



การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของการประเมินวงจรชีวิตเอทานอล*

An Economic Analysis of Life Cycle Assessment of Ethanol

วินัย พุทธิกุล** ภาควิชาเศรษฐศาสตร์เกษตรและทรัพยากร คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กัมปนาท เพ็ญสุภา ภาควิชาเศรษฐศาสตร์เกษตรและทรัพยากร คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ การศึกษานี้ประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตและการใช้เอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อยเป็นวัสดุเชื้อเพลิงทดแทนสารนำเข้า methyl tert-butyl ether (MTBE) การวิเคราะห์พิจารณาตลอดวงจรชีวิตของแก๊สไฮดรอกซ์ 95 (เบนซินผสมเอทานอลร้อยละ 10 หรือ E10) เปรียบเทียบกับเบนซิน 95 (ใช้ MTBE เป็นสารเพิ่มค่าออกเทน) ผลการวิเคราะห์โดยภาพรวมพบว่าการใช้เอทานอลทดแทน MTBE มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากเกิดการประหยัดในรูปของการทดแทนการนำเข้า MTBE เป็นสำคัญ ซึ่งสะท้อนถึงผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นหากจะมีการใช้พืชพลังงานในประเทศมาผลิตเป็นเอทานอลสำหรับการวิเคราะห์ผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมพบว่ายังมีมูลค่าในสัดส่วนน้อย

คำสำคัญ: การประเมินวงจรชีวิต เอทานอล เอ็มทีบีอี มันสำปะหลัง อ้อย

Abstract This study evaluates economic feasibilities of the production and use of ethanol from cassava and sugarcane. Ethanol is a substitute for methyl tert-butyl ether (MTBE). A comparative evaluation between an ethanol-blend fuel-gasohol 95 (E10) and a MTBE-blend fuel (benzene 95) is based on the life cycle assessment approach. The use of ethanol as a substitute for MTBE was found to be economically feasible. This is mainly due to MTBE import substitution, reflecting the benefits generated from using domestic fuel crops for ethanol production. Meanwhile the environmental benefit was in a small proportion.

Keywords: life cycle assessment, ethanol, methyl tert-butyl ether (MTBE), cassava, sugarcane

*บทความนี้ปรับปรุงจากผลงานนำเสนอในการประชุมวิชาการระดับชาติของนักเศรษฐศาสตร์ ครั้งที่ 3 จัดโดยคณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วันที่ 26 ตุลาคม 2550

**Corresponding author: Winai Puttakul Department of Agricultural and Resource Economics, Faculty of Economics, Kasetsart University, Bangkok, Thailand, 10900. Tel: (+66)02 9428649 to 51, Fax: (+66)02 9428047, e-mail: fecownp@ku.ac.th

บทนำ

การใช้เอทานอลมีแนวโน้มสูงขึ้นทั่วโลก เหตุผลสำคัญเนื่องมาจากหลายประเทศสนับสนุนการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงทางเลือก รวมถึงการเห็นความสำคัญของการแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะการปล่อยของเสียจากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของสารตะกั่วและสาร methyl tert-butyl ether (MTBE) ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก โดยหันมาใช้สาร ethyl tert-butyl ether (ETBE) ซึ่งเกิดจากการแปรรูปเอทานอลด้วยกระบวนการทางเคมี ตัวอย่างชัดเจนพบในกรณีรัฐแคลิฟอร์เนีย ประเทศสหรัฐอเมริกา ที่ได้มีการประกาศห้ามใช้สาร MTBE อย่างเป็นทางการในสิ้นปี ค.ศ.2002 เนื่องจากพบว่ามีการดักจับแก๊สตกค้างอยู่ในแหล่งน้ำใต้ดิน อีกทั้งการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของ MTBE มีการปลดปล่อยสารคาร์บอนมอนนอกไซด์ซึ่งก่อให้เกิดมลภาวะทางอากาศ (ชูชาติ อุรัมภรณ์, 2546) สำหรับในประเทศไทย กระทรวงพลังงานได้ชี้ว่า การใช้น้ำมันแก๊สโซฮอล์ซึ่งมีส่วนประกอบของเอทานอลนั้นจะช่วยลดปริมาณไฮโดรคาร์บอนและคาร์บอนมอนนอกไซด์ถึงร้อยละ 20-25 (กระทรวงพลังงาน, 2550) ประกอบกับหลายๆประเทศประสบภาวะขาดดุลทางการค้าอันเนื่องมาจากการนำเข้าวัสดุเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม การผลิตเอทานอลจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะลดการพึ่งพาการนำเข้าวัสดุเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียมซึ่งราคามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และที่สำคัญการผลิตพืชเพื่อใช้ในการผลิตเอทานอลจะช่วยส่งเสริมให้เกษตรกรมีรายได้ที่สูงขึ้นอันจะนำไปสู่การพัฒนาคุณภาพชีวิตที่สูงขึ้นด้วย

จากสถานการณ์ความต้องการผลิตเอทานอลที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดคำถามถึงความเหมาะสมในการใช้เอทานอลเพื่อทดแทนวัสดุเชื้อเพลิงจากปิโตรเลียม ทั้งจากมุมมองในเชิงการใช้พลังงาน สิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์ การตอบคำถามถึงความเหมาะสมของการใช้เอทานอลในมิติของพลังงานและการก่อสารมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม สามารถพิจารณาได้จากข้อมูลการศึกษาการประเมินวงจรชีวิต (life cycle assessment, LCA) การผลิตและการใช้เอทานอลเพื่อเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตและพลังงานที่ได้รับจากการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิง การศึกษา LCA ยังให้ข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณสารมลภาวะที่เกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิตของเอทานอล ซึ่งเมื่อนำผลไปเปรียบเทียบกับปริมาณมลพิษที่เกิดจากการใช้วัสดุเชื้อเพลิงชนิดอื่นก็จะทำให้ทราบถึงความเหมาะสมของการใช้เอทานอลในการทดแทนวัสดุเชื้อเพลิงชนิดนั้นๆ ได้ งานวิจัยที่ผ่านมาที่ได้ศึกษา LCA ของเอทานอลด้านพลังงานและด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมไม่ได้ให้ผลลัพธ์ไปในทิศทางเดียวกัน โดย Leng *et al.* (2007), Hodge (2002) และ Pimentel (2003) พบว่าการใช้เอทานอลมีผลได้น้อยกว่าผลเสีย ขณะที่ von Blottnitz and Curran (2007), Farrell *et al.* (2006), กระทรวงพลังงาน (2550) และ การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย (2551) ให้ข้อมูลผลประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมที่สนับสนุนการใช้เอทานอลเป็นวัสดุเชื้อเพลิง

สำหรับการศึกษาทางเศรษฐศาสตร์เป็นการกำหนดมูลค่าของผลประโยชน์ (ซึ่งมักกำหนดเป็นตัวเงิน) ที่ได้รับจากการใช้เอทานอลเป็นวัสดุเชื้อเพลิงและต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในการผลิตและการใช้

เอทานอล ผลการเปรียบเทียบผลตอบแทนและต้นทุนจึงเป็นเกณฑ์สำหรับการพิจารณาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของการผลิตและการใช้เอทานอลเป็นวัสดุเชื้อเพลิง งานวิจัยที่ศึกษาและประเมินทางเศรษฐศาสตร์ของการใช้เอทานอลเป็นเชื้อเพลิงส่วนใหญ่จึงเป็นการประยุกต์ใช้วิธีการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน (cost-benefit analysis, CBA) ผลการศึกษามีทั้งที่พบว่าการใช้เอทานอลมีความคุ้มค่าและไม่คุ้มค่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุเชื้อเพลิงชนิดอื่น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรายละเอียดวิธีการศึกษาและปัจจัยแวดล้อมทางเศรษฐกิจที่อาจแตกต่างกัน เช่น ราคาน้ำมันตลาดโลก ระบบภาษี เป็นต้น ตัวอย่างการศึกษาลักษณะนี้พบใน Fernandez and Keller (2000) ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนและผลตอบแทนจากการใช้น้ำมันเบนซิน 3 ชนิดในรัฐแคลิฟอร์เนีย ซึ่งแตกต่างกันตามชนิดสารเพิ่มออกเทน คือ ชนิดผสม MTBE ชนิดผสมเอทานอล และชนิดไม่ผสมสารเพิ่มออกเทนใดเลย วิธีการประเมินต้นทุนและผลตอบแทนให้หลายวิธีประกอบกัน ได้แก่ travel cost method, market cost method, expenditure approach และ cost of illness approach ผลการศึกษาพบว่า เบนซินชนิดผสม MTBE มีต้นทุนสุทธิ (net cost) มากที่สุด รองลงมาคือ เบนซินชนิดผสมเอทานอล และประหยัดที่สุด คือ ชนิดไม่ผสมสารเพิ่มออกเทนใดๆ

Hu *et al.* (2004) วิเคราะห์ต้นทุนเพิ่ม (incremental cost) จากการใช้เบนซินมาเป็นเชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอลในประเทศจีน ซึ่งเกิดจากการปรับแต่งเครื่องยนต์รองรับการใช้เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมของเอทานอล ภายใต้ข้อสมมติว่า ยานพาหนะมีอายุการใช้งาน 200,000 กิโลเมตร และไม่มีแรงจูงใจด้านภาษีสำหรับเอทานอล ผลการวิเคราะห์พบว่า ต้นทุนวงจรชีวิตจากการใช้เชื้อเพลิงเอทานอล E85 สูงกว่าเชื้อเพลิงธรรมดาประมาณร้อยละ 15 ทั้งนี้เนื่องจากราคาน้ำมัน E85 สูงกว่าน้ำมันเชื้อเพลิงทั่วไป และค่าบำรุงรักษายานพาหนะที่ใช้เชื้อเพลิง E85 สูงกว่าด้วย งานชิ้นนี้เสนอว่าการที่จะลดราคาน้ำมัน E85 ในระยะยาวนั้นสามารถทำได้โดยการลดราคาเอทานอล การใช้แรงจูงใจด้านภาษี การปรับปรุงเทคโนโลยีของเครื่องยนต์และการลดค่าบำรุงรักษาเครื่องยนต์ นอกจากนี้ Thomas and Kwong (2001) ได้วิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทนจากการผลิตเอทานอลเพื่อทดแทนการใช้น้ำมันที่มีสารตะกั่วในประเทศแอฟริกา โดยใช้แนวคิดของต้นทุนเพิ่ม (added cost) และต้นทุนที่ประหยัดได้ (saved cost) พบว่าการทดแทนดังกล่าวทำให้เกิดต้นทุนที่ประหยัดได้มากกว่าต้นทุนที่เพิ่มขึ้นสำหรับพื้นที่ส่วนใหญ่ของแอฟริกา จึงเสนอเอทานอลเป็นทางเลือกใหม่ทดแทนน้ำมันที่มีสารตะกั่ว

สำหรับกรณีประเทศไทยมีการศึกษาลักษณะนี้เป็นครั้งแรกภายใต้โครงการ “การศึกษากการประเมินวงจรชีวิตการผลิตและการใช้เอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อย” ดำเนินการศึกษาโดยสถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ระหว่างช่วงกรกฎาคม พ.ศ.2549 ถึงเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2550 (พงษ์วิภา หล่อสมบูรณ์ และคณะ, 2550) วัตถุประสงค์หลักเพื่อประเมินความเหมาะสมด้านพลังงานและด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวงจรชีวิตของการผลิตและการใช้เอทานอลเปรียบเทียบกับการผลิตและการใช้ MTBE ผสมในน้ำมันเบนซินเพื่อเพิ่มค่าออกเทน สำหรับบทความนี้นำเสนอผลการวิจัยส่วนหนึ่งภายใต้โครงการดังกล่าว ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ทาง

เศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินความคุ้มค่าของการผลิตและการใช้เอทานอลทดแทนการใช้สาร MTBE ในน้ำมันเบนซิน โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ต้นทุนและผลตอบแทน หรือ CBA การนำเสนอต่อไปประกอบด้วย กรอบแนวคิด แบบจำลองการวิเคราะห์ วิธีการศึกษาและข้อมูล ผลการศึกษา สรุปและข้อเสนอแนะ

กรอบแนวคิด

แนวความคิดสำหรับการกำหนดกิจกรรมตลอดวงจรชีวิตของเอทานอลในการศึกษารั้งนี้พิจารณาตามแนวคิดของ Leng *et al.* (2007) โดยกำหนดเป็น 9 กิจกรรมหลัก ได้แก่ 1) การผลิตอ้อยและมันสำปะหลังเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล 2) การขนส่งมันสำปะหลังสู่โรงงานผลิตเอทานอล 3) การขนส่งอ้อยสู่โรงงานน้ำตาล 4) การขนส่งกากน้ำตาลสู่โรงงานเอทานอล 5) การผลิตเอทานอล 6) การขนส่งเอทานอลสู่โรงงานผสม 7) การผสมเอทานอลกับน้ำมันเบนซินพื้นฐาน 8) การขนส่งเอทานอลจากโรงงานผสมสู่หัวจ่ายที่ปั้มน้ำมัน และ 9) การบริโภคแก๊สโซฮอล์

ในส่วนของการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ใช้หลักการวิเคราะห์ต้นทุนในรูปของต้นทุนที่เพิ่มขึ้น หรือ added cost และผลตอบแทนในรูปของต้นทุนที่ประหยัดได้ หรือ saved cost ของการผลิตและการใช้เอทานอลจากอ้อยและมันสำปะหลังในการผลิตน้ำมันแก๊สโซฮอล์ 95 (เบนซินที่มีส่วนผสมเอทานอลร้อยละ 10) เพื่อทดแทนน้ำมันเบนซิน 95 โดยประยุกต์วิธีการที่ใช้โดย Thomas and Kwong (2001) ทั้งนี้ ในส่วนของ added cost กำหนดให้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ต้นทุนการผลิตเอทานอล (production cost) ต้นทุนการขนส่ง (transportation cost) และต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อม (environmental cost) ที่เกิดขึ้นในทุกขั้นตอนของการผลิตและใช้เชื้อเพลิงผสมเอทานอล (แก๊สโซฮอล์ 95) โดยนำแนวคิดทางเศรษฐศาสตร์มาประยุกต์เพื่อตีค่าผลกระทบต่างๆ ข้างต้นออกมาในรูปตัวเงิน ส่วนผลตอบแทนที่เกิดขึ้นจะพิจารณาในประเด็นของการประหยัดต้นทุน 3 ส่วน ได้แก่ ต้นทุนการนำเข้า MTBE (import substitution) ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง และค่าใช้จ่ายกำจัดมลภาวะทางอากาศที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต การขนส่ง และการบริโภคเชื้อเพลิงที่ผสม MTBE (เบนซิน 95) ซึ่งค่าใช้จ่ายเหล่านี้รวมกันเรียกว่า saved cost ซึ่งเป็นต้นทุนรวมที่ประหยัดได้เมื่อมีการใช้เอทานอลทดแทน MTBE ในน้ำมันเบนซินหรือเมื่อใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ 95 ทดแทนเบนซิน 95 นั่นเอง

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในที่นี้ พิจารณาจากต้นทุนสุทธิ (net cost) ซึ่งเป็นผลต่างระหว่าง added cost และ saved cost แสดงได้ดังนี้

$$\text{net cost} = \Delta C = \text{added cost} - \text{saved cost}$$

โดยที่ added cost คือ ต้นทุนการผลิตเอทานอล บวกต้นทุนการขนส่ง บวกต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในทุกขั้นตอนของการผลิต ขนส่ง และใช้แก๊สโซฮอล์ 95 ส่วน saved cost คือ ต้นทุนการนำเข้า

MTBE บวกค่าใช้จ่ายในการขนส่ง บวกค่าใช้จ่ายกำจัดมลภาวะทางอากาศที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต การขนส่ง และการบริโภคเบนซิน 95 ทั้งนี้

$$\Delta C = \left[X^E \sum a_i C_i^E + \sum C_j^{TE} X_j^{TE} + \sum \sum C_r^{PE} X_{rs}^{PE} \right] - \left[X^M C^M + \sum C_k^{TM} X_k^{TM} + \sum \sum C_r^{PM} X_{ru}^{PM} \right]$$

โดยที่ X^E คือ ปริมาณเอทานอลที่ผลิต (ลิตร)

a_i คือ สัดส่วนเอทานอลจากวัตถุดิบ i ทั้งนี้ $\sum_{i=1}^2 a_i = 1$; $i = 1$ กรณีกากน้ำตาล (อ้อย) และ $i = 2$

กรณีมันสำปะหลัง

C_i^E คือ ต้นทุนการผลิตเอทานอลจากวัตถุดิบ i (บาท/ลิตร)

C_j^{TE} คือ ต้นทุนการขนส่งวัตถุดิบหรือสินค้า j (บาท/ตัน.กม.)¹

X_j^{TE} คือ ปริมาณการขนส่งวัตถุดิบหรือสินค้า j (ตัน.กม.) ทั้งนี้ $j = 1$ กรณีขนส่งเอทานอลไป คลังน้ำมัน $j = 2$ กรณีขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95 ไปคลังน้ำมัน $j = 3$ กรณีขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95 จากคลังน้ำมัน ไปยังสถานีบริการ $j = 4$ กรณีขนส่งน้ำมันเบนซินพื้นฐาน (gasoline base) ทางเรือไปผสมที่คลังน้ำมัน และ $j = 5$ กรณีขนส่งน้ำมันพื้นฐานทางท่อไปผสมที่คลังน้ำมัน

C_r^{PE} คือ ต้นทุนการบำบัดสารมลพิษชนิดที่ r ในวงจรชีวิตของเอทานอล (บาท/ก.ก.)

X_{rs}^{PE} คือ ปริมาณสารมลพิษ r ที่เกิดจากกิจกรรม s ในวงจรชีวิตของเอทานอลทั้งในการผลิต การขนส่ง และการใช้ (กิโลกรัม) โดย $r = 1$ กรณี CO $r = 2$ กรณี CO₂ $r = 3$ กรณี SO₂ และ $r = 4$ กรณี NO_x ส่วน $s = 1$ กรณีการผลิตอ้อย $s = 2$ กรณีการผลิตมันสำปะหลัง $s = 3$ กรณีการผลิตกากน้ำตาล $s = 4$ กรณีขนส่งอ้อยจากไร่ไปโรงงานน้ำตาล $s = 5$ กรณีขนส่งมันสำปะหลังจากไร่ไปโรงงานเอทานอล $s = 6$ กรณีขนส่งกากน้ำตาลจากจากโรงงานน้ำตาลไปโรงงานเอทานอล $s = 7$ กรณีขนส่งเอทานอล (กากน้ำตาล) ไปคลังน้ำมัน/โรงกลั่น $s = 8$ กรณีขนส่งเอทานอล (มันสำปะหลัง) ไปคลังน้ำมัน/โรงกลั่น $s = 9$ กรณีขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95 ไปสถานีบริการ (หัวจ่าย) $s = 10$ กรณีการผลิตเอทานอล (กากน้ำตาล) $s = 11$ กรณีการผลิตเอทานอล (มันสำปะหลัง) $s = 12$ กรณีขนส่งน้ำมันพื้นฐาน ไปคลังน้ำมัน $s = 13$ กรณีการผลิตน้ำมันพื้นฐาน เพื่อไปผสมเป็นแก๊สโซฮอล์ 95 $s = 14$ กรณีการผสมเป็นแก๊สโซฮอล์ 95 และ $s = 15$ กรณีการใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95

C^M คือ ต้นทุน MTBE นำเข้า (บาท/ลิตร)

X^M คือ ปริมาณ MTBE ที่ถูกทดแทนด้วยเอทานอล (ลิตร)

C_k^{TM} คือ ต้นทุนการขนส่ง MTBE และเบนซิน 95

¹ หน่วย บาท/ตัน.กม. คือ ค่าขนส่งคิดเป็นบาทต่อน้ำหนักวัตถุดิบ 1 ตันที่ขนส่งในระยะทาง 1 กิโลเมตร

X_k^{TM} คือ ปริมาณการขนส่งของ MTBE และเบนซิน 95 (ตัน.กม.) ทั้งนี้ $k = 1$ กรณีขนส่ง MTBE ไปโรงกลั่น/คลังน้ำมัน $k = 2$ กรณีขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นน้ำมันไปคลังน้ำมันทางท่อ $k = 3$ กรณีขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นน้ำมันไปคลังน้ำมันทางเรือ $k = 4$ กรณีขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นน้ำมันไปคลังน้ำมันทางรถไฟ $k = 5$ กรณีขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นน้ำมันไปคลังน้ำมันทางรถบรรทุก และ $k = 6$ กรณีขนส่งเบนซิน 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ

C_r^{PM} คือ ต้นทุนการบำบัดมลพิษชนิดที่ r (บาท/กิโลกรัม)

X_{ru}^{PM} คือ ปริมาณมลพิษ r จากกิจกรรม u ในวงจรชีวิตของ MTBE (กิโลกรัม) ทั้งนี้ $u = 1$ กรณีการผลิต MTBE $u = 2$ กรณีขนส่ง MTBE ไปโรงกลั่น/คลังน้ำมัน $u = 3$ กรณีการผลิต (ผสม) เป็นเบนซิน 95 $u = 4$ กรณีขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นไปคลังน้ำมัน $u = 5$ กรณีขนส่งเบนซิน 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ $u = 6$ กรณีการใช้งานเบนซิน 95 และ $u = 7$ กรณีการผลิตน้ำมันพื้นฐานเพื่อไปผสมเป็นเบนซิน 95

ผลการคำนวณ net cost ตามสมการที่กำหนดข้างต้น จะใช้เป็นเกณฑ์สำหรับการตัดสินใจด้านเศรษฐศาสตร์ในครั้งนี้ กล่าวคือ ถ้า added cost $\leq$ saved cost หรือ $\Delta C \leq 0$ แสดงว่ามีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการผลิตและใช้เอทานอล ซึ่งค่า ΔC ที่เป็นลบหมายถึงว่าต้นทุนที่ประหยัดได้จากการไม่ใช้ MTBE มีค่ามากกว่าต้นทุนเพิ่มจากการใช้เอทานอล ในทางกลับกันถ้า ΔC เป็นบวก นั้นหมายถึงต้นทุนที่ประหยัดได้จากการไม่ใช้ MTBE มีค่าน้อยกว่าต้นทุนเพิ่มจากการใช้เอทานอล ดังนั้นจึงไม่มีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่จะใช้เอทานอลทดแทน MTBE

วิธีการศึกษาและข้อมูล

การศึกษานี้พิจารณาเฉพาะการนำมันสำปะหลังและอ้อยมาผลิตเอทานอลเพื่อทดแทนสาร MTBE ซึ่งใช้ในการผลิตน้ำมันเบนซิน 95 เท่านั้น โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 สถานการณ์ (scenarios) ตามเทคโนโลยีและกระบวนการผลิตที่โรงงานเอทานอลใช้ดำเนินการ คือ สถานการณ์ที่ 1 เป็นสถานการณ์การผลิตเอทานอลภายใต้เทคโนโลยีที่ใช้ในปัจจุบัน (พ.ศ.2549) ซึ่งใช้ถ่านหินและไฟฟ้า grid mix เป็นเชื้อเพลิงให้โรงงานเอทานอล และ สถานการณ์ที่ 2 เป็นสถานการณ์จำลองเหตุการณ์ที่คาดว่าจะเกิดในอนาคต ซึ่งสมมติให้มีการนำชีวมวล (biomass) จากการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมาใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าทดแทนการใช้ถ่านหิน เพื่อนำไฟฟ้าไปใช้ในโรงงานเอทานอล แต่สำหรับโรงงานเอทานอลที่ผลิตจากกากน้ำตาลจะสมมติให้ใช้ไฟฟ้าเป็นเชื้อเพลิงการผลิตเพียงอย่างเดียว ในสถานการณ์ที่สองนี้ยังกำหนดให้มีการลงทุนนำเอาผลพลอยได้ (by product) มาใช้ประโยชน์เพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิตเอทานอล โดยผลพลอยได้ที่พิจารณามี 2 ชนิด คือ ปุ๋ยชีวภาพจากน้ำกากส่าโรงงานเอทานอลจากกากน้ำตาล และ dry distillers grains with solubles (DDGS) จากน้ำกากส่าโรงงานเอทานอลจากมันสำปะหลัง นอกจากนี้การวิเคราะห์ในแต่ละสถานการณ์ได้แบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 เมื่อปริมาณเอทานอลที่ผลิตเท่ากับ

ปริมาณที่ใช้จริงในปี พ.ศ.2549 (118.48 ล้านลิตร) และกรณีที่ 2 เมื่อปริมาณเอทานอลที่ผลิตเท่ากับปริมาณ MTBE ทั้งหมดที่ใช้ในปี พ.ศ.2549 หรือเมื่อใช้นโยบายยกเลิกน้ำมันเบนซิน 95 ทั้งหมด (275.08 ล้านลิตร) การนำเสนอต่อจากนี้เรียกแบบจำลองสถานการณ์ที่หนึ่งว่าแบบจำลองพื้นฐาน และแบบจำลองสถานการณ์ที่สองเรียกว่า แบบจำลองสถานการณ์อนาคต

ทั้งนี้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์มาจาก 2 แหล่ง คือ ข้อมูลปฐมภูมิ (primary data) และข้อมูลทุติยภูมิ (secondary data) โดยข้อมูลปฐมภูมิได้จากการสำรวจภาคสนามระหว่างเดือนกรกฎาคม 2549 ถึงเดือนมีนาคม 2550 ทั้งในส่วนของการผลิตและการขนส่งวัตถุดิบทั้งอ้อยและมันสำปะหลัง และสำรวจโรงงานต่างๆ ได้แก่ โรงงานเอทานอลจำนวน 4 แห่งที่เข้าร่วมโครงการวิจัย และโรงกลั่นน้ำมัน 1 แห่ง ข้อมูลที่สำรวจได้แก่ ราคามันสำปะหลัง ประเภท (modes) และระยะทางการขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์ต่างๆ (เช่น อ้อย น้ำมันดิบ กากน้ำตาล เอทานอล แก๊สโซฮอล์ เบนซิน MTBE เป็นต้น) สำหรับข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณการขนส่งชนิดและปริมาณมลสารที่เกิดขึ้นในกิจกรรมต่างๆ ตลอดวงจรชีวิตของการผลิตและการใช้เอทานอลได้จากการศึกษา LCA

ส่วนข้อมูลทุติยภูมิ ได้จากการค้นคว้ารายงาน ผลการวิจัย เอกสารตำรา และสื่อสิ่งพิมพ์ต่างๆ ทั้งที่เป็นภาษาไทยและภาษาต่างประเทศ ข้อมูลจากแหล่งทุติยภูมิ ได้แก่ ราคาส่งออกกากน้ำตาล ต้นทุนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและมันสำปะหลัง ต้นทุนความเสียหายด้านสิ่งแวดล้อมจากมลพิษชนิดต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง ราคานำเข้า MTBE ปริมาณสารมลพิษจากการผลิตและขนส่ง MTBE และปริมาณสารมลพิษที่เกิดจากการใช้แก๊สโซฮอล์ 95 และเบนซิน 95 ทั้งนี้ต้นทุนด้านสิ่งแวดล้อม ในการศึกษานี้ ใช้ค่าใช้จ่ายบำบัดมลพิษทางอากาศ (abatement cost) ที่วิเคราะห์จากแนวคิด value of statistical life ซึ่งประเมินโดย Spadaro and Rabi (2002) เป็นค่า proxy ในการคิดต้นทุนสิ่งแวดล้อม

ผลการศึกษา

ผลการศึกษาแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ส่วนที่ 1 เป็นผลการศึกษาแบบจำลองพื้นฐานซึ่งเป็นสถานการณ์การผลิตเอทานอลขณะที่ศึกษาวิจัยใน พ.ศ.2549 และส่วนที่ 2 เป็นผลการศึกษาแบบจำลองสถานการณ์อนาคตที่คาดว่าจะมีการนำผลพลอยได้จากการผลิตเอทานอลมาใช้ และโรงงานเอทานอลจากมันสำปะหลังมีการใช้เชื้อเพลิงชีวมวลทดแทนถ่านหิน

สถานการณ์ตามแบบจำลองพื้นฐาน

ในตอนนี้นำเสนอเฉพาะผลการศึกษาหลักของแต่ละกรณี ส่วนผลการคำนวณโดยละเอียดแสดงในภาคผนวก 1 สำหรับกรณีที่ 1 พิจารณาโดยกำหนดให้ปริมาณการผลิตแก๊สโซฮอล์ 95 ในปี พ.ศ.2549 เป็น 1,184.8 ล้านลิตร ซึ่งใช้เอทานอล 118.48 ล้านลิตร จากตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์พบว่า net cost มีค่าเป็นลบ แสดงว่าการใช้เอทานอลทดแทน MTBE มีความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ หรือกล่าวในแง่การใช้

เชื้อเพลิงได้ว่าการใช้แก๊สโซฮอล์ 95 ทดแทนเบนซิน 95 มีความเหมาะสม ทำให้เกิดการประหยัดต้นทุนโดยรวมเท่ากับ 248.36 ล้านบาท อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาแยกตามประเภทต้นทุนพบว่า การประหยัดเกิดขึ้นเฉพาะกับต้นทุนในการผลิตเอทานอลคิดเป็น 488.60 ล้านบาท และต้นทุนการบำบัดมลพิษ 19.86 ล้านบาท แต่เกิดการไม่ประหยัดขึ้นในส่วนของต้นทุนการขนส่งเท่ากับ 260.10 ล้านบาท ทั้งนี้เป็นเพราะการขนส่งในกิจกรรมต่างๆ ตลอดวงจรชีวิตของกระบวนการผลิตและการใช้เอทานอลมีการกระจายไปตามแหล่งต่างๆ มากขึ้นทำให้มีปริมาณการขนส่งเกิดขึ้นมากกว่า

ตารางที่ 1 ผลการคำนวณ added cost, saved cost และ net cost แบบจำลองพื้นฐานกรณีที่ 1 (ผลิตเอทานอล 118.48 ล้านลิตร/ปี)

ต้นทุน	added cost	saved cost	net cost
ต้นทุนการผลิต	1,715.16	2,203.76	-488.60
ต้นทุนขนส่ง	487.49	227.39	260.10
ต้นทุนสิ่งแวดล้อม	4,283.30	4,303.16	-19.86
ต้นทุนรวม	6,485.94	6,734.30	-248.36

หมายเหตุ: added cost คือ ต้นทุนการผลิตและการใช้แก๊สโซฮอล์ 95 ส่วน saved cost คือ ต้นทุนที่ประหยัดได้เมื่อลดการผลิตและการใช้เบนซิน 95 รายละเอียดผลการคำนวณแสดงในตารางผนวกที่ 1.1 และ 1.2 สำหรับการคำนวณต้นทุนต่อลิตรของการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลและจากมันสำปะหลังแสดงในภาคผนวก 2 และ 3 ตามลำดับ

สำหรับกรณีที่ 2 พิจารณาโดยกำหนดให้เป้าหมายปริมาณเอทานอลเท่ากับปริมาณ MTBE ทั้งหมดที่ใช้ในปี พ.ศ.2549 ซึ่งเป็นกรณีที่สมมติมีการยกเลิกเบนซิน 95 และให้ใช้แก๊สโซฮอล์ 95 แทนทั้งหมด หรือเมื่อ $X^E = 275.08$ ล้านลิตร ตารางที่ 2 สรุปผลการคำนวณค่า added cost, saved cost และ net cost จะเห็นว่า net cost ในกรณีนี้มีค่าเท่ากับ -564.66 ล้านบาท ซึ่งแสดงว่าหากดำเนินการยกเลิกเบนซิน 95 จะทำให้ประเทศโดยรวมเกิดการประหยัดเป็นมูลค่า 564.66 ล้านบาท นโยบายดังกล่าวจึงมีความเหมาะสมและคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และเมื่อพิจารณาแยกประเภทต้นทุนก็พบผลสรุปทำนองเดียวกันกับกรณีแรก กล่าวคือ นโยบายนี้จะก่อให้เกิดการประหยัดต้นทุนการผลิตเอทานอล 1,134.41 ล้านบาท และประหยัดในรูปต้นทุนการบำบัดมลพิษสิ่งแวดล้อม 46.13 ล้านบาท แต่จะเกิดต้นทุนเพิ่มขึ้นในด้านการขนส่ง 615.88 ล้านบาท

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณ added cost, saved cost และ net cost แบบจำลองพื้นฐานกรณีที่ 2 (ผลิตเอทานอล 275.08 ล้านลิตร/ปี)

ต้นทุน	added cost	saved cost	net cost
ต้นทุนการผลิต	3,982.08	5,116.49	-1,134.41
ต้นทุนขนส่ง	1,131.81	515.93	615.88
ต้นทุนสิ่งแวดล้อม	9,944.53	9,990.66	-46.13
ต้นทุนรวม	15,054.41	15,623.07	-564.66

หมายเหตุ: added cost คือ ต้นทุนการผลิตและการใช้แก๊สโซฮอล์ 95 ส่วน saved cost คือ ต้นทุนที่ประหยัดได้เมื่อลดการผลิตและการใช้เบนซิน 95 ส่วนรายละเอียดผลการคำนวณแสดงในตารางผนวกที่ 1.3 และ 1.4

สถานการณ์จำลองเหตุการณ์อนาคต

สำหรับแบบจำลองสถานการณ์อนาคต คาดว่า จะมีการนำผลพลอยได้จากการผลิตเอทานอลมาใช้ และโรงงานเอทานอลจากมันสำปะหลังเลิกใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงแต่ใช้ชีวมวลแทน พบผลการคำนวณแตกต่างไปจากแบบจำลองพื้นฐานเฉพาะในส่วนของ added cost ใน 2 ประการสำคัญ คือ 1) ต้นทุนการผลิตเอทานอลลดลงอันเป็นผลจากผลประโยชน์ของผลพลอยได้น้ำกากส่าไปผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพ และ DDGS และ 2) ต้นทุนการบำบัดก๊าซมลพิษที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังลดลงอันเป็นผลจากพิจารณากำหนดให้ระบบการผลิตของโรงงานเปลี่ยนจากเชื้อเพลิงถ่านหินมาเป็นชีวมวล และผลิตไฟฟ้าใช้เอง

สำหรับต้นทุนการผลิตเอทานอลเมื่อนำน้ำกากส่ามาผลิตปุ๋ยชีวภาพมีผลการคำนวณดังรายการต่อไปนี้

1) การคำนวณปริมาณปุ๋ยชีวภาพที่ผลิตได้จากน้ำกากส่าที่เกิดขึ้นจากการผลิตเอทานอล 1 ลิตร ที่ผลิตจากกากน้ำตาล โดยสัดส่วนของเอทานอลจากกากน้ำตาลในการศึกษานี้คิดเป็นร้อยละ 84 และที่เหลือได้จากมันสำปะหลัง ดังนั้นในการผลิตเอทานอล 118.48 ล้านลิตร จะเป็นเอทานอลที่ผลิตจากกากน้ำตาล 99.84 ล้านลิตร ซึ่งจะได้กากส่า 998.44 ล้านลิตร² อย่างไรก็ตามในการผลิตปุ๋ยชีวภาพนั้นจะต้องใช้ filter cake ซึ่งได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาล ดังนั้นเฉพาะโรงงานเอทานอลที่อยู่ในเครือการค้าเดียวกันกับโรงงานผลิตน้ำตาลเท่านั้นที่สามารถจัดหา filter cake ได้ ส่วนโรงงานอื่นนอกเครือข่ายอาจจะไม่สามารถจัดหาได้ การวิเคราะห์ครั้งนี้จึงกำหนดให้มีโรงงานเอทานอลเพียงครั้งเดียวที่สามารถดำเนินการจัดหา filter cake เพื่อใช้ในการผลิตปุ๋ยชีวภาพได้ จึงคำนวณปริมาณน้ำกากส่าที่นำมาใช้ผลิตปุ๋ยชีวภาพได้ $998.44 / 2 = 499.22$ ล้านลิตร ซึ่งได้มาจากเอทานอล $99.84 / 2 = 49.92$ ล้านลิตร ทั้งนี้สูตรการผลิตปุ๋ยชีวภาพคือน้ำกากส่า 2,000 ลิตรต่อ filter cake 1 ตันจะได้ปุ๋ยชีวภาพ 270 กิโลกรัม ดังนั้นจากน้ำกากส่า 499.22

² จากการสอบถามโรงงานที่เข้าร่วมโครงการวิจัยพบว่า การผลิตเอทานอล 1 ลิตรจะเกิดน้ำกากส่าประมาณ 10 ลิตร

ล้านลิตร จะผลิตปุ๋ยชีวภาพได้ $(499.22 / 2) \times 270 = 67.3947$ ล้านกิโลกรัม ฉะนั้นเมื่อคิดเทียบกับจำนวนเอทานอล 49.92 ล้านลิตร จะทำให้ได้ปริมาณปุ๋ยชีวภาพเท่ากับ $67.3947 / 49.922 = 1.35$ กิโลกรัมต่อเอทานอลที่ผลิตหนึ่งลิตร

2) การคำนวณต้นทุนการผลิตและราคาปุ๋ยชีวภาพ จากการสอบถามโรงงานตัวอย่างซึ่งทดลองผลิตปุ๋ยชีวภาพจากน้ำกากส่าให้ค่าตัวเลขประมาณการต้นทุนการผลิตเฉลี่ยเท่ากับ 1.50 บาท/กิโลกรัม และจำหน่ายในรูปปุ๋ยผงได้ราคาเฉลี่ย 2.86 บาท/กิโลกรัม

3) การคำนวณกำไรจากปุ๋ยชีวภาพที่ได้จากการผลิตเอทานอล 1 ลิตร จากผลลัพธ์ที่ได้ทำให้สามารถคำนวณกำไรได้เท่ากับ $(\text{ราคาปุ๋ยชีวภาพ} - \text{ต้นทุนการผลิต}) \times \text{ปริมาณปุ๋ย}$ จะได้เท่ากับ $(2.86 - 1.50) \times 1.35 = 1.83$ บาทต่อเอทานอลที่ผลิตหนึ่งลิตร

4) ในการคำนวณต้นทุนเอทานอลเมื่อนำน้ำกากส่าผลิตเป็นปุ๋ยชีวภาพ จะได้จากการนำกำไรที่ได้จากการลงทุนผลิตปุ๋ยชีวภาพไปหักลดจากต้นทุนอื่นๆ ในการผลิตเอทานอล ซึ่งจะทำให้ลดต้นทุนการผลิตลดลงเหลือเป็น $14.67 - 1.83 = 12.84$ บาทต่อลิตร

สำหรับต้นทุนการผลิตเอทานอลเมื่อนำน้ำกากส่ามาผลิตเป็น DDGS มีผลการคำนวณดังรายการต่อไปนี้

1) การคำนวณปริมาณ DDGS ที่ผลิตได้จากน้ำกากส่าที่เกิดจากการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังอาศัยข้อมูลจากก้านรงค์ ศรีวรรต และคณะ (2549) ซึ่งแสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงินของการจัดตั้งโรงงานผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังที่มีการจัดการผลพลอยได้เป็น DDGS พบว่าโรงงานเอทานอลขนาดการผลิต 150,000 ลิตร/วัน สามารถผลิต DDGS ได้ 30 ตัน/วัน คิดเป็นปริมาณ DDGS ที่ผลิตได้ต่อเอทานอล 1 ลิตรเท่ากับ $30,000 / 150,000 = 0.2$ กิโลกรัมต่อเอทานอลที่ผลิตหนึ่งลิตร

2) สำหรับการคำนวณต้นทุนและราคา DDGS นั้น จากข้อมูลรายงานที่กล่าวข้างต้นพบว่า โรงงานต้นแบบที่ศึกษาซึ่งมีกำลังการผลิตเอทานอล 150,000 ลิตร/วัน เมื่อมีการลงทุนเพื่อนำน้ำกากส่ามาใช้ผลิต DDGS ต้องลงทุนเพิ่มเครื่องจักร 136 ล้านบาทโดยกำหนดอายุการใช้งาน 15 ปี มูลค่าซากร้อยละ 10 เมื่อคิดค่าเสื่อมการใช้เครื่องจักรต่อปีจะได้เท่ากับ 8,160,000 บาท รวมค่าเสียโอกาสเงินลงทุนที่อัตราร้อยละ 8 จะได้ค่าใช้จ่ายต้นทุนคงที่เท่ากับ $8,160,000 + (8,160,000 \times 0.08) = 8,812,800$ บาท/ปี และเมื่อกำหนดให้ใน 1 ปีโรงงานทำงาน 330 วัน จะคำนวณต้นทุนคงที่ต่อการผลิตเอทานอล 1 ลิตรได้เท่ากับ $8,812,800 / (150,000 \times 330) = 0.178$ บาท ในส่วนของต้นทุนผันแปรในการผลิต DDGS คำนวณโดยอ้างอิงข้อมูลต้นทุนผันแปรในการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในโครงการนี้ซึ่งพบว่าต้นทุนผันแปรคิดเป็น 3.25 เท่าของต้นทุนคงที่ (รายละเอียดแสดงใน พงษ์วิภา หล่อสมบูรณ์ และคณะ, 2550) โดยแนวทางนี้จึงสามารถประมาณต้นทุนผันแปรได้เท่ากับ $3.25 \times 0.178 = 0.5785$ และจะได้ต้นทุนทั้งหมดในการผลิต DDGS เท่ากับ

$0.178 + 0.5785 = 0.7565$ บาทต่อลิตรเอทานอล สำหรับด้านราคาจำหน่ายของ DDGS ใช้ราคาตามที่กำหนดในรายงานของ กล้าณรงค์ ศรีรอด และคณะ (2549) คือ เท่ากับ 5 บาทต่อกิโลกรัม

3) การคำนวณกำไรที่ได้จาก DDGS ต่อปริมาณการผลิตเอทานอล 1 ลิตร วิธีการคำนวณ คือ กำไรเท่ากับ (ราคา DDGS x ปริมาณ DDGS ที่ได้ต่อลิตรเอทานอล) - ต้นทุนการผลิต จะได้เท่ากับ $(5 \times 0.2) - 0.7565 = 0.2435$ บาทต่อเอทานอลที่ผลิตหนึ่งลิตร

4) ต้นทุนการผลิตของเอทานอลเมื่อใช้ประโยชน์น้ำกากส่าผลิตเป็น DDGS คำนวณได้โดยนำกำไรที่คำนวณข้างต้นนำไปหักลดหรือเป็นต้นทุนที่ประหยัดได้ จึงทำให้ต้นทุนการผลิตเอทานอลลดลงเป็น $13.41 - 0.2435 = 13.17$ บาทต่อลิตร

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนประเภทต่างๆ และเปรียบเทียบระหว่างสถานการณ์ตามแบบจำลองพื้นฐานและแบบจำลองสถานการณ์อนาคตเมื่อพิจารณากรณีที่ 1 (เมื่อผลิตเอทานอล 118.48 ล้านลิตร) สรุปได้ดังตารางที่ 3 และกรณีที่ 2 (เมื่อผลิตเอทานอล 278.08 ล้านลิตร) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบต้นทุนระหว่างแบบจำลองพื้นฐานกับแบบจำลองสถานการณ์อนาคตในกรณีที่ 1 (ผลิตเอทานอล 118.48 ล้านลิตร/ปี)

ต้นทุน	แบบจำลองพื้นฐาน (ล้านบาท)	แบบจำลองสถานการณ์อนาคต (ล้านบาท)	ผลต่าง (ล้านบาท)
1. ต้นทุนการผลิต	1,715.15	1,527.30	187.85
2. ต้นทุนขนส่ง	487.49	487.49	-
3. ต้นทุนสิ่งแวดล้อม	4,283.30	4,233.12	50.18
4. added cost (1+2+3)	6,485.94	6,247.91	238.03
5. saved cost	6,734.30	6,734.30	-
6. net cost (4 - 5)	-248.36	-486.39	238.03

หมายเหตุ: added cost คือ ต้นทุนการผลิตและการใช้แก๊สโซฮอลล์ 95 ส่วน saved cost คือ ต้นทุนที่ประหยัดได้เมื่อลดการผลิตและการใช้เบนซิน 95

จากตารางที่ 3 จะเห็นว่า net cost ของแบบจำลองสถานการณ์อนาคตมีค่ามากกว่าแบบจำลองพื้นฐานเท่ากับ $486.39 - 248.36 = 238.03$ ล้านบาท ส่วนใหญ่เป็นผลจากต้นทุนที่ลดลงเนื่องจากการนำน้ำกากส่ามาไปสร้างมูลค่าในรูปของปุ๋ยชีวภาพ และ DDGS ซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตเอทานอลลดลง 187.85 ล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 79 ของผลได้ส่วนเพิ่มที่เกิดขึ้นทั้งหมด และสัดส่วนที่เหลือเป็นผลการลดลงของค่าใช้จ่ายบำบัดมลพิษเนื่องจากระบบการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังที่มีมาตรฐานและมีประสิทธิภาพมากขึ้นเพราะมีการนำชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงแทนการใช้ถ่านหิน

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบต้นทุนระหว่างแบบจำลองพื้นฐานกับแบบจำลองสถานการณ์อนาคตในกรณีที่ 2 (ผลิตเอทานอล 275.08 ล้านลิตร/ปี)

ต้นทุน	แบบจำลองพื้นฐาน (ล้านบาท)	แบบจำลองสถานการณ์อนาคต (ล้านบาท)	ผลต่าง (ล้านบาท)
1. ต้นทุนการผลิต	3,982.08	3,545.94	436.14
2. ต้นทุนขนส่ง	1,31.81	1,131.81	-
3. ต้นทุนสิ่งแวดล้อม	9,944.53	9,828.04	116.49
4. added cost (1+2+3)	15,058.41	14,505.79	552.62
5. saved cost	15,623.07	15,623.07	-
6. net cost (4 – 5)	-564.66	-1,117.28	552.62

หมายเหตุ: added cost คือ ต้นทุนการผลิตและการใช้แก๊สโซฮอล์ 95 ส่วน saved cost คือ ต้นทุนที่ประหยัดได้เมื่อลดการผลิตและการใช้เบนซิน 95

สำหรับในตารางที่ 4 จะเห็นว่า net cost เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากแบบจำลองพื้นฐานเท่ากับ $1,117.28 - 564.66 = 552.62$ ล้านบาท ซึ่งส่วนใหญ่เป็นผลพลอยได้ในรูปปุ๋ยชีวภาพ และ DDGS ดังนั้น หากสถานการณ์จำลองนี้เกิดขึ้นได้จริงในอนาคต ผลประโยชน์ที่เพิ่มขึ้นส่วนนี้จะตกแก่ผู้ประกอบการผลิตเอทานอล

สรุปและข้อเสนอแนะ

การใช้เอทานอลทดแทน MTBE เป็นสารเพิ่มค่าออกเทนให้กับเชื้อเพลิงออกเทน 95 มีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในทุกแบบจำลองและกรณีศึกษา กล่าวคือ สถานการณ์แรก (แบบจำลองพื้นฐาน) เมื่อกำหนดให้เทคโนโลยีและการจัดการการผลิตเป็นไปตามสภาพจริงในปัจจุบัน (พ.ศ.2549) ซึ่งไม่นำ biomass มาใช้ผลิตพลังงานและไม่มีการใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้ โดยในกรณีที่ 1 เมื่อกำหนดให้ผลิตเอทานอลเท่ากับปริมาณที่ใช้จริงในปี พ.ศ.2549 ซึ่งปริมาณผลิตเท่ากับ 118.48 ล้านลิตร กรณีนี้เปรียบเทียบกับสถานการณ์ที่รัฐบาลมีนโยบายให้ประชาชนมีทางเลือกในการใช้น้ำมันออกเทน 95 และกรณีที่ 2 ผลิตเอทานอล 275.08 ล้านลิตร/ปี เปรียบเทียบได้กับสถานการณ์ที่ยกเลิกการใช้เบนซิน 95 โดยการพิจารณาความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ที่วัดได้จากค่า net cost ซึ่งกรณีแรกคำนวณได้เท่ากับ 248.36 ล้านบาท และกรณีที่ 2 เท่ากับ 564.66 ล้านบาท โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณา net cost แยกตามประเภทพบว่า net cost จากการทดแทนการนำเข้า MTBE มีมูลค่ามากที่สุดของการประหยัดสุทธิที่เกิดขึ้น ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงมูลค่าของผลประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นหากมีการนำเอทานอลที่ผลิตในประเทศมาใช้ผลิตพลังงานทดแทนวัสดุเชื้อเพลิงนำเข้า

สำหรับการวิเคราะห์สถานการณ์ที่สองหรือแบบจำลองสถานการณ์อนาคต ได้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการนำผลพลอยได้มาสร้างมูลค่า อันจะส่งผลให้ต้นทุนการผลิตของเอทานอลลดลง การศึกษานี้พิจารณาเฉพาะการใช้ประโยชน์จากน้ำกากส่าเพียงอย่างเดียว (เพื่อผลิตปุ๋ยชีวภาพ และ DDGS) ซึ่งพบว่าสามารถทำให้ต้นทุนผลิตเอทานอล ลดลงจาก 14.47 เป็น 12.89³ หรือลดลงได้ประมาณร้อยละ 11 ฉะนั้นหากผู้ประกอบการนำผลพลอยได้ส่วนอื่นๆ จากกระบวนการผลิตเอทานอล (เช่น CO₂ และ fusel oil เป็นต้น) มาทำให้เกิดประโยชน์หรือมูลค่าเพิ่มก็จะทำให้ต้นทุนของเอทานอลยิ่งต่ำลงได้อีก ซึ่งก็จะเป็นผลดีต่อผู้ประกอบการและยังเป็นการส่งเสริมและสนับสนุนระบบการผลิตที่มีประสิทธิภาพทั้งในแง่การใช้ทรัพยากรและการดูแลสิ่งแวดล้อม

จากการวิจัยครั้งนี้ผู้ศึกษาชี้ขอเสนอแนะในประเด็นสำคัญสำหรับภาครัฐเพื่อการจัดการนโยบายส่งเสริมการใช้เอทานอลเป็นแหล่งพลังงานทดแทน ดังนี้

1) ทางเลือกในการกำหนดกรอบงบประมาณเพื่อส่งเสริมและสนับสนุนการผลิตและการใช้เอทานอลเป็นแหล่งพลังงานทดแทน จากผลการวิเคราะห์ทั้ง 2 กรณี (แบบจำลองพื้นฐาน) ซึ่งพบว่าได้ก่อให้เกิดการประหยัดสุทธิ หรือผลประโยชน์สุทธิแก่ประเทศ โดยในกรณีที่ 1 ซึ่งมีการใช้เอทานอล 118.48 ล้านลิตร หรือใช้แก๊สโซฮอล์ 1,184.8 ล้านลิตร คิดเป็นประมาณร้อยละ 43 ของเชื้อเพลิงออกเทน 95 ทั้งหมด 2,750.8 ล้านลิตร พบว่ามีการประหยัดสุทธิ 248.36 ล้านบาท และกรณีที่ 2 ซึ่งใช้แก๊สโซฮอล์ทดแทนเบนซิน 95 ทั้งหมด (2,750.8 ล้านลิตร) เป็นจำนวน 564.66 ล้านบาท ฉะนั้นรัฐบาลสามารถนำตัวเลขการประหยัดสุทธินี้เป็นกรอบกำหนดงบประมาณสูงสุดในแต่ละปีสำหรับใช้สนับสนุนนโยบายส่งเสริมการผลิตและการใช้เอทานอลเป็นแหล่งพลังงานทดแทน เช่น การทดสอบประสิทธิภาพการใช้แก๊สโซฮอล์ 95 การประชาสัมพันธ์ให้ความรู้แก่ประชาชน การตั้งกองทุนเพื่อวิจัยและพัฒนาเครื่องยนต์พลังงานเอทานอล เป็นต้น

2) ทางเลือกในการกำหนดกรอบราคาเอทานอล จากผลการศึกษาทั้ง 2 กรณีในแบบจำลองพื้นฐาน ผู้ศึกษาได้วิเคราะห์ความอ่อนไหวของผลลัพธ์เพิ่มเติม โดยการหาราคาที่ทำให้ added cost = saved cost พบว่ามีค่าเท่ากับ 16.57 บาท นั่นคือ ถ้าราคาตลาดของเอทานอลเกินกว่าค่านี้นี้จะทำให้ added cost > saved cost หรือเกิดความไม่คุ้มค่าในการผลิตเอทานอลและการใช้เพื่อทดแทน MTBE

ภายใต้ข้อกำหนดและข้อมูลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องตามที่เสนอในแบบจำลองพื้นฐานในงานวิจัยนี้ รัฐบาลสามารถใช้ราคา 16.57 บาท/ลิตรเป็นกรอบราคาสูงสุด (price ceiling) สำหรับการกำหนดราคา

³ ราคาเฉลี่ยเอทานอลจากอ้อยและจากมันสำปะหลัง ถ่วงน้ำหนักโดยสัดส่วนของปริมาณที่ผลิตขึ้นมาจากอ้อย 84% และจากมันสำปะหลัง 16% คำนวณได้ดังนี้

$$14.47 = (14.67 \times 0.84) + (13.41 \times 0.16)$$

$$12.89 = (12.84 \times 0.84) + (13.17 \times 0.16)$$

เอทานอล ส่วนกรอบราคาต่ำสุด (price floor) ควรกำหนดให้เท่ากับต้นทุนเฉลี่ยของผู้ผลิต อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการอบราคาสูงสุดและต่ำสุดขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการที่อาจทำให้ค่าเปลี่ยนแปลงทั้งในทางมากขึ้นหรือต่ำกว่าค่าที่คำนวณได้นี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งปัจจัยด้านราคาซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ เช่น ราคา MTBE ราคากากน้ำตาล ราคามันสำปะหลังดิบ และต้นทุนการบำบัดก๊าซมลพิษ ดังนั้นการศึกษานี้ จึงมุ่งเสนอแนะให้พิจารณาถึงวิธีการที่ใช้กำหนดกรอบราคาสูงสุด-ต่ำสุดตามที่น่าเสนอในแบบจำลองข้างต้น เป็นแนวคิดในการกำหนดราคาเอทานอล

นอกจากนี้ผู้ศึกษายังพบว่างานวิจัยเกี่ยวกับพืชพลังงานในประเทศไทยยังมีน้อย หากรัฐบาล มีนโยบายสนับสนุนพลังงานทดแทนจากพืชที่ชัดเจน การวิจัยเพื่อสร้างองค์ความรู้ที่ครอบคลุมทุกด้านเป็นสิ่งจำเป็นต่อการกำหนดเป้าหมายและทิศทางการพัฒนาระยะยาว หัวข้อการวิจัยที่สำคัญ เช่น ผลกระทบของนโยบายต่อภาคการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร ศักยภาพและข้อจำกัดของการผลิตพืชพลังงานแต่ละชนิด และความคุ้มค่าของการลงทุน การวิจัยเพื่อนำผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตวัสดุเชื้อเพลิงจากพืชมาใช้ให้เกิดประโยชน์เชิงการค้าหรืออุตสาหกรรม การวิจัยและพัฒนาเครื่องยนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงที่มีส่วนผสมเอทานอลและไบโอดีเซลในสัดส่วนสูงขึ้น

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงพลังงาน. 2550. **ข้อดีของการใช้น้ำมันแก๊สโซฮอลล์** (Online). www.energy.go.th/th/knowledgeDetail.asp?id=92, 10 มกราคม 2550.

กล้าณรงค์ ศรีรอด และคณะ. 2549. **รายงานวิจัยเรื่องการนำของเสียจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า**. เสนอต่อกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. จัดทำโดยมูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย.

การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย. 2551. **ข้อมูลน้ำมันแก๊สโซฮอลล์**. www.pttplc.com/Files/Document/Pdf/energy/%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%A1%E0%B8%B9%E0%B8%A5%E0%B8%99%E0%B9%89%E0%B8%B3%E0%B8%A1%E0%B8%B1%E0%B8%99%E0%B9%81%E0%B8%81%E0%B9%8A%E0%B8%AA%E0%B9%82%E0%B8%8B%E0%B8%AE%E0%B8%AD%E0%B8%A5%E0%B9%8C.pdf, 15 มิถุนายน 2551.

ฐาติ อูร์มภรณ์. 2546. **ความคืบหน้าโครงการผลิตเอทานอลเป็นเชื้อเพลิง**. รายงานพิเศษ. 29 เมษายน 2546. ฝ่ายวิจัย ธนาคารกรุงเทพ จำกัด (มหาชน).

พงษ์วิภา หล่อสมบุญ และคณะ. 2550. **รายงานวิจัยเรื่องการศึกษาการประเมินวงจรชีวิตการผลิตและการใช้เอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อย**. เสนอต่อกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. จัดทำโดยมูลนิธิสิ่งแวดล้อมไทย.

- Farrel, A. E. *et al.* 2006. "Ethanol can Contribute to Energy and Environment Goals." **Science** 311 (5760): 506- 508.
- Fernandez, L. and A. A. Keller. 2000. "Cost-benefit Analysis of Methyl Tert-Butyl Ether and Alternative Gasoline Formulations." **Environment Science & Policy** 3 (4): 173-188.
- Furuholt, E. 1995. "Life Cycle Assessment of Gasoline and Diesel." **Resources, Conservation and Recycling** 14 (3-4): 251-263.
- Hodge, C. 2002. "Ethanol Use in US Gasoline Should be Banned, Not Expanded." **Oil & Gas Journal** 100 (37): 20-30.
- Hu, Z. *et al.* 2004. "Economics, Environment, and Energy Life Cycle Assessment of Automobiles Fueled by Bio-ethanol Blends in China." **Renewable Energy** 29 (14): 2183-2192.
- Leng, R. *et al.* 2007. "Life Cycle Inventory and Energy Analysis of Cassava-Based Fuel Ethanol in China." **Journal of Cleaner Production** 16 (3): 374-384.
- Pimentel, D. 2003. "Ethanol Fuel: Energy Balance, Economic and Environmental Impacts are Negative." **Natural Resources Research** 12 (2): 127-134.
- Spadaro, J. V. and A. Rabl. 2002. "Air Pollution Damage Estimates: the Cost per kg of Pollutant." **International Journal of Risk Assessment and Management** 3 (1): 75-98.
- Thomas, V. and A. Kwong. 2001. "Ethanol as a Lead Replacement: Phasing out Leaded Gasoline in Africa." **Energy Policy** 29 (13): 1133-1143.
- von Blottniz, H. and M. A. Curran. 2007. "A Review of Assessments Conducted on Bio-Ethanol as a Transportation Fuel from a Net Energy, Greenhouse Gas, and Environmental Life Cycle Perspective." **Journal of Cleaner Production** 15 (7): 607-619.

ภาคผนวกที่ 1: การคำนวณ added cost และ saved cost ตามแบบจำลองพื้นฐานกรณี ที่ 1 และ 2

ตารางผนวกที่ 1.1 ค่า added cost จากแบบจำลองกรณีที่ 1 (ปริมาณเอทานอลที่ผลิตเท่ากับในปี พ.ศ.2549 หรือ $X^E = 118.48$ ล้านลิตร)

ต้นทุนการผลิต	a_i	C_i^E	$a_i \cdot C_i^E$	หน่วย
กากน้ำตาล	0.84	14.67	12.37	บาท/ลิตร
มันสำปะหลัง	0.16	13.41	2.11	บาท/ลิตร
รวม			14.47	บาท/ลิตร
รวม			1,715.16	ล้านบาท

ต้นทุนการขนส่ง	C_j^{TE}	X^{TE}	$X^{TE} \cdot C_j^{TE}$	หน่วย
ขนส่งเอทานอลไปคลังน้ำมัน	1.07	31.12	33.42	ล้านบาท
ขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95 ไปคลังน้ำมัน	1.20	224.54	269.42	ล้านบาท
ขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ	2.01	58.66	117.83	ล้านบาท
ขนส่งน้ำมันเบนซินพื้นฐาน (ทางเรือ) ไปผสมที่คลังน้ำมัน	0.30	99.07	29.64	ล้านบาท
ขนส่งน้ำมันเบนซินพื้นฐาน (ทางท่อ) ไปผสมที่คลังน้ำมัน	0.80	46.45	37.17	ล้านบาท
รวม			487.49	ล้านบาท

ต้นทุนการบำบัดมลพิษ	C_r^{PE}	X_{rs}^{PE}	$X_{rs}^{PE} \cdot C_r^{PE}$	หน่วย
CO	0.094			บาท/กก.
การผลิตอ้อย		4.188894	0.39376	ล้านบาท
การผลิตมันสำปะหลัง		0.049053	0.00461	ล้านบาท
การผลิตกากน้ำตาล		0.008235	0.00077	ล้านบาท
ขนส่งอ้อยไปโรงงานน้ำตาล		0.003869	0.00036	ล้านบาท
ขนส่งมันสำปะหลังไปโรงงานเอทานอล		0.000616	0.00006	ล้านบาท
ขนส่งกากน้ำตาลไปโรงงานเอทานอล		0.000023	0.00000	ล้านบาท
ขนส่งเอทานอลไปคลังน้ำมัน (กากน้ำตาล)		0.008077	0.00076	ล้านบาท
ขนส่งเอทานอลไปคลังน้ำมัน (มันสำปะหลัง)		0.001508	0.00014	ล้านบาท
ขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ		0.013625	0.00128	ล้านบาท
การผลิตเอทานอล (กากน้ำตาล)		0.014927	0.00140	ล้านบาท
การผลิตเอทานอล (มันสำปะหลัง)		0.058772	0.00552	ล้านบาท
การขนส่งน้ำมันเบนซินพื้นฐานไปคลังน้ำมัน		0.013475	0.00127	ล้านบาท
การผลิตน้ำมันเบนซินพื้นฐานเพื่อไปผสมเป็นแก๊สโซฮอล์ 95		0.237479	0.02232	ล้านบาท
การผสมเป็นแก๊สโซฮอล์ 95		0.001586	0.00015	ล้านบาท
การใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95		15.876575	1.49240	ล้านบาท
รวม			1.92	ล้านบาท

CO ₂	1.363			บาท/กก.
การผลิตอ้อย		9.286133	12.65700	ล้านบาท
การผลิตมันสำปะหลัง		3.617375	4.93048	ล้านบาท
การผลิตกากน้ำตาล		0.000000	0.00000	ล้านบาท
ขนส่งอ้อยไปโรงงานน้ำตาล		2.846181	3.87935	ล้านบาท
ขนส่งมันสำปะหลังไปโรงงานเอทานอล		0.297820	0.40593	ล้านบาท
ขนส่งกากน้ำตาลไปโรงงานเอทานอล		9.843671	13.41692	ล้านบาท
ขนส่งเอทานอลไปคลังน้ำมัน (กากน้ำตาล)		4.997377	6.81142	ล้านบาท
ขนส่งเอทานอลไปคลังน้ำมัน (มันสำปะหลัง)		0.932964	1.27163	ล้านบาท
ขนส่งแก๊สไฮโซล 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ		6.533921	8.90573	ล้านบาท
การผลิตเอทานอล (กากน้ำตาล)		1.067266	1.45468	ล้านบาท
การผลิตเอทานอล (มันสำปะหลัง)		38.366153	52.29307	ล้านบาท
การขนส่ง Gasohol base ไปคลังน้ำมัน		13.631440	18.57965	ล้านบาท
การผลิต Gasohol base เพื่อไปผสมเป็นแก๊สไฮโซล 95		141.966712	193.50063	ล้านบาท
การผสมเป็นแก๊สไฮโซล 95		5.904605	8.04798	ล้านบาท
การใช้งานแก๊สไฮโซล 95	2,714.135972	3,699.36733		ล้านบาท
รวม			4,025.52	ล้านบาท
SO ₂	14.1			บาท/กก.
การผลิตอ้อย		0.000000	0.00000	ล้านบาท
การผลิตมันสำปะหลัง		0.285192	4.02121	ล้านบาท
การผลิตกากน้ำตาล		0.048063	0.67769	ล้านบาท
ขนส่งอ้อยไปโรงงานน้ำตาล		0.000553	0.00779	ล้านบาท
ขนส่งมันสำปะหลังไปโรงงานเอทานอล		0.000057	0.00080	ล้านบาท
ขนส่งกากน้ำตาลไปโรงงานเอทานอล		0.001954	0.02755	ล้านบาท
ขนส่งเอทานอลไปคลังน้ำมัน (กากน้ำตาล)		0.000949	0.01337	ล้านบาท
ขนส่งเอทานอลไปคลังน้ำมัน (มันสำปะหลัง)		0.000177	0.00250	ล้านบาท
ขนส่งแก๊สไฮโซล 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ		0.001303	0.01837	ล้านบาท
การผลิตเอทานอล (กากน้ำตาล)		0.063751	0.89888	ล้านบาท
การผลิตเอทานอล (มันสำปะหลัง)		0.200138	2.82194	ล้านบาท
การขนส่งน้ำมันเบนซินพื้นฐานไปคลังน้ำมัน		0.002921	0.04118	ล้านบาท
การผลิตน้ำมันเบนซินพื้นฐานเพื่อไปผสมเป็นแก๊สไฮโซล 95		0.312680	4.40879	ล้านบาท
การผสมเป็นแก๊สไฮโซล 95		0.005252	0.07406	ล้านบาท
การใช้งานแก๊สไฮโซล 95		0.000000	0.00000	ล้านบาท
รวม			13.01	ล้านบาท

NOx	70.5		บาท/กก.
การผลิตแอลกอฮอล์	0.322435	22.73168	ล้านบาท
การผลิตมันสำปะหลัง	0.059350	4.18415	ล้านบาท
การผลิตกากน้ำตาล	0.005723	0.40346	ล้านบาท
ขนส่งแอลกอฮอล์ไปโรงงานน้ำตาล	0.027545	1.94193	ล้านบาท
ขนส่งมันสำปะหลังไปโรงงานเอทานอล	0.002852	0.20106	ล้านบาท
ขนส่งกากน้ำตาลไปโรงงานเอทานอล	0.095195	6.71126	ล้านบาท
ขนส่งเอทานอลไปคลังน้ำมัน (กากน้ำตาล)	0.046667	3.29004	ล้านบาท
ขนส่งเอทานอลไปคลังน้ำมัน (มันสำปะหลัง)	0.008712	0.61422	ล้านบาท
ขนส่งแก๊สไฮโดรเจน 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ	0.062439	4.40201	ล้านบาท
การผลิตเอทานอล (กากน้ำตาล)	0.137526	9.69555	ล้านบาท
การผลิตเอทานอล (มันสำปะหลัง)	0.069732	4.91612	ล้านบาท
การขนส่งน้ำมันเบนซินพื้นฐานไปคลังน้ำมัน	0.135022	9.51909	ล้านบาท
การผลิตน้ำมันเบนซินพื้นฐานเพื่อไปผสมเป็นแก๊สไฮโดรเจน 95	0.722037	50.90363	ล้านบาท
การผสมเป็นแก๊สไฮโดรเจน 95	0.019407	1.36818	ล้านบาท
การใช้งานแก๊สไฮโดรเจน 95	1.729836	121.95342	ล้านบาท
รวม		242.84	ล้านบาท
ต้นทุนการบำบัดมลพิษรวม		4,283.30	ล้านบาท
total added cost		6,485.94	ล้านบาท

หมายเหตุ: ต้นทุนการผลิตเอทานอล C_i^E ได้รวมค่าขนส่งทั้งหมดจากพื้นที่เพาะปลูกจนถึงโรงงานเอทานอลไว้ด้วยแล้ว

ตารางผนวกที่ 1.2 ค่า saved cost จากแบบจำลองกรณีที่ 1 (ปริมาณเอทานอลที่ผลิตเท่ากับในปี พ.ศ.2549 หรือ $X^E = 118.48$ ล้านลิตร)

ต้นทุน MTBE	C^M	X^M	$X^M \cdot C^M$	หน่วย
ต้นทุนการนำเข้า MTBE รวม	18.60	118.48	2,203.76	ล้านบาท
ต้นทุนการขนส่ง	C_k^{TM}	X_k^{TM}	$X_k^{TM} \cdot C_k^{TM}$	
ขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นไปคลังน้ำมันทางท่อ	0.81	50.28	40.92	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นไปคลังน้ำมันทางเรือ	0.32	108.25	34.70	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นไปคลังน้ำมันทางรถไฟ	0.80	8.13	6.50	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นไปคลังน้ำมันทางรถบรรทุก	1.07	30.83	32.84	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากคลังน้ำมันสถานีบริการ	2.03	57.76	117.36	ล้านบาท
รวม			227.39	ล้านบาท

ต้นทุนการบำบัดมลพิษ	C_r^{PM}	X_{ru}^{PM}	$X_{ru}^{PM} \cdot C_r^{PM}$	
CO	0.094			บาท/กก.
การผลิต MTBE		0.052285	0.00491	ล้านบาท
ขนส่ง MTBE ไปโรงกลั่น		0.000985	0.00009	ล้านบาท
การผลิต (ผสม) เป็นเบนซิน 95		0.001586	0.00015	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นไปคลังน้ำมัน		0.004317	0.00041	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ		0.013388	0.00126	ล้านบาท
การใช้งานเบนซิน 95		19.182220	1.80313	ล้านบาท
การผลิตน้ำมันเบนซินพื้นฐานเพื่อไปผสมเป็นเบนซิน 95		0.245649	0.02309	ล้านบาท
รวม			1.833	ล้านบาท
CO ₂	1.363			บาท/กก.
การผลิต MTBE		69.086730	94.16521	ล้านบาท
ขนส่ง MTBE ไปโรงกลั่น		0.982693	1.339410626	ล้านบาท
การผลิต (ผสม) เป็นเบนซิน 95		5.904605	8.04798	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นไปคลังน้ำมัน		4.196392	5.71968	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ		6.411411	8.73875	ล้านบาท
การใช้งานเบนซิน 95		2723.069508	3,711.54374	ล้านบาท
การผลิตน้ำมันเบนซินพื้นฐานเพื่อไปผสมเป็นเบนซิน 95		146.910329	200.23878	ล้านบาท
รวม			4,029.794	ล้านบาท
SO ₂	14.1			บาท/กก.
การผลิต MTBE		0.427709	6.03070	ล้านบาท
ขนส่ง MTBE ไปโรงกลั่น		0.022357	0.31524	ล้านบาท
การผลิต (ผสม) เป็นเบนซิน 95		0.005252	0.07406	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นไปคลังน้ำมัน		0.001302	0.01836	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ		0.001185	0.01671	ล้านบาท
การใช้งานเบนซิน 95		0.000000	0.00000	ล้านบาท
การผลิตน้ำมันเบนซินพื้นฐานเพื่อไปผสมเป็นเบนซิน 95		0.323207	4.55722	ล้านบาท
รวม			11.012	ล้านบาท
NOx	70.5			บาท/กก.
การผลิต MTBE		0.302095	21.29768	ล้านบาท
ขนส่ง MTBE ไปโรงกลั่น		0.008103	0.57128	ล้านบาท
การผลิต (ผสม) เป็นเบนซิน 95		0.019407	1.36818	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นไปคลังน้ำมัน		0.058013	4.08992	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ		0.061255	4.31849	ล้านบาท
การใช้งานเบนซิน 95		2.499968	176.24775	ล้านบาท

การผลิตน้ำมันเบนซินพื้นฐานเพื่อไปผสมเป็นเบนซิน 95	0.746436	52.62374	ล้านบาท
รวม		260.517	ล้านบาท
ต้นทุนการบำบัดมลพิษรวม		4,303.16	ล้านบาท
total saved cost		6,734.30	ล้านบาท

หมายเหตุ: ต้นทุนนำเข้า MTBE (C^M) รวมค่าขนส่งจนถึงโรงกลั่นหรือคลังน้ำมันซึ่งเป็นสถานที่ผสมเป็นเบนซิน 95

ตารางผนวกที่ 1.3 ค่า added cost จากแบบจำลองกรณีที่ 2 (ผลิตเอทานอล 275.08 ล้านลิตร เพื่อทดแทนการนำเข้า MTBE ทั้งหมดในปี พ.ศ. 2549)

ต้นทุนการผลิต	a_i	C_i^E	$a_i \cdot C_i^E$	หน่วย
กากน้ำตาล	0.84	14.67	12.37	บาท/ลิตร
มันสำปะหลัง	0.16	13.41	2.11	บาท/ลิตร
รวม			14.47	บาท/ลิตร
รวม			3,982.08	ล้านบาท
ต้นทุนการขนส่ง	C_j^{TE}	X_j^{TE}	$X_j^{TE} \cdot C_j^{TE}$	
ขนส่งเอทานอลไปคลังน้ำมัน	1.07	72.25	77.58	ล้านบาท
ขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95 ไปคลังน้ำมัน	1.20	521.31	625.52	ล้านบาท
ขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ	2.01	136.20	273.57	ล้านบาท
ขนส่งน้ำมันเบนซินพื้นฐาน (ทางเรือ) ไปผสมที่คลังน้ำมัน	0.30	230.01	68.82	ล้านบาท
ขนส่งน้ำมันเบนซินพื้นฐาน (ทางท่อ) ไปผสมที่คลังน้ำมัน	0.80	107.84	86.31	ล้านบาท
รวม			1,131.81	ล้านบาท
ต้นทุนการบำบัดมลพิษ	C_r^{PE}	X_{rs}^{PE}	$X_{rs}^{PE} \cdot C_r^{PE}$	
CO	0.094			บาท/กก.
การผลิตอ้อย		9.725374	0.91419	ล้านบาท
การผลิตมันสำปะหลัง		0.113872	0.01070	ล้านบาท
การผลิตกากน้ำตาล		0.019120	0.00180	ล้านบาท
ขนส่งอ้อยไปโรงงานน้ำตาล		0.008983	0.00084	ล้านบาท
ขนส่งมันสำปะหลังไปโรงงานเอทานอล		0.001430	0.00013	ล้านบาท
ขนส่งกากน้ำตาลไปโรงงานเอทานอล		0.000054	0.00001	ล้านบาท
ขนส่งเอทานอลไปคลังน้ำมัน (กากน้ำตาล)		0.018753	0.00176	ล้านบาท
ขนส่งเอทานอลไปคลังน้ำมัน (มันสำปะหลัง)		0.003501	0.00033	ล้านบาท
ขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ		0.031634	0.00297	ล้านบาท
การผลิตเอทานอล (กากน้ำตาล)		0.034655	0.00326	ล้านบาท
การผลิตเอทานอล (มันสำปะหลัง)		0.136433	0.01282	ล้านบาท
การผลิตน้ำมันเบนซินพื้นฐานเพื่อไปผสมเป็นแก๊สโซฮอล์ 95		0.551355	0.05183	ล้านบาท

การผสมเป็นแก๊สไฮโดรเจน 95	0.003681	0.00035	ล้านบาท
การใช้งานแก๊สไฮโดรเจน 95	36.860720	3.46491	ล้านบาท
รวม		4.47	ล้านบาท
CO ₂	1.363		บาท/กก.
การผลิตอ้อย	21.559660	29.38582	ล้านบาท
การผลิตมันสำปะหลัง	8.397397	11.44565	ล้านบาท
การผลิตกากน้ำตาล	0.000000	0.00000	ล้านบาท
ขนส่งอ้อยไปโรงงานน้ำตาล	6.607993	9.00669	ล้านบาท
ขนส่งมันสำปะหลังไปโรงงานเอทานอล	0.691362	0.94233	ล้านบาท
ขนส่งกากน้ำตาลไปโรงงานเอทานอล	22.854100	31.15014	ล้านบาท
ขนส่งเอทานอลไปคลังน้ำมัน (กากน้ำตาล)	11.602434	15.81412	ล้านบาท
ขนส่งเอทานอลไปคลังน้ำมัน (มันสำปะหลัง)	2.165788	2.95197	ล้านบาท
ขนส่งแก๊สไฮโดรเจน 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ	15.169837	20.67649	ล้านบาท
การผลิตเอทานอล (กากน้ำตาล)	2.477876	3.37734	ล้านบาท
การผลิตเอทานอล (มันสำปะหลัง)	89.063424	121.39345	ล้านบาท
การขนส่งน้ำมันเบนซินพื้นฐานไปคลังน้ำมัน	31.648181	43.13647	ล้านบาท
การผลิตน้ำมันเบนซินพื้นฐานเพื่อไปผสมเป็นแก๊สไฮโดรเจน 95	329.604803	449.25135	ล้านบาท
การผสมเป็นแก๊สไฮโดรเจน 95	13.708749	18.68503	ล้านบาท
การใช้งานแก๊สไฮโดรเจน 95	6,301.422608	8,588.83901	ล้านบาท
รวม		9,346.06	ล้านบาท
SO ₂	14.1		บาท/กก.
การผลิตอ้อย	0.000000	0.00000	ล้านบาท
การผลิตมันสำปะหลัง	0.662046	9.33486	ล้านบาท
การผลิตกากน้ำตาล	0.111588	1.57339	ล้านบาท
ขนส่งอ้อยไปโรงงานน้ำตาล	0.001283	0.01809	ล้านบาท
ขนส่งมันสำปะหลังไปโรงงานเอทานอล	0.000132	0.00187	ล้านบาท
ขนส่งกากน้ำตาลไปโรงงานเอทานอล	0.004537	0.06397	ล้านบาท
ขนส่งเอทานอลไปคลังน้ำมัน (กากน้ำตาล)	0.002202	0.03105	ล้านบาท
ขนส่งเอทานอลไปคลังน้ำมัน (มันสำปะหลัง)	0.000411	0.00580	ล้านบาท
ขนส่งแก๊สไฮโดรเจน 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ	0.003026	0.04266	ล้านบาท
การผลิตเอทานอล (กากน้ำตาล)	0.148010	2.08694	ล้านบาท
การผลิตเอทานอล (มันสำปะหลัง)	0.464601	6.55087	ล้านบาท
การขนส่งน้ำมันเบนซินพื้นฐานไปคลังน้ำมัน	0.006781	0.09561	ล้านบาท
การผลิตน้ำมันเบนซินพื้นฐานเพื่อไปผสมเป็นแก๊สไฮโดรเจน 95	0.725951	10.23592	ล้านบาท
การผสมเป็นแก๊สไฮโดรเจน 95	0.012194	0.17194	ล้านบาท

การใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95	0.000000	0.00000	ล้านบาท
รวม		30.21	ล้านบาท
NOx	70.5		บาท/กก.
การผลิตอ้อย	0.748599	52.77625	ล้านบาท
การผลิตมันสำปะหลัง	0.137775	9.71310	ล้านบาท
การผลิตกากน้ำตาล	0.013287	0.93672	ล้านบาท
ขนส่งอ้อยไปโรงงานน้ำตาล	0.063952	4.50860	ล้านบาท
ขนส่งมันสำปะหลังไปโรงงานเอทานอล	0.006620	0.46674	ล้านบาท
ขนส่งกากน้ำตาลไปโรงงานเอทานอล	0.221015	15.58156	ล้านบาท
ขนส่งเอทานอลไปคลังน้ำมัน (กากน้ำตาล)	0.108348	7.63850	ล้านบาท
ขนส่งเอทานอลไปคลังน้ำมัน (มันสำปะหลัง)	0.020225	1.42585	ล้านบาท
ขนส่งแก๊สโซฮอล์ 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ	0.144967	10.22018	ล้านบาท
การผลิตเอทานอล (กากน้ำตาล)	0.319294	22.51021	ล้านบาท
การผลิตเอทานอล (มันสำปะหลัง)	0.161877	11.41232	ล้านบาท
การขนส่งน้ำมันเบนซินพื้นฐานไปคลังน้ำมัน	0.313482	22.10051	ล้านบาท
การผลิตน้ำมันเบนซินพื้นฐานเพื่อไปผสมเป็นแก๊สโซฮอล์ 95	1.676357	118.18320	ล้านบาท
การผสมเป็นแก๊สโซฮอล์ 95	0.045057	3.17650	ล้านบาท
การใช้งานแก๊สโซฮอล์ 95	4.016168	283.13984	ล้านบาท
รวม		563.79	ล้านบาท
ต้นทุนการบำบัดมลพิษรวม		9,944.53	ล้านบาท
total added cost		15,058.41	ล้านบาท

หมายเหตุ: ต้นทุนการผลิตเอทานอล (C_i^E) ได้รวมค่าขนส่งทั้งหมดจากพื้นที่เพาะปลูกจนถึงโรงงานเอทานอลไว้ด้วยแล้ว

ตารางผนวกที่ 1.4 ค่า saved cost จากแบบจำลองกรณีที่ 2 (ผลิตเอทานอลทดแทนการนำเข้า MTBE ทั้งหมดในปี พ.ศ.2549 หรือยกเลิกการใช้ MTBE ทั้งหมด 275.08 ล้านลิตร)

ต้นทุน MTBE	C^M	X^M	$X^M \cdot C^M$	หน่วย
ต้นทุนการนำเข้า MTBE	18.60	275.08	5,116.49	ล้านบาท
ต้นทุนการขนส่ง	C_k^{TM}	X_k^{TM}	$X_k^{TM} \cdot C_k^{TM}$	
ขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นไปคลังน้ำมันทางท่อ	0.81	116.74	95.01	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นไปคลังน้ำมันทางเรือ	0.32	251.32	80.57	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นไปคลังน้ำมันทางรถไฟ	0.80	18.88	15.09	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นไปคลังน้ำมันทางรถบรรทุก	1.07	60.32	64.25	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากคลังน้ำมันสถานีบริการ	2.03	134.10	272.47	ล้านบาท
รวม			515.93	ล้านบาท

ต้นทุนการบำบัดมลพิษ	C_r^{PM}	X_{ru}^{PM}	$X_{ru}^{PM} \cdot C_r^{PM}$	
CO	0.094			บาท/กก.
การผลิต MTBE		0.121391	0.01141	ล้านบาท
ขนส่ง MTBE ไปโรงกลั่น		0.002287	0.00022	ล้านบาท
การผลิต (ผสม) เป็นเบนซิน 95		0.003681	0.00035	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นไปคลังน้ำมัน		0.010022	0.00094	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ		0.031084	0.00292	ล้านบาท
การใช้งานเบนซิน 95		44.535452	4.18633	ล้านบาท
การผลิตน้ำมันเบนซินพื้นฐานเพื่อไปผสมเป็นเบนซิน 95		0.570324	0.05361	ล้านบาท
รวม			4.26	ล้านบาท
CO ₂	1.363			บาท/กก.
การผลิต MTBE		160.398994	218.62383	ล้านบาท
ขนส่ง MTBE ไปโรงกลั่น		2.281523	3.109716125	ล้านบาท
การผลิต (ผสม) เป็นเบนซิน 95		13.708749	18.68503	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นไปคลังน้ำมัน		9.742783	13.27941	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ		14.885404	20.28881	ล้านบาท
การใช้งานเบนซิน 95		6322.163640	8,617.10904	ล้านบาท
การผลิต Gasoline base เพื่อไปผสมเป็นเบนซิน 95		341.082420	464.89534	ล้านบาท
รวม ค่าบำบัดมลพิษ CO ₂			9,355.99	ล้านบาท
SO ₂	14.1			บาท/กก.
การผลิต MTBE		0.993015	14.00151	ล้านบาท
ขนส่ง MTBE ไปโรงกลั่น		0.051907	0.73189	ล้านบาท
การผลิต (ผสม) เป็นเบนซิน 95		0.012194	0.17194	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นไปคลังน้ำมัน		0.003023	0.04263	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ		0.002751	0.03879	ล้านบาท
การใช้งานเบนซิน 95		0.000000	0.00000	ล้านบาท
การผลิตน้ำมันเบนซินพื้นฐานเพื่อไปผสมเป็นเบนซิน 95		0.750391	10.58051	ล้านบาท
รวม			25.27	ล้านบาท
NOx	70.5			บาท/กก.
การผลิต MTBE		0.701375	49.44692	ล้านบาท
ขนส่ง MTBE ไปโรงกลั่น		0.018813	1.32635	ล้านบาท
การผลิต (ผสม) เป็นเบนซิน 95		0.045057	3.17650	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากโรงกลั่นไปคลังน้ำมัน		0.134689	9.49559	ล้านบาท
ขนส่งเบนซิน 95 จากคลังน้ำมันไปสถานีบริการ		0.142216	10.02625	ล้านบาท
การใช้งานเบนซิน 95		5.804188	409.19525	ล้านบาท

การผลิตน้ำมันเบนซินพื้นฐานเพื่อไปผสมเป็นเบนซิน 95	1.733004	122.17678	ล้านบาท
รวม		604.84	ล้านบาท
ต้นทุนการบำบัดมลพิษรวม		9,990.66	ล้านบาท
total saved cost		15,623.07	ล้านบาท

หมายเหตุ : รวมค่าขนส่งถึงโรงกลั่นหรือคลังน้ำมัน

ภาคผนวกที่ 2: ต้นทุนการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล

การผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลมีต้นทุน (ไม่รวมค่ากากน้ำตาล) ประกอบด้วย ค่าจ้างแรงงาน สารเคมี พลังงาน ค่าบำรุงรักษา ค่าประกันภัย ค่าบริหารและการขาย ค่าน้ำดิบ ค่าเสื่อมราคา และค่าบำบัดน้ำเสีย รวมต้นทุนการผลิตส่วนนี้เท่ากับ 5.17 บาท ต่อลิตร รายละเอียดดังนี้

รายการ	ต้นทุน	
	บาท/ลิตร	บาท/1,000 ลิตร
ค่าจ้างแรงงาน	1.00	1,000
สารเคมี	0.25	250
พลังงาน	1.35	1,350
ค่าบำรุงรักษา	0.25	250
ค่าประกันภัย	0.15	150
ค่าบริหารและการขาย	0.50	500
ค่าน้ำดิบ	0.05	50
ค่าเสื่อมราคา	0.97	970
ค่าบำบัดน้ำเสีย	0.65	650
รวม	5.17	5,170

ที่มา: ข้อมูลรวบรวมโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ส่วนต้นทุนกากน้ำตาลคำนวณจากค่าเฉลี่ยราคากากน้ำตาลส่งออกปี พ.ศ.2544-2549 ซึ่งเท่ากับ 2.04 บาทต่อกิโลกรัม นำไปคูณกับ 4.66 ซึ่งเป็นปริมาณกากน้ำตาลที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร จึงได้ต้นทุนค่ากากน้ำตาลเท่ากับ 9.50 บาทต่อลิตร ดังนั้นต้นทุนทั้งหมดของการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาลเท่ากับ $5.17 + 9.50 = 14.67$ บาทต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าที่นำมาใช้ในการคำนวณในการศึกษาครั้งนี้

ภาคผนวกที่ 3: ต้นทุนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลัง

การผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังมีต้นทุน (ไม่รวมค่ามันสำปะหลัง) ประกอบด้วย ค่าจ้างแรงงาน สารเคมี พลังงาน ค่าบำรุงรักษา ค่าประกันภัย ค่าบริหารและการขาย ค่าน้ำดิบ ค่าเสื่อมราคา ค่าบำบัดน้ำเสีย และผลพลอยได้จากไบโอแก๊สซึ่งช่วยประหยัดต้นทุน รวมต้นทุนการผลิตส่วนนี้เท่ากับ 6.0 บาทต่อลิตร รายละเอียดดังนี้

รายการ	ต้นทุน	
	บาท/ลิตร	บาท/1,000 ลิตร
ค่าจ้างแรงงาน	0.50	500
สารเคมี	1.50	1,500
พลังงาน	2.00	2,000
ค่าบำรุงรักษา	0.30	300
ค่าประกันภัย	0.15	150
ค่าบริหารและการขาย	0.30	300
ค่าน้ำดิบ	0.05	50
ค่าเสื่อมราคา	1.00	1,000
ค่าบำบัดน้ำเสีย	0.50	500
ผลพลอยได้จากไบโอแก๊ส	-0.30	-300
รวม	6.00	6,000

หมายเหตุ: ผลพลอยได้เป็นไบโอแก๊สมีค่าเป็นลบแสดงว่าเป็นค่าที่ช่วยประหยัดต้นทุน

ที่มา: ข้อมูลดิบรวบรวมโดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ส่วนต้นทุนวัตถุดิบมันสำปะหลังคำนวณโดยใช้ราคาหัวมันดิบจากข้อมูลการสำรวจภาคสนาม ปี พ.ศ.2549 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.21 บาทต่อกิโลกรัมคูณกับ 6.12 กิโลกรัมซึ่งเป็นปริมาณมันดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร ดังนั้นในการผลิตเอทานอล 1 ลิตร จะต้องเสียเงินค่ามันสำปะหลังเท่ากับ $6.12 \times 1.21 = 7.41$ บาท ดังนั้นจึงได้ต้นทุนทั้งหมดของการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในการศึกษาครั้งนี้เท่ากับ $6.0 + 7.41 = 13.41$ บาทต่อลิตร