ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี)

ปริญญา

วิศวกรรมเคมี	วิศวกรรมเคมี
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมและพลังงานของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต

Environmental and Energy Performance Comparison of Compressed and Liquefied Natural Gas using Life Cycle Assessment Technique

นามผู้วิจัย นางสาววีราภรณ์ คารมณ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์ไพศาล คงคาฉุยฉาย, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมและพลังงานของก๊าซธรรมชาติอัด และก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต

Environmental and Energy Performance Comparison of Compressed and Liquefied Natural Gas using Life Cycle Assessment Technique

โดย

นางสาววีราภรณ์ คารมณ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี)
พ.ศ. 2552

วีราภรณ์ คารมณ์ 2552: การเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมและพลังงานของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมเคมี) สาขาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ, Ph.D. 160 หน้า

งานวิจัยนี้ทำการประเมินและเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมและพลังงานของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว โดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตร่วมกับโปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro เวอร์ชั่น 7.0 และวิธี Eco-Indicator 95 กำหนดหน่วยการทำงาน คือ พลังงาน 1 เมกะจูลของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว ขอบเขตการวิจัยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติ ณ แหล่งผลิตก๊าซธรรมชาติ การแยกก๊าซ การเปลี่ยนสถานะจากก๊าซเป็นของเหลว การขนส่ง และการใช้งานสำหรับรถประจำทาง พบว่า ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Associated Gas มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด รองลงมาคือ ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศที่มีการขนส่งและใช้งานในลักษณะของก๊าซธรรมชาติเหลว ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Sales Gas ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศที่มีการขนส่งและใช้งานในลักษณะของก๊าซธรรมชาติอัด และก๊าซธรรมชาติอัดมีปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ขั้นตอนที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ได้แก่ ขั้นตอนการใช้งาน โดยรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ คือ การเกิดสภาวะความเป็นกรด และการเกิดสภาวะโลกร้อนจากการใช้เชื้อเพลิง เมื่อกำหนดหน่วยการทำงาน คือ การใช้ก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวในรถประจำทางเทียบเป็นผู้โดยสาร 1 คนเดินทางเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร (1 คน-กิโลเมตร) ตลอดวัฏจักรชีวิต พบว่า ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Associated Gas มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด รองลงมาคือ ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศที่มีการขนส่งและใช้งานในลักษณะของก๊าซธรรมชาติอัด ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศที่มีการขนส่งและใช้งานในลักษณะของก๊าซธรรมชาติเหลว ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Sales Gas และก๊าซธรรมชาติอัด รวมทั้งเมื่อทำการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมเฉพาะการเกิดสภาวะโลกร้อนตลอดวัฏจักรชีวิต พบว่า ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Sales Gas มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด เท่ากับ 4.31×10^{-2} kg CO_2–Eq ในขณะที่ก๊าซธรรมชาติอัดมีผลกระทบน้อยที่สุด คือ 3.84×10^{-2} kg CO_2–Eq ส่วนผลการศึกษาประสิทธิภาพเชิงพลังงาน พบว่า ก๊าซธรรมชาติอัดมีอัตราส่วนพลังงานสุทธิมากที่สุด โดยมีค่า 1.79 รองลงมา คือ ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Sales Gas ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศที่มีการขนส่งและใช้งานในลักษณะของก๊าซธรรมชาติเหลว ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศที่มีการขนส่งและใช้งานในลักษณะของก๊าซธรรมชาติอัด และก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Associated Gas ซึ่งมีค่าอัตราส่วนพลังงานสุทธิน้อยที่สุด คือ 1.02

_____ / ___ / ____

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Veraporn Karom 2009: Environmental and Energy Performance Comparison of Compressed and Liquefied Natural Gas using Life Cycle Assessment Technique. Master of Engineering (Chemical Engineering), Major Field: Chemical Engineering, Department of Chemical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Thumrongrut Mungcharoen, Ph.D. 160 pages.

This research is aimed to assess and compare environmental and energy impacts of compressed natural gas (CNG) and liquefied natural gas (LNG) using life cycle assessment technique, with SimaPro 7.0's software and Eco-Indicator 95 method. Functional Unit is specified as 1 MJ of CNG and LNG. System boundary is considered from exploration and production of natural gas from well, separation, liquefaction, distribution and usage. The results show that the highest environmental impact comes from LNG produced from associated gas, followed by LNG imported (LNG-IM to LNG), LNG produced from sales gas, and LNG imported (LNG-IM to CNG), respectively, while the lowest environmental impact comes from CNG. The main environmental impacts are acidification and global warming from the natural gas combustion during usage. With the functional unit of 1 person-kilometer for life cycle CNG and LNG, the results show that the highest environmental impact comes from LNG produced from associated gas, followed by LNG imported (LNG-IM to CNG), LNG imported (LNG-IM to LNG), and LNG produced from sales gas, respectively, while the lowest environmental impact comes from CNG. Concerning life cycle assessment with global warming impact only, the highest environmental impact which comes from LNG produced from sales gas is 4.31×10^{-2} kg CO_2–Eq, and the lowest environmental impact which comes from CNG is 3.84×10^{-2} kg CO_2–Eq. For energy efficiency study, CNG has the highest net energy ratio (NER), which is 1.79, followed by LNG produced from sales gas, LNG imported (LNG-IM to LNG), LNG imported (LNG-IM to CNG) and LNG produced from associated gas which has the lowest NER of 1.02

_____ _____ ___ / ___ / ____

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือและความกรุณาจากผู้มีพระคุณหลายท่าน ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ธำรงรัตน์ มุ่งเจริญ ประธานกรรมการ ที่กรุณาให้คำปรึกษา รวมทั้งคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยในครั้งนี้ รวมถึงการสละเวลาในการแก้ไขปัญหาต่างๆตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเรียบร้อยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัวที่ได้มอบความรัก ความเข้าใจ และเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าเสมอมา รวมทั้งขอบคุณความมานะพยายามและความอดทนของตัวข้าพเจ้า

ข้าพเจ้าขอขอบคุณพี่น้องและเพื่อนนิสิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ทุกท่านที่คอยเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุนอุดหนุนการค้นคว้าและวิจัยประเภทวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้ศูนย์ความเป็นเลิศด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมี และวัสดุขั้นสูง สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษาที่ได้มอบทุนในการศึกษาและวิจัย

ประโยชน์อันเนื่องมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้พึงมีเพียงใด ขอมอบแด่ครูบาอาจารย์และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องที่ไม่ได้เอ่ยนามทุกท่านทั้งในอดีตและปัจจุบันที่เมตตาอบรมสั่งสอนให้ข้าพเจ้าเป็นผู้มีความรู้ ความสามารถจนถึงปัจจุบัน

วีราภรณ์ คารมณ์

ธันวาคม 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	63
อุปกรณ์	63
วิธีการ	63
ผลและวิจารณ์	82
สรุปและข้อเสนอแนะ	136
สรุป	136
ข้อเสนอแนะ	138
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	140
ภาคผนวก	149
ภาคผนวก ก วิธีการคำนวณการปันส่วน	150
ภาคผนวก ข คุณสมบัติทั่วไปของก๊าซธรรมชาติและเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	152
ภาคผนวก ค ข้อมูลการระบายมลสารจากเรือขนส่ง LNG	154
ภาคผนวก ง ผลการทดสอบเครื่องยนต์ MY2001 CWI C Gas Plus	156
ภาคผนวก จ ผลการทดสอบเครื่องยนต์ Cummins L10-280G	158
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	160

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	เครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม	8
2	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมวิธีต่างๆ	23
3	รายละเอียดปริมาณการรับก๊าซตามสัญญาซื้อขาย	36
4	กำลังการผลิตและผลิตภัณฑ์ของโรงแยกก๊าซธรรมชาติหน่วยที่ 1-5	38
5	ระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติสายหลักของ ปตท.	41
6	รายละเอียดของเรือขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวของประเทศไทย	49
7	ข้อมูลด้านเทคนิคของเรือขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวของประเทศไทย	50
8	ปริมาณการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกของก๊าซธรรมชาติเหลว และ City Gas 13A ในปี 2003-2010	55
9	เปรียบเทียบปริมาณการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	57
10	เปรียบเทียบการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	58
11	การลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้ LNG cryogenic energy	58
12	การแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าของก๊าซธรรมชาติเหลว	60
13	บัญชีรายการการแพร่กระจายของมลสารและการใช้พลังงานของก๊าซธรรมชาติ Italian gas industry	61
14	บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของก๊าซธรรมชาติในประเทศญี่ปุ่น	62
15	แหล่งที่มาของข้อมูลในแต่ละขั้นตอนต่อวัฏจักรชีวิตของงานวิจัย	68
16	ตัวประกอบการเทียบหน่วย (Normalization Factor)	73
17	ตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting Factor)	74
18	แผนการดำเนินการวิจัย	81
19	องค์ประกอบโดยเฉลี่ยของก๊าซธรรมชาติที่ผลิตได้จากแหล่งก๊าซและถูกส่งไปยังโรงแยกก๊าซธรรมชาติ จ.ระยอง	84
20	องค์ประกอบโดยเฉลี่ยของก๊าซธรรมชาติที่ผลิตได้ออกจากโรงแยกก๊าซธรรมชาติและถูกส่งไปยังผู้ใช้ก๊าซธรรมชาติบนบก	88

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
21	องค์ประกอบของ Associated Gas	91
22	การขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวระหว่างประเทศโดยเรือมาจังหวัดระยอง	99
23	การแพร่กระจายของมลสารจากการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในรถประจำทาง MY 2001 Cummins Westport, Inc (CWI) C Gas Plus	101
24	การแพร่กระจายของมลสารจากการใช้ก๊าซธรรมชาติเหลวในรถประจำทาง Cummins L10-280G	102
25	กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสารบ่งชี้ในแต่ละกลุ่มผลกระทบตามวิธีการประเมิน Eco-Indicator 95	104
26	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติ (NG)	105
27	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas (LNG-SG)	108
28	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas (LNG-ASS)	111
29	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในช่วงการผลิตและขนส่งก๊าซธรรมชาติและก๊าซธรรมชาติเหลวไปถึงสถานีจ่ายก๊าซ	115
30	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว	121
31	ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวที่หน่วยการทำงาน 1 คน-กิโลเมตร	124
32	การเปรียบเทียบตัวประกอบการเทียบหน่วย (Normalization factor) ทั้ง 3 แบบ	128
33	การเปรียบเทียบขนาดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ใช้ตัวประกอบการเทียบหน่วยทั้ง 3 แบบ	128

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

34 การเปรียบเทียบตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting factor) ทั้ง 3 แบบ 128

35 การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ใช้ตัวประกอบการเทียบหน่วยทั้ง 3 แบบ 129

ตารางผนวกที่

ข1 คุณสมบัติทั่วไปของก๊าซธรรมชาติและเชื้อเพลิงอื่น 153

ค1 ข้อมูลการระบายมลสารจากเรือขนส่ง LNG ขณะทำการขนถ่าย LNG บริเวณท่าเรือของโครงการ 155

ง1 ผลการทดสอบการแพร่กระจายของมลสารต่างๆจากการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดกับรถประจำทางเครื่องยนต์ MY2001 CWI C Gas Plus 157

จ1 ผลการทดสอบการแพร่กระจายของมลสารต่างๆจากการใช้ก๊าซธรรมชาติเหลวกับรถประจำทางเครื่องยนต์ Cummins L10-280G 159

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กรอบการทำงานของ LCA จากอนุกรมมาตรฐาน ISO14040	14
2	ขั้นตอนและขอบเขตของ LCA	16
3	การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ	19
4	การหลีกเลี่ยงการปันส่วนโดยการแบ่งกระบวนย่อย	28
5	การปันส่วยโดยวิธีเชิงกายภาพ	29
6	การปันส่วนโดยวิธีเชิงเศรษฐศาสตร์	29
7	องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติ	33
8	กระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติ	40
9	แผนที่เครือข่ายระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติ	44
10	การประมาณอัตราการเติบโตด้านพลังงานปี 2000-2010	45
11	โรงงานผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว	46
12	ลักษณะของถังเก็บสำรองก๊าซธรรมชาติเหลว	47
13	เรือขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวประเภทมอส	48
14	เรือขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวประเภทเมมเบรน	48
15	ลักษณะถังเก็บก๊าซธรรมชาติเหลว	52
16	Typical Open rack vaporizers (ORVs)	53
17	ลักษณะของรถบรรทุกพ่วง (Semi-Trailer) ที่ใช้ในการขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลว	54
18	เปรียบเทียบปริมาณการแพร่กระจายก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	59
19	สภาวะโลกร้อนและสภาวะฝนกรดของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆของการผลิตไฟฟ้า	61
20	ขอบเขตการศึกษา	66
21	กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ ณ แหล่งก๊าซธรรมชาติและขอบเขตการศึกษา	83
22	กระบวนการผลิตทั่วไปของโรงแยกก๊าซธรรมชาติและขอบเขตการศึกษา	87
23	กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas โดยเทคโนโลยีสร้างความเย็นแบบหมุนเวียนและขอบเขตการศึกษา	90

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
24	กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas โดยเทคโนโลยีสร้างความเย็นแบบหมุนเวียนและขอบเขตการศึกษา	94
25	กระบวนการรับ-จ่ายก๊าซธรรมชาติเหลวภายในสถานีรับ-จ่ายก๊าซธรรมชาติเหลวและขอบเขตการศึกษา	95
26	แนวคิดการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต	103
27	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติ (NG)	107
28	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas (LNG-SG)	110
29	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas (LNG-ASS)	113
30	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติ (NG) ก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas (LNG-SG) และ Associated Gas (LNG-ASS)	114
31	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะโลกร้อนของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว	116
32	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะโลกร้อนของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวแต่ละวิธีการขนส่ง 4 กรณีศึกษา	117
33	การจำแนกผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวจากขั้นตอนการผลิตถึงขั้นตอนการขนส่งก๊าซธรรมชาติไปยังสถานีจ่ายก๊าซ	119
34	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของก๊าซธรรมชาติและก๊าซธรรมชาติเหลวในช่วงการผลิตและขนส่งไปถึงสถานีจ่ายก๊าซ	120
35	การจำแนกผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว	122

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
36	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว	123
37	การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของก๊าซธรรมชาติและก๊าซธรรมชาติเหลวในช่วงการผลิตและขนส่งไปถึงสถานีจ่ายก๊าซที่หน่วยการทำงาน 1 คน-กิโลเมตร	125
38	ปริมาณพลังงานขาเข้าตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว	126
39	ค่าพลังงานเพิ่มสุทธิของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว	127
40	การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของการผลิตก๊าซธรรมชาติ (NG) และก๊าซธรรมชาติจากฐานข้อมูล SimaPro (NG-SimaPro)	130
41	การเปรียบเทียบปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะโลกร้อนของก๊าซธรรมชาติ (NG) และก๊าซธรรมชาติจากฐานข้อมูล SimaPro (NG-SimaPro)	131
42	การเปรียบเทียบปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมของก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) และก๊าซธรรมชาติเหลวจากฐานข้อมูล SimaPro (LNG-SimaPro)	132
43	การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว	133
44	การปรับปรุงการใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas	134
45	การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวโดยเรือ	135

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Pt	=	ภาระทางสิ่งแวดล้อมต่อมนุษย์ 1 คนต่อปี (Person for target year)
CNG	=	ก๊าซธรรมชาติอัด
LNG-ASS	=	ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Associated Gas
LNG-SG	=	ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Sales Gas
LNG-IM to LNG	=	ก๊าซธรรมชาติเหลวนำเข้าจากต่างประเทศที่มีการขนส่งและใช้ในลักษณะก๊าซธรรมชาติเหลว
LNG-IM to CNG	=	ก๊าซธรรมชาติเหลวนำเข้าจากต่างประเทศที่มีการขนส่งและใช้ในลักษณะก๊าซธรรมชาติอัด
SPM	=	Specified Particulate Matter
B(a)P	=	Benzo (a) Pyrene

การเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมและพลังงานของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิต

Environmental and Energy Performance Comparison of Compressed and Liquefied Natural Gas using Life Cycle Assessment Technique

คำนำ

พลังงานเป็นปัจจัยพื้นฐานที่ตอบสนองความต้องการต่างๆที่สำคัญของมนุษย์ รวมทั้งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการส่งเสริมความเจริญก้าวหน้าของทั้งภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม ดังนั้นพลังงานจึงเป็นปัจจัยพื้นฐานที่จำเป็นอย่างมากในการพัฒนาประเทศ ปัจจุบันทั่วโลกกำลังเผชิญกับวิกฤตการณ์ด้านพลังงาน โดยเฉพาะราคาน้ำมันในตลาดโลกที่มีความผันผวนและมีแนวโน้มที่จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จากปัญหาที่เกิดขึ้นดังกล่าวทำให้ในหลายประเทศตระหนักถึงความสำคัญและมีความพยายามอย่างยิ่งในการที่จะค้นคว้าหาพลังงานทางเลือกอื่นขึ้นมาใช้ทดแทนการใช้น้ำมัน พลังงานหนึ่งที่ได้รับความสนใจและมีบทบาทมาก คือ ก๊าซธรรมชาติ

ก๊าซธรรมชาติประกอบด้วยก๊าซหลายชนิดรวมกัน แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ ก๊าซผสมที่ไม่ใช่สารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งประกอบด้วย CO_2, N_2, S, H_2, Hg และ H_2O และก๊าซผสมชนิดที่เป็นสารประกอบไฮโดคาร์บอน ซึ่งประกอบด้วย C_1, C_2, C_3, C_4 และ C_5^+ ก๊าซธรรมชาตินี้อาจจะอยู่ในสถานะของก๊าซหรือไอ สถานะของเหลวหรือทั้งสองสถานะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดัน โดยทั่วไปแล้วก๊าซธรรมชาติจากแหล่งก๊าซซึ่งอยู่ภายใต้ความดันสูงจะอยู่ในสภาวะของทั้งสองรวมกันอยู่ ส่วนที่เป็นของเหลวเรียก ก๊าซธรรมชาติเหลว และส่วนที่เป็นก๊าซเรียกก๊าซธรรมชาติ ซึ่งก๊าซธรรมชาติถือได้ว่าเป็นเชื้อเพลิงฟอสซิลที่เมื่อมีการเผาไหม้แล้วเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและสะอาดที่สุด รวมทั้งมีการปนเปื้อนของสารในกลุ่มอะโรมาติกอยู่น้อยอีกด้วย (Hekkert และคณะ, 2005) ด้วยเหตุนี้ทำให้นานาอารยะประเทศจึงนิยมใช้ก๊าซธรรมชาติกันมาเป็นเวลานานหลายศตวรรษ

40 ปีที่แล้วประเทศไทยเริ่มใช้แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 1 สังคมไทยได้นำเทคโนโลยีต่างๆเข้ามาใช้มากขึ้น เพื่อเป็นการขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมให้ก้าวหน้า ส่งผลให้เกิดความต้องการใช้พลังงานมากขึ้น จากการสำรวจพบว่าประเทศไทยมีปริมาณสำรอง น้ำมันดิบ

และก๊าซธรรมชาติเหลวอีกประมาณ 369 ล้านบาร์เรล ถ้ารักษาการผลิตปิโตรเลียมในอัตราคงที่อย่างในปัจจุบัน ประเทศไทยจะผลิตน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติเหลวได้อีกไม่ต่ำกว่า 20 ปีและผลิตก๊าซธรรมชาติได้อีกประมาณ 40 ปี ปิโตรเลียมจะหมดไป (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2545) แต่จากการสำรวจและพัฒนาแหล่งปิโตรเลียมในพื้นที่คาบเกี่ยวระหว่างประเทศในแหล่งเจดีไอ (ไทย-มาเลเซีย) และแหล่งแสงอาทิตย์ (ไทย-เวียดนาม) คาดว่าจะมีปริมาณสำรองเพิ่มขึ้นอีกมากในอนาคต ตราบใดที่ราคาน้ำมันดิบยังดำเนินไปตามกลไกของสถานการณ์โลก การพัฒนาแหล่งปิโตรเลียมในประเทศไทยจะต้องควบคู่กับการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทยต่อไปอย่าหลีกเลี่ยงไม่ได้

ปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีการสนับสนุนอย่างมากให้มีการนำก๊าซธรรมชาติมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ทดแทนการใช้น้ำมัน แต่ด้วยข้อจำกัด คือ ปริมาณการผลิตในประเทศยังไม่เพียงพอจึงมีบางส่วนที่ต้องนำเข้ามาจากต่างประเทศทั้งในภาพที่ซื้อผ่านทางท่อจากประเทศเพื่อนบ้านและการนำเข้าทางเรือในภาพของก๊าซธรรมชาติเหลว (เทียนไชย, 2541) การขนส่งก๊าซแห้ง เช่น มีเทน อีเทน ซึ่งมีสถานะเป็นก๊าซที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ดังนั้นการขนส่งจึงมักใช้วิธีการขนส่งทางท่อ ในขณะที่หากต้องมีการขนส่งก๊าซในปริมาณที่มากสามารถทำให้ก๊าซมีความเย็นถึงประมาณ -160°C กลายสภาพเป็นของเหลว เรียก ก๊าซธรรมชาติเหลว จากนั้นจึงทำการขนส่งทางเรือ ทางรถไฟ ทางรถยนต์หรือรถบรรทุกต่อไป โดยทั้งนี้ต้องทำการเก็บในถังที่ออกแบบมาเฉพาะเท่านั้น

แม้ว่าประเทศไทยได้มีการนำก๊าซธรรมชาติอัดมาใช้ในปริมาณที่มากแล้วก็ตาม แต่ยังไม่แพร่หลายครอบคลุมทั่วทั้งประเทศ สาเหตุหนึ่งอาจมาจากอุปสรรคในเรื่องของระบบการขนส่งก๊าซธรรมชาติไปยังสถานีจ่ายก๊าซที่เหมาะสม ดังนั้น รัฐบาลจึงมีแนวคิดและนโยบายในการที่จะนำเข้าและเริ่มผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวขึ้นภายในประเทศ ข้อดีของก๊าซธรรมชาติเหลว คือ สามารถขนส่งไปยังสถานีจ่ายได้ง่ายและในปริมาณที่มาก โดยก๊าซธรรมชาติเหลวนั้นมีปริมาตรเป็น 1/600 ของก๊าซธรรมชาติที่อุณหภูมิและความดันปกติ (STP, Standard Temperature and Pressure) รวมทั้งความสะดวกต่อการนำไปใช้ แต่มีข้อเสีย คือ การลงทุนที่สูงในช่วงแรกของการดำเนินงาน

ในการประเมินผลกระทบและการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมมีเครื่องมืออยู่หลายชนิดที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เช่น การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Assessment, EIA) การประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment, RA) หรือการประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment , LCA) ซึ่งเป็นการประเมินโดยเน้นผลในเชิงปริมาณตลอดช่วงชีวิตของ

ผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ซ้ำ/การนำกลับมาใช้ใหม่ และการจัดการซากผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน ทั้งนี้เพื่อนำผลไปใช้ในการออกแบบผลิตภัณฑ์ การปรับปรุงกระบวนการผลิต หรือเพิ่มทางเลือกในการผลิต เพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและให้มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ โดยในวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Product Life Cycle) วัตถุดิบและพลังงานจะถูกนำมาใช้ในการพิจารณาพร้อมกับของเสียที่เกิดขึ้นในทุกขั้นตอน จากการวิจัยและพัฒนาด้าน LCA จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องใช้ฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Inventory, LCI) โดยเป็นฐานข้อมูลที่จำเป็นต้องเก็บรวบรวมจากกระบวนการต่าง ๆ เช่น ข้อมูลการใช้ทรัพยากร (น้ำ สารเคมี วัสดุ) ข้อมูลการใช้พลังงาน (ไฟฟ้า เชื้อเพลิง) ข้อมูลของเสีย (น้ำเสีย ไอเสีย กากของเสีย) เป็นต้น

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวซึ่งทั้งสองเป็นก๊าซธรรมชาติที่มีองค์ประกอบและเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ได้โดยตรงกับเครื่องยนต์เหมือนกัน (Tan and Culaba, n.d.) แต่แตกต่างกันที่สถานะในการเก็บและการขนส่ง โดยเทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์มาเป็นเครื่องมือในการเปรียบเทียบและบ่งชี้ประเด็นผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อนำผลการวิเคราะห์ที่ได้มาใช้ประกอบการพิจารณาตามแนวนโยบายของรัฐบาลในการที่จะเพิ่มเสถียรภาพและศักยภาพทางด้านพลังงานในอนาคตของประเทศไทยต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว

2. เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมและอัตราส่วนพลังงานสุทธิของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว

3. เพื่อเสนอแนะเชิงสิ่งแวดล้อมและพลังงานของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว

ขอบเขตงานวิจัย

1. ทำการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของ

1.1 ก๊าซธรรมชาติอัด (Compressed Natural Gas, CNG)

1.2 ก๊าซธรรมชาติเหลว (Liquefied Natural Gas, LNG) ที่ผลิตขึ้นในประเทศ โดยแบ่งเป็น

- ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตขึ้นจาก Associated Gas (LNG-ASS)
- ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตขึ้นจาก Sales Gas (LNG-SG)

1.3 ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศ (LNG-IM) โดยแบ่งเป็น

- ก๊าซธรรมชาติเหลวนำเข้าจากต่างประเทศที่มีการขนส่งและใช้ในลักษณะก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG-IM to LNG)
- ก๊าซธรรมชาติเหลวนำเข้าจากต่างประเทศที่มีการขนส่งและใช้ในลักษณะก๊าซธรรมชาติอัด (LNG-IM to CNG)

2. การศึกษาครอบคลุมถึงส่วนของ

2.1 ขั้นตอนการผลิต (Manufacturing) กำหนดให้เป็นการผลิตก๊าซธรรมชาติจากหลุมก๊าซธรรมชาติจากโรงแยก ก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas ซึ่งเป็นก๊าซธรรมชาติที่พบร่วมกับน้ำมันในแหล่ง มีทั้งละลายอยู่ในน้ำมันหรือปิดอยู่บนชั้นน้ำมัน (กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ, 2551) ก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas ซึ่งเป็นก๊าซดิบที่มีการแยกเอาก๊าซแอลพีจี ก๊าซธรรมชาติเหลว และคาร์บอนไดออกไซด์ออกแล้ว ประกอบด้วยก๊าซมีเทนและอีเทน (กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ, 2551) การรับ-จ่ายก๊าซธรรมชาติเหลวบริเวณท่าเรือและสถานีรับ-จ่าย

2.2 ขั้นตอนการขนส่ง (Transportation) กำหนดให้เป็นการขนส่งก๊าซธรรมชาติ จากแหล่งผลิตก๊าซไปยังสถานีจ่ายก๊าซ (Refueling Station) ซึ่งก๊าซธรรมชาติขนส่งโดยระบบท่อส่ง (Pipeline Transportation) ร่วมกับการขนส่งโดยรถขนส่งก๊าซ และก๊าซธรรมชาติเหลวขนส่งโดยรถพ่วง (Road Transportation) และการขนส่งโดยเรือ (Oversea Transportation) สำหรับก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศ

2.3 ขั้นตอนการใช้งาน (Usage) กำหนดให้มีการใช้เชื้อเพลิงกับรถโดยสารประจำทาง

3. งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์สมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro 7.0 วิธี Eco-Indicator 95 และกำหนดหน่วยการทำงาน (functional unit) ดังต่อไปนี้

3.1 หน่วยการทำงาน คือ ค่าพลังงาน 1 เมกะจูลของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวตลอดวัฏจักรชีวิต

3.2 หน่วยการทำงาน คือ การใช้ก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวในรถประจำทางเทียบเป็นผู้โดยสาร 1 คนเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร (1 คน-กิโลเมตร) ตลอดวัฏจักรชีวิต

4. กลุ่มผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ทำการศึกษา ประกอบด้วย

4.1 การเกิดสภาวะโลกร้อน (Global Warming)
4.2 การทำลายโอโซนในชั้นบรรยากาศ (Ozone Layer Depletion)
4.3 การเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication)
4.4 การเกิดสภาวะความเป็นกรด (Acidification)
4.5 การเกิดสภาวะของสารก่อมะเร็ง (Carcinogen)
4.6 การเกิดผลกระทบจากโลหะหนัก (Heavy Metals)
4.7 การเกิดผลกระทบด้าน Winter Smog
4.8 การเกิดผลกระทบด้าน Summer Smog

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ด้านสังคมและสิ่งแวดล้อม

1. ทำให้ทราบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวตลอดวัฏจักรชีวิต
2. ทำให้ทราบข้อมูลด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อช่วยในการตัดสินใจเลือกใช้ก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวเป็นเชื้อเพลิงในประเทศ

- ด้านความรู้และเทคโนโลยี

1. เป็นกรณีศึกษาการประยุกต์ใช้หลักการประเมินวัฏจักรชีวิตในการจำแนก ประเมินและเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์โดยเฉพาะที่ใช้เป็นเชื้อเพลิง
2. เป็นการเผยแพร่ความรู้และความก้าวหน้าในด้านการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและวิจัยผลิตภัณฑ์อื่นๆต่อไป

การตรวจเอกสาร

1. เครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันได้มีการพยายามนำเครื่องมือการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมเข้ามาช่วยในการประเมินผลกระทบ ทางสิ่งแวดล้อม เพื่อระบุขนาดและความหนักเบาของผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือโครงการในปัจจุบันเครื่องมือในการจัดการและประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมมีอยู่หลายวิธี โดยแต่ละวิธีมีเป้าหมายและความเหมาะสมในการเลือกใช้ต่างกัน ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เครื่องมือการจัดการและประเมินด้านสิ่งแวดล้อม

เครื่องมือ	LCA (Life cycle Assessment)	RA (Risk Assessment)	EIA (Environmental Impact Assessment)	EPE (Environmental Performance Evaluation)
วัตถุประสงค์รวม	-เพื่อทำความเข้าใจโครงสร้างทางสิ่งแวดล้อมของระบบ -เพื่อระบุลำดับในการปรับปรุง	-เพื่อประเมินผลกระทบต่อสุขภาพมนุษย์และสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับสถานการณ์ที่เป็นอันตราย	-เพื่อประเมินผลกระทบด้านบวกและลบต่อสิ่งแวดล้อมของแผนโครงการในอนาคต	-เพื่อจัดหาข้อมูลที่เชื่อถือและพิสูจน์ได้เกี่ยวกับสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมขององค์กร
ข้อดี	-พิจารณาผลกระทบทั้งระดับโลกและภูมิภาค -สะดวกในการพิจารณาผลกระทบต่อสังคม	ประเมินผลกระทบระดับพื้นที่และภูมิภาคต่อเป้าหมายเฉพาะ	-ประเมินผลกระทบทั้งด้านบวกและลบ -พิจารณาผลกระทบของโครงการในระดับพื้นที่	มีการวัดสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมที่สัมพันธ์โดยตรงกับนโยบายและเป้าหมาย
ข้อเสีย	ไม่ได้พิจารณาถึงเรื่องเวลา	มิได้พิจารณาตลอดวงจรชีวิต ไม่พิจารณาถึงปริมาณการใช้ทรัพยากร	ยากต่อการวิเคราะห์ผลกระทบระดับโลก ภูมิภาค และตลอดวงจรชีวิต	ให้ความสัมพันธ์ที่ไม่สมบูรณ์ในการวัดสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อม

ตารางที่ 1 (ต่อ)

เครื่องมือ	LCA (Life cycle Assessment)	RA (Risk Assessment)	EIA (Environmental Impact Assessment)	EPE (Environmental Performance Evaluation)
ผู้ใช้; อุตสาหกรรม	-มุ่งเน้นในการปรับปรุง -กลยุทธ์การวางแผนระยะยาว -ติดต่อสื่อสาร	เพื่อตรวจสอบการยอมรับของความเสี่ยง	-เพื่อให้เป็นไปตามความต้องการทางกฎหมาย -เพื่อระบุหรือชี้วัดความต้องการในการเปลี่ยนแปลงของโครงการเพื่อลดผลกระทบลง	-เพื่อวัดสมรรถนะทางสิ่งแวดล้อมและการปรับปรุง -เพื่อชี้วัดกลยุทธ์โอกาสทางธุรกิจ
หน่วยงานรัฐ	ใช้สนับสนุนการคิดแบบครบวงจร	-เพื่ออธิบายสถานการณ์ที่ยอมรับได้ -ในการจัดสรรลำดับทรัพยากรให้เป็นไปตามข้อกำหนดกฎหมาย	เป็นเหมือนข้อมูลเข้าเพื่อช่วยในการตัดสินใจในการยอมรับแผนโครงการ	เพื่อติดตามความก้าวหน้า
หน่วยงานที่มิใช่รัฐ	ใช้สนับสนุนการคิดแบบครบวงจรแต่ยังมีข้อสงสัยในการประยุกต์ใช้	-เพื่อคัดค้านการยอมรับสถานการณ์ที่เป็นอันตราย	-เพื่อคัดค้านการยอมรับต่อแผนโครงการ	ไม่ได้นำไปใช้

ตารางที่ 1 (ต่อ)

เครื่องมือ	LCA (Life cycle Assessment)	RA (Risk Assessment)	EIA (Environmental Impact Assessment)	EPE (Environmental Performance Evaluation)
เป้าหมายของการวิเคราะห์	ผลิตภัณฑ์หรือการบริการ	สถานการณ์ความเป็นพิษ	แผนสร้างโครงการโดยทั่วไปเป็นโครงการก่อสร้าง	กิจกรรมต่างๆ ขององค์กร
การจำกัดพื้นที่	ไม่จำกัด	จำกัดเขตหรือพื้นที่	จำกัดเขตหรือพื้นที่	จำกัดกิจกรรมในองค์กร
พิจารณาผลกระทบทางด้านใด	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมรวมจากการใช้ทรัพยากรและขอเสียที่เกิดขึ้น	ผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์และเป้าหมายทางสิ่งแวดล้อม	ผลกระทบทั้งหมดของโครงการต่อสิ่งแวดล้อมในพื้นที่	ผลกระทบที่สัมพันธ์กับกิจกรรมขององค์กร
การแปลผล	การประเมินผลกระทบ	เปรียบเทียบกับมาตรฐานที่ยอมรับได้	ต้นทุนและกำไรทางสิ่งแวดล้อม	ระบุการชี้วัดที่ตรงกับปัญหาของสมรรถนะหน่วยการทำงาน
ฐานการเปรียบเทียบ	หน่วยหน้าที่	สถานการณ์ที่ต้องการการเปรียบเทียบ		

ที่มา: จันจิรา (2547) อ้างจาก SETAC-Europe Working Group (2003)

จากตารางที่ 1 พบว่า เครื่องมือที่ใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุด คือ เครื่องมือการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตและเป็นเครื่องมือที่นำมาใช้ประเมินผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการซึ่งมีความเหมาะสมกับงานวิจัยและทำการศึกษาในครั้งนี้

2. การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment, LCA)

นิยาม แนวความคิด และความเป็นมาของการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ได้มีผู้ให้คำนิยาม การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ตามความหมายต่างๆ ดังต่อไปนี้

- การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ เป็นวิธีการประเมินประเด็นปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวเนื่องกับผลิตภัณฑ์ทั้งวงจร ตั้งแต่ การออกแบบ การใช้พลังงาน และวัตถุดิบการผลิต การขนส่ง การใช้ผลิตภัณฑ์ รวมทั้งการนำไปทิ้ง (พงษ์วิภา หล่อสมบูรณ์, 2544)

- การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ หมายถึง กระบวนการในการประเมินประเด็นปัญหาสิ่งแวดล้อม และประเด็นผลกระทบที่มีศักยภาพของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เริ่มต้นไปจนสิ้นสุดอายุของผลิตภัณฑ์นั้น (Kimura *et al* , 2001)

- การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ หมายถึง กระบวนการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการประเมินภาระทางสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ กระบวนการ หรือกิจกรรมโดยการบ่งชี้ปริมาณของพลังงานวัตถุดิบที่ใช้ และของเสียที่ปลดปล่อยออกมาสู่สิ่งแวดล้อม และประเมินผลกระทบของ สิ่งเหล่านั้นเพื่อหาความเป็นไปได้ที่จะส่งผลกระทบต่อการพัฒนาสิ่งแวดล้อม การประเมินนี้ได้รวมตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ กระบวนการ หรือกิจกรรม และกระบวนการนำวัตถุดิบมาใช้ ขั้นตอนการผลิต การขนส่งและจัดจำหน่าย การใช้ หรือการใช้ซ้ำ การซ่อมบำรุง การนำกลับมาใช้ใหม่และการกำจัดในขั้นตอนท้ายสุด (SETAC, 2003)

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ตลอดจนกฎข้อบังคับต่างๆ ของสหภาพยุโรปหรือ EU เช่น WEEE (Waste from Electrical and Electronic Equipment) และ RoHS (Restriction of the use of certain Hazardous Substance in Electrical and Electronic Equipment) ถูกมุ่งไปที่ผลิตภัณฑ์อิเลคทรอนิค เนื่องจากประการแรก ผู้ผลิตสินค้าต่างแข่งขันกันพัฒนาสินค้าและมีการขยายตลาดทำให้สินค้าชนิดใหม่ๆ มีมากขึ้น ส่งผลทำให้มีการบริโภคเพิ่มขึ้นผลกระทบต่างๆ จึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและพฤติกรรมการบริโภคของผู้ใช้ที่ต่างไปจากเดิมที่มีการใช้สินค้าจนกระทั่งสินค้านั้นหมดอายุแล้วจึงเปลี่ยนใหม่ กลายเป็นลักษณะของการบริโภคตามเทคโนโลยีมากขึ้น ดังนั้น อายุของสินค้าที่ใช้ได้จริงๆ ก็จะต่ำลง นั่นเป็นเหตุผลที่ LCA มีบทบาทต่อสินค้าอิเลคทรอนิคส์สำหรับประเทศไทยเองนั้นสภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทยก็ได้หาแนวทางในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตามแนวนโยบายสินค้าครบวงจร (Integrated Product Policy: IPP) ของ EU มีการสัมมนากระตุ้น

ภาคอุตสาหกรรมไทย เร่งทำความเข้าใจนโยบายสินค้าครบวงจรก่อนที่จะบังคับใช้ในปี พ.ศ.2551 โดยนำมาตรการทางภาษีกดดันผู้ส่งออกสินค้าให้ได้ตามมาตรฐาน สิ่งแวดล้อมที่กำหนด (นิล สุวรรณ ลีลารัศมี, 2546)

LCA มีประวัติความเป็นมายาวนาน ตั้งแต่ พ.ศ.2513 ถึง พ.ศ.2533 ได้มีการเริ่มต้นศึกษาทั้งในสหรัฐอเมริกา และประเทศแถบยุโรป จากนั้น พ.ศ.2523 สถาบันต่างๆ เช่น สมาคมพิษวิทยาสิ่งแวดล้อมและเคมี (Society of Environmental Toxicology and Chemistry: SETAC) ได้เข้ามาศึกษาและพัฒนาการวิจัยถึงผลิตภัณฑ์ต่างๆ เรื่อยมา เช่น พลาสติก ของเสียและสิ่งไม่ใช้แล้ว บรรจุภัณฑ์ต่างๆจนกระทั่งในปี พ.ศ.2540 สถาบันรับรองมาตรฐานระหว่างประเทศ (International Organization Standardization: ISO) ได้กำหนดอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040–43 ว่าด้วยเรื่องการประเมินวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นอนุกรมที่ให้การรับรอง มาตรฐานผลิตภัณฑ์ (สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ, 2545)

2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างระบบมาตรฐาน ISO 14000 กับ LCA (อรชุมา, 2551)

ISO (International Standard for Organization) กล่าวว่า การประเมินวัฏจักรชีวิต เป็นเทคนิคในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมซึ่งเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์หรือการบริการตลอดวงจรชีวิตเริ่มจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบ และพลังงาน การขนส่ง การผลิตผลิตภัณฑ์ การบรรจุ การบำรุงรักษาการใช้ และการจัดการกับผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุ หรือกล่าวได้ พิจารณาทุกกระบวนการหรือกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ว่ามีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามลักษณะกลุ่มเป้าหมายคือการใช้ทรัพยากรสุขภาพของมนุษย์ และผลต่อระบบนิเวศ

LCA เป็นการทำงานส่วนหนึ่งซึ่งถูกบรรจุอยู่ในมาตรฐาน ISO 14000 ว่าด้วยเรื่องเกี่ยวกับมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Management Standard) ที่เกี่ยวข้องกับ LCA เป็นดังนี้

1) ISO 14040 – Environmental Management Life Cycle Assessment – Principle and Performance การแนะนำสู่โครงร่าง หลักการ และข้อกำหนดสำหรับการศึกษา LCA โดยเฉพาะการแนะนำเรื่องการพิจารณาถึงความสำคัญในการศึกษา LCA

2) ISO 14041 – Environmental Management Life Cycle Assessment – Goal and Scope Definition and Inventory analysis คำแนะนำในการทำ Life cycle Inventory ให้คำจำกัดความของเป้าหมาย กำหนดขอบเขต ระบบผลิตภัณฑ์ การเก็บข้อมูล และการส่งผลของรายการ

3) ISO 14042 – Environmental Management Life Cycle Assessment – Impact Assessment คำแนะนำเรื่องโครงสร้างของผลการเก็บข้อมูลเพื่อความเข้าใจที่ดีขึ้นเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมที่สัมพันธ์กับระบบผลิตภัณฑ์ที่กำลังศึกษาอยู่

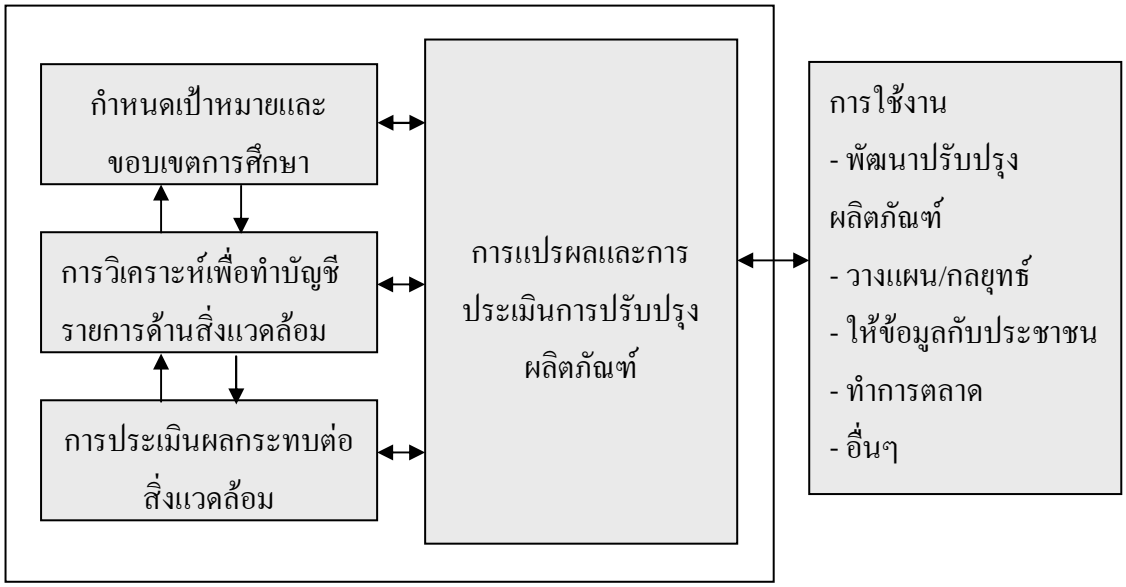
4) ISO 14043 – Environmental Management Life Cycle Assessment – Life Cycle Interpretation คำแนะนำถึงการแปลผลจากเก็บข้อมูล LCA และการศึกษา LCA

2.2 ขั้นตอนการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิต ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนคือ

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and scope definition)
2. การจัดทำบัญชีรายการ (Inventory analysis)
3. การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)
4. การแปลผลและการตีความ (Interpretation)

แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กรอบการดำเนินงานของ LCA จากอนุกรมมาตรฐาน ISO 14040

ที่มา: สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (2547)

2.2.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and scope definition)

การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาเป็น ขั้นตอนแรกของการประเมินวัฏจักรชีวิตซึ่งจะต้องประกอบด้วยประเด็นที่สำคัญ คือ

- การกำหนดเป้าหมายของการศึกษา (Goal)
- การกำหนดขอบเขตของการศึกษา (Scope)
- การกำหนดหน่วยหน้าที่ (Functional unit)
- ขอบเขตของระบบ (System boundaries)
- คุณภาพของข้อมูล (Data quality)

2.2.1.1 การกำหนดเป้าหมายของการศึกษา

เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด การตั้งเป้าหมายจะต้องชัดเจนโดยรวมถึงเหตุผลของการศึกษา ผลของการศึกษา การนำผลการศึกษาไปใช้และผู้ใช้ผลการศึกษา

2.2.1.2 การกำหนดขอบเขตของการศึกษา

เป็นการระบุสิ่งที่ต้องการประเมินและรายละเอียดภายในระบบซึ่งรวมถึงวิธีในการประเมิน โดยการกำหนดขอบเขตต้องครอบคลุมถึง หน้าที่ของระบบ หน่วยหน้าที่ ระบบที่ต้องการศึกษา ขอบเขตของระบบ วิธีการลงบัญชี ข้อมูลที่ต้องการ สมมติฐานที่ใช้ ข้อจำกัดของการศึกษาคุณภาพของข้อมูลเบื้องต้น

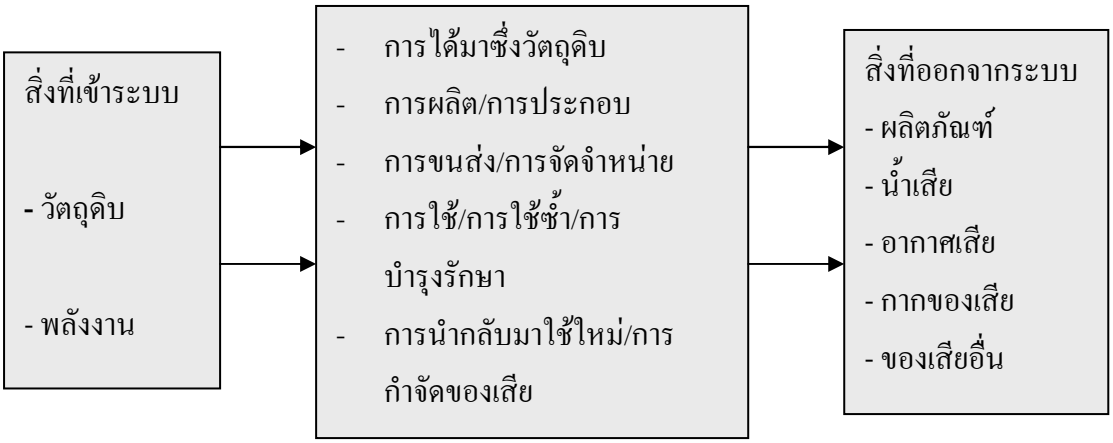
การกำหนดขอบเขตของการศึกษา ควรจะอธิบายหรือมีการกำหนดอย่างเพียงพอเพื่อให้แน่ใจได้ว่ารายละเอียดในการศึกษามีความเกี่ยวข้องและเพียงพอต่อเป้าหมายที่ตั้งไว้

2.2.2 การกำหนดหน่วยการทำงาน

หน่วยหน้าที่ถูกใช้ตัวอ้างอิงหรือพื้นฐานสำหรับการจัดเก็บข้อมูลเข้าและข้อมูลออกของระบบ หน่วยหน้าที่ของระบบควรจะมีการระบุอย่างชัดเจนและสามารถวัดค่าได้ ซึ่งประโยชน์ของการกำหนดหน่วยหน้าที่ คือ การเปรียบเทียบวัฏจักรชีวิตของหลาย ผลิตภัณฑ์ เกณฑ์มาตรฐานที่ใช้ในการกำหนดหน่วยหน้าที่ประกอบด้วย ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ ความคงทนของผลิตภัณฑ์ และคุณสมบัติพื้นฐาน

2.2.3 ขอบเขตของระบบ

เป็นการกำหนดกระบวนการ ข้อมูลเข้า-ออกที่รวมอยู่ในการประเมินวัฏจักรชีวิต(LCA) ดังนั้น ขอบเขตของระบบ คือ ขอบเขตระหว่างผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อม โดยระบบผลิตภัณฑ์ คือ หน่วยที่รวบรวมวัสดุและพลังงาน ที่มีการเชื่อมโยงกันเป็นหน่วยงานต่างๆที่ทำหน้าที่อย่างหนึ่งหรือหลายอย่าง โดยที่สามารถแบ่งกระแสขั้นตอนของทรัพยากร วัตถุดิบหรือพลังงาน จากสิ่งแวดล้อมที่เข้าสู่ระบบก่อนถูกเปลี่ยนแปลงในกระบวนการต่างๆ ตามภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ขั้นตอนและขอบเขตของ LCA

ที่มา: จันจิรา (2547)

2.2.4 คุณภาพของข้อมูล (Data quality)

คุณภาพของข้อมูลที่ใช้ในขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการย่อมมีผลต่อคุณภาพของบทสรุปของการประเมินวัฏจักรชีวิตของสิ่งที่สนใจ คุณภาพของข้อมูลสามารถอธิบายและประเมินได้ภายใต้ประเด็นดังต่อไปนี้

- คุณภาพของข้อมูลในบัญชีรายการ
- ช่วงเวลาในการศึกษา
- ระดับพื้นที่ของการศึกษา เช่น ระดับโลก ระดับภูมิภาค
- เทคโนโลยีของการศึกษา
- แหล่งที่มาของข้อมูล
- วิธีในการได้มาของข้อมูล
- ความถูกต้องและสมบูรณ์ของข้อมูล รวมถึงการเป็นตัวแทนของข้อมูล

2.3 การจัดทำบัญชีรายการ (Inventory analysis, ISO 14041, 1998)

การจัดทำบัญชีรายการ เป็นขั้นตอนที่สองของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งจะต้องประกอบด้วยประเด็นที่สำคัญ คือ

2.3.1 การคัดเลือกข้อมูล (Data collection)

การวิเคราะห์บัญชีรายการจะรวมถึงการคัดเลือกข้อมูลและการจัดการข้อมูลที่จะนำมาใช้ของการใช้วัตถุดิบ ของเสียของมลภาวะต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทั้งหมดของวัฏจักรชีวิต

2.3.2 การกลั่นกรองขอบเขตระบบ (Refining system boundaries)

ขอบเขตของระบบจะถูกกลั่นกรอง หลังจากการเก็บข้อมูลชุดแรก ตัวอย่างของผลในการกลั่นกรองข้อมูล เช่น การตัดสินใจในการเลือกหรือตัดกระบวนการใดออกไป การตัดวัตถุดิบบางส่วนออกไป การเพิ่มหน่วยการผลิตซึ่งแสดงว่ามีส่วนสำคัญในการวิเคราะห์ผล

2.3.3 วิธีการคำนวณ (Calculation procedures)

การคำนวณผลการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสามารถทำได้หลายวิธีซึ่งอาจอยู่ในภาพเอ็กเซลโลตัส หรือ LCAโปรแกรม การเลือกโปรแกรมให้เหมาะสมขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของข้อมูล

2.3.4 การได้ข้อมูลที่ถูกต้อง (Validation of data)

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลต้องดำเนินการในระหว่างการเก็บรวบรวมหรือคัดเลือกข้อมูลเพื่อปรับปรุงคุณภาพของข้อมูล การตรวจสอบข้อมูลอย่างมีหลักเกณฑ์จะแสดงให้เห็นถึงการปรับปรุงข้อมูลหรือข้อมูลนั้นมีความใกล้เคียงกันกับกระบวนการอื่นๆ

2.3.5 การเชื่อมโยงข้อมูล (Relating data to the specific system)

พื้นฐานของข้อมูลเข้าและข้อมูลออก บ่อยครั้งที่ได้จากโรงงานในหน่วยที่กำหนดเอง เช่น พลังงาน ในหน่วยเมกกะจูลต่อเครื่องจักรต่อสัปดาห์หรือของเสียต่อระบบการ

จัดการของเสีย เช่น น้ำหนักของโลหะต่อปริมาตรน้ำเสีย ซึ่งไม่ค่อยมีความสัมพันธ์กับกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่กำลังศึกษา แต่บ่อยครั้งที่ผลิตภัณฑ์ที่คล้ายคลึงนั้นมีความสัมพันธ์กับกระบวนการผลิต

2.3.6 การปันส่วน (Allocation)

เมื่อต้องทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบที่มีความซับซ้อน จึงเป็นไปไม่ได้ที่จะจัดการเพื่อให้ครอบคลุมผลกระทบและผลที่ได้จากขอบเขตของระบบได้ทั้งหมด การแก้ปัญหานี้สามารถทำได้ 2 วิธีคือ

- การเพิ่มขอบเขตของระบบ
- การจัดสรรผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ตรงปัญหากับการศึกษา

ซึ่งการจัดสรรเป็นทางเลือกที่ดีกว่าการเพิ่มขอบเขตของระบบ เนื่องจากเป็นการลดปัญหาความซับซ้อนของระบบและเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริง

2.4 การประเมินผลกระทบ (Impact Assessment, ISO 14042, 2000)

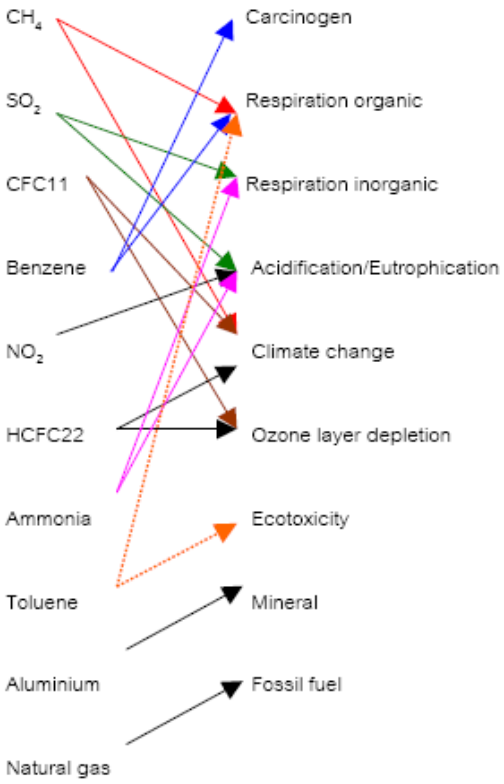
การประเมินผลกระทบเป็นขั้นตอนที่สามของการประเมินวัฏจักรชีวิต ซึ่งประกอบด้วยประเด็นที่สำคัญ คือ

2.4.1 การเลือกชนิดและประเภทของผลกระทบ (Selection of impact categories, category indicators and characterization models)

2.4.2 การจำแนกประเภท (Classification)

เป็นขั้นตอนการจำแนกข้อมูลเข้าและข้อมูลออกไปยังผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมประเภทต่างๆ เช่น มีเทน (CH_4) ถูกจัดอยู่ในผลกระทบประเภทการทำให้โลกร้อนขึ้นหรือClimate change ในบางสารสามารถเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบหรือถูกจัดว่าเป็นสาเหตุให้เกิดผลกระทบมากกว่า 1 ประเภทการจัดการเกี่ยวกับปัญหานี้สามารถทำได้โดย กรณีแรก เช่น ซัลเฟอร์ไดออกไซด์สามารถเป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบทั้งสุขภาพมนุษย์และภาวะความเป็นกรด

(แต่ไม่ได้เกิดผลกระทบในเวลาเดียวกัน) ปริมาณของซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 50% ของสุขภาพมนุษย์และ 50% ของภาวะความเป็นกรด กรณีที่สอง ไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นปัจจัยให้เกิดผลกระทบทั้งการลดลงของชั้นโอโซนและภาวะความเป็นกรด (แต่เกิดผลกระทบในเวลาเดียวกัน) ปริมาณของไนโตรเจนไดออกไซด์จะคิดเป็น 100% ของการลดลงของชั้นโอโซน และ 100% ภาวะความเป็นกรด ตามภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ

ที่มา: จันจิรา (2547) อ้างจาก PRe' Consultants (2001)

2.4.3 การกำหนดบทบาท (Characterization)

เป็นขั้นตอนในการแสดงประเภทของผลกระทบให้อยู่ในเทอมของตัวบ่งชี้ (Indicator) โดยใช้ค่าแฟกเตอร์ (Characterization factor) ในการคูณเพื่อเปลี่ยนจากปริมาณน้ำหนักเป็นค่าบ่งชี้ของผลกระทบและทำการรวมค่าทั้งหมดของแต่ละผลกระทบ ตามสมการ

$$EP_j = \sum(Q_i \times EF_{ij}) \quad (1)$$

EP_j (Environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมสำหรับผลกระทบประเภท j ใดๆ (kg substance equivalent)

Q_i (Quantity of substance) คือปริมาณมลภาวะสาร j ที่ปล่อยออกมา (kg substance j)

EF_{ij} (Equivalency factor) คือ ค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j (kg substance equivalent/kg substance j)

2.4.4 การหาขนาดของผลกระทบ (Normalisation)

เป็นขั้นตอนในการแสดงขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือการบริการ โดยเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ต้องการอ้างอิง

$$NP_{j(product)} = EP_j / (T \times ER_j) \quad (2)$$

$NP_{j\,(product)}$ (Normalized environment impact potential) ค่าปกติทางศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ของผลิตภัณฑ์ (person)

T (Lifetime of product) คือ อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (year)

ER_j (Normalization Reference) คือ ค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ j ใดๆ ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg substance equivalent/person/year)

2.4.5 การให้น้ำหนัก (Weighting)

เป็นขั้นตอนในการให้ความสำคัญของลักษณะของผลกระทบทั้ง 3 ประเภทคือ สุขภาพมนุษย์ ระบบนิเวศ การใช้ทรัพยากร และรวมค่าของตัวชี้วัดทั้ง 3 ประเภทให้เป็นคะแนนเดี่ยว

$$WP_j = WF_j \times NP_j \quad (3)$$

WP_j (Weighted environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว

WF_j (Weighting factor) คือ ค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

2.5 การแปลผล (Interpretation)

การแปลผลหรือการตีความเป็นขั้นตอนในการนำผลจากการทำบัญชีรายการและการประเมินผลกระทบมารวมกันเพื่อให้ได้ข้อสรุป และข้อเสนอแนะตามเป้าหมาย วัตถุประสงค์ และขอบเขตของการศึกษา ISO (International Standard for Organization) ได้ให้นิยามสำหรับการแปลผลไว้ 2 ความหมาย คือ เพื่อวิเคราะห์ผล เพื่อให้ได้ข้อสรุป อธิบายข้อจำกัดและข้อแนะนำโดยใช้ผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต LCA หรือการวิเคราะห์บัญชีรายการ เพื่อรายงานผลของการแปลผลวัฏจักรชีวิตในลักษณะที่ชัดเจนและเพื่อนำเสนอผลของการประเมินวัฏจักรชีวิตและการวิเคราะห์บัญชีรายการที่สามารถเข้าใจได้ สมบูรณ์ ถูกต้อง และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ เป้าหมายของการศึกษาประเด็นหลักๆ ที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการแปลผลนี้จะเกี่ยวข้องกับประเด็นดังต่อไปนี้

- การระบุประเด็นสำคัญเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม
- การประเมินผลที่สมบูรณ์ ละเอียด และเที่ยงตรง
- การตรวจสอบบทสรุปว่าตรงกับวัตถุประสงค์ ขอบเขตการศึกษา ข้อจำกัดและสมมติฐานอื่นๆ หรือไม่

ถ้าสมบูรณ์แล้ว ทำรายงานบทสรุป แต่ถ้าไม่สมบูรณ์ต้องกลับไปเริ่มที่ข้อ 1 ใหม่

2.5.1 การระบุประเด็นสำคัญเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม

ขั้นตอนนี้เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบผลของข้อมูลจาก 3 ขั้นแรกของกระบวนการการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อที่จะระบุข้อมูลที่ให้ผลกระทบมากที่สุดในการวิเคราะห์

บัญชีรายการและการประเมินค่าผลกระทบในแต่ละกระบวนการ ผลิตภัณฑ์ หรือการบริการ การระบุประเด็นสำคัญทางสิ่งแวดล้อมรวมถึง

- ชนิดของบัญชีรายการ เช่น พลังงาน ของเสีย
- ประเภทของผลกระทบ เช่น การใช้ทรัพยากร
- ขั้นหรือ กระบวนการที่เป็นผลสำคัญในการวิเคราะห์บัญชีรายการหรือการประเมินผลกระทบ เช่น ขั้นการขนส่ง ขั้นการใช้ กระบวนการผลิตวัตถุดิบ

3. โปรแกรมสำเร็จรูปด้านการประเมินวัฏจักรชีวิต

ปัจจุบันบริษัทและองค์กรต่างๆ ได้พัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการประเมินวัฏจักรชีวิต LCA เพื่อแก้ปัญหาในการจัดการกับข้อมูลในปริมาณและการประเมินผลของ LCA บางโปรแกรมได้ถูกพัฒนาขึ้นในการประเมิน LCA อย่างสมบูรณ์ นั่นคือ ประกอบด้วย การวิเคราะห์บัญชีรายการ การประเมินค่าผลกระทบ และบางโปรแกรมมีการแปลข้อมูล ในหลายโปรแกรมจะมีตัวอย่างโปรแกรมให้ผู้สนใจเข้าไปศึกษา แต่บ่อยครั้งที่ตัวอย่างโปรแกรมเหล่านี้มีข้อจำกัดในการศึกษาประเด็นสำคัญในการเลือกใช้โปรแกรมมีดังนี้

- ฐานข้อมูล
- การคำนวณบัญชีรายการ
- การประเมินผลกระทบ
- การแปลผลข้อมูล

4. โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro

โปรแกรม SimaPro เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ได้รับการพัฒนาจาก Pre’ Consultant ประเทศเนเธอร์แลนด์ เพื่อใช้ในการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ทำการศึกษา โดยเป็นการนำเอาขั้นตอนต่างๆของการทำประเมินวัฏจักรชีวิตมาจัดอย่างเป็นระบบ โดยจัดข้อมูลพื้นฐานบางส่วนในโปรแกรมเพื่อที่ผู้ใช้จะนำไปประยุกต์ใช้อย่างเหมาะสม สามารถนำไปใช้ได้กับอุตสาหกรรมทั่วไป ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมนี้ มีดังนี้ (โอมฤทธิ์, 2547)

- กำหนดขอบเขตและเป้าหมาย: ทำการกำหนดขอบเขตและวัตถุประสงค์ของการประเมินผลการศึกษา

- การรวบรวมข้อมูล: เป็นการอ้างอิงข้อมูลจากข้อมูลพ้นฐานของโปรแกรมหรือข้อมูลเพิ่มเติมพื้นฐานของกระบวนการนั้น

- การประเมินผลกระทบ: โปรแกรมมีวิธีการประเมินมาตรฐานหลายแบบ เช่น Eco-Indicator 99, Environments Priority in product design: EPS 2000 เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี Eco-Indicator 95 ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยการประเมินผลกระทบแต่ละวิธีจะทำการศึกษาในรายละเอียดที่แตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวิธีการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมวิธีต่างๆ

Assessment Method	Steps Included			
	Characterization	Damage Assessment	Normalization	Weighting
Eco-Indicator 95	√		√	√
Eco-Indicator 99	√	√	√	√
CML 92	√		√	
CML baseline 2000	√		√	√
Ecopoints 97	√			
EDIP 96	√		√	√
EPS 2000	√	√		√

ที่มา: โอมฤทธิ์ (2547) อ้างจาก Chomkumsri (2003)

5. วิธีประเมินแบบ Eco-indicator 95

5.1 หลักการของ Eco-Indicator 95 (โอมฤทธิ์, 2547)

5.1.1 Eco-Indicator 95 เป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในการหาทางเลือกในการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้เป็นมิตรแก่สิ่งแวดล้อม แต่ Eco-Indicator 95 ไม่ได้ถูกใช้ในการตลาดหรือการให้ฉลากสิ่งแวดล้อม ได้เป็นเครื่องมือของรัฐบาลในการกำหนดมาตรฐานและแนวทางแต่เป็นเครื่องมือที่ใช้ภายในหน่วยงานเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรแก่สิ่งแวดล้อม

5.1.2 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ทุกผลิตภัณฑ์จะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเริ่มตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิตผลิตภัณฑ์ การใช้ การหีบห่อ และการกำจัด โดยทั่วไปผลกระทบสิ่งแวดล้อมมักเกิดขึ้นระหว่างการใช้ผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีการใช้พลังงาน ถ้าเราต้องการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ ก็จำเป็นต้องศึกษาวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้น ซึ่งนั่นคือ การประเมินวัฏจักรชีวิต สามารถประเมินได้ 2 ทาง

- เพื่อการหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมทั้งหมดของผลิตภัณฑ์หรือออกแบบทางเลือกในการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์

- ใช้เพื่อการหาสาเหตุของการเกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

5.1.3 ความหมายของคำว่า “Eco”

Eco หมายถึง ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อระบบนิเวศหรือสุขภาพมนุษย์ ซึ่งตามมาตรฐานยุโรป ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมีหลายด้าน เช่น

- สภาวะเรือนกระจก เป็นภาวการณ์ที่อุณหภูมิสูงขึ้นเป็นผลมาจากความเข้มข้นของก๊าซ ที่มาจากการแผ่รังสีความร้อนของโลก

- การลดลงของชั้นโอโซน ทำให้ความเข้มข้นของรังสีอุลตราไวโอเลตบนโลกเพิ่มขึ้น

- ฝุ่นและสารประกอบซัลเฟอร์ทำให้เกิดผลกระทบต่อบุคคลที่มีปัญหาด้านระบบทางเดินหายใจ

- สารพิษ ได้แก่ สารพิษที่นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เช่น โลหะหนัก สารก่อมะเร็งและสารกำจัดศัตรูพืช

5.2 ขั้นตอนการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-Indicator 95

การคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยวิธี Eco-Indicator 95 จะเริ่มจากการคำนวณเบื้องต้นอย่างหยาบก่อน โดยหลังจากการประเมินเบื้องต้นแล้วจึงเพิ่มในส่วนของรายละเอียด โดยผู้ประเมินจะต้องคำนึงถึงระยะเวลาในการประเมินด้วย ขั้นตอนการคำนวณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยวิธี Eco-Indicator 95 ประกอบด้วย

5.2.1 กำหนดเป้าหมายในการประเมินอธิบายถึงลักษณะของผลิตภัณฑ์และส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นของการประเมิน

1) กำหนดให้ชัดเจนว่าต้องการประเมินผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียวเพื่อหาผลกระทบสิ่งแวดล้อมหรือต้องการเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด

2) กำหนดระดับความถูกต้องของการประเมิน โดยเริ่มกำหนดความถูกต้องตั้งแต่ช่วงการเก็บข้อมูลเบื้องต้น โดยผู้ประเมินจะต้องมองถึงปัญหาที่คาดว่าจะเกิดขึ้นรวมถึงแนวทางในการแก้ปัญหาเหล่านั้นด้วย

5.2.2 การกำหนดช่วงวัฏจักรชีวิตการสร้างแผนภาพการไหลตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยจะต้องรวบรวมทุกกิจกรรมที่เกิดขึ้นตลอดวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์และให้ความสำคัญเท่าๆกันในช่วงการผลิตผลิตภัณฑ์ ช่วงการใช้งานและช่วงการกำจัด และควรทำให้อยู่ในรูปแบบที่เข้าใจง่าย

5.2.3 การรวบรวมข้อมูลปริมาณของวัตถุและรายละเอียดของกระบวนการ

1) การกำหนดหน่วยการทำงานซึ่งเป็นการกำหนดหน้าที่การใช้งานของผลิตภัณฑ์ที่ทำการประเมิน การกำหนดหน่วยหน้าที่ใช้ทำงานจะต้องทำก่อนการประเมินเสมอเพื่อการรวบรวมข้อมูลที่ถูกต้อง นอกจากนี้ หากเป็นการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด หน่วยหน้าที่จะเป็นค่ากำหนดเริ่มต้น เพื่อให้การประเมินระหว่าง 2 ผลิตภัณฑ์มีความยุติธรรม

2) การรวบรวมปริมาณของวัตถุดิบ พลังงาน ของเสียที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตและความสัมพันธ์ระหว่างการผลิต

3) การตั้งสมมติฐานในการประเมิน เนื่องจากข้อมูลที่ต่างๆ ไม่สามารถรวบรวมได้ทั้งหมด การตั้งสมมติฐานจะถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้ โดยสมมติฐานที่ตั้งขึ้นจะต้องมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริง

5.2.4 การบันทึกข้อมูลในแบบฟอร์ม โดยทำการบันทึกปริมาณวัตถุลงในแบบฟอร์มที่สร้างขึ้นอาจเป็นแบบฟอร์มที่ง่ายๆ โดยหลักการบันทึกข้อมูลมีดังต่อไปนี้

1) บันทึกข้อมูลปริมาณวัตถุ การบันทึกปริมาณจะต้องทำการบันทึกถึงแหล่งที่มาลักษณะของข้อมูลและรายละเอียดอื่นควบคู่ไปด้วยทุกครั้ง

2) หาค่า Eco-Indicator Value เพื่อบันทึกลงในแบบฟอร์ม โดยถ้าวัตถุดิบหรือกระบวนการผลิตที่ต้องการทราบค่า Eco-Indicator Value ไม่สามารถหาค่าได้ตามมาตรฐานของ Eco-Indicator Value ผู้ประเมินสามารถกำหนดค่าได้เอง โดยใช้หลักการ ดังนี้

- ต้องตรวจสอบให้แน่นอนก่อนว่าวัตถุดิบหรือกระบวนการผลิตที่หาค่าไม่ได้ Eco-Indicator Value นั้นมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ประเมินไม่เสียเวลาในการประเมินดังกล่าว

- เปรียบเทียบค่า Eco-Indicator Value ที่ต้องการทราบกับวัตถุดิบหรือกระบวนการผลิตที่ใกล้เคียงกัน เช่น ต้องการทราบค่า Eco-Indicator Value ของพลาสติก ควรจะพิจารณาเปรียบเทียบจากค่า Eco-Indicator Value ของพลาสติกที่มีกระบวนผลิตที่ใกล้เคียงกัน

3) ถามจากผู้เชี่ยวชาญหรือคำนวณจากโปรแกรมสำเร็จภาพที่เกี่ยวข้อง

5.2.5 การแปลผล ทำโดยตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล สมมติฐานและความคลาดเคลื่อนในการประเมิน โดยจะต้องพิจารณาส่วนของสมมติฐานเป็นพิเศษ ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงสมมติฐานเพียงเล็กน้อยจะทำให้ผลการประเมินเปลี่ยนเป็นอย่างไร ความถูกต้องใน

การประเมินเปลี่ยนไปหรือไม่ เพื่อเป็นการวิเคราะห์ถึงตัวแปลที่มีผลต่อการประเมินและตรวจสอบว่าผลการประเมินตรงกับวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ในเบื้องต้นหรือไม่

6. วิธีการปันส่วน (Allocation Methods)

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมหรือปริมาณการใช้พลังงาน ผู้วิจัยสามารถเชื่อมกระบวนการย่อยๆ ที่อยู่ในระบบผลิตภัณฑ์โดยใช้ปริมาณอ้างอิงของวัตถุดิบหรือพลังงาน อย่างไรก็ตาม ในกระบวนการย่อยภายในระบบที่กำลังศึกษาอาจเกิดผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป แต่มีผลิตภัณฑ์เพียงชนิดที่ถูกนำไปใช้ในกระบวนการต่อไปภายในระบบ ส่วนที่เหลือจะถูกนำไปแปรรูปใช้ใหม่เป็นวัตถุดิบในกระบวนการอื่นๆหรือถูกทิ้งไป ดังนั้น ผู้วิจัยจึงต้องทำการปันส่วนปริมาณวัตถุดิบและพลังงานที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยมลพิษสู่สิ่งแวดล้อมเข้าไปในผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด (วรยุทธ, 2551 อ้างจาก สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)

6.1 หลักการปันส่วน

การทำบัญชีรายการจะอยู่บนพื้นฐานของดุลมวลสารระหว่างสารขาเข้า-ออก ดังนั้นการปันส่วนจึงควรประมาณให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงและตั้งอยู่บนพื้นฐานของความสัมพันธ์และลักษณะของสารขาเข้า-ออก โดยหลักการของการปันส่วนมีดังนี้ (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2547)

- จำแนกกระบวนการที่ถูกนำไปใช้ร่วมกับระบบผลิตภัณฑ์อื่นๆ

- ผลรวมของการปันส่วนสารขาเข้า-สารขาออกของกระบวนการย่อยทั้งหมดควรเท่ากับปริมาณสารขาเข้า-ออกของกระบวนการย่อยที่ยังไม่ได้ทำการปันส่วน

- เมื่อมีการเลือกปันส่วนที่เหมาะสมจากหลายกระบวนการต้องวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูลเพื่อแสดงลำดับการแยกกระบวนการปันส่วนที่เลือกมาใช้งาน

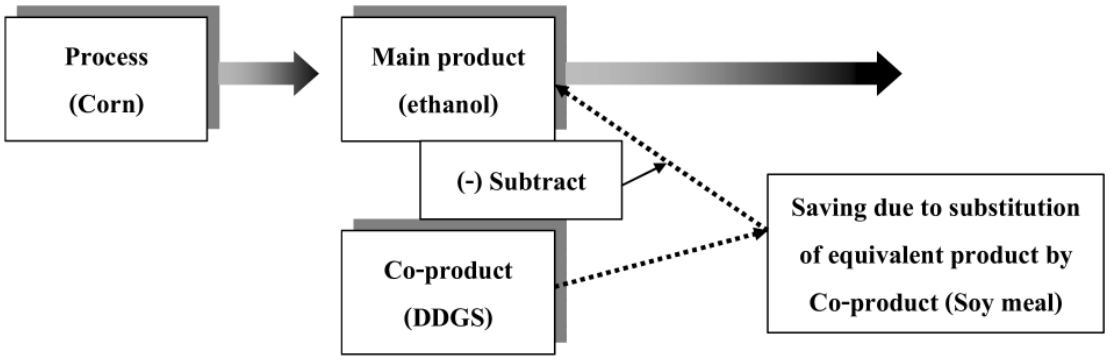
6.2 กฎการปันส่วน

กฎของการปันส่วนแบ่งออกเป็น 3 ข้อ ดังนี้

กฎข้อที่ 1

- หลีกเลี่ยงการปันส่วน โดยการแบ่งกระบวนการย่อยที่ต้องปันส่วนเพิ่มออกเป็น 2 กระบวนการย่อยหรือมากกว่านั้นและเก็บรวบรวมข้อมูลสารขาเข้า-สารขาออกที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยเหล่านั้น เพื่อหลีกเลี่ยงความผิดเพี้ยนของข้อมูล

- หลีกเลี่ยงการปันส่วนโดยการขยายระบบผลิตภัณฑ์ เพื่อจะรวมหน่วยการทำงานเพิ่มเติม (Additional Functions) ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ร่วม (Co-Product) แสดงดังภาพที่ 4

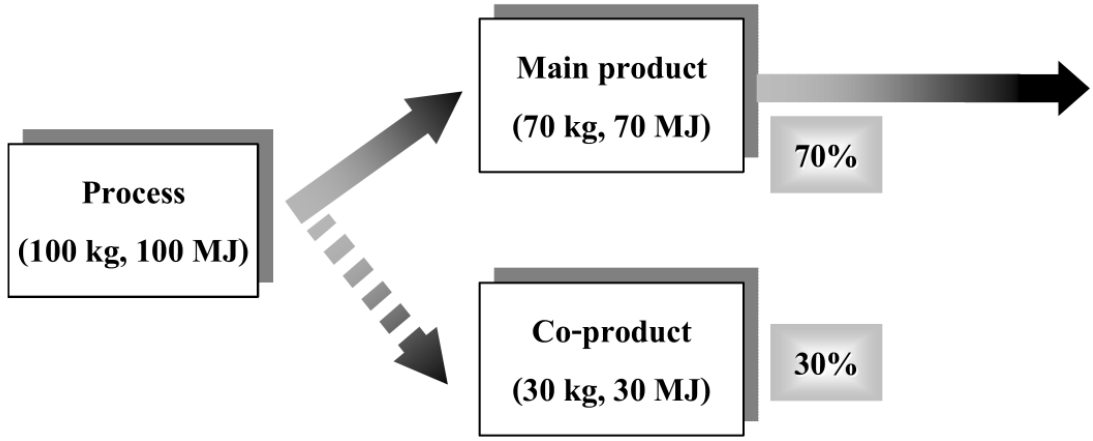


ภาพที่ 4 การหลีกเลี่ยงการปันส่วนโดยการแบ่งกระบวนย่อย

ที่มา: วรยุทธ (2551) อ้างจาก Kodera (2007)

กฎข้อที่ 2

- กรณีที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการปันส่วนได้ให้ทำรายการแยกข้อมูลสารขาเข้า-ออกของระบบระหว่างผลิตภัณฑ์ต่างชนิดกันหรือมีการทำงานต่างกัน โดยดูความสัมพันธ์ทางกายภาพและวัดออกมาในเชิงปริมาณ โดยผลของการปันส่วนไม่จำเป็นต้องอยู่ในภาพสัดส่วนของการวัดพื้นฐาน เช่น มวลของผลิตภัณฑ์รวมที่เกิดขึ้น แสดงดังภาพที่ 5

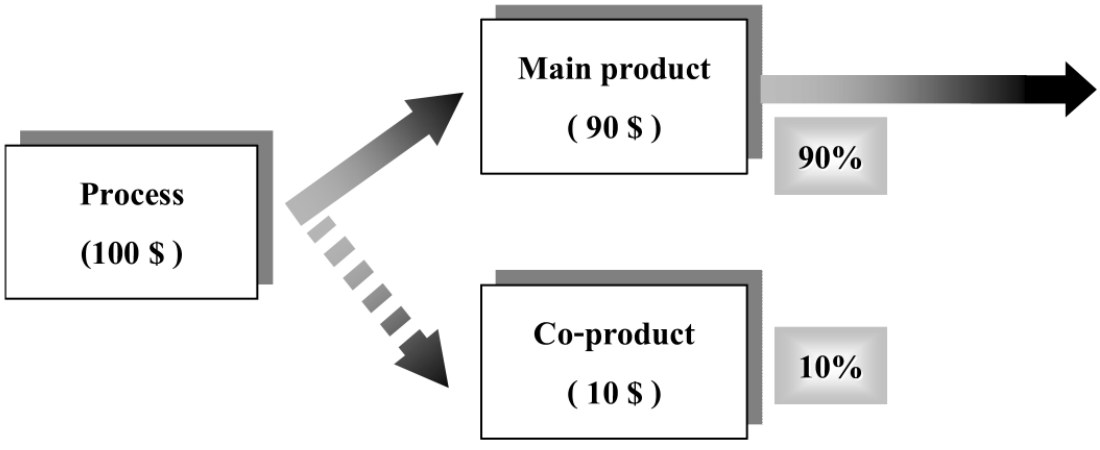


ภาพที่ 5 การปันส่วนโดยวิธีเชิงกายภาพ

ที่มา: วรยุทธ (2551) อ้างจาก Kodera (2007)

กฎข้อที่ 3

- เมื่อความสัมพันธ์ทางกายภาพเพียงอย่างเดียวไม่สามารถใช้เป็นพื้นฐานในการปันส่วนได้ ผู้วิจัยควรปันส่วนสารขาข้าวของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดไปในทิศทางที่สะท้อนถึงความสัมพันธ์ในภาพแบบอื่นๆ เช่น มูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ของผลิตภัณฑ์ แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การปันส่วนโดยวิธีเชิงเศรษฐศาสตร์

ที่มา: วรยุทธ (2551) อ้างจาก Kodera (2007)

7. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของผลการศึกษา (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหว เป็นกระบวนการประเมินผลที่เกิดจากการเปลี่ยนค่าปัจจัย (Parameter) ต่อผลลัพธ์ของการศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของผลลัพธ์และบทสรุปที่ได้รับจากการศึกษา ความอ่อนไหวของผลการศึกษาอาจเกิดจากความไม่แน่นอนของข้อมูล วิธีการปันส่วน การคัดเลือกตัวชี้วัดของกลุ่มผลกระทบ เป็นต้น

การตรวจสอบความอ่อนไหวทำได้โดยการตรวจสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการศึกษา ซึ่งได้จากการเปลี่ยนสมมุติฐานและข้อมูลให้แตกต่างกันไปเรื่อยๆ จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากสมมุติฐานและข้อมูลที่ต่างกันดังกล่าวมาเปรียบเทียบกัน ค่าความอ่อนไหวจะอยู่ในภาพของร้อยละของการเปลี่ยนแปลงหรืออยู่ในรูปของค่าเบี่ยงเบนสุทธิ (Absolute deviation) ของผลลัพธ์นั้น

นอกจากนี้ ยังอาจตรวจสอบความอ่อนไหวของประเด็นสำคัญ โดยใช้เทคนิคทั่วไปในการวิเคราะห์คุณภาพของข้อมูล ซึ่งมีอยู่ด้วยกัน 3 เทคนิค ได้แก่

- Gravity Analysis คือ การจำแนกข้อมูลซึ่งมีผลต่อผลลัพธ์ของตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบมากที่สุด

- การวิเคราะห์ความไม่แน่นอน (Uncertainty Analysis) เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของข้อมูลจากการทำ LCIA ที่มีผลต่อผลลัพธ์ของตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ

- การวิเคราะห์ความอ่อนไหวเป็นการวัดขนาดของการเปลี่ยนแปลงผลการศึกษา LCI และแบบจำลอง Characterization ที่มีผลต่อผลลัพธ์ของตัวชี้วัดกลุ่มผลกระทบ

ก๊าซธรรมชาติ

1. ความเป็นมา

ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลอย่างหนึ่ง ซึ่งพบได้ในแอ่งใต้พื้นดิน หรืออาจพบร่วมกับน้ำมันดิบหรือคอนเดนเสท โดยคาดว่าจะเป็นแหล่งพลังงานหลักที่จะนำมาใช้ได้อีกประมาณ 60 ปีข้างหน้า ปริมาณสำรองที่พิสูจน์แล้วทั่วโลกเมื่อปี พ.ศ. 2541 มีปริมาณ 5,086 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุต โดยพบมากที่สุด ในสหภาพโซเวียตเดิม มีปริมาณ 1,700 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุต รองลงมาคืออิหร่าน 810 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุต และกาตาร์ 300 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุต

ในปัจจุบันการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยในยานยนต์ เช่น ก๊าซธรรมชาติ กำลังได้รับการสนับสนุนมากขึ้นในหลายๆ ประเทศ อันเนื่องมาจากปัญหาคุณภาพอากาศและปัญหาก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นทั่วโลกและด้วยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในยานยนต์พบว่ามีมลพิษน้อยที่สุด เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงอื่นๆ ข้อได้เปรียบทางด้านสภาพแวดล้อม ก๊าซธรรมชาติจึงเป็นทางเลือกเชื้อเพลิงหนึ่งสำหรับยานยนต์ที่จะมีการใช้แพร่หลายมากขึ้น

2. คุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติ

ก๊าซธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งประกอบด้วย ธาตุคาร์บอน (C) กับธาตุไฮโดรเจน (H) จับตัวกันเป็นโมเลกุล โดยเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จากการทับถมของซากสิ่งมีชีวิตตามชั้นหิน ดิน และในทะเลหลายร้อยล้านปีมาแล้วเช่นเดียวกับน้ำมันและเนื่องจากความร้อนและความกดดันของผิวโลกจึงแปรสภาพเป็นก๊าซ

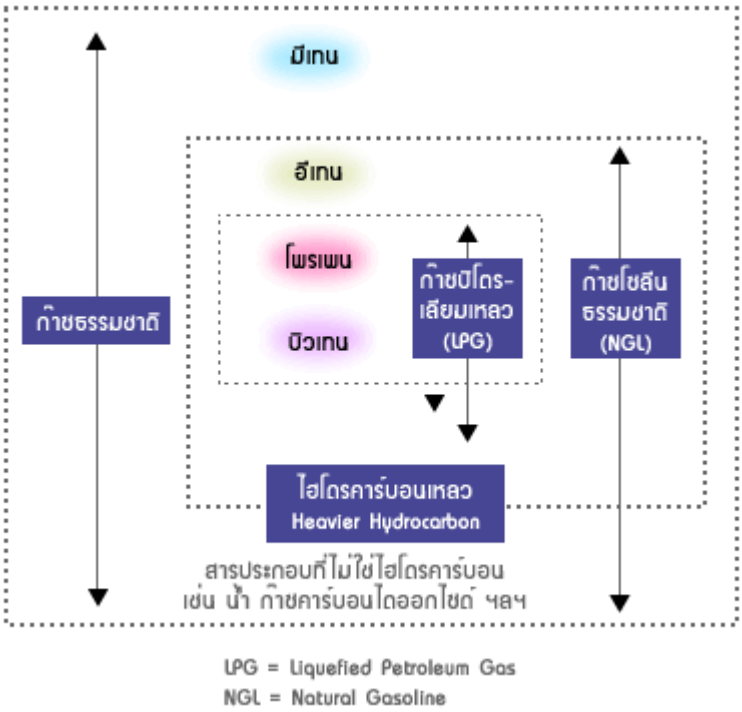
คุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติไม่มีสีไม่มีกลิ่น (ยกเว้นกลิ่นที่เติมเพื่อให้รู้เมื่อเกิดการรั่วไหล) และไม่มีพิษในสถานะปกติมีสภาพเป็นก๊าซหรือไอที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่าอากาศจึงเบากว่าอากาศ เมื่อเกิดการรั่วไหลจะฟุ้งกระจายไปตามบรรยากาศอย่างรวดเร็วจึงไม่มีการสะสมลุกไหม้บนพื้นราบ

ก๊าซธรรมชาติเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนซึ่งมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน (Methane) เป็นส่วนใหญ่จึงเป็นก๊าซที่มีน้ำหนักเบากว่าอากาศ การขนส่งไปยังผู้ใช้จะขนส่งผ่านทางท่อในรูปก๊าซภายใต้ความดันสูงจึงไม่เหมาะสำหรับการขนส่งไกลๆ หรืออาจบรรจุใส่ถังในรูปก๊าซธรรมชาติอัดโดยใช้ความดันสูง หรือที่เรียกว่า CNG แต่ปัจจุบันมีการส่งก๊าซธรรมชาติในภาพของเหลวโดยทำก๊าซให้เย็นลงถึง –160 องศาเซลเซียส จะได้ของเหลวที่เรียกว่า Liquefied Natural Gas หรือ LNG ซึ่งสามารถขนส่งทางเรือไปที่ไกลๆ ได้ และเมื่อถึงปลายทางอาจทำให้ของเหลวเปลี่ยนสถานะกลับเป็นก๊าซอย่างเดิมหรือใช้ในสถานะของเหลวต่อไป โดยที่ก๊าซธรรมชาติมีค่าออกเทนสูงถึง 120 RON จึงสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานยนต์ได้

เนื่องจากก๊าซธรรมชาติประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนหลายชนิด ดังนั้น กระบวนการแยกจึงมิได้เพียงเพื่อใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงเท่านั้น แต่ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ประโยชน์อื่นอีก ก๊าซมีเทนใช้ประโยชน์เป็นเชื้อเพลิงในอุตสาหกรรม เป็นวัตุดิบสำหรับการผลิตปุ๋ย และอัดใส่ถังเป็นเชื้อเพลิงรถโดยสาร NGV (Natural gas for vehicles, NGV) อีเทนและโพรเพนใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied petroleum gas, LPG) ซึ่งประกอบด้วยโพรเพนและบิวเทนใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้ม เชื้อเพลิงสำหรับรถและอุตสาหกรรม แก๊สโซลีนธรรมชาติ (Natural gas liquid, NGL) ส่งเข้าโรงกลั่นเป็นน้ำมันเบนซิน ก๊าซธรรมชาติที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นจะใช้สำหรับเตาเผา หม้อต้มน้ำ และเครื่องจักรไอน้ำ ส่วนก๊าซธรรมชาติที่ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีก็เพื่อผลิตปุ๋ย พลาสติก เส้นสังเคราะห์ และยากำจัดวัชพืช แสดงองค์ประกอบก๊าซดังภาพที่ 7

โรงแยกก๊าซธรรมชาติของปตท. ที่ จ.ระยอง จะแยกคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย ซึ่ง ปตท.ได้ร่วมกับบริษัท ลิควิด คาร์บอนิก (ประเทศไทย) สร้างโรงงานเพื่อส่งเสริมการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมหลอมโลหะ เชื่อมโลหะ น้ำยาดับเพลิง และทำฝนเทียม

ปตท. ได้เล็งเห็นการพัฒนาอุตสาหกรรมใหม่จากก๊าซธรรมชาติ จึงได้สร้างโรงแยกก๊าซธรรมชาติขึ้นโรงแรกเมื่อปี 2525 ที่มาบตาพุดชายฝั่งทะเลภาคตะวันออกเพื่อแยกอีเทนและโพรเพนสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี เพื่อผลิตเอทิลีนและโพรพิลีน รวมทั้งโพรเพนและบิวเทนสำหรับผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว ซึ่งมีความต้องการในอุตสาหกรรมทั้งสองนี้สูง



ภาพที่ 7 องค์ประกอบของก๊าซธรรมชาติ

ที่มา: บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) (2551ก)

3. ประโยชน์จากก๊าซธรรมชาติ

การใช้ประโยชน์จากก๊าซธรรมชาติได้ใน 2 ลักษณะใหญ่ๆ คือ

3.1. ใช้เป็นเชื้อเพลิง

เราสามารถใช้ก๊าซธรรมชาติได้โดยตรง ด้วยการใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า หรือใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเซรามิค อุตสาหกรรมสุขภัณฑ์

ฯลฯ และเมื่อนำไปอัดใส่ถังด้วยความดันสูงก็สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ได้ เรียกว่า ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์

3.2 นำไปผ่านกระบวนการแยกในโรงแยกก๊าซ

เพราะในตัวเนื้อก๊าซธรรมชาติ มีสารประกอบที่เป็นประโยชน์อยู่มากมาย เมื่อนำมาผ่านกระบวนการแยกที่โรงแยกก๊าซแล้ว ก็จะได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ มาใช้ประโยชน์ได้ ดังนี้

- ก๊าซมีเทน (C_1): ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ในโรงงานอุตสาหกรรม และนำไปอัดใส่ถังด้วยความดันสูง เรียกว่าก๊าซธรรมชาติอัด สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ รู้จักกันในชื่อว่า "ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์"

- ก๊าซอีเทน (C_2): ใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้น สามารถนำไปใช้ผลิตเม็ดพลาสติก เส้นใยพลาสติกชนิดต่างๆ เพื่อนำไปใช้แปรรูปต่อไป

- ก๊าซโพรเพน (C_3) และก๊าซบิวเทน (C_4): ก๊าซโพรเพนใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีขั้นต้นได้เช่นเดียวกัน และหากนำเอาก๊าซโพรเพนกับก๊าซบิวเทนมาผสมกันอัดใส่ถังเป็นก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือที่เรียกว่าก๊าซหุงต้ม สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ และใช้ในการเชื่อมโลหะได้ รวมทั้งยังนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทได้อีกด้วย

- ไฮโดรคาร์บอนเหลว (Heavier Hydrocarbon): อยู่ในสถานะที่เป็นของเหลวที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ เมื่อผลิตขึ้นมาถึงปากบ่อบนแท่นผลิต สามารถแยกจากไฮโดรคาร์บอนที่มีสถานะเป็นก๊าซบนแท่นผลิต เรียกว่า คอนเดนเสท (Condensate) สามารถลำเลียงขนส่งโดยทางเรือหรือทางท่อ นำไปกลั่นเป็นน้ำมันสำเร็จรูปต่อไป

- ก๊าซโซลีนธรรมชาติ: แม้ว่าจะมีการแยกคอนเดนเสทออกเมื่อทำการผลิตขึ้นมาถึงปากบ่อบนแท่นผลิตแล้ว แต่ก็ยังมีไฮโดรคาร์บอนเหลวบางส่วนหลุดไปกับไฮโดรคาร์บอนที่มีสถานะเป็นก๊าซ เมื่อผ่านกระบวนการแยกจากโรงแยกก๊าซธรรมชาติแล้ว ไฮโดรคาร์บอนเหลว

เหล่านี้ก็จะถูกแยกออก เรียกว่า ก๊าซโซลีนธรรมชาติและส่งเข้าไปยังโรงกลั่นน้ำมัน เป็นส่วนผสมของผลิตภัณฑ์น้ำมันสำเร็จรูปได้เช่นเดียวกับคอนเดนเสท และยังเป็นตัวทำละลายซึ่งนำไปใช้ในอุตสาหกรรมบางประเภทได้เช่นกัน

- ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์: เมื่อผ่านกระบวนการแยกแล้ว จะถูกนำไปทำให้อยู่ในสภาพของแข็ง เรียกว่าน้ำแข็งแห้ง นำไปใช้ในอุตสาหกรรมถนอมอาหาร อุตสาหกรรมน้ำอัดลม และเบียร์ ใช้ในการถนอมอาหารระหว่างการขนส่ง

4. การใช้ก๊าซธรรมชาติในประเทศไทย

การใช้ก๊าซธรรมชาติในประเทศไทยปัจจุบัน ประเทศไทยใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นพลังงานหลักในการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยคิดเป็นสัดส่วนมากกว่าร้อยละ 60 ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้ผลิตไฟฟ้า ในขณะที่ความต้องการใช้ก๊าซธรรมชาติเฉลี่ยอยู่ที่วันละกว่า 2,000 ล้านลูกบาศก์ฟุต โดยร้อยละ 77 ของปริมาณก๊าซธรรมชาติทั้งหมดที่จัดหาได้จำหน่ายให้แก่ กฟผ. ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ และผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า ร้อยละ 8 จำหน่ายให้กับโรงงานอุตสาหกรรม และร้อยละ 15 ใช้เป็นวัตถุดิบในโรงแยกก๊าซธรรมชาติ

ในส่วนของการจัดหาก๊าซธรรมชาติ ปตท.สามารถจัดหาก๊าซธรรมชาติจากแหล่งต่างๆ ทั้งในทะเลและบนบก รวมทั้งการนำเข้าจากสหภาพพม่าได้วันละ 2,000 ล้านลูกบาศก์ฟุตเช่นกัน คิดเป็นสัดส่วนการจัดหาจากแหล่งก๊าซธรรมชาติในประเทศร้อยละ 75 และอีกร้อยละ 25 เป็นการนำเข้าจากแหล่งยาดานาและแหล่งเยตากุนของสหภาพพม่า โดยมีรายละเอียดปริมาณการรับก๊าซตามสัญญาซื้อขายซื้อขายแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 รายละเอียดปริมาณการรับก๊าซตามสัญญาซื้อขาย

ชื่อแหล่ง	ปริมาณซื้อขายตามสัญญา (ล้านลูกบาศก์ฟุต/วัน)	ปริมาณสำรอง (ล้านล้านลูกบาศก์ฟุต)	บริษัทผู้รับสัมปทาน
เอราวัณ	230	0.82	ยูโนแคล / โมเอโก้
ยูโนแคล 2 และ 3	510	4.87	ยูโนแคล / โมเอโก้ / ปตท.สผ.
บงกช	550	7.91	ปตท.สผ. / โททาล / บีจี / ลิสบอนสตาร์ แมเนจเม้นท์
น้ำพอง	60-90	0.37	เอสโซ่ / ปตท.สผ.
ทานตะวัน/เบญจมาศ	125	0.81	ไทยโป / เชฟรอน / พลังโสภณ
ไพลิน	165-330	3.99	ยูโนแคล / โมเอโก้ / ปตท.สผ. / อเมราด้า เฮส
ยาดานา	525	6.38	ยูโนแคล / ปตท.สผ. / โททาล / บริษัทน้ำมันและก๊าซแห่งชาติพม่า
เจดีเอ (ยังไม่เริ่มผลิต)	390	6.27	เปโตรนาส / ไตรตัน

ที่มา: บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) (2550ข)

5. โรงแยกก๊าซธรรมชาติในประเทศไทย

"โรงแยกก๊าซธรรมชาติ" ถือกำเนิดขึ้นในประเทศไทย นับเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่ก๊าซธรรมชาติ และเป็นการใช้ประโยชน์จากทรัพยากรก๊าซธรรมชาติให้ได้คุณค่าสูงสุด อีกทั้งเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาอุตสาหกรรมต่อเนื่องอื่นๆอีกมากมาย

การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย หรือ ปตท. ในครั้งนั้น จึงได้ก่อสร้างโรงแยกก๊าซธรรมชาติ หน่วยที่ 1 ขึ้น ที่ตำบลมาบตาพุด อำเภอเมือง จังหวัดระยอง เมื่อปี พ.ศ. 2525 การก่อสร้างแล้วเสร็จและเริ่มเปิดดำเนินการอย่างเป็นทางการเมื่อวันที่ 18 เมษายน พ.ศ. 2528 โดยได้รับพระมหากรุณาธิคุณจากพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว เสด็จพระราชดำเนินพร้อมด้วยสมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯสยามบรมราชกุมารี และสมเด็จพระเจ้าลูกเธอ เจ้าฟ้าจุฬาภรณ์วลัยลักษณ์ อัครราชกุมารี ทรงประกอบพิธีเปิดอย่างเป็นทางการ ต่อมา โรงแยกก๊าซธรรมชาติ หน่วยที่ 2 และโรงแยกก๊าซธรรมชาติ หน่วยที่ 3 ได้ถูกก่อสร้างเพิ่มเติมในบริเวณเดียวกับหน่วยที่ 1 เริ่มดำเนินการในปี พ.ศ. 2534 และ พ.ศ. 2540 ตามลำดับ เพื่อเพิ่มปริมาณการผลิตก๊าซอีเทน ก๊าซโพรเพน ก๊าซปิโตรเลียมเหลว หรือก๊าซหุงต้ม (Liquefied Petroleum Gas, LPG) และก๊าซโซลีนธรรมชาติ ที่มีความต้องการเพิ่มมากขึ้น และให้การสนับสนุนธุรกิจต่อเนื่อง โดยใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ทั้งนี้ ประโยชน์ที่ได้จากโรงแยกก๊าซธรรมชาติ นอกจากทำให้สามารถประหยัดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ ลดปริมาณการขาดดุลการค้าเสริมสร้างความมั่นคงให้กับอุตสาหกรรมปิโตรเคมีในบริเวณพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออก ยังสามารถเสริมสร้างเสถียรภาพทางด้านพลังงานให้กับประเทศอีกทางหนึ่ง โรงแยกก๊าซธรรมชาติ หน่วยที่ 4 ก่อสร้างขึ้นเพื่อสนองตอบความต้องการพลังงาน เช่น ก๊าซหุงต้ม (LPG) ของประเทศ และก๊าซโซลีนธรรมชาติ โดยเฉพาะในเขตพื้นที่ภาคใต้ของประเทศได้มีพิธีเปิดอย่างเป็นทางการ เมื่อวันที่ 12 กรกฎาคม พ.ศ. 2539 โดยนำก๊าซธรรมชาติจากแหล่งบงกช ส่งผ่านท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 32 นิ้ว ยาว 170 กิโลเมตร เข้าไปที่แท่นกลางเอราวัณ และส่งผ่านท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 24 นิ้ว ยาว 160 กิโลเมตร ไปขึ้นฝั่งที่ตำบลท้องเนียน อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช การก่อสร้างโรงแยกก๊าซธรรมชาติ หน่วยที่ 4 ส่งผลให้ ปตท.สามารถขนส่งผลิตภัณฑ์ทางเรือไปยังคลังก๊าซที่สุราษฎร์ธานีและสงขลาได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น และเพิ่มความสะดวกต่อการส่งออกผลิตภัณฑ์ไปยังต่างประเทศ อย่างไรก็ตาม จากสภาวการณ์พลังงานที่มีแนวโน้มความต้องการใช้เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามภาวการณ์เติบโตทางเศรษฐกิจ ส่งผลให้ความต้องการก๊าซธรรมชาติของประเทศได้เพิ่ม

สูงขึ้นด้วย ขณะที่ความต้องการวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีก็เพิ่มสูงขึ้นเป็นลำดับ ด้วยเหตุนี้ เมื่อวันที่ 22 ธันวาคม พ.ศ. 2542 คณะกรรมการ ปตท.ได้มีมติเห็นชอบให้ก่อสร้างโรงแยกก๊าซธรรมชาติ หน่วยที่ 5 เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตก๊าซ อีเทนและก๊าซปิโตรเลียมเหลวหรือก๊าซหุงต้ม สำหรับใช้เป็นวัตถุดิบป้อนการขยายกำลังการผลิตในโรงงานของบริษัท ไทยโอเลฟินส์ จำกัด (มหาชน) และต่อมาคณะกรรมการ ปตท. ได้มีมติเมื่อวันที่ 27 กันยายน พ.ศ.2544 อนุมัติในหลักการให้ ปตท. ให้การสนับสนุนการดำเนินโครงการขยายกำลังการผลิตเอทิลีนของบริษัท ไทยโอเลฟินส์ จำกัด (มหาชน) ขนาดกำลังผลิต 300,000 ตันต่อปี โดยใช้ก๊าซอีเทนเป็นวัตถุดิบ เพื่อลดต้นทุนการผลิต โครงการนี้เป็นโครงการแรกที่ได้รับการส่งเสริมการลงทุนจากสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการลงทุน (BOI) ซึ่งได้รับสิทธิประโยชน์ เช่น ยกเว้นอากรนำเข้าเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ในการก่อสร้าง โดยกำลังการผลิตและผลิตภัณฑ์ของโรงแยกก๊าซหน่วยที่ 1-5 แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 กำลังการผลิตและผลิตภัณฑ์ของโรงแยกก๊าซธรรมชาติ หน่วยที่ 1-5

ปริมาณการรับก๊าซ	มีเทน (ล้านลูกบาศก์ฟุต/วัน)	อีเทน (ตัน/ปี)	โพรเพน (ตัน/ปี)	ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (ตัน/ปี)	ก๊าซโซลีนธรรมชาติ (ตัน/ปี)
หน่วยที่ 1 :	250	330,000	191,000	243,000	76,000
หน่วยที่ 2 :	230	76,000	108,000	205,000	36,000
หน่วยที่ 3 :	315	111,000	201,000	250,000	36,000
หน่วยที่ 4 :	215	-	-	205,000	34,000
หน่วยที่ 5 :	337	520,000	151,000	495,000	177,000

ที่มา: บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) (2550ค)

6. กระบวนการทำงานของโรงแยกก๊าซ

โรงแยกก๊าซทำงานโดยอาศัยหลักการขยายตัวของก๊าซ ก๊าซธรรมชาติจากแหล่งผลิตถูกส่งผ่านมาทางท่อ เมื่อถึงโรงแยกก๊าซธรรมชาติก็จะผ่านกระบวนการลดความดันและอุณหภูมิและส่งต่อไปยังหอแยก ผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ถูกแยกออกมาตามแต่จุดเดือดของมัน

โรงแยกก๊าซประกอบด้วยกระบวนการหลักและหน่วยต่าง ๆ ดังนี้

- หน่วยกำจัดปรอท เนื่องจากก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทยมีสารปรอทปนเปื้อนอยู่ด้วย ดังนั้นโรงแยกก๊าซจึงต้องมีหน่วยนี้เพื่อกำจัดปรอทออกจากก๊าซ

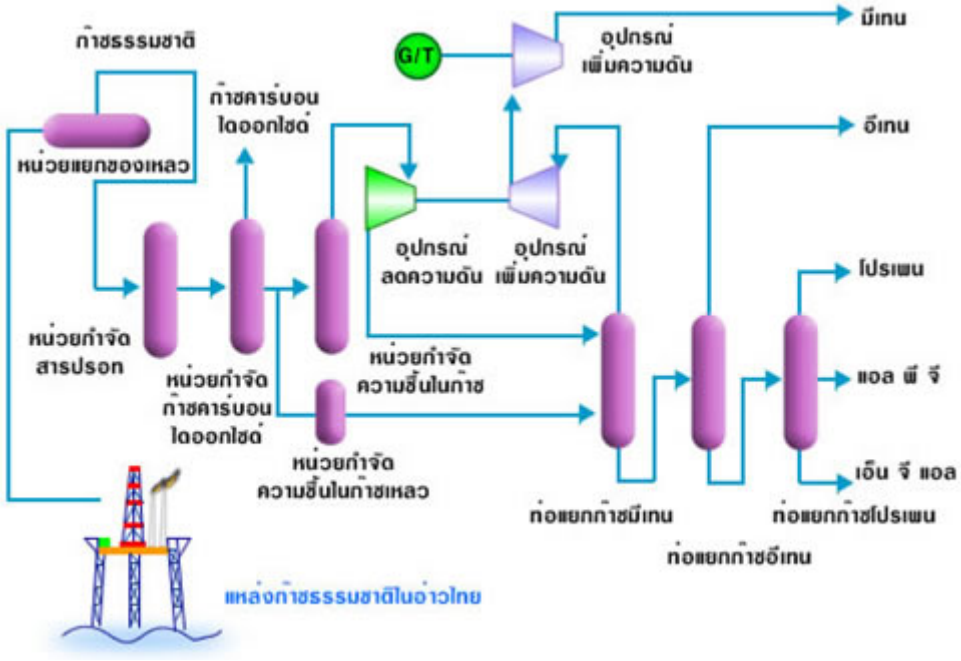
- หน่วยกำจัดความชื้น การกำจัดความชื้นออกจากก๊าซธรรมชาติเป็นสิ่งที่จำเป็น เพราะความชื้นหรือไอน้ำจะกลายเป็นน้ำแข็งเมื่อเข้ากระบวนการลดอุณหภูมิลงต่ำ ๆ ซึ่งจะทำให้ท่ออุดตัน ไอน้ำถูกกำจัดด้วยวิธีทางเคมีที่เรียกว่า กระบวนการกรองโมเลกุล (Molecular Sieve)

- หน่วยแยกมีเทน อีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการลดความดันและอุณหภูมิลงแล้วจะผ่านหอแยกนี้ ก๊าซส่วนบนสุดของหอกลั่น คือ ก๊าซเชื้อเพลิง ได้แก่ มีเทนและอีเทน ซึ่งเมื่อแยกออกมาแล้วจะส่งเข้าท่อต่อไปให้กับการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย (กฟผ) ก๊าซในหอแยกส่วนที่ต่ำลงมาจะถูกแยกส่งผ่านต่อไปยังหอแยกอีเทน เพื่อแยกก๊าซอื่นๆ ออกจากก๊าซมีเทนและอีเทน ก๊าซส่วนบนหอแยกนี้จะถูกส่งกลับไปยังหอแยกแรกอีกครั้ง สำหรับก๊าซส่วนบนหอแยกนี้จะถูกส่งกลับไปยังหอแยกแรกอีกครั้ง สำรับก๊าซส่วนล่างจะเพิ่มอุณหภูมิและส่งไปยังหอแยกก๊าซปิโตรเลียมเหลว

- หอแยกแอลพีจีและเอ็นจีแอล ภายในหอนี้ก๊าซแอลพีจีจะถูกแยกออกมาจากส่วนบน ในขณะที่ของเหลว คือ ก๊าซโซลีนธรรมชาติ จะอยู่ที่ก้นหอและถูกส่งไปลงถังเก็บเพื่อรอการขนส่งต่อไป

- หน่วยกำจัดก๊าซไข่เน่า กระบวนการนี้เป็นกระบวนการทำความสะอาดเพื่อแยกกำมะถันออกจากก๊าซแอลพีจี เพื่อให้มีคุณสมบัติเป็นไปตามที่ผู้ใช้ต้องการ หลังจากผ่านกระบวนการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ก๊าซแอลพีจีจะถูกส่งไปยังถังเก็บเพื่อรอการขนส่งทางรถและทางเรือ

โดยกระบวนการแยกก๊าซสามารถแสดงได้ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 กระบวนการแยกก๊าซธรรมชาติ

ที่มา: บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) (2551ง)

7. ความเป็นมาของการวางท่อก๊าซธรรมชาติ

การขนส่งก๊าซธรรมชาติทางท่อ ปรากฏหลักฐานว่า เริ่มมาตั้งแต่ 900 ปีก่อนคริสตกาล โดยชาวจีนใช้กระบอกไม้ไผ่ในการขนส่งก๊าซธรรมชาติ ส่วนในประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่า มีการใช้ท่อส่งก๊าซธรรมชาติที่ทำจากไม้ในปี พ.ศ. 2364 หรือประมาณ 180 ปีที่ผ่านมา ปัจจุบันมีการวางเครือข่ายท่อส่งก๊าซธรรมชาติในสหรัฐอเมริการวมกันเป็นระยะทางกว่า 1.3 ล้านไมล์ (2.08 ล้านกิโลเมตร)

ในประเทศไทย เริ่มมีการก่อสร้างระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติและเริ่มใช้งานในปี พ.ศ. 2524 โดย บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) (ปตท.) (การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทยเดิม) รับผิดชอบการวางท่อส่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งเอราวัณในอ่าวไทยมายังชายฝั่งที่จังหวัดระยอง และวางท่อส่งก๊าซธรรมชาติเลียบถนนสายหลักไปยังโรงงานผู้ใช้ ได้แก่ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา โรงจักรพระนครใต้ จังหวัดสมุทรปราการ และโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ตาม

แนวท่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อจะแตกต่างไปตามปริมาณการจำหน่ายให้แก่ลูกค้า ปัจจุบัน (พ.ศ. 2545) ประเทศไทยมีระบบท่อขนส่งก๊าซธรรมชาติเป็นเครือข่ายทั่วประเทศ ทั้งบนบกและในทะเล เป็นระยะทางรวมกันกว่า 2,650 กิโลเมตร และสามารถจัดส่งก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า เชื้อเพลิงในโรงงานอุตสาหกรรม และใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี รวมกันประมาณวันละกว่า 2,000 ล้านลูกบาศก์ฟุต โดยระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติสายหลักของ ปตท. แสดงดังตารางที่ 5 และแผนที่เครือข่ายระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติดังภาพที่ 9

ตารางที่ 5 ระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติสายหลักของ ปตท.

ระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติ	ความยาว (กิโลเมตร)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (นิ้ว)	ความสามารถสูงสุดในการส่งก๊าซฯ (ล้านลูกบาศก์ฟุต/วัน)	ปีที่เริ่มดำเนินงาน
ระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติในทะเล				
เอราวัณ - โรงแยกก๊าซธรรมชาติระยอง	415	34	765	2524
แหล่งบงกช - เอราวัณ (ท่อสายประธาน)	171	32	635	2539
เอราวัณ - โรงแยกก๊าซธรรมชาติระยอง	418	36	955	2539-2540

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติ	ความยาว (กิโลเมตร)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (นิ้ว)	ความสามารถสูงสุดในการส่งก๊าซฯ (ล้านลูกบาศก์ฟุต/วัน)	ปีที่เริ่มดำเนินงาน
ระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติในทะเล (ต่อ)				
เอราวัณ - โรงไฟฟ้าขนอม	161	24	210	2539
ระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติบนบก				
โรงแยกก๊าซธรรมชาติระยอง - โรงไฟฟ้าบางปะกง (ท่อสายประธาน)	104	28	500	2524
โรงไฟฟ้าบางปะกง - โรงไฟฟ้าพระนครใต้ (ท่อสายประธาน)	57	28	N.A.*	2524
บางพลี - สระบุรี (ท่อสายประธาน)	99	24	280	2524
แหล่งน้ำพอง - โรงไฟฟ้าน้ำพอง	3.5	16	140	2533

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติ	ความยาว (กิโลเมตร)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (นิ้ว)	ความสามารถสูงสุดในการส่งก๊าซฯ (ล้านลูกบาศก์ฟุต/วัน)	ปีที่เริ่มดำเนินงาน
ระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติบนบก (ต่อ)				
โรงแยกก๊าซธรรมชาติระยอง - โรงไฟฟ้าบางปะกง (ท่อคู่ขนาน)	105	28	600	2539
บางปะกง - โรงไฟฟ้าวังน้อย (ท่อคู่ขนาน)	100	36	860	2539
ท่อส่งก๊าซธรรมชาติจากชายแดนไทยและสหภาพพม่า - โรงไฟฟ้าราชบุรี	238	42	1100	2541
ราชบุรี - วังน้อย	154	30	330	2543

หมายเหตุ * ไม่สามารถระบุความสามารถสูงสุดในการส่งก๊าซธรรมชาติได้ เนื่องจากมีการส่งก๊าซธรรมชาติทั้งไปและย้อนกลับ (reverse flow)

ที่มา: บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) (2550จ)

ภาพที่ 9 แผนที่เครือข่ายระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติ

ที่มา: บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) (2550ฉ)

8. ก๊าซธรรมชาติเหลว

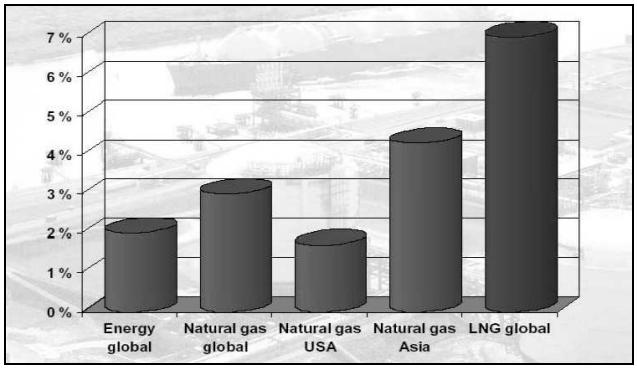
8.1 ความหมายของก๊าซธรรมชาติเหลว

ก๊าซธรรมชาติเหลวหรือก๊าซแอลเอ็นจี คือ ก๊าซธรรมชาติที่ถูกนำมาผ่านกระบวนการลดอุณหภูมิ ให้กลายเป็นของเหลวที่ -161.5 องศาเซลเซียส ที่ความดันบรรยากาศ ปริมาตรจะลดลงประมาณ 600 เท่าของสถานะก๊าซ ก๊าซธรรมชาติเหลวจะถูกบรรจุลงถังเพื่อขนถ่ายทางรถหรือทางเรือไปยังแหล่งที่มีความต้องการใช้ต่อไป โดยก๊าซธรรมชาติเหลวนี้สามารถถูกนำเข้าสู่กระบวนการเพิ่มความร้อนอีกครั้ง เพื่อทำให้กลับเป็นสถานะก๊าซดังเดิมหรือใช้งานในสภาพของเหลวได้ สาเหตุ

ที่ต้องทำให้ก๊าซธรรมชาติแปรสภาพเป็นของเหลวก่อนก็เพื่อความสะดวกในการขนส่งสำหรับนำไปใช้ในประเทศที่อยู่ห่างไกลจากแหล่งก๊าซธรรมชาติที่มีข้อจำกัดที่ไม่สามารถต่อท่อจากแหล่งก๊าซได้

ก๊าซธรรมชาติเริ่มเข้ามามีบทบาทสำคัญ เมื่อทั่วโลกได้มีการตื่นตัวทางด้านปัญหามลภาวะประกอบกับเพื่อที่จะตอบสนองความต้องการใช้พลังงานที่สูงมาก เนื่องจากการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ปัจจุบันจึงต้องการวิจัยอย่างจริงจังทำให้ทราบว่าแหล่งก๊าซธรรมชาติใหญ่ๆมีอยู่เกือบทั่วโลกและเป็นเชื้อเพลิงที่มีความบริสุทธิ์สูงใช้ประโยชน์ได้หลายอย่างและยังให้พลังงานที่สูงกว่าถ่านหินที่ใช้ในครัวเรือน นอกจากนี้ยังพบว่า การใช้ก๊าซธรรมชาติเหลวยังทำให้สามารถลดจำนวนอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในกระบวนการผลิตและกระบวนการขนส่งได้ทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้อีกด้วย

จากการวิเคราะห์อัตราการเติบโตทางด้านพลังงานในปี 2000-2010 ระหว่างพลังงานทั่วโลก ก๊าซธรรมชาติทั่วโลก ก๊าซธรรมชาติของประเทศสหรัฐอเมริกา ก๊าซธรรมชาติของทวีปเอเชียและก๊าซธรรมชาติเหลวทั่วโลก พบว่า ก๊าซธรรมชาติเหลวมีอัตราการเจริญเติบโตมากที่สุดประมาณร้อยละ 7 จาก 20 ปีที่ผ่านมาแล้ว แสดงดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การประมาณอัตราการเติบโตทางด้านพลังงานปี 2000-2010

ที่มา: Brendeng and Hetland (2004)

8.2 การผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG Production)

หลักการพื้นฐานของอุตสาหกรรม LNG คือ คุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติซึ่งเมื่อทำให้เย็นที่อุณหภูมิประมาณ -160°C ซึ่งจะกลายสภาพเป็นของเหลวที่ระดับความดันบรรยากาศ โดยก๊าซธรรมชาติเหลวจะมีปริมาตรประมาณ 1 ใน 600 ของก๊าซธรรมชาติในสถานะที่เป็นก๊าซและสามารถขนส่งข้ามมหาสมุทรได้โดยเรือที่มีการออกแบบไว้เฉพาะเท่านั้น ก๊าซธรรมชาติเหลวสามารถรับ-จ่ายและเก็บไว้ในถังภายใต้ความดันบรรยากาศและสามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวเป็นก๊าซเพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบท่อจ่ายได้

LNG สามารถผลิตขึ้นได้ โดยกระบวนการทำให้ก๊าซธรรมชาติที่ได้จากการผลิตจากหลุมผลิตปิโตรเลียมมาผ่านกระบวนการโดยการแยกเอาสารประกอบต่างๆ ออกไป เช่น ก๊าซฮีเลียม และสารประกอบที่ไม่บริสุทธิ์ต่างๆ ที่อาจจะเป็นอุปสรรคต่อการทำอุตสาหกรรมต่อเนื่อง (down stream) อื่นๆ เช่น น้ำ และสารประกอบไฮโดรคาร์บอนหนักต่างๆ ออกไป

การควบแน่นให้เป็นของเหลวนั้นทำในระดับความดันของชั้นบรรยากาศปกติ ในขณะที่ค่าความดันที่กำหนด ในการขนส่ง LNG ตามปกตินั้น ค่าความดันของก๊าซจะอยู่ที่ ประมาณ 25 kPa การควบแน่นทำได้โดยการลดอุณหภูมิก๊าซธรรมชาติลงให้เป็น -160 องศาเซลเซียส โรงงานผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวแสดงดังภาพที่ 11

ภาพที่ 11 โรงงานผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (2542)

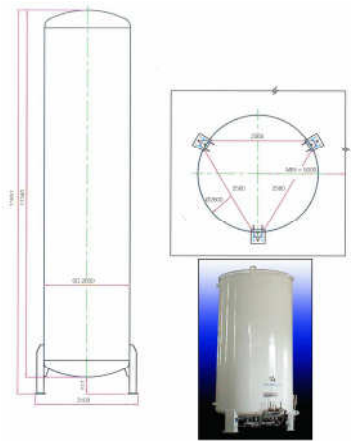
หัวใจหลักในการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว คือ การลดอุณหภูมิของก๊าซธรรมชาติลงจนต่ำกว่าจุดเดือดของก๊าซมีเทน (CH_4) จนกระทั่งได้ของเหลวในรูป LNG โดยใช้ระบบทำความเย็น ซึ่ง

ระบบสร้างความเย็นที่ใช้ปัจจุบันมีด้วยกันหลายเทคโนโลยี แต่ที่นิยมมี 4 ประเภท (บริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม. จำกัด (มหาชน), 2549) คือ

- Joule Thomson Cycle
- Nitrogen Refrigeration Cycle หรือ Nitrogen Recycle System
- Cascade cycle
- Mixed-refrigerant Cycle

สำหรับโครงการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงเหลวของประเทศไทยทั้งจากแหล่งน้ำมันดิบหนองตูม และที่โรงแยกก๊าซ จ.ระยอง ได้เลือกใช้เทคโนโลยีสร้างความเย็นแบบหมุนเวียนด้วยไนโตรเจน (Nitrogen Recycle System, NRCS) โดยจะใช้ไนโตรเจนเป็นสารทำความเย็น ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการผลิต การลงทุน กระบวนการไม่สลับซับซ้อน และมีความยืดหยุ่นสูงเหมาะกับขนาดแหล่งก๊าซธรรมชาติที่มีความผันผวน (Variation) ขององค์ประกอบก๊าซ รวมทั้งยังสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพให้ดีขึ้นได้อีกด้วย แต่ยังเป็นระบบที่มีความสิ้นเปลืองพลังงานค่อนข้างสูง (บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม. จำกัด (มหาชน), 2549)

LNG ที่ผลิตได้จะถูกจัดเก็บในถังสำรอง (LNG Storage Tank) ผนัง 2 ชั้น ผนังชั้นในทำจากแสตนเลสและผนังด้านนอกทำจากเหล็กคาร์บอนแสดงดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ลักษณะของถังเก็บสำรองก๊าซธรรมชาติเหลว

ที่มา: บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม. จำกัด (มหาชน) (2549)

8.3 การขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG Transportation)

8.3.1 การขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวทางเรือ (Oversea Transportation)

การขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวสามารถขนส่งด้วยเรือที่มีการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อใช้ในการขนส่ง LNG โดยเฉพาะ เนื่องจากถังเก็บ LNG เป็นถังที่มีส่วนประกอบของโลหะผสมนิเกิล จึงมีความปลอดภัยเพียงพอสำหรับการขนส่ง ทั้งนี้เรือสำหรับขนส่ง LNG ของประเทศไทยนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ ตามลักษณะของถังเก็บ LNG คือ แบบมอส (Moss) กับ แบบเมมเบรน (Membrane) สามารถแสดงได้ ดังภาพที่ 13 และภาพที่ 14 ตามลำดับ (บริษัท พีทีที แอลเอ็นจี จำกัด, 2550)

ภาพที่ 13 เรือขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวประเภทมอส

ที่มา: บริษัท พีทีที แอลเอ็นจี จำกัด (2550)

ภาพที่ 14 เรือขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวประเภทเมมเบรน

ที่มา: บริษัท พีทีที แอลเอ็นจี จำกัด (2550)

สำหรับตัวอย่างรายละเอียดของเรือที่ใช้ในการขนส่ง LNG ทั้ง 2 ประเภท คือ เรือขนส่งประเภท 4-Ball Spherical (Moss) ซึ่งมีขนาดความจุประมาณ 135,000 ลบ.ม. อัตราการกินน้ำลึกเท่ากับ 11.5 เมตร และเรือขนส่งประเภทเมมเบรน ซึ่งมีความจุประมาณ 264,000 ลบ.ม. อัตราการกินน้ำลึกเท่ากับ 12 เมตร สามารถแสดงรายละเอียดและข้อมูลด้านเทคนิคของเรือขนส่ง LNG ของประเทศไทย ได้ดังตารางที่ 6 และ 7

ตารางที่ 6 รายละเอียดของเรือขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวของประเทศไทย

รายละเอียด	หน่วย	เรือขนส่งขนาด 135,000 ลบ.ม.	เรือขนส่งขนาด 264,000 ลบ.ม.
Containment System Type	(-)	4-ball spherical	Membrane
Displacement (Full Load)	ลบ.ม.	110,000	174,800
Vessel Capacity	ลบ.ม.	135,000	264,100
Length overall (LOA)	ม.	285	345
Length Between Perpendicular (LBP)	ม.	270	333
Beam	ม.	48	55
Depth	ม.	27	27
Fully Loaded Draft	ม.	11.5	12
Ballast Draft	ม.	10.75	9.8
Air Draft (Full Ballast)	ม.	40	48.4
Engine Type	(-)	Gas turbine	Diesel Twin Screw
Propulsion Ahead	กิโลวัตต์	28,000	2*19500
Propulsion Astern	กิโลวัตต์	12,500	16,575
Number of Screws	(-)	1	2

ตารางที่ 6 (ต่อ)

รายละเอียด	หน่วย	เรือขนส่งขนาด 135,000 ลบ.ม.	เรือขนส่งขนาด 264,000 ลบ.ม.
Fwd/Aft Wind Area Loaded	ตร.ม.	1,650	1,839
Side Wind Area Loaded	ตร.ม.	7,800	7,741
Fwd/Aft Wind Area Ballast	ตร.ม.	1,710	1,960
Side Wind Area Ballast	ตร.ม.	8,138	8,500

ที่มา: บริษัท พีทีที แอลเอ็นจี จำกัด (2550)

ตารางที่ 7 ข้อมูลด้านเทคนิคของเรือขนส่ง LNG ของประเทศไทย

รายการ	ขนาดความจุของเรือ (ลบ.ม.)		
	125,000	165,000	264,000
Ship boil-off rate	0.15%	0.15%	0.15%
eff. Pump	75%	75%	75%
หัวสูบที่ต่อจาก Strainer ของเรือ	110 ม.	110 ม.	150 ม.
อัตราการสูบถ่ายสูงสุด	12,000 ลบ.ม./ชม.	12,000 ลบ.ม./ชม	15,000 ลบ.ม./ชม
ความดันปกติทั่วไปของถังเก็บภายในเรือขนส่ง LNG ในระหว่างการสูบถ่าย	100 มิลลิบาร์เกจ	100 มิลลิบาร์เกจ	100 มิลลิบาร์เกจ
ความดันออกแบบของถังเก็บภายในเรือขนส่ง LNG	170 มิลลิบาร์เกจ	170 มิลลิบาร์เกจ	170 มิลลิบาร์เกจ

ที่มา: บริษัท พีทีที แอลเอ็นจี จำกัด (2550)

- ท่าเทียบเรือและสถานีรับ-จ่าย (Jetty and Receiving Terminal) ก๊าซธรรมชาติเหลวของประเทศไทย

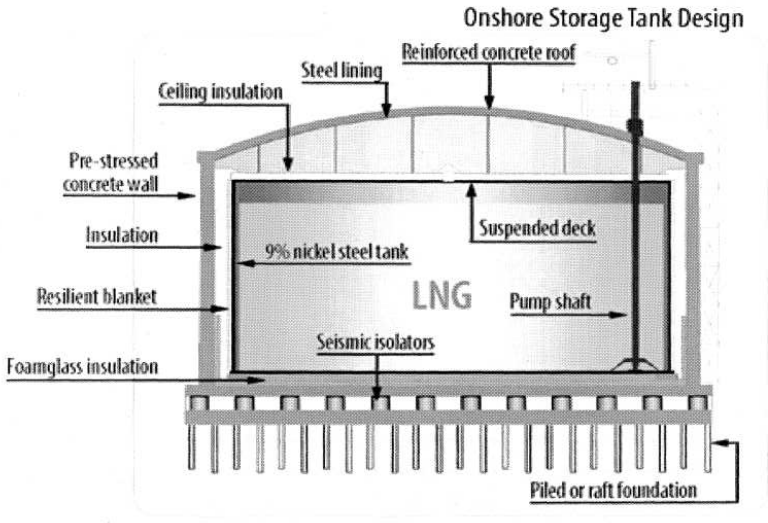
ท่าเทียบเรือและสถานีรับ-จ่ายก๊าซเป็นขั้นตอนต่อจากการขนส่งโดยเรือ ขั้นตอนต่างๆ ที่สำคัญประกอบด้วย การสูบ LNG จากเรือผ่าน Loading arm เข้าเก็บไว้ในถังสำรอง LNG และเมื่อมีความต้องการใช้อาจทำการสูบ LNG ออกจากถังนำไปผ่านหน่วย Vaporizer หรือกระบวนการที่เปลี่ยนสถานะจากของเหลวให้กลับกลายเป็นก๊าซอีกครั้งด้วยการเพิ่มอุณหภูมิ หรือทำการขนส่งต่อไปยังสถานีจ่ายก๊าซในภาพของเหลว

รายละเอียดอุปกรณ์บางส่วนในกระบวนการเปลี่ยนสถานะและส่งจ่ายก๊าซธรรมชาติเหลว

- ถังเก็บก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG Storage)

ถังเก็บก๊าซธรรมชาติเหลวมี 2 ลักษณะ คือ เก็บบนดินและเก็บใต้ดินขนาดความจุมีหลายขนาดแล้วแต่ปริมาณการใช้ในพื้นที่นั้นๆ ลักษณะการเก็บ LNG มักเป็นการเก็บที่รียกว่า cryogenic storage โดยเป็นการเก็บในแทงค์บรรจุที่ถูกออกแบบมาเป็นพิเศษ ที่นิยมมากในปัจจุบันจะเป็นแทงค์ที่เรียกว่า double-wall tanks ดังภาพที่ 15

ลักษณะภายในของ double-wall tanks ประกอบด้วย 9% นิกเกล ซึ่งสามารถทนต่อแรงดันที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเก็บ LNG ได้ ภายนอกแทงค์ถูกหุ้มด้วย steel หรือ concrete วัสดุที่ใช้เป็นฉนวนระหว่างภายในและภายนอกแทงค์มักทำจากแร่ เช่น perlite, cellular glass, glass wool



ภาพที่ 15 ลักษณะถังเก็บก๊าซธรรมชาติเหลว

ที่มา: บริษัท พีทีที แอลเอ็นจี จำกัด (2550)

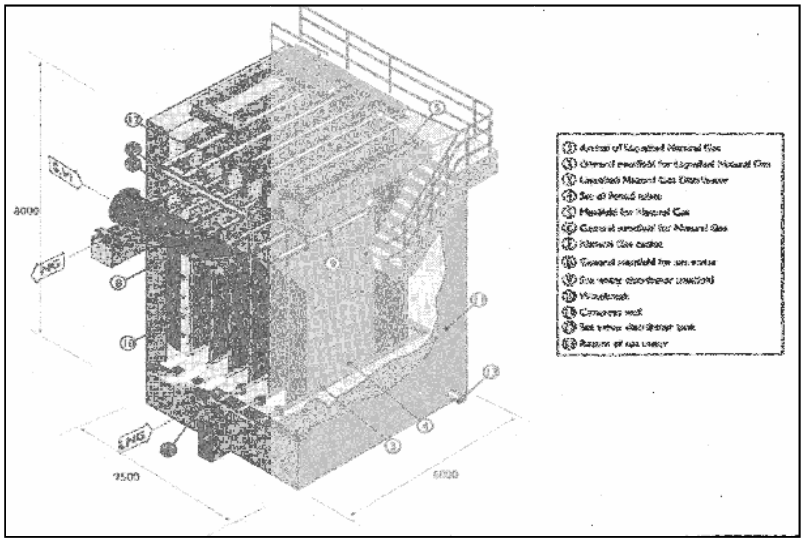
LNG ถูกเก็บใน cryogenic tank และถูกส่งไปยังจุดต่างๆด้วยรถขนส่ง รถไฟหรือเรือ ชนิดของแทงค์ LNG

- เครื่องทำไอ (Vaporiser)

เป็นเครื่องให้ความร้อนแก่ก๊าซธรรมชาติเหลว เพื่อให้เปลี่ยนสถานะเป็นไอโดยใช้น้ำทะเลเป็นตัวแลกเปลี่ยนความร้อน ตามภาพที่ 16 โดยน้ำทะเลไหลลงสู่ถาดด้านล่างในขณะที่ก๊าซธรรมชาติเหลวจะไหลในทิศสวนทางขึ้นผ่านท่อ ซึ่งมีลักษณะเป็นแฉกรูปดาวและภายในท่อจะมีแกนบิดเป็นเกลียวคล้ายสว่าน เพื่อให้ก๊าซธรรมชาติเหลวไหลวนไปตามร่องเกลียว ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อน โดยในขั้นตอนการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวให้กลายเป็นก๊าซซึ่งในระบบได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) Open Rack Type (Normal Operation) เป็นหน่วยที่เพิ่มอุณหภูมิให้กับ LNG โดยการนำเอาน้ำทะเลซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่า ไหลเวียนผ่านในระบบเพื่อถ่ายเทความร้อนให้กับ LNG

2) Submerged Combustion Type (Back up Unit) เป็นหน่วยที่เพิ่มอุณหภูมิให้กับ LNG ด้วยการใช้เชื้อเพลิงอื่น เช่น ก๊าซเผาไหม้ให้ความร้อนในระบบ Vaporizer



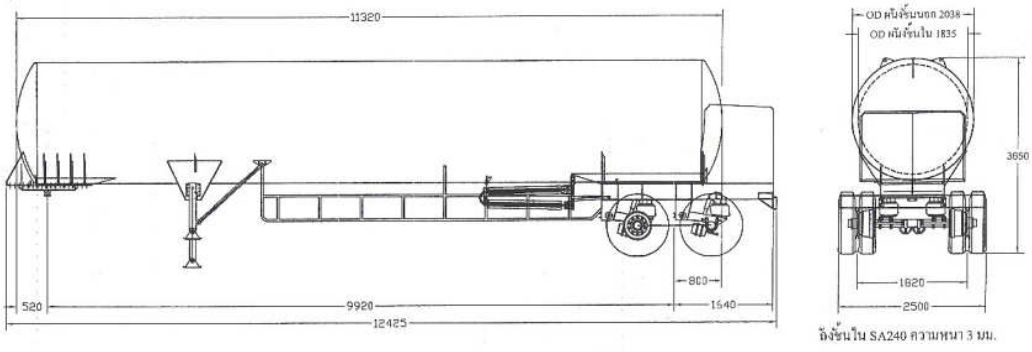
ภาพที่ 16 Typical Open Rack Vaporisers (ORVs)

ที่มา: บริษัท พีทีที แอลเอ็นจี จำกัด (2550)

- ถังเก็บก๊าซ เป็นถังเก็บก๊าซในสถานะไอ เพื่อที่จะส่งก๊าซไปตามท่อไปยังผู้ใช้ เช่น แหล่งอุตสาหกรรมและบ้านเรือน ถังเก็บก๊าซนี้มักถูกสร้างขึ้นใกล้แหล่งชุมชนความดันภายในถังต่ำประมาณ 10 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขนาดความจุขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้

8.3.2 การขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวโดยรถบรรทุก (LNG tank truck)

ก๊าซธรรมชาติเหลวจะสามารถถูกขนส่งต่อไปยังสถานีบริการต่อไปได้ โดยบรรจุในถังเก็บที่ถูกหุ้มด้วยฉนวน Epoxy Glass Fiber Reinforce Plastic ที่เหมาะสมสำหรับเป็นฉนวนที่อุณหภูมิต่ำ ช่วงระหว่าง inner และ outer Shell เป็นสุญญากาศ Inner shell และท่อส่งทำขึ้นจาก Austenic Stainless Steel ส่วนของ Outer Shell ทำจากอัลลอยด์ ในส่วนของประเทศไทยนั้นกำหนดให้มีการใช้รถพ่วง (Semi-Trailer) ที่ได้รับรองตามาตรฐาน ASME Section VIII, Division I แสดงดังภาพที่17



ภาพที่ 17 ลักษณะของรถบรรทุกพ่วง (Semi-Trailer) ที่ใช้ในการขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลว

ที่มา: บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม. จำกัด (มหาชน) (2549)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Okamura *et al.* (2007) ได้ทำศึกษาและคาดการณ์การแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกของก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) และ City Gas 13A ในปี 2010 ตลอดวัฏจักรชีวิตเปรียบเทียบกับการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกในงานวิจัยของปี 2003 พบว่า ก๊าซธรรมชาติเหลวและ City Gas 13A ในปี 2010 มีปริมาณการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ 59.9 และ 61.19 g-CO_2/เมกะจูล (Gross-Calorific Value) ตามลำดับ ในขณะที่ปริมาณการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกของก๊าซธรรมชาติเหลวและ City Gas 13A ในงานวิจัยของปี 2003 มีปริมาณการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ 60.58 และ 61.91 g-CO_2/เมกะจูล (Gross-Calorific Value) ตามลำดับ โดยรายละเอียดการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจก แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ปริมาณการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกของก๊าซธรรมชาติเหลวและ City Gas 13A ในปี 2003 และปี 2010 (g-CO_2/เมกะจูล) (Gross-Calorific Value)

Item	LNG		City Gas 13A	
	2010	2003	2010	2003
Production				
Fuel consumption CO_2	0.59	0.48	0.57	0.48
Flare Combustion CO_2	0.15	0.14	0.16	0.14
CH_4 from vent	0.20	0.20	0.18	0.19
Subtotal	0.94	0.81	0.91	0.80
Liquefaction				
Fuel consumption CO_2	5.27	5.60	5.04	5.28
Flare Combustion CO_2	0.44	0.42	0.35	0.35
CH_4 from vent	0.31	0.47	0.41	0.46
CO_2 in raw gas	1.65	1.87	1.47	1.55
Subtotal	7.67	8.36	7.27	7.65
Overseas Transportation				
Operation	1.83	1.97	1.63	1.61
Subtotal	1.83	1.97	1.63	1.61

ตารางที่ 8 (ต่อ)

Item	LNG		City Gas 13A	
	2010	2003	2010	2003
Domestic Production				
Operation			0.24	0.24
Cryogenic-energy use			-0.29	-0.29
LPG heating			0.1	0.29
Subtotal			0.05	0.24
Equipment	0.05	0.04	0.39	0.38
Combustion	49.4	49.4	50.94	51.23
Total	59.90	60.58	61.19	61.91

ที่มา: Okamura *et al.* (2007)

ดังนั้น จึงสามารถคาดการณ์ได้ว่าการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตในปี 2010 มีแนวโน้มที่จะลดลงได้ประมาณ 1.1% โดยสาเหตุของการลดลงปริมาณการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกนั้นมาจาก ระยะทางในการขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวโดยเรือที่ลดลงจากการเลือกนำเข้าก๊าซธรรมชาติเหลวจากพื้นที่ที่ใกล้มากขึ้น รวมทั้งมีการปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในกระบวนการทำให้ก๊าซกลายเป็นของเหลว (Liquefaction Stage) ให้ดีขึ้น

สุดท้ายเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกจากการใช้เชื้อเพลิงประเภทต่างๆ ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติเหลว ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซ LPG พบว่า ก๊าซธรรมชาติเหลวมีปริมาณการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบปริมาณการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ($g\text{-}CO_2$/เมกะจูล) (Gross-calorific Value Base)

Item	LNG		City Gas 13A		Coal	Oil	LPG
	2003	2010	2003	2010			
Production	9.17	8.62	8.69	8.23	4.58	4.06	4.94
Transportation	1.97	1.83	1.61	1.63	1.71	0.79	1.80
Equipment	0.04	0.05	0.38	0.39	0.11	0.08	0.11
Combustion	49.4	49.4	51.23	50.94	88.53	68.33	59.85
Total	60.58	59.90	61.91	61.19	94.93	73.26	66.70

ที่มา: Okamura *et al.* (2007)

Calais and Sims (n.d.) ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ เฉพาะส่วนของการผลิตและการเผาไหม้ พบว่า น้ำมันดีเซลมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกมากที่สุด คือ 80 $g\text{-}CO_2$/เมกะจูล และ E95 (hydrated ethanol; 95%ethanol + 5%water) มีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุด คือ 36 $g\text{-}CO_2$/เมกะจูล รวมทั้งเมื่อทำการเปรียบเทียบเฉพาะส่วนของการผลิตและการเผาไหม้ก๊าซธรรมชาติอัด (CNG) และก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) พบว่ามีปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ 60 และ 64 $g\text{-}CO_2$/เมกะจูล ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ (g-CO_2/เมกะจูล)

Process	Diesel	LS Diesel	ULS Diesel	LPG	CNG	LNG	E95	BD20	BD100
Fuel Production	11	12	13	11	6	9	-29	2	-41
Combustion	69	69	69	69	54	55	65	73	89
Total	80	81	82	80	60	64	36	75	48

ที่มา: Calais and Sims (n.d.)

โดยที่ LS Diesel = Low Sulphur Diesel, ULS Diesel = Ultra Low Sulphur Diesel, E95 hydrated ethanol (95% ethanol, 5% water), BD20 =80% diesel/20% biodiesel, BD100 =100% biodiesel

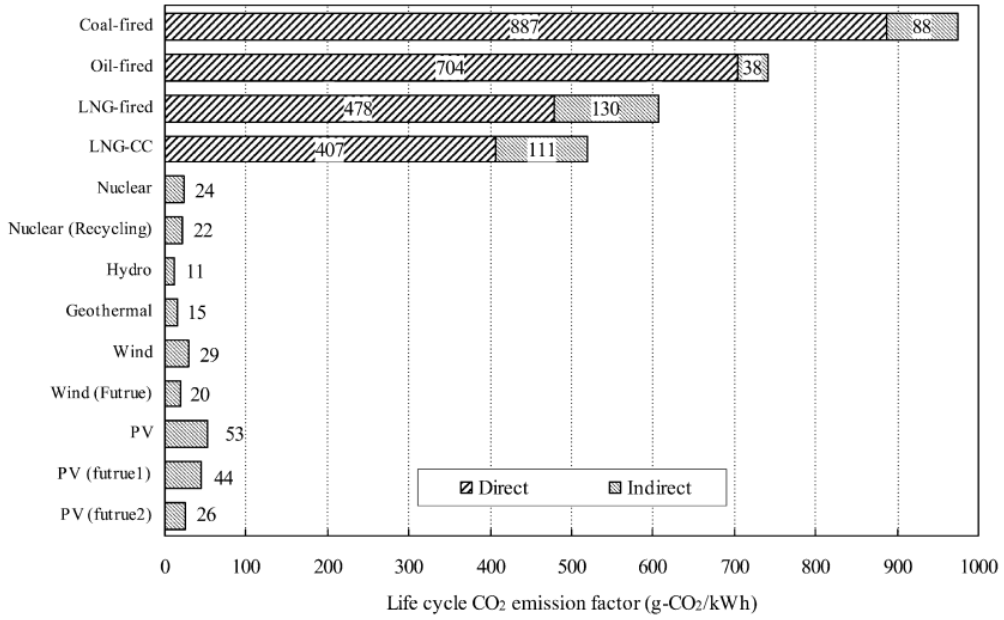
Tamura *et al.* (2001) ได้ทำการศึกษาการนำ LNG Cryogenic Energy มาใช้สำหรับกำเนิดพลังงานและระบบ Air separation ในกระบวนการผลิตไนโตรเจนเหลวและอื่นๆ พบว่า สามารถช่วยลดปริมาณการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกได้ 0.076 g-C/เมกะจูล แสดงดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 การลดลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้ LNG cryogenic energy

LNG cryogenic energy businesses		Air Separation, production of liquefied O_2, N_2 and Ar	Production of liquefied carbonic acid and dry ice	Other
CO_2 (g-C/เมกะจูล)	Each businesses	- 0.071	- 0.002	- 0.002
	All		- 0.076	

ที่มา: Tamura *et al.* (2001)

Hondo (2005) ได้ทำการศึกษาผลของการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตจากระบบผลิตกระแสไฟฟ้า โดยศึกษาเปรียบเทียบระบบของการผลิตกระไฟฟ้า ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG-fired, LNG-combined cycle) นิวเคลียร์ พลังงานน้ำ พลังงานความร้อนของโลก (Geothermal) พลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ พบว่า ถ่านหินก่อให้เกิดการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกมากที่สุดอยู่ที่ 975 g-CO_2/kWh และพลังงานน้ำก่อให้เกิดการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกน้อยที่สุดอยู่ที่ 11 g-CO_2/kWh รวมทั้งก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG-Fired และ LNG-CC) ก่อให้เกิดการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกอยู่ที่ 608 g-CO_2/kWh และ 518 g-CO_2/kWh ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 18



ภาพที่ 18 เปรียบเทียบปริมาณการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกตลอดวัฏจักรชีวิตของการผลิตไฟฟ้าจากการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

ที่มา: Hondo (2005)

ในส่วนของก๊าซธรรมชาติเหลวทั้ง LNG-Fired และ LNG-CC สามารถจำแนกได้ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 การแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกของการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซธรรมชาติเหลว

	LNG-Fired		LNGCC	
	g-CO_2/kWh	Share (%)	g-CO_2/kWh	Share (%)
Fuel Combustion	477.9	78.7	407.5	78.5
Construction	2.9	0.5	2.7	0.5
Operation	117.7	19.4	100.9	19.5
LNG Production				
- Fuel	67.6	11.1	57.7	11.1
- CO_2 in Crude NG	26.2	43	22.3	4.3
Transport	19.4	3.2	16.5	3.2
Generation	4.5	0.7	4.5	0.9
Methane Leakage	9.1	1.5	7.7	1.5
- LNG Production	9.1	1.5	7.7	1.5
Total	607.6	100	518.8	100

ที่มา: Hondo (2005)

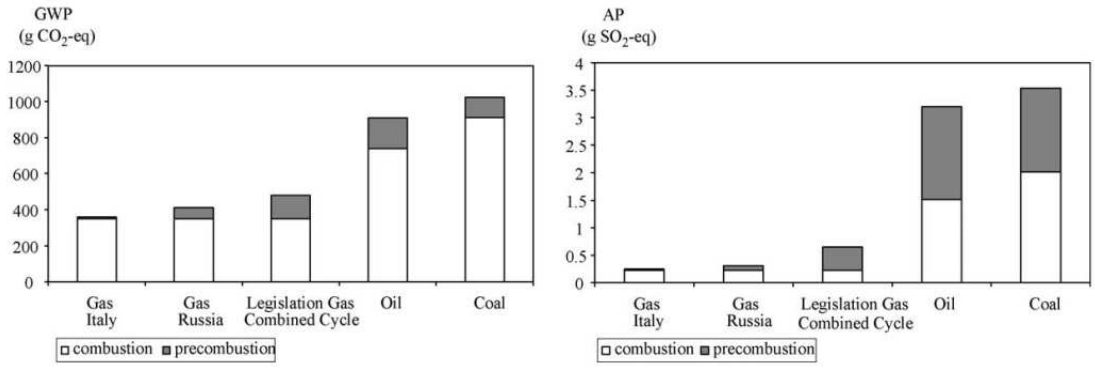
Riva *et al.* (2006) ได้ทำการศึกษาการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของก๊าซธรรมชาติในการผลิตกระแสไฟฟ้าโดยใช้วิธีการประเมินวัฏจักรชีวิต จากการเก็บข้อมูลร่วมกับฐานข้อมูลโปรแกรม LICYA ซึ่งการจัดทำบัญชีรายการ (Life Cycle Inventory) สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 บัญชีรายการการแพร่กระจายของมลสารและการใช้พลังงานของก๊าซธรรมชาติใน Italian Gas Industry

	Natural Gas volume	Pipeline Length	Energy consump-tion+ losses	Energy loss	CH_4	NO_x	CO_2	VOC	SO_x
Units	10^9 m^3	km	10^6 GJ	%	t×10^3	t×10^3	t×10^3	t×10^3	t×10^3
Production	20.0		13.1	1.70	7	1.017	472	0.644	0.743
Transmission	54.7	27,659	15.3	0.73	31.6	4.035	683.2	0.117	0.098
Distribution	27.2	159,250	12.9	1.24	209	0.106	92.8	0.013	0.080
Total					247.6	5.158	1,248	0.774	0.922

ที่มา: Riva *et al.* (2006)

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านสภาวะโลกร้อน (Global Warming) และสภาวะความเป็นกรด (Acidification) ของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และน้ำมันที่ถูกใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า พบว่า ก๊าซธรรมชาติก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุดทั้งด้านสภาวะโลกร้อนและสภาวะความเป็นกรด แสดงดังภาพที่ 19



ภาพที่ 19 สภาวะโลกร้อนและสภาวะฝนกรดของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆในกระบวนการผลิตไฟฟ้า

ที่มา: Riva *et al.* (2006)

Yoon and Yamada (n.d.) ได้ทำการศึกษาและรวบรวมบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Life Cycle Inventory) รวมทั้งทำการวิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงในประเทศญี่ปุ่นตลอดวัฏจักรชีวิต พบว่า ก๊าซธรรมชาติเหลว (Liquefied Natural Gas; LNG) ที่ค่าความร้อนสูง (Higher heating Value; HHV) มีค่าเท่ากับ 69.77 g-C/Mcal และที่ค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value; LHV) มีค่าเท่ากับ 77.53 g-C/Mcal ซึ่งสามารถแสดงค่าในแต่ละส่วนตลอดวัฏจักรชีวิตได้ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของก๊าซธรรมชาติเหลวในประเทศญี่ปุ่น

Item		Carbon Intensity	
		HHV	LHV
Mining	Fuel Gas	0.64	0.71
	Flaring	0.18	0.21
	CH_4 vent	0.30	0.33
	Sub total	1.12	1.24
Liquefaction	Fuel Gas	6.16	6.84
	CO_2 content of mining gas	2.70	2.99
	Flaring	0.34	0.38
	CH_4 vent	0.80	0.89
	Sub total	10.00	11.00
Overseas transport		2.12	2.36
Equipment		0.14	0.16
Carbon intensity by fuel		56.39	14.87
Total		69.77	62.66

ที่มา: Yoon and Yamada (n.d.)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์ Intel Pentium Dual Core T2060 และระบบปฏิบัติการ Microsoft XP 1 ชุด
2. โปรแกรมสำเร็จรูปสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิต SimaPro เวอร์ชั่น 7.0 1 ชุด

วิธีการ

งานวิจัยนี้มีการดำเนินการตามขั้นตอนของการประเมินวัฏจักรชีวิตที่ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนตามมาตรฐาน ISO 14040 (ISO 14040: Environmental management- Life Cycle Assessment- Principle and framework อันได้แก่ (i) การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (ii) การวิเคราะห์และทำบัญชีรายการ (iii) การประเมินผลกระทบ (iiii) การแปลผลการศึกษา ซึ่งจะมีการกล่าวโดยละเอียดต่อไป

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการวิจัย (Goal and Scope definition)

1.1 การกำหนดเป้าหมายและวัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.1.1 เพื่อศึกษาและประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัด ก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas ก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas และก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศ

1.1.2 เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของก๊าซธรรมชาติอัด ก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas ก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas และก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศ

1.1.3 เพื่อประเมินประสิทธิภาพเชิงพลังงานโดยใช้ค่าอัตราส่วนพลังงานสุทธิ ของก๊าซธรรมชาติอัด ก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas ก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas และก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศ

1.1.4 เพื่อนำผลการวิจัยที่ได้มาเป็นข้อมูลในการตัดสินใจเลือกและสนับสนุนการใช้พลังงานจากก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวของประเทศ

1.2 หน่วยการทำงาน

แบ่งออกเป็น 2 กรณีเพื่อทำการเปรียบเทียบกัน ดังนี้

1.2.1 หน่วยการทำงาน คือ ค่าพลังงาน 1 เมกะจูลของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวตลอดวัฏจักรชีวิต

1.2.2 หน่วยการทำงาน คือ การใช้ก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวในรถประจำทางเทียบเป็นผู้โดยสาร 1 คนเดินทางเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร (1 คน-กิโลเมตร) ตลอดวัฏจักรชีวิต

1.3 การกำหนดขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 การขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศ กำหนดให้เป็นการขนส่งทางเรือ (Oversea Transportation)

1.3.2 การขนส่งก๊าซธรรมชาติภายในประเทศ กำหนดให้เป็นการขนส่งโดยระบบท่อ (Pipeline Transportation) ในกรณีที่สถานีจ่ายก๊าซฯอยู่ตามแนวท่อ และเป็นการขนส่งทางรถในกรณีสถานีจ่ายก๊าซฯอยู่นอกแนวท่อ

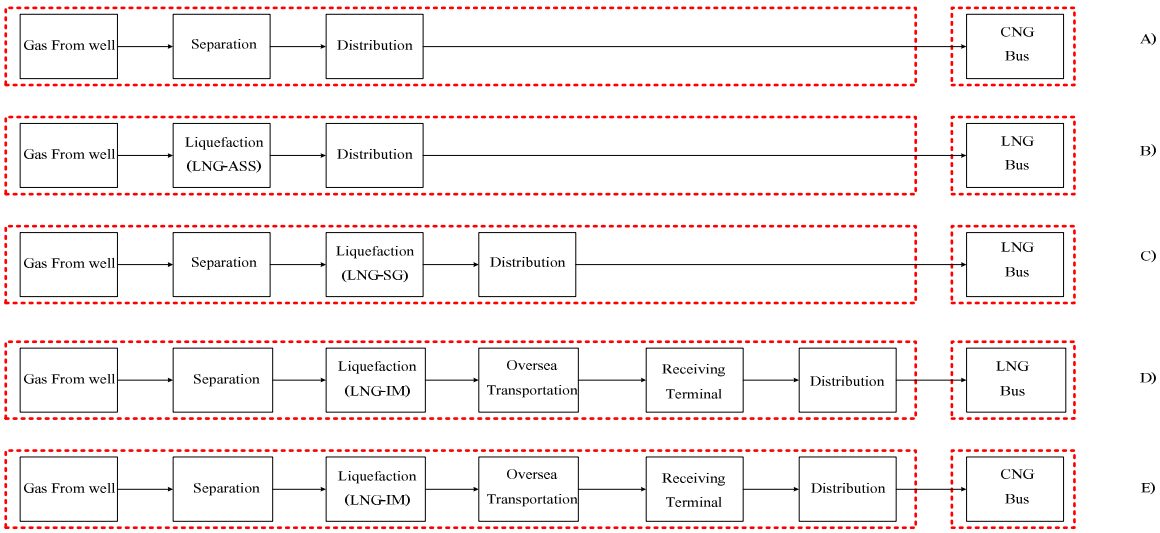
1.3.3 การขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวไปยังสถานีจ่ายก๊าซฯกำหนดให้เป็นการขนส่งทางรถ (Road Transportation)

1.3.4 กำหนดให้มีการใช้เชื้อเพลิงกับรถโดยสารประจำทางที่ถูกออกแบบมาสำหรับเชื้อเพลิงชนิดนั้นๆ

1.3.5 ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในงานวิจัยนี้ที่ได้ทำการศึกษา ได้แก่

- การเกิดสภาวะโลกร้อน (Global warming)
- การทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ (Ozone Layer depletion)
- การเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชั่น (Eutrophication)
- การเกิดสภาวะความเป็นกรด (Acidification)
- การเกิดสภาวะของสารก่อมะเร็ง (Carcinogen)
- การเกิดผลกระทบจากโลหะหนัก (Heavy Metals)
- การเกิดเกิดผลกระทบด้าน Winter Smog
- การเกิดผลกระทบด้าน Summer Smog

1.3.6 งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์สมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว โดยการใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SimaPro เวอร์ชั่น 7.0 โดยกำหนดขอบเขตการศึกษาเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมแสดงดังภาพที่ 20



ภาพที่ 20 ขอบเขตการศึกษา ประกอบด้วย

A) ก๊าซธรรมชาติอัด (CNG)

B) ก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas (LNG-ASS)

C) ก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas (LNG-SG)

D) ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศที่มีการขนส่งและใช้งานในลักษณะของก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG-IM to LNG)

E) ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศที่มีการขนส่งและใช้งานในลักษณะของก๊าซธรรมชาติอัด (LNG-IM to CNG)

1.4 การตั้งสมมุติฐานและข้อจำกัดในงานวิจัย (Assumption and Limitation)

ในการศึกษานี้มีการรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆทั้งข้อมูลปฐมภูมิ (Primary Data) และข้อมูลทุติยภูมิ(Secondary Data) ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีผู้ทำการศึกษาไว้ก่อนหน้านี้ แต่เนื่องจากฐานข้อมูลเกี่ยวกับก๊าซธรรมชาติของประเทศไทยยังไม่มีการรวบรวมอย่างชัดเจน ดังนั้น ในการการประเมินเกี่ยวกับก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวจึงต้องมีการรวบรวมข้อมูลจากฐานข้อมูลทั้งต่างประเทศและในประเทศเพื่อให้ได้ผลการประเมินที่ถูกต้องและใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด โดยข้อมูลในประเทศที่ได้นำมาใช้ในการศึกษานี้ ได้แก่ ข้อมูลการผลิตไฟฟ้า ข้อมูลการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas ซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่ บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) (2549) เป็นผู้รวบรวมไว้ ข้อมูลการรับ-จ่ายก๊าซธรรมชาติเหลวบริเวณท่าเทียบเรือและสถานีรับ-จ่ายก๊าซธรรมชาติเหลว ซึ่ง บริษัท พีทีที แอลเอ็นจี จำกัด (2550)

เป็นผู้รวบรวมไว้ ข้อมูลการผลิตก๊าซธรรมชาติ ณ แหล่งผลิตก๊าซธรรมชาติ (Gas From Well) การแยกก๊าซธรรมชาติ ณ โรงแยกก๊าซธรรมชาติ (Separation) การขนส่งก๊าซธรรมชาติจากโรงแยกก๊าซธรรมชาติไปยังผู้ใช้ก๊าซธรรมชาติของประเทศไทยซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2550) เป็นผู้รวบรวมไว้ ข้อมูลการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในรถประจำทางซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่ Melendez *et al.* (2005) เป็นผู้รวบรวมไว้ และข้อมูลการใช้ก๊าซธรรมชาติเหลวในรถประจำทางซึ่งเป็นฐานข้อมูลที่ Chandler and Norton (2000) เป็นผู้รวบรวมไว้ โดยรายละเอียดที่มาของข้อมูลในแต่ละขั้นตอนสามารถแสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 แหล่งที่มาของข้อมูลในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของงานวิจัย

ขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิต	เก็บข้อมูลเอง/สอบถามผู้ที่เกี่ยวข้อง	งานวิจัย/เอกสารอ้างอิง	ฐานข้อมูลจากโปรแกรม
การผลิตก๊าซธรรมชาติจากหลุม (Gas From Well)			
- การผลิตก๊าซธรรมชาติจากหลุม	√	√ (MTEC, 2550)	
การผลิตก๊าซธรรมชาติ (Separation)			
- การผลิตก๊าซธรรมชาติ	√	√ (MTEC, 2550)	

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิต	เก็บข้อมูลเอง/สอบถามผู้ที่เกี่ยวข้อง	งานวิจัย/เอกสารอ้างอิง	ฐานข้อมูลจากโปรแกรม
การผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว			
- การผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว (Liquefaction, LNG-ASS)		√ (PTTEP, 2549)	
- การผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว (Liquefaction, LNG-SG)	√		
- การผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว (Liquefaction, LNG-IM) (รวมการผลิตก๊าซธรรมชาติ)			√ (Emmenegger, 2005a)
- การรับ-จ่ายก๊าซธรรมชาติเหลวจากต่างประเทศ ท่าเทียบเรือ (Receiving Terminal)		√ (PTTLNG, 2550)	

ตารางที่ 15 (ต่อ)

ขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิต	เก็บข้อมูลเอง/สอบถามผู้ที่เกี่ยวข้อง	งานวิจัย/เอกสารอ้างอิง	ฐานข้อมูลจากโปรแกรม
การขนส่ง			
- การขนส่งก๊าซธรรมชาติจากโรงแยก (Onshore Transportation)		√ (MTEC, 2550)	
- การขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวทางรถ (Road Transportation)		√ (PTT,2551)	
- การขนส่งทางเรือ (Oversea Transportation)			√ (Emmenegger, 2005b)
การใช้งาน			
- การใช้ก๊าซธรรมชาติอัด		√ (Melendez *et al.*, 2005)	
- การใช้ก๊าซธรรมชาติเหลว		√ (Chandler and Norton, 2000)	

ข้อจำกัดในการทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวในงานวิจัยนี้มีดังนี้

งานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการพิจารณา

- ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในช่วงการก่อสร้างและการซ่อมบำรุงโรงแยกก๊าซ โรงงานผลิตก๊าซเชื้อเพลิงเหลว ท่าเทียบเรือ สถานีรับ-จ่ายก๊าซธรรมชาติเหลว ท่อส่งก๊าซ และรถโดยสารประจำทาง

- ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากสถานีจ่ายก๊าซ (Refueling Station)

- ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการนำผลิตภัณฑ์ร่วมไปใช้ประโยชน์ต่อไป

2. การทำบัญชีรายการ (Life cycle Inventory)

ประกอบด้วยการสร้างแผนผังการไหล ชนิดและปริมาณการใช้วัตถุดิบ น้ำ พลังงานขาเข้า รวมทั้ง ชนิดและปริมาณของเสียที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมของกระบวนการ โดยการเก็บข้อมูลครอบคลุมขั้นตอน ดังนี้

1. การผลิตซึ่งประกอบด้วย การผลิตก๊าซธรรมชาติ ณ แหล่งก๊าซธรรมชาติ การแยกก๊าซธรรมชาติ ณ โรงแยกก๊าซและการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

2. การขนส่งซึ่งประกอบด้วย การขนส่งก๊าซธรรมชาติผ่านระบบท่อส่งร่วมกับการขนส่งทางรถ การขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวทางรถสำหรับก๊าซธรรมชาติเหลวและการขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวทางเรือสำหรับการนำเข้าก๊าซธรรมชาติเหลว

3. การใช้งานซึ่งประกอบด้วย การใช้ก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวในรถประจำทาง

โดยแสดงรายละเอียดการทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของงานวิจัยในหัวข้อ “ผลและวิจารณ์” ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

3. การประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Impact Assessment)

จากขั้นตอนในการทำบัญชีรายการทำให้ทราบถึงข้อมูลของการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ซึ่งข้อมูลการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมบางอย่างมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก บางอย่างมีผลกระทบน้อย ดังนั้นเพื่อให้การประเมินสามารถช่วยในการตัดสินใจได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ ข้อมูลในขั้นตอนการทำบัญชีรายการจึงต้องมีการตีความก่อน ซึ่งการตีความต้องตั้งอยู่บนพื้นฐานของความรู้เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม แหล่งทรัพยากร และสิ่งแวดล้อมของสภาพการทำงานและต้องแสดงให้เห็นว่าการแลกเปลี่ยนทางสิ่งแวดล้อมใดที่สำคัญ ดังนี้

3.1 การจำแนกประเภท (Classification) และการกำหนดบทบาท (Characterization)

มีการคำนวณของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เป็นไปได้ (Potential environment impact) สำหรับการปลดปล่อยมลสาร ว่ามีมลสารใดบ้าง ปลดปล่อยออกมาในปริมาณเท่าไรที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แล้วนำมาเขียนเป็นกราฟจัดแบ่งแยกเป็นกลุ่มๆของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การเกิดสภาวะโลกร้อน เป็นต้น

3.2 การหาขนาดผลกระทบ (Normalization)

จากขั้นตอนการจำแนกประเภทและการกำหนดบทบาท ทำการพิจารณาต่อถึงการใช้ทรัพยากรและผลกระทบที่เป็นไปได้เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม ในความสัมพันธ์กับกิจกรรมของสังคมภาพรวมทั้งหมด โดยการนำจำนวนประชากรในพื้นที่ที่ทำการวิจัยในช่วงนั้นๆมาเฉลี่ยหรืออาจกล่าวได้ว่า นำผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่คำนวณได้จากขั้นตอนการจำแนกประเภทและการกำหนดบทบาท มาพิจารณาเปรียบเทียบว่า ในจำนวนประชากร 1 คน ทำให้เกิดผลกระทบเท่าใดในช่วงเวลาที่กำหนด แสดงตัวประกอบการเทียบหน่วย (Normalization Factor) ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ตัวประกอบการเทียบหน่วย

Impact Category	Normalization Factor
การเกิดสภาวะโลกร้อน	7.42E-05
การทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ	1.24E+00
การเกิดสภาวะความเป็นกรด	8.88E-03
การเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน	2.62E-02
การเกิดผลกระทบจากโลหะหนัก	1.78E+01
การเกิดสภาวะของสารก่อมะเร็ง	1.06E+02
การเกิดผลกระทบด้าน Winter Smog	1.06E-02
การเกิดผลกระทบด้าน Summer Smog	5.07E-02

ที่มา: Pre' Consultants (2005)

3.3 การให้น้ำหนัก (Weighting)

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบได้ว่า การใช้แหล่งทรัพยากรใดและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใดสำคัญที่สุด โดยนำตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting factor) มาคูณผลที่ได้จากขั้นตอนการหาขนาดผลกระทบ ผลที่ได้สุดท้ายนี้ชี้ให้เห็นถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ร้ายแรงที่สุดต่อมนุษย์ ในรูปของคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมเชิงเดี่ยว (Single Score) แสดงตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญ ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญ

Impact Category	Weighting Factor
การเกิดสภาวะโลกร้อน	2.50E+00
การทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ	1.00E+02
การเกิดสภาวะความเป็นกรด	1.00E+01
การเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน	5.00E+00
การเกิดผลกระทบจากโลหะหนัก	5.00E+00
การเกิดสภาวะของสารก่อมะเร็ง	1.00E+01
การเกิดผลกระทบด้าน Winter Smog	5.00E+00
การเกิดผลกระทบด้าน Summer Smog	2.50E+00

ที่มา: Pre' Consultants (2005)

4. การแปลผล (Interpretation)

การแปรผลเป็นการวิเคราะห์ผลลัพธ์ สรุปผล อธิบายข้อจำกัด การจัดเตรียมข้อเสนอแนะที่มาจากผลลัพธ์ของการทำการประเมินวัฏจักรชีวิตและทำรายงานสรุปการแปลผลการศึกษาให้สามารถเข้าใจง่ายสมบูรณ์ครบถ้วนและมีความสอดคล้องกับเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา รวมถึงเสนอแนะแนวทางในการปรับปรุงให้ผลิตภัณฑ์เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

5. การประเมินประสิทธิภาพเชิงพลังงาน

งานวิจัยนี้ใช้ค่าอัตราส่วนพลังงานสุทธิ (Net Energy Ratio; NER) ในการวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพเชิงพลังงาน โดยค่าอัตราส่วนพลังงานสุทธิสามารถหาค่าได้จากสัดส่วนของพลังงานที่ได้จากก๊าซธรรมชาติและพลังงานใช้ในการผลิตจนถึงสถานีจ่ายก๊าซ จากงานวิจัยพบว่า พลังงานที่ได้จากก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวสามารถวัดได้ในรูปของค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value) และค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value) ซึ่งค่าการวิเคราะห์ที่ได้ไม่มีความแตกต่างกันมาก (Yoon and Yamada, n.d.) ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้ค่าพลังงานความร้อนสูง (Okamura

et al., 2007) ดังนั้นหากค่าอัตราส่วนพลังงานสุทธิของผลิตภัณฑ์ชนิดใดมีค่าสูง แสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์นั้นมีค่าประสิทธิภาพเชิงพลังงานสูง

งานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเชิงพลังงานของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติจนถึงสถานีจ่ายก๊าซ ในหน่วยการทำงาน 1 เมกะจูลของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว

ดังนั้น ในการหาอัตราส่วนพลังงานสุทธิของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวจำเป็นต้องมีการหาค่าการใช้พลังงานในแต่ละขั้นตอน โดยการพิจารณาถึงพลังงานปฐมภูมิที่ใช้ในแต่ละขั้นตอน เช่น ก๊าซธรรมชาติ ไฟฟ้า น้ำ เป็นต้น รายละเอียดการคำนวณในแต่ละขั้นตอน แสดงได้ดังต่อไปนี้

- พลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติ ($E_{Exploration\&Production}$)

การผลิตก๊าซธรรมชาติมีปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการผลิตหลายประเภท ได้แก่ ก๊าซธรรมชาติสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มต้นของการผลิต และพลังงานของก๊าซธรรมชาติ ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการผลิตก๊าซธรรมชาติ สามารถคำนวณได้ดังสมการ (4)

$$E_{Exploration\&Production} = EC_{Natural\ Gas\ (Raw\ Material)} + EC_{Natural\ Gas} \quad (4)$$

โดยที่ EC คือ ค่าพลังงานในส่วนต่างๆ (MJ/หน่วยการทำงาน) ซึ่งสามารถคำนวณ ได้จาก

$$EC = \text{ปริมาณการใช้ (หน่วย/หน่วยการทำงาน)} \times \text{ค่าพลังงาน (MJ/หน่วย)}$$

- พลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการแยกก๊าซธรรมชาติ ($E_{Separation}$)

พลังงานที่ใช้ในการแยกก๊าซจะใช้พลังงานที่สำคัญจาก 2 ส่วนได้แก่ พลังงานจากไฟฟ้าและพลังงานจากน้ำ ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในการแยกก๊าซ แสดงดังสมการ (5)

$$E_{Separation} = EC_{Electrricity} + EC_{Water} \quad (5)$$

- พลังงานที่ใช้ในขั้นตอนผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว ($E_{Liquefaction}$) จาก Associated Gas

พลังงานที่ใช้ในการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจะใช้พลังงานจากหลายแหล่ง ได้แก่ พลังงานจากไฟฟ้าสำหรับการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวและการผลิตไนโตรเจนเหลวสำหรับใช้ในการลดอุณหภูมิก๊าซธรรมชาติ อีกส่วนหนึ่งคือ พลังงานจากน้ำสำหรับการหล่อเย็น และเนื่องจากในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas มีผลผลิตร่วม (Co-Product) เกิดขึ้นด้วยจึงต้องนำหลักวิธีการปันส่วนมาใช้ร่วมด้วยในการคำนวณ ซึ่งหลักวิธีการปันส่วนจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อถัดไป ดังนั้นพลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas แสดงดังสมการ (6)

$$E_{Liquefaction} = \text{Allocation Factor } (EC_{Electricity}+EC_{Water}) \quad (6)$$

- พลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว ($E_{Liquefaction}$) จาก Sales Gas

พลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas มาจากพลังงานไฟฟ้า พลังงานจากสารที่ใช้สำหรับการเปลี่ยนสถานะจากก๊าซเป็นของเหลว พลังงานน้ำสำหรับการหล่อเย็น แสดงดังสมการที่ (7)

$$E_{Liquefaction} = EC_{Electricity}+EC_{Liquid\ Nitrogen}+EC_{Water} \quad (7)$$

- พลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติจากต่างประเทศ

พลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติจากต่างประเทศ ได้แก่ พลังงานจากก๊าซธรรมชาติสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบตั้งต้น พลังงานจากน้ำมันดีเซล และพลังงานจากน้ำ แสดงดังสมการที่ 8

$$E_{Exploration\&Production} = EC_{Natural\ Gas\ (Raw\ Material)} + EC_{Natural\ Gas} + EC_{Diesel} + EC_{Water} \quad (8)$$

- พลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากต่างประเทศ ($E_{Liquefaction}$)

พลังงานที่ใช้ในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจากต่างประเทศ มีเฉพาะพลังงานจากก๊าซธรรมชาติเท่านั้น แสดงดังสมการ 9

$$E_{Liquefaction} = EC_{Natural\ Gas} \quad (9)$$

- พลังงานที่ใช้ในการขนส่ง ($E_{Oversea\ Trans}$, $E_{Pipeline\ Trans}$ และ$E_{Road\ Trans}$)

พลังงานที่ใช้ในการขนส่งขึ้นกับปัจจัยหลายชนิด ได้แก่ ชนิดของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง ระยะทาง และปริมาณในการขนส่ง ต่อหน่วยการทำงาน สามารถแสดงได้ดังสมการ (10)

$$E_{Transportation} = [\text{อัตราการใช้พลังงาน (MJ/ ตัน-กิโลเมตร)} \times \text{ระยะทาง (กิโมเมตร)} \times \text{ปริมาณ (ตัน/หน่วยการทำงาน)} \quad (10)$$

โดยที่อัตราการใช้พลังงาน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 11

$$\text{อัตราการใช้พลังงาน} = \frac{\text{อัตราการใช้น้ำมันดิบ (ลิตร/กม.)} \times \text{ค่าพลังงานเชื้อเพลิง (MJ/ลิตร)}}{\text{ความจุของยานพาหนะ (ตัน)}} \quad (11)$$

- พลังงานที่ใช้ในการรับ-จ่ายก๊าซธรรมชาติบริเวณท่าเทียบเรือและสถานีรับ-จ่าย ($E_{Terminal}$)

พลังงานที่ใช้บริเวณท่าเทียบเรือจะแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ (i) พลังงานเพื่อดำเนินการสำหรับการจ่ายก๊าซต่อไปในสถานะของเหลว ($E_{LNG\text{-}IM\ to\ LNG}$) (ii) พลังงานเพื่อดำเนินการสำหรับการจ่ายก๊าซต่อไปในสถานะก๊าซ ($E_{LNG\text{-}IM\ to\ CNG}$)

(i) พลังงานเพื่อดำเนินการสำหรับการจ่ายก๊าซต่อไปยังสถานีจ่ายก๊าซในสถานะของเหลว ($E_{LNG\text{-}IM\ to\ LNG}$) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 12

$$E_{Terminal} = EC_{Electricity}+EC_{Heavy\ Fuel\ Oil} \quad (12)$$

(ii) พลังงานเพื่อดำเนินการสำหรับการจ่ายก๊าซต่อไปยังสถานีจ่ายก๊าซในสถานะก๊าซ ($E_{LNG\text{-}IM\ to\ CNG}$) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 13

$$E_{Terminal} = EC_{Electricity}+EC_{Heavy\ Fuel\ Oil}+EC_{Seawater} \quad (13)$$

- พลังงานที่ใช้ทั้งหมดของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวจากขั้นตอนการผลิตจนถึงสถานีจ่ายก๊าซ

เมื่อทำการคำนวณพลังงานที่ใช้ในแต่ละขั้นตอนเรียบร้อยแล้ว สามารถหาปริมาณพลังงานทั้งหมดที่ใช้ได้จากผลรวมของปริมาณพลังงานในแต่ละขั้นตอน แสดงดังสมการที่ 14, 15, 16, 17 และ 18

$$E_{CNG} = E_{Exploration\&Production}+E_{Separation}+E_{Transportation} \quad (14)$$

$$E_{LNG\text{-}ASS} = E_{Exploration\&Production}+E_{Liquefaction}+E_{Transportation} \quad (15)$$

$$E_{LNG\text{-}SG} = E_{Exploration\&Production}+E_{Separation}+E_{Liquefaction}+E_{Transportation} \quad (16)$$

$$E_{LNG\text{-}IM\ to\ LNG} = E_{Exploration\&Production}+E_{Separation}+E_{Liquefaction}+E_{Oversea\ Trans}+E_{Terminal}+E_{Transportation} \quad (17)$$

$$E_{LNG\text{-}IM\ to\ CNG} = E_{Exploration\&Production}+E_{Separation}+E_{Liquefaction}+E_{Oversea\ Trans}+E_{Terminal}+E_{Transportation} \quad (18)$$

เมื่อได้ค่าพลังงานที่ใช้ทั้งหมดของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว สามารถคำนวณค่าพลังงานเพิ่มสุทธิ (Net Energy Gain; NEG) จากสมการที่ 19 และอัตราส่วนพลังงานสุทธิ (Net Energy Ratio; NER) ได้ดังสมการที่ 20

$$NEG = Energy_{INPUT}-Energy_{OUTPUT} \quad (19)$$

$$NER = Energy_{OUTPUT}/Energy_{INPUT} \quad (20)$$

6. วิธีการปันส่วน (Allocation Methods)

เนื่องจากกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas นอกจากจะได้ก๊าซธรรมชาติเหลวเป็นผลผลิตหลัก (Main-Product) แล้ว ยังมีผลผลิตร่วม (Co-Product) เกิดขึ้นด้วย ได้แก่ ไฮโดรคาร์บอนเบา (Light hydrocarbon; LHC) และไฮโดรคาร์บอนหนัก (Heavy Hydrocarbon; HHC) ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่นได้ เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการปันส่วนพลังงานที่ใช้ รวมทั้งผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวและผลผลิตร่วมที่เกิดขึ้น

วิธีการในการปันส่วนประกอบด้วยหลายวิธี เช่น การปันส่วนโดยมวล (Mass Allocation) การปันส่วนโดยพลังงาน (Energy Allocation) หรือการปันส่วนโดยวิธีทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Allocation) โดยในงานวิจัยนี้ใช้การปันส่วนโดยพลังงาน เนื่องจากในงานวิจัยพิจารณาถึงการใช้ประโยชน์จากพลังงานของเชื้อเพลิงต่างๆเป็นสำคัญ

หลักในการปันส่วนสามารถทำได้โดยการนำปริมาณที่พิจารณาคูณกับค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์ที่พิจารณาแล้วทำการหารตลอดด้วยผลรวมของปริมาณที่พิจารณาที่คูณค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์กับปริมาณผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่คูณค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์นั้น ซึ่งสามารถแสดงได้ ดังสมการที่ 21

$$\text{ค่าการปันส่วน} = \frac{(\text{ปริมาณที่ผลิตได้} \times \text{HHV})_{\text{ผลิตภัณฑ์ที่พิจารณา}}}{(\text{ปริมาณที่ผลิตได้} \times \text{HHV})_{\text{ผลิตภัณฑ์ที่พิจารณา}} + (\text{ปริมาณที่ผลิตได้} \times \text{HHV})_{\text{ผลิตภัณฑ์ที่เหลือ}}} \quad (21)$$

จากการคำนวณดังกล่าวข้างต้น นำค่าการปันส่วนที่ได้ไปคูณกับค่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวและผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตจากกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวได้ รวมทั้งวิธีการปันส่วนในลักษณะอื่นๆสามารถคำนวณได้โดยใช้หลักการเดียวกันข้างต้น นั่นคือ การเปลี่ยนจากค่าความร้อนเป็นปริมาณในหน่วยมวล และค่าราคาตลาดของก๊าซธรรมชาติเหลวและผลผลิตร่วมอื่นๆ

ดังนั้นค่าการปันส่วนโดยใช้ค่าพลังงานของก๊าซธรรมชาติก๊าซธรรมชาติเหลวในงานวิจัยนี้สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 22, 23 และ 24 ดังนี้

$$AF_{LNG} = \frac{(Q_{LNG} \times HHV_{LNG})}{(Q_{LNG} \times HHV_{LNG}) + (Q_{LHC} \times HHV_{LHC}) + (Q_{HHC} \times HHV_{HHC})} \quad (22)$$

$$AF_{LHC} = \frac{(Q_{LNG} \times HHV_{LHC})}{(Q_{LNG} \times HHV_{LNG}) + (Q_{LHC} \times HHV_{LHC}) + (Q_{HHC} \times HHV_{HHC})} \quad (23)$$

$$AF_{HHC} = \frac{(Q_{LNG} \times HHV_{HHC})}{(Q_{LNG} \times HHV_{LNG}) + (Q_{LHC} \times HHV_{LHC}) + (Q_{HHC} \times HHV_{HHC})} \quad (24)$$

โดยที่ AF คือ ค่าการปันส่วน (Allocation Factor)
Q คือ ปริมาณที่ได้จากกระบวนการผลิต
HHV คือ ค่าความร้อนสูง (Higher heating Value)

สถานที่ทำการวิจัย

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน (เลขที่ 50 ถนนพหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900 โทรศัพท์ 66 2942 8555 ต่อ 1204)

ระยะเวลาในการวิจัย

แผนการดำเนินการวิจัย และระยะเวลาในการทำวิจัยแสดง ดังตารางที่ 18

ขั้นตอนที่ 1: ตรวจเอกสาร

- รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- ศึกษากระบวนการผลิต การขนส่ง และการนำก๊าซธรรมชาติไปใช้เพื่อประโยชน์

ขั้นตอนที่ 2: กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการวิจัย

- กำหนดเป้าหมายและขอบเขต

ขั้นตอนที่ 3: การวิเคราะห์และทำบัญชีรายการ

- สำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูล input-output ของผลิตภัณฑ์
- สร้าง Flow chart ของกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับการประเมิน

ขั้นตอนที่ 4 : การประเมินผลกระทบ

- วิเคราะห์ผลโดยโปรแกรมสำเร็จรูป

ขั้นตอนที่ 5:วิเคราะห์และประมวลผลการวิจัย

- วิเคราะห์และประมวลผล

ขั้นตอนที่ 6:สรุปผลและจัดทำรายงานการวิจัย

- สรุปและจัดทำรายงาน

ตารางที่ 18 แผนการดำเนินโครงการ

ขั้นตอนที่	**2550**			**2551**		
	มี.ค. – พ.ค.	**มิ.ย. – ส.ค.**	**ก.ย. – ธ.ค.**	**ม.ค. – เม.ย.**	**พ.ค. – ส.ค.**	**ก.ย. – ธ.ค.**
1						
2						
3						
4						
5						
6						

ผลและวิจารณ์

การทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์

การทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมเป็นกระบวนการที่สำคัญในการรวบรวมข้อมูลเพื่อนำไปสู่ขั้นตอนการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยในงานวิจัยนี้อธิบายตามลำดับวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวโดยเริ่มตั้งแต่กระบวนการผลิต การขนส่งและการใช้งาน

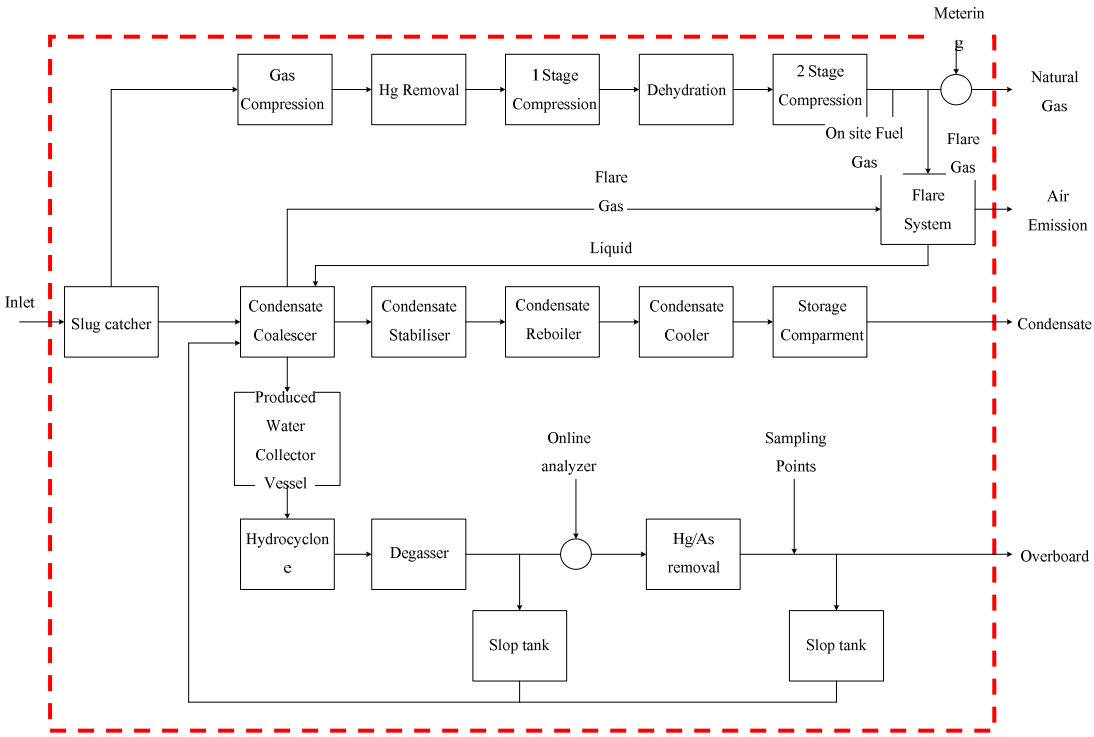
โดยทั่วไปแล้วการดำเนินงานหลักในอุตสาหกรรมก๊าซธรรมชาติจะประกอบด้วย การผลิตก๊าซธรรมชาติ ณ แหล่งก๊าซธรรมชาติ การแยกก๊าซธรรมชาติ การขนส่งก๊าซธรรมชาติ และการใช้งาน ซึ่งรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

1. ขั้นตอนการผลิต

1.1 ขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติ ณ แหล่งก๊าซธรรมชาติ

ก๊าซธรรมชาติจากแหล่งกำเนิดที่อยู่ภายใต้ความดันสูง เมื่อขุดเจาะมาใช้ส่วนที่เป็นของเหลว เรียกว่า ก๊าซเหลว และส่วนที่เป็นก๊าซเรียกว่า ก๊าซธรรมชาติ ในการแยกสารปนเปื้อนออกจากก๊าซธรรมชาติเพื่อให้ได้คุณสมบัติตามเกณฑ์ที่กำหนดก่อนส่งเข้าสู่โรงแยกก๊าซนั้นกระบวนการผลิตบนแท่นผลิตจะมีขั้นตอนการแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความชื้น และปรอทออกจากก๊าซธรรมชาติเพื่อให้ได้คุณภาพก๊าซตามที่กำหนดไว้ จากนั้นถูกขนส่งทางท่อเพื่อเข้าโรงแยกก๊าซต่อไป

งายวิจัยนี้กำหนดกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ ณ แหล่งผลิตก๊าซธรรมชาติและขอบเขตการศึกษาสามารถแสดงดังภาพที่ 21



ขอบเขตการศึกษา

ภาพที่ 21 กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ ณ แหล่งก๊าซธรรมชาติและขอบเขตการศึกษา

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2550)

หลังผ่านขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติ ณ แหล่งก๊าซธรรมชาติเรียบร้อยแล้ว จะได้ก๊าซธรรมชาติที่มีองค์ประกอบโดยเฉลี่ยจากแหล่งแท่นผลิตก่อนถูกขนส่งไปยังโรงแยกก๊าซธรรมชาติ จ.ระยอง แสดงดังตารางที่ 19

ตารางที่ 19 องค์ประกอบโดยเฉลี่ยของก๊าซธรรมชาติที่ผลิตได้จากแหล่งก๊าซก่อนถูกส่งไปยังโรงแยกก๊าซธรรมชาติ จ.ระยอง

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยโมล
C_1	64.29
C_2	8.82
C_3	4.79
iC_4	1.11
nC_4	1.05
iC_5	0.33
nC_5	0.22
C_6	0.17
C_7	0.11
C_8	0.01
CO_2	17.41
N_2	1.68
รวม	100

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2550)

1.2 ขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติ ณ โรงแยกก๊าซ

การแยกก๊าซธรรมชาติ คือ การแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งปะปนกันหลายชนิดตามธรรมชาติออกจากก๊าซธรรมชาติมาเป็นก๊าซชนิดต่างๆเพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดตามคุณค่าของก๊าซนั้น

ก๊าซธรรมชาติจากอ่าวไทยประกอบด้วยสารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นประโยชน์มากมายหลายชนิด ซึ่งสามารถแยกออกมาใช้ประโยชน์ได้มากกว่าการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว โดยแยกส่วนประกอบของสารไฮโดรคาร์บอนที่มีคุณค่าออกมาก่อนส่งไปใช้เป็นเชื้อเพลิง

ก๊าซธรรมชาติมักมีสารปนเปื้อนซึ่งไม่ใช่สารไฮโดรคาร์บอนปะปนมาด้วย ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), น้ำ (H_2O), และปรอท (Hg) โดยเฉพาะอย่างยิ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซธรรมชาติจากอ่าวไทย สูงถึงประมาณร้อยละ 14-20 โดยปริมาตร และในกระบวนการแยกก๊าซฯ ต้องใช้อุณหภูมิที่ต่ำ ($\sim$-100°C) ซึ่งทำให้น้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แข็งตัวและมีผลทำให้ระบบท่ออุดตัน ดังนั้น จึงต้องกำจัดออกโดยผ่านกระบวนการดังต่อไปนี้ (บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน), 2551ญ)

1) หน่วยกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Removal Unit) โดยโรงแยกก๊าซธรรมชาติจะใช้สารละลายโปตัสเซียมคาร์บอเนต (K_2CO_3) ในการดูดซับ เรียกกระบวนนี้ว่า Benfield Process และในบางโรงแยกก๊าซจะใช้สารละลายเอมีน (aMDEA) ในการดูดซับ เรียกกกระบวนการนี้ว่า Amine Process โดยกระบวนการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์นั้น เพื่อป้องกันการแข็งตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบที่เย็นจัดและช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตอีเทน (Ethane Recovery Rate) อีกด้วย

2) หน่วยกำจัดปรอท (Mercury Removal Unit) เนื่องจากก๊าซธรรมชาติในอ่าวไทยมีสารปรอทปนเปื้อนอยู่ ดังนั้นโรงแยกก๊าซธรรมชาติจึงต้องมีการกำจัดสารปรอทออก เพื่อป้องกันปัญหาที่จะเกิดกับอุปกรณ์ของโรงแยกก๊าซฯ และอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับผู้บริโภค

3) หน่วยกำจัดความชื้น (Dehydration unit) ทำหน้าที่กำจัดน้ำออกจากก๊าซธรรมชาติโดยใช้หลักการดูดซับ (Adsorption) ด้วยตัวดูดซับที่มีความพรุนสูง (Molecular Sieve) ดูดซับน้ำออกจากก๊าซธรรมชาติ เนื่องจากก๊าซธรรมชาติที่ผ่าน Benfield/Amine Process มาแล้วนั้นจะมีไอน้ำอิ่มตัวเนื่องจากมีการสัมผัสกับสารละลายโดยตรง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการทำให้แห้งก่อนส่งไปลดอุณหภูมิต่อไป มิฉะนั้นไอน้ำจะเกิดการแข็งตัวอุดตันในกระบวนการผลิตได้ หน่วยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ระบบกำจัดความชื้นของก๊าซ (Gas Dehydration System) และระบบกำจัดความชื้นของของเหลว (Liquid Dehydration System)

4) หน่วยแยกก๊าซเหลวรวม (Ethane Recovery Unit) ก๊าซธรรมชาติที่ปราศจากน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกส่งเข้าอุปกรณ์ลดความดัน (Turbo Expander) เพื่อลดความดันและอุณหภูมิจนทำให้ก๊าซธรรมชาติกลายเป็นของเหลว และส่งต่อไปยังหอกลั่นมีเทน (Demethanizer) ซึ่งทำหน้าที่แยกก๊าซมีเทน (C_1) ออกจากก๊าซธรรมชาติ เรียกผลิตภัณฑ์นี้ว่า Sales Gas ดังนั้น การ

ทำงานจึงสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ การลดอุณหภูมิ การทำให้ก๊าซกลายเป็นของเหลว และการแยกมีเทน ส่วนอีเทนและพวกที่หนักกว่ายังเป็นของเหลวจะถูกส่งไปแยกในหน่วยอื่นต่อไป

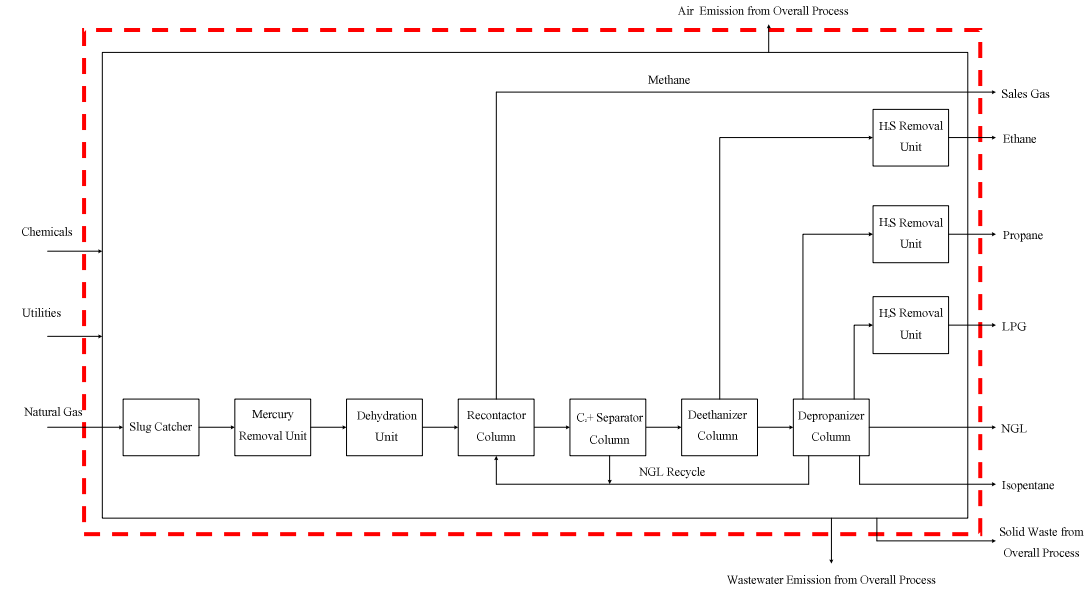
5) หน่วยแยกผลิตภัณฑ์ (Fractional Unit) หน่วยนี้ทำหน้าที่แยก Ethane Plus เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้าย ประกอบด้วย อีเทน โพรเพน ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (liquefied petroleum gas; LPG) และก๊าซโซลีนธรรมชาติ (Natural Gas Liquid; NGL) โดยใช้หลักการแยกลำดับส่วน นั่นคือการเพิ่มอุณหภูมิจนถึงจุดเดือดของก๊าซอีเทน จากนั้นก๊าซอีเทนจะเดือดแยกออกมาและเมื่อเพิ่มอุณหภูมิต่อไปก๊าซเหลวชนิดอื่นที่เหลือที่มีจุดเดือดสูงถัดไปก็จะเดือดแยกออกมา ตามลำดับ การทำงานของหน่วยนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ การแยกอีเทน (De-ethanization) และการแยกโพรเพน (De-propanization)

- การแยกอีเทน (De-ethanization) ของเหลว Ethane Plus จะถูกเพิ่มอุณหภูมิและเพิ่มความดันเพื่อให้ Ethane Plus มีสภาพเป็น 2 สถานะ จากนั้นส่งเข้าสู่หอแยกอีเทน (Deethanizer) โดยก๊าซอีเทนจะเดือดและแยกตัวออกมาทางด้านบนของหอแยกที่ความดัน 27 บาร์ อุณหภูมิยอดหอ 5°C ส่วนผลิตภัณฑ์ของเหลวออกทางส่วนล่างของหอที่ความดัน 27 บาร์ อุณหภูมิ 95°C ซึ่งเป็นโพรเพนและพวกที่หนักกว่า เรียกว่า Propane Plus (C_3, C_4, C_5) ซึ่งส่งต่อไปยังหอแยกโพรเพนต่อไป

- การแยกโพรเพน (De-propanizer) ของเหลว Propane Plus ออกจากหอแยกอีเทนจะถูกลดความดันเป็น 16.5 บาร์และผ่านเครื่องถ่ายเทความร้อนทำให้ของเหลวบางส่วนกลายเป็นไอและถูกป้อนเข้าหอแยกโพรเพน (Depropanizer) ซึ่งแยกเป็น 3 ผลิตภัณฑ์คือ โพรเพนเป็นผลิตภัณฑ์ส่วนบนของหอ ก๊าซปิโตรเลียมเหลวเป็นผลิตภัณฑ์จากด้านข้างหอ ก๊าซโซลีนธรรมชาติเป็นผลิตภัณฑ์ด้านล่างของหออยู่ในสถานะของเหลวแล้วส่งต่อไปยังถังเก็บต่อไป

6) หน่วยกำจัดสารไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S Removal Unit) ออกจากก๊าซเพื่อให้ได้ก๊าซที่มีคุณสมบัติตามต้องการ

กระบวนการผลิตทั่วไปของโรงแยกก๊าซธรรมชาติและขอบเขตการศึกษาสามารถแสดงดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 กระบวนการผลิตทั่วไปของโรงแยกก๊าซธรรมชาติและขอบเขตการศึกษา

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2550)

เมื่อผ่านกระบวนการแยกก๊าซเรียบร้อยแล้ว องค์ประกอบโดยเฉลี่ยของก๊าซธรรมชาติที่ออกจากโรงแยกก๊าซธรรมชาติและถูกส่งไปยังผู้ใช้ก๊าซธรรมชาติบนบก แสดงดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 องค์ประกอบโดยเฉลี่ยของก๊าซธรรมชาติที่ออกจากโรงแยกก๊าซธรรมชาติและถูกส่งไปยังผู้ใช้ก๊าซธรรมชาติบนบก

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยโมล
C1	76.04
C2	6.15
C3	1.82
iC4	0.38
nC4	0.35
iC5	0.11
nC5	0.07
C6	0.07
C7	0.00
C8	0.00
CO2	13.10
N2	1.92
Total	100.00

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (2550)

1.3 ขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

ในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ส่วนของการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวที่ใช้เทคนิคการผลิตที่เรียกว่า เทคโนโลยีสร้างความเย็นแบบหมุนเวียน (Nitrogen Recycle System; NRCS) โดยใช้ Nitrogen เป็นสารทำความเย็น รวมทั้งงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ทั้งกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas ซึ่งเป็นก๊าซธรรมชาติที่เป็นผลผลิตร่วมจากการขุดน้ำมันและการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas ซึ่งเป็นก๊าซธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการแยกก๊าซที่โรงแยกเรียบร้อยแล้ว

1.3.1 กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas

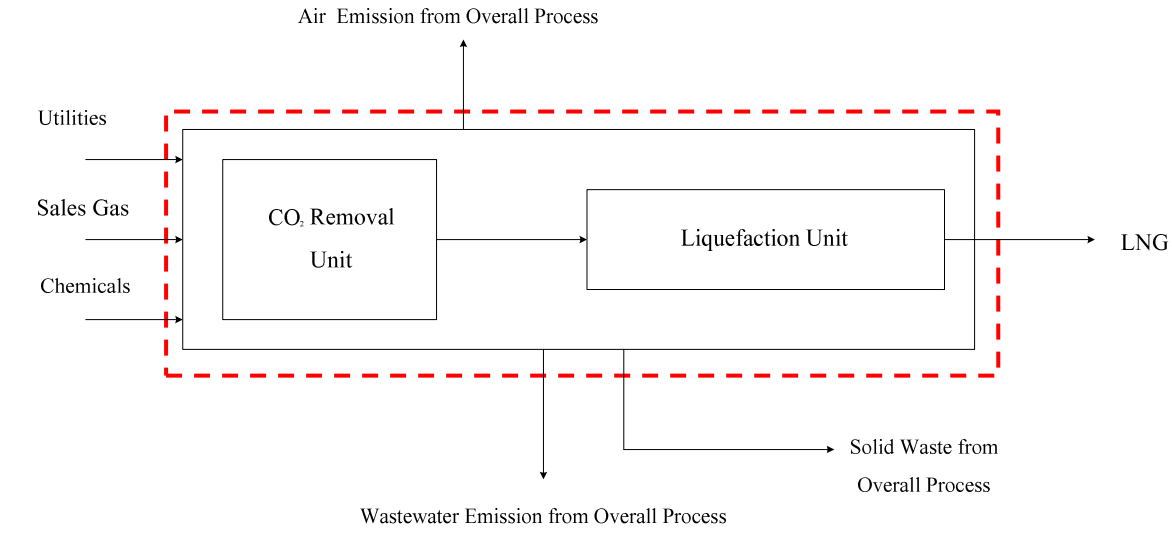
กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas จะมีเพียงกระบวนการทำให้เป็นของเหลว (Liquefaction) เท่านั้น ซึ่งจะแตกต่างจากกระบวนผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas ที่ต้องมีการทำให้บริสุทธิ์ (Purification) ก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวต่อไป

กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) Sales Gas จากโรงแยกก๊าซจะถูกส่งเข้ามาพักที่ Natural Gas Buffer Tank จากนั้นจะถูกส่งต่อไปเพื่อถูกกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำอีกครั้งด้วย CO_2 Removal Unit ที่มีการบรรจุ Molecular Sieve ไว้ภายใน

2) Sales Gas ซึ่งมีสถานะเป็นก๊าซหลังจากผ่าน CO_2 Removal Unit แล้วจะถูกส่งไปยัง Cold Box เพื่อทำให้ Sales Gas เปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวที่เรียกว่า ก๊าซธรรมชาติเหลว (Liquefied Natural Gas; LNG) และถูกนำไปเก็บที่ LNG Storage Tank เพื่อรอการขนส่งไปยังผู้ใช้ต่อไป

- ในส่วนของขั้นตอนการลดอุณหภูมิ Sales Gas จากหอแยกจะถูกแลกเปลี่ยนความร้อนกับไนโตรเจนเหลวที่มีการกักเก็บไว้ที่ถังกักเก็บไนโตรเจนเหลวภายในระบบ NRCS ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประสิทธิภาพสูงแบบ BAHX (Blazed Aluminium Heat Exchanger; HX-100, HX-200 และ HX-300) ที่บรรจุใน Cold Box โดยที่ BAHX มีลักษณะเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นที่ทำจากวัสดุอะลูมิเนียมวางอัดซ้อนกันหลายชั้นซึ่งแต่ละชั้นจะมีช่องว่างให้ Sales Gas และไนโตรเจนไหลสลับกันในแต่ละช่องเพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกัน ด้วยกระบวนการดังกล่าวทำให้ Sales Gas ลดอุณหภูมิลงจนกระทั่งกลายสภาพเป็นของเหลวหรือ LNG Product ก่อนส่งเข้าสู่ถังเก็บผลิตภัณฑ์และเข้าสู่กระบวนการขนส่งต่อไปซึ่งกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวและขอบเขตการศึกษา สามารถแสดงได้ ดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas โดยเทคโนโลยีสร้างความเย็นแบบหมุนเวียนและขอบเขตการศึกษา

หมายเหตุ ระบบหอเผา (Flare System) จะมีการใช้เมื่อการผลิตเกิดภาวะฉุกเฉินหรือในช่วงการ Start-up หรือ Shut-down เท่านั้น (บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน), 2551) จึงไม่นำมาคิดรวมในงานวิจัยนี้

1.3.2 กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas

ภาพรวมของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas จะเป็นเพียงการนำก๊าซที่ได้จากกระบวนการผลิตน้ำมันดิบหรือ Associated Gas จากหลุมผลิตน้ำมันดิบมาผ่านกระบวนการทำให้บริสุทธิ์และกระบวนการทำให้เป็นของเหลวเท่านั้น

โดยกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas เริ่มต้นจากการทำให้ Associated Gas บริสุทธิ์ด้วยการแยกก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ทั้งนี้กำหนดให้ Associated Gas มีองค์ประกอบ ดังแสดงตามตารางที่ 21 จากนั้นก๊าซจะถูกทำให้เย็นตัวลงด้วยการแลกเปลี่ยนความร้อนกับไนโตรเจนจากระบบทำความเย็นแบบหมุนเวียนด้วยระบบไนโตรเจน ก๊าซธรรมชาติบริสุทธิ์จะถูกลดอุณหภูมิจนกลายเป็นของเหลว หรือ LNG Product และได้ผลผลิต

ร่วม คือ ไฮโดรคาร์บอนเบา (Light Hydrocarbon; C_2^+) และไฮโดรคาร์บอนหนัก (Heavy Hydrocarbon; C_5^+)

ตารางที่ 21 องค์ประกอบของ Associated Gas

องค์ประกอบ	หน่วย	ปริมาณ
Methane	% mol	70.43
Ethane	% mol	13.41
Propane	% mol	8.54
Butane	% mol	3.84
Butene	% mol	0.04
Pentane	% mol	1.08
Nitrogen	% mol	0.31
Hexane	% mol	0.73
Carbondioxide	% mol	1.62
Oxygen	% mol	<0.10
Total Sulfur	% mol	<0.5
Lead	Ppm	<0.2
Arsenic	Ppb	<5
Mercury	mg/Nm^3	0.008

ที่มา: บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) (2549)

โดยกระบวนการผลิต LNG มีรายละเอียดขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) Associated Gas ที่มีองค์ประกอบดังกล่าวถูกส่งเข้าสู่กระบวนการผลิต LNG โดยจะถูกเพิ่มความดันโดย Associated Gas Compressor และในขณะที่ทำการอัดจะมีการระบายความร้อนของ Associated Gas ออกด้วยระบบน้ำหล่อเย็นแบบระบบหมุนเวียนของ Associated Gas Compressor เพื่อรักษาอุณหภูมิของ Associated Gas

2) Associated Gas จากคอมเพรสเซอร์จะถูกลดอุณหภูมิต่อโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนกับไนโตรเจนจากระบบ NRCS ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประสิทธิภาพสูงแบบ BAHX ที่บรรจุใน Cold Box ทำให้อุณหภูมิของ Associated Gas ลดลง

3) Associated Gas จาก Cold Box ดังกล่าวจะถูกนำไปแยกองค์ประกอบที่ไม่ต้องการออกจากมีเทนด้วยถังแยกขั้นที่ 1 (Separator 1) โดยที่ Associated Gas จะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ

3.1) องค์ประกอบหลักเป็นมีเทน สถานะเป็นก๊าซ จะถูกส่งไปกำจัดก๊าซ CO_2 โดย CO_2 Removal Unit ต่อไป

3.2) องค์ประกอบที่ไม่ต้องการมีสถานะเป็นของเหลว จะประกอบด้วย CH_4 10%, C_2H_6 9.42%, C_3H_8 19.97% และน้ำ 12.18% โมล เป็นต้น จะถูกส่งไปแยกน้ำออกด้วยถังแยกขั้นที่ 2 (Separator 2) โดยน้ำจะแยกออกมาเป็นสถานะของเหลวและส่วนประกอบที่เหลือจะถูกแยกออกมาเป็นสถานะของเหลวและจะถูกส่งเข้าไปที่ถังแยกขั้นที่ 3 (Separator 3) เพื่อผลิตเป็น LHC ต่อไป

4) Associated Gas ที่มีองค์ประกอบหลักเป็นก๊าซมีเทนจากถังแยกขั้นที่ 1 (Separator 1) ดังกล่าวข้างต้นจะถูกกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำด้วย CO_2 Removal Unit ที่มี Molecular Sieve บรรจุอยู่ภายในหอดูดซับจนได้ก๊าซธรรมชาติที่มีองค์ประกอบหลักเป็นมีเทน และปราศจากก๊าซ CO_2

5) ก๊าซธรรมชาติที่มีองค์ประกอบหลักเป็นก๊าซมีเทน และปราศจากก๊าซ CO_2 จาก CO_2 Removal Unit จะถูกนำเข้าสู่หอแยก (Absorption Unit) เพื่อแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ

5.1) มีเทนบริสุทธิ์ซึ่งเรียกว่า Pure Natural Gas จะมีสถานะเป็นก๊าซจะถูกส่งไปยัง Cold Box เพื่อทำให้ Pure Natural Gas กลายเป็น LNG ต่อไป

5.2) สำหรับส่วนที่เหลือจากหอแยก 1 (Absorption Unit) มีสถานะเป็นของเหลว จะถูกส่งผ่านเข้าสู่หอแยก 2 (Striping Unit) เพื่อแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ

- ก๊าซ C_2^+ จะถูกส่งไปกระบวนการผลิต LHC ต่อไป

- ของเหลว C_5^+ นี้จะถูกส่งไปกระบวนการ Heavy Hydrocarbon Recycle (HHC Recycle) โดยที่ปริมาณส่วนหนึ่งจะถูกลดอุณหภูมิ และเพิ่มความดันด้วยปั๊มแรงดันสูง นำกลับเข้าสู่หอแยก 1 (Absorption Unit) เพื่อช่วยแยกมีเทนอีกครั้ง และอีกส่วนหนึ่งจะถูกส่งไปกระบวนการผลิต HHC ต่อไป

6) ขั้นตอนการลดอุณหภูมิ Pure Natural Gas จากหอแยก 1 (Absorption Unit) จะถูกแลกเปลี่ยนความร้อนกับไนโตรเจนจากระบบ NRCS ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประสิทธิภาพสูงแบบ BAHX ที่บรรจุใน Cold Box โดยที่ BAHX มีลักษณะเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแผ่นที่ทำจากวัสดุอะลูมิเนียมวางอัดซ้อนกันหลายชั้นซึ่งแต่ละชั้นจะมีช่องว่างให้ Pure natural Gas และไนโตรเจนไหลสลับกันในแต่ละช่องเพื่อทำการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างกัน ทำให้ Pure Natural Gas ถูกลดอุณหภูมิลงจนกระทั่งกลายสภาพเป็นของเหลวหรือ LNG Product ก่อนส่งเข้าสู่ถังเก็บผลิตภัณฑ์ต่อไป

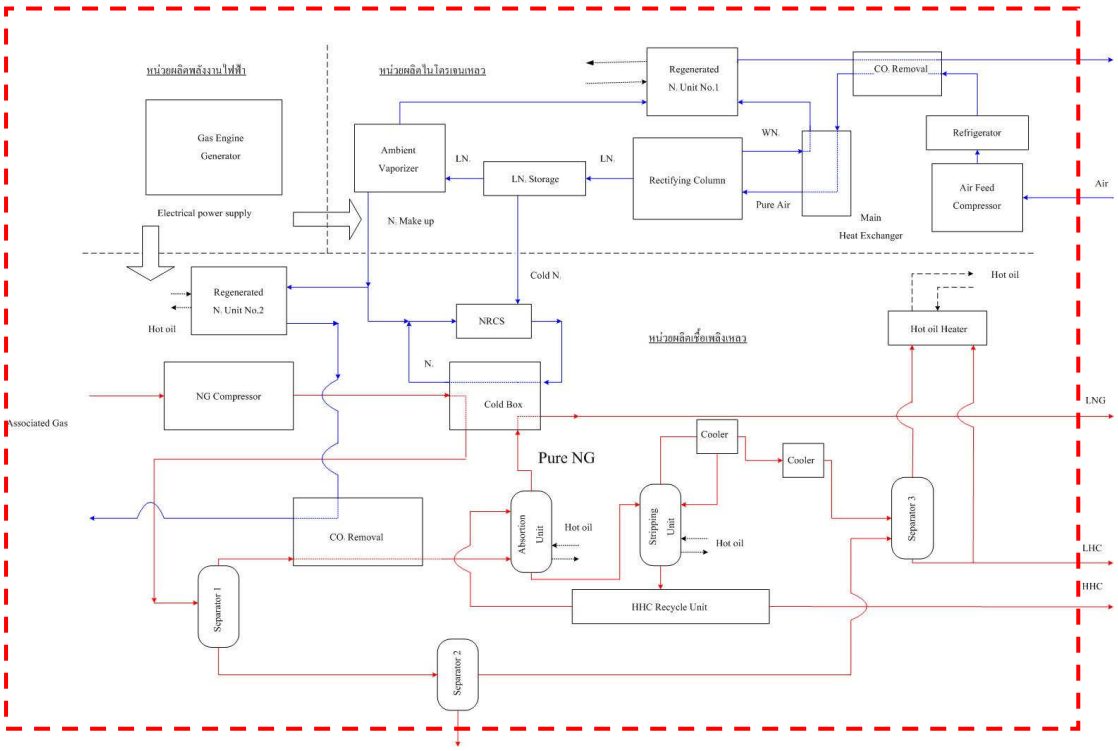
7) ขั้นตอนการผลิต LHC

ก๊าซ C_2^+ จากหอแยก (Stripping Unit) จะถูกส่งเข้ามาที่ Cooler เพื่อลดอุณหภูมิลง โดยก๊าซจะถูกแยกออกเป็น 2 สถานะคือ สถานะของเหลวและสถานะก๊าซด้วยหอแยก (Separator 3) ดังนี้

- สถานะก๊าซจะถูกนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตน้ำมันร้อนทั้งหมด

- สถานะของเหลวจะถูกนำไปผลิตน้ำมันร้อน และปริมาณที่เหลือจะถูกลดความดันลงเพื่อส่งเข้าสู่ถังเก็บผลิตภัณฑ์ (By product) และส่งไปจำหน่ายยังอุตสาหกรรมอื่นต่อไป

โดยกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวและขอบเขตการศึกษา สามารถแสดงได้ ดังภาพที่ 24



ขอบเขตการศึกษา

ภาพที่ 24 กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas โดยเทคโนโลยีสร้างความเย็นแบบหมุนเวียนและขอบเขตการศึกษา

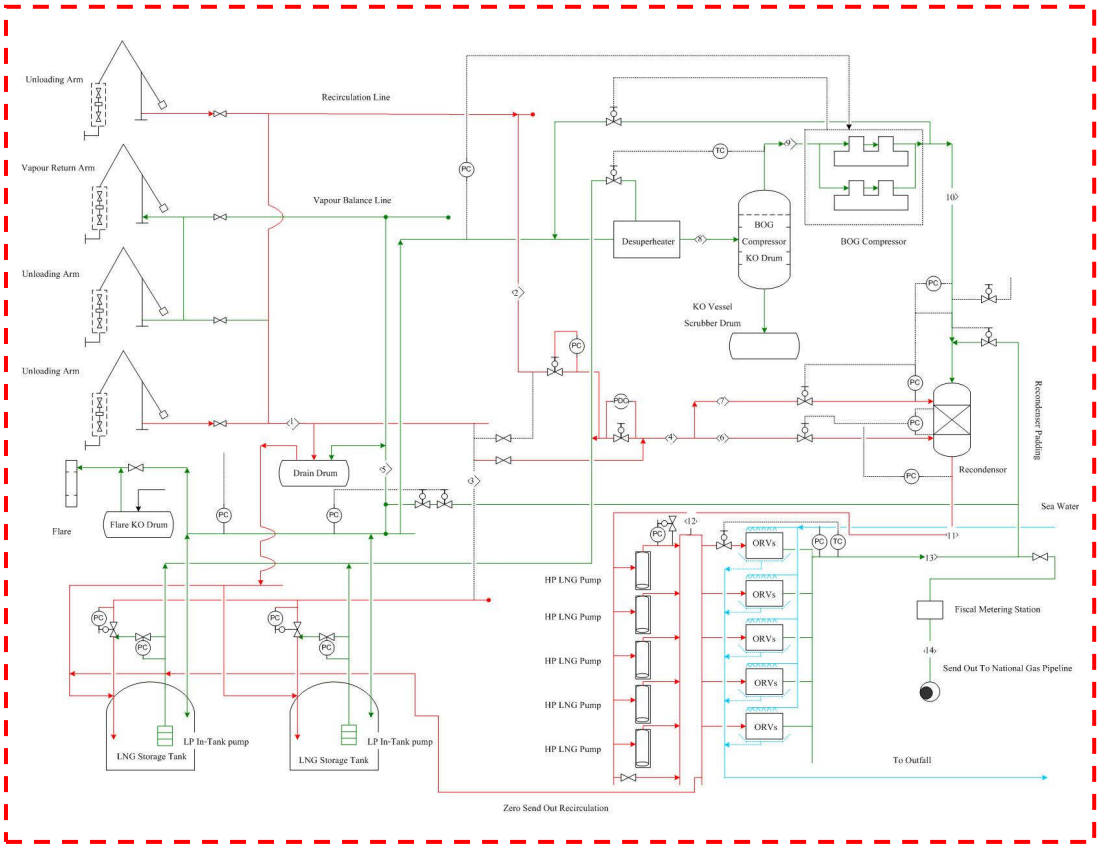
หมายเหตุ ระบบหอเผา (Flare System) จะมีการใช้เมื่อการผลิตเกิดภาวะฉุกเฉินหรือในช่วงการ Start-up หรือ Shut-down (บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม. จำกัด (มหาชน), 2549) เท่านั้นจึงไม่นำมาคิดรวมในงานวิจัยนี้

ที่มา: บริษัท ปตท.สำรวจและผลิตปิโตรเลียม จำกัด (มหาชน) (2549)

1.4 ขั้นตอนการรับ-จ่ายก๊าซธรรมชาติเหลวบริเวณท่าเทียบเรือและสถานีรับ-จ่าย (LNG Receiving Terminal)

จากหลักการพื้นฐานของก๊าซธรรมชาติเหลว คือ คุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติเหลว ซึ่งเมื่อถูกทำให้เย็นตัวลงถึง -160°C จะมีสภาพเป็นของเหลวที่ระดับความดันบรรยากาศ โดย

ก๊าซธรรมชาติเหลวจะมีปริมาตรประมาณ 1 ใน 600 เท่าของก๊าซธรรมชาติที่มีสถานะเป็นก๊าซ และสามารถขนส่งข้ามมหาสมุทรได้ โดยเรือที่ใช้ในการขนส่งจะเป็นเรือที่ได้ออกแบบมาเฉพาะซึ่งเป็นเรือที่มีคลังเก็บแบบอุณหภูมิต่ำ (Cryogenic Temperature) ก๊าซธรรมชาติเหลวสามารถรับ-จ่าย และเก็บไว้ในถังเก็บภายใต้ความดันบรรยากาศ และสามารถเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นก๊าซ (Vaporized) เพื่อจ่ายเข้าสู่ระบบท่อส่งก๊าซหรือในขณะเดียวกันเพื่อความสะดวกในการขนส่งอาจทำการขนส่งต่อไปยังผู้ใช้ในสถานะของของเหลวได้เช่นเดียวกัน ซึ่งขั้นตอนการดำเนินงานภายในสถานีรับ-จ่ายก๊าซธรรมชาติเหลวสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 25



ขอบเขตการศึกษา

ภาพที่ 25 แผนผังการดำเนินงานภายในสถานีรับ-จ่ายก๊าซธรรมชาติเหลวและขอบเขตการศึกษา

ที่มา: บริษัท พีทีที แอลเอ็นจี. จำกัด. (2550)

ในส่วนของขั้นตอนการระบายมลสาร-ก๊าซ และการระบายน้ำ ในช่วงการดำเนินการ ระบบจะเป็นระบบปิดปิด โดยสภาวะปกติจะไม่มีการระบายมลสารออกสู่สิ่งแวดล้อม (บริษัท พีทีทีแอลเอ็นจี จำกัด, 2550) อย่างไรก็ตามในการดำเนินโครงการอาจมีแหล่งกำเนิดมลสารในเบื้องต้น ดังนี้

- ระบบ Flare (ไม่ต่อเนื่อง)

โครงการจะมีการติดตั้ง Ignitable Vent Stack โดยในสภาวะปกติจะไม่มีการระบายมลสารออกทางปล่องนี้เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงการเผาก๊าซเชื้อเพลิง โครงการจะไม่มีการเผาก๊าซที่ปลายปล่อง แต่ในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉินจำเป็นต้องมีการะบายก๊าซออกทางปลายปล่องก็จะมีการเผาไหม้เกิดขึ้น (Flare)

- มลสารและก๊าซที่ระบายออก (เฉพาะกรณีกรณีฉุกเฉิน)

มลสารและก๊าซโดยทั่วไปจะเป็นมลสารจำพวกไฮโดรคาร์บอนเบา (Light Hydrocarbons) และก๊าซต่างๆจะเกิดจากระบบวาล์ว รอยต่อและลิ้น ซึ่งหากมีการดูบำรุงรักษาที่ดีอย่างต่อเนื่องและในสภาวะปกติจะไม่มีการระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม

- ก๊าซเฉื่อยที่ใช้ไล่ LNG (ไม่ต่อเนื่อง)

โครงการจะมีการใช้ก๊าซเฉื่อยในการไล่ทำความสะอาดถังเก็บบนเรือและรถบรรทุก LNG ก่อนการบรรจุ LNG

- แหล่งกำเนิดมลสารอื่นๆ เช่น Analyzers, Sampling, เรือขนส่ง LNG ฯลฯ (ไม่ต่อเนื่อง)

- การระบายน้ำเสีย

งานวิจัยนี้จะคิดเฉพาะน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการใช้น้ำทะเลเพื่อทำให้ก๊าซธรรมชาติเหลวกลายสภาพเป็นไอจากระบบ ORVs เท่านั้น

ในขั้นตอนการรับ-จ่ายก๊าซธรรมชาติเหลวบริเวณท่าเทียบเรือและสถานีรับ-จ่ายในสภาวะการดำเนินการปกติ สามารถสร้างแบบจำลองในการขนส่งก๊าซธรรมชาติภายในประเทศต่อไปได้ 2 แบบจำลองด้วยกัน ประกอบด้วย

แบบจำลองที่ 1 การขนส่งจากท่าเรือไปสถานีจ่ายก๊าซภายในประเทศในสถานะของเหลว (LNG-IM to LNG)

แบบจำลองที่ 2 การขนส่งจากท่าเรือไปสถานีจ่ายก๊าซภายในประเทศในสถานะก๊าซ (LNG-IM to CNG)

จากการวิเคราะห์มลสารตามแหล่งกำเนิดที่กล่าวข้างต้น ดังนั้น งานวิจัยนี้จะไม่ทำการพิจารณาในส่วนของระบบหอเผาและก๊าซเฉื่อยที่ใช้ไล่ LNG เนื่องจากไม่ได้มีการดำเนินการอย่างต่อเนื่อง รวมทั้งแหล่งกำเนิดมลสารอื่นๆ เช่น Analyzers, Sampling, เรือขนส่ง LNG ฯลฯ เนื่องจากมีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณของก๊าซจากโรงงาน (บริษัท พีทีที แอลเอ็นจี จำกัด, 2550)

2. ขั้นตอนการขนส่ง

ในช่วงขั้นตอนการขนส่ง ปัจจัยที่มีผลต่อการประเมินผลกระทบ คือ น้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ทำการขนส่ง และระยะทางในการขนส่ง รวมทั้งยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง ดังนั้นในการคำนวณปริมาณการแพร่กระจายของมลสารที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจึงมีการกำหนดให้คำนวณผลกระทบในหน่วยของปริมาณการแพร่กระจายของมลสารต่อปริมาณกิโลกรัมของผลิตภัณฑ์ต่อ 1 กิโลเมตร (kg-emission/kg-km)

ในงานวิจัยนี้แบ่งประเภทของการขนส่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ การขนส่งก๊าซธรรมชาติผ่านระบบท่อส่ง การขนส่งทางเรือ และการขนส่งทางรถ

2.1 การขนส่งก๊าซธรรมชาติไปยังผู้ใช้โดยระบบท่อส่ง

เป็นการขนส่งก๊าซธรรมชาติโดยการอัดผ่านระบบท่อส่งจากโรงแยกก๊าซจังหวัดระยองไปยังสถานีจ่ายก๊าซฯที่ตั้งอยู่ตามแนวท่อ โดยในขั้นตอนการวิเคราะห์ผลกระทบมีการนำวิธีการปันส่วนโดยน้ำหนักมาใช้ในการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นด้วย เพื่อให้ได้ผลการวิเคราะห์ที่มีความถูกต้องใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยกำหนดระยะทางตามสถานี

จ่ายก๊าซที่ให้บริการทั้งหมดทั่วประเทศในปัจจุบัน (กรมธุรกิจพลังงาน, 2551) ดังนั้น ในการขนส่งก๊าซธรรมชาติไปยังสถานีจ่ายก๊าซคิดเป็นระยะทางเฉลี่ย 404 กิโลเมตร

2.2 การขนส่งก๊าซธรรมชาติไปยังผู้ใช้โดยรถ

เนื่องจากปัจจุบันการขนส่งก๊าซธรรมชาติที่อยู่นอกแนวท่อเป็นการขนส่งก๊าซธรรมชาติโดยรถ ซึ่งเป็นการขนส่งจากสถานีแม่ (Mother Station) ไปยังสถานีจ่ายก๊าซฯที่อยู่นอกแนวท่อ (Daughter Station) จากการคำนวณปริมาณการขนส่งก๊าซธรรมชาติอัดโดยรถ พบว่า ในการขนส่งก๊าซธรรมชาติที่ความดัน 250 บาร์ (บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน), 2551ช) โดยรถขนส่งก๊าซไปยังสถานีจ่ายก๊าซ คิดเป็นระยะทางเฉลี่ย 80.8 กิโลเมตร

2.3 การขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวระหว่างประเทศโดยเรือขนส่ง

การขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวระหว่างประเทศในระยะทางไกลจะเป็นการขนส่งโดยเรือเพื่อนำก๊าซธรรมชาติเหลวไปยังประเทศต่างๆระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า แม้จะต้องรักษาอุณหภูมิของก๊าซธรรมชาติเหลวให้อยู่ในสถานะของเหลวตลอดการขนส่ง แต่ด้วยการออกแบบถังกักเก็บให้สามารถกันความร้อนได้สูงทำให้สามารถกันความร้อนได้ดีแม้ระยะต้นทางกับปลายทางจะห่างกันหลายพันกิโลเมตร (บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน), 2551ซ)

ดังนั้นหากประเทศไทยมีความต้องการที่จะนำเข้าก๊าซธรรมชาติเหลวเข้ามาใช้ภายในประเทศจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการพิจารณาถึงผลจากการขนส่งโดยเรือ งานวิจัยนี้จึงมีการสร้างแบบจำลองในการวิเคราะห์เป็น 4 แบบจำลอง ได้แก่ อิหร่าน (Scenario 1) ซึ่งเป็นประเทศที่ได้มีการเจรจาลงนามตกลงซื้อขาย LNG เรียบร้อยแล้วตั้งแต่วันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ.2549 อีกทั้งในงานวิจัยนี้ได้มีการเสนอทางเลือกอื่นเพิ่มเติมอีก คือ อินโดนีเซีย (Scenario 2) มาเลเซีย (Scenario 3) และบรูไน (Scenario 4) ในการพิจารณา โดยกำหนดให้เป็นการขนส่งมาที่ท่าเทียบเรือและสถานีรับ-จ่ายก๊าซธรรมชาติเหลวจังหวัดระยองเช่นเดียวกันทั้ง 4 แบบจำลองและมีระยะทาง แสดงดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 การขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวระหว่างประเทศโดยเรือมาจังหวัดระยอง

ที่ตั้ง	ระยะทาง (กิโลเมตร)
Scenario 1 (อิหร่าน)	8884
Scenario 2 (อินโดนีเซีย)	860
Scenario 3 (มาเลเซีย)	810
Scenario 4 (บรูไน)	900

ที่มา: เรือหลวงศรีราชา (2550)

2.4 การขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวภายในประเทศ เป็นการขนส่งโดยรถพ่วง แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

2.4.1. การขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวจากจังหวัดสุโขทัยไปสถานีจ่ายก๊าซภายในประเทศ

เป็นการขนส่งก๊าซธรรมชาติโดยการขนส่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจังหวัดสุโขทัยไปยังสถานีจ่ายก๊าซทั่วประเทศของประเทศไทย ซึ่งมีการนำวิธีการปันส่วนโดยน้ำหนักมาใช้ในการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ เช่นเดียวกับการขนส่งก๊าซธรรมชาติอัดผ่านระบบท่อส่งไปยังสถานีจ่ายก๊าซเพื่อให้ได้ผลที่มีความถูกต้องใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด ปริมาณการขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวจากสุโขทัยไปยังสถานีจ่ายก๊าซโดยอ้างอิงสถานีจ่ายก๊าซธรรมชาติตามสถานีจ่ายก๊าซธรรมชาติอัดเพื่อใช้กำหนดระยะทางในการขนส่ง คิดเป็นระยะทางเฉลี่ยทั้งสิ้น 518 กิโลเมตร

2.4.2. การขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวจากจังหวัดระยองไปสถานีจ่ายก๊าซภายในประเทศ

เป็นการขนส่งก๊าซธรรมชาติจากแหล่งผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจังหวัดระยองไปยังสถานีจ่ายก๊าซทั่วประเทศของประเทศไทย ซึ่งมีการนำวิธีการปันส่วนโดยน้ำหนักมาใช้ในการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้เช่นเดียวกับการขนส่งก๊าซธรรมชาติอัดผ่านระบบท่อส่งไปยังสถานีจ่ายก๊าซเพื่อให้ได้ผลที่มีความถูกต้องใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด

โดยปริมาณการขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวจากระยองไปยังสถานีจ่ายก๊าซโดยอ้างอิงสถานีจ่ายก๊าซธรรมชาติตามสถานีจ่ายก๊าซธรรมชาติอัดเพื่อใช้กำหนดระยะทางในการขนส่ง คิดเป็นระยะทางเฉลี่ยทั้งสิ้น 372 กิโลเมตร

3. ขั้นตอนการใช้งาน

ในส่วนของขั้นตอนการใช้งานก๊าซธรรมชาติทั้ง 2 ชนิด (CNG และ LNG) ในรถโดยสารประจำทาง และกำหนดให้ในการใช้เชื้อเพลิงในรถที่ออกแบบมาเฉพาะสำหรับรองรับเชื้อเพลิงชนิดนั้นๆ โดยรายละเอียดของขั้นตอนการใช้งานมีดังนี้

3.1 การใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในรถประจำทาง (CNG Bus Technology)

งานวิจัยนี้ กำหนดให้มีการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงในรถประจำทาง MY 2001 Cummins Westport, Inc. (CWI) C Gas Plus (ขนาดเครื่องยนต์ 280 แรงม้า ความเร็วรอบ 2400 รอบต่อนาที) ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ที่ถูกผลิตขึ้นเพื่อรองรับการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงโดยเฉพาะ

ในการเก็บข้อมูลการแพร่กระจายของมลสารที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม ขณะที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้นใช้วิธีการเก็บข้อมูลจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากห้องปฏิบัติการ เมื่อได้ค่าปริมาณมลสารต่างๆ ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้นำมาหาค่าเฉลี่ย จากผลการทดสอบดังกล่าว สามารถแสดงการแพร่กระจายของมลสารในหน่วยปริมาณการแพร่กระจายของมลสารต่อการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในรถประจำทางเทียบเป็นผู้โดยสาร 1 คนเดินทางเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร (1 คน-กิโลเมตร) แสดงดังตารางที่ 23

ตารางที่ 23 การแพร่กระจายของมลสารจากการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดในรถประจำทาง MY 2001 Cummins Westport, Inc. (CWI) C Gas Plus

(หน่วย : หน่วย /คน-กิโลเมตร)

รายการ	หน่วย	ปริมาณ
มีเทน	กรัม	0.24
คาร์บอนมอนอกไซด์	กรัม	0.01
คาร์บอนไดออกไซด์	กรัม	31.86
ฝุ่น		N/A
ไฮโดรเจนไดซัลไฟด์		N/A
ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน		(-)
ไนตรัสออกไซด์		N/A
ไนโตรเจนออกไซด์	กรัม	0.27
ซัลเฟอร์ออกไซด์		N/A
Non-Methane Hydrocarbon	กรัม	0.02

ที่มา: Melendez *et al.* (2005)

3.2 การใช้ก๊าซธรรมชาติเหลวในรถประจำทาง (LNG Bus Technology)

งานวิจัยนี้ กำหนดให้มีการใช้ก๊าซธรรมชาติเหลวเป็นเชื้อเพลิงในรถประจำทาง เครื่องยนต์ Cummins L10-280G, 1998 (ขนาดเครื่องยนต์ 280 แรงม้า ความเร็วรอบ 2100 รอบต่อนาที) ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเหลวเป็นเชื้อเพลิงโดยเฉพาะ

ในการเก็บข้อมูลการแพร่กระจายของมลสารที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมขณะที่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงนั้นใช้วิธีการเก็บข้อมูลจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงจากห้องปฏิบัติการ เมื่อได้ค่าปริมาณมลสารต่างๆ ที่ถูกปลดปล่อยออกมาจากการเผาไหม้นำมาหาค่าเฉลี่ย จากผลการทดสอบดังกล่าว สามารถแสดงการแพร่กระจายของมลสารในหน่วยปริมาณการแพร่กระจายของมลสารต่อการใช้ก๊าซธรรมชาติในรถประจำทางเทียบเป็นผู้โดยสาร 1 คนเดินทางเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร (1 คน-กิโลเมตร) แสดงดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 การแพร่กระจายของมลสารจากการใช้ก๊าซธรรมชาติเหลวในรถประจำทาง Cummins L10-280G

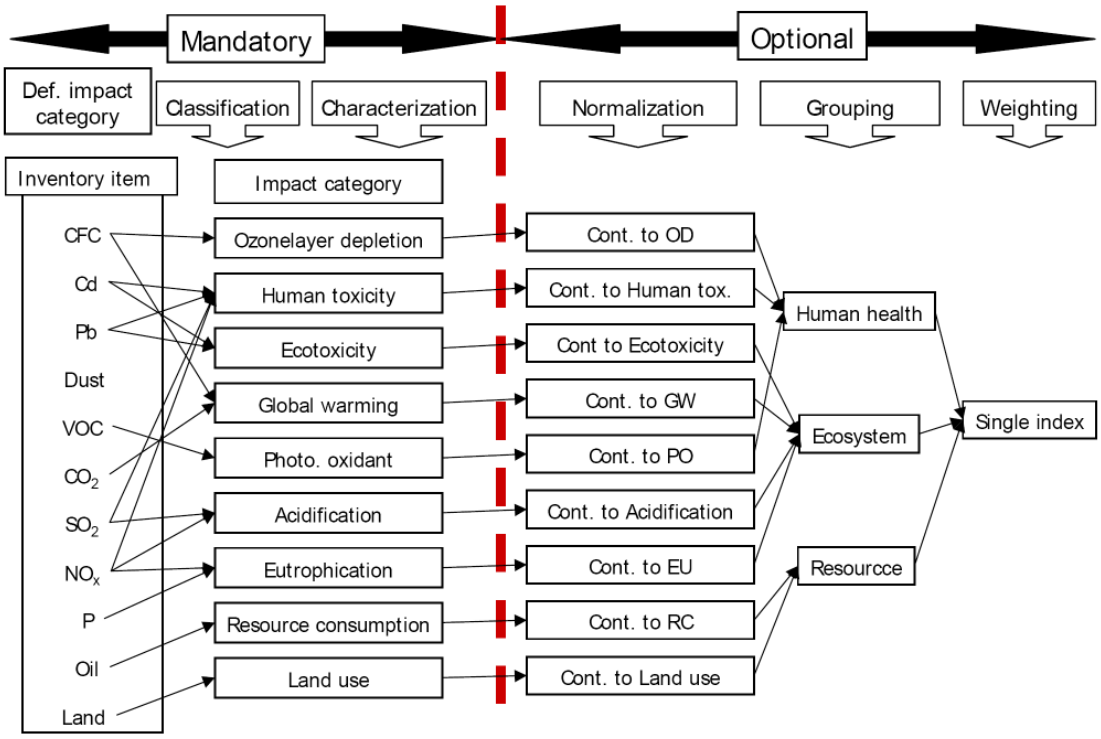
(หน่วย : หน่วย /คน-กิโลเมตร)

รายการ	หน่วย	ปริมาณ
มีเทน	กรัม	0.17
คาร์บอนมอนอกไซด์	กรัม	3.17E-03
คาร์บอนไดออกไซด์	กรัม	30.87
ฝุ่น		N/A
ไฮโดรเจนไดซัลไฟด์		N/A
ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน		(-)
ไนตรัสออกไซด์		N/A
ไนโตรเจนออกไซด์	กรัม	2.93E-01
ซัลเฟอร์ออกไซด์		N/A
Non-Methane Hydrocarbon	กรัม	6.89E-04

ที่มา: Chandler and Norton (2000)

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

การวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมในหัวข้อที่ผ่านมาเป็นการรวบรวมข้อมูลจากกระบวนการต่างๆ ตามเป้าหมายและขอบเขตที่ได้มีการกำหนดไว้ แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณสารขาเข้า-ออกของระบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะทำให้ทราบว่าระบบผลิตภัณฑ์มีการใช้วัตถุดิบ ทรัพยากร และมีการปลดปล่อยมลสารและของเสียสู่สิ่งแวดล้อมในปริมาณเท่าใด ในขั้นถัดไป คือ การจำแนกข้อมูลนั้นตามรายการผลกระทบแล้วจึงแปลค่าข้อมูลดังกล่าวให้อยู่ในรูปของผลกระทบสิ่งแวดล้อมหรือการกำหนดบทบาทโดยเทียบกับศักยภาพในการก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมของสารอ้างอิง หลังจากนั้นเป็นขั้นตอนการหาขนาดผลกระทบโดยเทียบกับผลกระทบสิ่งแวดล้อมในระดับต่างๆ จากนั้นเป็นการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น สุดท้ายจะได้คะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมเชิงเดี่ยว ซึ่งคะแนนเชิงเดี่ยวนี้สามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ได้ เรียกขั้นตอนในการดำเนินการทั้งหมดนี้ได้ว่า การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต สามารถแสดงขั้นตอนต่างได้ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 แนวคิดการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

ที่มา: สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (2547)

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธี Eco-Indicator 95 เวอร์ชั่น 2.03 ในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติที่ค่าพลังงาน 1 เมกะจูล และการใช้ก๊าซธรรมชาติในรถประจำทางโดยเทียบเป็นผู้โดยสาร 1 คนเดินทางเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร (1 คน-กิโลเมตร) โดยกลุ่มผลกระทบสิ่งแวดล้อมและสารบ่งชี้ที่ใช้ในการประเมินผลกระทบนี้ สามารถแสดง ดังตารางที่ 25

ตารางที่ 25 กลุ่มผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสารบ่งชี้ในแต่ละกลุ่มผลกระทบตามวิธีการประเมิน Eco-indicator 95

กลุ่มผลกระทบ	สารบ่งชี้	หน่วย
Acidification potential	SO_2	kg SO_2-Eq
Carcinogenic substance	Benzo [a] pyrene or PAH	kg PAH –Eq
Eutrophication potential	PO_4	kg PO_4-Eq
Global warming potential	CO_2	kg CO_2-Eq
Heavy metals	Pb	kg Pb –Eq
Ozone depletion potential	CFC 11	kg CFC 11-Eq
Winter Smog	SPM	kg SPM-Eq
Summer Smog	C_2H_4	kg C_2H_4 -Eq

จากการคำนวณผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้วยโปรแกรม SimaPro เวอร์ชั่น 7.0 ตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติ แสดงผลการวิจัยโดยแบ่งออกเป็น (1) ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตที่หน่วยการทำงาน 1 เมกะจูล (2) ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตและการขนส่งจนถึงสถานีจ่ายก๊าซที่หน่วยการทำงาน 1 เมกะจูล (3) ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวที่หน่วยการทำงาน 1 เมกะจูล (4) ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวที่หน่วยการทำงาน คือ การใช้ก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวในรถประจำทางเทียบเป็นผู้โดยสาร 1 คนเดินทางเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร (1 คน-กิโลเมตร) ดังต่อไปนี้

1. ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติ

1.1 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติ ณ โรงแยกก๊าซที่หน่วยการทำงาน 1 เมกะจูลของก๊าซธรรมชาติอัด

จากปริมาณสารขาเข้า-ออกที่ได้กล่าวข้างต้น เมื่อทำการวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมสามารถแสดงผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติ

(หน่วย : หน่วย /ก๊าซธรรมชาติ 1 เมกะจูล)

กลุ่มผลกระทบ (Impact category)	หน่วย	ปริมาณ
Greenhouse	kg CO_2-Eq	5.17E-03
ozone layer	kg CFC11-Eq	1.13E-16
acidification	kg SO_2-Eq	9.64E-07
Eutrophication	kg PO_4-Eq	1.77E-07
heavy metals	kg Pb-Eq	8.88E-13
Carcinogens	kg B(a)P-Eq	1.82E-14
winter smog	kg SPM-Eq	1.90E-08
summer smog	kg C_2H_4-Eq	2.48E-07

ดังนั้นปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบในช่วงขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติซึ่งแสดงในหน่วย kg emission-Equiv ดังกล่าว สามารถแสดงรายละเอียดได้ ดังต่อไปนี้

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะโลกร้อนมีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากขั้นตอนการกำจัดคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2 Removal Unit) ในกระบวนการแยกก๊าซเพื่อผลิต Sales Gas (ร้อยละ 92) รองลงมา คือ ไดไนโตรเจนมอนอไซด์ และมีเทน ตาลำดับ

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยโบรโมไตรฟลูออโรมีเทน (Bromotrifluoromethane: Halon 1301) จากกระบวนการผลิตเหล็กกล้าเพื่อใช้ขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 100)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ และไนโตรเจนในกระบวนการแยกก๊าซเพื่อผลิต Sales Gas (ร้อยละ 99.44) รองลงมา คือ ไนโตรเจนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตเหล็กกล้าเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะความเป็นกรด มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์จากกระบวนแยกก๊าซเพื่อผลิต Sales Gas (ร้อยละ 98.34) จาก รองลงมา คือ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต Sales Gas (ร้อยละ 0.02)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะของสารก่อมะเร็ง มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยเบนซีนจากขั้นตอนการก๊าซธรรมชาติ (ร้อยละ 35.02) รองลงมา คือ ฟลูออแรนทีน จากการผลิตเหล็กกล้าเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 35.02)

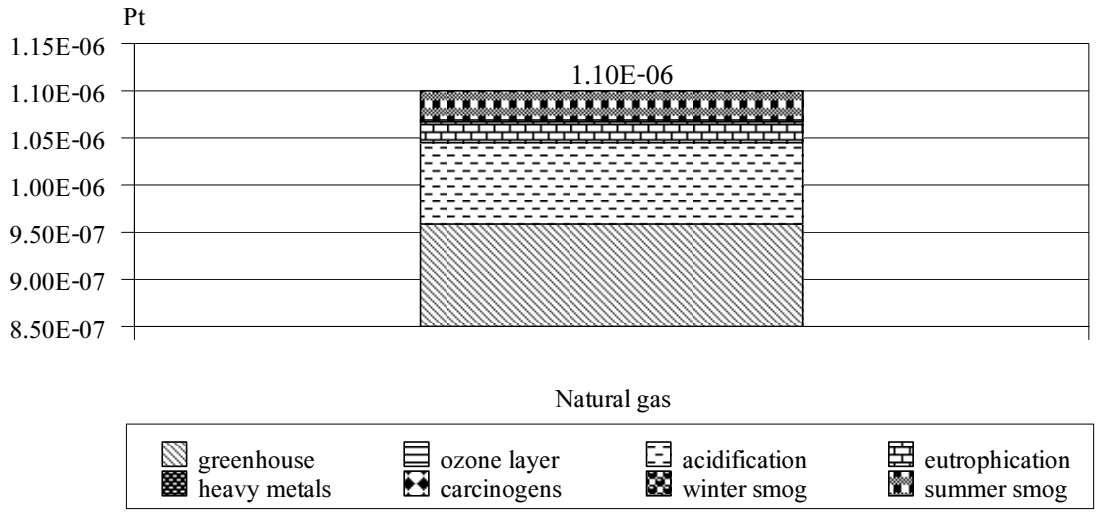
ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดผลกระทบจากโลหะหนัก มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยปรอทจากกระบวนการแยกก๊าซในการผลิต Sales Gas (ร้อยละ 35.02) และโลหะ (Metals Unspecified) จากการผลิตน้ำมันดิบเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 35.02)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิด Winter Smog มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากกระบวนการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในกระบวนการแยกก๊าซในการผลิต Sales Gas (ร้อยละ 84.74) รองลงมา คือ ฝุ่น (Suspended Particulate Matter, SPM) จากการผลิตลิกไนต์เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 14.89)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้าน Summer Smog มีหลักมาจากการปล่อยมีเทน จากการผลิตก๊าซธรรมชาติ (ร้อยละ 97.96) รองลงมา คือ สารอินทรีย์ไอระเหยที่มิใช่มีเทน (Non-Methane Volatile Organic Compounds, NMVOCs) จากการผลิตก๊าซธรรมชาติ (ร้อยละ 1.68)

จากการกำหนดบทบาทในช่วงการผลิตก๊าซธรรมชาติ ณ โรงแยกก๊าซ พบว่า มลสารที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมอยู่ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า และกระบวนการแยกก๊าซ ตามลำดับ

จากนั้นเป็นการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นและจะได้คะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมเชิงเดี่ยว ซึ่งคะแนนเชิงเดี่ยวนี้สามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ จากการวิเคราะห์พบว่า กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งหมดคิดเป็น 1.10E-06 Pt แสดงดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติ

1.2 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas ที่หน่วยการทำงาน 1 เมกะจูลของก๊าซธรรมชาติเหลว

จากปริมาณสารขาเข้า-ออกที่ได้กล่าวข้างต้น เมื่อทำการวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมสามารถแสดงผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas (หน่วย : หน่วย /LNG-SG 1 เมกะจูล)

กลุ่มผลกระทบ (Impact category)	หน่วย	ปริมาณ
Greenhouse	kg CO_2-Eq	1.82E-02
ozone layer	kg CFC11-Eq	1.06E-12
Acidification	kg SO_2-Eq	4.20E-05
Eutrophication	kg PO_4-Eq	4.44E-06
heavy metals	kg Pb-Eq	8.11E-10
Carcinogens	kg B(a)P-Eq	1.24E-11
winter smog	kg SPM-Eq	2.14E-05
summer smog	kg C_2H_4-Eq	5.40E-06

ดังนั้นปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบในช่วงขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวซึ่งแสดงในหน่วย kg emission-Equiv ดังกล่าว สามารถแสดงรายละเอียดได้ ดังต่อไปนี้

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะโลกร้อน มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยเพื่อใช้ในการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว (ร้อยละ 61.54) รองลงมา คือ มีเทน จากขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว (ร้อยละ 37.58)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยโบรโมไตรฟลูออโรมีเทน (Bromotrifluoromethane: Halon 1301) จากการผลิตน้ำมันดิบเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 57.54) รองลงมา คือ โบรโมคลอโรไดฟลูออโรมีเทน (Bromochlorodifluoromethane : Halon 1211) จากขั้นตอนการขนส่งก๊าซธรรมชาติเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 27.26)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์จากกระบวนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 99.77) รองลงมา คือ ไนโตรเจนไดออกไซด์จากกระบวนการผลิตเหล็กกล้าเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 0.11)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะความเป็นกรด มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากกระบวนผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย (ร้อยละ 99.76) รองลงมา คือ ซัลเฟอร์ออกไซด์จากกระบวนการผลิตน้ำมันดิบเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 0.3)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะของสารก่อมะเร็ง มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยสารฟลูออแรนทีน (Fluoranthene) และเบนโซ(เอ)ไพรีน (Benzo (a) pyrene) จากการผลิตเหล็กกล้าของการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว (ร้อยละ 79.92) รองลงมา คือ โลหะ (Metal, unspecified) จากผลิตน้ำมันดิบเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตฟ้าในการขั้นตอนการผลิตไนโตรเจนเหลว (ร้อยละ 13.25)

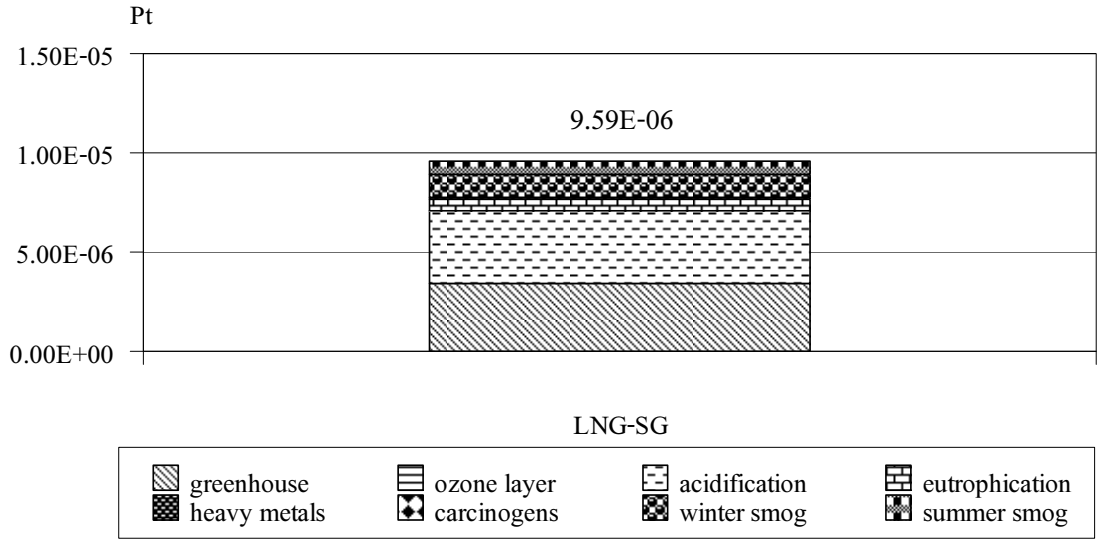
ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดผลกระทบจากโลหะหนัก มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยโลหะ (Metal, Unspecified) จากการผลิตน้ำมันดิบเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 43.58) รองลงมา คือ แคดเมียมและตะกั่ว จากการผลิตเหล็กกล้าเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 37.4)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้าน Winter Smog มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากกระบวนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 84.11) รองลงมาคือ ฝุ่น (suspended particulate matter, SPM) จากการผลิตลิกไนต์เพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 15.05)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้าน Summer Smog มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยมีเทน จากกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว (ร้อยละ 80.74) รองลงมา คือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon, Unspecified) จากการผลิตน้ำมันดิบเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 18.19)

จากการกำหนดบทบาทในช่วงการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas พบว่า มลสารที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมอยู่ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าเป็นสำคัญ

จากนั้นเป็นการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น และจะได้คะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมเชิงเดี่ยว ซึ่งคะแนนเชิงเดี่ยวนี้สามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ จากการวิเคราะห์พบว่า กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งหมดคิดเป็น 9.59E-06 Pt แสดงดังภาพที่ 28



ภาพที่ 28 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas

1.3 ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas ที่หน่วยการทำงาน 1 เมกะจูลของก๊าซธรรมชาติเหลว

จากปริมาณสารขาเข้า-ออกของกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่อไป สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas

(หน่วย : หน่วย /LNG-ASS 1 เมกะจูล)

กลุ่มผลกระทบ (Impact category)	หน่วย	ปริมาณ
Greenhouse	kg CO_2-Eq	1.71E-02
ozone layer	kg CFC11-Eq	2.46E-13
Acidification	kg SO_2-Eq	7.86E-05
Eutrophication	kg PO_4-Eq	8.20E-06
heavy metals	kg Pb-Eq	1.25E-09
Carcinogens	kg B(a)P-Eq	2.11E-11
winter smog	kg SPM-Eq	4.07E-05
summer smog	kg C_2H_4-Eq	2.30E-06

ดังนั้น ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบในช่วงขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวซึ่งแสดงในหน่วย kg emission-Equiv ดังกล่าว สามารถแสดงรายละเอียดได้ ดังต่อไปนี้

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะโลกร้อน มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จากขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 95.91) รองลงมา คือ ไดไนโตรเจนมอนอไซด์ จากการผลิตลิกไนต์เพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 1.57)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยโบรโมไตรฟลูออโรมีเทน (Bromotrifluoromethane: Halon 1301) จากขั้นตอนการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในการผลิตเหล็กกล้า (ร้อยละ 100)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์จากขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 99.76) รองลงมา คือ ไนโตรเจนไดออกไซด์จากการผลิตเหล็กกล้าเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 0.11)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะความเป็นกรด มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์ และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ จากการกระบวนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 99.49) รองลงมา คือ ซัลเฟอร์ออกไซด์จากการผลิตนิกเกิลเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 0.37)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะของสารก่อมะเร็ง มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยสารฟลูออแรนทีน (Fluoranthene) และเบนโซ(เอ)ไพรีน (Benzo (a) pyrene) จากการผลิตเหล็กกล้าเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 84.08) รองลงมา คือ โลหะ (Metals Unspecified) จากการผลิตน้ำมันดิบเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 14.79)

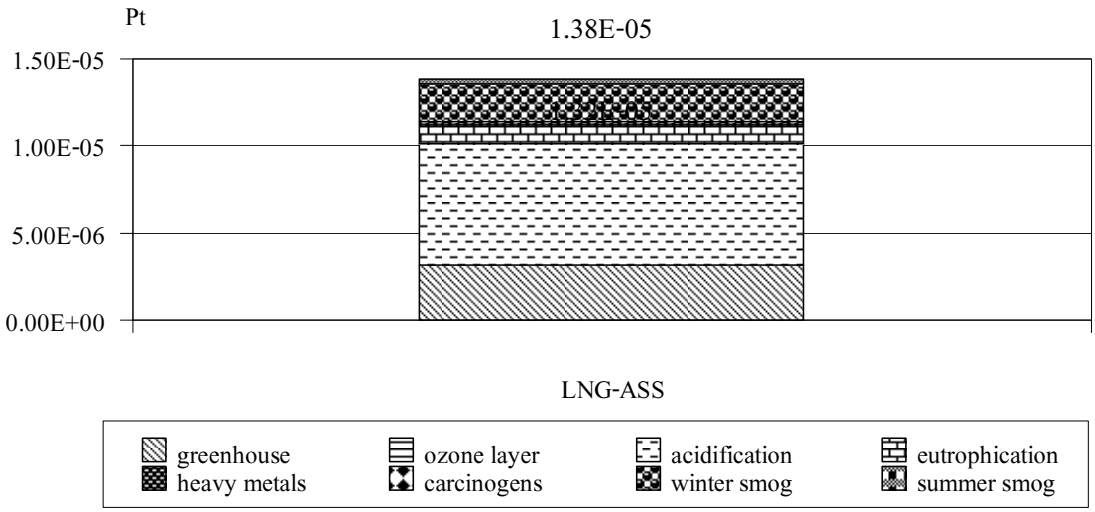
ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดผลกระทบจากโลหะหนัก มีสาเหตุหลักมาจากการโลหะ (Metals Unspecified) จากการผลิตน้ำมันดิบเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 54) รองลงมา คือ แคดเมียม จากการผลิตเหล็กกล้าเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 24.72)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้าน Winter Smog มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 84.03) รองลงมา คือ ฝุ่น (Suspended Particulate Matter, SPM) จากการผลิตลิกไนต์เพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 15.14)

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้าน Summer Smog มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon, unspecified) จากการผลิตน้ำมันดิบเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า (ร้อยละ 81.74) รองลงมา คือ มีเทน (ร้อยละ 13.22)

จากการกำหนดบทบาทในช่วงการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว พบว่า มลสารที่ปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในขั้นตอนกระบวนการผลิตไฟฟ้า เป็นสาเหตุสำคัญในการก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม

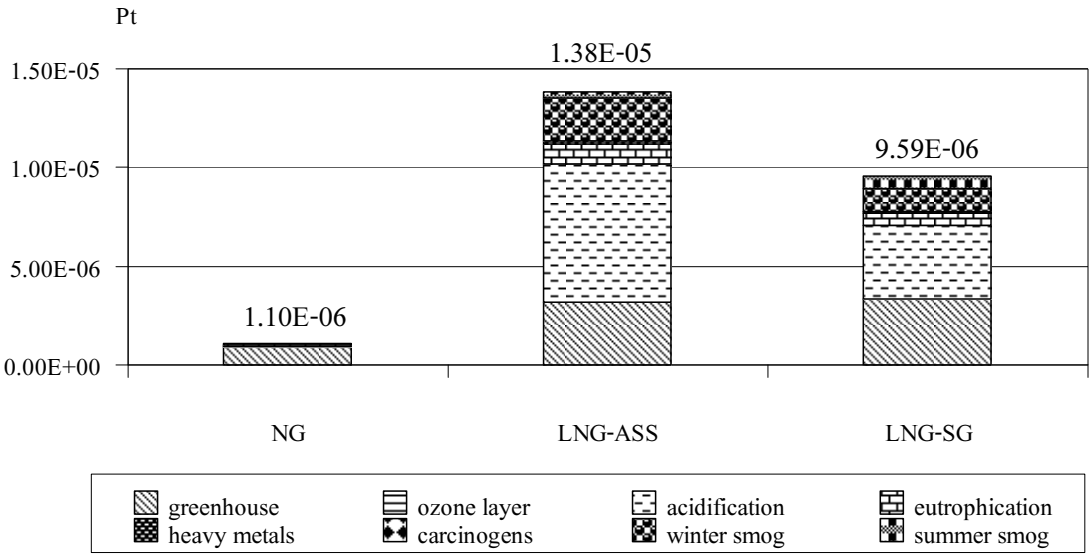
จากนั้นเป็นการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น และจะได้คะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมเชิงเดี่ยว ซึ่งคะแนนเชิงเดี่ยวนี้สามารถนำมาใช้ในการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ จากการวิเคราะห์พบว่า กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งหมดคิดเป็น 1.38E-05 Pt แสดงดังภาพที่ 29



ภาพที่ 29 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas

1.4 เปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติ ก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas และSales Gas ที่หน่วยการทำงาน 1 เมกะจูล

เมื่อทำการเปรียบเทียบกระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติ ก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas และ Sales Gas ด้วยคะแนนเชิงเดี่ยว พบว่า กระบวนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยมีสาเหตุสำคัญจากผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านเกิดปรากฏการณ์สภาวะความเป็นกรด จากขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 30



ภาพที่ 30 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติ ก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas และAssociated Gas

2. ผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการผลิตและการขนส่งไปยังสถานีจ่ายก๊าซที่หน่วยการทำงาน 1 เมกะจูลของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว

เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติจากหลุมผลิตก๊าซธรรมชาติ การแยกก๊าซธรรมชาติ การผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว การรับ-จ่ายบริเวณท่าเทียบเรือและสถานีรับ-จ่าย และการขนส่งจนถึงสถานีจ่ายก๊าซ แสดงปริมาณผลกระทบ ดังตารางที่ 29

ตารางที่ 29 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมในช่วงการผลิตและขนส่งก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวไปถึงสถานีจ่ายก๊าซ

กลุ่มผลกระทบ	หน่วย	CNG	LNG-ASS	LNG-SG	LNG-IM to LNG	LNG-IM to CNG
Greenhouse	kg CO_2-Eq	5.67E-03	1.77E-02	1.86E-02	1.03E-02	1.07E-02
ozone layer	kg CFC11	2.86E-16	2.46E-13	1.06E-12	2.49E-10	2.49E-10
Acidification	kg SO_2-Eq	7.87E-06	8.75E-05	4.84E-05	4.25E-05	4.47E-05
Eutrophication	kg PO_4-Eq	1.31E-06	9.66E-06	5.49E-06	4.87E-06	5.13E-06
heavy metals	kg Pb-Eq	8.18E-12	1.26E-09	8.17E-10	4.97E-08	4.97E-08
Carcinogens	kg B(a)P-Eq	5.63E-14	2.11E-11	1.24E-11	3.26E-10	3.27E-10
winter smog	kg SPM-Eq	8.43E-07	4.17E-05	2.21E-05	2.03E-05	2.13E-05
summer smog	kg C_2H_4-Eq	4.00E-07	2.49E-06	5.54E-06	2.93E-06	2.98E-06

หมายเหตุ CNG คือ ก๊าซธรรมชาติอัด

LNG-ASS คือ ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Associated Gas

LNG-SG คือ ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Sales Gas

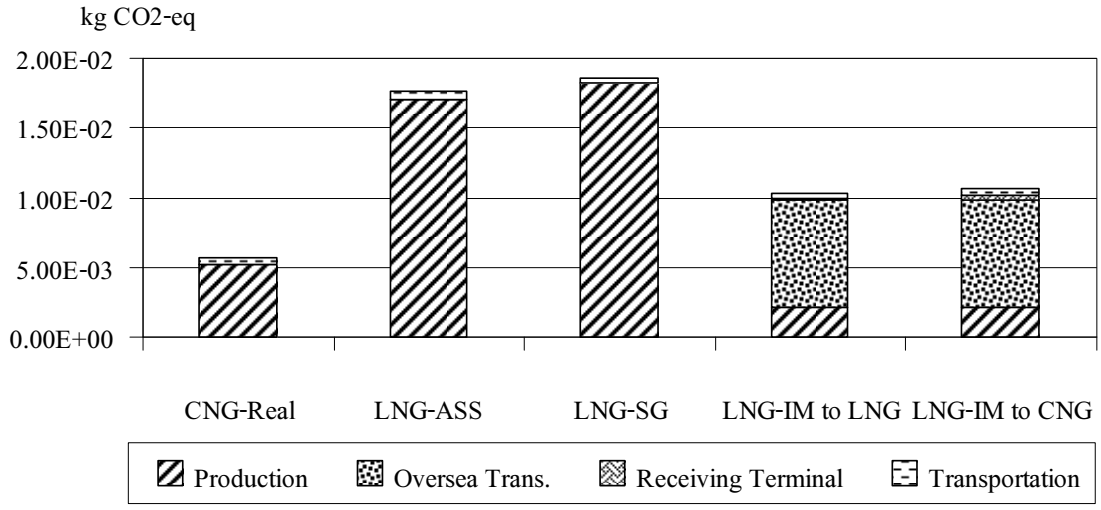
LNG-IM to LNG คือ ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศและขนส่งภายในประเทศในสถานะของเหลว

LNG-IM to CNG คือ ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศและขนส่งภายในประเทศในสถานะก๊าซ

โดยมีปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบของแต่ละรายการผลกระทบแสดงรายละเอียด ดังต่อไปนี้

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะโลกร้อน พบว่า LNG-SG ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด มีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้าและมีเทนจากการสูญเสียเนื่องจากขั้นตอนการเปลี่ยนสถานะจากก๊าซเป็นของเหลว

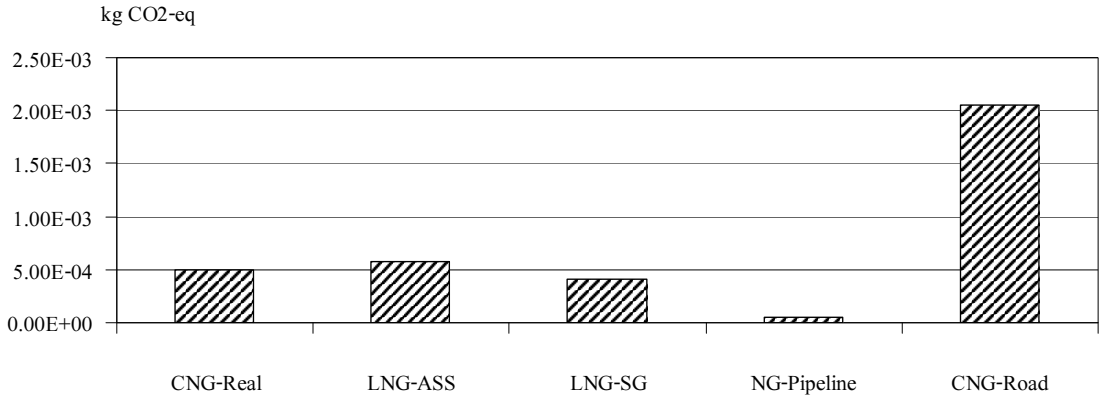
โดยหากดำเนินการขนส่งก๊าซธรรมชาติในสถานะที่แตกต่างกันด้วยระยะทางที่เท่ากัน นั่นคือ LNG-SG และ CNG พบว่า LNG-SG ก่อให้เกิดผลกระทบด้านการเกิดสภาวะโลกร้อนมากกว่า CNG เนื่องการปล่อยจากคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนจากขั้นตอนการผลิต รวมทั้งมลสารต่างๆที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้น้ำมันดีเซลในการขนส่ง แสดงดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะโลกร้อนของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว

จากการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าขั้นตอนการขนส่งก๊าซธรรมชาติเป็นขั้นตอนที่เป็นสาเหตุสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะโลกร้อน ดังนั้นเพื่อให้ทราบถึงความเหมาะสมของก๊าซธรรมชาติแต่ละชนิดอย่างชัดเจน จึงทำการเปรียบเทียบผลกระทบจากขั้นตอนการผลิตและการขนส่งก๊าซธรรมชาติจนถึงสถานีจ่ายก๊าซเป็น 4 กรณีศึกษา นั่นคือ (i) การขนส่งก๊าซธรรมชาติผ่านระบบท่อส่งก๊าซร่วมกับรถขนส่งก๊าซ (CNG-Real) (ii) การขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก associated gas (LNG-ASS) (iii) การขนส่งก๊าซในสถานะของเหลว (LNG-SG) (iiii) การขนส่งก๊าซผ่านระบบท่อส่งก๊าซในทุกสถานีจ่ายก๊าซ (NG-Pipeline) (iv) การขนส่งก๊าซธรรมชาติโดยรถขนส่ง

ก๊าซในทุกสถานีจ่ายก๊าซ (CNG-Road) พบว่า ในการขนส่งก๊าซธรรมชาติโดยรถขนส่งก๊าซในทุกสถานีจ่ายก๊าซก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะโลกร้อนมากที่สุดมีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการใช้น้ำมันดีเซลในปริมาณที่มาก เนื่องจากในการขนส่งในสถานะก๊าซนี้จะขนส่งต่อเที่ยวได้ในปริมาณที่น้อยกว่าการขนส่งในสถานะของเหลว และการขนส่งก๊าซธรรมชาติผ่านระบบท่อส่งจะก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะโลกร้อนน้อยที่สุดเนื่องจากมีเพียงการใช้ไฟฟ้าสำหรับการอัดก๊าซผ่านท่อส่งก๊าซเพื่อขนส่งเท่านั้น โดยผลการเปรียบเทียบแสดงดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะโลกร้อนของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวแต่ละวิธีการขนส่ง 5 กรณีศึกษา

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าการขนส่งก๊าซธรรมชาติผ่านระบบท่อส่งไปในทุกสถานีจ่ายก๊าซจะก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด (Marcio de Almeida D'Agosto and Suzana Kahn Ribeiro, 2008) แต่ค่อนข้างเป็นไปได้ยากในทางปฏิบัติเนื่องจากความไม่สะดวกในการวางท่อส่งก๊าซฯ ให้ผ่านในทุกสถานีจ่ายก๊าซ

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดปรากฏการณ์การลดลงของชั้นโอโซน พบว่า ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยมีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยจากการปล่อยโบรโมไตรฟลูออโรมีเทน (Bromotrifluoromethane; Halon 1301) จากการการผลิตน้ำมันดิบเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าสำหรับใช้ในการดำเนินงานบริเวณท่าเทียบเรือสำหรับการขนส่งทางเรือ

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดปรากฏการณ์ยูโทรฟิเคชัน พบว่า LNG-ASS ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยมีสาเหตุหลักมาจากการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิต

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะฝนกรด พบว่า LNG-ASS ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยมีสาเหตุหลักจากการปล่อยไนโตรเจนออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิต

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะของสารก่อมะเร็ง พบว่า ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยมาสาเหตุหลักมาจากการปล่อยโพลิไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic aromatic hydrocarbon; PAH) จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงถ่านหินในการผลิตไฟฟ้าสำหรับใช้ในการดำเนินงานบริเวณท่าเทียบเรือสำหรับการขนส่งทางเรือ

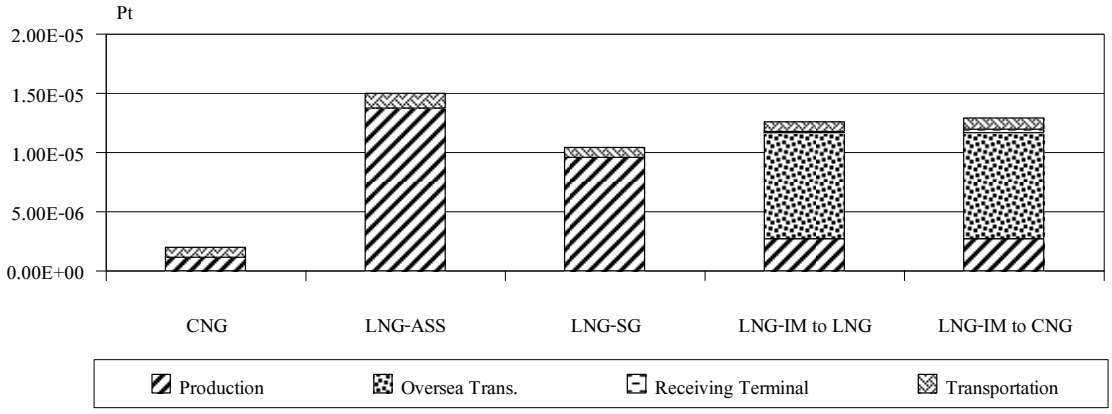
ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดผลกระทบจากโลหะหนัก พบว่า ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยมาสาเหตุหลักมาจากการปล่อยนิกเกิลไอออนจากขั้นตอนการกำจัดนิกเกิลจากการใช้เป็นองค์ประกอบของถังกักเก็บก๊าซธรรมชาติเหลวสำหรับการขนส่งโดยเรือ

ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิด Winter Smog พบว่า LNG-ASS ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยมีสาเหตุหลักจากการปล่อยซัลเฟอร์ไดออกไซด์จากการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในขั้นตอนการผลิต

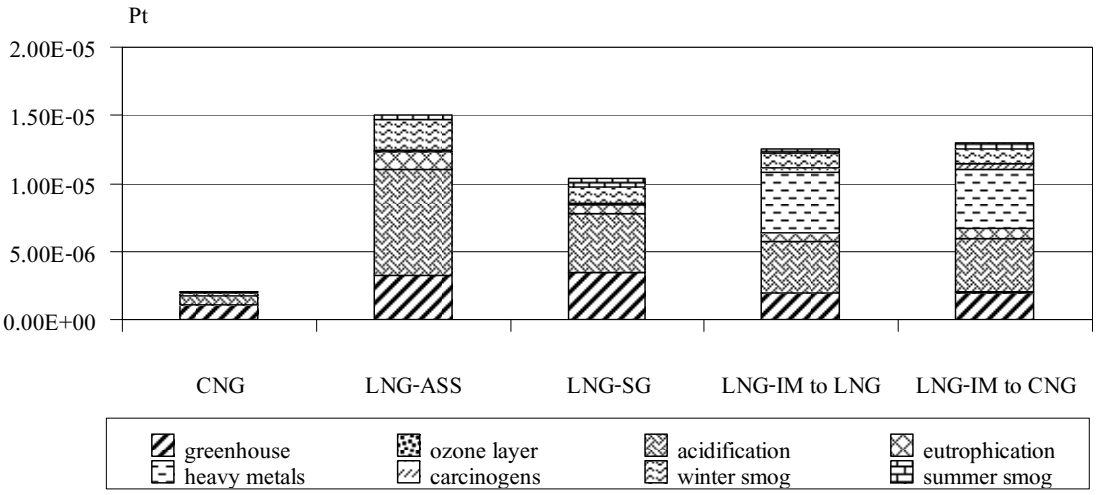
ผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิด Summer Smog พบว่า LNG-SG ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด โดยมีสาเหตุหลักจากการปล่อยมีเทนเนื่องจากการสูญเสียในขั้นตอนการเปลี่ยนสถานะจากก๊าซเป็นของเหลว

จากการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น และคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมเชิงเดี่ยว เมื่อนำคะแนนเชิงเดี่ยวนี้มาใช้ในการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อม พบว่า CNG, LNG-ASS, LNG-SG, LNG-IM to LNG และLNG-IM to CNG ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม เท่ากับ 2.02E-06 Pt, 1.50E-05 Pt, 1.04E-05 Pt, 1.26E-05 Pt และ 1.29E-05 Pt

ตามลำดับ ซึ่ง LNG-ASS ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด จากขั้นตอนการผลิต คิดเป็นร้อยละ 92 ซึ่งมีสาเหตุมาจากขั้นตอนการผลิตไฟฟ้า ในขณะที่ก๊าซธรรมชาติจะก่อให้เกิดผลกระทบในขั้นตอนการผลิตคิดเป็นร้อยละ 54 จากขั้นตอนการแยกก๊าซซึ่งมีคาร์บอนไดออกไซด์ปนเปื้อนในเนื้อก๊าซในปริมาณมาก สำหรับก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศจะก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากขั้นตอนการขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวทางเรือมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 71 เนื่องจากการใช้เชื้อเพลิงในการขนส่ง แสดงดังภาพที่ 33 โดย LNG-ASS ก่อให้เกิดผลกระทบด้านการเกิดสภาวะความเป็นกรดมากที่สุด รองลงมาคือ ผลกระทบด้านการเกิดสภาวะโลกร้อน แสดงดังภาพที่ 34



ภาพที่ 33 การจำแนกผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวจากขั้นตอนการผลิตถึงขั้นตอนการขนส่งก๊าซธรรมชาติไปยังสถานีจ่ายก๊าซ



ภาพที่ 34 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว ในช่วงการผลิตและขนส่งไปถึงสถานีจ่ายก๊าซ

3. ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว

ในส่วนนี้จะเป็นการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวแต่ละชนิด ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนกาผลิต การขนส่ง และขั้นตอนการใช้งานที่หน่วยการทำงาน คือ ค่าพลังงาน 1 เมกะจูลของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว แสดงปริมาณผลกระทบได้ ดังตารางที่ 30

ตารางที่ 30 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว

กลุ่มผลกระทบ	หน่วย	CNG	LNG-ASS	LNG-SG	LNG-IM to LNG	LNG-IM to CNG
Greenhouse	kg CO_2-Eq	6.04E-02	7.52E-02	7.61E-02	6.78E-02	6.54E-02
ozone layer	kg CFC11	2.86E-16	2.46E-13	1.06E-12	2.49E-10	2.49E-10
Acidification	kg SO_2-Eq	3.05E-04	4.48E-04	4.09E-04	4.03E-04	3.42E-04
Eutrophication	kg PO_4-Eq	5.65E-05	7.66E-05	7.24E-05	7.18E-05	6.04E-05
heavy metals	kg Pb-Eq	8.19E-12	1.26E-09	8.17E-10	4.97E-08	4.97E-08
Carcinogens	kg B(a)P-Eq	5.63E-14	2.11E-11	1.24E-11	3.27E-10	3.27E-10
winter smog	kg SPM-Eq	8.43E-07	4.17E-05	2.21E-05	2.03E-05	2.12E-05
summer smog	kg C_2H_4-Eq	1.29E-05	5.09E-06	8.14E-06	5.53E-06	1.55E-05

หมายเหตุ CNG คือ ก๊าซธรรมชาติอัด

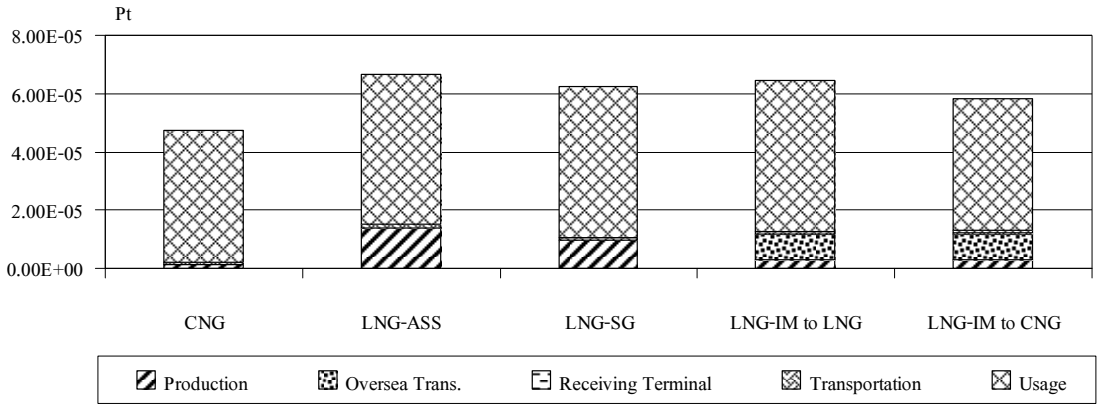
LNG-ASS คือ ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Associated Gas

LNG-SG คือ ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Sales Gas

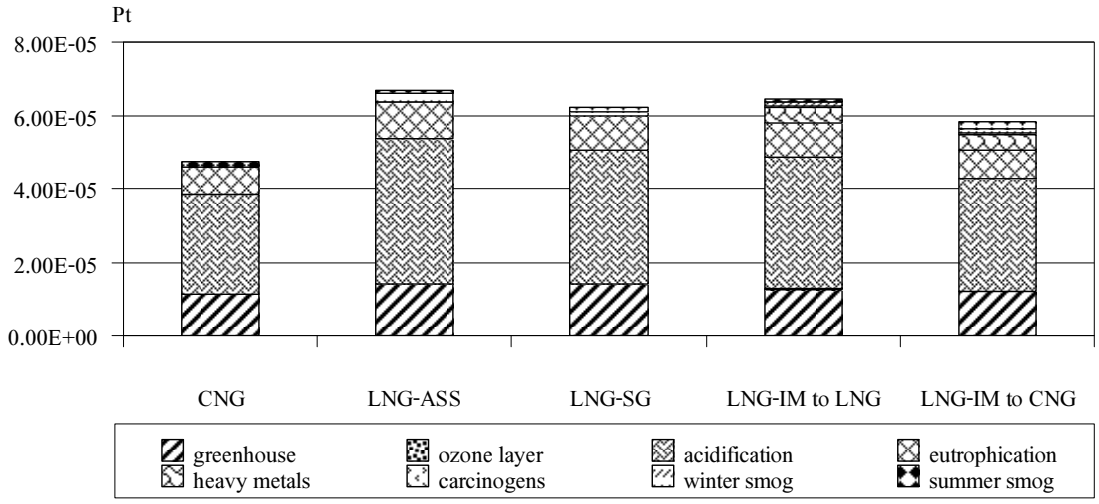
LNG-IM to LNG คือ ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศและขนส่งภายในประเทศในสถานะของเหลว

LNG-IM to CNG คือ ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศและขนส่งภายในประเทศในสถานะก๊าซ

จากการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น และคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมเชิงเดี่ยว เมื่อนำคะแนนเชิงเดี่ยวนี้มาใช้ในการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อม พบว่า CNG, LNG-ASS, LNG-SG, LNG-IM to LNG และLNG-IM to CNG ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม เท่ากับ 4.74E-05 Pt, 6.67E-05 Pt, 6.22E-05 Pt, 6.43E-05 Pt และ 5.83E-05 Pt ตามลำดับ ผลกระทบต่างๆเกิดขึ้นจากขั้นตอนการใช้งานมากที่สุดทั้งในก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว แสดงดังภาพที่ 35 โดย LNG-ASS ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดจากขั้นตอนการใช้งานคิดเป็นร้อยละ 77 และขั้นตอนการผลิตอีกร้อยละ 21 ส่วนก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศจะมีผลกระทบอีกประมาณร้อยละ 15 จากการใช้เชื้อเพลิงในขั้นตอนการขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวโดยเรือ และจากการวิเคราะห์ พบว่า LNG-ASS ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากกว่า CNG, LNG-SG, LNG-IM to LNG และ LNG-IM to CNG คิดเป็น 1.41, 1.07, 1.04 และ 1.14 เท่า ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 36



ภาพที่ 35 การจำแนกผลกระทบสิ่งแวดล้อมในแต่ละขั้นตอนตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว



ภาพที่ 36 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว

4. ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวที่หน่วยการทำงาน 1 คน-กิโลเมตร

เนื่องจากก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวถูกนำไปอย่างแพร่หลายในแง่ของการเผาไหม้เป็นเชื้อเพลิง ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมสำหรับการนำก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวไปใช้ประโยชน์ งานวิจัยนี้จึงได้มีทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยการกำหนดหน่วยการทำงาน คือ การใช้งานก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวในรถประจำทางเมื่อเทียบเป็นผู้โดยสาร 1 คนเดินทางเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร ตลอดวัฏจักรชีวิต จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม แสดงดังตารางที่ 31

ตารางที่ 31 ปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวที่หน่วยการทำงาน 1 คน-กิโลเมตร

กลุ่มผลกระทบ	หน่วย	CNG	LNG-ASS	LNG-SG	LNG-IM to LNG	LNG-IM to CNG
Greenhouse	kg CO_2-Eq	3.84E-02	4.26E-02	4.31E-02	3.84E-02	4.16E-02
ozone layer	kg CFC11	1.82E-16	1.39E-13	5.97E-13	1.41E-10	1.58E-10
Acidification	kg SO_2-Eq	1.94E-04	2.53E-04	2.31E-04	2.28E-04	2.18E-04
Eutrophication	kg PO_4-Eq	3.60E-05	4.33E-05	4.10E-05	4.06E-05	3.84E-05
heavy metals	kg Pb-Eq	5.21E-12	7.15E-10	4.62E-10	2.81E-08	3.16E-08
Carcinogens	kg B(a)P-Eq	3.58E-14	1.19E-11	7.01E-12	1.85E-10	2.08E-10
winter smog	kg SPM-Eq	5.36E-07	2.36E-05	1.25E-05	1.15E-05	1.35E-05
summer smog	kg C_2H_4-Eq	8.19E-06	2.88E-06	4.61E-06	3.13E-06	9.84E-06

หมายเหตุ CNG คือ ก๊าซธรรมชาติอัด

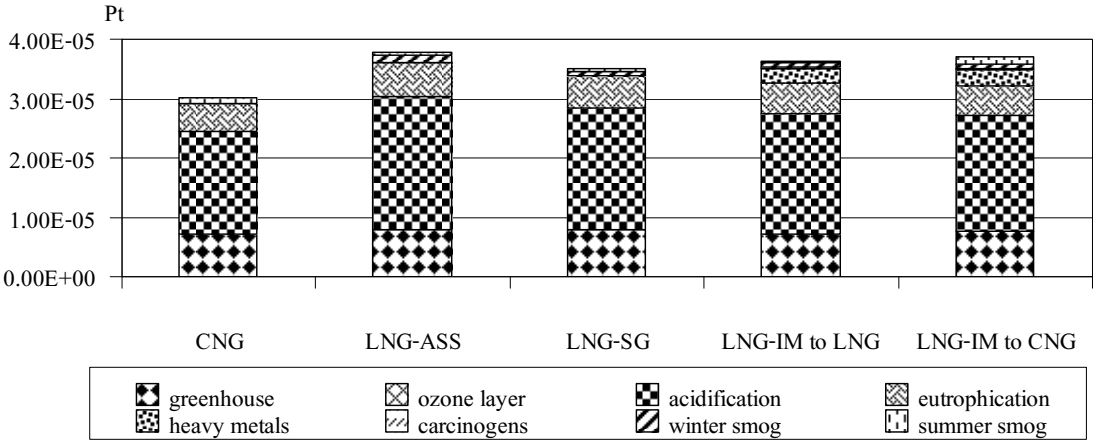
LNG-ASS คือ ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Associated Gas

LNG-SG คือ ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Sales Gas

LNG-IM to LNG คือ ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศและขนส่งภายในประเทศในสถานะของเหลว

LNG-IM to CNG คือ ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศและขนส่งภายในประเทศในสถานะก๊าซ

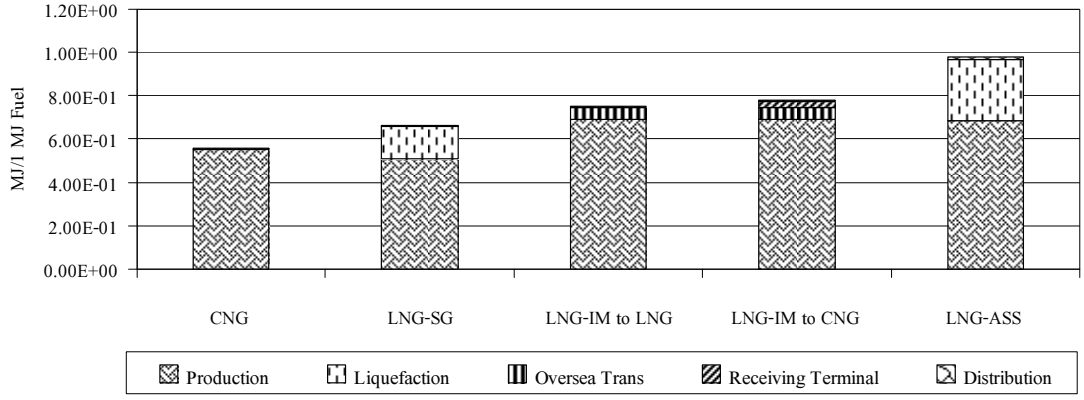
จากการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น และคะแนนผลกระทบสิ่งแวดล้อมเชิงเดี่ยว เมื่อนำคะแนนเชิงเดี่ยวนี้มาใช้ในการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อม พบว่า CNG, LNG-ASS, LNG-SG, LNG-IM to LNG และLNG-IM to CNG ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม เท่ากับ 3.01E-05 Pt, 3.78E-05 Pt, 3.52E-05 Pt, 3.64E-05 Pt และ3.71E-05 Pt ตามลำดับ โดย LNG-ASS ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณพลังงานของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว จากการวิเคราะห์ พบว่า เมื่อกำหนดหน่วยการทำงานเป็นการใช้งานก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวในรถประจำทาง 1 คน เดินทางเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตรตลอดวัฏจักรชีวิตจะมีค่าการใช้พลังงาน 0.636 เมกะจูล (สำหรับก๊าซธรรมชาติอัด) และ 0.566 เมกะจูล (สำหรับก๊าซธรรมชาติเหลว) โดย LNG-ASS ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากกว่า CNG, LNG-SG, LNG-IM to LNG และ LNG-IM to CNG คิดเป็น 1.25, 1.07, 1.04 และ 1.02 เท่า ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 37



ภาพที่ 37 การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวที่หน่วยการทำงาน 1 คน-กิโลเมตร

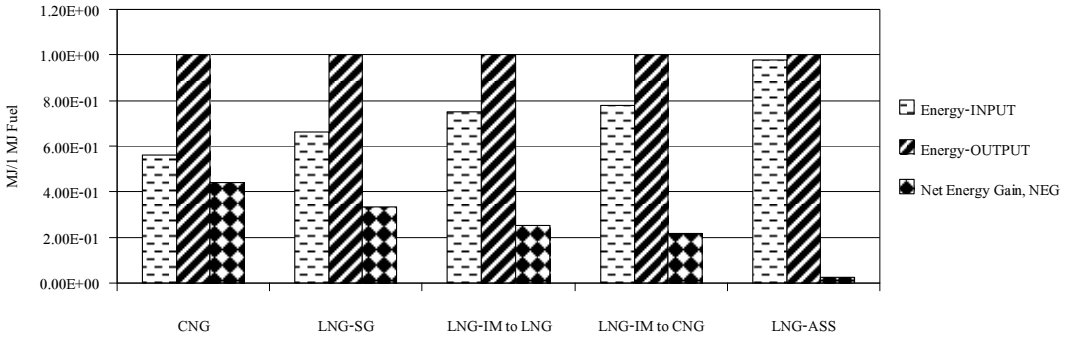
5. การประเมินประสิทธิภาพเชิงพลังงานของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว

จากการวิเคราะห์ปริมาณพลังงานขาเข้าของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว พบว่า ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Associated gas มีการใช้พลังงานมากที่สุดในขั้นตอนการผลิต คิดเป็นร้อยละ 70 รองลงมา คือขั้นตอนการเปลี่ยนสถานะจากก๊าซเป็นของเหลว คิดเป็นร้อยละ 29 ในส่วนของก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศ แสดงปริมาณขาเข้า ดังภาพที่ 38



ภาพที่ 38 ปริมาณพลังงานขาเข้าตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว

และเมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพเชิงพลังงานของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว โดยใช้ค่าอัตราส่วนพลังงานสุทธิ (Net Energy Ratio; NER) พบว่า ก๊าซธรรมชาติมีค่าอัตราส่วนพลังงานสุทธิมากที่สุด รองลงมา คือ ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Sales Gas ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศและใช้งานในลักษณะก๊าซธรรมชาติเหลว ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศและใช้งานในลักษณะก๊าซธรรมชาติอัด และก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Associated Gas (LNG-ASS) มีอัตราส่วนพลังงานน้อยที่สุด ตามลำดับ โดยมีค่า NER เท่ากับ 1.79, 1.50, 1.33, 1.28 และ 1.02 ตามลำดับ รวมทั้งค่าพลังงานเพิ่มสุทธิ สามารถแสดงดังภาพที่ 39



ภาพที่ 39 ค่าพลังงานเพิ่มสุทธิของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว

6. การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูล (Sensitivity Analysis)

การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของข้อมูล เป็นการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่างๆที่อาจมีผลต่อผลลัพธ์และบทสรุปที่ได้จากการศึกษา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความน่าเชื่อถือของข้อมูลและผลสรุปของการศึกษา โดยความอ่อนไหวของผลสรุปของการศึกษาอาจเกิดความไม่แน่นอนของข้อมูล การตรวจสอบความอ่อนไหวทำได้โดยการตรวจสอบปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลการศึกษาซึ่งได้จากการเปลี่ยนสมมติฐานและข้อมูลให้แตกต่างกันไป จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ที่ได้จากสมมติฐาน และข้อมูลที่ต่างกันดังกล่าวมาเปรียบเทียบกัน การตรวจสอบความอ่อนไหวของงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย

6.1 การเปรียบเทียบตัวประกอบการเทียบหน่วย (Normalization factor) และตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting factor)

ในงานวิจัยนี้ กำหนดให้เป็นการใช้ตัวประกอบการเทียบหน่วย และตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญตามวิธี Eco-Indicator 95 และเพื่อสอบทวนความเปลี่ยนแปลงของผลที่เกิดขึ้นหากมีการเปลี่ยนแปลงตัวประกอบการเทียบหน่วยและตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญ โดยทั้งนี้กำหนดทำการเปรียบเทียบตัวประกอบการเทียบหน่วยและตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญจากงานวิจัยของ Per H. Niesen and Jianxin Yang (2001) ในประเทศจีน ซึ่งเป็นประเทศที่อยู่ในแถบใกล้เคียงกับประเทศไทย รวมทั้งใช้ตัวประกอบการเทียบหน่วยและตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญตามวิธี EDIP/UMIP 97 ของ Denmark อีกด้วย ตัวประกอบการเทียบหน่วยและตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญ แสดงดังตารางที่ 32 และตารางที่ 34 การเปรียบเทียบขนาดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ใช้ตัวประกอบการเทียบหน่วยทั้ง 3 แบบและการ

เปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ใช้ตัวประกอบการเทียบหน่วยทั้ง 3 แบบ แสดงดังตารางที่ 33 และตารางที่ 35 ตามลำดับ

ตารางที่ 32 การเปรียบเทียบตัวประกอบการเทียบหน่วย (Normalization factor) ทั้ง 3 แบบ

รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม	Eco-Indicator 95 (Netherlands)	Yang and Nielsen (China)	EDIP/UMIP 97 (Denmark)
Global Warming	7.65E-05	8700	1.15E-07
Ozone Layer Depletion	1.08	0.2	4.95E-03
Acidification	8.88E-03	35	8.06E-06

ตารางที่ 33 การเปรียบเทียบขนาดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ใช้ตัวประกอบการเทียบหน่วยทั้ง 3 แบบ

ตัวประกอบการเทียบหน่วย	CNG	LNG-ASS	LNG-SG	LNG-IM to LNG	LNG-IM to CNG
Eco-Indicator 95	7.19E-06	9.56E-06	9.28E-06	8.61E-06	7.90E-06
Yang and Nielsen	5.26E+02	6.54E+02	6.62E+02	5.90E+02	5.69E+02
EDIP/UMIP 97	9.41E-09	1.23E-08	1.20E-08	1.11E-08	1.03E-08

ตารางที่ 34 การเปรียบเทียบตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญ (Weighting factor) ทั้ง 3 แบบ

รายการผลกระทบสิ่งแวดล้อม	Eco-Indicator 95 (Netherlands)	Nielsen and Yang (China)	EDIP/UMIP 97 (Denmark)
Global Warming	2.5	0.83	1.3
Ozone Layer Depletion	100	2.7	23
Acidification	10	0.73	1.3

ตารางที่ 35 การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่ใช้ตัวประกอบการเทียบหน่วยทั้ง 3 แบบ

ตัวประกอบการเทียบหน่วย	CNG	LNG-ASS	LNG-SG	LNG-IM to LNG	LNG-IM to CNG
Eco-Indicator 95	3.83E-05	5.37E-05	5.04E-05	4.84E-05	4.25E-05
Yang and Nielsen	4.36E+02	5.43E+02	5.50E+02	4.90E+02	4.73E+02
EDIP/UMIP 97	1.22E-08	1.59E-08	1.57E-08	1.44E-08	1.34E-08

จากผลการเปรียบเทียบเมื่อมีการเปลี่ยนตัวประกอบการเทียบหน่วยและตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญทั้ง 3 แบบ พบว่า การกำหนดให้ใช้ตัวประกอบการเทียบหน่วยและตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญที่แตกต่างกันมีผลทำให้ผลการวิจัยที่ได้มีความแตกต่างออกไป

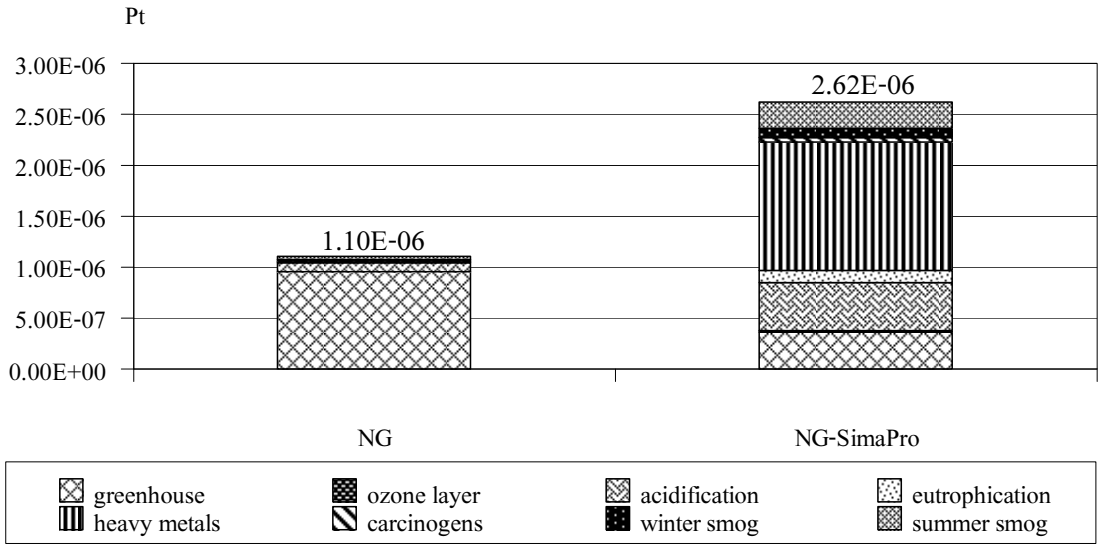
ดังนั้นในการกำหนดตัวประกอบการเทียบหน่วยและตัวประกอบการให้น้ำหนักความสำคัญมีผลทำให้ผลการวิจัยมีความแตกต่างกันออกไปซึ่งทำให้เห็นได้ทั้งข้อดีและเสีย ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดอย่างรอบคอบโดยคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ ในหลายปัจจัย เช่น สภาพแวดล้อม สถานการณ์ปัจจุบัน เป็นต้น

7. การเปรียบเทียบผลการวิจัยกับงานวิจัยกับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากงานวิจัยอื่นๆที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบนั้นมีความหลากหลาย เช่น เทคนิคต่างๆในกระบวนการผลิต หรืออาจเป็นการกำหนดขอบเขต รวมทั้งกลุ่มผลกระทบที่นำมาใช้ในการพิจารณา ทำให้ในการเปรียบเทียบจึงค่อนข้างยากในการที่จะเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการสอบทวนและยืนยันถึงความถูกต้องของผลการวิจัยที่ได้ การเปรียบเทียบผลการวิจัยกับงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องนี้จึงมีความสำคัญ และไม่สามารถขาดได้

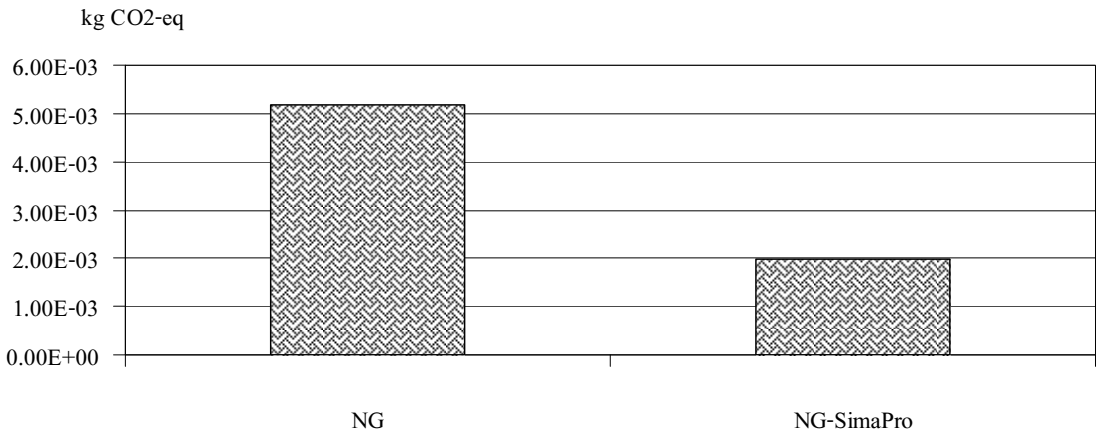
จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปคะแนนเชิงเดี่ยว (Single Score) ของการผลิตก๊าซธรรมชาติตั้งแต่แหล่งผลิตก๊าซธรรมชาติจนกระทั่งได้ก๊าซธรรมชาติที่เหมาะสม สำหรับใช้เป็นก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ ซึ่งใช้ข้อมูลในการพิจารณา 2 แหล่งเพื่อทำการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้น คือ ข้อมูลของงานวิจัยนี้ (NG) กับข้อมูลจากฐานข้อมูล SimaPro 7.0

(NG-SimaPro) พบว่า NG มีปริมาณผลกระทบที่น้อยกว่า NG-SimaPro คิดเป็น 1.10E-06 Pt และ 2.62E-06 Pt ตามลำดับ สามารถแสดงดังภาพที่ 40



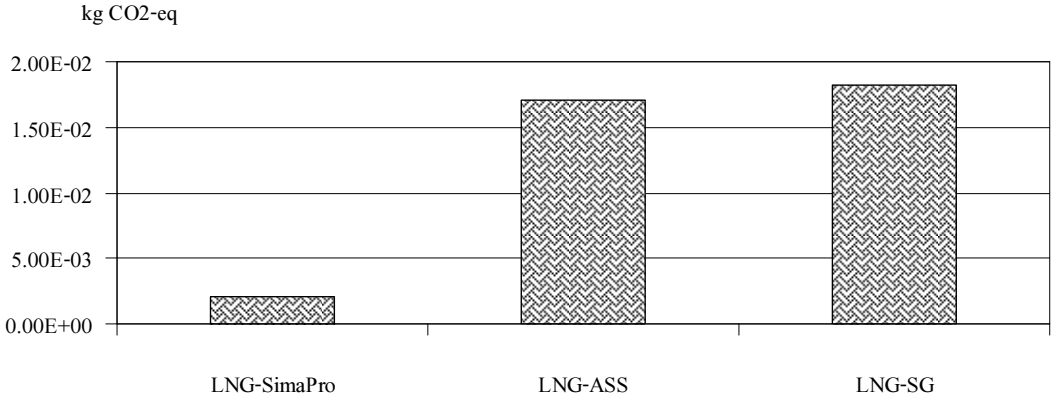
ภาพที่ 40 การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของการผลิตก๊าซธรรมชาติ (NG) และก๊าซธรรมชาติจากฐานข้อมูล SimaPro (NG-SimaPro)

แต่เนื่องจากข้อมูลของการผลิตก๊าซธรรมชาติเป็นการคำนวณปริมาณมลสารที่ก่อให้เกิดผลกระทบด้านการเกิดสภาวะโลกร้อนเท่านั้นไม่ได้ทำการคำนวณหรือตรวจวัดมลสารชนิดอื่น ดังนั้น หากจึงทำการเปรียบเทียบเฉพาะผลกระทบสิ่งแวดล้อมเฉพาะด้านการเกิดสภาวะโลกร้อนในรูปของคะแนนเชิงเดี่ยว พบว่า NG ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านสภาวะโลกร้อนที่มากกว่า NG-SimaPro เนื่องจากการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากขั้นตอนการแยกก๊าซ ณ โรงแยกก๊าซ แสดงดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 การเปรียบเทียบปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะโลกร้อนของการผลิตก๊าซธรรมชาติ (NG) และก๊าซธรรมชาติจากฐานข้อมูล SimaPro (NG-SimaPro)

จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG-SG) กับก๊าซธรรมชาติเหลวจากฐานข้อมูล SimaPro 7.0 พบว่า LNG- SimaPro, LNG-ASS และLNG-SG ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะโลกร้อนอยู่ที่ 2.09E-03, 1.71E-02 และ 1.82E-02E-02 kg-CO_2-Eq ตามลำดับ แสดงดังภาพที่ 42 เนื่องจากการใช้เทคโนโลยีในการผลิตที่แตกต่างกันของการเปลี่ยนจากสถานะก๊าซให้เป็นของเหลว การสูญเสียก๊าซธรรมชาติที่ใช้เป็นวัตถุดิบ และการผลิตไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้เป็นกระบวนการผลิต ซึ่งจะก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในปริมาณมากจากการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในกระบวนการผลิต



ภาพที่ 42 การเปรียบเทียบปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะโลกร้อนของการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) และก๊าซธรรมชาติเหลวจากฐานข้อมูล SimaPro (LNG-SimaPro)

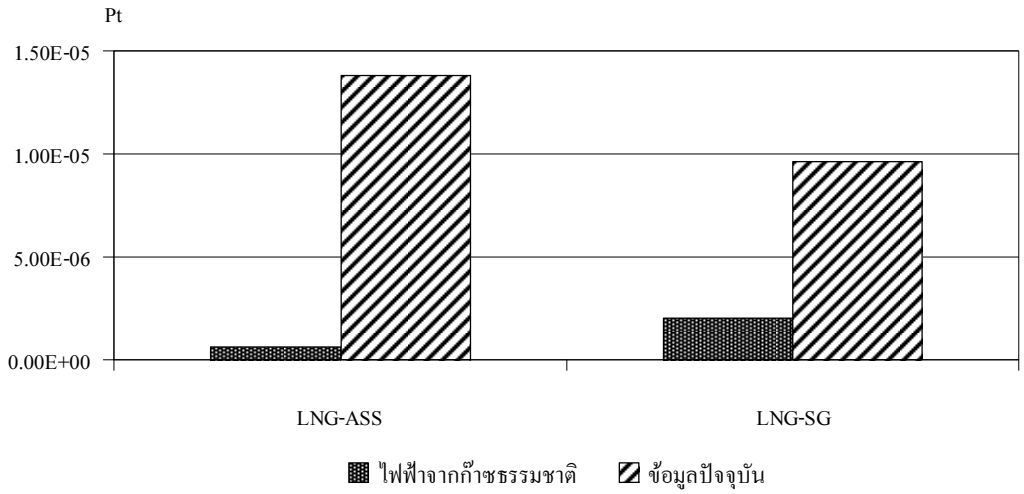
เมื่อทำการเปรียบเทียบกับรายงานการวิจัยของ May และคณะ (2003) ซึ่งได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อเปรียบเทียบเชื้อเพลิงชนิดต่างๆที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า กำหนดหน่วยหน้าที่ คือ 1 เมกะวัตต์-ชั่วโมงของกระแสไฟฟ้าแรงสูงที่ถูกขนส่งไปยังสถานีย่อย ขอบเขตของการศึกษาเริ่มตั้งแต่การผลิตก๊าซธรรมชาติ การขนส่ง การผลิตกระแสไฟฟ้า และการส่งกระแสไฟฟ้า โดยไม่นำการใช้งานของกระแสไฟฟ้ามาพิจารณาในงานวิจัยนี้ ผลการวิจัย พบว่า ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในภาพรวมสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ นั่นคือ ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติเหลวจะมีมากกกว่าก๊าซธรรมชาติอัด

เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Tom Beer และคณะ (2002) ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ในส่วนของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว กำหนดหน่วยการทำงาน คือ ปริมาณของมลสารที่มีผลกระทบด้านการเกิดสภาวะโลกร้อนต่อพลังงานเชื้อเพลิง 1 เมกะจูล (g-emission/MJ-Gross calorific value) ขอบเขตการวิจัยประกอบด้วยขั้นตอนการผลิต การขนส่งโดยท่อสำหรับก๊าซธรรมชาติอัด การขนส่งโดยรถสำหรับก๊าซธรรมชาติเหลว และการใช้งาน พบว่า ก๊าซธรรมชาติอัดก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะโลกร้อนในปริมาณที่น้อยกว่าก๊าซธรรมชาติเหลว ซึ่งจะเห็นได้ว่าสำหรับงานวิจัยนี้เมื่อทำการขนส่งก๊าซธรรมชาติอัดโดยผ่านระบบท่อส่งไปในทุกสถานีจ่ายก๊าซจะทำให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมด้านการเกิดสภาวะโลกร้อนที่น้อยกว่าก๊าซธรรมชาติเช่นเดียวกัน

8. ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข

8.1 ขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

จากการวิเคราะห์ผลการวิจัยทั้งหมดในขั้นตอนการผลิต พบว่าทั้งก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Sales gas และ Associated gas ผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นส่วนหนึ่งที่สำคัญมาจากการผลิตไฟฟ้า ทางเลือกหนึ่งที่สามารถช่วยในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ คือ การนำก๊าซธรรมชาติมาใช้การผลิตไฟฟ้า โดยในการผลิต LNG-ASS หากใช้ไฟฟ้าที่ผลิตจากก๊าซธรรมชาติจะสามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ถึง 20.13 เท่า และในการผลิต LNG-SG หากใช้ไฟฟ้าที่ผลิตจากก๊าซธรรมชาติจะสามารถลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ถึง 4.27 เท่า โดยสามารถแสดงคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ ดังภาพที่ 43



ภาพที่ 43 การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว

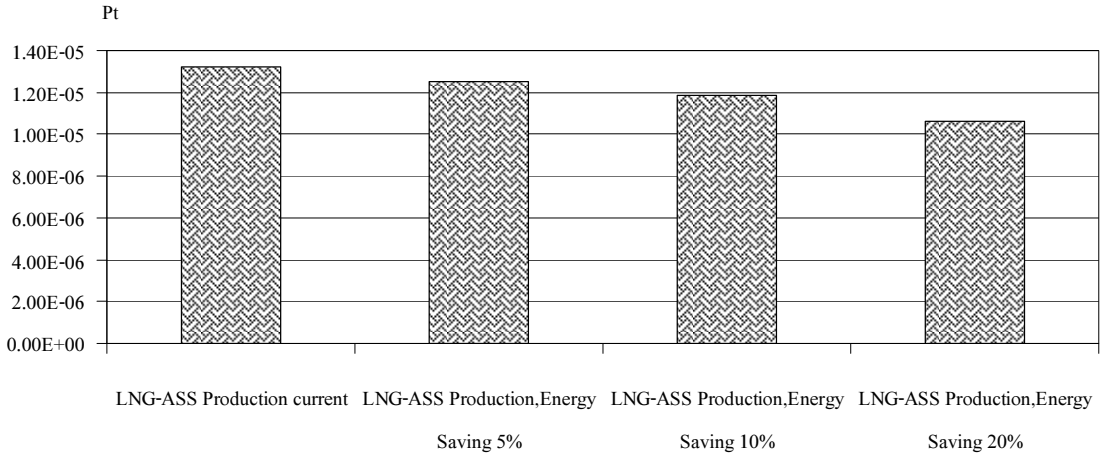
หมายเหตุ LNG-ASS-Re คือ การผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated gas โดยใช้ไฟฟ้าที่ผลิตจากก๊าซธรรมชาติ

LNG-SG-Re คือ การผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales gas โดยใช้ไฟฟ้าที่ผลิตจากก๊าซธรรมชาติ

8.2 การปรับปรุงการใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas

จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Sales Gas และ Associated Gas พบว่า ในขั้นตอนการผลิตของ LNG-ASS ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเนื่องจากการใช้ไฟฟ้า ดังนั้น ในการลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการที่จะช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้

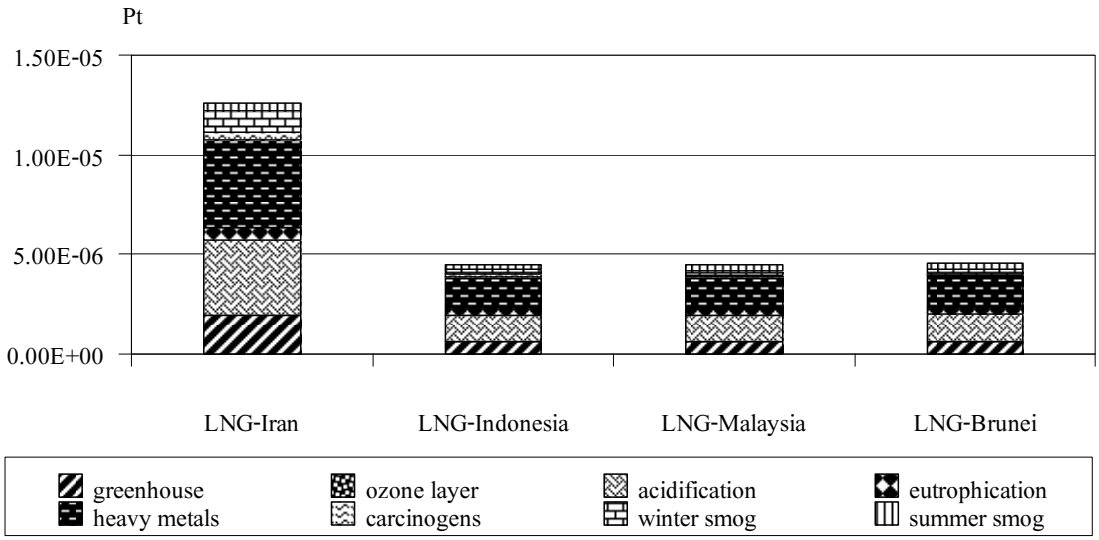
โดยที่หากสามารถลดการใช้ไฟฟ้าลงได้ร้อยละ 5 หรือจาก 0.058 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว 1 เมกะจูล ลงเหลือ 0.055 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว 1 เมกะจูลจะทำให้ผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการผลิตลดลงได้ รวมทั้งหากสามารถลดการใช้ไฟฟ้าได้มากยิ่งขึ้นก็จะสามารถช่วยลดปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมลงได้อีก แสดงผลดังภาพที่ 44



ภาพที่ 44 การปรับปรุงการใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas

8.3 ขั้นตอนการขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวโดยเรือ

จากการวิเคราะห์ผลการวิจัยในขั้นตอนการขนส่งปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อม คือปริมาณของผลิตภัณฑ์และระยะทางในการขนส่ง ดังนั้นหากทำการขนส่งในระยะทางที่ใกล้มากขึ้นจะสามารถช่วยในการลดปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมลงได้ จากการวิจัยหากดำเนินการเปลี่ยนการขนส่งตามแบบจำลองที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น นั่นคือ การเปลี่ยนการขนส่งจากประเทศอิหร่านมาเป็นประเทศอินโดนีเซีย มาเลเซีย และบรูไน ซึ่งจัดได้ว่าเป็นประเทศผู้ส่งออกก๊าซธรรมชาติเหลวแห่งใหญ่ของโลก โดยจะสามารถลดกระทบสิ่งแวดล้อมได้ถึง 2.78, 2.82 และ 2.76 เท่า ตามลำดับ สามารถแสดงคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ ดังภาพที่ 45



ภาพที่ 45 การเปรียบเทียบคะแนนเชิงเดี่ยวของผลกระทบสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนการขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวโดยเรือ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากงานวิจัยนี้เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวโดยใช้เทคนิคการประเมินวัฏจักรชีวิตด้วยโปรแกรม SimaPro เวอร์ชั่น 7.0 และวิธี Eco-Indicator 95 สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1. การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว

จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการผลิตก๊าซ ณ แหล่งผลิตก๊าซ การแยกก๊าซ ณ โรงแยกก๊าซ การเปลี่ยนสถานะจากก๊าซเป็นของเหลว การขนส่ง และการใช้งานในรถประจำทาง ที่หน่วยการทำงาน คือ ค่าพลังงาน 1 เมกะจูลของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว พบว่า ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Associated Gas (LNG-ASS) มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปของคะแนนเชิงเดี่ยวมากที่สุดเท่ากับ 6.67E-05 Pt รองลงมา คือ ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศ (LNG-IM to LNG) โดยมีค่า 6.43E-05 Pt ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Sales Gas มีค่า 6.22E-05 Pt ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศ (LNG-IM to CNG) โดยมีค่า 5.83E-05 Pt และก๊าซธรรมชาติอัด (CNG) ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปคะแนนเชิงเดี่ยวน้อยที่สุดเท่ากับ 4.74E-05 Pt โดยขั้นตอนที่ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุดทั้งในก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว ได้แก่ ขั้นตอนการใช้งานในทุกผลิตภัณฑ์ โดยรายการผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่สำคัญ คือ การเกิดสภาวะความเป็นกรดและการเกิดสภาวะโลกร้อนจากการใช้เชื้อเพลิง

เมื่อทำการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวที่ใช้กับรถประจำทางเมื่อเทียบเป็นผู้โดยสาร 1 คนเดินทางเป็นระยะทาง 1 กิโลเมตร (1 คน-กิโลเมตร) ตลอดวัฏจักรชีวิต พบว่า ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Associated Gas (LNG-ASS) มีผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปของคะแนนเชิงเดี่ยวมากที่สุดเท่ากับ 3.78E-05 Pt รองลงมา คือ ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศ (LNG-IM to CNG) โดยมีค่า 3.71E-05 Pt ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศ (LNG-IM to LNG) โดยมีค่า 3.64E-05 Pt ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิต

จาก Sales gas (LNG-SG) โดยมีค่า 3.52E-05 Pt และก๊าซธรรมชาติอัด (CNG) ก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมในรูปคะแนนเชิงเดี่ยวน้อยที่สุดเท่ากับ 3.01E-05 Pt

2. การประเมินประสิทธิภาพเชิงพลังงานของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว

จากการวิจัยการใช้พลังงานจากขั้นตอนต่างๆของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวประเภทต่างๆ พบว่า

- ขั้นตอนการผลิตในการผลิตก๊าซธรรมชาติอัด มีการใช้พลังงานมากที่สุด 5.53E-01 MJ/MJ_{Fuel} รองลงมา คือ ขั้นตอนการขนส่ง 6.20E-03 MJ/MJ_{Fuel} คิดเป็นปริมาณร้อยละ 99 และ 1 ตามลำดับ

- ขั้นตอนการผลิตในการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Associated Gas (LNG-ASS) มีการใช้พลังงานมากที่สุด 6.86E-01 MJ/MJ_{Fuel} รองลงมา คือ ขั้นตอนการเปลี่ยนสถานะจากก๊าซเป็นของเหลว (Liquefaction) 2.84E-01 MJ/MJ_{Fuel} และขั้นตอนการขนส่ง 7.13E-03 MJ/MJ_{Fuel} คิดเป็นปริมาณร้อยละ 70, 29 และ 1 ตามลำดับ

- ขั้นตอนการผลิตในการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวจาก Sales Gas (LNG-SG) มีการใช้พลังงานมากที่สุด 5.11E-01 MJ/MJ_{Fuel} รองลง คือ ขั้นตอนการเปลี่ยนสถานะจากก๊าซเป็นของเหลว (Liquefaction) 1.49E-01 MJ/MJ_{Fuel} และขั้นตอนการขนส่ง 5.13E-03 MJ/MJ_{Fuel} คิดเป็นปริมาณร้อยละ 77, 22 และ 1 ตามลำดับ

- ขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศ (LNG-IM to LNG) มีการใช้พลังงานมากที่สุด 6.92E-01 MJ/MJ_{Fuel} รองลงมา ขั้นตอนการขนส่งโดยเรือ คือ 5.20E-02 MJ/MJ_{Fuel} ขั้นตอนการขนส่งโดยรถ 5.13E-03 MJ/MJ_{Fuel} และขั้นตอนการรับ-จ่ายก๊าซธรรมชาติเหลวบริเวณท่าเทียบเรือและสถานีรับ-จ่าย 1.03E-03 MJ/MJ_{Fuel} คิดเป็นปริมาณร้อยละ 92.2, 6.9, 0.8 และ 0.1 ตามลำดับ

- ขั้นตอนการผลิตของก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศ (LNG-IM to CNG) มีการใช้พลังงานมากที่สุด 6.92E-01 MJ/MJ_{Fuel} รองลงมา ขั้นตอนการขนส่งโดยเรือ คือ 5.20E-02 MJ/MJ_{Fuel} ขั้นตอนการรับ-จ่ายก๊าซธรรมชาติเหลวบริเวณท่าเทียบเรือและสถานีรับ-จ่าย

3.01E-02 MJ/MJ_{Fuel} และขั้นตอนการขนส่ง 6.20E-03 MJ/MJ_{Fuel} คิดเป็นปริมาณร้อยละ 88.7, 6.7, 3.9 และ 0.7 ตามลำดับ

จากการประเมินประสิทธิภาพเชิงพลังงานโดยใช้ค่าอัตราส่วนพลังงานสุทธิของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลวในหน่วยการทำงาน คือ พลังงานจากก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว 1 เมกะจูล พบว่า ก๊าซธรรมชาติอัดมีประสิทธิภาพเชิงพลังงานสุทธิมากที่สุด เท่ากับ 1.79 รองลงมา คือ ก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Sales Gas ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศที่มีการขนส่งและการใช้งานในลักษณะของก๊าซธรรมชาติเหลว ก๊าซธรรมชาติเหลวที่นำเข้าจากต่างประเทศที่มีการขนส่งและการใช้งานในลักษณะของก๊าซธรรมชาติอัด และก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก Associated Gas ตามลำดับ โดยให้ค่าอัตราส่วนพลังงานสุทธิ เท่ากับ 1.50, 1.33, 1.28 และ 1.02 ตามลำดับ

3. ข้อเสนอแนะเชิงสิ่งแวดล้อมและพลังงานของก๊าซธรรมชาติอัดและก๊าซธรรมชาติเหลว

- ในขั้นตอนการผลิตก๊าซธรรมชาติเหลว หากทำการเปลี่ยนการใช้ไฟฟ้ามาเป็นการใช้ไฟฟ้าที่ผลิตจากก๊าซธรรมชาติจะสามารถลดปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมได้ 20.13 เท่า สำหรับก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก associated gas และ 4.27 เท่า สำหรับก๊าซธรรมชาติเหลวที่ผลิตจาก sales gas

- ในขั้นตอนการขนส่งก๊าซธรรมชาติเหลวโดยเรือ หากทำการเปลี่ยนจากการนำเข้าก๊าซธรรมชาติเหลวจากประเทศอิหร่านมาเป็นประเทศในแถบเอเชีย ได้แก่ อินโดนีเซีย มาเลเซีย หรือบรูไน จะสามารถลดปริมาณผลกระทบสิ่งแวดล้อมลงได้ 2.78, 2.82 และ 2.76 เท่า ตามลำดับ

- ในขั้นตอนการขนส่งก๊าซธรรมชาติในประเทศ หากทำการขนส่งก๊าซธรรมชาติโดยระบบท่อส่งจะก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด รองลงมา คือ การขนส่งก๊าซธรรมชาติในสถานะของเหลวโดยรถ และการขนส่งก๊าซธรรมชาติในสถานะก๊าซโดยรถจะก่อให้เกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อมมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ

แนวทางการศึกษาในอนาคต

1. ควรนำผลการศึกษาและข้อเสนอแนะในการปรับปรุงไปใช้เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

2. ควรประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะเชิงสิ่งแวดล้อมของเชื้อเพลิงทางเลือกชนิดอื่นๆ เช่น น้ำมันดีเซล น้ำมันเบนซิน และก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นต้น เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาในการส่งเสริมให้เป็นพลังงานทางเลือกที่เหมาะสมของประเทศต่อไป

3. ควรเพิ่มการศึกษาถึงวิธีการในการขนส่งเชื้อเพลิงด้วยวิธีอื่นๆ เช่น การขนส่งทางรถไฟ หรือจัดหาพลังงานทางเลือกอื่นที่เหมาะสมเพื่อความยั่งยืนด้านพลังงานของประเทศ

4. ควรเพิ่มการประเมินด้านเศรษศาสตร์เพื่อความสมบูรณ์ของผลการวิจัยทุกๆด้านในการพิจารณา

5. ควรทดสอบการใช้เชื้อเพลิงกับยานพาหนะในการใช้งานของประเทศไทย สำหรับการคำนวณค่าต่างๆ จากยานพาหนะประเภทต่างๆ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมเชื้อเพลิงธรรมชาติ. 2551. **คำศัพท์น่ารู้**. แหล่งที่มา: http://www.dmf.go.th/service/vocab.asp, 22 ธันวาคม 2551.

กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม. ม.ป.ป. **สอบถามระยะทางระหว่างจังหวัดหรืออำเภอ.**แหล่งที่มา : http://map-server.doh.go.th/, 8 พฤศจิกายน 2550.

กรมธุรกิจพลังงาน กระทรวงพลังงาน. 2551. **สถานีบริการก๊าซธรรมชาติ**. แหล่งที่มา: http://www.doeb.go.th/information/stat/station_ngv.pdf, 23 ตุลาคม 2551.

จันจิรา หะยียามา. 2547. **การประเมินวัฏจักรชีวิตของสายไฟชนิดพีวีซีและสายไฟชนิดทดแทนวัสดุทดแทนพีวีซี**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชลิศรา สุทัศนีย์. 2535. **ระบบขนถ่ายก๊าซธรรมชาติเพื่อทดแทนเชื้อเพลิง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นิลสุวรรณ ลีลารัศมี. **ธุรกิจการตลาด : สอท.เตือนรับมือเกณฑ์ค้าใหม่อียูคุมสิ่งแวดล้อม**. กรุงเทพธุรกิจ, 1 มกราคม 2546.

บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). 2551. **ก๊าซธรรมชาติคืออะไร**. แหล่งที่มา : https://hq-web-s19.pttplc.com/cscind_internet/ Information/Information.aspx, 1 มิถุนายน 2551ก

_____. 2550. **การใช้ก๊าซธรรมชาติในประเทศไทย.** แหล่งที่มา : http://hq-web-s01.pttplc.com/backup/th/ptt_core.asp?page=nc_en_ee_na_07, 27 กรกฎาคม 2550ข

_____. 2550. **ผลิตภัณฑ์จากโรงแยกก๊าซ**. แหล่งที่มา : http://hq-webs01.pttplc.com/backup/th/ptt_core.asp?page=nc_en_ee_na_08, 27 กรกฎาคม 2550ค

บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน). 2551. **โรงแยกก๊าซธรรมชาติ**. แหล่งที่มา : https://hq-web-s19.pttplc.com/cscind_internet /Information/Information.aspx?INFO=7, 27 กรกฎาคม 2550ง

_____. 2550. **การวางท่อส่งก๊าซธรรมชาติ**. แหล่งที่มา : http://hq-web-s01.pttplc.com/backup/th/ptt_core.asp?page=nc_en_ee_la_01, 27 กรกฎาคม 2550จ

_____. 2550. **ระบบท่อส่งก๊าซธรรมชาติ**. แหล่งที่มา : http://hq-web-s01.pttplc.com/backup/th/ptt_core.asp?page=ap_ov_ng, 27 กรกฎาคม 2550ฉ

_____. 2551. **WWW.PTTPLC.COM.** แหล่งที่มา : http://www.navy.mi.th/ians/nwc/nwc51 /data/NGV.pdf, 25 พฤศจิกายน 2551ช

_____. 2551. **ก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG) และการนำเข้าในประเทศ.** แหล่งที่มา: http://www. pttplc.com /Files /Document/Pdf/Gas/LNG.pdf, 1 มิถุนายน 2551ซ

_____. 2551. **Small Scale LNG Project**. แหล่งที่มา : http://pttweb2.pttplc .com/webngv /Files/Download/243_0.pdf, 25 พฤศจิกายน 2551ฌ

_____. 2551. **โรงแยกก๊าซธรรมชาติ**. แหล่งที่มา http://www.pttplc.com/Files/Document /Pdf/Gas/Gas5.pdf, 25 พฤศจิกายน 2551ญ

บริษัท ปตท. สำรวจและผลิตปิโตรเลียม. จำกัด (มหาชน). 2549. **รายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการก่อสร้างโรงงานผลิตก๊าซเชื้อเพลิงเหลว (LNG).** กรุงเทพฯ.

บริษัท พีทีที แอลเอ็นจี. จำกัด. 2550. **รายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมโครงการก่อสร้างท่าเทียบเรือและสถานีรับ-จ่ายก๊าซธรรมชาติเหลว (LNG)**. กรุงเทพฯ.

พงษ์วิภา หล่อสมบูรณ์. 2544. **การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์: เอกสารประกอบสัมมนา เรื่อง สมุดปกเขียวว่าด้วยนโยบายสินค้าครบวงจรของสหภาพยุโรป.** กรุงเทพมหานคร. โดย กรมการค้าต่างประเทศ.

เรือหลวงศรีราชา กองเรือตรวจอ่าว. 2550. **แผนที่เดินเรือโดยใช้ภาพถ่ายจากดาวเทียม**

วรยุทธ สายบัวตรง. 2551. **การศึกษาเปรียบเทียบพลังงานสุทธิและผลกระทบสิ่งแวดล้อมตอดวัฏจักรชีวิตของวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอล.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2550. **โครงการจัดทำฐานข้อมูลสิ่งแวดล้อม (LCI) ของกลุ่มอุตสาหกรรมปิโตรเลียมและปิโตรเคมีของประเทศไทย**. กรุงเทพฯ.

สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ. 2545. **การตรวจติดตามภายในระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม :** เอกสารประกอบการอบรม. กรุงเทพฯ.

สถาบันไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. 2549. **การประเมินวัฏจักรชีวิตและการออกแบบนิเวศเศรษฐกิจ.** ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. กรุงเทพฯ.

สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2547. **คู่มือการจัดทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (ภายใต้โครงการจัดทำฐานข้อมูลการประเมินวัฏจักรชีวิตการผลิตปูนซิเมนต์และเหล็กกล้าเพื่อการจัดการสิ่งแวดล้อม.** กรงเทพฯ.

สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. 2542. **การสร้างโรงงานก๊าซธรรมชาติเหลวลอยน้ำ Floating an LNG Innovation**. แหล่งที่มา : http://www.eppo.go.th/vrs/VRS44-03-LNG.html, 25 พฤศจิกายน 2551.

อรชุมา ดีศรีแก้ว. 2551. **การศึกษาเปรียบเทียบพลังงานสุทธิและผลกระทบสิ่งแวดล้อมตอดวัฏจักรชีวิตของวัตถุดิบหลักในการผลิตไบโอดีเซล.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

โอมฤทธิ์ หาระบุตร. 2547. **การเปรียบเทียบผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของคอมเพรสเซอร์แบบหมุนโดยใช้โปรแกรมไซม่าโปร 5.1 และโปรแกรมกาบิ 4.0.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Anonymous. 2007. **Gas and Density**. Available Source : http://www.engineeringtoolbox.com/gas-density-d_158.html, 8 November 2007A.

_____. 2007. **Liquefied Natural Gas – LNG**. Available Source : http : /www.Engineeringtoolbox.com/liquefied-natural-gas-lng-d_1092.html, 8 November 2007B.

Beer, T., T. Grant, G. Morgan, J. Lapszewicz, P. Anyon, J. Edwards, P. Nelson, H. Watson and D. Williams. 2000. **Life-cycle Emissions Analysis of Alternative Fuels for Heavy Vehicles Stage 1**. Australian Greenhouse Office, Australia.

Beer, T., T. Grant, D. Williamsc and H. Watson. 2002. Fuel-cycle greenhouse gas emissions from alternative fuels in Australian heavy vehicles. **Atmospheric Environment** 36: 753-763.

Beer, T., T. Grant, H. Watson and D. Olaru. 2004. **Life-Cycle Emissions Analysis of Fuels for Light Vehicles**. Australian Greenhouse Office, Australia.

Brendeng, E. and J. Hetland. 2004. **On The Relevance of Integrating LNG With the Energy Supply Systems of Transit Countries**, Netherlands.

Calais, P. and R. Sims. n.d. **A Comparison of Life-Cycle Emission of Liquid Biofuels and Liquid and Gaseous Fossil Fuels in the Transport Sector**. Available Source : http://www.biodiesel.org.au/Documents/Calais_Sims_Life%20cycle%20comparison.pdf, 8 November 2007.

Chandler, K. and B.P. Norton. 2000. **Alternative Fuel Transit Bus Evaluation.** National Renewable Energy Laboratory, U.S.

Chen Q.-S., J. Wegrzyn and V. Prasad. 2004. Analysis of temperature and pressure changes in liquefied natural gas (LNG) cryogenic tanks**. Cryogenics** 44: 701-709

Davies, C., J. Findsen and L. Pedraza. 2005. **Assessment of the Greenhouse Gas Emission Benefits of Heavy Duty Natural Gas Vehicles in the United States**, Washington DC.

Denholm P. and G.L. Kulcinski. 2004. Life cycle energy requirements and greenhouse gas emissions from large scale energy storage systems. **Energy Conversion and Management** 45: 2153-2172.

Deng, S., H. Jin, R. Cai and R. Lin. 2004. Novel cogeneration power system with liquefied natural gas (LNG) cryogenic exergy utilization. **ENERGY** 29: 497-512.

Dinca, C., P. Rousseaux and A. Badea. 2007. A Life cycle impact of the natural gas used in the energy sector in Romania. **Journal of Cleaner Production** 15: 1451-1462.

Emmenegger, M.F. 2005a. **SimaPro 7.0**. (Computer Program). Swiss Centre for LCI, Debendorf.

_____. 2005b. **SimaPro 7.0**. (Computer Program). Swiss Centre for LCI, Debendorf.

Eriksson, E., M. Blingeb and Gijran Liivgren. 1996. Life cycle assessment of the road transport sector. **The Science of the Total Environment**. 189/190: 69-76.

Feifei, B., and Z. Zaoxiao. 2008. Integration of Low-level Waste Heat Recovery and Liquefied Nature Gas Cold Energy Utilization**. Chinese Journal of Chemical Engineering** 16: 95-99.

Gerasimov, V.E., V.A. Peredel'skii and R.V. Darbinyan. 2005. Use of onboard liquefied natural gas fuel system for open-pit dump truaks. **Chemical and Petroleum Engineering** 41: 429-433.

Gerasimov, V.E., I.F. Kuz'menko,V.A. Peredel'skii and R.V. Darbinyan. 2004. Introduction of Technology and Equipment Production, Storage, Transportation and Use of LNG. **Chemical and Petroleum Engineering** 40: 31-35.

Hekkert, M.P., F.H.J.F. Hendriks, A.P.C. Faaij and M.L. Neelis. 2005. Natural gas as an alternative to crude oil in automotive fuel chains well-to-wheel analysis and transition strategy development. **Energy Policy** 33: 579-594.

Hondo, H. 2005. Life cycle GHG emission analysis of power generation systems: Japanese case. **Energy** 30: 2042-2056.

Jaramillo, P., W.M. Griffin and H.S. Matthews. 2007. Comparative Life Cycle Air Emission of Coal, Domestic Natural Gas, LNG and SNG for Electricity Generation. **Environ. Sci. Technol** 41: 6290-6296.

Jo, Y.K., J. Kim, S.G. Lee and Y.T. Kang. 2007. Development of type 2 solution transportation absorption system for utilizing LNG cold energy. **International Journal of Refrigeration** 30: 978-985.

Kimura Y., S. Kato, N. Maruyama, Y. Sadamishi, A. Widiyanto and Y. Joukaku. **Ecological Improvement of the Vending Machine Using LCA Method: Second International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Manufacturing**, Tokyo, 11-15 December 2001.

Kuz'menko, I.F., A.L. Dovbish, V.A. Peredel'skii, A.I. Lyapin and S.G. Serdyukov. 2002. Increasing the efficiency of low-capacity liquefied natural gas plants. **Chemical and Petroleum Engineering**. 38: 284-287.

Lee, S., S. Maken, J. Park, H. Song, J. Park, J. Shim, J. Kim and H. Eum. 2008. A study on the carbon dioxide recovery from 2 ton-CO_2/day pilot plant at LNG based power plant**. Fuel** 87: 1734-1739.

MacLeana, H.L. and L.B. Laveb. 2003. Evaluating automobile fuel/propulsion system technologies. **Progress in energy and combustion science** 29: 1-69.

Marcio de Almeida D'Agosto and Suzana Kahn Ribeiro. 2008. Assessing total and renewable energy in Brazilian automotive fuels. A life cycle inventory (LCI) approach**. Renewable and Sustainable Energy Reviews** (imprint).

May, J.R. and D.J. Brennan. 2003. Life Cycle Assessment of Australian Fossil Energy Options. **Trans IChemE** 81: 317-330.

Melendez, M., J Taylor, J. Zuboy, W.S. Wayne and D. Smith. 2005. **Emission Testing of Washington Metropolitan Area Transit Authority (WMATA) Natural Gas and Diesel Transit Buses.** National Renewable Energy Laboratory, U.S.

Nielsen P.H. and J. Yang. 2001. Chinese life cycle impact assessment factors. **Journal of Environmental Sciences** 13: 205–209.

Norgate, T.E., S. Jahanshahi and W.J. Rankin. 2007. Assessing the environmental impact of metal production processes. **Journal of Cleaner Production** 15: 838-848.

Okamura, T., M. Furukawa and H. Ishitani. 2007. Future forecast for life-cycle greenhouse gas emission of LNG and city gas 13A. **APPLIED ENERGY**. 84: 1136-1149.

Peredel'skii, V.A., Y.V. Lastovskii, R.V. Darbinyan, A.I. Savitskii and A.A. Savitskii. 2005. Analysis of the desirable of replacing petroleum-based vehicle fuel with liquefied natural gas. **Chemical and Petroleum Engineering** 41: 590-595.

Planas-Cuchi, E., N. Gasulla, A. Ventosa and J. Casal. 2004. Explosion of a road tanker containing liquified natural gas. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries** 17: 315-321.

Pre' Consultants. 2005. **SimaPro 7.0-Manual book.** Amersfoort, Netherlands.

PTT Public Company Limited . 2006. **Natural Gas Pipeline.** Available Source: https://hq-web-s19.pttplc.com/cscind_ internet/Information/Gas_pipeline.aspx, 1 June 2008a.

_____. 2006. **Natural Gas Utilization.** Available Source: https://hq-web-s19.pttplc.com /cscind_internet/Information/Gas_Combustion.aspx**,** 1 June 2008b.

_____. 2002. **Gas Quality.** Available Source: http://pttinternet.pttplc .com/csc_gas/csc_ws/ gasquality/gasquality.asp, 4 June 2008c.

Rabl, A. 2002. Environmental benefits of natural gas for buses. **TRANSPORTATION RESEACH PARD D.** 391-405.

Remeljeja, C. W. and A.F.A. Hoadleyb. 2006. An exergy analysis of small-scale liquefied natural gas (LNG) liquefaction processes. **Energy** 31: 2005-2019.

Riva, A., S.D. Angelosante and C. Trebeschi. 2006. Natural gas and the environmental results of life cycle assessment. **Energy** 31: 138-148.

SETAC-Europe Working Group. 2003. **Life Cycle Assessment and Conceptually Related Programes.**

Shakhpazov, E.Kh. and V.N. Zikeev. 2006. Efficiently alloyed ultra-cold-resistant steel for containers used to storage and transport liquefied natural gas. **Metallurgist** 50: 189-193.

Silva, C.M., G.A. Gonçalves, T.L. Farias and J.M.C. Mendes-Lopes. 2006. A tank-to-wheel analysis tool for energy and emissions studies in road vehicles. **Science of Total Environment** 367: 441-447.

Tamura, I., T. Tanaka, T. Kagajo, S. Kuwabara, T. Yoshioka, T. Nagata, K. Kurahashi and H. Ishitani. 2001. Life Cycle CO_2 analysis of LNG and city gas. **APPLIED ENERGY** 68: 301-319.

Tan, R.R. and A.B. Culaba. n.d. **Life Cycle Assessment of Conventional and Alternative Fuels for Road Vehicles**. Available Source: http://www.lcacenter.org/library/pdf/PSME2002b.pdf, 8 November 2007.

Thomas, S. and R.A. Dawa. 2003. Review of ways to transport natural gas energy from countries which do not need the gas for domestic use. **Energy** 28: 1461-1477.

Varabuntoovit, V. 2002. **Life Cycle Assessment for Power Generation System in Thailand Using Nets Method.** Kasetsart University, Bangkok.

Wang, M. Q. and H.S. Huang. 1999. **A Full Fuel-Cycle Analysis of Energy and Emission Impacts of Transportation Fuels Produced From Natural Gas.** Center for Transportation Research Argone National Laboratory, U.S.

Yoon, S.Y. and T. Yamada. n.d. **Life Cycle Inventory Analysis of Fossil Energies in Japan**. Available Source : http://eneken.ieej.or.jp/en/data/old/pdf/e161_01.pdf, 8 November 2007.

Zhou, Z., H. Jiang and L. Qin. 2007. Life cycle sustainability assessment of fuels. **FUEL** 86: 256-263.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการคำนวณการปันส่วน (Allocation Method)

วิธีการคำนวณการปันส่วน (Allocation Method)

1. วิธีการปันส่วนโดยพลังงาน (Energy Allocation)

โดยกำหนดให้ค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value; HHV หรือ Gross Heating Value) ของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดมีค่าดังนี้ LNG เท่ากับ 13330 kcal/kg, C_2^+ เท่ากับ 12400 kcal/kg และ C_5^+ เท่ากับ 11600 kcal/kg

$$LNG = \frac{(13330 \times 18509)}{(13330 \times 18509) + (12400 \times 9267) + (11600 \times 828)} = 0.66$$

$$LHC, C_2^+ = \frac{(12400 \times 9267)}{(13330 \times 18509) + (12400 \times 9267) + (11600 \times 828)} = 0.31$$

$$HHC, C_5^+ = \frac{(11600 \times 828)}{(13330 \times 18509) + (12400 \times 9267) + (11600 \times 828)} = 0.03$$

2. การปันส่วนโดยมวล (Mass Allocation)

$$LNG = \frac{(18509)}{(18509) + (9267) + (828)} = 0.65$$

$$LHC, C_2^+ = \frac{(9267)}{(18509) + (9267) + (828)} = 0.32$$

$$HHC, C_5^+ = \frac{(828)}{(18509) + (9267) + (828)} = 0.03$$

ภาคผนวก ข

คุณสมบัติทั่วไปของก๊าซธรรมชาติและเชื้อเพลงชนิดต่างๆ

คุณสมบัติทั่วไปของก๊าซธรรมชาติและเชื้อเพลงชนิดต่างๆ

ตารางผนวกที่ ข1 คุณสมบัติทั่วไปของก๊าซธรรมชาติและเชื้อเพลิงอื่น

Property	Pure Methane	LNG	CNG	LPG	Diesel	Gasoline
Formula of the major chemical component	CH_4	CH_4	CH_4	C_3H_8	C_3 to C_{25}	C_4 to C_{12}
Boiling Temperature, °F	-259	-259	-259	-44	370-650	80-437
Fuel Density @ 60°F (excluding RLM. LNG), lb/gal	1.07 (at atmospheric pressure)	3.53	1.58 (at 3500 psi)	4.22	6.7-7.4	6.0-6.5
Autoignition Temperature, °F		1004	1004	850-950	600	495
Flammability Range. vol.	5%-15%	5%-15%	5%-15%	2.2%-9.5%	1%-6%	1.4%-7.6%
Lower Heating Value (BTU/lb)	21500	20200-21500	20200-21500	19800	18000-19000	18000-19000
Lower Heating Value (BTU/gal)	23005 RLM:76100	72700-77400	31900-33800	84500	128400	115000
Specific Gravity @ 60°F	0.129 (at atmosphere)	0.435	0.192	0.508	0.81-0.89	0.72-0.78

ที่มา: Chandler and Norton (2000)

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการระบายมลสารจากเรือขนส่ง LNG ขณะทำการขนถ่าย LNG บริเวณท่าเรือของโครงการรับ-จ่ายก๊าซธรรมชาติเหลว (Receiving Terminal)

ข้อมูลการระบายมลสารจากเรือขนส่ง LNG ขณะทำการขนถ่าย LNG บริเวณท่าเรือของโครงการรับ-จ่ายก๊าซธรรมชาติเหลว (Receiving Terminal)

ตารางผนวกที่ ค1 ข้อมูลการระบายมลสารจากเรือขนส่ง LNG ขณะทำการขนถ่าย LNG บริเวณท่าเรือของ โครงการ

แหล่งกำเนิด	ข้อมูลปล่องระบาย			ข้อมูลไอเสีย		ข้อมูลมลสารทางอากาศ		
	จำนวน	ความสูง (เมตร)	เส้นผ่านศูนย์กลาง (เมตร)	อุณหภูมิปลายปล่อง ($^{\circ}C$)	ความเร็วปลายปล่อง ($^{\circ}C$)	อัตราการระบาย (กรัม/วินาที)		
						NO_2	SO_2	CO
ปล่องระบายมลสารจากเรือ	1	20	1.2	700	3.02	0.137	0.155	0.003

ที่มา: บริษัท พีทีที แอลเอ็นจี จำกัด (2550)

ภาคผนวก ง

ผลการทดสอบการแพร่กระจายของมลสารต่างๆจากการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดกับรถประจำทาง
เครื่องยนต์ MY 2001 CWI C Gas Plus

ผลการทดสอบการแพร่กระจายของมลสารต่างๆจากการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดกับรถประจำทางเครื่องยนต์ MY 2001 CWI C Gas Plus

ตารางผนวกที่ ง1 ผลการทดสอบการแพร่2กระจายของมลสารต่างๆ กับรถประจำทางเครื่องยนต์ MY 2001 CWI C Gas Plus

Test	CO (g/mile)	NO_x (g/mile)	CH_4 (g/mile)	NMHC (g/mile)	PM (g/mile)	CO_2 (g/mile)	Mile/gal	BTU/Mile
1	0.68	18.5	14.2	0.95	BDL	2115	3.19	40069
2	0.49	17.5	13.9	0.94	BDL	2063	3.27	39079
3	0.48	17.6	13.9	1.15	BDL	2087	3.23	39535
4	0.26	17.0	15.6	1.11	0.011	1209	3.19	40033
5	0.50	17.3	16.0	1.12	0.006	2127	3.17	40390
6	0.37	17.8	16.1	1.13	0.005	2092	3.22	39740
7	0.77	21.7	21.8	1.18	0.025	2585	2.60	49207
8	0.70	22.0	22.2	1.19	0.021	2566	2.62	48868
Averg.	0.55	19.0	17.3	1.10	0.01	2258	3.01	42886

หมายเหตุ BDL: Below detection limit

ที่มา: Melendez *et. al.* (2002)

ภาคผนวก จ

ผลการทดสอบการแพร่กระจายของมลสารต่างๆจากการใช้ก๊าซธรรมชาติเหลวกับรถประจำทาง เครื่องยนต์ Cummins L10-280G

ผลการทดสอบการแพร่กระจายของมลสารต่างๆจากการใช้ก๊าซธรรมชาติเหลวกับรถประจำทางเครื่องยนต์ Cummins L10-280G

ตารางผนวกที่ จ1 ผลการทดสอบการแพร่กระจายของมลสารต่างๆ กับรถประจำทางเครื่องยนต์ Cummins L10-280G

Test	CO (g/mile)	NO_x (g/mile)	CH_4 (g/mile)	NMHC (g/mile)	PM (g/mile)	CO_2 (g/mile)	Mile/gal	BTU/Mile
1	0.29	23.6	11.1	0.03	e	2346	3.16	40691
2	0.26	19.9	12.7	0.03	e	2053	3.6	35769
3	0.18	21.2	12.8	0.05	e	2086	3.54	36329
4	0.17	10.8	14.4	0.05	e	2244	3.29	39116
5	0.25	33.2	10.8	0.05	e	2362	3.14	40948
6	0.16	28.2	11.5	0.06	e	2099	3.52	36486
7	0.2	25.9	11.4	0.07	e	2165	3.42	37602
8	0.29	13.9	13.6	0.05	e	2147	3.44	37405
9	0.15	23.4	11.9	0.04	e	2286	3.24	39691
10	0.39	12.4	14.7	0.05	e	2573	2.87	44760
Averg.	0.23	21.25	12.49	0.05	e	2236.1	3.32	38879.7
St Dev	0.08	7.2	1.38	0.01	e	160.5	0.23	2760.24

หมายเหตุ PM Values for LNG were below the detectable limit ($<$ 0.01 g/mi)

ที่มา: Chandler and Norton (2002)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาววีราภรณ์ คารมณ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 27 กรกฎาคม 2526
สถานที่เกิด	ปราจีนบุรี
ประวัติการศึกษา	ระดับปริญญาตรี วท.บ. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม) (เกียรตินิยม) (พ.ศ.2549) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	งานวิจัยเรื่อง การผลิตซีโอไลต์จากเถ้าลอยและการใช้ประโยชน์เพื่อบำบัดน้ำเสีย
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	- โครงการบัณฑิตศึกษาและวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ภายใต้ศูนย์ความเป็นเลิศด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมีและวัสดุขั้นสูง สำนักคณะกรรมการอุดมศึกษา - ทุนอุดหนุนการค้นคว้าและวิจัยประเภทวิทยานิพนธ์จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์