

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



249213



การประเมินต้นทุนภายนอกจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกระบวนการ
ผลิตเอทานอล จากวัตถุดิบมันสำปะหลังและกากน้ำตาลในประเทศไทย

โดย

นางสาวศรณภา ชะเอมฉายา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นงานที่เจ้าของลิขสิทธิ์ขอสงวนสิทธิ์

ใช้เฉพาะในสถาบันการศึกษาเท่านั้น

สาขาวิชาเทคโนโลยีการศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

พ.ศ. ๒๕๕๔



249213

การประเมินต้นทุนภายนอกจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกระบวนการ
ผลิตเอทานอล จากวัตถุดิบมันสำปะหลังและกากน้ำตาลในประเทศไทย

โดย

นางสาวพรนภา สามงามยา



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2554

อธินันทนากา

ภาว

External Environmental Cost of Ethanol Production Process from
Cassavas and Molasses in Thailand

By

Miss.Phornnapa Samngamya

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in
Energy and Environmental Technology Management
Department of Chemical Engineering Faculty of Engineering
Thammasat University

2011

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวพรนภา สามงามยา

เรื่อง

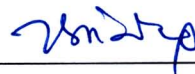
การประเมินต้นทุนภายนอกจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบ
มันสำปะหลังและกากน้ำตาลในประเทศไทย

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 6 มิถุนายน พ.ศ. 2554

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร. นุรักษ์ กฤษดาบุรุษ)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



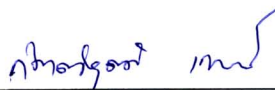
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันวิสาข์ สกลภาพ)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรรัตน์ ปัตตประกร)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(ดร. กิตติวุฒิ เกษมวงศ์)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ดร. อรุยา วีสุกุล)

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินต้นทุนภายนอกจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของกระบวนการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% จากวัตถุดิบมันเส้น และกากน้ำตาลในประเทศไทย โดยขอบเขตสำหรับการศึกษา จะประเมินเฉพาะในส่วนของกระบวนการผลิตเอทานอล อันประกอบด้วย ขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ การย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาล (กรณีวัตถุดิบเป็นมันสำปะหลัง) การหมัก การกลั่น การระเหยดีน้ำ การบำบัดน้ำเสีย รวมถึงการผลิตไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการ โดยหน่วยของการศึกษา คือเอทานอล 99.5% จำนวน 1 ลิตรที่กำลังการผลิต 150,000 ลิตรต่อวัน และรายการสิ่งแวดล้อม (Environmental Flows) ที่เลือกศึกษา คือก๊าซเสีย ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ก๊าซมีเทน (CH_4) และน้ำเสียภายหลังกระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงาน ได้แก่ ค่า BOD และ COD ตามวิธีการศึกษาจากข้อมูล EPS 2000 (Environment Priority Strategies in Product Design, Version 2000) โดยทำการศึกษาด้านต้นทุนภายนอกจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแบ่งเป็นสองกรณี : (1) กรณีที่ไม่พิจารณานำผลพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการมาใช้ประโยชน์ (2) กรณีที่พิจารณานำผลพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการ ได้แก่ การนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากกระบวนการหมัก เพื่อผลิตเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เหลว รวมถึงการนำก๊าซชีวภาพจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย เพื่อเป็นเชื้อเพลิงทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตไอน้ำ และกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในกระบวนการ

ผลการศึกษาพบว่า มูลค่าต้นทุนภายนอกจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ของกระบวนการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% จากวัตถุดิบมันสำปะหลัง และกากน้ำตาล ในกรณีที่ไม่พิจารณานำผลพลอยได้จากกระบวนการมาใช้ประโยชน์ คือ 2.37 และ 4.59 บาทต่อลิตรเอทานอล ตามลำดับ และหากมีการพิจารณานำผลพลอยได้จากกระบวนการมาใช้ประโยชน์ จะสามารถลดมูลค่าต้นทุนภายนอกจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมให้อยู่ที่ 0.84 และ 0.65 บาทต่อลิตรเอทานอลตามลำดับ ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ในกลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพ และการเจ็บป่วยของมนุษย์

จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหว ของมูลค่าต้นทุนภายนอกจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น ต่อการเปลี่ยนแปลงที่ 10% ของปริมาณปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณรายการสิ่งแวดล้อมที่สนใจศึกษา ได้แก่ ปริมาณการใช้ไฟฟ้า ปริมาณการใช้ไอน้ำ ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น และปริมาณ COD ในน้ำเสีย พบว่ากรณีที่มิได้พิจารณานำผลพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการมาใช้ประโยชน์ มูลค่าต้นทุนภายนอกจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ของกระบวนการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5% จากวัตถุดิบมันเส้น และกากน้ำตาล อ่อนไหวต่อปริมาณน้ำเสีย และปริมาณ COD ในน้ำเสียที่เกิด

249213

จากน้ำกากส่า และกรณีที่พิจารณาการนำผลพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการมาใช้ประโยชน์
มูลค่าต้นทุนภายนอกจากผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ของกระบวนการผลิตเอทานอลบริสุทธิ์ 99.5%
จากวัตถุดิบมันเส้น และกากน้ำตาล อ่อนไหวต่อปริมาณการใช้ไอน้ำในกระบวนการมากกว่าปัจจัย
อื่น

This study was aimed to evaluate the external environmental costs of 99.5% ethanol derived from cassava chips and molasses in Thailand. The study was focused only on ethanol conversion processes such as milling and mixing, liquefaction, saccharification (only for cassava chips used as raw materials), dilution (only for molasses used as raw materials), fermentation, distillation, dehydration, wastewater treatment including electricity consumption and steam production in the process. The estimation of external costs per liter ethanol was based on capacity of ethanol production process of 150,000 liters per day. The selected environmental flows were air emission such as carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4) and the amount of BOD and COD from wastewater after treatment by using the data of external environmental costs from EPS 2000 (Environment Priority Strategies in Product Design, Version 2000). This study was divided into two cases as follows: (1) the external cost estimation excluding by-product utilization and (2) the external cost estimation including by-product utilization such as carbon dioxide produced from fermentation process used as liquid of carbon dioxide and biogas produced from wastewater treatment used as an additional fuel in steam and electricity production.

In the case of external cost estimation without by-product utilization, the external costs of ethanol from cassava chips and molasses were 2.37 and 4.59 baht per liter of ethanol, respectively. For the case of the external cost estimation including by-product utilization, the external costs of ethanol produce from cassava chips and molasses were reduced to 0.84 and 0.65 baht per liter of ethanol, respectively. As result, the external environmental costs of ethanol production process were mainly accounted for human health impact.

The sensitivity of external cost on 10% variation of electricity energy consumption, the volume of steam production, the volume of waste water from distillery slop, and the amount of COD in wastewater was performed. It was found that in case of external cost estimation without by-product utilization, the external environmental costs

of 99.5% ethanol production process derived from cassava chips and molasses were the most sensitive to the change in volume of wastewater from distillery slop and the amount of COD in wastewater. In the case of the external cost estimation including by-product utilization, the external environmental costs of 99.5% ethanol production process derived from cassava chips and molasses are the most sensitive to the change in the volume of steam production.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่อาจสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากปราศจากความกรุณา และความเอาใจใส่จาก รองศาสตราจารย์ ดร. วันวิสาข์ สกลภาพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งได้ให้คำแนะนำ และแนวความคิดในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนสนับสนุนการทำวิจัยอย่างเต็มที่ในทุกๆ ด้าน รวมถึงได้ตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ ดังนั้นผู้เขียนจึงขอขอบพระคุณไว้อย่างสูง ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.กิตติวุฒิ เกษมวงศ์ จากศูนย์นาโนเทคโนโลยีแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ได้ให้การอนุเคราะห์ข้อมูลจากการสำรวจโรงงานซึ่งเป็นข้อมูลหลักในการศึกษาในครั้งนี้ และกรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำปรึกษาข้อคิดเห็น ที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. นุรักษ์ กฤษดานุรักษ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรรัตน์ บัตรประกร อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำปรึกษาข้อคิดเห็น ที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์ เพื่อให้วิทยานิพนธ์สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่ได้ให้ความรู้ และอำนวยความสะดวกในการศึกษาแก่ผู้เขียนมาโดยตลอด และขอขอบคุณ พี่ๆ น้องๆ เพื่อนๆ ที่ได้ช่วยอำนวยความสะดวกในเรื่องที่พัก และการเดินทางระหว่างการศึกษาแก่ผู้เขียน รวมถึงให้คำปรึกษาและคำแนะนำในด้านต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และพี่ ที่ได้ให้กำลังใจ และผลักดันจนทำให้การศึกษาของผู้เขียนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายนี้ประโยชน์ที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่บุคคลที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ส่วนข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้เพียงผู้เดียว

นางสาวพรนภา สามงามยา

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

พ.ศ. 2554

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	(1)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญภาพประกอบ	(10)
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	6
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และงานวิจัยที่ผ่านมา	7
2.1 กระบวนการผลิตเอทานอล	7
2.2 ขั้นตอนการผลิตเอทานอลด้วยวิธีการหมัก	10
2.3 ของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเอทานอล	17
2.4 ระบบการบำบัดน้ำเสีย แบบไร้อากาศ	21
2.5 การประเมินต้นทุนภายนอก จากผลกระทบสิ่งแวดล้อม	25
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. ขั้นตอนการศึกษาวิจัย.....	40
3.1 การกำหนดเป้าหมาย และขอบเขตการศึกษา.....	40
3.2 การรวบรวมข้อมูลรายการสิ่งแวดล้อม	41
3.3 การประเมินมูลค่าต้นทุนภายนอก จากผลกระทบสิ่งแวดล้อม	46
3.4 การแปลผล และสรุปผลการศึกษา.....	49
4. ผลการศึกษาวิจัย	50
4.1 กรณีที่ไม่พิจารณานำผลพลอยได้มาประโยชน์.....	51
4.2 กรณีที่พิจารณานำผลพลอยได้มาใช้ประโยชน์.....	53
4.3 การวิเคราะห์ความอ่อนไหว	55
5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	60
5.1 กรณีที่ไม่พิจารณานำผลพลอยได้มาใช้ประโยชน์	60
5.2 กรณีที่พิจารณานำผลพลอยได้มาใช้ประโยชน์	60
5.3 ข้อเสนอแนะ	61
รายการอ้างอิง.....	64
ภาคผนวก	
ก. การคำนวณปริมาณรายการสิ่งแวดล้อม	66
ข. การคำนวณมูลค่าต้นทุนภายนอก จากผลกระทบสิ่งแวดล้อม	69
ประวัติการศึกษา.....	72

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ปริมาณเอทานอล ที่ผลิตได้จากวัตถุดิบชนิดต่างๆ	2
1.2	จำนวนโรงงาน และกำลังการผลิตเอทานอลในประเทศ	3
2.1	ปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง.....	19
2.2	คุณภาพน้ำกากส่าจากโรงงานเอทานอลในประเทศไทย	21
2.3	หลักการถ่วงน้ำหนักในแต่ละวิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม	30
2.4	ประเภทผลกระทบ และตัวชี้วัดในกลุ่มผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์.....	31
2.5	ประเภทผลกระทบ และตัวชี้วัดในกลุ่มผลกระทบต่อการผลิตของระบบนิเวศ .	31
2.6	ประเภทผลกระทบ และตัวชี้วัดในกลุ่มผลกระทบต่อปริมาณทรัพยากร	31
2.7	ประเภทผลกระทบ และตัวชี้วัดในกลุ่มผลกระทบต่อความหลากหลายทางชีวภาพ	32
2.8	ขนาดผลกระทบต่อหน่วยตัวบ่งชี้วัดประเภทผลกระทบ.....	33
2.9	มูลค่าความเต็มใจที่จะจ่าย ในแต่ละกลุ่มผลกระทบหลักสำหรับประเทศสวีเดน	35
3.1	รายชื่อโรงงานเอทานอล ที่สำรวจข้อมูล	41
3.2	ข้อมูลปริมาณ และคุณภาพ จากการสำรวจโรงงานผลิตเอทานอล.....	42
3.3	ข้อมูลรายการสิ่งแวดล้อมที่ต้องการศึกษา.....	43
3.4	ปริมาณรายการสิ่งแวดล้อมที่สนใจศึกษา กรณีที่พิจารณาไม่ผลพลอยได้จากการผลิตมาใช้ประโยชน์	44
3.5	ปริมาณรายการสิ่งแวดล้อมที่สนใจศึกษา กรณีที่พิจารณานำผลพลอยได้จากการผลิตมาใช้ประโยชน์	46
4.1	มูลค่าต้นทุนภายนอกของผลกระทบสิ่งแวดล้อม จากรายการสิ่งแวดล้อมที่สนใจศึกษา	50
4.2	ต้นทุนภายนอกรวมที่เกิดขึ้น จากกระบวนการผลิตเอทานอล กรณีศึกษาที่ไม่พิจารณานำผลพลอยได้จากการผลิตมาใช้ประโยชน์	57
4.3	ต้นทุนภายนอกรวมที่เกิดขึ้น จากกระบวนการผลิตเอทานอล กรณีศึกษาที่พิจารณานำผลพลอยได้จากการผลิตมาใช้ประโยชน์	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข 1.1	การคำนวณมูลค่าต้นทุนภายนอกผลกระทบสิ่งแวดล้อม กรณีศึกษาที่ไม่พิจารณานำผลพลอยได้จากการผลิตมาใช้ประโยชน์	70
ข 1.2	การคำนวณมูลค่าต้นทุนภายนอกผลกระทบสิ่งแวดล้อม กรณีศึกษาที่พิจารณานำผลพลอยได้จากการผลิตมาใช้ประโยชน์	71

สารบัญภาพประกอบ

ภาพที่	หน้า
1.1 สัดส่วนวัตถุดิบหลักในอุตสาหกรรมเอทานอล ในประเทศไทย	4
1.2 ขอบเขตการศึกษากระบวนการผลิตเอทานอล	5
2.1 ปฏิริยาการสังเคราะห์เอทานอลจากเอทิลีน.....	7
2.2 ถังหมักแบบเบ็ดเสร็จ (Batch fermentation).....	9
2.3 ถังหมักแบบต่อเนื่อง (Continuous)	10
2.4 ปฏิริยาการหมักเอทานอลจากน้ำตาลซูโครส	10
2.5 กระบวนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล.....	11
2.6 ปฏิริยาการหมักเอทานอลจากแป้ง.....	14
2.7 กระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง	15
2.8 น้ำกากส่าจากกระบวนการผลิตเอทานอล	20
2.9 ถังหมักน้ำเสียแบบ UASB.....	22
2.10 ถังหมักน้ำเสียแบบ ABR.....	23
2.11 ถังหมักน้ำเสียแบบ AFFR.....	24
2.12 จุดดุลยภาพของสินค้า	27
2.13 จุดดุลยภาพ และต้นทุนภายนอกที่สังคมต้องรับภาระ	29
3.1 แผนผังแสดงวิธีการศึกษาวิจัย 4 ขั้นตอนหลัก	40
4.1 มูลค่าต้นทุนภายนอก จากการผลิตเอทานอล ในแต่ละกลุ่มผลกระทบ กรณีที่ไม่นิพิจารณานำผลพลอยได้มาใช้ประโยชน์.....	51
4.2 มูลค่าต้นทุนภายนอก จากการผลิตเอทานอล ในแต่ละกลุ่มผลกระทบ กรณีที่พิจารณานำผลพลอยได้มาใช้ประโยชน์.....	53
4.3 การเปลี่ยนแปลงมูลค่าต้นทุนภายนอกรวมของการผลิตเอทานอล ต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณรายการสิ่งแวดล้อม กรณีที่ไม่นิพิจารณานำผลพลอยได้มาใช้ประโยชน์.....	58
4.4 การเปลี่ยนแปลงมูลค่าต้นทุนภายนอกรวมของการผลิตเอทานอล ต่อการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณรายการสิ่งแวดล้อม กรณีที่พิจารณานำผลพลอยได้มาใช้ประโยชน์.....	59