



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการประเมินการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพในประเทศไทย
โดยวิธีวิเคราะห์วงจรห่วงโซ่พลังงาน

โดย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ

ธันวาคม 2552

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการประเมินการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพในประเทศไทย
โดยวิธีวิเคราะห์วงจรห่วงโซ่พลังงาน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่ได้จัดให้มีทุนพัฒนาศักยภาพอาจารย์รุ่นใหม่ เช่นที่ได้รับในโครงการวิจัยนี้ ซึ่งเป็นการเปิดโอกาสให้คณาจารย์ในมหาวิทยาลัยที่ยังมีประสบการณ์น้อยในการทำงานวิจัยได้มีแหล่งทุนวิจัยที่เหมาะสมและได้มีโอกาสได้รับคำแนะนำจากเมธีวิจัยที่มีประสบการณ์เป็นผู้ให้คำแนะนำ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต ลิ้มมีโชคชัย สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์เป็นอย่างยิ่งที่ได้กรุณารับเป็นเมธีวิจัย และให้คำแนะนำในการดำเนินโครงการวิจัย มาโดยตลอด และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาที่ได้ให้โอกาสและสนับสนุนให้คณาจารย์ได้มีโอกาสในการทำงานวิจัยตลอดมา

งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยความเอื้อเฟื้อด้านข้อมูลในการวิเคราะห์และคำแนะนำส่วนหนึ่ง จาก รศ. วารุณี เตีย จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี คุณประภาศรี พงษ์วัฒนา ฝ่ายตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต สำนักงานคณะกรรมการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ขอขอบคุณบริษัท สุขสมบูรณ์น้ำมัน ปาล์ม จังหวัดชลบุรี และ สกอ.เมืองชลบุรี ในความอนุเคราะห์ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่งานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณนางสาวนาถนภา ต่ายแต้มทอง ที่ได้ช่วยเหลือเป็นกำลังสำคัญในการดำเนินการเก็บข้อมูลในการวิจัย และนิสิตคณะวิศวกรรมศาสตร์หลายท่านที่ได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: RDG4980166

ชื่อโครงการ: การประเมินการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพในประเทศไทยโดยวิธีวิเคราะห์วงจรห่วงโซ่พลังงาน

ชื่อนักวิจัย : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาวิณี ศักดิ์สุนทรศิริ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพาE-mail Address: pawinee@buu.ac.th

ระยะเวลาโครงการ: 1 กรกฎาคม 2549- 31 ธันวาคม 2552

จากนโยบายในการสนับสนุนการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ในรถยนต์เบนซิน และการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลในรถยนต์ดีเซล เพื่อทดแทนพลังงานฟอสซิลโดยนำเอทานอล หรือไบโอดีเซลมาใช้เป็นส่วนผสม แม้ว่าจะสามารถช่วยลดปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ในทางตรง แต่การเปรียบเทียบการใช้พลังงานจากแหล่งต่าง ๆ อย่างเป็นธรรมนั้นจำเป็นต้องทำการเปรียบเทียบจากปริมาณการใช้พลังงานจากทั้งห่วงโซ่วงจรการใช้พลังงาน เนื่องจากปริมาณการใช้พลังงานทางอ้อมแฝงอยู่ในวัตถุดิบ สินค้า และบริการที่ถูกนำมาใช้และเกี่ยวข้องทั้งหมดทั้งต้นทางวงจรและปลายทางวงจรของการใช้พลังงาน โดยกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานตลอดทั้งห่วงโซ่พลังงานนี้จะก่อให้เกิดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก และมลภาวะอื่น ๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อม ซึ่งรวมถึงการผลิตพลังงาน รวมไปถึงการส่งและจ่ายพลังงานด้วย

โครงการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานสุทธิและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสุทธิจากทั้งวัฏจักรการใช้พลังงาน ที่คาดว่าจะลดลงจากการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์เบนซินและจากการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลเป็นเชื้อเพลิงทดแทนในเครื่องยนต์ดีเซลในประเทศไทย โดยเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานทางตรงและปริมาณการใช้พลังงานทางอ้อมโดยวิธีห่วงโซ่พลังงานครบวงจร หรือที่เรียกว่า การวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบจำลองปัจจัยการผลิตและผลผลิตทางพลังงาน ผสมผสานกับวิธีวิเคราะห์กระบวนการ (Combined PCA and IOA) โดยอ้างอิงจากข้อมูลปัจจัยการผลิตและผลผลิตจำนวน 180 ภาคเศรษฐกิจของประเทศไทย และข้อมูลปัจจัยการใช้พลังงานของภาคเศรษฐกิจทั้ง 180 ภาคเศรษฐกิจ

จากการใช้ค่าดัชนีพลังงานแฝงและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝงของปัจจัยนำเข้าที่ผ่านการปรับปรุงโครงสร้างการใช้พลังงานของภาคการผลิตไฟฟ้าให้เป็นข้อมูลในปี ค.ศ.2008 ผลการศึกษาห่วงโซ่กระบวนการใช้พลังงานในการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์และเชื้อเพลิงไบโอดีเซลด้านต้นน้ำและทางตรงในรถยนต์พบว่าสามารถลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้เล็กน้อยเนื่องจากปริมาณส่วนผสมของเชื้อเพลิงชีวภาพมีปริมาณน้อยเนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องยนต์ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวภาพมีค่าต่ำกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิลและกระบวนการต้นน้ำยังมีพลังงานฟอสซิลและการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝงอยู่มากจึงควรพิจารณาถึงแนวทางในการลดปริมาณพลังงานฟอสซิลในภาคการผลิตพลังงานเช่น ภาคการผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะส่งผลต่อการลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในกระบวนการต้นน้ำของสินค้าและบริการได้ดีกว่า

คำหลัก : bio ethanol, bio diesel, life cycle assessment, greenhouse gases, input-output analysis

Abstract

Project Code: RDG4980166
Project Title : Full Energy-Chains Analysis on Biofuel Utilizations in Thailand
Investigator: Assistant Professor Dr. Pawinee Suksuntornsiri
Faculty of Engineering, BURAPHA University
E-mail Address: pawinee@buu.ac.th
Project Period : 1st July, 2006- 31st December, 2009

Utilization of Biofuel Energy Policy in gasoline and diesel vehicles in Thailand was related to a partially blended portion of dehydrated ethanol and biodiesel in fossil fuel. It could directly reduce fossil energy in the vehicle tank and GHG emitted from the engine combustion. In the other hands, embodied energy in the upstream energy chain and the footprints of GHG emissions inherent before entering the driving process were not considered. An impartial comparison between two different energy systems requires life cycle analysis (LCA), including embodied energy and GHG emissions in related input materials and services, energy production, distribution, and transportation.

The aim of this research is to provide comparisons of net energy saving and GHG emissions mitigation from these two different transportation energy policies in term of full energy chain analysis, appeared in case studies. The data of Embodied Energy and GHG Emissions for LCA from 180 commodities as of the year 2008 are provided in the prior result of the study, derived from economic Input-Output Analysis (IOA). The data could be used as an inventory data for any LCA study where embodied energy and GHG emissions in deeper subprocesses could not be surveyed by process analysis (PCA). The boundary layer of LCA study could be extended to the infinite subprocess. The Input-output (I-O) model was derived from 2000 I-O table and 1998 energy I-O data, but their important energy structure were updated in the power sector as of the recent year of the power sector fuel mix. Results of the cases of LCA on ethanol and biodiesel were found that GHG mitigation from the biofuel policies cause small impact to fossil energy saving and GHG mitigation due to small portion of biofuel mixed in the fuels. However, increasing percentage of the energy saving or GHG is not as high as the increasing percentage of the biofuel mixed in the fuel, since direct emissions from the high portion of fossil fuel persists and indirect emissions exists. It is recommended to encourage the energy savings and GHG emission reductions in significant upstream process, particularly in the power sector, where impact to other commodities is very high.

Keywords bio ethanol, bio diesel, life cycle assessment, greenhouse gases, input-output analysis

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ง
สารบัญ	จ
 บทที่ 1 บทนำ	 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 การดำเนินการนโยบายด้านเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์	4
1.3 การดำเนินการนโยบายด้านเชื้อเพลิงไบโอดีเซล	4
1.4 การบรรเทาปัญหาการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการเลือกของผู้บริโภค	5
บทที่ 2 วิธีการดำเนินการ	7
2.1 การจัดทำฐานข้อมูลดัชนีพลังงานและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝง	8
2.2 แนวทางการประเมินจากปัจจัยการผลิตและผลผลิต	9
2.3 การปรับปรุงค่าโครงสร้างพลังงานของภาคการผลิตไฟฟ้า	13
2.4 การประเมินปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากเศรษฐกิจภายในประเทศ	17
2.5 การประเมินวัฏจักรของระบบพลังงาน	18
2.6 วิธีการผสมผสานการวิเคราะห์ปัจจัยการผลิตและผลผลิตเข้ากับการวิเคราะห์เส้นทาง กระบวนการ	20
2.7 บัญชีรายการวัฏจักรชีวิต	21
บทที่ 3 กรณีศึกษาการใช้และการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์	22
บทที่ 4 กรณีศึกษาการใช้และการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซล	29
บทที่ 5 ผลการวิจัย	38
5.1 ดัชนีพลังงานแฝงและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝง	38
5.2 ผลจากกรณีศึกษาแก๊สโซฮอลล์	39
5.3 ผลจากกรณีศึกษาไบโอดีเซล	42
 บทที่ 6 บทวิจารณ์	 54
 เอกสารอ้างอิง	 55
ภาคผนวก	
Output จากโครงการวิจัย	60

บทที่ 1

บทนำ

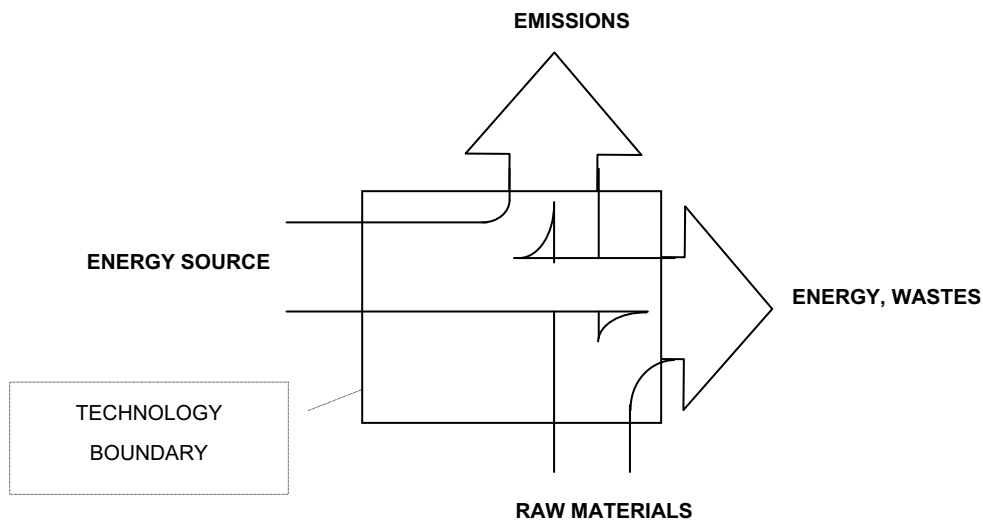
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ภายใต้สถานการณ์ที่ประเทศไทยมีแหล่งพลังงานฟอสซิลไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้ภายในประเทศซึ่งส่งผลให้ประเทศประสบปัญหาด้านความมั่นคงทางพลังงานมาโดยตลอดเนื่องจากต้องพึ่งพาการนำเข้าจากแหล่งพลังงานจากต่างประเทศเป็นปริมาณมาก แก๊สธรรมชาติเป็นแหล่งพลังงานที่เป็นที่พึ่งของประเทศในปัจจุบัน[1] ก็จำเป็นต้องเตรียมไว้สำหรับการโรงไฟฟ้าในประเทศอัตราส่วนมากถึง 71.2% ของไฟฟ้าผลิตมาจากแก๊สธรรมชาติ [2] การบริโภคเชื้อเพลิงปิโตรเลียมมีอัตราส่วนมากถึง 58.2 % ของการบริโภคพลังงานขั้นสุดท้ายในประเทศทั้งหมด (Final energy consumption) โดยภาคขนส่งเป็นภาคธุรกิจที่บริโภคเชื้อเพลิงปิโตรเลียมมากที่สุดถึง 71.9% โดยเป็นส่วนหนึ่งของเชื้อเพลิงดีเซลรวมถึงไบโอดีเซลถึง 36% ของเชื้อปิโตรเลียมทั้งหมด [3] จากการประเมินปริมาณการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จากปริมาณการบริโภคพลังงานในประเทศโดยกระทรวงพลังงานมีรายงานว่ามีการปลดปล่อยถึง 181,942 พันตันโดยแม้ว่าเป็นการปลดปล่อยเนื่องจากการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดถึง 45.82 % แต่ก็เป็นที่สังเกตว่าภาคอุตสาหกรรมมีส่วนรับผิดชอบเป็นอันดับที่สองถึง 24.74 % และภาคขนส่งมีส่วนรับผิดชอบเป็นอันดับที่สามถึง 19.89 % [3].

จากเหตุผลด้านความมั่นคงด้านพลังงาน ด้านการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ และด้านเศรษฐกิจศาสตร์ แผนพัฒนาพลังงานทดแทน (Renewable Energy Development Plan: REDP) ได้ถูกกำหนดขึ้นโดยมติคณะรัฐมนตรี โดยมีเป้าหมายอัตราส่วนของการใช้พลังงานทดแทนมากถึง 20% ของความต้องการพลังงานขั้นสุดท้ายภายในปี 2563 โดยให้เพิ่มขึ้นจาก 6.4 % เป็น 15.6 % ในปี 2554 โดยตั้งเป้าหมายว่าจะเพิ่มขึ้นเป็น 19.1 % ในปี 2559 และเพิ่มเป็น 20.3 % (19,799 ktoe) ภายในปี 2565 การส่งเสริมเชื้อเพลิงชีวภาพเหลวประกอบไปด้วยเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์และไบโอดีเซลในภาคการขนส่งเป็นปัจจัยสำคัญในการบรรลุเป้าหมายของแผนดังกล่าวเนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการยอมรับและเป็นไปได้ทางเศรษฐกิจศาสตร์ แผนดังกล่าวได้มีการส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตด้านพลังงานทดแทนในเทคโนโลยีที่ได้รับการยอมรับแล้วและมีการสนับสนุนเทคโนโลยีใหม่ ๆ ในการผลิตเพื่อสร้างความเข้มแข็งในการผลิตที่เกี่ยวข้องกับพลังงานทดแทน ท้ายที่สุดแล้วเราคาดหวังว่าจะเป็นจุดศูนย์กลางด้านพลังงานทดแทนในกลุ่มประเทศอาเซียนในที่สุด [4]

จากปัญหาการลดลงของการผลิตเชื้อเพลิงฟอสซิลและการตระหนักถึงผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลส่งผลให้ความต้องการพลังงานชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นมากอย่างไม่เคยมีมาก่อน ซึ่งผลกระทบเช่นนี้ส่งผลต่อความมั่นคงด้านอาหาร Escobar et al. ได้กล่าวถึงผลกระทบของการเพิ่มขึ้นของความต้องการเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีต่อการผลิตอาหารโดยพิจารณาจากการประเมินวัฏจักรชีวิตในเอกสารอ้างอิง [5] โดยให้ความเห็นว่าเราไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเพิ่มขึ้นของความต้องการเชื้อเพลิงชีวภาพได้ดังนั้นเราจึงต้องเตรียมการรับมือกับปัญหาการใช้พื้นที่ในการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และปัญหาด้านสังคมที่จะเกิดขึ้นตามมาด้วย

ในการเปรียบเทียบเทคโนโลยีในการใช้พลังงานแต่ละประเภทอย่างเป็นธรรมนั้นจำเป็นต้องเปรียบเทียบผลรวมทั้งหมดตลอดวัฏจักรชีวิตหรือตลอดทั้งห่วงโซ่พลังงานของเทคโนโลยีนั้น ๆ [6] [7] [8] การใช้พลังงานตลอดทั้งห่วงโซ่พลังงานนี้จะก่อให้เกิดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก และมลภาวะอื่น ๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อมอีกด้วย [6] [7] เนื่องจากปริมาณการใช้พลังงานทางอ้อมนั้นจะแฝงอยู่ในวัตถุดิบ สินค้าและบริการที่ถูกนำมาใช้และเกี่ยวข้องทั้งหมดตลอดทั้งวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ทั้งกระบวนการผลิตสินค้าและบริการทั้งต้นทางวงจรและปลายทางวงจรของการใช้พลังงานโดยตรง ปริมาณการใช้พลังงานทางอ้อมและการปลดปล่อยมลภาวะทางอ้อมนั้นสามารถเกิดขึ้นได้จากห่วงโซ่การผลิตพลังงาน รวมไปถึงการส่งและจ่ายพลังงาน โดยการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกนั้นไม่เพียงแต่เกิดจากการเผาไหม้ของพลังงานเท่านั้นยังสามารถเกิดจากการรั่วของก๊าซด้วย เช่น การรั่วของก๊าซมีเทนจากการขุดเจาะเชื้อเพลิงฟอสซิล นอกจากนี้ยังรวมถึงการใช้พลังงานทางอ้อมในห่วงโซ่การผลิตสินค้าและบริการที่ใช้ในวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เช่นการสร้างเครื่องจักร การเดินเครื่องจักร และการบำรุงรักษา ฯลฯ [8]



ภาพที่ 1.1 สาเหตุของการปลดปล่อยมลภาวะและของเสียจากระบบการใช้พลังงาน

Source: *Integration of indirect CO₂ emissions from the full energy chain*, Yasukawa et.al (1996), IAEA-TECDOC-892. [8]

ในการจัดทำบัญชีวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Analysis, LCA) นั้น สิ่งที่สำคัญที่สุดคือการหาปริมาณของสินค้าและบริการที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการและออกจากกระบวนการทั้งหมด [8] [9] ภาพที่ 1.1 แสดงแผนผังการวิเคราะห์กระบวนการวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะเริ่มจากการวิเคราะห์ว่ากระบวนการหลัก (main process chain) นั้นมีกระบวนการของสินค้าและบริการที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการและออกจากกระบวนการทั้งหมดอย่างไรบ้าง แล้วต่อมาทำการวิเคราะห์กระบวนการย่อย (subprocess chains) ที่เกี่ยวข้องทีละลำดับชั้น ยิ่งวิเคราะห์กระบวนการย่อยได้มากลำดับชั้นเท่าใดก็จะได้ผลการวิเคราะห์ได้ถูกต้องแม่นยำมากขึ้นเท่านั้น

ปัญหาที่สำคัญในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ คือฐานข้อมูลในส่วนของกระบวนการต้นน้ำ (subprocess chains) ซึ่งมีการทำฐานข้อมูลเช่นนี้แล้วในประเทศอื่น ๆ หลายประเทศแล้ว เช่น ประเทศญี่ปุ่นมี embodied energy and emission intensity data ที่จัดทำจากตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตของประเทศซึ่งดำเนินการโดย National Institute for Environmental Studies (NIES) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการทำ LCA) ในประเทศญี่ปุ่น [10] แต่สำหรับประเทศไทยยังไม่มีฐานข้อมูลที่ทำจากตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตเช่นนี้ ในปัจจุบันพบว่ามีในการทำข้อมูลสำหรับ LCA ในประเทศไทยด้วยวิธีการ Process chain analysis (PCA) โดยยึดหลักตามมาตรฐาน ISO14040 ซึ่งต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูลสูงมากและผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีข้อจำกัดด้านขอบเขตของ LCA ซึ่งกระบวนการต้นน้ำในทางลึกลับจำเป็นต้องถูกตัดทิ้งและค่าที่ได้จะมาจากผู้ประกอบการที่ยินยอมให้เข้าไปเก็บข้อมูลในโรงงานเท่านั้น และข้อมูลที่เตรียมไว้สำหรับการทำ LCA ของกระบวนการอื่น ๆ จะมีจำกัดเนื่องจากต้องใช้เวลาและกำลังคนในการเก็บข้อมูลจำนวนมาก และข้อมูลที่ได้อีกก็ไม่สามารถทำได้ครบถ้วนตลอดทั้งห่วงโซ่พลังงาน [11] ในงานวิจัยของผุ้วิจัย [12] เคยทำฐานข้อมูลของประเทศไทยมาแล้วครั้งหนึ่งโดยใช้ข้อมูล IOA ปีคศ. 1995 ซึ่งปัจจุบันสภาพโครงสร้างปัจจัยการผลิตและผลผลิตของภาคธุรกิจรวมถึงโครงสร้างการใช้พลังงานได้เปลี่ยนไป จึงจำเป็นต้องมีการจัดทำฐานข้อมูลที่ทันสมัยที่จำเป็นต้องใช้ในการประเมินห่วงโซ่พลังงานให้ครบถ้วนทั้งวัฏจักรชีวิตคือ Energy Input-Output Data หรือ ข้อมูลการใช้พลังงานและการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ทุกชนิดในประเทศโดยวิธี Energy Input-output analysis (Energy IOA) ซึ่งจะถูกนำมาใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของห่วงโซ่พลังงานในประเทศไทยจากการนำเชื้อเพลิงชีวภาพมาทดแทนพลังงานฟอสซิลในการวิจัยนี้

การนำเชื้อเพลิงชีวภาพมาใช้เป็นส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงนั้นจะช่วยลดปริมาณการบริโภคเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ในทางตรง (Direct reduction) แต่เมื่อพิจารณาถึงที่มาของเชื้อเพลิงชีวภาพในมุมมองของห่วงโซ่พลังงานอย่างครบวงจรแล้ว ยังต้องการการวิจัยหาคำตอบเพื่อเป็นการยืนยันว่าหากพิจารณาถึงปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดตลอดทั้งห่วงโซ่พลังงานของการนำเชื้อเพลิงชีวภาพดังกล่าวมาใช้ในเครื่องยนต์ ซึ่งรวมการใช้พลังงานทางตรง (direct energy consumption) และพลังงานปริมาณพลังงานทางอ้อม (indirect energy content) ของเชื้อเพลิงชีวภาพด้วยแล้วจะสามารถลดปริมาณพลังงานจริงหรือไม่

จากรายงานของคณะกรรมการไบโอดีเซลแห่งประเทศไทยสหรัฐอเมริกา (National Biodiesel Board)[13] ในปีคศ.1998 ซึ่งเป็นการจัดทำบัญชีรายการเปรียบเทียบระหว่างวัฏจักร (LCI) ของเชื้อเพลิงไบโอดีเซลและปิโตรเลียมดีเซล พบว่าหากคิดรวมพลังงานทุกประเภทแล้ว อัตราส่วนพลังงานที่ให้ต่อพลังงานแฝงต้นน้ำของน้ำมันไบโอดีเซลจะใกล้เคียงกับน้ำมันปิโตรเลียมดีเซลมาก กล่าวคือ 83.28% 80.55% ตามลำดับ หากพิจารณาอัตราส่วนพลังงานที่ให้ต่อพลังงานฟอสซิลแฝงต้นน้ำแล้ว ไบโอดีเซลจะมีค่าถึง 3.215 เท่า ส่วนปิโตรเลียมดีเซลจะมีค่าเพียง 0.8337 เท่า ซึ่งบ่งบอกว่าไบโอดีเซลจะสามารถทดแทน (renewable) ได้มากกว่า และเนื่องจากค่าความร้อนของไบโอดีเซลต่ำกว่าดีเซล หากประสิทธิภาพของเครื่องยนต์มีค่าคงที่ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่อระยะทางที่ขับขีได้จะเปลี่ยนไปตามค่าความร้อนที่ลดลง ส่วนปริมาณการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่าปิโตรเลียมดีเซลถึง 78%

คาร์บอนมอนอกไซด์ต่ำกว่าประมาณ 35% การปลดปล่อยอนุภาคต่ำกว่า 83.6% sulfur dioxide ต่ำกว่า 8% methane ต่ำกว่า 3.0% NOx สูงกว่า 13% hydrocarbon ต่ำกว่า 37% น้ำเสียต่ำกว่า 79.0%

1.2 การดำเนินการนโยบายด้านเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์

ในการส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ในประเทศไทยนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเป็น Ethanol ที่มีความบริสุทธิ์ 99.5% ที่ผลิตขึ้นมาจากวัสดุทางการเกษตรจำพวกแป้งหรือน้ำตาล รัฐบาลได้ประกาศนโยบายการสนับสนุนการใช้เอทานอลที่ผลิตจากภาคการเกษตรเป็นส่วนผสมในเชื้อเพลิงเบนซินตั้งแต่ปี 2548 โดยตั้งเป้าหมายให้มีอัตราการใช้เอทานอลปริมาณ 3 ล้านลิตรต่อวันภายใน ปี 2554 โดยเริ่มจากการสนับสนุนเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ E10 คือ ส่วนผสมปริมาณ 90 % เป็นน้ำมันเบนซิน (Gasoline) ส่วนอีก 10% การผสมให้เอทานอลแบบ anhydrous เป็นส่วนผสม 10% ทดแทนเนื้อน้ำมันเบนซิน (แก๊สโซลีน) ต่อมากระทรวงพลังงานได้สนับสนุนให้มีการใช้ E20 เพื่อเพิ่มอัตราการใช้เอทานอล ทดแทนเนื้อน้ำมันเบนซิน ซึ่งการเติมเอทานอลลงไปให้น้ำมันแก๊สโซฮอลล์นั้นนอกจากจะเป็นการทดแทนเนื้อน้ำมันแก๊สโซลีนและยังเป็นการลดปริมาณการนำเข้า MTBE ซึ่งเป็นส่วนผสมที่สำคัญที่ใช้ในการเพิ่มค่าออกซิเจนในน้ำมันเบนซินได้ด้วย [14]

การผลิตเอทานอลเพื่อเป็นส่วนผสมในเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ในประเทศไทยนั้นมาจากผลผลิตทางการเกษตรสองแหล่งคือ ผลิตจากน้ำตาลหรือกากน้ำตาล และผลิตจากแป้งมันสำปะหลังโดยผ่านกระบวนการหมัก

1.3 การดำเนินการนโยบายด้านเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

ในปี 2548 มติคณะรัฐมนตรีได้ออกแผนปฏิบัติการไบโอดีเซลโดยตั้งเป้าหมายการบริโภคไบโอดีเซลในอัตรา 8.5 ล้านลิตรต่อวันภายในปี 2557 โดยเป้าหมายดังกล่าวกำหนดโดยพิจารณาถึงศักยภาพของแหล่งวัตถุดิบในการผลิตจากกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ the Ministry of Agricultural and Cooperatives (MOAC) ภารกิจในการส่งเสริมรับผิดชอบโดยกระทรวงพลังงานโดยเริ่มจากการผสมไบโอดีเซลเป็นปริมาณ 5% ในน้ำมันดีเซลหมุนเร็วปกติ (B5) ไปจนกระทั่งปลายปี 2554 น้ำมัน B5 ซึ่งพาณิชย์รับการส่งเสริมมาตั้งแต่ปี 2550 ในเขตกรุงเทพมหานครและภาคใต้ และถูกได้ตั้งเป้าหมายให้มีจำหน่ายทั่วประเทศในปี 2553 ทั้งนี้จำเป็นต้องมีการส่งเสริมการปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ 5 ล้านไร่ ให้มีการเพิ่มผลผลิตน้ำมันปาล์มต่อไร่ให้มากขึ้น และส่งเสริมการเพาะปลูกสบู่ดำด้วย [16]

ในปัจจุบันได้มีการบังคับให้มีการผสมไบโอดีเซลเป็นปริมาณ 2% ในน้ำมันดีเซลที่จัดจำหน่ายทั่วประเทศแล้ว [17] และ B5 ก็ได้ถูกจำหน่ายเพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของผู้ใช้น้ำมันในปัจจุบันและกำลังจะบังคับในปี 2554 ด้วยหวังว่าจะสามารถทดแทนการบริโภคน้ำมันดีเซลได้ถึง 5% และมีการบริโภคน้ำมันไบโอดีเซลในปริมาณ 3 ล้านลิตรต่อวันในปี 2554 เพิ่มเป็นปริมาณ 3.64 ล้านลิตรต่อวันในปี 2559 และเป็น 4.5 ล้านลิตรต่อวันในปี 2565 ในการส่งเสริมและสนับสนุนการพัฒนาและการบริโภคนั้นจะต้องมีมาตรการต่าง ๆ สนับสนุน เช่น การส่งเสริมการเพาะปลูกพืชน้ำมัน การวิจัยและพัฒนาเพื่อเพิ่มผลผลิตจาก 2.8 เป็น 3.2 ตันต่อไร่ต่อปี นอกจากนี้ยังมีการส่งเสริมการผลิตและการใช้ไบโอดีเซลชุมชน ซึ่งมักจะเป็นการผลิตแบบกะ มีการสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาในส่วนของผลพลอยได้จากการผลิตไบโอดีเซลด้วย [17] จากผลการ

บังคับใช้ให้มีส่วนผสมของไบโอดีเซล 2% ในปัจจุบันคาดว่าจะมีการเพิ่มอัตราส่วนผสมเป็น 3 % ในช่วงต้นปี 2553

1.4 การบรรเทาปัญหาการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการเลือกของผู้บริโภค

เป็นที่ทราบกันดีว่าโลกของเราในปัจจุบันได้รับผลกระทบจากปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกซึ่งมีสาเหตุหลักมาจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเพื่อความสะดวกสบายของมนุษย์ตั้งแต่ทศวรรษก่อนจากการประชุมข้อตกลงนานาชาติเพื่อหาทางลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในสนธิสัญญาเกียวโต (Kyoto Protocol) จนมาถึงการประชุมครั้งล่าสุดคือ COP15 ที่กรุงโคเปนเฮเกนนั้น แม้ว่าจะยังไม่สามารถหาข้อตกลงที่ลงตัวได้แต่ประชากรทั่วโลกก็ได้ตระหนักโดยทั่วกันแล้วว่าประชากรโลกทุกคนไม่สามารถจะดำเนินตามวิถีเดิมในการใช้พลังงานได้อีกต่อไป จากแนวทางในการรายงานปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตามข้อตกลงตามมาตรฐานการประเมินการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกระดับประเทศ (National Communication) ตามวิธีการ IPCC (The Revised 1996 IPCC Guidelines) เช่น ที่ดำเนินการอยู่นับแต่เริ่มต้นจนกระทั่งในปัจจุบันได้ส่งผลให้ประเทศในกลุ่ม Annex I ซึ่งเป็นกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้วที่มีเงื่อนไขว่าจะต้องดำเนินการลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากขอบเขตของประเทศตน และส่งผลสืบเนื่องทำให้เกิดการย้ายฐานการผลิตมายังประเทศที่กำลังพัฒนา ทำให้เห็นว่าจากรายงานการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในปีหลัง ๆ ที่ผ่านมามีการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในประเทศพัฒนาแล้วไม่เพิ่มขึ้นมากนักแต่ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนาสูงขึ้นมาก และภาพรวมของปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของโลกสุทธิเพิ่มขึ้น ดังนั้นจะเห็นว่าแม้ว่าการรายงานการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกระดับประเทศจะทำให้ประชากรโลกเกิดการตระหนักถึงปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก แต่ปัญหาที่ตามมาคือการย้ายแหล่งปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกมายังประเทศที่กำลังพัฒนาที่มีได้ถูกบังคับให้ดำเนินการลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก และจากการประชุม COP15 ที่กรุงโคเปนเฮเกนเมื่อเดือนธันวาคม 2552 ที่ผ่านมามีข้อวิพากษ์หลากหลายเกี่ยวกับความรับผิดชอบในการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของแต่ละประเทศ

ในปี 2552 ทางสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ได้จัดให้มีโครงการวิจัยเพื่อเฝ้าติดตามสถานการณ์ในการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในระดับนานาชาติภายใต้ชุดโครงการ MEA's Watch เรื่อง ความรับผิดชอบในการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากประเทศพัฒนาแล้วสู่ประเทศกำลังพัฒนา โดยใช้วิธีการประเมินจากวิเคราะห์ปัจจัยการผลิตและผลผลิต เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในการนำเข้า-ส่งออกสุทธิในระดับประเทศ [18] จากการระดมความคิดเห็นจากเวทีการประชุมสาธารณะพบว่ามีแนวทางในการประเมินการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสองแนวทาง คือ ประเมินจากแนวทาง IPCC เดิมคือ ประเทศผู้ผลิตเป็นผู้รับผิดชอบในการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก และอีกวิธีหนึ่งคือ ผู้บริโภคขั้นสุดท้ายเป็นผู้รับผิดชอบในการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก ซึ่งต้องใช้วิธีการประเมินแบบ LCA ให้แก่สินค้า หรือบริการต่าง ๆ แล้วมอบความรับผิดชอบในการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกให้อยู่ในดุลพินิจของผู้บริโภค ซึ่งการประเมินแบบนี้ถ้าจะมีมาตรการอื่น ๆ สนับสนุน เช่น การคิดภาษีการปลดปล่อยคาร์บอนในสินค้า หรือบริการที่มีการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกมากกว่าสินค้า หรือบริการอื่นที่ทดแทนกัน

เพื่อให้สินค้าหรือบริการที่มีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกต่ำที่สุดจากห่วงโซ่พลังงานในการผลิตตลอดทั้งวัฏจักรชีวิตซึ่งมักจะมีต้นทุนสูงกว่าสินค้าอื่นสามารถแข่งขันได้และได้รับการตอบรับที่ดีจากผู้บริโภค ซึ่งวิธีการแบบผู้บริโภครับผิดชอบนี้เป็นที่ยอมรับได้ว่าจะสามารถส่งผลให้ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกสุทธิของโลกลดลง หรือดีกว่าการประเมินแบบเดิมที่ประเทศผู้ผลิตเป็นผู้รับผิดชอบ

ดังนั้นการนำหลักการประเมินการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากวัฏจักรชีวิตของสินค้าหรือบริการที่การบริโภคขั้นสุดท้ายจึงสมควรถูกมองเป็นเพียงข้อกีดกันทางการค้า แต่หากเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการช่วยให้ประชากรโลกได้มีข้อมูลที่ถูกต้องในการเลือกสินค้าและบริการที่สามารถช่วยลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของโลกเราได้ และเป็นที่คาดหวังว่าหากประชากรโลกทุกคนเลือกใช้สินค้าหรือบริการที่มีการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกต่ำที่สุดเราจะสามารถบรรเทาปัญหาภาวะโลกร้อนได้ในอนาคต

จากผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าสินค้า/บริการที่มีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากตลอดห่วงโซ่พลังงานสูงที่สุดในประเทศไทย คือ ไฟฟ้า [19] แต่แท้จริงแล้วไฟฟ้าไม่ใช่สาเหตุหลักของการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก หากแต่เป็นกิจกรรมที่มีการใช้ไฟฟ้าและเป็นผู้บริโภคขั้นสุดท้าย ดังนั้นหากในห่วงโซ่พลังงานของสินค้า หรือบริการใดที่มีเส้นทางกระบวนการต้นน้ำมาจากไฟฟ้าเป็นปริมาณมากก็จะมีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากจากวัฏจักรชีวิตสูงไปด้วยนั่นเอง

โครงการนี้จึงมีวัตถุประสงค์แรกคือเพื่อจัดทำฐานข้อมูลบัญชีดัชนีพลังงานแฝงและการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝงจากสินค้าและบริการในประเทศไทย (Energy Input-Output Data) ซึ่งประกอบไปด้วยดัชนีพลังงาน (Energy Intensity) และดัชนีการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก (Greenhouse gas emissions factors) จากผลิตภัณฑ์และบริการที่ซื้อจากประเทศไทย โดยใช้วิธีปัจจัยการผลิตและผลผลิต เพื่อเป็นฐานข้อมูลในการประเมินวัฏจักรชีวิตของห่วงโซ่พลังงานของระบบพลังงาน (Technical Energy System) ในประเทศไทย และทำการศึกษากรณีศึกษาเปรียบเทียบวัฏจักรชีวิตของห่วงโซ่พลังงาน จากการนำเข้าเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ และไบโอดีเซลมาทดแทนน้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล ในด้านปริมาณพลังงาน และปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก

วัตถุประสงค์ต่อมาคือทำการศึกษากรณีศึกษาใช้เชื้อเพลิงชีวภาพ คือเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์และไบโอดีเซลในประเทศไทยโดยวิธีวิเคราะห์ห่วงโซ่พลังงานโดยวิธีผสมการวิเคราะห์กระบวนการและวิธีวิเคราะห์ปัจจัยการผลิตและผลผลิตเข้าด้วยกันเพื่อทำการเปรียบเทียบที่เป็นธรรมชาติระหว่างการขับเคลื่อนด้วยเชื้อเพลิงฟอสซิลชนิดเดิมกับการเปลี่ยนมาใช้เชื้อเพลิงชีวภาพโดยกำหนดให้ผู้บริโภคได้รับผลจากการขับเคลื่อนเช่นเดิม

บทที่ 2

วิธีการดำเนินการ

ทำการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานทางตรงและปริมาณการใช้พลังงานทางอ้อมของเชื้อเพลิง แก๊สโซฮอลล์ และไบโอดีเซลโดยวิธีห่วงโซ่พลังงานครบวงจร (Full Energy-Chains Analysis; FENCH analysis) หรือที่เรียกว่า การวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life-Cycle Analysis; LCA) [20] [21] ซึ่งปัจจุบันได้มีการจัดทำเป็นมาตรฐานในการวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ คือ ISO14040 [22] [23] [24] [11] สำหรับการประเมินสินค้าหนึ่ง ๆ แต่เป็นวิธีการแบบ Inventory Analysis ซึ่งเป็นแนวทางวิธีวิเคราะห์กระบวนการ Process Chain Analysis (PCA) ซึ่งจะได้ไม่ครบทั้งวัฏจักรชีวิต

ในการวิจัยนี้จะเป็นการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานทางตรงและปริมาณการใช้พลังงานทางอ้อม สำหรับเทคโนโลยีพลังงานโดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบจำลองปัจจัยการผลิตและผลผลิตทางพลังงาน (Input-Output Analysis; IOA) [26] [27] ผสมผสานกับวิธี PCA หรือที่เรียกว่า Combined PCA and IOA เพื่อเพิ่มความแม่นยำของผลการประเมิน [28]

ในส่วนของการจัดทำฐานข้อมูล Energy Input-Output Data หรือการวิเคราะห์แบบจำลองปัจจัยการผลิตและผลผลิตทางพลังงานจะใช้ตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตของประเทศฉบับล่าสุดที่จัดทำโดยสำนักพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ [29] เพื่อให้ฐานข้อมูลที่ได้มีความสอดคล้องกับสภาพความสัมพันธ์ในวงจรเศรษฐกิจมหภาคในปัจจุบันมากขึ้น ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานของภาคเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของสำนักพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ และปรับปรุงข้อมูลการใช้พลังงานให้สอดคล้องกับข้อมูลการใช้พลังงานในภาคเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมของกระทรวงพลังงาน [30] ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยมีฐานข้อมูลในส่วนของ subprocess chains จากวิธี IOA [10] ซึ่งจะช่วยให้สามารถวิเคราะห์ LCA แบบ Combined PCA and IOA ได้อย่างแม่นยำ

ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลจากการจัดทำฐานข้อมูล subprocess chains จาก Energy Input-Output Data นอกจากจะสามารถนำไปใช้ในการทำ FENCH analysis ในการเปรียบเทียบเทคโนโลยีการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพในการวิจัยเรื่องนี้แล้ว ยังสามารถนำฐานข้อมูลนี้ไปใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) ชนิดอื่น ๆ ในประเทศไทยเพื่อเพิ่มขอบเขตในการประเมิน LCA ได้อีกด้วย

เมื่อได้ฐานข้อมูล subprocess chain จากวิธี IOA แล้วจะทำการเก็บข้อมูลวิธีวิเคราะห์วัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Life-Cycle Analysis; LCA) โดยวิธี Process Chain Analysis ในเทคโนโลยีการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพแต่ละชนิดในห่วงโซ่พลังงานหลัก (Main process chain) จากนั้น ศึกษาต่อเนื่องไปยังกระบวนการย่อยด้านทางทั้งหมด (Subprocess chains) ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ จากนั้นทำการประเมินโดยวิธีห่วงโซ่พลังงานครบวงจรแบบ Combined PCA and IOA เปรียบเทียบหาปริมาณพลังงานที่ลดลงโดยรวมจากทั้งทางตรงจากการเพิ่มอัตราส่วนของพลังงานทดแทนในเชื้อเพลิงชีวภาพ และทางอ้อมที่แฝงอยู่ในส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น พลังงาน วัสดุ หรือ บริการ และ

ประเมินปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกทั้งทางตรงและทางอ้อม รวมถึงการประเมินเปรียบเทียบในด้านต้นทุนรวมด้วย

2.1 การจัดทำฐานข้อมูลดัชนีพลังงานและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝง (Embodied Energy Intensities and GHG Emissions Data)

ฐานข้อมูล Energy Input-Output Data หรือ รายการปริมาณพลังงานแฝงและการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากสินค้าและบริการในประเทศไทย (Embodied Energy Intensities and GHG Emissions Data) ได้ถูกประเมินโดยนำข้อมูลตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต (I-O table) ของประเทศที่จัดทำโดยสำนักพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (ฉบับล่าสุดคือปี ค.ศ. 2000) [29] เพื่อให้เป็นตัวแทนของโครงสร้างการแลกเปลี่ยนซื้อขายระหว่างภาคเศรษฐกิจต่าง ๆ ในประเทศไทยใน 180 ภาคเศรษฐกิจ ภายใต้สมมติฐานที่ว่าอัตราส่วนของปัจจัยการผลิตชั้นกลางของภาคเศรษฐกิจต่าง ๆ ในประเทศมีอัตราส่วนคงที่เช่นเดียวกับปีข้อมูลดังกล่าว ส่วนโครงสร้างความต้องการใช้พลังงานของภาคเศรษฐกิจต่าง ๆ ใช้ข้อมูลตารางปัจจัยการใช้พลังงาน (Sectoral Energy I-O Table) (ฉบับล่าสุดคือปี ค.ศ. 1998) [31] ซึ่งเป็นข้อมูลการใช้พลังงานของทั้ง 180 ภาคเศรษฐกิจ โดยได้ข้อมูลมาจากจากสำนักงานเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ มาตรวจสอบเปรียบเทียบกับข้อมูลการใช้พลังงานของประเทศของกระทรวงพลังงาน จากนั้นทำการปรับปรุงข้อมูลการใช้พลังงานให้สอดคล้องกันกับข้อมูลรายปีของข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งเป็นข้อมูลต่างปีกัน จากนั้นทำการปรับปรุงข้อมูลเพื่อป้องกันการนับปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกเนื่องจากกิจกรรมด้านพลังงานของแต่ละภาคเศรษฐกิจซ้ำซ้อนเนื่องจากข้อมูลการใช้พลังงานนั้นจะมีข้อมูลการไหลของพลังงานในทุกระดับตั้งแต่ระดับปฐมภูมิ ทุติยภูมิจนถึงการใช้พลังงานขั้นสุดท้าย รวมทั้งมีข้อมูลการใช้พลังงานที่เป็นวัตถุดิบในการผลิตมิใช่เป็นการเปลี่ยนเผาไหม้ (Feedstock) จึงต้องทำการปรับปรุงข้อมูลเพื่อป้องกันการนับซ้ำปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกเนื่องจากกิจกรรมด้านพลังงานของแต่ละภาคเศรษฐกิจ

ตามปกติแล้วการประเมินดัชนีพลังงานแฝงของสินค้าและบริการจากตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตจะมีสองรูปแบบ คือ แบบที่ประเมินมาจากราคาผู้ซื้อ และแบบที่ประเมินจากราคาผู้ผลิต โดยหากมีวัตถุประสงค์ในการนำดัชนีพลังงานนั้นไปใช้ในการประเมิน LCA ให้ใช้ข้อมูลที่ประเมินจากราคาผู้ผลิต [10] เนื่องจากสินค้าหรือบริการที่ต้องใช้ดัชนีพลังงานและการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการประเมิน IOA นั้นล้วนแล้วเป็นปัจจัยการผลิต (inputs) ที่เป็นเส้นทางกระบวนการต้นน้ำที่เกินความสามารถของการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ (PCA)

ฐานข้อมูลดังกล่าวได้ผ่านการวิเคราะห์ข้อมูลโดยทำการปรับปรุงข้อมูลการใช้พลังงานในภาคการผลิตไฟฟ้าให้เป็นปัจจุบันมากที่สุด เนื่องจากไฟฟ้าเป็นผลผลิตจากภาคการผลิตไฟฟ้าซึ่งเป็นภาคการผลิตที่มีผลกระทบต่อปริมาณพลังงานแฝงและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝงในสินค้าและบริการในประเทศไทยทุกชนิดโดยได้วิเคราะห์โมเดลการปรับปรุงโครงสร้างปัจจัยการใช้พลังงานในภาคการผลิตไฟฟ้า โดยพิจารณาโครงสร้างพลังงานในการผลิตไฟฟ้าในปีคศ. 1998 [2] เปรียบเทียบกับโครงสร้างพลังงานในการผลิตไฟฟ้าในปีคศ. 2005 และปี คศ.2008 [7] สำหรับการประเมินปริมาณการ

ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในทุก ๆ กระบวนการที่มีการใช้พลังงานได้พัฒนาวิธีการคำนวณตามแบบของ the Revised 1996 IPCC Guidelines [32] [33] [34] และการนับรวมแก๊สเรือนกระจกต่าง ๆ คือ CO₂, CH₄, และ N₂O ใช้ค่า Global Warming Potential เท่ากับ 1, 23 และ 296 ตามลำดับโดยอ้างอิงจาก The IPCC Third Assessment Report (2001) [35]

โดยข้อมูลชุดแรกเป็นการประเมินโดยใช้ 1998 Energy I-O table ร่วมกับ 2000 I-O table ส่วนข้อมูลชุดที่สองประเมินโดยใช้ 1998 Energy I-O table และ update โดยใช้โครงสร้างปัจจัยพลังงานในภาคการผลิตไฟฟ้าปี 2000 ร่วมกับ 2000 I-O table ส่วนข้อมูลชุดที่สามและสี่ได้ประเมินโดยใช้ 1998 Energy I-O table และ update โดยใช้โครงสร้างปัจจัยพลังงานในภาคการผลิตไฟฟ้าปี 2005 และ 2008 ร่วมกับ 2000 I-O table ซึ่งเป็นการประเมินโดยสมมติฐานว่าโครงสร้างปัจจัยการผลิตและผลผลิตของเศรษฐกิจมหภาคของประเทศไทยยังคงโครงสร้างเช่นเดียวกับปีค.ศ.2000 โดยค่า factor ในการปรับปรุงค่าโครงสร้างการใช้พลังงานของภาคการผลิตไฟฟ้า

2.2 แนวทางการประเมินจากปัจจัยการผลิตและผลผลิต (Input-Output analysis)

ทฤษฎีพื้นฐานในการประเมินการใช้พลังงานและการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากปัจจัยการผลิตและผลผลิตนั้นใช้ทฤษฎีพื้นฐานที่นำเสนอโดย Wassily Loontjef ซึ่งได้รับรางวัลโนเบลสาขาเศรษฐศาสตร์ในปี ค.ศ.1973 [26] ต่อมาได้มีการเรียบเรียงเพื่อการวิเคราะห์ปัจจัยการผลิตและผลผลิตที่เกี่ยวข้องกับด้านพลังงานโดย Miller and Blair [27] จากนั้นได้มีการนำเทคนิคการประเมินแบบปัจจัยการผลิตและผลผลิตมาใช้อย่างแพร่หลายมากขึ้น เช่น Bullard and Herendeen [36] Wright [37] และ Chapman [38] ได้นำมาวิเคราะห์ประเมินพลังงานแฝง (Energy Intensity) พบว่าในปี ค.ศ.1994 ได้มีการนำเทคนิคการประเมินแบบปัจจัยการผลิตและผลผลิตมาใช้ในการวิเคราะห์ประเมินปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากตลอดทั้งห่วงโซ่พลังงานจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า เช่น ได้มีการประชุมกลุ่มนักวิจัยอาวุโสของ the International Atomic Energy Agency (IAEA) ที่กรุงปักกิ่งในปี ค.ศ. 1994 [8] ในประเทศญี่ปุ่น National Institute for Environmental Studies (NIES) ได้ใช้ตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตในการจัดทำฐานข้อมูลพลังงานแฝงและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกโดยวิธีปัจจัยการผลิตและผลผลิต เพื่อเตรียมเป็นฐานข้อมูลในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์(LCA) ในประเทศญี่ปุ่น [10] ฐานข้อมูลจาก (NIES) นี้ เป็นตารางแคตตาล็อกที่มีข้อมูลปริมาณการปลดปล่อยภาระสิ่งแวดล้อมจากสินค้า กระบวนการ หรือกิจกรรมต่าง ๆ โดยเรียกฐานข้อมูลนี้ว่า ฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Inventory) ซึ่งข้อมูลนี้เป็นปริมาณการปลดปล่อยภาระสิ่งแวดล้อมทางตรงและภาระทางอ้อมในกระบวนการต้นน้ำทุก ๆ กระบวนการที่มีการไหลเวียนของทรัพยากรและการปลดปล่อยของเสียภายในเศรษฐกิจทั้งหมด [39]

ฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์และบริการซึ่งเป็นข้อมูลปริมาณพลังงานและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกทางอ้อมในกระบวนการต้นน้ำที่ไม่สามารถเข้าถึงโดยการเก็บข้อมูลได้นั้นสามารถประเมินได้โดยใช้เทคนิคทางเศรษฐศาสตร์ที่เรียกว่า การประเมินปัจจัยการผลิตและผลผลิตซึ่งสามารถให้ผลการประเมินครอบคลุมกระบวนการต้นน้ำทางลึกได้ถึงกระบวนการลำดับอนันต์และ

ปริมาณพลังงานหรือการปลดปล่อยมลภาวะสามารถครอบคลุมถึงปัจจัยการผลิตที่ไม่สามารถชั่ง ตวง วัด (non physical input) เช่น ค่าบริการต่าง ๆ ได้ด้วย

ในทางทฤษฎีเศรษฐศาสตร์นั้น ตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตเป็นตารางเมตริกซ์จัตุรัสที่ประกอบจากเวกเตอร์ปัจจัยการผลิตชั้นกลางของภาคการผลิตชั้นกลางจำนวน n ภาคการผลิต โดยในแต่ละเวกเตอร์นั้นจะแสดงถึงอัตราส่วนของปัจจัยที่จำเป็นในการผลิตของแต่ละภาคการผลิตต่อผลผลิตรวมของแต่ละภาคการผลิต ซึ่งครอบคลุมถึงปัจจัยด้าน วัตถุดิบ การดำเนินงาน พลังงาน บริการต่าง ๆ และทรัพยากรอื่น ๆ โดยหากมีตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตแล้วจะสามารถสร้างโมเดลที่สามารถทำนายได้ว่าหากมีความต้องการขั้นสุดท้ายของสินค้าหรือบริการหนึ่ง ๆ จาก n ภาคการผลิต เพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วยแล้ว จะทราบได้ว่าปริมาณความต้องการในลำดับขั้นอันดับของความต้องการสินค้าและบริการจากทุก ๆ ภาคการผลิตทั้งหมดจะต้องมีการผลิตเพิ่มขึ้นเท่าใด

การประเมินปัจจัยการผลิตและผลผลิตเป็นแนวทางหนึ่งทางเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับกระแสเงินนำเข้า (input) และกระแสเงินของผลผลิต (output) ในระบบการค้าระหว่างกันของภาคธุรกิจภายในระบบเศรษฐกิจหนึ่ง ๆ โครงสร้างในภาพที่ 7 แสดงให้เห็นว่า ในการดำเนินการเพื่อผลิตผลผลิตหนึ่ง ๆ นั้นจำเป็นต้องมีการซื้อผลผลิตที่จำเป็นต้องใช้เป็นปัจจัยการผลิตจากภาคธุรกิจอื่น ๆ ในระบบเศรษฐกิจ รวมทั้งซื้อปัจจัยการผลิตจากภาคเศรษฐกิจของตนเองด้วย

ผลผลิต (output) ของภาคเศรษฐกิจหนึ่ง ๆ จึงเป็นผลผลิตที่ต้องผลิตเพื่อป้อนให้เป็นปัจจัยการผลิตแก่ผู้ผลิตชั้นกลาง และ เพื่อขายให้แก่ผู้บริโภคขั้นสุดท้าย (final consumptions) ด้วย ซึ่งผลผลิตรวมของภาคเศรษฐกิจหนึ่ง ๆ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$X_j = \sum_{i=1}^n x_{ij} + Y_j \quad (1)$$

โดย a_{ij} คือ ผลผลิตจากภาคการผลิต i (จำนวน n ภาคการผลิต) ที่ซื้อเข้ามาเพื่อเป็นปัจจัยการผลิตแก่ภาคการผลิต j และ Y_j คือ ผลผลิตจากภาคการผลิต j ที่ถูกขายให้แก่ผู้บริโภคขั้นสุดท้าย

เมื่อให้จัดให้เวกเตอร์ปัจจัยการผลิตและผลผลิตจำนวน n ภาคการผลิต เป็นเมตริกซ์โดยให้แต่ละองค์ประกอบของเมตริกซ์ประกอบด้วย

$$a_{ij} = x_{ij} / X_j \quad (2)$$

สามารถเขียนเป็นเมตริกซ์ผลผลิตรวมของภาคเศรษฐกิจได้ดังนี้

$$\mathbf{X} = [\mathbf{I} - \mathbf{A}]^{-1} \mathbf{Y} \quad (3)$$

โดยแต่ละองค์ประกอบของเวกเตอร์ $\mathbf{X}$ คือ ปริมาณผลผลิตรวมทั้งหมดที่ต้องการจากผู้บริโภคขั้นสุดท้าย ซึ่งก่อให้เกิด การเหนี่ยวนำ (induced) ในความต้องการปัจจัยการผลิตชั้นกลางจากภาค

เศรษฐกิจอื่น ๆ รวมทั้งตนเอง ซ้ำแล้วซ้ำเล่าเป็นลำดับชั้นไปจากความต้องการต้นน้ำชั้นที่หนึ่ง ไปเป็นความต้องการชั้นต้นน้ำชั้นที่สอง และเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงลำดับที่อนันต์

โดยรายละเอียดขององค์ประกอบในเมตริกของเศรษฐกิจแสดงในภาพที่ 2.1

to from	004	055	062	084	093	135	137	139	...	Y_j
004	$a_{004,004}$	$a_{004,055}$	.	.	.	.	.	.	.	$a_{004,201}$
055	$a_{055,004}$	.	.	.	.	.	.	.	.	$a_{055,201}$
062	$a_{062,004}$	.	.	.	.	.	.	.	.	$a_{062,201}$
084	$a_{084,004}$	.	.	.	.	.	.	.	.	$a_{084,201}$
093	$a_{093,004}$	.	.	.	.	.	.	.	.	$a_{093,201}$
135	$a_{135,004}$	.	.	.	.	.	.	.	.	$a_{135,201}$
137	$a_{137,004}$	.	.	.	.	.	.	.	.	$a_{137,201}$
139	$a_{139,004}$	.	.	.	.	.	.	.	.	$a_{139,201}$
.	$a_{i,004}$	.	.	.	.	.	.	.	a_{ij}	$a_{i,201}$
.										
.										
201	$a_{201,004}$	.	.	.	.	.	.	.	.	$a_{201,201}$

ภาพที่ 2.1 โครงสร้างปัจจัยการผลิตและผลผลิต

เมื่อคิดรวมผลของการนำเข้าสุทธิจากต่างประเทศ ผลผลิตรวมของภาคเศรษฐกิจสามารถทำนายได้จากปริมาณความต้องการบริโภคขั้นสุดท้าย โดยตั้งสมมติฐานว่าดัชนีโครงสร้างต่าง ๆ ของสินค้าและบริการที่นำเข้าจากต่างประเทศมีค่าเท่ากับสินค้าหรือบริการในประเทศ [40] ดังนี้

$$X = [I - A - M]^{-1} Y \quad (4)$$

โดยเมตริกซ์ M เป็นโครงสร้างปัจจัยการผลิตที่เป็นมูลค่าการนำเข้าสุทธิต่อมูลค่าผลผลิตรวมของภาคเศรษฐกิจ

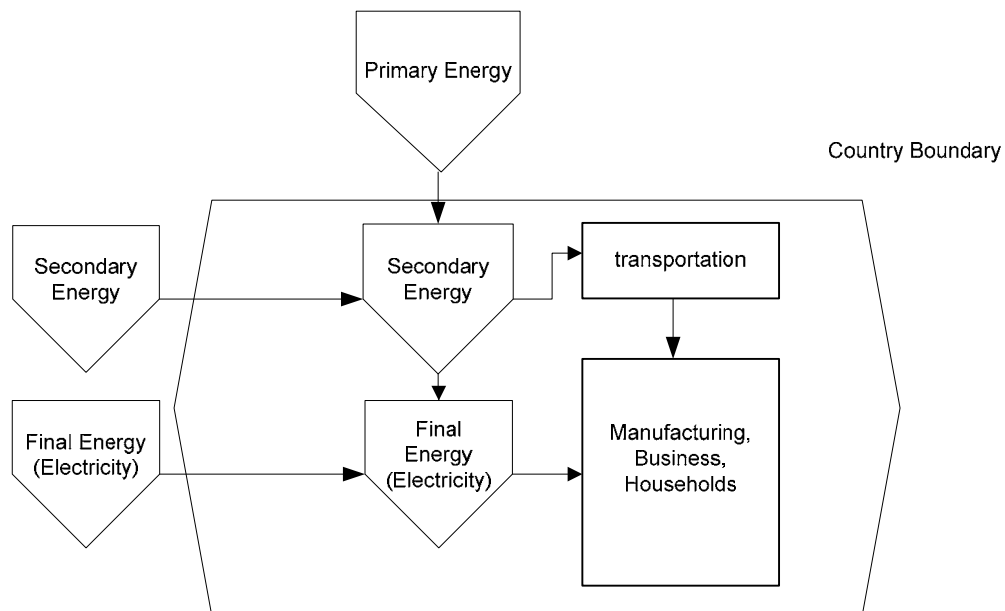
เมื่อนำสมการการประเมินหาผลผลิตรวมของภาคเศรษฐกิจข้างต้นมาพัฒนาเป็นโมเดลเพื่อใช้ในการประเมินปริมาณความต้องการพลังงานรวม ได้เป็นสมการดังนี้

$$EI = F. [I - A - M]^{-1} Y \quad (5)$$

โดยแต่ละองค์ประกอบของเวกเตอร์ **EI** คือ ดัชนีปริมาณพลังงานต่อหน่วยนับของผลผลิตของแต่ละภาคเศรษฐกิจ ซึ่งได้ถูกคิดรวมทั้งหมดตลอดเส้นทางกระบวนการจนถึงลำดับอนันต์ โดยแต่ละองค์ประกอบของเมตริกซ์ **F** คือ ดัชนีการใช้พลังงานทางตรงของทุกภาคเศรษฐกิจจำแนกตามชนิดของพลังงานต่อหน่วยผลผลิตของแต่ละภาคการผลิต ซึ่งมีขนาดเท่ากับชนิดของพลังงานที่แต่ละภาคการผลิตต้องการ (k) คูณกับจำนวนภาคการผลิต (n)

ในการประเมินดัชนีพลังงานต่อหน่วยผลผลิตของแต่ละภาคเศรษฐกิจเช่นนี้ จำเป็นต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากข้อมูลบัญชีการใช้พลังงานนั้น เป็นการรายงานบัญชีการใช้พลังงานทั้งหมดของประเทศ โดยรายงานทั้งพลังงานปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และพลังงานขั้นสุดท้าย ดังนั้นหากจะนำมาประยุกต์กับโมเดลปัจจัยการผลิตและผลผลิตโดยไม่ปรับปรุงข้อมูลจะก่อให้เกิดการคำนวณที่เป็น การนับซ้ำลำดับอนันต์และความผิดพลาดจากการนับซ้ำนี้จะไม่สามารถประมาณค่าได้

เนื่องจากพลังงานในทุก ๆ ลำดับชั้น กล่าวคือพลังงานปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และพลังงานขั้นสุดท้าย จะมีทั้งส่วนที่ผลิตจากภายในประเทศ (domestic energy) และ ในปัจจุบันประเทศไทยมีการนำเข้าพลังงาน (import energy) ทั้งปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และพลังงานขั้นสุดท้าย โดยมีการส่งพลังงานเป็นปัจจัยการผลิตแก่ภาคเศรษฐกิจทุกภาคเศรษฐกิจ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการนับพลังงานที่ได้เข้าสู่ระบบเศรษฐกิจในขั้นตอนแรกเพียงขั้นตอนเดียวเท่านั้น โดยรายละเอียดของการนับเข้าพลังงานเพื่อคัดเลือกข้อมูลเข้ามาใช้ในโมเดลปัจจัยการผลิตและผลผลิตนี้จะพิจารณาจากแผนภาพการไหลผ่านของพลังงานเข้าสู่ขอบเขตของประเทศตามที่แสดงในภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 แสดงการไหลผ่านของพลังงานลำดับชั้นต่าง ๆ เข้าสู่ประเทศ

และหากปริมาณพลังงานใน เมตริกซ์ F ทุก ๆ องค์ประกอบสามารถถูกสันดาปแล้วเกิดแก๊สเรือนกระจกได้ เราสามารถรวบรวมปริมาณการเกิดแก๊สเรือนกระจกจากระบบเศรษฐกิจต้นน้ำทั้งหมดได้จาก เมตริกซ์ EF โดยประเมินจากโมเดล ดังนี้

$$EF = \text{emission factor. EI} \quad (6)$$

ทั้งนี้การคัดเลือกข้อมูลของพลังงานในส่วนของการประเมินดัชนีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจะแตกต่างจากการประเมินดัชนีพลังงานต่อหน่วยผลผลิตของแต่ละภาคเศรษฐกิจ กล่าวคือ เนื่องจากการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากกิจกรรมพลังงานตามแบบแผนของ IPCC (the revised 1996 IPCC guidelines) นั้น จะเห็นว่าแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกปลดปล่อยต่อเมื่อมีปริมาณพลังงาน (apparent energy) นั้น ๆ ถูกสันดาป แต่จากบัญชีพลังงานของประเทศพบว่าการบันทึกบัญชีการใช้พลังงานที่เป็นปัจจัยการผลิตที่ไม่เกิดการสันดาปด้วย และยังมีบัญชีของพลังงานทดแทน และพลังงานทดแทนที่เป็นส่วนผสมส่วนหนึ่งของพลังงานฟอสซิลด้วย จึงต้องทำการปรับปรุงบัญชีพลังงานก่อนนำเข้าไปคำนวณในโมเดลข้างต้น โดยพัฒนาแนวทางการปรับปรุงบัญชีพลังงานจากแนวทางที่นำเสนอโดย Lenzen [41].

เมื่อดำเนินการประเมินดัชนีพลังงานและดัชนีการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากโมเดลที่กล่าวมาแล้วนี้ จะได้ฐานข้อมูลที่สามารถนำไปใช้เป็นตัวชี้วัดที่ช่วยในการขยายขอบเขตของการประเมิน LCA ในเส้นทางกระบวนการต้นน้ำที่ไม่สามารถเข้าถึงในการเก็บข้อมูลได้เพื่อขยายขอบเขตของการประเมิน LCA ได้ถึงลำดับอนันต์

2.3 การปรับปรุงค่าโครงสร้างพลังงานของภาคการผลิตไฟฟ้า (Power sector updating)

เนื่องด้วยการประเมินดัชนีพลังงานและดัชนีการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากโมเดลดังกล่าวข้างต้นนั้นอาจจะเป็นดัชนีที่สร้างขึ้นมาจากข้อมูลที่เป็นสถิติในหลายปีทำให้เกิดข้อสงสัยในการจะนำมาใช้ในการประเมิน LCA ที่ต้องการข้อมูลปัจจุบันแต่ก็มีข้อจำกัดที่ว่าข้อมูลตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตต้องใช้เวลารวบรวมถึง 5 ปี รวมถึงข้อมูลการใช้พลังงานแบ่งตามภาคเศรษฐกิจฉบับล่าสุดเป็นของปี 1998 ทำให้ข้อมูลย่อมล้าสมัยและหากระบบเศรษฐกิจมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างปัจจัยการผลิตและโครงสร้างการใช้พลังงานจะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของฐานข้อมูลดังกล่าว

ในการวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงโครงสร้างภาคการผลิตไฟฟ้าให้เป็นข้อมูลที่ทันสมัยที่สุดเท่าที่จะมีข้อมูลเนื่องจากผลผลิตไฟฟ้านั้นเป็นปัจจัยการผลิตที่มีผลกระทบต่อปริมาณพลังงานแฝงและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝงมากที่สุด [42] โดยทำการปรับปรุงโครงสร้างปัจจัยการผลิตในเมตริกซ์ A และปรับปรุงโครงสร้างปัจจัยการใช้พลังงานในเมตริกซ์ F โดยใช้ข้อมูลโครงสร้างพลังงานและการผลิตไฟฟ้าในปี จากรายงานไฟฟ้าปีคศ. 1998 2000 2005 และ 2008 [43] [44]

แนวทางในการปรับปรุงโครงสร้างพลังงานในโมเดลการประเมินพลังงานมีรายละเอียด ดังนี้

การปรับปรุงโครงสร้างการใช้พลังงานแต่ละชนิดในภาคการผลิตไฟฟ้านั้น ได้ทำการปรับปรุงค่าองค์ประกอบ f_{kj} ซึ่งเป็นอัตราส่วนการใช้พลังงานชนิด k ต่อผลผลิตของภาคการผลิตไฟฟ้าในปีฐาน

(subscripted b) โดยค่าแฟกเตอร์ $M_{f,k}$ ซึ่งเป็นแฟกเตอร์การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน f_{kj} ในปีปัจจุบัน ต่อค่า f_{kj} ในปีฐาน

เนื่องจาก f_{kj} เป็นอัตราส่วนปริมาณการใช้พลังงานชนิด k ทางตรงต่อมูลค่าผลผลิตของภาคการผลิตไฟฟ้า (ภาคการผลิต j) มีหน่วยเป็น TJ/million Baht;

$$f_{kj} = \frac{F_{kj}}{X_j} \quad (7)$$

ดังนั้นค่าแฟกเตอร์ $M_{f,k}$ เพื่อใช้ในการการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน f_{kj} ในปีปัจจุบันต่อค่า f_{kj} ในปีฐาน

$M_{f,k}$ เท่ากับ

$$\frac{f_{kj,n}}{f_{kj,b}} = \frac{\frac{SH_{k,n}}{SH_{k,b}}}{\frac{\eta_{k,avg,n}}{\eta_{k,avg,b}} \cdot \frac{P_n}{P_b} \cdot \frac{\eta_{gen,n}}{\eta_{gen,b}} \cdot \frac{1-TD_{l,n}}{1-TD_{l,b}} \cdot \frac{1-U_n}{1-U_b}} \quad (8)$$

โดย

$SH_{k,n}$ คือ เปอร์เซนต์ส่วนแบ่งการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชนิด k ต่อปริมาณการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดภายในประเทศในปี n

$\eta_{k,avg,n}$ คือ ค่าประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของประเทศโดยใช้เชื้อเพลิงชนิด k ในปี n

P_n คือ ราคาไฟฟ้าในปี n (Baht/kWh).

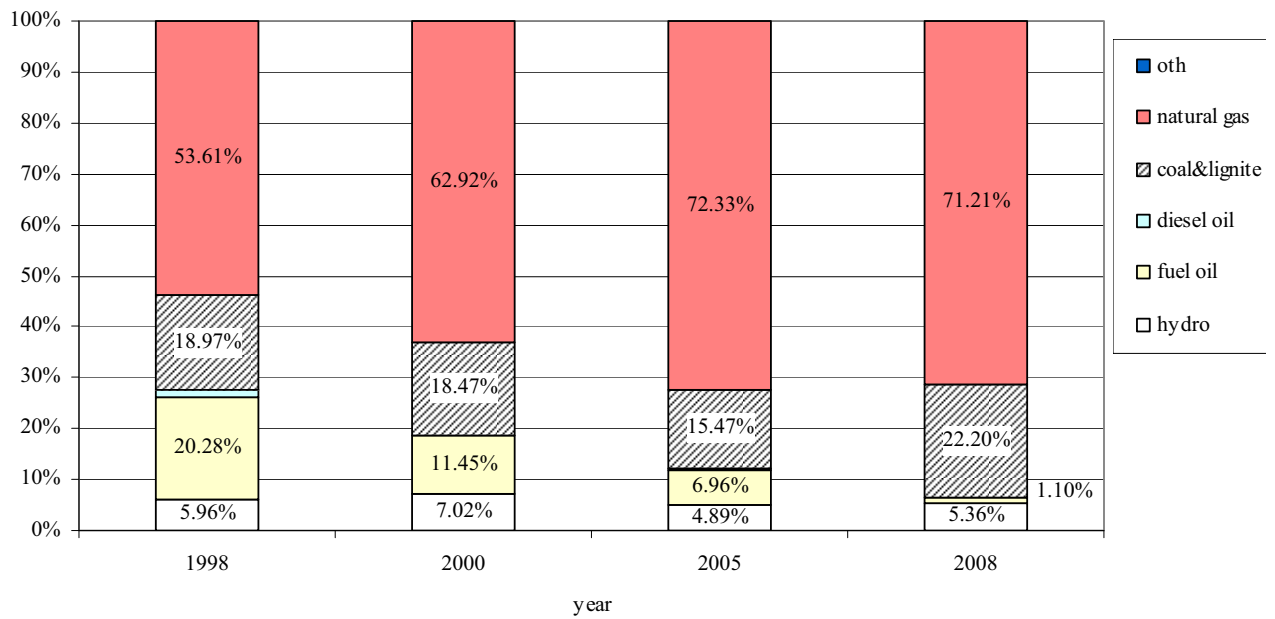
$\eta_{gen,n}$ คือ ค่าประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยของประเทศในปี n

$T \& D_{loss,n}$ คือ เปอร์เซนต์การสูญเสียไฟฟ้าผ่านสายส่ง (transmission and distribution loss) ในปี n

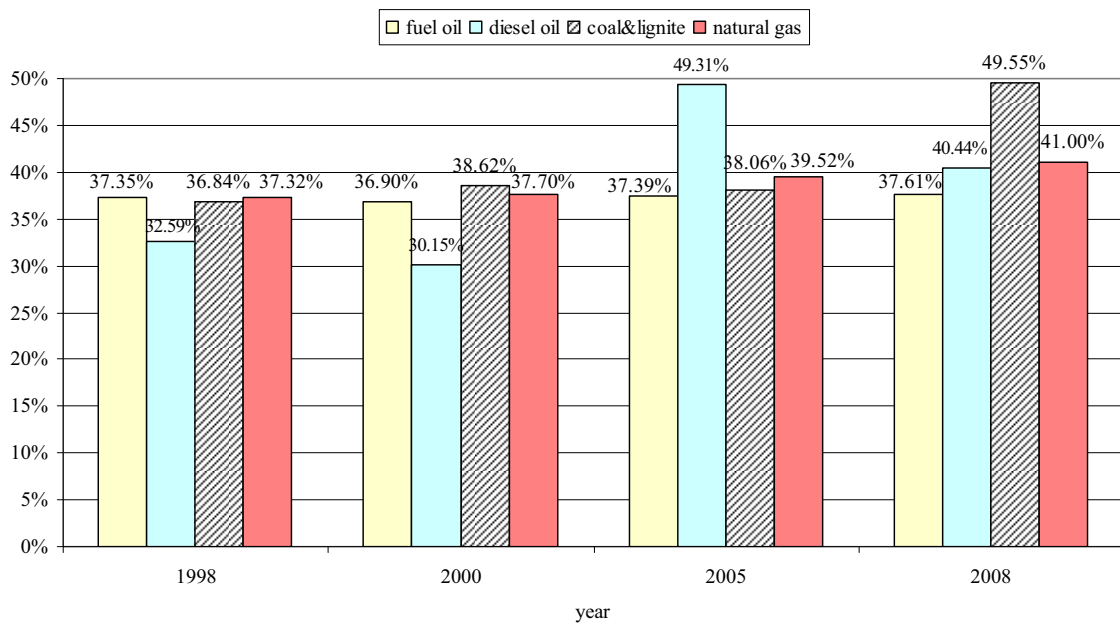
U_n คือ เปอร์เซนต์การใช้ไฟฟ้าเองในภาคการผลิตไฟฟ้าในปี n

ภาพที่ 2.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ ในภาคการผลิตไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงในทุก ๆ ปีที่นำมาทำการพิจารณา คือปี คศ.1998 2000 2005 และ 2008 ค่าประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของประเทศจากเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ แสดงในภาพที่ 2.4 ซึ่งค่าต่าง ๆ เหล่านี้มาจากข้อมูลรายงานไฟฟ้าของประเทศไทย [7] ส่วนข้อมูลที่ใช้ในการปรับปรุงค่าอื่น ๆ แสดงในภาพที่ 2.5 การปรับปรุงค่าอัตราส่วนการใช้เชื้อเพลิงในภาคการผลิตไฟฟ้าเช่นนี้มีข้อจำกัดที่ยังไม่ได้พิจารณาในส่วนของการนำเข้าไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้านซึ่งในปีฐานยังไม่มี การนำเข้าไฟฟ้า

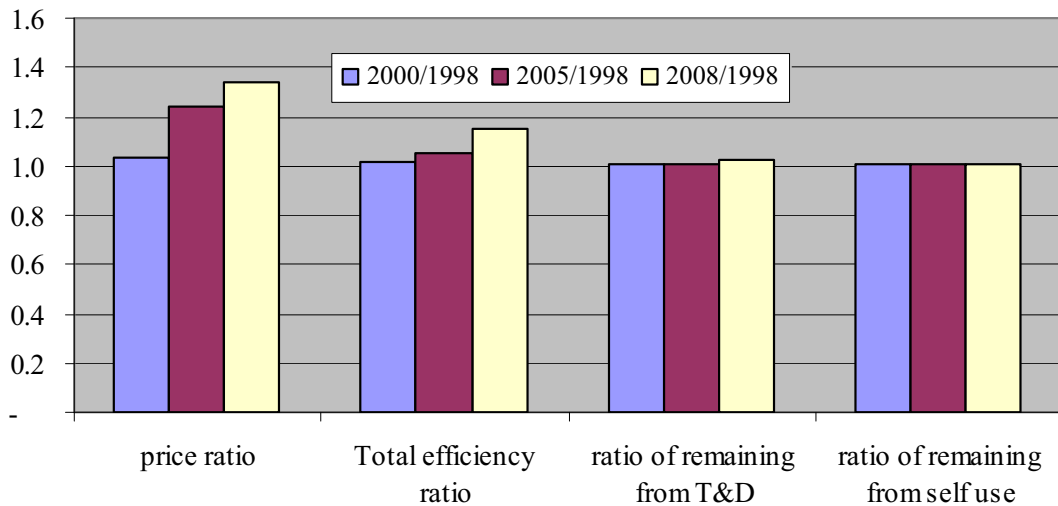
Fuel mix in Thai power sector



ภาพที่ 2.3 ส่วนแบ่งเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย



ภาพที่ 2.4 ประสิทธิภาพเฉลี่ยของการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ



ภาพที่ 2.5 อัตราส่วนราคาไฟฟ้า ประสิทธิภาพรวมของภาคการผลิตไฟฟ้า ส่วนที่เหลือจากการสูญเสียในสายส่งและการใช้เอง

อัตราส่วนของราคาไฟฟ้า ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า อัตราส่วนที่เหลือจากการสูญเสียในสายส่งและการใช้ไฟฟ้าเองในการผลิตไฟฟ้าในปีต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4 เมื่อนำแฟกเตอร์ต่าง ๆ มาคำนวณจะได้ค่าแฟกเตอร์ $M_{f,k}$ เพื่อใช้ในการปรับปรุงอัตราส่วน f_{kj} ในปี n ต่อค่า f_{kj} ในปีฐาน ดังแสดงในตารางที่ 5

เป็นที่สังเกตว่าค่าแฟกเตอร์ $M_{f,k}$ สำหรับใช้ในการปรับปรุงอัตราส่วน f_{kj} ในปี n ต่อค่า f_{kj} ในปีฐาน ดังแสดงในตารางที่ 5 ที่มากกว่า 1 ในตารางนั้นแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนแบ่งของก๊าซธรรมชาติและพลังงานน้ำในการผลิตไฟฟ้าในปีที่การจัดทำตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนของน้ำมันเตา ดีเซล ถ่านหินลดลง ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงทุกชนิดมีแนวโน้มสูงขึ้น ราคาไฟฟ้าสูงขึ้นมากจากปีฐาน การสูญเสียในสายส่งและการใช้ไฟฟ้าเองในการผลิตไม่ค่อยมีผลต่อค่าแฟกเตอร์การปรับปรุงมากนัก

ตารางที่ 2.1 Fuel mix updating factor (M_f) to $F_{k,j}$ 1998

Fuel type	$M_{f,k}$ 2000	$M_{f,k}$ 2005	$M_{f,k}$ 2008
hydro	1.108	0.621	0.568
fuel oil	0.537	0.259	0.034
diesel oil	0.122	0.147	0.058
coal&lignite	0.874	0.597	0.549
Natural gas	1.093	0.964	0.763
others	0.952	0.555	1.033

2.4 การประเมินปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากเศรษฐกิจในประเทศ (GHG Emissions in the economy)

การประเมินเส้นทางการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากสินค้าและบริการในประเทศในการวิจัยนี้ได้นำแนวทางการประเมินปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากกิจกรรมด้านพลังงานในระดับประเทศตามแนวทางของ the revised 1996 IPCC guidelines มาประยุกต์ใช้ [32] [33] [34] โดยคำนึงถึงปริมาณคาร์บอนที่สะสมอยู่ในเชื้อเพลิงฟอสซิลที่นำเข้าสู่เศรษฐกิจและพิจารณาเฉพาะปริมาณเชื้อเพลิงฟอสซิลที่นำเข้าไปใช้ในกิจกรรมที่เกิดการสันดาปของเชื้อเพลิงเท่านั้น และเนื่องจากการนับปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในเศรษฐกิจได้ใช้ประเมินในโมเดลปัจจัยการผลิตและผลผลิตในแต่ละเส้นทางของการไหลเข้าของพลังงานจึงนับปริมาณพลังงานที่ส่งเข้าสู่ภาคเศรษฐกิจเพียงหนึ่งครั้งเท่านั้นเพื่อป้องกันการนับซ้ำโดยการขยายผลของโมเดลปัจจัยการผลิตและผลผลิต โดยสำหรับพลังงานปฐมภูมิจะถูกนับคำนวณทั้งหมด ส่วนพลังงานทุติยภูมิและพลังงานขั้นสุดท้ายนั้นจะนับเฉพาะส่วนที่เป็นการนำเข้า (import energy) เท่านั้นเนื่องจาก พลังงานทุติยภูมิในประเทศนั้นได้ถูกนับคำนวณไปแล้วตั้งแต่แรก ปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบในการผลิตโดยไม่เกิดการสันดาปนั้นมิได้นับว่าเกิดแก๊สเรือนกระจก

การเกิดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกนั้นจะเกิดจากการที่มีการสันดาปในกระบวนการทางตรง และกระบวนการต้นน้ำของการผลิตในภาคการผลิตต่าง ๆ การประเมินปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ประเมินจากปริมาณการบริโภคเชื้อเพลิงที่เป็นวิธีที่ประยุกต์จาก the Revised 1996 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories [32] [33] [34] , Module 1 Energy tier I โดยปริมาณคาร์บอนคำนวณจาก

$$\text{Carbon Content (GgC)} = \frac{\text{Consumption (phy.unit)} \times \text{Conversion Factor} \left(\frac{TJ}{\text{phy.unit}} \right) \times \text{emission factor} \left(\frac{tC}{TJ} \right)}{1000} \quad (9)$$

หักลบด้วยปริมาณคาร์บอนที่ถูกกักเก็บไว้จะได้ปริมาณคาร์บอนสุทธิที่ปลดปล่อยออกมา (Net Carbon Emission) และปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปลดปล่อยออกมาสามารถคำนวณได้จาก

$$\text{Actual CO}_2 \text{ Emissions (Gg CO}_2\text{)} = \frac{44}{12} \times \text{Actual Carbon Emissions (Gg C)} \quad (10)$$

ทั้งนี้ใน energy module ใน the Revised 1996 IPCC guidelines for National Greenhouse Gas Inventories ระบุว่าสำหรับการบริโภคพลังงานชีวมวลนั้นจะถือว่าปริมาณคาร์บอนที่ปลดปล่อยออกมาจะเท่ากับปริมาณคาร์บอนที่สามารถกักเก็บได้จากกระบวนการปลูกพืชและเติบโตของพืชเองที่เรียกว่า วงจรปิดของคาร์บอน (closed carbon cycle) [32] [33] [34] และเชื้อเพลิงบางชนิดได้ถูก

นำไปใช้เพื่อเป็นวัตถุดิบ เช่น ในกระบวนการผลิตพลาสติก ดังนั้นจึงถือว่าปริมาณคาร์บอนในส่วนนั้นมิได้ถูกปลดปล่อยออกมาแต่ถูกกักเก็บไว้นั่นเอง [32] [33] [34]

ในส่วนของการประเมินการปลดปล่อยแก๊สมีเทน และไนตรัสออกไซด์ (CH_4 และ N_2O) นั้นขึ้นอยู่กับทั้งปริมาณ ชนิดเชื้อเพลิง และประเภทของกิจกรรมที่ใช้พลังงานชนิดนั้น โดยประยุกต์วิธีการประเมินจาก the revised 1996 IPCC guidelines in energy sector โดยในส่วนของการปลดปล่อยแก๊สทั้งสองชนิดนี้ทางตรงได้กำหนดให้ TES นี้เป็นกิจกรรมที่ขับเคลื่อนด้วยดีเซลที่ใช้งานหนัก ซึ่งจากข้อมูล IPCC แฟกเตอร์การปลดปล่อยแก๊สมีเทน และไนตรัสออกไซด์กิจกรรมที่ขับเคลื่อนด้วยดีเซลที่ใช้งานหนักเท่ากับ 0.006 kg/TJ และ 0.003 kg/TJ ตามลำดับ

ในการเทียบเท่าค่าปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก คือ CO_2 CH_4 และ N_2O ในค่าเทียบเท่าปริมาณ CO_2 เทียบเท่าในช่วงอายุ 100 ปี ได้ใช้ค่า global warming potentials (GWP's) จาก The Third Assessment Report (2001) ของ IPCC [35] เท่ากับ 1 23 และ 296 ตามลำดับ

2.5 การประเมินวัฏจักรของระบบพลังงาน (Life Cycle Analysis on Technical Energy System)

ในการศึกษากรณีศึกษาเปรียบเทียบวัฏจักรชีวิตของห่วงโซ่พลังงาน จากการนำเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ และไบโอดีเซลมาทดแทนน้ำมันเบนซิน และน้ำมันดีเซล ในด้านปริมาณพลังงาน และปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกนี้ได้อ้างอิงมาตรฐาน ISO 13602-1:2002 Technical Energy Systems (TES) [45] โดย TES ถูกนิยามว่าเป็นองค์ประกอบของระบบ อุปกรณ์ หรือโรงงานที่ทำงานร่วมกันเพื่อสร้าง บริโภค หรือบางกรณีอาจเป็นระบบที่ทำหน้าที่เปลี่ยนรูป จัดเก็บ ขนส่ง หรือ ส่งผ่านพลังงานหรือทรัพยากรอื่น ๆ จากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งก็ได้ [45] ISO 13602 เป็นเครื่องมือที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้สามารถบรรยายและวิเคราะห์ระบบพลังงานได้สะดวกยิ่งขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบในระดับเล็ก (micro level) TES สามารถเป็นได้ทั้งระบบที่เป็นระบบเดี่ยว หรือระบบที่เป็นระบบร่วมระหว่างระบบเล็ก ๆ หลาย ๆ ระบบมารวมกัน ซึ่งอาจประกอบไปด้วยระบบผลิตพลังงาน ระบบเปลี่ยนรูปพลังงาน ระบบขนส่งลำเลียง ระบบส่งถ่ายหรือจัดเก็บ หรือระบบที่เป็นกระบวนการใช้พลังงาน

การวิเคราะห์การนำเข้าและผลผลิต (inputs and outputs) ของ TES ได้ถูกจัดแบ่งเป็น 2 แกนองค์ประกอบ คือ การไหลเข้าและไหลออกในแนวแกนตั้ง(A) และในแนวนอน(B) โดยการนำเข้า (input) ในแกนตั้ง (A) เป็นการไหลของสินทรัพย์ลงทุนและบริการที่เกี่ยวข้องกับการลงทุนเพื่อสร้างระบบพลังงานนี้ขึ้นมา เช่น อุปกรณ์ และแรงงานในการสร้าง ติดตั้งระบบนี้ขึ้นมา ทั้งในส่วนของการไหลเข้าที่เป็น hardware หรือ software พื้นที่ที่ใช้ หรือข้อมูลข่าวสาร ส่วนผลผลิต (output) จากแกนตั้งประกอบไปด้วย ขยะ ของเสีย ของที่นำกลับไปรีไซเคิลได้ การปลดปล่อยต่าง ๆ เช่น แก๊ส หรือน้ำเสีย และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการนำเข้าในแกนนี้[45]

การวิเคราะห์ในแนวนอน (B) ในด้านการนำเข้าสู่ระบบ (input) ประกอบไปด้วย พลังงาน (energyware) แรงงานในการดำเนินการระบบพลังงาน ข้อมูลในการดำเนินระบบ วัสดุในการเดินระบบ

เช่น วัตถุดิบ น้ำมันหล่อลื่น ผลผลิต (output) ในแวนอน อาจจะเป็นพลังงานที่ผลิตได้ (energyware) บริการที่ได้ในรูปพลังงาน (energy service) ผลผลิตร่วม (by-product) เช่นการปลดปล่อยแก๊ส มลภาวะ หรือของเสียจากการผลิต[45]

หากจำเป็นต้องนำระบบพลังงาน (TES) ที่แตกต่างกันหลาย ๆ ระบบมาทำการเปรียบเทียบกัน จะต้องนิยามหน่วยหน้าที่ (functional unit) ที่เท่ากันและเหมือนกันของทุก ๆ ระบบพลังงานที่ถูกเปรียบเทียบ ซึ่งโดยปกติแล้วมักจะกำหนดหน่วยหน้าที่เป็นผลผลิตที่เกิดประโยชน์ และใช้หน่วยนับของหน่วยหน้าที่ที่กำหนดนี้เป็นตัวหารในการวิเคราะห์นั้น ๆ

การประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) ถูกนิยามไว้ว่าเป็นการรวบรวมและการประเมินการนำเข้าและผลผลิตและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เป็นไปได้ของระบบผลิตหนึ่ง ๆ ตลอดอายุของระบบนั้น ๆ ดังนั้นจึงใช้มาตรฐานการกำหนดระบบพลังงานข้างต้นมาเป็นมาตรฐานในการกำหนดระบบพลังงานเพื่อเปรียบเทียบกรณีศึกษาทั้งสองกรณีเปรียบเทียบในการวิจัยนี้ โดยใช้ TES ร่วมกับมาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิต ISO14040:2000 [10]

มาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิต ISO14040:2000 [10] เป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการพิสูจน์หาโอกาสในการปรับปรุงสมรรถนะด้านสิ่งแวดล้อมของการผลิตผลิตภัณฑ์ตลอดวัฏจักรอายุผลิตภัณฑ์ โดยมาตรฐานการประเมิน ประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนการประเมิน กล่าวคือ ขั้นตอนการนิยามเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope) ขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการ (The life cycle inventory phase: LCI phase) ขั้นตอนการประเมินผลกระทบ(the life cycle impact assessment phase: LCIA) และขั้นตอนการอธิบายผล (Life cycle interpretation) ขอบเขตของขั้นตอนในการดำเนินการวิเคราะห์นั้นขึ้นอยู่กับหัวข้อในการประเมินและเจตนาในการศึกษานั้น ๆ ความลึกและความกว้างในการศึกษาของแต่ละกรณีนั้นย่อมแตกต่างกันมากขึ้นกับเป้าหมายของแต่ละการศึกษาLCA

ขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการ (The life cycle inventory phase: LCI phase) เป็นขั้นตอนเกี่ยวกับการเก็บข้อมูลที่เป็น เพื่อให้บรรลุเป้าหมายของการศึกษาที่วางไว้นั้น ๆ ขั้นตอนการประเมินผลกระทบ (the life cycle impact assessment phase: LCIA) มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดเตรียมข้อมูลเพิ่มเติมประกอบข้อมูลในขั้นตอน LCI เพื่อช่วยให้สามารถเข้าใจในความสำคัญที่มีต่อสิ่งแวดล้อมได้ดียิ่งขึ้น ขั้นตอนสุดท้ายคือ ขั้นตอนการอธิบายผล (Life cycle interpretation) เป็นขั้นตอนการสรุปและวิจารณ์ เสนอแนะแนวทางปรับปรุงและตัดสินใจเลือก โดยขั้นตอนนี้ต้องสอดคล้องกับนิยามเป้าหมายและขอบเขตที่กำหนดไว้ในขั้นตอนแรก [46]

กรณีศึกษา LCA บางกรณีนั้นกระทำให้บรรลุเป้าหมายและขอบเขตที่กำหนดได้เพียงขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการและขั้นตอนการอธิบายผลเท่านั้น ซึ่งเรียกว่า การศึกษาบัญชีรายการวัฏจักรชีวิต (an LCI study) ซึ่งการศึกษาเช่นนี้เหมือนกับการศึกษา LCA ต่างกันเพียงที่ไม่มีขั้นตอนการประเมินผลกระทบ (LCIA phase) เท่านั้น [46]

2.6 วิธีการผสมผสานการวิเคราะห์ปัจจัยการผลิตและผลผลิตเข้ากับการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ (Combined PCA and IOA)

ในการเปรียบเทียบผลได้ที่ยุติธรรมจากการทดแทนเชื้อเพลิงชีวภาพในการขับเคลื่อนพาหนะจึงควรทำการศึกษาวงจรห่วงโซ่พลังงานเชิงเปรียบเทียบของเชื้อเพลิงชีวภาพเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดเดิม ณ จุดใช้งาน โดยมีเงื่อนไขของผลผลิตจากการขับเคลื่อนที่เท่าเดิม บนขอบเขตของวงจรพลังงานที่ตัดเทียมกัน แต่เนื่องจากการเป็นกรยากที่จะกำหนดขอบเขตในส่วนของการคำนวณการต้นน้ำจากระบบพลังงานที่แตกต่างกันให้เท่ากันได้ จึงได้ขยายขอบเขตการคำนวณการต้นน้ำให้เป็นกระบวนการที่ไม่มีขอบเขตสิ้นสุด

วิธีการขยายขอบเขตการคำนวณการต้นน้ำให้เป็นกระบวนการที่ไม่มีขอบเขตสิ้นสุดสามารถกระทำได้โดยใช้เทคนิคการประเมินปัจจัยการผลิตและผลผลิต (Input-Output Analysis) มาประเมินปริมาณพลังงานแฝงและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝงจากการคำนวณการต้นน้ำจนถึงลำดับอนันต์ ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่า วิธีการผสมผสานการวิเคราะห์ปัจจัยการผลิตและผลผลิตเข้ากับการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ (Combined PCA and IOA)

ในเส้นทางกระบวนการที่สามารถเข้าถึงได้ด้วยข้อมูลกระบวนการได้วิเคราะห์โดยวิธีเส้นทางกระบวนการ (Process Chain Analysis: PCA) โดยสามารถนำวิธีการ life cycle inventory (LCI) อ้างอิงจากมาตรฐาน ISO14040: LCI ซึ่งขั้นตอนส่วนที่เป็น Environmental Impact Assessment นั้นมิได้ดำเนินการในการศึกษานี้เนื่องจากเป็นการศึกษาเชิงเปรียบเทียบและไม่มีข้อมูลทางวิทยาศาสตร์สามารถอธิบายการรวมผล LCI ด้วยการถ่วงน้ำหนักมาใช้ได้ [45]

การประเมินพลังงานและการปลดปล่อยมลภาวะจากวิธีวิเคราะห์ปัจจัยการผลิตและผลผลิตมีข้อดีคือสามารถครอบคลุมเส้นทางกระบวนการต้นน้ำได้ถึงลำดับอนันต์ แต่มีข้อเสียคือค่าที่ได้เป็นค่าเฉลี่ยจากภาคการผลิตเดียวกันซึ่งในความเป็นจริงหากประเภทย่อยของสินค้าและราคาผลผลิตจากภาคการผลิตนั้น ๆ ไม่เท่ากันทุกรายการก็จะมีข้อผิดพลาดได้ วิธีการผสมผสานการวิเคราะห์ปัจจัยการผลิตและผลผลิตเข้ากับการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ (Combined PCA and IOA) เริ่มเป็นที่นิยมใช้มากขึ้นในปัจจุบันเนื่องจากเป็นวิธีการที่สามารถปรับปรุงข้อเสียของการประเมินดัชนีพลังงานและการปลดปล่อยมลภาวะแฝงจากการประเมินแบบ IOA ลงได้ [10] และในทางตรงกันข้ามสามารถลดผิดพลาดจากการตัดการคำนวณการต้นน้ำที่เข้าถึงไม่ได้ทิ้งไปจากวิธีวิเคราะห์แบบ PCA [41] ได้ด้วย

ปัญหาอีกประการหนึ่งของการประเมินการคำนวณการต้นน้ำด้วยวิธีการ IOA คือ หากกระบวนการต้นน้ำมีที่มาของการผลิตจากต่างประเทศแล้ว หากต้องการจะนับกระบวนการนั้นด้วยจำเป็นที่จะต้องสมมติให้ค่าแฝงในกระบวนการต้นน้ำจากต่างประเทศนั้นมีค่าเท่ากับสินค้าชนิดเดียวกันที่ผลิตจากในประเทศ นอกจากนี้ยังมีปัญหาด้านข้อมูลของโครงสร้างเศรษฐกิจที่เป็นโครงสร้างในอดีตทำให้การประเมิน IOA จำเป็นต้องสมมติให้โครงสร้างปัจจัยการผลิตมีโครงสร้างเหมือนกันในอดีตในปีที่มีการจัดทำตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตนั่นเอง ซึ่งในการวิจัยนี้ได้เสนอแนวทางในการปรับปรุงโครงสร้างโดยทำการปรับปรุงในส่วนของภาคการผลิตที่สำคัญและมีผลกระทบต่อโครงสร้างเศรษฐกิจในการประเมินพลังงานมากที่สุดนั่นคือภาคการผลิตไฟฟ้า [42]

2.7 บัญชีรายการจากวัฏจักรชีวิต (Life cycle inventory: LCI)

ในการเปรียบเทียบผลจากการประเมินวัฏจักรชีวิต (LCA) หรือ ผลจากบัญชีรายการจากวัฏจักรชีวิต (LCI) จากสองสิ่งที่แตกต่างกันนั้นจะสามารถกระทำได้ในกรณีที่มีสัณนิษฐานหรือสิ่งแวดล้อมของทั้งสองสิ่งนั้นเท่าเทียมกันเท่านั้น [10]

สำหรับการประเมินการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพในประเทศไทยโดยวิธีวิเคราะห์ห่วงโซ่อุปทานในส่วนขั้นตอนกระบวนการทางตรงและกระบวนการต้นน้ำในขั้นแรก ๆ นั้นจะใช้วิธีวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ (Process Chain Analysis: PCA) ซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการขับเคลื่อนที่เป็นกระบวนการทางตรง กระบวนการทางอ้อมที่ใช้วิธี PCA ประกอบไปด้วยกระบวนการผสมเชื้อเพลิงชีวภาพกับเชื้อเพลิงฟอสซิล กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ กระบวนการสกัดวัตถุดิบ กระบวนการขนส่ง และวัตถุดิบที่ซื้อมาจากกระบวนการเพาะปลูก โดยในขั้นตอน PCA นี้จะสอดคล้องกับมาตรฐาน ISO14040:2000 [45] ซึ่งเป็นมาตรฐานในการประเมินวัฏจักรชีวิต และมาตรฐาน ISO13602-1 การวิเคราะห์ระบบพลังงานทางเทคนิค (Technical Energy Systems) กระบวนการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพในการศึกษานี้จะเป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องซึ่งเป็นกระบวนการเชิงพาณิชย์เท่านั้น สำหรับกระบวนการต้นน้ำขั้นลึก อื่น ๆ ที่ไม่สามารถเข้าถึงโดยการติดตามเก็บข้อมูลได้จะใช้วิธีประเมินพลังงานทางแฝงจากปัจจัยการผลิตขั้นรอบ ๆ ขอบเขตของการวิเคราะห์กระบวนการโดยใช้ฐานข้อมูลพลังงานและการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากประเทศไทยแยกตามภาคการผลิตซึ่งได้จัดทำในการศึกษานี้โดยวิธีการวิเคราะห์ปัจจัยการผลิตและผลผลิต (Input-Output Analysis: IOA)

ในการศึกษานี้ได้กำหนดว่าในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากชนิดหนึ่งเป็นอีกชนิดหนึ่งนั้น จะต้องอยู่ภายใต้ภาวะการขับเคลื่อนที่เท่ากัน และกำหนดให้ขอบเขตการวิเคราะห์ในขั้นวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการมีขอบเขตของระบบพลังงาน (the technical energy system :TES) ที่เท่ากัน ในการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการในกระบวนการทางตรงในระบบพลังงานทางเลือกนั้น ปริมาณพลังงานทางตรงที่ใช้ ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการสันดาปในกระบวนการหลักต่อปริมาณหน่วยหน้าที่ที่เท่ากับระบบพลังงานเปรียบเทียบจะถูกนับไว้ส่วนหนึ่ง พลังงานและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝงในทรัพยากรนำเข้าในกระบวนการต้นน้ำของกระบวนการผลิตเอทานอลจะถูกวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการในลำดับขั้นที่สอง ลำดับขั้นที่สาม ฯลฯ ไปจนกระทั่งไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้จึงนำเข้าข้อมูลแบบมูลค่าเพื่อประเมินผลเทียบกับวิธีปัจจัยการผลิตและผลผลิตต่อไป

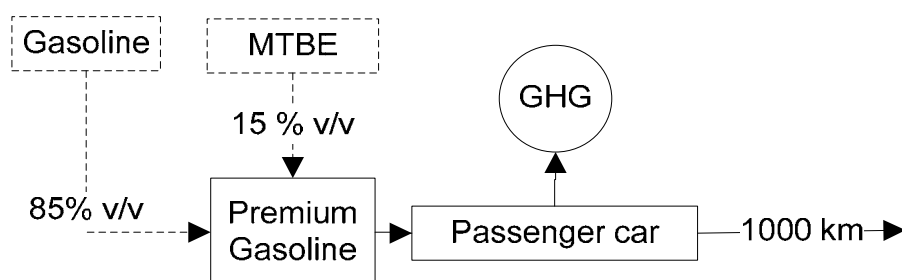
บทที่ 3

กรณีศึกษาการใช้และการผลิตเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์

ในการศึกษา LCA ของเอทานอลจากชีวภาพนั้น ผลการศึกษาบางรายให้ผลที่เป็นเชิงบวกแต่บางรายให้ผลเป็นเชิงลบ ซึ่งสาเหตุอาจมาจากการประเมินด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ขอบเขตของกระบวนการต้นน้ำต่างกัน และอาจมีสาเหตุจากพลังงานแฝงที่ใช้ในเส้นทางต้นน้ำไม่เท่ากันขึ้นกับรูปแบบการใช้พลังงานประเทศประเทศต้นทางของวัตถุดิบที่นำเข้า นอกจากนี้ผลการประเมินจากในประเทศเดียวกันก็อาจแตกต่างกันได้เนื่องจากการตั้งสมมติฐานในการใช้พลังงานต้นน้ำ รวมถึงการตั้งสมมติฐานในกระบวนการขนส่งที่ต่างกัน ผลของการศึกษาบางงานก็เปรียบเทียบบนปริมาณน้ำมันที่เท่ากัน บางงานก็เปรียบเทียบบนปริมาณผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงนั้น ๆ

กรณีศึกษาเป็นการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการขับเคลื่อนระหว่างการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดเดิมตามปกติ กับการเปลี่ยนมาใช้น้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพเพื่อให้ได้ระยะทางจากการขับเคลื่อนที่เท่าเดิมจากสมมติฐานที่ตั้งไว้ว่าหากผู้บริโภคจะยินดีที่จะเปลี่ยนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงก็จำเป็นต้องให้ข้อมูลที่สามารถให้เชื่อได้ว่าเขาจะได้ระยะทางในการขับเคลื่อนที่เท่าเดิม เพราะหากผู้บริโภคได้ปริมาณน้ำมันต่างชนิดกันที่มีปริมาณเท่าเดิมเขาจะไม่สามารถขับเคลื่อนรถยนต์ไปได้ระยะทางเท่าเดิมเนื่องจากอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจาก [46] [47] แนะนำว่าหากจะทำการเปรียบเทียบเพื่อยืนยันผลในการลดพลังงานและการปลดปล่อยมลภาวะจากการปรับเปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์เบนซินหรือดีเซลนั้นจะต้องทำการเปรียบเทียบที่ผลลัพธ์จากบริการการขนส่ง (transport service) ที่ได้จากการประเมินวัฏจักรชีวิตแบบ well-to-wheel basis ดังนั้นผลลัพธ์จากการขับเคลื่อนจากกรณีศึกษาในการวิจัยนี้จึงกำหนดไว้ที่ระยะทางที่รถยนต์ที่สามารถขับเคลื่อนได้เท่ากันให้เป็นหน่วยหน้าที่ (unit function) ของระบบพลังงานต่าง ๆ ที่ทำการศึกษา

จากการกำหนดหน่วยหน้าที่ (unit function) ของรถยนต์เดิมที่เติมน้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนก่อนการปรับเปลี่ยนน้ำมันเชื้อเพลิงให้เป็นระยะทางในการขับเคลื่อน 1000 กิโลเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3.1 input ที่เข้าสู่ระบบพลังงานประกอบไปด้วย น้ำมันแก๊สโซลีนปริมาณ 85% และ MTBE ซึ่งเป็นสารในการเพิ่มปริมาณออกซิเจนแก่เชื้อเพลิงเพื่อช่วยให้การเผาไหม้เชื้อเพลิงสมบูรณ์ ปริมาณ 15% โดยปริมาตร จากการสันดาปในเครื่องยนต์ส่งผลให้เกิดแก๊สเรือนกระจกออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ร่วมจากเส้นทางกระบวนการหลักของระบบพลังงานนี้



ภาพที่ 3.1 ห่วงโซ่การใช้พลังงานในกระบวนการหลักของการขับเคลื่อนที่เดิมเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน

การศึกษาเปรียบเทียบในการปรับเปลี่ยนการใช้เชื้อเพลิงได้เปรียบเทียบกับระหว่างระบบพลังงานที่เติมน้ำมันปิโตรเลียมแก๊สโซลีนตามปกติ กับ กรณีที่เติม E10 และ E20

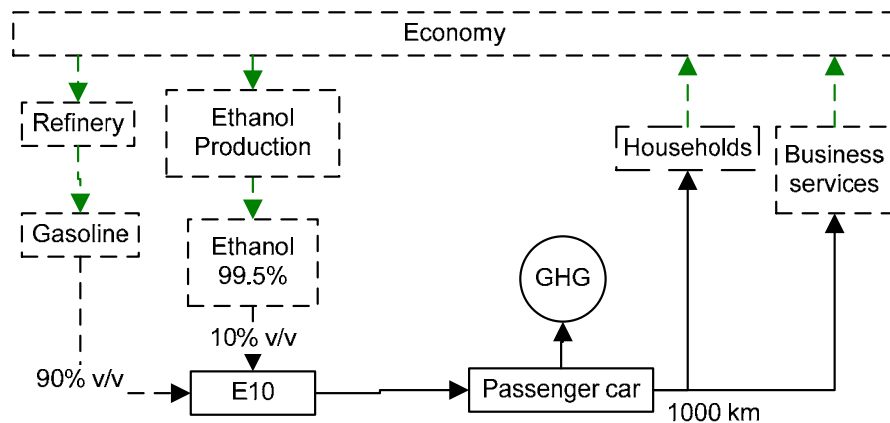
วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเอทานอลไร้น้ำ (anhydrous ethanol) เนื่องจากการศึกษาก่อนหน้านี้ [6] พบว่าแม้ว่าการผลิตเอทานอลจากกากน้ำตาล (molasses) จะสามารถทำได้โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนระบบในการผลิตในโรงงานน้ำตาลและโรงงานผลิตแอลกอฮอล์มากนักแต่ในประเทศไทยมีศักยภาพของวัตถุดิบจากอุตสาหกรรมน้ำตาลไม่เพียงพอที่จะป้อนให้แก่ปริมาณเอทานอลที่ต้องการในภาคพลังงานตามแผนนโยบายการใช้เอทานอลผสมในแก๊สโซฮอล์ที่วางไว้แล้วได้ แม้ว่าจะมีต้นทุนและกระบวนการผลิตที่มากกว่าก็ตามจำเป็นต้องพึ่งพากระบวนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังในประเทศในระยะยาว ดังนั้นในกรณีศึกษานี้จะใช้กระบวนการต้นน้ำในการผลิตเอทานอลเพื่อเป็นเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ E10 และ E20 ด้วยมันสำปะหลัง

สมมติฐานในกระบวนการต้นน้ำที่วางไว้ คือ ผลพลอยได้จากการผลิตเอทานอล คือ ปุ๋ยน้ำ ถือว่าสามารถทดแทนปุ๋ยเคมีในกระบวนการเพาะปลูกต้นทางได้ ซึ่งต้นทุนส่วนนี้มีอัตราส่วนประมาณ 5 % ของภาคการเพาะปลูกมันสำปะหลัง

เส้นทางกระบวนการของระบบพลังงานที่ใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์แสดงในภาพที่ 3.2 ผลผลิตที่ได้จากระบบพลังงานมีใช้มีเพียงระยะทางที่ขับใช้ได้แต่ยังมีการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกทางตรงอีกด้วย ปัจจุบันนำเข้ากระบวนการทางตรงประกอบด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ในปริมาณ 10 % ในกรณีระบบ E10 น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนในอัตราส่วน 90% และ สำหรับกรณี E20 ประกอบด้วยเอทานอลบริสุทธิ์ในปริมาณ 20 % น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนในอัตราส่วน 80% ทั้งนี้ในเนื้อน้ำมันแก๊สโซลีนถือว่าผลิตมาจากภาคการผลิตน้ำมันปิโตรเลียม สำหรับในระบบพลังงานเปรียบเทียบคือกรณีที่เติมน้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนตามปกตินั้นปัจจุบันนำเข้าจะประกอบไปด้วยสาร MTBE ที่ผลิตมาจาก methanol และ isobutylene ซึ่งในการศึกษานี้ถือว่าเป็นผลผลิตที่มาจากภาคการผลิตน้ำมันดิบและแก๊สธรรมชาติภายในเศรษฐกิจ

ปัจจัยการผลิตที่มีส่วนสำคัญต่อกระบวนการหลัก คือ น้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน สาร MTBE [48] และ เอทานอลบริสุทธิ์ แต่ถือน้ำมันเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน และสาร MTBE เป็นกรณีปกติที่เศรษฐกิจผลิตอยู่แล้วเป็นประจำดังนั้นจึงประเมินปริมาณพลังงานแฝงและการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากดัชนีที่ประเมินจากวิธีปัจจัยการผลิตและผลผลิต

ในระบบพลังงานที่มีส่วนผสมของเอทานอลนั้นถือเป็นกิจกรรมใหม่ในเศรษฐกิจจึงทำการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการการผลิตเอทานอลด้วยวิธี PCA พลังงานที่ใช้ในเส้นทางกระบวนการที่สำคัญอยู่ในกระบวนการ liquefaction fermentation distillation และ dehydration ปุ๋ยน้ำถือว่าเป็นของเสียจากกระบวนการผลิตเอทานอลซึ่งในการศึกษานี้นับเป็นผลผลิตรองที่สามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการเพาะปลูกวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลได้อย่างพอเพียง



ภาพที่ 3.2 ห่วงโซ่พลังงานของระบบพลังงานที่ใช้เชื้อเพลิง E10

เมื่อพิจารณาในกระบวนการใช้พลังงานทางตรงนั้น ผลของค่าความร้อนที่ลดลงในเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ย่อมส่งผลในอัตราที่เท่ากันในด้านอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง [47] ค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของรถยนต์ที่เติม E10 จะแตกต่างจากกรณีก่อนเปลี่ยนชนิดเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นประมาณ 3% [49] สำหรับอัตราส่วนผสมเชื้อเพลิงอื่นสามารถคิดคำนวณเป็นเส้นตรงได้ [47] คุณสมบัติของส่วนผสมของเชื้อเพลิงที่เกี่ยวข้องกับกรณีศึกษานี้แสดงในตารางที่ 3.1

การเปลี่ยนเชื้อเพลิงในรถยนต์แก๊สโซลีนสามารถกระทำได้ในรถยนต์ที่มีระบบการปรับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงแบบอัตโนมัติเท่านั้น และอัตราส่วนผสมเอทานอลสามารถเป็นไปได้ตั้งแต่ 5% ไปจนถึง 25% โดยไม่จำเป็นต้องปรับแต่งเครื่องยนต์ แต่ไม่แนะนำให้ใช้เชื้อเพลิงประเภทนี้กับรถยนต์รุ่นเก่า สำหรับอัตราส่วนผสมที่มากกว่า 25% นั้นควรใช้รถยนต์ที่สามารถแปรเปลี่ยนเชื้อเพลิงได้ คือ Flexible Fuel Vehicle (FFV) ซึ่งสามารถแปรเปลี่ยนส่วนผสมของเอทานอลได้ตั้งแต่ 0-85% สำหรับรถยนต์ที่เติม เอทานอล 100% จะเกิดปัญหาการสตาร์ทเครื่องขณะอากาศเย็น [49]

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของส่วนผสมของเชื้อเพลิง

	Density* (kg/liter)	LHV* (MJ/liter)	Oxygen by weight
Gasoline	0.749	32.23	0%
Ethanol	0.792	21.19	34.70%
MTBE	0.742	26.05	18.20%

* แปลงหน่วยจาก [8]

ตารางที่ 3.2 แสดงผลจากการประเมินอัตราส่วนการลดลงของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงแก๊สโซลีน E10 และ E20 โดยอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนคิดรวมถึงค่าความร้อนของ MTBE ที่ผสมอยู่ด้วย ใน [48] และ [50] ระบุว่าอัตราส่วนผสมเท่ากับ 10% แต่ใน [51] ระบุว่าเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนควรมีอัตราส่วนของออกซิเจน 2.7% โดยมีมวลในน้ำมันแก๊สโซลีนก็เพียงพอสำหรับการสันดาปแล้ว ซึ่งจากการคำนวณพบต้องมีส่วนผสมของ MTBE 15% โดยปริมาตรเพื่อเพิ่มให้ออกซิเจน 2.7% ดังกล่าว จากส่วนผสมดังกล่าวทำให้ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงลดลง 2.87% สำหรับปริมาณออกซิเจนที่ต้องการดังกล่าวแล้วในเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอล์ต้องการเอทานอลเพียง 7.5% โดยปริมาตรเท่านั้น ดังนั้นเชื้อเพลิง E10 และ E20 จึงมีปริมาณออกซิเจนที่มากเพียงพอต่อการสันดาปที่

สมบูรณ์แม้ว่าจะมีค่าความร้อนที่ลดลงก็ตาม

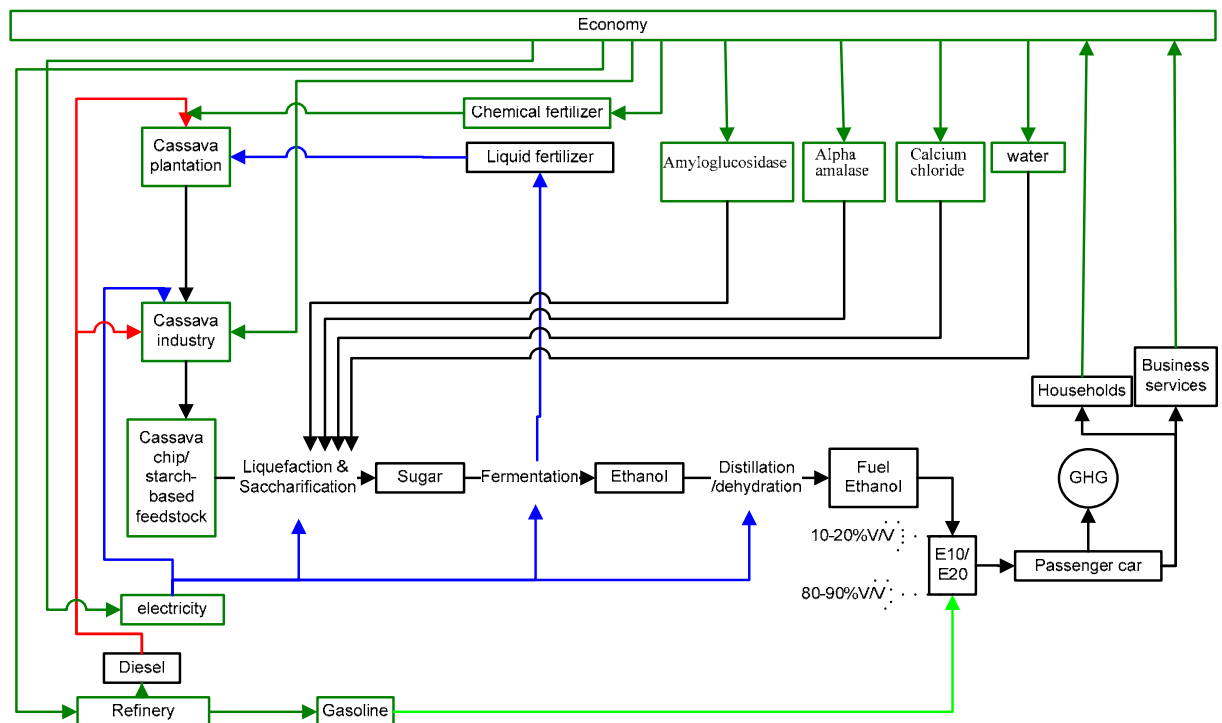
จากค่าความร้อนของเชื้อเพลิง อัตราส่วนผสม และเมื่อประเมินจากผลของระยะทางที่เท่าเดิมจากการขับ อัตราส่วนผสมที่ต้องการต่อระยะทางในแต่ละหน่วยแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 การประเมินอัตราส่วนการลดลงของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของ E10 และ E20

Reference to	ค่าความร้อนที่ลดลง	การลดลงของอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	
	Gasoline	Gasoline	CPG
Premium Gasoline	-2.87%	-2.87%	Na.
E10	-3.43%	-3.43%	-0.57%
E20	-6.85%	-6.85%	-4.09%

ตารางที่ 3.3 ความต้องการส่วนผสมที่เพิ่มขึ้นต่อระยะทางที่เท่ากัน (liter/km)

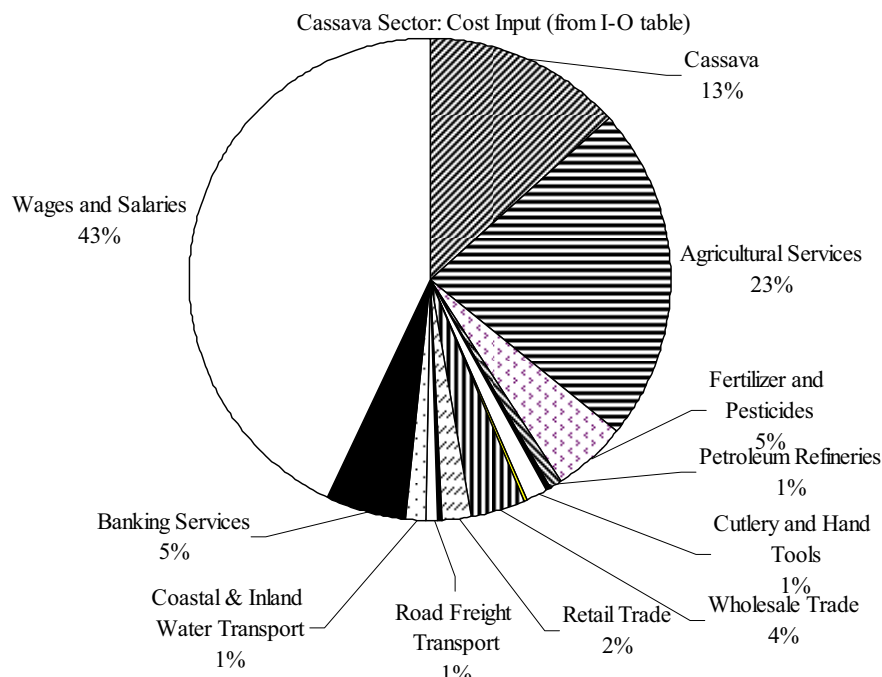
	Fuel Economy (km/liter)	Gasoline	MTBE	Ethanol	ส่วนผสมที่เพิ่มขึ้น
CPG	10	0.085	0.015	-	Na.
E10	9.943 (-0.57%)	0.0905 (+6.49%)	-	0.0101	(+0.57%)
E20	9.591 (-4.09%)	0.0834 (-1.86%)	-	0.0209	(+4.27%)



ภาพที่ 3.3 การวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการของระบบพลังงานที่ใช้เชื้อเพลิง E10/E20

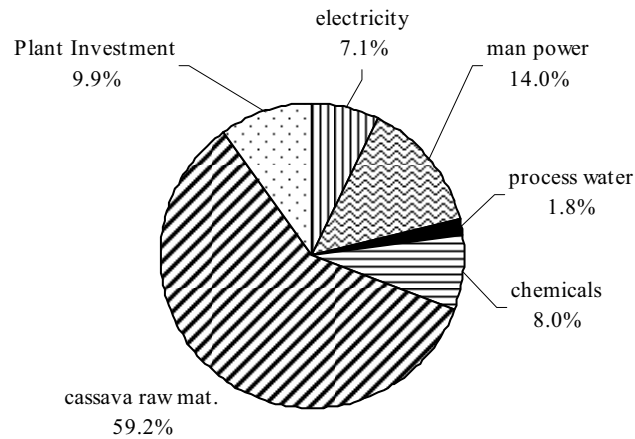
การวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการของระบบพลังงานที่ใช้เชื้อเพลิง E10/E20 ซึ่งขยายการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการต้นน้ำของการซื้อเพลิงเอธานอลจากมันสำปะหลังแสดงในภาพที่ 3.3 วิธี PCA กระทำในขั้นตอนตั้งแต่กระบวนการที่เอธานอลความเข้มข้น 99.5% ที่ผลิตมาจากกระบวนการเปลี่ยนแป้งจากมันสำปะหลังให้เป็นน้ำตาล ผ่านกระบวนการหมักและนำน้ำออกจากเอธานอลได้ถูกนำมาผสมกับน้ำมันแก๊สโซลีนที่ผ่านการผลิตจากโรงกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมตามกรณีปกติ ซึ่งใช้วิธี IOA มาวิเคราะห์ต่อไป

ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ PCA ในขั้นตอนกระบวนการต้นน้ำของการผลิตเอธานอลไร้น้ำได้ศึกษาจากรายงานใน [52] ซึ่งเป็นรายงานในปี 2548 การจำแนกต้นทุนในการผลิตเอธานอลไร้น้ำจากมันเส้นแสดงในภาพที่ 3.4 โดยในต้นทุนทั้งหมดประมาณ 8.61 บาทต่อลิตร เป็นส่วนของวัตถุดิบจากหัวมัน 60.4% ในกรณีศึกษานี้ได้วางสมมติฐานว่ามีการนำผลพลอยได้คือปุ๋ยน้ำมาใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกมันสำปะหลังต้นทาง จากเอกสารอ้างอิง [53] ที่ระบุว่าผลพลอยได้เป็นปุ๋ยน้ำเท่ากับ 10% ของเอธานอลที่ผลิตได้ และหากปริมาณปุ๋ยน้ำเท่ากับ 282.49 ลิตรจะสามารถทดแทนปุ๋ยเคมีที่ใช้ในการเพาะปลูกได้เท่ากับ 31.31 กิโลกรัม และเมื่อพิจารณาจากโครงสร้างปัจจัยการผลิตและผลผลิต [29] จะพบว่าในภาคการเพาะปลูกมันสำปะหลังต้องใช้จ่ายต้นทุนค่าปุ๋ยในอัตราส่วน 5% โครงสร้างต้นทุนของภาคการเพาะปลูกมันสำปะหลังของประเทศไทยแสดงในภาพที่ 3.4 หากสมมติให้ปุ๋ยน้ำสามารถทดแทนปุ๋ยเคมีที่เคยใช้ในการเพาะปลูกได้ทั้งหมดจากการประเมินเบื้องต้นพบว่าปุ๋ยน้ำที่ได้จากกระบวนการผลิตเอธานอลจะมีปริมาณที่เกินความต้องการในการเพาะปลูก และหากการเพาะปลูกมันสำปะหลังไม่ต้องซื้อปุ๋ยเคมีเลยจะสามารถลดต้นทุนของหัวมันได้จาก 60.4% เหลือ 59.2% ดังแสดงในภาพที่ 3.5

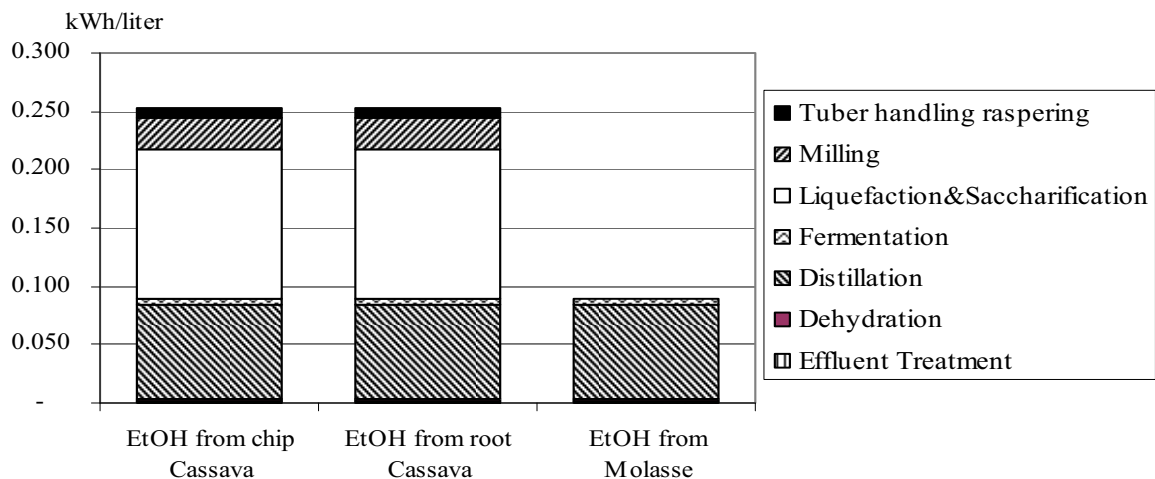


ภาพที่ 3.4 ส่วนแบ่งต้นทุนของภาคการเพาะปลูกมันสำปะหลัง

ที่มา: ประยุกต์ข้อมูลจากตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตของประเทศไทย [29]



ภาพที่ 3.5 ส่วนแบ่งต้นทุนของการผลิตเอทานอลไร้น้ำที่ไม่คิดต้นทุนปุ๋ยในหัวมันสด



ภาพที่ 3.6 ส่วนแบ่งพลังงานในการผลิตเอทานอลไร้น้ำจากมันสำปะหลัง

ในปริมาณพลังงานทางตรงในกระบวนการผลิตเอทานอลไร้น้ำนั้นต้องการไฟฟ้า 0.254 kWh/liter โดยปริมาณพลังงานส่วนใหญ่อยู่ที่กระบวนการทำให้แป้งเหลวและทำให้แป้งเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ในการประเมินนี้ได้ตั้งข้อสมมติฐานว่าหากเป็นการผลิตจากมันเส้นหรือหัวมันสด หากผลิตเอทานอลจาก molasses น้ำตาลจะสามารถลดพลังงานที่ต้องการในกระบวนการต้นทางก่อนทำให้แป้งเป็นน้ำตาลลงได้ทั้งหมดประมาณ 65% (ดูกราฟในภาพที่ 3.6)

สำหรับปริมาณพลังงานและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝงในกระบวนการต้นน้ำ (Upstream Process) ของการผลิต E10 (และ E20) ของปัจจัยการนำเข้าสู่การวิเคราะห์ PCA ที่เหลือทั้งหมดได้ทำการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลดัชนีพลังงานและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่ได้จากการวิเคราะห์ IOA เทียบเท่าของปีคศ. 2005 โดยใช้ข้อมูลต้นทุนนำเข้ากระบวนการ PCA มาประกอบตารางที่ เป็นการเทียบปัจจัยการนำเข้ากับภาคเศรษฐกิจตามตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิต

ส่วนผสมปริมาณ 90 % (กรณี E10 และ 80% สำหรับกรณี E20) โดยปริมาตรเป็นน้ำมันเบนซิน (Gasoline) โดยในส่วนของกระบวนการต้นน้ำของ Gasoline จะใช้ข้อมูล IOA จาก sector 93 Petroleum Refinery โดยปริมาณพลังงานและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝงในกระบวนการต้นน้ำ (Upstream Process) ของการผลิต Premium Gasoline นั้นเนื่องจาก Premium Gasoline เป็นส่วนผสมของ MTBE อย่างต่ำประมาณ 5.5% โดยปริมาตรซึ่งเป็นผลผลิตจากโรงกลั่นน้ำมัน และในส่วนที่เหลืออีก 94.5% โดยปริมาตรคือ Gasoline เป็นผลผลิตจากโรงกลั่นน้ำมันซึ่งเป็นการปกติในระบบเศรษฐกิจมหภาคอยู่แล้วดังนั้นปริมาณ Upstream Process จึงทำการประเมินจากข้อมูล จากข้อมูล IOA จาก sector 93 Petroleum Refinery

ในส่วนผสมซึ่งเป็น Ethanol นั้นจากการศึกษาพบว่าการผลิต Ethanol จากกากน้ำตาล (molasses) ซึ่งถือว่าเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมน้ำตาลในประเทศนั้นไม่เพียงพอกับความต้องการตามที่รัฐได้วางนโยบายไว้ ดังนั้นจึงคาดการณ์ได้ว่าหากมีการใช้เชื้อเพลิง E10 ตามนโยบายแล้วจะต้องมีการผลิต Ethanol จากมันสำปะหลังในที่สุด ซึ่งกระบวนการผลิต Ethanol จากแป้งนั้น จะมีกระบวนการที่ซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งปัจจัยการผลิตนั้นนอกจากจะเป็นปัจจัยที่เป็น Consumable input แล้วยังมีปัจจัยในส่วนของการลงทุนในเครื่องจักร/อุปกรณ์ และโรงงานด้วย

ตารางที่ 3.4 การเทียบปัจจัยการนำเข้ากับภาคเศรษฐกิจตามตารางปัจจัยการผลิตและผลผลิตในกรณีศึกษาแก๊สโซฮอลล์

ปัจจัยการนำเข้า	เทียบเท่าภาคเศรษฐกิจ
Salary	201 Household
Cassava root	004 Cassava
Cassava chips Alpha Amalase Amyloglucosidase	050 tapioca milling
Molasse	055 Sugar
Calcium chloride	084 Basic Industrial Chemicals
Premium Gasoline, E10, E20, and other petroleum products	093 Petroleum Refinery
Electricity	135 Electricity
Process water	137 Water Supply System
Construction of Ethanol Plant	139 Non-Residential Building Construction
Ethanol	062 Distilling Blending Spirits

บทที่ 4

กรณีศึกษาการใช้และการผลิตเชื้อเพลิงไบโอดีเซล

ในการส่งเสริมการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลในประเทศไทยนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลเช่นเดียวกัน โดยเชื้อเพลิงไบโอดีเซลที่ได้รับการสนับสนุนตามแผนคือ B5 ซึ่งเป็นส่วนผสมปริมาณ 95 % จากน้ำมันดีเซลหมุนเร็ว (High Speed Diesel) และอีก 5% เป็น Biodiesel (B100) สำหรับการใช้ biodiesel B100 ที่ผลิตจากน้ำมันถั่วเหลืองในประเทศสหรัฐอเมริกาจากการทำ LCA ของ Sheehan et.al. (1998) [54] พบว่าในการใช้เชื้อเพลิง B100 ทดแทนน้ำมันดีเซลในรถบัสสามารถลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊ส CO₂ ได้ถึง 78 % [55]

สำหรับเทคโนโลยีการผลิตไบโอดีเซลในการศึกษานี้กำหนดให้เป็นกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องแบบต่างที่ผลิตจากน้ำมันปาล์มสเตอรินจากอุตสาหกรรมปาล์ม ซึ่งน้ำมันปาล์มสเตอรินเป็นผลผลิตร่วม (discounted product) จากกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มโอเลอินซึ่งหากไม่นำมาเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแล้วมักจะถูกนำไปขายเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ [13] ในกระบวนการที่สามารถเก็บข้อมูลได้นั้นกระทำการเก็บข้อมูลในโรงงานอุตสาหกรรมการหีบน้ำมันปาล์ม ต่อเนื่องถึงกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ (PCA) พลังงานแฝงและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝงในทรัพยากรต้นน้ำที่ถูกซื้อเพื่อนำเข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ (PCA) ถูกประเมินโดยใช้ฐานข้อมูลดัชนีพลังงานและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการประเมินปัจจัยการผลิตและผลผลิต กรณีศึกษาของการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลในยานพาหนะจะเป็นกรณีการทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมดีเซลด้วยน้ำมันผสมไบโอดีเซลในอัตราส่วนที่สามารถหาได้ในท้องตลาดโดยให้มีผลผลิตจากกระบวนการขบรณณ์ที่เท่าเดิม

4.1 การใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซล

Biodiesel คือเอสเตอร์ (ester) ที่สามารถผลิตได้จากไขมันสัตว์หรือน้ำมันพืช โดยเกิดจากปฏิกิริยาระหว่าง Triglycerides ในน้ำมันกับแอลกอฮอล์ และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นกรด หรือด่าง ซึ่งปัจจุบันมักใช้ด่าง เช่น NaOH หรือ KOH เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยคุณสมบัติของ Biodiesel ที่มีคุณภาพจะต้องมาจากวัตถุดิบที่ปราศจากสารปนเปื้อน และผ่านกระบวนการทำปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ซึ่งจะขึ้นกับเวลาและอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา [55]

เดิมทีนั้นมีการใช้คำว่าไบโอดีเซลกับน้ำมันพืชดิบ จากการทบทวนวรรณกรรมของ Shahid and Jamal [57] จากรายงานของนักวิทยาศาสตร์กว่า 50 ท่าน ว่าการใช้ไบโอดีเซลดิบในเครื่องยนต์สันดาปภายในเป็นระยะเวลานาน ๆ จะส่งผลให้เครื่องยนต์เกิดความเสียหาย เนื่องจากมีถ่านเกิดขึ้นเกาะที่หัวฉีดและเกิดการอุดตันของแวนกระบอกสูบ ส่วนไบโอดีเซลที่ผลิตผ่านกระบวนการทรานส์เอสเตอร์ของน้ำมันพืชหรือน้ำมันสัตว์สามารถถูกปรับปรุงให้มีคุณลักษณะเฉพาะใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซลที่กลั่นจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (D100) ได้ การนำไบโอดีเซล (B100) มาผสมกับ D100 ในอัตราส่วนปริมาตรมากกว่า 20% จะทำให้เกิดปัญหาการซ่อมบำรุงและเครื่องยนต์อาจจะเสียหายได้ ดังนั้นหากต้องการใช้

งานเครื่องยนต์ให้มียอายุการใช้งานนาน ๆ จึงมีคำแนะนำให้เติมน้ำมันไบโอดีเซลที่มีส่วนผสมที่เหมาะสม การเติมน้ำมันผสมไบโอดีเซลนั้นมีรายงานว่าจะทำให้เครื่องยนต์มีกำลังม้าเบรค (brake horse power) ที่ต่ำลงและอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันสูงขึ้นเล็กน้อยแต่มีการหล่อลื่นที่ดีขึ้น การปลดปล่อย NO_x น้อยลง ไม่มีการปลดปล่อย SO_x และ CO_2 จากการเผาไหม้ในส่วนผสมของ B100 ในเชื้อเพลิงผสม [57]

จากรายงานของ EPA ไบโอดีเซลในรูปแบบของเอสเทอร์นั้นสามารถนำมาผสมกับน้ำมันดีเซลจากปิโตรเลียมได้ในทุกอัตราส่วนผสม แต่อัตราส่วนผสมที่เป็นที่นิยมคืออัตราส่วน 2%, 5%, หรือ 20% ซึ่งเรียกว่า B2 B5 และ B20 ผู้ผลิตรถยนต์ส่วนใหญ่ยังไม่แนะนำให้ใช้ไบโอดีเซลที่มีส่วนผสมมากกว่า B5 และผู้ผลิตรถยนต์บางรายยกเลิกการรับประกันหากใช้น้ำมันไบโอดีเซลที่มีส่วนผสมมากกว่านี้ ซึ่งรายละเอียดการรับประกันขึ้นอยู่กับคู่มือรถที่กำหนดโดยผู้ผลิต [58] การเปลี่ยนการเติมเชื้อเพลิงรถยนต์จาก D100 มาเป็น B2 หรือ B5 สามารถกระทำได้ทันทีหากระบบการป้อนเชื้อเพลิงของรถยนต์เป็นระบบปรับอัตราการป้อนน้ำมันแบบอัตโนมัติเท่านั้น [49] และ EPA รายงานว่าสามารถผสมไบโอดีเซลได้ในอัตราส่วนผสมไม่เกิน 20% โดยไม่ทำให้เครื่องยนต์เสียหาย แต่ไม่แนะนำให้ใช้ในเครื่องยนต์รุ่นเก่า [49]

อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของรถยนต์ที่เติมไบโอดีเซลจะสูงกว่ารถยนต์ที่เติม [58] แต่การวัดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงนั้นมีความแตกต่างสูงมากเนื่องจากอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงขึ้นกับพฤติกรรมการขับขี่ สภาพอากาศในขณะขับขี่ สภาพการจราจร อุณหภูมิของน้ำมันขณะที่เติมน้ำมันซึ่งมีผลต่อปริมาตรน้ำมันที่เติมลงถึงน้ำมัน และความดันภายในยางรถยนต์ [59] จากการทดสอบเปรียบเทียบในรถบัสโดยสารโดยเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของพลังงานเชิงปริมาตร (volumetric energy density) National biodiesel board (2007) [13] ของประเทศสหรัฐอเมริการายงานว่าไบโอดีเซลจากน้ำมันถั่วเหลืองสามารถให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงได้ใกล้เคียงกับน้ำมันปิโตรเลียมดีเซล เนื่องจากค่าความร้อนของเชื้อเพลิงปิโตรเลียมดีเซลมีค่า 131,295 Btu/gal และไบโอดีเซลมีค่า 117,093 Btu/gal ดังนั้นค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไบโอดีเซลจึงมากกว่า 2%-3% Worapun et al. 2006 [60] รายงานว่าจากการทดสอบเครื่องยนต์ดีเซลแบบสูบเดี่ยวโดยใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจากน้ำมันพืชใช้แล้ว เครื่องยนต์จะมีแรงบิดลดลง 4.1 % โดยค่า output ของเครื่องยนต์ที่ลดลงมีค่าใกล้เคียงกับค่าความร้อนที่ต่ำกว่า ซึ่ง NREL [61] ได้แนะนำให้ใช้ค่าการเปลี่ยนแปลงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่สอดคล้องกับค่าความร้อนที่ลดลงในการเปลี่ยนมาเติมน้ำมันไบโอดีเซล

4.2 การผลิตไบโอดีเซล (Production)

Zhang et al. [62] ได้พัฒนากระบวนการผลิตน้ำมันไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องจากน้ำมันพืชบริสุทธิ์หรือน้ำมันปรุงอาหารใช้แล้วภายใต้สภาวะเป็นกรดหรือเป็นด่างรวมทั้งสิ้นสี่กระบวนการ โดยกระบวนการภายใต้ภาวะต่างโดยใช้น้ำมันพืชบริสุทธิ์จะต้องการอุปกรณ์ในการผลิตที่มีขนาดเล็กที่สุดแต่มีราคาวัตถุดิบสูงที่สุด หากใช้น้ำมันปรุงอาหารใช้แล้วจะสามารถลดต้นทุนด้านวัตถุดิบได้ควรใช้เทคโนโลยีที่เป็นภาวะกรดจะเหมาะสมกว่าเนื่องจากมีค่ากรดไขมันอิสระสูง (free fatty acid :FFA)

เนื่องจากระบบจะมีความซับซ้อนน้อยกว่า ทั้งนี้มีคำแนะนำว่าเทคโนโลยีแบบต่างในกระบวนการผลิตไบโอดีเซลในเชิงพาณิชย์จะมีความสามารถในการแข่งขันที่ดีกว่า

กระบวนการผลิตไบโอดีเซลในประเทศไทยมักจะเป็นกระบวนการทรานส์เอสเทอริฟิเคชันแบบต่าง โดยมีการผลิตแบบกะและแบบต่อเนื่อง โดยแบบกะนิยมเรียกว่า ไบโอดีเซลชุมชน ที่มีวัตถุดิบมาจากน้ำมันปรุงอาหารที่ผ่านการใช้แล้ว ทั้งนี้คุณภาพของน้ำมันไบโอดีเซลที่ผ่านการผลิตแบบกะมักจะไม่นั่นนอน และแม้ว่าต้นทุนในการผลิตจะต่ำแต่ก็พบว่าการผลิตบางกะจะพบกับความล้มเหลวและต้องทิ้งไปเนื่องจากอาจมีปัญหาด้านปริมาณกรดไขมันอิสระในน้ำมันพืชใช้แล้วที่ไม่แน่นอนและผู้ดำเนินการผลิตไบโอดีเซลแบบกะมักจะขาดความรู้ด้านเคมี [63]

ต้นทุนด้านวัตถุดิบของกระบวนการผลิตไบโอดีเซลแบบต่อเนื่องค่อนข้างสูงแต่คุณภาพของน้ำมันจะเป็นที่ยอมรับได้มากกว่าและสามารถเข้าสู่เชิงพาณิชย์ได้มากกว่า หากต้องการใช้น้ำมันปรุงอาหารที่ผ่านการใช้แล้วเป็นวัตถุดิบในการผลิตเชิงพาณิชย์ควรลงทุนติดตั้งระบบเทคโนโลยีแบบสองขั้นตอนซึ่งต้องใช้เงินลงทุนสูงกว่า เทคโนโลยีแบบไมโครเวฟก็สามารถลดระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาและลดพื้นที่ในการติดตั้งระบบได้แต่มูลค่าการลงทุนติดตั้งระบบสูงมากและจะพบในโครงการนำร่องเท่านั้น [57]

น้ำมันไบโอดีเซลในรูปเอสเทอร์เป็นเชื้อเพลิงที่สามารถทดแทนน้ำมันดีเซลได้ในเชิงพาณิชย์ที่สามารถผลิตได้จากน้ำมันพืชหรือสัตว์ การผลิตไบโอดีเซลสามารถผลิตจากวัตถุดิบที่เป็นน้ำมันพืช เช่น น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว น้ำมันถั่วเหลือง น้ำมันถั่ว น้ำมันงา น้ำมันข้าวโพด น้ำมันเมล็ดทานตะวัน และสบู่ดำ โดยการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลจะปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกต่ำกว่าเนื่องจากผลิตจากแหล่งวัตถุดิบที่เป็นพลังงานทดแทนจากภายในประเทศและช่วยลดปัญหาความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศได้ [9]

แหล่งทรัพยากรที่สามารถนำมาผลิตเป็นไบโอดีเซลในประเทศไทย เช่น น้ำมันปรุงอาหารที่ผ่านการใช้แล้ว น้ำมันปาล์ม น้ำมันมะพร้าว สบู่ดำ แต่พบว่าน้ำมันปาล์มมีศักยภาพในการเป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลมากกว่าเนื่องจากสามารถแข่งขันได้ในเชิงพาณิชย์มากกว่าน้ำมันพืชชนิดอื่นเนื่องจากมีผลผลิตสูงและต้นทุนการผลิตต่ำกว่า และสามารถจัดให้มีอุปทานวัตถุดิบที่เพียงพอได้ภายในประเทศ หากกำหนดเป็นนโยบายพลังงานของประเทศ [64]

4.3 การประเมิน LCA

เนื่องจากในการประเมินน้ำเป็นการประเมินแบบเปรียบเทียบดังนั้นจึงดำเนินการโดยกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and Scope) จัดทำบัญชีรายการและทำนายผล

4.3.1 เป้าหมาย (Goal)

เนื่องจากการเปรียบเทียบในกรณีศึกษานี้เป็นการเปรียบเทียบผลของการทดแทนเชื้อเพลิงไบโอดีเซลในการขับเคลื่อนดีเซล และจากนโยบายให้มีเชื้อเพลิงไบโอดีเซล B5 และ B10 ขยายในเชิงพาณิชย์ภายในปี 2555 จึงทำการเปรียบเทียบห่วงโซ่พลังงานของ D100 B5 และ B10 วัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบเพื่อให้เห็นประโยชน์ของการปรับเปลี่ยนการเติมน้ำมันจากการขับเคลื่อนดีเซล ในรูปของ

การลดปริมาณพลังงานและการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากตลอดทั้งห่วงโซ่พลังงาน ซึ่งหากสามารถลดปริมาณพลังงานฟอสซิลจากวัฏจักรได้จะส่งผลดีต่อประเทศในการลดการพึ่งพาพลังงานฟอสซิล และหากลดปริมาณแก๊สเรือนกระจกจากวัฏจักรจะทำให้ผู้บริโภคสามารถมีส่วนร่วมในการบรรเทาปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศจากการใช้พลังงาน ดังนั้นเป้าหมายของการประเมินในครั้งนี้คือผู้บริโภคที่ขับเคลื่อนดีเซล

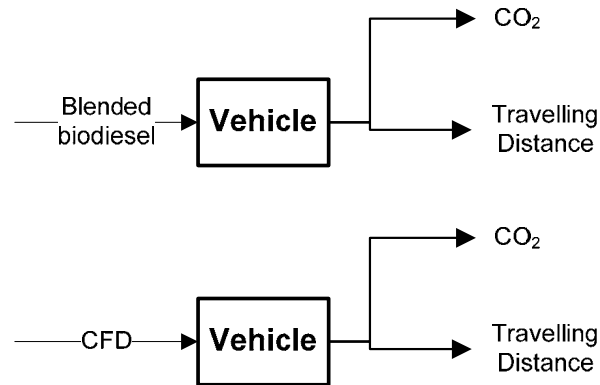
ในการรวมผลจาก LCA ของปริมาณต่าง ๆ เป็นค่าเดียวนั้นไม่มีหลักการทางวิทยาศาสตร์ใดสามารถยืนยันการถ่วงน้ำหนัก [10] การศึกษานี้จึงทำการศึกษาเพียงในระดับ LCI ที่สามารถให้ผลการศึกษาในรูปพลังงานและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่อ้างอิงจากหน่วยหน้าที่ (functional unit) ของระบบพลังงาน

4.3.2 ขอบเขต (Scope)

ผลจากการประเมิน LCA จากการขับเคลื่อนเครื่องยนต์ compression ignition (CI) และ spark ignition (SI) engines ที่มีการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่างชนิดกันในผลของการขับเคลื่อนที่เท่าเทียมกันจะเป็นการช่วยยืนยันข้อดีของการทดแทนเชื้อเพลิงปิโตรเลียมด้วยเชื้อเพลิงชีวภาพ [14] ดังนั้นในการศึกษานี้จึงกำหนดหน่วยหน้าที่ (functional unit) เป็นผลลัพธ์จากการขับเคลื่อน จากระบบพลังงานที่นำมาเปรียบเทียบกันนี้มีเป้าหมายที่ระยะทางที่เท่ากัน คือ 1000 กิโลเมตร เนื่องจากขอบเขตของทั้งสองระบบที่นำมาเปรียบเทียบกันจำเป็นต้องเท่ากันแต่เป็นการยากที่จะระบุขอบเขตให้เท่าเทียมกันจากระบบพลังงานที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบโดยให้ขอบเขตระบบพลังงานขยายออกไปแบบไม่สิ้นสุดโดยใช้เทคนิค combined IOA-PCA

การประเมินเส้นทางกระบวนการในวิธีวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ (PCA) ในระบบพลังงานที่ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสมนั้น เริ่มจากกระบวนการที่ผลปาล์มที่ซื้อมาจากกระบวนการเพาะปลูกถูกส่งเข้าโรงงานหีบน้ำมันปาล์ม กลั่น และผลิตไบโอดีเซลขนส่ง B100 ไปผสมกับปิโตรเลียมดีเซล ส่งมาขายที่สถานีน้ำมัน และขับเคลื่อน ภาพที่ 3 แสดงระบบพลังงานของระบบที่ใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสม โดยส่วนที่เป็นกระบวนการต้นทางของปิโตรเลียมดีเซลนั้นถือว่ามีต้นทางมาจากภาคการผลิตน้ำมันปิโตรเลียม และเช่นเดียวกับกระบวนการต้นน้ำอื่น ๆ ที่ถูกส่งเข้าระบบพลังงานที่จะถูกประเมินพลังงานแฝงและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝงจากฐานข้อมูลดัชนีพลังงานและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่ประเมินจากโมเดลปัจจัยการผลิตและผลผลิต (I-O model)

ผลกระทบจากการประเมินคือปริมาณพลังงาน และปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก ซึ่งประกอบด้วย CO₂, CH₄ และ N₂O โดยประเมินการปลดปล่อยจากแต่ละเส้นทางกระบวนการด้วยวิธีการที่ประยุกต์จากแนวทางของ the revised 1996 IPCC guidelines ส่วนทอมในการวิเคราะห์ LCA ที่สอดคล้องกับมาตรฐาน ISO14040:2000 แสดงในตารางที่ 4.1



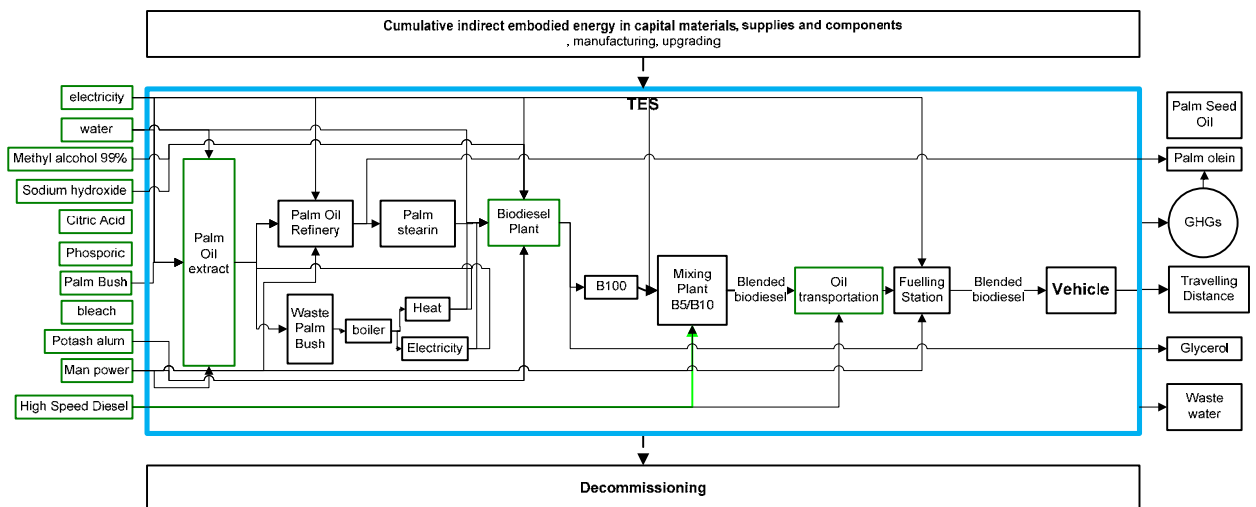
ภาพที่ 4.1 การเปรียบเทียบการศึกษา LCI บนระยะทางที่เท่ากัน

ตารางที่ 4.1 นิยามตามเทอมของ ISO14040

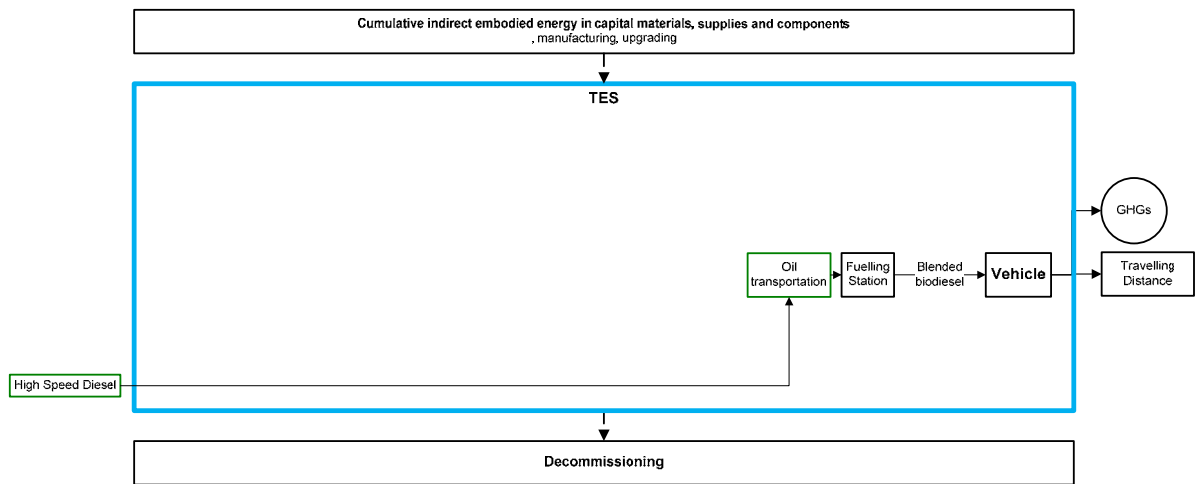
ISO14040 terms	รายละเอียด
Goal	Fuel substitution from D100 to blended biodiesel
Scope	Infinite upstream links - Inventory analysis inputs entering the TES until meet the targeted service - upstream links of inputs before entering the TES evaluated by IOA
Functional unit	Distance of transportation
Co-product	GHGs
Process	Driving vehicle Fuelling system Oil transportation Oil mixing Biodiesel production Palm oil refinery Palm oil extraction Palm Plantation
Elementary flow	Fossil and Renewable energies Raw materials Electricity from grid and self generated from waste biomass Water Chemicals GHGs
Ancillary input	Capitals Installations Labor Maintenance

4.1.3 ข้อมูล สมมติฐาน และข้อจำกัด

- กระบวนการต้นทุนของ B100 มาจากน้ำมันปาล์มสเตอร์น
- อัตราการกินน้ำมันจะขึ้นกับค่าความร้อนที่ลดลง [14] ดังนั้นปริมาณเชื้อน้ำมันของระบบพลังงานที่ใช้ไบโอดีเซลผสมมีมากกว่าระบบพลังงานที่ใช้ดีเซลเนื่องจากค่าความร้อนที่น้อยกว่า [13] และหากมีอัตราส่วนการผสมที่เพิ่มขึ้นจะมีการแปรผันที่สอดคล้องกันด้วย [5]
- ตลอดอายุการใช้งานไม่มีความต้องการในการบำรุงรักษาระบบเพิ่มขึ้น
- ระยะทางในการขนส่งได้สมมติค่าเริ่มต้นที่ 100 กิโลเมตรโดยมีการเติมน้ำมันชนิดเดียวกับระบบพลังงานที่พิจารณานั้น ๆ
- ไม่มีการลงทุนเพิ่มในการทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง
- แม้ว่าการลงทุนในแนวคิดของระบบพลังงานตามภาพ น่าจะส่งผลกระทบต่อค่าประเมิน แต่ข้อมูลการลงทุนในอุตสาหกรรมมักจะเป็นข้อมูลในทางธุรกิจที่ไม่ควรเปิดเผย จึงไม่พิจารณาในส่วนนี้ ทำให้การประเมินเปรียบเทียบในการศึกษานี้จึงเป็นการเปรียบเทียบเฉพาะ LCA ของการเดินระบบเท่านั้น



ภาพที่ 4.2 ระบบพลังงานของกรณีเติมเชื้อเพลิงไบโอดีเซลผสม



ภาพที่ 4.3 ระบบพลังงานเปรียบเทียบของกรณีเดิมเชื้อเพลิงปิโตรเลียมดีเซล

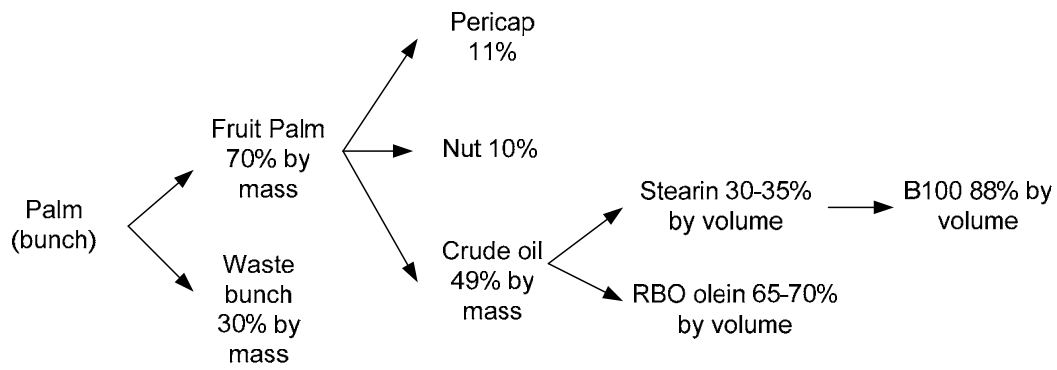
ตารางที่ 4.2 ค่าคุณสมบัติของไบโอดีเซลและปิโตรเลียมดีเซล

fuel	LHV		density (kg/L)	different in LHV		different infuel economy by volume	ปริมาณที่ต้อง เพิ่ม
	(MJ/L)	(MJ/kg)		by volume	By mass		
D100	36.42	42.85	0.85	-	-		
B100	33.30	37.84	0.88	8.57%	11.69%	-8.57%	9.3694%
B2	36.358	42.750	0.8506	0.17%	0.23%	-0.17%	0.1716%
B3	36.326	42.700	0.8509	0.26%	0.35%	-0.26%	0.2577%
B5	36.264	42.600	0.8515	0.43%	0.58%	-0.43%	0.4302%

4.2 การวิเคราะห์เส้นทางกระบวนการ

กระบวนการทางตรงของระบบพลังงาน (TES) นี้คือกระบวนการขั้วรถยนต์ (ดูภาพที่ 3.1 และ 3.2) เนื่องจากการเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากดีเซลเป็นไบโอดีเซลผสมจะมีค่าความร้อนต่ำลงซึ่งส่งผลให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเพิ่มขึ้นตามส่วน หากกำหนดให้ผลผลิตจากระบบพลังงานคงเดิมจะมีความต้องการใช้น้ำมันเพิ่มขึ้น ตารางที่ 2 แสดงค่าความร้อนของน้ำมันไบโอดีเซล B100 จากน้ำมันปาล์มซึ่งมีค่าความร้อนต่ำกว่าดีเซล D100 อยู่ 8.57 % แม้ว่าจะมีค่าความหนาแน่นสูงกว่าก็ตาม โดยการตั้งสมมติฐานให้อัตราส่วนแปรผันเป็นเส้นตรงสำหรับอัตราส่วนการผสมที่เพิ่มขึ้น B2 B3 และ B5 มีค่าความร้อนต่ำกว่าเท่ากับ 0.17% 0.26% และ 0.43% โดยปริมาตร ดังนั้นการทดแทนน้ำมันดีเซลด้วย B100 หากต้องการผลผลิตจากการขับที่เท่าเดิมจะต้องการปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้น 9.37% และการประเมินในน้ำมันไบโอดีเซลผสมก็จะประเมินจากค่าความร้อนที่เหลือตามอัตราส่วน

ในกระบวนการต้นน้ำของระบบพลังงานของกรณีไบโอดีเซลผสม เส้นทางกระบวนการปรากฏในภาพที่ 3.2 ซึ่งมีการเก็บข้อมูลจริงจากโรงงานตัวอย่าง ในการกระบวนการผลิต B100 และกระบวนการต้นน้ำ [18]



ภาพที่ 3.4 ลำดับอัตราส่วนต้นทางในการผลิตไบโอดีเซลแบบเทคโนโลยีแรก

เนื่องจากเส้นทางกระบวนการต้นน้ำของวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลนั้นเกิดจากผลผลิตรองจากโรงงานผลิตน้ำมันปาล์มโดยมีลำดับอัตราส่วนต้นทางในการผลิตตามที่แสดงในภาพที่ 3.4 ดังนั้นการประเมินปริมาณต่าง ๆ ในระบบพลังงานกรณีไบโอดีเซลผสมได้ทำการจัดแบ่งส่วนความรับผิดชอบของพลังงาน และทรัพยากรตามอัตราส่วนผลผลิตตามลำดับชั้น โดยปันส่วนตามมูลค่าของผลผลิตที่ได้ที่มีมูลค่าจากแต่ละกระบวนการ

ทะลายปาล์มที่เหลือจากกระบวนการหีบสกัดน้ำมันปาล์มดิบได้ถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงชีวมวลในการผลิตไอน้ำและไฟฟ้าใช้ในโรงงาน โดยส่วนของไฟฟ้าที่ผลิตใช้เองจากกากทะลายปาล์มนี้สามารถจ่ายไฟฟ้าให้ใช้เองได้ถึง 25% ซึ่งมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากเว็บไซต์ของกระทรวงพลังงานว่าในปริมาณทะลายปาล์ม 1 ตันที่ถูกส่งเข้าโรงหีบปาล์มแล้วกากทะลายปาล์มที่อาจถือได้ว่าเป็นผลผลิตร่วมจะสามารถนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าได้ถึง 120 kWh ในขณะที่โรงงานต้องการไฟฟ้าใช้เองเพียง 20-25 kWh และต้องการไอน้ำประมาณ 0.73 ตันไอน้ำ [65]

อัตราส่วนการผลิตตามลำดับชั้นในภาพที่ แสดงให้เห็นว่าในกระบวนการหีบปาล์มนั้นจะให้ น้ำมันปาล์มดิบประมาณ 49 % และจากกระบวนการกลั่นน้ำมันปาล์มจะสามารถผลิตน้ำมันโอเลอินได้ประมาณ 65-70 % โดยปริมาตรซึ่งเป็นผลผลิตหลักจากกระบวนการกลั่น และได้ผลผลิตรองคือน้ำมันสเตอรินในปริมาณ 30-35 % ซึ่งในการศึกษานี้กำหนดไว้ที่ 35% ในการศึกษานี้กำหนดให้น้ำมันสเตอรินทั้งหมดถูกนำไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตน้ำมันไบโอดีเซล B100 การจัดสรรปัจจัยการผลิตของแต่ละเส้นทางกระบวนการถูกจัดสรรโดยถ่วงน้ำหนักยอดขายของผลผลิต

ทะลายปาล์มที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการหีบปาล์มแล้วได้ถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าและไอน้ำเพื่อใช้ในโรงงาน ซึ่งจากข้อมูลที่ได้พบว่าโรงงานนี้ใช้ไฟฟ้าที่ผลิตเอง ในอัตราส่วน 25% และส่วนที่ยังขาดอยู่ซื้อจากสายส่ง

ในกรณีศึกษานี้เป็นกระบวนการผลิตที่ใช้เทคโนโลยีแบบ first generation โดยใช้เมทิลแอลกอฮอล์ ความบริสุทธิ์ 99% ในปริมาณ 30% ของวัตถุดิบเพื่อใช้ในกระบวนการ transesterification ใช้ sodium hydroxide ปริมาณ 0.27% และใช้ patash alum 0.0025% และใช้น้ำ 2.4 เท่าสำหรับการล้าง ในกระบวนการผลิตไบโอดีเซล จาก stearin oil 1000 ลิตร ต้องการพลังงานความร้อน 382 MJ ต้องการ

ไฟฟ้า 0.0912 kWh สำหรับปั๊ม เครื่อง centrifuge vacuum และเครื่องอัดอากาศ และใช้แรงงานช่างเทคนิค 4 คน-วัน ในการเดินเครื่อง

ในขั้นตอนการกลั่นน้ำมันต้องการแป้งฟอกขาว 2% กรดซิตริก 0.01% และกรดฟอสฟอริก 85% ต่อมวลของน้ำมันปาล์มดิบ และต้องการแรงงานในการผลิต 0.38 คน-วัน และพลังงานความร้อน 9.4 MJ สำหรับวัตถุดิบน้ำมันปาล์มดิบ 1000 ลิตร

การกำหนดปัจจัยการผลิตลงตามภาคการผลิตเป็นขั้นตอนที่สำคัญมากในการประเมินพลังงานแฝงด้วยวิธีการปัจจัยการผลิตและผลผลิต หากกำหนดผิดจะทำให้ผลผลิตพลาดได้โดยขนาดของความผิดพลาดจะขึ้นอยู่กับความสำคัญของเส้นทางกระบวนการนั้น ๆ ที่มีต่อผล LCA [10] การกำหนดปัจจัยการผลิตลงตามภาคการผลิตสำหรับกรณีศึกษาไบโอดีเซล แสดงในตารางที่ 3 โดยปริมาณในตารางเป็นปัจจัยการผลิตที่ต้องการสำหรับการผลิตไบโอดีเซล 1000 ลิตร

ตารางที่ 4.3 การกำหนดปัจจัยการผลิตลงตามภาคการผลิตสำหรับระบบพลังงาน

หน่วยผลิต	inputs	ความต้องการต่อ 1000L ภาคเศรษฐกิจที่เกี่ยวข้อง			
biodiesel plant	Palm stearin oil	1,033	kg	047	Coconut and Palm Oil
	Methyl Alcohol 99%	341	L	084	Basic Industrial Chemicals
	Sodium hydroxide flake	3.07	kg	084	Basic Industrial Chemicals
	Potash alum	0.0284	kg	084	Basic Industrial Chemicals
	Man Power	0.4545	manday	301	Wages and Salaries
	water	2,727	L	137	Water Supply System
	electricity	10.330	kWh	135	Electricity
	process heat	433.76	MJ		
refinery plant	CPO	2,987	kg	047	Coconut and Palm Oil
	bleach	59.74	kg	084	Basic Industrial Chemicals
	citric acid	0.299	kg	084	Basic Industrial Chemicals
	phosphoric	2,539	kg	084	Basic Industrial Chemicals
	Man Power	1.136	manday	301	Wages and Salaries
	Process heat		MJ		
Palm oil extraction	Palm Bunch	8,708	kg	011	Oil Palm
	Man Power	1.136	manday	301	Wages and Salaries
Palm plantation	electricity	7	kWh	135	Electricity
	fertilizer	327	kg	085	Fertilizer and Pesticides
	water	6,530	L	137	Water Supply System
	Man Power	82.95	manday	301	Water Supply System

บทที่ 5

ผลการวิจัย

5.1 ดัชนีพลังงานและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝง (Embodied Energy and GHG Emissions Intensities Data)

รายละเอียดของฐานข้อมูลดัชนีพลังงานและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝง (Embodied Energy and GHG Emissions Intensities Data) ที่เป็นโครงสร้างพลังงานจากปี 2551 แสดงในตารางที่ 5.1 ซึ่งผลจากการจัดทำฐานข้อมูลนี้ นอกจากจะสามารถนำไปใช้ในการทำ FENCH analysis ในการเปรียบเทียบเทคโนโลยีการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพในการวิจัยเรื่องนี้แล้ว ยังสามารถนำฐานข้อมูลนี้ไปใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (LCA) ชนิดอื่น ๆ ในประเทศไทยเพื่อเพิ่มขอบเขตในการประเมิน LCA ได้อีกด้วย

โดยรายละเอียดที่ปรากฏประกอบไปด้วยพลังงานทางตรงในแต่ละภาคการผลิตรวม 180 ราย ในส่วนของพลังงานทั้งหมดคือพลังงานฟอสซิลและพลังงานทดแทน และในส่วนของพลังงานฟอสซิลอย่างเดียว ในหน่วยตันน้ำมันดิบเทียบเท่าต่อผลิตภัณฑ์มูลค่าหนึ่งล้านบาท **EI** หมายถึงปริมาณพลังงานฟอสซิลรวมทั้งหมดตลอดห่วงโซ่การใช้พลังงานถึงลำดับอนันต์ ในหน่วยตันน้ำมันดิบเทียบเท่าต่อผลิตภัณฑ์มูลค่าหนึ่งล้านบาท direct CO₂ หมายถึงปริมาณการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทางตรงในภาคการผลิตนั้น ๆ ในหน่วยตันต่อผลิตภัณฑ์มูลค่าหนึ่งล้านบาท CO₂ หมายถึงปริมาณการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์รวมทั้งหมดตลอดห่วงโซ่การใช้พลังงานถึงลำดับอนันต์ ในหน่วยตันต่อผลิตภัณฑ์มูลค่าหนึ่งล้านบาท

Direct CH₄ หมายถึงปริมาณการปลดปล่อยแก๊สมีเทนทางตรงในภาคการผลิตนั้น ๆ ในหน่วยตันต่อผลิตภัณฑ์มูลค่าหนึ่งล้านบาท CH₄ หมายถึงปริมาณการปลดปล่อยแก๊สมีเทนรวมทั้งหมดตลอดห่วงโซ่การใช้พลังงานถึงลำดับอนันต์ ในหน่วยตันต่อผลิตภัณฑ์มูลค่าหนึ่งล้านบาท

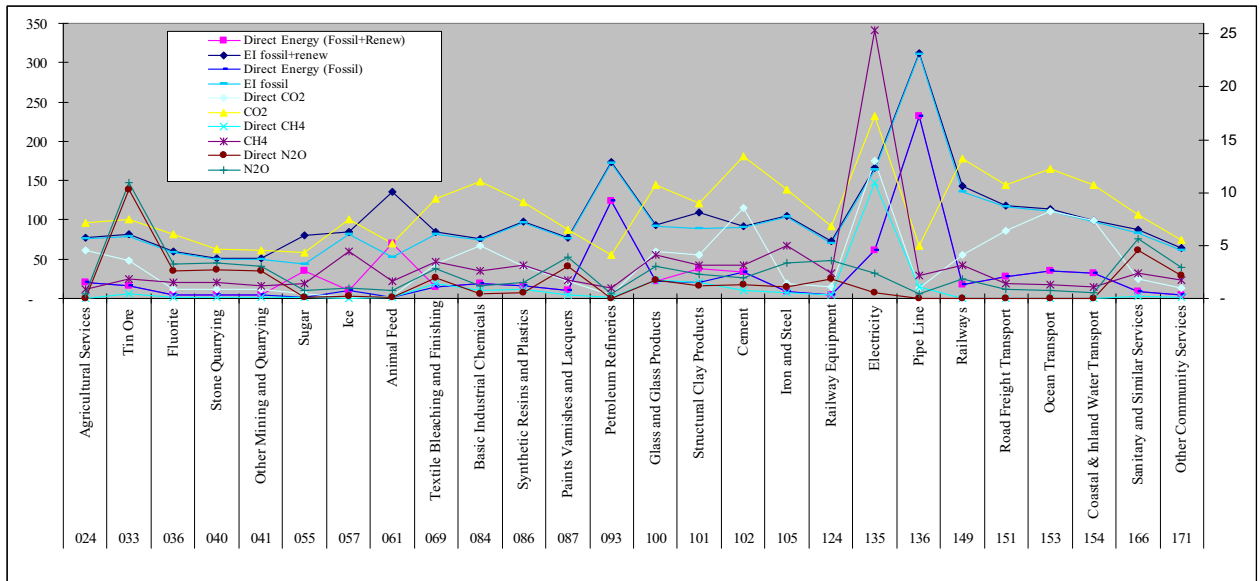
Direct N₂O หมายถึงปริมาณการปลดปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์ทางตรงในภาคการผลิตนั้น ๆ ในหน่วยตันต่อผลิตภัณฑ์มูลค่าหนึ่งล้านบาท N₂O หมายถึงปริมาณการปลดปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์รวมทั้งหมดตลอดห่วงโซ่การใช้พลังงานถึงลำดับอนันต์ ในหน่วยตันต่อผลิตภัณฑ์มูลค่าหนึ่งล้านบาทยังระบุผลของการปรับปรุงโครงสร้างพลังงานในภาคการผลิตไฟฟ้าที่ปรับปรุงจากปี I-O คือ ปี 2000 เป็นเปอร์เซ็นต์ด้วย

ดัชนีพลังงานและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝง (Embodied Energy and GHG Emissions Intensities Data) ของผลิตภัณฑ์บางชนิดได้ถูกคัดเลือกมาแสดงในภาพที่ 5.1 เพื่อแสดงให้เห็นการเปรียบเทียบ ซึ่งจะเห็นว่าผลิตภัณฑ์จากการขนส่งทางท่อแก๊ส (pipeline :sector 136) จะมีค่าดัชนีพลังงานแฝงสูงที่สุดในประเทศทั้งในส่วน of พลังงานทางตรงและพลังงานรวมตลอดห่วงโซ่พลังงาน

ในด้านดัชนีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกนั้น ผลิตภัณฑ์จากภาคการผลิตไฟฟ้าจะมีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์สูงที่สุดทั้งทางตรงและทั้งการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก

จากตลอดทั้งห่วงโซ่พลังงาน นอกจากนี้ยังเป็นผู้ปลดปล่อยแก๊สมีเทนรวมสูงที่สุดด้วย ภาคการผลิตที่ปลดปล่อยแก๊สไนตรัสออกไซด์สูงที่สุดทั้งทางตรงและตลอดทั้งห่วงโซ่พลังงานคือแร่ดิบ

ผลจากการปรับปรุงโครงสร้างพลังงานในภาคการผลิตไฟฟ้าในการวิเคราะห์ปัจจัยการผลิตและผลผลิต พบว่าส่งผลให้มีการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากทั้งห่วงโซ่พลังงานของผลิตภัณฑ์ในประเทศได้ตั้งแต่ 6-36% ดัชนีการใช้พลังงานสามารถปรับปรุงได้ดีขึ้นในช่วง 0.8-20% ดัชนีการปลดปล่อยแก๊สมีเทนและไนตรัสออกไซด์ลดลงในช่วง 13-31 % และ 0.3-24% ตามลำดับ



ภาพที่ 5.1 Embodied energy and GHG emissions intensities from selected commodities.

5.2 ผลจากการศึกษาการใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์

ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝงในเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ เอทานอล และ MTBE แสดงในภาพที่ 5.2 และ 5.3 โดยผลจากการประเมินแบบ IOA ซึ่งเป็นผลจากการผลิตแอลกอฮอล์ตามเทคโนโลยีเดิมที่เคยมีในปี I-O นั้นพบว่าในเอทานอลมีพลังงานแฝงอยู่ทั้งสิ้น 263 ตันเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อหนึ่งล้านลิตร ส่วนผลการประเมินแบบ PCA-IOA พบว่าในเอทานอลแบบไร้น้ำเพื่อใช้เป็นส่วนผสมในเชื้อเพลิงมีพลังงานแฝงอยู่ทั้งสิ้น 397 ตันเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อหนึ่งล้านลิตร ทั้งนี้ในส่วนของปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกทั้งสามชนิดก็ให้ผลในทำนองเดียวกัน

ในภาพที่ 5.4 แสดงให้เห็นว่าปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในเอทานอลและ MTBE ซึ่งเป็นสารเพิ่มออกซิเจนแก้น้ำมันจะมีการปลดปล่อยสูงกว่าเนื่อน้ำมันแก๊สโซฮอลล์ โดยในเนื่อน้ำมันแก๊สโซฮอลล์มีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก 569 ตันคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหนึ่งล้านลิตรหรือเท่ากับ 569 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหนึ่งลิตร ปริมาณแก๊สเรือนกระจกแฝงของเอทานอลที่ผลิตจากภาคการผลิตตามปกติซึ่งผลิตเพื่อการบริโภคมีค่า 580 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหนึ่งลิตรซึ่งต่ำกว่าตัวเลขจากการประเมินด้วยวิธี PCA-IOA ในการประเมินแบบ IOA ถือ

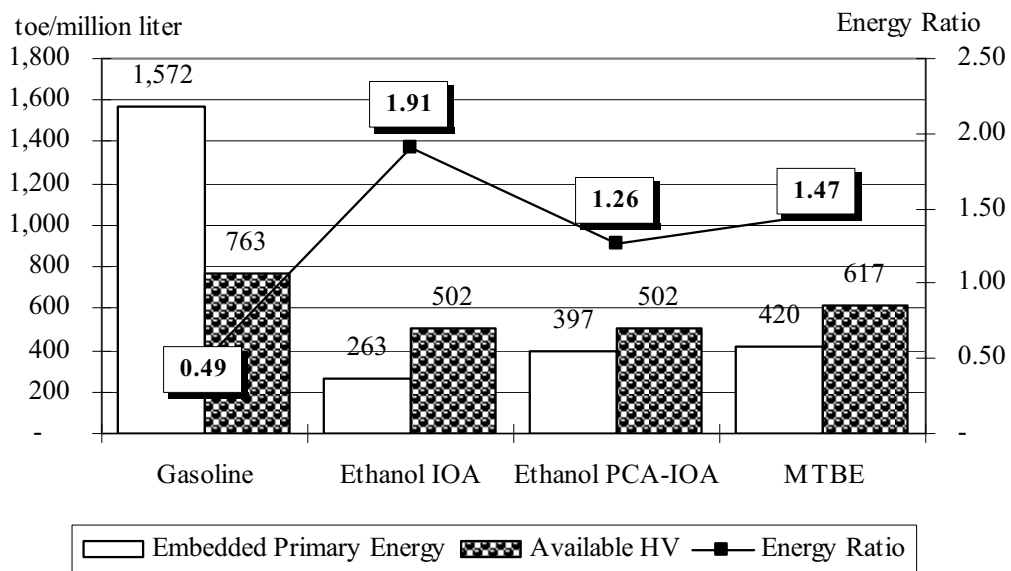
ว่า MTBE เป็นผลิตภัณฑ์จากกระบวนการผลิตปิโตรเลียมซึ่งมีค่าปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝงเท่ากับ 861 กรัมคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่าต่อหนึ่งลิตร

เมื่อเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนการเปลี่ยนรูปพลังงานของเชื้อเพลิงฟอสซิลมีค่าต่ำกว่า 1 เสมอ เนื่องจากไม่ใช้พลังงานทดแทน จากภาพที่ 5.5 จะพบว่าเอทานอลที่ผลิตจากภาคการผลิตพืชซึ่งประเมินได้จากวิธี IOA และเอทานอลที่ผลิตเพื่อเป็นพลังงานซึ่งประเมินจากวิธี PCA-IOA ต่างก็มีค่าการทดแทนพลังงานได้ดีกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิล ปริมาณพลังงานแฝงและการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝงในปัจจุบันนำเข้าอื่น ๆ แสดงในภาพที่ และ

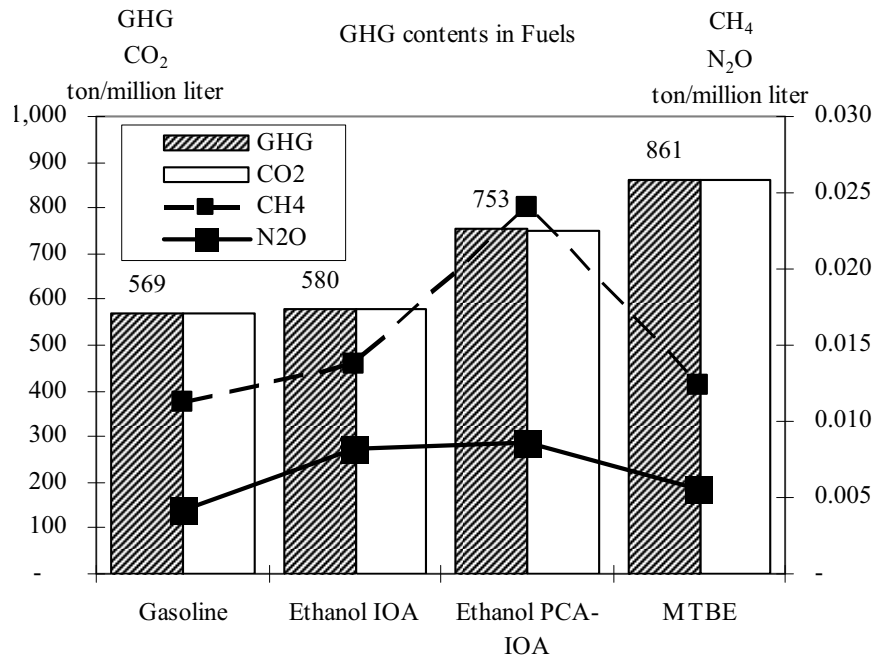
ผลจากการเปรียบเทียบปริมาณพลังงานและการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากตลอดทั้งห่วงโซ่พลังงานจากการขับเคลื่อนที่เปลี่ยนมาใช้เชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์ แสดงในภาพที่ แม้ว่าพลังงานแฝงและการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในส่วนผสมของเชื้อเพลิงแก๊สโซฮอลล์จะต่ำกว่าเชื้อเพลิงแก๊สโซลีนในมุมมองของปริมาณน้ำมันที่เท่ากัน แต่หากพิจารณาผลของการขับเคลื่อนที่ต้องได้ผลของระยะทางในการขับเคลื่อนที่เท่าเดิมแก่ผู้บริโภค พบว่าพลังงานรวมตลอดทั้งห่วงโซ่พลังงานของการเติม E10 จะสูงกว่าก่อนเปลี่ยนเชื้อเพลิงประมาณ 4.5% ในขณะที่กรณีเติม E20 จะสูงกว่าก่อนเปลี่ยนเชื้อเพลิงเพียง 0.36%

ค่าการทดแทนได้ของพลังงานจากการใช้ E10 ต่ำกว่าก่อนเปลี่ยนเชื้อเพลิง แต่สำหรับกรณีที่เติม E20 จะมีค่าการทดแทนได้สูงกว่าก่อนเปลี่ยนเชื้อเพลิง

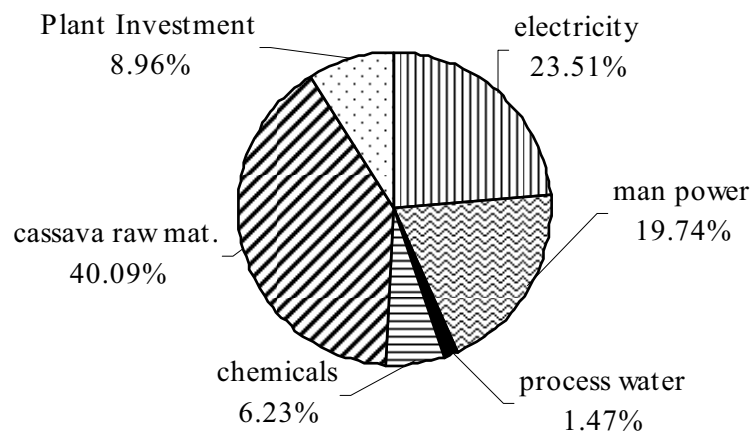
ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากตลอดทั้งห่วงโซ่พลังงานแสดงในภาพที่ 5.7 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนเชื้อเพลิงมาเป็น E10 และ E20 ต่างก็ส่งผลดีต่อปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกที่ลดลงทั้งสองกรณี



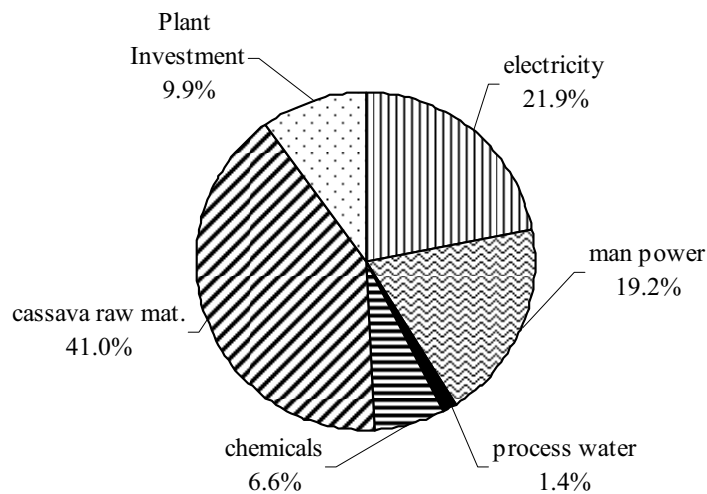
ภาพที่ 5.2 Primary Fossil Energy Contents in Fuel Components by Volume



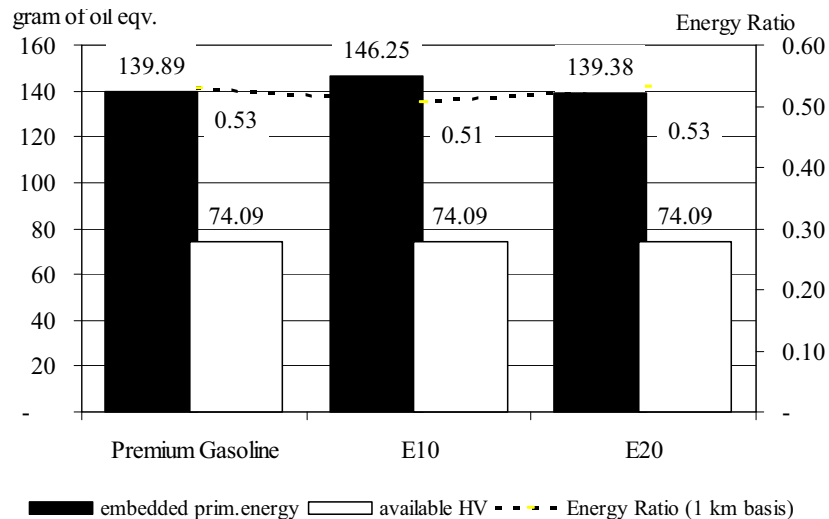
ภาพที่ 5.3 GHG's Contents in Fuel Components by Volume



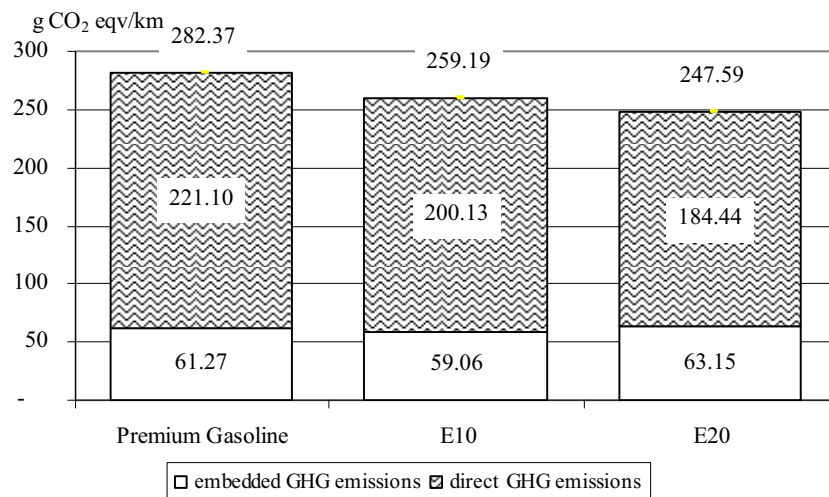
ภาพที่ 5.4 Embedded Primary Fossil Energy in Dehydrated Cassava Ethanol



ภาพที่ 5.5 Embedded GHG Emissions in Dehydrated Cassava Ethanol



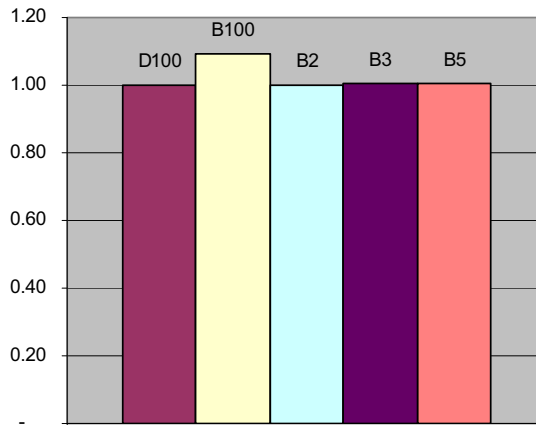
ภาพที่ 5.6 Primary Fossil Energy Contents of a Passenger Car Consuming Different Fuels Traveling on equal Distance



ภาพที่ 5.7 Total GHG Emissions of a Passenger Car Consuming Different Fuels Traveling on equal Distance

4.3 ผลจากการศึกษาการใช้เชื้อเพลิงไบโอดีเซล

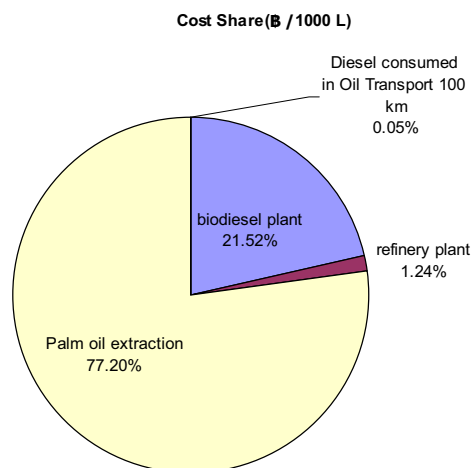
จากสมมติฐานอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของน้ำมันไบโอดีเซลผสมจะสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าเชื้อเพลิงปิโตรเลียมดีเซลเนื่องจากมีค่าความร้อนต่ำกว่า ดังนั้นการขับขีรถยนต์ที่เติมไบโอดีเซลจึงต้องการปริมาตรของน้ำมันที่มากกว่าเพื่อให้ได้ผลของระยะทางในการขับขีที่เท่าเดิมแก่ผู้บริโภครโดย B100 ต้องการปริมาตรน้ำมันเพิ่มขึ้น 9.37 % ในการทดแทนน้ำมันปิโตรเลียมดีเซลด้วยไบโอดีเซล 2% 3% และ 5% สำหรับเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง B2 B3 และ B5 ปริมาตรน้ำมันที่ต้องการเพิ่มขึ้นคือ 0.17% 0.26% และ 0.43% ตามลำดับ ภาพที่ 5.8



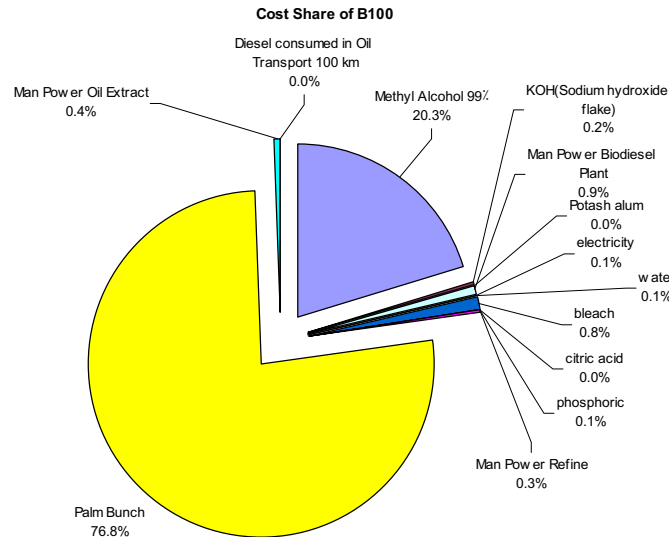
ภาพที่ 5.8 Comparison of volume required on D100 volume equivalent

ภาพที่ 5.9 แสดงอัตราส่วนต้นทุนนำเข้าในเนื้อน้ำมันไบโอดีเซล (B100) ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่อยู่ที่กระบวนการหีบเพื่อสกัดน้ำมันปาล์ม เมื่อพิจารณาไปในกระบวนการหีบน้ำมันตามที่แสดงในภาพที่ 5.10 ก็พบว่าแท้จริงแล้วต้นทุนส่วนใหญ่มาจากผลปาล์มนั่นเอง

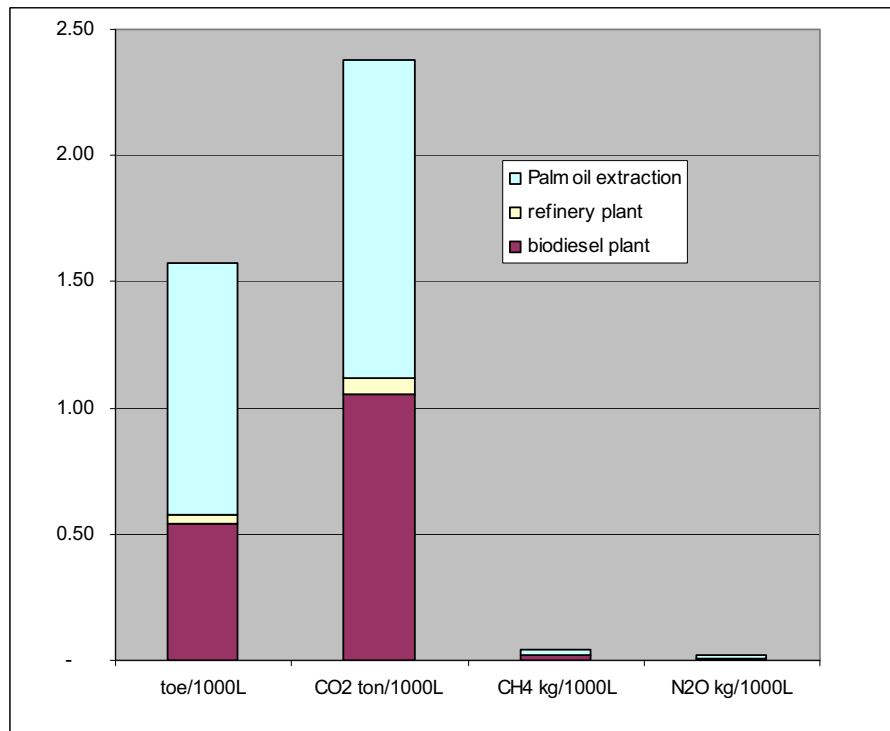
ในภาพที่ 5.9 ยังเป็นที่สังเกตว่า 20.28% ของต้นทุนในการผลิต B100 อยู่ที่เมทิลแอกอฮอล์ที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการ transesterification



ภาพที่ 5.9 อัตราส่วนต้นทุนนำเข้าในเนื้อน้ำมันไบโอดีเซล (B100)

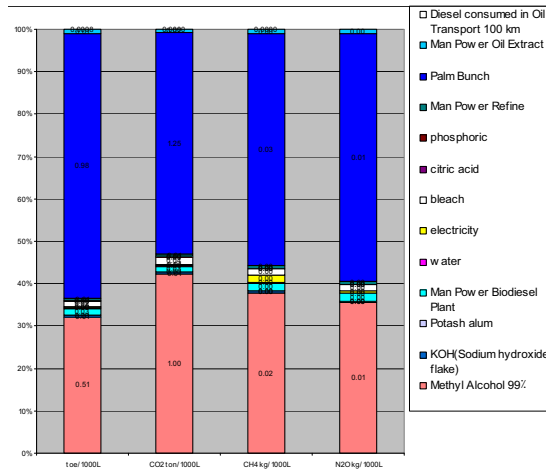


ภาพที่ 5.9 แสดงอัตราส่วนต้นทุนนำเข้าในกระบวนการหีบปาล์ม

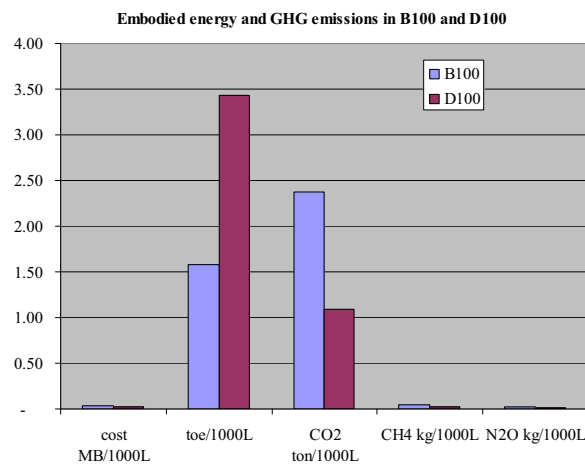


ภาพที่ 5.10 อัตราส่วนของพลังงานและแก๊สเรือนกระจกที่แฝงอยู่ในกระบวนการต้นน้ำในการผลิต B100

ภาพที่ 5.10 แสดงอัตราส่วนของพลังงานและแก๊สเรือนกระจกทั้งสามชนิดที่แฝงอยู่ในกระบวนการต้นน้ำในการผลิต B100 ส่วนภาพที่ 5.11 ชี้ให้เห็นสัดส่วนของพลังงานและแก๊สเรือนกระจกแฝงในเนื้อน้ำมัน B100 โดยปริมาณพลังงานฟอสซิลที่แฝงอยู่ในกระบวนการต้นน้ำของเนื้อน้ำมันไบโอดีเซลนั้นอยู่ในผลปาล์มถึง 60% อยู่ในเมธิลแอลกอฮอล์ 32% ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกแฝงอยู่ใน ผลปาล์มถึง 53% อยู่ในเมธิลแอลกอฮอล์ 43%

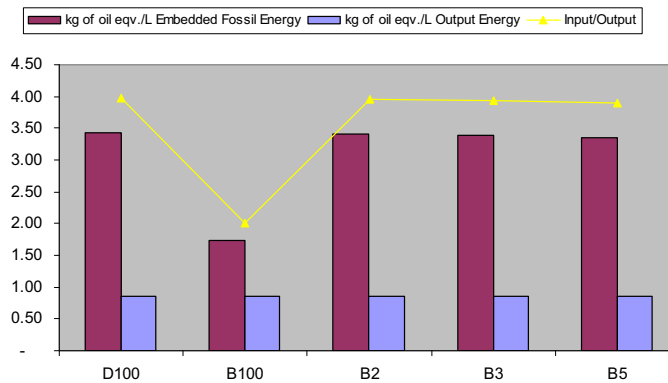


ภาพที่ 5.11 สัดส่วนของพลังงานและแก๊สเรือนกระจกแฝงในเนื้อน้ำมัน B100



ภาพที่ 5.12 เปรียบเทียบต้นทุน พลังงานแฝงและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจก B100 กับ D100

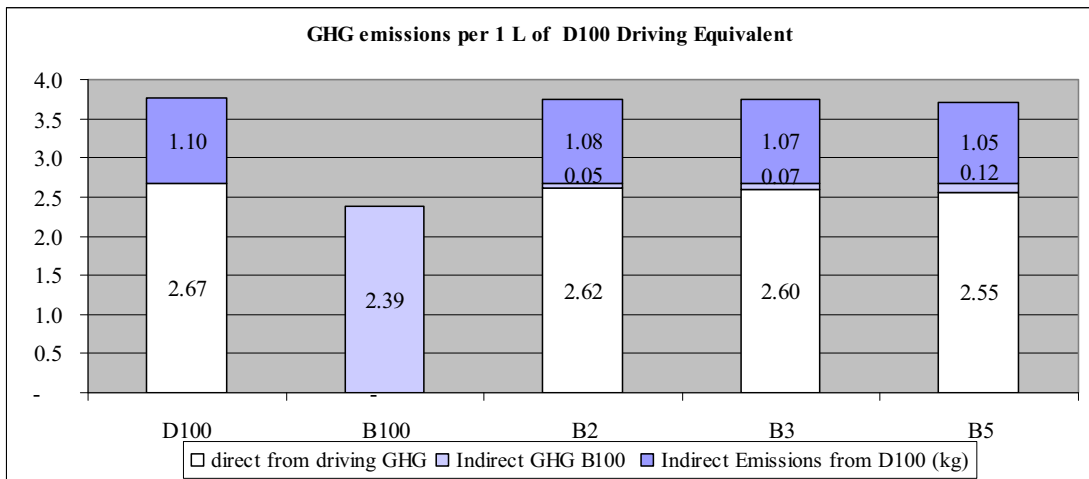
การเปรียบเทียบต้นทุน พลังงานแฝงและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกตามภาพที่ 5.12 แสดงให้เห็นว่าพลังงานแฝงในเนื้อน้ำมันปิโตรเลียมดีเซล (D100) มีมากกว่าเนื้อน้ำมันไบโอดีเซลถึงสองเท่า แต่ปริมาณแก๊สเรือนกระจกมีน้อยกว่าประมาณครึ่งหนึ่ง



ภาพที่ 5.13 การเปรียบเทียบพลังงานแฝงและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการใช้น้ำมัน D100 B100 B2 B3 และ B5 เทียบเท่าผลของระยะทางที่ได้จากการเติม D100

การเปรียบเทียบพลังงานแฝงและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการใช้น้ำมัน D100 B100 B2 B3 และ B5 ตามลำดับโดยเทียบเท่าผลของระยะทางที่ขับขึ้นได้จากการขับขึ้นรถยนต์ที่เต็ม D100 ซึ่งคิดรวมผลของค่าความร้อนที่ลดน้อยลงด้วย ตามที่แสดงในภาพที่ 5.13 ซึ่งพบว่า อัตราส่วนความต้องการพลังงานน้ำมันเชื้อเพลิง (Input Energy/Output Energy) ในส่วนของ D100 มีถึง 4 เท่าของพลังงานที่ให้ออกมา B100 มี 2 เท่า แสดงว่าน้ำมัน B100 สามารถทดแทนได้มากกว่า D100 แต่อย่างไรก็ตามแม้จะมีส่วนผสมของ B100 ใน B2 B3 B5 แต่เนื่องจากมีส่วนผสมเพียงเล็กน้อย จึงมีผลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกของ B2 B3 B5 น้อยกว่าก่อน เปลี่ยนการใช้เชื้อเพลิงเพียงเล็กน้อย พลังงานแฝงแทบไม่มีเปลี่ยนแปลง

ภาพที่ 5.14 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกเทียบเท่าผลของระยะทางที่ขับขึ้นได้จากการขับขึ้นรถยนต์ที่เต็ม D100 จากการเปลี่ยนไปเติมน้ำมัน B2 B3 B5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงนี้มีผลต่อการลดการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกน้อยมาก เนื่องจากปริมาณเนื้อน้ำมัน D100 ยังมีอัตราส่วนผสมสูงมากอยู่และเป็นผลให้ปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากส่วนที่เป็นเนื้อน้ำมัน D100 ทั้งทางตรงและทางอ้อมยังสูงอยู่มาก



ภาพที่ 5.14 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกเทียบเท่าผลของระยะทางที่ขับขึ้นได้จากการขับขึ้นรถยนต์ที่เต็ม D100 จากการเปลี่ยนไปเติมน้ำมัน B2 B3 B5

ผลการประเมินบัญชีพลังงานจากวัฏจักรตามที่แสดงในตารางที่ พบว่า B100 สามารถลดคาร์บอนไดออกไซด์ได้ 37% แต่ปริมาณการปลดปล่อยมีเทนและไนตรัสออกไซด์สูงกว่าถึง 134% และ 172% ตามลำดับ แต่การขับขึ้นรถยนต์ที่เต็ม B2 สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้สุทธิ 0.6% การขับขึ้นรถยนต์ที่เต็ม B3 สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้ 0.9% การขับขึ้นรถยนต์ที่เต็ม B5 สามารถลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้ 1.4%

การขับขึ้นรถยนต์ที่เต็ม B2 สามารถลดปริมาณพลังงานฟอสซิลได้ 0.91% การขับขึ้นรถยนต์ที่เต็ม B3 สามารถลดได้ 1.37% การขับขึ้นรถยนต์ที่เต็ม B5 สามารถลดได้ 2.284%

ปริมาณพลังงานฟอสซิลแฝงใน B2 B3 และ B5 เท่ากับ 99.07% 98.60% และ 97.64%. (ภาพที่ 5.15) โดยส่งผลให้มีส่วนของการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการสันดาปในเครื่องยนต์เท่ากับ 69.96%, 69.50% และ 68.58% ตามลำดับ D100 จะปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากทางตรง 70.86%.

เนื่องจากมีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในเส้นทางต้นน้ำในื่อน้ำมันส่วนที่เป็นไบโอดีเซลอยู่เท่ากับ 1.28% 1.92% และ 3.22%, ตามลำดับ และมีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกในเส้นทางต้นน้ำในื่อน้ำมันส่วนที่เป็นดีเซลอยู่เท่ากับ. 28.77% 28.58% และ 28.20%

ตารางที่ 5.1 Differential embodied energy and GHG emissions from driving of a liter of D100 driving equivalent

	CO ₂ (kg)	CH ₄ (kg)	N ₂ O (kg)	GHG (kg)	Embedded Fossil Energy (kg of oil eqv)
B100	(1.39)	0.0000263	0.0000148	(1.38)	(1.70845)
B2	(0.02)	0.0000006	0.0000003	(0.02)	(0.03130)
B3	(0.03)	0.0000008	0.0000005	(0.03)	(0.04698)
B5	(0.05)	0.0000014	0.0000008	(0.05)	(0.07844)

ตารางที่ 5.1 Embodied Energy and Emission Intensities Data for 180 Thai Commodities in 2008 and Influences of Changes in 2000, 2005, and 2008 Power Sector Fuel Mixes

Sector	001	002	003	004	005	006	007	008	009	010	011	012	013	014	015	016	017	018	019	020	021	022	023	024	025	026	027	028	029	030	
	Paddy	Maize	Other Cereals	Cassava	Other Root Crops	Beans and Nuts	Vegetable	Fruits	Sugarcane	Coconut	Oil Palm	Kenaf and Jute	Crops for Textile and Matting	Tobacco	Coffee and Tea	Rubber	Other agricultural Products	Cattle & Buffalo	Swine	Other Livestock	Poultry	Poultry Products	Silk Worm	Agricultural Services	Logging	Charcoal & Firewood	Other Forestry Products	Ocean Fishing	Inland Fishing	Coal	
Direct Energy (Fossil+Renew) toe/million Baht	4.56	0.46	0.09	0.27	0.26	1.96	1.37	0.88	0.85	0.01	1.88	1.18	0.24	1.87	0.88	0.01	0.59	1.05	1.15	0.04	0.43	1.73	0.11	19.72	0.25	0.41	1.35	16.00	2.03	7.87	
El fossil+renew toe/million Baht	46.65	61.87	42.13	48.69	30.30	44.25	33.83	31.69	54.90	19.36	40.27	27.41	37.64	35.66	38.55	25.51	32.03	34.93	71.17	34.28	68.45	75.99	20.92	77.08	64.75	21.32	24.46	77.43	52.52	57.39	
Direct Energy (Fossil) toe/million Baht	4.56	0.46	0.09	0.27	0.26	1.96	1.37	0.88	0.85	0.01	1.88	1.18	0.24	1.87	0.81	0.01	0.59	1.05	1.14	0.04	0.42	1.70	0.02	19.72	0.25	0.10	1.35	16.00	2.03	7.87	
El fossil toe/million Baht	44.36	58.38	39.87	46.05	28.68	42.45	32.25	30.37	51.79	18.18	38.33	26.32	35.89	34.02	33.54	23.96	30.45	27.69	44.03	22.59	35.34	45.44	19.80	75.49	60.43	19.56	23.25	68.51	38.11	55.69	
Direct CO2 ton/million Baht	1.18	1.39	0.26	0.85	0.80	6.00	4.14	2.73	2.64	0.03	5.83	3.67	0.73	5.64	2.39	0.02	1.62	3.09	2.19	0.09	0.72	4.48	0.07	60.68	0.69	0.30	4.18	49.47	5.70	24.10	
CO2 ton/million Baht	52.84	75.49	50.48	58.91	37.44	53.93	41.48	39.98	66.11	23.16	48.50	34.21	48.77	43.74	44.38	32.19	38.34	35.11	56.93	29.03	46.41	58.96	25.33	96.96	76.02	24.72	29.69	93.97	48.02	72.41	
Direct CH4 kg/million Baht	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	0.00	-	-	0.00	-	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	
CH4 kg/million Baht	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Direct N2O kg/million Baht	-	-	-	-	-	-	0.00	-	-	-	-	-	0.12	-	-	0.00	-	0.03	0.01	-	0.01	0.00	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	
N2O kg/million Baht	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Data 2008 vs.Data 2000																															
El fossil+renew	-6%	-6%	-6%	-6%	-7%	-5%	-6%	-6%	-6%	-7%	-6%	-5%	-6%	-6%	-7%	-7%	-7%	-6%	-5%	-5%	-4%	-4%	-6%	-3%	-7%	-7%	-6%	-4%	-4%	-4%	
El fossil	-6%	-7%	-6%	-6%	-7%	-5%	-6%	-6%	-7%	-7%	-6%	-5%	-6%	-6%	-8%	-7%	-7%	-7%	-8%	-7%	-7%	-7%	-6%	-3%	-8%	-8%	-6%	-4%	-4%	-4%	
CO2	-14%	-15%	-14%	-14%	-16%	-12%	-14%	-13%	-15%	-16%	-14%	-11%	-13%	-13%	-18%	-16%	-16%	-16%	-17%	-16%	-15%	-15%	-14%	-7%	-17%	-17%	-14%	-9%	-13%	-9%	
CH4	-26%	-26%	-26%	-26%	-26%	-26%	-26%	-25%	-26%	-26%	-26%	-26%	-25%	-26%	-26%	-26%	-26%	-26%	-26%	-26%	-25%	-26%	-26%	-26%	-27%	-26%	-26%	-26%	-26%	-26%	
N2O	-4%	-4%	-4%	-4%	-4%	-4%	-4%	-4%	-4%	-4%	-4%	-4%	-3%	-4%	-4%	-4%	-4%	-4%	-5%	-4%	-4%	-5%	-4%	-5%	-4%	-4%	-4%	-5%	-5%	-4%	

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) Embodied Energy and Emission Intensities Data for 180 Thai Commodities in 2008 and Influences of Changes in 2000, 2005, and 2008 Power Sector Fuel Mixes

Sector	031	032	033	034	035	036	037	038	039	040	041	042	043	044	045	046	047	048	049	050	051	052	053	054	055	056	057	058	059	060
Petroleum and Natural Gas	19.31	1.09	16.38	2.54	1.16	4.94	0.81	0.89	0.16	5.08	4.25	0.56	2.29	1.98	2.71	0.83	1.71	5.86	15.45	2.22	1.62	1.00	2.45	2.16	35.63	1.71	10.80	3.56	3.78	2.00
Direct Energy (Fossil+Renew) toe/million Baht	60.49	44.32	81.37	56.45	40.32	60.46	37.14	24.59	33.25	51.45	51.71	54.08	52.92	53.91	41.30	59.24	41.07	53.68	62.42	55.52	53.28	50.12	51.04	46.07	80.91	58.05	84.16	56.88	48.16	43.93
El fossil+renew toe/million Baht	19.31	1.09	16.38	2.54	1.16	4.94	0.81	0.89	0.16	5.08	4.25	0.56	2.25	1.98	2.67	0.82	1.66	4.99	0.39	2.09	1.62	0.87	2.45	1.98	1.71	1.56	10.80	3.56	3.13	1.68
Direct Energy (Fossil) toe/million Baht	58.73	42.08	79.39	54.11	38.44	58.48	35.14	23.17	31.30	49.33	50.10	36.33	42.79	47.61	38.75	53.63	39.35	50.55	44.94	52.73	50.47	43.53	44.43	41.34	44.00	47.63	82.19	52.39	43.32	40.06
Direct CO2 ton/million Baht	26.08	2.54	48.05	4.88	3.25	12.38	2.37	1.05	0.47	12.32	11.80	1.21	4.99	4.38	7.22	2.24	4.18	14.54	0.52	4.09	4.71	1.65	6.07	4.85	5.24	2.78	1.27	9.11	9.81	4.30
CO2 ton/million Baht	62.55	58.74	100.68	72.45	49.75	81.16	44.53	28.97	41.45	62.61	60.86	46.72	54.05	63.22	52.78	72.83	51.86	70.18	54.28	67.91	65.92	54.48	58.13	53.50	58.70	62.24	100.31	70.30	63.41	52.39
Direct CH4 kg/million Baht	0.07	0.02	0.39	0.04	0.03	0.10	0.02	0.01	0.00	0.10	0.10	0.01	0.05	0.15	0.25	0.08	0.16	0.54	0.01	0.09	0.18	0.05	0.06	0.06	0.13	0.04	0.02	0.52	0.28	0.14
CH4 kg/million Baht	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Direct N2O kg/million Baht	-	0.54	10.29	1.04	0.70	2.65	0.46	0.22	0.10	2.72	2.56	0.26	0.94	0.11	0.17	0.07	0.02	0.11	0.04	0.47	0.00	0.09	1.03	0.87	0.08	0.46	0.24	0.17	0.67	0.16
N2O kg/million Baht	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Data 2008 vs.Data 2000																														
El fossil+renew	-4%	-8%	-5%	-8%	-6%	-6%	-6%	-9%	-7%	-7%	-5%	-5%	-6%	-7%	-7%	-5%	-7%	-6%	-5%	-7%	-7%	-6%	-6%	-6%	-4%	-7%	-14%	-7%	-6%	-7%
El fossil	-4%	-8%	-5%	-9%	-7%	-6%	-7%	-10%	-8%	-7%	-5%	-8%	-8%	-8%	-7%	-6%	-7%	-6%	-7%	-7%	-7%	-7%	-7%	-7%	-7%	-8%	-14%	-7%	-7%	-7%
CO2	-11%	-16%	-11%	-18%	-14%	-13%	-15%	-21%	-17%	-16%	-13%	-17%	-17%	-17%	-15%	-12%	-15%	-12%	-16%	-16%	-15%	-16%	-16%	-16%	-15%	-17%	-30%	-15%	-13%	-16%
CH4	-25%	-25%	-23%	-26%	-26%	-26%	-26%	-28%	-26%	-26%	-25%	-26%	-26%	-24%	-22%	-25%	-23%	-20%	-26%	-26%	-24%	-26%	-25%	-25%	-25%	-26%	-30%	-22%	-19%	-24%
N2O	-4%	-2%	0%	-2%	-2%	-1%	-2%	-4%	-3%	-1%	-1%	-3%	-2%	-4%	-3%	-4%	-5%	-4%	-4%	-3%	-4%	-4%	-2%	-2%	-4%	-3%	-11%	-3%	-1%	-4%

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) Embodied Energy and Emission Intensities Data for 180 Thai Commodities in 2008 and Influences of Changes in 2000, 2005, and 2008 Power Sector Fuel Mixes

Sector	061	062	063	064	065	066	067	068	069	070	071	072	073	074	075	076	077	078	079	080	081	082	083	084	085	086	087	088	089	090	
	Animal Feed	Distilling	Breweries	Soft Drinks	Tobacco	Tobacco	Spinning	Weaving	Textile	Made-up	Knitting	Wearing	Carpets	Cordage	Tanneries	Leather	Footwear	Saws	Wood	Furniture	Pulp	Paper	Printing	Basic	Fertilize	Synthetic	Paints	Drugs	& Soap	Cosmetic	
	blending				processing	processing	products		Bleaching	Textile	except	apparel	except	Rugs	Twine	Leather	Rubber	Cork	Fixtures	Paperbo	ard	Products	publishin	Chemicals	Pestic	Plastics	Lacquers	and	preparations		
	Spirits								&Finishing	Goods	footware			Products	Finishin			products	Wood				g	des							
Data 2008																															
Direct Energy (Fossil+Renew) toe/million Baht	70.34	1.69	1.35	2.18	15.53	0.13	2.91	4.55	14.95	2.22	1.18	0.69	2.57	1.53	0.64	0.62	0.40	2.63	1.13	0.93	8.98	3.68	0.67	18.97	5.23	15.61	9.74	0.59	2.30	2.46	
El Fossil+renew toe/million Baht	135.53	41.68	27.02	50.45	61.60	17.81	69.23	66.63	84.02	57.76	59.99	56.32	53.15	55.66	52.52	43.92	52.48	55.52	50.81	46.52	37.46	45.66	42.23	76.42	55.42	98.01	77.75	48.60	52.45	54.60	
Direct Energy (Fossil) toe/million Baht	1.06	1.68	1.35	2.18	13.35	0.13	2.91	4.55	14.95	2.22	1.18	0.69	2.57	1.53	0.64	0.62	0.40	1.71	1.13	0.93	8.95	3.68	0.67	18.97	5.22	15.61	9.74	0.58	2.30	2.46	
El fossil toe/million Baht	51.80	38.15	25.44	44.37	56.93	16.66	67.15	64.44	82.00	55.68	57.49	54.09	50.99	53.36	42.69	40.82	49.36	51.64	47.93	43.85	35.93	43.73	40.43	74.63	53.55	96.12	75.89	45.94	50.47	51.37	
Direct CO2 ton/million Baht	2.19	4.65	3.88	6.33	52.85	0.23	3.20	7.87	44.21	6.12	1.96	0.55	6.97	3.36	1.23	1.67	0.56	1.87	1.44	1.06	32.69	12.43	0.97	66.90	17.07	41.01	21.44	0.93	5.89	7.19	
CO2 ton/million Baht	69.49	55.01	36.42	62.12	105.34	26.82	86.81	86.10	126.30	73.12	75.27	71.18	66.90	72.11	61.70	55.98	65.68	65.12	60.77	56.27	75.85	76.91	65.10	148.15	93.69	123.04	88.10	66.97	80.18	76.92	
Direct CH4 kg/million Baht	0.07	0.14	0.11	0.22	0.04	0.01	0.10	0.15	1.38	0.20	0.06	0.00	0.16	0.12	0.04	0.01	0.01	0.02	0.01	0.04	0.16	0.10	0.01	0.73	0.09	0.91	0.32	0.03	0.17	0.23	
CH4 kg/million Baht	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Direct N2O kg/million Baht	0.06	0.25	0.27	0.16	0.95	-	0.15	0.26	1.93	0.21	0.09	0.11	0.73	0.07	0.08	0.36	0.08	0.39	0.31	0.03	0.31	0.25	0.19	0.42	0.00	0.58	2.99	0.05	0.38	0.28	
N2O kg/million Baht	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Data 2008 vs. Data 2000																															
El fossil+renew	-3%	-6%	-7%	-6%	-5%	-7%	-8%	-10%	-6%	-8%	-8%	-10%	-8%	-8%	-8%	-7%	-8%	-8%	-8%	-8%	-6%	-6%	-7%	-5%	-6%	-4%	-4%	-7%	-7%	-7%	
El fossil	-7%	-6%	-7%	-7%	-6%	-7%	-8%	-10%	-6%	-9%	-8%	-10%	-8%	-8%	-7%	-8%	-8%	-9%	-9%	-9%	-6%	-6%	-8%	-5%	-6%	-4%	-4%	-7%	-7%	-7%	
CO2	-15%	-13%	-14%	-14%	-9%	-13%	-18%	-21%	-11%	-18%	-18%	-20%	-17%	-17%	-14%	-15%	-17%	-20%	-19%	-18%	-9%	-11%	-14%	-8%	-11%	-10%	-10%	-14%	-13%	-13%	
CH4	-24%	-23%	-22%	-22%	-26%	-26%	-24%	-26%	-17%	-24%	-24%	-26%	-24%	-24%	-24%	-24%	-25%	-27%	-27%	-26%	-23%	-24%	-25%	-18%	-22%	-20%	-24%	-22%	-21%	-21%	
N2O	-4%	-3%	-2%	-3%	-2%	-3%	-5%	-5%	-2%	-4%	-4%	-5%	-3%	-4%	-3%	-3%	-4%	-4%	-3%	-4%	-3%	-3%	-3%	-3%	-4%	-3%	-1%	-4%	-3%	-3%	

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) Embodied Energy and Emission Intensities Data for 180 Thai Commodities in 2008 and Influences of Changes in 2000, 2005, and 2008 Power Sector Fuel Mixes

Sector	091	092	093	094	095	096	097	098	099	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	
	Matches	Other Chemical Products	Petroleum Refineries	Other Petroleum Products	Rubber and Block Rubber	Tyres and Tubes	Other Rubber Products	Plastic Wares	Ceramic and Earthen Wares	Glass Products	Structure and Clay Products	Cement Products	Concrete Products	Other Non-metallic Products	Iron and Steel Products	Secondary Steel Products	Non-ferrous Metal Products	Hand Tools	Furniture and Metal Fixtures	Structural Metal Products	Other Fabricated Metal Products	Engines and Turbines	Agricultural Machinery	Wood Working Machinery	Special Industrial Machinery	Office and Household Machinery	Electrical and Electronic Machinery	Radio and Television	Household Appliances	Insulated Wire and Cable	
Data 2008																															
Direct Energy (Fossil+Renew) toe/million Baht	1.63	2.11	124.29	1.42	1.55	4.24	1.53	2.65	18.02	22.07	38.13	33.05	1.13	4.70	9.09	3.82	6.61	0.40	0.31	0.58	3.37	4.14	2.04	0.66	2.35	0.43	0.81	0.63	2.10	1.10	
EI fossil+renew toe/million Baht	41.45	55.48	173.10	47.36	35.24	58.00	54.06	78.19	79.98	93.46	109.28	91.69	61.79	68.46	105.17	75.35	58.48	54.01	59.23	49.43	57.49	63.07	58.97	52.10	54.53	40.27	56.63	56.07	57.26	46.41	
Direct Energy (Fossil) toe/million Baht	1.61	2.03	124.29	1.41	1.00	4.24	1.52	2.65	15.43	21.98	20.62	33.05	1.03	4.70	9.09	3.79	6.58	0.26	0.31	0.58	3.37	4.14	2.04	0.66	2.35	0.43	0.81	0.63	2.10	1.10	
EI fossil toe/million Baht	39.66	53.33	171.68	45.16	32.90	56.00	51.61	76.24	75.29	91.36	89.39	89.93	59.57	66.55	103.00	73.09	56.40	51.62	56.89	47.62	55.50	60.95	56.49	49.94	52.44	38.55	54.14	53.93	55.19	44.36	
Direct CO2 ton/million Baht	4.51	4.44	4.88	3.88	2.66	10.20	2.55	3.61	36.97	60.20	55.41	114.94	2.42	10.05	19.46	7.67	18.57	0.30	0.28	1.07	8.61	11.58	4.70	0.98	5.94	0.78	1.52	1.12	3.69	1.35	
CO2 ton/million Baht	57.72	82.81	54.76	62.00	45.53	76.97	69.68	99.40	106.36	143.67	121.43	180.33	95.26	100.16	137.93	97.85	79.19	68.59	75.20	62.93	74.08	81.35	72.97	65.05	68.26	49.69	69.70	70.25	73.17	59.04	
Direct CH4 kg/million Baht	0.04	0.07	0.09	0.03	0.09	0.27	0.07	0.09	0.92	1.70	1.47	0.80	0.07	0.23	0.57	0.21	0.41	0.00	0.00	0.01	0.23	0.24	0.11	0.03	0.11	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05	
CH4 kg/million Baht	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Direct N2O kg/million Baht	1.00	0.68	-	-	0.09	0.86	0.15	0.35	0.48	1.79	1.21	1.26	0.15	0.07	1.04	0.29	0.17	0.04	0.03	0.23	0.40	1.12	0.31	0.02	0.83	0.10	0.13	0.11	0.57	0.01	
N2O kg/million Baht	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Data 2008 vs.Data 2000																															
EI fossil+renew	-6%	-7%	-1%	-7%	-7%	-8%	-8%	-7%	-5%	-6%	-4%	-7%	-7%	-7%	-10%	-10%	-7%	-8%	-9%	-9%	-8%	-7%	-8%	-8%	-8%	-8%	-8%	-8%	-8%	-8%	
EI fossil	-7%	-7%	-1%	-8%	-8%	-8%	-8%	-7%	-6%	-6%	-5%	-7%	-8%	-7%	-10%	-10%	-7%	-8%	-9%	-9%	-8%	-7%	-8%	-8%	-8%	-8%	-8%	-8%	-8%	-8%	
CO2	-13%	-13%	-12%	-15%	-15%	-17%	-16%	-15%	-12%	-11%	-10%	-11%	-14%	-14%	-20%	-21%	-14%	-18%	-19%	-19%	-18%	-15%	-18%	-19%	-17%	-19%	-18%	-17%	-17%	-17%	
CH4	-24%	-23%	-24%	-26%	-24%	-23%	-24%	-22%	-18%	-15%	-15%	-24%	-24%	-23%	-23%	-25%	-22%	-25%	-25%	-25%	-23%	-22%	-25%	-25%	-24%	-26%	-25%	-25%	-24%	-25%	
N2O	-1%	-2%	-5%	-5%	-4%	-3%	-4%	-3%	-3%	-2%	-2%	-3%	-3%	-3%	-3%	-4%	-2%	-3%	-4%	-3%	-3%	-2%	-3%	-4%	-2%	-3%	-3%	-2%	-2%	-4%	

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) Embodied Energy and Emission Intensities Data for 180 Thai Commodities in 2008 and Influences of Changes in 2000, 2005, and 2008 Power Sector Fuel Mixes

Sector	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	
	Electric Accumulator & Battery	Electric Accumulator & Battery	Other Electricals & Apparatus	Ship Building	Railway Equipment	Motor Vehicle	Motor Vehicle	Motor Vehicle	Aircraft	Scientific Equipment	Photographic Equipment	Watches and Clocks	Jewelry & Related Articles	Recreation & Athletic Equipment	Other Manufacturing Goods	Electricity	Pipe Line	Water Supply System	Residential Building Construction	Non-Residential Building Construction	Public Works for Agriculture & Forestry	Non-Public Works for Agriculture & Forestry	Construction of Electric Plant	Construction of Communication Facilities	Other Constructions	Wholesale Trade	Retail Trade	Restaurant and Drinking Place	Hotel Lodging Place	Railways	
Data 2008																															
Direct Energy (Fossil+Renew) toe/million	2.21	2.59	0.70	4.90	0.91	1.21	0.87	1.05	1.16	0.60	1.06	0.24	0.82	2.82	61.19	231.44	3.35	0.24	0.26	1.33	0.01	0.18	1.09	0.15	0.92	0.83	2.07	5.22	18.23	19.04	
EI fossil+renew toe/million	51.29	55.64	53.23	72.42	54.02	57.94	49.98	52.29	58.27	47.81	42.22	45.41	55.55	54.12	165.99	311.68	52.32	61.80	63.03	54.47	60.00	57.25	55.69	45.12	25.02	28.17	44.61	68.90	142.53	91.56	
Data 2008																															
Direct Energy (Fossil) toe/million	2.21	2.59	0.70	4.90	0.91	1.21	0.87	1.05	1.16	0.60	1.06	0.23	0.82	2.82	61.19	231.44	3.35	0.24	0.26	1.33	0.01	0.18	1.09	0.15	0.92	0.83	1.95	5.22	18.23	19.04	
EI fossil toe/million	49.41	53.86	50.77	69.49	52.06	55.77	47.87	49.82	56.24	45.73	40.32	43.13	52.75	51.40	163.64	310.09	50.04	58.92	59.84	52.32	57.85	55.25	53.38	43.04	23.69	26.60	40.12	65.80	135.91	89.46	
Direct CO2 ton/million	4.92	5.92	0.37	14.07	1.24	3.13	1.42	3.13	1.70	1.17	2.57	0.11	1.68	7.83	174.67	12.44	1.24	0.54	0.56	3.77	-	0.50	3.37	0.29	1.99	0.74	3.40	3.62	55.74	55.68	
CO2 ton/million	70.26	76.95	65.40	91.58	68.15	74.70	62.15	63.00	72.86	61.71	54.16	56.89	70.28	69.03	232.45	66.83	63.64	81.62	85.05	76.94	76.76	74.95	73.69	59.79	29.87	33.60	51.34	82.69	178.13	108.98	
Direct CH4 kg/million	0.13	0.19	0.01	0.27	0.01	0.09	0.01	0.00	0.04	0.03	0.09	0.00	0.04	0.18	10.97	1.10	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.02	0.03	0.00	0.04	
CH4 kg/million	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Direct N2O kg/million	0.37	0.17	0.02	1.80	0.17	0.17	0.32	-	0.20	0.09	0.04	0.02	0.06	0.47	0.59	-	0.26	0.12	0.12	0.82	-	0.11	0.72	0.06	0.24	0.09	0.49	0.40	0.00	0.00	
N2O kg/million	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Data 2008 vs Data 2000																															
EI fossil+renew	-7%	-7%	-8%	-6%	-8%	-8%	-8%	-6%	-7%	-7%	-8%	-8%	-8%	-7%	-20%	-1%	-12%	-7%	-6%	-7%	-6%	-7%	-8%	-7%	-8%	-9%	-8%	-12%	-6%	-4%	
EI fossil	-8%	-7%	-8%	-7%	-9%	-8%	-9%	-6%	-7%	-8%	-8%	-8%	-8%	-7%	-20%	-1%	-12%	-7%	-7%	-8%	-6%	-7%	-8%	-7%	-8%	-9%	-8%	-12%	-6%	-4%	
CO2	-15%	-15%	-18%	-14%	-18%	-17%	-18%	-14%	-16%	-16%	-17%	-17%	-17%	-15%	-36%	-10%	-25%	-15%	-14%	-15%	-14%	-16%	-15%	-15%	-19%	-21%	-18%	-26%	-13%	-9%	
CH4	-23%	-20%	-25%	-22%	-25%	-24%	-25%	-26%	-23%	-23%	-24%	-25%	-24%	-22%	-31%	-13%	-29%	-24%	-24%	-25%	-25%	-24%	-24%	-25%	-27%	-28%	-27%	-29%	-26%	-25%	
N2O	-3%	-3%	-3%	-1%	-3%	-3%	-3%	-4%	-3%	-3%	-4%	-3%	-4%	-3%	-24%	-5%	-7%	-3%	-3%	-2%	-3%	-3%	-2%	-3%	-3%	-5%	-3%	-7%	-4%	-4%	

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) Embodied Energy and Emission Intensities Data for 180 Thai Commodities in 2008 and Influences of Changes in 2000, 2005, and 2008 Power Sector Fuel Mixes

Sector	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	180	301	
	Road Freight Transport support services	Land transport	Ocean transport	Coastal & Inland Water Transport	Water Transport Services	Air Transport	Other Transport Services	Silo and Warehouse use	Post and Telecommunication	Banking Services	Life Insurance Service	Other Real-estate Insurance Service	Business Insurance Service	Public Administration	Sanitary and Similar Services	Education	Research	Hospital	Business and Associations	Other Community Services	Picture Production	Motion Picture Theater	Movie Theater & related services	Radio, Television and Museum	Library and Amusement and Recreation	Repair and Maintenance elsewhere	Personal Services	Unclassified	Wages		
Data 2008																															
Direct Energy (Fossil+Renew) toe/million Baht	28.33	0.87	34.76	31.83	2.36	10.36	3.71	4.18	0.94	0.53	0.59	0.70	0.55	1.73	-	8.53	1.20	2.86	1.81	3.32	5.00	2.50	1.83	1.21	0.57	2.17	1.03	2.08	1.25	4.10	
EI fossil+renew toe/million Baht	18.38	26.45	113.17	99.79	43.00	85.15	44.13	52.13	39.14	39.20	33.66	62.17	15.38	43.28	90.94	87.02	83.38	74.20	61.95	63.80	64.62	54.79	52.72	44.91	66.39	35.32	49.27	66.94	50.43	99.23	
Direct Energy (Fossil) toe/million Baht	28.33	0.87	34.76	31.83	2.36	10.36	3.71	4.08	0.94	0.53	0.59	0.70	0.55	1.73	-	8.53	1.18	2.86	1.80	3.32	5.00	2.50	1.83	1.21	0.57	2.17	1.03	2.08	1.24	3.55	
EI fossil toe/million Baht	16.23	24.88	110.91	97.73	41.01	82.46	42.14	50.14	36.90	36.74	31.64	58.01	14.60	41.21	84.28	82.61	77.77	69.92	58.34	60.41	60.85	52.18	50.32	42.58	61.97	32.49	47.17	63.53	47.79	91.96	
Direct CO2 ton/million Baht	86.54	1.08	111.36	99.57	5.38	30.23	9.30	0.64	1.60	0.61	0.97	1.21	0.39	4.52	-	24.79	2.08	5.73	2.40	7.45	13.79	6.71	3.80	0.44	0.98	4.90	0.68	4.01	3.82	7.25	
CO2 ton/million Baht	143.90	30.90	165.32	143.79	48.42	98.25	53.47	62.21	46.80	46.85	39.50	72.78	18.38	53.94	105.40	106.50	98.68	89.27	75.67	74.69	74.81	71.43	66.00	53.99	79.30	42.41	61.21	81.58	65.50	115.00	
Direct CH4 kg/million Baht	0.01	-	0.00	0.00	0.04	0.00	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	-	0.17	0.02	0.01	0.02	0.02	0.08	0.04	0.02	0.00	0.01	0.05	0.00	0.01	0.01	-	
CH4 kg/million Baht	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Direct N2O kg/million Baht	0.00	-	0.00	0.00	0.00	1.12	-	1.06	0.13	0.18	0.05	0.01	0.22	0.01	0.36	-	4.57	0.45	0.26	0.39	0.49	2.12	1.08	0.42	0.07	0.19	0.72	0.12	0.35	0.08	-
N2O kg/million Baht	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Data 2008 vs. Data 2000																															
EI fossil+renew	-3%	-8%	-3%	-3%	-8%	-4%	-7%	-13%	-9%	-8%	-8%	-8%	-11%	-8%	-7%	-7%	-8%	-8%	-8%	-8%	-7%	-7%	-8%	-10%	-8%	-8%	-9%	-9%	-7%	-7%	
EI fossil	-3%	-8%	-3%	-3%	-8%	-5%	-7%	-13%	-9%	-9%	-8%	-8%	-11%	-8%	-8%	-7%	-9%	-8%	-9%	-8%	-7%	-8%	-8%	-10%	-8%	-9%	-9%	-9%	-7%	-8%	
CO2	-7%	-18%	-6%	-6%	-19%	-11%	-16%	-28%	-20%	-19%	-18%	-18%	-23%	-17%	-18%	-15%	-19%	-18%	-19%	-18%	-16%	-16%	-18%	-22%	-18%	-19%	-19%	-20%	-15%	-18%	
CH4	-25%	-27%	-26%	-26%	-27%	-27%	-27%	-29%	-28%	-27%	-27%	-27%	-29%	-27%	-27%	-26%	-27%	-27%	-27%	-27%	-26%	-24%	-26%	-28%	-27%	-27%	-26%	-27%	-24%	-27%	
N2O	-4%	-4%	-4%	-4%	-2%	-4%	-2%	-9%	-4%	-4%	-4%	-4%	-7%	-3%	-4%	-1%	-4%	-4%	-4%	-3%	-1%	-2%	-2%	-5%	-4%	-2%	-4%	-4%	-3%	-4%	

บทที่ 6

บทวิจารณ์

แม้ว่าผู้บริโภคสามารถจะมีส่วนร่วมในการลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้ โดยการเติมน้ำมันที่มีส่วนผสมของเชื้อเพลิงชีวภาพที่มากขึ้น แต่จากการศึกษาพบว่าอัตราการลดลงของแก๊สเรือนกระจกจากห่วงโซ่พลังงานมิได้เป็นอัตราส่วนโดยตรงกับอัตราส่วนของเนื้อน้ำมันไบโอดีเซลที่เพิ่มขึ้น สาเหตุส่วนหนึ่งมาจากเหตุผลที่เนื้อน้ำมันเชื้อเพลิงชีวภาพมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าเชื้อเพลิงฟอสซิลเนื่องจากค่าความร้อนที่ต่ำกว่าและในกระบวนการต้นน้ำของการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพนั้นยังจำเป็นต้องพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลอยู่ และเราไม่สามารถจะใช้เชื้อเพลิงชีวภาพได้ในอัตราส่วนผสมที่สูงเนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องยนต์ทำให้มีปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกทางตรงจากการสันดาปในเครื่องยนต์ในปริมาณมาก นอกจากนี้ในเส้นทางกระบวนการต้นน้ำนั้นสามารถจะช่วยลดการใช้พลังงานและลดปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้มากขึ้นน่าจะมาจากการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของพลังงานแฝงในภาคพลังงานซึ่งจะช่วยลดพลังงานและการสันดาปที่ปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกได้ในทุกภาคส่วน

ในการพิจารณาเพิ่มส่วนผสมของเชื้อเพลิงชีวภาพในเนื้อน้ำมันมากขึ้นกว่าที่เครื่องยนต์เดิมสามารถเดินเครื่องได้นั้นอาจจำเป็นต้องเพิ่มขึ้นส่วนอุปกรณ์และการซ่อมบำรุงที่มากขึ้นซึ่งย่อมส่งผลให้ปริมาณพลังงานแฝงและปริมาณการปลดปล่อยแก๊สเรือนกระจกเพิ่มขึ้นจากการที่ต้องมีปัจจัยนำเข้าที่เพิ่มขึ้นอีกและอาจทำให้การทดแทนได้ของพลังงานลดลงก็ได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE), Oil and Thailand 2008, <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=71>, 8/12/2009
- [2] Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE), Electric Power in Thailand 2008, <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=71>, 8/12/2009
- [3] DEDE, Thailand Energy Situation 2008, <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=71>, 8/12/2009
- [4] REW, 2009. Renewables a Hot Topic in Thailand, the first Renewable Energy World Asia event, alongside the long-established POWER-GEN Asia on October 8, 2009, available at <http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2009/10/renewables-a-hot-topic-in-thailand>, 2/12/2009
- [5] Jose' C. Escobar, Electo S.Lora, Osvaldo J. Venturini, Edgar E. Ya'n~ez,, and Edgar F. Castillo, **Biofuels: Environmental, technology and food security**, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 1275-1287.
- [6] Van de vate, J.F.(1997), Comparison of energy sources in terms of their full energy chain emission factors of greenhouse gases, Energy Policy, 25, 1, pp. 1-6.
- [7] Yasukawa, S., Tadokoro, Y., Sato, O., Yamaguchi, M. (1996). Integration of indirect CO2 emissions from the full energy chain, paper presented in the Proceedings of an IAEA Advisory Group meeting /Workshop held in Beijing, China, 4-7 October 1994, pp 67-75. International Atomic Energy Agency (IAEA)
- [8] Uchiyama, Y. (1996). Overview of FENCH-GHG analysis: A case study in Japan, paper presented in the Proceedings of an IAEA Advisory Group meeting /Workshop held in Beijing, China, 4-7 October 1994, pp. 151-158. International Atomic Energy Agency (IAEA)
- [9] Forsberge, Goran (2000), Biomass energy transport: Analysis of bioenergy transport chains using life cycle inventory method, Biomass and Bioenergy, 19, pp.17-30.
- [10] NIES, Embodied Energy and Emission Intensity Data for Japan Using Input-Output Table (3EID), ISSN 1341-4356 CGER-D031-2002, Japan,(2002)]
- [11] เอกสารประกอบการบรรยาย โครงการจัดฝึกอบรมและประชุมสัมมนา เรื่อง แนวทางการวางแผนศึกษาและทำวิจัยเกี่ยวกับ LCA ในประเทศไทย วันที่ 22-23 ธันวาคม 2546 ณ โรงแรมเชียงใหม่ภูคำ
- [12] Pawinee Suksuntornsiri (2002), Energy Chains Analysis for Comparative Assessment of Electricity Generation Expansion Planning and Emission Reduction,

Ph.D. Thesis Report, The Joint Graduate School of Energy and Environment at King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2nd semester 2002, ISBN 974-9635-11-6.

- [15] National biodiesel Board, USA. www.biodiesel.org (5/1/2009)
- [14] Energy Planning and Policy Office (2008), Ministry of Energy prepares to stop Gasoline 95 www.thaienergynews.com, 1/2/2008 (in Thai)
- [16] MOE-MOAC, 2005. Action Plan for Development and Promotion of Biodiesel Consumption, powerpoint presentation on 17 May, 2005] [cabinet resolution on 17 May, 2005. Action Plan for Development and Promotion of Biodiesel Consumption available at <http://www.ryt9.com/s/cabt/8729/> retrieved on December 5, 2009
- [17] PTIT Focus, Promotion of Alternative Fuels, Special Report, PTIT Focus, May 2009, p.21
- [18] The Thailand Research Fund, MEAs Watch, the 4th Global Warming Forum, August 2009
- [19] Bundit Limmeechokchai and Pawinee Suksuntornsiri, Embedded energy and total greenhouse gas emissions in final consumptions within Thailand. Renewable and Sustainable Energy Review, 11 (2007) 259–281
- [20] Friedrich R. and Marheineke T. (1996), Life cycle analysis of electricity system: Methods and results, paper presented in the Proceedings of an IAEA Advisory Group meeting /Workshop held in Beijing, China, 4-7 October 1994, pp. 67-75. International Atomic Energy Agency (IAEA)
- [21] Shleisner, L.(2000), Life cycle assessment of a wind farm and related externalities, Renewable Energy, 20, pp.279-288.
- [22] ISO Environmental Management (ISO) (1997a), Life Cycle Assessment-Principles and Framework. No. CD 14040.
- [23] ISO Environmental Management (ISO) (1997b), Life Cycle Assessment-Goal and Scope Definition and Inventory Analysis. No. DIS 14041.2.
- [24] ISO Environmental Management (ISO) (1997c), Life Cycle Assessment-Life Cycle Impact Assessment. No. CD 14042.1.
- [25] ISO Environmental Management (ISO) (1997d), Life Cycle Assessment-Life Cycle Interpretation. No. CD 14043.1.
- [26] Loentief, Wassily (1936), Input-Output Economic, 2nd Edition. Oxford University Press, United States.

- [27] Miller, Ronal E. and Blair, Peter C. (1985), Input-output analysis: Foundations and Extensions, Prentice-Hall, Inc., United States of America.
- [28] ภาวิณี ตักดีสุนทรศิริ และบัณฑิต ลิ้มมีโชคชัย (2005), The PCA and IOA approach for life-cycle analysis of greenhouse gas emissions from Thai commodities and energy consumption, *Songklanakarin J.Sci.Technol.*, 27(1), pp.177-189.
- [29] National Economic and Social Development Board (2006), 2000 Input-Output Table of Thailand, www.nesdb.go.th
- [30] Department of Alternative Energy Development and Efficiency (2006), 2000 Input-Output Table of Thailand, www.dede.go.th
- [31] National Economic and Social Development Board (NESDB), 1998 Energy input-output tables. Personal communications. (2005)
- [32] Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001a. "Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Reporting instruction (Volume 1)", <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>, (access on 3/11/2001)
- [33] Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001b. "Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Workbook (Volume 2)", <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>, (access on 3/11/2001)
- [34] Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001c. "Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Reference Manual (Volume 3)", <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>, (access on 3/11/2001)
- [35] The Intergovernmental Panel on Climate Change, CLIMATECHANGE 2001: THE SCIENTIFIC BASIS, Cambridge University Press, USA.,2001
- [36] Bullard III, Clark W. and Herendeen, Robert A. (1975), The energy cost of goods and services, *Energy Policy*, **December 1975**, pp.268-278.
- [37] Wright, D.J. (1974) Goods and services: an input-output analysis, *Energy Policy*, **December 1974**, pp.307-315.
- [38] Chapman Chapman, P.F. (1974), Energy Costs: A review of methods, *Energy Policy*, **June 1974**, pp. 91-103.
- [39] ภาวิณี ตักดีสุนทรศิริ, บัณฑิต ลิ้มมีโชคชัย และ Ram M. Shrestha (2004), Implications of Carbon Tax on Economy-Wide CO₂ Mitigations in Thailand, The Joint International Conference on "Sustainable Energy and Environment (SEE)" 1-3 Dec.2004, Hua-Hin, Thailand.

- [40] Lenzen, M., A guide for compiling inventories in hybrid life-cycle assessments: some Australian results, *Journal of Cleaner Production*, **10**, (2002) pp.545-572.
- [41] Lenzen, M. and Dey, Christopher (2000), Truncation error in embodied energy analyses of basic iron and steel products in *Energy*, **25**, pp.577-585.
- [42] Bundit Limmeechokchai and **Pawinee Suksuntornsiri**, Embedded energy and total greenhouse gas emissions in final consumptions within Thailand. **Renewable and Sustainable Energy Review**, 11 (2007) 259–281
- [43] Department of Energy Development and Efficiency (DEDE) 2006 Thailand Electric Energy Report <http://www.dede.go.th> (accessed on May 2006).
- [44] Energy Policy and Planning Office (EPPO), 2006. Energy Report <http://www.eppo.go.th> (accessed on May 2006).
- [45] ISO 13602: Technical Energy System (TES)
- [46] ISO 14040:2000: Life Cycle Analysis
- [46] PE-consulting-group Biofuels – Salvation or Interim Solution?, <http://www.pe-consulting-group.com/377.html>, retrieved on 9/21/2006
- [47] Environment Australia, A Literature Review Based Assessment on the Impacts of a 20% Ethanol Gasoline Fuel Blended on the Australian Vehicle Fleet, reported by Orbital Engine Company (2002).
- [48] METHYL t-BUTYL ETHER, CAS Registry Number: 1634-04-4
- [49] Taylor & Francis Group, LCC, Alcoholic Fuels (2006).
- [50] Internal Combustion Engine (ICE) Air Toxic Emissions;Final Report, Hector Maldonado Research Division California Air Resources Board, 0302-VE-ARBLIT-02 University of California, Riverside, CE-CERT
- [51] Minteer, S., Alcoholic Fuels, CRC Press (2006) pp.126
- [52] Tia,S., Loha,W., and Supanich, B., Documentation for Cassava Fuel Ethanol Factory Permission: Final Report, (2005) (in Thai)
- [53] Sriroth, K. et al, Usage of Chemical and Fermented Fertilizers in Cassava Plantation, (2005) p.35 (in Thai)
- [54] Sheehan et. Al (1998)
- [55] Jon Van Gerpen (2005)
- [56] Suksomboon Palm Oil Refinery (2009), Chonburi Province, person communication and data auditing.
- [57] Ejaz M. Shahid, and Younis Jamal, **A review of Biodiesel as vehicular fuel**, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 12 (2008) 2477-2487

- [58] U.S. Environmental Protection Agency (EPA) (2008) Fuel Economy Guide model year 2008 <http://www.fueleconomy.gov> , DOE/EE-0321 available online <http://www.fueleconomy.gov> 13/12/2009
- [59] Environment Australia, A Literature Review Based Assessment on the Impacts of a 20% Ethanol Gasoline Fuel Blended on the Australian Vehicle Fleet, reported by Orbital Engine Company (2002).
- [60] I. Worapun, K. Pianthong, S. Pongstabodee, and D. Soodphakdee "Performance and Emission Characteristics in Diesel Engine Using Biodiesel from Waste Cooking Oil-Ethanol Blend as a Fuel," *KKU Engineering Journal*, Vol. 33, no. 6, pp. 691-705, 2006. (in Thai)
- [61] National Renewable Energy Laboratory (NREL) (1998) Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, NREL/SR-580-24089 UC Category 1503
- [62] Y.Zhang, M.A. Dube', D.D. McLean, and M. Kates, Biodiesel production from waste cooking oil: 1, Process design and technological assessment, *Bioresource Technology* 89 (2003) 1-16]
- [63] Observation on Batch Biodiesel Production in Thailand (สภอ.เมือง ชลบุรี)
- [64] Siambio, Biodiesel Production,
http://www.siambioenergy.com/index.php?option=com_content&view=article&id=122&Itemid=144, 7/12/2009
- [65] The campaign of energy utilization from biomass in Thailand:
<http://www.eppo.go.th/vrs/VRS55-06-biomass.html>, 28/12/2009]

ภาคผนวก

Output จากโครงการวิจัย

- **Suksuntornsiri,P.**, Taitaemthong,N., Swamiwat, A., Sripinij, T. and Limmeechokchai, B. (2009) Life Cycle Energy Savings and GHG Mitigation of Biodiesel from a Palm Oil Industry in Chonburi Province, proceeding in the 1st AUN/SEED-Net Regional Workshop on New and Renewable Energy, 12-13 March, 2009, Bandung, Indonesia.
- **Suksuntornsiri, P.** and Limmeechokchai, B. (2008) Primary Energy Saving and GHG Mitigation from Ethanol Utilisation in The Thai Transport Sector: The Full Energy Chain Analysis, proceeding in the 16th European Biomass Conference and Exhibition, 2-6 June 11, 2008, Valencia, Spain. (www.conference-biomass.com/index.htm)
- **Suksuntornsiri, P.** , Limmeechokchai, B. (2007), Total Energy Content and Total Greenhouse Gas Emission Factors: The Updated Thailand Input-Output Table, Proceedings in The **21st Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand**, 17-19 October 2007, Welcome Jomtien Beach Hotel, Chonburi, Thailand.

Life Cycle Energy Savings and GHG Mitigation of Biodiesel from a Palm Oil Industry in Chonburi Province

P. Suksuntornsiri^a, N. Taitaemthong, A. Swamiwat, T. Sripinij, B. Limmeechokchai^b

^a*Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Burapha University, Chonburi, 20131 Thailand*

^b*Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University - Rangsit Campus
P.O.Box 22, Pathum Thani 12121 Thailand*

Biodiesel from palm oil is becoming significant renewable energy in Thai transport sector, since it has been introducing for fossil diesel saving to support the policy of renewable portfolio standard (RPS). In spite of considering on direct fossil energy content in the palm biodiesel, selection among optional fuels should be done on holistic terms. Life Cycle Analysis of biodiesel production from a palm oil industry in Chonburi province was studied. On-sited data were acquired for the process analysis part and direct energy consumption, GHG emissions, and materials required are presented. Indirect energy and GHG emissions embedded in materials of biodiesel plant are added up. Infinite boundary layers on upstream processes were evaluated by Input-Output Analysis. The embodied energy and GHG emission intensities were calculated by Thai Input-Output Data in year 2000. Fuel mix in the power sector was updated by recent electricity generation data. Considering the vehicle fuel economy, equivalent output function was compared between biodiesel and fossil diesel. Result of the study presents positive energy savings and GHG mitigations.

Index Terms -- Biodiesel oil, palm, Life Cycle Analysis, Input-Output Analysis, Process Chain Analysis

I. INTRODUCTION

Thailand is an oil importing country and imported petroleum is the major source of energy supply. In 2005, 30% of country energy consumption was consumed by transport sector. Energy consumption by transport sector was about 30 Mtoe, and CO₂ emission was about 50 million ton. The Ministry of Energy set a target of renewable portfolio standard (RPS) of 8% in 2011. The Thai government has announced the target of biofuels utilizations in the transport sector to remedy the fossil fuel dependency.

A decision making between any two different energy policy options requires a full energy chains analysis (FENCH) or life cycle analysis (LCA) terms on a comparable basis. Same output function and equal boundary scope have to be defined. In biofuel cases, comparison should be made on the same travelling distance for the output function point of view. Truncation on upstream links is often cause incomparable boundary scope in inventory-LCA task and yields an unequally comparative assessment. The major problem is that the data approaching is costly and hardly to be acquired in the higher sub-process chains. Combining the technique of Input-Output (I-O) economics to the inventory analysis could extend the boundary layer infinitely with more efficient in cost and time.

While LCA from an approach called a process chain analysis (PCA) generally confronts limitation on boundary scope, an Input-Output

Analysis (IOA) gives an average values those basically evaluated from historical data. The combined PCA and IOA approach could reduce boundary truncations, but disadvantages by the IOA approach in the outer boundary layer stills persist. To do the combined PCA and IOA, the factors of total energy content and total GHG emissions firstly evaluated by an energy-IOA approach. The energy intensity and GHG emission factors of goods and services were estimated by I-O approach to extend the boundary of LCA scope to infinite subprocess chains.

This study presents factors of total values of embedded energy and embedded GHG emissions that required and emitted from utilization of any commodities produced by 180 Thai economic sectors by filling up the gap of PCA boundary by energy-IOA. The disadvantage of outdated data normally incurred in IOA was improved by updating sectoral energy consumption elements in high energy consuming sectors in an economy.

A PCA data from a biodiesel plant located in Chonburi province with capacity of 8800 liter per batch was studied as a model for estimation of embedded energy and GHG emission in upstream energy chains of biodiesel. The plant used palm stearin which is a co-product of the existing palm oil extraction and purifying plant. The advantage in this site is that all process heat and one forth of electricity consumption is from cogeneration powered from waste palm bush from palm oil extraction process.

II. METHODOLOGY

Combined process analysis and Input-Output Analysis (Combined PCA-IOA) was performed in this study. The process analysis was studied in the main process and the first sub process. The process analysis is presented in section A. Study of the remaining subprocess was performed by combining with I-O approach and presented in detail in section B.

The IOA approach in energy and GHG accounting on embedded energy content and GHG emission factors of Thai commodity. The country's energy I-O data and I-O table of 180 economic sectors were used for estimation of sectoral primary fossil energy intensities and GHG emission factors. The sectoral factors represented embedded energy and emission incurred in infinite upstream energy chains. The revised energy IO model has been validated and used to assess the economy-wide impacts of the policy.

GHG's emissions were evaluated based on IPCC approach [1]. The embedded energy and CO₂ data were updated with carefully considering of primary energy, secondary energy, import and export energy, feedstock fuel, GHG accounting from fossil fuel combustion, industrial process, and fugitive emissions, avoiding the double counting.

A. Process Chain Analysis

1) Main Process

Main process of biodiesel utilization scheme versus diesel base on equal output function, i.e. same travelling distance, one was presented in Fig. 1. PCA was performed in the main process of driving diesel engine vehicle fuelling with high speed diesel (HSD) versus biodiesel fuel are in Fig. 1. In HSD vehicle case, one upstream link was traced back to the supplier of HSD, i.e. petroleum product sector in the economy. The rest fuel chains were estimated by combined PCA-IOA. Average fuel economy for heavy duty diesel vehicle was considered based on travelling distance got from fuelling with 1 liter of high speed diesel (HSD) equivalent.

Main process of biodiesel utilization scheme versus diesel base on equal output function, i.e. same travelling distance, one was presented in Fig. 1. Since biodiesel has less energy content, it requires more fuel to produce same work output from the vehicles. Much variabilities are inherent in fuel economy measurements. [2] It depends on personal driving habits, weather conditions, traffic patterns, the temperature effect on fuel volumes when fueling, and changes in tire pressure.

National biodiesel board (2007) [3] reported that soybean biodiesel exhibit similar fuel economy to diesel fuel, based on a comparison of the volumetric energy density in urban bus engines. Since diesel contains 131,295 Btu/gal and the biodiesel contains 117,093 Btu/gal, the fuel economy of the biodiesel tend to be 2%-3% less. Testing performance of a single-cylinder diesel engine consuming waste-oil-biodiesel, Worapun et al. 2006 [4] reported 4.1 % less on torque than the one consuming fossil diesel fuel. The percentage of lower output was very close to the percentage of lower heating value which is 4.25%. NREL [5] used fuel economy proportional to the lower heating value of the blended biodiesel.

Fuel substitution from fossil diesel to biodiesel required only different types and amount of fuel consumptions. Due to cited information on fuel economy related to heating content appears in the next paragraph. Additional fuel required for fuelling with biodiesel. Table 1 shows lower heating values of biodiesel and fossil diesel. Lower heating value of biodiesel is 8.57% less than fossil HSD by volume, and 11.68% less by mass. For the reason, additional 8.57% of biodiesel required for getting the same driving output was assumed in this study.

Table 1. Lower Heating Values of Biodiesel vs. Fossil Diesel

	LHV		density (kg/L)	different in LHV	
	(MJ/L)	(MJ/kg)		by volume	by mass
Fossil diesel	36.42	42.85	0.85	-	-
Biodiesel	33.3	37.84	0.88	-8.57%	-11.68%

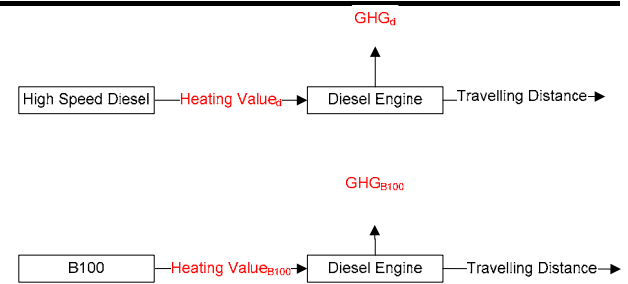


Fig.1 Diesel vs. Biodiesel Utilization Process

It was assumed that there was no additional investment required for fuel substitution. Direct comparative issues are final energy consumption, materials, services and related GHG emissions.

2) First Subprocess

Biodiesel production process was audited to discover the first subprocess chain of biodiesel utilization process. On site data were gathered from [6]. Direct consumption in the biodiesel production

process related to materials, services and energy are presented in Fig.2.

Assumptions made for material flows in this process were:

- 1) palm stearin oil, which is the main raw material for biodiesel production is actually be a co-product from the palm oil processing plant was assumed bought at the ex-factory price.
- 2) Methyl alcohol, sodium hydroxide flake, and potash alum were assumed at market price.
- 3) Manpower required was 8 man-day at technician salary.
- 4) Water consumption is from underground water, but assumed at public water rate.
- 5) Process heat and some portion of electricity consumption in biodiesel production process is generated from co- generation power plant fuelled by wasted palm bush. An assumption of totally electricity supplied for the whole process was also provided for comparison.
- 6)

Major energy consumed in biodiesel production plant is electricity. Share of electricity consumption in the biodiesel plant was 75% from grid, and the rest was generated from waste biomass.

Sector allocation is significant to IOA. Misallocation causes some errors [7] subject to the significance of the link. For HSD, IOA data was used in second subprocess onward, but for Biodiesel case, it was performed in third subprocess onward. Assumption made was that related primary fossil energy and GHG emissions were related to its price sold from its sector.

Second to infinite subprocesses of HSD was represented by average I-O data, since HSD is business as usual fuel produced from petroleum refinery sector. Total primary fossil energy content

and embedded CO₂ emission was 7.35 MJ/Baht and 0.05714 kg/Baht. These factors include all upstream subprocess. By the average price in the considered year, they were 191.11 MJ/L and 1.49 kg CO₂/L.

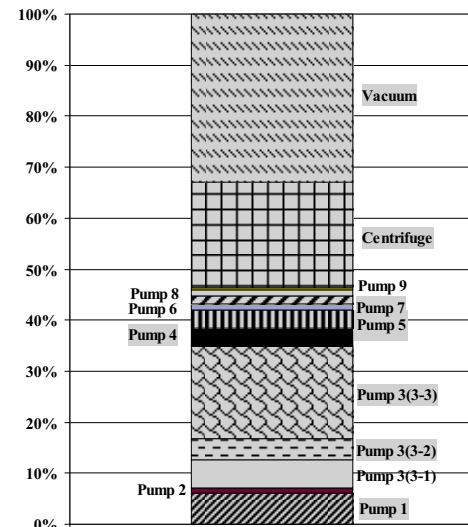


Fig.2. Share of Electricity Consumption in Biodiesel Production Process

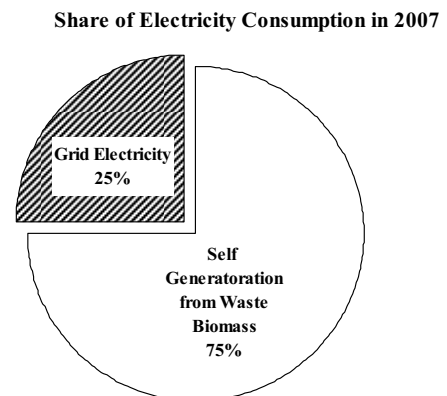


Fig.3. Share of Electricity Consumption in the Biodiesel Plant

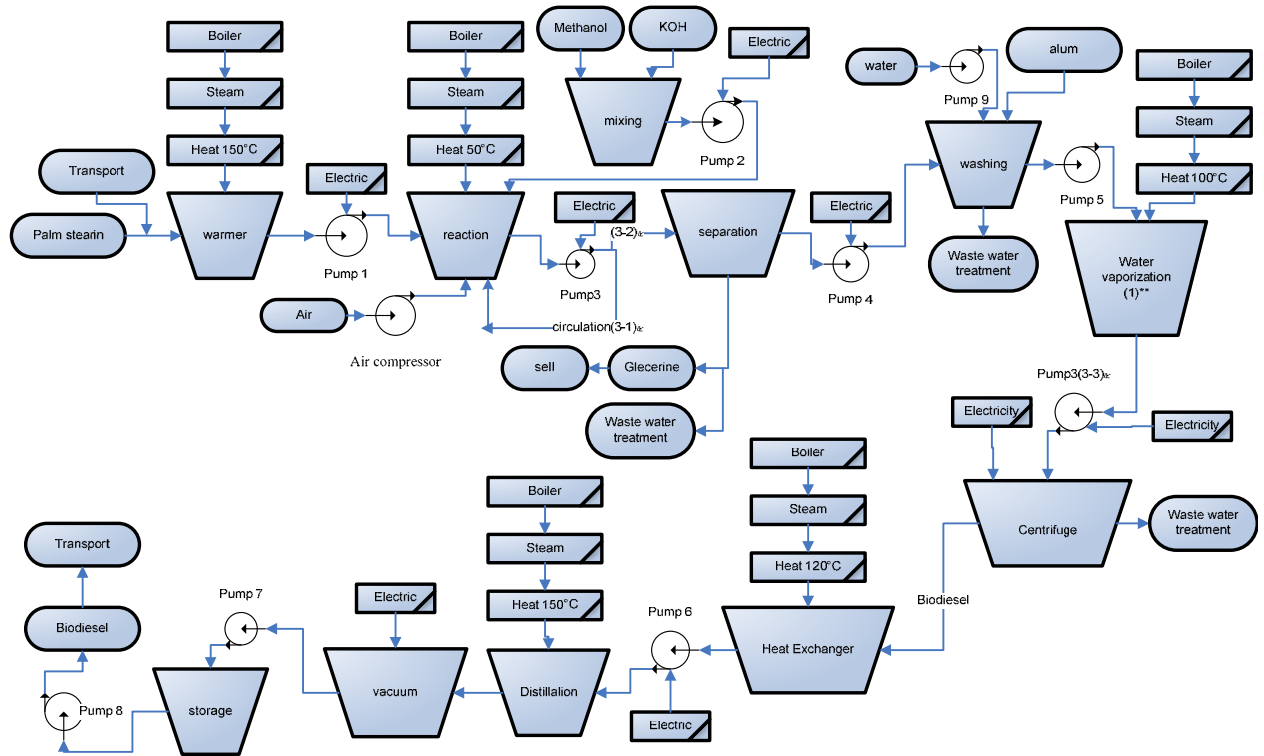


Fig.4 Biodiesel Production Process

3) Third to Infinite Subprocesses Analysis

The third to infinite subprocesses analysis were studied by transitioning from PCA links to IOA links related to proper sector allocations.

Table 2. Sector Allocation for IOA

Input Materials	sector	
1 Palm stearin oil	047	Coconut & Palm Oil
2 Methyl Alcohol	094	Other Petroleum Products
3 Sodium hydroxide	084	Basic Industrial Chemicals
4 Potash alum	084	Basic Industrial Chemicals
5 Electricity & Process Heat	135	Electricity
6 Water	137	Water Supply System
7 Man Power	301	Wages & Salaries

B. Input-Output Analysis

The primary fossil energy intensities and GHG emission factors evaluated in this study were updated based on changing fuel mix of the power sector of year 2000 to one of year 2005. This was made by the reason that energy structure was substantially changed from the energy I-O year (1998). The method for updating energy consumption mix in the power sector was presented ref. [8]

Updated IOA data was done by updating sectoral energy consumption elements in the power sector which was found significant to all other sectors in the economy. The 2000 I-O table [9] was used to represent the economic structure, and the 1998 sectoral energy consumption [10] was used to represent individual energy consumption. Thai electric power report was referred for updating the 1998 fuel mix in the power sector to represent the 2000 and the 2005 ones. 1998 Electric Power in Thailand [11] and 2005 Electric Power in Thailand [12] was referred for updating fuel mix in the power sector. The IPCC Third Assessment Report (2001) was applied for Global Warming Potential (GWP) where the GWP of CO₂, CH₄, and N₂O are 1, 23, and 296, respectively. [13]

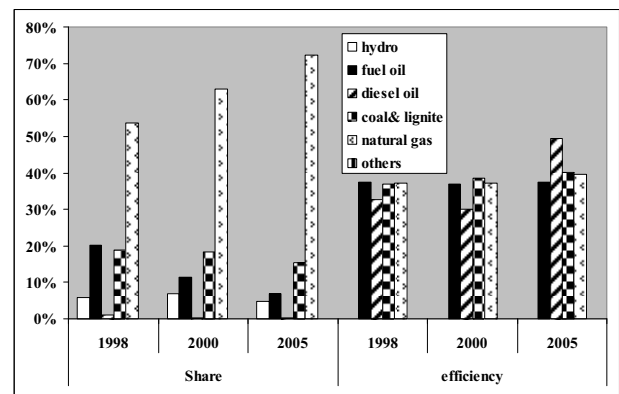


Fig. 5. Electricity generation shares and generation efficiency by fuel types [8]

The related total energy content and the GHG emission factors under the 2005 electricity-fuel mix are presented in Table 3.

Table 3. Primary Fossil Energy Intensities and GHG Emission Factors (*toe/million Baht **ton CO₂/million Baht)

	sector	EI	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
047	Coconut & Palm Oil	42.19	54.85	0.0015	0.0006
094	Other Petroleum Products	48.78	65.80	0.0017	0.0006
084	Basic Industrial Chemicals	78.05	152.50	0.0029	0.0012
084	Basic Industrial Chemicals	78.05	152.50	0.0029	0.0012
301	Wages & Salaries	102.34	123.29	0.0035	0.0016
137	Water Supply System	55.03	70.87	0.0028	0.0009
135	Electricity	182.30	277.36	0.0314	0.0024

III. RESULTS

Direct GHG emissions in driving heavy duty HSD vehicle shown in Table 4 were estimated base on IPCC guidelines[]. Comparisons shown in Fig.6 to Fig.7 are based on 1 liter of biodiesel.

Table 4. Direct GHG emissions in driving heavy duty HSD vehicle

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	
heavy duty transport	73326	0.006	0.003	kg/TJ
heavy duty transport	2,671	0.00022	0.00011	g/L

Total primary fossil energy embedded in 1 liter of biodiesel presented in Fig.6 and Fig.7 are categorized by input materials and services. The highest primary fossil energy and GHG carrier is the major raw material, i.e. palm stearin oil, follows by methyle alcohol. Electricity from grid was very small, since electricity and heat were highly supplied from waste biomass cogeneration power plant. The column “elec.from grid only” was a comparative case that assume no cogeneration supply the biodiesel production, but electricity was supplied for motor driving and heating in the process. The latter case cause a share of embedded energy and GHG emissions about 6-7%.

In order to made an equal output function on similar driving, comparison shown in Fig. 8 to

Fig.11 are based on output of driving a vehicle by 1 liter of fossil HSD equivalent.

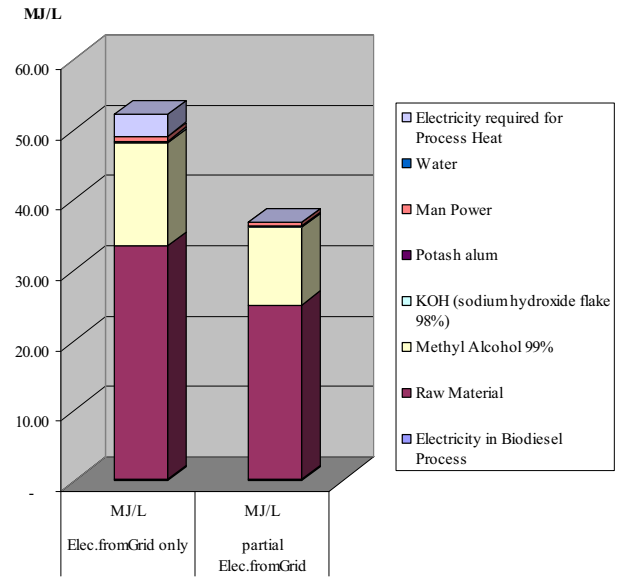


Fig.6. Primary Fossil Energy Content in 1 liter of Biodiesel

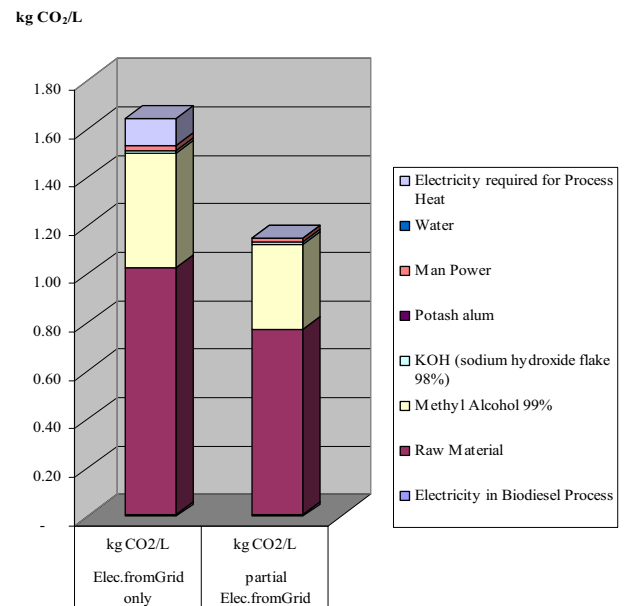


Fig.7. Embedded GHG Emissions in 1 liter of Biodiesel

Fig.8 and Fig.9 presents comparative results from embedded primary fossil energy and GHG emissions from HSD case with the studied biodiesel plant and from a viable case that produced biodiesel from electricity from grid (without cogeneration).

Fig. 8 presents input primary fossil energy required from HSD vs. biodiesel fuels in order to get an equal driving output. Total energy transforming efficiency of HSD vehicle is only 19 %, while one fuelled with biodiesel from cogeneration is 90%, and one fuelled with electricity based biodiesel is 64%.

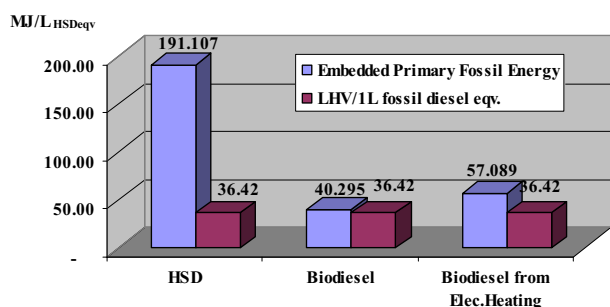


Fig.8. Embedded Primary Fossil Energy vs. Output Energy for Driving

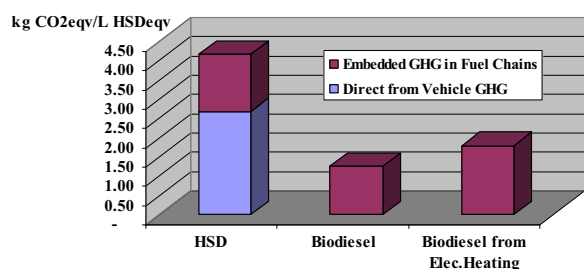


Fig.9. Direct and Indirect GHG Emissions in 1 liter of HSD Equivalent

Fig.9 presents that by consuming 1 liter of HSD vehicle will totally emits 4.16 kg CO₂eqv. 64 % of GHG emissions is directly emitted in exhausted pipe. Due to zero carbon cycle, there are no direct GHG emissions for biodiesel case. Fuelling with cogeneration based-biodiesel will emits only 1.26 kg CO₂eqv. Electricity base biodiesel driving emits 1.57 kg CO₂eqv.

Heat and electricity supplied from waste palm bush cogeneration for biodiesel production process could save 29.75% of primary fossil energy, and 30.06 % of GHG could be mitigated.

IV. CONCLUSIONS AND DISCUSSIONS

LCA from combined PCA-IOA presents that driving biodiesel vehicle would be beneficial for primary energy savings and GHG mitigations. Biodiesel production from palm based co-product such as palm stearin oil would provide better energy efficiency and GHG mitigation than producing biodiesel by using electricity from grid. Major source of emissions in biodiesel fuel chains is the major raw materials.

Since data from biodiesel process was done in a biodiesel plant located in the palm oil plant, transportation was neglected in this study. Additional studies on variable location of biodiesel plants, and embedded energy and

emissions in investment are recommended to be discovered.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research is a part of research titled "Full Energy-Chains Analysis on Biofuel Utilizations in Thailand" which is financially supported by the Commission on Higher Education, Ministry of Education and the Thailand Research Fund (TRF), contract no. MRG4980166.

REFERENCES

- [1] Intergovernmental Panel on Climate Change, (2001) "Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Reporting instruction (Volume 1)", <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>
- [2] Kortum, D. J., Haslett, L., Beard, L., Liechty, L., Coryell, M., and Bruner, C. (1997) Fuel Economy and Engine Performance Issues. Available online: (5/1/2009)
- [3] National biodiesel Board, USA. www.biodiesel.org (5/1/2009)
- [4] I . Worapun, K. Pianthong, S. Pongstabodee, and D. Soodphakdee "Performance and Emission Characteristics in Diesel Engine Using Biodiesel from Waste Cooking Oil-Ethanol Blend as a Fuel," *KKU Engineering Journal*, Vol. 33, no. 6, pp. 691-705, 2006. (in Thai)
- [5] National Renewable Energy Laboratory (NREL) (1998) Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus, NREL/SR-580-24089 UC Category 1503
- [6] Suksomboon Palm Oil Refinery (2009), Chonburi Province, person communication and data auditing.
- [7] Nansai, K., Morigushi, Y., and Tahno, S. (2002), Embodied Energy and Emission Intensity Data for Japan Using Input-Output Tables (3EID)- Inventory Data for LCA, National Institute for Environmental Studies. ISSN 1341-4356 GCER-D031-2003.
- [8] Suksuntornsiri, P. , Limmeechokchai, B. (2007), Total Energy Content and Total Greenhouse Gas Emission Factors: The Updated Thailand Input-Output Table, Proceedings in The 21st Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand, 17-19 October 2007, Welcome Jomtien Beach Hotel, Chonburi, Thailand.
- [9] National Economic and Social Development Board (NESDB), 2006. 2000 Input-Output Table, available online www.nesdb.go.th (access on October 2006)
- [10] National Economic and Social Development Board (NESDB), 2006. 1998 Energy Input-Output Table, personal communication, October 2006.
- [11] Department of Energy Development and Efficiency (DEDE) 2006 Thailand Electric Energy Report <http://www.dede.go.th> (accessed on May 2006).
- [12] Energy Policy and Planning Office (EPPO), 2006. Energy Report <http://www.eppo.go.th> (accessed on May 2006).
- [13] The Intergovernmental Panel on Climate Change, CLIMATECHANGE 2001: THE SCIENTIFIC BASIS, Cambridge University Press, USA.,2001

PRIMARY ENERGY SAVING AND GHG MITIGATION FROM ETHANOL UTILISATION IN THE THAI TRANSPORT SECTOR: THE FULL ENERGY CHAIN ANALYSIS

Pawinee Suksuntornsiri¹, Bundit Limmeechokchai²

¹Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Burapha University,
Chon Buri, 20131, Thailand

²Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University, Thailand

ABSTRACT: Energy consumption in the transport sector in Thailand was accounted for 36% in total final energy consumption in 2006 and GHG emissions in Thailand have been increasing due to high dependent on imported oil. The Thai government has announced the target of ethanol utilization since 2004. The ethanol target of 3 million liter per day for the road transport in 2011 could be achieved by promoting E10 for the substitution of premium gasoline. Recently the Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE) has launched a promotion of E20. The ethanol policy is not only aimed at reducing energy consumption, but also reducing imported MTBE, required for conventional premium gasoline (CPG). Full energy chain analysis of primary fossil energy content and GHG emissions carried by E10 and E20 from anhydrous cassava ethanol versus CPG within driving of a passenger car on same traveling distance are evaluated in terms of full energy chain analysis. Cassava is used in the upstream of ethanol production process because it is a promising starch base resource in the long run. In this study, the direct energy input and output and GHG emissions at the fuel utilization stage are evaluated by Process Chain Analysis (PCA). Thereafter, Input-Output Analysis was performed in order to estimate the indirect energy content. The PCA was also traced back upstream energy input required for combustion, fuel supply including ethanol production. Waste from ethanol production is also considered as by product utilized as liquid fertilizer for the agricultural sector. Results of the study presents the total primary energy saving and GHG mitigation from the ethanol fuel options on the same vehicle output basis.

Keywords: bio-ethanol, life cycle assessment, greenhouse gases (GHG)

1 INTRODUCTION

Energy supply for the transport sector in Thailand has been highly depending on imported fossil fuels. Transportation in Thailand consumed about 36% in total final energy consumption in 2006 [1]. The Thailand's Initial National communication under UNFCCC presents increasing GHG emissions from the transport sector [2].

Also due to high dependent on imported oil, the Ministry of Energy set a target of renewable portfolio standard (RPS) of 8% in total final energy consumption, in 2005. The Thai government has announced the target of ethanol utilization since 2004. The ethanol target for 3 million liter per day for the road transport in 2011 could be achieved by initially promoting 10% anhydrous ethanol mixed gasoline (E10) for the substitution of premium gasoline. Recently, the Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE) has launched a promotion of E20 that requires 20% by volume of anhydrous ethanol. The ethanol policy is not only aimed at reducing the country energy consumption, but also reducing MTBE, which is mostly imported. By the achievement of ethanol fuel in Thailand, the unleaded gasoline has been planned to be phased out soon [3].

In order to quantify the total greenhouse gas (GHG) emissions or embedded energy among different commodities, Full Energy Chain Analysis (FENCH) or Life Cycle Analysis (LCA) is a promising approach for presenting the benefit of energy policy.

Among many LCA's on bio-ethanol, some results are positive in energy return, but some are not. The variations came from the difference in methodologies, boundary scopes, and embedded energy in the upstream input commodities which is mostly depending on the country of origin. Some results from the same country are also differed due to different assumptions on biomass transportation, and upstream energy consumption. Some

studies reported on ethanol vs. gasoline fuels in volume basis.

To make a comparison between conventional premium gasoline (CPG) and ethanol gasoline, the major energy conversion technology is a passenger car consumed different fuels. Comparison on a fuel volume or fuel mass could not represent the actual output. Verification the beneficial to fossil fuel and global warming problems among fuels for compression ignition (CI) and for spark ignition (SI) engines required an LCA through the transportation service, or well-to-wheel basis supplemented by LCA [4] [5]. Output from driving a passenger car is objectively the traveling distance. (see Fig.1) Unwilling GHG are also emitted as another output from the engine. Fuel is the major input to the system.

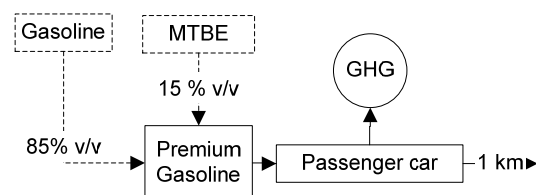


Figure 1: Main Energy Chain of a Passenger Car using Conventional Premium Gasoline

This study applied a combined Process Chain Analysis (PCA) and Input-Output Analysis (IOA) to evaluate the CO₂ emission and energy content from fuel utilization in a gasoline passenger car in terms of traveling distance. Boundary scope was extended infinitely by combining the Input-Output Analysis (IOA) to the PCA. PCA was performed in the main process. To extend the infinite end of boundary and fulfill the energy and emissions embedded in service commodities supplied from the economy, the results from IOA were applied to sub-process chains where PCA are unreachable. In

significant sub-process that could not be represented by the average value from its own sector.

Comparison is made among different inputs i.e. CPG, E10, and E20. The E20 is currently commercial available in Thailand after few years of success in customer acceptance in E10.

The raw material for anhydrous ethanol production is supposed to be cassava in this study. The molasses and cassava are promising biomass sources for Thailand. Although cassava-ethanol production could be adopted easily without major change from sugar-based factory, the previous study [6] found the sugar-based raw material deficits but cassava potential is high in the long run. However, due to high production cost, a subsidy is required for promoting the anhydrous ethanol for E10 and E20 in Thailand. It is assumed that fermented fertilizer, a by-product from the ethanol production process could replace the usual chemical fertilizer, which is cost about 5 % of cassava sector.

2 METHODOLOGY

LCA or FENCH of a gasoline based passenger car starts from 1 kilometer traveling, a unit of output gain from the vehicle, traced back upstream energy input required for combustion.

PCA was performed in the main process, considering direct energy input, direct GHG emission, and indirect primary and GHG carriers those require for producing the same traveling distance of a passenger car. Thereafter, Input-Output Analysis (IOA) was performed to estimate indirect primary energy content and embedded GHG in unreachable sub-process chains those could be represented by average factors of their own economic sectors. The PCA was also performed in a significant sub-process i.e. upstream process of ethanol production where the existing economic sector could not characterize. Fig.1 shows the PCA of a passenger car using conventional gasoline. Output from the main process is not only 1 km traveling distance, but also direct GHG emissions due to combustion in the vehicle. With an assumption of 10 km/liter fuel economy, the required input is 0.1 liter of conventional premium gasoline (CPG). The pure gasoline is produced from the refinery sector, and MTBE is produced from methanol and isobutylene, products of the crude oil & natural gas sector within the economy.

Significant inputs of the main process are gasoline, MTBE and Ethanol. Since gasoline and MTBE are activities in business as usual in the economy and usually sale from the petroleum refinery sector as CPG in the economy, their upstream GHG emissions and primary energy contents could be represented by the producing sectors.

For ethanol-gasoline, significant upstream process of fuel supply including ethanol production. Significant energy consumption includes liquefaction, fermentation, distillation, dehydration. Waste from ethanol production is also considered as by product utilized as liquid fertilizer for agricultural sector. A main PCA of a passenger car fuelled with E10 is presented in Fig.2. The solid line presents the main process. The dash line presents upstream and downstream processes.

The main process of a passenger car was analyzed on the basis of its output i.e. its traveling distance. A vehicle

using different fuel mixes requires an adjustment on fuel feeding. The fuel economy has to be considered.

This study considers fossil fuels that are used as feedstock in some production processes those none of GHG emitted. Embedded emission in imported secondary energy is also taken into account.

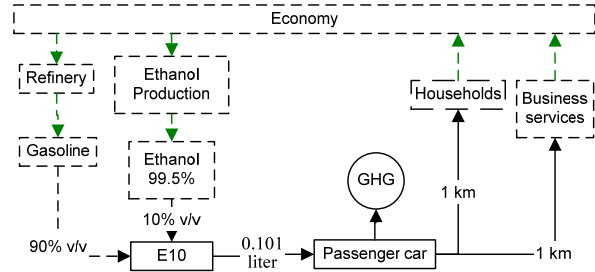


Figure 2: Energy Chain of a Passenger Car using E10

2.1 Fuel Economy

Increasing in fuel consumption is a result of lower energy content [5]. Fuel economy of E10 vehicle is about 3% less than conventional gasoline vehicle [7]. Linear trend is expected for higher ethanol portion [5].

Fuel switching from conventional gasoline to E10 could be done on the existing automatic fuel adjusted engine [7]. It is not recommended for old engine. 5% to 25% ethanol could be blended with gasoline without engine modification [7]. Higher ethanol content gasoline is required to be used with Flexible Fuel Vehicle (FFV). The FFV could be operated with 0-85% ethanol mixed gasoline. [7] 100% ethanol is not suitable due to cold starting problem [7].

By the same output, the less heating content, the more fuel volume is required. Reduction in heating value (HV) of fuel is assumed to cause reduction in fuel economy in a passenger car. Table I shows that the heating value of ethanol is 34.26% less than gasoline, while it is only 19.16% less for MTBE. Density and oxygen by weight are also presented.

Table I: Fuel Properties

	Density* (kg/liter)	LHV* (MJ/liter)	Oxygen by weight
Gasoline	0.749	32.23	0%
Ethanol	0.792	21.19	34.70%
MTBE	0.742	26.05	18.20%

*Converted from English Units appeared in ref. [8]

Estimation of fuel economy of a passenger car in the case of fuelled with CPG, E10 and E20 are presented in Table II. HV of CPG was calculated by the content of MTBE in gasoline. Since the content of MTBE in conventional gasoline in Thailand cannot be reached in Thailand. Reference MTBE portion was assumed. Portion of MTBE is appeared 10% in [9] and [10], but the ref. [11] reasonably addressed a requirement of 2.7% oxygenate in gasoline by weight for best combustion. By calculation, MTBE 15% by volume is required to meet the requirement of 2.7% oxygen by weight. Consequently, the heating value of the mix is reduced by 2.87%. In ethanol-gasoline mix, it requires only 7.5% of

ethanol by volume to meet the same oxygen portion. The higher percentages of ethanol in E10 and E20 are beneficial to combustion quality improvement; however, the fuel economy of a passenger car is decreased by losing of HV.

Table II: Estimation of E10 and E20 Fuel Economy

Reference to	HV reduction	Projected Fuel Economy Reduction	
	Gasoline	Gasoline	CPG
Premium Gasoline	-2.87%	-2.87%	Na.
E10	-3.43%	-3.43%	-0.57%
E20	-6.85%	-6.85%	-4.09%

Table III presents that the higher volume of blended fuel required for traveling by the same distance. While the fuel economy of E10 is 0.57% less than the CPG car, it requires 6.46% of pure gasoline more in E10 case, but 1.86% less in E20 case.

Table III: Input Requirements (liter/km)

	Fuel Economy (km/liter)	Gasoline	MTBE	Ethanol	Additional Fuel from CPG
CPG	10	0.085	0.015	-	Na.
E10	9.943 (-0.57%)	0.0905 (+6.49%)	-	0.0101	(+0.57%)
E20	9.591 (-4.09%)	0.0834 (-1.86%)	-	0.0209	(+4.27%)

Assuming fuel economy of a passenger car consuming conventional premium gasoline is 10 km/liter, fuel requirement for a passenger car traveling each kilometer is 0.1 liter of premium gasoline. 0.085 liter of gasoline and 0.015 liter of MTBE is required. Due to lower HV of ethanol, fuel economy of E10 and E20 vehicles are less and consequently required higher fuel volume. Table III shows input requirements in detail.

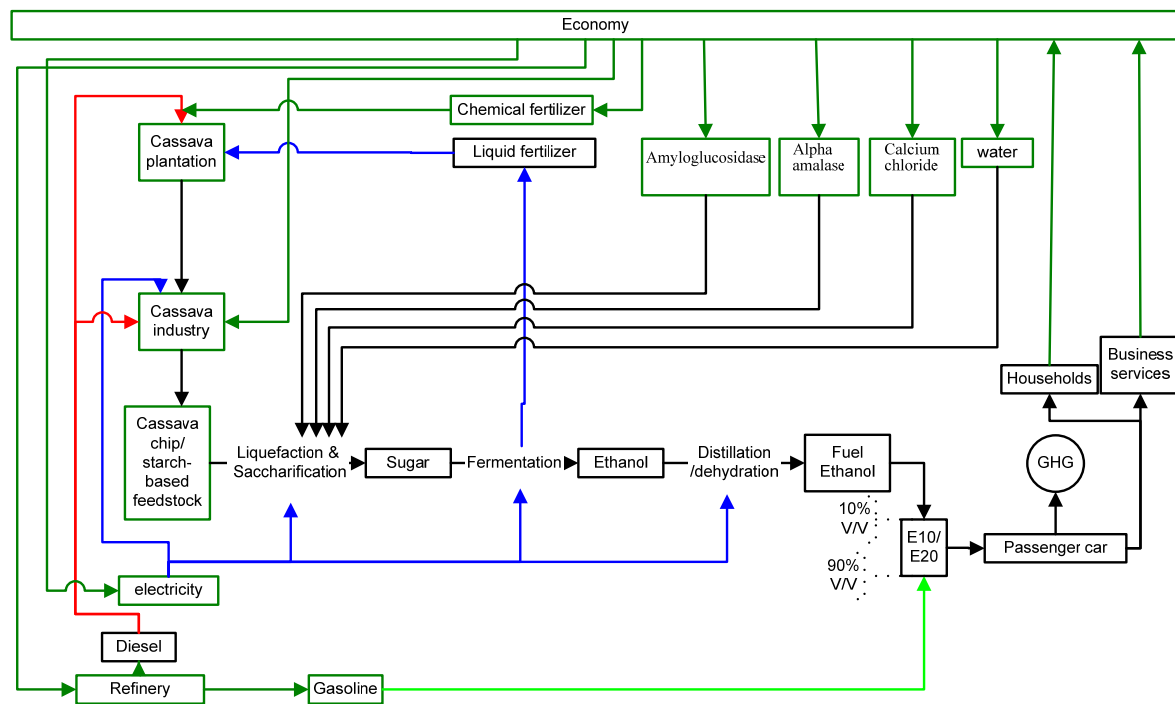


Figure 3: Full Energy Chain of E10/E20 Utilization in a Passenger Car

2.2 First Sub-Process Analysis

The dehydrated cassava ethanol (99.5%) for blending with gasoline is a new product in Thailand, and its input structure differs from the applied I-O structure. Using GHG emission factor (EF) or energy intensity (EI) from IOA could bring significant different values. Therefore, PCA was performed in this upstream process.

PCA on upstream process chains of dehydrated cassava ethanol derived from input requirements of a proposed dehydrated cassava plant in [12] studied in Thailand in 2005. Fig.4 presented the total cost of production from cassava root. It was totally 8.61 Baht/liter (approx.0.21 \$/liter). The cassava raw material

cost is about 60%.

This study assumed by-product utilization in the cassava upstream plantation. The first sub-process of the full energy chain of ethanol utilization in a passenger car shown in Fig.3. Liquid fertilizer was produced as by-product from ethanol fermentation process. Ref. [13] stated that the yield is 10% of ethanol output, and 282.49 liter of liquid fertilizer equals to 31.31 kg of chemical fertilizer for planting. Derived from the I-O structure, the cassava sector spends about 5% for fertilizer.

Due to I-O structure [14] of cassava agricultural sector, it required 5% spending on fertilizer and pesticides (see Fig.4). Assuming by-product from ethanol production plant was used to substitute the usual

chemical fertilizer, this cost was disappeared in this case. Assuming the cassava root was planted by using only the fermented fertilizer, a by-product from ethanol production, which is more than requirement, the cost of cassava root could be reduced from 60.4% to 59.2% as shown in Fig.5.

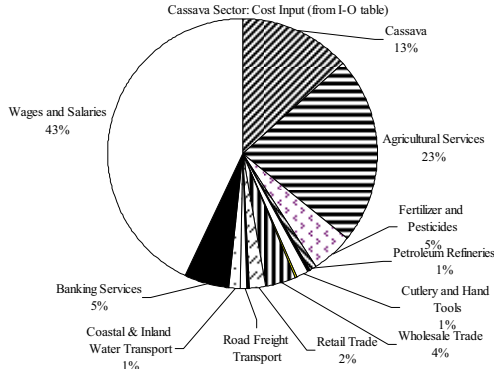


Figure 4: Costs share in the Cassava Sector.
Source: derived from [14]

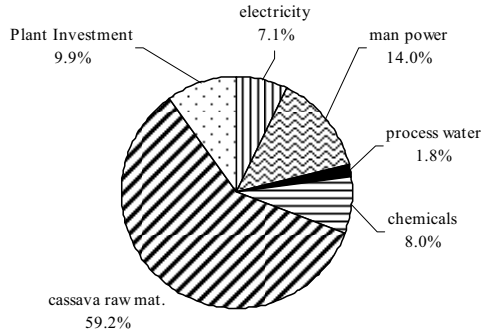


Figure 5: Dehydrated Cassava Ethanol Cost

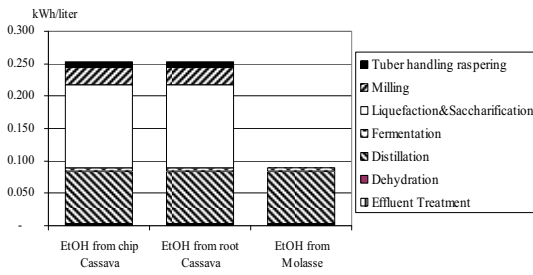


Figure 6: Direct Energy Requirement for Dehydrated Cassava Ethanol Production

Direct energy consumption in the plant is electricity which is required 0.254 kWh/liter of dehydrated ethanol if raw material is cassava chip or cassava root. (see Fig.6) 65% of electricity could be cut off if liquefaction & saccharification, milling, and tuber handling rasping were avoided in case of sugar base raw material. Significant energy demand is in Liquefaction & Saccharification process. Dehydration is small due to molecular sieve absorption. 65% of electricity could be avoided in the liquefaction & saccharification, milling, and tuber handling and rasping processes for sugar-base ethanol.

Thereafter, the flows of materials, services and energies are traced back through infinite transactions within the economy, and GHG emissions embedded in the flows are quantified by Energy Intensity and Emission Factor calculated from IOA task presented in

the next session.

2.3 IOA

To quantify the unreachable sub-processes, energy intensities and GHG emission factors of various final consumptions in the economy evaluated by IOA were applied. Combining the energy content or embedded GHG emissions in materials and services by IOA could enhance the FENCE accounting up to infinite process.

IOA is an economic approach, introduced by Wassily Loentief [15], related to monetary input and output transactions among economic sectors within an economy. The framework in Fig.7 shows that to produce the output, an economic sector required various inputs, including products and services, from other economic sector and from its own economic sector.

The total output of an economic sector (X_j) is written in following equation.

$$X_j = x_{11} + x_{12} + \dots + x_{ij} + Y_j$$

$$X_j = \sum_{i=1}^n x_{ij} + Y_j$$

Where a_{ij} is input requirement of j sector from i sector. Y_{ij} is the final consumption in j product.

to from	004	055	062	084	093	135	137	139	...	201
004	$a_{004,004}$	$a_{004,055}$	.	.	.	.	.	.	.	$a_{004,201}$
055	$a_{055,004}$	.	.	.	.	.	.	.	.	$a_{055,201}$
062	$a_{062,004}$	.	.	.	.	.	.	.	.	$a_{062,201}$
084	$a_{084,004}$	.	.	.	.	.	.	.	.	$a_{084,201}$
093	$a_{093,004}$	.	.	.	.	.	.	.	.	$a_{093,201}$
135	$a_{135,004}$	.	.	.	.	.	.	.	.	$a_{135,201}$
137	$a_{137,004}$	.	.	.	.	.	.	.	.	$a_{137,201}$
139	$a_{139,004}$	.	.	.	.	.	.	.	.	$a_{139,201}$
.	$a_{i,004}$	.	.	.	.	.	.	.	a_{ij}	$a_{i,201}$
201	$a_{201,004}$	.	.	.	.	.	.	.	.	$a_{201,201}$

Figure 7: Input-Output Framework

When $a_{ij} = x_{ij} / X_j$. For the whole economy, expression in matrix is;

$$X = [I - A]^{-1} Y$$

Taken into account the import effect [16], the total output from the economy could be derived from final consumption i.e.

$$X = [I - A - M]^{-1} Y$$

To evaluate total energy demand, the above I-O model is applied to final energy demand i.e.

$$EI = F \cdot [I - A - M]^{-1} Y$$

Primary energy and GHG emissions from a type of material or service were represented by Energy Intensity (EI) and Emission Factor (EF) of its represented economic sector. And to estimate the emission as a consequent from energy consumption in economy;

EF = emission factor. EI

However, the GHG emission should be account on every single step of apparent fuel combustion the element of **F** matrix should be adjusted by the methodology introduced by Lenzen [16]. The Input-Output (I-O) models used in this study are similar to out previous study in [16], but new calculations were made due to more updated data.

Additional improved method was made to update energy supply structure in the power sector, which is significant in embedded energy consumption throughout the economy. The methodology was described in ref.[17] 2000 I-O table [18] was used to represent the economic structure and 1998 sectoral energy consumption was used to represent individual energy consumption [19]. 1998 Electric Power in Thailand [20] and 2005 Electric Power in Thailand [21] was referred for updating fuel mix in the power sector.

Integration of EI or EF from IOA will help the process chain expand the boundary infinitely throughout the whole economy transaction. Not only material inputs, but services are also taken into account.

The economic sectors that relevant to this study are presented in Table IV.

GHG's considered are CO₂, CH₄ and N₂O. To levelized CO₂ equivalent, global warming potentials (GWP's) from The Third Assessment Report (2001) of IPCC [22] were used i.e. 1, 23, and 296, respectively. The GHG emissions were evaluated by applying calculation in energy sector in the revised 1996 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) guidelines for national GHG inventories [23] [24] [25] to apparent energy consumption in 180 economic sectors. Data used for energy-IOA are 2000 Input-Output Table, and the 1998 Energy I-O Table. In order to avoid double counting in energy aggregation in IOA, only primary energies were accounted. Imported final energies were

included. EF of every economic sector was evaluated from final energies that were combusted in every stage in the economy.

GHG emission factors and primary fossil energy Intensities, derived from IOA, of ethanol fuel related commodities are presented in Fig.8. EI and EF of 180 economic sectors of which individually represents average energy and GHG emissions embedded in product or service provided by the sector that were updated to year 2005 electricity fuel mix have been found. Using these factors to combine to PCA is recommended to upstream processes those embedded GHG emissions or primary energy content could be represented by their average value in individual sector with no significant error.

Table IV: Inputs vs. Economic Sector

Inputs	Equivalent Economic Sector
Salary	201 Household
Cassava root	004 Cassava
Cassava chips	050 tapioca milling
Alpha Amalase	
Amyloglucosidase	
Molasse	055 Sugar
Calcium chloride	084 Basic Industrial Chemicals
Premium Gasoline, E10, E20, and other petroleum products	093 Petroleum Refinery
Electricity	135 Electricity
Process water	137 Water Supply System
Construction of Ethanol Plant	139 Non-Residential Building Construction
Ethanol	062 Distilling Blending Spirits

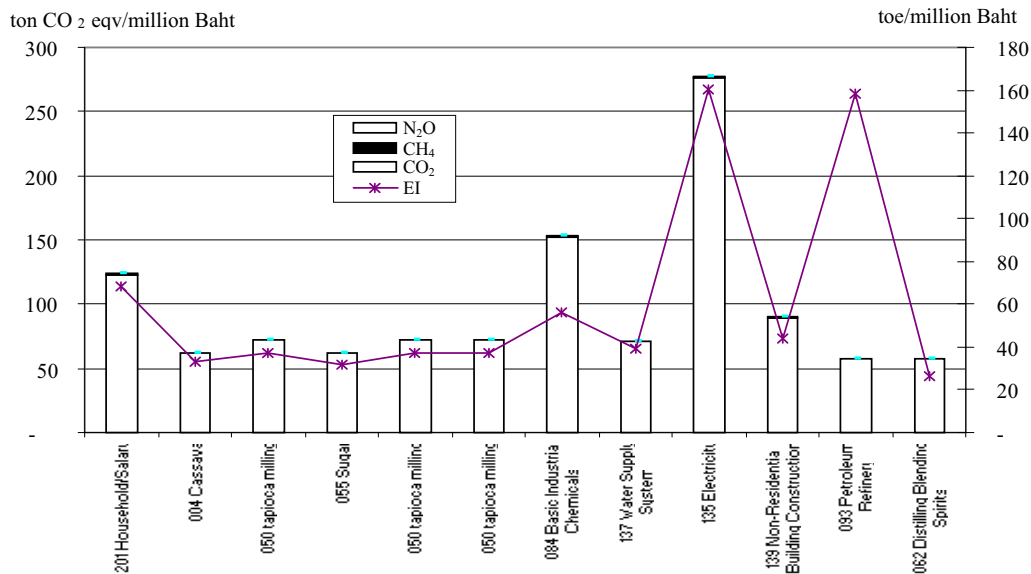


Figure 8: GHG Emission Factors & Primary Fossil Energy of Ethanol Fuel Related Commodities

3. RESULTS & DISCUSSIONS

3.1 Primary Fossil Energy & GHG Emissions in Fuel Components: Volume Basis

Total primary fossil energy and GHG Emissions embedded in the fuel components i.e., gasoline, ethanol, and MTBE are presented in Fig.9 and Fig.10. For ethanol, the embedded total primary fossil energy and GHG emissions are evaluated from IOA method and PCA-IOA. The IOA estimations show that the total primary energy embedded in ethanol is 263 toe/million liter. The combined PCA and IOA (PCA-IOA) presents the total primary fossil energy content in dehydrated cassava ethanol in infinite processes is 397 toe/million liter. The PCA-IOA shows higher values in CO₂, CH₄, and N₂O emissions than the IOA results. Fig.10 shows that embedded GHG in ethanol and MTBE are higher than gasoline.

Gasoline possesses GHG emissions for 569 ton CO_{2eqv}/million liter (or = g CO_{2eqv}/liter). Average GHG content of ethanol produced from its own economic sector, averagely from IOA, is 580 g CO_{2eqv}/liter. It is smaller than values from PCA-IOA since I-O structure used is of the year 2000, where produced conventional alcohol (not for fuel purpose). Result from PCA-IOA is better representing the new economy that produce dehydrate ethanol for fuel purpose.

Since MTBE is produced from the petroleum products, its GHG content is as high as 861 g CO_{2eqv}/liter.

Energy ratio is a term of available energy that could be provided for fuel in an engine per its total primary fossil energy content. The ratio of fossil fuel which is normally degraded due to its upstream energy requirement is less than 1. Sustainable energy source has the ratio at least 1. Fig.9 presents that the ethanol is renewable in both IOA and PCA-IOA results.

The share of the primary fossil energy carriers and share of GHG carriers are shown by Fig.11 and Fig.12, respectively.

3.2 Primary Fossil Energy & GHG Emissions from Driving a Passenger Car: Well-to-Wheel Basis

Fig.13 presents embedded primary fossil energy incurred by driving a passenger car fuelled with CPG, E10, and E20. Due to the assumption of linear relation between heating value and fuel economy, the available heating values by traveling distance basis are the same figures. The embedded primary fossil energy from driving E10 vehicle is about 4.5% higher than the CPG, while driving the E20 vehicle is 0.36% less.

Primary Fossil Energy Contents of a Passenger Car Traveling on equal Distance RE showed in Fig.12 On the same traveling distance basis, available heating contents of CPG, E10, and E20 are the same, but their embedded primary energy content is different. Renewable degree of E10 is lower than CPG, but E20 case presents that the more ethanol content, the more renewable degree.

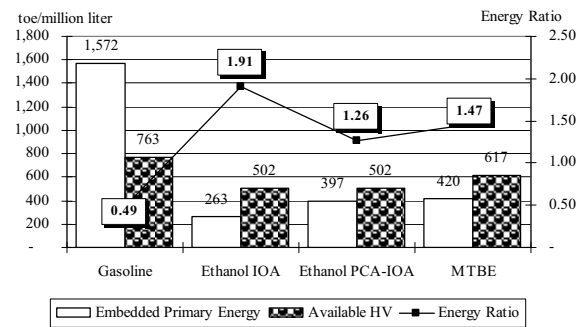


Figure 9: Primary Fossil Energy Contents in Fuel Components by Volume

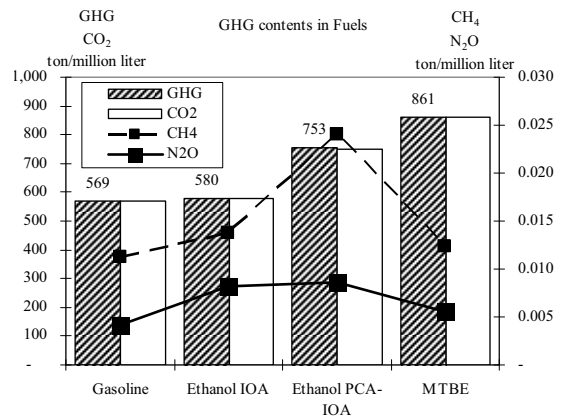


Figure 10: GHG's Contents in Fuel Components by Volume

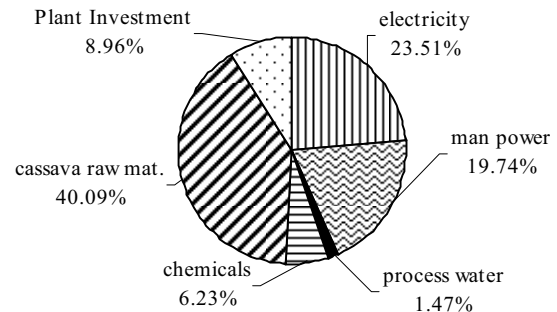


Figure 11: Embedded Primary Fossil Energy in Dehydrated Cassava Ethanol

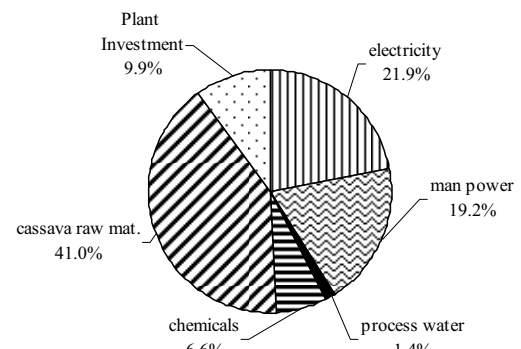


Figure 12: Embedded GHG Emissions in Dehydrated Cassava Ethanol

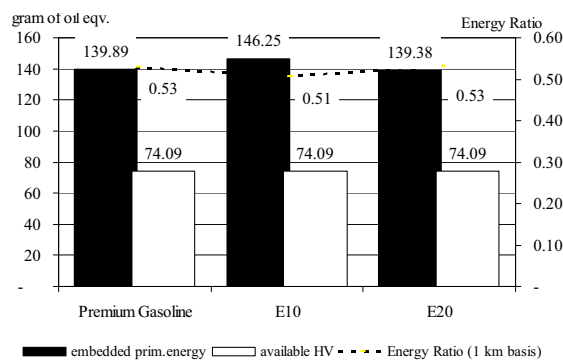


Figure 13: Primary Fossil Energy Contents of a Passenger Car Consuming Different Fuels Traveling on equal Distance

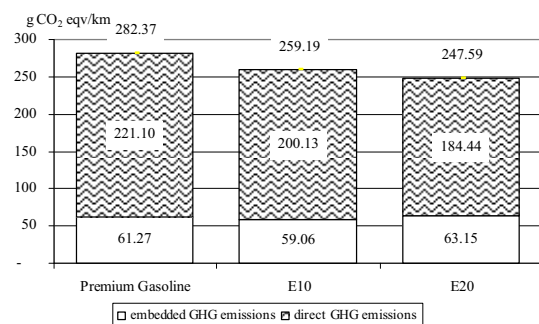


Figure 14: Total GHG Emissions of a Passenger Car Consuming Different Fuels Traveling on equal Distance

Fig.14 shows that driving a passenger fuelled with ethanol contributes to GHG emissions reduction. Although the embedded GHG emissions in E10 or E20 are higher than the CPG, the less direct emissions make less in the total emissions.

6. CONCLUSION

The fuel switching from CPG to ethanol fuel of passenger car is worth to the GHG emissions reduction. In terms of saving the country primary fossil energy, E10 would yield higher primary fossil energy demand. Increasing the ethanol content in ethanol fuel could be positive to both energy saving and also the GHG emission reduction. The ethanol policy is not only meaningful to the country energy saving and GHG emissions reduction, but also beneficial to the deficit in import payments due to reduction in imported MTBE. This monetary value would turn to the more income of local agricultural sector.

ACKNOWLEDGEMENTS

This research is a part of research titled “Full Energy-Chains Analysis on Biofuel Utilizations in Thailand” which is financially supported by the Commission on Higher Education, Ministry of Education and the Thailand Research Fund (TRF), contract no. MRG4980166.

REFERENCES

- [1] Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE), 2006 Energy Report, www.dede.go.th 1/2/2008 (2008)
- [2] Office of Environmental Policy and Planning (OEPP), Thailand's Initial National Communication under the United Nations Framework Convention on Climate Change. Ministry of Science, Technology and Environment. Bangkok, Thailand. (2000) 100 p.
- [3] Energy Planning and Policy Office (2008), Ministry of Energy prepares to stop Gasoline 95 www.thaienergynews.com, 1/2/2008 (in Thai)
- [4] PE-consulting-group Biofuels – Salvation or Interim Solution?, <http://www.pe-consulting-group.com/377.html>, retrieved on 9/21/2006
- [5] Environment Australia, A Literature Review Based Assessment on the Impacts of a 20% Ethanol Gasoline Fuel Blended on the Australian Vehicle Fleet, reported by Orbital Engine Company (2002).
- [6] Suksuntornsiri, P., Tia, W., and Limmeechokchai, B., Economy-Wide Impacts of Policy on Bio-fuel Utilisation in Thailand: An Input-Output Analysis, Proceeding from the World Renewable Energy Congress IX and Exhibition (WREC/WREN), 19-25 Aug. 2006, Florence, Italy (2006).
- [7] Taylor & Francis Group, LCC, Alcoholic Fuels (2006).
- [8] Methanol Institute, Fuel Properties, www.methanol.org/pdf/FuelProperties.pdf, 7/5/2004 (2004)
- [9] METHYL t-BUTYL ETHER, CAS Registry Number: 1634-04-4
- [10] Internal Combustion Engine (ICE) Air Toxic Emissions;Final Report, Hector Maldonado Research Division California Air Resources Board, 0302-VE-ARBLIT-02 University of California, Riverside, CE-CERT
- [11] Minter, S., Alcoholic Fuels, CRC Press (2006) pp.126
- [12] Tia, S., Loha, W., and Supanich, B., Documentation for Cassava Fuel Ethanol Factory Permission: Final Report, (2005) (in Thai)
- [13] Sriroth, K. et al, Usage of Chemical and Fermented Fertilizers in Cassava Plantation, (2005) p.35 (in Thai)
- [14] National Economic and Social Development Board (NESDB), 2000 Input-Output Table, available online www.nesdb.go.th (access on October 2006)
- [15] Loontjens, Wassily, *Input-Output Economic*, 2nd Edition. Oxford University Press, United States (1986)
- [16] Lenzen, M., A guide for compiling inventories in hybrid life-cycle assessments: some Australian results, *Journal of Cleaner Production*, **10**, (2002) pp.545-572.
- [17] Suksuntornsiri, P. and Limmeechokchai, B., Evaluations of Total Energy Content and Total Greenhouse Gas Emission Factor by Using of Thailand Input-Output Table, Proceeding from the 21th Mechanical Engineering Network, Pattaya, Thailand October 2007 (in Thai) (2007).
- [18] National Economic and Social Development Board (NESDB). 2000 Input-output tables of Thailand.

- Available online: <http://www.nesdb.go.th>, 21/09/2005. (2005)
- [19] National Economic and Social Development Board (NESDB), 1998 Energy input-output tables. Personal communications. (2005)
 - [20] Department of Energy Development and Efficiency (DEDE) 2006 Thailand Electric Energy Report <http://www.dede.go.th> (accessed on May 2006).
 - [21] Energy Policy and Planning Office (EPPO), 2006. Energy Report <http://www.eppo.go.th> (accessed on May 2006).
 - [22] The Intergovernmental Panel on Climate Change, CLIMATECHANGE 2001: THE SCIENTIFIC BASIS, Cambridge University Press, USA.,2001
 - [23] Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001a. "Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Reporting instruction (Volume 1)", <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>, (access on 3/11/2001)
 - [24] Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001b. "Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Workbook (Volume 2)", <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>, (access on 3/11/2001)
 - [25] Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001c. "Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Reference Manual (Volume 3)", <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>, (access on 3/11/2001)

Total Energy Content and Total Greenhouse Gas Emission Factors: The Updated Thailand Input-Output Table

Pawinee Suksuntornsiri^{1*}, Bundit Limmeechokchai²

¹ Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Burapha University,
Chon Buri, 20131, Thailand

Tel: 038 745 900 ext.3387, 3385 press 108 Fax: 038 745 806, *E-mail: pawinee@buu.ac.th

² Sirindhorn International Institute of Technology, Thammasat University, Thailand
Email: bundit@siit.tu.ac.th

Abstract

Any decision making on minimum energy content and minimum GHG emissions among different commodities is required to be made under a full energy chain terms. The total energy content and total greenhouse gas (GHG) emission factor evaluated from the energy Input-Output Analysis (IOA) approach would be useful to fill the gap of limitation on boundary as normally found in the Process Chain Analysis (PCA) approach. This study presents factors of the total values of embedded energy and embedded greenhouse gas (GHG) that required and emitted from utilization of any commodities produced by 180 Thai economic sectors. The argument on disadvantage of outdated IOA data was improved by updating sectoral energy consumption elements in the power sector which is found significant to all other sectors in the economy. The most up-to-date data, i.e. the 2000 Input-Output (I-O) table was used to represent the economic structure, and the 1998 sectoral energy consumption was used to represent individual energy consumption. Thai electric power report was referred for updating the 1998 fuel mix in the power sector to represent the 2000 and the 2005 ones. Influence of fuel mix change in the power sector is found significant to the total energy content and total GHG emission factors. The total energy content and the GHG emission factors under the 2005 electricity-fuel mix are presented.

Keywords: Input-Output Analysis, Life Cycle Analysis, Full Energy Chain Analysis, GHG Emission Factor, Energy Intensity

1. Introduction

Selecting among different products for a target of minimum energy content and minimum GHG emissions requires a full energy chain analysis (FENCH) or a life cycle analysis (LCA) that includes overall sub processes. [1] While LCA from an approach called a process chain analysis (PCA) generally confronts limitation on boundary scope, an Input-Output Analysis (IOA) gives an average values those basically evaluated from historical

data.[2] The combined PCA and IOA approach could reduce boundary truncations, but disadvantages by the IOA approach in the outer boundary layer stills persist. To do the combined PCA and IOA, the factors of total energy content and total GHG emissions firstly evaluated by an energy IOA approach.

The drawback of average results could be reduced by analyzing the IOA under high disaggregated economic sector. This study presents factors of total values of embedded energy and embedded greenhouse gas (GHG) that required and emitted from utilization of any commodities produced by 180 Thai economic sectors by filling up the gap of PCA boundary by Energy IOA technique. The disadvantage of outdated IOA data was suggested to be improved by updating sectoral energy consumption elements in high energy consuming sectors in an economy.

Similar evaluation used to be presented in [3] but the results are now outdated since the economic structure and energy consumption structure are changed and the recent (year 2000) I-O table and energy I-O table (year 1998) have been issued. Another work was done by using the most recent I-O and energy I-O data [4], but the factors do not updated since the current fuel mix in Thai power sector in the year 2000 was different from 1998, and the fuel mix in year 2005 was substantially changed from the energy I-O year (1998). Updating energy consumption mix in the power sector is presented in this study due to its significance to other sectors in the economy.[3] Results from this study could be used as factors of energy intensity and GHG emissions in year 2000 and 2005.

2. Methodology

Sectoral energy consumption vector, f_{kj} , is an amount of energy type k directly consumed in sector j per total monetary output of sector j (TJ/million Baht);

$$f_{kj} = \frac{F_{kj}}{X_j} \quad (1)$$

where F_{kj} is the energy type k required as an input for sector j in a common energy unit, and X_j is the total output of sector j (in monetary unit).

When j is the power sector, fuel type k consumed by the power sector in year n ;

$$F_{kj} = \frac{\text{Electricity output}}{\eta_{k,avg}} \quad (2)$$

$$F_{kj,n} = \frac{G_{k,n} \cdot (CF)}{\eta_{k,avg,n}}$$

where $G_{k,n}$ is a portion of electricity generation by fuel type k (GWh), the conversion factor, CF , is aimed to convert the GWh into the common energy unit as defined in any $F_{kj,n}$, and $\eta_{k,avg,n}$ is the average country electricity generation efficiency by k fuel in year n (GWh);

$$G_{k,n} = SH_{k,n} \cdot G_{total,n} \quad (3)$$

where $SH_{k,n}$ is the percentage of share of electricity generation by fuel type k per total electricity generation in year n , and $G_{total,n}$ = Total electricity generation in year n (GWh). Substitution of eq.(3) in eq.(2) yields,

$$F_{kj,n} = \frac{SH_{k,n} \cdot G_{total,n} \cdot (CF)}{\eta_{k,avg,n}} \quad (4)$$

The total output of the power sector (million Baht) in year n ;

$$X_{j,n} = S_n \cdot P_n \quad (5)$$

where P_n is the electricity price in year n (Baht/kWh), and S_n is the total electricity sale in year n . By substitutions of eq.(4) and eq. (5) in eq.(1),

$$f_{kj,n} = \frac{SH_{k,n} \cdot G_{total,n} \cdot (CF)}{\eta_{k,avg,n} \cdot S_n \cdot P_n} \quad (6)$$

Since, total electricity sale in year n ;

$$S_n = G_{total,n} \cdot \eta_{gen,n} \cdot (1 - TD_{l,n}) \cdot (1 - U_n)$$

where $\eta_{gen,n}$ is the total country electricity generation efficiency, $T \& D_{loss,n}$ is the percentage of electricity transmission and distribution loss, and U_n is the percentage of self-used electricity in the power sector in year n . Then

$$G_{total,n} = \frac{S_n}{\eta_{gen,n} \cdot (1 - TD_{l,n}) \cdot (1 - U_n)} \quad (7)$$

By substitution of eq.(7) into eq.(6),

$$f_{kj,n} = \frac{SH_{k,n} \cdot (CF)}{\eta_{k,avg,n} \cdot P_n \cdot \eta_{gen,n} \cdot (1 - TD_{l,n}) \cdot (1 - U_n)} \quad (8)$$

Then the fuel mix updating factor ($M_{f,k}$) is

$$\frac{f_{kj,n}}{f_{kj,b}} = \frac{\frac{SH_{k,n}}{SH_{k,b}}}{\frac{\eta_{k,avg,n}}{\eta_{k,avg,b}} \cdot \frac{P_n}{P_b} \cdot \frac{\eta_{gen,n}}{\eta_{gen,b}} \cdot \frac{1 - TD_{l,n}}{1 - TD_{l,b}} \cdot \frac{1 - U_n}{1 - U_b}} \quad (9)$$

Each sectoral energy consumption elements of each type of fuel k consumed in the power sector in the base year (subscripted b) could now be updated to represent as the f_{kj} in year n by multiplying f_{kj} in the base year with the factor $M_{f,k}$. After updating each f_{kj} elements in the **F** matrix, computing the sectoral energy intensity matrix, **EI** and the sectoral GHG emission factors, **EF**, (see ref.[4]) the results could now represent the factors of year n . The CO₂, CH₄, and N₂O were evaluated by following the method in [8], [9], and [10] and the GHG are evaluated by the GWP from [7].

3. Data and Assumptions

2000 Input-output table was used to represent the economic structure [4] and 1998 sectoral energy consumption was used to represent individual energy consumption [5]. 1998 Electric Power in Thailand [6] and 2005 Electric Power in Thailand [7] was referred for updating fuel mix in the power sector in section 4. The IPCC Third Assessment Report (2001) was applied for Global Warming Potential (GWP) where the GWP of CO₂, CH₄, and N₂O are 1, 23, and 296, respectively. [7] Updating the imported energy is not considered in this study.

Table 1 and Table 2 presents the factors required for eq.(9) based on the year 1998, the base year data and year 2000 are derived from the report of Electric Power in Thailand 2000 [6] and those of the year 2005 are derived from the report Electric Power in Thailand 2005 [7].

Table 1. Electricity price, overall generation efficiency, T&D and self use factors

	$P^{4,5}$	η_{gen}	$1 - TD_l^{4,5}$	$1 - U^{4,5}$
1998	2.178	37.16%	0.91	0.96
2000	2-270	37.76%	0.92	0.97
2005	2.716	39.47%	0.92	0.97

Table 2. Electricity generation shares and generation efficiency by fuel types

η	$\eta_{k, avg}$			SH_k		
Fuel type\year	1998	2000	2005	1998	2000	2005
hydro	5.96%	7.02%	4.89%	Na.	Na.	Na.
fuel oil	20.28%	11.45%	6.96%	37.35%	36.90%	37.39%
diesel oil	1.19%	0.14%	0.35%	32.59%	30.15%	49.31%
coal& lignite	18.97%	18.47%	15.47%	36.84%	38.62%	40.06%
natural gas	53.61%	62.92%	72.33%	37.32%	37.32%	39.52%
others	0.00%	0.00%	0.00%	Na.	Na.	Na.

Using the factors of electricity price, generation efficiency, transmission and distribution and own usage in the power sector (shown in Table 3.), share of electricity generation by fuel type, and generation efficiency, shown in Table 4. in eq.(9) the updating factors, the fuel mix updating factor (M_f) for the year 2000 and 2005 were found in the last column in Table 4.

Table 3. Updating factors of electricity price, generation efficiency, transmission and distribution and own usage in the power sector

$\frac{\eta_{From base}}{\eta_{year^{(1998) to}}}$	P_n	$1-TD_{In}$	$1-U_n$
	P_b	$1-TD_{Ib}$	$1-U_b$
2000	1.04	1.02	1.01
2005	1.25	1.06	1.01

Table 4. Share of electricity generation by fuel type, generation efficiency, and updating factors Fuel mix updating factor (M_f)

Fuel type	$\frac{SH_{k,n}}{SH_{k,b}}$		$\frac{\eta_{k,avg,n}}{\eta_{k,avg,b}}$		M_f, k	
	2000	2005	2000	2005	2000	2005
from base year (1998) to						
hydro	1.18	0.82	1.00	1.00	1.10	0.61
fuel oil	0.56	0.34	0.99	1.00	0.53	0.26
diesel oil	0.12	0.29	0.93	1.51	0.12	0.14
Coal & lignite	0.97	0.82	1.05	1.09	0.87	0.56
natural gas	1.17	1.35	1.01	1.06	1.08	0.95
others	1.01	0.73	1.00	1.00	0.94	0.55

The updating factors of fuel share in the power sector in the Table 3 implies that the share of natural gas had been increasing, while the share of others fuels had been decreasing in the studied periods. From 1998 to 2000, fuel conversion efficiency of coal & lignite and natural gas had increased. Fuel conversion efficiencies

from 1998 to 2005 of most fuel sources had been improved. The electricity price in 2005 had been increased by 25% from 1998. The factors of loss in transmission and distribution, self electricity usage are shown, more or less, better. The multiplying factors of most fuels are less than 1.00, except the one of natural gas in 2000.

Although the share of natural gas is higher, due to the higher increasing rate of electricity price made the multiplying factor of natural gas is not far from 1.00.

5. Results

After updating the fuel mix factors in the power sector, deviation in sectoral energy content and greenhouse gases emission factor of 2000 and 2005 from ones of the year 1998 are presented in Table 5. Updating the 1998 fuel mix in the power sector to the one of the year 2000 and the year 2005 reveals the averages of 1.82 %, and 5.84%, respectively, lower in energy intensity in the economic sectors. Averages of 5.12 % and 14.66 % lower in GHG emission factors are found in the year 2000 and 2005, respectively,

Energy intensity and GHG emission factors of some significant sectors in the year 2005 are shown in Figure1 and Figure 2 in terms of their direct and full energy chain values. The sectors those require the highest direct energy input are the pipeline sector, the electricity, and the petroleum refineries, respectively, which are significant energy sectors. They also contain the highest energy content in terms of their full energy chain analysis. Among these sectors, total GHG emissions in the electricity sector is highest, but in the others are not high. The reason is GHG emitted largely from the combustion process which is normally incurred directly in the electricity generation process. Although high energy content is embedded in the natural gas and petroleum product, there is no direct combustion activity in the pipeline and the petroleum refinery processes.

In selected significant energy consuming sectors, such as the tin ore, the ice, iron and steel, and wage & salary (household) sectors, the direct primary energy consumption is small, but large amount of indirect primary energy embedded in their inputs, particularly via the high energy content inputs.

The cement, railways, ocean transport, basic industrial chemicals, iron & steel, ice, tin ore, and household sectors are also the highest GHG emitting sectors. Some of them, such as the cement, transport, basic industrial chemical sectors, highly emit GHG directly in their combustion processes. Some others, such as iron & steel, ice, and household sectors indirectly largely emit GHG by consuming the high GHG content product in their processes.

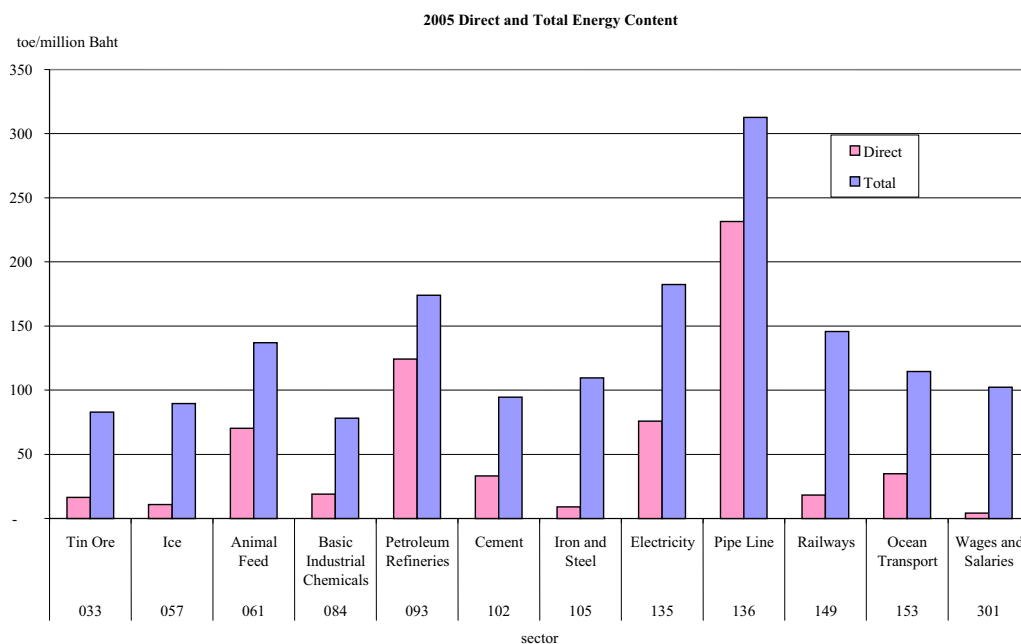


Figure 1. Energy intensity of some significant sectors in the year 2005

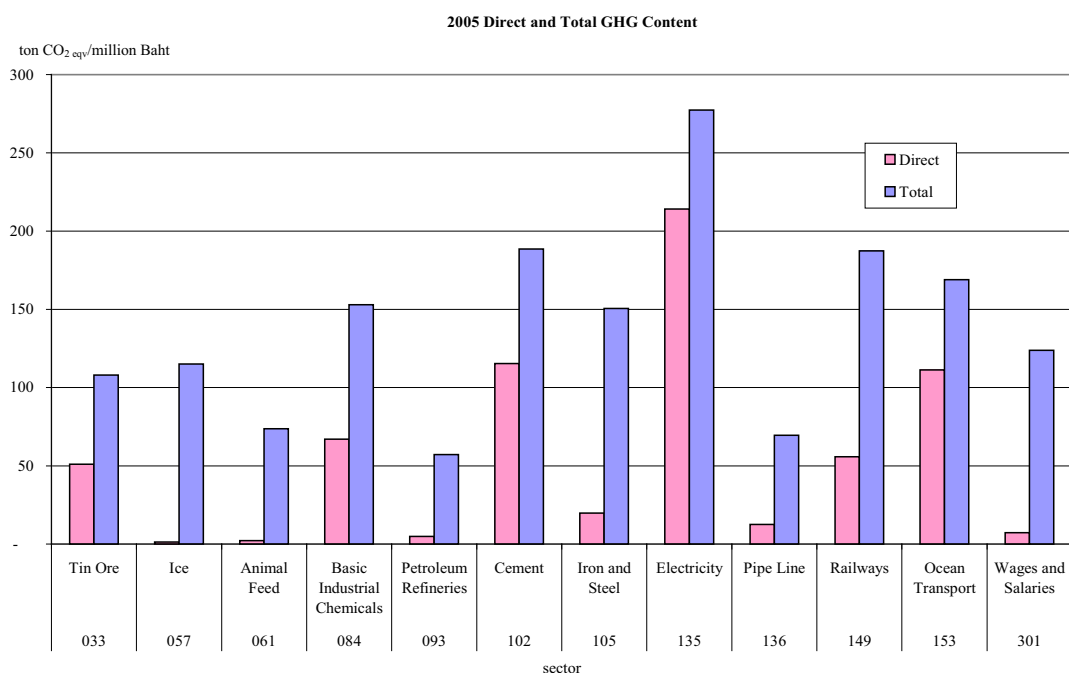


Figure 2. GHG emission factors of some significant sectors in the year 2005

In this study, there is only a direct change in fuel consumption mix in the electricity generation, and yield reduction in direct energy content by 32.5 toe/million Baht, direct CO₂ reduction by 115.85 ton/million Baht, CH₄ reduction by 0.0015 ton/million Baht, and N₂O reduction by 0.0005 ton/million Baht. The direct GHG emission could be reduced by 116.03 ton/million Baht. (shown in first row in Table 5)

In terms of full energy chain analysis, the change of fuel mix for electricity generation does not only impact the energy content and GHG emissions in the electricity product itself, but also indirectly impact to other sector those are producers of various product and services in the economy. In the electricity product itself, the total energy content of was reduced by 36.19 toe/million Baht, the total CO₂ reduced by 128.99 ton/million Baht, the total CH₄ reduced by 0.0033 ton/million Baht, the total N₂O

reduced by 0.0011 ton/million Baht, and the total GHG emission could be reduced by 129.83 ton/million Baht. (shown in the third row in Table 5)

Table 5. Changing EI and GHG emission factors

Unit: ton /million
Baht*Unit: toe/million Baht

Increase values	EI*	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG
Direct					
Electricity	(32.50)	(115.85)	(0.0015)	(0.0005)	(116.03)
Other sectors	0	0	0	0	0
Total					
Electricity	(36.19)	(128.99)	(0.0033)	(0.0011)	(129.38)
Pipeline	(2.07)	(7.37)	(0.0001)	(0.0000)	(7.38)
Petroleum Refinery	(1.98)	(7.06)	(0.0001)	(0.0000)	(7.07)
Ice	(11.93)	(42.51)	(0.0005)	(0.0002)	(42.58)
Animal Feed	(3.28)	(11.68)	(0.0002)	(0.0000)	(11.69)
Household	(6.90)	(24.61)	(0.0003)	(0.0001)	(24.65)

Table 6. presents the percentage of change in the energy intensity (EI) and GHG's averagely, maximum, minimum, and in some significant sectors. Impact of fuel mix change in electricity generation as defined in this study causes 1.82 % reduction in EI, and 5.12 % reduction in GHG emission factor. Large different The maximum and the minimum values. The level of the indirect impact of change in the electricity generation to any other sector depends on the level of electricity demand within the production process of that sector. The level of the impact from a fuel structural change in a sector in the economy depends on the portion of electricity required as its input.

Table 6. Increasing in sectoral energy content and greenhouse gases emission factor by updating the 1998 fuel mix

	year 2000					Year 2005				
	EI*2000ud	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG2000ud	EI*2005ud	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	GHG2005ud
average	-1.82%	-5.14%	3.90%	-1.46%	-5.12%	-5.84%	-14.71%	-7.61%	-4.79%	-14.66%
max	-0.21%	-1.89%	4.91%	-0.14%	-1.89%	-0.66%	-5.41%	-3.90%	-0.45%	-5.41%
min	-5.18%	-11.14%	2.00%	-9.24%	-11.10%	-16.56%	-31.86%	-9.58%	-30.40%	-31.81%
Tin Ore	-1.24%	-3.66%	3.55%	-0.14%	-3.56%	-3.98%	-10.46%	-6.94%	-0.45%	-10.19%
Ice	-3.68%	-9.46%	4.71%	-4.38%	-9.43%	-11.75%	-27.05%	-9.20%	-14.42%	-27.01%
Animal Feed	-0.73%	-4.80%	3.75%	-1.75%	-4.78%	-2.34%	-13.72%	-7.32%	-5.76%	-13.69%
Basic Industrial Chemicals	-1.39%	-2.73%	2.81%	-1.26%	-2.72%	-4.44%	-7.81%	-5.48%	-4.13%	-7.80%
Petroleum Refineries	-0.35%	-3.84%	3.80%	-1.94%	-3.84%	-1.13%	-11.00%	-7.42%	-6.37%	-10.99%
Cement	-1.94%	-3.71%	3.69%	-1.34%	-3.70%	-6.20%	-10.60%	-7.20%	-4.41%	-10.58%
Iron and Steel	-2.52%	-6.50%	3.63%	-1.22%	-6.47%	-8.05%	-18.60%	-7.09%	-4.03%	-18.51%
Electricity	-5.18%	-11.14%	4.91%	-9.24%	-11.10%	-16.56%	-31.86%	-9.58%	-30.40%	-31.81%
Pipe Line	-0.21%	-3.36%	2.00%	-1.84%	-3.35%	-0.66%	-9.61%	-3.90%	-6.07%	-9.60%
Railways	-1.47%	-4.21%	4.13%	-1.60%	-4.20%	-4.69%	-12.05%	-8.07%	-5.25%	-12.03%
Ocean Transport	-0.75%	-1.97%	4.08%	-1.52%	-1.96%	-2.40%	-5.62%	-7.96%	-5.00%	-5.62%
Wages&Salaries	-1.98%	-5.82%	4.22%	-1.82%	-5.80%	-6.32%	-16.64%	-8.24%	-5.97%	-16.60%

5. Conclusion

The sector that has the highest energy content and GHG emission factors is the electricity sector. Therefore, in some sectors that require a large amount of electricity as their input, they indirectly contains high energy content and high GHG emission factor. Consuming the petroleum products implies an intake of high energy content. Although these sectors are not the highest GHG emitters, but the other sectors consuming their products for combustion in their process will be embedded by high energy amount and GHG emissions. Products and services produced from Thai economy, some of them directly emit GHG in their combustion processes, the others indirectly emit GHG by

consuming the high GHG content product or services. A sector that consumes a high GHG content product or a high energy content would consequently makes itself a rather high total energy content or high total GHG emission factor. Fuel structure in Thai power sector annually is changed, and significant to assessment of the total energy content and GHG emission factors.

Acknowledgments

This research is a part of research titled "Full Energy-Chains Analysis on Biofuel Utilizations in Thailand" which is financially supported by the Commission on Higher Education, Ministry of Education and the Thailand Research Fund (TRF), contract no. MRG4980166.

References

I

- [1] International Atomic Energy Agency (IAEA) 1996, Comparison of energy sources in terms of their full-energy-chain emission factors of greenhouse gases, a summary of the Proceedings of an IAEA Advisory Group meeting /Workshop in Beijing, China, 4-7 October 1994, pp. 7-10.
- [2] Suksuntornsiri, P. and Limmeechokchai, B.,2005. The PCA and IOA approaches for life cycle analysis of greenhouse gas emissions from Thai commodities and energy consumption, *Sonklanakarin J. Sci. Technol.*, 27(1), 177-189.
- [3] Limmeechokchai, B. and Suksuntornsiri, P., 2007. Embedded energy and total greenhouse gas emissions in final consumptions within Thailand, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11 (2007), 259-281.
- [4] Suksuntornsiri, P and Limmeechokchai, B., 2007. Evaluation of Embedded Energy and GHG emissions from full energy chain of goods and services in Thailand by Energy Input-Output Analysis Method. Thai LCA Workshop and Seminar 2007, Chiang Mai, Thailand, March 2007.
- [5] National Economic and Social Development Board (NESDB), (2006), 2000 Input-Output Table, available online www.nesdb.go.th access on October 2006.
- [4] National Economic and Social Development Board (NESDB) (2006), 1998 Energy Input-Output Table, personal communication, October 2006.
- [5] Department of Energy Development and Efficiency (DEDE) 2006 Thailand Electric Energy Report <http://www.dede.go.th> (accessed on May 2006).
- [6] Energy Policy and Planning Office (EPPO) 2006 Energy Report <http://www.eppo.go.th> (accessed on May 2006).
- [7] The Intergovernmental Panel on Climate Change, CLIMATECHANGE 2001: THE SCIENTIFIC BASIS, Cambridge University Press, USA.,2001
- [8] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001a). "Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Reporting instruction (Volume 1)", <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>, Access on 3/11/2001
- [9] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001b). "Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Workbook (Volume 2)", <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>, Access on 3/11/2001
- [10] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2001c). "Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories: Reference Manual (Volume 3)", <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp>, Access on 3/11/2001