



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ : การศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและ
เศรษฐศาสตร์ตลอดวัฏจักรชีวิตของรถบรรทุกปูนซีเมนต์ที่ใช้
เชื้อเพลิงปิโตรเลียม และ แก๊สธรรมชาติเป็น
เชื้อเพลิงในประเทศไทย

โดย ดร.เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล และคณะ

กันยายน 2551

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการ : การศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและ
เศรษฐศาสตร์ตลอดวัฏจักรชีวิตของรถบรรทุกปูนซีเมนต์ที่ใช้
เชื้อเพลิงปิโตรเลียม และ ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อ
เพลิงในประเทศไทย

คณะผู้วิจัย

สังกัด

- | | |
|--------------------------|----------------------|
| 1. ดร.เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 2. ดร.พฤกษ์ อักกะรังสี | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 3. ชาดา วรณโชติกุล | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |

ชุดโครงการทุนวิศวกรรมโยธา และสิ่งแวดล้อม ปี 2550

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

และ บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน)

บทสรุปผู้บริหาร (Executive Summary)

น้ำมันเป็นพลังงานพื้นฐานซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศ และคุณภาพชีวิตของประชากร แต่ในปัจจุบันประเทศไทยประสบกับปัญหาน้ำมันราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดผลกระทบหลายด้านต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นภาคการเกษตร ภาคอุตสาหกรรมการผลิต ภาคบริการ-ท่องเที่ยว ประมง และภาคการขนส่ง โดยเฉพาะภาคขนส่งที่ได้รับผลกระทบในยุคน้ำมันแพงอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จึงส่งผลให้อัตราการขาดดุลการค้าเพิ่มขึ้น เพราะประเทศไทยต้องนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศเป็นปริมาณมากในแต่ละปี จึงมีการพัฒนาเพื่อผลิตเชื้อเพลิงทดแทนใหม่ที่มีศักยภาพเทียบเท่าน้ำมันดีเซลสำหรับอนาคตซึ่งได้แก่ก๊าซธรรมชาติเป็นทางเลือกสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน เพื่อแก้ไขปัญหาวิกฤตน้ำมันในระยะสั้นและระยะกลาง รัฐบาลได้มีนโยบายให้ภาคอุตสาหกรรมขนส่งหันมาใช้ก๊าซธรรมชาติ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่มีการใช้การขนส่งมากอย่างเช่น อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เพราะส่วนมากการขนส่งมีผลกระทบอย่างมากต่อต้นทุนขององค์กร และเมื่อต้นทุนการผลิตสูงขึ้นย่อมส่งผลให้ราคาปูนซีเมนต์สูงขึ้นไปด้วย ทำให้เกิดผลกระทบต่อเนื่องไปยังภาคอุตสาหกรรมอื่นๆ ได้อีก ดังนั้นเพื่อลดต้นทุนในการขนส่ง จึงมีการดัดแปลงนำรถบรรทุกซีเมนต์มาปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซล มาใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

แต่เนื่องจากก๊าซธรรมชาติมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำมัน ดังนั้นรถบรรทุกซีเมนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติจึงต้องมีถังบรรจุก๊าซติดตั้งที่รถ ประมาณ 2-4 ถัง เพื่อให้สามารถวิ่งได้ระยะทางเกินกว่า 250 ไมล์ หรือเกินกว่า 400 กิโลเมตรโดยประมาณ แต่เนื่องจากถังบรรจุก๊าซมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากจึงเป็นปัญหาหลักของรถ NGV ส่วนด้านการดัดแปลงรถ จะขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้ขนาดของรถและถังบรรจุก๊าซ ซึ่งการปรับเปลี่ยนดังกล่าว ผู้ประกอบการต้องรับภาระค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้น และ ในการปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ที่ใช้ น้ำมันดีเซลมาเป็นการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงย่อมก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและต้นทุนที่สูงขึ้นตามมาเช่นกัน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินวัฏจักรชีวิต LCA (Life Cycle Assessment) และ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของรถที่ใช้ NGV แทนการใช้น้ำมันดีเซล โดยทำการศึกษาตั้งแต่การนำวัตถุดิบมาผลิต การผลิต และการใช้งาน เพื่อการประหยัดพลังงานและอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติอย่างครบวงจร

ผลการสำรวจข้อมูลรูปแบบของการติดตั้งระบบ NGV ในรถบรรทุก และขั้นตอนการติดตั้งระบบ NGV ในรถบรรทุก

จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้น พบว่ารูปแบบการใช้ NGV ในยานยนต์ขนาดใหญ่ ได้แก่ รถบรรทุก รถหัวลาก รถโดยสารสามารถแบ่ง ตามรูปแบบการใช้ NGV ได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

1. รถยนต์ NGV ผลิตมาจากโรงงานโดยตรงแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

1 รถยนต์ใช้ NGV เป็นเชื้อเพลิงอย่างเดียว (Dedicated NGV)

เป็นเครื่องยนต์ที่ออกแบบ และพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ NGV โดยเฉพาะหรือเรียกว่าเครื่องก๊าซ (Gas Engine) ซึ่งนิยมใช้วิธีการจุดระเบิดด้วยประกายไฟ จากหัวเทียน มีข้อดีที่ปล่อยปริมาณฝุ่นละออง (Particulate) ในปริมาณต่ำ แต่จะมีราคาเพิ่มขึ้นจากรถยนต์ดีเซลประมาณร้อยละ 20-30 ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับประเภทรถและบริษัทผู้ผลิต ปัจจุบันยังไม่มีการผลิตในประเทศไทย ส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา (ยี่ห้อ Cummins, Detroit) ประเทศเกาหลี (ยี่ห้อ Daewoo, Hyundai) เป็นต้น

2 เป็นเครื่องยนต์ที่ออกแบบให้ใช้ NGV ร่วมกับน้ำมันดีเซล

โดยใช้น้ำมันดีเซลจุดระเบิด (ignites) และลูกกลไกการเผาไหม้ของ NGV ต่อไป ปัจจุบันเครื่องยนต์ยี่ห้อ Caterpillar ประเทศสหรัฐอเมริกาโฆษณาว่า สามารถใช้ NGV ทดแทนน้ำมันดีเซลได้สูงถึงร้อยละ 90

2. เครื่องยนต์ดีเซลเดิมสามารถปรับใช้ NGV ได้ดังนี้

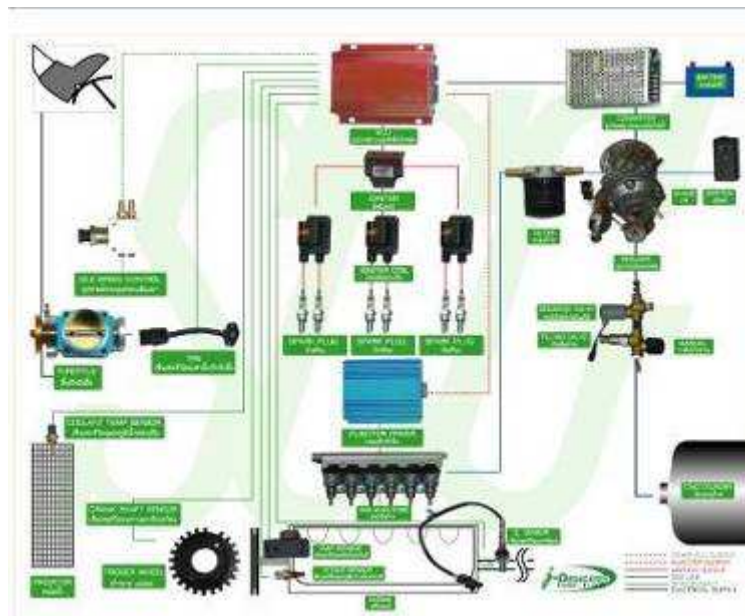
1 ติดตั้งอุปกรณ์ NGV ระบบเชื้อเพลิงร่วม DDF

วิธีนี้ไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลเดิมเพียงติดตั้งอุปกรณ์ NGV เพิ่มเติม ส่วนเครื่องยนต์ยังใช้น้ำมันดีเซลในการจุดระเบิด เมื่อมีการเผาไหม้เกิดขึ้นจะใช้ NGV เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ทดแทนน้ำมันดีเซลต่อไป สำหรับประสิทธิภาพเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วม (NGV และดีเซล) จะขึ้นอยู่กับ

- สภาพเครื่องยนต์เดิม
- เทคโนโลยีและประสิทธิภาพของอุปกรณ์ NGV
- ความชำนาญของผู้ติดตั้ง
- ลักษณะการใช้งานของรถ ฯลฯ

2 ติดตั้งอุปกรณ์NGVระบบเชื้อเพลิง Dedicated

ดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลเดิมมาใช้ NGV อย่างเดียว (Dedicated Retrofit) จะนำเครื่องยนต์ดีเซลมาดัดแปลง เพื่อลดอัตราส่วนการอัด (Compression Ratio) จากประมาณ 17:1 เป็น 11:1 โดยการดัดแปลงลูกสูบ ผ่านชุดติดตั้งหัวเทียนเพื่อช่วยจุดระเบิด เปลี่ยนชิ้นส่วนอื่นๆตามความเหมาะสมของเครื่องยนต์แต่ละรุ่น ฯลฯ และติดตั้งอุปกรณ์ NGV ให้สามารถใช้ NGV ได้เพียงอย่างเดียว โดยจะติดตั้งถัง NGV จำนวน 5-7 ถัง (ขนาดถังบรรจุ 140 ลิตรน้ำ) ซึ่งสามารถวิ่งได้ระยะทางประมาณ 280-400 กิโลเมตร ต่อการเติม NGV 1 ครั้ง ระบบนี้มีการควบคุมการจ่าย NGV โดยจะมีรูปอุปกรณ์และ ขั้นตอนการติดตั้งดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 แสดงรูปอุปกรณ์ NGV แบบ Dedicated

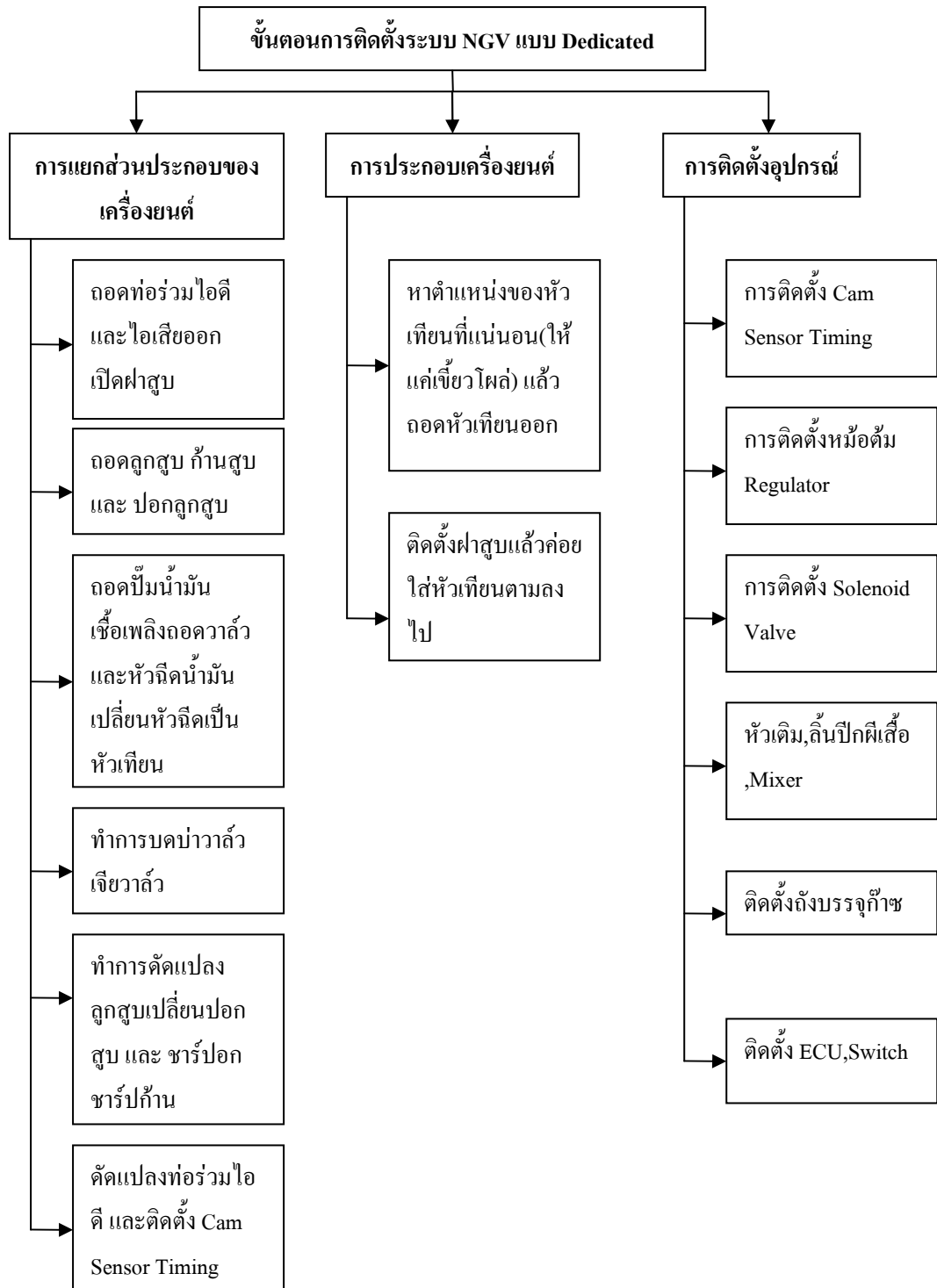
จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้น พบว่าขั้นตอนการติดตั้งระบบ NGV แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ การแยกส่วนประกอบเครื่องยนต์ การประกอบเครื่องยนต์ และ การติดตั้งอุปกรณ์ NGV โดยในขั้นตอนแรกมีการแยกส่วนประกอบเครื่องยนต์ เพื่อคัดแปลงเครื่องยนต์ให้สามารถรองรับการติดตั้งอุปกรณ์ NGV ในขั้นตอนต่อไป การประกอบเครื่องยนต์ เมื่อทำการคัดแปลงในส่วนของเครื่องยนต์ หลังจากนั้นทำการประกอบเครื่องยนต์ให้เรียบร้อยเพื่อรอการติดตั้งอุปกรณ์ NGV และขั้นตอนสุดท้ายคือการติดตั้งอุปกรณ์ NGV ดังรูปที่ 1



รูปที่ 2 แสดงรถบรรทุกซีเมนต์ที่ทำการติดตั้งระบบ NGV



รูปที่ 3 แสดงการเก็บข้อมูลด้านพลังงาน และอุปกรณ์ NGV แบบ Dedicated



รูปที่ 4 แสดงกระบวนการดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV

จากข้อมูลข้างต้นที่กล่าวมาโดยในแต่ละขั้นตอนจะมีการใช้พลังงาน และทรัพยากร หรือ วัสดุใด ๆ ซึ่งอาจก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นในโครงการวิจัยนี้จึงได้มีการเก็บข้อมูลในการใช้พลังงาน และวัสดุใด ๆ ในแต่ละขั้นตอนดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดการเก็บข้อมูลในกระบวนการต่างๆ ด้านพลังงาน

ลำดับ	ขั้นตอนการติดตั้ง NGV	พลังงานไฟฟ้า (kW)	เวลา (min)	เครื่องจักร	พนักงาน (คน)
1	ตรวจเช็ค				
	ตรวจเช็คสภาพเครื่องยนต์ ตรวจเช็คอัตรากำลังอัดของ เครื่องยนต์เดิม ,ระบบระบายความ ร้อน และแบตเตอรี่		5		2
2	การแยกส่วนประกอบของเครื่องยนต์				
	ถอดหัวร่วมไอดี และไอดีออก เปิดฝาสูบ		40		2
	ถอดลูกสูบ ก้านสูบ และ ปอกลูกสูบ ออก (ล้างห้อง)		60		2
	ถอดปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงออก ถอดวาล์ว และหัวฉีดน้ำมันออก		30		1
	เปลี่ยนหัวฉีดเป็นหัวเทียน	1.30	120	สว่านมือ	1
	ทำการบดวาล์ว เจียววาล์ว และ test วาล์วรั่วหรือไม่ ด้วยน้ำมัน	0.51	120	หินเจียมือ	1
	ทำการดัดแปลงลูกสูบโดยอ้างอิงกับ แบบ (Combustion Ratio for CNG 10-12)	2.24	120	เครื่องกลึง	1
	เปลี่ยนปอกสูบ และ ชาร์ปอก ชาร์ ปก้าน		60		1
	ดัดแปลงหัวร่วมไอดี		120		1

	ติดตั้ง Oxygen Sensor ห่างจากทางออกของไอเสียประมาณ 60 cm. ติดตั้ง temp sensor ที่บริเวณวาล์วน้ำ ถ้าเป็นไปได้ควรถอดหม้อน้ำออกมาทำความสะอาด หรือเปลี่ยนหม้อน้ำใหม่ ให้ระบาย ความร้อนได้ดี	1.30	40	สว่านมือ	1
3	ประกอบเครื่องยนต์				
	หาตำแหน่งของหัวเทียนที่แน่นอน (ให้แค่เจ็วไฟล์) แล้วถอดหัวเทียนออก หลังจากติดตั้งฝาสูบแล้วค่อยใส่หัวเทียนตามลงไป		10		1
	ทำตัวยึดคอยล์ไว้ด้วยฟ็อกบ็อกกันน้ำ และป้องกันไม่ให้หัวเทียนหลุดออกมา	0.25	30	สว่านแท่น	1
	เปลี่ยนแหวนลูกสูบ และวาล์วน้ำ		60		1
4	การติดตั้ง Cam Sensor Timing				
	ติดตั้ง Cam Sensor Timing (ที่ตำแหน่ง TDC ของสูบ 1) ควรทำอุปกรณ์ป้องกันสิ่งแปลกปลอม หรือกระแสไฟจากเครื่องยนต์	1.30 0.51	60	สว่านมือ หินเจ็วมือ	1
5	การติดตั้งหม้อต้ม Regulator				
	ติดตั้งให้ต่ำกว่าหม้อน้ำ และห่างไม่น้อยกว่า 60 cm. และไม่ควรติดหม้อต้มแนบกับตัวถังเพราะจะทำให้ไดอะแฟรมทำงานได้ไม่เต็มที่	1.30 13	30	สว่านมือ เครื่องเชื่อม	1
6	การติดตั้ง Solenoid Valve				
	ติดตั้ง Cut Off Solenoid Valve ที่ตัวถังรถเพื่อความแข็งแรง	1.30 13	30	สว่านมือ เครื่องเชื่อม	1
7	หัวเติม, ลิ้นปีกผีเสื้อ, Mixer				
	ติดตั้งหัวเติมก๊าซไว้ในส่วนของตัว	1.30	30	สว่านมือ	

	รถไม่ควรยื่นออกมาด้านนอกตัวรถ				
	เมื่อถึงขั้นตอนการติดตั้ง Mixer ควร ทำการยาด้วย Silicon เพื่อป้องกัน ไม่ให้อากาศรั่วได้	1.30	30	ส่วนมือ	
8	ติดตั้งถังบรรจุก๊าซ				
	ทำฐานรองถังก๊าซพร้อมกับ นำฐานรองมาติดตั้งพร้อมกับถัง	1.54 0.25 13	480	หินเจียแท่น ส่วนแท่น เครื่องเชื่อม	4
9	ECU,Switch				
	ติดตั้ง ECU ไว้ในห้องโดยสารเพื่อ ป้องกันความร้อนและฝุ่น ถ้าเป็นไปได้ ควรทำกล่องครอบไว้ด้วย	1.30	40	ส่วนมือ	1
	ติดตั้งสวิทช์ไว้ในที่ๆคนขับสามารถ มองเห็นได้สะดวก และสะดวกที่จะ ใช้งาน	1.30	20	ส่วนมือ	1
	ติดตั้งสายไฟห่างจากความร้อน การ สั่นสะเทือน และน้ำ	1.30	20	ส่วนมือ	1

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดการเก็บข้อมูลในกระบวนการต่างๆ ด้านวัตถุดิบ

อุปกรณ์	วัตถุดิบ (kg)						รวม (kg)
	เหล็ก	ทองเหลือง	พลาสติก	อลูมิเนียม	ทองแดง	สแตน เลส	
1. ถังบรรจุก๊าซ	1,058						1,058
2. วาล์วไฟฟ้า อัตโนมัติ, หัวเติมก๊าซ วาล์วประธาน		0.50	0.01				0.510
3. เกจ ,อุปกรณ์ ลดแรงดัน		0.60		0.68			1.28
4. สวิทช์			0.07		0.06		0.13

5. กรองก๊าซ	0.25	0.25					0.52
6. อุปกรณ์ แปลแรงดัน ไฟฟ้า	0.91				0.91		1.82
7. อุปกรณ์ ควบคุม อิเล็กทรอนิกส์				0.39	0.19	0.19	0.77
8. อินดิเคอร์			0.10		0.10		0.20
9. คอยล์จุด ระเบิด			0.90		0.90		1.80
10. หัวเทียน	0.1				0.2		0.3
11. กล่องขับ หัวฉีด				0.50	0.25		0.75
12. ชุดหัวฉีด ก๊าซ				1.00	0.35		1.35
13. เซ็นเซอร์วัด ออกซิเจน			0.03		0.04		0.07
14. เซ็นเซอร์วัด องศาเพลลา ข้อเหวี่ยง	0.46						0.46
15. เซ็นเซอร์วัด อุณหภูมิ หล่อเย็น		0.04					0.04
16. หม้อน้ำ	0.54			1.08		0.54	2.16
17. เซ็นเซอร์วัด องศา ลื่นปีกผีเสื้อ			0.03		0.03		0.06
18. อุปกรณ์ ควบคุมรอบ เดินเบา		0.48					0.48

19. ถิ่นปลูกพืช				0.40	0.20		0.60
รวม	1,060	1.87	1.14	4.05	3.23	0.73	1,071

ในการเก็บข้อมูลด้านพลังงาน และวัตถุดิบ ของการติดตั้งระบบ NGV ทำให้ทราบถึงวัตถุดิบที่ใช้โดยส่วนมากเกิดจากการนำมาผลิตอุปกรณ์ รวมถึงพลังงานที่ใช้ในการติดตั้ง โดยจะอยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเกิดจากการใช้ไฟฟ้า ในขั้นตอนการติดตั้งระบบ NGV ดังที่ได้แสดงไว้ในข้างต้น

ผลการเก็บข้อมูลด้านปริมาณการใช้พลังงาน

จากตารางการเก็บข้อมูลด้านพลังงานพบว่าในขั้นตอนการติดตั้งระบบ NGV มีการใช้พลังงานในรูปแบบพลังงานไฟฟ้า จากเครื่องใช้ไฟฟ้างดังต่อไปนี้ สว่านมือ, สว่านแท่น, หินเจีย, เครื่องตัด, เครื่องเชื่อม และ เครื่องกลึงโดยมีการใช้จำนวนวัตถุดิบที่แตกต่างกัน และระยะเวลาที่ใช้แตกต่างกันดังนั้นจึงนำมาคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในหน่วย kWh โดยมีค่าดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในขั้นตอนการติดตั้งระบบ NGV สำหรับรถบรรทุกซีเมนต์

ประเภทพลังงาน	กำลังที่ใช้(kWh)
ไฟฟ้า	57.46

ผลการเก็บข้อมูลด้านปริมาณการใช้วัตถุดิบ

จากตารางการเก็บข้อมูลด้านวัตถุดิบพบว่าในขั้นตอนการติดตั้งระบบ NGV มีการใช้ทรัพยากรวัตถุดิบดังต่อไปนี้ เหล็ก, ทองแดง, ทองเหลือง, อลูมิเนียม, สแตนเลส และ พลาสติกโดยแต่ละชิ้นส่วนของอุปกรณ์ NGV มีองค์ประกอบที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงวัสดุที่เหมือนกันนำมารวมกันโดยมีค่าดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงวัตถุดิบของอุปกรณ์ NGV ที่ใช้ในขั้นตอนการติดตั้งระบบ NGV

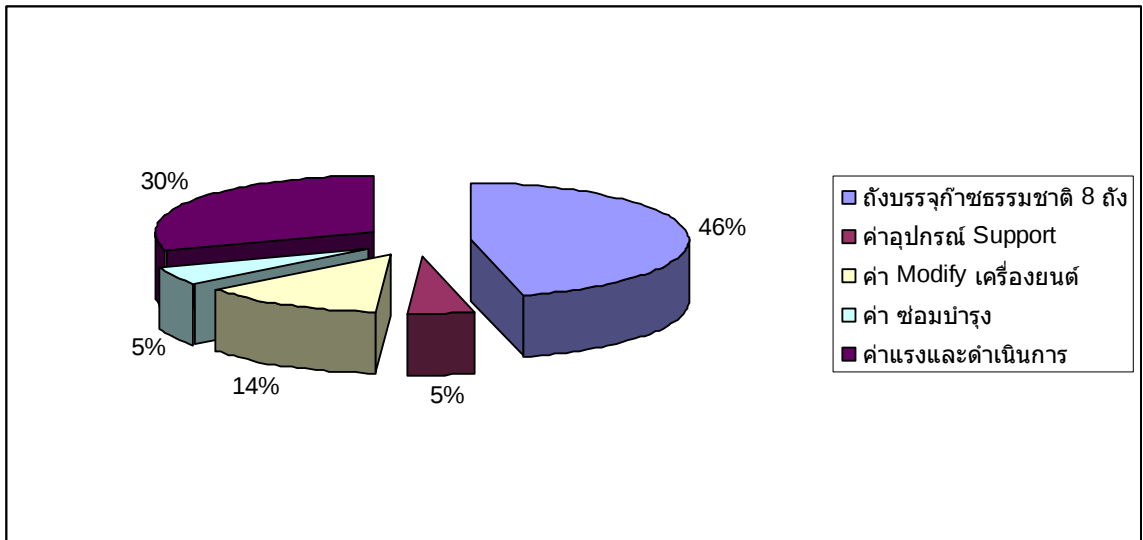
ประเภทวัตถุดิบ	ปริมาณที่ใช้ (kg)
เหล็ก	1,060
ทองเหลือง	1.87
พลาสติก	1.14
อลูมิเนียม	4.05
ทองแดง	3.23
สแตนเลส	0.73
รวม	1,071

การคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่ายที่เกิดจากขั้นตอนการติดตั้งระบบ NGV

จากการศึกษาถึงต้นทุน และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมด คณะวิจัยได้เก็บข้อมูลด้านต้นทุน ค่าใช้จ่ายเพื่อศึกษาต้นทุนการติดตั้งระบบ NGV ว่าเกิดจากสิ่งใดได้บ้างโดยกรณีศึกษาต้นทุนของการติดตั้งระบบ NGV ในรถบรรทุกซีเมนต์ โดยเก็บข้อมูลจากบริษัทผู้ขนส่งปูนซีเมนต์ ที่รับทำการติดตั้งระบบ NGV ในรถบรรทุกพบว่า มีต้นทุนในการติดตั้งดังนี้ อุปกรณ์ระบบ Dedicated, ถังบรรจุก๊าซธรรมชาติ 8 ถัง, ค่าอุปกรณ์ Support, ค่า Modify เครื่องยนต์, ค่าซ่อมบำรุง, ค่าแรงและดำเนินการ โดยแสดงตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบ NGV ในรถบรรทุกซีเมนต์

รายการค่าใช้จ่าย	ราคา
อุปกรณ์ระบบ Dedicated	150,000
ถังบรรจุก๊าซธรรมชาติ 8 ถัง	184,000
ค่าอุปกรณ์ Support	20,000
ค่า Modify เครื่องยนต์	55,000
ค่า ซ่อมบำรุง	21,000
ค่าแรงและดำเนินการ	120,000
รวม	550,000



รูปที่ 5 แสดงเปอร์เซ็นต์ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบ NGV ในรถบรรทุกซีเมนต์

โดยข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลในรูปแบบของพลังงาน และวัตถุดิบ ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น ย่อมส่งผลกระทบต่อทางด้านสิ่งแวดล้อม ด้านเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้มีการวิเคราะห์หาผลกระทบต่อทางด้านสิ่งแวดล้อม และวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ตลอดวัฏจักรชีวิตโดยใช้ข้อมูลที่เก็บได้ในข้างต้น เพื่อให้เห็นถึงภาพรวมทั้งหมดของการติดตั้งระบบ NGV ในรถบรรทุกซีเมนต์ และให้เกิดความคุ้มค่าเชิงสิ่งแวดล้อม และ ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจาก อาจารย์ ดร.เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และ อาจารย์ ดร. พฤกษ์ อักกะรังสี ผู้ซึ่งได้ให้คำแนะนำและแนวคิดในการทำโครงการนี้ ตลอดจนสนับสนุนการทำวิจัยอย่างเต็มที่ในทุกๆ ด้าน และตรวจทานแก้ไขโครงการนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย และ บริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด(มหาชน) ที่กรุณามอบทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อให้การสนับสนุนโครงการนี้จนสมบูรณ์

สุดท้าย ขอกราบขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ประสานงานวิจัยโครงการ ของบริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด(มหาชน) และ บริษัทผู้ขนส่งปูนซีเมนต์ที่ทำการติดตั้งระบบ NGV รวมทั้ง คุณอิทธิพล เผ่าอำมาตย์ จากกรมควบคุมมลพิษ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลมลพิษ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงการนี้

คณะผู้วิจัย

กันยายน 2551

บทคัดย่อ

อุตสาหกรรมภาคการขนส่งได้มีการนำก๊าซธรรมชาติมาใช้เป็นเชื้อเพลิง แทนน้ำมันดีเซลที่มีแนวโน้มราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากก๊าซธรรมชาติมีราคาถูกกว่า น้ำมันดีเซลประมาณสามเท่า ดังนั้นจึงช่วยลดต้นทุนด้านการขนส่งได้อย่างมาก แต่การนำรถบรรทุกดีเซล มาปรับเปลี่ยนใช้ก๊าซธรรมชาติจะต้องทำการดัดแปลงเครื่องยนต์ และติดตั้งอุปกรณ์ NGV จึงก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น กลไกของเครื่องยนต์เปลี่ยนไปจากการดัดแปลง และที่สำคัญอาจก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในการใช้พลังงานในการติดตั้ง รวมพลังงานที่ใช้ในการจัดหาวัตถุดิบ และ ในขั้นตอนการใช้งานว่าเชื้อเพลิงใดก่อให้เกิดมลพิษมากกว่ากัน โครงการวิจัยนี้จึงได้ทำการประเมินวัฏจักรชีวิตของรถบรรทุก NGV โดยให้ความสำคัญที่ระบบ NGV แบบ Dedicated ของรถบรรทุกซีเมนต์ ซึ่งถือว่าการติดตั้งระบบนี้เป็นจำนวนมากที่สุด โดยแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการ ได้แก่ กระบวนการจัดหาวัตถุดิบอุปกรณ์ NGV กระบวนการดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV และกระบวนการนำไปใช้ ผลการวิเคราะห์ทางสิ่งแวดล้อมมีค่าเท่ากับ 10.630 Pt, 0.044 Pt และ 0.0005 Pt ตามลำดับ เป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ เนื่องจากขอบเขตเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ดังนั้นในขั้นตอนการประเมินวงจรชีวิตในขั้นตอนการใช้งาน ได้ทำการเปรียบเทียบมลพิษที่ปล่อยออกมา ผลปรากฏว่า มลพิษในขั้นตอนการใช้งานที่ปล่อยออกมาของ NGV นั้นมีค่าสูงกว่า ดีเซลค่อนข้างมาก เนื่องจากการติดตั้งระบบ NGV ไม่ได้มาตรฐานทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในระยะทาง 1 กิโลเมตรของ NGV สูงกว่า ดีเซล โดยมีค่าเท่ากับ 0.0044 Pt, 0.0017 Pt ตามลำดับ และโครงการวิจัยนี้ได้มีการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ตลอดวัฏจักรชีวิต และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ของรถบรรทุกซีเมนต์ ผลปรากฏว่าต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตมีค่าเท่ากับ 550,000 บาท และระยะเวลาในการคืนทุนมีค่าเท่ากับ 0.8 ปี ที่ราคา NGV เท่ากับ 8.50 บาท และ ระยะทางใช้งาน 180,000 ต่อปี ราคาดีเซลเท่ากับ 33.04 บาท เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงราคา NGV และระยะทางใช้งาน ผลปรากฏว่าถ้าราคา NGV สูงขึ้น และระยะทางใช้งานน้อยลง จะทำให้ระยะเวลาในการคืนทุนนานขึ้นด้วย ดังนั้นการประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบ NGV และการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ สามารถใช้เป็นแนวทางในการใช้พลังงานอย่างยั่งยืนและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมได้อย่างเป็นรูปธรรม

Abstract

Natural Gas is fossil fuel, which is used in transportation sectors, its to represent Diesel oil. Because Diesel is so expensive more than Natural Gas about 3 time. So this reason come reduce transportation cost. However, it will has modify engine cost in system. Diesel truck are modified and install NGV engine. But modified and install process might be cause of environmental impact from used energy in many process. Such as step, provide raw material and method of using fuel, which effect for environmental.

This research is study about LCA evaluation of NGV. Dedicated type of NGV is focused because this system is a lot of setting up. It could divide 3 process. First, provided raw material in NGV. Second modified and set up engine and finally is using process. It was found that environmental impact in each process are about 10.630 Pt , 0.044 Pt and 0.005 Pt respectively. In each process can't compare because Boundary condition is different. For using evaluation is compared with emission of pollution. The result showed that pollution from using process of NGV is higher than Diesel truck because setting up NGV system is not standard. For test 1 km, environmental impact for NGV is 0.004 Pt and for Diesel is 0.0017 Pt. For economic analysis of Cement Truck. For the condition, NGV price is 8.50 Baht, Diesel oil price is 33.04 Baht and A distance for using is 180,000 km/year.

The result showed that LCC is 550,000 Baht. Simple payback period is 0.8 year. And if NGV price is increased and a distance for using is decreased, Simple payback period will rise. This research found that LCA and LCC of NGV system can use for approach using energy and eco-design.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทสรุปผู้บริหาร	ก
กิตติกรรมประกาศ	ฎ
บทคัดย่อภาษาไทย	ฐ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฑ
สารบัญตาราง	ด
สารบัญรูปภาพ	ถ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 สรุปสาระสำคัญ เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	7
1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย	7
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	7
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี	8
2.1 ประวัติความเป็นมาของการประเมินวัฏจักรชีวิต	8
2.2 นิยามและความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต	12
2.3 วัตถุประสงค์ในการทำ LCA	13
2.4 ขั้นตอนในการศึกษาวัฏจักรชีวิต	14
2.5 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับความหมายของต้นทุนแบบเดิม	21
2.6 ประวัติความเป็นมาของการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต	23
2.7 แนวคิดและหลักการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต	24
2.8 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต	25
2.9 ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ (Natural Gas Vehicles)	29

เรื่อง	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	33
3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต	33
3.2 การทำบัญชีรายการ (Inventory)	3
3.3 ขั้นตอนการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม	37
3.4 แนวทางการแปลผลและการวิเคราะห์ข้อมูล	3
บทที่ 4 ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล	40
4.1 ผลการจัดทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis)	40
4.2 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ	46
4.3 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต	51
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	55
5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต	55
5.2 เปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของ NGV กับดีเซล	57
5.3 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต และวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	57
5.4 แนวทางในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ต้นทุน และข้อเสนอแนะ	58
บรรณานุกรม	61
ภาคผนวก	63

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า	
1.1	เปรียบเทียบมลพิษระหว่างรถโดยสาร NGV และ Diesel	4
3.1	บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ และการผลิต	36
3.2	บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในขั้นตอนการตัดแปลงเครื่องยนต์ ติดตั้งอุปกรณ์ NGV	36
4.1	แสดงการชั่งน้ำหนักเพื่อหาส่วนประกอบของวัตถุดิบอุปกรณ์ NGV	41
4.2	เครื่องจักรที่ใช้ และกำลังที่ใช้ในการติดตั้งรถบรรทุก NGV แบบ Dedicated	43
4.3	แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในขั้นตอนการติดตั้งระบบ NGV สำหรับรถบรรทุกซีเมนต์	44
4.4	แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยของดีเซล และ NGV	45
4.5	แสดงอัตราการปล่อยมลพิษของเชื้อเพลิงดีเซล และ NGV ในรถบรรทุกซีเมนต์	45
4.6	ค่าผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของการติดตั้งระบบ NGV	47
4.7	แสดงแหล่งที่มาและค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรชีวิตกระบวนการจัดหาอุปกรณ์ NGV ของรถบรรทุกซีเมนต์ 1 คัน	48
4.8	แสดงแหล่งที่มาและค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรชีวิตกระบวนการตัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV ของรถบรรทุกซีเมนต์ 1 คัน	49
4.9	แหล่งที่มาและค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้งานรถบรรทุกซีเมนต์ที่ติดตั้งระบบ NGV ระยะทาง 1 กิโลเมตรตามประเภทผลกระทบ	50
4.10	แสดงค่าใช้จ่ายที่เกิดจากต้นทุนแต่ละประเภท	52
4.11	แสดงระยะเวลาในการคืนทุนเมื่อราคา NGV และ ระยะทางเปลี่ยนไป	53
ก.1	รายละเอียดส่วนประกอบวัตถุดิบของอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งรถบรรทุก NGV	65
ก.2	บัญชีรายการกระแสเข้าของขั้นตอนการประกอบ	66
ก.3	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า 1 kWh	66
ก.4	เครื่องจักรที่ใช้ในการติดตั้งรถบรรทุก NGV แบบ Dedicated	67
ก.5	อัตราการปล่อยสารมลพิษ (g/km) จากรถบรรทุก NGV และรถบรรทุกดีเซล	68

สารบัญภาพ

รูป		หน้า
1.1	แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณสารมลพิษชนิดต่างๆจากรถโดยสาร	3
1.2	แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนรวมทางเศรษฐศาสตร์ของรถยนต์ดีเซลประเภท Dedicated และ Dual fuel ระหว่าง ปี พ.ศ. 2549 ถึง 2554	5
1.3	แสดงการเปรียบเทียบผลประหยัดระหว่างรถยนต์ดีเซลประเภทDedicated และ Dual fuel ระหว่างปี พ.ศ. 2549 ถึง 2554	5
1.4	แสดงระยะเวลาคืนทุนระหว่างรถยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงประเภท Dedicated และ Dual fuel ในพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑล	6
2.1	แสดงความสัมพันธ์ในอนุกรม ISO 14000 (S. Sate, 2005)	10
2.2	แสดงความสัมพันธ์ของอนุกรม ISO 14000 ในแต่ละอนุกรม	11
2.3	การพิจารณาวัฏจักรชีวิตของกระบวนการและผลิตภัณฑ์ต่างๆ	13
2.4	ขั้นตอนและโครงข่ายในการทำ LCA ตามหลัก ISO (ISO 14040, 1997)	15
2.5	ขอบเขตของระบบที่สามารถกำหนดตามความเหมาะสมของเป้าหมาย	16
2.6	การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ (Goedkoop et al. ,1996)	18
2.7	ต้นทุนที่มองไม่เห็นก่อให้เกิด ปรากฏการณ์ภูเขาน้ำแข็ง	22
2.8	การพัฒนาและการประยุกต์ใช้การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต	23
2.9	แสดงตัวอย่างของปริมาณต้นทุนที่เกิดขึ้นในระยะต่างๆ ของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์	24
2.10	แผนภาพการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต	25
2.11	หลักการแบ่งต้นทุนย่อยตามกลุ่มต้นทุนหลัก	26
2.12	แสดงรูปอุปกรณ์ NGV แบบ Dedicated	32
3.1	แสดงขอบเขตของระบบในการศึกษา LCA และ LCC ของการติดตั้งระบบ NGV	34
3.2	ห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษยานพาหนะกรมควบคุมมลพิษ	37
4.1	แสดงการชั่งน้ำหนักเพื่อหาส่วนประกอบของวัตถุดิบอุปกรณ์ NGV	41
4.2	แสดงกระบวนการดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV	42
4.3	แผนภูมิแสดงอัตราการปล่อยมลพิษของเชื้อเพลิงดีเซล และ NGVในรถบรรทุกซีเมนต์	45

รูป		หน้า
4.4	แผนภูมิแสดงปริมาณผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละประเภทตามวัตถุประสงค์ในการ จัดหาอุปกรณ์ NGV ของรถบรรทุกซีเมนต์ 1 คัน	48
4.5	แผนภูมิปริมาณผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละประเภทตามแหล่งที่มาในการดัดแปลง เครื่องยนต์ ติดตั้งอุปกรณ์ NGV ของรถบรรทุกซีเมนต์ 1 คัน	49
4.6	แผนภูมิผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการใช้งานรถบรรทุกซีเมนต์ที่ติดตั้ง ระบบ NGV ระยะทาง 1 กิโลเมตรตามประเภทผลกระทบ	50
4.7	เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทตลอดวัฏจักรชีวิต ของ NGV และน้ำมันดีเซล	51
4.8	แสดงระยะเวลาในการคืนทุนเมื่อราคา NGV และ ระยะทางเปลี่ยนไป	54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

น้ำมันเป็นพลังงานพื้นฐานซึ่งถือว่าเป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาประเทศ และคุณภาพชีวิตของประชากร แต่ในปัจจุบันประเทศไทยประสบกับปัญหาน้ำมันราคาสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดผลกระทบหลายด้านต่อเศรษฐกิจของประเทศไทย ไม่ว่าจะเป็นภาคการเกษตร ภาคอุตสาหกรรมการผลิต ภาคบริการ-ท่องเที่ยว ประมง และภาคการขนส่ง โดยเฉพาะภาคขนส่งที่ได้รับผลกระทบในยุคน้ำมันแพงอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จึงส่งผลให้อัตราการขาดดุลการค้าเพิ่มขึ้น เพราะประเทศไทยต้องนำเข้าเชื้อเพลิงจากต่างประเทศเป็นปริมาณมากในแต่ละปี จากสถิติของประเทศไทยราคาน้ำมันดีเซลที่จำหน่ายในปี พ.ศ. 2545 ราคาเฉลี่ย 14.59 บาท แต่ในปี พ.ศ. 2551 ราคาน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นเป็นราคาเฉลี่ย 41.84 บาท (กรมธุรกิจพลังงาน, 2551) แม้ราคาจะมีความผันผวนสูงในขณะนี้แต่แนวโน้มราคาน้ำมันดีเซลอาจสูงขึ้นอีกได้อันเกิดมาจากปัญหาทางเศรษฐกิจการเมือง และความไม่สมดุลระหว่างอุปสงค์ และอุปทาน จากรายงานพบว่าปริมาณความต้องการใช้น้ำมันดีเซลในประเทศไทยมีมากถึง 53.91 ล้านลิตรต่อวัน ดังนั้นเพื่อบรรเทาปัญหาเรื่องต้นทุนการขนส่งที่สูงขึ้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องจัดหาแหล่งพลังงานทดแทนนำมาใช้เป็นการแก้ไขปัญหานี้ในระยะสั้น และระยะกลางได้ แต่ในระยะยาวต้องเร่งวิจัยพัฒนาเพื่อผลิตเชื้อเพลิงทดแทนใหม่ที่มีศักยภาพเทียบเท่าน้ำมันดีเซลสำหรับอนาคต

ก๊าซธรรมชาติดูเหมือนจะเป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทน เพื่อแก้ไขปัญหาวิกฤตน้ำมันในระยะสั้น และระยะกลาง รัฐบาลได้มีนโยบายให้ภาคอุตสาหกรรมขนส่งหันมาใช้ก๊าซธรรมชาติ โดยเฉพาะอุตสาหกรรมที่มีการใช้การขนส่งมากอย่างเช่น อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ เพราะส่วนมากการขนส่งมีผลกระทบอย่างมากต่อต้นทุนขององค์กร และเมื่อต้นทุนการผลิตสูงขึ้นย่อมส่งผลให้ราคาปูนซีเมนต์สูงขึ้นไปด้วย ทำให้เกิดผลกระทบต่อเนื่องไปยังภาคอุตสาหกรรมอื่นๆได้อีก ดังนั้นเพื่อลดต้นทุนในการขนส่ง จึงมีการคิดแปลงนำรถบรรทุกซีเมนต์มาปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล มาใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง

แต่เนื่องจากก๊าซธรรมชาติมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำมัน ดังนั้นรถบรรทุกซีเมนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติจึงต้องมีถังบรรจุก๊าซติดตั้งที่รถ ประมาณ 2-4 ถัง เพื่อให้สามารถวิ่งได้ระยะทางเกินกว่า 250 ไมล์ หรือเกินกว่า 400 กิโลเมตรโดยประมาณ แต่เนื่องจากถังบรรจุก๊าซมีขนาดใหญ่และ

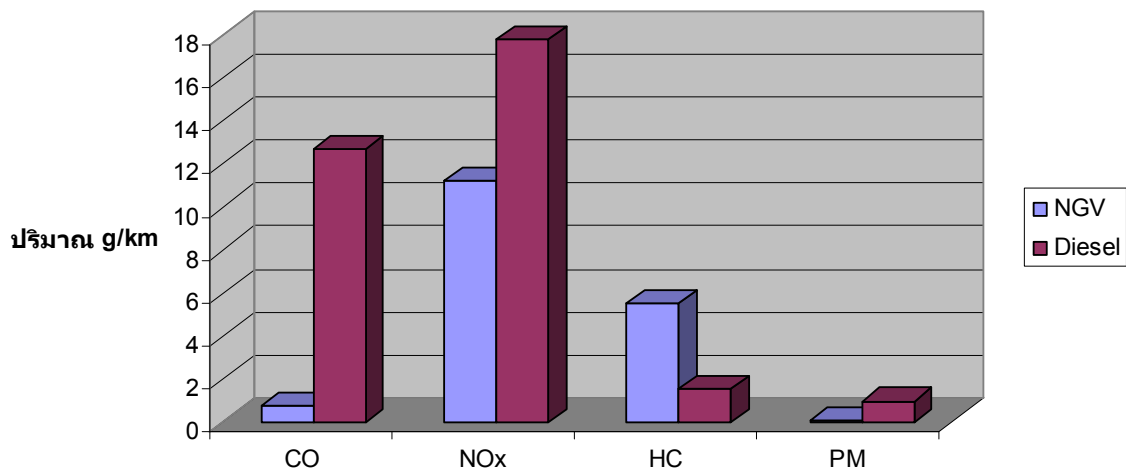
น้ำหนักมากจึงเป็นปัญหาหลักของรถ NGV ส่วนด้านการดัดแปลงรถ จะขึ้นอยู่กับเทคโนโลยีที่ใช้ ขนาดของรถและถังบรรจุก๊าซ ซึ่งการปรับเปลี่ยนดังกล่าว ผู้ประกอบการต้องรับภาระค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้น และ ในการปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลมาเป็นการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง ย่อมก่อให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและต้นทุนที่สูงขึ้นตามมาเช่นกัน ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ ภายใต้แนวความคิดของการจัดการวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Management: LCM) ซึ่งสามารถวิเคราะห์ได้ทั้งความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นได้ตลอดทั้งวงจรชีวิตของผลิตภัณฑ์ ครอบคลุมตั้งแต่การได้มาซึ่งวัตถุดิบ การผลิต การติดตั้ง การนำไปใช้งาน รวมทั้งการจัดการหลังหมดอายุการใช้งาน

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ LCA (Life Cycle Assessment) และ LCC (Life Cycle Costs) ของรถที่ใช้ก๊าซ NGV แทนการใช้น้ำมันดีเซล โดยทำการศึกษาดังแต่การนำวัตถุดิบมาผลิต การผลิต และการใช้งาน เพื่อเพิ่มศักยภาพในด้านการผลิตสามารถปรับปรุงระบบการผลิตให้มีประสิทธิภาพ ประหยัดพลังงานและทรัพยากรธรรมชาติ ลดของเสียและมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ทำให้เกิดการพัฒนายั่งยืนเกิดขึ้นอย่างเป็นรูปธรรม

1.2 สรุปสาระสำคัญ เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาของ West Virginia University สหรัฐอเมริกา ซึ่งศึกษาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ของปริมาณมลสารจากรถโดยสารเครื่องยนต์ CUMMINS LTA – 10 ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ และน้ำมันดีเซล พบว่า รถโดยสารที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ หรือ NGV มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และฝุ่นละออง น้อยกว่ารถที่ใช้ดีเซล โดยเฉพาะฝุ่นละอองมีค่าเฉลี่ยเพียง 0.027 กรัม/กิโลเมตร ในขณะที่รถดีเซลมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.965 กรัม/กิโลเมตร อย่างไรก็ตาม รถ NGV มีการปล่อยก๊าซไฮโดรคาร์บอนสูงกว่ารถดีเซล โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.52 กรัม/กิโลเมตร ในขณะที่รถดีเซลมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 1.51 กรัม/กิโลเมตร

รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณสารมลพิษชนิดต่างๆ จากรถโดยสาร NGV และดีเซล (บนเครื่องยนต์ CUMMINS LTA - 10)



รูป 1.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของปริมาณสารมลพิษชนิดต่างๆจากรถโดยสาร NGV และ ดีเซล (บนเครื่องยนต์ CUMMINS LTA - 10)

จากผลการศึกษาดังกล่าวข้างต้นจะพบว่าเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ มีระดับการปล่อยสารพิษที่ต่ำกว่าเครื่องยนต์ที่ใช้เบนซินและดีเซล โดยเฉพาะคาร์บอนมอนอกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ นอกจากนี้ ยังมีข้อมูลสนับสนุนจาก The Australian Greenhouse Office ซึ่งเปรียบเทียบรถ NGV กับรถที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิง พบว่ารถ NGV สามารถลดก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ได้ถึงร้อยละ 50 – 80 ลดก๊าซไนโตรเจนออกไซด์ได้ ร้อยละ 60 - 90 ลดก๊าซไฮโดรคาร์บอนได้ร้อยละ 60 – 80 ส่วนฝุ่นละอองนั้นแทบจะไม่มีการปล่อยออกมาเลย ดังนั้น รถ NGV จึงได้รับความสนใจมากขึ้น โดยเฉพาะข้อได้เปรียบทางด้านสภาพแวดล้อม

TNO Road-Vehicles Research Institute (Holland) [9] ได้ศึกษาทดสอบมลพิษจากเครื่องยนต์ที่ติดตั้ง Three-Way Catalytic Converter (TWC) โดยใช้รอบการทดสอบตามมาตรฐานของสหรัฐอเมริกา (FTP tests cycle) พบว่า เมื่อใช้ NGV เป็นเชื้อเพลิง จะสามารถลดปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ได้ถึง 60 % และลดปริมาณออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ได้ 13 % เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล โดย NGV มีคุณภาพไอเสียที่ดีกว่าการใช้น้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิง

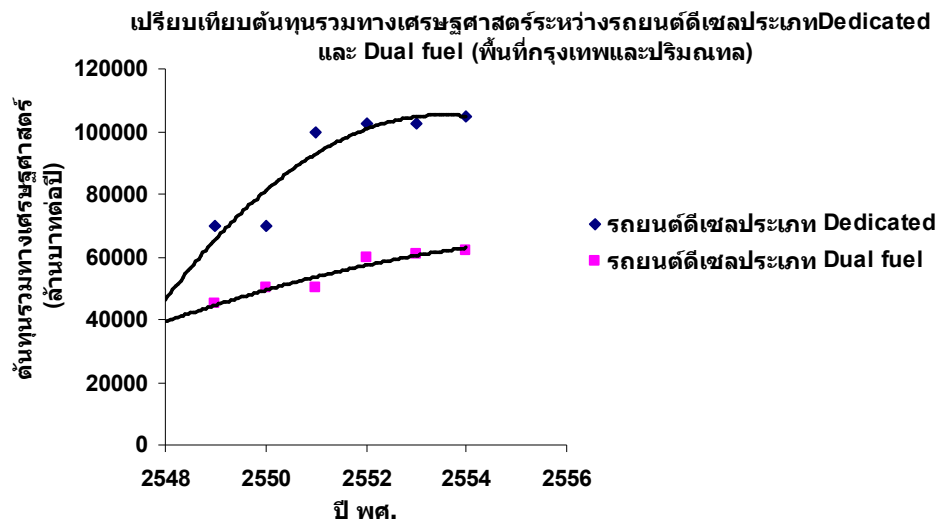
ตาราง 1.1 เปรียบเทียบมลพิษระหว่างรถโดยสาร NGV และ Diesel

เชื้อเพลิง	NO _x (g/km)	HC (g/km)	PM (g/km)	CO (g/km)
Diesel	26	3.5	1.1	12.5
NGV	7	2.5	0.1	1.5

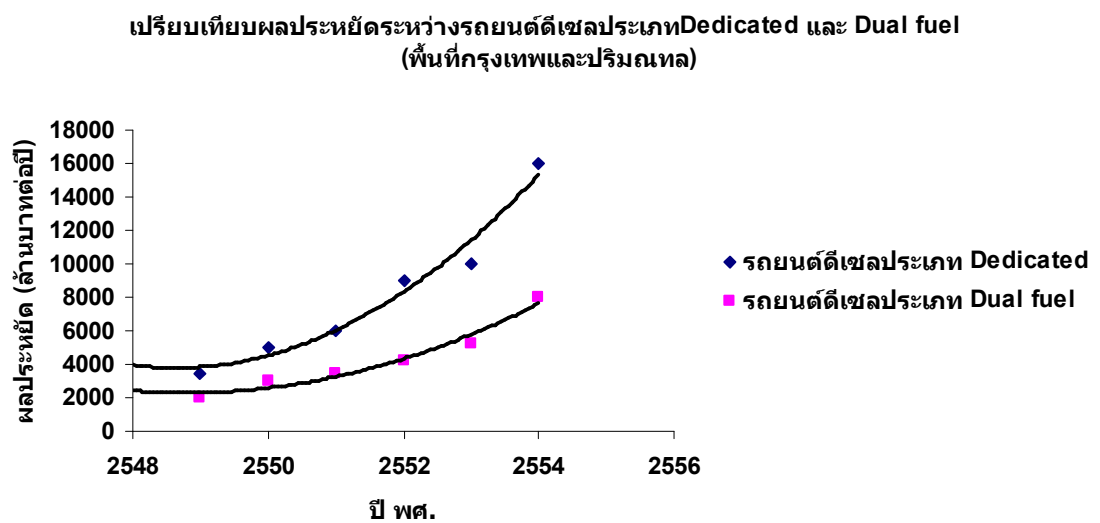
ที่มา : European Commission Thermie, 1998

จากตารางที่ 1 จะเห็นว่าปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และ ออกไซด์ของไนโตรเจน (NO_x) ที่เกิดจากไอเสียของเครื่องยนต์ที่ใช้ NGV ลดลงอย่างชัดเจน ส่วนปริมาณสารไฮโดรคาร์บอน (HC) จะเพิ่มขึ้น เพราะสารไฮโดรคาร์บอนที่ออกมาจากรถยนต์ที่ใช้ NGV ซึ่งมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบถึง 85-98% โดยคุณสมบัติของก๊าซมีเทนจะมีน้ำหนักที่เบากว่าอากาศและไม่สะสมบนพื้นดิน โดยสารคาร์บอนดังกล่าวจัดเป็นสารประเภท Non-Reactive-Hydrocarbon หรือ Non- Reactive Photo-Chemical ซึ่งเป็นสารที่ไม่ทำปฏิกิริยากับแสงแดดแล้วแปรสภาพเป็นสารพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ อีกทั้งไม่ไวต่อการทำปฏิกิริยากับไนโตรเจน(NO_x) ซึ่งแตกต่างจากสารไฮโดรคาร์บอนที่เกิดจากรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน และดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ที่จะไวต่อการทำปฏิกิริยากับ NO_x ในสถานะที่มีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ที่ทำให้เกิดหมอกควัน และเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ อีกทั้งยังทำให้ทัศนวิสัยในการมองเห็น ลดลง อันก่อให้เกิดอุบัติเหตุได้

การศึกษาของ ประทีป ช่วยเกิด พศ 2550 [4] ได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ของการนำก๊าซธรรมชาติอัดมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ดีเซลที่มีการขับเคลื่อนในพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑล โดยแบ่งประเภทของรถยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงออกเป็น 2 ประเภท คือ รถยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงอย่างเดียว (Dedicated) และรถยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซล (Dual Fuel) สำหรับศึกษานี้ได้แบ่งกลุ่มของรถยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ รถยนต์ดีเซลประเภท 4 ล้อ ได้แก่ รถยนต์บรรทุกส่วนบุคคล (Van & Pick Up) รถยนต์ดีเซลประเภท 6 ล้อ ประกอบด้วย รถโดยสารประจำทาง (Fixed Route Bus) รถโดยสารไม่ประจำทาง (Non Fixed Route Bus) และรถโดยสารส่วนบุคคล (Private Bus) รถยนต์ดีเซลประเภท 10 ล้อ ได้แก่ รถบรรทุกไม่ประจำทาง (Non Fixed Route Truck) และรถบรรทุกส่วนบุคคล (Private Truck)

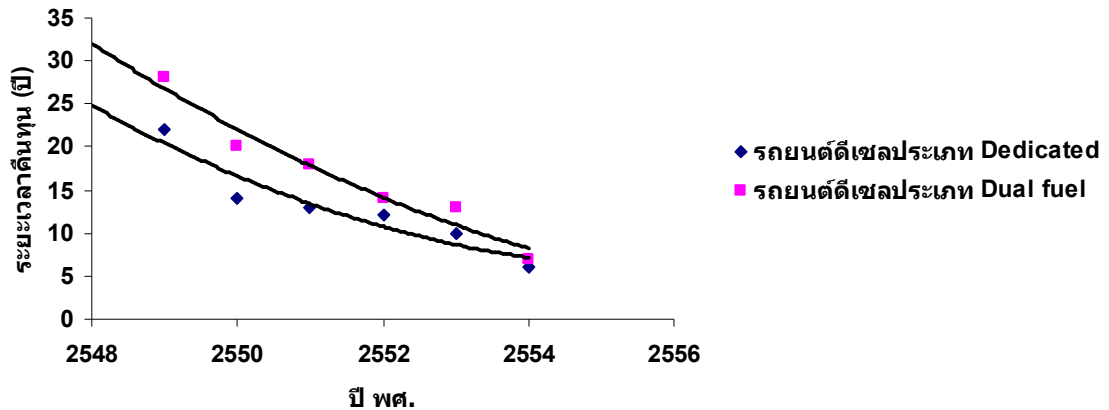


รูป 1.2 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนรวมทางเศรษฐศาสตร์ของรถยนต์ดีเซลประเภท Dedicated และ Dual fuel ระหว่าง ปี พ.ศ. 2549 ถึง 2554



รูป 1.3 แสดงการเปรียบเทียบผลประโยชน์ระหว่างรถยนต์ดีเซลประเภทDedicated และ Dual fuel ระหว่างปี พ.ศ. 2549 ถึง 2554

เปรียบเทียบระยะเวลาคืนทุนระหว่างรถยนต์ดีเซลประเภทDedicated และ Dual fuel
(พื้นที่กรุงเทพและปริมณฑล)



รูป 1.4 แสดงระยะเวลาคืนทุนระหว่างรถยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงประเภท Dedicated และ Dual fuel ในพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑล ระหว่างปี พ.ศ. 2549 ถึงปี พ.ศ. 2554

จากทั้ง 3 รูป สรุปได้ว่าต้นทุนรวมทางเศรษฐศาสตร์และผลประโยชน์ของการใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ดีเซลประเภทต่างๆ ที่มีการจับจี้ในพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑล ตามแผนการขยายจำนวนรถยนต์เอ็นจีวีประเภทรถยนต์ดีเซลและสถานีเติมก๊าซธรรมชาติของบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) ในระหว่างปี พ.ศ.2549 ถึง 2554 โดยพิจารณาเฉพาะต้นทุนรวมทางเศรษฐศาสตร์ที่มาจากการทดแทนด้วยน้ำมันดีเซลพบว่าผลประโยชน์จะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของต้นทุนรวมทางเศรษฐศาสตร์ที่เพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาต้นทุนรวมทางเศรษฐศาสตร์พบว่ารถยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงอย่างเดียว (Dedicated) จะมีต้นทุนรวมทางเศรษฐศาสตร์สูงกว่ารถยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซล (Dual fuel) ในแง่ของผลประโยชน์พบว่ารถยนต์ดีเซลประเภทที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงอย่างเดียวมีผลประโยช์ต่อปีสูงกว่ารถยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซล เมื่อประเมินระยะเวลาคืนทุนสำหรับรถยนต์ดีเซลประเภทต่างๆ ที่มีการจับจี้ในพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑล พบว่ารถยนต์ดีเซลประเภทที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงอย่างเดียว จะมีระยะเวลาคืนทุนเร็วกว่ารถยนต์ดีเซลที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัดเป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันดีเซล

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของรถบรรทุกปูนซีเมนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์

1.3.2 วิเคราะห์ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ตลอดวัฏจักรชีวิต

1.3.3 เปรียบเทียบผลทางด้านสิ่งแวดล้อม และเศรษฐศาสตร์ระหว่างรถบรรทุกปูนซีเมนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และรถบรรทุกปูนซีเมนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์

1.4 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.4.1 รถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ รถบรรทุกปูนเครื่องยนต์ 270 แรงม้า ใช้ระยะทางวิ่งทดสอบ 72,000 กิโลเมตร/ปี อายุการใช้งานเมื่อติดตั้ง 10 ปี

1.4.2 เก็บข้อมูลมลภาวะทางอากาศที่ใช้วิเคราะห์พิจารณา CO, NO_x, PM, HC ในขั้นตอนการใช้งาน

1.4.3 ศึกษารถบรรทุกที่ใช้ NGV แบบ (Dedicated NGV) ซึ่งเป็นระบบ ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเพียงอย่างเดียว

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1.5.1 สามารถเข้าใจแนวทางในขั้นตอนต่างๆ ในวัฏจักรชีวิตของการใช้ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ของรถบรรทุกปูนเพื่ออนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม

1.5.2 สามารถวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของรถบรรทุกปูนที่ใช้ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์เป็นเชื้อเพลิงและได้ทราบต้นทุนที่แท้จริงของวัฏจักรชีวิต

1.5.3 เป็นต้นแบบในการวิเคราะห์การประเมินวัฏจักรชีวิตของเชื้อเพลิงทดแทนอื่นๆ ในประเทศไทยนำข้อมูลไปสนับสนุนการพัฒนาออกแบบรถบรรทุกที่ใช้ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติความเป็นมาของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์หรือ Life Cycle Assessment: LCA เกิดขึ้นเริ่มแรกเนื่องมาจากการเกิดวิกฤตการณ์ด้านพลังงาน ในช่วงปี ค.ศ. 1970 ประกอบกับนโยบายการประหยัดพลังงานของรัฐบาลประเทศต่างๆ นั้นดำเนินไปในการการปลูกจิตสำนึกและการตระหนักถึงปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อมให้กับประชาชนมากยิ่งขึ้น การศึกษา LCA จึงถูกพัฒนาขึ้นควบคู่ไปกับแนวคิดของนักวิทยาศาสตร์ที่ต้องการค้นคว้า และวิเคราะห์ความต้องการในการใช้พลังงาน (Energy consumption) ของทางภาคอุตสาหกรรมแต่ละประเภทอย่างละเอียด และต่อมาก็ได้มีการนำไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ทางด้านทรัพยากรอื่นๆ รวมถึงการวิเคราะห์ผลกระทบจากการปล่อยมลพิษและของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต หรือบริการตามไปด้วย การศึกษา LCA อย่างจริงจังเริ่มชัดเจนขึ้นในปี ค.ศ. 1980 เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ 2 ประการคือ

- การที่ภาครัฐของประเทศต่างๆ เริ่มนำผลจากการศึกษา LCA ไปใช้มากขึ้น ทั้งในทางการค้าและการส่งเสริมทางด้านสิ่งแวดล้อมต่อสังคม
- มีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์เพื่อนำผลที่ได้จาก LCA ของผลิตภัณฑ์ชนิดต่างๆ เปรียบเทียบกันทั้งในด้านความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้นในด้านต่างๆ เช่น ปัญหาโลกร้อน และการลดลงของการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ เป็นต้น

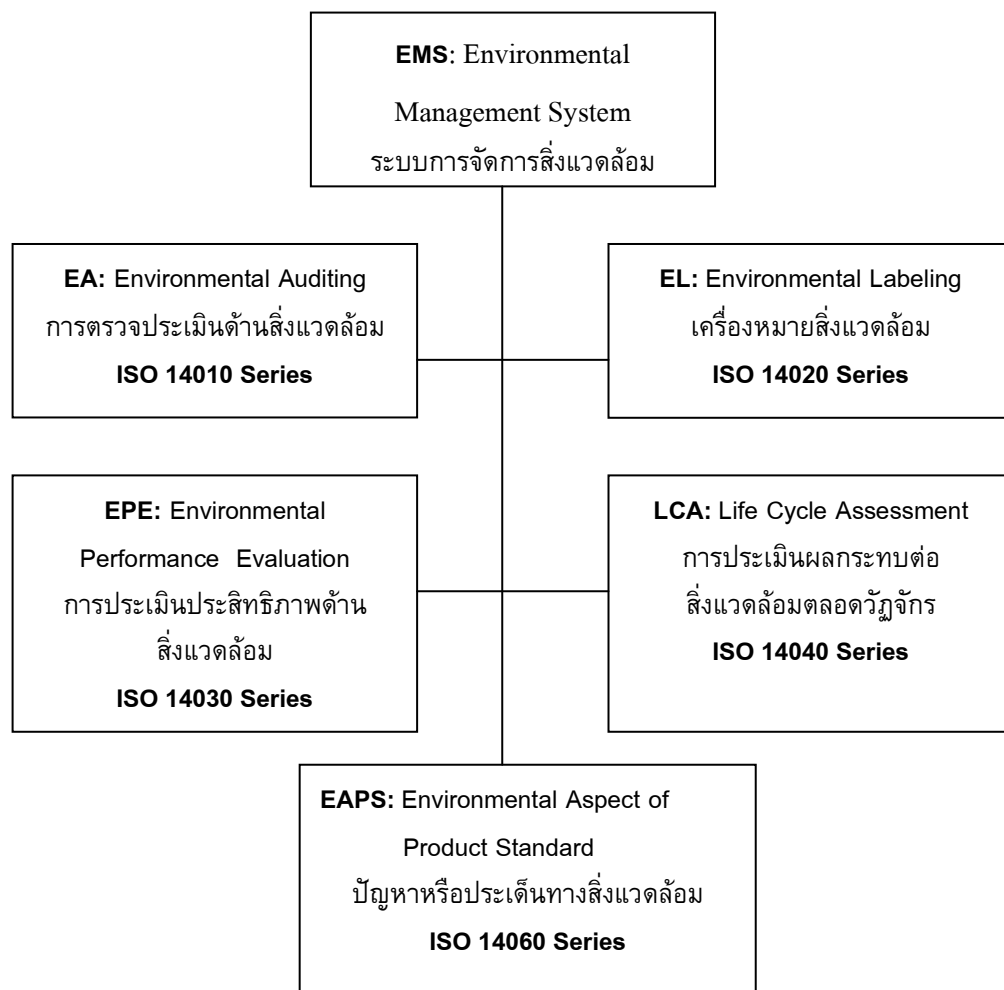
อย่างไรก็ตาม เทคนิคที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์และประเมินวัฏจักรชีวิตนั้นมีหลายวิธี ผลที่ได้จึงแตกต่างกันไปตามวิธีการ ข้อมูล การตีความของผู้ทำการวิเคราะห์หรือประเมิน รวมถึงการใช้ฐานข้อมูล ที่แตกต่างกันไป ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนทำให้ผลที่ได้ต่างกัน แม้จะเป็นการวิเคราะห์หรือประเมินผลิตภัณฑ์เดียวกันก็ตาม จากปัญหาที่กล่าวมาแล้วนั้นทำให้การกำหนดมาตรฐานในการจัดทำรายงานทางสิ่งแวดล้อมถูกจัดตั้งขึ้นมาอย่างเป็นสากล โดยจากการจัดการประชุมวิชาการในระดับนานาชาติ (International conference) เกี่ยวกับวิธีการ และหลักเกณฑ์การปฏิบัติสำหรับการทำ LCA โดยปัจจุบันอยู่ในการดูแลของสมาคมพิษวิทยาสิ่งแวดล้อมและสารเคมี (The Society of Environmental Toxicology and Chemistry: SETAC)

SETAC เป็นองค์กรนานาชาติแห่งแรกที่ทำผังโครงสร้างสำหรับการทำ LCA ซึ่งเป็นผังโครงสร้างที่เป็นรากฐานสำหรับการทำ LCA ในสถานศึกษา โรงงานอุตสาหกรรม และในองค์กรของรัฐ ซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นฐานสำหรับการพัฒนาวิธีการทำ LCA ในหลายวิธีการในปัจจุบัน ซึ่งจุดมุ่งหมายของ SETAC คือการพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ในเรื่องเฉพาะทางและการพัฒนาการประยุกต์ใช้ผลลัพธ์ในด้านการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม (อนุวัตร์, 2548)

ISO (International Organization for Standard) องค์กรระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐาน ISO เป็นองค์กรเอกชนที่เป็นผู้ให้การรับรองด้านมาตรฐานที่เป็นที่รู้จักและได้รับการยอมรับทั่วโลก โดยที่เรารู้จักกันดี ได้แก่ การพัฒนา และกำหนดอนุกรมมาตรฐาน ISO 9000 ที่ว่าด้วยมาตรฐานการจัดการองค์กร หรืออนุกรมมาตรฐาน 14000 ที่ว่าด้วยการจัดการสิ่งแวดล้อม ในส่วนของ LCA นั้นจัดอยู่เป็นหนึ่งในอนุกรมมาตรฐานการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14000 และ 14001 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของอนุกรมมาตรฐานต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 จะเห็นว่าอนุกรมมาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ชุด ISO 14040 นั้นมีการกำหนดรูปแบบวิธีการและขั้นตอนการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อเป็นมาตรฐานเพื่อใช้ในการศึกษา ดังนี้

- ISO 14040 - Principles and Framework เป็นมาตรฐานกล่าวถึงหลักการและกรอบแนวคิด
- ISO 14041 - Life Cycle Inventory Analysis เป็นมาตรฐานกล่าวถึงการวิเคราะห์และทำบัญชีรายการ
- ISO 14042 - Life Cycle Impact Assessment เป็นมาตรฐานกล่าวถึงการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม
- ISO 14043 – Interpretation เป็นมาตรฐานกล่าวถึงการแปลผลข้อมูลข้อมูลที่ได้จาก LCI และ LCIA
- TR 14047 Illustrative examples on how to apply ISO 14042 - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14042 สำหรับวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์
- TS 14048-Data Documentation Format เป็นรายงานวิชาการแสดงตัวอย่างรูปแบบเอกสารของข้อมูลด้าน LCA

- TR 14049 - Technical Report on “Illustrative examples on how to apply goal and scope definition and inventory analysis” เป็นรายงานวิชาการการแสดงตัวอย่างของการประยุกต์ใช้อนุกรมมาตรฐาน ISO 14041 สำหรับจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ (Green camp, 2006)

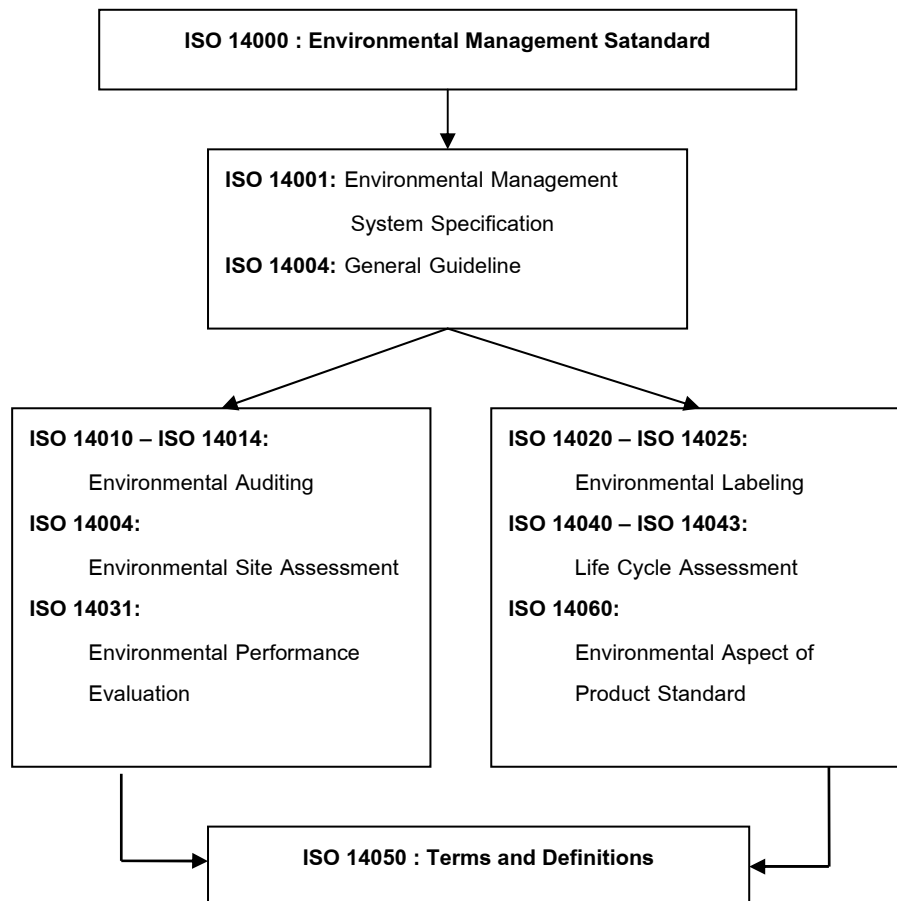


รูป 2.1 แสดงความสัมพันธ์ในอนุกรม ISO 14000 (S. Sate, 2005)

มาตรฐาน ISO 14000 นี้แบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ แนวทางปฏิบัติรวมถึงข้อกำหนดของ ISO และคำนิยามที่เกี่ยวข้องกับแนวทางในการปฏิบัติหรือข้อกำหนดนั้น ๆ ซึ่งอนุกรมทั้งหมดของกลุ่ม ISO 14000 ยกเว้น ISO 14001 ที่เป็นแนวทางในการปฏิบัติในรูปของเอกสารเชิง

บรรยายมากกว่าข้อกำหนด สำหรับระบบการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม ระบบมาตรฐาน ISO 14000 สามารถแบ่งหมวดหมู่ได้เป็น 2 กลุ่มดังแสดงในรูป 2.2 คือ

- ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม (Environmental Management System: EMS) การตรวจประเมินด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Auditing: EA) และการประเมินประสิทธิภาพด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Performance Evaluation: EPE)
- มาตรฐานการประเมินผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ (Product-oriented Standards Life Cycle Assessment: LCA) ได้แก่ เครื่องหมายทางสิ่งแวดล้อม (Environmental Labeling: EL) และ ปัญหาสิ่งแวดล้อม (Environmental Aspects in Product Standards: EAPS)



รูป 2.2 แสดงความสัมพันธ์ของอนุกรม ISO 14000 ในแต่ละอนุกรม และความสัมพันธ์ของอนุกรม
ที่เกี่ยวกับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอด
วัฏจักรชีวิต กับอนุกรมทั้งหมด (S. Sate, 2005)

สำหรับมาตรฐานของ ISO ในด้าน LCA นั้นให้ความสนใจทั้งในมุมมองด้านเทคนิค (Technical Aspects) และมุมมองด้านการจัดการในองค์กร (Organization Aspects) สำหรับมุมมองด้านการจัดการนั้น จะมุ่งเน้นในด้านการออกแบบกระบวนการที่เป็นจุดวิกฤติที่อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และให้ความสนใจเป็นพิเศษต่อการเปรียบเทียบหาสิ่งที่เป็นประโยชน์เพื่อเปิดเผยสู่สาธารณชน นอกจากนี้ ISO LCA ยังครอบคลุมเนื้อหาที่เกี่ยวกับการบริหารจัดการกลยุทธ์ที่จะทำให้บรรลุถึงเป้าหมายไว้ รวมทั้งข้อกำหนดในการรายงานผล มาตรฐานที่เป็นตัวแสดงถึงการจัดการประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ Environmental Management-Life Cycle Assessment อีกด้วย

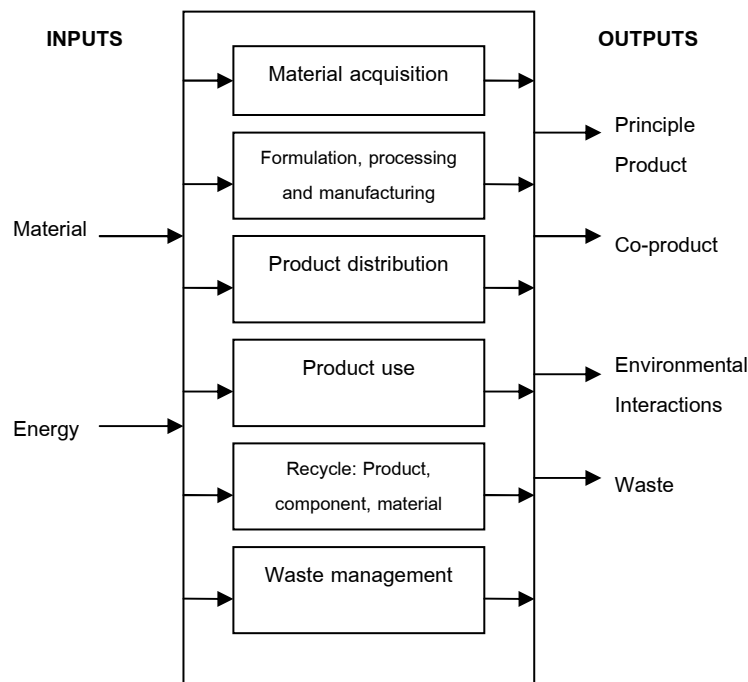
UNEP (The United Nations Environmental Program) โครงการด้านสิ่งแวดล้อมขององค์การสหประชาชาติ UNEP ได้นำ LCA ไปใช้ในการกำหนดกลยุทธ์ และนโยบายทางสิ่งแวดล้อม และได้ส่งเสริมการจัดทำ LCA ภายใต้โครงการ Life Cycle Initiative และได้มีการเผยแพร่ หลักการโดยเฉพาะประเทศที่กำลังพัฒนาได้นำเอา LCA ไปใช้ ตลอดจนกลุ่มคนที่สนใจเรื่อง LCA หลายๆกลุ่มทั่วโลกซึ่งมุมมองที่แตกต่างกันเกี่ยวกับ LCA ได้รวมตัวกันเป็นกลุ่มความร่วมมือระหว่างกันเช่น กลุ่ม LCA ในประเทศสหรัฐอเมริกา และ CML ในประเทศเนเธอร์แลนด์ ซึ่งอยู่ภายใต้การดูแลของ UNEP อีกด้วย (อนุวัตร, 2548)

สำหรับในประเทศไทยมีหน่วยงานต่างๆ ที่ให้ความสำคัญ สนับสนุน และเผยแพร่ความรู้เกี่ยวกับ LCA เข้าสู่ภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย โดยสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม (TISI) สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย (TEI) และกรมโรงงานอุตสาหกรรม ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 เนื่องจาก LCA เป็นส่วนหนึ่งในอนุกรมมาตรการจัดการสิ่งแวดล้อม ISO 14040 โดยเริ่มต้นจากการสัมมนาหรือประชุมเชิงปฏิบัติการผ่านกลุ่มของคณะกรรมการนักธุรกิจเพื่อสิ่งแวดล้อมหรือ Thailand Business Council for Sustainable Development: TBCSD องค์กรเอกชนต่างๆ สถาบันการศึกษา หน่วยงานราชการ และกลุ่มนักวิชาการที่สนใจ สำหรับหน่วยงานราชการที่มีบทบาทสำคัญต่อการผลักดันการศึกษา LCA ในประเทศไทยได้แก่ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และ สำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) โดยกลุ่มวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสะอาด ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

2.2 นิยามและความหมายของการประเมินวัฏจักรชีวิต

การประเมินวัฏจักรชีวิต หรือ Life Cycle Assessment : LCA คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ โดยเริ่มตั้งแต่การสกัดหรือได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การนำ

กลับมาใช้ใหม่หรือการแปลงสภาพ และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์ที่หมดอายุ หรืออาจกล่าวได้ว่า LCA จะมีการพิจารณาผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการนั้นๆ ตั้งแต่เกิดจนตาย (Cradle to grave) โดยมีการระบุถึงปริมาณพลังงานและวัสดุทั้งหมดที่ใช้ รวมทั้งของเสียทั้งหมดที่มีการปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมภายใต้ขอบเขตที่กำหนด ทั้งนี้เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการหาวิธีปรับปรุงผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ เพื่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูป 2.3 การพิจารณาวัฏจักรชีวิตของกระบวนการและผลิตภัณฑ์ต่างๆ ในด้านการใช้วัสดุ การใช้พลังงาน และของเสียที่ออกจากระบบ (Thomas E. Graedel, 1998)

2.3 วัตถุประสงค์ในการทำ LCA

วัตถุประสงค์ของ LCA คือการรวบรวมและประเมินผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ บริการ การใช้งาน หรือกระบวนการที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำผลที่ได้จาก LCA ไปปรับปรุงพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้สมบูรณ์ ตลอดจนก่อให้เกิดการจัดการขึ้นอย่างเป็นระบบ และยั่งยืน โดยใช้มุมมองทางสิ่งแวดล้อมมาสนับสนุนอีกทางหนึ่ง โดยการนำเอา LCA มาประยุกต์ใช้นั้นมีจุดมุ่งหมายหลัก 3 ประการซึ่งได้แก่

- **การปรับปรุงผลิตภัณฑ์** ผลที่ได้จาก LCA นั้นสามารถทำให้เห็นถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งหมดตลอดช่วงชีวิต ทำให้มองเห็นปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างตรงจุด ทำให้สามารถ

ตัดสินใจในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ได้ชัดเจน และสามารถวางแผนกลยุทธ์ผลิตภัณฑ์นั้นๆ ได้ในทิศทางที่ถูกต้องต่อไป

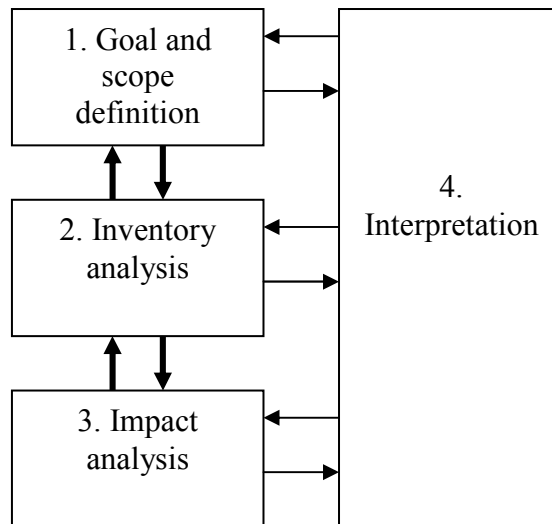
- **การมองผลกระทบโดยรวม** สามารถมองภาพรวมที่เกิดขึ้นจาก LCA ได้ทั้งหมดและสามารถเชื่อมโยงความสัมพันธ์ของผลกระทบ ตลอดจนปัญหาได้อย่างชัดเจน
- **เป็นการศึกษาที่ละเอียดและเป็นระบบ** เป็นวิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่สามารถใช้ให้ถึงเหตุที่เกิดจากผลที่สามารถพิสูจน์ได้ โดยอาศัยข้อมูลที่เป็นรูปธรรมหรือในเชิงปริมาณ จึงเป็นเครื่องมือที่มีความน่าเชื่อถือในการนำมาวิเคราะห์ ไม่ได้เป็นเพียงการตัดสินใจของผู้ที่ทำการศึกษานั้น

หรืออาจกล่าวได้ว่า วัตถุประสงค์หลักของการศึกษา LCA คือ เพื่อประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการนั้นๆ ตลอดจนกระบวนการที่เกี่ยวข้องหรือหน้าที่การใช้งานของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ และยังสามารถนำผลการวิเคราะห์มาเป็นแนวทางในการเปรียบเทียบและตัดสินใจทั้งในการเลือกผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ โดยมีปัจจัยในทางสิ่งแวดล้อมเข้ามาประกอบการตัดสินใจอีกด้วย

2.4 ขั้นตอนในการศึกษาวัฏจักรชีวิต

เพื่อให้การดำเนินไปของ LCA เป็นไปในทิศทางเดียวกันและง่ายต่อการศึกษาก็ยึดขั้นตอนในการศึกษา LCA ดังรูปที่ 2.4 ตามโครงสร้างของ ISO 14040 (1997E) ซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการศึกษา LCA ออกเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

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



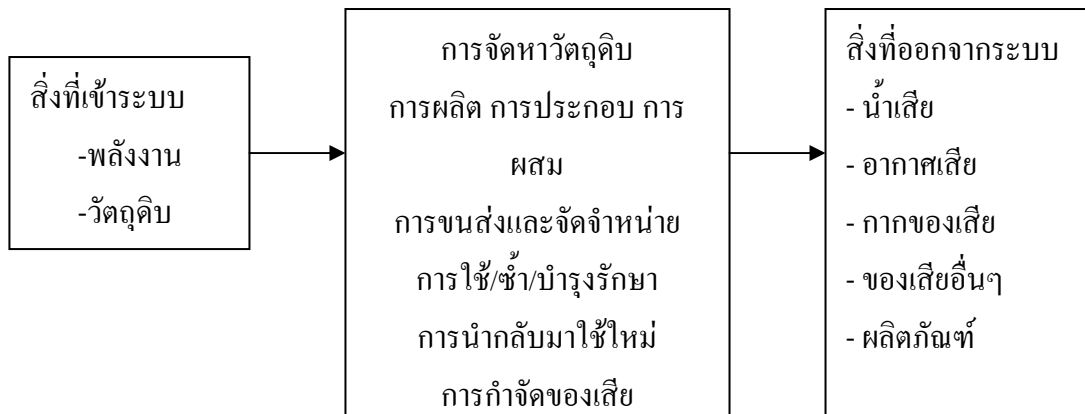
รูป 2.4 ขั้นตอนและโครงข่ายในการทำ LCA ตามหลัก ISO (ISO 14040, 1997)

2.4.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต (Goal and scope definition)

การกำหนดเป้าหมาย (Goal definition) คือ การกำหนดวัตถุประสงค์ รวมทั้งพิจารณาถึงเหตุผลในการศึกษา ลักษณะในการนำผลที่ได้ไปใช้ ไม่ว่าจะนำไปปรับปรุงกระบวนการ หรือนำไปเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการอื่นๆ ภายใต้ขอบเขตที่เรากำหนดไว้ เป็นต้น

การกำหนดขอบขอบเขต (Scope definition) คือการบ่งชี้และกำหนดสิ่งที่ต้องการประเมินและจำกัดรวบรวมสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อเป้าหมายของ LCA ซึ่งจะประกอบด้วย

2.4.1.1 ขอบเขตของระบบ (System boundary) หมายถึง ขอบเขตระหว่างผลิตภัณฑ์และสิ่งแวดล้อม หรือกระบวนการที่มีความเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการศึกษา ไม่ว่าจะ เป็น วัสดุหรือพลังงาน ที่นำเข้าไปในระบบ ของเสีย หรือผลพลอยได้ที่ออกจากระบบ โดยที่สามารถแบ่งกระแสขั้นตอนของทรัพยากรวัตถุดิบหรือพลังงาน จากสิ่งแวดล้อมที่เข้าสู่ระบบก่อนถูกเปลี่ยนแปลงในกระบวนการต่างๆ ดังรูป



รูปที่ 2.5 ขอบเขตของระบบที่สามารถกำหนดตามความเหมาะสมของเป้าหมาย
(เทวินทร์ สิริโชคชัยกุล, 2542)

2.4.1.2 หน่วยการทำงานของระบบ (Functional unit) คือ หน่วยวัดผลงานของระบบที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบหรือเป็นตัววัดค่าระหว่างผลิตภัณฑ์ สำหรับสิ่งเข้า และสิ่งออกจากระบบ มีความสำคัญในการใช้เปรียบเทียบผลของ LCA โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อใช้เปรียบเทียบระหว่างระบบที่ต่างกัน โดยลักษณะสำคัญของหน่วยการทำให้มี 3 คือ (1) บอกถึงประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ (2) บอกถึงความคงทนของผลิตภัณฑ์ และ (3) บอกถึงคุณสมบัติพื้นฐานในการเปรียบเทียบระหว่างระบบที่สามารถทำได้ด้วยการทำหน้าที่พื้นฐานของระบบที่เหมือนกัน

2.4.1.3 คุณภาพของข้อมูล (Data quality) คือ การกำหนดคุณภาพของข้อมูลที่ต้องการในการทำ LCA เพื่อเป็นพื้นฐานในการหาข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการศึกษา และทำให้เกิดการได้มาของข้อมูลที่เป็นระบบ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อต้องการใช้ผลของ LCA เพื่อเปรียบเทียบซึ่งกันและกัน ลักษณะของข้อมูลที่ดีนั้นต้องมีความละเอียด และชัดเจน ซึ่งต้องสามารถระบุถึงการได้มาของข้อมูลว่าได้มาจากวิธีใด ไม่ว่าจะเป็นจากการเก็บข้อมูล การคำนวณ หรือเป็นการอ้างอิงข้อมูลจากที่ได้มีผู้ศึกษาไว้แล้ว เป็นต้น

2.4.2 การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม (Inventory analysis)

การจัดทำบัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อม คือ การเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมจากระบบการที่ได้มีการนิยามไว้แล้วในขั้นตอนการกำหนดขอบเขต (Scope-definition) รวมทั้งการสร้างแบบจำลองของระบบผลิตภัณฑ์ (Product system) การคำนวณหาปริมาณของสารขาเข้าและสารขาออกจากระบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งอาจรวมถึง ทรัพยากรและพลังงานที่ใช้ หรือการปล่อยของเสียเข้าสู่ อากาศ น้ำ และดิน เป็นต้น ข้อมูลเหล่านี้จะใช้ในการหาผลกระทบ

ต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์ การเก็บข้อมูลควรจะอยู่ในรูปแบบที่เข้าใจได้ง่าย สอดคล้องกับการไหลของกระบวนการ โดยมีสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ

- ต้องมีการคัดเลือกข้อมูลที่เหมาะสมทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ
- ต้องมีการกลั่นกรองขอบเขตของข้อมูลให้สอดคล้องกับระบบ
- ข้อมูลที่ได้สามารถนำไปใช้ในการคำนวณได้
- ความถูกต้องและแม่นยำของข้อมูลสูง มีความน่าเชื่อถือ
- สามารถทำให้เห็นถึงความสอดคล้องและเชื่อมโยงของข้อมูลที่ได้
- สามารถนำไปใช้ได้ในกรณีที่ต้องการการป้อนส่วนของข้อมูล

สำหรับวิธีการเก็บและการวิเคราะห์ข้อมูลตามหลักของ ISO 14040 (1997) และ ISO 14041 (1998) การเก็บและวิเคราะห์ข้อมูลได้ถูกแบ่งออกเป็นขั้นตอนการดำเนินการดังนี้ (อนุวัตร์, 2548)

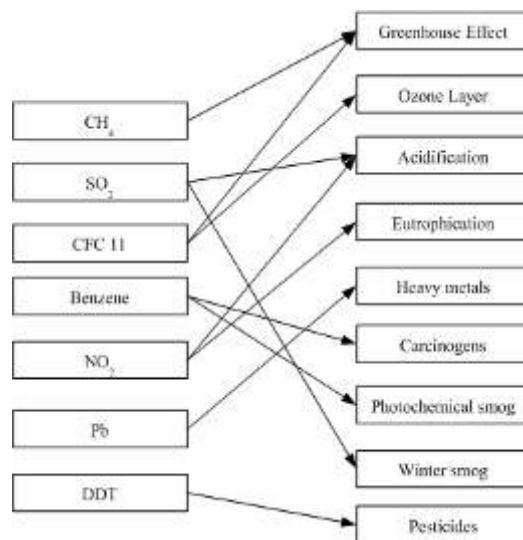
- การจัดเตรียมการรวบรวมข้อมูล
- รวบรวมข้อมูล
- ตรวจสอบและทวนสอบข้อมูลที่ได้เพื่อให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง
- หาความสัมพันธ์กับหน่วยของกระบวนการ (Unit process)
- หาความสัมพันธ์กับหน่วยวัดผลงานของระบบ (Functional unit)
- พิจารณาเรื่องการใช้พลังงานทดแทน และการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ (Allocation and recycling) เพื่อนำไปหักลบออกจากผลกระทบ
- สรุปผลที่ได้รับจากการวิเคราะห์
- ปรับปรุงขอบเขตของระบบให้เหมาะสม

2.4.3 การประเมินผลกระทบ (Impact assessment)

ตามอนุกรมมาตรฐานการประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ ISO 14042 (1998) ได้กำหนดวิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตนั้นประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญ 2 ขั้นตอน คือการจำแนกข้อมูลในบัญชีรายการให้เข้ากลุ่มผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม (Selection of impact categories, Category indicators, and Characterization models) และ การแปลงข้อมูล

ดังกล่าวให้เป็นค่าความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม แต่เนื่องจากวิธีการที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ไม่ว่าจะเป็นการคำนวณเองหรือการอาศัยการประเมินผลโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป จึงทำให้เกิดขั้นตอนนอกเหนือจากอนุกรมมาตรฐาน ISO กำหนด ซึ่งจะมีที่ขั้นตอนนั้นก็ขึ้นกับวิธีการที่นำมาประเมินนั่นเอง สำหรับในงานวิจัยนี้ได้อาศัยการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากโปรแกรมสำเร็จรูปโดยใช้หลักการคำนวณโดยวิธี EDIP (Environmental Design of Industrial Products) ซึ่งมีขั้นตอนในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมดังนี้

2.4.3.1 การจำแนกประเภทและการกำหนดบทบาท (Classification and characterization) การจำแนกประเภท (Classification) คือขั้นตอนการจำแนกกลุ่มของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากข้อมูลที่ได้ในการจัดทำบัญชีรายการหรือ LCI โดยจะดูถึงความสัมพันธ์ของข้อมูลกับผลกระทบที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูป ซึ่งยกตัวอย่างได้แก่ NO_2 ที่เกิดขึ้นในช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์นั้นสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งในด้าน การเกิดฝนกรด (Acidification) และการเจริญเติบโตที่มากเกินไปของพืชชั้นต่ำในแหล่งน้ำ (Eutrophication) ดังรูป 2.6



รูป 2.6 การจำแนกสารตามประเภทของผลกระทบ (Goedkoop *et al.*, 1996)

การกำหนดบทบาท (Characterization) คือ การแปลงข้อมูลที่ถูกจำแนกประเภทว่าก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ว่าเป็นทางด้านใดแล้วจากขั้นตอนที่ 1 ให้อยู่ในรูปค่า

ความสามารถในการก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสารดังกล่าวกับสารอ้างอิงพื้นฐานหรือที่เรียกว่า Equivalent or Characterization factors: EF โดยสามารถหาได้จากสมการที่ (2.1)

$$EP_j = \sum (Q_i \times EF_{ij}) \quad (2.1)$$

EP_j = (Environmental impact potential) คือค่าศักยภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม สำหรับผลกระทบประเภท j ใด ๆ (kg substance equivalent)

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

EF_{ij} = (Equivalency factor) คือค่าเทียบเท่าของสาร i ที่ทำให้เกิดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j (kg substance equivalent/ kg substance j)

2.4.3.2 การหาขนาดของผลกระทบ (Normalization) คือ ขั้นตอนการแสดงความขนาดของผลกระทบของผลิตภัณฑ์หรือการบริการที่ศึกษา กับขนาดของผลกระทบสิ่งแวดล้อมนั้นๆ ในระดับประเทศ ภูมิภาค ระดับโลก หรือกับผลิตภัณฑ์หรือบริการที่ต้องการอ้างอิง โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.2)

$$NP_{j(product)} = EP_j / (T \times ER_j) \quad (2.2)$$

$NP_{j(product)}$ = (Normalized environment impact potential) ค่าปกติทางศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใดๆของผลิตภัณฑ์ (Person)

T = (Lifetime of product) คืออายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์ (Year)

ER_j = (Normalization reference) คือค่าอ้างอิงปกติของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ j ใดๆ ที่เกิดจากการกระทำของคนหนึ่งคนต่อปี (kg substance equivalent/person/year)

2.4.3.3 การให้น้ำหนัก (Weighting) คือ ขั้นตอนในการให้น้ำหนักความสำคัญของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น โดยค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมแต่ละชนิดจะต่างกันไป ขึ้นกับมุมมองของผู้ประเมินว่าจะกำหนดค่ามลภาวะ (Weighting Factor: WF) ว่าเป็นเท่าใด ซึ่งสามารถหาค่าได้จากสมการที่ (2.3)

$$WP_j = WF_j \times NP_j \quad (2.3)$$

WP_j = (Weighted environmental impact potential) คือ ค่าศักยภาพผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ หลังการให้ค่าน้ำหนักความสำคัญแล้ว (Person for target year: Pt.)

WF_j = (Weighting factor) คือค่าสัดส่วนน้ำหนักความสำคัญของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม j ใด ๆ ในปีที่ตั้งเป้าหมายเอาไว้

สำหรับในโปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้กัน ได้ใช้ข้อมูลทางด้านสิ่งแวดล้อมของทวีปยุโรป ค่าที่ได้หลังจากขั้นตอนการให้น้ำหนัก เรียกว่า คะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) โดยมีที่หน่วยวัดเป็น Pt. หรือ Person for target year หน่วยเดียวกับค่า NP_j ซึ่งหน่วย Pt. เกิดจากกระบวนการหาขนาดของผลกระทบที่ต้องการจะรวม ค่าในกลุ่มผลกระทบต่างที่มีหน่วยต่างกัน เช่น ภาวะโลกร้อนมีหน่วย kg CO_2 ภาวะการลดลงของชั้นบรรยากาศมีหน่วย kg CFC11 โดยการหาค่ากลาง ดังนั้นค่า Pt. จะเป็นการแสดงจำนวนเท่าของค่ากลาง จะสามารถรู้ค่าว่ามีค่ามากหรือน้อยจะต้องทำการเปรียบเทียบกับค่ากลาง หรือใช้ในการเปรียบเทียบกับค่า Pt. ด้วยกัน (Green camp, 2006)

2.4.4 การแปลผลและการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์

(Life Cycle Interpretation)

การแปลผลและการประเมินเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ของ LCA คือ การนำเอาข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในขั้นตอนการทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อมหรือ LCI แล้วทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น มาสรุป รวบรวม ตีความหมาย และแปลค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการนั้นๆ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะทำให้ทราบว่าในช่วงใดของวัฏจักรชีวิตที่เกิดผลกระทบมากที่สุด ความรุนแรงของผลกระทบนั้นเป็นเท่าใด และสามารถทำให้ทราบถึงที่มาของผลกระทบนั้นเพื่อที่จะนำไปสู่ ผลสรุป และข้อเสนอแนะ ต่อไป ซึ่งในขั้นตอนการแปลความหมายของผลกระทบนี้ต้องทำด้วยความระมัดระวัง และอยู่ภายใต้ของเป้าหมาย วัตถุประสงค์ และขอบเขตที่ได้ที่กำหนดไว้ในขั้นตอนแรกด้วย

วัตถุประสงค์ของการแปลผลและการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์นั้นก็เพื่อ จำแนกแนวทางและหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดในการลดผลกระทบที่เกิดขึ้นได้อย่างตรงประเด็น หรือสามารถนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับประกอบการตัดสินใจเลือกใช้ผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่สามารถทดแทนกันได้ โดยอาศัยมุมมองทางสิ่งแวดล้อมในการตัดสินใจต่อไป

สำหรับขั้นตอนการแปลผลและการประเมินวัฏจักรชีวิตเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์นั้น ประกอบด้วยขั้นตอนหลักสามขั้นตอนได้แก่

- การจำแนกทางเลือกในการปรับปรุงทางสิ่งแวดล้อมที่เป็นไปได้ โดยทั่วไปจะพิจารณาเลือกช่วงในวัฏจักรชีวิตที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุดเป็นหลัก ไม่ว่าจะเป็นกระบวนการหรือปัจจัยที่เป็นสาเหตุ เพื่อจะนำไปสู่การปรับปรุงแก้ไขให้ผลกระทบลดลงต่อไป
- การวิเคราะห์เพื่อประเมินทางเลือกในการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมประกอบกัน โดยมองถึงความเป็นไปได้ถึงแนวทางทั้งหมดที่จะนำมาปรับปรุง โดยสอดคล้อง กันกับกระบวนการ ทั้งในด้านเทคนิคและต้นทุนประกอบกันเพื่อเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุด
- คัดเลือกทางเลือกในการปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อม โดยทำการคัดเลือกวิธีที่เหมาะสมที่สุดโดยเรียงลำดับจากวิธีที่เป็นไปได้มากที่สุดจากมากไปหาน้อยในการลดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบกับความเหมาะสมของเทคนิค และต้นทุนในทางเลือกนั้นๆ โดยจัดทำเป็นบทสรุป ข้อเสนอแนะ และรายงานผลที่ได้ให้ผู้เกี่ยวข้องทราบต่อไป

2.5 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับความหมายของต้นทุนแบบเดิม

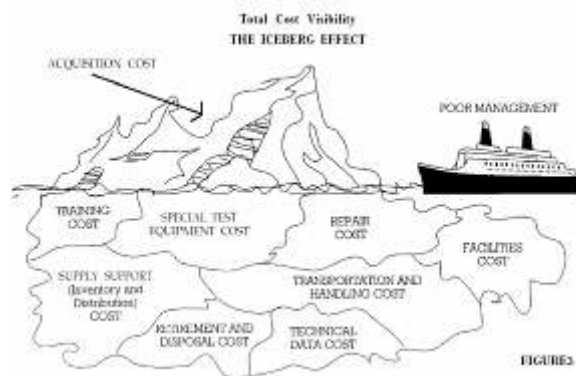
ต้นทุน คือ จำนวนที่จัดได้ในรูปของเงินตราการจ่ายเงินสดหรือการโอนสินทรัพย์ให้ การออกหุ้นสามัญไป การได้รับบริการ หรือ การเกิดขึ้นของหนี้สินในการได้รับมาซึ่งสินค้าหรือบริการ

ในระบบบัญชีต้นทุนแบบเดิมนั้นได้แบ่งต้นทุนในการผลิตสินค้าออกเป็น 3 ประเภทหลัก คือ ต้นทุนวัตถุดิบทางตรง ค่าแรงทางตรง และค่าใช้จ่ายโรงงานหรือค่าเสียหายการผลิต ซึ่งแบ่งต้นทุนตามส่วนประกอบของสินค้า ดังมีรายละเอียดดังนี้

- วัตถุดิบทางตรง (Direct material) หมายถึง ต้นทุนของวัตถุดิบที่เป็นส่วนหลัก หรือส่วนสำคัญในการผลิต สามารถวัดจำนวนได้โดยง่าย และมีค่าแน่นอน ซึ่งวัตถุดิบทางตรงของผลิตภัณฑ์สามารถมีได้มากกว่า 1 ชนิด ขึ้นกับส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ เช่น วัตถุดิบในการทำเสื้อ ประกอบด้วยต้นทุนของผ้า และกระดุม เป็นต้น ซึ่งการวัดต้นทุนวัตถุดิบทางตรงจะวัดจากปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ไป และวัดราคาต่อหน่วยของวัตถุดิบที่ใช้ไป และอาจจะบวกด้วยต้นทุนที่สัมพันธ์กับวัตถุดิบเข้าไปด้วย เช่น ค่าระวาง ค่าตรวจสอบ ค่าขนส่ง เป็นต้น

- ค่าแรงทางตรง (Direct labour) หมายถึง ต้นทุนที่เกิดจากการจ้างคนงานที่ทำการผลิตสินค้านั้น ภายในเวลาที่สามารถทำการผลิตได้ตามต้องการ เช่น ค่าจ้างคนงานในการตัดเย็บเสื้อผ้า เป็นต้น เวลานี้จะคิดเฉพาะเวลาที่เสียไปในการผลิตนั้น เวลาที่ล่วงไปโดยไม่เกิดผลผลิตจะถือว่าเป็นแรงงานทางอ้อมซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของโสหุ้ยการผลิต
- โสหุ้ยการผลิต (Manufacturing overhead) หรือค่าใช้จ่ายโรงงานเป็นต้นทุนทางอ้อม คือต้นทุนที่ไม่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับผลิตภัณฑ์ ซึ่งสามารถแยกได้ดังนี้
 - วัสดุทางอ้อม (Indirect material) คือวัสดุหรือวัตถุดิบที่ไม่สามารถคิดเข้ากับการผลิตได้ เนื่องจากมีจำนวนน้อยมาก หรือมีปริมาณไม่แน่นอน ไม่คุ้มค่าความยุ่งยากที่จะนำมาคิดเป็นวัสดุทางตรง เช่น ด้าย เป็นต้น
 - แรงงานทางอ้อม (Indirect labour) คือเวลาที่ล่วงเลยไปโดยไม่ก่อให้เกิดผลิตภัณฑ์ถือเป็นเวลาว่างเปล่า (Ideal time) (อิสรา, 2539)

จากความหมายและองค์ประกอบของต้นทุนดังที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นว่าการคิดต้นทุนแบบเดิมนั้นจะมุ่งประเด็นในการคิดต้นทุนให้เห็นชัดเจนต่อหน่วยของการผลิตเป็นหลัก โดยค่าใช้จ่ายบางรายการนั้นไม่มีความสัมพันธ์กับหน่วยการผลิต เช่น ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักร ค่าฝึกอบรม ค่าส่งเสริมการขาย เป็นต้น ซึ่งค่าใช้จ่ายเหล่านี้อาจเป็นเพียงการประมาณการหรืออาจถูกมองข้ามไปทำให้ผู้ประกอบการนั้นไม่สามารถมองเห็นต้นทุนอื่นๆ ที่ต้องแบกรับไว้ เนื่องจากต้นทุนต่อหน่วยการผลิตนั้นไม่ใช่ต้นทุนทั้งหมดที่แท้จริง จึงทำให้เกิด ปรากฏการณ์ภูเขาน้ำแข็ง (Iceberg effect) ดังรูปที่ 2.7 เมื่อประกอบกับการจัดการองค์กรไม่ดีแล้วอาจทำให้กิจการไม่สามารถดำเนินไปอย่างราบรื่นได้เนื่องจากแบกรับต้นทุนมากเกินไปนั่นเอง

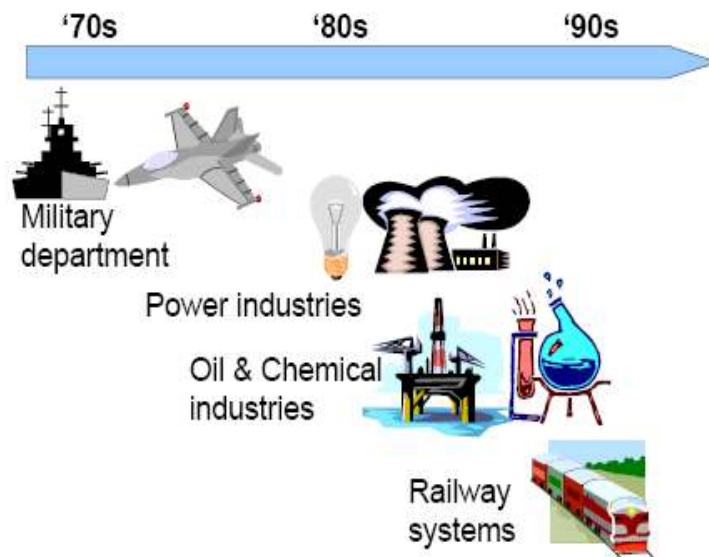


รูป 2.7 ต้นทุนที่มองไม่เห็นก่อให้เกิด ปรากฏการณ์ภูเขาน้ำแข็ง

(Total cost visibility: The iceberg effect) (HM Treasury PCPU Guidance)

2.6 ประวัติความเป็นมาของการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Cost: LCC)

การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตหรือ LCC นั้นเริ่มต้นมาจากแผนการทางการทหารของสหรัฐอเมริกา US-Department of Defense (DOD) ที่นำเอา LCC มาใช้ในการประเมินต้นทุนในกิจกรรมทางการทหาร เช่น การการขนส่งเคลื่อนย้ายคนและวัสดุรวมถึงการจัดการความต้องการวัสดุ อุปกรณ์ การดำเนินการทางการทหาร และการจัดซื้อต่างๆ และแนวคิด LCC ที่เกิดขึ้นในตอนนั้นก็เริ่มขึ้นในแผนการที่มีชื่อเรียกว่า Integrated Logistics Support: ILS นั่นเอง โดยแผน ILS นี้จะทำการประเมินอุปกรณ์ที่จำเป็นทั้งหมดภายในแผนการที่กำหนดของกองทัพ ว่าต้องการใช้อะไรบ้าง โดยจะเลือกที่สามารถนำมาใช้แล้วก่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ในราคาที่เหมาะสม รวมถึงการซ่อมบำรุงตลอดอายุการใช้งาน โดยเฉพาะการจัดซื้ออาวุธ และเมื่อแผนนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีก็มีการนำไปใช้เป็นแนวทางหลักของกองกำลังทหาร และในช่วงปลายปีปี 1980s นั้นก็ได้มีการนำแนวคิดของการประเมินค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตนี้ไปใช้ ในภาคการอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมการผลิตเครื่องบิน โรงไฟฟ้า อุตสาหกรรมผลิตเชื้อเพลิงและสารเคมี และการรถไฟ ดังแสดงให้เห็นลำดับของการนำ LCC ไปประยุกต์ใช้ในช่วงเวลาต่างๆ ดังรูป 2.8 จนกระทั่งปัจจุบันนี้ก็ได้มีการนำเอา LCC มาใช้อย่างแพร่หลายในทุกภาคส่วนไม่เฉพาะในภาคอุตสาหกรรมเท่านั้น



รูป 2.8 การพัฒนาและการประยุกต์ใช้การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตเริ่มตั้งแต่ยุค '70s-'90s

(Yoshi and Marvin, 1999)

2.7 แนวคิดและหลักการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Cost: LCC)

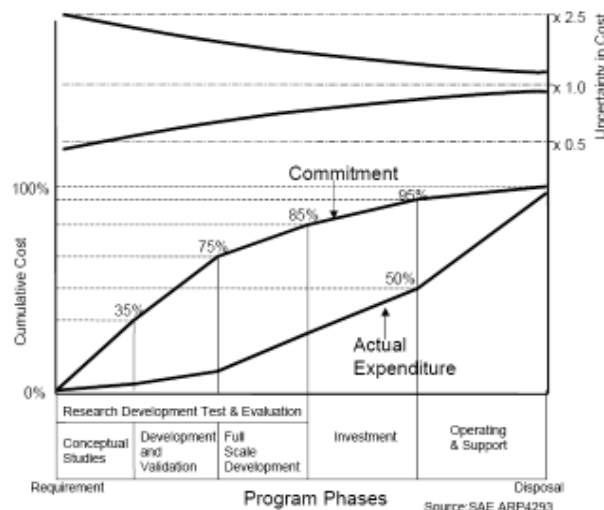
ตามปกติแล้วทรัพย์สินประเภทที่สามารถจับต้องได้ (Physical assets) นั้นจะมีอายุการใช้งานยาวนานนับตั้งแต่การจัดซื้อ ใช้งานจนถึงการกำจัดหรือปลดทิ้ง Yoshio Kawauchi และ Marvin Rausand ได้แบ่งระยะช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดออกเป็น 3 ระยะหลักดังนี้

ระยะที่ 1 คือ ระยะของการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ (Research and development) ในระยะนี้เป็นช่วงเวลาที่องค์กรต้องใช้เวลา และงบประมาณในการสร้าง วิจัยค้นคว้า พัฒนา การตลาด ตลอดจนการทดสอบการนำไปใช้ว่าจะสามารถตอบสนองต่อการใช้งานจริงได้หรือไม่

ระยะที่ 2 เป็นระยะของการลงทุน (Investment) เมื่อได้ผลิตภัณฑ์ที่ตรงกับความต้องการแล้วก็จะดำเนินการต่อไปในด้านของการลงทุน เพื่อให้ได้มาซึ่งความพร้อมที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ นั้นออกสู่ตลาด ซึ่งค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่จะอยู่ที่การซื้อที่ดิน สิ่งปลูกสร้าง และเครื่องจักรเครื่องมือ ที่จำเป็นในการผลิต

ระยะที่ 3 เป็นระยะในการดำเนินการ (Operating and support) ระยะนี้จะดำเนินการผลิตสินค้าจริงออกขายค่าใช้จ่ายส่วนใหญ่จะเป็น การซื้อวัสดุ การจ้างงาน และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่างๆ อีกมากมาย

ในส่วน of ค่าใช้จ่ายในแต่ละระยะนั้นจะเป็นเท่าใดนั้น ไม่ได้มีการกำหนดตายตัว เนื่องจาก ขึ้นกับลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันออกไป และขึ้นกับ ช่วงเวลา หรือปัจจัยทางเศรษฐกิจที่เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ดังรูปที่ 2.9 ที่แสดงให้เห็นถึงตัวอย่างในการพิจารณาดำเนินทุนภายใต้ความไม่แน่นอน (Uncertainty in cost) ในระยะต่างๆ ของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หนึ่ง



รูป 2.9 แสดงตัวอย่างของปริมาณต้นทุนที่เกิดขึ้นในระยะต่างๆ ของวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์

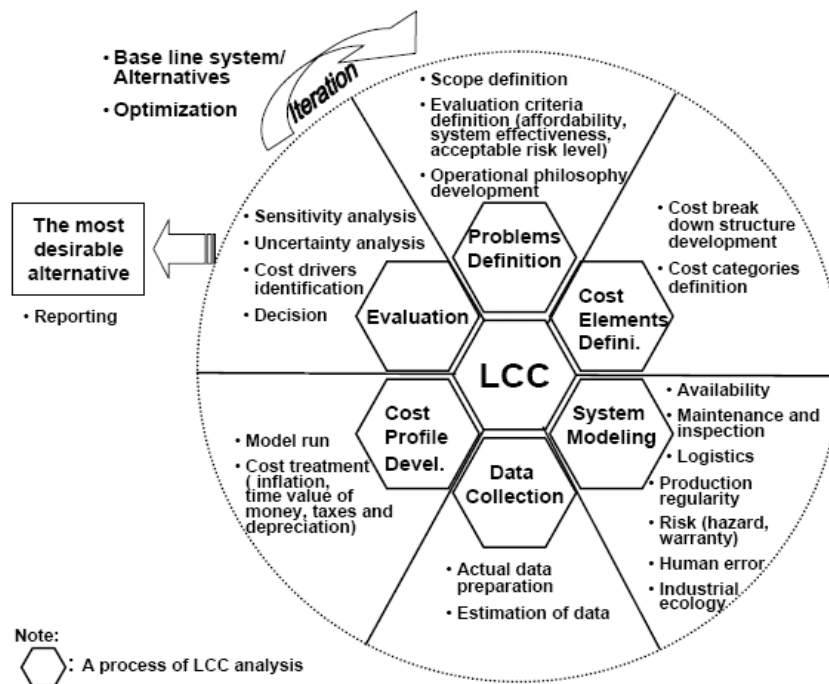
(Yoshi and Marvin, 1999)

จากความหมายของต้นทุนแบบเดิมดังที่กล่าวมาแล้วนั้นการคิดต้นทุนให้ครอบคลุมทั้งสามระยะนั้นถูกองข้ามไปเนื่องจากสามารถแปลงให้อยู่ในรูปของต้นทุนการผลิตต่อหน่วยได้ยาก LCC จึงถูกนำมาใช้เพื่อสามารถทำให้มองเห็นต้นทุนที่เกิดขึ้นทั้งหมดได้อย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้น

2.8 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Cost: LCC)

Yoshio และ Marvin 1999 ได้แบ่งขั้นตอนในการประเมินวัฏจักรชีวิตออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังรูป 2.10 ได้แก่

1. การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Problem definition)
2. การกำหนดองค์ประกอบของต้นทุน (Cost element definition)
3. การกำหนดรูปแบบของระบบ (System modeling)
4. การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data collection)
5. การกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ระบบ (Cost profile development)
6. การวิเคราะห์หรือประเมินต้นทุนของระบบ (Evaluation)



รูป 2.10 แผนภาพการวิเคราะห์ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต

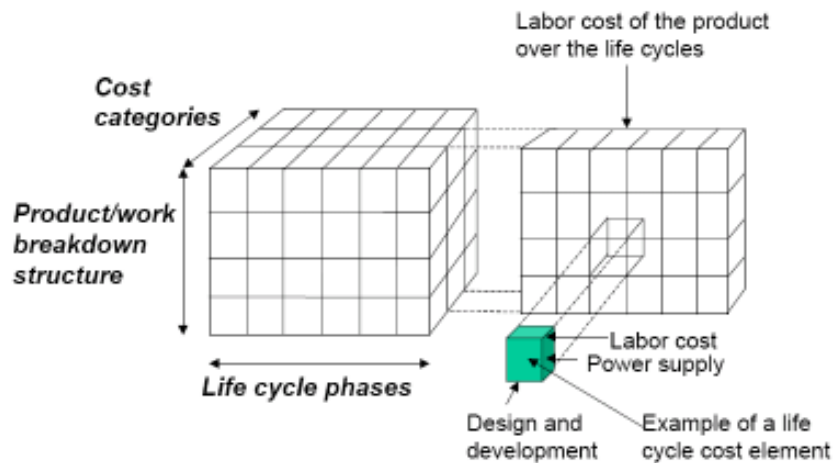
(Hexagons surrounding LCA concept map)

2.8.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Problem definition)

ขั้นตอนแรกในการวิเคราะห์ LCC ของผลิตภัณฑ์ กระบวนการหรือการบริการใดๆ จะเริ่มต้นจากการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษาก่อน โดยจะมีการระบุถึงลักษณะของระบบที่เราจะทำการศึกษา เงื่อนไขของระบบ ลักษณะของกิจกรรม รวมถึงวัสดุอุปกรณ์ ที่เราต้องการศึกษาหรือไม่ต้องการศึกษาด้วย ซึ่งในการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตนี้ควรจะอธิบายอย่างละเอียดและชัดเจน ภายใต้ความเป็นไปได้ที่เหมาะสม เพื่อเป็นที่ยอมรับได้โดยทั่วไป และสิ่งสำคัญอีกประการหนึ่งคือ ในการกำหนดขอบเขตควรจะสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ LCC ว่าผลที่ได้จะนำไปใช้ทางด้านใด ไม่ว่าจะเป็น การประกอบการตัดสินใจในการเลือกหรือลงทุน หรือ การปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนต้นทุนให้เหมาะสมหรือมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เป็นต้น

2.8.2 การกำหนดองค์ประกอบของต้นทุน (Cost element definition)

จากรูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นถึงการวิเคราะห์ LCC เพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ ว่าในแต่ละระยะนั้นประกอบด้วยต้นทุนย่อยๆ อะไรบ้าง จึงได้มีการแบ่งแยกต้นทุนย่อยที่เกิดขึ้นตามหมวดหมู่ของต้นทุนหลักตลอดวัฏจักรชีวิต (Cost breakdown structure หรือ Cost categories definition) โดยมีหลักการแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 หลักการแบ่งต้นทุนย่อยตามกลุ่มต้นทุนหลัก (Cost element concept)

(Yoshi and Marvin, 1999)

จากรูปสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อ LCC ของผลิตภัณฑ์ หรือกระบวนการ ของเราก็คือ รูปทรงสี่เหลี่ยมทางซ้ายมือ โดยแกน X คือระยะเวลาตลอดวัฏจักรชีวิต (Life cycle phase) แกน Z

คือ ต้นทุนทั้งหลักหมวดที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิต (Cost categories) และแกน Y คือต้นทุนหรืองานย่อยทั้งหมดที่เกิดขึ้นในงานหลัก (Product/work breakdown structure) จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่าเมื่อพิจารณาต้นทุนที่เกิดขึ้นทั้งหมดในส่วนของค่าแรงในการผลิตตลอดวัฏจักรผลิตภัณฑ์ (Labor cost of the product over the life cycle) ค่าแรงที่เกิดขึ้นทั้งหมดไม่ได้มีเฉพาะค่าแรงในการผลิตเท่านั้น แต่ยังมีค่าแรงในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ หรือค่าแรงคนงานในระบบการจ่ายพลังงานอีกด้วย ดังที่เห็นจากรูปทรงสี่เหลี่ยมเล็ก ที่ประกอบกันเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมใหญ่ทางด้านขวามือของรูปที่ 2.11 นั่นเอง

2.8.3 การกำหนดรูปแบบของระบบ (System modeling)

การกำหนดรูปแบบของระบบนั้นเปรียบเหมือนการวางแผนหรือการกำหนดกลยุทธ์ในการดำเนินการของเรานั้นเอง ซึ่งตลอดวัฏจักรชีวิตของผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ นั้น จำเป็นที่จะต้องมีความสอดคล้องในการดำเนินไปของกิจกรรมในทั้งสามระยะ ดังที่กล่าวมาแล้วเพื่อให้การผลิตดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง ยกตัวอย่างเช่น ในการดำเนินการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัยอันได้แก่ กำลังการผลิต ความต้องการวัตถุดิบ ระยะเวลาการผลิต ความน่าเชื่อถือของระบบ การบำรุงรักษาเครื่องจักรเครื่องมือ การจัดเก็บและกระจายสินค้า เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนหรือกิจกรรมเหล่านี้ล้วนส่งเสริมการผลิตทั้งสิ้น ถ้ากิจกรรมใดกิจกรรมหนึ่งเกิดการขัดข้องหรือไม่สอดคล้องกันก็อาจทำให้การผลิตนั้นหยุดลงได้ จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดรูปแบบของระบบขึ้น เช่น การกำหนดรูปแบบในการบำรุงรักษาเครื่องจักร (Maintenance modeling) โดยใช้วิธีให้ทุกคนในองค์กรมีส่วนร่วม (Total preventive maintenance) และกำหนดให้มีการตรวจสอบเครื่องจักรทุกครั้งหลังใช้งานประจำวันเป็นต้น รูปแบบของระบบอื่นๆ ที่ควรมีการกำหนดนั้นอาจได้แก่ การกำหนดรูปแบบความพอเพียงในการใช้งานของวัสดุหรือสิ่งบริการ (Availability modeling) การกำหนดรูปแบบการจัดการสินค้าคงคลังและการกระจายสินค้า (Logistic modeling) การกำหนดรูปแบบการทำงานของระบบ (Production regularity modeling) การกำหนดรูปแบบการจัดการความเสี่ยง (Risk (hazard, warranty) modeling) การกำหนดรูปแบบการจัดการความผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์ (Human error modeling) หรือการจัดการระบบนิเวศอุตสาหกรรม (Industrial ecology modeling) เป็นต้น

2.8.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล (Data collection)

ในการวิเคราะห์ LCC นั้นจำเป็นที่จะต้องทราบข้อมูลด้านราคา ของงานแต่ละอย่างที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 ซึ่งประเภทของข้อมูลที่ได้นั้นแบ่งเป็นสองประเภทคือ

ข้อมูลที่แท้จริง (Actual data) เป็นข้อมูลที่เรารับได้ เป็นค่าที่แท้จริง (Known factor or rate) เมื่อเรารับค่าหรือราคาอยู่แล้วว่าเป็นเท่าไรก็สามารถนำไปคิดคำนวณตามอัตรานั้นได้เลย เช่น ราคาเครื่องจักร เป็นต้น

ข้อมูลที่ได้จากการประมาณ (Estimating data) ในบางค่าของข้อมูลนั้นเราสามารถทราบค่าที่แท้จริงได้ อาจเนื่องมาจากค่าไม่คงที่ตามเวลา หรือมีปัจจัยทางเศรษฐกิจเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ค่าเชื้อเพลิง เป็นต้น ซึ่งการได้มาของข้อมูลสามารถทำได้จากการประมาณค่า (Cost estimating) โดย (1) Cost Estimating Relationships (CERs) คือ ประมาณราคาจากข้อมูลในอดีตที่มีอยู่หรือเชื่อมโยงราคากับสิ่งที่เราประมาณหรือทราบค่าแล้ว (2) Expert opinion: คือ ให้ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมินราคาที่เราต้องการให้ การใช้ข้อมูลที่มาจากการประมาณต้องคำนึงปัจจัยต่างๆ ต่อไปนี้ ก่อนที่จะนำข้อมูลมาใช้ เพื่อให้ผลของ LCC ที่ได้มีความน่าเชื่อถือมากที่สุดและเกิดการผิดพลาดน้อย

- ความถูกต้องแม่นยำของข้อมูล (Data accuracy)
- วิธีการที่ใช้ในการประมาณค่าของข้อมูล (Prediction of technique)
- ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่อาจมีผลกระทบ (Environmental factors)
- ปัจจัยในกระบวนการการผลิต (Manufacturing factors)
- ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ (Design related factors)
- ปัจจัยในการจัดการระยะสั้น (Short-term management factors)

2.8.5 การกำหนดรูปแบบการวิเคราะห์ระบบ (Cost profile development)

การคำนวณหาต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิต (LCC) นั้น ใช้หลักทางเศรษฐศาสตร์ในการคำนวณมูลค่าการลงทุน และค่าใช้จ่ายแต่ละปี แปลงให้เป็นมูลค่าปัจจุบัน (Present worth) ณ ปีที่เราทำการศึกษา โดยสามารถเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+i)^n} \quad (2.4)$$

เมื่อ	NPV	=	มูลค่ารวมที่ปรับค่าเวลาเป็นปีปัจจุบัน (บาท)
	F_t	=	ค่าใช้จ่ายในปีที่ n (บาท)
	i	=	ค่าอัตราดอกเบี้ย
	n	=	อายุสิ้นสุดโครงการ (ปี)

การหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period Method : PB) เป็นการคำนวณหาว่าโครงการนั้นจะต้องใช้เวลากี่ปีจึงจะคุ้มกับเงินที่ลงทุนไป การคำนวณมี 2 กรณี

กรณีที่ 1 กระแสเงินสดรับสุทธิมีจำนวนเท่ากันทุกปี

ระยะเวลาคืนทุน (ปี) = เงินลงทุนสุทธิเมื่อเริ่มโครงการ/กระแสเงินสดรับต่อปี (2.5)

กรณีที่ 2 กระแสเงินสดรับสุทธิ ในแต่ละปีไม่เท่ากัน

ระยะเวลาคืนทุน (ปี) = รวมกระแสเงินสดรับในแต่ละปีสะสมไปจนเท่ากับเงินลงทุนสุทธิ หรือกระแสเงินสดจ่าย ณ วันเริ่มโครงการ (2.6)

หลักการตัดสินใจ : เลือกโครงการลงทุนที่คืนทุนเร็วที่สุด การประเมินการลงทุนโดยวิธี นี้เป็นวิธีการประเมินโครงการเพื่อดูคร่าว ๆ ว่าการลงทุนนั้นต้องใช้เวลากี่ปีที่จะคืนทุนเป็นการ ดูความเสี่ยงและสภาพคล่องในการลงทุน โดยไม่คำนึงถึงค่าของเงินตามเวลาและกระแสเงินสด รับหลังจากปีที่คืนทุน

2.9 ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ (Natural Gas Vehicles)

ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ (Natural Gas Vehicles) หมายถึง ยานยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติอัด(Compressed Natural Gas : CNG) เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งก็เหมือนกับก๊าซธรรมชาติ ที่นำมาใช้ในหลายๆ ประเทศ เช่น ออสเตรเลีย นำมาใช้ในการประกอบอาหาร การทำความร้อน และการทำน้ำร้อน เป็นต้น

ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิลอย่างหนึ่ง ซึ่งพบได้ในแอ่งใต้พื้นดิน หรืออาจพบร่วมกับน้ำมันดิบ หรือ คอนเดนเสท โดยคาดว่าจะเป็แหล่งพลังงานหลัก ที่จะนำมาใช้ได้ อีกประมาณ 65 ปีข้างหน้า ปริมาณสำรองที่พิสูจน์แล้วทั่วโลกเมื่อปี พ.ศ. 2548 มีปริมาณ 6,348 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุต โดยพบมากที่สุด ในสหภาพโซเวียตเดิม มีปริมาณ 1,688 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุต รองลงมาคืออิหร่าน 944 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุต และกาตาร์ 910 ล้านล้านลูกบาศก์ฟุต

ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ได้มีการพัฒนาและนำมาใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1860 (พ.ศ. 2403) โดยชาว ฝรั่งเศสชื่อ Jean Etienne Lenoir แต่ยังไม่เป็นที่นิยม จนกระทั่งในช่วงสงครามโลกครั้งที่ 2 และช่วงที่เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันในปี ค.ศ.1973 ซึ่งทำให้ราคาน้ำมันเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้การใช้ก๊าซธรรมชาติในยานยนต์เริ่มแพร่ หลายมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศออสเตรเลีย แคนาดา นิวซีแลนด์ และสหรัฐอเมริกา

ในปัจจุบันการเลือกใช้เชื้อเพลิงที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยในยานยนต์ เช่น ก๊าซธรรมชาติ กำลังได้รับการสนับสนุนมากขึ้นในหลายๆ ประเทศ อันเนื่องมาจากปัญหาคุณภาพอากาศ และปัญหาก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นทั่วโลก และด้วยคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของก๊าซธรรมชาติที่ใช้ในยานยนต์พบว่ามีมลพิษน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงอื่นๆ อย่างไรก็ตาม การพัฒนาระบบควบคุมมลพิษสำหรับยานยนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาตินับว่ายังล่าหลังยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิง เนื่องจากยานยนต์ที่ใช้น้ำมันเชื้อเพลิงได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของเครื่องยนต์และการปรับปรุงสูตรของน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมานานกว่า แต่ด้วยข้อได้เปรียบทางด้านสภาพแวดล้อม ก๊าซธรรมชาติจึงเป็นเชื้อเพลิงทางเลือกหนึ่งสำหรับยานยนต์ที่จะมีการใช้แพร่หลายมากขึ้น

คุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติ

คุณสมบัติของก๊าซธรรมชาติไม่มีสี ไม่มีกลิ่น (ยกเว้นกลิ่นที่เติมเพื่อให้รู้เมื่อเกิดการรั่วไหล) และไม่มีพิษ ในสถานะปกติมีสภาพเป็นก๊าซหรือไอที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ โดยมีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำกว่า อากาศจึงเบากว่าอากาศ เมื่อเกิดการรั่วไหลจะฟุ้งกระจายไปตามบรรยากาศอย่างรวดเร็ว จึงไม่มีการสะสมลุกไหม้ บนพื้นราบ ความแตกต่างระหว่างก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas : NG) และก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas : LPG) ก็คือ

ก๊าซธรรมชาติ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน (Methane) เป็นส่วนใหญ่ จึงเป็นก๊าซที่มีน้ำหนักเบากว่าอากาศ การขนส่งไปยังผู้ใช้จะขนส่งผ่านทางท่อในรูปก๊าซภายใต้ความดันสูง จึงไม่เหมาะสำหรับการขนส่งไกลๆ หรืออาจบรรจุใส่ถังในรูปก๊าซธรรมชาติอัดโดยใช้ความดันสูง หรือที่เรียกว่า CNG แต่ปัจจุบันมีการส่งก๊าซธรรมชาติในรูปของเหลวโดยทำก๊าซให้เย็นลงถึง -160 องศาเซลเซียส จะได้ของเหลวที่เรียกว่า Liquefied Natural Gas หรือ LNG ซึ่งสามารถขนส่งทางเรือไปที่ไกลๆ ได้ และเมื่อถึงปลายทางก่อนนำมาใช้ก็จะทำให้ของเหลวเปลี่ยนสถานะกลับเป็นก๊าซอย่างเดิม ก๊าซธรรมชาติมีค่าออกเทนสูงถึง 120 RON จึงสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในยานยนต์ได้

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีองค์ประกอบของก๊าซโพรเพน (Propane) เป็นส่วนใหญ่ จึงเป็นก๊าซที่หนักกว่าอากาศ โดยตัว LPG เองไม่มีสี ไม่มีกลิ่นเช่นเดียวกับก๊าซธรรมชาติ แต่เนื่องจากเป็นก๊าซที่หนักกว่าอากาศจึงมีการสะสมและลุกไหม้ได้ง่าย ดังนั้น จึงมีข้อกำหนดให้เติมสารมีกลิ่น เพื่อเป็นการเตือนภัยหากเกิดการรั่วไหล LPG ส่วนใหญ่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือนและกิจการอุตสาหกรรม โดยบรรจุเป็นของเหลวใส่ถังที่ทน

ความดันเพื่อให้ขนถ่ายง่าย นอกจากนี้ ยังนิยมใช้แทนน้ำมันเบนซินในรถยนต์ เนื่องจากราคาถูกกว่า และมีค่าออกเทนสูงถึง 105 RON

2.9.2 รูปแบบการใช้ NGV ในยานยนต์ขนาดใหญ่ (Heavy Duty Vehicle)

รูปแบบการใช้ NGV ในยานยนต์ขนาดใหญ่ ได้แก่ รถบรรทุก รถหัวลาก รถโดยสารสามารถแบ่ง ตามรูปแบบการใช้ NGV ได้เป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.9.2.1 รถยนต์ NGV ผลิตมาจากโรงงานโดยตรงแบ่งเป็น 2 ประเภท ดังนี้

2.9.2.1.1 รถยนต์ใช้ NGV เป็นเชื้อเพลิงอย่างเดียว (Dedicated NGV)

เป็นเครื่องยนต์ที่ออกแบบ และพัฒนาขึ้นสำหรับใช้ NGV โดยเฉพาะหรือเรียกว่าเครื่องก๊าซ (Gas Engine) ซึ่งนิยมใช้วิธีการจุดระเบิดด้วยประกายไฟ จากหัวเทียน มีข้อดีที่ปล่อยปริมาณฝุ่นละออง (Particulate) ในปริมาณต่ำ แต่จะมีราคาเพิ่มขึ้นจากรยนต์ดีเซลประมาณร้อยละ 20-30 ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับประเภทรถและบริษัทผู้ผลิต ปัจจุบันยังไม่มีการผลิตในประเทศไทย ส่วนใหญ่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา (ยี่ห้อ Cummins, Detroit) ประเทศเกาหลี (ยี่ห้อ Daewoo, Hyundai) เป็นต้น

2.9.2.1.2 เป็นเครื่องยนต์ที่ออกแบบให้ใช้ NGV ร่วมกับน้ำมันดีเซล

โดยใช้น้ำมันดีเซลจุดระเบิด (ignites) และลดการเผาไหม้ของ NGV ต่อไป ปัจจุบันเครื่องยนต์ยี่ห้อ Caterpillar ประเทศสหรัฐอเมริกาโฆษณาว่า สามารถใช้ NGV ทดแทนน้ำมันดีเซลได้สูงถึงร้อยละ 90

2.9.2.2 เครื่องยนต์ดีเซลเดิมสามารถปรับใช้ NGV ได้ดังนี้

2.9.2.2.1 ติดตั้งอุปกรณ์ NGV ระบบเชื้อเพลิงร่วม DDF

วิธีนี้ไม่ต้องดัดแปลงเครื่องยนต์ดีเซลเดิมเพียงติดตั้งอุปกรณ์ NGV เพิ่มเติม ส่วนเครื่องยนต์ยังใช้น้ำมันดีเซลในการจุดระเบิด เมื่อมีการเผาไหม้เกิดขึ้นจะใช้ NGV เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ทดแทนน้ำมันดีเซลต่อไป สำหรับประสิทธิภาพเครื่องยนต์เมื่อใช้เชื้อเพลิงร่วม (NGV และดีเซล) จะขึ้นอยู่กับ

- สภาพเครื่องยนต์เดิม

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการประเมินวัฏจักรชีวิตและต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการติดตั้งระบบ NGV ของรถบรรทุกซีเมนส์นี้มีการศึกษาวิจัยประกอบด้วยสองส่วนหลักคือ ในส่วนของการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของการติดตั้งระบบ NGV โดยใช้เทคนิค Life Cycle Assessment: LCA และอีกส่วนหนึ่งคือการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการติดตั้งระบบ NGV โดยใช้เทคนิค Life Cycle Costing: LCC ซึ่งในขั้นตอนของ LCA นั้นจะยึดขั้นตอนตามหลัก ISO 14040 โดยจะแบ่งวัฏจักรชีวิตของระบบ NGV ที่ทำการศึกษาออกเป็นสี่ช่วง คือ (1) การจัดหาอุปกรณ์ NGV ซึ่งได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบและการผลิต (2) การดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV และ(3) การนำไปใช้ ในส่วนของการประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการติดตั้งระบบ NGV นั้นจะดำเนินการหาต้นทุนคงที่ และต้นทุนผันแปร เพื่อหาระยะเวลาในการคืนทุน ซึ่งการศึกษาทั้งสองส่วนจะดำเนินไปพร้อมกันดังรายละเอียดต่อไปนี้

3.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการประเมินวัฏจักรชีวิตและต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบ NGV (Goal and scope definition)

3.1.1. กำหนดวัตถุประสงค์หรือเป้าหมายในการประเมินวัฏจักรชีวิต (Goal definition)

3.1.1.1 เพื่อศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการติดตั้งระบบ NGV และ เปรียบเทียบผลกระทบในขั้นตอนการใช้งานเพื่อหาแนวทางในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม โดยกระบวนการหลักนั้นประกอบด้วยการจัดหาอุปกรณ์ NGV ซึ่งได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบและการผลิต การดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV และ การนำไปใช้

3.1.1.2 เพื่อเปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ได้จากการติดตั้งระบบ NGV 1 คัน กับการใช้งาน 1 กิโลเมตร

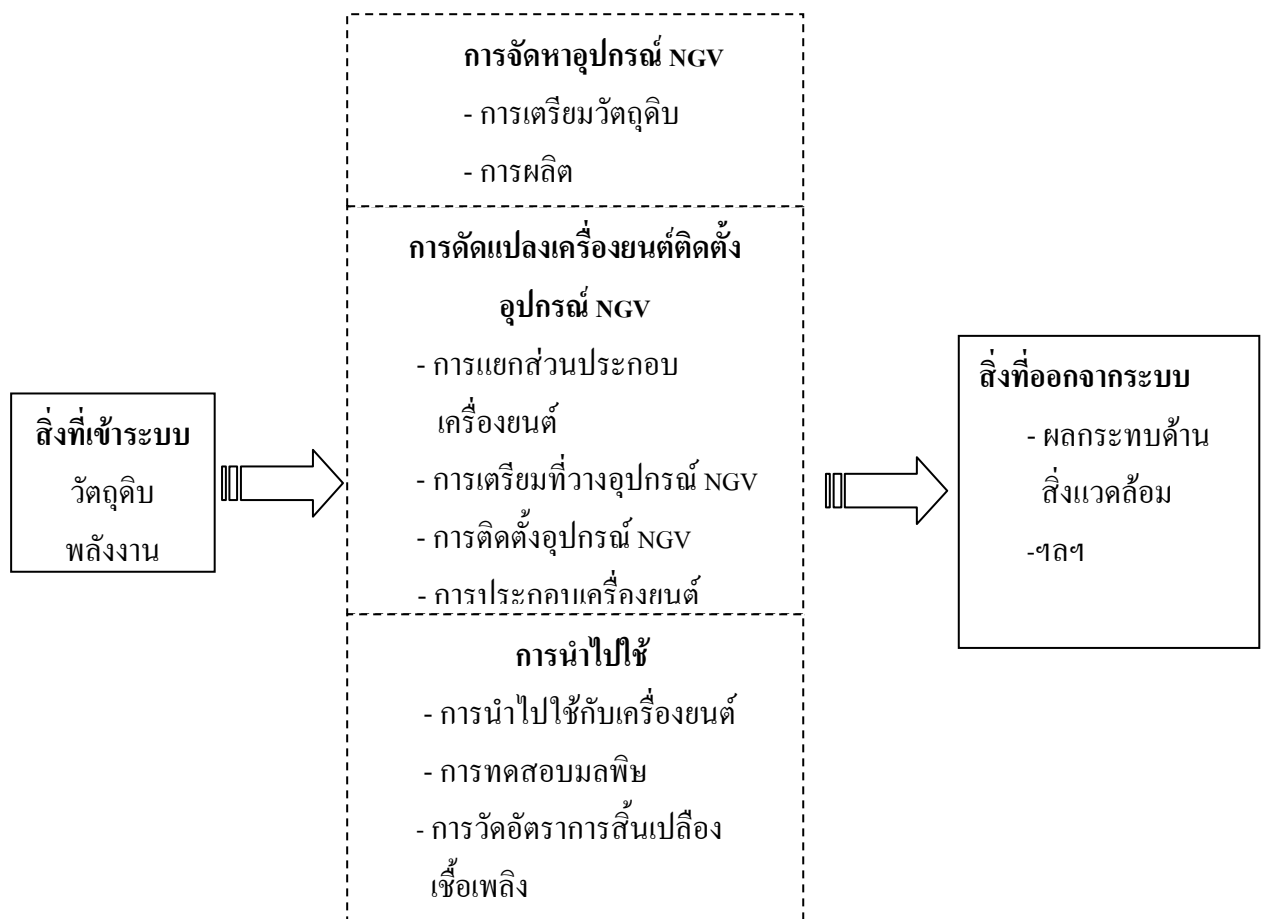
3.1.1.3 เพื่อหาต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิต ของการติดตั้งระบบ NGV และหาระยะเวลาในการคืนทุน

3.1.2 การกำหนดขอบเขต (Scope definition)

ในการศึกษา LCA ของการติดตั้งระบบ NGV นี้จะใช้วิธีการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยวิธี EDIP/UMIP 97 โดยโปรแกรม SimaPro 7 โดยมีขอบเขตในการศึกษาดังนี้

3.1.2.1 ขอบเขตของระบบ (System boundary)

การศึกษาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการติดตั้งระบบ NGV จะทำการศึกษา LCA และ LCC โดยเก็บข้อมูลและทำการประเมินวัฏจักรชีวิตและต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการติดตั้งระบบ NGV โดยแบ่งวัฏจักรชีวิตของระบบ NGV เป็นสามช่วง กระบวนการคือ การจัดหาอุปกรณ์ NGV การดัดแปลงรถยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV และ การนำไปใช้ โดยปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการที่ศึกษา ได้แก่ ชนิดและปริมาณการใช้ทรัพยากร ชนิดและปริมาณการใช้พลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูป 3.1 แสดงขอบเขตของระบบในการศึกษา LCA และ LCC ของการติดตั้งระบบ NGV

การศึกษาและเก็บข้อมูลจะกระทำที่สองแหล่งข้อมูลหลัก คือสำนักงานจัดการคุณภาพอากาศ และ เสี่ยงกรมควบคุมมลพิษ และบริษัท ปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) จังหวัดสระบุรี

ในการศึกษา LCA นั้นจะไม่ทำการศึกษาผลกระทบจากตัวรถบรรทุกซีเมนต์ เนื่องจากการนำรถดีเซลมาติดตั้งระบบ NGV นั้น โดยตัวรถยังเป็นคันเดิมไม่ใช่รถอีกคัน โดยเป็นคันเดียวกันไม่สามารถเปรียบเทียบได้ ดังนั้นจึงทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งระบบ NGV และเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการใช้ ซึ่งจะทำได้สามารถมองเห็นภาพของผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของการติดตั้งระบบ NGV สำหรับ LCC นั้นจะทำการวิเคราะห์หาระยะเวลาในการคืนทุนเมื่อราคา NGV และ ระยะทางใช้งาน เปลี่ยนไป

3.1.2.2 หน่วยการทำงาน (Functional unit)

หน่วยการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของ LCA ในการติดตั้งระบบ NGV นั้นจะได้เป็น “Pt (Point) ต่อการติดตั้งระบบ NGV 1 คัน” หรือความหมายก็คือ ปริมาณผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการติดตั้งระบบ NGV 1 คันมีหน่วยเป็น Pt นั้นเอง หน่วยการวิเคราะห์ LCC ของการติดตั้งระบบ NGV 1 คันจะมีหน่วยเป็น “บาท ต่อการติดตั้งระบบ NGV 1 คัน”

3.2 การทำบัญชีรายการ (Inventory)

ในขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการนั้นจะทำการเก็บข้อมูลพร้อมกัน ทั้งข้อมูลที่เป็นในการวิเคราะห์ LCA และข้อมูลที่เป็นในการวิเคราะห์ LCC ซึ่งจากแบบฟอร์มการเก็บข้อมูลดังแนบในภาคผนวก นั้น จะเห็นว่าการเก็บข้อมูลตลอดวัฏจักรชีวิตของ LCA และ LCC นั้นสามารถเก็บพร้อมกันได้ โดยข้อมูลของ LCA จะมุ่งประเด็นการเก็บข้อมูลไปที่ การใช้ทรัพยากร การใช้พลังงาน ของเสียที่เกิดขึ้นจากระบบตลอดจนผลิตภัณฑ์พลอยได้ แต่ในส่วนของ LCC นั้นจะมองถึงค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนที่ใช้ในการติดตั้งได้แก่ ค่าอุปกรณ์ ค่าแรง อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ระยะทางที่ใช้งาน ราคาเชื้อเพลิง มาคำนวณหาระยะเวลาในการคืนทุน

จากการเก็บรวบรวมข้อมูลทั้งหมดที่มีความสำคัญต่อการศึกษาในครั้งนี้ ทั้งข้อมูลที่เก็บได้จริงจากกระบวนการ (Primary data) และข้อมูลที่ได้จากการนำข้อมูลที่มีผู้ศึกษาไว้แล้วมาใช้ (Secondary data) สามารถจัดทำบัญชีรายการตามการจำแนกกระบวนการได้ดังนี้

3.2.1 บัญชีรายการ

ในขั้นตอนของการจัดหาอุปกรณ์ NGV นั้นประกอบด้วยกระบวนการย่อยหลายกระบวนการ จึงทำการเก็บข้อมูลตามกระบวนการย่อยดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในการศึกษา LCA ของการจัดหาอุปกรณ์ NGV ในขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบ และการผลิต

กระบวนการหลัก	กระบวนการย่อย	ข้อมูลที่เก็บรวบรวม*
การจัดหาอุปกรณ์ NGV	การเตรียมวัตถุดิบ	พลังงาน/วัตถุดิบ
	การผลิต	พลังงาน/วัตถุดิบ

* ข้อมูลที่เก็บรวบรวมนั้นจะประกอบไปด้วย ชนิดและปริมาณของวัสดุที่ใช้ ชนิดและปริมาณของเชื้อเพลิงหรือพลังงานที่ใช้ โดยจะใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูล Eco-invent database

3.2.2 บัญชีรายการในช่วงการดัดแปลงเครื่องยนต์ ติดตั้งอุปกรณ์ NGV

บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในการศึกษา LCA ของการจัดหาอุปกรณ์ NGV ในขั้นตอนการดัดแปลงเครื่องยนต์ ติดตั้งอุปกรณ์ NGV โดยจะใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลแบบปฐมภูมิจากบริษัทรับผิดชอบ

ตารางที่ 3.2 บัญชีรายการการเก็บข้อมูลในการศึกษา LCA ของการจัดหาอุปกรณ์ NGV

กระบวนการหลัก	กระบวนการย่อย	ข้อมูลที่เก็บรวบรวม*
การดัดแปลงเครื่องยนต์ ติดตั้งอุปกรณ์ NGV	การแยกส่วนประกอบ	พลังงาน
	การเตรียมที่วางอุปกรณ์ NGV	พลังงาน
	การติดตั้งอุปกรณ์ NGV	พลังงาน
	การประกอบเครื่องยนต์	พลังงาน

* ข้อมูลที่เก็บรวบรวมนั้นจะประกอบไปด้วย ชนิดและปริมาณของวัสดุที่ใช้ ชนิดและปริมาณของเชื้อเพลิงหรือพลังงานที่ใช้ โดยจะใช้ข้อมูลจากฐานข้อมูลบริษัทผู้ทำการติดตั้งระบบ NGV

จากตารางบัญชีรายการที่ 3.1 และ 3.2 สามารถจัดประเภทข้อมูลที่ต้องการในขั้นตอนการจัดทำบัญชีรายการในทุกๆ กระบวนการย่อยได้เป็น / กลุ่มสำหรับ LCA ดังนี้

1. ชนิดและปริมาณของวัสดุที่ใช้ในกระบวนการ
2. ชนิดและปริมาณของเชื้อเพลิงหรือพลังงานที่ใช้ในกระบวนการ

3.2.3 บัญชีรายการในช่วงการใช้งาน

ในขั้นตอนการใช้งานจะทำการวัดมลพิษได้แก่ CO, NO_x, HC และ PM จาก รถบรรทุกที่ใช้น้ำมันดีเซล และ รถบรรทุกที่ใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง และนำมาเปรียบเทียบ มลพิษที่เกิดขึ้น โดยทำการทดสอบจากแท่นทดสอบ จากกรมควบคุมมลพิษแสดงในรูปที่ 3.2



รูป 3.2 ห้องปฏิบัติการตรวจวัดมลพิษยานพาหนะกรมควบคุมมลพิษ

3.3 ขั้นตอนการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบ NGV (Life Cycle Assessment)

3.3.1 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต

เมื่อได้ข้อมูลจากการจัดทำบัญชีรายการแล้ว ก็จะนำข้อมูลที่ได้มาทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยเทคนิค LCA โดยใช้โปรแกรม SimaPro Version 7 ด้วยวิธี EDIP/UMIP 97 โดยในโปรแกรมได้แบ่งประเภทผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมออกเป็น 15 ประเภท ได้แก่ (1) Global Warming: GW (2) Ozone Depletion: OD (3) Acidification: Ac (4) Eutrophication: Eu (5) Photochemical Smog: PS (6) Ecotoxicity to Water Chronic: EWC (7) Ecotoxicity to Water Acute: EWA (8) Ecotoxicity to Soil Chronic: ESC (9) Human Toxicity to Air: HTA (10) Human Toxicity to Water: HTW (11) Human Toxicity to Soil: HTS (12) Bulk Waste: BW (13) Hazardous Waste: HW (14) Radioactive Waste: RW (15) Slag/Ashes: S/A โดยผลกระทบทุกประเภทจะพิจารณาในด้านของปริมาณและความรุนแรงของค่าของผลกระทบที่มีหน่วยเป็น Point (Pt)

ในการประเมินผลกระทบนี้นอกจากจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการจัดทำบัญชีรายการแล้วยังอาศัยข้อมูลอีกส่วนหนึ่งจากฐานข้อมูลของโปรแกรม โดยเฉพาะผลกระทบทางอ้อมที่เกิดขึ้นจากการผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำด้วย เนื่องจากผลกระทบที่เกิดขึ้นทั้งหมดตลอดช่วงชีวิตของการผลิตไบโอดีเซลสบู่ดำนั้นบางข้อมูลไม่สามารถเก็บข้อมูลโดยตรงได้ เนื่องจากต้องอาศัยวิธีการและเครื่องมือที่ซับซ้อน และในประเทศไทยยังไม่มีการจัดการฐานข้อมูล LCA ที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพ

3.3.2 การประเมินต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Costing: LCC)

สำหรับ LCC ข้อมูลที่เก็บรวบรวมนั้นประกอบด้วย ต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดในแต่ละกระบวนการย่อย โดยต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิต เกิดจากการรวมต้นทุนย่อยที่เกิดขึ้นตามหมวดหมู่ (Cost categories) เป็นดังนี้

$$LCC = C_C + C_O + C_M + C_F + C_R - S \quad (3.1)$$

เมื่อ	C_C	=	ต้นทุนคงที่ (บาท)
	C_O	=	ต้นทุนในการดำเนินการ (บาท)
	C_M	=	ต้นทุนในการซ่อมบำรุง (บาท)
	C_F	=	ต้นทุนเชื้อเพลิงหรือพลังงาน (บาท)
	C_R	=	ต้นทุนในการแทนที่และทำลายทิ้ง (บาท)
	S	=	มูลค่าซาก (บาท)

และค่า C ใด ๆ เป็นมูลค่าปัจจุบัน (P: Present Worth) ของต้นทุน C ใด ๆ ที่เกิดขึ้นให้

ระยะเวลาในการคืนทุน

$$= \frac{\text{ต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิต (บาท)}}{\text{ค่าใช้จ่ายที่สามารถประหยัดได้ (บาท/เดือน)}} \quad (3.2)$$

3.4 แนวทางการแปลผลและการวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากที่คำนวณค่าผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยโปรแกรม SimaPro Version 7 ด้วยวิธี EDIP/UMIP 97 แล้วจะนำค่าที่ได้มาแปลผลข้อมูลให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ดังนี้

3.4.1 วิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ โดยนำผลที่ได้จากการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของการติดตั้งระบบ NGV ในแต่ละกระบวนการ ได้แก่ การเตรียมวัตถุดิบและการผลิต การดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV และ การนำไปใช้ โดยวิเคราะห์ว่ากระบวนการใดมีผลกระทบมากน้อยกว่ากันเท่าใด และผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากสาเหตุใดเป็นหลัก

3.4.2 เปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการใช้งาน นำค่าผลกระทบของรถบรรทุกที่ใช้ น้ำมันดีเซล และก๊าซธรรมชาติมา เปรียบเทียบว่าเชื้อเพลิงชนิดใดส่งผลกระทบมากกว่ากันขั้นตอนการใช้งาน โดยกำหนดค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของน้ำมันดีเซล และก๊าซธรรมชาติเท่ากับ 3.21 กม/ลิตร และ 1.29 กม/ลิตร ตามลำดับ เพื่อประกอบการตัดสินใจในการเลือกใช้พลังงานทดแทนต่อไป

3.4.3 หาแนวทางในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม เมื่อทราบว่าในแต่ละกระบวนการเกิดผลกระทบเท่าใดและจากสาเหตุใดแล้ว ก็จะหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการเพื่อลดผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการนั้น

บทที่ 4

ผลการศึกษาวิจัย

หลังจากได้กำหนดเป้าหมายและขอบเขตของขั้นตอนการศึกษาวิจัย ดังที่กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 จากนั้นได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดังกล่าว จนครบทุกกระบวนการ ซึ่งผลการศึกษาการประเมินวัฏจักรชีวิต และต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต ของการติดตั้งระบบ NGV เป็นดังนี้

4.1 ผลการจัดทำบัญชีรายการ (Inventory Analysis)

ดังที่กล่าวในบทก่อนหน้านี้แล้วว่าในการศึกษาวิจัยนี้จะแบ่งวัฏจักรชีวิตของการติดตั้งระบบ NGV ออกเป็น 3 ช่วงกระบวนการได้แก่ กระบวนการจัดหาอุปกรณ์ NGV กระบวนการติดตั้งเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV และ กระบวนการนำไปใช้ ลักษณะของข้อมูลที่ต้องการนั้นประกอบด้วยข้อมูลชนิดและปริมาณของปัจจัยที่นำเข้ากระบวนการ (Input) และผลลัพธ์ที่ออกจากกระบวนการ (Output) จากนั้นจึงนำผลหรือข้อมูลที่ได้ไปทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นโดยใช้โปรแกรม SimaPro และวิเคราะห์ LCC ผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดเป็นดังนี้

4.1.1 ผลการจัดทำบัญชีรายการในกระบวนการจัดหาอุปกรณ์ NGV

ผลจากการจัดทำบัญชีรายการนั้นพบว่าในกระบวนการจัดหาอุปกรณ์ NGV นั้นเป็นกระบวนการที่ใช้วัสดุ หรือวัตถุดิบในการผลิตอุปกรณ์ โดยวัตถุดิบเหล่านี้ในขั้นตอนการผลิตอาจส่งผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเก็บข้อมูลปฐมภูมิของวัตถุดิบ ที่ใช้ในการทำอุปกรณ์ NGV โดยการชั่งน้ำหนักเพื่อหาส่วนประกอบดังรูปที่ 4.1 ดังนี้



รูป 4.1 แสดงการชั่งน้ำหนักเพื่อหาส่วนประกอบของวัตถุดิบอุปกรณ์ NGV

ตาราง 4.1 แสดงวัตถุดิบของอุปกรณ์ NGV

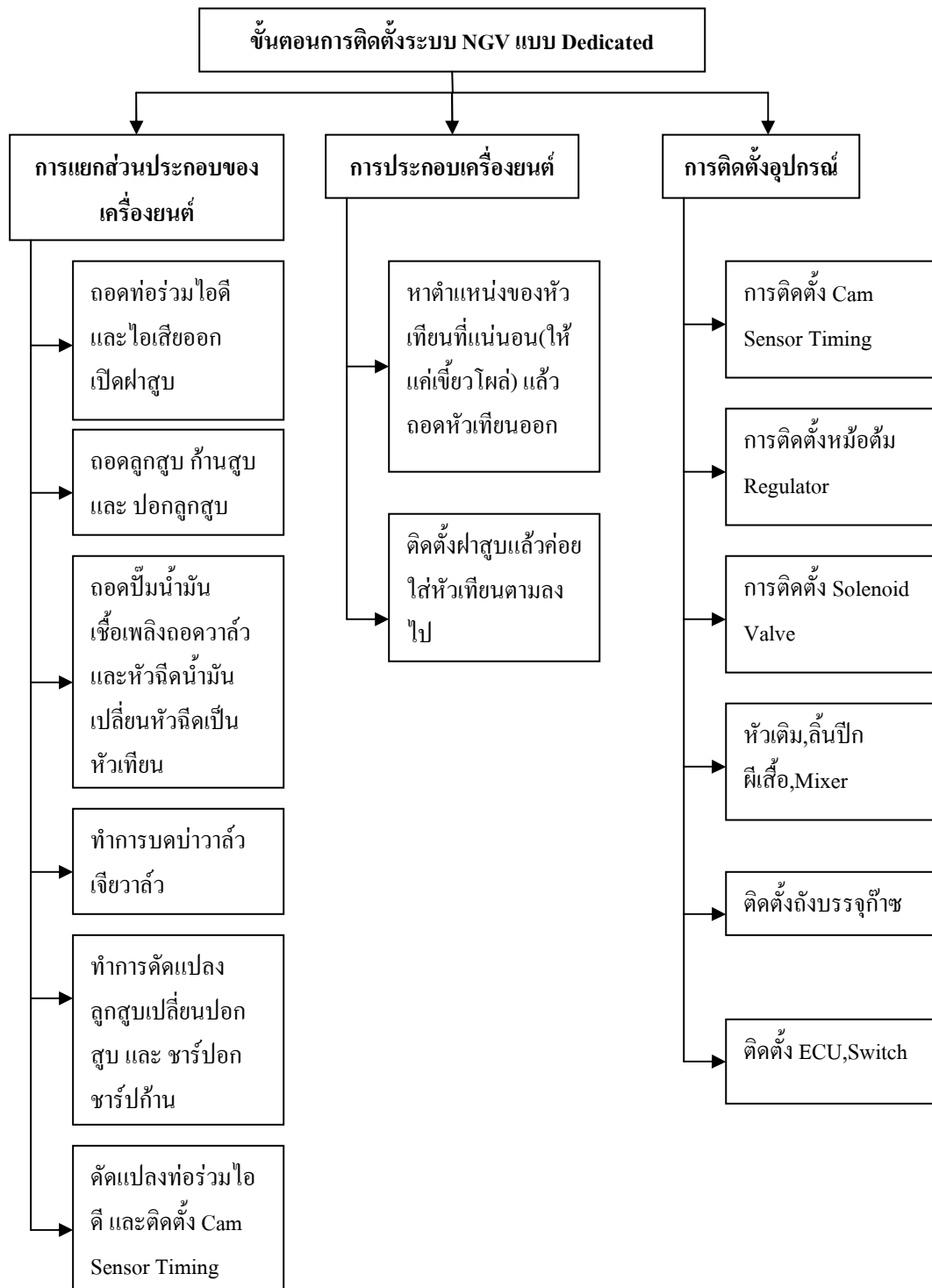
ประเภทวัตถุดิบ	ปริมาณที่ใช้ (kg)
เหล็ก	1,060
ทองเหลือง	1.87
พลาสติก	1.14
อลูมิเนียม	4.05
ทองแดง	3.23
สแตนเลส	0.73
รวม	1,071

เมื่อได้วัตถุดิบของอุปกรณ์ NGV ในกระบวนการจัดหาวัตถุดิบ โดยการที่จะได้มาของวัตถุดิบ ต้องใช้พลังงานในการผลิต การขนส่ง รวมถึงการลดลงของทรัพยากร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้คำนึงถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นซึ่งใช้ฐานข้อมูล Eco-invent database

4.1.2 ผลการจัดทำบัญชีรายการในกระบวนการดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV

ผลจากการจัดทำบัญชีรายการนั้นพบว่าในกระบวนการดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV นั้นเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการได้มาของกระแสไฟฟ้าอาจส่งผลกระทบต่อทางสิ่งแวดล้อม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเก็บข้อมูลปฐมภูมิของการใช้พลังงานไฟฟ้าใน

กระบวนการนี้เพื่อทราบถึงขั้นตอนต่างๆ ในการติดตั้งรวมถึงพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการดัดแปลงเครื่องยนต์ และติดตั้งอุปกรณ์ NGV โดยแสดงในรูปที่ 4.2 ดังนี้



รูป 4.2 แสดงกระบวนการดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV

จากรูปที่ 4.2 แสดงกระบวนการตัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV โดยในแต่ละขั้นตอนนั้นจะต้องมีการใช้พลังงานในการตัดแปลงเครื่องยนต์ และติดตั้งอุปกรณ์ NGV จากที่ได้ไปเก็บข้อมูลผลปรากฏว่าพลังงานที่ใช้อยู่ในรูปของพลังงานไฟฟ้า โดยเกิดจากการใช้เครื่องจักรที่ใช้ไฟฟ้าโดยมีรายละเอียดดังได้แสดงในตารางที่ 4.2

ตาราง 4.2 เครื่องจักรที่ใช้ และกำลังที่ใช้ในการติดตั้งรถบรรทุก NGV แบบ Dedicated

เครื่องจักร	รายละเอียดเครื่องจักร	จำนวนวัตต์ (kW)	เวลาที่ใช้(h)	กำลังที่ใช้ (kWh)
 เครื่องเชื่อม	เครื่องเชื่อมด้วยอาร์ค กระแสสลับยี่ห้อ พลัง TYPE M-O-D 300	13	3.17	41.21
 เครื่องสว่านเจาะ แนวนอน	ATOLI PORTABLE MAGNETIC DRILL TYPE Model TC 10	1.30	4.50	5.85
 เครื่องสว่านแท่น	BENCH DRILLING MACHINE TYPE KSD-34M	0.25	3.17	0.79
 เครื่องหินเจียแท่น		1.54	2.67	4.11

 เครื่องหินเจีย		0.51	2	1.02
 เครื่องกลึง	LUX-MATTER	2.24	2	4.48
รวม		18.84	17.51	57.46

ตาราง 4.3 แสดงพลังงานไฟฟ้าที่ในขั้นตอนการติดตั้งระบบ NGV สำหรับรถบรรทุกซีเมนต์

ประเภทพลังงาน	กำลังที่ใช้(kWh)
ไฟฟ้า	57.46

จากตารางที่ 4.3 แสดงพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในกระบวนการตัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV โดยเก็บข้อมูลจากบริษัทผู้ขนส่งซีเมนต์ ที่รับทำการติดตั้ง โดยไปเก็บข้อมูลจะแสดงในภาคผนวกและจะนำพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปวิเคราะห์หาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในขั้นตอนต่อไป

4.1.3 ผลการจัดทำบัญชีรายการในกระบวนการนำไปใช้

เงื่อนไข

1. รถบรรทุกซีเมนต์ผงด 10 ล้อ ที่มีอายุการใช้งานไม่เกิน 10 ปี
2. นน.สูงสุดที่สามารถบรรทุกได้ 21 ตัน
3. นน.ที่บรรทุกขณะตรวจวัด 12 ตัน

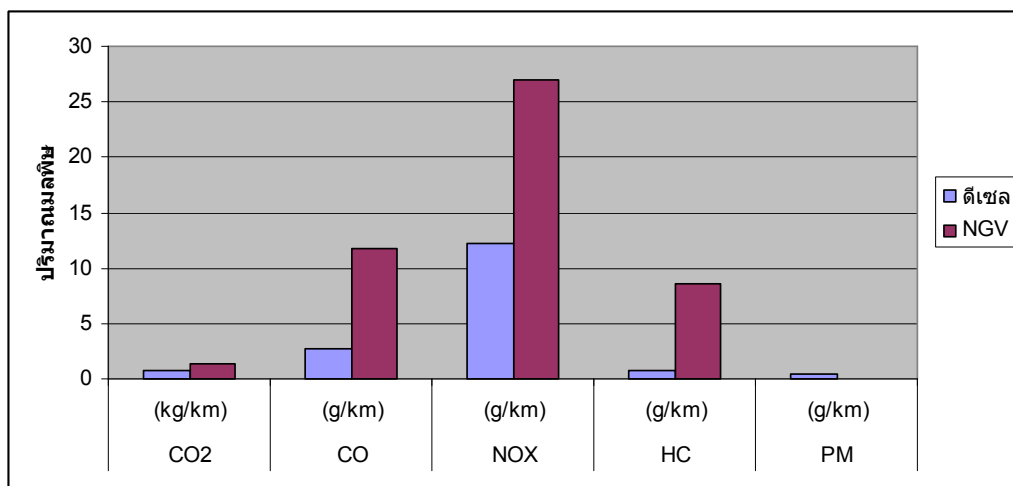
ตาราง 4.4 แสดงอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยของดีเซล และ NGV

	ชนิดเชื้อเพลิง	
	ดีเซล	NGV
อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง โดยเฉลี่ย (กม/ลิตร)	3.21	1.29

ตาราง 4.5 แสดงอัตราการปล่อยมลพิษของเชื้อเพลิงดีเซล และ NGV ในรถบรรทุกซีเมนต์

ชนิด เชื้อเพลิงที่ ใช้	อัตราการปล่อยมลพิษ				
	CO ₂ (kg/km)	CO (g/km)	NO _x (g/km)	HC (g/km)	PM (g/km)
ดีเซล	0.821	2.731	12.214	0.782	0.515
NGV	1.350	11.793	26.96	8.548	0.05

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม



รูป 4.3 แผนภูมิแสดงอัตราการปล่อยมลพิษของเชื้อเพลิงดีเซล และ NGV ในรถบรรทุกซีเมนต์

จากผลการทดสอบมลพิษของรถบรรทุกซีเมนต์ ในขั้นตอนการใช้งาน ปรากฏว่ามลพิษที่ปล่อยออกมาจากรถบรรทุกซีเมนต์ที่ใช้ NGV เป็นเชื้อเพลิง มีค่าสูงกว่า รถบรรทุกที่ใช้ ดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของ NGV นั้นมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงที่มากกว่า ดีเซล

4.2 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ

เมื่อได้ข้อมูลจากการจัดทำบัญชีรายการแล้ว นำข้อมูลที่ได้มาทำการประเมิน ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมโดยเทคนิค LCA โดยใช้โปรแกรม SimaPro ด้วยวิธี EDIP/UMIP 97 โดยในโปรแกรมจะมีการแบ่งประเภทผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมออกเป็น 15 ประเภท ได้แก่

- (1) Global Warming (GW): ภาวะโลกร้อนขึ้น
- (2) Ozone Depletion (OD): การทำลายชั้นบรรยากาศของโลก
- (3) Acidification (Ac): การเกิดฝนกรด
- (4) Eutrophication (Eu): การเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี
- (5) Photochemical Smog (PS): การเกิดหมอกสารเคมี
- (6) Ecotoxicity to Water Chronic (EWC): การสะสมสารพิษในน้ำ
- (7) Ecotoxicity to Water Acute (EWA): การเกิดสารพิษในน้ำแบบเฉียบพลัน
- (8) Ecotoxicity to Soil Chronic (ESC): การสะสมสารพิษในดิน
- (9) Human Toxicity to Air (HTA): การเกิดพิษในอากาศที่ส่งผลต่อมนุษย์
- (10) Human Toxicity to Water (HTW): การเกิดพิษในน้ำที่ส่งผลต่อมนุษย์
- (11) Human Toxicity to Soil: HTS การเกิดพิษในดินที่ส่งผลต่อมนุษย์
- (12) Bulk Waste (BW): การเกิดขยะในปริมาณมาก
- (13) Hazardous Waste (HW): การเกิดขยะอันตราย
- (14) Radioactive Waste (RW): การเกิดขยะกัมมันตรังสี
- (15) Slag/Ashes (S/A): การเกิดกากหรือตะกอนโลหะ

ค่าผลกระทบที่ได้จะรวมทั้งผลกระทบทางตรงและผลกระทบทางอ้อม โดยผลกระทบทางตรงที่เกิดขึ้นนั้นมาจากข้อมูลที่ทำการตรวจวัด หรือคำนวณค่าจากกระบวนการจริง ได้แก่ กระบวนการจัดหาอุปกรณ์ NGV กระบวนการดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV และกระบวนการนำไปใช้ เช่น ในการใช้น้ำมันดีเซลนั้นผลกระทบทางตรงที่เกิดขึ้นคือมลพิษหรือไอเสียจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ส่วนผลกระทบทางอ้อมนั้นจะอาศัยฐานข้อมูลของโปรแกรม ซึ่งกรณีการใช้น้ำมันดีเซลก็คือผลกระทบที่เกิดจากการผลิตน้ำมันดีเซล เป็นต้น โดยค่าผลกระทบที่ได้จะมีหน่วยแสดงเป็น Pt (Point) ต่อ 1 หน่วยการทำงาน (Functional Unit) ในที่นี้คือ Pt ต่อ การดัดแปลงติดตั้งระบบ NGV ในรถบรรทุกซีเมนต์ 1 คัน และมีการเปรียบเทียบความรุนแรงของผลกระทบทั้ง 15 ประเภทดังที่กล่าวมาแล้ว โดยผลกระทบที่เกิดขึ้นตลอดวัฏจักรชีวิตเป็นดังนี้

ตาราง 4.6 ค่าผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของการติดตั้งระบบ NGV แยกตามช่วงกระบวนการ ในการติดตั้งระบบ NGV 1 คัน และในการใช้งาน 1 กิโลเมตรในหน่วย Pt

กระบวนการ	หน่วย	ค่าผลกระทบ
กระบวนการจัดหาอุปกรณ์	Pt	10.630
การดัดแปลงรถยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV	Pt	0.044
การใช้งาน	Pt	0.0005
รวม	Pt	10.674

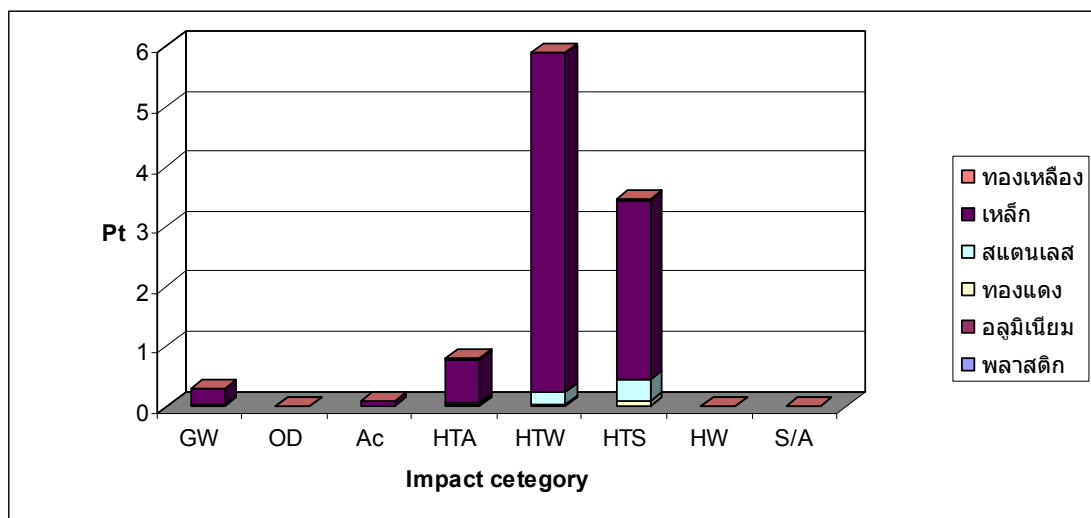
จากตารางที่ 4.6 แสดงให้เห็นผลกระทบที่เกิดขึ้นในกระบวนการต่างๆ ได้ชัดเจนขึ้น แต่ผลกระทบที่ออกมาเป็นผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการ ไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ เพราะเนื่องจาก สิ่งที่เข้าและออกจากกระบวนการมีความแตกต่างกัน โดยในกระบวนการแรกผลกระทบที่เกิดขึ้นเกิดจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบมีค่าเท่ากับ 10.674 Pt ส่วนในกระบวนการที่สองการดัดแปลงรถยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV ผลกระทบที่เกิดขึ้นเกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 0.022 Pt ส่วนกระบวนการสุดท้ายในการใช้งานผลกระทบที่เกิดขึ้นเกิดจากการใช้งานเท่ากับ 0.0005 Pt

4.2.1 ผลกระทบจากกระบวนการจัดหาอุปกรณ์ NGV

กระบวนการจัดหาอุปกรณ์ NGV เป็นผลกระทบที่เกิดจากการได้มาซึ่งวัตถุดิบเมื่อวิเคราะห์ถึงความรุนแรงของแต่ละผลกระทบที่เกิดขึ้นพบว่าในกระบวนการทางการจัดหาอุปกรณ์ NGV ก่อให้เกิดผลกระทบต่อ HTW มากที่สุดรองลงมาก็คือ HTS และ HTA ตามลำดับ

ตาราง 4.7 แสดงแหล่งที่มาและค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรชีวิตกระบวนการจัดหาอุปกรณ์ NGV ของรถบรรทุกซีเมนต์ 1 คัน

แหล่งผลกระทบ	หน่วยผลกระทบ	ปริมาณผลกระทบ
ทองเหลือง	Pt	0.0756
เหล็ก	Pt	9.7030
สแตนเลส	Pt	0.6676
ทองแดง	Pt	0.1357
อลูมิเนียม	Pt	0.0410
พลาสติก	Pt	0.0075
รวม	Pt	10.6305



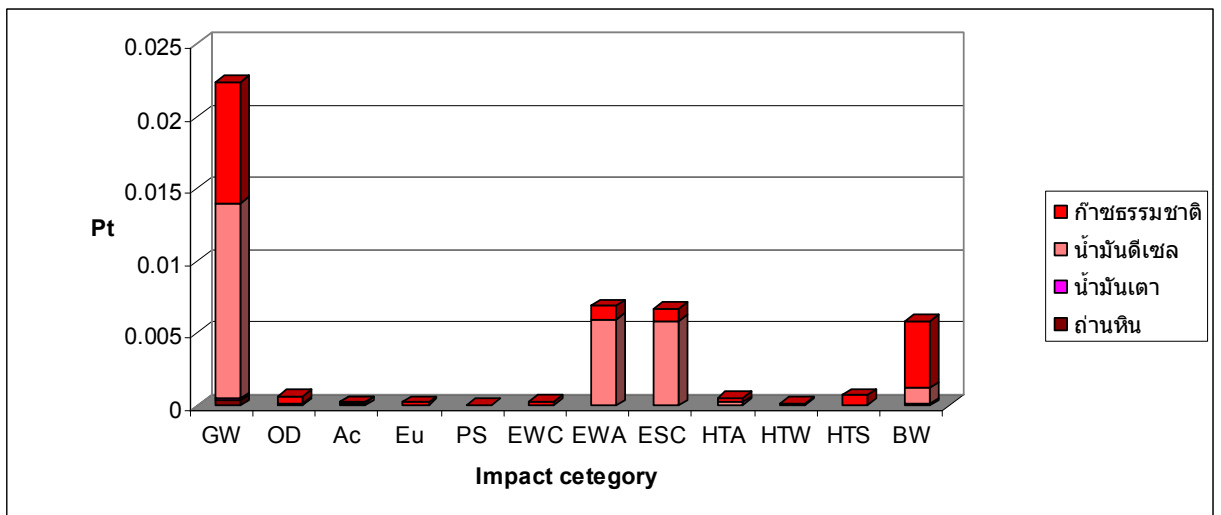
รูป 4.4 แผนภูมิแสดงปริมาณผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละประเภทตามวัสดุในกระบวนการจัดหาอุปกรณ์ NGV ของรถบรรทุกซีเมนต์ 1 คัน

4.2.2 ผลกระทบจากกระบวนการดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV

ขั้นตอนการดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV นั้นผลกระทบที่เกิดขึ้นเกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าพบว่าในกระบวนการทางการจัดหาอุปกรณ์ NGV ก่อให้เกิดผลกระทบต่อ HTS มากที่สุดรองลงมาคือ HTW และ GW แสดงดังตารางที่ 4.8

ตาราง 4.8 แสดงแหล่งที่มาและค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรชีวิตกระบวนการดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV ของรถบรรทุกซีเมนต์ 1 คัน

แหล่งผลกระทบ	หน่วยผลกระทบ	ปริมาณผลกระทบ
ถ่านหิน	Pt	0.0007
น้ำมันเตา	Pt	0.0002
น้ำมันดีเซล	Pt	0.0269
ก๊าซธรรมชาติ	Pt	0.0168
รวม	Pt	0.0447



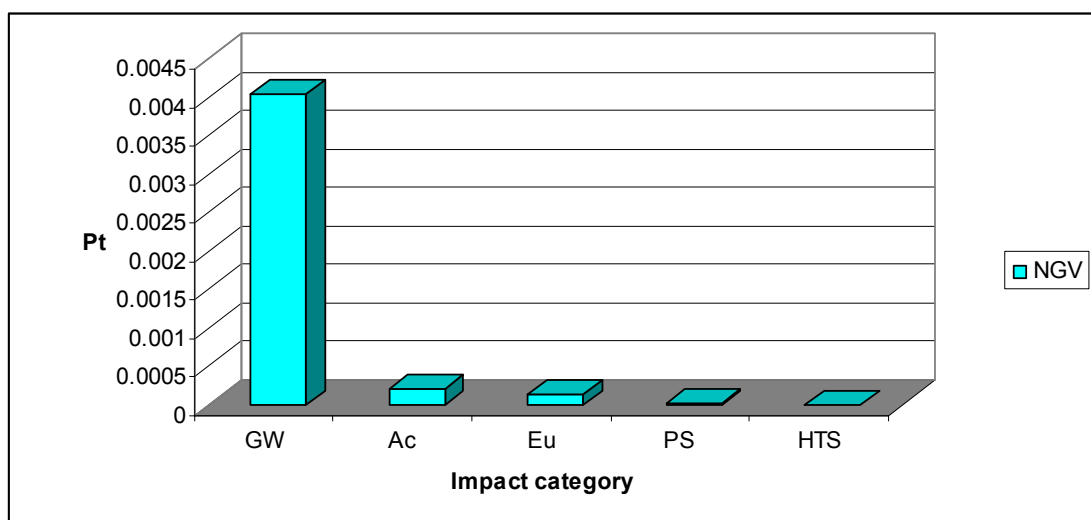
รูป 4.5 แผนภูมิปริมาณผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละประเภทตามแหล่งที่มาในการดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV ของรถบรรทุกซีเมนต์ 1 คัน

4.2.3 ผลกระทบจากการนำไปใช้

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในขั้นตอนการใช้งานผลปรากฏว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นมากที่สุดได้แก่ GW AC EU PS และ HTS ตามลำดับดังแสดงในตารางและรูปที่ 4.7

ตาราง 4.9 แหล่งที่มาและค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้งานรถบรรทุกซีเมนต์ที่ติดตั้งระบบ NGV ระยะทาง 1 กิโลเมตรตามประเภทผลกระทบ

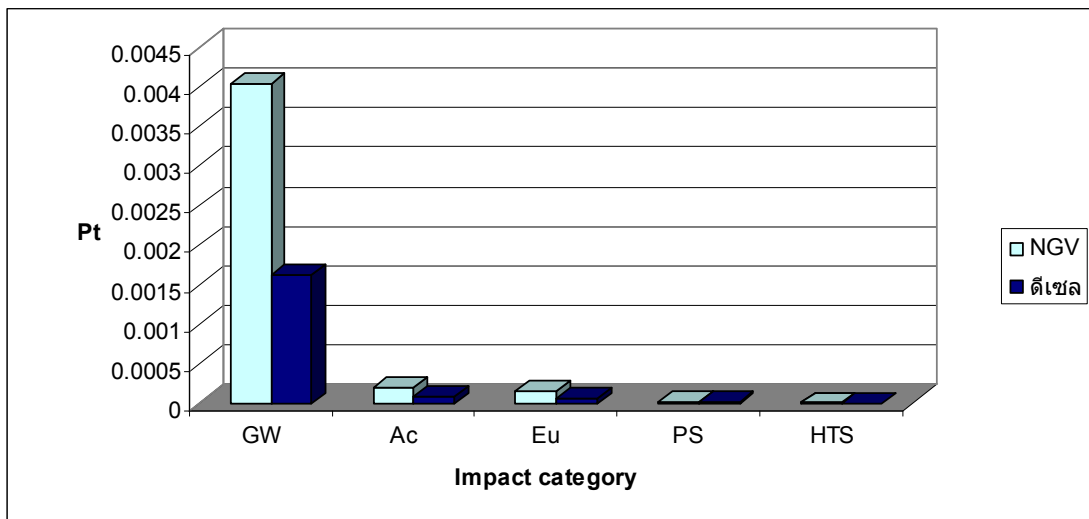
ประเภทผลกระทบ	หน่วย	ค่าผลกระทบ
Global warming	Pt	0.004039
Acidification	Pt	0.000198
Eutrophication	Pt	0.000147
Photochemical smog	Pt	2.12E-05
Human toxicity air	Pt	2.99E-06
รวม	Pt	0.001768



รูป 4.6 แผนภูมิผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการใช้งานรถบรรทุกซีเมนต์ที่ติดตั้งระบบ NGV ระยะทาง 1 กิโลเมตรตามประเภทผลกระทบ

4.2.4 เปรียบเทียบผลกระทบของ NGV กับน้ำมันดีเซล ในขั้นตอนการใช้งาน

การวิเคราะห์ในขั้นตอนการใช้งานจะทำการเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดจากการใช้งานของเชื้อเพลิงทั้งสองประเภท ได้แก่ น้ำมันดีเซล และ NGV ผลปรากฏว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นของเชื้อเพลิง NGV ก่อให้เกิดผลกระทบมากกว่าการใช้้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงดังแสดงในตารางและรูปที่ 4.7



รูป 4.7 เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทตลอดวัฏจักรชีวิต
ของ NGV และน้ำมันดีเซล

4.3 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต

การคำนวณหาต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิตเทียบเป็นปีปัจจุบัน (2549) อาศัยวิธีการ
คำนวณดังนี้

$$LCC = C_C + C_O + C_M + C_F + C_R - S \quad (1)$$

เมื่อ	C_C	=	ต้นทุนคงที่ (บาท)
	C_O	=	ต้นทุนในการดำเนินการ (บาท)
	C_M	=	ต้นทุนในการซ่อมบำรุง (บาท)
	C_F	=	ต้นทุนเชื้อเพลิงหรือพลังงาน (บาท)
	C_R	=	ต้นทุนในการแทนที่และทำลายทิ้ง (บาท)
	C_S	=	มูลค่าซาก (บาท)

ในงานวิจัยนี้จะทำการหาต้นทุนที่แท้จริง โดยไม่ได้คำนึงถึงต้นทุนที่เกิดจากการแทนที่
ทำลายทิ้ง และมูลค่าซาก โดยรายละเอียดค่าใช้จ่ายต่างมีดังต่อไปนี้

ราคาค่าติดตั้งสำหรับรถบรรทุก 6 ล้อ, 10 ล้อ, รถพ่วง, รถหัวลาก

1) อุปกรณ์ระบบ Dedicated	150,000 บาท
2) ถังบรรจุก๊าซธรรมชาติ 8 ถัง	184,000 บาท
3) ค่าอุปกรณ์ Support	20,000 บาท
4) ค่า Modify เครื่องยนต์	55,000 บาท
5) ค่า ซ่อมบำรุง	21,000 บาท
6) ค่าแรงและดำเนินการ	120,000 บาท
รวมทั้งสิ้น	550,000 บาท

ตาราง 4.10 แสดงค่าใช้จ่ายที่เกิดจากต้นทุนแต่ละประเภท

ประเภทต้นทุน	จำนวน (บาท)
C_O ต้นทุนในการดำเนินการ	529,000
C_M ต้นทุนในการซ่อมบำรุง	21,000
C_F ต้นทุนเชื้อเพลิงหรือพลังงาน	ราคาดีเซล 33.04 บาท / ลิตร

$$LCC = C_C + C_O + C_M + C_F \quad (2)$$

$$LCC = 529,000 + 21,000 + 518,364$$

$$LCC = \mathbf{550,000} \quad \text{บาท}$$

ราคาเชื้อเพลิง ดีเซล ที่ระยะทาง 72000 กม./ปีราคา ดีเซล เท่ากับ 33.04 บาท/ลิตร

$$\text{ราคาเชื้อเพลิง} = 740,880 \quad \text{บาท/ปี}$$

ราคาเชื้อเพลิง NGV ที่ระยะทาง 72000 กม./ปี ราคา NGV เท่ากับ 8.5 บาท/กก.

$$\text{ราคาซื้อเพลิง} = 474,480 \text{ บาท/ปี}$$

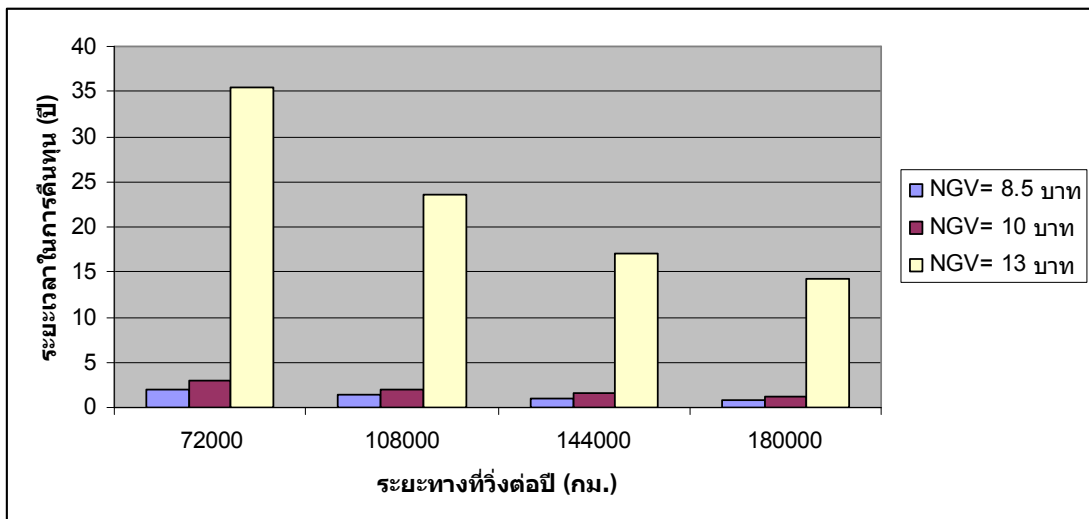
$$\text{ประหยัดได้ต่อปี} = 740,880 - 474,480 \text{ บาท/ปี}$$

$$\text{ประหยัดได้ต่อปี} = 266,400 \text{ บาท/ปี}$$

$$\begin{aligned} \text{ระยะเวลาในการคืนทุน} &= \frac{\text{ต้นทุนรวม(บาท)}}{\text{เงินที่สามารถประหยัดได้(บาท/ปี)}} \\ &= \frac{550,000}{266,400} \text{ ปี} \\ &= 2.06 \text{ ปี} \end{aligned}$$

ตาราง 4.11 แสดงระยะเวลาในการคืนทุนเมื่อราคา NGV และ ระยะทางเปลี่ยนไป

ระยะทางที่วิ่งต่อปี (กม)	NGV= 8.5 บาท	NGV= 10 บาท	NGV= 13 บาท
	ระยะเวลาคืนทุน(ปี)		
72000	2.06	3	35.48
108000	1.3	2	23.65
144000	1.03	1.5	17.07
180000	0.8	1.2	14.19



รูป 4.8 แสดงระยะเวลาในการคืนทุนเมื่อราคา NGV และ ระยะทางเปลี่ยนไป

จากตาราง 4.9 และรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าระยะเวลาในการคืนทุนนั้นขึ้นอยู่กับราคาของ NGV และระยะทางที่ใช้งาน ถ้าราคาของ NGV ต่ำ และการใช้งานเป็นระยะทางมากส่งผลให้ระยะเวลาในการคืนทุนเร็วขึ้นด้วย ดังนั้นการนำรถบรรทุกมาติดตั้งระบบ NGV จะต้องคำนึงถึงการใช้งานว่ามีการใช้งานเป็นระยะทางเท่าไรต่อวัน เพราะถ้าระยะทางใช้งานน้อย อาจไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน เนื่องจากระยะเวลาในการคืนทุนสูง

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการศึกษาวิจัย

5.1 สรุปและวิจารณ์ผลการวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (LCA) ของระบบติดตั้ง NGV ในรถบรรทุกซีเมนต์

สำหรับผลการคำนวณและการวิเคราะห์ในบทที่ 4 ที่ได้จากการรวบรวมข้อมูลตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบติดตั้ง NGV ทั้งในส่วนของการจัดเตรียมวัตถุดิบ การติดตั้ง และการใช้งาน ได้มีการวิเคราะห์ข้อมูลทั้งในส่วนของวัตถุดิบ และพลังงาน ทำให้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นตลอดช่วงชีวิตของระบบติดตั้ง NGV ว่าเป็นปริมาณเท่าใด และเกิดขึ้นจากกระบวนการใดมากที่สุด และเกิดผลกระทบประเภทใดมากที่สุด เพื่อสามารถนำข้อมูลที่ได้ในการวิเคราะห์ทั้งหมดไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการให้เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากขึ้น และเป็นข้อมูลที่สามารถนำไปพิจารณาในการตัดสินใจเลือกแหล่งพลังงานต่อไปในอนาคต โดยสามารถสรุปและวิจารณ์ผลการศึกษาทดลองได้ตามประเด็นดังต่อไปนี้

5.1.1 ผลการจัดทำบัญชีรายการ

ผลที่ได้จากการจัดทำบัญชีรายการนั้น เป็นข้อมูลที่ทำให้ทราบว่าในแต่ละกระบวนการตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบติดตั้ง NGV ต้องอาศัยปัจจัยนำเข้าอะไรบ้าง ในปริมาณเท่าใด ทั้งในส่วนที่เป็นทรัพยากรวัตถุดิบ และ พลังงาน ดังแสดงไว้แล้วในบทที่ 3 และจากภาคผนวก ก จะเห็นได้ว่าข้อมูลที่ได้บางส่วนสามารถและเก็บข้อมูลได้จริง แต่ข้อมูลบางส่วนได้มาจากการอ้างอิงข้อมูลที่มีผู้ศึกษาทดลองไว้แล้ว

อันเนื่องมาจาก ในการได้มาของข้อมูลบางข้อมูลไม่สามารถวัดได้โดยใช้เครื่องมือหรือวิธีการทั่วไป ต้องอาศัยเครื่องมือที่ซับซ้อน ใช้เวลาในการเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์เป็นระยะเวลานาน และต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการตรวจวัด ประกอบกับฐานข้อมูลทางด้าน LCA ในประเทศไทยนั้นไม่ได้มีการเก็บรวบรวมอย่างเป็นระบบ และยังมีฐานข้อมูลไม่มากนัก การอ้างอิงข้อมูลจากฐานข้อมูลของประเทศอื่นนั้นสามารถแก้ปัญหาในส่วนนี้ได้ แต่ข้อเสียก็คือบางข้อมูลที่อ้างอิงนั้นไม่ได้ทดลองในประเทศไทย สภาพแวดล้อม หรือปัจจัยในการทดลองนั้นอาจแตกต่างออกไป จึงต้องมีการปรับค่าของข้อมูลให้เหมาะสมกับขอบเขตและเงื่อนไขในการทดลองก่อนนำมาใช้ เพราะอาจทำให้ผลการศึกษาวิจัยที่ได้นั้นคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้

5.12 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบติดตั้ง NGV เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบในแต่ละช่วงกระบวนการ

สำหรับผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบติดตั้ง NGV ที่ได้จากการวิเคราะห์ผลกระทบโดยวิธี EDIP/UMIP นั้นสรุปได้ว่า ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต (LCA) ของระบบการติดตั้ง NGV มีผลกระทบรวมเท่ากับ 10.674 Pt หรือ 10.674 Pt/คัน โดยผลกระทบเกิดมากที่สุดในการบวนการจัดหาอุปกรณ์ NGV คิดเป็น 10.630 Pt ซึ่งที่มาของผลกระทบนั้นเป็นผลกระทบทางอ้อมที่เกิดจากการได้มาของวัตถุดิบ โดยเฉพาะถึงบรรจุภัณฑ์ส่วนประกอบหลักคือเหล็กมีการใช้จำนวน 1,060 กิโลกรัม โดยกระบวนการได้มาซึ่งเหล็กนั้นต้องใช้พลังงาน และวัตถุดิบในการบวนการต่างๆมากมาย ย่อมส่งผลให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงต้องมีการประเมินวงจรชีวิตของระบบ NGV เพื่อให้ทราบถึงปริมาณ และประเภทวัตถุดิบ ที่ใช้ในกระบวนการทั้งหมด และนำมาวิเคราะห์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงวัตถุดิบในการกระบวนการเพื่อลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมได้

5.1.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบ NGV พิจารณาตามประเภทผลกระทบ

เมื่อพิจารณา LCA โดยแยกตามประเภทของผลกระทบที่เกิดขึ้นจะพบว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้นมากที่สุดสองอันดับแรกของกระบวนการจัดหาอุปกรณ์ NGV คือปัญหา HTW หรือการเกิดพิษในน้ำที่ส่งผลต่อมนุษย์ HTS หรือการเกิดพิษในดินที่ส่งผลต่อมนุษย์ มีค่าเท่ากับ 55.56% และ 32.65% ตามลำดับ แหล่งที่มาของผลกระทบทั้งสองนั้นมาจากผลกระทบทางอ้อมของการได้มาซึ่งวัตถุดิบจากฐานข้อมูล Eco-invent Database และกระบวนการดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV ผลกระทบที่เกิดขึ้นมากที่สุดสองอันดับแรก คือปัญหา GW หรือภาวะโลกร้อนขึ้น EWA หรือการเกิดพิษเฉียบพลันต่อระบบนิเวศของน้ำ มีค่าเท่ากับ 50% และ 15.41% ตามลำดับ แหล่งที่มาของผลกระทบทั้งสองนั้นมาจากผลกระทบทางอ้อมของการได้มาซึ่งพลังงานไฟฟ้าจากฐานข้อมูลการผลิตกระแสไฟฟ้าในประเทศไทยจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน ปรากฏว่าการผลิตไฟฟ้าด้วยถ่านหินทำให้เกิดผลกระทบมากที่สุด กระบวนการสุดท้ายคือขั้นตอนการใช้งาน ผลกระทบที่เกิดขึ้นมากที่สุดสองอันดับแรก คือปัญหา GW หรือภาวะโลกร้อนขึ้น AC หรือการเกิดฝนกรด มีค่าเท่ากับ 91.63% และ 4.48% ตามลำดับ แหล่งที่มาของผลกระทบทั้งสองนั้นมาจากผลกระทบทางตรงของการปล่อยมลพิษจากรถบรรทุกซีเมนต์โดยมลพิษที่วัดได้มากที่สุดคือ NO_x , CO_2 , CO , HC , PM ตามลำดับ

5.2 เปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของ NGV กับดีเซล

ในการเปรียบเทียบ LCA ของ NGV กับ ดีเซลนั้นพบว่า ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการใช้งานของ NGV นั้นมากกว่าคิดเป็น 0.0044 Pt ในขณะที่ดีเซลมีค่าเป็น 0.0017 Pt เนื่องมาจากการติดตั้งระบบ NGV นั้นไม่ได้มาตรฐานโดยในขั้นตอนการเก็บข้อมูลพบว่าการติดตั้งนั้นจะติดตั้งกันเองไม่ได้ให้บริษัท หรือช่างผู้ชำนาญติดตั้ง เนื่องจากมีราคาสูง ดังนั้นจึงส่งผลให้มลพิษที่ปล่อยออกมาในขั้นตอนการใช้งานสูง และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงขึ้นด้วย

เมื่อเปรียบเทียบความรุนแรงของผลกระทบนั้นพบว่า ผลกระทบของภาวะโลกร้อน (GW) การเกิดฝนกรด (AC) และการเกิดปรากฏการณ์น้ำเปลี่ยนสี (Eu) ของ NGV นั้นมากกว่าดีเซลอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ NGV ไม่สมบูรณ์ก่อให้เกิดมลพิษที่เป็นสาเหตุของผลกระทบดังกล่าวมากกว่า อาทิเช่น CO_2 , และ NO_x

อย่างไรก็ตามข้อมูล LCA ด้านการใช้งานของ NGV และ ดีเซล ที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบนี้อาจไม่เหมาะสมในบางรายละเอียดในการนำมาเปรียบเทียบกับ LCA กับที่นำมาติดตั้งระบบ NGV แบบอื่นหรือติดตั้งโดยผู้ชำนาญ เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ได้จากการอ้างอิงข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งได้ทำการตรวจวัดรถบรรทุกซีเมนต์ทั้งสองเชื้อเพลิง ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยของต่างประเทศในประเทศแถบยุโรป เนื่องจากทางยุโรปจะใช้เครื่องยนต์ NGV ใหม่จากโรงงานดังนั้นประสิทธิภาพ และสมรรถนะของเครื่องยนต์สูงกว่า ทำให้มลพิษที่ออกมาของ NGV ต่ำกว่า ดีเซลได้

จากการเปรียบเทียบสมรรถนะ และปริมาณการปล่อยมลพิษระหว่าง รถยนต์ก๊าซธรรมชาติในต่างประเทศ และภายในประเทศพบว่า รถยนต์ก๊าซธรรมชาติของต่างประเทศมีประสิทธิภาพดีกว่า และปริมาณการปล่อยไอเสียต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องจากรถยนต์ก๊าซธรรมชาติของต่างประเทศมีการตั้งเวลาจุดระเบิด (Ignition timing) ที่เหมาะสมต่อการใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง และมีการติดตั้งระบบควบคุมเครื่องยนต์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic engine control unit: ECU) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สามารถควบคุมเวลาและปริมาณในการจ่ายเชื้อเพลิง การผสมกันของเชื้อเพลิงและอากาศหรือไอดี และการจุดระเบิด ขณะที่รถยนต์ก๊าซธรรมชาติในประเทศที่เป็นเครื่องยนต์ดัดแปลงมีการปรับแต่งเครื่องยนต์ที่ยังไม่ได้มาตรฐานเท่าที่ควร จึงส่งผลให้มีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น อีกทั้งปริมาณมลพิษที่ปล่อยออกมายังสูงกว่ารถยนต์ดีเซลปกติ

5.3 ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต และวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

5.3.1 กรณีหาต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิต

ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบติดตั้ง NGV ในกรณีที่ทำการศึกษาเป็นรถบรรทุกซีเมนต์ ที่ติดตั้งระบบ NGV แบบ Dedicated เป็นระบบที่มีการใช้ก๊าซธรรมชาติเพียงอย่างเดียว คิดเป็นมูลค่าปัจจุบัน 550,000 บาท ต่อ การติดตั้ง 1 คัน โดยเกิดจากอุปกรณ์ระบบ Dedicated 150,000 บาท, ถังบรรจุก๊าซธรรมชาติ 8 ถัง 184,000 บาท, ค่าอุปกรณ์ Support 20,000 บาท, ค่า Modify เครื่องยนต์ 55,000 บาท, ค่าซ่อมบำรุง 21,000 บาท, ค่าแรงและดำเนินการ 120,000 บาท ต้นทุนหลักนั้นมาจากต้นทุนในการดำเนินการ และ ต้นทุนด้านอุปกรณ์มากที่สุด ซึ่งต้นทุนทั้งสองนี้เป็นต้นทุนผันแปร จะมากหรือน้อยนั้นขึ้นกับปริมาณการผลิต เช่นค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ ค่าจ้าง เป็นต้น

5.3.2 กรณีวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

เมื่อคิดมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตโดยมีค่าเท่ากับ 550,000 บาท ในส่วนของต้นทุนสิ่งแวดล้อมนี้เมื่อนำไปวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุนปรากฏว่าเมื่อราคา NGV ที่ 8.5, 10, 13 บาท/กก. เปอร์เซ็นต์การประหยัดมีค่าเท่ากับ 36% , 25% , 2% และ เมื่อราคา NGV มากกว่า 13 บาท/กก. จะทำให้เปอร์เซ็นต์การประหยัดนั้นติดลบ ไม่เหมาะที่จะลงทุน เมื่อราคา ดีเซล เท่ากับ 33.04 บาท/ลิตร

จากผลการทดลองหาระยะเวลาในการคืนทุนเมื่อระยะทางในการใช้งานเท่ากับ 72,000 , 108,000 , 144,000 , 180,000 กม/ปี ผลปรากฏว่าเมื่อมีการใช้งานเป็นระยะทางมาก ก็จะส่งผลให้ระยะเวลาในการคืนทุนเร็วขึ้น ดังนั้นถ้าผู้ประกอบการต้องการนำรถมาติดตั้งระบบ NGV จะต้องคำนึงถึงระยะทางที่ใช้งานด้วยถ้าปกติใช้งานน้อย หรือใช้งานในหนึ่งวันไม่ถึง 100 กิโลเมตร ก็ไม่น่าลงทุนในการนำรถมาติดตั้ง เพราะระยะเวลานการคืนทุนจะนานจนเกินไป และต้องดูปัจจัยด้านอื่นควบคู่ไปด้วยเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในการลงทุน

5.4 แนวทางในการลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ต้นทุน และข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษา LCA ที่ได้ เมื่อนำไปวิเคราะห์หาสาเหตุที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นสามารถหาแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ดังนี้

- ลดการใช้พลังงานไฟฟ้า เนื่องจากในการติดตั้งระบบ NGV มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณมาก โดยเฉพาะในการติดตั้งอุปกรณ์ NGV ประกอบกับการผลิตไฟฟ้าในประเทศไทย ดังภาคผนวก ก พบว่ามากกว่าร้อยละ 70 เป็นไฟฟ้าที่ได้จากก๊าซธรรมชาติ และประมาณร้อยละ 15 มาจากถ่านหินและลิกไนต์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2549) ซึ่งการได้มา

ของพลังงานไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงทั้งสองชนิดนี้ ล้วนก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในปริมาณมาก ดังนั้น ถ้าเราสามารถหาวิธีการจัดการในการติดตั้งระบบ NGV ด้วยวิธีอื่นที่มีประสิทธิภาพมากกว่าการติดตั้งทั่วไป อาทิเช่น การวางแผนก่อนการติดตั้ง กำหนดว่าขั้นตอนใดควรทำก่อน ทำหลัง เพื่อให้สามารถใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างคุ้มค่า และเฉพาะเจาะจง อีกทั้งยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายได้อีกทางหนึ่ง ก็จะสามารถลดผลกระทบในส่วนนี้ได้

- **เพิ่มประสิทธิภาพเครื่องจักร** ในการติดตั้งระบบ NGV นั้น มีการใช้เครื่องจักรหลายชนิดโดยต้องอาศัยพลังงานไฟฟ้าเช่นเดียวกัน ดังนั้นถ้าเครื่องจักรมีประสิทธิภาพต่ำย่อมส่งผลให้การใช้ไฟฟ้ามากขึ้น ดังนั้นถ้าเราสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องจักร โดยออกแบบให้กำลังการผลิตนั้นเหมาะสมกับต้นกำลังของเครื่องจักร หรือเลือกใช้ขนาดของเครื่องจักรให้เหมาะสมกับความต้องการในการทำงาน รวมถึงการใช้งานเครื่องจักรอย่างถูกต้องและถูกประเภท จะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าและยังยืดอายุการใช้งานของเครื่องจักรได้ทางอีกหนึ่ง ดังนั้นก็จะทำให้ลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่งเช่นกัน

- **เปลี่ยนชนิดวัตถุดิบ** ในการติดตั้งระบบ NGV ต้องใช้วัตถุดิบในการผลิตอุปกรณ์ โดยเฉพาะ เหล็กมีการใช้มากที่สุดเนื่องจากเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตถังบรรจุก๊าซ ซึ่งเหล็กนั้นก่อให้เกิดผลกระทบเป็นอย่างมาก และยังมีน้ำหนักมาก ดังนั้นจึงควรที่จะหาวัตถุดิบมาใช้แทนเหล็ก และ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม น้ำหนักเบา ทนทาน เช่น ไฟเบอร์กลาส แต่อุปกรณ์ดังกล่าวอาจสามารถลดผลกระทบได้ในบางส่วน แต่อย่างไรก็ตามต้องมีการศึกษาถึงความเหมาะสมในหลายด้านไม่ว่าจะเป็นความเหมาะสมในเกิดปฏิกิริยา และคุณภาพและมาตรฐานระบบ NGV ที่ได้มาตรฐานตามข้อกำหนดหรือไม่ อย่างไร

- **เพิ่มประสิทธิภาพเครื่องยนต์** การเผาไหม้ของเครื่องยนต์ที่ทำการดัดแปลงใช้ก๊าซ NGV นั้นก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาก จึงควรหาแนวทางที่เป็นไปได้ในการลดผลกระทบ ในกรณีที่มีการยอมรับและนำ NGV มาใช้จริงกับเครื่องยนต์ ก็คือการปรับปรุงประสิทธิภาพในการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จะสามารถลดการเกิด CO ได้ทางหนึ่ง แต่ก็ยังมีข้อจำกัด เนื่องจากก๊าซที่เกิดในการเผาไหม้นั้น ส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับผู้ทำการติดตั้ง โดยการปรับที่กล่องควบคุมเชื้อเพลิง ดังนั้นจึงควรมีการอบรมผู้ทำการติดตั้งเพื่อให้เกิดความรู้ความสามารถในการติดตั้งให้เครื่องยนต์นั้นมีประสิทธิภาพ และก่อให้เกิดผลกระทบน้อยที่สุด

อย่างไรก็ตาม แนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นจำเป็นต้องมีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ ทั้งในทางเทคนิคและต้นทุนที่เกิดขึ้นด้วย จึงจะสามารถสรุปได้ว่าวิธีการใดเป็นไปได้และเหมาะสม ที่จะนำมาใช้มากที่สุด โดยหลังจากนำแนวทางในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ได้มาใช้แล้ว ควรจะมีการวิเคราะห์ LCA อีกครั้งหนึ่งเพื่อเป็นการยืนยันว่าสามารถลดผลกระทบที่เกิดขึ้นได้จริงหรือไม่อย่างไร

บรรณานุกรม

- กระทรวงพลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. สถานการณ์พลังงาน [ออนไลน์]. 2550.
แหล่งที่มา: [http:// www.nepo.go.th](http://www.nepo.go.th) [15 กุมภาพันธ์ 2550]
- การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย "ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์" เอกสารแผ่นพับเผยแพร่ บริษัท
ปิโตรเคมี แห่งชาติ, 9/TH/34
- คู่มือประกอบการอบรม.การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment).
เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล 2544. การประเมินวัฏจักรชีวิตของผู้เย็นพาณิชย์.วิศวกรรมศาสตร์
มหาบัณฑิต.คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- บวร บริบูรณ์.(2547). *การจัดการพลังงานโดยการประเมินวัฏจักรชีวิตของเหมืองแร่แบบเปิด*.
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ประทีป ช่วยเกิด. (2549). การประเมินความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้ก๊าซธรรมชาติอัด
เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ดีเซลในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล. บัณฑิตวิทยาลัยร่วม
ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ปัญญา วรเพชรายุทธ และคณะ. (2546). *คู่มือการจัดทำแผนการจัดการคุณภาพอากาศ*. กรมควบคุม
มลพิษ .
- ภูวนารถ แสงสุริยา.(2547). *การประเมินประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ในพื้นที่
เทศบาลนครเชียงใหม่*.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม
พลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- วสันต์ จอมภักดี. (2530). *เครื่องยนต์เบื้องต้น (Automotive Engine Fundamentals)*.
- วันชัย ธิจิรวนิช .(2528). *การวิเคราะห์โครงข่าย (Network Analysis)* กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ซีเอ็ด
ยูเคชั่น.
- เศรษฐ์ สัมภิตตะกุล.(2544). *การประเมินวัฏจักรชีวิตของผู้เย็นพาณิชย์*,วิทยานิพนธ์วิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Angelo Riva., Simona D' Angelosante. and Carla Trebeschi. Natural gas and the
environmental results of life cycle assessment. Available at
<http://elsevier.com/locate/energy>. Energy 31 (2006) .
- Australian Greenhouse Office "Compressed Natural Gas Infrastructure Program" Fact Sheet
Benjamin S.Blanchard .(2005). *Logistics Engineering And Management*.Sixth Edition.

- Department of Trade and Industry Automotive Directorate, UK. *The Environmental Impacts of Motor Manufacturing and Disposal of End of Life Vehicles.*
- Hamdy A.Taha .(2003). *Operations Research;An Introduction.* Seventh Edition.
- Ir. H.A.Verbeek,VEHICLE EXHAUST EMISSION MEASURING ON FOUR FUELS
- James Eberhardt. (1998) *Life-Cycle Analysis for Heavy Vehicles.*
- Japan Environmental Management Association For Industry. (2000) . *Emission Intensities of each substance from Power Stations in Thailand in Fiscal Year 2000.*
- Kriangchai Yaoyuenyong and Suebsuk Nanthavinij (2005) *Energy-Based Workforce Scheduling Problem: Mathematical Model and Solution Algorithms*
- Malcolm A.Weiss .(2000). *ON THE ROAD 2020 A Life-cycle analysis of new automobile technologies.*
- Michael Faltenbacher, Marc Binder .(2003). *Life Cycle Assessment of the different bus technologie.*
- Nada Zamel, Xianguo Li. (2005) *Life Cycle analysis of vehicles powered by a fuel cell and by internal combustion engine for Canada.*
- Norman L. Newhouse, Ph.D., P.E. and Dale B. Tiller, P.E. "Development of All-Composite NGV Fuel Containers" Prepared for Presentation at the NGV '98 International Conference, May Tetsuya Suzuki, Jun Takahashi (2005). *LCA of Lightweight Vehicles by Using CFRP for Mass-produced Vehicles.*
- Tetsuya Suzuki, Tetsuji Hukuyama, Hiroaki Zushi, Takeshi Origuchi, Jun Takahashi(2003) *Evaluation of effects of Lightening trucks on environment by LCA.*
- W.F.STOECKER. (2000). *Design of Thermal Systems.*Third Edition.
- Yucho Sadamichi . *An Assessment Method of Consolidated Life Cycle Impact and its Application to Electricity Generating Process in Japan* Doctor Thesis, Mie University, Japan 2006.
- West Virginia University (Wang,W., et al, "a Study of Emissions from CNG and Diesel Fueled Heavy Duty Vehicles" SAE paper no.932828, 1993)

ภาคผนวก

ตารางเปรียบเทียบกิจกรรมที่วางแผนไว้

ในการดำเนินงานวิจัยตลอดระยะเวลาโครงการ มีแผนการดำเนินการดังตารางที่ 1

ตารางภาคผนวกที่ 1 แผนการดำเนินงานของโครงการ

การดำเนินงาน	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12
1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับวัฏจักรชีวิตของรถบรรทุกป็นซีเมนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ พร้อมจัดทำต้นแบบฐานข้อมูล						
2. เก็บข้อมูลการใช้พลังงาน วัสดุอุปกรณ์ การติดตั้ง การนำไปใช้งานพร้อมจัดทำฐานข้อมูลสำหรับการประเมินวัฏจักรชีวิตของการรถบรรทุกที่ใช้ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์						
3. วิเคราะห์ผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม ของทุกระบวน การในระบบการติดตั้งก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์						
4. ประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิต และวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์						
5. สรุปและจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์ และนำเสนอผลงาน						



การศึกษาที่อยู่ในรายงานฉบับสมบูรณ์ (ฉบับร่าง)

ผลการดำเนินการตลอดโครงการ

ในส่วนของการดำเนินโครงการวิจัย ตลอด 1 ปี คณะผู้วิจัยได้ทำการสำรวจข้อมูลเกี่ยวกับรูปแบบ ของการติดตั้งระบบ NGV ของรถบรรทุกซีเมนต์แบบต่างๆ ได้แก่ Dedicated NGV, Dual NGV และ Re-powering พบว่าในการติดตั้งระบบ NGV ในรถบรรทุกขนาดใหญ่จะติดตั้งระบบ NGV แบบ Dedicated มากที่สุด เนื่องจากสามารถประหยัดค่าเชื้อเพลิงได้มาก และระยะเวลาในการคืนทุนสั้นดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกศึกษาระบบ NGV แบบ Dedicated จากนั้นทำการประเมินวงจรชีวิตมีรายละเอียดของกิจกรรมดังตารางภาคผนวกที่ 2 และ 3

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

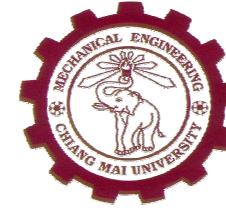
ตารางภาคผนวกที่ 2 รายละเอียดของกิจกรรม และตัวชี้วัดความสำเร็จของโครงการใน

ระยะเวลา เดือนที่ 1 – เดือนที่ 6

กิจกรรม	ตัวชี้วัดความสำเร็จของงาน
[1] ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยภายใต้หัวข้อ การประเมินวัฏจักรชีวิต และความคุ้มค่าทาง เศรษฐศาสตร์ของระบบ NGV ในรถบรรทุก ซีเมนต์ผง	ได้รูปแบบ และขั้นตอนของการติดตั้งระบบ NGV ในรถบรรทุก รวมถึงค่าใช้จ่ายในการ ติดตั้งเพื่อคำนวณหาความคุ้มค่าทาง เศรษฐศาสตร์
[2] ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นในปัจจุบันในทุกๆ ด้าน เกี่ยวกับ ระบบ NGV ทั้งหมดตั้งแต่เริ่มต้นการ จัดเตรียมวัตถุดิบ จนกระทั่งถึงการนำไปใช้ว่า ประกอบด้วยกระบวนการใดบ้าง โดยละเอียด	ได้เข้าใจถึงขั้นตอนการติดตั้งระบบ NGV ใน รถบรรทุก ว่าประกอบไปด้วย ขั้นตอนการแยก ส่วนประกอบเครื่องยนต์ ขั้นตอนการประกอบ เครื่องยนต์ และขั้นตอนการติดตั้งอุปกรณ์ NGV
[3] ประสานขอความร่วมมือไปยังบริษัทผู้ขนส่ง ซีเมนต์ผง และหน่วยงานที่สนับสนุนหรือ ส่งเสริมการนำระบบ NGV มาใช้งานเพื่อขอ ข้อมูลและขอความอนุเคราะห์ในการเก็บข้อมูล	ได้ข้อมูลคุณลักษณะของอุปกรณ์ NGV ทั้งหมด รวมถึงส่วนประกอบของอุปกรณ์ และพลังงาน ในรูปแบบต่างที่ใช้ในการติดตั้งระบบ NGV และทราบถึงมลพิษที่เกิดขึ้นจากการใช้เชื้อเพลิง ของดีเซล และ NGV เพื่อสามารถนำมา เปรียบเทียบได้
[4] เก็บข้อมูลของแต่ละกิจกรรมในวัฏจักรในด้าน การใช้พลังงาน วัสดุ การปล่อยมลพิษและ ต้นทุนในการติดตั้งระบบ NGV	ได้ข้อมูลทั้งหมดของระบบ NGV โดยจะแบ่ง ออกเป็นสองรูปแบบคือ พลังงานที่ใช้ และ ปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ในขั้นตอนต่างๆ โดยแบ่ง ออกเป็นสามขั้นตอน ขั้นตอนการจัดหาอุปกรณ์ NGV ขั้นตอนการดัดแปลงติดตั้งอุปกรณ์ NGV และขั้นตอนการนำไปใช้งาน รวมทั้งต้นทุน ค่าใช้จ่ายที่ทำการติดตั้ง

ตารางภาคผนวกที่ 2 รายละเอียดของกิจกรรม และตัวชี้วัดความสำเร็จของโครงการใน
ระยะเวลา เดือนที่ 7 – เดือนที่ 12

กิจกรรม	ตัวชี้วัดความสำเร็จของงาน
[5] นำข้อมูลที่ได้มาทำการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้น	เข้าใจถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการที่เกิดจากการใช้พลังงานไฟฟ้าและการใช้วัสดุดิบ
[6] นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์	ทราบถึงค่าใช้จ่ายต้นทุนที่เกิดในการติดตั้งระบบ NGV ในรถบรรทุก และระยะเวลาในการคืนทุน ที่ราคา NGV และระยะทางใช้งานที่แตกต่างกันว่าระยะเวลาในการคืนทุนเปลี่ยนแปลงอย่างไร
[7] สรุปผลการศึกษาวิจัย	สามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ และประกอบการตัดสินใจในการนำรถมาติดตั้งระบบ NGV



การศึกษาเปรียบเทียบผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ตลอดวัฏจักรชีวิตของ
รถบรรทุกปูนซีเมนต์ที่ใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียมและก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงในประเทศไทย

สัญญาเลขที่ RDG5150006

นาย ธาดา วรณโชติกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

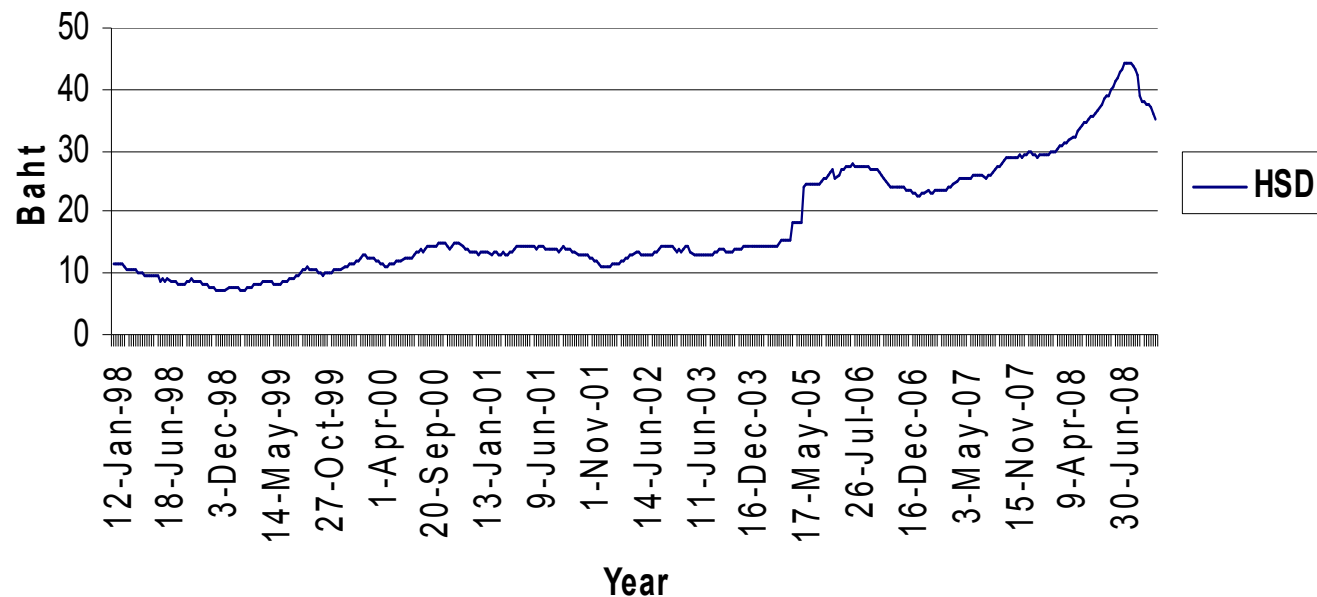
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.พฤษ อักกะรังสี

ที่มาและความสำคัญ

ราคาน้ำมันดีเซลสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

กราฟแสดงราคาราคาน้ำมันดีเซลระหว่างปี 1998-2008

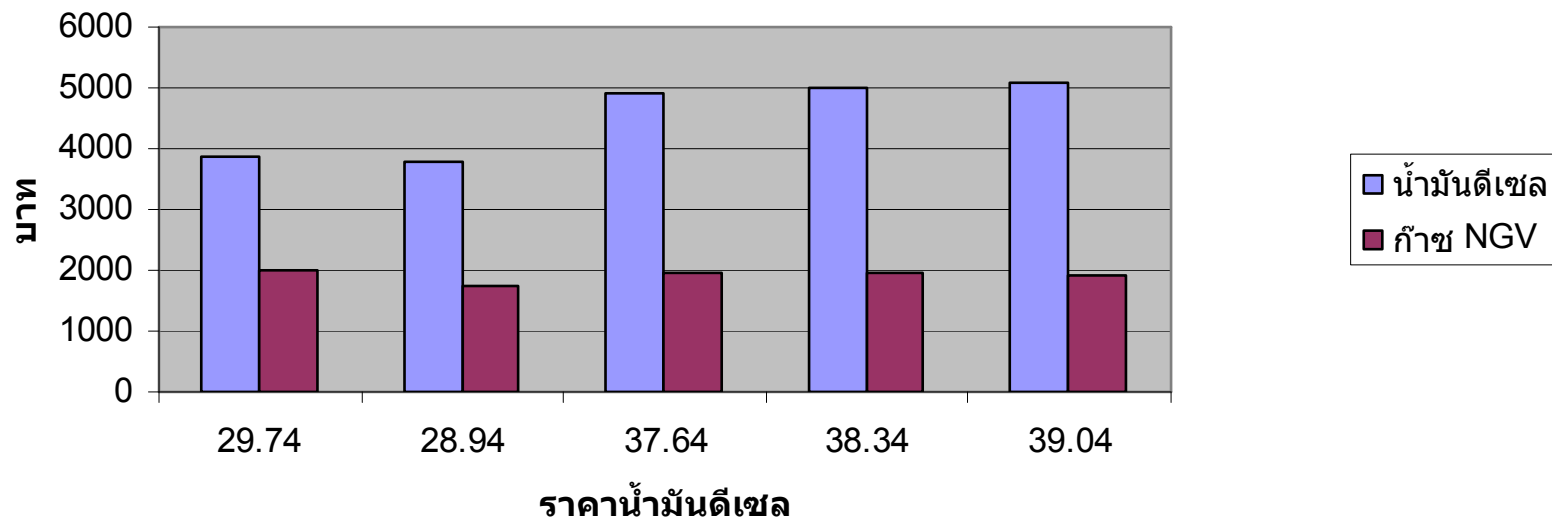


ที่มา:ราคาน้ำมันขายปลีกของ บริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน)

ที่มาและความสำคัญ

ภาคอุตสาหกรรมขนส่ง

กราฟแสดงค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงในการขนส่งจากระยะทาง
ไป-กลับสนามบินสุวรรณภูมิเป็นระยะทาง290กิโลเมตรต่อวัน



ที่มา : บริษัทผู้ขนส่งปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน), 2551

ที่มาและความสำคัญ

ค่าใช้จ่าย

ค่าซ่อมบำรุง และช่างผู้ชำนาญ



น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น

ระยะเวลาดำเนินทุน

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์

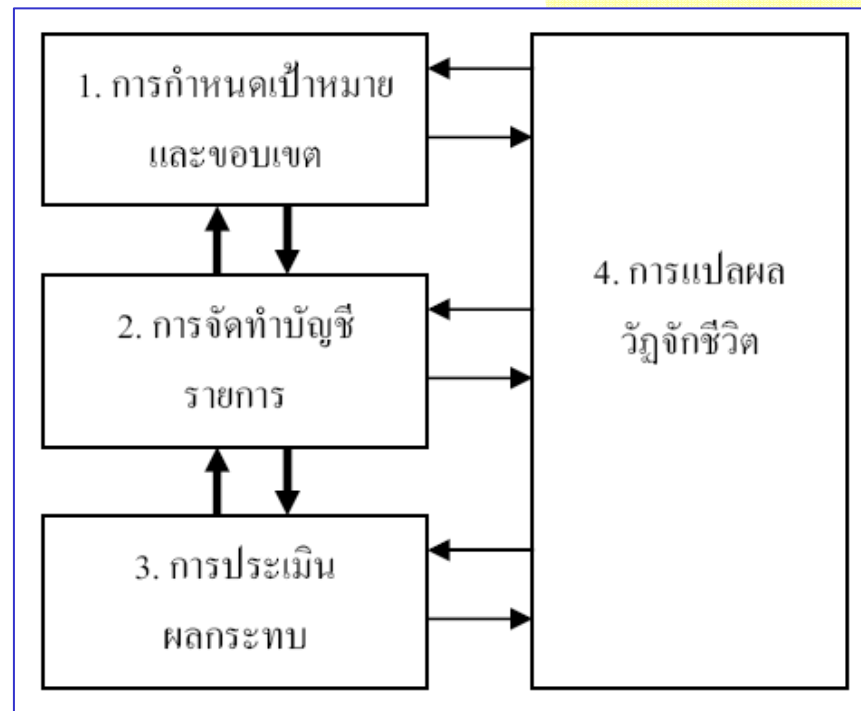
1. เพื่อศึกษาผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของรถบรรทุกปูนซีเมนต์เมื่อเปลี่ยนมาใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง
2. วิเคราะห์ต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิต
3. เปรียบเทียบผลทางด้านสิ่งแวดล้อม และ เศรษฐศาสตร์ระหว่างรถบรรทุกปูนซีเมนต์ ที่น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง และรถบรรทุกปูนซีเมนต์ที่ใช้ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์

ขอบเขตงานวิจัย

- ❖ รถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ รถบรรทุกซีเมนต์ที่ใช้ระยะทางวิ่งทดสอบ หน่วย กิโลเมตร อายุการใช้งานเมื่อติดตั้ง 10 ปี
- ❖ เก็บข้อมูลมลภาวะทางอากาศที่ใช้วิเคราะห์ คือ CO, NO_x, CO₂, PM, HC ต่อการใช้งาน
- ❖ ศึกษารถบรรทุกที่ใช้ NGV แบบ (Dedicated NGV) ซึ่งเป็นระบบ ที่ใช้ ก๊าซธรรมชาติเพียงอย่างเดียว

แนวทางการวิจัย

LCA : Life Cycle Assessment



LCC : Life Cycle Costing

$$LCC = C_C + C_O + C_M + C_F + C_R - S + E$$

เมื่อ	C_C	=	ต้นทุนคงที่ (บาท)
	C_O	=	ต้นทุนในการดำเนินการ (บาท)
	C_M	=	ต้นทุนในการซ่อมบำรุง (บาท)
	C_F	=	ต้นทุนเชื้อเพลิงหรือพลังงาน (บาท)
	C_R	=	ต้นทุนในการแทนที่และทำลายทิ้ง (บาท)
	S	=	มูลค่าซาก (บาท)
	E	=	ต้นทุนสิ่งแวดล้อม (บาท)

ที่มา : ขั้นตอนในการทำ LCA ตามหลัก ISO (ISO 14040, 1997)

ขั้นตอนการวิจัย

การกำหนดเป้าหมาย

1. ประเมินวงจรชีวิตของการติดตั้งระบบ NGV ประกอบด้วยการจัดหาอุปกรณ์ NGV การดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV และ การนำไปใช้
2. เปรียบเทียบค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่ได้จากการติดตั้งระบบ NGV 1 คันกับการใช้งาน 1 กิโลเมตร
3. เพื่อหาต้นทุนรวมตลอดวัฏจักรชีวิต ของการติดตั้งระบบ NGV และหาระยะเวลาในการคืนทุน

ขั้นตอนการวิจัย

การกำหนดขอบเขต

1. รถบรรทุกซีเมนต์ที่ซื้ทดสอบขนาดเครื่องยนต์ 270 แรงม้า
2. ระยะทางในการใช้งาน 72,000 , 108,000 , 144,000 , 180,000 กิโลเมตรต่อปี
3. เก็บข้อมูลมลภาวะทางอากาศที่พิจารณา CO, NO_x, CO₂, PM และ HC ของการใช้งาน 1 กิโลเมตร
4. ศึกษารถบรรทุกที่ใช้ NGV แบบ (Dedicated NGV)

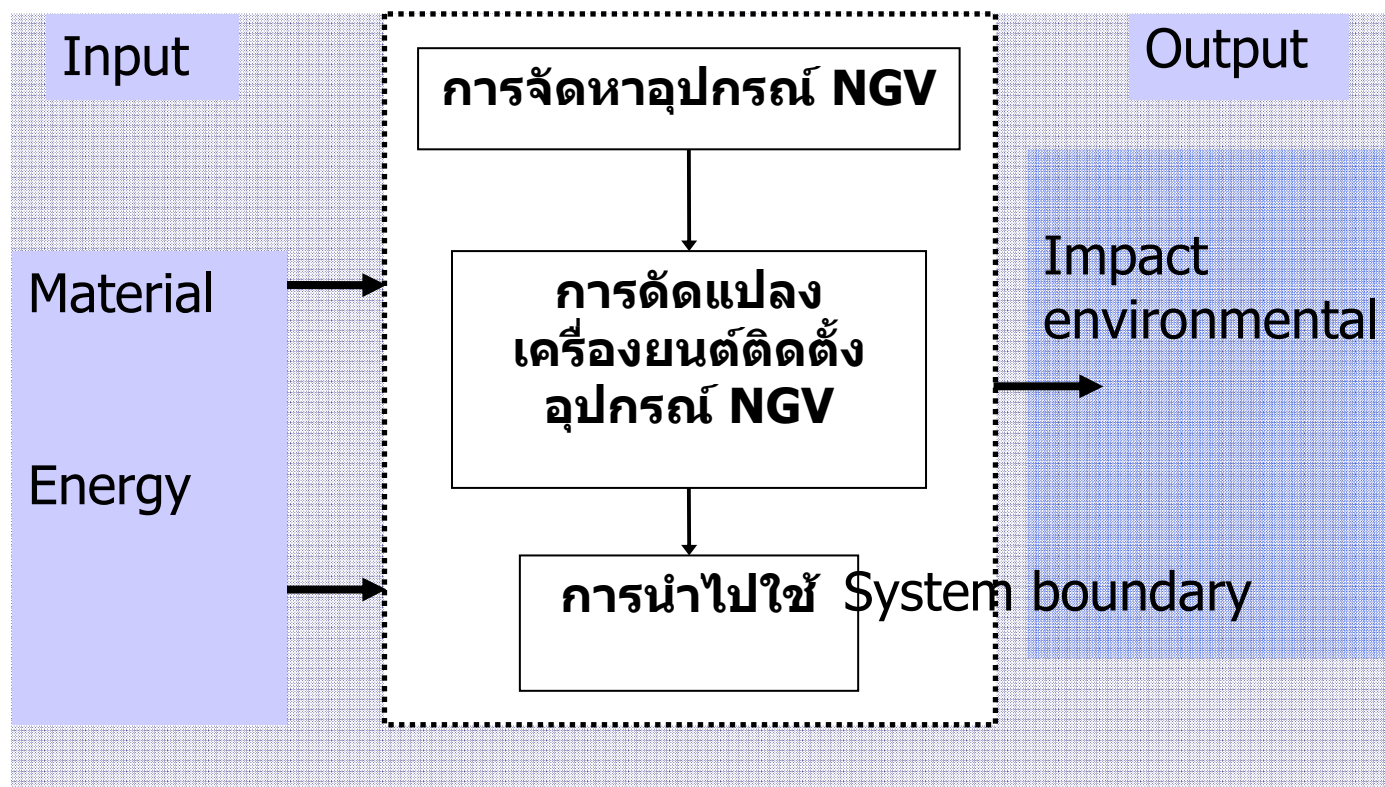


หน่วยการทำงาน

- การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบ NGV ในรถบรรทุกปูนซีเมนต์ผงนั้นจะประเมินผลกระทบ ที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งระบบ NGV 1 คัน”
- วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จะมี หน่วยเป็น “บาท ต่อการติดตั้งระบบ NGV 1 คัน”

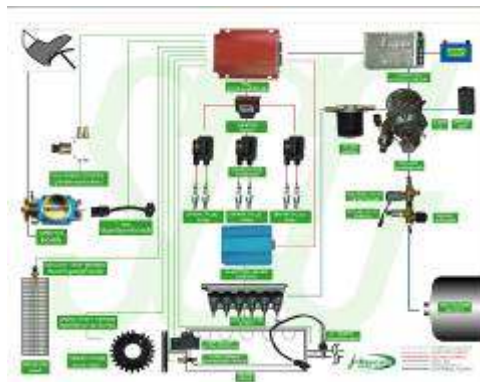
ขั้นตอนการวิจัย

แสดงขอบเขตในการศึกษาการศึกษาผลกระทบตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบ NGV



การทำบัญชีรายการ

การจัดหาอุปกรณ์



การทำบัญชีรายการ

การจัดหาอุปกรณ์

ตัวอย่างตารางเก็บข้อมูลในการจัดหาอุปกรณ์ NGV

EQUIPMENT	PICTURE	RAW MATERIAL	WEIGHT(kg)
1. CNG CYLINDER		STEEL	1,058
2. SOLINOID VALVE FILLING VALVE		BRASS PLASTIC	0.5 0.01
3. GUAGE REDUCER		BRASS ALUMINIUM	0.6 0.68

การทำบัญชีรายการ

การดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV



การทำบัญชีรายการ

การดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV

ตัวอย่างตารางเก็บข้อมูลในการดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV

ลำดับ	ขั้นตอนการติดตั้ง NGV	พลังงานไฟฟ้า(kW)	เวลา (min)	เครื่องจักร	พนักงาน (คน)
1	ตรวจเช็ค				
	ตรวจเช็คสภาพเครื่องยนต์ ตรวจเช็คอัตรากำลังอัดของเครื่องยนต์เดิม		5		2
2	การแยกส่วนประกอบของเครื่องยนต์				
	ถอดปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงออก ถอดวาล์ว และหัวฉีดน้ำมันออก		30		1
	เปลี่ยนหัวฉีดเป็นหัวเทียน	1.30	120	สว่านมือ	1
	ทำการบดวาล์ว เจียววาล์ว และ test วาล์ว รั่วหรือไม่ ด้วยน้ำยา	0.51	120	หินเจียมือ	1

การทำบัญชีรายการ

การตัดแปลงรถยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV

ตัวอย่างตารางเก็บข้อมูลเครื่องใช้ไฟฟ้า

เครื่องจักร	รายละเอียดเครื่องจักร	จำนวนวัตต์(kW)	เวลาที่ใช้(h)	กำลังที่ใช้(kWh)
เครื่องเชื่อม 	เครื่องเชื่อมด้วยอาร์ค กระแสสลับยี่ห้อ พลัง TYPE M-O-D 300	13	3.17	41.21
เครื่องสว่านเจาะ แนวนอน 	ATOLI PORTABLE MAGNETIC DRILL TYPE Model TC 10	1.30	4.50	5.85
เครื่องสว่านแท่น 	BENCH DRILLING MACHINE TYPE KSD-34M	0.25	3.17	0.79

การนำไปใช้

ชนิด เชื้อเพลิงที่ ใช้	อัตราการปล่อยมลพิษ				
	CO ₂ (kg/km)	CO (g/km)	NO _x (g/km)	HC (g/km)	PM (g/km)
ดีเซล					
NGV					

[illegible]

ผลการวิจัย

บัญชีรายการในขั้นตอนจัดหาอุปกรณ์ NGV

วัตถุดิบ	ปริมาณ (kg)
Steel	1,060
Brass	1.87
Plastic	1.14
Aluminium	4.05
Copper	3.23
Stainless	0.73
รวม	1,071

ผลการวิจัย บัญชีรายการตัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV

Machine	machine detail	Watts (kW)	Time (h)	Power(kWh)
Arc machine	TYPE M-O-D 300	13	3.17	41.21
Drill machine horizon	MAGNETIC DRILL TYPE Model TC 10	1.30	4.50	5.85
Drill machine platform	BENCH DRILLING MACHINE TYPE KSD-34M	0.25	3.17	0.79
Cutting machine platform		1.54	2.67	4.11
Cutting machine		0.51	2	1.02
Lathe machine		2.24	2	4.48
Total				57.46

ผลการวิจัย

บัญชีรายการนำไปใช้

มลพิษ	อัตราการปล่อยมลพิษ (g/km)
1) CO	11.793
2) NO _x	26.96
3) Particulates	0.05
4) HC	8.548
5) CO ₂	1,350

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยของ NGV เท่ากับ 1.29 กม/ลิตร

ผลการเปรียบเทียบ

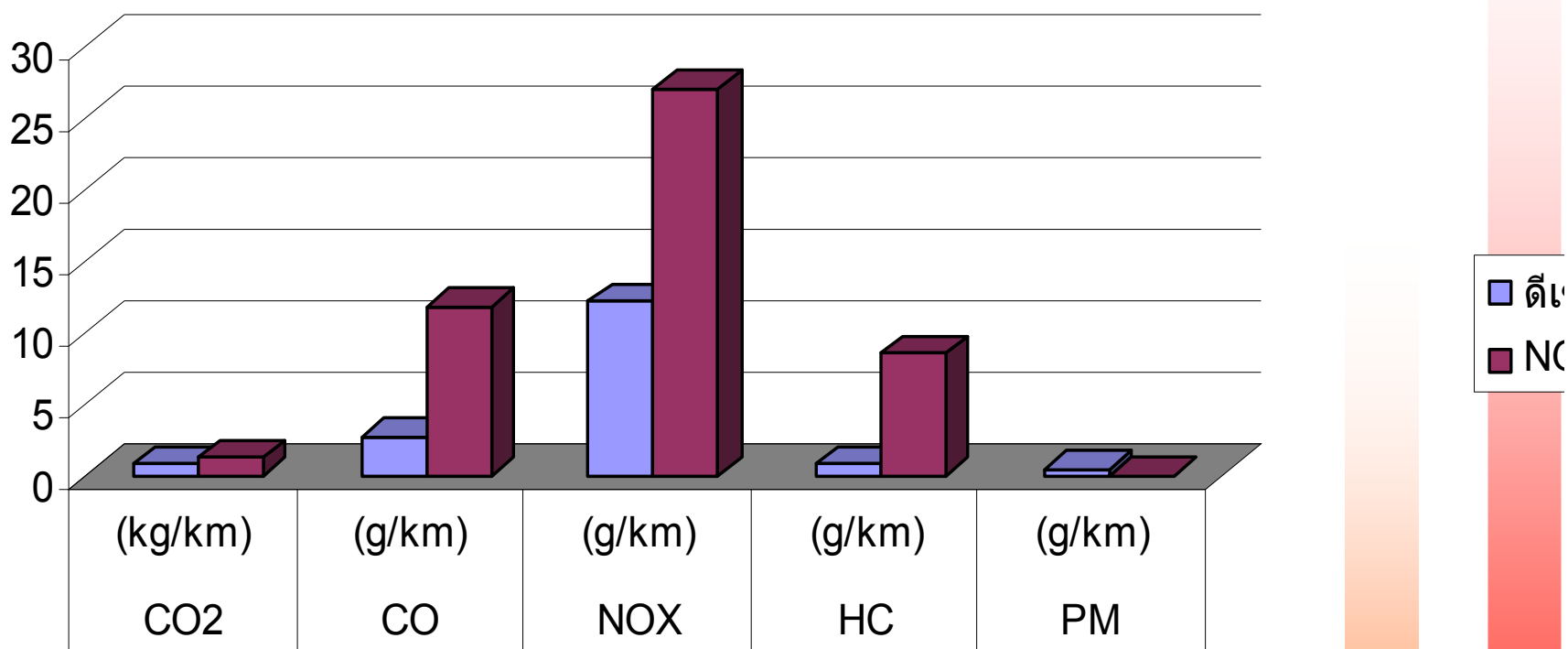
มลพิษ	อัตราการปล่อยมลพิษของดีเซล (g/km)	อัตราการปล่อยมลพิษของ NGV (g/km)
1) CO	2.731	11.793
2) NO _x	12.214	26.96
3) PM	0.515	0.05
4) HC	0.782	8.548
5) CO ₂	821	1,350

ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ที่อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยเฉลี่ยของดีเซล และ NGV เท่ากับ 3.21, 1.29 กม/ลิตร

ผลการเปรียบเทียบ

แสดงอัตราการปล่อยมลพิษของเชื้อเพลิงดีเซล และ NGV ของรถบรรทุกซีเมนต์



ที่มา : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

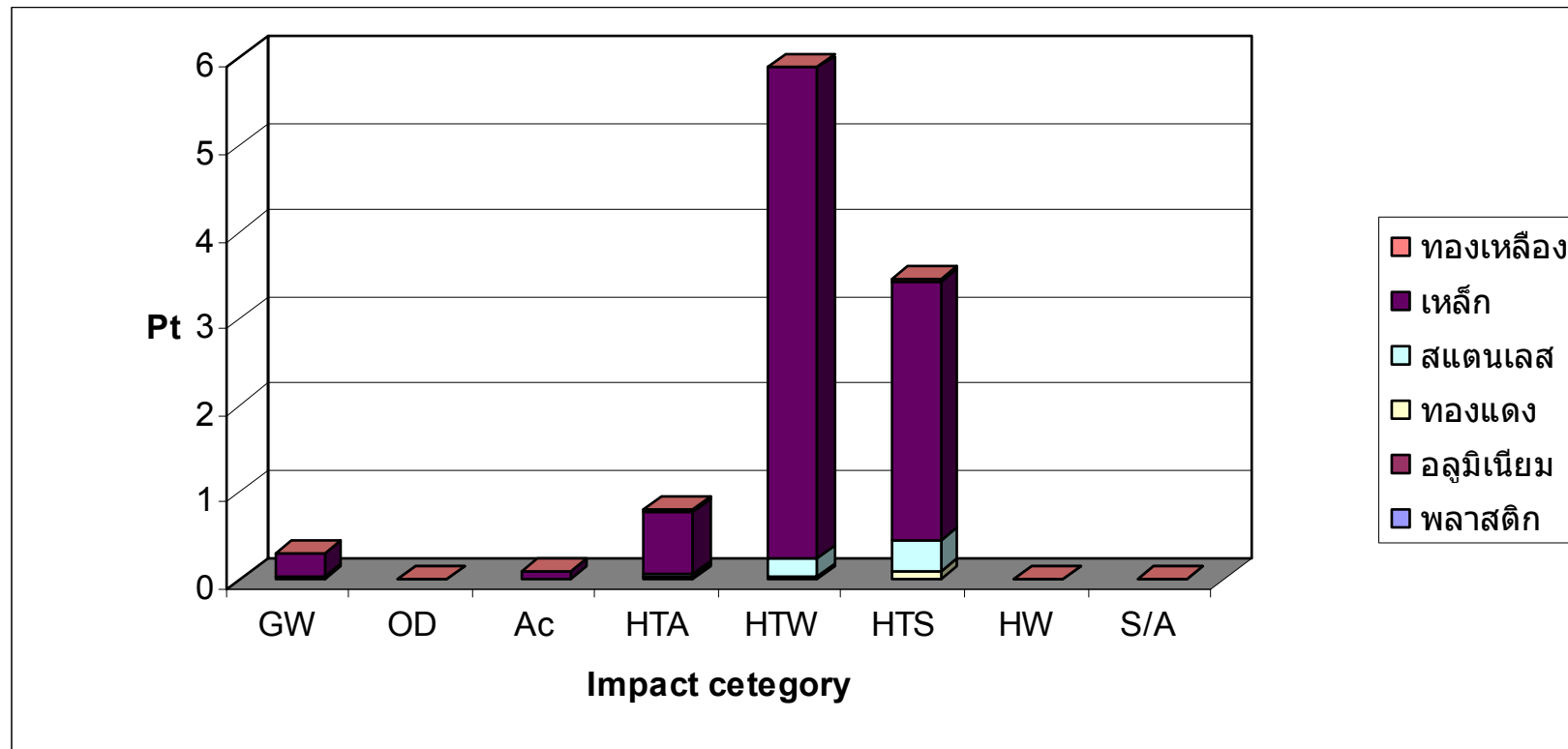
ขั้นตอนการจัดหาอุปกรณ์

ตาราง แสดงแหล่งที่มาและค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรชีวิตกระบวนการจัดหาอุปกรณ์ NGV ของรถบรรทุกซีเมนต์ 1 คัน

แหล่งผลกระทบ	หน่วยผลกระทบ	ปริมาณผลกระทบ
ทองเหลือง	Pt	0.0756
เหล็ก	Pt	9.7030
สแตนเลส	Pt	0.6676
ทองแดง	Pt	0.1357
อลูมิเนียม	Pt	0.0410
พลาสติก	Pt	0.0075
รวม	Pt	10.6305

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

ขั้นตอนการจัดหาอุปกรณ์



แผนภูมิแสดงปริมาณผลกระทบที่เกิดขึ้นแต่ละประเภทตามวัตถุดิบในกระบวนการ
จัดหาอุปกรณ์ NGV ของรถบรรทุกซีเมนต์ 1 คัน

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

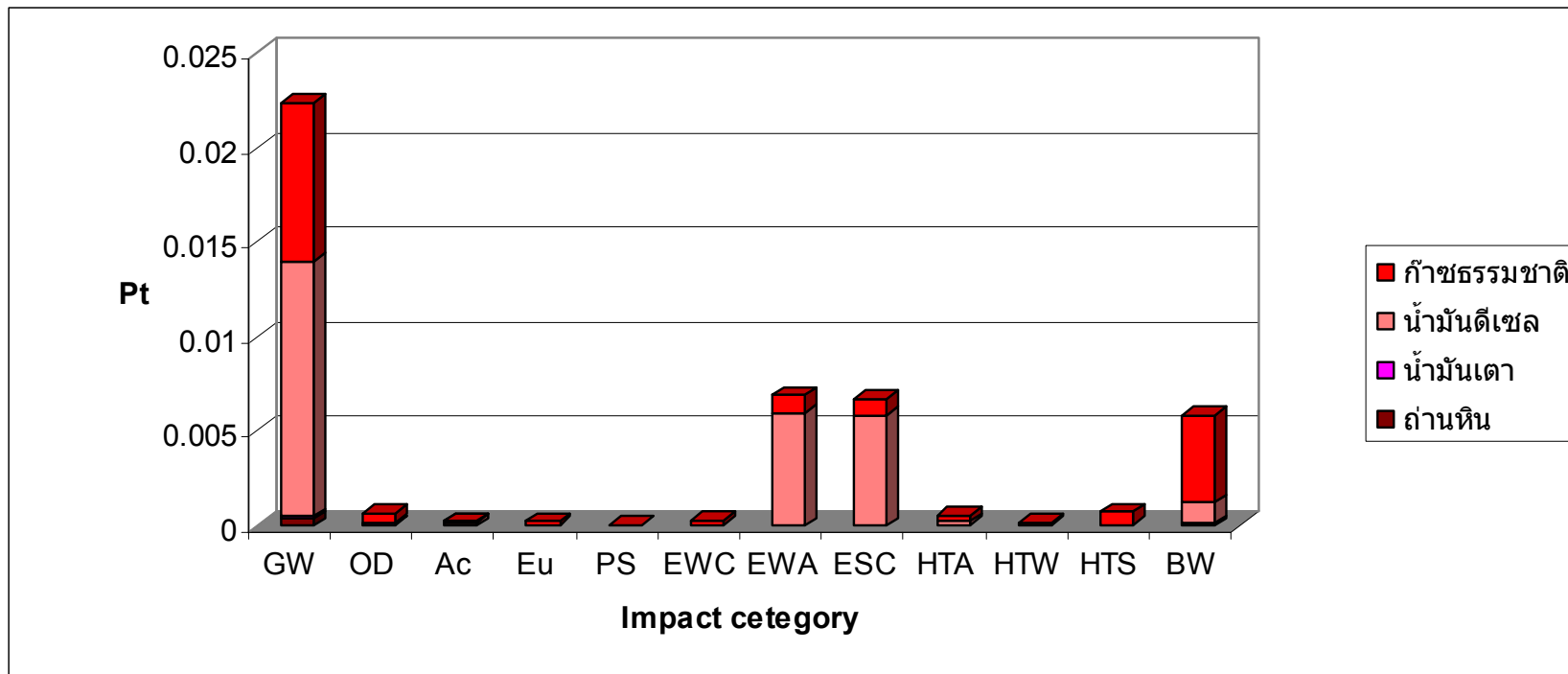
ขั้นตอนการดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV

ตารางแสดงแหล่งที่มาและค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากวัฏจักรชีวิตกระบวนการดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV ของรถบรรทุกซีเมนต์ 1 คัน

แหล่งผลกระทบ	หน่วยผลกระทบ	ปริมาณผลกระทบ
ถ่านหิน	Pt	0.0007
น้ำมันเตา	Pt	0.0002
น้ำมันดีเซล	Pt	0.0269
ก๊าซธรรมชาติ	Pt	0.0168
รวม	Pt	0.0447

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

ขั้นตอนการดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV



แผนภูมิปริมาณผลกระทบที่เกิดขึ้นแต่ละประเภทตามแหล่งที่มาในการดัดแปลงเครื่องยนต์ติดตั้งอุปกรณ์ NGV ของรถบรรทุกซีเมนต์ 1 คัน

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

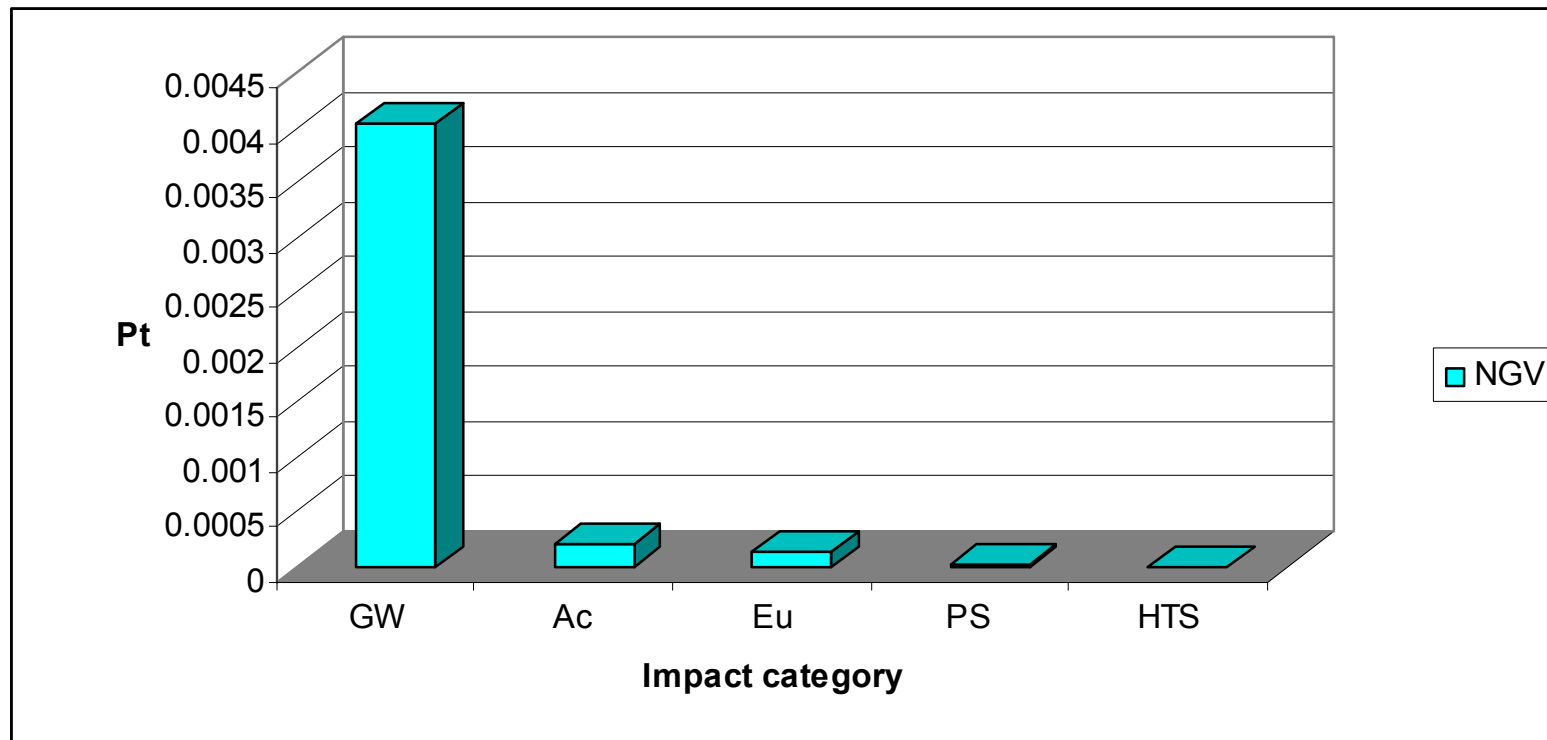
ขั้นตอนการนำไปใช้

ตารางแสดงแหล่งที่มาและค่าผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการใช้งานรถบรรทุกซีเมนต์ที่ติดตั้งระบบ NGV ระยะทาง 1 กิโลเมตรตามประเภทผลกระทบ

ประเภทผลกระทบ	หน่วย	ค่าผลกระทบ
Global warming	Pt	0.004039
Acidification	Pt	0.000198
Eutrophication	Pt	0.000147
Photochemical smog	Pt	2.12E-05
Human toxicity air	Pt	2.99E-06
รวม	Pt	0.001768

ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

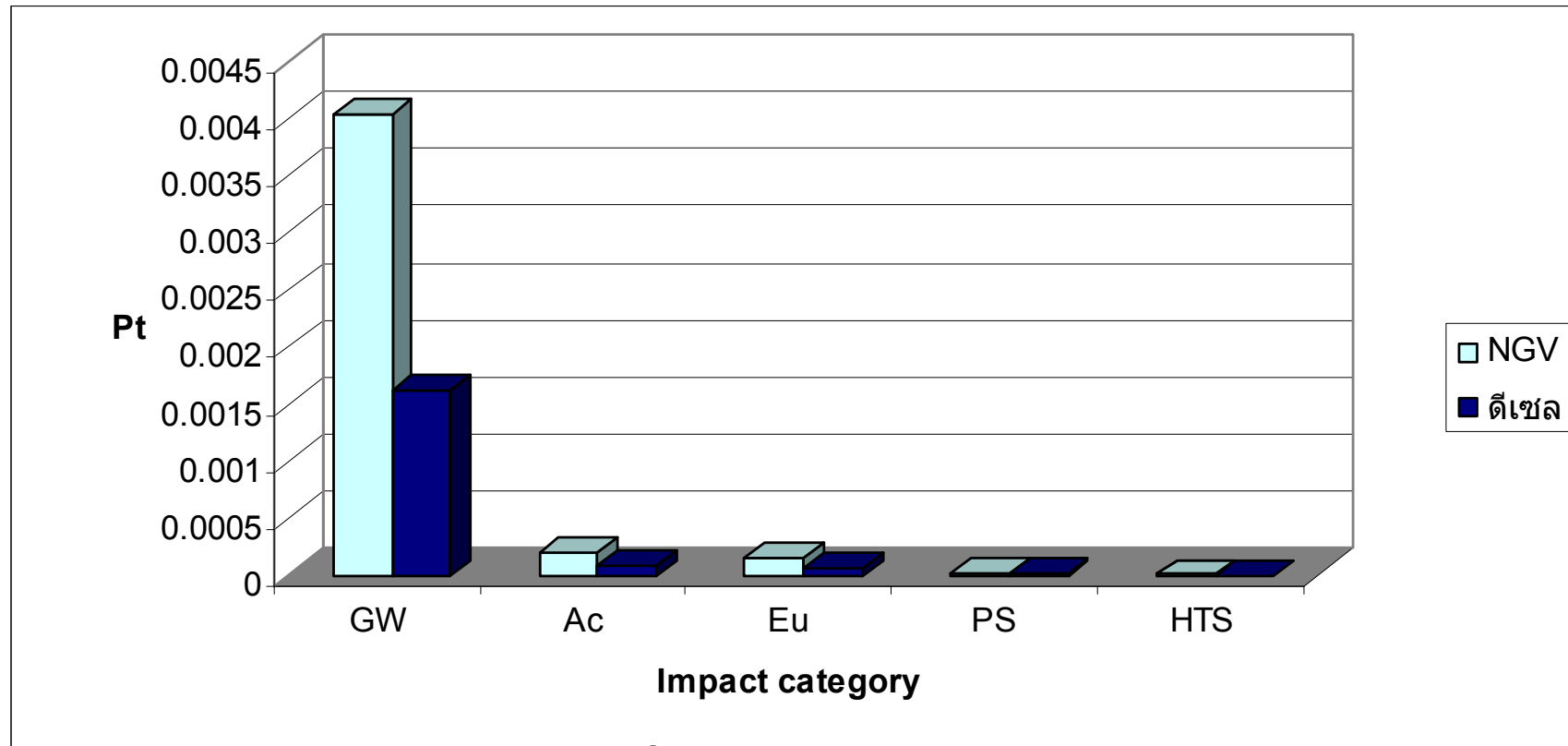
ขั้นตอนการนำไปใช้



แผนภูมิผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการใช้งานรถบรรทุกซีเมนต์ที่ติดตั้งระบบ NGV
ระยะทาง 1 กิโลเมตรตามประเภทผลกระทบ

เปรียบเทียบผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม

ขั้นตอนการนำไปใช้



เปรียบเทียบผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมแต่ละประเภทตลอดวัฏจักรชีวิต
ของ NGV และน้ำมันดีเซล

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

ต้นทุนตลอดวัฏจักรชีวิตของการติดตั้งระบบ NGV

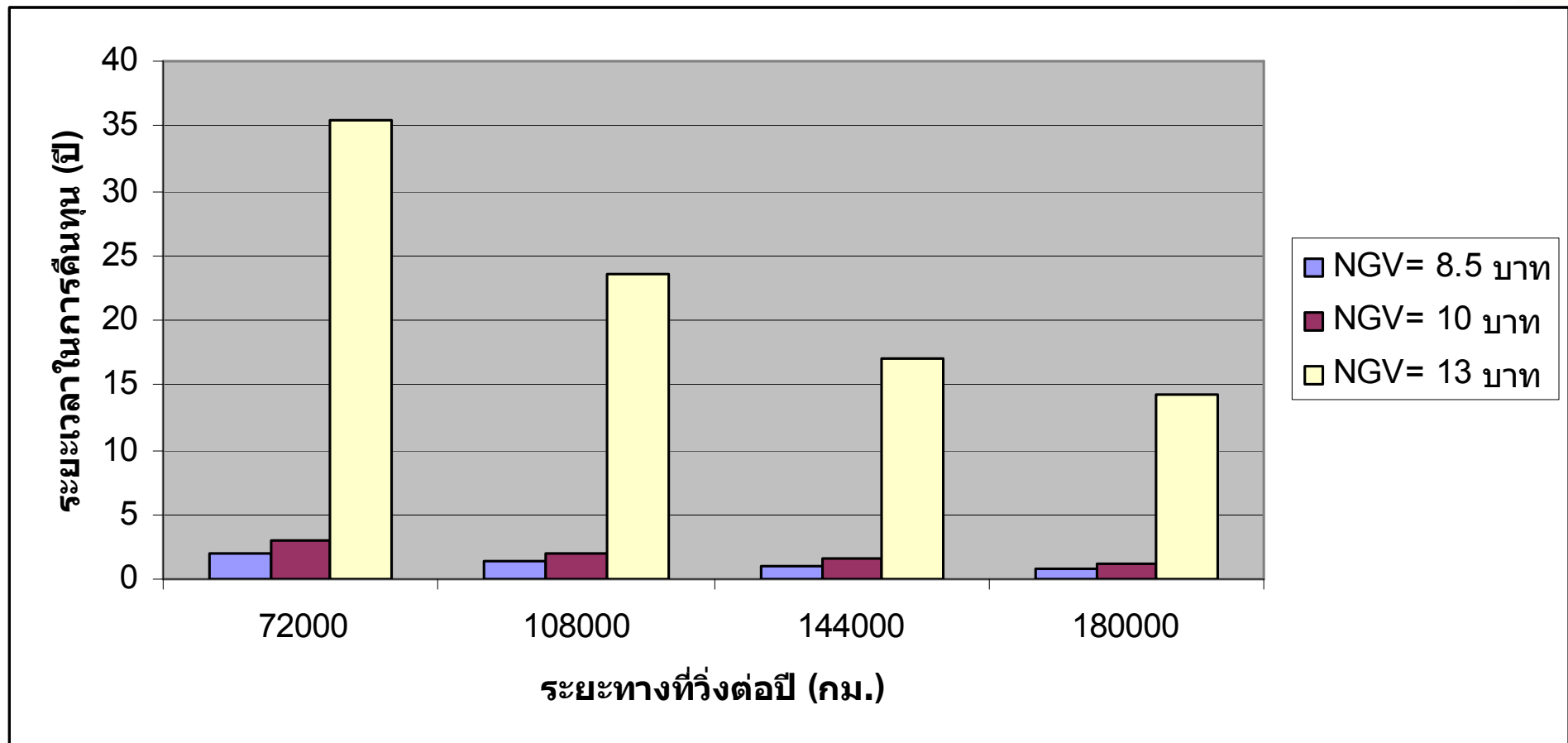
รายการ	ราคา (บาท)
อุปกรณ์ระบบ Dedicated	150,000
ถังบรรจุก๊าซธรรมชาติ 8 ถัง	184,000
ค่าอุปกรณ์ Support	20,000
ค่า Modify เครื่องยนต์	55,000
ค่าแรงและดำเนินการ	120,000
ค่า ซ่อมบำรุง	21,000
Total	550,000

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

ระยะเวลาในการคืนทุนของการติดตั้งระบบ NGV

ระยะทางใช้งาน (km/ปี)	NGV=8.5 บาท	NGV=10 บาท	NGV=13 บาท
	Payback period (ปี)	Payback period (ปี)	Payback period (ปี)
72,000	2.06	3	35.48
108,000	1.3	2	23.65
144,000	1.03	1.5	17.07
180,000	0.8	1.2	14.19

การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์



แสดงระยะเวลาในการคืนทุนเมื่อราคา NGV และ ระยะทางเปลี่ยนไป

สรุปผลงานวิจัย

*การประเมินวัฏจักรชีวิตของการติดตั้งระบบ NGV ใน
รถบรรทุกซีเมนต์*

*การประเมินต้นทุนวัฏจักรชีวิตของการติดตั้งระบบ NGV
ในรถบรรทุกซีเมนต์*

บรรณานุกรม

กระทรวงพลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. สถานการณ์พลังงาน [ออนไลน์]. 2550.

แหล่งที่มา: [http:// www.nepo.go.th](http://www.nepo.go.th) [15 กุมภาพันธ์ 2550]

การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย "ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์" เอกสารแผ่นพับเผยแพร่ บริษัท

ปิโตรเคมี แห่งชาติ, 9/TH/34

คู่มือประกอบการอบรม.การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment).

เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล 2544. การประเมินวัฏจักรชีวิตของตู้เย็นพาณิชย์.วิศวกรรมศาสตร์

มหาบัณฑิต.คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

บวร บริบูรณ์.(2547). *การจัดการพลังงานโดยการประเมินวัฏจักรชีวิตของเหมืองแร่แบบเปิด*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ประทีป ช่วยเกิด. (2549). การประเมินความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ในการใช้ก๊าซธรรมชาติอัด

เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ดีเซลในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล. บัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ปัญญา วรเพชรายุทธ และคณะ. (2546). *คู่มือการจัดทำแผนการจัดการคุณภาพอากาศ*. กรมควบคุมมลพิษ .

ภูวนารถ แสงสุริยา.(2547). *การประเมินประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ในพื้นที่เทศบาลนครเชียงใหม่*.

วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และ
บริษัทปูนซีเมนต์นครหลวง จำกัด (มหาชน) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย



ปูนซีเมนต์นครหลวง

