ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้แสดงกราฟ 2 แบบคือ Clustered Column (แผนภูมิคอลัมน์แบบกลุ่ม) และ 100% Stacked Column (แผนภูมิคอลัมน์แบบเรียงซ้อน 100%) เป็นการแสดงค่าที่คำนวณได้จากตารางในรูปของกราฟ ซึ่งมีขั้นตอนดังรูป

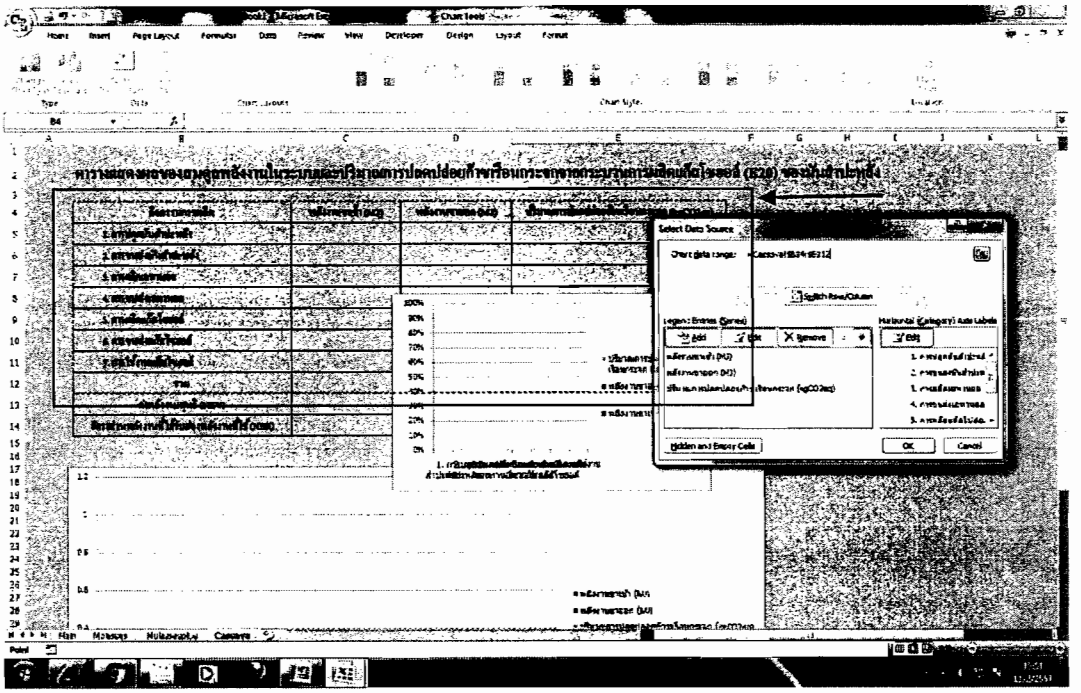


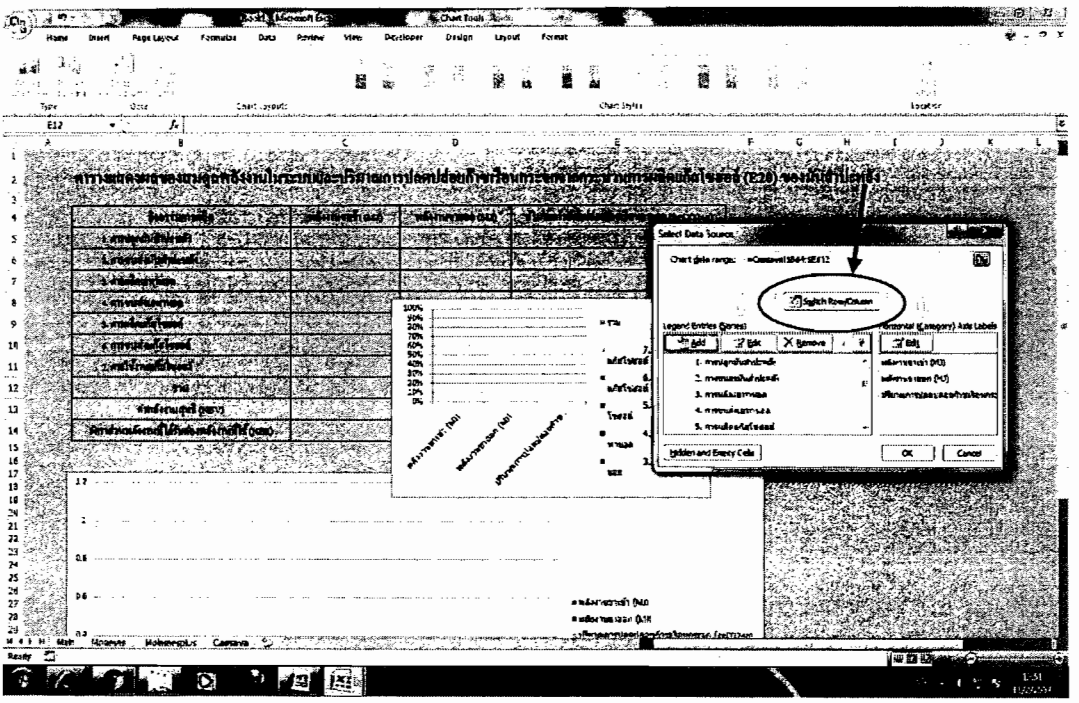

กลับไปหน้า Main

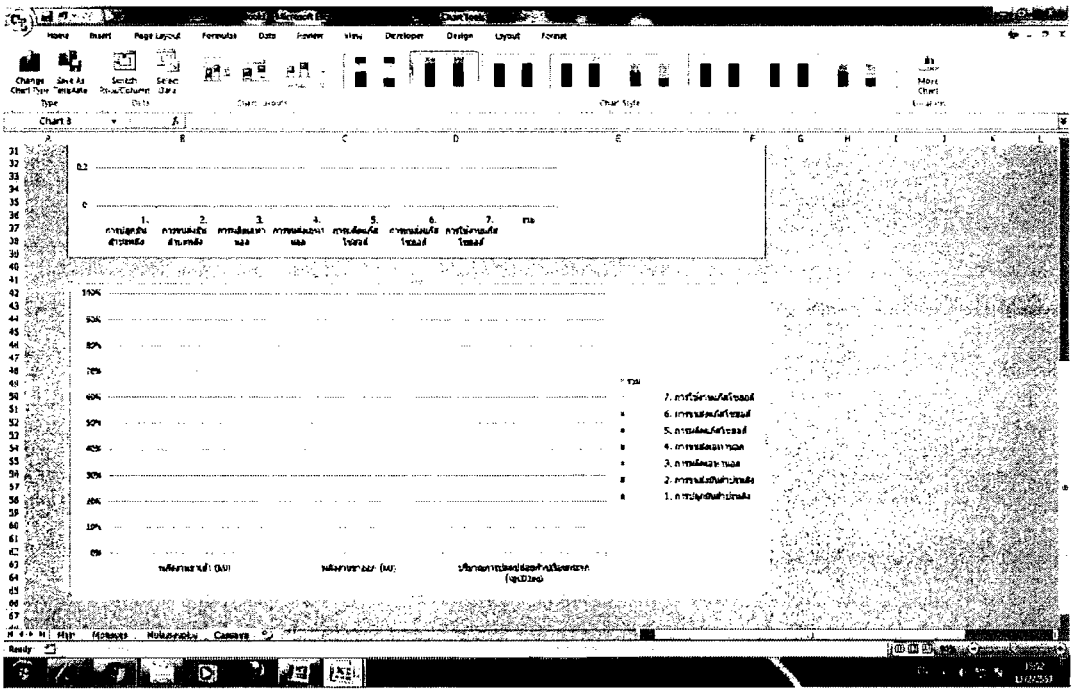



กลับไปหน้า Main


กลับไปหน้า Main







ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายอัครพล โพธิ์ศรี
วัน เดือน ปีเกิด	26 มิถุนายน 2528
ประวัติการศึกษา	พ.ศ.2547-2551
	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.)
	มหาวิทยาลัยบูรพา
ประวัติการทำงาน	พ.ศ.2555 – ปัจจุบัน
	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	วิศวกร ระดับ 4
	โรงไฟฟ้าพลังน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
	ตำบลเขื่อนอุบลรัตน์ อำเภอบางอุบลรัตน์
	จังหวัดขอนแก่น 40250