

101-108-6157  
MOTC-IOT-100-TAA007

# 從生命週期觀點探討國內私人 小客車之能源消耗與溫室氣體 排放之研究

著者：黃新薰、朱珮芸、張芳旭、  
張益城、楊智凱、林忠欽、  
陳國岳、蕭為元、毛皖亭、  
王佳鈴

交通部運輸研究所

中華民國 101 年 8 月

從生命週期觀點探討國內私人小客車之能源消耗與  
溫室氣體排放之研究 / 黃新薰等著. -- 初版. --  
- 臺北市 : 交通部運研所, 民101.08  
面 ; 公分  
ISBN 978-986-03-3428-9(平裝)

1. 交通管理 2. 能源政策

557

101016481

從生命週期觀點探討國內私人小客車之能源消耗與溫室氣體排放之研究

著 者：黃新薰、朱珮芸、張芳旭、張益城、楊智凱、林忠欽、陳國岳、  
蕭為元、毛皖亭、王佳鈴

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網 址：[www.iot.gov.tw](http://www.iot.gov.tw) (中文版>圖書服務>本所出版品)

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國 101 年 8 月

印 刷 者：九易數碼科技印刷有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 90 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組・電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號・電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號・電話：(04)22260330

GPN：1010101746 ISBN：978-986-03-3428-9 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

## 交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：從生命週期觀點探討國內私人小客車之能源消耗與溫室氣體排放之研究			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-03-3428-9(平裝)	政府出版品統一編號 1010101746	運輸研究所出版品編號 101-108-6157	計畫編號 MOTC-IOT-100-TAA007
主辦單位：綜合技術組 主管：黃新薰 計畫主持人：黃新薰 研究人員：朱珮芸、張益城、蕭為元、張芳旭、楊智凱、陳國岳、林忠欽、王佳玲、毛皖亭 聯絡電話：(02)23496874 傳真號碼：(02)27120223			研究期間 自 100 年 1 月 至 100 年 12 月
關鍵詞：生命週期、汽油車、柴油車、GREET、能源消耗、二氧化碳、車輛週期、燃料週期			
摘要： <p>目前國內在運具的能源消耗與溫室氣體排放量統計上，係以「運具行駛過程」的能耗與排放為主，然而這並非運具完整的能耗與溫室氣體排放結果，從生命週期觀點來看，亦應包含車輛週期及燃料週期的能耗與溫室氣體的排放。本研究以國內公路運輸中能源消耗與CO<sub>2</sub>排放占比最高的私人小客車為研究對象，並以美國的车辆生命週期評估模式—GREET模式作為主要評估工具，經由部分參數本土化修正後，進行國內汽油與柴油小客車之生命週期評析。</p> <p>研究結果顯示，在汽車生命週期中，使用階段的能耗與CO<sub>2</sub>排放占比最大，而燃料週期的WTP(well-to-pump)階段與車輛週期階段(不含使用階段)之占比總和僅約總生命週期的1/4。在汽油車與柴油車比較上，燃料週期的WTP(well-to-pump)階段及使用階段的汽油車能耗與CO<sub>2</sub>排放量均較柴油車高，車輛週期階段(不含使用階段)則無明顯差異。在車輛整個生命週期的總能耗及二氧化碳排放量分析上，汽油車的總能耗與總CO<sub>2</sub>排放大於柴油車。本研究透過生命週期觀點通盤了解車輛實際的能源消耗與CO<sub>2</sub>排放情形，並針對分析結果進行相關課題之探討及推動政策的研擬。未來除可協助運輸部門重新檢視私人小客車節能減碳之策略方向與重點，並可作為推動相關策略之參據。</p>			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
101 年 8 月	250	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 月 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS  
INSTITUTE OF TRANSPORTATION  
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: A life cycle analysis of domestic private cars regarding energy consumption and greenhouse gas emissions			
ISBN(OR ISSN) ISBN 978-986-03-3428-9 (pbk.)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010101746	IOT SERIAL NUMBER 101-108-6157	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-100-TAA007
DIVISION: Interdisciplinary Research Division DIVISION DIRECTOR: Hsin-Hsun Huang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Hsin-Hsun Huang PROJECT STAFF: Pei-Yun Chu, Yi-Cheng Chang, Wei-Yuan Hsiao, Fang-Hsu Chang, Chih-Kai Yang, Kuo-Yueh Chen, Chung-Chin Lin, Jia-Ling Wang, Wan-Ting Mao PHONE: (02)2349-6874 FAX: (02)2712-0223			PROJECT PERIOD FROM 2012/01 TO 2012/12
KEY WORDS: life cycle, gasoline vehicle, diesel vehicle, GREET, energy consumption, CO <sub>2</sub> , vehicle cycle, fuel cycle			
ABSTRACT: <p>Currently, the statistics on energy consumption and greenhouse gas emissions of modes are analyzed by the mode operation based mechanism. However, these results cannot reflect all of the energy consumption and GHG emissions of vehicles. From the point of view of life cycle, both vehicle cycle and fuel cycle should be considered. Consequently, this study analyzed with the GREET model, a full life-cycle model from the US, adjusted parameters to meet local situations and evaluated the energy use and CO<sub>2</sub> emissions of private gasoline vehicles and diesel vehicles, which contribute to the majority of energy use and GHG emissions in road transportation.</p> <p>The results showed that vehicle operation stage accounted for the highest energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions throughout the vehicle life cycle, while the sum of fuel-cycle WTP (well-to-pump) and vehicle-cycle energy use and CO<sub>2</sub> emissions, excluding fuel consumption and emissions at vehicle operation stage, were only around a quarter of total life cycle. Additionally, energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions during the fuel-cycle WTP stage and the vehicle operation stage of gasoline vehicles were higher than those of diesel vehicles, but there was no significant difference at vehicle-cycle stage. As for the total energy consumption and CO<sub>2</sub> emissions throughout whole life cycle of vehicles, the results showed that gasoline vehicles consumed more petroleum and emitted more CO<sub>2</sub> than diesel vehicles. This study illustrated an overview of comprehensive energy use and CO<sub>2</sub> emissions scenarios from the perspective of life cycle and drew up policies based on the analysis results. Accordingly, the vehicle life cycle analysis can not only review strategic directions but also be used as references for policy-making of energy conservation and carbon reduction in the future.</p>			
DATE OF PUBLICATION August 2012	NUMBER OF PAGES 250	PRICE 200	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 目錄

第一章 緒論.....	1-1
1.1 研究緣起.....	1-1
1.2 研究目的.....	1-2
1.3 研究範圍.....	1-2
1.4 研究內容與流程.....	1-3
第二章 文獻回顧.....	2-1
2.1 生命週期定義與內涵.....	2-1
2.2 私人小客車生命週期與生命週期評估(LCA) .....	2-4
2.3 國內外相關文獻回顧.....	2-7
2.3.1 美國.....	2-7
2.3.2 歐盟.....	2-12
2.3.3 中國大陸.....	2-20
2.3.4 日本.....	2-21
2.3.5 韓國.....	2-22
2.3.6 泰國.....	2-22
2.3.7 臺灣.....	2-22
2.4 小結.....	2-28
第三章 私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放常用評估工具 簡介.....	3-1
3.1 GREET.....	3-1
3.2 MOVES.....	3-17
3.3 小結.....	3-27
第四章 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評 估.....	4-1
4.1 我國私人小客車生命週期盤查.....	4-1
4.1.1 評估工具選擇.....	4-1
4.1.2 本土化參數與資料蒐集.....	4-2

4.2 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評析.....	4-19
4.3 小結.....	4-28
第五章 重要課題探討與推動策略研擬.....	5-1
5.1 重要課題探討.....	5-1
5.2 推動策略研擬.....	5-5
第六章 結論與建議.....	6-1
6.1 結論.....	6-1
6.2 建議.....	6-5
參考文獻.....	參-1
附錄 1 計畫摘要.....	附錄 1-1
附錄 2 GREET1.8c 模式內容輸出摘錄.....	附錄 2-1
附錄 3 GREET2.7 模式內容輸出摘錄.....	附錄 3-1
附錄 4 簡報資料.....	附錄 4-1

# 表目錄

表 2-1 汽油車各生命週期階段排放.....	2-8
表 2-2 汽油與柴油轎車各生命週期階段排放.....	2-11
表 2-3 選用車型的主要考量因子.....	2-14
表 2-4 製造階段各種原物料使用情形.....	2-15
表 2-5 組裝階段能源消耗.....	2-16
表 2-6 電池組成內容.....	2-16
表 2-7 輪胎組成內容.....	2-16
表 2-8 附屬配件更換週期.....	2-17
表 2-9 燃料生產階段環境影響.....	2-17
表 2-10 燃料使用階段排放數值.....	2-18
表 2-11 報廢車輛回收後各項原料之處理方式及回收比率.....	2-18
表 2-12 汽油車生命週期分析結果.....	2-19
表 2-13 柴油車生命週期分析結果.....	2-19
表 2-14 Golf 生命週期二氧化碳排放估算結果.....	2-26
表 2-15 替代能源車輛生命週期能耗與排碳.....	2-26
表 2-16 電動機車及燃油機車使用階段耗能盤查結果.....	2-28
表 3-1 車輛系統組成.....	3-13
表 3-2 GREET2.7 車輛週期預設車輛重量.....	3-13
表 3-3 GREET2.7 車輛週期預設車輛材料重量百分比.....	3-14
表 3-4 GREET2.7 車輛週期預設鋁製品耗能係數.....	3-15
表 3-5 GREET2.7 車輛週期預設動力與傳動系統組成參數.....	3-16
表 3-6 GREET2.7 車輛週期系統預設電池成分.....	3-17
表 3-7 數學分析模式與資料庫管理模式之比較.....	3-20
表 4-1 小客車總行駛里程.....	4-3
表 4-2 流體的替換次數.....	4-3
表 4-3 流體更換廢液占比.....	4-4
表 4-4 流體在汽車中所占的重量.....	4-4
表 4-5 中油油罐車在我國各地區運送之距離.....	4-13

表 4-6	傳統汽(柴)油的運輸途徑之本土化修正列表.....	4-13
表 4-7	VOLKSWAGEN GOLF 汽油車與柴油車規格及能耗分析資料.....	4-14
表 4-8	福特六和 MONDEO 汽油車與柴油車規格及能耗分析資料.....	4-15
表 4-9	福特六和 FOCUS 汽油車與柴油車規格及能耗分析資料..	4-15
表 4-10	汽油車與柴油車之車重.....	4-16
表 4-11	國內汽油小客車與柴油小客車平均能耗.....	4-17
表 4-12	國內汽油小客車與柴油小客車二氧化碳排放參數.....	4-18
表 4-13	我國私人小客車不同類型燃料之原料開採至運銷 (Well-to-Pump)階段之總能耗與二氧化碳排放試算表.....	4-20
表 4-14	汽柴油車之原油開採至使用(Well-to -Wheel)階段能耗與溫室氣體排放試算表.....	4-21
表 4-15	汽油車與柴油車生命週期各階段能耗與溫室氣體排放試算表.....	4-24
表 4-16	車輛週期與車輛使用階段能耗與溫室氣體排放試算表...	4-26
表 4-17	汽油車與柴油車生命週期各階段能耗與溫室氣體排放試算表.....	4-27
表 5-1	從私人小客車生命週期節能減碳觀點探討權責分工.....	5-8



# 圖目錄

圖 1-1 國內私人小客車生命週期概述圖.....	1-3
圖 1-2 研究流程圖.....	1-4
圖 2-1 汽車生命週期簡易圖.....	2-4
圖 2-2 汽車技術生命週期.....	2-5
圖 2-3 汽車生命週期關係圖.....	2-13
圖 2-4 生產製造階段分析項目.....	2-24
圖 2-5 使用階段分析項目.....	2-24
圖 2-6 使用壽命結束階段分析項目.....	2-25
圖 2-7 「電動機車與燃油機車生命週期盤查分析」研究範疇.....	2-27
圖 3-1 GREET 模式之能源週期流程.....	3-2
圖 3-2 GREET 使用現況.....	3-4
圖 3-3 GREET 軟體燃料週期運作流程圖.....	3-4
圖 3-4 GREET 燃料週期燃油製造耗能分析.....	3-5
圖 3-5 GREET 燃料週期運輸耗能與污染分析.....	3-6
圖 3-6 GREET 燃料週期軟體所設定燃料的路徑.....	3-7
圖 3-7 GREET 燃料週期軟體分析原油運送路徑.....	3-7
圖 3-8 GREET 燃料週期分析氫能製造與運輸.....	3-9
圖 3-9 GREET 車輛週期定義.....	3-10
圖 3-10 GREET2.7 車輛週期試算表組成.....	3-11
圖 3-11 GREET2.7 車輛週期分析流程.....	3-12
圖 3-12 MOVES 之行駛狀態分組.....	3-23
圖 3-13 MOVES 輸入資料庫之關聯示意.....	3-25
圖 4-1 美國原油開採到煉油廠的運輸途徑.....	4-7
圖 4-2 美國傳統汽油的運輸途徑.....	4-8
圖 4-3 美國柴油的運輸途徑.....	4-9
圖 4-4 中油公司煉油廠與供油中心分佈.....	4-12



# 第一章 緒論

## 1.1 研究緣起

自 18 世紀的工業革命開始，人們藉由大量化石燃料的使用來創造經濟發展，然而在化石燃料大量使用下，全球開始產生能源逐漸短缺的警訊，也產生大量的溫室氣體造成地球逐漸暖化，進而導致全球氣候變遷，且危及環境生態。為了減緩人類經濟活動下能源消耗及溫室氣體排放對地球環境所造成的影響，1992 年聯合國通過「聯合國氣候變化綱要公約（UNFCCC）」，隨著 2005 年「京都議定書」正式生效及 2009 年「哥本哈根協議」之簽訂，世界各國配合國際公約減緩溫室氣體排放已成為不可避免之國際趨勢。

在我國能源消費上，工業部門一直是我國的能源消費主要部門，根據 2010 年相關統計，其能源消費約占我國總能耗的 53.81%。至於運輸部門則是我國第二大能源消費部門。雖運輸部門歷年來的能源消費占全國能源消耗比呈下降趨勢，但其能源消費仍占全國能源消費比約 12.92%。

在國內運輸系統的能源消耗中，歷年來均以公路系統為最大宗，約占國內運輸系統的 9 成以上。據經濟部能源局 2010 年統計資料顯示，在所有部門的二氧化碳排放（不包含電力消費）中，運輸部門的排放量占 13%，繼工業部門後，排名第二。一般而言，運輸部門二氧化碳排放的估算，是根據所使用的各類化石燃料消耗量乘上其相對應的碳排放係數計算而得，因此運輸部門的二氧化碳排放占比與能源消耗占比大致相似。歷年來運輸部門二氧化碳排放占比仍以公路系統為主，約占 90% 以上，其中私人小客車的排放是公路運輸排放的主要來源，而且這些運具的使用亦有逐年增加的趨勢。

然而，目前在運輸部門的能耗與溫室氣體排放量統計上，主要是以運具在行駛過程中因燃燒化石燃料或用電過程中所造成的能耗與溫室氣體排放的推估為主，但這並非整體運輸過程中實際每延人公里的能耗與溫室氣體排放量，因為在整個運輸系統中，從道路及軌道的建造與車輛

的生產開始，一直到最終的（處理）回收等，均會產生能耗與溫室氣體排放。爰此，為通盤了解運輸部門整體能耗與溫室氣體的排放量，在運輸部門中利用生命週期觀點探討能耗與溫室氣體的排放確有其必要性。

所謂從生命週期觀點來探討運輸部門的能耗與溫室氣體排放，即是指將運輸系統的生命週期中各階段會產生的能耗及溫室氣體的推估皆納入考量，包含了公路及鐵路之建設、原料開採、車輛的製造和使用、車輛及設施的維護、燃料的生產與使用，以及最終的車輛或設施之廢棄物處理及回收。

目前在交通部推動的建設計畫中，已導入生命週期之概念，全面推動交通建設之節能減碳作業，例如從規劃階段的區位選擇，施工階段的工程營建到營運階段的場站建築、觀光設施及公共照明節能減碳等。然而整體的運輸系統並不只有公路或軌道的建設，對於車輛、設施及場站等的製造、營運、維護及廢棄物之生命週期各階段的能耗與溫室氣體的產生仍應探討，由於目前國內在節能減碳相關的因應對策上仍尚未完全掌握，因此有必要進行相關的研究。本研究以目前在公路運輸中溫室氣體排放量最高的私人小客車為主要研究對象，進行私人小客車在生命週期各階段之能耗及溫室氣體排放的研究，以探討各階段的節能減碳策略方向與重點，並且釐清各階段相關單位的權責。

## 1.2 研究目的

本研究主要目的如下：

1. 從生命週期觀點了解國內私人小客車於原料組成、製造與運銷、使用與維護、棄置與回收等階段之能源消耗與溫室氣體排放，以及國內各相關部門可能參與之角色。
2. 針對私人小客車在生命週期各階段的能源消耗與溫室氣體排放之研究成果，探討並研擬未來在各階段中節能減碳之策略方向與重點。

## 1.3 研究範圍

本研究以國內私人小客車在原料組成、製造與運銷、使用與維護、

棄置與回收等生命週期各階段中（圖 1-1），所涉及能源消耗與溫室氣體排放之相關範疇為主要研究範圍，而在溫室氣體排放部分，本研究僅探討二氧化碳排放。

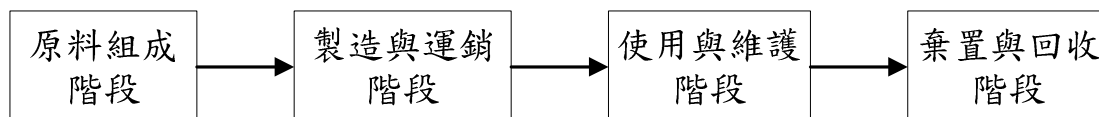


圖 1-1 國內私人小客車生命週期概述圖

## 1.4 研究內容與流程

本計畫之研究流程如圖 1-2 所示，具體研究項目分述如下：

### 1. 目標與範疇之界定

鑑於歷年來運輸部門二氧化碳排放占比仍以公路系統為主，且私人小客車的排放又是公路運輸排放的主要來源，本研究以國內私人小客車（含汽油車與柴油車）為主要研究對象，目標即是探討其生命週期各階段之能源消耗與溫室氣體排放，以及相關課題。

### 2. 文獻回顧與資料蒐集

蒐集並彙整國內外有關生命週期之理論及評估模式、私人小客車及所使用的燃料之全生命週期研究，以及各階段能源消耗與溫室氣體排放量相關調查及研究等資料。

### 3. 私人小客車生命週期各階段能源消耗與溫室氣體排放之相關資料彙整分析

針對私人小客車生命週期中，從原料組成、製造與運銷、使用與維護、棄置與回收等階段，進行國內外相關資料彙整分析，並以圖表整理各流程架構及相關能耗與溫室氣體排放。

### 4. 私人小客車生命週期各階段能源消耗與溫室氣體排放之課題探討

針對私人小客車生命週期各階段的資料彙整分析結果，進行相關課題之研究探討。

### 5. 私人小客車生命週期各階段相關部門所參與角色之探討

從生命週期中各階段之能耗及溫室氣體排放資料，分析各階段可

能參與之相關單位，並探討各相關單位在節能減碳上應扮演的角色。

#### 6. 私人小客車生命週期各階段相關節能減碳因應對策之探討

根據前述私人小客車之研究結果，探討在生命週期各階段中減少能源消耗及溫室氣體減排之策略方向與重點。

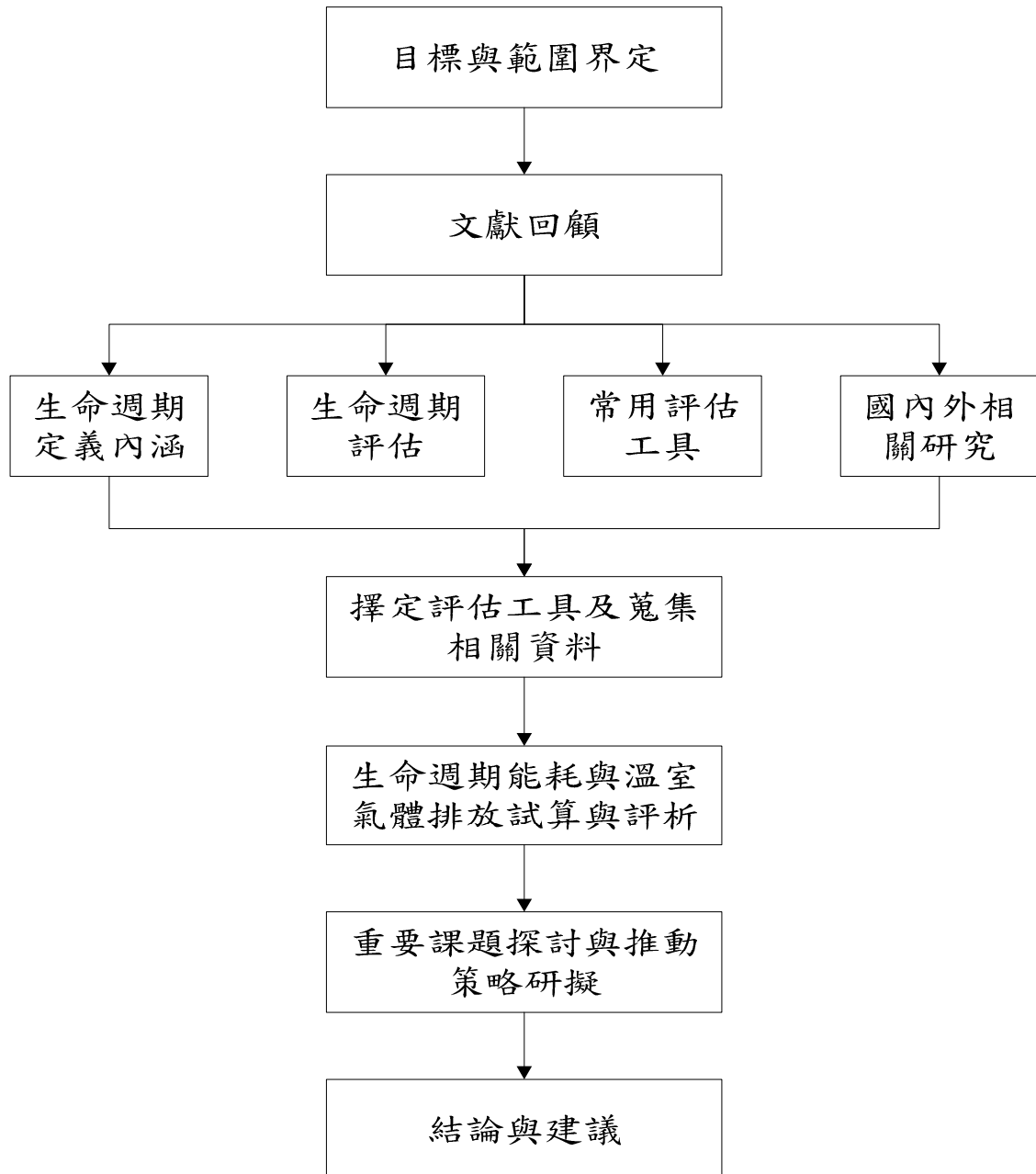


圖 1-2 研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

本章首先就生命週期的定義與內涵、私人小客車生命週期各階段定義以及評估方式進行探討，再者就國內外有關私人小客車及所使用燃料之全生命週期研究進行回顧。

### 2.1 生命週期定義與內涵

生命週期觀念之產生，肇因於 1970 年代在能源危機之因素下所發展出來以能源分析為主要重點之思考模式（運研所，2006）；生命週期評估最早乃是被企業界用來作為評估或改善其產品、製程、或活動對環境產生之污染和耗能負荷的方法。近年來，生命週期評估的重點及其運用已逐漸轉至環保相關之公共事務上。例如，歐洲地區的生命週期評估或類似方法，已成為該地區發展環保標示系統（Labeling Scheme）的基礎，並作為考量政府制定或推動其他公共政策的工具（楊致行，1998）。

生命週期評估（Life Cycle Assessment, LCA）的概念應用於環境管理上，可追溯至 1969 年，美國可口可樂公司委託中西部研究所（Midwest Research Institute, MRI）對其飲料容器材質之能源耗用量進行評估。1973 年起隨著美國省能及回收等環保意識的高漲，MRI、富蘭克林公司（Franklin associates Ltd.）及美國環保署，針對飲料容器、尿布、毛巾等日常用品，進行資源及環境的剖面分析（Profile analysis）。80 年代起，美國能源部則開始分析各產業製程的能源流與物質流（Energy and Material Flows），此即生命週期評估之前身。

1990 年，美國環境毒物化學協會（Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC）所提出的「操作標準」（Code of Practice），提出 LCA 的定義與架構。國際標準組織（International organization for standardization, ISO）則於 1996 年起，公布 ISO 14040 系列標準，制訂 LCA 應用至環境管理上的標準評估架構及步驟。而

於 2000 年各國環境行政長官所發表的 Malmo 宣言中，強調建立生命週期經濟體（Life-cycle economy）的重要，以及 2002 年，世界高峰會所提出促進較永續的消費及生產模式的呼籲，聯合國環境規劃總署（UNEP）與 SETAC 共同合作，推行為期十年的生命週期計畫（Life Cycle Initiative），使 LCA 與生命週期思考（Life Cycle Thinking）能實際應用至產業生產及政府決策之中（行政院環保署，2003）。

生命週期評估屬於系統分析方法之一，其為「對產品系統自原物料的取得到最終處置的生命週期中，投入和產出及潛在環境衝擊之彙整與評估。」（ISO14040, 2006）在這所謂「產品系統」，不僅包括實體產品，亦包括服務系統。而需考量之環境衝擊通常包括資源使用、人體健康及生態影響等（行政院環保署）。根據國際標準組織 ISO（ISO-14040 總則）對 LCA 的敘述如下：生命週期評估是在產品的生命過程中（從搖籃到墳墓：Cradle to Grave），從原料的取得、製造、使用與廢棄等階段，評估其產生的環境衝擊。又根據 LCA 研究權威機構美國環境毒物化學協會 SETAC 所作之定義：生命週期評估是一個衡量產品生產或人類活動所伴隨產生之環境負荷的工具，不僅要知道整個生產過程的能量、原料需求量及環境的排放量，還要將這些能量、原料及排放量所造成的影響予以評估，並提出改善的機會及方法（高惠玲等，1995）。

LCA 是評估產品在整個生命過程中所產生環境衝擊的評估工具，是一種具有宏觀角度的環境負荷管理。評估的過程涵蓋了整個產品、製程與活動之生命週期等階段，是一種相當精細的評估方法，完整的考慮到產品的每一個環節。LCA 目前主要的應用範圍已日趨廣泛，除了可作為企業改良產品環境設計之參考、管理產品對環境產生之衝擊、增加企業市場競爭力外；就政府部門而言，亦可提供作為政策方向擬訂之工具，輔導產業發展升級（張又升，2002）。

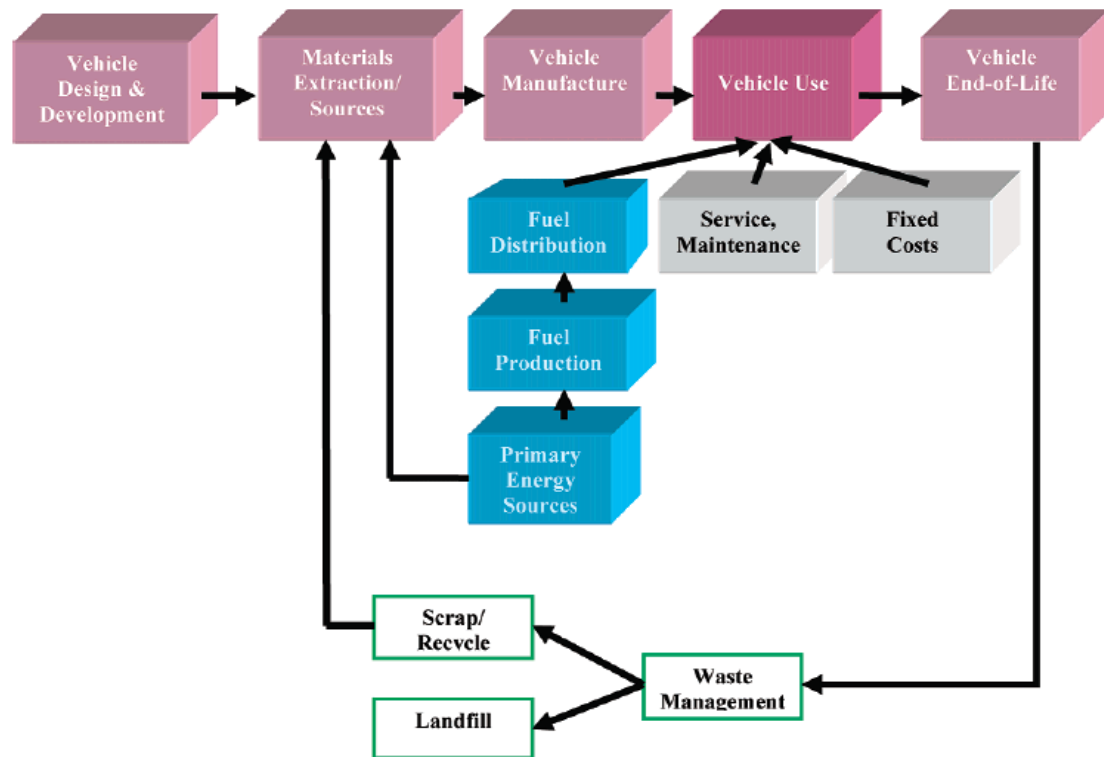
國內有關生命週期評估技術之研究工作，始於 1995 年環保署所委託進行之「保麗龍使用及廢棄處置之環境影響及相關管制對策之討論」專案，提供了完整的保麗龍生命週期中各階段的環境負荷評估



（張添盛，2001）。而後學術機構及研發單位在行政院國家科學委員會、行政院環境保護署、經濟部技術處與工業局等單位之贊助下，持續從事 LCA 技術研發工作，研究實例則包括工業用紙、機動車輛、洗衣粉、包裝容器、筆記型電腦、廢輪胎、染料等，研究項目與範圍亦逐年累積中（李育明，2003）。

## 2.2 私人小客車生命週期與生命週期評估（LCA）

Heather L.等人（2003）將汽車生命週期分為車輛設計及研發、材料的選取及來源、車輛的製造、車輛的使用及車輛生命末期等階段（如圖 2-1），說明如后：



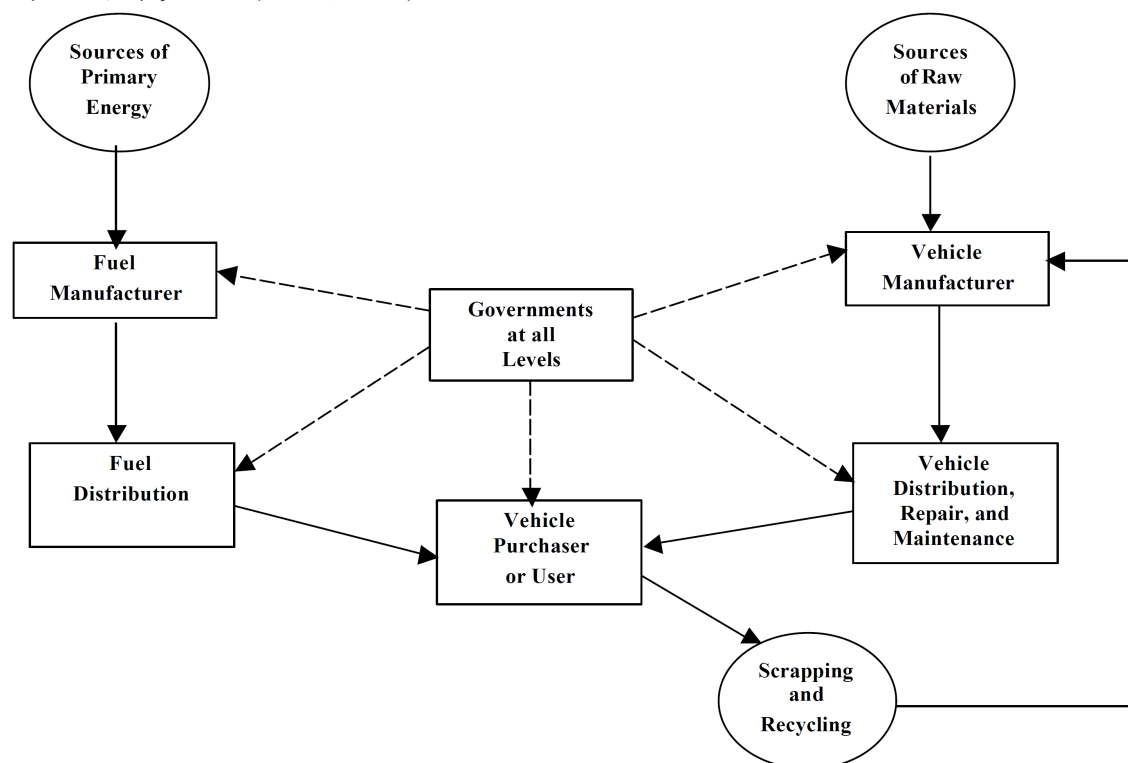
資料來源：Heather L., MacLean HL, Lave LB., "Life Cycle Assessment of Automobile / Fuel Options", Environ Sci Technol, Vol 37, 2003, pp.5445-5452.

圖 2-1 汽車生命週期簡易圖

1. 車輛設計及研發：該階段是生命週期中最為重要的一個階段，因為決定了車輛的材料組成、燃油效率、安全和排放。
2. 材料的選取及來源：該階段必須考慮汽車的組成材料，及其選取與處理。
3. 車輛製造：該階段包含將材料製成零組件，以及將零組件組裝成最後的車輛。
4. 車輛的使用：本階段是生命週期中最為複雜的階段，包括：
  - (1)燃料週期（在生命週期的研究中，通常稱為"油井到油箱"）：包括燃料的生產、儲存、分配和輸送。

- (2) 車輛運作（在生命週期的研究中，通常稱為"油箱到車輪"）：包括車輛行駛所需的能源、排放及蒸氣的散發，以及支援車輛運作的設施和建設（如停車位、道路等）。
- (3) 車輛服務：包括維護、修理與碰撞修護等。
- (4) 固定成本：包括保險、牌照費用、折舊及其他的費用。
5. 生命末期：車輛的最後階段，包括對拆除設施、拆解、流體和金屬的回收、切碎，和處置等車輛運輸。

另外，在 Malcolm A. 等人（2000）研究認為，新燃料車輛在行駛過程中雖可減少能源消耗及二氧化碳的排放，然而這並非車輛的淨效益，若以生命週期評估的來看，在油料進入汽車油箱的製造過程中，可能需要更多的能耗及製造更多的二氧化碳排放，因此利用生命週期進行車輛能耗與二氧化碳排放是必須的。該研究將汽車技術的生命週期定義為包含燃料提供、車輛製造、車輛操作與維護、報廢及回收所需的所有步驟（如圖 2-2），說明如后：



資料來源：Malcolm A. etc., "ON THE ROAD IN 2020 A life-cycle analysis of new automobile technologies", Energy Laboratory Report # MIT EL 00-003, 2000,10.

圖 2-2 汽車技術生命週期

燃料週期(fuel cycle)，或稱為油井至油箱(well-to-tank)，係指初級能源(Primary energy sources)(例如石油及天然氣)透過地底挖掘，並運送到煉油廠或製造平台(Fuel Manufacturer)提煉成為汽車的燃料，最終將這些提煉好之燃料分佈(Fuel Distribution)存放於車輛油箱內。

與燃料週期類似，車輛週期(vehicle cycle) 包含車輛元件所需的礦石及相關原料(Sources of Raw Materials)的開採、煉製及製造階段，之後在汽車製造廠(Vehicle Manufacturer)進行車輛的製造與組裝階段，最終的車輛產品將分佈到消費者(Vehicle Distribution)。經由第一消費者或次消費者的操作使用，並進行相關的維護及保養需求(Repair, and Maintenance)，最終到車輛生命週期的終點，即是廢棄及回收階段(Scapping and Recycling)。

政府的影響力(Governments at all Levels)涵括於燃料週期與車輛週期各階段(如虛線箭頭所示)，其涵蓋了環境、安全、區域劃分及其他新科技的觀點，以促進相關新燃料及新車輛科技的發展。

## 2.3 國內外相關文獻回顧

### 2.3.1 美國

Mikhail V. Chester (2008)「美國旅客運輸生命週期環境盤查」研究發現，車輛總生命週期之能源消耗與排放，大於車輛使用階段之能源消耗與排放，因而有必要進行整體生命週期盤查，以便能妥善處理運輸部門能源及排放之影響，藉此來達到減排之效果。此外，由於美國旅客運輸所貢獻之能源消耗及排放大約占國家之 20%，且美國的能源消耗占總能耗近 25%，即代表美國旅客運輸每年消耗大約 5% 的世界能源，因此該研究選擇客運運具作為生命週期盤查對象。該研究之製造與維修階段排放資料，係透過經濟投入產出生命週期評估（EIO-LCA）模式所產生，車輛運行階段之排放資料係以美國環保局 2003 年資料為基礎，使用美國環保局 Mobile 6.2 模型所產生；該研究針對「汽油車」，選擇轎車、運動休旅車(SUV)，以及輕型卡車(Pickup)等 3 種車型，並根據美國 2005 年車輛銷售排行，分別選出 Toyota Camry、Chevrolet Trailblazer，以及 Ford F-Series 等車款作為盤查對象，結果發現所有車種於使用階段之能耗與溫室氣體排放占整體生命週期比例均為最大。各階段排放資料如表 2-1 所示。

表 2-1 汽油車各生命週期階段排放

Life-Cycle Component	I/O	per Vehicle-Life		
		轎車	休旅車	輕型卡車
Manufacture	Energy	100GJ	150GJ	100GJ
	GHG	8.5 mt GGE	12 mt GGE	8.3 mt GGE
	SO <sub>2</sub>	20 kg	28 kg	19 kg
	CO	110 kg	150 kg	100 kg
	NO <sub>x</sub>	20 kg	28 kg	19 kg
	VOC	21 kg	29 kg	20 kg
	PM <sub>10</sub>	5.7 kg	8.1 kg	5.5 kg
	Pb	0.027 kg	0.039 kg	0.026 kg
Operation (Running)	<b>Energy</b>	<b>890 GJ</b>	<b>1,300 GJ</b>	<b>1,400 GJ</b>
	<b>GHG</b>	<b>69 mt GGE</b>	<b>82 mt GGE</b>	<b>110 mt GGE</b>
	SO <sub>2</sub>	3.9 kg	4.6 kg	6.0 kg
	CO	2,100 kg	2,000 kg	2,700 kg
	NO <sub>x</sub>	160 kg	180 kg	240 kg
	VOC	59 kg	69 kg	110 kg
	PM <sub>10</sub>	20 kg	18 kg	18 kg
	Pb	—	—	—
Operation (Start)	CO	1,400 kg	1,600 kg	2,000 kg
	NO <sub>x</sub>	32 kg	38 kg	48 kg
	VOC	66 kg	82 kg	140 kg
Operation (Tire)	PM <sub>10</sub>	1.5 kg	1.4 kg	1.4 kg
Operation (Brake)	PM <sub>10</sub>	2.3 kg	2.2 kg	2.2 kg
Automotive Repair	GHG	0.00015 mt GGE	0.00011 mt GGE	0.00011 mt GGE

資料來源：Mikhail V. Chester (2008)

註： mt：metric tons；GGE：Gasoline Gallons Equivalent；GJ：Gigajoule

表 2-1 汽油車各生命週期階段排放（續 1）

Life-Cycle Component	I/O	per Vehicle-Life		
		轎車	休旅車	輕型卡車
Evaporative Losses	VOC	94 kg	86 kg	140 kg
Tire Production	Energy	19 GJ	17 GJ	17 GJ
	GHG	1.3 mt GGE	1.2 mt GGE	1.2 mt GGE
	SO <sub>2</sub>	2.4 kg	2.2 kg	2.2 kg
	CO	19 kg	17 kg	17 kg
	NO <sub>x</sub>	2.5 kg	2.3 kg	2.3 kg
	VOC	3.2 kg	2.9 kg	2.9 kg
	PM <sub>10</sub>	—	—	—
	Pb	1.4 kg	1.3 kg	1.3 kg
Maintenance	Energy	40 GJ	41 GJ	41 GJ
	GHG	3.3 mt GGE	3.3 mt GGE	3.3 mt GGE
	SO <sub>2</sub>	8.4 kg	8.6 kg	8.6 kg
	CO	33 kg	34 kg	34 kg
	NO <sub>x</sub>	7.7 kg	7.9 kg	7.9 kg
	VOC	9.7 kg	10 kg	10 kg
	PM <sub>10</sub>	—	—	—
	Pb	1.6 kg	1.7 kg	1.7 kg

資料來源：Mikhail V. Chester (2008)

表 2-1 汽油車各生命週期階段排放（續 2）

Life-Cycle Component	I/O	per Vehicle-Life		
		轎車	休旅車	輕型卡車
Fixed Costs / Insurance	Energy	13 GJ	12 GJ	12 GJ
	GHG	1.1 mt GGE	0.99 mt GGE	0.99 mt GGE
	SO <sub>2</sub>	2.6 kg	2.4 kg	2.4 kg
	CO	12 kg	11 kg	11 kg
	NO <sub>x</sub>	2.9 kg	2.7 kg	2.7 kg
	VOC	2.2 kg	2.0 kg	2.0 kg
	PM <sub>10</sub>	0.55 kg	0.51 kg	0.52 kg
	Pb	—	—	—

資料來源：Mikhail V. Chester (2008)

Mikhail Chester and Arpad Horvath (2009) 延續前述 2008 年之研究，對機車、柴油車、校車、電動公車、芝加哥及紐約市地鐵，進行生命週期盤查，在柴油車部分，盤查車型假設為售價 3,000 美元左右類似 2008 年研究中規格之汽油轎車同款車型。和前述 2008 年之研究進行比較，可發現柴油轎車於製造階段之能耗與排放，高於類似規格之汽油車，在使用階段中運行能耗與 GHG、SO<sub>2</sub>、CO 之排放，以及啟動部分之排放低於類似規格汽油車。汽油轎車與柴油轎車各階段排放資料如表 2-2 所示，其中汽油轎車與柴油轎車之輪胎生產、維護，以及固定成本/保險階段之排放量假設為相同。



表 2-2 汽油與柴油轎車各生命週期階段排放

Life-Cycle Component	I/O	per Vehicle-Life	
		汽油轎車	柴油轎車
Manufacture	Energy	100 GJ	120 GJ
	GHG	8.5 mt GGE	9.8 mt GGE
	SO <sub>2</sub>	20 kg	23 kg
	CO	110 kg	120 kg
	NO <sub>x</sub>	20 kg	23 kg
	VOC	21 kg	24 kg
	PM <sub>10</sub>	5.7 kg	6.5 kg
	Pb	0.027 kg	0.031 kg
Operation (Running)	Energy	890 GJ	870 GJ
	GHG	69 mt GGE	65 mt GGE
	SO <sub>2</sub>	3.9 kg	0.6 kg
	CO	2,100 kg	150 kg
	NO <sub>x</sub>	160 kg	240 kg
	VOC	59 kg	62 kg
	PM <sub>10</sub>	20 kg	30 kg
	Pb	—	—
Operation (Start)	CO	1,400 kg	140 kg
	NO <sub>x</sub>	32 kg	14 kg
	VOC	66 kg	47 kg
Operation (Tire)	PM <sub>10</sub>	1.5 kg	1.5 kg
Operation (Brake)	PM <sub>10</sub>	2.3 kg	2.3 kg
Automotive Repair	GHG	0.00015 mt GGE	950 g GGE
Automotive Repair	VOC	3.4 kg	22 kg
Evaporative Losses	VOC	94 kg	—
Tire Production	Energy	19 GJ	19 GJ
	GHG	1.3 mt GGE	1.3 mt GGE
	SO <sub>2</sub>	2.4 kg	2.4 kg
	CO	19 kg	19 kg
	NO <sub>x</sub>	2.5 kg	2.5 kg
	VOC	3.2 kg	3.2 kg
	PM <sub>10</sub>	—	—
	Pb	1.4 kg	1.4 kg

資料來源：Mikhail Chester and Arpad Horvath (2009)

表 2-2 汽油與柴油轎車各生命週期階段排放（續）

Life-Cycle Component	I/O	per Vehicle-Life	
		汽油轎車	柴油轎車
Maintenance	Energy	40 GJ	40 GJ
	GHG	3.3 mt GGE	3.3 mt GGE
	SO <sub>2</sub>	8.4 kg	8.4 kg
	CO	33 kg	33 kg
	NO <sub>x</sub>	7.7 kg	7.7 kg
	VOC	9.7 kg	9.7 kg
	PM <sub>10</sub>	—	—
	Pb	1.6 kg	1.6 kg
Fixed Costs / Insurance	Energy	13 GJ	13 GJ
	GHG	1.1 mt GGE	1.1 mt GGE
	SO <sub>2</sub>	2.6 kg	2.6 kg
	CO	12 kg	12 kg
	NO <sub>x</sub>	2.9 kg	2.9 kg
	VOC	2.2 kg	2.2 kg
	PM <sub>10</sub>	0.55 kg	0.55 kg
	Pb	—	—

資料來源：Mikhail Chester and Arpad Horvath（2009）

### 2.3.2 歐盟

小客車的環境改善計畫（Environmental Improvement of Passenger Cars, IMPRO-car project）係源自「整合產品政策（Integrated Product Policy）」，計畫重點在探討改進車輛一些原始的特性（諸如引擎、車輛設計及製造原料等），對環境衝擊會造成什麼影響。同時也探討對車輛使用型態的改變所帶來的影響。

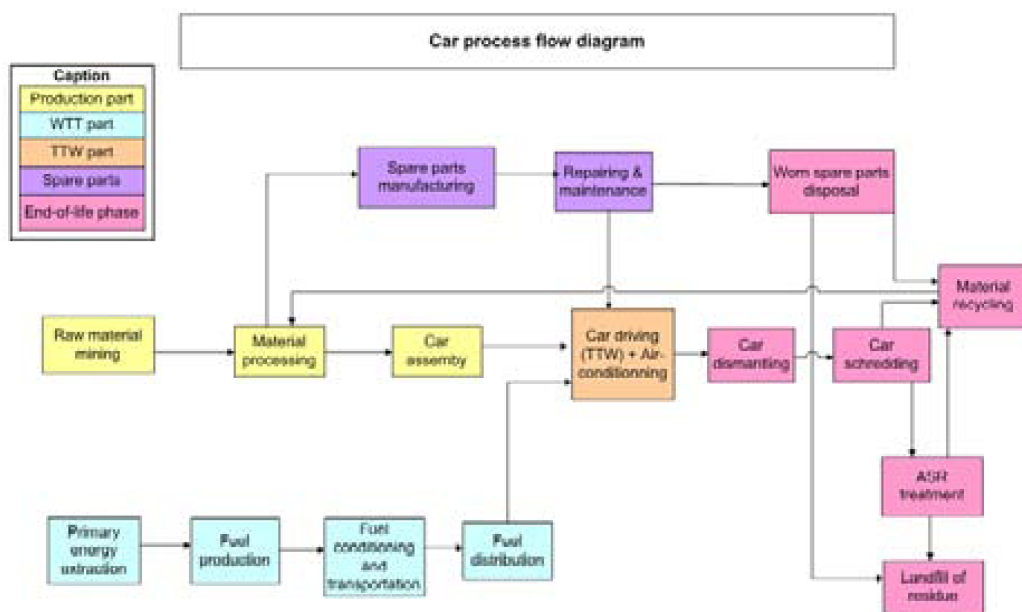
#### 1. 計畫目標及範疇

- (1) 從生命週期觀點評估及比較汽油車及柴油車對環境造成之衝擊。
- (2) 尋求未來 20 年內在汽車生命週期各個階段可以改善環境的相關技術並評估各項技術所帶來之效益。

#### 2. 生命週期分析

汽車完整的生命週期分析應包括下列項目，各階段關係如圖 2-3 所示。

- (1) 車輛製造階段，此階段包含原料開採及處理過程、車輛組裝等；
- (2) 附屬配件製造階段，包括輪胎、電池、潤滑油及冷凍劑等；
- (3) 燃料生產階段（Well-To-Tank, WTT）；
- (4) 車輛使用階段（Tank -To- Wheel, TTW）；
- (5) 車輛回收及處理階段（End Of Life, EOL）



資料來源：Nemry, G. Leduc, I. Mongelli, A. Uihlein, "Environmental Improvement of Passenger Cars (IMPRO-car)", JRC Scientific and Technical Reports, EUR 23038, 2008.

圖 2-3 汽車生命週期關係圖

該研究進行車輛生命週期評估所選用的兩個代表車型係歐盟當前新車銷售最具代表性的車款（汽油及柴油各一車款），選擇的依據係考量馬力、汽缸大小及重量等因素。詳細之考量因子彙整如表 2-3 所示。

表 2-3 選用車型的主要考量因子

	Petrol	Diesel
Average lifespan (years)	12.5	12.5
Air emission standard	EURO4	EURO4
Average annual distance (km)	16 900	19 100
Average total mileage (km)	211 250	238 750
Average cylinder capacity (cm <sup>3</sup> )	1 585	1 905
Average power (kW)	78	83
Average weight (kg)	1 240	1 463
Body model	Saloon	Saloon

資料來源：Nemry, G. Leduc, I. Mongelli, A. Uihlein, "Environmental Improvement of Passenger Cars (IMPRO-car)", JRC Scientific and Technical Reports, EUR 23038, 2008.

### (1) 車輛製造階段

此階段包含原料開採及處理過程、車輛組裝 2 個程序。表 2-4 表示 2 種車款在製造階段各種原物料使用情形。而在組裝階段能源消耗因無法取得詳細資料，該研係採用 VW20 公司的數據作為標準，如表 2-5 所示。

表 2-4 製造階段各種原物料使用情形

Materials (kg)	Petrol	Diesel
<b>Total content of ferrous and non-ferrous metals</b>	<b>819</b>	<b>1 040</b>
Steel BOF	500	633
Steel EAF	242	326
<b>Total content of iron and steel</b>	<b>742</b>	<b>959</b>
Aluminium primary	42	43
Aluminium secondary	26	29
<b>Total content of aluminium</b>	<b>68</b>	<b>72</b>
Cu	9	9
Mg	0.5	0.5
Pt	0.001	0.001
Pl	0.0003	0.0003
Rh	0.0002	0.0002
<b>Glass</b>	<b>40</b>	<b>40</b>
<b>Paint</b>	<b>36</b>	<b>36</b>
<b>Total content of plastics</b>		
PP	114	114
PE	37	37
PU	30	30
ABS	9	9
PA	6	6
PET	4	4
<b>Other</b>	<b>27</b>	<b>27</b>
<b>Miscellaneous (textile, etc.)</b>	<b>23</b>	<b>23</b>
<b>Tyres</b>		
Rubber	4	4
Carbon black	2	2
Steel	1	1
Textiles	0.4	0.4
Zinc oxide	0.1	0.1
Sulphur	0.1	0.1
Additives	1	1
Sub-total (4 units)	31	31
<b>Battery</b>		
Lead	9	9
PP	0.7	0.7
Sulphuric acid	4	4
PVC	0.3	0.3
Sub-total	14	14
<b>Fluids</b>		
Transmission fluid	7	7
Engine coolant	12	12
Engine oil	3	3
Petrol/diesel	23	25
Brake fluid	1	1
Refrigerant	0.9	0.9
Water	2	2
Windscreen cleaning agent	0.5	0.5
Sub-total	50	52
<b>Total weight</b>	<b>1 240</b>	<b>1 463</b>

資料來源：Nemry, G. Leduc, I. Mongelli, A. Uihlein, "Environmental Improvement of Passenger Cars (IMPRO-car)", JRC Scientific and Technical Reports, EUR 23038, 2008.

表 2-5 組裝階段能源消耗

Year: 2004		5.093.000 cars produced		
VW Europe	MWh	GJ	MJ/car	kWh/car
Gas and coal	5 680 000	20 448 000	4 015	1 115
Electricity	7 210 000	25 956 000	5 096	1 416
District heating	3 020 000	10 872 000	2 135	593
Total	15 910 000	57 276 000	11 246	3 124

資料來源：Nemry, G. Leduc, I. Mongelli, A. Uihlein, "Environmental Improvement of Passenger Cars (IMPRO-car)", JRC Scientific and Technical Reports, EUR 23038, 2008.

## (2) 附屬配件製造階段

本階段納入考量的附屬配件包括輪胎、電池、潤滑油及冷凍劑等，但部分無法取得詳細數據的油料並未納入本研究範疇，例如變速箱油、引擎冷卻劑、煞車油、水箱水及雨刷水等。電池及輪胎組成內容如表 2-6~表 2-7 所示，另各附屬配件更換週期如表 2-8 所示。

表 2-6 電池組成內容

Materials	% on total weight
Components containing lead	64
PP components	5
Sulphuric acid	29
Separators (PP, PVC, cellulose)	3
Total weight	13 - 14 kg

資料來源：Nemry, G. Leduc, I. Mongelli, A. Uihlein, "Environmental Improvement of Passenger Cars (IMPRO-car)", JRC Scientific and Technical Reports, EUR 23038, 2008.

表 2-7 輪胎組成內容

Materials	% on total weight
Rubber/elastomers	48
Carbon black	22
Metal	15
Textile	5
Zinc oxide	1
Sulphur	1
Additives	8
Total weight	7.8 kg

資料來源：Nemry, G. Leduc, I. Mongelli, A. Uihlein, "Environmental Improvement of Passenger Cars (IMPRO-car)", JRC Scientific and Technical Reports, EUR 23038, 2008.

表 2-8 附屬配件更換週期

Spare parts	Travelled distance (km)
Tyres	40 000
Batteries	80 000
Lubricants	10 000 (density 0.9 kg/l)
Refrigerants (R134a)	100 000 (density 0.000464 kg/l)
Brakes	40 000 (materials not quantified)

資料來源：Nemry, G. Leduc, I. Mongelli, A. Uihlein, "Environmental Improvement of Passenger Cars (IMPRO-car)", JRC Scientific and Technical Reports, EUR 23038, 2008.

### (3) 燃料生產階段 (Well-To-Tank, WTT)

這個階段包括有原油的開採、提煉及配送等階段，此部分有關燃料生產過程所產生之相關排放氣體數值，則是參考 JRC(IES)/CONCAWE/EUCAR34 之 WTW 研究 及 Ecoinvent database<sup>35</sup> 之建議值，詳如表 2-9 所示。

表 2-9 燃料生產階段環境影響

	Petrol	Diesel	Unit	Source
Abiotic depletion (AD)	0.037	0.032	kg Sb-eq/GJ	Ecoinvent
Global warming (GW)	13	14	kg CO <sub>2</sub> -eq/GJ	WTW study
Ozone layer depletion (ODP)	0.011	0.011	kg CFC-11-eq/GJ	Ecoinvent
Photochemical oxidation (POCP)	0.051	0.043	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> /GJ	Ecoinvent
Acidification (AP)	0.19	0.14	kg SO <sub>2</sub> -eq/GJ	Ecoinvent
Eutrophication (EP)	0.015	0.014	kg PO <sub>4</sub> -eq/GJ	Ecoinvent
Particles (PM <sub>2.5</sub> )	0.0048	0.0040	kg/GJ	Ecoinvent
Primary energy (PE)	0.14	0.16	GJ/GJ	WTW study

資料來源：Nemry, G. Leduc, I. Mongelli, A. Uihlein, "Environmental Improvement of Passenger Cars (IMPRO-car)", JRC Scientific and Technical Reports, EUR 23038, 2008.

### (4) 使用階段 (Tank -To- Wheel, TTW)

在使用階段，設定汽油車在生命週期內共行駛 211,250 公里；柴油車行駛 238,750 公里。而油料使用是以歐盟 25 國所銷售的無鉛汽油及低硫（50 ppm）柴油。因為資料取得問題，僅以英國的汽油車（排氣量介於 1,450-1,700 立方公分）及柴油車（排氣

量介於 1,700-2,000 立方公分) 數據作為代表。其相關排放數值如表 2-10 所示。

表 2-10 燃料使用階段排放數值

		Engine Capacity	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NO <sub>x</sub>	PM
		cm <sup>3</sup>	g/km				
Petrol cars	average	1 592	173	0.41	0.053	0.026	-
	min	1 468	139	0.06	0.010	0.005	-
	max	1 699	221	0.78	0.096	0.071	-
			-	1.00	0.100	0.080	-
Diesel cars	average	1 944	160	0.14	0.027	0.204	0.014
	min	1 753	120	0.01	0.000	0.126	0.000
	max	1 998	205	0.48	0.377	0.245	0.025
			-	0.50		0.250	0.025

資料來源：Nemry, G. Leduc, I. Mongelli, A. Uihlein, "Environmental Improvement of Passenger Cars (IMPRO-car)", JRC Scientific and Technical Reports, EUR 23038, 2008.

### (5) 回收處理階段

報廢車輛回收後各項原料之處理方式及回收比率係參照 Koltun et al.<sup>36</sup> 之建議值，相關數據內容如表 2-11 所示。

表 2-11 報廢車輛回收後各項原料之處理方式及回收比率

	Reuse (%)	Recycling (%)	Recovery (%)	Landfill (%)
Ferrous	5	94	0	1
Non-ferrous (PGM not included)	10	87	0	3
Plastics + polymers	1	0	0	99
Tyres	21	0	66	13
Glass	0	0	0	100
Batteries	8	92	0	0
Fluids	29	71	0	0
Textiles	0	0	0	100
Rubber	0	0	0	100
Other	0	0	0	100

資料來源：Nemry, G. Leduc, I. Mongelli, A. Uihlein, "Environmental Improvement of Passenger Cars (IMPRO-car)", JRC Scientific and Technical Reports, EUR 23038, 2008.

## 3. 生命週期分析結果

透過上一節生命週期各階之分析資料，分別得到汽油車及柴油車在各個階段能耗及排放數值，如表 2-12 及表 2-13 所示。



表 2-12 汽油車生命週期分析結果

Impact categories	Units	Production	Spare Parts	WTT	TTW	EOL	Total
Abiotic depletion	kg Sb-eq	0.153	0.162	0.001	0.000	0.000	0.315
Global warming	t CO <sub>2</sub> -eq	4.3	0.4	7.4	43.9	0.1	56.2
Ozone depletion	kg CFC-11-eq	0.0002	0.0001	0.0064	0.0000	0.0000	0.0067
Photochemical pollution	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	7.0	1.8	30.2	9.0	0.02	48.0
Acidification	kg SO <sub>2</sub> -eq	44.5	2.4	113.3	3.6	0.1	163.8
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> -eq	4.8	0.2	8.9	0.9	0.03	14.8
PM2.5	kg	0.9	0.1	2.9	0.0	0.0	3.9
Primary energy	GJ	65.8	12.7	82.8	595.5	0.05	756.8
Bulk waste	kg	332.5	15.8	216.5	0.0	286.7	851.7

資料來源：Nemry, G. Leduc, I. Mongelli, A. Uihlein, "Environmental Improvement of Passenger Cars (IMPRO-car)", JRC Scientific and Technical Reports, EUR 23038, 2008.

表 2-13 柴油車生命週期分析結果

Impact categories	Units	Production	Spare Parts	WTT	TTW	EOL	Total
Abiotic depletion	kg Sb-eq	0.162	0.183	0.000	0.000	0.000	0.345
Global warming	t CO <sub>2</sub> -eq	4.7	0.5	8.7	46.2	0.1	60.1
Ozone depletion	kg CFC-11-eq	0.0002	0.0001	0.0065	0.0000	0.0000	0.0069
Photochemical pollution	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	7.6	2.0	26.1	34.9	0.02	70.7
Acidification	kg SO <sub>2</sub> -eq	45.4	2.7	87.7	26.3	0.1	162.3
Eutrophication	kg PO <sub>4</sub> -eq	4.9	0.3	8.5	6.8	0.03	20.6
PM2.5	kg	0.9	0.2	2.5	3.5	0.0	7.0
Primary energy	GJ	69.2	14.4	97.4	609.0	0.05	790.2
Bulk waste	kg	374.3	17.9	178.1	0.0	300.1	870.4

資料來源：Nemry, G. Leduc, I. Mongelli, A. Uihlein, "Environmental Improvement of Passenger Cars (IMPRO-car)", JRC Scientific and Technical Reports, EUR 23038, 2008.

以能源消耗及溫室氣體排放數據觀察得知，從完整生命週期來看，汽油車的能源消耗及溫室氣體排放量較柴油車來得低。兩者在車輛製造階段與附屬配件製造階段之能源消耗與溫室氣體排放量差異不大；但在燃料生產階段則有明顯之差異。

再個別從汽油車生命週期之各個階段分析，在燃料使用階段之能源消耗與溫室氣體排放量占比最高，其次是燃料生產階段，兩者約占汽油車生命週期總能源消耗之 91.3%與溫室氣體排放量之 89.6%。而在柴油車生命週期之各個階段分析，燃料使用階段之能源消耗與溫室氣體排放量占比亦是最高，其次也是燃料生產階段，兩者約占柴油車生命週期總能源消耗之 91.3%與溫室氣體排放

量之 89.4%。

### 2.3.3 中國大陸

周祖鵬（2010）於「一種新的汽車全生命週期評價指標」研究指出，生命週期成本指標主要是從經濟方面來評價汽車的表現，考慮到消費者和生產者的經濟利益；而排放指標主要從環境方面來考察汽車的表現，考慮到使用汽車的社會環境成本。能耗指標則是從資源消耗度的角度來考慮汽車對可持續發展的影響。生命週期評價方法是一種有效的產品環境友好性評價方法，它的廣泛應用必定能夠為節能減碳有所貢獻。建立新的汽車生命週期行程載重成本指標，彌補了過去評價指標缺乏考慮行程因素和載重因素的不足，更有利今後客觀全面地評價汽車產品的環境影響程度，為選用和設計出環境影響更小的汽車產品而有所貢獻。

俞一鳴（2010）進行強混合(或全混合)動力汽車全生命週期成本研究，研究結果顯示：強混合動力汽車是一種油電混合車，主要透過切換電動機、內燃機及兩者結合推動車輪轉動，其對於節能減碳和環境保護都有非常明顯作用的汽車產品。但是由於成本問題，所以在現階段沒有得到市場的認可，如果要在中國推廣這種新型汽車技術，需要國家在政策和財政上給予多方面的鼓勵和推廣，包括購買補貼，稅收補助等多種手段，從而使得強混合動力汽車的使用成本優勢得以更加明顯，可以彌補其目前較高的購買價格的劣勢。但是，在不久的未來，隨著燃油價格的不斷上漲，強混合動力汽車的成本優勢會越來越明顯，所以必定會被廣大的消費者所接受，成為汽車行業解決能源危機的一種有效的方法。

張阿玲、申威、韓維建、柴沁虎共同出版「車用替代燃料生命週期分析」一書（2008），採用國際流行的 Well-to-Wheel 車用燃料能源和排放分析工具 GREET，透過調查研究大量數據，構建以中國數據

為基礎的模型數據庫，並結合獨立開發的持有者成本模型，計算出 2005 年、2012 年和 2020 年的 140 種車用替代燃料路徑在中國實際條件下的全生命週期中能源消耗量、溫室氣體排放量和持有者成本指標。為了對於決策者和企業提供中國發展車用替代燃料的實際選擇和宏觀預期效果，該書提出替代燃料路線市場化的激勵-阻礙模型，定性分析所計算的 140 種燃料路徑在中國市場上未來 15 年內的推廣前景，並篩選出最有可能得到推廣的路徑結果，代入該研究所開發 LEAP2006 工具包建立的情景計算模組。根據各種替代方案，分別計算 2012 年和 2020 年中國汽車使用的化石能源和石油資源消費量、其他含能資源需求量和溫室氣體排放量，並且與基準情景相比較，得到相應的石油替代率、溫室氣體減排量和減排成本。面對越來越大的能源安全和溫室氣體減碳壓力，考慮到中國資源條件和經濟發展狀況。

Xianchun TAN 等人 (2011) 研提汽車製造業二氧化碳排放計算方法，並以重慶為例進行試算。該研究依據美國 GREET 與 MOBILE 模式，研提中國汽車製造業二氧化碳排放計算方法，並在中國重慶應用於汽機車製造業二氧化碳排放的估算，驗證其可行性。依據中國全國平均數據，汽車製造過程所排放二氧化碳約占整個生命週期 CO<sub>2</sub> 排放的 10%；重慶地區汽車製造過程所排放二氧化碳約占整個生命週期 CO<sub>2</sub> 排放的 8%。

#### 2.3.4 日本

Japan Automob. Res. Inst., Inc 專家 FUNAZAKI ATSUSHI 及 TANEDA KATSUNORI (2001) 進行小汽車終端生命週期評估之研究，針對 1998 年廢棄之小汽車進行生命週期評估。此車為 1989 年生產之汽油車。由能源與 CO<sub>2</sub> 排放分析，在生命週期終端(最終)階段雖僅占總生命週期不到 1%，但是衝擊評估範圍涵蓋包括全球暖化、對臭氧層破洞影響及降雨酸化，並考量 CFC-12 冷媒、廢金屬回收以及出口第二生命週期等因素，則其衝擊卻占生命週期高達 10-50%。

### 2.3.5 韓國

Kee Mo Jeong, Seok Jin Hong, Ji Yong Lee, Tak Hur 等 4 位韓國建國大學學者（2007）運用生命週期評估方法，考量車輛回收利用之環境負擔及效益，以評估其環境績效及確認改善之機會。研究結果顯示：經由汽車回收利用所獲得的環境效益相對大於回收過程所產生的環境負荷。回收主要物質包括金屬、含鐵金屬、引擎及電池等，大約 70% 由金屬組成。對於冷媒廢棄之適當管理能夠改善對於全球暖化之衝擊。對於電池之清理及回收亦可降低衝擊。提高回收率及進行能源回收能夠改進車輛最終處置系統。

### 2.3.6 泰國

Martin Goedecke, Supaporn Therdthianwong, Shabbir H. Gheewalab 等 3 位學者（2007）進行替代能源車輛與燃料之生命週期成本之分析，比較 13 種替代能源車輛之生命週期成本，生命週期成本包括社會生命週期成本及消費者生命週期成本兩部分。由於壓縮天然氣價格便宜，且污染成本較低，因此認為壓縮天然氣（CNG）作為汽車燃料，其生命週期成本相對較低。另因為油電車製造成本高，所以導致其社會生命週期成本最高。此外，泰國車輛稅制對於消費者及製造商之替代能源車輛技術提供大量的鼓勵措施。

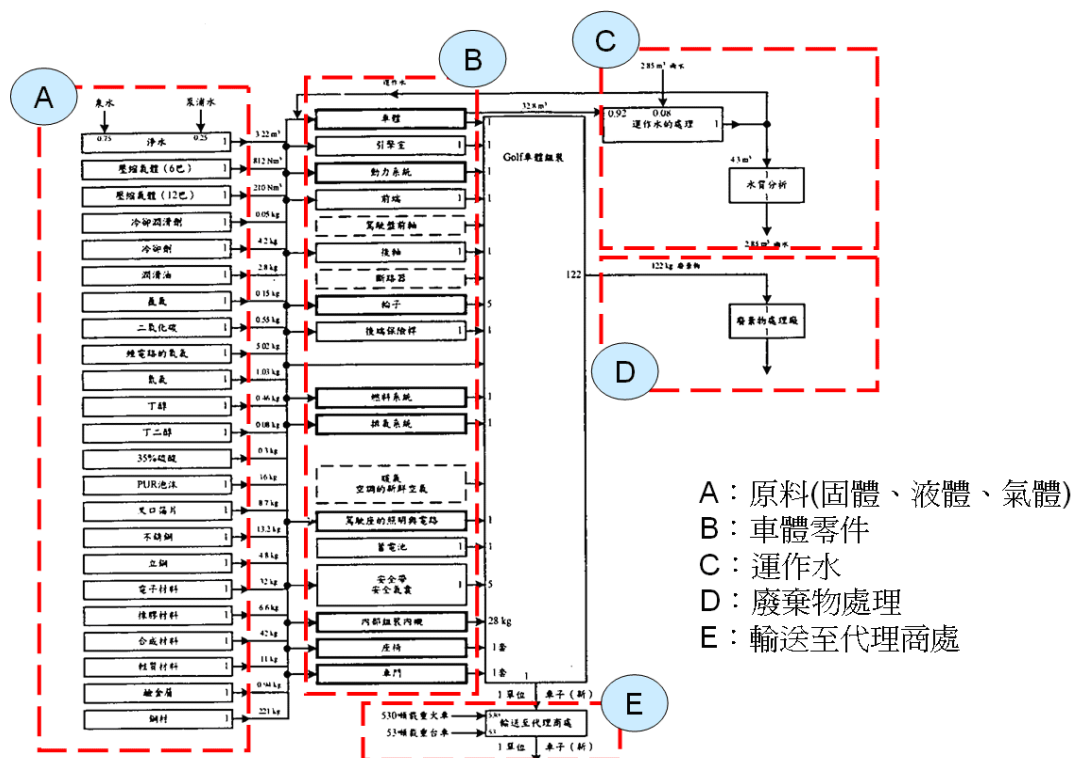
### 2.3.7 臺灣

蔡欣欣（2007）以簡易式生命週期評估方法，針對我國目前推動油氣雙燃料與油電混合車進行使用與廢棄回收階段之生命週期盤查分析，並與傳統汽油小客車作比較，從環境與能源角度比較 3 者之優異。以油氣雙燃料車為例，利用系統動態軟體建構臺灣地區小客車需求系統動態模型，設計 5 種情境進行模擬，分別為（1）基本情境（零成長情境）：未來低公害車占比為零成長；（2）情境一（低度成長情

境)：低公害車占比每年以 0.03%之成長速度增加；(3) 情境二（中度成長情境）：未來於 2012 年之低公害車使用量達 15 萬輛；(4) 情境三（高度成長情境）：未來 2012 年之低公害車使用占比為 10%；以及 (5) 情境四：燃油效率提升。研究結果得知油電車不論在能源面或環境面都是最佳之車款。而經過情境模擬結果，以情境四-3（高度成長情境且提升新車燃料效率標準）之二氧化碳減量與汽油節省效果最佳；然而，以低公害車減少二氧化碳排放相對節省汽油之目的，所得到的效果相對有限。

工業技術研究院（2004）進行「汽機車生命週期耗能分析研究」，以文獻蒐集方式進行相關分析，其主要參考文獻為“Life cycle inventory for the Golf A4,” Schweimer, GW. And Levin, M, 2001。並採用 ISO 14040 與 ISO 14041 之定義進行評估。

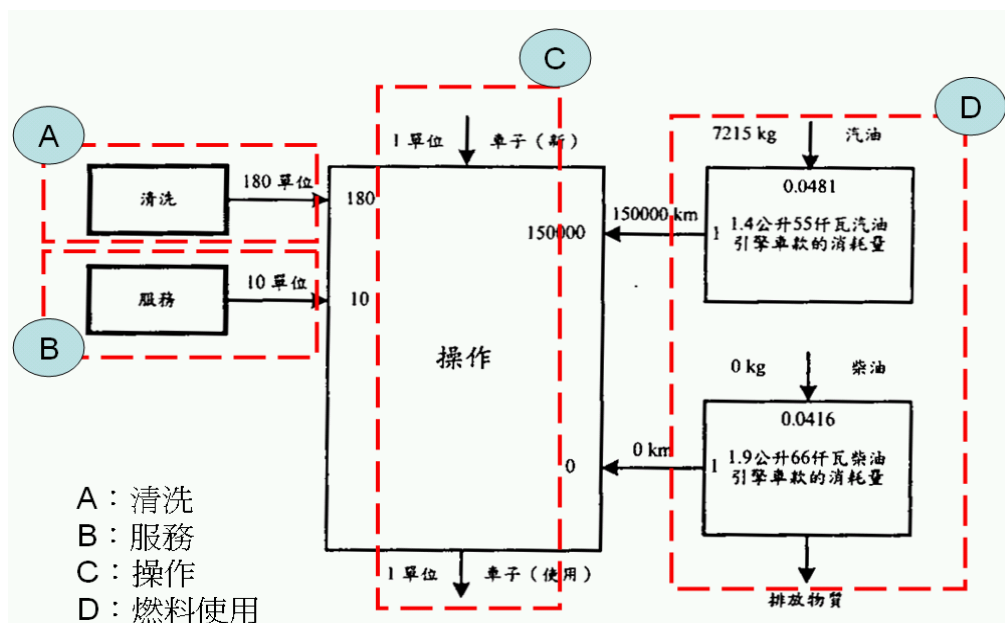
報告中以 VW 的 Golf 車型為分析對象，其生命週期階段設計包括生產製造階段、使用階段與使用壽命結束階段等，其中使用階段訂為使用 10 年、行駛里程 15 萬公里。其分析之項目，於生產製造階段包括原料（固體、液體、氣體）、車體零件、運作所需使用之水、廢棄物處理以及輸送至代理商處等，如圖 2-4 所示。



資料來源：劉子衙/張國財，「汽機車生命週期耗能分析研究」，工研院環境與安全衛生技術發展中心，93 年 11 月。

圖 2-4 生產製造階段分析項目

在使用階段，其分析之項目包括清洗、服務、操作及燃料使用等，如圖 2-5 所示。



資料來源：劉子衙/張國財，「汽機車生命週期耗能分析研究」，工研院環境與安全衛生技術發展中心，93 年 11 月。

圖 2-5 使用階段分析項目

在使用壽命結束階段，其分析項目包括舊車運送、解體拆卸、零件販售、焚化丟棄回收以及回收後之原料等，如圖 2-6 所示。

資料來源：劉子衡/張國財，「汽機車生命週期耗能分析研究」，工研院環境與安全衛生技術發展中心，93 年 11 月。

其分析結果則分為「製造」、「材料生產」、「燃油生產」以及「使用與丟棄」進行總體呈現。其生命週期二氧化碳排放估算結果如表 2-14 所示。

表 2-14 Golf 生命週期二氧化碳排放估算結果

單位：Kg/car

	總和	製造	材料生產	燃油生產	使用與丟棄
汽油車	29,732	1,890	2,512	1,991	23,339
柴油車	26,602	1,889	2,688	1,748	20,277

資料來源：劉子衡/張國財，「汽機車生命週期耗能分析研究」，工研院環境與安全衛生技術發展中心，93 年 11 月。

文獻中亦蒐集國外針對替代能源之生命週期能耗與二氧化碳排放之分析結果，如表 2-15 所示。其中每公里能源消耗最高者為汽油 FC 複合車，達 2.44MJ/km，最低者為 1.28MJ/km 的汽柴油 ICE 複合車；總 GHG 排放以汽油 ICE(base)為最高，達 47 g-C/km，最低者為 33g-C/km 的電動車。

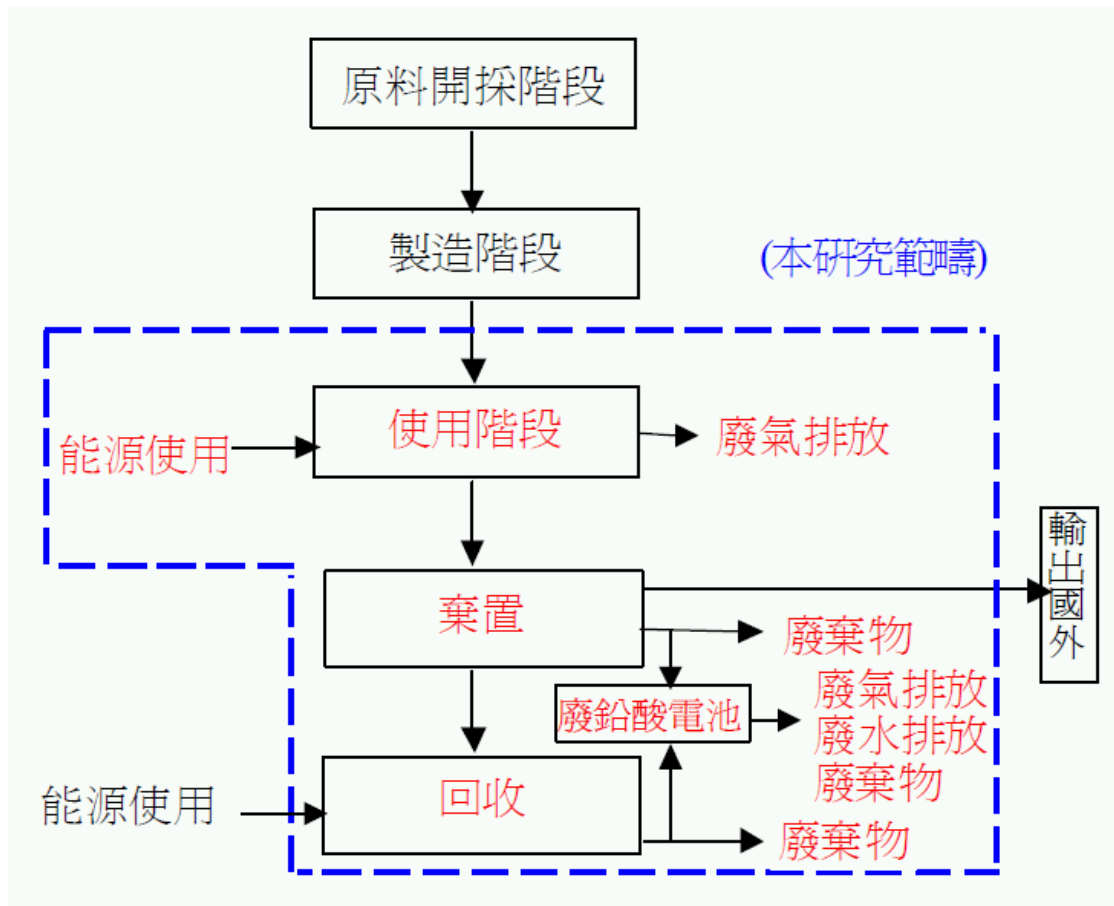
表 2-15 替代能源車輛生命週期能耗與排碳

2020 年技術	總能源消耗 MJ/km	總 GHG 排放 g-C/km
汽油 ICE (Base)	2.34	47
汽油 ICE	2.08	42
柴油 ICE	1.77	37
汽油 ICE 複合車	1.53	30
汽柴油 ICE 複合車	1.28	27
壓縮天然氣 ICE 複合車	1.45	24
F-T 柴油 ICE 複合車	2.02	31
汽油 FC 複合車	2.44	49
甲醇 FC 複合車	2.32	38
氫氣 FC 複合車	1.69	34
電動車	1.88	33

資料來源：“ON THE ROAD IN 2020 (A life-cycle analysis of new automobile technologies)”，Weiss, M.A., Heywood, J.B., Drake, E.M., Schafer A. and AuYeung F.F., Energy Laboratory, Massachusetts Institute of Technology, Oct. 2000.

潘富生 (2002) 進行「電動機車與燃油機車生命週期盤查分析」，根據 ISO 14040 規範，以盤查方式進行電動機車與燃油機車生命週期比較。惟受限於資料取得困難，該研究範疇限縮至使用至廢棄階段，未能涵括生產製造階段，如圖 2-7 所示。





資料來源：李育明、潘富生，「電動機車推廣政策之檢討－生命週期」評估之應用(2004)

圖 2-7 「電動機車與燃油機車生命週期盤查分析」研究範疇

李育明(2004)的研究結果顯示，在使用階段，二行程、四行程燃油機車總耗能量分別為 12,036kwh 與 12,917kwh，而電動機車總耗能量加權後為 16,091kwh，分別約為二行程與四行程燃油機車的 1.34 倍與 1.25 倍。此外，在二氧化碳、硫氧化物、氮氧化物方面，電動機車亦未較燃油機車有絕對的優勢，僅在碳氫化合物方面電動機車較為潔淨，如表 2-16 所示。而在棄置回收階段，燃油機車可直接回收比率達 88.62%，優於電動機車的 48.72%，其中電動機車主要的回收問題為廢鉛酸蓄電池的污染。

表 2-16 電動機車及燃油機車使用階段耗能盤查結果

系統名稱	電動機車使用階段（原始里程數）				
投入項目	耗電量 12,068 kWh（平均耗電率：377.13 Wh/km）				
產出項目	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	NMVOC+CH <sub>4</sub>
盤查結果(kg)	2,261.70	3.87	2.48	0.36	0.35
系統名稱	電動機車使用階段（功能加權 1.33 倍）				
投入項目	耗電量 16,091 kWh（平均耗電率：502.84 Wh/km）				
產出項目	CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	CO	NMVOC+CH <sub>4</sub>
盤查結果(kg)	3,349.32	5.73	3.67	0.53	0.52
系統名稱	燃油機車使用階段（二行程）				
投入項目	耗能量 12,036 kWh（耗油量換算為電能當量：407.37 Wh/km）				
產出項目	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	HC
盤查結果(kg)	3,797.12	0.83	0.32	173.76	79.26
系統名稱	燃油機車使用階段（四行程）				
投入項目	耗能量 12,917 kWh（耗油量換算為電能當量：403.65 Wh/km）				
產出項目	CO <sub>2</sub>	SO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	HC
盤查結果(kg)	3,512.00	0.83	5.76	7.90	21.34

資料來源：李育明、潘富生，「電動機車推廣政策之檢討—生命週期」評估之應用(2004)

## 2.4 小結

從國內外文獻可知，已有相當的研究以生命週期評估車輛能源消耗與溫室氣體排放，歸納以下 4 點作為本研究後續的參考。

1. 相關研究對車輛生命週期之界定，大致可涵蓋原料組成、製造及運銷、使用與維護、棄置與回收等階段。
2. 車輛生命週期成本所考量者，不僅為消費者生命週期成本，亦包含溫室氣體排放、空氣汙染等社會生命週期成本，本研究後續進行分析時將一併考量。
3. 車輛生命週期評估之關鍵，除了選用合適之評估工具外，適合當地之本土化參數為評估精確性之重要因素，本研究後續評估時將儘可能蒐集國內相關之參數資料。
4. 從國內外文獻可知，車輛使用階段能源消耗與溫室氣體排放占生命週期之比重最高，相關節能減碳之策略可從車輛使用階段著手。

## 第三章 私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放常用評估工具簡介

本章就目前國內外常用之能源消耗與溫室氣體排放評估工具，包含 GREET、MOVES 等作說明介紹，藉以選擇本研究適用之評估工具。

### 3.1 GREET

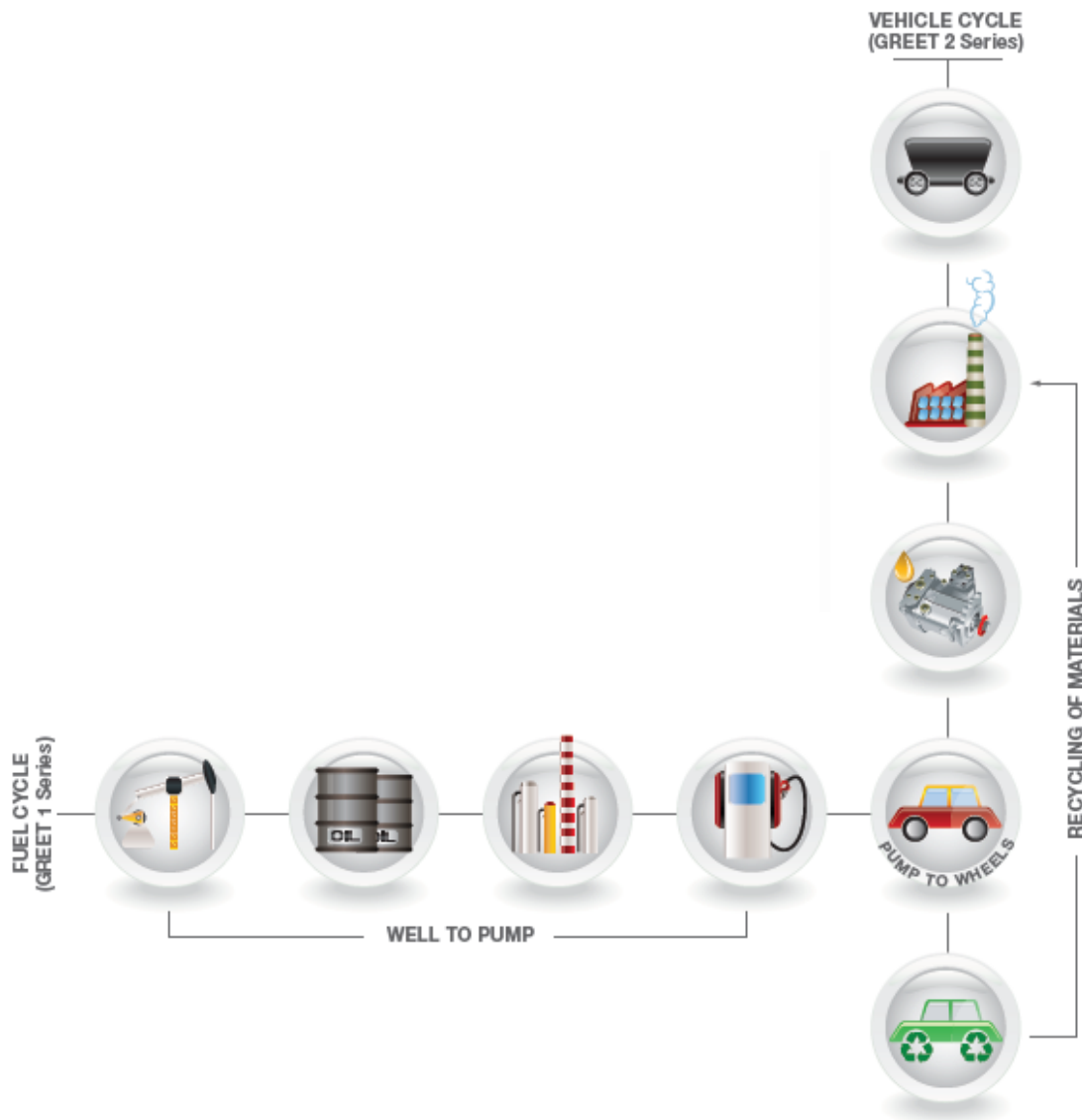
GREET (Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation) 係美國運輸部委託美國能源部最大的研究中心阿岡國家實驗室 (Argonne National Laboratory, Transportation Technology R&D Center) 於 1995 年開始發展的一套能源週期 (energy-cycle) 分析模式，以分析各種運輸技術下於能源週期過程中對能源與污染之影響，GREET 因應不同車輛製造技術，再擴展增加車輛週期 (vehicle-cycle) 模式，分析車輛由生產到報廢，所可能產生溫室氣體與耗能，為目前最完整之推估模型。

GREET 可分析包括燃料製造、車輛製造、車輛使用 3 種不同狀況，可單獨進行分析或組合進行分析，提供包括溫室氣體在內 10 種以上排放與耗能分析。以下分就 GREET 發展沿革、燃料週期及車輛週期之分析進行說明。

#### 1. 發展沿革

美國運輸部於 1995 年開始委託美國能源部最大的研究中心阿岡國家實驗室發展一套能源週期分析模式，以分析各種運輸技術於能源週期過程中對能源消耗與污染排放之衝擊，並於 1996 年完成初版，稱為 GREET。2010 年所公布之最新版 GREET1.8d 與 GREET2.7，為目前世界上最完整車輛耗能評估模型之一。美國 Argonne 國家實驗室根據所蒐集到的美國地區相關燃料提煉、各

式汽車及電動車的資料，建置完成 GREET 模型。GREET 適用於美國地區，可以用於預測分析不同燃料選擇及標準行車型態之下，從車輛本身產生動力（Pump-to-Wheels, PTW）時所產生廢氣與燃料提煉到運送（Well-to-Pump, WTP）中間所消耗之能源，同時分析兩階段中的能源效率及廢氣排放。為滿足前述條件，其能源週期（energy cycle）計算主軸由原先之燃料週期（fuel cycle），因應不同車輛如電動車、燃料電池等替代能源車輛製造技術，再擴展增加車輛週期（vehicle-cycle），如圖 3-1 所示。其中 GREET1.8 係針對燃料週期，GREET2.7 則針對車輛週期。

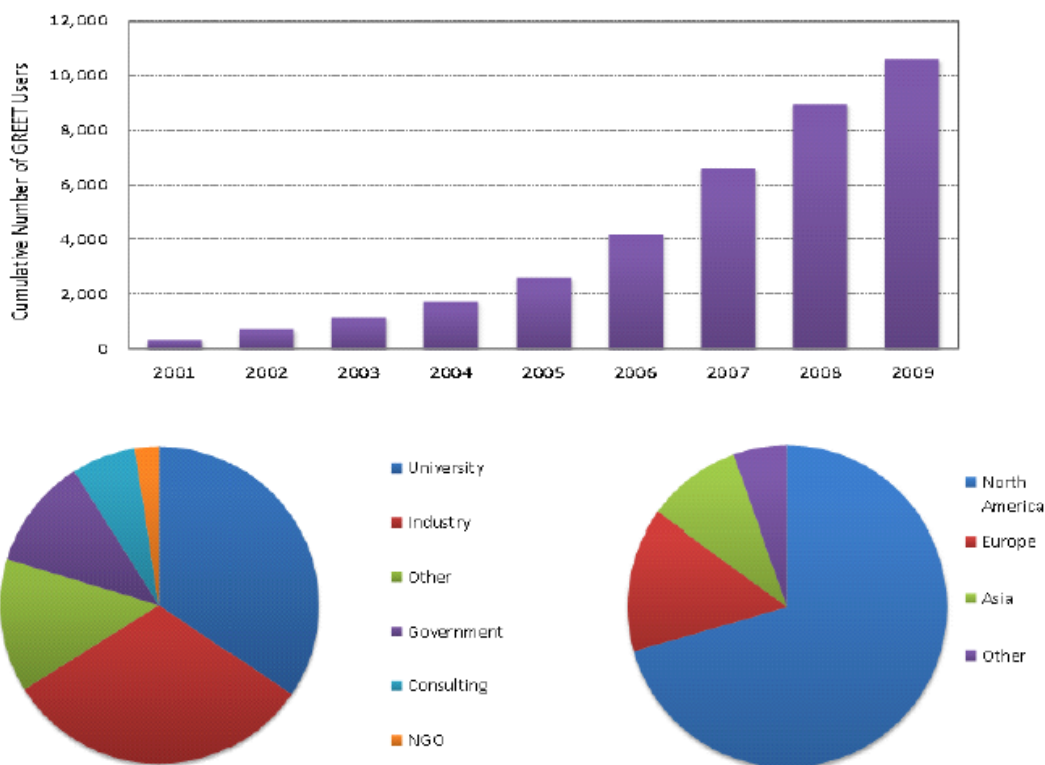


資料來源：Argonne National Laboratory

圖 3-1 GREET 模式之能源週期流程

REET 模型對車輛與燃料生命週期的定義為，產品從原物料取得、生產、使用及處置，對車輛與燃料整個生命過程中的環境考量面與潛在衝擊，需要考量的環境衝擊通常包括資源使用、人體健康、生態影響等 3 方面。REET 模型主要目的係各種政策在生命週期各細節處環境考量面的改善機會，提供產業界、政府或非政府機構之決策參考，例如策略規劃、優先順序設定等。美國 Argonne 國家實驗室仍持續更新發展 REET 模型，主要原因認為 REET 模型必須能克服可能的限制，包括數據之可取得性、存在性或數據品質、全球性或區域性議題之分析結果，以及不見得適合於地區性應用等難題。車輛的使用，與燃料週期及車輛週期均息息相關，因前述兩種週期都與能源消耗與污染排放有關，REET 模型即是以整合車輛與燃料觀點評估車輛耗用能源與污染排放各階段所佔比例與相對影響。

REET 模型特性為有系統且充分地論及產品系統自原物料取得至最終處置之環境考量面，同時可執行不同詳細程度與時程之分析，視目標界定而可進行調整，其方法及結果非常透明化，REET 模型的系統方法為是可修改的，可隨時包容新的科學發現與現有最佳技術之改善，因此除北美地區美國與加拿大外，包括德國、英國、法國、日本、巴西、中國大陸等國家均利用此模型作為產業與環境、能源、運輸政策制定參考之評估工具，其應用之行業包含產官學界，使用人數於 2009 年已突破萬人，詳如圖 3-2 所示。

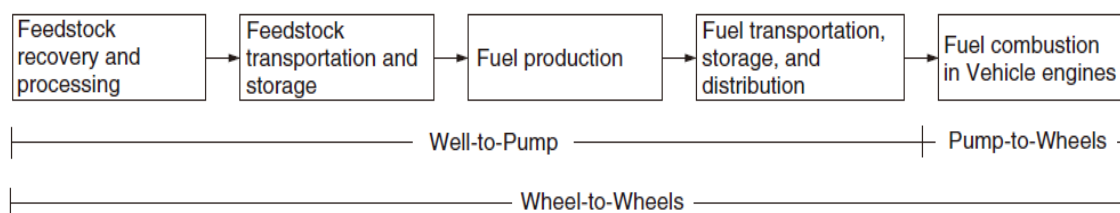


資料來源：Argonne National Laboratory

圖 3-2 GREET 使用現況

## 2. 燃料週期 (fuel-cycle) 分析說明

GREET 模型採用電腦模擬方式來針對使用不同燃油的傳統內燃機車輛、油電混合車輛，及純燃料電池車或是與電池混合而成的燃料電池車輛，依據所指定車輛規格性能及行車型態進行模擬，GREET 在模擬當中也可計算出不同的燃料所造成的廢氣排放影響，並且從 Well-to-Pump 至 Pump-to-Wheels 及 Well-to-Wheels 進行整體性之研究評估（如圖 3-3 所示）。



資料來源：Department of Civil and Environmental Engineering, University of California

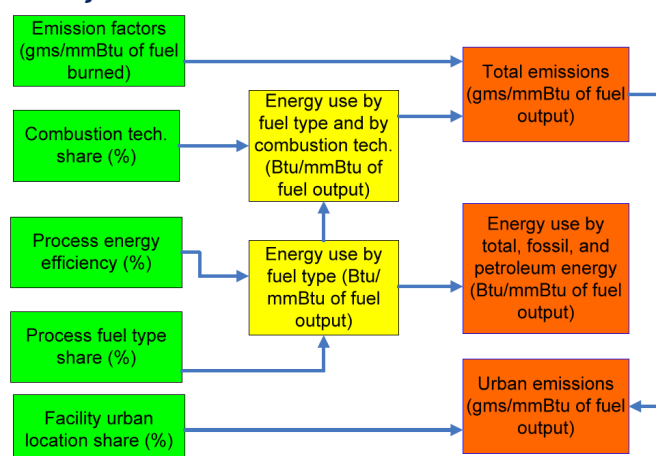
圖 3-3 GREET 軟體燃料週期運作流程圖

GREET1.8d 所針對燃料週期 (fuel-cycle)，是指燃料從礦場開採一直到車輛消耗燃燒的過程，GREET 模型又將其分為三階段，

第 1 階段是 feedstock 階段，包括化石原料開採、原油運輸、儲存，第 2 階段是 fuel 階段，包括原油進口之後，燃料製造提煉過程，及第 3 階段為將燃油運輸、儲存、配送至加油站。

以燃料提煉和製造過程，可依據輕油裂解廠之排放參數、製程技術、製程與燃燒效率、處理油品種類、與鄰近都市距離等項目（如圖 3-4 所示）輸入 GREET1.8d 進行分析。GREET1.8d 燃料週期分析功能，係依據世界排名前 5 大油商，包括艾克森美孚公司（Exxon Mobil Corp. US-XOM）、雪佛龍股份有限公司（Chevron Corporation）、英國石油公司（British-petroleum）、殼牌股份有限公司（Shell Corporation）等提供自 2001 年起原油提煉之相關數據發展而成。GREET 模型可以分析得到單位燃料所需熱能 mmBtu（million British thermal unit）或排放二氧化碳數量，並可針對化石能源或生質、氫能、電能等替代能源生產過程所需熱能進行分析，並可觀察污染排放對都市地區的影響。1997 年開始，美國農業部（U.S. Department of Agriculture）開始以 GREET 模型評估包括乙醇（Ethanol）、纖維素（Cellulosic）、生質柴油等發展成本，美國環保署（U.S. Environmental Protection Agency）的汽車能耗模擬軟體 MOVES（Motor Vehicle Emission Simulator）更引用 GREET 燃料週期部分為核心。

**Calculation Logic for a Given WTP Production Activity in GREET**



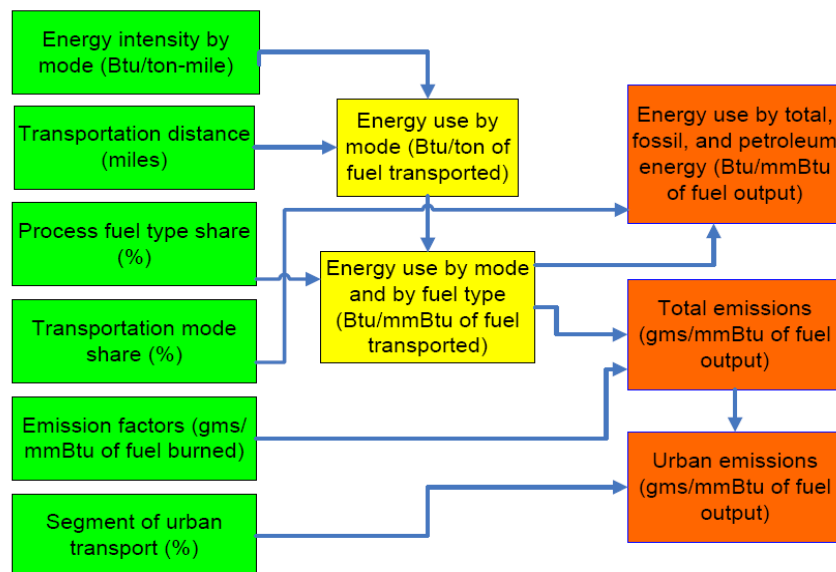
資料來源：Argonne National Laboratory

圖 3-4 GREET 燃料週期燃油製造耗能分析



REET 燃料週期中對燃油運輸階段可計算其所消耗之能源，可依照不同燃油運輸方式（如海運、軌道運輸、管線、油罐車）、運輸距離、燃油儲存等以每噸所需熱量 mmBtu/ton 為單位估算其消耗之能源，同時可針對污染排放、對都市或人口密集地區空氣品質影響等進行分析（如圖 3-5 所示）。REET 可分析能源的成本結構包括三大項目：生產（generation）、傳送（transmission）、分配（distribution）。以汽/柴油為例，從輕油裂解廠出來以前為生產耗能；以管線或油罐車運輸到各加油站是傳送耗能或排放；自加油站再分配到消費者車上便是分配成本，REET1.8d 可針對每一部分考慮能源消耗與排放問題。

#### **Calculation Logic for a Given WTP Transportation Activity in REET**

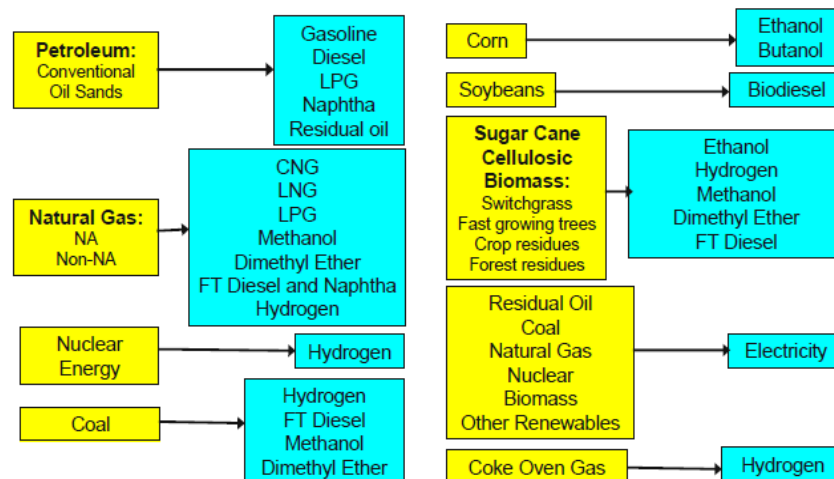


資料來源：Argonne National Laboratory

圖 3-5 REET 燃料週期運輸耗能與污染分析

REET 燃料週期包含由不同的燃料來源如石油、天然氣、植物等，到提煉出各種可以供燃料電池使用的燃料，如氫氣、甲醇和乙醇等，產生廢氣排放量及能源損耗的數據。REET1.5 以後版本，針對車輛動力部分增加電能、油電混合動力、燃料電池、生質能源及氫能車輛等，增加相對應之選擇。REET 模型可經過選定提煉燃料路徑（如圖 3-6 所示）之後，再經過計算便可以得到各種燃料提煉的過程中，是否符合環保效益及能源效益。

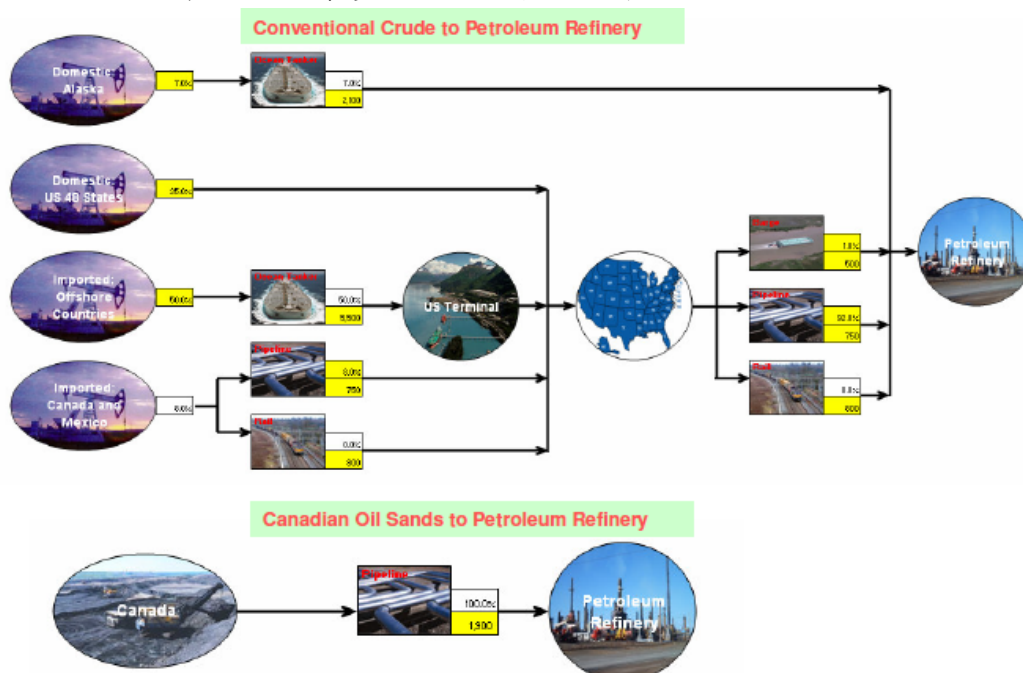




資料來源：Argonne National Laboratory

圖 3-6 GREET 燃料週期軟體所設定燃料的路徑

GREET1.8 以後版本關於燃料週期計算可選擇圖形或 Excel 試算表格式，在圖形介面中，使用者可依照圖形指示，使用預設值（Default）或自行調整相關參數。分析美國原油（Petroleum）運輸路徑為例，原油之輸送方式可選擇油輪、油罐火車、管線等 3 種。預設係依據美國目前之統計資料，管線佔總運輸量之 65% 以上，其餘分別為油輪與油罐火車。但使用者可依照自身需求調整產地、比例與距離等參數，如圖 3-7 所示。



資料來源：University of Michigan

圖 3-7 GREET 燃料週期軟體分析原油運送路徑

REET 燃料週期亦可用於分析不同燃料製造與運送之能耗比，藉以制定相關能源政策。以目前替代能源選項之一的氫能（hydrogen energy）為例，氫能可自再生能源轉製，其能源使用後產物主要是水，具有低污染、環保的優點，被各國視為最具提昇國家能源安全、減少溫室效應氣體排放、減少空氣污染及提昇能源使用效率潛力之二次能源。發展氫能經濟以取代碳經濟是很多國家的長期目標，除了能保障能源安全，亦能兼顧經濟發展與環境保護的好處。雖然氫能乃二次能源，但大自然界含量豐富並不斷循環，必須要克服生產、儲存、輸送及應用技術障礙，方能發展出更具效率與多元的永續能源供需體系與產業。我國行政院已通過「綠色能源產業旭升方案」，選定氫能與燃料電池為 6 項綠能產業發展主軸之一。

以氫做為燃料能源，有其優越之處，首先氫的燃燒熱值高，每 1,000 克的氫燃燒後之熱量約為同樣重量汽油的 3 倍，煤炭的 4.5 倍。其次氫在地球上的含量僅次於氧和矽，但氫氣不像天然氣或原油可開採，在製取氫的階段仍須消耗大量的電力，間接產生可觀的二氧化碳，但因氫具有可儲存的特性，如利用再生能源或離峰電力來製取氫，氫仍是理想的綠色能源。

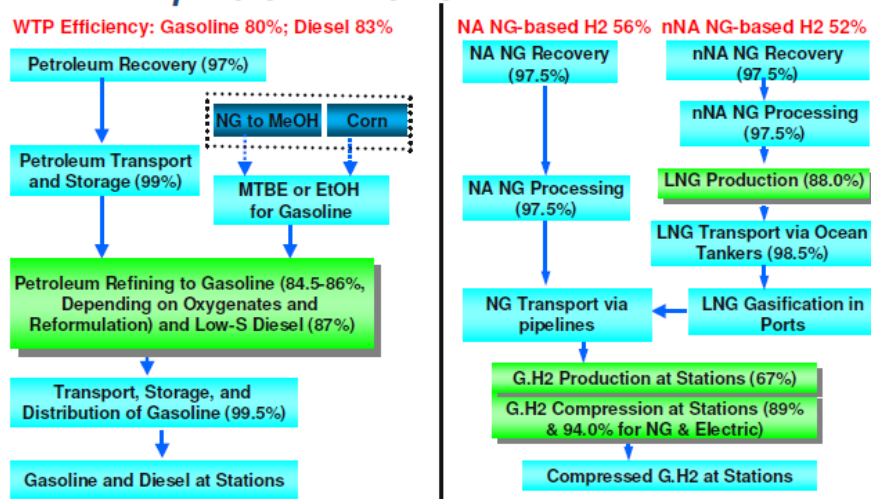
當今氫工業的重點在化學品、石化工業、金屬冶煉及電子製程等，而生產氫氣應用在能源上仍處在實驗及萌芽階段。氫燃料可以來自於任何的碳氫化合物，例如天然氣、甲醇、乙醇、水的電解、沼氣…等等，由於經濟效益考量，目前全世界氫的製造 96% 以上係利用熱化學法從石油、煤、天然氣等轉化製得，4% 是由電解水方式得到。

氫能應用目前面臨儲存、運輸與安全等議題，由於氫氣在常溫常壓下的密度極低，不管儲存、運輸或實際應用前都必須加以壓縮，國際上技術現況，包括有高壓儲氫、液態儲氫、金屬儲氫、化學儲氫等 4 種，目前最接近實用技術的是高壓儲氫，這也是目前氫燃料電池（Hydrogen fuel cells）汽車製造廠所採用的主要技

術。經過估算，加壓至 80 大氣壓的氫氣，含有的能量只有等壓等體積天然氣的三分之一。以現有運輸系統一輛能裝載 2,400 公斤天然氣的罐裝拖車，只能載運不到 300 公斤的氫。

由前述可知，氫氣產生後，如何有效率且安全地儲存及運輸需要慎重考慮，因為儲存及運輸方式攸關氫能的後續應用，譬如如何把已儲存的氫氣供應給移動的車輛，或如何運輸至消費地點，如加氫站等。在效率方面，可利用 GREET 燃料週期分析氫能和汽柴油運送與製造過程耗能比，如圖 3-8 所示。

### ***GREET WTP Analysis Includes Key Production and Transportation Activities***



資料來源：美國能源部（United States Department of Energy）

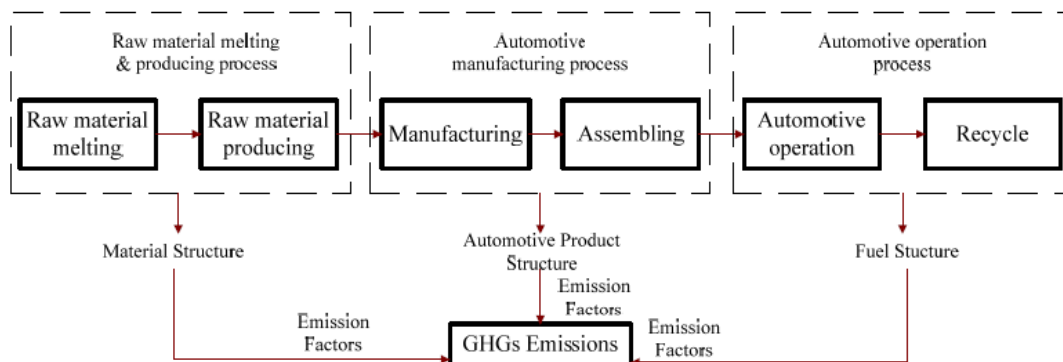
圖 3-8 GREET 燃料週期分析氫能製造與運輸

由圖 3-8 可知，氫能經過製造和運輸階段，必須消耗近 50% 能量，和汽柴油運送與製造過程耗能（低於 20%）相比，實用價值不高，係目前發展瓶頸。GREET 雖然可以在車輛週期分析針對氫燃料電池汽車製造階段耗能進行分析，但目前 GREET1.8d 尚無法針對安全部分以及加氫站等設施進行分析。在安全問題方面，氫的問題出在很容易燃燒和爆炸，氫在低至 20K 的溫度就達到引燃點（flash point），其混合氣體的引爆範圍非常廣，在空氣中含有 3~75% 體積的氫氣都可引發氣爆，而天然氣的引爆範圍是 5~15 %。在加氣站設施方面，由於氫是分子量最小的氣體，運動速度

非常快，滲透性也最強，因此所有的管線或儲存槽的界面製作程序比汽柴油設施製造更加耗能，氫不管是以壓縮的氣體或超冷的液體存放，容器的體積都是非常龐大而笨重的，加上氫脆(hydrogen embrittlement)問題，其使用壽命比汽柴油設施更短。

### 3. 車輛週期 (vehicle-cycle) 分析說明

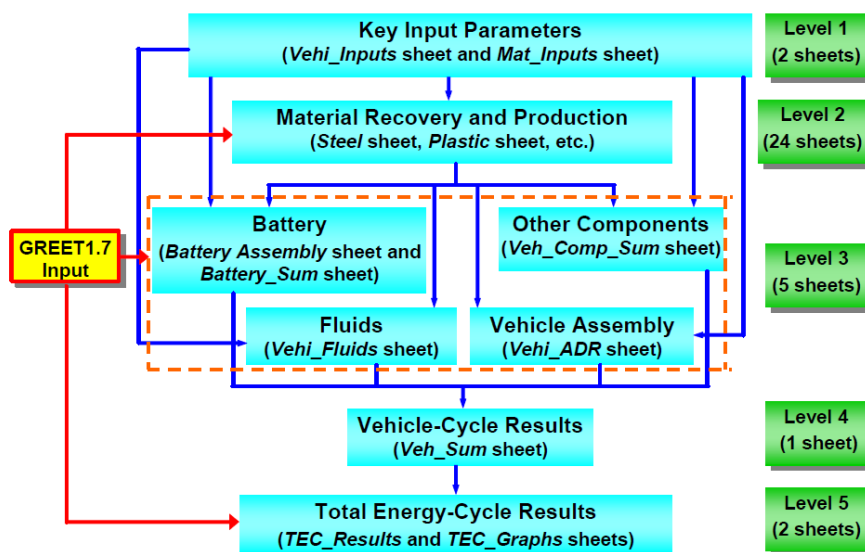
REET 模型中關於車輛週期 (vehicle -cycle) 的定義，係指車輛從材料準備、生產製造、報廢處理的過程，REET 又將其分為 3 階段 (如圖 3-9 所示)，分別是 material structure 階段 (包括材料製造、零件裝配、車輛組裝)、automotive manufacturing 階段 (包括燃燒、蒸發、煞車、輪胎磨耗等)、automotive -operation 階段 (包括車輛行駛階段、車輛廢棄、回收)。



資料來源：School of Environment, Tsinghua University

圖 3-9 REET 車輛週期定義

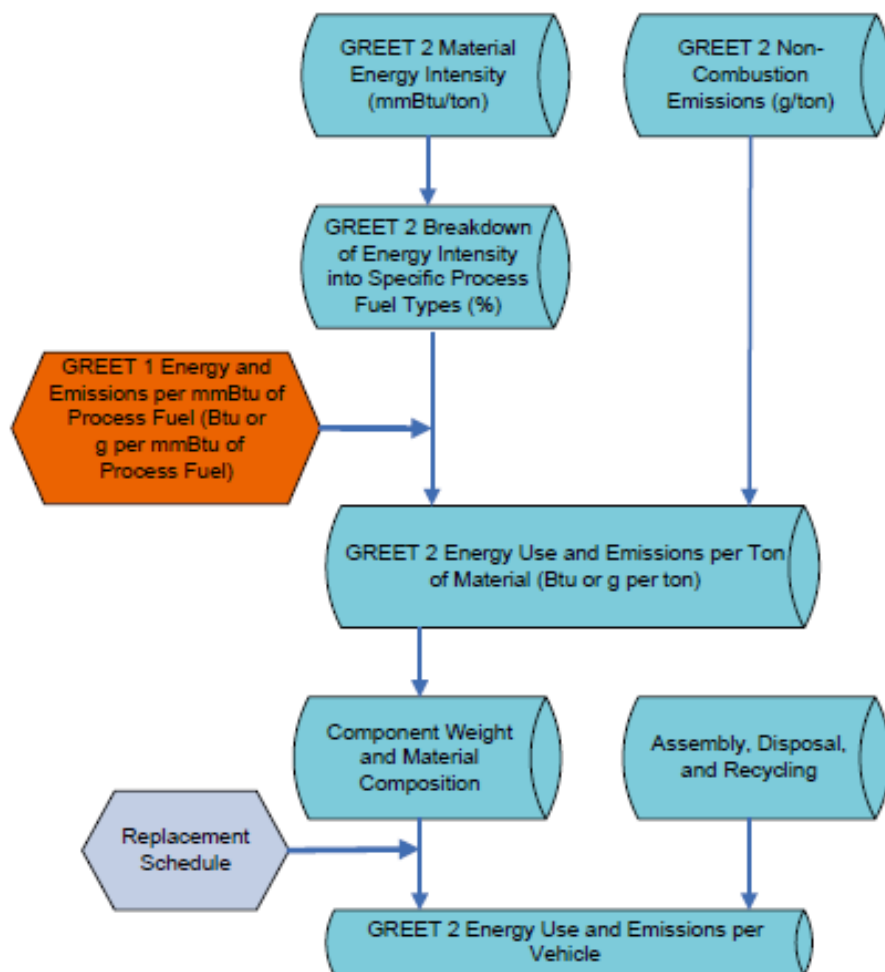
REET 模型在車輛週期計算方面，係以 REET2.7 進行，並以 Microsoft Excel 為設計核心，透過試算表 (sheet) 作為其輸入與輸出格式，如圖 3-10 所示，共分為 5 個階層，由 34 個試算表所組成，涵蓋車輛型式、材料種類、製程選擇等參數選項，並可針對材料來源、環境變數加以設定，其輸出可選擇包括以試算表進行文字輸出或圖形顯示。



資料來源：Argonne National Laboratory

圖 3-10 GREET2.7 車輛週期試算表組成

GREET2.7 在進行分析時，首先必須確定車輛重量，依據材料與製程特性，分別計算所需之能源，如需煉製材料，則以處理材料每噸所需熱量 mmBtu 表示，非煉製程序則以處理材料每噸所需排放溫室氣體 g/ton 表示，其次再將熱量轉換為所需燃料並納入 GREET 燃料週期之數據進行整合，最後再將前述所有程序整合為能耗 mmBtu/ton 或排放 g/ton，最後再依照材料種類估算廢棄物處理、回收所需耗能，完成整個 GREET2.7 之估算(如圖 3-11 所示)。



資料來源：Argonne National Laboratory

圖 3-11 GREET2.7 車輛週期分析流程

進一步分析圖 3-10，GREET2.7 首先必須依據車輛與材料形式進行關鍵參數輸入，以確定後續之分析流程，如傳統內燃機車輛（internal combustion engine vehicle, ICEV）、油電混合車輛（hybrid electric vehicle, HEV）、燃料電池車輛（fuel cell vehicle, FCV）等，根據車輛種類，GREET2.7 提供不同系統組合（如表 3-1 所示）。例如油電混合車輛與燃料電池車輛中必須配備電動馬達（Traction motor），傳統內燃機車輛則無此系統，油電混合車輛係利用發電機（Generator）對電動馬達提供電力，燃料電池車輛則利用燃料電池輔助系統（fuel cell auxiliary system）對電動馬達提供電力。

表 3-1 車輛系統組成

	ICEV	HEV	FCV
Body system	●	●	●
Powertrain system	●	●	●
Transmission system	●	●	●
Chassis system	●	●	●
Traction motor		●	●
Generator		●	
Electronic controller		●	●
Fuel cell auxiliary system			●
Batteries	●	●	●
Fluids (excluding fuel)	●	●	●

資料來源：Argonne National Laboratory

GREET2.7 第一個階層所須要輸入的試算表為 VEHI\_INPUT SHEET 與 MAT\_INPUTS SHEET，VEHI\_INPUT SHEET 中包含車輛種類、車輛總重、保養油品、電池形式、平均行駛里程、輕量化材質使用比例等預設參數，使用者可依據需求進行相關調整，如車輛重量，GREET2.7 預設值如表 3-2 所示，表 3-2 中 LW 係指輕量化車款，其材料組合參數預設與同類型車輛不完全相同。

表 3-2 GREET2.7 車輛週期預設車輛重量

	ICEV	HEV	FCV	LW ICEV	LW HEV	LW FCV
重量	3,330	2,810	3,020	1,970	2,000	2,280

資料來源：Argonne National Laboratory

MAT\_INPUTS SHEET 則包括車輛各系統材料組成、電池系統組成、車輛油品需求、關鍵材料與 GREET2.7 所提供之預設參數選擇等 4 種不同之試算表所組成。

第二階層係由各項關鍵材料所組成，包括鐵 (Steel)、碳鋼 (C.IRON)、鋁 (Aluminum)、銅 (Copper)、鎂 (Magnesium) 等金屬材料與塑膠 (PLASTICS)、玻璃等共 24 種關鍵材料，各型車輛均提供預設之組合比例如表 3-3 所示。



表 3-3 GREET2.7 車輛週期預設車輛材料重量百分比

	ICEV	HEV	FCV	LW ICEV	LW HEV	LW FCV
Steel	61.7	30.5	65.2	30.9	56.4	21.4
Stainless steel	0.0	1.1	0.0	0.7	0.0	0.0
Cast iron	11.1	4.2	6.0	3.7	1.8	2.6
Wrought aluminum	2.2	6.9	1.8	6.3	5.9	10.3
Cast aluminum	4.7	14.7	5.1	14.1	3.2	11.2
Copper/brass	1.9	3.2	4.3	5.4	4.8	5.5
Magnesium	0.02	0.4	0.02	0.4	0.02	0.3
Glass	2.9	3.0	2.9	3.0	2.6	2.8
Average plastic	11.2	14.0	10.6	12.6	10.2	11.7
Rubber	2.4	2.6	1.9	2.0	1.8	1.8
CFRP <sup>b</sup>	0.0	15.1	0.0	16.0	10.0	26.4
GFRP <sup>b</sup>	0.0	2.3	0.0	2.4	0.0	2.3
Nickel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
PFSA <sup>b</sup>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4
Carbon paper	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.4
PTFE <sup>b</sup>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
Carbon and PFSA suspension	0.0	0.0	0.0	0.0	0.05	0.05
Platinum	0.0005	0.0009	0.0003	0.0004	0.007	0.007
Others	1.9	2.2	2.2	2.5	2.2	2.5

資料來源：Argonne National Laboratory

各種材料使用比例在 GREET2.7 均提供所需之處理耗能，以鋁為例，由最上游原料之鋁礬土（bauxite）處理，經過 Bayer 法將鋁礬土於 NaOH 水溶液中進行高溫處理，以將其中的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  成份提煉成  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ，最後加熱焙燒而得到  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 。此部分，GREET2.7 預設值為  $250^\circ\text{C}$ ，再利用 Hall-Heroult Process，利用電化學過程，在  $940\sim 960^\circ\text{C}$  時，將 60-350KA 的直流電通過碳陽極，使電解槽中氧化鋁在熔融狀態的氟化鹽中被分解為鋁和二氧化碳，此部分 GREET2.7 預設值係  $960^\circ\text{C}$ ，亦即每噸需要 65,843mmBtu 能源，但使用者可依據實際狀況進行調整。同時 GREET2.7 亦可針對鋁來源調整所需耗能，如原生材料或回收材料等，依據前述條件，



REET2.7 相關預設值如表 3-4 所示。

表 3-4 REET2.7 車輛週期預設鋁製品耗能係數

Process	Bauxite Mining	Bauxite Refining (Bayer process)	Alumina Reduction (Hall-Heroult process)	Scrap Preparation (recycled wrought Al)	Reverb Melting and Ingot Casting (recycled wrought Al)	Al Melting and Casting	Sheet Production and Rolling	Stamping
Energy use (mmBtu/ton of material product)	0.563	9.527	65.843	0.623	9.500	4.146	8.344	5.453
Fuel share (%)								
Residual oil		0.3	17.2		2.9	2.8	5.4	
Diesel	100			62.1				
NG		89.4	4.6		95.6	91.7	67.2	79
Coal		3.7	5.9					
Electricity		6.6	72.3	37.9	1.5	5.5	27.4	21

資料來源：Argonne National Laboratory

進一步探討表 3-4，REET2.7 亦提供製程各階段所需之能量形式（如電力、天然氣、柴油、回收廢油等）與耗能狀況，REET2.7 在此部分預設值係由美國 Argonne 國家實驗室本身與美國材料試驗協會（American Society for Testing and Materials，ASTM International）共同提供之數據，使用者可依照本身條件重新設定。

REET2.7 使用者調整預設參數進行模擬時，提供全部修訂或針對系統進行調整方式，REET2.7 將車輛重量以各系統組合而成（如表 5 所示），使用者可依據狀況，全部重新調整或僅修正部分系統，如車輛更換動力或傳動系統（Transmission system），使用者僅需更動傳動系統重量與材料組成，REET2.7 就會根據新輸入參數調整表 3-2~表 3-5，非常方便。

表 3-5 GREET2.7 車輛週期預設動力與傳動系統組成參數

Component	Conventional	Lightweight	Source (s)
<b>Powertrain</b> ( <b>Cont.</b> ) Exhaust	99.985% steel 0.015% platinum	99.985% steel 0.015% platinum	Cuenca 2005 and our assumptions
Powertrain electrical	59% plastic 41% copper	59% plastic 41% copper	Dismantling reports
Emission control electronics	59% plastic 41% copper	59% plastic 41% copper	Dismantling reports
Weld blanks and fasteners (powertrain to body)	100% steel	100% wrought Al	Dismantling reports and our assumptions
Transmission (ICEV)	30% steel 30% wrought Al 30% cast iron 5% plastic 5% rubber	30% steel 30% wrought Al 30% cast Al 5% plastic 5% rubber	Muir 2005 and our assumptions
Transmission (HEV/FCV)	60.5% steel 20% wrought Al 19% copper 0.3% organic 0.2% plastic	60.5% steel 20% wrought Al 19% copper 0.3% organic 0.2% plastic	Dismantling reports

資料來源：Argonne National Laboratory

在汽車電池系統方面，GREET2.7 系統提供 3 種電池可供選擇，包括鉛酸電池（Lead Acid Battery, Pb\_Ac）、鎳氫電池（nickel metal hydride, NiMH）、鋰電池（Lithium-ion, Li-ion）等 3 種（如表 3-6 所示），必須注意到 GREET2.7 系統提供預設值為一般鋰電池，而非目前最廣為採用之磷酸鐵鋰電池（ $\text{LiFePO}_4$ ）或錳酸鋰電池（ $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ），若以 GREET2.7 模擬時，必須調整其組合成分。

表 3-6 GREET2.7 車輛週期系統預設電池成分

Battery	Pb-Ac	Ni-MH	Li-Ion	Sources
	69% lead	28.2% nickel	24.5% copper	Argonne
	14.1% water	23.7% steel	18.6% wrought Al	National
	7.9% sulfuric acid	22.5% plastic	10.9% plastics	Laboratory et
	6.1% plastic	12% iron	10.6%	al. 1998,
	2.1% fiberglass	6.3% rare earth metals	graphite/carbon	dismantling
	0.8% other	3.9% copper	10.6% cast Al	reports,
		1.8% cobalt	8.7% electrolyte	Nelson 2005,
		1% magnesium	5.3% lithium oxide	and our
		0.5% wrought Al	2.7% cobalt	assumptions
		0.1% rubber	2.6% nickel	
			2.5% manganese	
			2.1% binder	
			0.5% thermal insulation	
			0.3% electronic parts	
			0.2% steel	

資料來源：Argonne National Laboratory

另外在進行車輛生命週期計算時，GREET2.7 系統會根據所設定之車輛行駛里程計算保養油品、輪胎、煞車系統、電池、冷卻系統等之耗能計算，以 GREET2.7 系統預設為例，內燃機車輛每 4,000 英里更換 8.5 磅機油、每 40,000 英里更換 24 磅冷卻液、每 10,000 英里需更換 2 磅之煞車油等，而電動車電池壽命預設值為 100,000 英里（鎳氫電池）、150,000 英里（鋰電池），前述數值會隨著預設車輛行駛里程而影響車輛週期之耗能計算。

## 3.2 MOVES

MOVES（MOTOR Vehicle Emission Simulator）是美國環保署運輸與空氣品質辦公室（EPA's Office of Transportation and Air Quality, OTAQ）自 2001 年前後開始著手發展的新一代汽車污染源排放係數推估模式，美國環保署已於 2009 年 12 月正式宣布 MOVES 模式取代使用多年的 MOBILE 模式，成為美國環境影響評估之法定模式。

未來的3年為過渡期，以加強各級政府工作人員的培訓，預計在2013年後完全淘汰MOBILE模式。由於MOVES模式的法定地位，未來能源與空污排放的所有研究都將在MOVES模式的架構上發展，對於未來研究方向有重大影響（本所，2011）。

以下分別說明MOVES發展緣由、模式特色、內容與運作方式、發展優勢等（本所，2010）與未來發展方向（本所，2011）等。

#### 1. 發展緣由

Mobile6.2 是美國環保署在改換為 MOVES 模式前唯一認可之模式，除了加州外（採用 EMFAC2007，因為加州之排放管制最為嚴格，在分析上需要不同的考量），其他州政府向聯邦政府提出之空氣品質維護計畫（State Implementation Plan, SIP）中的環保與交通一致性分析（EPA submissions & transportation conformity analysis）必須按照 Mobile6.2 之分析程序，才能符合聯邦政府經費補助之條件。因其具有法定地位，美國環保署長期持續地維護並更新該模式，並也被許多國家地區所廣泛應用，包括我國於1992年以當時公開之 Mobile4.1 程式為基礎，參酌引用國內最新可得之數據，加以修改調整成為 Mobile-Taiwan 程式（Mobile-Taiwan1.0, 以下簡稱 MT1），作為移動污染源的總量推估模式。然而根據美國環保署 2001 年的報告（EPA's New Generation Mobile Source Emissions Model: Initial Proposal and Issues）對 Mobile 模式做了詳細評估，基於以下原因，決定以發展新模式來取代 Mobile：

- (1) Mobile 是早年以 Fortran 程式撰寫，維護更新越來越困難。而由於全球暖化議題，各界更為重視排放推估的正確性，故更新需求越來越高，難以為繼。
- (2) Mobile 的排放資料一直是以實驗室資料為基礎，按照法規訂定的行車型態求取車輛能耗與排放率，故從未與實際排放資料進行比較驗證。近年來，由於車載設備與車上電腦之發展，移動式排放檢測系統（Portable Emissions Measurement Systems, PEMS）問市之後，才有與在道路中行駛的車輛實測排放量驗證的機會，而前

期研究顯示，Mobile 對於道路壅塞，走走停停的行車模式，傾向於低估空污排放。

- (3) 資訊時代，數位化資訊爆炸，新一代模式應建構在資料庫管理的基礎上，以充分運用資料庫的強大威力。美國環保署期望建構由資料驅動（data driven）的模式，一方面模式較簡單，易於操作；另一方面，資料庫提供資訊平台，各地檢測單位可輸入最新蒐集的資料，便可充分更新模式，非但可資訊共享、且可及時納入科技發展可能造成的車輛組成與特性的變遷，且不須經常校估與更新，便可正確推估。
- (4) 全球暖化與環保意識使空污與溫室氣體減量已成為本世紀最重要的課題，因此需要一個能在巨觀、中觀與微觀各種尺度與範圍的應用上，都能正確反映交通政策與改善措施對排放量的影響的評估系統。
- (5) Mobile 尚未納入高排放車輛、重型車輛以及其他路外機具排放等，而在污染源方面，近期才將懸浮微粒、有毒物質與溫室氣體納入，但 Mobile 因為程式軟體老舊，於推估方法上多受限於既有架構與方法，難以突破。
- (6) 由於 Mobile 是早期開發軟體，不論是在使用者界面或是與其他軟體（如運輸需求預測軟體）的整合上，都十分困難。

基於這份報告，美國環保署遂邀請 3 家大學與顧問公司完成 3 個獨立研究計畫，以規劃設計未來新一代模式架構，而北卡羅來那州立大學所建議的方式（VSP Mode Approach），後來為環保署略加修正後（VSP Bin Approach）接受，成為即將推出的 MOVES 模式基本架構。

## 2. MOVES 模式特色

綜合來說，MOVES 有下面 3 點特色：

- (1) MOVES 是一個資料庫管理模式

傳統模式多以數學公式建立應變數與變數關係，與 MOVES 所採取的資料庫管理模式架構十分不同，茲將兩者差異性比較如表 3-7。

表 3-7 數學分析模式與資料庫管理模式之比較

	傳統數學分析模式 (Parametric Equations)	資料庫管理模式 (Bin Approach)
基本原理與 模式建立基 礎研究	迴歸分析或其他數學理論 建立應變數與變數之間關 連性，模式推估正確性有 賴數學公式參數校估與驗 證	蒙地卡羅模式，好的分類 系統是正確推估的基石。
所需資料	較少，資料不足處以數學 公式推估之。	多，資料多寡決定估算的 準確性，無法外插。
運算	公式運算複雜性隨系統複 雜度增加。	由各類別格 (bin) 內資料 的平均值、變異數與統計 分配代表此類別特性，一 般不再建立數學公式，但 若資料不完全充裕，也可 依需要建立簡單公式，運 算較簡單
更新需求	變數特性改變便需要重新 校估	資料填入適當的類別格便 會自動更新
解讀	趨勢較明顯	趨勢較無法判讀

資料來源：交通部運輸研究所，「能源消耗、污染排放推估模式與永續運輸模式之整合應用」，2010 年。

作為一個資料庫管理模式，MOVES 模式並沒有繁瑣的數學公式，其數學運算以統計中所需的平均值、變異數為主。在資料庫模式建構中最重要的課題，便是在蒐集到的大量資料中，如何找到與排放最相關的變數，將資料妥善分類，使得每一類別格 (bin) 內的資料相當均質，資料越均質，便越可用平均值來代表該分類的平均排放。此外，還可用其統計分配與變異數來可說明該格內資料所存在的敏感度與不確定性。由於這類模式僅需將新

資料納入資料庫便可達到更新的目的，很適用於能源排放模式，因為車輛技術快速發展，需要藉由頻繁的更新方能反映現實。

## (2) MOVES 引入功率密度作為在交通運轉方面主要分類變數

MOVES 的資料庫分類，除了一般以車輛種類等因子加以分類計算排放率外，特別將交通運轉相關變數納入考量，而功率密度就是經過統計分析後選出最具關連性的因子。

所謂功率密度 (Vehicle Specific Power, VSP)，是指車輛單位重量的功率輸出。研究顯示，車輛排放之污染氣體或 CO<sub>2</sub> 與能耗有關，而能耗與車輛在道路上行駛所需克服的摩擦阻力、空氣阻力、坡度、加減速率等密切關連，因此車輛功率密度便成為代表各級車輛能耗與排放的共同複合性指標。在美國福特汽車公司 Dr. Edward Nam 為美國環保署所作的研究報告中 (Proof of Concept Investigation for the Physical Emission Rate Estimator (PERE) to be Used in MOVES, EPA420-R-03-005, February 2003) 有詳細的闡述。此外，北卡羅來那州立大學的研究報告 (Methodology For Developing Modal Emission Rates For EPA's Multi-Scale Motor Vehicle & Equipment Emission System, EPA420-R-02-027, August 31, 2002) 對於 VSP 與能耗排放率的關連性有詳細的說明，也建立了 MOVES 模式的理論基礎。

北卡研究團隊採用階層樹狀迴歸 (Hierarchical Tree-Based Regression, HTBR) 分析方法來決定在所有交通運轉因子中與排放量最相關的變數，作為分類變數與類別區間選定的基礎。階層樹狀迴歸是一個統計上的分類方法，在眾多考慮的變數中，利用窮舉法逐步測試每一變數各種分類方式所能減少的差異統計量 (deviance)，而最適於用來作分類的變數與分隔區間是能將差異統計量減少最多者。分類完成後每一類別與其他類別具有顯著不同的平均值。

該研究考慮用來分類的變數除車輛種類 (如輕型小車或重型大車) 是分類大項外，每一種車種中並將里程、年份、引擎排氣

量、重量、車輛技術、速度、加速度與功率密度等納入 HTBR 分析作為候選變數，而不論是哪一種氣體的排放，VSP 都被階層樹狀迴歸選為最相關的分類變數。

(3) MOVES 可適用於巨觀、中觀與微觀評估，故更能支援交通改善減量措施的評估

長久以來，Mobile 為人詬病的，便是過於粗略，無法正確評估細部交通改善計畫的減量效益，有時對經驗上可知可減量的措施，反而估算出較改善前更高的排放量。MOVES 既然將道路實測資料納入模式發展之中，且經過實測資料驗證，便應可支援各種尺度的評估。

### 3. 模式內容與運作

#### (1) 排放率

MOVES 排放率的計算受到下列 3 種因素的影響：

##### ① 排放源（車輛）

- A. 車輛類型：細分為 13 種類型，較過去不同的是將貨車、大客車予以細分。
- B. 車輛原始排放特性：影響因子包括車型年份（model year，能耗/各排放物的分類方式不同）、燃料技術、車輛引擎技術、車重、汽缸容量，以及車輛監理列管等類別。
- C. 在上項有關車輛引擎技術與燃料技術組合部分，特別納入近期發展的新技術，例如引擎技術納入燃料電池車；燃料部分納入電動車、氫氣車、液化氫氣車等。

##### ② 車齡

車輛排放劣化特性。考慮車輛排放率同時受車型年份（model year）和車齡（age）的影響，且不同車齡的使用強度不同。因此，MOVES 採用車齡推估劣化率，區分為 7 組：3 年以下、4~5 年、6~7 年、8~9 年、10~14 年、15~19 年、



20 年及以上。車齡對能耗或 CO<sub>2</sub> 影響較小，但老舊車輛在其他污染性氣體影響較大。

### ③ 行駛型態

行駛狀態由不同的車速和 VSP，界定出 23 組行駛狀態（Operating Mode Bins, opModes，參見圖 3-12，除行駛狀態外亦包括停等、煞車減速之狀態）。有別於以往僅考慮車速，opModes 分類考慮 VSP 的原因是可反映出在同一車速下，因加速、道路坡度和路面阻抗等因素影響車輛消耗能量的差異。導入 opModes 概念可視為 MOVES 有別於其他模式的最主要特色，藉以突破了 Mobile6 只能推估特殊行車型態排放狀況的限制。無論是哪種尺度的評估，都能夠很便利的運用 opModes 組成任何想要評估的行車型態，求出所關切的排放率。任何行車型態（法規測試行車型態或實際道路駕駛型態）均可表達為這些 opModes 的組合。同時，opModes 也讓 MOVES 得以直接運用逐秒資料來作估算，所提供的排放率係以時間為分析單位（污染排放量 g/行駛時間小時）。

		Speed Class (mph)			
		1-25	25-50	50 +	
VSP Class (kW/tonne)	30 +	16	30	40	PLUS One mode each for idle (Bin 0), and deceleration/braking (Bin 1)
	27-30				
	24-27		29	39	
	21-24		28	38	
	18-21				
	15-18			37	Gives a total of 23 opModes
	12-15		27		
	9-12	15	25		
	6-9	14	24	35	
	3-6	13	23		
	0-3	12	22	33	
	< 0	11	21		

註：25mph=40kph; 50mph=80kph。

資料來源：Byun, John (Joonho), 2007.

圖 3-12 MOVES 之行駛狀態分組

## (2) 資料庫

依照程序性，分為輸入、執行與輸出，整體資料庫的關聯性如圖 3-13。

### ① 輸入

輸入資料庫有 3 項，說明如下。

#### A. 能耗/排放資料 (Energy & Emission Data)

經過分類處理的能耗排放率資料，其資料來源包含實驗室中檢測各種新舊車輛的排放資料，於道路行駛中的實測能耗與排放資料、老舊車輛定期檢驗的 I/M 資料等；

#### B. 車隊及活動量資料 (Fleet & Activities Data)

在車隊及活動部份的資料，基本上是基於聯邦政府公路管理署所維護的公路交通績效監管系統 (Highway Performance Monitoring System)，該系統可分為以下 4 部分：

- a. 汽燃稅與公路信託基金收益資訊，聯邦政府與州政府均隨油徵收汽燃稅，故對車輛汽油、柴油使用情況有充分掌握公路建設預算撥款支用相關資料；
- b. 全國家戶旅行調查 (National Household Travel Survey, NHTS，以前稱之為 National Personal Transportation Survey)，聯邦政府每隔 5-7 年便做一次全國性調查，蒐集家戶車輛持有、車輛使用、旅次目的、長度、運具、是否共乘以及其他旅次特性等相關旅行調查；
- c. 道路交通資訊，含各級道路基本特性與交通特性，包括地形、設計速度、車道數、號誌化情況、歷年交通量、交通組成、時間分布、路段容量，以及貨車載重等等。
- d. HPMS 提供有關機動車輛使用汽柴油總量，以及民眾使用車輛頻率里程，以及道路交通使用情況，是 MOVES 最重要的資料庫之一。

#### C. 氣候與油品資料 (Met & Fuel Data)

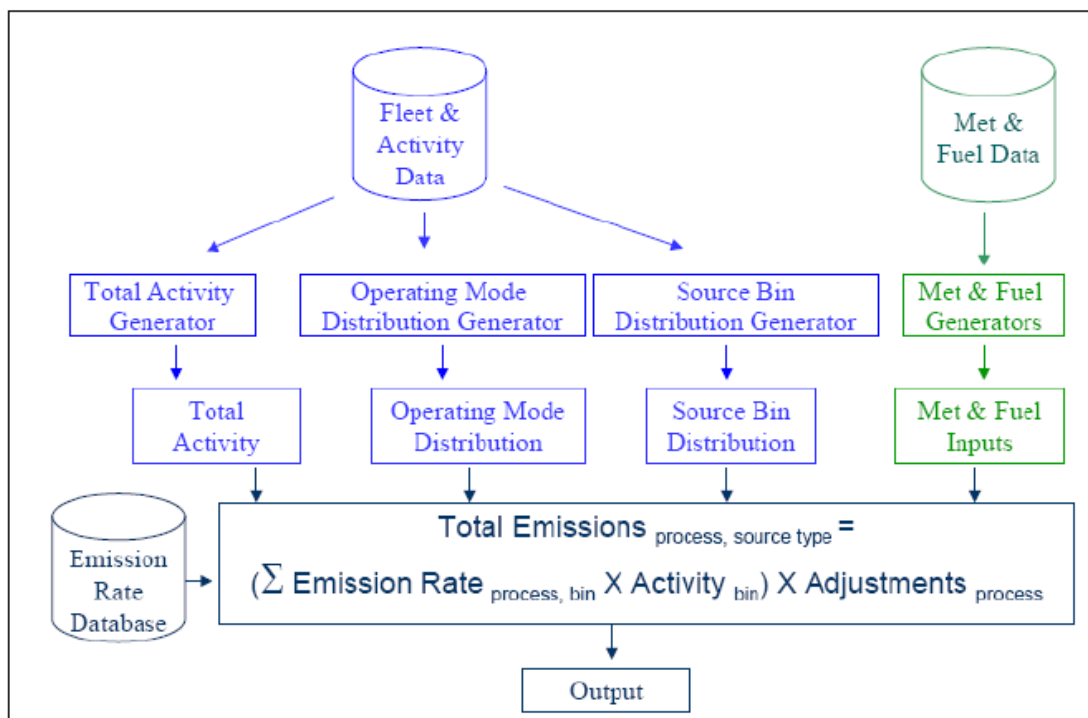
在氣候方面，各地區的溫度與溼度資訊均對能耗與排放帶來影響，而油品部份，含影響排放係數之油品參數 RVP 及含氧率、含鉛量，以及含硫量等。

## ② 執行

係 MOVES 運算過程中自行產生，註記使用者輸入資料與原始資料的差異、運算結果與資訊、暫時儲存中間產出等。

## ③ 輸出

可由使用者定義（如運用 MySQL 指令彙整執行資料庫數據），儲存結果和相關文件。



資料來源：Byun, John (Joonho), 2007

圖 3-13 MOVES 輸入資料庫之關聯示意

## 4. 模式應用優勢

### (1) 善用車輛資料庫

MOVES 的使用中車輛資料庫，提供許多優化的分析，例如：

- ① 透過 Arizona 驗車制度 (I/M Program)，蒐集 1990 年末到 2000 年初總計 7 萬輛車之資料，掌握近期新技術車輛之排放情形；
- ② Kansas 市 500 輛汽油客貨車，了解汽油車的 PM 排放情形；

- ③ 400 輛使用中柴油重車，了解長期怠速下之排放情形；
- ④ MOVES 以龐大的使用中車輛資料庫為基礎，更有助於主管機關了解策略執行之有效性。

## (2) 關聯資料庫架構

使用 MySQL 關聯資料庫系統架構，提供一個相當便利的優點：使得資料庫易於更新維護，隨時能夠取得最新的分析參數。MySQL 及 MOVES 所提供的介面，可以讓使用者便利地即時、局部更新資料庫內容，並據以計算更新後的推估參數（如排放率）；而無須受限於大規模、批次性的資料更新作業。因此，分析特定小範圍個案時，使用者可視分析需要輸入特定的相關資料，即可進行精細的分析。

## (3) 多重尺度推估

MOVES 除了具備全國範圍之污染量推估與長期預測能力之外，為了因應更精細範圍之地區性污染排放推估的需求，模式中也納入區域性污染量推估分析模式，並用以評估小範圍中交通運輸系統改善所造成的影響程度。以巨觀、中觀、微觀為例：

- ① 巨觀的分析範圍主要以全國為單位，MOVES 能夠推估與預測長期的污染排放量變化趨勢；
- ② 中觀的分析範圍以路段（roadway link）或運輸需求模式輸出之車旅次為單位，以評估地區性的污染排放影響；
- ③ 微觀的分析範圍，則適用於分析與評估交控或各類改善計畫對於特定廊道或交叉路口之影響。

為達到上述目的，MOVES 提供全美 50 州（外加華盛頓特區、波多黎各和維京群島）、3,222 區（1999 年行政區劃範圍）的資料。在時間軸上，則包括 1990、1999～2050 各年數據；其中將再可分為逐月、週末或平常日、24 小時。

## 5. MOVES 模式未來發展方向

MOVES 模式基於車載量測系統所產出的瞬間動態性資料，以建構能耗、排放與 VSP 的關聯性，係以微觀的角度切入。然而，

MOVES 的發展目標，除了要評估交通改善計畫的能耗與空污排放量外，也要支援區域性與全國運輸政策評估的角色，因此，運輸研究委員會（Transportation Research Board）對於未來的發展方向含下列層面：

- (1) 與微觀、中觀與巨觀交通模式整合：MOVES 與微觀交通模擬逐秒推算架構接近，故最容易整合，而應如何由詳細的交通與排放資料，整合出較巨觀又能反映實際狀況的總體性資訊，應是當前最具挑戰的任務。
- (2) 持續建立或補齊小汽車之外的能耗與排放資料庫，含道路上各種重型車輛、使用替代能源的低碳車輛，以及路外的農業與施工機具等。
- (3) 各級地方政府應如何將能耗與排放等環境指標納入規劃程序？如何界定各種改善計畫的成本有效性？
- (4) 在顆粒狀浮懸物（PM）方面，由於原來 MOBILE 就無預測能力，故在 MOVES 應用方面無法沿用原有資料，故將是未來補強之重點。
- (5) 資料庫管理與資料共享等。

### 3.3 小結

本章所介紹之車輛能源消耗與溫室氣體排放評估工具 GREET 及 MOVES 均由美國所發展，目前許多國家均用以進行相關分析研究，為目前最廣為使用的分析評估工具。GREET 模式可針對整個車輛與燃料生命週期之能源消耗與污染排放進行分析，而 MOVES 則是用於推估使用階段之污染源排放，考量本研究係以生命週期觀點進行探討，爰將以 GREET 進行後續相關分析。



## 第四章 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估

### 4.1 我國私人小客車生命週期盤查

#### 4.1.1 評估工具選擇

我國現今運具的能源消耗及溫室氣體排放估算上，主要著重在運具使用階段的分析，然而若從運具製造到廢棄回收的整體生命週期觀點來看，使用階段僅占其中一小部分。為通盤了解我國私人小汽車整個生命週期各階段的能耗與溫室氣體排放，除利用盤查方式進行生命週期評估外，亦可利用生命週期評估模式作為我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放的評估工具。

在前一章所介紹的車輛能源消耗與溫室氣體排放之評估工具——GREET 及 MOVES 模式，其中 MOVES 用於推估使用階段之污染源排放，而 GREET 模式可針對整個車輛與燃料生命週期之能源消耗與污染排放進行分析。在 GREET 模式中，已針對各種能源使用車輛建立了完整的生命週期評估，其中也包含了本研究的研究對象—汽油車與柴油車。GREET 模式除了對車輛的生命週期進行分析外，也同時針對燃料的生命週期進行分析，即 Well-to-pump 階段，使得整體生命週期的評估架構較為完整。另外，由於本模式為公開使用版本，且有完善的說明指南，因此對於模式相關參數均有詳細說明，操作上也較為方便。綜上所述，本研究以 GREET 模式作為本研究分析私人小客車生命週期能耗與二氧化碳排放的評估工具。

由於國內汽油小客車與柴油小客車的車型性能明顯不同，在進行生命週期評估時，若僅以平均值進行評估，則不但在資料蒐集及取捨上有所困難，且得到的評估結果也比較不易反映於各車種中；爰此，本研究將以同廠牌及類似規格的汽油小客車與柴油小客車進行分析

比較。

#### 4.1.2 本土化參數與資料蒐集

本研究利用 GREET 模式分析我國私人汽油小客車及私人柴油小客車的生命週期能耗與溫室氣體排放，其中，車輛週期係透過 GREET2.7 模式分析，燃料週期則透過 GREET1.8c 模式分析。

在學術及相關機構中所使用的評估工具，一般係採用電腦模擬分析不同能源使用的車輛，透過不同車輛規格、性能及行車型態的調整，在模擬中計算出不同能源使用車輛的能耗及溫室氣體排放。GREET 模式是美國 Argonne 國家實驗室根據所蒐集到的美國地區相關燃料提煉及各式汽車及電動車的資料建立而成，主要分析美國各式的車種，然而我國在車輛組成過程、車輛使用及油料生產提煉過程與美國有所差異，因此在 GREET 模式中部分參數需要進行本土化的修正，以符合現今國內使用的特性。

##### 1. GREET 2.7 模式分析方面：

在車輛週期模式方面，由於我國政府法令規定及汽車使用者對於汽車使用的習慣不同，因此在模式中部分與汽車使用行為相關的參數需要進行本土化調整，調整的項目包括車輛總行駛里程、車輛使用的流體更換次數、車輛使用的流體產生廢液的比例、車輛使用的流體重、輪胎及車用電池的更換次數等；至於有關車輛原件的組成占比，車輛原料生產過程中所產生的能耗與溫室氣體排放參數，以及車輛組裝、廢棄與回收所產生的能耗與溫室氣體排放參數則假設與預設值設定相同，不進行修正。相關參數本土化調整說明如下：

- (1) 以一般國內使用車輛生命週期總行駛里程可達 200,000 公里。



表 4-1 小客車總行駛里程

小客車	總行駛里程（公里）
設定值	257,495
本土化調整	200,000

(2) 若以一般國內使用車輛生命週期總行駛里程可達 200,000 公里，且每年可行駛 1.4 萬公里計算，小客車平均使用年限約 15 年，則車輛在此使用年限內所用到相關流體的替換次數，參酌原廠保養手冊建議，本土化修正說明如后：

- ① 引擎機油（Engine Oil）部分，平均每行駛 5,000 公里更換 1 次，共約需更換 40 次。
- ② 動力方向機油（Power Steering Fluid）部分，平均每行駛 100,000 公里更換 1 次，共約需更換 2 次。
- ③ 煞車油（Brake Fluid）部分，平均每 2 年更換 1 次，共約需更換 7.5 次。
- ④ 自動變速箱油（Transmission Fluid）部分，平均每行駛 100,000 公里換 1 次，共約需更換 2 次。
- ⑤ 動力系統冷卻液（Powertrain Coolant）部分，平均每行駛 50,000 公里換一次，共約需更換 4 次。
- ⑥ 擋風玻璃水（Windshield Fluid）部分，平均每行駛 10,000 公里更換 1 次，共約需更換 20 次。
- ⑦ 接著劑（Adhesives）使用部分，因接著劑主要用於車輛製程，使用過程中並不會用到，故設定為 0 次。

表 4-2 流體的替換次數

	引擎機油	動力方向機油	煞車油	自動變速箱油	動力系統冷卻液	擋風玻璃水	接著劑
設定值	40	0	3	1	3	20	0
本土化調整	40	2	7.5	2	4	20	0

- (3) 有關各種流體廢液更換比例部分，由於引擎機油因在更換時會洩漏掉大部分的廢液，參酌原廠保養手冊及國內維修保養經驗，假定殘留量為 10%，即總更換引擎機油廢液量比為 90%；其他如動力方向機油、煞車油、動力系統冷卻液及接著劑，一般更換廢液比約為 66.7%（約占 2/3），至於自動變速箱油更換廢液比則假設約為 60%。

表 4-3 流體更換廢液占比

	引擎機油	動力方向機油	煞車油	自動變速箱油	動力系統冷卻液	擋風玻璃水	接著劑
設定值	66.7%	66.7%	66.7%	66.7%	66.7%	0.0%	66.7%
本土化調整	90.0%	66.7%	66.7%	60.0%	66.7%	0.0%	66.7%

- (4) 有關各種流體在汽車中所占的重量部分，引擎機油、煞車油、動力系統冷卻液、擋風玻璃水及接著劑係以模式中原設定值為準，至於動力方向機油，一次以換 1 磅為預估；自動變速箱油約為 16 磅。

表 4-4 流體在汽車中所占的重量

單位：磅

	引擎機油	動力方向機油	煞車油	自動變速箱油	動力系統冷卻液	擋風玻璃水	接著劑
設定值	8.5	0.0	2.0	24.0	23.0	6.0	30.0
本土化調整	8.5	1.0	2.0	16.0	23.0	6.0	30.0

- (5) 有關車輛生命週期中輪胎及鉛蓄電池更換次數部分，若以每行駛 5 萬公里更換 1 次，試算車輛輪胎及鉛蓄電池更換次數皆為 4 次。

## 2. GREET 1.8 模式參數方面：

GREET1.8 係針對燃料週期，從 Well-to-pump 至 Pump-to-Wheels 及 Well-to-Wheels 進行整體性之研究評估，亦即指原料從礦場開採一直到車輛消耗燃燒過程的能耗與溫室氣體排放評估。本模式包含 feedstock 階段（包括化石原料開採、原油運輸、儲存）、fuel 階段（包括原油進口之後，油料製造提煉過程），

油料運輸、儲存、配送至加油站階段，及車輛使用階段的能耗與溫室氣體排放等過程。本研究僅針對「國內原油運輸途徑」、「車輛使用過程的溫室氣體排放量與油耗量」、「油輪之噸位」及「各種油料的熱值」進行本土化的修正；至於油料的「開採」、「製造」及「提煉」過程中之能耗及溫室氣體排放等相關參數部分，受限於時間與經費，國內資料取得較為困難，但因國內外油料提煉過程及相關技術差異不大，因此假設本土化數值與模式預設值相同。

#### (1) 油料運送途徑：

在國內油料運輸途徑本土化修正上，由於國內主要有中油及台塑等兩家石油公司，其中中油在市場占有率較台塑高，約為70%，因此本研究以中油運送途徑為主要分析項目，另假設汽油與柴油的運輸途徑相同。

REET1.8 的「油料運輸途徑」預設值如圖 4-1 至圖 4-3 所示，其主要可分為兩個階段，為原油開採到煉油廠的途徑，第二階段為煉油廠到加油站途徑。

##### ① 原油開採至煉油廠途徑階段：

模式預設值：

原油開採主要分為美國國內開採及國外開採等 2 種方式。在美國國內開採地點可分為在阿拉斯加州及美國 48 州兩類，其中阿拉斯加開採的原油主要透過遠洋油輪直接運送到美國的煉油廠，而美國 48 州開採的原油，則可直接透過駁船、油管或油罐火車運送到各地煉油廠。至於國外進口原油則是先運送到美國後，再透過駁船、油管或油罐火車運送到煉油廠進行提煉。

國內本土化：

國內的自產原油量甚少，幾乎全數仰賴進口。以中油為例，2010 年進口原油總量達 15,845 萬桶，其中中東原油約占七成，非洲原油約占三成，其餘小部分來自於東南亞、澳洲及中亞等其他地區。進口油料均利用遠洋油輪運送，當油料運送至臺灣後，可透過外海的卸油浮筒或是油輪專用碼頭進行油輪卸油動

作。當油輪完成卸油後，原油需要運送到油庫儲存或送到煉油廠進行提煉，運送方式主要是以油管運輸為主。

因此在本土化方面，國內的原油來源，從國外進口比例上設定為 100%，國內原油生產比例為 0。而在原油進口的國家中，以中東國家及非洲為主，其中又以中東國家進口比例最多，大約占 70%，而該國家與臺灣的距離約 10,000 公里；非洲國家的進口量大約占 30%，距離臺灣大約 7,900 公里，依比例加總，平均遠洋油輪行駛距離約 9,370 公里。

當原油運送到臺灣端之後，便要進行卸油並運送到港口油庫儲存或送到煉油廠進行提煉。以中油為例，在桃園煉油廠、大林煉油廠及高雄煉油廠等 3 座煉油廠之外海均設有外海卸油浮筒，卸油後的原油可直接透過油管運送到煉油廠進行提煉，其中大林煉油廠與高雄煉油廠靠近海邊，因此假設管線運送距離為 0 公里。位在桃園縣龜山鄉的桃園煉油廠，其原油的來源主要是遠洋油輪運送之原油運送到桃園沙崙外海及深澳港卸油後，透過油管運送到桃園煉油廠進行提煉，其中沙崙到桃園煉油廠距離約為 12 公里，深澳至桃園煉油廠距離約為 60 公里，其油管運輸總距離約為 72 公里。這部份為了使模式簡單化，因此假設由論卸油後，透過油管運送到 3 座煉油廠的平均管線運送距離，平均約為 24 公里。

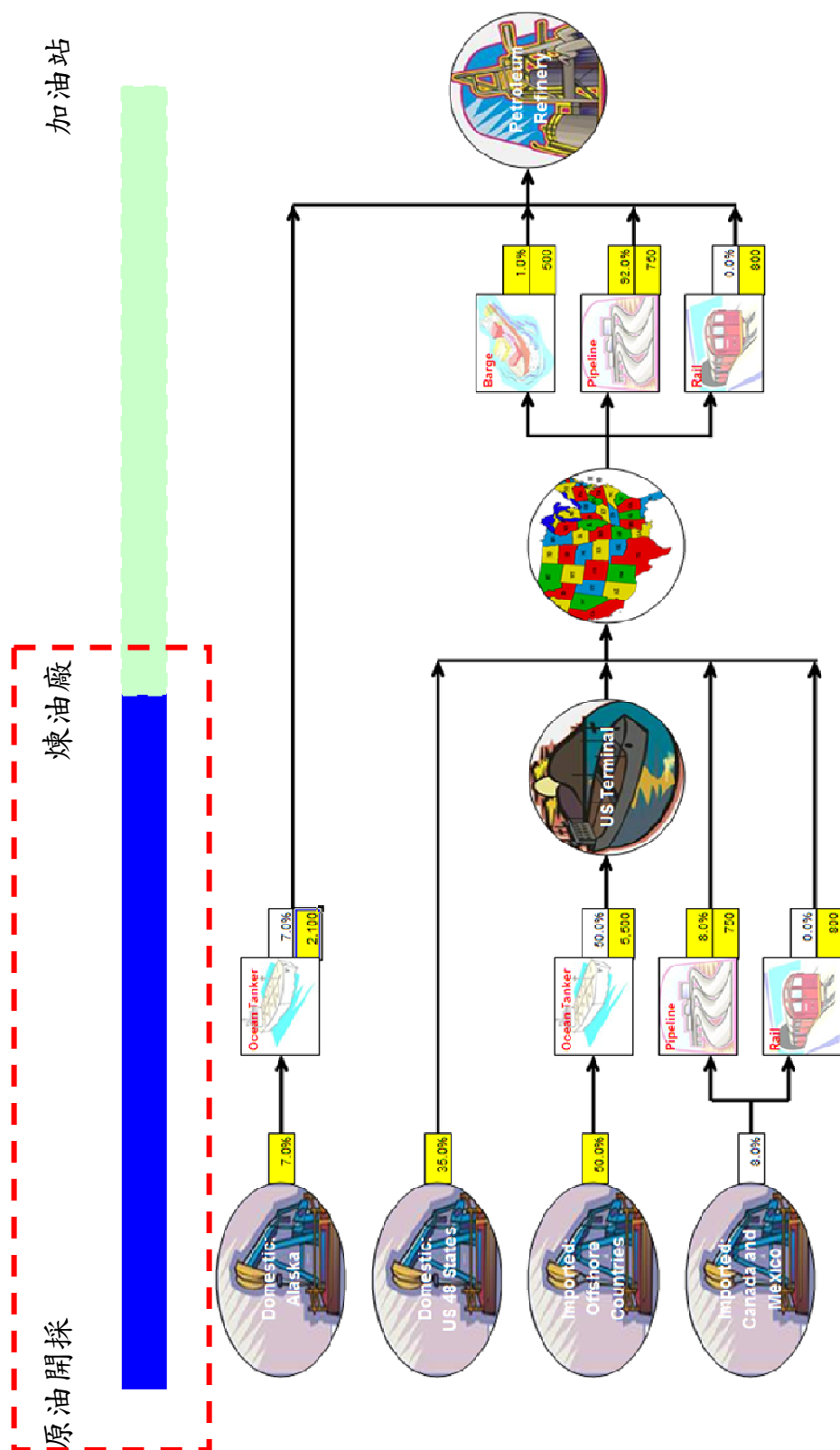


圖 4-1 美國原油開採到煉油廠的運輸途徑

資料來源：GREET1.8c 模式

原油開採

煉油廠

加油站

4. U.S. Conventional Gasoline

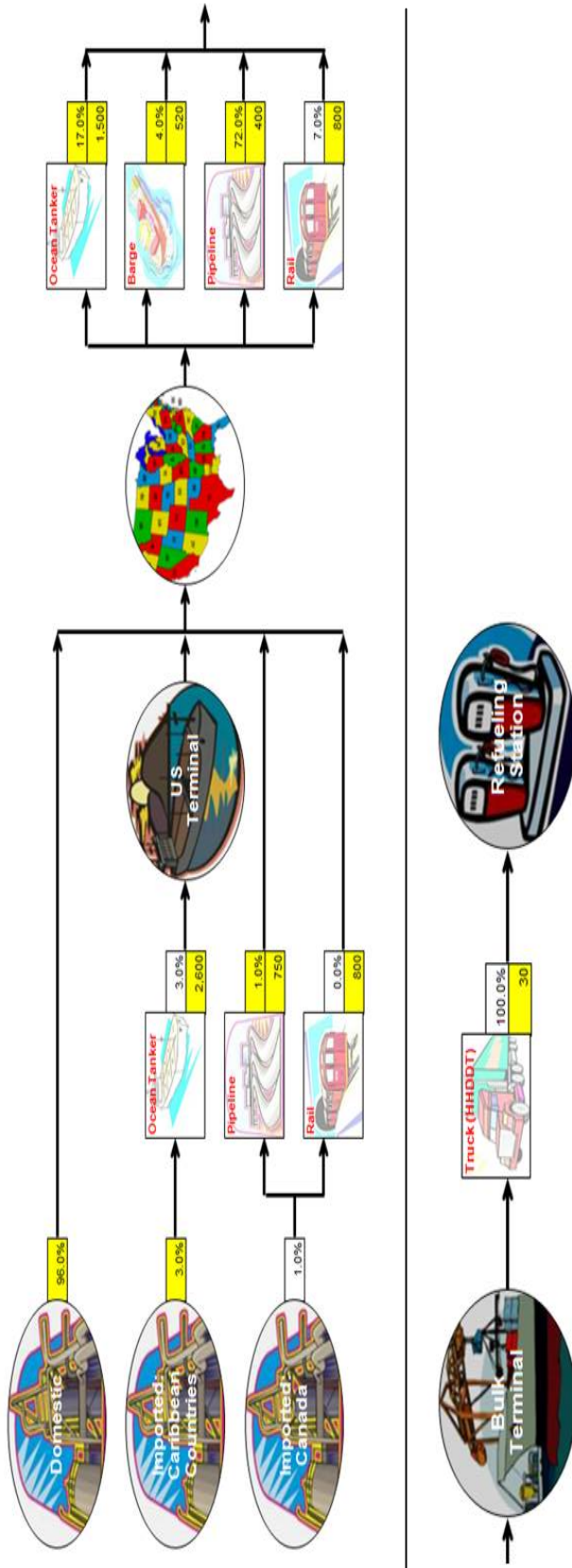


圖 4-2 美國傳統汽油的運輸途徑

資料來源：GREET1.8c 模式

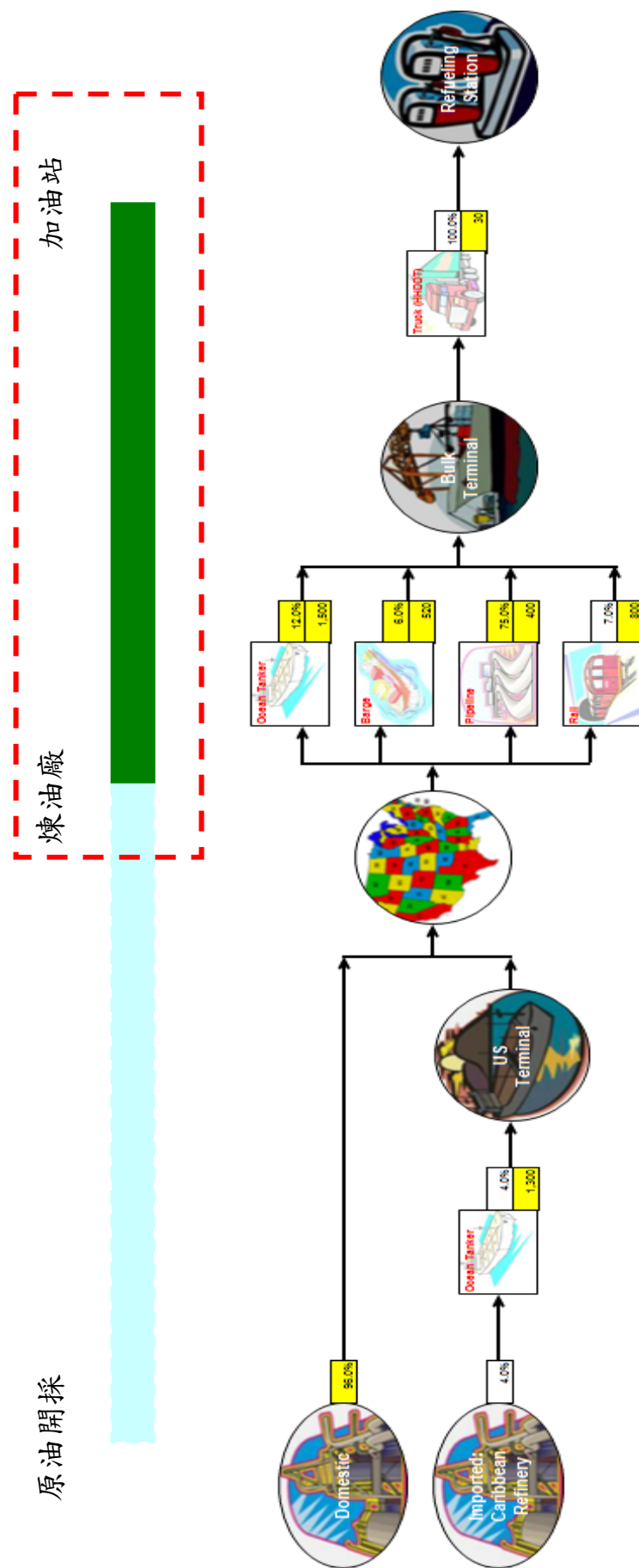


圖 4-3 美國柴油的運輸途徑

資料來源：GREET1.8c 模式

## ② 煉油廠到加油站途徑階段：

模式預設值：

首先分析提煉好之油品在國內生產或從國外進口的比例、運送方式(如油輪、油管、鐵路等)及運送距離。當汽油送到美國端後，可藉由油輪、駁船、油管或鐵路等方式運送到儲油廠進行儲存，在預設值方面，透過遠洋油輪占 17%，行駛距離 1,500 哩，駁船占 4%，行駛距離 520 哩，管線占 72%，管線長度 400 哩，鐵路占 7%，行駛距離 800 哩。在儲油廠儲存的汽油主要是透過油罐車運送到加油站，行駛的距離約 30 哩。送到加油站的汽油便可提供汽油給車輛使用。在柴油部分，除了國外進口國家的 4%皆來自加勒比海國家，並以遠洋油輪運送外，其他方式均與傳統汽油運送方式相同。

國內本土化：

提煉好之油品可透過油管、近海油輪及鐵路等方式運送到油庫(供油中心)儲存，截至 2010 年底止，中油在基隆、石門、八堵、五股、新竹、臺中、臺中港、王田、民雄、臺南、豐德、橋頭、蘇澳、花蓮、北埔、湖西及金門等 17 處設有供油(行銷)中心(圖 4-4)，負責供應全國各地加油站。之後透過灌裝發油，由油罐車運送到全省的加油站提供車輛使用。

因此在本土化方面，提煉好之油料透過各種方式運送到 17 座供油中心（油庫）儲存，其中西部地區主要以油管與環島油輪方式運送，在東部地區的油庫係透過環島油輪或鐵路等方式運送，而離島則透過油輪運送。為求模式推估單純化，本研究以臺灣本島為主要分析重點，其中假設西部地區以油管運送為主，而東部則是以近海油輪運送為主。

在西半部部分，桃園煉油廠煉好之油品主要提供於北部地區使用，其可透過油管運送到北部各供油中心（油庫）儲存、銷售及配送到各加油站。北部的供油中心位於基隆、石門、八堵、五股及新竹等 5 處，平均油管運送距離約為 46 公里。



至於高雄煉油廠及大林煉油廠提煉好之油料主要提供中南部使用，其透過油管運送至位於臺中、臺中港、王田、民雄、臺南、豐德、橋頭等 7 處供油中心，平均運送距離約為 100 公里。經加權平均後，西半部地區平均煉油廠透過油管運送油品到供油中心(油庫)之距離約為 82 公里。

在油料運送到東部的比例部分，假設與每年各縣市汽車加油站汽、柴油銷售量比例相同，若以 99 年統計結果進行統計，汽、柴油在宜蘭、花蓮及臺東等三縣的銷售量約占全國銷售量的 5%。在運送距離方面，假設大林煉油廠及高雄煉油廠提煉好之油料主要運送到花蓮的油庫，桃園煉油廠提煉好之油料主要運送到宜蘭的油庫，在運送距離上，假設大林煉油廠及高雄煉油廠運送到花蓮油庫的距離約為 580 公里，桃園煉油廠運送到宜蘭油庫的距離約為 200 公里，依加權平均約為 454 公里。

在油庫儲存的汽、柴油主要透過油罐車運送到全國各地的加油站。在中油銷售上，主要可分為 7 區，分別為基隆地區（包含基隆及部分北部地區）、臺北地區（包括臺北市與新北市）、桃竹苗地區、中部地區（包括臺中、南投及彰化）、雲嘉南地區、高屏地區及東部地區（包括宜蘭、花蓮及臺東），假設其個別運送距離為該區域的半徑距離，各區之預測距離如表 4-5 所示，則我國平均運送距離約為 60 公里。



圖 4-4 中油公司煉油廠與供油中心分佈

表 4-5 中油油罐車在我國各地區運送之距離

	平均運送距離（公里）
基隆地區	10
臺北地區	50
桃竹苗地區	75
臺中地區	35
雲嘉南地區	50
高屏地區	60
東部地區	130

因此在我國汽、柴油在運送途徑方面，其修正項目，詳如表 4-6 所示。

表 4-6 傳統汽（柴）油的運輸途徑之本土化修正列表

作業項目	進口	儲存		配送
運輸途徑	國外至臺灣端	煉油廠至供油中心（油庫）		供油中心（油庫）至加油站
方式	遠洋油輪	油管（西部）	油輪（東部）	油罐車
比例	100%	95%	5%	100%
距離	9,370 公里	82 公里	454 公里	60 公里

(2) 我國油輪噸位：

中油在遠洋油輪部分，已建立相當具規模的自有油輪船隊，包括 26 萬噸級油輪 1 艘、15 萬噸級 3 艘、10 萬噸級油輪 1 艘、4 萬噸級油輪 2 艘，平均約為 12.7 萬噸級。在環臺油輪部分，假設以 2010 年中油與臺船購買的 2 艘 4 萬噸級油輪為主，則平均噸位約為 4 萬噸級。

(3) 油料的熱值：

熱值是指 1 單位數量的油料完全燃燒時產生的熱量，由於我國與美國對油料的燃燒效率並不同，因此在熱值上也需進行調整。根據能源局公布的結果，我國汽油、柴油的熱值分別為 7,800 kcal/l、8,400kcal/l。

(4) 國內汽、柴油小客車相關參數資料蒐集：

由於車輛的種類眾多，不同車種間的規格及性能也差異極大，因此不宜將不同車種間的資料平均值做為模式分析評估國內汽、柴油私人小客車的生命週期差異，否則所得到的分析結果亦不能反映實際汽、柴油車的差異。

因此，本研究從國產或是進口車中，挑選同樣品牌、相近的排氣量、類似引擎性能...等規格類似的汽油小客車與柴油小客車做為分析對象。本研究中挑選了 1 組進口車—VOLKSWAGEN GOLF 之 GOLF 2.0 TSI WITH HATCHBACK（汽油車）與 GOLF PLUS 2.0 TDI WITH HATCHBACK（柴油車），2 組的福特六和國產車，分別為 MENDENOTURBO CD345-8T（汽油車）與 MENDENOTURBO TDCI CD345-4T（柴油車），以及 FOCUS C307-6N（汽油車）與 FOCUS TDCI TURBO C307-9N（柴油車），共計 3 組以 GREET 模式進行分析。其相關規格資料詳表 4-7 至表 4-9。

表 4-7 VOLKSWAGEN GOLF 汽油車與柴油車規格及能耗分析資料

VOLKSWAGEN 進口		VOLKSWAGEN GOLF 2.0 TSI WITH HATCHBACK	VOLKSWAGEN GOLF PLUS 2.0 TDI WITH HATCHBACK
排氣量		1,984 c.c.	1,968 c.c.
排檔型式		自動排檔 6 檔 (A6)	自動排檔 6 檔 (A6)
參考車重		1,514 (kg)	1,605 (kg)
油耗資訊	耗能標準	9.9 (km/L)	9.9 (km/L)
	測試值	13.1 (km/L)	16.9 (km/L)
	市區油耗	10.00 (km/L)	14.08 (km/L)
	高速（非市區）油耗	16.95 (km/L)	20.41 (km/L)
車型相關資訊		前輪驅動 (F)	前輪驅動 (F)
		渦輪或機械增壓	渦輪或機械增壓
		無鉛汽油	柴油

資料來源：車輛耗能研究網站 (<http://auto.itri.org.tw/>)

表 4-8 福特六和 MONDEO 汽油車與柴油車規格及能耗分析資料

福特六和		MONDEO TURBO CD345-8T (NEDC)	MONDEO TDCI TURBO CD345-4T (NEDC)
排氣量		1,999 c.c.	1,997 c.c.
排檔型式		自動排檔 6 檔 (A6)	自動排檔 6 檔 (A6)
參考車重		1,709 (kg)	1,720 (kg)
油耗資訊	耗能標準	9.9 (km/L)	9.9 (km/L)
	測試值	11.8 (km/L)	16.0 (km/L)
	市區油耗	8.89 (km/L)	13.27 (km/L)
	高速 (非市區) 油耗	15.35 (km/L)	19.25 (km/L)
車型相關資訊		前輪驅動 (F)	前輪驅動 (F)
		渦輪或機械增壓	渦輪或機械增壓
		無鉛汽油	柴油

資料來源：車輛耗能研究網站 (<http://auto.itri.org.tw/>)

表 4-9 福特六和 FOCUS 汽油車與柴油車規格及能耗分析資料

福特六和		FOCUS C307-6N (NEDC)	FOCUS TDCI TURBO C307-9N (NEDC)
排氣量		1,999 c.c.	1,997 c.c.
排檔型式		自動排檔 4 檔 (A4)	自動排檔 6 檔 (A6)
參考車重		1,439 (kg)	1,526 (kg)
油耗資訊	耗能標準	9.9 (km/L)	9.9 (km/L)
	測試值	11.6 (km/L)	15.7 (km/L)
	市區油耗	8.50 (km/L)	12.29 (km/L)
	高速 (非市區) 油耗	15.46 (km/L)	19.77 (km/L)
車型相關資訊		前輪驅動 (F)	前輪驅動 (F)
		無鉛汽油	渦輪或機械增壓
			柴油

資料來源：車輛耗能研究網站 (<http://auto.itri.org.tw/>)

在車重部分，經單位轉換（配合模式計算將公斤轉換為磅）後，如表 4-10 所示。

表 4-10 汽油車與柴油車之車重

能源使用類型車種	汽油車	柴油車
車輛來源	進口	
車型	VOLKSWAGEN GOLF 2.0 TSI WITH HATCHBACK	VOLKSWAGEN GOLF PLUS 2.0 TDI WITH HATCHBACK
參考車重（磅）	3,338	3,364
車輛來源	國產	
車型	福特六和 MONDEO TURBO CD345-8T	福特六和 MONDEO TDCI TURBO CD345-4T
參考車重（磅）	3,768	3,792
車型	福特六和 FOCUS C307-6N	福特六和 FOCUS TDCI TURBO C307-9N
參考車重（磅）	3,172	3,364

在車輛平均耗能（km/L）之數據部分，可從車輛耗能研究網站中查詢得知。國內的汽車耗能測試程序主要分為兩種，其一是 FTP，係指「美國 FTP-75 測試程序」，另一種為 NEDC，係指「歐盟 1999/100/EC 指令及其後續修正指令測試程序」；平均而言，「FTP」油耗測試值約為「NEDC」的 1.15 倍。依據小客車不同的排氣量，國內規定的車輛耗能標準（km/L）亦有所差異，本研究挑選的 3 組汽柴油小客車排氣量約為 1,950c.c.-1,999c.c.，其耗能標準皆為 9.9 km/L。而從測試值可看出，其油耗皆符合國內耗油標準之規定，平均能耗資訊詳如表 4-11 所示，本研究以車輛的油耗測試值作為平均油耗。

表 4-11 國內汽油小客車與柴油小客車平均能耗

能源使用類型車種	汽油車	柴油車
車輛來源	進口	
車型	VOLKSWAGEN GOLF 2.0 TSI WITH HATCHBACK	VOLKSWAGEN GOLF PLUS 2.0 TDI WITH HATCHBACK
平均能耗 (km/L)	13.1	16.9
車輛來源	國產	
車型	福特六和 MONDEO TURBO CD345-8T	福特六和 MONDEO TDCI TURBO CD345-4T
平均能耗 (km/L)	11.8	16.0
車型	福特六和 FOCUS C307-6N	福特六和 FOCUS TDCI TURBO C307-9N
平均能耗 (km/L)	11.6	15.7

資料來源：本研究整理

在車輛二氧化碳排放參數方面，利用車輛平均油耗乘以每公升汽（柴）油排放的二氧化碳當量，即可得到。根據能源局公告「油料燃燒及電力使用之二氧化碳排放係數」，使用汽油每公升排放二氧化碳約 2.26 公斤，柴油約 2.61 公斤，將二氧化碳排放係數除以上表的平均油耗，可得到車輛行駛每公里排放的二氧化碳公斤數，如表 4-12 所示。

表 4-12 國內汽油小客車與柴油小客車二氧化碳排放參數

能源使用類型車種	汽油車	柴油車
車輛來源	進口	
車型	VOLKSWAGEN GOLF 2.0 TSI WITH HATCHBACK	VOLKSWAGEN GOLF PLUS 2.0 TDI WITH HATCHBACK
二氧化碳排放參數 (kg/km)	0.173	0.154
車輛來源	國產	
車型	福特六和 MONDEO TURBO CD345-8T	福特六和 MONDEO TDCI TURBO CD345-4T
二氧化碳排放參數 (kg/km)	0.192	0.163
車型	福特六和 FOCUS C307-6N	福特六和 FOCUS TDCI TURBO C307-9N
二氧化碳排放參數 (kg/km)	0.195	0.166

資料來源：本研究整理



## 4.2 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算 與評析

REET 模式依前述方式將部分參數進行本土化修正並試算後，可得到不同汽油小客車與柴油小客車在油料生命週期過程中的能耗與二氧化碳排放之評估結果，可比較汽、柴油小客車在 WTP (well-to-pump) 階段、車輛週期(不含車輛使用階段)及車輛使用階段等 3 階段的能耗與二氧化碳排放差異。以下針對 REET1.8c(燃料週期模式)及 REET2.7(車輛週期模式)之試算結果進行評析。

### 1. 燃料週期模式試算結果

從 REET1.8c 模式之分析可得到各種車輛 well-to-wheel 的結果(包含 well-to-pump 及 pump-to-wheel)，即從原油開採、提煉、運送到加油站至汽車使用階段的能耗及溫室氣體排放。在本模式中的主要成果呈現有兩種：①不同類型油料之原料開採、提煉至運送到加油站階段(WTP)的能耗及溫室氣體排放量；②依不同能源使用車輛，分別分析在原料開採(Feedstock)階段、燃料週期(fuel)階段(即油料提煉及運送)及車輛使用(vehicle operation)階段等三階段的能耗與溫室氣體的排放量，其單位分別為熱量/哩(mmBtu/mile)或公克/哩(g/mile)。

在不同類型油料之 WTP 階段之總能耗與二氧化碳排放試算部分，經由部分參數本土化調整後，可得到汽油與柴油在 WTP 階段的試算結果，其中能耗與二氧化碳排放量詳見表 4-13。

表 4-13 我國私人小客車不同類型油料之原料開採至運送（well-to-pump）  
階段之總能耗與二氧化碳排放試算表

油料類型	油料之原料開採、提煉及運送階段（well-to-pump） （每 mmBtu 油料生產）	
	總能耗（Btu）	二氧化碳排放（公克）
汽油	249,184	18,008
柴油	195,082	16,482

資料來源：本研究整理

結果顯示，在 WTP 階段的汽油總能耗及二氧化碳排放量明顯較柴油多，而在模式原本的預設值分析下，亦有類似的結果。

在原料開採至使用階段（Well-to-Wheel）之每公里能耗與溫室氣體排放試算部分，GREET1.8c 模式將整個燃料生命週期分為原油開採（Feedstock）階段、燃料週期（fuel）階段(即油料提煉及運送)及車輛使用（vehicle operation）階段等三階段進行能耗及溫室氣體的評估。本研究以 3 組不同的汽柴油車車種，包括進口車 GOLF 及國產車 MONDENO 與 FOCUS 進行試算，結果如表 4-14 所示。

表 4-14 汽柴油車之原油開採至使用（Well-to -Wheel）階段能耗與二氧化

碳排放試算表

車種	油料 類型		每公里能耗（Btu）；每公里二氧化碳排 放（公克）				占比（%）		
			原油開採	油料提煉 及運送	車輛使用	合計	原油開 採	油料提煉 及運送	車輛使 用
GOLF 2.0 TSI WITH HATCHB ACK	汽油	能耗	138	487	2,507	3,132	4.4%	15.5%	80.1%
		二氧 化碳 排放	10	35	178	223	4.5%	15.7%	79.8%
GOLF PLUS 2.0 TDI WITH HATCHB ACK	柴油	能耗	107	273	1,945	2,325	4.6%	11.7%	83.7%
		二氧 化碳 排放	11	21	147	179	5.9%	12.0%	82.1%
MONDEO TURBO CD345-8T	汽油	能耗	153	540	2,778	3,470	4.4%	15.5%	80.1%
		二氧 化碳 排放	11	39	197	247	4.5%	15.7%	79.8%
MONDEO TDCI TURBO CD345-4T	柴油	能耗	113	288	2,054	2,454	4.6%	11.7%	83.7%
		二氧 化碳 排放	11	23	155	189	5.9%	12.0%	82.1%
FOCUS C307-6N	汽油	能耗	155	549	2,829	3,533	4.4%	15.5%	80.1%
		二氧 化碳 排放	11	40	201	252	4.5%	15.7%	79.8%
FOCUS TDCI TURBO C307-9N	柴油	能耗	115	293	2,093	2,501	4.6%	11.7%	83.7%
		二氧 化碳 排放	11	23	158	193	5.9%	12.0%	82.1%

資料來源：本研究整理

本研究在不同車種間，挑選的汽柴油車除了汽油引擎及柴油引擎規格不同外，其餘規格與排氣量幾乎都相同。因此在 GREET1.8c 模式分析中，汽柴油車的主要的變數除了汽柴油車的平均能耗 MPG 及二氧化碳排放參數（即每公升汽柴油的二氧化碳排放克數）不同外，其餘皆假設相同。因此從本表可以看出在 Well-to-Wheel 中，原料開採（Feedstock）階段、燃料（fuel）階段（即油料提煉及運送）及車輛使用（vehicle operation）階段的能耗及二氧化碳排放量的差異及比例的試算結果。從試算結果中大致可

以看到幾個趨勢，分述如下：

- (1) 在 3 組汽柴油車試算結果中，原油開採階段的二氧化碳排放量在汽柴油車間沒有明顯差異(汽油車與柴油車的二氧化碳排放量約為 10~11g/km)。汽油車在原油開採階段的能耗、油料提煉及運送階段的能耗與二氧化碳排放，以及車輛使用階段的能耗與二氧化碳排放皆比柴油車多，在原油開採階段，汽油車能耗約為 138~155 Btu/Km，柴油車約為 107~115 Btu/Km；在油料提煉及運送階段，汽油車能耗約為 487~549 Btu/Km，二氧化碳排放約為 35~40g/Km，柴油車能耗約 273~293 Btu/Km，二氧化碳排放約為 21~23g/Km；在車輛使用階段，汽油車在能耗約為 2,507~2,829 Btu/Km，二氧化碳排放約為 178~201g/Km，柴油車能耗約為 1,945~2,093 Btu/Km，二氧化碳排放量約為 147~158 g/Km。汽油車在燃料週期的總能耗及總二氧化碳排放量上亦大於柴油車，汽油車總能耗 3,132~3,533 Btu/Km，總二氧化碳排放量約為 223~252 g/Km；柴油車能耗約為 2,325~2,501 Btu/Km，二氧化碳排放量約為 179~193 g/Km。
- (2) 若僅針對車輛本身生命週期來看，在燃料週期各階段能耗及二氧化碳排放占比的分析上，車輛使用階段的能耗與二氧化碳排放量占的比例最高，汽油車能耗約占總能耗 80.1%，柴油車約占 83.7%；而二氧化碳排放上，汽油車約占總生命週期排放量 79.8%，柴油車約占 82.1%。油料提煉及運送階段的比例次之，汽油車能耗約占總能耗 15.5%，柴油車約占 11.7%；而二氧化碳排放上，汽油車約占總生命週期排放量 15.7%，柴油車約占 12.0%。而原油開採階段的能耗與二氧化碳排放占比最少，汽油車能耗約占總能耗 4.4%，柴油車約占 4.6%；而二氧化碳排放上，汽油車約占總生命週期排放量 4.5%，柴油車約占 4.9%。

## 2. 車輛週期模式試算結果

REET2.7 模式經由參數本土化修正後，分析我國汽油小客車及柴油小客車之車輛週期的能耗與二氧化碳排放。汽油小客車與

柴油小客車在 GREET2.7 模式參數中，車重是本研究所考量的變數，一般而言，柴油引擎較汽油引擎重，另外搭配引擎不同的其他配備，亦造成柴油車與汽油車的車重差異。從表 4-15 結果可看出柴油車的車重皆較汽油小客車重。

GREET2.7 模式結果之呈現主要分為 3 個階段，包括 WTP 階段、車輛週期（vehicle cycle）階段(不含車輛使用階段)及車輛使用（vehicle operation）階段，本部分的 WTP 階段是從原油的開採、提煉、運送，一直到送到各加油站端的整個過程；車輛週期階段則是從原料開採、提煉、車輛組裝，及最終的廢棄回收等過程，不含車輛使用階段；而車輛使用階段，則是指車輛供駕駛者的使用階段。其中 WTP 階段的能耗與二氧化碳排放即是 GREET1.8 模式中的 feedstock 階段至 fuel 階段的分析數據總和。試算結果如表 4-15 所示，其能耗與二氧化碳排放量的單位分別為熱量/公里（Btu/km）與克/公里（g/km），另外也分析各階段能耗與二氧化碳排放的占比。

表 4-15 汽油車與柴油車生命週期各階段能耗與二氧化碳排放試算表

車種	油料 類型		每公里能耗 (Btu) ; 每公里二氧化碳排放 (公克)				占比 (%)		
			WTP 階段	車輛週期 (不含車輛 使用階段)	車輛使用	合計	WTP 階 段	車輛週 期(不含 車輛使 用階段)	車輛使 用
GOLF 2.0 TSI WITH HATCHB ACK	汽油	能耗	625	513	2,507	3,650	17.1%	14.1%	68.7%
		二氧 化碳 排放	45	40	178	263	17.1%	15.2%	67.7%
GOLF PLUS 2.0 TDI WITH HATCHB ACK	柴油	能耗	379	516	1,945	2,845	13.3%	18.1%	68.4%
		二氧 化碳 排放	32	40	147	219	14.6%	18.3%	67.1%
MONDEO TURBO CD345-8T	汽油	能耗	692	555	2,778	4,030	17.2%	13.8%	68.9%
		二氧 化碳 排放	50	43	197	290	17.2%	14.8%	67.9%
MONDEO TDCI TURBO CD345-4T	柴油	能耗	401	557	2,054	3,017	13.3%	18.5%	68.1%
		二氧 化碳 排放	34	43	155	232	14.7%	18.5%	66.8%
FOCUS C307-6N	汽油	能耗	705	497	2,829	4,036	17.5%	12.3%	70.1%
		二氧 化碳 排放	51	38	201	290	17.6%	13.1%	69.3%
FOCUS TDCI TURBO C307-9N	柴油	能耗	408	516	2,093	3,022	13.5%	17.1%	69.3%
		二氧 化碳 排放	34	40	158	233	14.6%	17.2%	67.8%

資料來源：本研究整理

從結果中大致可以看到幾個趨勢，分述如下：

- (1) 從 3 組汽柴油車生命週期試算結果中可看出，不論是汽油車或是柴油車，在車輛使用階段的能耗及二氧化碳的排放量是最高的。汽油車在使用階段的能耗約占總能耗 68.7%~70.1%，柴油車約占 68.1%~69.3%；在二氧化碳排放部分，汽油車在使用階段的二氧化碳排放約占總生命週期排放的 67.7%~69.3%，柴油車約占 66.8%~67.8%。

- (2) 汽油車與柴油車的 WTP 階段與車輛週期階段(不含車輛使用階段) 能耗與二氧化碳排放占比結果，在能耗部分，汽油車在 WTP 階段的能耗約占總能耗 17.1%~17.5%，柴油車約占 13.3%~13.5%；在二氧化碳排放部分，汽油車在 WTP 階段的二氧化碳排放約占總生命週期排放的 17.1%~17.6%，柴油車約占 14.6%~14.7%，汽油車在 WTP 階段的能耗與二氧化碳排放占比均較柴油車高。在車輛週期階段(不含車輛使用階段)，汽油車能耗約占總能耗 12.3%~14.1%，柴油車約占 17.1%~18.5%；汽油車二氧化碳排放約占總生命週期排放的 13.1%~15.2%，柴油車約占 17.2%~18.5%，柴油車在車輛週期階段(不含車輛使用階段)的能耗與二氧化碳排放占比均較汽油車高。
- (3) 若從實際推估的能耗與二氧化碳排放量來看，WTP 階段的汽油車能耗約 625~705 Btu/km，二氧化碳排放量約 45~51 g/km，柴油車能耗約 379~408 Btu/km，二氧化碳排放量約 32~34 g/km；車輛使用階段的汽油車能耗約 2,507~2,829 Btu/km，二氧化碳排放量約 178~201 g/km，柴油車能耗約 1,945~2,093 Btu/km，二氧化碳排放量約 147~158 g/km，從分析結果可知，汽油車在 WTP 階段及車輛使用階段的能耗與二氧化碳排放量均較柴油車高。在車輛週期階段(不含車輛使用階段)，3 組汽油車與柴油車實際的能耗及二氧化碳排放量則無明顯的差異。在車輛整個生命週期的總能耗及二氧化碳排放量部分，汽油車總能耗約 3,650~4,036 Btu/km，二氧化碳總排放量約 263~290 g/km；柴油車總能耗約 2,845~3,022 Btu/km，二氧化碳總排放量約 219~233 g/km，汽油車的總能耗與二氧化碳總排放量均高於柴油車。
- (4) 若僅將車輛週期階段(不含車輛使用階段)及車輛使用階段進行比較，如表 4-16 所示，顯示出車輛使用階段的能耗及二氧化碳排放的占比仍最高，約占 80%，而車輛週期階段(不含車輛使用階段)約占 20%。另比較汽油車與柴油車在車輛週期階段(不含車輛使用階段)與車輛使用階段的能耗及二氧化碳的實際排放量，可看出汽

油車與柴油車在車輛週期階段(不含車輛使用階段)的差異並不大，主要差別在車輛使用階段，汽油車的能耗與二氧化碳排放量皆較柴油車多。

表 4-16 車輛週期與車輛使用階段能耗與二氧化碳排放試算表

車種	油料類型		每公里能耗 (Btu) ； 每公里二氧化碳排放 (公克)			占比 (%)	
			車輛週期 (不含車輛 使用階段)	車輛使用	合計	輛週期(不 含車輛使用 階段)	車輛使用
GOLF 2.0 TSI WITH HATCHBACK	汽油	能耗	513	2,507	3,020	17.0%	83.0%
		二氧化碳 排放	40	178	218	18.3%	81.7%
GOLF PLUS 2.0 TDI WITH HATCHBACK	柴油	能耗	516	1,945	2,461	21.0%	79.0%
		二氧化碳 排放	40	147	187	21.4%	78.6%
MONDEO TURBO CD345-8T	汽油	能耗	555	2,778	3,333	16.7%	83.3%
		二氧化碳 排放	43	197	240	17.9%	82.1%
MONDEO TDCI TURBO CD345-4T	柴油	能耗	557	2,054	2,611	21.3%	78.7%
		二氧化碳 排放	43	155	198	21.7%	78.3%
FOCUS C307-6N	汽油	能耗	497	2,829	3,326	14.9%	85.1%
		二氧化碳 排放	38	201	239	15.9%	84.1%
FOCUS TDCI TURBO C307-9N	柴油	能耗	516	2,093	2,609	19.8%	80.2%
		二氧化碳 排放	40	158	198	20.2%	79.8%

資料來源：本研究整理

(5) 在 GREET2.7 模式中，車輛週期部分包含了原料組成、汽車組裝/廢棄/回收、電池的使用及流體使用，本次分析的結果如表 4-17 所示。由於在 GREET2.7 模式中，本研究假設國內各種車輛在電池使用及流體使用的狀況相同，在組裝/廢棄/回收階段則依模式



的預設值，主要差異之處在修正汽車重量之參數，因此從結果可看出，其組裝/廢棄/回收階段、電池使用及流體使用階段的能耗與二氧化碳排放在各車輛的分析結果皆相同，主要差異在汽車原料的組成部分。根據表 4-17 可知，車輛原料的組成階段其能耗及二氧化碳排放量最多，其次依序為組裝/廢棄/回收階段及流體使用，最少的則是電池使用階段。

表 4-17 汽油車與柴油車生命週期各階段能耗與二氧化碳排放試算表

車種	油料 類型		每公里能耗 (Btu) ; 每公里二氧化碳排放 (公克)					占比 (%)			
			原料 組成	組裝/ 廢棄/ 回收	電池 使用	流體 使用	總計	原料組 成	組裝/廢 棄/回收	電池使 用	流體使 用
GOLF 2.0 TSI WITH HATCHB ACK	汽油	能耗	354	77	22	60	513	69.0%	15.1%	4.2%	11.8%
		二氧化 碳排放	27	6	2	4	40	68.6%	16.0%	4.4%	11.0%
GOLF PLUS 2.0 TDI WITH HATCHB ACK	柴油	能耗	357	77	22	60	516	69.1%	15.0%	4.2%	11.7%
		二氧化 碳排放	27	6	2	4	40	68.6%	16.0%	4.4%	11.0%
MONDEO TURBO CD345-8T	汽油	能耗	396	77	22	60	555	71.3%	13.9%	3.9%	10.9%
		二氧化 碳排放	30	6	2	4	43	70.8%	14.8%	4.1%	10.2%
MONDEO TDCI TURBO CD345-4T	柴油	能耗	398	77	22	60	557	71.4%	13.9%	3.9%	10.8%
		二氧化 碳排放	30	6	2	4	43	70.9%	14.8%	4.1%	10.2%
FOCUS C307-6N	汽油	能耗	338	77	22	60	497	68.0%	15.5%	4.3%	12.2%
		二氧化 碳排放	26	6	2	4	38	67.5%	16.6%	4.6%	11.4%
FOCUS TDCI TURBO C307-9N	柴油	能耗	357	77	22	60	516	69.1%	15.0%	4.2%	11.7%
		二氧化 碳排放	27	6	2	4	40	68.6%	16.0%	4.4%	11.0%

資料來源：本研究整理

### 4.3 小結

為進行我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估，本研究以美國 Argonne 國家實驗室所建立的 GREET 模式作為試算之範本，並分別以 GREET2.7 模式分析車輛週期，及 GREET1.8c 模式分析燃料週期。由於原本的模式以美國地區所蒐集到的資料建立而成，因此該模式只適用於美國，若要適用於我國，則模式中部分的參數需要進行本土化的修正。

在 GREET2.7 模式中，本土化調整的項目包括車輛總行駛里程、車輛使用的流體更換次數、車輛使用的流體更換廢液的比例、車輛使用的流體重、輪胎及車用電池的更換次數...等；而 GREET1.8 模式則僅針對「國內原油運輸途徑」、「車輛使用過程的溫室氣體排放量與油耗量」、「油輪之噸位」及「各種油料的熱值」進行本土化的修正。

本研究分別比較 3 組不同的汽油車與柴油車，各組車輛除了使用能源方式不同外，其餘車輛規格均無較大差異。在汽油車與柴油車中考量的修正參數包括車重、車輛使用過程的溫室氣體排放量及油耗量，將這些參數資料帶入模式中進行試算可得到不同車種間的能耗與二氧化碳排放量結果。

從 GREET1.8 模式分析的結果可看出，汽油車在燃料週期的總能耗及二氧化碳總排放量均較柴油車高，在燃料週期各階段亦有相同趨勢，即汽油車的能耗及二氧化碳排放量均較柴油車高。在 GREET2.7 模式分析結果中，不論是汽油小客車或是柴油小客車，在使用階段的能耗及二氧化碳的排放量是最高的，汽油車在使用階段的能耗約占總能耗 68.7%~70.1%，柴油車約占 68.1%~69.3%；在二氧化碳排放部分，汽油車在使用階段的二氧化碳排放約占總生命週期排放的 67.7%~69.3%，柴油車約占 66.8%~67.8%。若從 WTP 階段、車輛週期階段(不含車輛使用階段)及車輛使用階段來分析，並將汽油車與柴油車一併比較，使用階段的能耗與二氧化碳排放量占最大比例，其能耗約占總能耗的 67.1%~70.1%，二氧化碳排放約占總二氧化碳排放的

66.8%~69.3%。車輛週期階段(不含車輛使用階段)及 WTP 階段的比例則相對低了很多，車輛週期階段(不含車輛使用階段)的能耗約占的 12.3%~18.5%，二氧化碳排放約占 13.1%~18.5%；WTP 階段的能耗約占的 13.3%~17.5%，二氧化碳排放約占 14.6%~17.6%。若從實際推估的能耗與二氧化碳排放量來看，WTP 階段及車輛使用階段的汽油車能耗與二氧化碳排放量均較柴油車高，WTP 階段的汽油車能耗約 625~705 Btu/km，二氧化碳排放量約 45~51 g/km，柴油車能耗約 379~408 Btu/km，二氧化碳排放量約 32~34 g/km；車輛使用階段的汽油車能耗約 2,507~2,829 Btu/km，二氧化碳排放量約 178~201 g/km，柴油車能耗約 1,945~2,093 Btu/km，二氧化碳排放量約 147~158 g/km。在車輛週期階段(不含車輛使用階段)，3 組汽油車與柴油車實際的能耗及二氧化碳排放量則無明顯的差異，但若比較 WTP 階段、車輛週期階段(不含車輛使用階段)及車輛使用階段的能耗與二氧化碳排放的占比，則在車輛週期階段(不含車輛使用階段)，柴油車的能耗及二氧化碳排放的占比均較汽油車高。在車輛生命週期的總能耗及二氧化碳排放量分析上，汽油車均高於柴油車，汽油車總能耗約 3,650~4,036 Btu/km，二氧化碳總排放量約 263~290 g/km；柴油車總能耗約 2,845~3,022 Btu/km，二氧化碳總排放量約 219~233 g/km。

在車輛的生命週期中，仍以車輛使用階段的能耗與二氧化碳排放量為最高，因此我國對於車輛的節能減碳策略上，仍要以減少私人小客車的使用為主要重點。



## 第五章 重要課題探討與推動策略研擬

本章依據前述汽、柴油小客車生命週期能耗及溫室氣體排放試算分析結果，進行相關課題之探討，並研擬推動策略。

### 5.1 重要課題探討

1. 在 GREET 模式分析過程中，雖然本研究進行部分參數本土化調整，使模式分析結果較符合我國目前的情境，然而仍有許多不同因素，導致分析結果與實際狀況仍有些落差，而這些問題也是未來值得我們探討的課題。相關因素說明及探討如后：

(1) 本研究所使用 GREET 模式版本，分析燃料週期的 GRRET1.8c 是 2009 年版，分析車輛週期的 GREET2.7 模式則是 2007 年版。由於相關參數資料會隨著製造生產過程的改變、政府的檢驗標準及相關規定與科技發展...等而產生改變，根據 GREET 網站，燃料週期模式在 2011 年 10 月發布最新的 GREET 1 2011 模式版本，主要修正一些替代能源產生的途徑及部分參數值更新，而車輛週期模式仍是 GREET2.7，並無相關更新版本。另由於 GREET 模式本身參數預設上即有許多資料沿用 2003 年的調查數據，相關資料並非最新版，因此在數值上會產生一些誤差。

(2) GREET 模式係美國阿岡國家實驗室(Argonne National Laboratory, Transportation Technology R&D Center)所研發，因此模式在車輛及燃料生產過程的分析，均以美國本土做為估算的情境。本研究在進行參數本土化修正時，即發現在一些生產過程途徑僅針對美國當地情境，與我國的生產途徑有些許不同，但這部分又因為涉及到與其他不同的參數的連結，若改為本土化，則需進行其他相關參數資料蒐集及模式相關調整，在有限的人力及時間與部分資料取得困難下，採用模

式的預設值(即美國本土的數值)進行本研究分析。

- (3) 在模式參數修正上，除了使用階段的參數外，另外在生產過程及廢棄回收階段仍有許多參數需要進行調整。本研究僅針對幾項較重要、較易獲得資料，與預設值可能會有很大差異的參數進行本土化修正。
- (4) 本研究在本土化參數資料的蒐集上，除了一些既有公開的資料，如耗能標準、車輛規格、燃料熱值、煉油廠與供油中心的位置等等，其他資料的蒐集上，因受限於時間與經費，不易取得，另有部份資料涉及到使用者經驗及習慣，但國內並無蒐集到相關研究統計。因此在本研究中的參數本土化部分有些利用較主觀的假設，例如一般使用者最常使用的方式，或者是燃油可能的運送距離途徑等等，後續應有更審慎客觀資料蒐集及調查研究。
- (5) 在燃料生產過程中的運送途徑方面，國內目前主要有兩大家石油公司——中油與台塑，其中又以中油在國內市場有較大的銷售量，為了資料蒐集方便，謹針對中油部分進相關資料蒐集分析，若要全盤考慮，未來在台塑石油部分亦需探討。另外在運輸途徑上，運送方式、運具的規劃比例、運送里程、運送路徑及運送比例...等資料蒐集不易，僅能針對蒐集到的資料進行粗略的推估。
- (6) 車輛行駛過程中對燃料使用的能耗，國內所採用的檢測方式主要分歐規與美規兩種，其一是 FTP，係指「美國 FTP-75 測試程序」，另一種為 NEDC，係指「歐盟 1999/100/EC 指令及其後續修正指令測試程序」，而在本研究所分析的 3 組汽、柴油車車款其能耗測試上均採「歐盟 1999/100/EC 指令及其後續修正指令測試程序」，並無 FTP-75 的測試值。由於 GREET 模式是美國本土化之評估模式，因此其參數也是以美國本土化為主，利用歐規的測試值代入模式試算，亦會造成評估誤差產生。

- (7) 在車輛週期 GREET2.7 模式中，主要將車輛依組成材質及能源使用方式分類，可分為 6 類，分別為常規材質引擎車、輕質材料引擎車、常規材質油電混合車、輕型材質油電混合車、常規材質燃料電池車及輕型材質燃料電池車，然而在現行替代能源車輛中，並不只有這 6 類車型，因此若針對其他類車輛進行評估可能會產生誤差。
- (8) 有關 GREET2.7 模式輸入參數中，本研究僅能針對蒐集到車重的資料，並無法得到不同車種的元件材料組成的資料，有關原料提煉方式、組裝、廢棄及回收等等的亦難以獲得，因此假設本土化參數數值與模式預設值相同，並以模式預設值參數進行分析。由於本研究不同車種間的差異調整僅針對車重部分，因此在車輛週期中，除了因車種導致車輛元件組成過程中的能耗及溫室氣體排放量的差異外，其他關於流體使用、電池使用及組裝/廢棄/回收階段的能耗與溫室氣體排放結果，各車種間均無差異的現象產生，此一分析結果仍有待未來進一步取得相關參數資料後予以釐清。
- (9) 本研究設定的車輛的生命週期主要可分為原料組成、製造及運銷、使用與維護及廢棄回收等 4 階段，然而 GREET2.7 模式分析結果的產出僅分成 WTP 階段、車輛週期階段(不含車輛使用階段)及車輛使用等 3 階段，若將車輛週期再進行細分，仍只能分為原料組成、流體使用、電池使用及組裝/廢棄/回收等 4 階段，與本研究預定產出有些誤差，但若就整體分析結果來看，仍以車輛使用階段的能耗與溫室氣體排放量占最大比例；依車輛週期階段(不含車輛使用階段)來看，車輛零件組成的能耗與溫室氣體排放量占第二大比例。
2. 根據本研究分析，小客車在 WTP 階段與車輛週期階段(不含車輛使用階段)加總之二氧化碳排放在全生命週期中的占比約 31%~33%，其餘將近 67%~69%則為使用階段。從結果顯示，在小客車生命週期中，使用階段的二氧化碳排放量是最高的，因此未

來在車輛減碳策略研擬上，使用階段還是主要的討論核心，亦是汽車減碳相關工作的著力點。另外雖然在 WTP 階段與車輛週期階段(不含車輛使用階段)的二氧化碳排放量較少，但兩階段加總的排放量亦超過總生命週期的 1/4，顯示這部份的占比在仍不容小覷，未來在相關策略的研擬上，如何減少這些階段的二氧化碳排放量亦需重視。

3. 生命週期評估是較為完整之評估分析，但是生命週期各階段究竟需要包括那些細項及內容是值得進一步探討的課題。
4. 有關油價水準、能源稅及低碳車輛之補貼等不但會影響民眾對於汽車類型選擇之行為，而且攸關政策推動之成敗，應掌握及探討這些重要政策工具，作為後續推動之參考與依據。
5. 目前車輛消費者並無完整的生命週期觀念，而車廠及銷售商亦無強調車輛生命週期節能減碳的觀點，使民眾一般選購車輛時僅就車輛省不省油，車輛性能優劣性做為購車的主要考量因素，對於車輛整個生命週期能耗與溫室氣體排放對環境所造成的影響並不了解也不關心，因此未來要如何讓民眾購車時有生命週期的觀念，亦是該努力的方向。
6. 目前世界推行替代能源車輛的趨勢下，替代能源車輛若以生命週期觀點來評析，是否確實能較傳統汽車節能減碳呢？根據國外研究，在 GREET 模式分析燃料週期結果可知，從燃料製造到車輛消耗燃燒的過程中，替代能源如氫能雖然在使用階段可減少碳排放，但以目前技術在製造和運輸階段仍會產生比生產化石燃料更大的能源消耗，如何利用相關分析尋找適合我國推廣之替代能源車輛成為後續研究重點課題。
7. 本研究針對國內所使用之的燃料來源、提煉方式、動力車輛做油井至車輪(Well-to-Wheels)過程中造成的影響進行數據分析，係以目前最普遍使用之中油公司 95 無鉛汽油與超級柴油為分析標的，未來配合行政院為使我國得於 10 年內發展成為能源產業大國，並引領臺灣社會邁入低碳化與產業高值化目標，已於 98 年 4 月 23



日宣布啟動「綠色能源產業旭升方案」，積極推動我國具有良好產業基礎及躍升能量的綠色能源產業，其中包括生質燃料、氫能與燃料電池、電動車輛等發展主軸均會改變分析方式與整體結果。以生質燃料為例，由於生產過程中植物本身能夠吸收溫室氣體，減低溫室氣體排放數量，生命週期各階段溫室氣體排放比例可能會產生改變。由於生質燃料碳源來自於吸收二氧化碳行光合作用衍生的生物物質，可利用 GREET 計算進行車輛本身產生動力時所產生與燃料生產、提煉到運送中間所產生的溫室氣體，發展車輛生命週期中碳平衡(carbon neutral)模式，使二氧化碳之淨排放量減至最低，應為本計畫後續發展之重要課題。

## 5.2 推動策略研擬

1. 在生命週期評估部分，如何使評估模式適用於國內條件，以提升分析結果的準確性，為目前的一大課題，本研究研擬解決方案與相關推動策略，說明如后：
  - (1) 在參數資料蒐集部分，全生命週期能源消耗與溫室氣體排放評估所需之基礎資料甚多，然我國目前仍相當缺乏，致無法進行全面性的本土化分析，建議應透過跨部門的合作，從燃料生產、車輛製造、使用至報廢等階段，進行全面性的基礎資料蒐集與建立，俾國內後續相關研究之遂行。有關車輛使用行為等資料，除了透過跨部門的合作與相關部會及廠商業者索取資料，及相關研究報告與論文期刊方式獲取外，可透過問卷調查方式進行資料蒐集。
  - (2) 在評估資料庫建立上，GREET 模式許多參數及流程皆以美國國內為準，因此在分析上有一些不符合國內實際的狀況。未來除了可搜尋國外其他車輛生命週期評估模式，探討其是否可直接作為國內本土化分析外，如有足夠的經費及資源，亦

可先蒐集相關資料並建立資料庫，進而建立我國本土化之車輛生命週期評估模式。

- (3) 評估模式之應用與整合部分，後續可蒐集替代能源車輛生命週期評估資料項目，針對各種替代能源車輛如 LPG 汽車、生質能源汽車等及電動車如插電式油電混合車、純電動車等進行生命週期成本之研究。未來並可探討美國 GREET 以及 MOVES 等模式在國內應用與整合，有關重要參數調整之研究，或建構適合國情應用之整合模式。

2. 根據本研究試算結果顯示，我國私人小客車全生命週期階段(含燃料週期、車輛週期及使用週期)之能源消耗與溫室氣體排放，以使用階段為最大宗，其次是車輛週期階段。因此現階段推動私人小客車節能減碳效率提昇策略上，可將製造生產階段及使用階段列為推動重點。

在車輛製造生產階段，相關策略包括：與業者協議生產節能車輛、提升私人運具新車效率水準...等。

在使用階段上，相關策略包括：

- (1) 推廣「環保駕駛(Eco-driving)」及私人運具成本合理化以抑制使用，以期短期內可收立竿見影之宏效。
- (2) 小客車共乘制。
- (3) 強制性車輛能源效率分級標示。
- (4) 能源價格合理化。

使用階段為私人小客車生命週期中能源消耗與溫室氣體排放最主要階段，因此實有必要針對該階段之能耗與排放深入研究探討，以有效掌握排放特性，進而研擬相應政策，紓緩使用階段之能耗與排放。例如若新車之平均每公里二氧化碳排放較舊車的平均值低，則在假設用路人之車輛使用習慣沒有改變的情況下，推動鼓勵性或強制性之措施以降低平均小客車之使用年限並促進小客車汰舊換新，則有助於減少整體小客車在全生命週期之二氧化碳排放總量，進而達到節能減碳之效益。

3. 在汽車銷售方面，消費者選購車輛汽車產品時，應鼓勵民眾從生命週期成本的觀點評估，以符合綠運輸政策及時代潮流的發展。另外自汽車製造過程中，如何降低汽車產品生命週期的排碳量，已成為汽車公司在經營策略及行動中的重要課題。政府也必須同時訂定相關補貼政策、策略及措施，方能營造產業、民眾及政府多贏的環境與局面。
4. 小客車全生命週期包含燃料生產、提煉、運送等過程，亦包含車輛的製造組裝、使用維護及廢棄回收，涉及許多單位權責業務，包含環保署、交通部、經濟部、工程會、國科會、財政部、金管會等單位，因此各部門推動節能減碳措施時，應以生命週期觀點進行全面性檢視，評估單一政策是否對於整體節能減碳具有正面效益。茲以私人小客車全生命週期角度，初步說明各階段之措施及其權責分工，如表 5-1 所示(見下頁)：

在車輛的製造與生產階段，主要權責單位應以經濟部為主，依據能源管理法第 15 條，「廠商製造或進口中央主管機關指定之車輛供國內使用者，其車輛之能源效率，應符合中央主管機關容許耗用能源之規定，並應標示能源耗用量及其效率。不符合前項容許耗用能源規定之車輛，不准進口或在國內銷售。」其中央主管機關即是經濟部，因此經濟部在車輛製造生產階段，對於業者在過程中產生的能耗及其能源使用效率應制定相關標準並加以把關。在運具推廣上，也應加強推廣節能運具及其相關產業發展。

在車輛消費及使用階段中，相關法規方面，可依能源管理法第 8 條及第 15 條進行節能規範及標示效率管理，根據第 8 條條文，「經中央主管機關指定之既有能源用戶所使用之照明、動力、電熱、空調、冷凍冷藏或其他使用能源之設備，其能源之使用及效率，應符合中央主管機關所定節約能源之規定。」，其中能源用戶之指定、使用能源設備之種類、節約能源及能源使用效率之規定，應由經濟部制定及公告。

表 5-1 從私人小客車生命週期節能減碳觀點探討權責分工

生命週期階段	生產製造	消費及使用				回收利用	其他			
措施	車輛效率管理	能源規範及標準效率管理	都市交通系統規劃	運輸管理	節能減碳教育宣導	廢車回收再利用	政府採購法及公共工程規範	溫室氣體減量之控管、低碳生活圈推廣	財稅工具	科技研發
主責單位	經濟部	經濟部	交通部			環保署	工程會	環保署	財政部/金管會	國科會
協辦單位	-	-	內政部	各直轄縣市政府	教育部、環保署	交通部	-	-	-	-

資料來源：參考經濟部節能減碳辦公室「生命週期觀點之節能減碳策略面向」及本研究整理

總體運輸環境/系統影響車輛使用，其中交通部涉及到都市交通系統規劃及運輸管理。在都市裡，都市交通系統規劃應配合都市/區域計畫法，並進行都市改造交通系統的規劃，其中交通部為主責單位，而內政部因牽涉到都市土地使用規劃，列為協辦單位。在運輸管理部分，由交通部制訂交通相關法規，進行大眾運輸系統規劃建置、智慧型運輸設計及相關軟硬體設施建立，並由各直轄縣市政府共同執行。此外，交通部亦可與環保署及教育部共同合作進行全民運輸節能減碳之教育宣導，使民眾了解消費端及使用端對節能減碳之重要性，增加民眾的認知及參與，以期達到全民力行的節能減碳目標。

在車輛回收階段，廢車回收再利用措施主要涉及環保署的權責，對於車輛的回收機制、回收再利用的情形應加以監測及管制，並可制定相關標準，以達到該階段的節能減碳之目標。

另外在車輛生命週期中亦涉及其他相關單位權責，如對於溫室氣體減量之控管、低碳社區推廣、低碳城市規劃及全民節能減碳宣導，由環保署做為權責機關；在節能車輛獎勵之措施、財政制度改革規劃及財稅的獎勵優惠，涉及到財政部的權責；金管會涉及到規劃節能減碳融資貸款優惠方案；工程會涉及政府採購法及相關公共工程規範；國內相關節能低碳的環保車種的新科技研發、能源科技研發、研究人才的培育及減量成本分析等等，涉及到國科會的權責。

節能減碳政策必須透過跨部會間之橫向聯繫及縱向分工，由生命週期觀點全面檢視，以避免單一政策雖降低某生命週期階段之能耗與排放，但對於整體生命週期之能耗與排放卻產生負效果。



## 第六章 結論與建議

本研究的重點在於透過生命週期評估工具 (GREET) 分析我國私人小客車於生命週期之整體能源消耗與溫室氣體排放情形，並且藉由重要課題與推動策略之探討，協助釐清各階段相關單位的權責，以及節能減碳的策略方向與重點。

### 6.1 結論

主要研究成果包括：

1. 完成生命週期定義與內涵探討，並確認生命週期各階段評估及整體分析架構，同時瞭解國內外有關生命週期評估之理論、方法及工具，以及私人小客車生命週期評估與各階段之能源消耗與溫室氣體排放等相關調查及研究概況。
2. 完成目前國內外常用之能源消耗與溫室氣體排放評估工具(包括 GREET、MOVES 模式)之回顧，其中車輛能源消耗與溫室氣體排放評估工具 GREET 及 MOVES 均由美國所發展，目前許多國家均用以進行相關分析研究，為目前最廣為使用的分析評估工具。GREET 模式可針對車輛與燃料生命週期之能源消耗與污染排放進行分析，而 MOVES 則是用於推估使用階段之污染源排放，考量本研究係以生命週期觀點進行探討，爰以 GREET 作為本研究參考運用之主要評估工具，同時進行本土化參數之評析與修正。
3. 為進行我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估，本計畫以美國能源部所屬 Argonne 國家實驗室所建立的 GREET 模式作為試算之工具，並分別以 GREET2.7 分析車輛週期，及 GREET1.8c 模式分析燃料週期。由於原本的模式係以美國地區所蒐集到的資料建立而成，為求適用於我國，本研究乃針對模式中部分參數進行本土化的檢討修正。
4. 在相關模式參數本土化方面，有關 GREET2.7 模式中之本土化調

整的項目包括車輛總行駛里程、車輛保養所需使用的油品與相關化學品更換次數、車輛使用的油品與相關化學品更換廢液的比例、車輛使用的油品與相關化學品數量、輪胎及車用電池的可能更換次數...等；至於 GREET1.8c 模式則僅針對「國內原油運輸途徑」、「車輛使用過程的溫室氣體排放量與油耗量」、「油輪之噸位」及「各種燃料的熱值」進行本土化的修正。

5. 本研究分別完成 3 組不同的汽油車與柴油車能耗與溫室氣體排放之比較，各組車輛除了使用能源方式不同外，其餘車輛規格均無太大差異。在汽油車與柴油車中考量的變數包括車重、車輛使用過程的溫室氣體排放量及油耗量，將這些變數帶入模式中進行試算可得到不同車種間的能耗與二氧化碳排放量結果，主要包括：
  - (1) 從 GREET1.8c 模式分析的結果可看出，汽油車在 Well-to-Wheel 各階段的能耗及二氧化碳排放量皆比柴油車多，而總能耗及二氧化碳排放量亦有相同趨勢。
  - (2) 另外從 GREET2.7 模式分析結果，不論是汽油小客車或是柴油小客車，在使用階段的能耗及二氧化碳的排放量是最高的，若從總生命週期（包含燃料週期、車輛週期及車輛使用階段）來看，使用階段的能耗與二氧化碳排放量約占的 70%，而車輛週期及燃料週期的比例則相對低了很多。
  - (3) 若從實際推估的能耗與二氧化碳排放量來看，燃料週期階段及車輛使用階段的汽油車能耗與二氧化碳排放量均較柴油車高，而在車輛週期階段則無較大的差異。在總能耗及二氧化碳排放量部份，汽油車均高於柴油車。
6. 在車輛生命週期中，仍以車輛使用階段的能耗與二氧化碳排放量為最高，因此我國對於車輛的節能減碳策略上，仍是要以減少私人小客車的使用為主要重點。雖然在 WTP 階段及車輛週期階段的能耗與二氧化碳排放量相對車輛使用階段較少，然而其在整體生命週期評估上仍占有一定的比例，因此若要生命週期通盤減量，WTP 階段及車輛週期階段仍需進行考量，亦需國內相關部會的配



合。若將汽油車與柴油車進行比較，雖柴油車的製造過程排碳較高，但其總能耗與二氧化碳的排放量均較汽油車低，未來我國在節能觀點上，亦能以推廣柴油車方向施行，但柴油車所帶來較汽油車高之氮氧化合物、黑煙等污染問題亦必須加以考慮。

7. 在 GREET 模式分析過程中，雖然本研究進行部分參數本土化，使模式分析結果較符合我國目前的情境，然而仍有許多不同因素，導致分析結果與實際狀況仍有些落差，而這些問題也是未來值得我們探討的課題。包括：
  - (1) 燃料週期與車輛週期模式工具版本年期不一致，致產生評估數值誤差。
  - (2) 國內有關完整燃料週期與車輛週期之資料不足或取得困難，致模式參數本土化不易。
  - (3) 在模式參數修正上，有關生產過程及廢棄回收階段仍有許多參數需要於未來進行本土化的調整。
  - (4) 國內外車輛分類與模式設定之車輛分類誤差。
  - (5) GREET 模式所設定之生命週期階段與本研究所設定者有些許不同，致評估產出可能會有所誤差。
8. 根據本研究分析，小客車在燃料週期與車輛週期(含車輛生產與廢棄回收)階段加總之 CO<sub>2</sub> 排放占全生命週期的占比約為 27%，其餘將近 73%則為使用階段。若新車之平均每公里 CO<sub>2</sub> 排放較舊車的平均值低，則在假設用路人之車輛使用習慣沒有改變的情況下，推動鼓勵性或強制性之措施以降低平均小客車之使用年限並促進小客車汰舊換新，則有助於減少整體小客車在全生命週期之 CO<sub>2</sub> 排放總量，進而達到節能減碳之效益。
9. 如何降低汽車產品生命週期的排碳量，已成為汽車公司在經營策略及行動中的重要課題。政府也必須同時訂定相關補貼政策、策略及措施，方能營造產業、民眾及政府多贏的環境與局面。而消費者選購車輛汽車產品時，應鼓勵民眾從生命週期成本的觀點評估，以符合綠運輸政策及時代潮流的發展。

## 6.2 建議

本研究相關建議如下：

1. 在我國私人小客車生命週期中，雖然使用階段的能源消耗與溫室氣體排放仍占最大的比例，但是車輛在設計階段對於後續使用階段與廢棄回收階段之能耗與溫室氣體排放也具有決定性的影響；此外，在生產階段所造成之能耗與溫室氣體也同樣占有不可忽視的比重。簡單來說，以生命週期觀點，「源頭減量」仍為運輸部門未來節能減碳值得考量的重要手段。
2. 全生命週期能源消耗與溫室氣體排放評估所需之基礎資料甚多，然我國目前仍相當缺乏，致無法進行全面性的本土化分析，建議應透過跨部門的合作，從燃料生產、車輛製造、使用至報廢與材料回收等階段，進行全面性的基礎資料蒐集與建立，俾利國內後續相關研究之遂行。
3. 根據本研究試算結果顯示，我國私人小客車全生命週期階段（含燃料週期、車輛週期及使用週期）之能源消耗與溫室氣體排放，以使用階段為最大宗，其次是車輛週期階段。因此現階段推動私人小客車節能減碳效率提昇策略上，建議可將製造生產階段及使用階段列為推動重點。此外，有必要針對使用階段之能耗與排放深入研究探討，以有效掌握排放特性，進而研擬相應政策，紓緩使用階段之能耗與排放。
4. 小客車全生命週期包含燃料生產、提煉、運送等過程，亦包含車輛的製造組裝、使用維護及廢棄回收，涉及許多單位權責業務，包含環保署、交通部、經濟部、工程會、國科會、財政部、金管會等單位，因此各部門推動節能減碳措施時，建議應以生命週期觀點進行全面性檢視，評估單一政策是否對於整體節能減碳具有正面效益。
5. 本計畫僅就汽、柴油小客車等傳統能源技術進行探討，建議後續

可進一步就更多不同車種(例如：大客車、機車)與能源技術(例如LPG 汽車、生質能源等、油電混合車、插電式油電混合車及純電動車等)進行探討，俾利釐清替代能源車輛與傳統車輛在生命週期觀點之能耗與溫室氣體排放特性上的差異，作為政府部門針對節能車輛或替代能源車輛研訂適當推動策略之參據。



## 參考文獻

1. 台灣中油全球資訊網，  
<http://www.cpc.com.tw/big5/content/index.asp?pno=5>
2. 行政院環保署網頁，  
<http://cfp.epa.gov.tw/carbon/ezCFM/Function/PlatformInfo/FLConcept/FLFootLifecycle.aspx>。
3. 交通部統計資料，  
<http://www.motc.gov.tw/mocwebGIP/wSite/np?ctNode=538&mp=1>
4. 交通部運輸研究所，「交通設施生命週期評估技術整合與應用」，2006。
5. 交通部運輸研究所，「能源消耗、污染排放推估模式與永續運輸模式之整合應用」，2010。
6. 交通部運輸研究所，「車輛動態能源消耗與溫室氣體排放特性之研究—以大客車為例(1/2)」，2011。
7. 李育明，「國內推動生命週期評估應用之回顧與展望」，工安環保報導，第15期，第11-13頁，2003。
8. 李育明、潘富生，「電動機車推廣政策之檢討—生命週期評估之應用」，環境與管理研究，第5卷，第1期，2004。
9. 周祖鵬，「一種新的汽車全生命週期評價指標(A New Indicator for Life Cycle Automobile Assessment)」，機械設計與製造，第2期，第141-142頁，2010。
10. 俞一鳴，「強混合動力汽車全生命周期成本研究」，2010。(取自<http://www.zzjjw.com.cn/news/20101122/1608.html>)。
11. 高惠玲、盧明俊、周幼寧，「環保策略工具-生命週期評析技術之內涵及發展現況」，工業污染防治，第54期，1995。
12. 張又升，「建築物生命週期二氧化碳減量評估，國立成功大學建築研究所博士論文」，2002年。

13. 張阿玲、申威、韓維建、柴沁虎，車用替代燃料生命周期分析，清華大學出版社，2008 年 10 月。
14. 張添盛，「利用生命週期評估建立綠色汽車用金屬材料評選模式」，國科專題計畫研究成果報告，NSC 89-2213-E-020-014，2001。
15. 劉子衡、張國財，汽機車生命週期耗能分析研究，工研院環境與安全衛生技術發展中心，2004。
16. 楊致行，「生命週期評估技術介紹」，生命週期評估研討會，經濟部工業技術研究院，1998。
17. 潘富生，「電動機車與燃油機車生命週期盤查分析」，國立台北大學資源管理研究所第八屆碩士論文，2002。
18. 蔡欣欣，「以生命週期盤查方法探討低公害車與傳統汽油車之環境與能源特性研究」，台北大學碩士論文自然資源與環境管理研究所，2007。
19. A. Burnham, M. Wang, and Y. Wu, “Development and Applications of GREET 2.7 —The Transportation Vehicle-Cycle Model”, Energy Systems Division, Argonne National Laboratory.
20. Byun, John, “Approaches to Modeling Vehicle Emissions under Various Traffic Operating Conditions”, January 13, 2007
21. Burke, A. F. “Batteries and ultracapacitors for electric, hybrid, and fuel cell vehicles”. Proc. IEEE
22. Chester, Mikhail and Arpad Horvath, “Life-cycle Energy and Emissions Inventories for Motorcycles, Diesel Automobiles”, School Buses, Electric Buses, Chicago Rail, and New York City Rail (VWP-2009-2)
23. Edwards R, Larivé JF, Mahieu V, Rouveirolles P. “Well-to-Wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the European context.” European Commission DG JRC/IES, CONCAWE and EUCAR, 2006. Available at: <http://ies.jrc.ec.europa.eu/WTW>

24. Funazaki Atsushi, Taneda Kasunori, “Life Cycle Assessment of an End-of-Life Passenger Car”, Transaction of Society of Automotive Engineers of Japan, Vol.32, No.1, pp.125-130, 2001. (<http://sciencelinks.jp/j-east/article/200115/000020011501A0282143.php>)
25. Frischknecht R, etc., “Overview and Methodology.” Ecoinvent report No. 1. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Dübendorf, 2004
26. Heather L., MacLean HL, Lave LB., “Life Cycle Assessment of Automobile / Fuel Options”, Environ Sci Technol, Vol 37, 2003, pp.5445-5452.
27. Kee Mo Jeong, Seok Jin Hong, Ji Yong Lee, and Tak Hur, “Life Cycle Assessment on End-of-Life Vehicle Treatment System in Korea”, J. Ind. Eng. Chem., Vol. 13, No. 4, pp. 624-630, 2007.
28. Koltun P, Tharumarajah A, Ramakrishnan S. “An approach to treatment of recycling in LCA study”, 4th Australian Life Cycle Assessment Conference. Sydney, NSW, Australia, 23–27 February 2005.
29. Malcolm A. etc., “ON THE ROAD IN 2020 A life-cycle analysis of new automobile technologies”, Energy Laboratory Report # MIT EL 00-003, 2000, 10.
30. Martin Goedecke, Supaporn Therdthianwong, Shabbir H. Gheewalab, “Life cycle cost analysis of alternative vehicles and fuels in Thailand”, (<http://www.thailand-energy.info/Article/Ts-3%20life%20cycle%20cost%20analysis%20of%20alternative%20vehicles%20and%20fuels%20in%20thailand.pdf>).
31. Mikhail V. Chester, “Life-cycle Environmental Inventory of Passenger Transportation in the United States”, Institute of Transportation Studies, 2008.

32. Volkswagen AG. Sustainability Report 2005/2006. “Moving Generation”. Available at: [www.volkswagen-sustainability.com](http://www.volkswagen-sustainability.com)
33. Xianchun TAN, Zekun MU, Sheng WANG, Hongxing ZHUANG, Longxin CHENG, Yanyan WANG, Baihe GU, “Study on whole-life cycle automotive manufacturing industry CO2 emission accounting method and Application in Chongqing”, 27 May 2011, (<http://www.iemss.org/iemss2010/papers/W17/W.17.03.Study%20on%20wholelife%20cycle%20automotive%20manufacturing%20industry%20CO2%20emission%20accounting%20method%20and%20Application%20in%20Chongqing%20-%20XIANCHUN%20TAN.pdf>.)
34. “Economic Input-Output Life Cycle Assessment Model.”, Carnegie Mellon University Green Design Institute, <http://www.eiolca.net>
35. “Fuel Choices for Fuel-Cell Vehicles: Well to-Wheels Energy and Emission Impacts”, Center for Transportation Research Argonne National Laboratory.
36. “Fuel-Cycle Emissions for Conventional and Alternative Fuel Vehicles: An Assessment of Air Toxics.”, University of Chicago.
37. “GREET Life-Cycle Analysis Model Development”, Workshop on Measuring and Modeling the Lifecycle GHG Impacts of Transportation Fuels Berkeley, CA
38. “Life Cycle Assessment of Greenhouse Gas Emissions from Plug-in Hybrid Vehicles: Implications for Policy”, Department of Engineering and Public Policy, and Department of Civil and Environmental Engineering, Carnegie Mellon University
39. “Overview of GREET Model Development at Argonne”, Center for Transportation Research Argonne National Laboratory



## 附錄 1 計畫摘要

# 從生命週期觀點探討國內私人小客車之能源消耗與 溫室氣體排放之研究

## 計畫摘要

### 一、研究緣起與目的

目前在運輸部門的能耗與溫室氣體排放量統計上，主要是以「運具行駛過程」中因燃燒化石燃料或用電過程中所造成的能耗與溫室氣體排放的推估為主，但這並非整體運輸過程中實際每延人公里的能耗與溫室氣體排放量，因為在整個運輸系統中，如道路、軌道、車輛的建造過程中即會開始產生能耗與溫室氣體排放。為通盤了解整體運輸部門能耗與溫室氣體的排放量，在運輸部門中利用生命週期觀點探討能耗與溫室氣體的排放確有其必要性。

所謂從生命週期觀點探討運輸部門的能耗與溫室氣體排放，即是將運輸系統在生命週期各階段中所產生的能耗及溫室氣體排放均納入考量，其生命週期包含了燃料的生產與使用、車輛及設施的原料開採、車輛及設施的建造、車輛及設施的維護，以及最終的車輛或設施之廢棄物處理及回收等階段。

目前交通部雖已於交通建設節能減碳作業中導入生命週期之概念（例如從規劃階段的區位選擇，施工階段的工程營建到營運階段的場站建築、觀光設施及公共照明節能減碳等），但對於車輛從製造、使用、維護、棄置及回收之生命週期各階段的能耗與溫室氣體的產生仍未進行完整探討，而且在節能減碳相關的因應對策上亦尚未完全掌握，因此有必要進行相關的研究。

本研究主要目的如下：

- （一）從生命週期觀點了解國內私人小客車於原料組成、製造與運銷、使用與維護、棄置與回收等階段之能源消耗與溫室氣體排放，以及國內各相關部門可能參與之角色。
- （二）針對私人小客車在生命週期各階段的能源消耗與溫室氣體排放之研究成果，探討並研擬未來在各階段中節能減碳之策略方向與重點。

## 二、研究範圍與工作內容

受限於人力與時間，本研究以目前在公路運輸中二氧化碳排放量最高之私人小客車為主要研究對象，並以私人小客車在原料組成、製造與運銷、使用與維護、棄置與回收等生命週期各階段(如圖 1)，所涉及能源消耗與溫室氣體排放之相關範疇為主要研究範圍，而在溫室氣體排放部分，本研究僅探討二氧化碳排放。

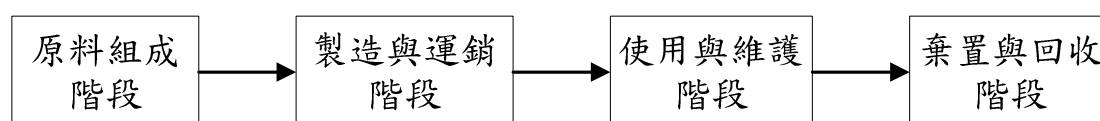


圖 1 私人小客車生命週期概述圖

本研究主要工作內容簡述如后：

- (一) 目標與範疇之界定：鑑於歷年來運輸部門二氧化碳排放占比仍以公路系統為主，且私人小客車的排放又是公路運輸排放的主要來源，本研究以國內私人小客車（含汽油車與柴油車）為主要研究對象，目標即是探討其生命週期各階段之能源消耗與溫室氣體排放，以及相關課題。
- (二) 文獻回顧與資料蒐集：蒐集並彙整國內外有關生命週期之理論及評估模式、私人小客車及所使用的燃料之全生命週期研究，以及各階段能源消耗與溫室氣體排放量相關調查及研究等資料。
- (三) 私人小客車生命週期各階段能源消耗與溫室氣體排放之相關資料彙整分析：針對私人小客車生命週期中，從原料組成、製造與運銷、使用與維護、棄置與回收等階段，進行國內外相關資料彙整分析，並以圖表整理各流程架構及相關能耗與溫室氣體排放。
- (四) 私人小客車生命週期各階段能源消耗與溫室氣體排放之課題探討：針對私人小客車生命週期各階段的資料彙整分析結果，進行相關課題之研究探討。
- (五) 私人小客車生命週期各階段相關單位所參與角色之探討：從

生命週期中各階段之能耗及溫室氣體排放資料，分析各階段可能參與之相關單位，並探討各相關單位在節能減碳上應扮演的角色。

- (六) 私人小客車生命週期各階段相關節能減碳因應對策之探討：  
根據前述私人小客車之研究結果，探討在生命週期各階段中減少能源消耗及溫室氣體減排之策略方向與重點。

### 三、私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放常用評估工具

本研究就目前國內外常用之能源消耗與溫室氣體排放評估工具，包含 GREET、MOVES 系列等模式進行回顧探討，並選擇以 GREET 模式作為參考運用之主要評估工具。說明如下：

#### (一) GREET

GREET(Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation)係美國運輸部委託美國能源部最大的研究中心阿岡國家實驗室(Argonne National Laboratory, Transportation Technology R&D Center)於 1995 年開始發展的一套能源週期(energy-cycle)分析模式，以分析各種運輸技術下於能源週期過程中對能源與污染之影響，GREET 因應不同車輛製造技術，再擴展增加車輛週期(vehicle-cycle)模式，分析車輛由生產到報廢，所可能產生溫室氣體與耗能，為目前最完整之推估模型。GREET 可分析包括燃料製造、車輛製造、車輛使用 3 種不同狀況，可單獨進行分析或組合進行分析，提供包括溫室氣體在內 10 種以上排放與耗能分析。

#### (二) MOVES

MOVES(MOtor Vehicle Emission Simulator)是美國環保署運輸與空氣品質辦公室(EPA's Office of Transportation and Air Quality, OTAQ)自 2001 年前後開始著手發展的新一代汽車污染源排放係數推估模式，美國環保署已於 2009 年 12 月正式宣布 MOVES 模式取代使用多年的 MOBILE 模式，成為美國環境影響評估之法定模式。未來的 3 年為過渡期，以加強各級政府工作人員的培訓，而在 2013 年後完全淘汰 MOBILE 模式。由於 MOVES 模式的法定地位，未來所有能源與空污排放的所有研究都將在 MOVES 模式的架構上發展，對於未來研究方向有重大影響

#### 四、我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評析

##### (一) 本土化參數分析與調整

本研究計畫以美國 GREET 模式作為研究國內私人小汽車生命週期中的能源使用與溫室氣體排放之模式，目前在 GREET 模式中包含了車輛週期的 GREET2.7 及能源週期 GREET1.8 兩部分，由於模式是由美國所建構，因此在數值的參採及預設上都以美國本土化資料為主。在國內由於在車輛的類型、車輛的使用及燃料的運送過程...等與美國方面皆有所差異，因此在原本模式中的預估數值應依國內特性進行本土化修正，使能獲得較符合本土化的能耗及溫室氣排放之數值。在車輛週期中，國內使用車輛的車重、行駛里程、使用年限、車輛保養耗材及相關聯之部分，皆將預設參數值進行本土化的修正。在燃料週期中，主要係針對國內原油的運送方式、運送過程、提煉油在國內的配送方式與途徑、燃料使用過程中的污染物比例，及其他國內能源利用之相關數值等，進行參數值的本土化修正。透過本土化數值的修正後，從本模式所得到的輸出值即為本研究中國內私人小客車生命週期中能耗與溫室氣體排放之結果。

##### (二) 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評析

從 GREET1.8 模式分析的結果可看出，汽油車在 Well-to-Wheel 各階段的能耗及二氧化碳排放量皆比柴油車多，而總能耗及二氧化碳排放量亦有相同趨勢。另外從 GREET2.7 模式分析結果，不論是汽油小客車或是柴油小客車，在使用階段的能耗及二氧化碳的排放量是最高的，若將車輛總生命週期分為 WTP 階段(從原油開採提煉至運送到加油站端)、車輛週期階段(從原料開採提煉、車輛製造、運銷至廢棄回收，不包含車輛使用階段)及車輛使用階段三部分比較，使用階段的能耗與二氧化碳排放量約占 70%，而車輛週期階段(不包含車輛使用階段)及 WTP 階段的比例則相對低了很多。若以汽油小客車與柴油小客車的能耗與二氧化碳排放量試算結果分析，WTP 階段及車輛使用階段的汽油車能耗與二氧化碳排放量均較柴油車高，而在車輛週期階段(不包含車輛使用階段)則無較大的差異。在車輛總生命週期的能耗及二氧化碳排放量分析部分，汽油車均高於柴油車。

## 五、重要課題與推動策略

### 重要課題

#### (一) GREET 模式本土化分析過程之課題

1. GREET 模式之版本更新
2. 參數資料的蒐集不易
3. 本土化參數修正項目受限
4. 模式中所探討的車輛類別與本研究分析車種有差異

#### (二) 生命週期評估：生命週期各階段須包含之內容

#### (三) 如何降低車輛產品生命週期的能耗與排碳量

#### (四) 運具選擇之政策推動與民眾宣導

#### (五) 替代能源車輛之探討

### 推動策略研擬

#### (一) 生命週期評估模式本土化之解決方案與推動策略

1. 跨部會合作，以進行全面性的基礎資料蒐集及建立
2. 參數蒐集部分，亦可從文獻及問卷調查方式獲得
3. 建立國內本土化參數之資料庫及模式整合
4. 建立國內本土化之生命週期評估模式
5. 替代能源車輛之生命週期評估研究

#### (二) 使用階段為私人小客車生命週期中能耗與二氧化碳排放的最主要階段，應針對該階段進行深入探討

#### (三) 現階段推動私人小客車節能減碳效率提升上

1. 車輛製造生產階段－與業者協商生產節能車輛、提升新車效率水準
2. 車輛使用階段上－
  - (1) 推廣「環保駕駛(Eco-driving)」及私人運具成本合理化
  - (2) 小客車共乘制
  - (3) 強制性車輛能源效率分級標示
  - (4) 能源價格合理化

### 3. 從私人小客車生命週期節能減碳觀點探討權責分工

生命週期階段	生產製造	消費及使用				回收利用	其他			
措施	車輛效率管理	能源規範及標示效率管理	都市交通系統規劃	運輸管理	節能減碳教育宣導	廢車回收再利用	政府採購法及公共工程規範	溫室氣體減量之控管、低碳生活圈推廣	財稅工具	科技研發
主責單位	經濟部	經濟部	交通部			環保署	工程會	環保署	財政部/金管會	國科會
協辦單位	-	-	內政部	各直轄縣市政府	教育部、環保署	交通部	-	-	-	-

### 4. 節能減碳策略需透過跨部會之橫向聯繫與縱向分工

## 六、結語與建議

本研究的重點在於透過生命週期評估工具(GREET)分析我國私人小客車於生命週期之整體能源消耗與溫室氣體排放情形，並且藉由重要課題與推動策略之探討，協助釐清各階段相關單位的權責，以及節能減碳的策略方向與重點。主要研究成果包括：

(一)完成 3 組不同的汽油車與柴油車能耗與二氧化碳排放之結果比較，各組車輛除了使用能源方式不同外，其餘車輛規格均無較大差異。在汽油車與柴油車中考量的變數包括車重、車輛使用過程的溫室氣體排放量及油耗量，將這些變數帶入模式中進行試算可得到不同車種間的能耗與二氧化碳排放量結果，主要包括：

- 1.從 GREET1.8 模式分析的結果可看出，汽油車在 Well-to-Wheel 各階段的能耗及二氧化碳排放量皆比柴油車多，而總能耗及二氧化碳排放量亦有相同趨勢。
- 2.另外從 GREET2.7 模式分析結果，不論是汽油小客車或是柴油小客車，在使用階段的能耗及二氧化碳的排放量是最高的，若

從總生命週期（包含 WTP 階段、車輛週期階段及車輛使用階段）來看，使用階段的能耗與二氧化碳排放量約占的 70%，而車輛週期階段(不包含車輛使用階段)及 WTP 階段的比例則相對低了很多。

3.若從實際推估的能耗與二氧化碳排放量來看，WTP 階段及車輛使用階段的汽油車能耗與二氧化碳排放量均較柴油車高，而在車輛週期階段則無較大的差異。在總能耗及二氧化碳排放量部份，汽油車均高於柴油車。

(二)在車輛生命週期中，雖然在 WTP 階段及車輛週期階段(不包含車輛使用階段)的能耗與二氧化碳排放量較少，然若要生命週期通盤減量，亦需國內相關部會的配合。

(三)依據汽油車與柴油車比較，柴油車的總能耗與二氧化碳的排放量均較汽油車低。

(四)根據本研究分析，小客車在 WTP 階段與車輛週期階段(不包含車輛使用階段)加總之二氧化碳排放占全生命週期的占比約為 27%，其餘將近 73%則為使用階段。

(五)假設用路人之車輛使用習慣沒有改變，推動鼓勵性或強制性之措施以降低平均小客車之使用年限並促進小客車汰舊換新，則有助於減少整體小客車在全生命週期之二氧化碳排放總量。

本研究相關建議如后：

(一)以生命週期觀點，「源頭減量」仍為運輸部門未來節能減碳措施中值得考量的重要手段。

(二)生命週期評估所需之基礎資料甚多，建議應透過跨部門的合作，進行全面性的基礎資料蒐集與建立。

(三)現階段推動私人小客車節能減碳效率提昇策略上，建議可將製造生產階段及使用階段列為推動重點。

(四)建議後續可進一步就更多不同車種與能源技術，俾利釐清替代能源車輛與傳統車輛的差異，並可作為政府部門針對替代能源車輛研擬適當推動策略之參據。





## 附錄 2

### GREET 1.8c 模式內容輸出摘錄

\*\*\*\*\*  
COPYRIGHT NOTIFICATION  
\*\*\*\*\*

Software: GREET 1, Version 1.8c.0  
Copyright © 1999 UChicago Argonne, LLC

Open Source Software License

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

1. Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.
3. The end-user documentation included with the redistribution, if any, must include the following acknowledgment:  
"This product includes software developed by the UChicago Argonne, LLC as Operator of Argonne National Laboratory under Contract No. DE-AC02-06CH11357 with the Department of Energy (DOE)."

Alternately, this acknowledgment may appear in the software itself, if and wherever such third-party acknowledgments normally appear.

4. **WARRANTY DISCLAIMER.** THE SOFTWARE IS SUPPLIED "AS IS" WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND. THE COPYRIGHT HOLDER, THE UNITED STATES, THE UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, AND THEIR EMPLOYEES: (1) DISCLAIM ANY WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, TITLE OR NON-INFRINGEMENT, (2) DO NOT ASSUME ANY LEGAL LIABILITY OR RESPONSIBILITY FOR THE ACCURACY, COMPLETENESS, OR USEFULNESS OF THE SOFTWARE, (3) DO NOT REPRESENT THAT USE OF THE SOFTWARE WOULD NOT INFRINGE PRIVATELY OWNED RIGHTS, (4) DO NOT WARRANT THAT THE SOFTWARE WILL FUNCTION UNINTERRUPTED, THAT IT IS ERROR-FREE OR THAT ANY ERRORS WILL BE CORRECTED.

5. **LIMITATION OF LIABILITY.** IN NO EVENT WILL THE COPYRIGHT HOLDER, THE UNITED STATES, THE UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, OR THEIR EMPLOYEES: BE LIABLE FOR ANY INDIRECT, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL, SPECIAL OR PUNITIVE DAMAGES OF ANY KIND OR NATURE, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO LOSS OF PROFITS OR LOSS OF DATA, FOR ANY REASON WHATSOEVER, WHETHER SUCH LIABILITY IS ASSERTED ON THE BASIS OF CONTRACT, TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR STRICT LIABILITY), OR OTHERWISE, EVEN IF ANY OF SAID PARTIES HAS BEEN WARNED OF THE POSSIBILITY OF SUCH LOSS OR DAMAGES.

6. Portions of the Software resulted from work developed under a U.S. Government contract and are subject to the following license:  
the Government is granted for itself and others acting on its behalf a paid-up, nonexclusive, irrevocable worldwide license in this computer software to reproduce, prepare derivative works, and perform publicly and display publicly.

\*\*\*\*\*

<div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> <div></div> </div>	<b>Color Scheme for the GREET Model</b> Clear cells are primarily for calculations and secondary assumptions  Yellow cells are key input assumptions that users can change for their own simulations  Green cells are key input assumptions with probability distribution functions built in  Blue cells are GREET forecast cells for running stochastic simulations  Gray cells are placeholder pathways. Even though simulations of these pathways are completed in GREET, no though research was conducted to examine key input assumptions for the pathways.  Cells with red triangle in the upper right corner contain comments. Users are advised to read the comments
--	---

<b>Brief Descriptions of GREET 1.8c.0 Worksheets</b>	
<div> <div>Sheet</div> <div>Inputs</div> <div>EF_TS</div> <div>EF</div> <div>Fuel_Specs</div> <div>T&amp;D_Flowcharts</div> <div>T&amp;D</div> <div>Urban_Shares</div> <div>Fuel_Prod_TS</div> <div>Petroleum</div> <div>NG</div> <div>Hydrogen</div> <div>Ag_Inputs</div> <div>EtOH</div> <div>E-D_Additives</div> <div>BD</div> <div>Coal</div> <div>Uranium</div> <div>LF_Gas</div> <div>Electric</div> </div>	<div> <div>Description</div> <div>Key input parameters that users can specify for GREET simulations. If users use the GREET GUI program, the GUI input values interact mostly with values in this sheet.</div> <div>Time-series tables for emission factors of combustion technologies applied to stationary sources</div> <div>Emission factors of combustion technologies by fuel type. This sheet interacts with EF_TS sheet.</div> <div>Specifications of individual fuels and global warming potentials of GHGs</div> <div>Flowcharts of transportation and distribution for each energy feedstock and fuel</div> <div>Calculations of energy use and emissions for transportation and distribution of energy feedstocks and fuels</div> <div>Share of urban emissions out of total emissions of criteria pollutants for major GREET simulated activities</div> <div>Time-series tables for key parametric assumptions for well-to-pump fuel production processes. This sheet interacts with other fuel production sheets</div> <div>Calculations of well-to-pump energy use and emissions for petroleum-based fuels (including production of additives)</div> <div>Calculations of well-to-pump energy use and emissions for NG-based fuels (plus flared gas to liquid fuels; landfill gas to methanol; and biomass/coal to methanol, DME, and FT fuels)</div> <div>Calculations of well-to-pump energy use and emissions for hydrogen production pathways</div> <div>Calculations of energy use and emissions for manufacturing agricultural inputs including fertilizers, herbicides, and insecticides and manufacturing agricultural machinery</div> <div>Calculations of well-to-pump energy use and emissions for producing ethanol from corn, sugarcane, and cellulosic biomass and producing butanol from corn</div> <div>Calculations of well-to-pump energy use and emissions for additives to blend ethanol in diesel fuel</div> <div>Calculations of well-to-pump energy use and emissions for biodiesel, renewable diesel, and renewable gasoline from soybeans</div> <div>Calculations of energy use and emissions for coal mining</div> <div>Calculations of energy use and emissions for uranium ore mining and uranium fuel production</div> <div>Calculations of energy use and emissions for landfill gas recovery</div> <div>Calculations of energy use and emissions for electricity generation</div> </div>

<b>Compression</b>	Calculations of energy use and efficiency of natural gas and hydrogen compression processes
<b>Car_TS</b>	Time-series tables of fuel economy and emission rates/changes associated with vehicle operations for passenger cars
<b>LDT1_TS</b>	Time-series tables of fuel economy and emission rates/changes associated with vehicle operations for light duty truck 1
<b>LDT2_TS</b>	Time-series tables of fuel economy and emission rates/changes associated with vehicle operations for light duty truck 2
<b>Vehicles</b>	Calculations of energy use and emissions for vehicle operations
<b>Results</b>	Well-to-pump and well-to-wheels energy use and emissions results for vehicle/fuel technology combinations
<b>Graphs</b>	Graphic presentation of energy use and emissions for various vehicle/fuel technology combinations
<b>Dist_Specs</b>	Detailed specifications of the input parameters built with distribution functions. The user is cautioned against making any changes to this sheet.
<b>Forecast_Specs</b>	Detailed information of defined forecast items for a particular stochastic simulation run. The user is cautioned against making any changes to this sheet.
<b>2</b>	own assumptions regarding given issues in these cells to replace the default assumptions. Whenever changes are made for input assumptions, users need to press the F9 key so that GREET recalculates results with the new input assumptions.
<b>3</b>	The GREET model is designed with the so-called circular calculation feature in Excel in order to account for secondary energy and emission effects. In circular calculations, if a cell requiring a value is accidentally inputted with a non-value entry, the whole model may be corrupted, and the model cannot be repaired by inputting a value to the same cell. Users are strongly recommended to save their work frequently and keep the original copy of the GREET model as a backup.

**This software was authored by:**

Michael Wang  
Center for Transportation Research  
Energy Systems Division  
Argonne National Laboratory  
9700 S. Cass Avenue  
Argonne, IL 60439 USA  
Phone: 630/252-2819  
E-mail: mqwang@anl.gov

Scenario Control Variables and Input Assumptions

1. Selection of Key Options for Simulation

1.1) Target Year for Simulation  
2010

1.2) Point-Estimation or Probability-Estimation Option

yes ... To run probability-based simulations  
no ... Not to run probability-based simulations (instead, to run point-estimation simulations)

1.3) User Selections for Modifying Key Input Parameters

2  
1 -- GREET default time-series (TS) values; 2 -- User inputs (adjust all years in TS Tables); 3 -- User inputs (adjust future years in TS Tables); 4 -- User provides TS table data for all years

2. Selection of Vehicle Types for Simulation

1  
1 -- Passenger Cars  
2 -- Light-Duty Trucks 1  
3 -- Light-Duty Trucks 2

3. Key Input Parameters for Simulating Petroleum-Based Fuels

3.1) Petroleum Recovery Options

3.1a) Efficiency for Petroleum Recovery

3.1a-i) Conventional Crude Recovery

98.0%

3.1a-ii) Oil Sands Recovery and Upgrading

	Bitumen recovery	Bitumen Upgrading	H2 Use for Upgrading, SCF/mnBtu product
Surface Mining	94.8%	98.6%	290.3
In Situ Production	84.3%	98.6%	111.6

3.1.b) Selection of Oil Sands Recovery Methods

Surface Mining	50.0%
In Situ Production	50.0%

3.1.c) Share of Oil Sands Products in Crude Oil Feed to Refineries

9.4%

3.1.d) Feedstock of H2 Production for Use in Oil Sands Recovery

1  
1 -- NG; 2 -- Nuclear (Thermo-Chemical Water Cracking); 3 -- Electrolysis (Nuclear HTGR); 4 -- Coal; 5 -- Pet Coke

3.1.e) Feedstock of Steam Production for Use in Oil Sands Recovery

1  
1-- NG; 2-- Nuclear (HTGR); 3 -- Coal; 4 -- Pet Coke

3.2) Gasoline Fuel Options

3.2.a) Share of Reformulated Gasoline in Total Gasoline Use, by volume

50.0%

3.2.b) Gasoline Specifications and Refining Efficiencies for Gasoline

O2 content by wt.		Additive type	Sulfur level, ppm	Refining Efficiency	Note: Additive Types
Conventional Gasoline	0.0%	5	26	87.7%	1 -- MTBE 4 -- Ethanol
RFG: Gasoline Blendstock	2.3%	4	26	87.2%	2 -- ETBE 5 -- No additive
CARFG: Gasoline Blendstock	2.0%	4	11	87.2%	3 -- TAME

3.2.c) Ethanol Production Options for Gasoline if ETBE or Ethanol Is Selected as the Additive

Share of Ethanol Feedstock	Corn	Woody Biomass	Herbaceous Biomass
	100.0%	0.0%	0.0%

3.3) Diesel and Other Petroleum-Based Fuel Options

3.3.a) Share of Low-Sulfur Diesel in Total Diesel Use, by volume

100.0%

3.3.b) Fuel Specifications and Refining Efficiencies

Selection for U.S. or CA Use			Refining Efficiency Note:	
		Sulfur Level, ppm		
Conventional Diesel	1	200	90.3%	1 -- Fuel for U.S. use
Low-Sulfur Diesel	1	11	89.3%	2 -- Fuel for California use
Crude Oil Naphtha	1	1	94.3%	
Crude Oil Liquefied Petroleum Gas			94.3%	
Residual Oil			94.3%	

3.4) Feedstock of H2 Production for Use in Refineries

1 -- NG; 2 -- Nuclear (Thermo-Chemical Water Cracking); 3 -- Electrolysis (Nuclear HTGR); 4 -- Coal

4. Key Input Parameters for Simulating Natural Gas-Based Fuels (plus flared gas to liquid fuels; landfill gas to methanol; and biomass/coal to methanol, DME, and FT fuels)

4.1) Simulation Options for NG Based Fuel Pathways

Feedstock Source	Plant Design Type When Natural Gas is Feedstock		Plant Design Type When Flared Gas is Feedstock		Plant Design Type When Biomass is Feedstock		Plant Design Type When Coal is Feedstock		Energy Accounting Options for FG
	1	2	1	2	1	2	1	2	
Compressed Natural Gas	1								2
NG-based Liquefied Petroleum Gas	1								2
Liquefied Natural Gas as a Transportation Fuel	1								2
Methanol	2		0	0	0	0	0	0	2
Dimethyl Ether	2		0	0	0	0	0	0	2
Fischer-Tropsch Diesel	2		0	0	0	0	0	0	2
Fischer-Tropsch Naphtha	2		0	0	0	0	0	0	2

Note: Plant Design Types:  
0 -- No co-products  
1 -- Steam co-production  
2 -- Electricity co-production

Note: Plant Design Types:  
1 -- North American NG  
2 -- Non-North American NG  
3 -- Non-North American flared  
4 -- Landfill gas (only for methanol)  
5 -- Biomass via gasification (only for FT)  
6 -- Coal via gasification (only for FT)  
7 -- Coal/Biomass (only for FT)  
(for H2 from FG)

4.2) Share of Petroleum and NG for Production of Liquefied Petroleum Gas and Naphtha

Natural Gas	Petroleum
Liquefied Petroleum Gas	40.0%
Naphtha	0.0%
	100.0%

4.3) Share of Farmed Trees, Herbaceous, Corn Stover, Forest Residue out of Total Biomass for Methanol, Dimethyl Ether, and Fischer-Tropsch Diesel Production

Farmed Trees	0.0%	Dimethyl Ether	0.0%
Herbaceous	0.0%	Fischer-Tropsch Diesel	0.0%
Corn Stover	0.0%		0.0%
Forest Residue	100.0%		100.0%

4.4) CO2 Sequestration Options for Coal-Based Fuel Plants

Feedstock		Biomass		Coal	
MeOH Plants					
DME Plants					
FTD Plants	1	1	1	1	1

Note: 1 -- Without CO2 sequestration  
2 -- With CO2 sequestration

4.5) Mass-based Share of Coal and Biomass out of Total Feedstock for Coal/Biomass co-feeding to Fischer-Tropsch Diesel Production

Coal	90.0%
Biomass	10.0%

(This is the coal as received)  
(This is biomass on bone-dry basis)

5. Key Input Parameters for Simulating Hydrogen Production

5.1) Share of H2 Production by Location

Gaseous H2	Liquid H2
Central Plants	0.0%
Refueling Stations	100.0%

5.2) Share of H2 Feedstock Sources in Central Plants

	Gaseous H2	Liquid H2
NG	100.0%	100.0%
Solar Photovoltaics	0.0%	0.0%
Nuclear (Thermo-Chemical Cracking of Water)	0.0%	0.0%
Electrolysis (Nuclear HTGR)	0.0%	0.0%
Coal	0.0%	0.0%
Biomass	0.0%	0.0%
Coke Oven Gas	0.0%	0.0%
Pet Coke	0.0%	0.0%

5.3) Share of H2 Feedstock Sources at Refueling Stations

	Gaseous H2	Liquid H2
NG	100.0%	100.0%
Electrolysis	0.0%	0.0%
EtOH	0.0%	0.0%
MeOH	0.0%	0.0%

5.4) NG Feedstock Options for H2 Production

	Gaseous H2	Liquid H2	Note:
Central Plants	1	1	1 -- North American NG
Refueling Stations	1	1	2 -- Non-North American NG
			3 -- Non-North American flared gas

5.5) CO2 Sequestration Options for Central Plant H2 Production

	Gaseous H2	Liquid H2	Note:
NG-Based H2 Plants	1	1	1 -- Without CO2 sequestration
Coal-Based H2 Plants	1	1	2 -- With CO2 sequestration
Biomass-Based H2 Plants	1	1	
Pet Coke-to-H2 Plant	1	1	

5.6) Selection of H2 Plant Design Types

	NG as Feedstock	FG as Feedstock	Coal as Feedstock	Biomass as Feedstock	Pet Coke as Feedstock	Note:
Central Plant G.H2	0	0	0	0	0	0 -- No co-products
Refueling Station G.H2	0	0	0	0	0	1 -- Steam co-production
Central Plant L.H2	0	0	0	0	0	2 -- Electricity co-production
Refueling Station L.H2	0	0	0	0	0	

5.7) Electric Generation Source for H2 Production via Electrolysis at Refueling Stations

	Gaseous H2	Liquid H2
Central Plant G.H2	6	6
Refueling Station G.H2	0	0
Central Plant L.H2	0	0
Refueling Station L.H2	0	0

5.8) Share of Woody Biomass out of Total Woody and Herbaceous Biomass for H2 Production in Central Plants

	Gaseous H2	Liquid H2
Central Plant G.H2	0.0%	0.0%
Refueling Station G.H2	0.0%	0.0%
Central Plant L.H2	0.0%	0.0%
Refueling Station L.H2	0.0%	0.0%

5.9) Selection of Simulation Options of Treating H2 produced from Coke Oven Gas (COG)

	Gaseous H2	Liquid H2
Central Plant G.H2	1	1
Refueling Station G.H2	0	0
Central Plant L.H2	0	0
Refueling Station L.H2	0	0

5.10) Selection of Electricity Generation Mix for H2 Iquification in Central Plants

	NG-Based Plant	Liquid H2
Central Plant G.H2	1	1
Refueling Station G.H2	1	1
Central Plant L.H2	1	1
Refueling Station L.H2	1	1
COG-Based Plant	2	2

6. Assumptions Regarding Boil-Off Effects of Liquefied Natural Gas and Liquid H2

	Storage at Production Plant	Transportation from Plant to Bulk Terminal	Bulk Terminal Storage	Distribution from Bulk Terminal to Refueling Station	Refueling Station Storage for Refueling Station Central Plant H2 Pathway
Boil-Off Rate: % per Day	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Liquefied Natural Gas					



Duration of Storage or Transit: Days	Liquid H2	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%	0.3%
LNG as a final transportation fuel		5	1	5	0.1	3	
LNG as an intermediate product from NNA NG		5	11	5	0.1	3	
LNG as an intermediate product from NNA FG		5	13	5	0.1	3	
Liquid H2		5	1	5	0.1	3	3
Recovery Rate for Bolt-Off Gas							
LNG		80.0%	80.0%	80.0%	80.0%	80.0%	80.0%
Liquid H2		80.0%	80.0%	80.0%	80.0%	80.0%	80.0%

11. GREET Default Key Assumptions for Well-to-Pump Activities

11.1) Energy Efficiency of Steam Boilers for Steam Generation (for steam co-generation in many WTP facilities)

80.0%

11.2) Natural Gas Recovery and Processing Efficiencies

NG recovery efficiency	97.2% North American NG
	97.2% Non-North American NG
	97.2% Non-North American FG
NG processing efficiency	
	97.2% North American NG
	97.2% Non-North American NG
	97.2% Non-North American FG

11.3) Natural Gas Compression and Liquefaction Efficiencies

Compression efficiency	93.1% NG compressors
	97.3% Electric compressors
Liquefaction efficiency	
	91.0% North American NG
	91.0% Non-North American NG
	91.0% Non-North American FG

11.4) NG to LPG Production Efficiency

96.5%
-------

11.5) NG to Methanol Production Efficiencies

NNA NG feedstock	67.5% No steam or electricity export
	64.0% With steam or electricity export (excluding energy in co-products)
	78,130 Net steam export credit: Btu of steam per mmBtu of methanol produced
	6.87 Net electricity export credit: kWh per mmBtu of methanol produced
NNA NG feedstock	67.5% No steam or electricity export
	64.0% With steam or electricity export (excluding energy in co-products)
	78,130 Net steam export credit: Btu of steam per mmBtu of methanol produced
	6.87 Net electricity export credit: kWh per mmBtu of methanol produced
NNA FG feedstock	67.5% No steam or electricity export
	64.0% With steam or electricity export (excluding energy in co-products)
	78,130 Net steam export credit: Btu of steam per mmBtu of methanol produced
	6.87 Net electricity export credit: kWh per mmBtu of methanol produced

11.6) Biomass to Methanol Production Efficiencies

50.0%	Biomass gasification: without steam or electricity co-generation
100.0%	Syn gas synthesis for methanol production: without steam or electricity co-generation
44.0%	Biomass gasification: with steam or electricity co-generation (excluding energy in steam or electricity)
100.0%	Syn gas synthesis for methanol production: with steam or electricity co-generation (excluding energy in steam or electricity)
50.0%	Net steam export credit: Bu of steam per mmBu of methanol produced
50.0%	Net electricity export credit: kWh per mmBu of methanol produced

11.7) Coal to Methanol Production Efficiencies

50.0%	Coal gasification: without steam or electricity co-generation
100.0%	Syn gas synthesis for methanol production: without steam or electricity co-generation
44.0%	Coal gasification: with steam or electricity co-generation (excluding energy in steam or electricity)
100.0%	Syn gas synthesis for methanol production: with steam or electricity co-generation (excluding energy in steam or electricity)
50.0%	Net steam export credit: Bu of steam per mmBu of methanol produced
50.0%	Net electricity export credit: kWh per mmBu of methanol produced

11.8) NG to Fischer-Tropsch Diesel Production Efficiencies

63.0%	No steam or electricity export
55.0%	With steam or electricity export (excluding energy in co-products)
202,000	Net steam export credit: Bu of steam per mmBu of FT diesel produced
17.76	Net electricity export credit: kWh per mmBu of FT diesel produced
NNA NG feedstock	
63.0%	No steam or electricity export
55.0%	With steam or electricity export (excluding energy in co-products)
202,000	Net steam export credit: Bu of steam per mmBu of FT diesel produced
17.76	Net electricity export credit: kWh per mmBu of FT diesel produced
NNA FG feedstock	
63.0%	No steam or electricity export
55.0%	With steam or electricity export (excluding energy in co-products)
202,000	Net steam export credit: Bu of steam per mmBu of FT diesel produced
17.76	Net electricity export credit: kWh per mmBu of FT diesel produced

11.9) Biomass to FT Diesel Production Efficiencies

50.0%	Biomass gasification: without steam or electricity co-generation
100.0%	Syn gas synthesis for FT diesel production: without steam or electricity co-generation
34.4%	Biomass gasification: with steam or electricity co-generation (excluding energy in steam or electricity)
100.0%	Syn gas synthesis for FT diesel production: with steam or electricity co-generation (excluding energy in steam or electricity)
50.0%	Net steam export credit: Bu of steam per mmBu of FT diesel produced
198.40	Net electricity export credit: kWh per mmBu of FT diesel produced

11.10) Coal to FT Diesel Production Efficiencies

50.0%	Coal/Biomass gasification: without steam or electricity co-generation
100.0%	Syn gas synthesis for FT diesel production: without steam or electricity co-generation
47.4%	Coal gasification: with steam or electricity co-generation (excluding energy in steam or electricity)
100.0%	Syn gas synthesis for FT diesel production: with steam or electricity co-generation (excluding energy in steam or electricity)
50.0%	Net steam export credit: Bu of steam per mmBu of FT diesel produced
18.34	Net electricity export credit: kWh per mmBu of FT diesel produced

11.11) Coal/Biomass Co-feeding to FT Diesel Production Efficiencies

50.0%	Coal gasification: without steam or electricity co-generation
100.0%	Biomass gasification: without steam or electricity co-generation
50.0%	Coal/Biomass Production Efficiency: without steam or electricity co-generation
100.0%	Syn gas synthesis for FT diesel production: without steam or electricity co-generation
40.0%	Coal gasification: with steam or electricity co-generation (excluding energy in steam or electricity)
40.0%	Biomass gasification: with steam or electricity co-generation (excluding energy in steam or electricity)
40.0%	Coal/Biomass Production Efficiency: with steam or electricity co-generation (excluding energy in steam or electricity)
50.0%	Net steam export credit: Bu of steam per mmBu of FT diesel produced
18.34	Net electricity export credit: kWh per mmBu of FT diesel produced

11.112) NG to Fischer-Tropsch Naphttha Production Efficiencies

NA NG feedstock	63.0%	No steam or electricity export
	55.0%	With steam or electricity export (excluding energy in co-products)
NNA NG feedstock	202,000	Net steam export credit: Btu of steam per mmBtu of FT naphtha produced
	17.76	Net electricity export credit: kWh per mmBtu of FT naphtha produced
NNA FG feedstock	63.0%	No steam or electricity export
	55.0%	With steam or electricity export (excluding energy in co-products)
	202,000	Net steam export credit: Btu of steam per mmBtu of FT naphtha produced
	17.76	Net electricity export credit: kWh per mmBtu of FT naphtha produced

11.113) NG to Fischer-Tropsch Carbon Conversion Efficiencies

	FT Diesel	FT Naphttha
NA NG feedstock	80.0%	80.0%
NNA NG feedstock	80.0%	80.0%
NNA FG feedstock	80.0%	80.0%

11.114) NG to Dimethyl Ether Production Efficiencies

NA NG feedstock	70.0%	No steam or electricity export
	68.0%	With steam or electricity export (excluding energy in co-products)
NNA NG feedstock	44,000	Net steam export credit: Btu of steam per mmBtu of DME produced
	3.87	Net electricity export credit: kWh per mmBtu of DME produced
NNA FG feedstock	70.0%	No steam or electricity export
	68.0%	With steam or electricity export (excluding energy in co-products)
	44,000	Net steam export credit: Btu of steam per mmBtu of DME produced
	3.87	Net electricity export credit: kWh per mmBtu of DME produced

11.115) Biomass to Dimethyl Ether Production Efficiencies

	54.9%	Biomass gasification: without steam or electricity co-generation
	50.0%	Syngas synthesis for DME production: without steam or electricity co-generation
	24.5%	Biomass gasification: with steam or electricity co-generation (excluding energy in steam or electricity)
	19.0%	Syngas synthesis for DME production: with steam or electricity co-generation (excluding energy in steam or electricity)
	2,473,200	Net steam export credit: Btu of steam per mmBtu of DME produced
	363.20	Net electricity export credit: kWh per mmBtu of DME produced

11.116) Coal to Dimethyl Ether Production Efficiencies

	50.0%	Coal gasification: without steam or electricity co-generation
	50.0%	Syngas synthesis for DME production: without steam or electricity co-generation
	24.5%	Coal gasification: with steam or electricity co-generation (excluding energy in steam or electricity)
	19.0%	Syngas synthesis for DME production: with steam or electricity co-generation (excluding energy in steam or electricity)
	2,473,200	Net steam export credit: Btu of steam per mmBtu of DME produced
	363.20	Net electricity export credit: kWh per mmBtu of DME produced

## 11.17) Energy Use for Carbon Capture in Liquid Fuel Plants: kWh per ton of C captured

300,000	MtOH Plants
300,000	DME Plants
300,000	FTD Plants

## 11.18) Hydrogen Production Efficiencies

11.18.a) Central Plant H<sub>2</sub> Production Efficiencies

	Gaseous H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> Production for L-H <sub>2</sub>
N/A NG feedstock	71.5%	Without steam or electricity export
	69.5%	With steam or electricity export (excluding energy in co-products)
	145,000	With steam or electricity export: net steam export credit: Btu of steam per mmBtu of H <sub>2</sub> produced
	12.75	With steam or electricity export: net electricity export credit: kWh per mmBtu of H <sub>2</sub> produced
NNA NG feedstock	71.5%	Without steam or electricity export
	69.5%	With steam or electricity export (excluding energy in co-products)
	145,000	With steam or electricity export: net steam export credit: Btu of steam per mmBtu of H <sub>2</sub> produced
	12.75	With steam or electricity export: net electricity export credit: kWh per mmBtu of H <sub>2</sub> produced
NNA FG feedstock	71.5%	Without steam or electricity export
	69.5%	With steam or electricity export (excluding energy in co-products)
	145,000	With steam or electricity export: net steam export credit: Btu of steam per mmBtu of H <sub>2</sub> produced
	12.75	With steam or electricity export: net electricity export credit: kWh per mmBtu of H <sub>2</sub> produced
Coal feedstock	61.0%	Gasification in central plants: without steam or electricity co-generation
	53.3%	Synthesis process for H <sub>2</sub> production in central plants: without steam or electricity co-generation
	53.3%	Gasification for H <sub>2</sub> production in central plants: with steam or electricity co-generation (without accounting Btu in steam or electricity)
	53.3%	Synthesis process for H <sub>2</sub> production in central plants: with steam or electricity co-generation (without accounting Btu in steam or electricity)
	53.3%	Net Steam export credit: Btu of steam per mmBtu of H <sub>2</sub> produced
	48.90	Net electricity export credit: kWh per mmBtu of H <sub>2</sub> produced
Biomass feedstock	51.0%	Gasification in central plants: without steam or electricity co-generation
	47.5%	Synthesis process for H <sub>2</sub> production in central plants: without steam or electricity co-generation
	47.5%	Gasification for H <sub>2</sub> production in central plants: with steam or electricity co-generation (without accounting Btu in steam or electricity)
	47.5%	Synthesis process for H <sub>2</sub> production in central plants: with steam or electricity co-generation (without accounting Btu in steam or electricity)
	34.20	Net Steam export credit: Btu of steam per mmBtu of H <sub>2</sub> produced
	34.20	Net electricity export credit: kWh per mmBtu of H <sub>2</sub> produced
Coke Oven Gas feedstock	76.1%	Scenario 1: COG is treated as a co-product
	91.9%	Scenario 2: COG is treated as a byproduct
	91.9%	Scenario 3: Supplemental NG and electricity use to makeup for BTU withdrawal from separated H <sub>2</sub> for the whole system
Pet Coke feedstock	63.0%	Gasification in central plants: without steam or electricity co-generation
	53.3%	Synthesis process for H <sub>2</sub> production in central plants: without steam or electricity co-generation
	53.3%	Gasification for H <sub>2</sub> production in central plants: with steam or electricity co-generation (without accounting Btu in steam or electricity)
	53.3%	Synthesis process for H <sub>2</sub> production in central plants: with steam or electricity co-generation (without accounting Btu in steam or electricity)
	53.3%	Net Steam export credit: Btu of steam per mmBtu of H <sub>2</sub> produced
	48.90	Net electricity export credit: kWh per mmBtu of H <sub>2</sub> produced
Nuclear energy	80.0%	Electrolysis using electricity from HTGR

11.18.b) Energy Use for Carbon Capture in H<sub>2</sub> Central Plants: kWh per ton of C captured

	Gaseous H <sub>2</sub>	Liquid H <sub>2</sub>
	300.0	Plants with NG feedstock
	300.0	Plants with coal feedstock
	300.0	Plants with biomass feedstock
	220.0	Plants with pet coke feedstock

11.18.c) H<sub>2</sub> Liquefaction Efficiencies in Central H<sub>2</sub> Plants

71.0%	N/A NG feedstock
71.0%	NNA NG feedstock
71.0%	NNA FG feedstock
71.0%	Solar energy via solar photovoltaics
71.0%	Nuclear energy via thermo-chemical cracking of water
71.0%	Nuclear electrolysis (HTGR)
71.0%	Coal feedstock
71.0%	Biomass feedstock
71.0%	Coke oven gas feedstock

11.18.d) Refueling Station H2 Production and Liquefaction Efficiencies

Gaseous H2		H2 Production for L.H2	H2 Liquefaction
70.0%		70.0%	68.0%
70.0%		70.0%	NNA NG feedstock
70.0%		70.0%	NNA NG feedstock
71.5%		71.5%	NNA FG feedstock
67.5%		67.5%	Electrolysis at refueling stations
72.9%		72.9%	EIOH feedstock
			MeOH feedstock

11.18.e) G.H2 Compression Efficiencies at Refueling Stations

NG Compressor		Electric Compressor
85.5%		93.9%
83.8%		G-H2 pipelined from central plants to stations
85.5%		G-H2 distributed in tube-trailers to stations
		93.9%
85.5%		G-H2 produced at stations
		93.9%
		G-H2 produced at stations via electrolysis

12. Fuel Economy and Emission Rates of Baseline Vehicles: gasoline-equivalent MPG and grams/mile emissions

Gasoline Car		Gasoline LDT1	Gasoline LDT2	Diesel Car		Diesel LDT1	Diesel LDT2
Gasoline Equivalent MPG	23.40	17.30	14.70	28.1		20.8	17.6
Exhaust VOC	0.1220	0.144	0.211	0.0680		0.130	0.175
Evaporative VOC	0.0580	0.069	0.080	0.0000		0.000	0.000
CO	3.7450	3.916	4.280	0.5390		0.412	0.285
NOx	0.1410	0.229	0.442	0.1410		0.291	0.442
Exhaust PM10	0.0081	0.012	0.015	0.0090		0.014	0.019
Brake and Tire Wear PM10	0.0205	0.021	0.021	0.0205		0.021	0.021
Exhaust PM2.5	0.0075	0.0112	0.0140	0.0084		0.0129	0.018
Brake and Tire Wear PM2.5	0.0073	0.0073	0.0073	0.0073		0.0073	0.007
CH4	0.0146	0.016	0.025	0.0026		0.003	0.003
N2O	0.0120	0.012	0.012	0.0120		0.012	0.012
							0.000

**Time-Series Tables for Emission Factors of Fuel Combustions (emission factors are in grams/mmBtu of fuel burned)**  
 (Note: blank cells for SOx emissions for certain technologies mean that SOx emissions for these technologies are calculated with sulfur content in fuels)  
**YEAR 2010**

**NG: Utility/Industrial Boiler**

	1.557	16.419	57.607	3.206	3.206		1.100	1.100	Fixed (original for 2010)
	1.557	16.419	57.607	3.206	3.206		1.100	1.100	Interpolated Default or user input
	1.557	16.419	57.607	3.206	3.206	0.000	1.100	1.100	
5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O	
1990	2.700	41.100	85.000	3.700	3.700		1.100	1.100	
1995	2.700	41.100	85.000	3.700	3.700		1.100	1.100	
2000	2.700	41.100	80.000	3.700	3.700		1.100	1.100	
2005	2.129	28.760	71.034	3.453	3.453		1.100	1.100	
2010	1.557	16.419	57.607	3.206	3.206		1.100	1.100	
2015	1.557	16.419	52.000	3.206	3.206		1.100	1.100	
2020	1.557	16.419	50.000	3.206	3.206		1.100	1.100	

**NG: Small Industrial Boiler**

	2.417	28.822	30.000	2.960	2.960		1.100	1.100	Fixed (original for 2010)
	2.417	28.822	30.000	2.960	2.960		1.100	1.100	Interpolated Default or user input
	2.417	28.822	30.000	2.960	2.960	0.000	1.100	1.100	
5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O	
1990	2.700	41.100	46.000	3.700	3.700		1.100	1.100	
1995	2.700	41.100	45.000	3.700	3.700		1.100	1.100	
2000	2.700	41.100	43.000	3.700	3.700		1.100	1.100	
2005	2.559	34.961	36.000	3.330	3.330		1.100	1.100	
2010	2.417	28.822	30.000	2.960	2.960		1.100	1.100	
2015	2.417	28.822	25.000	2.960	2.960		1.100	1.100	
2020	2.417	28.822	23.000	2.960	2.960		1.100	1.100	

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O
1990	1,000	29,000	150,000	3,100	3,100		4,260	1,500
1995	1,000	29,000	145,000	3,100	3,100		4,260	1,500
2000	1,000	29,000	140,000	3,100	3,100		4,260	1,500
2005	1,000	26,500	130,000	3,100	3,100		4,260	1,500
2010	1,000	24,000	113,000	3,100	3,100		4,260	1,500
2015	1,000	24,000	105,000	3,100	3,100		4,260	1,500
2020	1,000	24,000	100,000	3,100	3,100		4,260	1,500

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O
1990	1,000	24,000	113,000	3,100	3,100			1,500
1995	1,000	24,000	113,000	3,100	3,100			1,500
2000	1,000	24,000	113,000	3,100	3,100			1,500
2005	1,000	26,500	130,000	3,100	3,100		4,260	1,500
2010	1,000	24,000	113,000	3,100	3,100		4,260	1,500
2015	1,000	24,000	105,000	3,100	3,100		4,260	1,500
2020	1,000	24,000	100,000	3,100	3,100		4,260	1,500

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O
1990	5.000	29.000	18.000	2.000	2.000		4.260	1.500
1995	5.000	29.000	17.500	2.000	2.000		4.260	1.500
2000	5.000	29.000	17.000	2.000	2.000		4.260	1.500
2005	4.215	26.500	16.500	2.000	2.000		4.260	1.500
2010	3.429	24.000	16.000	2.000	2.000		4.260	1.500
2015	3.429	24.000	15.500	2.000	2.000		4.260	1.500
2020	3.429	24.000	15.000	2.000	2.000		4.260	1.500

**NG: Stationary Reciprocating Engine**

41.120	342.445	1200.000	5.530	5.530	368.940	
41.120	342.445	1200.000	5.530	5.530	368.940	1.500
41.120	342.445	1200.000	5.530	5.530	0.000	368.940

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O
1990	52.000	1006.365	2000.000	7.330	7.330		368.940	1.500
1995	52.000	1006.365	1900.000	7.330	7.330		368.940	1.500
2000	52.000	1006.365	1800.000	7.330	7.330		368.940	1.500
2005	46.560	674.405	1500.000	6.430	6.430		368.940	1.500
2010	41.120	342.445	1200.000	5.530	5.530		368.940	1.500
2015	41.120	342.445	1050.000	5.530	5.530		368.940	1.500
2020	41.120	342.445	1000.000	5.530	5.530		368.940	1.500

**NG Flared in Oil Field**

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

2.500	26.000	48.900	3.700	3.700	49.000	1.100		
2.500	26.000	48.900	3.700	3.700	0.000	49.000		
5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O
1990	2.500	26.000	48.900	3.700	3.700		49.000	1.100
1995	2.500	26.000	48.900	3.700	3.700		49.000	1.100
2000	2.500	26.000	48.900	3.700	3.700		49.000	1.100
2005	2.500	26.000	48.900	3.700	3.700		49.000	1.100
2010	2.500	26.000	48.900	3.700	3.700		49.000	1.100
2015	2.500	26.000	48.900	3.700	3.700		49.000	1.100
2020	2.500	26.000	48.900	3.700	3.700		49.000	1.100

**Residual Oil: Utility Boiler**

2.023	15.764	85.000	16.000	16.000	202.580	
2.023	15.764	85.000	16.000	16.000	202.580	0.360
2.023	15.764	85.000	16.000	12.000	202.580	0.910

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O
1990	2.460	16.200	120.000	114.000	85.500	242.000	0.910	0.360
1995	2.460	16.200	118.000	60.000	45.000	242.000	0.910	0.360
2000	2.460	16.200	115.000	30.000	22.500	242.000	0.910	0.360
2005	2.242	15.982	100.000	22.000	16.500	222.290	0.910	0.360
2010	2.023	15.764	85.000	16.000	12.000	202.580	0.910	0.360
2015	2.023	15.764	78.000	12.000	9.000	202.580	0.910	0.360
2020	2.023	15.764	75.000	10.000	7.500	202.580	0.910	0.360



### Residual Oil: Industrial Boiler

0.907	15.764	125.000	44.400	44.400	202.580		
0.907	15.764	125.000	44.400	44.400	202.580	3.240	0.360
0.907	15.764	125.000	44.400	28.860	202.580	3.240	0.360

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O
1990	0.907	16.200	180.000	136.800	88.920	242.000	3.240	0.360
1995	0.907	16.200	175.000	90.000	58.500	242.000	3.240	0.360
2000	0.907	16.200	170.000	60.000	39.000	242.000	3.240	0.360
2005	0.907	15.982	150.000	50.000	32.500	222.290	3.240	0.360
2010	0.907	15.764	125.000	44.400	28.860	202.580	3.240	0.360
2015	0.907	15.764	115.000	35.000	22.750	202.580	3.240	0.360
2020	0.907	15.764	110.000	30.000	19.500	202.580	3.240	0.360

### Residual Oil: Commercial Boiler

0.907	15.764	125.000	60.000	60.000	202.580		
0.907	15.764	125.000	60.000	60.000	202.580	1.538	0.357
0.907	15.764	125.000	60.000	39.000	202.580	1.538	0.357

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O
1990	0.907	16.200	180.000	102.600	66.690	242.000	1.538	0.357
1995	0.907	16.200	175.000	100.000	65.000	242.000	1.538	0.357
2000	0.907	16.200	170.000	90.000	58.500	242.000	1.538	0.357
2005	0.907	15.982	150.000	70.000	45.500	222.290	1.538	0.357
2010	0.907	15.764	125.000	60.000	39.000	202.580	1.538	0.357
2015	0.907	15.764	115.000	55.000	35.750	202.580	1.538	0.357
2020	0.907	15.764	110.000	50.000	32.500	202.580	1.538	0.357

### Bunker Fuel: Ocean Tanker

93.485	430.006	2480.468	73.450	55.088	1497.030	4.581	2.000
93.485	430.006	2480.468	73.450	55.088	1497.030	4.581	2.000

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O
1990	92.618	402.626	2750.292	86.848	65.136	1497.030	4.581	2.000
1995	92.618	402.626	2750.292	86.848	65.136	1497.030	4.581	2.000
2000	92.907	411.753	2660.351	86.848	65.136	1497.030	4.581	2.000
2005	93.196	420.880	2570.410	86.848	65.136	1497.030	4.581	2.000
2010	93.485	430.006	2480.468	73.450	55.088	1497.030	4.581	2.000
2015	93.774	439.133	2390.527	66.361	49.771	1497.030	4.581	2.000
2020	94.063	448.260	2300.586	62.360	46.770	1497.030	4.581	2.000

Crude: Industrial Boiler

	0.820	23.740	181.600	29.712	19.313	395.465	0.360	2.000
	0.820	23.740	181.600	29.712	19.313	395.465	0.360	2.000
5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O
1990	0.820	23.740	181.600	29.712	19.313	395.465	0.360	2.000
1995	0.820	23.740	181.600	29.712	19.313	395.465	0.360	2.000
2000	0.820	23.740	181.600	29.712	19.313	395.465	0.360	2.000
2005	0.820	23.740	181.600	29.712	19.313	395.465	0.360	2.000
2010	0.820	23.740	181.600	29.712	19.313	395.465	0.360	2.000
2015	0.820	23.740	181.600	29.712	19.313	395.465	0.360	2.000
2020	0.820	23.740	181.600	29.712	19.313	395.465	0.360	2.000

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

Diesel Fuel: Industrial Boiler

	1.173	16.686	82.225	42.530	42.530		0.180	0.390
	1.173	16.686	82.225	42.530	42.530		0.180	0.390
	1.173	16.686	82.225	42.530	38.000	0.000	0.180	0.390
5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O
1990	1.400	17.700	84.700	50.000	38.000		0.180	0.390
1995	1.400	17.700	84.700	50.000	38.000		0.180	0.390
2000	1.400	17.700	84.700	50.000	38.000		0.180	0.390
2005	1.287	17.193	83.463	46.265	38.000		0.180	0.390
2010	1.173	16.686	82.225	42.530	38.000		0.180	0.390
2015	1.173	16.686	82.225	42.530	38.000		0.180	0.390
2020	1.173	16.686	82.225	42.530	38.000		0.180	0.390

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

Diesel Fuel: Commercial Boiler

	1.173	16.686	82.225	42.530	42.530		0.760	0.390
	1.173	16.686	82.225	42.530	42.530		0.760	0.390
	1.173	16.686	82.225	42.530	38.000	0.000	0.760	0.390
5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5		CH4	N2O
1990	1.400	17.700	84.700	50.000	38.000		0.760	0.390
1995	1.400	17.700	84.700	50.000	38.000		0.760	0.390
2000	1.400	17.700	84.700	50.000	38.000		0.760	0.390
2005	1.287	17.193	83.463	46.265	38.000		0.760	0.390
2010	1.173	16.686	82.225	42.530	38.000		0.760	0.390
2015	1.173	16.686	82.225	42.530	38.000		0.760	0.390
2020	1.173	16.686	82.225	42.530	38.000		0.760	0.390

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

# Diesel Fuel: Turbine

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

	1.335	8.714	131.660	16.989	13.600	0.844	2.000
	1.335	8.714	131.660	16.989	13.600	0.844	2.000
5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	CH4	N2O
1990	1.335	8.714	131.660	16.989	13.600	0.844	2.000
1995	1.335	8.714	131.660	16.989	13.600	0.844	2.000
2000	1.335	8.714	131.660	16.989	13.600	0.844	2.000
2005	1.335	8.714	131.660	16.989	13.600	0.844	2.000
2010	1.335	8.714	131.660	16.989	13.600	0.844	2.000
2015	1.335	8.714	131.660	16.989	13.600	0.844	2.000
2020	1.335	8.714	131.660	16.989	13.600	0.844	2.000

# Diesel Fuel: Stationary Reciprocating Engine

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

	70.440	360.996	681.575	61.862	61.862	3.940	2.000
	70.440	360.996	681.575	61.862	61.862	3.940	2.000
5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	CH4	N2O
1990	171.274	778.653	1212.955	149.032	134.129	3.940	2.000
1995	171.274	778.653	1212.955	149.032	134.129	3.940	2.000
2000	137.503	630.469	1066.495	121.110	108.999	3.940	2.000
2005	98.570	459.573	883.866	89.570	80.613	3.940	2.000
2010	70.440	360.996	681.575	61.862	55.676	3.940	2.000
2015	47.666	229.412	462.719	39.468	35.521	3.940	2.000
2020	34.869	136.007	297.596	22.674	20.407	3.940	2.000

# Diesel: Locomotive

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

	73.948	213.328	1517.110	35.940	32.346	8.038	3.940	2.000
	73.948	213.328	1517.110	35.940	32.346	8.038	3.940	2.000
5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O
1990	87.721	213.326	2154.273	52.945	47.651	112.577	3.940	2.000
1995	87.721	213.326	2154.273	52.945	47.651	112.577	3.940	2.000
2000	83.130	213.327	1941.885	52.945	47.651	112.577	3.940	2.000
2005	78.539	213.327	1729.497	51.386	46.247	112.577	3.940	2.000
2010	73.948	213.328	1517.110	35.940	32.346	8.038	3.940	2.000
2015	69.357	213.328	1304.722	32.264	29.038	0.542	3.940	2.000
2020	64.766	213.329	1092.334	29.145	26.231	0.542	3.940	2.000

### Diesel Fuel: Farming Tractor

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O
1990	69.245	363.200	684.961	62.318	55.676	0.000	0.630	0.920
1995	69.245	363.200	684.961	62.318	55.676	0.000	0.630	0.920
2000	171.274	778.653	1212.955	149.032	134.129		0.630	0.920
2005	171.274	778.653	1212.955	149.032	134.129		0.630	0.920
2010	137.503	630.469	1066.495	121.110	108.999		0.630	0.920
2015	98.570	459.573	883.866	89.570	80.613		0.630	0.920
2020	69.245	363.200	684.961	62.318	55.676		0.630	0.920
2015	47.666	229.412	462.719	39.468	35.521		0.630	0.920
2020	34.869	136.007	297.596	22.674	20.407		0.630	0.920

### Gasoline: Stationary Reciprocating Engine

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O
1990	105.660	541.494	477.103	24.745	24.745		5.193	2.400
1995	105.660	541.494	477.103	24.745	24.745		5.193	2.400
2000	103.868	544.800	479.473	24.927	22.933	0.000	5.193	2.400
2005	256.911	1167.980	849.069	59.613	54.844		12.846	2.400
1995	256.911	1167.980	849.069	59.613	54.844		12.846	2.400
2000	206.255	945.704	746.547	48.444	44.568		10.313	2.400
2005	147.855	689.360	618.706	35.828	32.962		7.393	2.400
2010	103.868	544.800	479.473	24.927	22.933		5.193	2.400
2015	71.499	344.118	323.903	15.787	14.524		3.575	2.400
2020	52.304	204.011	208.317	9.070	8.344		2.615	2.400

### Gasoline: Farming Tractor

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O
1990	103.868	544.800	479.473	24.927	22.933	0.000	5.193	1.104
1995	103.868	544.800	479.473	24.927	22.933	0.000	5.193	1.104
2000	256.911	1167.980	849.069	59.613	54.844		12.846	1.104
1995	256.911	1167.980	849.069	59.613	54.844		12.846	1.104
2000	206.255	945.704	746.547	48.444	44.568		10.313	1.104
2005	147.855	689.360	618.706	35.828	32.962		7.393	1.104
2010	103.868	544.800	479.473	24.927	22.933		5.193	1.104
2015	71.499	344.118	323.903	15.787	14.524		3.575	1.104
2020	52.304	204.011	208.317	9.070	8.344		2.615	1.104

**LPG: Industrial Boiler**

71.619  
Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

	1.890	18.400	71.619	3.243	3.243	0.000	1.080	4.860
5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O
1990	1.890	18.400	71.619	3.243	3.243		1.080	4.860
1995	1.890	18.400	71.619	3.243	3.243		1.080	4.860
2000	1.890	18.400	71.619	3.243	3.243		1.080	4.860
2005	1.890	18.400	71.619	3.243	3.243		1.080	4.860
2010	1.890	18.400	71.619	3.243	3.243		1.080	4.860
2015	1.890	18.400	71.619	3.243	3.243		1.080	4.860
2020	1.890	18.400	71.619	3.243	3.243		1.080	4.860

**LPG: Commercial Boiler**

84.619  
Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

	1.890	10.800	84.619	2.430	2.430	0.000	1.080	4.860
5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O
1990	1.890	10.800	84.619	2.430	2.430		1.080	4.860
1995	1.890	10.800	84.619	2.430	2.430		1.080	4.860
2000	1.890	10.800	84.619	2.430	2.430		1.080	4.860
2005	1.890	10.800	84.619	2.430	2.430		1.080	4.860
2010	1.890	10.800	84.619	2.430	2.430		1.080	4.860
2015	1.890	10.800	84.619	2.430	2.430		1.080	4.860
2020	1.890	10.800	84.619	2.430	2.430		1.080	4.860

**Coal: Utility Boiler**

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

	1.140	100.000	105.700	10.000	5.000	228.650	1.200	1.060
5-year period	VOC	CO	NOx	PM10	PM2.5	SOx	CH4	N2O
1990	1.140	100.000	211.400	12.661	6.331	600.230	1.200	1.060
1995	1.140	100.000	211.400	12.000	6.000	600.230	1.200	1.060
2000	1.140	100.000	211.400	11.500	5.750	600.230	1.200	1.060
2005	1.140	100.000	158.550	11.000	5.500	414.440	1.200	1.060
2010	1.140	100.000	105.700	10.000	5.000	228.650	1.200	1.060
2015	1.140	100.000	105.700	9.000	4.500	228.650	1.200	1.060
2020	1.140	100.000	105.700	8.000	4.000	228.650	1.200	1.060

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

## Emission Factors of Fuel Combustion: in grams per mmBtu of fuel burned, except as noted (based on lower heating values of fuels)

## 1) Emission Factors of Fuel Combustion for Stationary Applications (grams per mmBtu of fuel burned)

	Natural Gas						Residual Oil			Diesel Fuel			
	Utility/Industrial Boiler (>100 mmBtu/hr input)	Small Industrial Boiler (10-100 mmBtu/hr input)	Large Gas Turbine	CC Gas Turbine	Small Turbine	Stationary Reciprocating Engine	NG Flaring in Oil Field	Utility Boiler	Industrial Boiler	Commercial Boiler	Stationary Reciprocating Engine	Turbine	Farming Tractor
VOC	1.557	2.417	1.000	3.429	1.000	41.120	2.500	2.023	0.907	1.173	70.440	1.335	69.245
CO	16.419	28.822	24.000	24.000	24.000	342.445	26.000	15.764	15.764	16.686	360.996	8.714	363.200
NOx	57.607	30.000	113.000	16.000	113.000	1200.000	48.900	85.000	125.000	82.225	681.575	131.680	694.961
PM10	3.206	2.960	3.100	2.000	3.100	5.530	3.700	16.000	44.400	60.000	61.862	16.989	62.318
PM2.5	3.206	2.960	3.100	2.000	3.100	5.530	3.700	12.000	28.860	39.000	55.676	13.600	55.676
SOx	0.269	0.269	0.269	0.269	0.269	0.269	0.269	202.580	202.580	8.038	8.038	8.038	8.038
CH4	1.100	1.100	4.260	4.260	4.260	368.940	49.000	0.910	3.240	0.180	3.940	0.844	0.630
N2O	1.100	1.100	1.500	1.500	1.500	1.500	1.100	0.360	0.360	0.390	2.000	2.000	0.920
CO2	59.379	59.357	59.360	59.353	59.360	57.732	59.229	85.048	85.045	78.167	77.401	78.179	77.411

	Gasoline		Crude	LPG		Coal		
	Stationary Reciprocating Engine	Farming Tractor		Industrial Boiler	Commercial Boiler	Utility Boiler	IGCC Turbine	Industrial Boiler
VOC	103.868	103.868	0.820	1.890	1.890	1.140	1.477	2.068
CO	544.800	544.800	23.740	18.400	10.800	100.000	12.309	76.185
NOx	479.473	479.473	181.600	71.619	84.619	105.700	44.068	155.249
PM10	24.927	24.927	29.712	3.243	2.430	10.000	6.524	100.000
PM2.5	22.933	22.933	19.313	3.243	2.430	5.000	3.262	50.000
SOx	1.238	1.238	395.465	0.000	0.000	228.650	44.068	200.000
CH4	5.193	5.193	0.360	1.080	1.080	1.200	5.098	4.000
N2O	2.400	1.104	2.000	4.860	4.860	1.060	5.098	1.000
CO2	75.645	75.645	77.264	68.024	68.036	108.337	108.463	108.363

2) Emission Factors of Fuel Combustion: Feedstock and Fuel Transportation From Product Origin to Product Destination (grams per mmBtu of fuel burned)  
2.1) Emission Ratios by Fuel Type Relative to Baseline Fuel

	Ocean Tanker: Bunker fuel as Baseline Fuel						Barge: Residual Oil as Baseline Fuel								
	Diesel	Natural Gas	LPG	DME	FTD	Hydrogen	Diesel	Natural Gas	LPG	DME	FTD	Biodiesel	Renewable Diesel	Renewable Gasoline	Hydrogen
VOC	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
CO	100%	50%	50%	100%	100%	0%	100%	50%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
NOx	100%	100%	100%	50%	100%	175%	100%	100%	100%	50%	100%	100%	100%	100%	175%
PM10	100%	10%	10%	70%	100%	0%	100%	10%	10%	70%	100%	100%	100%	100%	0%
PM2.5	100%	10%	10%	70%	100%	0%	100%	10%	10%	70%	100%	100%	100%	100%	0%
CH4	100%	2000%	100%	100%	100%	0%	100%	2000%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
N2O	100%	100%	100%	100%	100%	0%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%

	Locomotive: Diesel as Baseline Fuel									
	Natural Gas	LPG	DME	FTD	Biodiesel	Renewable Diesel	Renewable Gasoline	Hydrogen	Electricity	
VOC	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	
CO	50%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	
NOx	100%	100%	50%	100%	100%	100%	100%	75%	0%	
PM10	10%	10%	70%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	
PM2.5	10%	10%	70%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	
CH4	2000%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	
N2O	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	

	Heavy-Duty Truck: Diesel as Baseline Fuel									
	LNG	DME	FTD	E90	M90	LPG	Biodiesel	Renewable Diesel	Renewable Gasoline	Hydrogen
VOC	100%	100%	100%	140%	140%	100%	100%	100%	100%	0%
CO	50%	100%	100%	100%	100%	50%	100%	100%	100%	0%
NOx	100%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%
PM10	10%	70%	100%	10%	10%	10%	100%	100%	100%	0%
PM2.5	10%	70%	100%	10%	10%	10%	100%	100%	100%	0%
CH4	2000%	100%	100%	65%	65%	100%	100%	100%	100%	0%
N2O	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%



Pipeline: Diesel as Baseline Fuel									
			Residual Oil	LPg	DME	FTD	Biodiesel	Renewable Diesel	Renewable Gasoline
VOC	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
CO	100%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
NOx	100%	100%	50%	100%	100%	100%	100%	100%	75%
PM10	100%	10%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
PM2.5	100%	10%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
CH4	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
N2O	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

2.2) Emission Factors of Fuel Combustion: Feedstock and Fuel Transportation from Product Origin to Product Destination (grams per mmBtu of fuel burned)

Ocean Tanker					
			Bunker Fuel	Natural Gas	Hydrogen
VOC	93.485	93.485	93.485	93.485	0.000
CO	430.006	430.006	215.003	430.006	0.000
NOx	2480.468	2480.468	2480.468	1240.234	4340.8
PM10	73.450	73.450	7.345	51.415	0.000
PM2.5	55.088	55.088	5.509	38.561	0.000
SOx	1497.030	8.038	0.269	0.000	0.000
CH4	4.581	91.620	4.581	4.581	0.000
N2O	2.000	2.000	2.000	2.000	0.000
CO2	84.102	77.219	58.532	67.420	75.322

Barge									
			Residual Oil	Diesel	Natural Gas	LPg	DME	FTD	Hydrogen
VOC	38.861	38.861	38.861	38.861	38.861	38.861	38.861	38.861	0.000
CO	103.497	103.497	51.749	103.497	103.497	103.497	103.497	103.497	0.000
NOx	1049.627	1049.627	1049.627	524.814	1049.627	1049.627	1049.627	1049.627	1836.848
PM10	26.026	26.026	2.603	18.218	26.026	26.026	26.026	26.026	0.000
PM2.5	13.013	13.013	1.301	9.109	13.013	13.013	13.013	13.013	0.000
SOx	267.327	8.038	0.269	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CH4	1.904	38.083	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	1.904	0.000
N2O	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	0.000
CO2	84.792	77.910	59.106	67.854	76.012	79.704	76.326	74.863	0

	Locomotive											
	Natural Gas						Hydrogen					
	Diesel	LPG	DME	FTD	Biodiesel	Renewable Diesel	Renewable Gasoline	Hydrogen	Electricity	Class8B Diesel	Truck Emission Factors (g/ml.)	
VOC	73.948	73.948	73.948	73.948	73.948	73.948	73.948	0.000	0.000	0.865		
CO	213.328	106.664	213.328	213.328	213.328	213.328	213.328	0.000	0.000	4.591		
NOx	1517.110	1517.110	758.555	1517.110	1517.110	1517.110	1517.110	1137.832	0.000	9.433		
PM10	35.940	3.594	25.158	35.940	35.940	35.940	35.940	0.000	0.000	0.194		
PM2.5	32.346	3.235	22.642	32.346	32.346	32.346	32.346	0.000	0.000	0.178		
SOx	8.038	0.269	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014		
CH4	3.940	78.800	3.940	3.940	3.940	3.940	3.940	0.000	0.000	0.040		
N2O	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	0.000	0.000	0.051		
CO2	77.623	58.798	69.342	75.725	79.416	76.038	74.576	0	0	1.999		

Heavy Heavy-Duty Truck: grams per MMBtu											
VOC	33.671	33.671	47.139	47.139	47.139	33.671	33.671	33.671	33.671	0.000	
CO	178.708	89.354	178.708	178.708	178.708	178.708	178.708	178.708	178.708	0.000	
NOx	367.186	367.186	367.186	367.186	367.186	367.186	367.186	367.186	367.186	275.389	
PM10	7.540	0.754	7.540	0.754	0.754	0.754	7.540	7.540	7.540	0.000	
PM2.5	6.937	0.694	6.937	0.694	0.694	0.694	6.937	6.937	6.937	0.000	
SOx	0.549	0.000	0.000	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
CH4	1.557	31.141	1.557	1.012	1.012	1.557	1.557	1.557	1.557	0.000	
N2O	2.001	2.001	2.001	2.001	2.001	2.001	2.001	2.001	2.001	0.000	
CO2	77.809	59.328	69.528	75.911	74.495	71.766	67.812	79.603	74.762	0	

	Medium Heavy-Duty Truck: grams per mmBtu											
	Class8 Diesel						Renewable					
	Truck Emission Factors (g/ml.)	Diesel	LPG	DME	FTD	Ethanol	Methanol	LPG	Biodiesel	Diesel	Renewable Gasoline	Hydrogen
VOC	0.565	32.110	32.110	32.110	32.110	44.954	44.954	32.110	32.110	32.110	32.110	0
CO	2.043	116.107	58.053	116.107	116.107	116.107	116.107	58.053	116.107	116.107	116.107	
NOx	5.216	296.433	296.433	148.216	296.433	296.433	296.433	296.433	296.433	296.433	296.433	
PM10	0.139	7.922	0.792	5.546	7.922	0.792	0.792	0.792	7.922	7.922	7.922	
PM2.5	0.128	7.289	0.729	5.102	7.289	0.729	0.729	0.729	7.289	7.289	7.289	
SOx	0.010	0.549	0.000	0.000	0.000	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
CH4	0.027	1.534	30.889	1.534	1.534	0.997	0.997	1.534	1.534	1.534	1.534	
N2O	0.051	2.898	2.898	2.898	2.898	2.898	2.898	2.898	2.898	2.898	2.898	
CO2	1.371	77.912	59.384	69.631	76.014	74.600	71.871	67.866	79.706	76.328	74.866	

	Pipeline Turbine										
	NG	Diesel	Electricity	Residual Oil	LPG	DME	FTD	Biodiesel	Renewable Diesel	Renewable Gasoline	Hydrogen
VOC	0.908	1.335	0.000	1.335	1.335	1.335	1.335	1.335	1.335	1.335	0.000
CO	77.180	8.714	0.000	8.714	4.357	8.714	8.714	8.714	8.714	8.714	0.000
NOx	154.360	131.660	0.000	131.660	65.830	131.660	131.660	131.660	131.660	131.660	98.745
PM10	11.607	16.989	0.000	16.989	1.699	11.892	16.989	16.989	16.989	16.989	0.000
PM2.5	11.607	13.591	0.000	13.591	1.359	9.514	13.591	13.591	13.591	13.591	0.000
SOx	0.269	8.038	0.000	267.327	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CH4	23.154	0.844	0.000	0.844	0.844	0.844	0.844	0.844	0.844	0.844	0.000
N2O	2.000	2.000	0.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	0.000
CO2	59.225	78.179	0	85.061	68.048	69.898	76.281	79.973	76.594	75.132	0

	Pipeline Reciprocating Engine: Current										
	NG	Diesel	Electricity	Residual Oil	LPG	DME	FTD	Biodiesel	Renewable Diesel	Renewable Gasoline	Hydrogen
VOC	230.400	40.860	0.000	40.860	40.860	40.860	40.860	40.860	40.860	40.860	0.000
CO	379.847	459.600	0.000	459.600	229.800	459.600	459.600	459.600	459.600	459.600	0.000
NOx	1074.467	2133.600	0.000	2133.600	1066.800	2133.600	2133.600	2133.600	2133.600	2133.600	1600.200
PM10	11.607	16.989	0.000	16.989	1.699	11.892	16.989	16.989	16.989	16.989	0.000
PM2.5	11.607	13.591	0.000	13.591	1.359	9.514	13.591	13.591	13.591	13.591	0.000
SOx	0.269	8.038	0.000	267.327	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CH4	328.393	4.540	0.000	4.540	4.540	4.540	4.540	4.540	4.540	4.540	0.000
N2O	2.000	2.000	0.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	0.000
CO2	57.195	77.337	0	84.219	67.561	69.056	75.439	79.131	75.752	74.290	0

	Pipeline Reciprocating Engine: Future										
	NG	Diesel	Electricity	Residual Oil	LPG	DME	FTD	Biodiesel	Renewable Diesel	Renewable Gasoline	Hydrogen
VOC	61.290	40.860	0.000	40.860	40.860	40.860	40.860	40.860	40.860	40.860	0.000
CO	331.420	459.600	0.000	459.600	229.800	459.600	459.600	459.600	459.600	459.600	0.000
NOx	871.680	2133.600	0.000	2133.600	1066.800	2133.600	2133.600	2133.600	2133.600	2133.600	1600.200
PM10	11.607	16.989	0.000	16.989	1.699	11.892	16.989	16.989	16.989	16.989	0.000
PM2.5	11.607	13.591	0.000	13.591	1.359	9.514	13.591	13.591	13.591	13.591	0.000
SOx	0.269	8.038	0.000	267.327	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CH4	289.047	4.540	0.000	4.540	4.540	4.540	4.540	4.540	4.540	4.540	0.000
N2O	2.000	2.000	0.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	0.000
CO2	57.906	77.337	0	84.219	67.561	69.056	75.439	79.131	75.752	74.290	0

2.3) Emission Factors of Fuel Combustion for Feedstock and Fuel Transportation: Trip from Product Destination Back to Product Origin (grams per mmBtu of fuel burned)

Barge														
	Residual Oil	Diesel	Natural Gas	LPg	DME	FTD	Biodiesel	Renewable Diesel	Renewable Gasoline	Gasoline	Hydrogen			
VOC	43.127	43.127	43.127	43.127	43.127	43.127	43.127	43.127	43.127	43.127	0.000			
CO	135.779	135.779	67.890	67.890	135.779	135.779	135.779	135.779	135.779	135.779	0.000			
NOx	1041.749	1041.749	1041.749	1041.749	520.875	1041.749	1041.749	1041.749	1041.749	1041.749	1823.062			
PM10	26.040	26.040	2.604	2.604	18.228	26.040	26.040	26.040	26.040	26.040	0.000			
PM2.5	13.020	13.020	1.302	1.302	9.114	13.020	13.020	13.020	13.020	13.020	0.000			
SOx	267.327	8.038	0.269	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000			
CH4	2.113	2.113	42.265	2.113	2.113	2.113	2.113	2.113	2.113	2.113	0.000			
N2O	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	0.000			
CO2	84.728	77.845	59.055	67.815	69.564	75.948	79.639	76.261	74.799	74.799	0			

Ocean Tanker														
	Bunker Fuel	Diesel	Natural Gas	LPg	DME	FTD	Hydrogen							
VOC	93.485	93.485	93.485	93.485	93.485	93.485	0.000							
CO	430.006	430.006	215.003	430.006	430.006	430.006	0.000							
NOx	2480.468	2480.468	2480.468	1240.234	2480.468	2480.468	4340.8							
PM10	73.450	73.450	7.345	7.345	51.415	73.450	0.000							
PM2.5	55.088	55.088	5.509	5.509	38.561	55.088	0.000							
SOx	1497.030	8.038	0.269	0.000	0.000	0.000	0.000							
CH4	4.581	4.581	91.620	4.581	4.581	4.581	0.000							
N2O	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	0.000							
CO2	84.102	77.219	58.532	67.420	66.938	75.322	0							

Locomotive														
	Diesel	Natural Gas	LPg	DME	FTD	Biodiesel	Renewable Diesel	Renewable Gasoline	Gasoline	Hydrogen	Electricity			
VOC	73.948	73.948	73.948	73.948	73.948	73.948	73.948	73.948	73.948	0.000	0.000			
CO	213.328	106.664	106.664	213.328	213.328	213.328	213.328	213.328	213.328	0.000	0.000			
NOx	1517.110	1517.110	1517.110	758.555	1517.110	1517.110	1517.110	1517.110	1517.110	1137.832	0.000			
PM10	35.940	3.594	3.594	25.158	35.940	35.940	35.940	35.940	35.940	0.000	0.000			
PM2.5	32.346	3.235	3.235	22.642	32.346	32.346	32.346	32.346	32.346	0.000	0.000			
SOx	8.038	0.269	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014			
CH4	3.940	78.800	3.940	3.940	3.940	3.940	3.940	3.940	3.940	0.000	0.033			
N2O	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	0.000	0.000			
CO2	77.623	58.798	67.653	69.342	75.725	79.416	76.038	74.576	74.576	0	0			

HDD Diesel Truck														
	Emission Factors (g/ml.)													
VOC	0.678													
CO	3.274													
NOx	13.726													
PM10	0.237													
PM2.5	0.218													
SOx	0.014													
CH4	0.033													
N2O	0.051													
CO2	2.002													

	Heavy Heavy-Duty Truck: grams per MMBtu											MHD Diesel Truck Emission Factors (g/ml.)
	Diesel	LNG	DME	FTD	Ethanol	Methanol	LPG	Biodiesel	Renewable Diesel	Renewable Gasoline	Hydrogen	
VOC	26.392	26.392	26.392	26.392	36.948	36.948	26.392	26.392	26.392	26.392	0.000	0.694
CO	127.443	63.721	127.443	127.443	127.443	127.443	63.721	127.443	127.443	127.443	0.000	2.025
NOx	534.293	534.293	267.147	534.293	534.293	534.293	534.293	534.293	534.293	534.293	400.720	10.046
PM10	9.225	0.923	6.458	9.225	0.923	0.923	0.923	9.225	9.225	9.225	0.000	0.194
PM2.5	8.487	0.849	5.941	8.487	0.849	0.849	0.849	8.487	8.487	8.487	0.000	0.178
SOx	9.862	0.000	0.000	0.000	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010
CH4	1.293	25.864	1.293	1.293	0.841	0.841	1.293	1.293	1.293	1.293	0.000	0.034
N2O	2.001	2.001	2.001	2.001	2.001	2.001	2.001	2.001	2.001	2.001	0.000	0.051
CO2	77.913	59.406	69.632	76.015	74.607	71.879	67.876	79.707	76.328	74.866	0	1.371

	MHD Diesel Truck Emission Factors (g/ml.)	Medium Heavy-Duty Truck: grams per mmBtu										
		Diesel	LNG	DME	FTD	Ethanol	Methanol	LPG	Biodiesel	Renewable Diesel	Renewable Gasoline	
VOC	0.694	39.441	39.441	39.441	39.441	55.217	55.217	39.441	39.441	39.441	39.441	
CO	2.025	115.084	57.542	115.084	115.084	115.084	115.084	57.542	115.084	115.084	115.084	
NOx	0.046	570.929	570.929	285.464	570.929	570.929	570.929	570.929	570.929	570.929	570.929	
PM10	0.194	11.025	1.103	7.718	11.025	1.103	1.103	1.103	11.025	11.025	11.025	
PM2.5	0.178	10.143	1.014	7.100	10.143	1.014	1.014	1.014	10.143	10.143	10.143	
SOx	0.010	9.862	0.000	0.000	0.000	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
CH4	0.034	1.933	38.652	1.933	1.933	1.256	1.256	1.933	1.933	1.933	1.933	
N2O	0.051	2.898	2.898	2.898	2.898	2.898	2.898	2.898	2.898	2.898	2.898	
CO2	1.371	77.890	59.340	69.609	75.992	74.569	71.840	67.843	79.684	76.305	74.843	

Specifications of Fuels, Global Warming Potentials of Greenhouse Gases, and Carbon and Sulfur Ratios of Pollutants  
1) Specifications of Fuels

Fuel	Heating Value		Density	C ratio (% by wt)	S ratio (ppm by wt)	S ratio Actual ratio by wt
	Calculation: LHV	LHV 1 -- LHV; 2 -- HHV				
Use LHV or HHV in calculations?	Btu/gal	Btu/gal	HHV Btu/gal			
Liquid Fuels:						
Crude oil	129,670	129,670	138,350	85.3%	16,000	0.016000
Conventional gasoline	116,090	116,090	124,340	86.3%	26	0.000026
Reformulated or low-sulfur gasoline	113,602	113,602	121,848	84.0%	26	0.000026
CA reformulated gasoline	113,927	113,927	122,174	84.3%	11	0.000011
U.S. conventional diesel	128,450	128,450	137,380	86.5%	200	0.000200
CA conventional diesel	128,450	128,450	137,380	86.5%	120	0.000120
Diesel for non-road engines	129,488	129,488	138,490	87.1%	163	0.000163
Low-sulfur diesel	116,920	116,920	125,080	85.0%	11	0.000011
Petroleum naphtha	111,520	111,520	119,740	84.2%	0	0.000000
NG-based FT naphtha	140,353	140,353	150,110	86.8%	5,000	0.005000
Residual oil	140,353	140,353	150,110	86.8%	28,000	0.028000
Bunker fuel for ocean tanker	57,250	57,250	65,200	37.5%	0	0.000000
Methanol	76,330	76,330	84,530	52.2%	#REF!	#REF!
Ethanol	99,837	99,837	108,458	64.9%	0	0.000000
Butanol	83,127	83,127	89,511	62.0%	0	0.000000
Acetone	116,090	116,090	124,340	86.3%	26	0.000026
E-Diesel Additives	84,950	84,950	91,410	82.0%	0	0.000000
Liquefied petroleum gas (LPG)	74,720	74,720	84,820	75.0%	0	0.000000
Liquefied natural gas (LNG)	68,930	68,930	75,610	52.2%	0	0.000000
Dimethyl ether (DME)	72,200	72,200	79,197	47.4%	0	0.000000
Dimethoxy methane (DMM)	119,550	119,550	127,960	77.6%	0	0.000000
Methyl ester (biodiesel, BD)	123,670	123,670	130,030	85.3%	0	0.000000
Fischer-Tropsch diesel (FTD)	117,059	117,059	125,294	87.1%	0	0.000000
Renewable Diesel I (SuperCetane)	122,887	122,887	130,817	87.1%	0	0.000000
Renewable Diesel II (UOP-HDO)	115,983	115,983	124,230	84.0%	0	0.000000
Renewable Gasoline	30,500	30,500	36,020	0.0%	0	0.000000
Liquid hydrogen	93,540	93,540	101,130	68.1%	0	0.000000
Methyl tertiary butyl ether (MTBE)	96,720	96,720	104,530	70.6%	0	0.000000
Ethyl tertiary butyl ether (ETBE)	100,480	100,480	108,570	70.6%	0	0.000000
Tertiary amyl methyl ether (TAME)	94,970	94,970	103,220	82.8%	0	0.000000
Butane	90,060	90,060	98,560	82.8%	0	0.000000
Isobutane	95,720	95,720	103,010	85.7%	0	0.000000
Isobutylene	84,250	84,250	91,420	81.8%	0	0.000000
Propane	83,686	83,686	90,050		0	0.000000
Natural gas liquids						

Still gas (in refineries)	128,590	128,590	142,860	0	0.000000
<b>Gaseous Fuels (at 32F and 1atm):</b>					
Natural gas	983	983	1,089	22.0	72.4%
Gaseous hydrogen	290	290	343	2.55	0.0%
Carbon Dioxide				55.98	27.3%
Still gas (in refineries)	1,458	1,458	1,584	32.8	
<b>Solid Fuels:</b>					
	<b>Btu/ton</b>	<b>Btu/ton</b>	<b>Btu/ton</b>		
Coal	19,546,300	19,546,300	20,608,570	11,100	0.011100
Bituminous coal	22,460,600	22,460,600	23,445,900	11,800	0.011800
Coking coal	24,600,497	24,600,497	25,679,670	11,800	0.011800
Farmed trees	16,811,000	16,811,000	17,703,170	0	0.000000
Herbaceous biomass	14,797,555	14,797,555	15,582,870	0	0.000000
Corn stover	14,075,990	14,075,990	14,974,460	0	0.000000
Forest residue	13,243,490	13,243,490	14,164,160	0	0.000000
Sugar cane straw					
Sugar cane bagasse	12,947,318	12,947,318	14,062,678		
Pet Coke	25,370,000	25,370,000	26,920,000	68000	0.068000

2) Global Warming Potentials of Greenhouse Gases: relative to CO2

CO2	1
CH4	25
N2O	298
VOC	0
CO	0
NO2	0

3) Carbon and Sulfur Ratios of Pollutants

Carbon ratio of VOC	0.85
Carbon ratio of CO	0.43
Carbon ratio of CH4	0.75
Carbon ratio of CO2	0.27
Sulfur ratio of SO2	0.50

4) Regulated Sulfur Content in CG and CD over Time

5-year period	Sulfur Content in CG (ppm)	Relative Change (to yr 2010)
1990	500	1960.8%
1995	340	1333.3%
2000	200	784.3%
2005	25.5	100.0%
2010	25.5	100.0%
2015	25.5	100.0%
2020	25.5	100.0%

5-year period	Sulfur Content in CD (ppm)	Relative Change (to yr 2010)
1990	600	300.0%
1995	350	175.0%
2000	200	100.0%
2005	200	100.0%
2010	200	100.0%
2015	200	100.0%
2020	200	100.0%

5-year period	Sulfur Content in California CD (ppm)	Relative Change (to yr 2010)
1990	350	291.7%
1995	200	166.7%
2000	120	100.0%
2005	120	100.0%
2010	120	100.0%
2015	120	100.0%
2020	120	100.0%

5-year period	Sulfur Content in non-Road Diesel (ppm)	Relative Change (to yr 2010)
1990	2283	1400.6%
1995	2283	1400.6%
2000	2283	1400.6%
2005	2283	1400.6%
2010	163	100.0%
2015	11.0	6.7%
2020	11.0	6.7%



Calculations of Energy Use and Emissions: Transportation and Distribution of Energy Feedstocks and Fuels

1) Cargo Payload By Transportation Mode and by Product Fuel Type: Tons

	Fuel Transported	Crude Oil	Gasoline	Diesel	LPG	Crude Naphtha	Residual Oil	MTBE	ETBE	TAME	E-Diesel	LNG	Methanol
Ocean Tanker		1,000,000	150,000	150,000	80,000	150,000	100,000	100,000	100,000	100,000		65,000	150,000
Barge		22,500	20,000	22,500	18,000	19,000	22,500	20,000	20,000	20,000		15,000	20,000
Heavy Heavy-Duty Truck			25	25	20	22	25	25	25	25	25	15	25
Medium Heavy-Duty Truck											8		

	Fuel Transported	DME	FT Diesel	FT Naphtha	Gasous	Liquid	Ethanol (from sugar cane in Brazil)	Ethanol (domestic)	Butanol/Acetone	Biodiesel	Renewable Diesel	Renewable Gasoline	Chemicals
Ocean Tanker		80,000	140,000	150,000		15,000	150,000	20,000	20,000	22,500	20,000	20,000	65,000
Barge		18,000	20,000	19,000		3,000	3,000						22,500
Heavy Heavy-Duty Truck			25	22	0.4	4	33	25	25	25	25	25	23
Medium Heavy-Duty Truck					0.4	1.28							8

	Fuel Transported	Farmed Trees	Herbaceous	Corn	Corn Stover	Forest Residue	Sugar Cane	Soybean	Coal	Pet Coke from Oil Sands	Uranium
Ocean Tanker		20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	30,000		
Barge		17	24	15	24	17	17	15	25	25	30,000
Heavy Heavy-Duty Truck				8				8			
Medium Heavy-Duty Truck											

2) Horsepower Requirements for Ocean Tanker and Barges: Calculated with Cargo Capacity (unit is in HP)

		Crude Oil	Gasoline	Diesel	LPG	Crude Naphtha	Residual Oil	MTBE	ETBE	TAME	LNG	Methanol	DME
Ocean Tanker		110,070	24,220	24,220	17,150	24,220	19,170	19,170	19,170	19,170	15,635	24,220	17,150
Barge		5,600	4,978	5,600	4,480	4,729	5,600	4,978	4,978	4,978	3,733	4,978	4,480

		FT Diesel	FT Naphtha	Liquid Hydrogen	Ethanol (from sugar cane in Brazil)	Ethanol (domestic)	Butanol/Acetone	Biodiesel	Renewable Diesel	Renewable Gasoline	Agri. Chemicals	Farmed Trees	Herbaceous Biomass
Ocean Tanker		24,220	24,220	10,383	24,220		4,978	5,600	4,978	4,978	15,635	4,978	4,978
Barge		4,978	4,729	747	4,978	4,978							

		Corn	Corn Stover	Forest Residue	Soybean	Coal	Uranium
Ocean Tanker		4,978	4,978	4,978	4,978	7,467	7,467
Barge							

3) Share of Power Generation Technologies for Pipeline Compression Stations

	Turbine	NG Engine: Current	NG Engine: Future
Crude Pipeline	55.0%	36.0%	9.0%
Residual Oil Pipeline	55.0%	36.0%	9.0%
Gasoline Pipeline	55.0%	36.0%	9.0%
Diesel Pipeline	55.0%	36.0%	9.0%
Fischer-Tropsch Diesel Pipeline	55.0%	36.0%	9.0%
Biodiesel Pipeline	55.0%	36.0%	9.0%
Renewable Diesel Pipeline	55.0%	36.0%	9.0%
Renewable Gasoline Pipeline	55.0%	36.0%	9.0%
LPG Pipeline	55.0%	36.0%	9.0%
Naphtha Pipeline	55.0%	36.0%	9.0%
Dimethyl Ether Pipeline	55.0%	36.0%	9.0%
Additive Pipeline	55.0%	36.0%	9.0%
Methanol Pipeline	55.0%	36.0%	9.0%
Ethanol (in Brazil) Pipeline	55.0%	36.0%	9.0%
Ethanol (in U.S.) Pipeline	55.0%	36.0%	9.0%
Butanol	55.0%	36.0%	9.0%
Coal Pipeline	55.0%	36.0%	9.0%
NG Pipeline	55.0%	36.0%	9.0%
Gaseous Hydrogen Pipeline	55.0%	36.0%	9.0%
CO2 Pipeline	55.0%	36.0%	9.0%

4) Fuel Economy and Resultant Energy Consumption of Heavy-Duty Trucks

	Fuel Economy: miles/diesel gallon		Energy Consumption: Btu/mile	
	Heavy Heavy-Duty Truck	Medium Heavy-Duty Truck	Heavy Heavy-Duty Truck	Medium Heavy-Duty Truck
Trip from Product Origin to Destination	5	7.3	25,690	17,596
Trip from Product Destination Back to Origin	5	7.3	25,690	17,596

5) Calculation of Energy Consumption for Ocean Tanker and Barge

	Ocean Tanker	Barge
Average Speed (Miles/Hour)	19	5
Trip from Product Origin to Destination	80%	80%
Load Factor	4,620	10,119
Energy Consumption: Btu/nphr		
Trip from Product Destination Back to Origin	70%	60%
Load Factor		10,284
Energy Consumption: Btu/nphr	4,691	

6) Energy Intensity of Rail Transportation: Btu/ton-mile

Trip from Product Origin to Destination	370
Trip from Product Destination Back to Origin	370

7) Energy Intensity of Pipeline Transportation: Btu/ton-mile

	Turbine	NG Engine: Current	NG Engine: Future
Crude Pipeline	240	270	260
Residual Oil Pipeline	240	270	260
Gasoline Product Pipeline	240	270	260
Diesel Pipeline	240	270	260
Fischer-Tropsch Diesel Pipeline	240	270	260
Biodiesel Pipeline	240	270	260
Renewable Diesel Pipeline	240	270	260
Renewable Gasoline Pipeline	240	270	260
LPG Pipeline	240	270	260
Naphtha Pipeline	240	270	260
Dimethyl Ether Pipeline	240	270	260
Additive Pipeline	240	270	260
Methanol Pipeline	240	270	260
Ethanol (in Brazil) Pipeline	240	270	260
Ethanol (in U.S.) Pipeline	240	270	260
Butanol Pipeline	240	270	260
Coal Pipeline	240	270	260
NG Pipeline	405	405	405
Gaseous Hydrogen Pipeline	2,492	2,492	2,492
CO2 Pipeline	159	159	159

8) Energy Intensity Ratios of Different Process Fuels Used in a Given Transportation Mode: Relative to Baseline Fuel for the Given Mode

	Residual Oil	Natural Gas for	LNG	LPG	DME	FTD	Ethanol (produced in Brazil)	Ethanol (produce in U.S.)	Butanol	Methanol	Biodiesel	Renewable Diesel	Renewable Gasol	Gasous H <sub>2</sub>	Hydrogen for L <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Electricity	Diesel
Ocean Tanker: Residual Oil as Baseline Fuel																	
Barge: Residual Oil as Baseline Fuel	100%	100%	100%	100%	100%	100%							100%	100%	100%	100%	100%
Locomotive: Diesel as Baseline Fuel	100%	100%	100%	100%	100%	100%							100%	100%	100%	100%	100%
Truck: Diesel as Baseline Fuel	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%		100%	100%			100%	100%	100%	100%	100%
Pipeline: NG as Baseline Fuel	100%			100%	100%	100%			100%	100%			100%	100%	100%	100%	100%

9) Energy Consumption and Emissions of Feedstock and Fuel Transportation

Feedstock/Fuel	Crude Oil for Use in U.S. Refineries						Crude Oil for Use in California Refineries						Oil Sands Products for Use in U.S. Refineries					
Transportation Mode	Ocean Tanker	Barge	Pipeline	Rail	Truck		Ocean Tanker	Barge	Pipeline	Rail	Truck		Ocean Tanker	Barge	Pipeline	Rail	Truck	
Urban Emission Share	5.0%	7.0%	5.0%	5.0%	44.0%		5.0%	7.0%	5.0%	5.0%	54.0%		5.0%	7.0%	5.0%	5.0%	44.0%	
Distance (Miles, one-way)	5,082	500	750	800	30		3,900	200	150	800	30		0	0	1,900	0	0	
Share of Fuel Type Used:																		
Diesel	0%	0%	20%	100%	100%		0%	0%	20%	100%	100%		0%	0%	20%	100%	100%	
Residual Oil	100%	100%	50%				100%	100%	50%				100%	100%	50%			
Natural Gas			24%						24%						24%			
LPG																		
DME																		
FTD																		
Methanol																		
Ethanol																		
Biodiesel																		
Renewable Diesel																		
Hydrogen																		
Electricity																		
Energy Intensity: Bu/ton-mile			6%	0%					6%	0%					6%	0%		
Origin to Destination	22	403	253	370	1,028		22	403	253	370	1,028		22	403	253	370	1,028	
Back-Haul	20	307			1,028		20	307			1,028		20	307			1,028	
Energy Consumption: Bu/mmBu of fuel transported																		
Total energy	6,474	10,903	6,247	9,506	1,980		4,968	4,361	1,249	9,506	1,980		0	0	15,826	0	0	
Fossil energy	6,459	10,878	6,129	9,480	1,975		4,956	4,351	1,226	9,480	1,975		0	0	15,526	0	0	
Coal	116	195	587	239	50		89	78	117	239	50		0	0	1,487	0	0	
Natural gas	314	529	1,699	577	120		241	211	340	577	120		0	0	4,305	0	0	
Petroleum	6,029	10,154	3,842	8,663	1,805		4,626	4,062	768	8,663	1,805		0	0	9,734	0	0	
Total Emissions: grams/mmBu of fuel transported																		
VOC	0.573	0.455	0.217	0.658	0.063		0.440	0.182	0.043	0.658	0.063		0.000	0.000	0.548	0.000	0.000	
CO	2.531	1,242	1,090	1,817	0.277		1,942	0.497	0.218	1,817	0.277		0.000	0.000	2,762	0.000	0.000	
NO <sub>x</sub>	14.466	10,501	4,653	12,559	0.826		11,100	4,200	0.931	12,559	0.826		0.000	0.000	11,787	0.000	0.000	
PM <sub>10</sub>	0.454	0.307	0.189	0.354	0.028		0.349	0.123	0.038	0.354	0.028		0.000	0.000	0.478	0.000	0.000	
PM <sub>2.5</sub>	0.330	0.149	0.097	0.287	0.018		0.253	0.060	0.019	0.287	0.018		0.000	0.000	0.246	0.000	0.000	
SO <sub>x</sub>	8.702	2,770	0.935	0.225	0.042		6.677	1,108	0.187	0.225	0.042		0.000	0.000	2,369	0.000	0.000	
CH <sub>4</sub>	0.595	0.978	0.898	0.865	0.176		0.457	0.391	0.180	0.865	0.176		0.000	0.000	2,274	0.000	0.000	
N <sub>2</sub> O	0.012	0.021	0.011	0.018	0.004		0.010	0.008	0.002	0.018	0.004		0.000	0.000	0.029	0.000	0.000	
CO <sub>2</sub>	544	922	485	742	155		417	369	97	742	155		0	0	1,230	0	0	
Urban Emissions: grams/mmBu of fuel transported																		
VOC	0.039	0.048	0.018	0.054	0.027		0.038	0.016	0.004	0.054	0.032		0.000	0.000	0.045	0.000	0.000	
CO	0.136	0.100	0.064	0.112	0.118		0.142	0.031	0.017	0.112	0.144		0.000	0.000	0.161	0.000	0.000	
NO <sub>x</sub>	0.744	0.762	0.256	0.680	0.347		0.789	0.224	0.069	0.680	0.423		0.000	0.000	0.649	0.000	0.000	
PM <sub>10</sub>	0.026	0.027	0.008	0.026	0.009		0.027	0.009	0.002	0.026	0.010		0.000	0.000	0.021	0.000	0.000	
PM <sub>2.5</sub>	0.019	0.014	0.006	0.020	0.007		0.019	0.005	0.001	0.020	0.008		0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	
SO <sub>x</sub>	0.459	0.230	0.080	0.054	0.014		0.484	0.071	0.019	0.054	0.015		0.000	0.000	0.202	0.000	0.000	

Feedstock/Fuel	Oil Sands Products for Use in U.S. Refineries						Federal Conventional Gasoline					
	Ocean Tanker	Barge	Pipeline	Rail	Truck		Ocean Tanker	Barge	Pipeline	Rail	Truck	
Transportation Mode												
Urban Emission Share	5.0%	7.0%	5.0%	5.0%	44.0%							
Distance (Miles, one-way)												
Share of Fuel Type Used:												
Diesel	0%	0%	20%	100%	100%		0%	0%	20%	100%	100%	
Residual Oil	100%	100%	50%				100%	100%	50%			
Natural Gas			24%						24%			
LPG												
DME												
FTD												
Methanol												
Ethanol												
Biodiesel												
Renewable Diesel												
Hydrogen												
Electricity			6%	0%					6%	0%		
Energy Intensity: Btu/ton-mile	22	403	253	370	1,028		32	403	253	370	1,028	
Origin to Destination	20	307			1,028		29	307			1,028	
Back-Haul												
Energy Consumption: Btu/mmBtu of fuel transported												
Total energy	0	0	15,826	0	0		3,057	11,140	3,312	9,340	1,945	
Fossil energy	0	0	15,826	0	0		3,050	11,114	3,250	9,313	1,940	
Coal	0	0	1,487	0	0		55	200	311	235	49	
Natural gas	0	0	4,305	0	0		148	540	901	567	118	
Petroleum	0	0	9,734	0	0		2,847	10,375	2,037	8,511	1,773	
Total Emissions: grams/mmBtu fuel transported												
VOC	0.000	0.000	0.548	0.000	0.000		0.271	0.465	0.115	0.646	0.062	
CO	0.000	0.000	2,762	0.000	0.000		1,195	1,269	0.578	1,785	0.273	
NOx	0.000	0.000	11,787	0.000	0.000		6,830	10,729	2,467	12,338	0.812	
PM10	0.000	0.000	0.478	0.000	0.000		0.215	0.314	0.100	0.348	0.027	
PM2.5	0.000	0.000	0.246	0.000	0.000		0.156	0.152	0.051	0.282	0.018	
SOx	0.000	0.000	2,369	0.000	0.000		4,108	2,830	0.486	0.221	0.041	
CH4	0.000	0.000	2,274	0.000	0.000		0.251	0.999	0.476	0.850	0.173	
N2O	0.000	0.000	0.029	0.000	0.000		0.006	0.021	0.006	0.018	0.004	
CO2	0	0	1230	0	0		257	942	257	729	152	
Urban Emissions: grams/mmBtu of fuel transported												
VOC	0.000	0.000	0.045	0.000	0.000		0.031	0.069	0.014	0.082	0.039	
CO	0.000	0.000	0.161	0.000	0.000		0.122	0.160	0.061	0.194	0.178	
NOx	0.000	0.000	0.649	0.000	0.000		0.687	1,295	0.253	1,269	0.523	
PM10	0.000	0.000	0.021	0.000	0.000		0.022	0.040	0.006	0.040	0.012	
PM2.5	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000		0.016	0.021	0.005	0.032	0.010	
SOx	0.000	0.000	0.202	0.000	0.000		0.419	0.367	0.061	0.056	0.016	

Feedstock/Fuel	Federal Reformulated Gasoline for U.S. Use						CA Reformulated Gasoline for CA Use					
	Ocean Tanker	Barge	Pipeline	Rail	Truck		Ocean Tanker	Barge	Pipeline	Rail	Truck	
Transportation Mode	10.0%	12.0%	10.0%	10.0%	68.5%		12.0%	10.0%	12.0%	12.0%	68.5%	
Urban Emission Share												
Distance (Miles, one-way)	1,665	520	405	800	30		3,900	200	150	250	30	
Share of Fuel Type Used:												
Diesel	0%	0%	20%	100%	100%		0%	0%	20%	100%	100%	
Residual Oil	100%	100%	50%				100%	100%	50%			
Natural Gas			24%						24%			
LPG												
DME												
FTD												
Methanol												
Ethanol												
Biodiesel												
Renewable Diesel												
Hydrogen												
Electricity			6%	0%					6%	0%		
Energy Intensity: Btu/ton-mile												
Origin to Destination	32	403	253	370	1,028		32	403	253	370	1,028	
Back-Haul	29	307			1,028		29	307			1,028	
Energy Consumption: Btu/mmBtu of fuel transported												
Total energy	3,135	11,427	3,398	9,580	1,995		7,319	4,380	1,255	2,984	1,989	
Fossil energy	3,128	11,401	3,334	9,553	1,990		7,302	4,370	1,231	2,975	1,983	
Coal	96	205	319	241	50		131	79	118	75	50	
Natural gas	152	554	924	582	121		355	212	341	181	121	
Petroleum	2,920	10,642	2,090	8,730	1,819		6,816	4,079	772	2,719	1,812	
Total Emissions: grams/mmBtu fuel transported												
VOC	0.277	0.477	0.118	0.663	0.064		0.648	0.183	0.043	0.206	0.064	
CO	1.226	1.301	0.593	1.831	0.280		2.861	0.499	0.219	0.570	0.279	
NOx	7.006	11.006	2.531	12.656	0.833		16.355	4.219	0.935	3.942	0.830	
PM10	0.220	0.322	0.103	0.357	0.028		0.514	0.123	0.038	0.111	0.028	
PM2.5	0.160	0.156	0.053	0.289	0.019		0.373	0.060	0.019	0.090	0.018	
SOx	4.214	2.903	0.509	0.226	0.042		9.838	1.113	0.188	0.071	0.042	
CH4	0.288	1.025	0.488	0.872	0.177		0.673	0.393	0.180	0.271	0.177	
N2O	0.066	0.022	0.066	0.016	0.004		0.014	0.008	0.002	0.006	0.004	
CO2	263	966	264	747	156		615	370	98	233	156	
Urban Emissions: grams/mmBtu of fuel transported												
VOC	0.032	0.071	0.015	0.084	0.040		0.086	0.024	0.006	0.030	0.040	
CO	0.125	0.164	0.062	0.199	0.183		0.349	0.054	0.027	0.073	0.182	
NOx	0.705	1.328	0.259	1.301	0.537		1.967	0.428	0.113	0.482	0.535	
PM10	0.023	0.041	0.007	0.041	0.012		0.063	0.014	0.003	0.015	0.012	
PM2.5	0.017	0.021	0.005	0.033	0.010		0.046	0.007	0.002	0.012	0.010	
SOx	0.430	0.376	0.082	0.057	0.017		1.198	0.123	0.026	0.018	0.017	

Feedstock/Fuel	Conventional Diesel						Low-Sulfur Diesel					
	Ocean Tanker	Barge	Pipeline	Rail	Truck		Ocean Tanker	Barge	Pipeline	Rail	Truck	
Transportation Mode												
Urban Emission Share	10.0%	12.0%	10.0%	10.0%	68.5%		10.0%	12.0%	10.0%	10.0%	68.5%	
Distance (Miles, one-way)	1,450	520	400	800	30		1,450	520	400	800	30	
Share of Fuel Type Used:												
Diesel	0%	0%	20%	100%	100%		0%	0%	20%	100%	100%	
Residual Oil	100%	100%	50%				100%	100%	50%			
Natural Gas			24%						24%			
LPG												
DME												
FTD												
Methanol												
Ethanol												
Biodiesel												
Renewable Diesel												
Hydrogen												
Electricity			6%	0%					6%	0%		
Energy Intensity: Btu/ton-mile												
Origin to Destination	32	403	253	370	1,028		32	403	253	370	1,028	
Back-Haul	29	307			1,028		29	307			1,028	
Energy Consumption: Btu/mmBtu of fuel transported												
Total energy	2,703	11,311	3,323	9,483	1,975		2,714	11,359	3,337	9,523	1,984	
Fossil energy	2,696	11,285	3,261	9,456	1,970		2,708	11,332	3,274	9,486	1,978	
Coal	48	203	312	238	50		49	204	314	239	50	
Natural gas	131	548	904	576	120		132	551	908	578	120	
Petroleum	2,517	10,534	2,044	8,642	1,800		2,528	10,578	2,053	8,678	1,808	
Total Emissions: grams/mmBtu fuel transported												
VOC	0.239	0.472	0.115	0.656	0.063		0.240	0.474	0.116	0.659	0.063	
CO	1.057	1.286	0.580	1.813	0.277		1.061	1.294	0.583	1.820	0.278	
NOx	6.039	10.894	2.475	12.528	0.824		6.065	10.940	2.486	12.580	0.828	
PM10	0.190	0.319	0.100	0.354	0.027		0.191	0.320	0.101	0.355	0.028	
PM2.5	0.138	0.155	0.052	0.286	0.018		0.138	0.155	0.052	0.287	0.018	
SOx	3.633	2.874	0.498	0.224	0.042		3.648	2.886	0.500	0.225	0.042	
CH4	0.249	1.014	0.478	0.863	0.175		0.250	1.019	0.480	0.866	0.176	
N2O	0.005	0.022	0.006	0.018	0.004		0.005	0.022	0.006	0.018	0.004	
CO2	227	956	258	740	154		228	960	259	743	155	
Urban Emissions: grams/mmBtu of fuel transported												
VOC	0.027	0.070	0.014	0.083	0.039		0.027	0.070	0.014	0.084	0.040	
CO	0.108	0.163	0.061	0.197	0.181		0.109	0.163	0.061	0.198	0.182	
NOx	0.608	1.315	0.253	1.288	0.531		0.610	1.320	0.255	1.294	0.533	
PM10	0.020	0.041	0.007	0.041	0.012		0.020	0.041	0.007	0.041	0.012	
PM2.5	0.014	0.021	0.005	0.033	0.010		0.015	0.021	0.005	0.033	0.010	
SOx	0.371	0.372	0.061	0.057	0.016		0.372	0.374	0.061	0.057	0.017	

Feedstock/Fuel	LPG					NG to Refueling Stations via Pipeline
	Ocean Tanker	Barge	Pipeline	Rail	Truck	#REF!
Transportation Mode	10.0%	12.0%	10.0%	10.0%	68.5%	#REF!
Urban Emission Share	5.200	520	400	800	30	
Distance (Miles, one-way)						
Share of Fuel Type Used:						
Diesel	0%	0%	20%	100%	100%	
Residual Oil	100%	100%	50%			94%
Natural Gas			24%	0%	0%	
LPG						
DME						
FTD						
Methanol						
Ethanol						
Biodiesel						
Renewable Diesel						
Hydrogen						
Electricity			6%	0%		6%
Energy Intensity: Btu/ton-mile	43	403	253	370	1,285	0
Origin to Destination	38	307			1,285	
Back-Haul						
Energy Consumption: Btu/mmBtu of fuel transported						
Total energy	11,815	10,385	3,051	8,706	2,267	0
Fossil energy	11,788	10,361	2,994	8,682	2,261	0
Coal	212	186	287	219	57	0
Natural gas	573	504	830	529	138	0
Petroleum	11,003	9,671	1,877	7,934	2,066	0
Total Emissions: grams/mmBtu fuel transported						
VOC	1,046	0,433	0,106	0,602	0,072	0,000
CO	4,619	1,183	0,533	1,664	0,318	0,000
NOx	26,400	10,002	2,273	11,502	0,946	0,000
PM10	0,829	0,292	0,092	0,325	0,032	0,000
PM2.5	0,602	0,142	0,047	0,263	0,021	0,000
SOx	15,880	2,638	0,457	0,206	0,048	0,000
CH4	1,087	0,931	0,438	0,792	0,201	0,000
N2O	0,023	0,020	0,006	0,016	0,004	0,000
CO2	982	878	237	679	177	0
Urban Emissions: grams/mmBtu of fuel transported						
VOC	0,120	0,064	0,013	0,076	0,045	0,000
CO	0,473	0,149	0,056	0,181	0,208	0,000
NOx	2,656	1,207	0,233	1,183	0,610	0,000
PM10	0,087	0,037	0,005	0,037	0,014	0,000
PM2.5	0,063	0,019	0,004	0,030	0,012	0,000
SOx	1,621	0,342	0,038	0,052	0,019	0,000

10) Summary of Energy Consumption and Emissions for Each Fuel

	Crude Oil for Use in U.S Refineries	Crude Oil for Use in CA Refineries	Oil Sands Products for Use in U.S. Refineries	Conventional Gasoline	Federal RFG
<b>Stage</b>	Crude Transportation	Crude Transportation	Crude Transportation	Gasoline Transportation	Gasoline Distribution
Percentage of Fuel Transported by a Given Mode					
Ocean tanker	57.0%	58.0%	0.0%	20.0%	20.0%
Barge	1.0%	0.0%	0.0%	4.0%	4.0%
Pipeline	100.0%	42.0%	100.0%	73.0%	73.0%
Rail	0.0%	0.0%	0.0%	7.0%	7.0%
Truck	0.0%	0.0%	0.0%		100.0%
Energy Consumption: Btu/mmBtu of fuel transported					
Total energy	10,046	3,406	15,828	4,129	4,235
Fossil energy	9,919	3,389	15,526	4,079	4,184
Coal	655	101	1,487	263	269
Natural gas	1,884	282	4,305	749	768
Petroleum	7,380	3,006	9,734	3,067	121
Total Emissions: grams/mmBtu of fuel transported					
VOC	0.548	0.273	0.548	0.202	0.207
CO	2.545	1.218	2.762	0.837	0.858
NOx	13.003	6.829	11.787	4.460	4.575
PM10	0.451	0.218	0.478	0.153	0.157
PM2.5	0.287	0.155	0.278	0.095	0.097
SOx	5.923	3.951	2.369	1.312	1.346
CH4	1.247	0.340	2.274	0.503	0.516
N2O	0.019	0.007	0.029	0.008	0.008
CO2	895	283	1230	328	336
Urban Emissions: grams/mmBtu of fuel transported					
VOC	0.040	0.024	0.045	0.025	0.026
CO	0.142	0.089	0.161	0.089	0.091
NOx	0.688	0.487	0.649	0.462	0.474
PM10	0.024	0.016	0.021	0.014	0.014
PM2.5	0.017	0.012	0.015	0.010	0.010
SOx	0.343	0.288	0.202	0.147	0.151



Stage	CA RFG		Conventional Diesel	Low-Sulfur Diesel	LPG	Natural Gas
Percentage of Fuel Transported by a Given Mode	Gasoline Transportation	Gasoline Distribution	Diesel Transportation	Diesel Transportation	LPG Transportation	Natural Gas Transportation
	0.0%	0.0%	16.0%	16.0%	8.0%	
	Barge	0.0%	75.0%	6.0%	60.0%	
	Pipeline	95.0%	7.0%	7.0%	34.0%	100.0%
	Rail	5.0%				
Truck		100.0%				
Energy Consumption: Btu/mmBtu of fuel transported						
Total energy	1,341	1,989	4,268	4,285	6,359	8,705
Fossil energy	1,318	1,963	4,216	4,234	6,313	8,545
Coal	116	50	271	272	275	746
Natural gas	333	121	772	775	138	7,742
Petroleum	869	1,812	3,173	3,186	5,284	2,066
Total Emissions: grams/mmBtu of fuel transported						
VOC	0.052	0.064	0.199	0.200	0.378	0.676
CO	0.237	0.279	0.808	0.812	1.326	1.552
NOx	0.830	0.820	4.363	4.372	7.986	9.946
PM10	0.042	0.028	0.150	0.150	0.250	0.217
PM2.5	0.023	0.016	0.090	0.090	0.174	0.119
SOx	0.182	0.042	1.143	1.147	1.773	0.305
CH4	0.185	0.177	0.519	0.521	0.675	2.617
N2O	0.002	0.004	0.008	0.008	0.012	0.016
CO2	104	156	339	341	505	544
Urban Emissions: grams/mmBtu of fuel transported						
VOC	0.007	0.040	0.025	0.025	0.040	0.089
CO	0.029	0.182	0.087	0.087	0.142	0.213
NOx	0.132	0.535	0.456	0.458	0.827	0.564
PM10	0.003	0.012	0.013	0.013	0.025	0.013
PM2.5	0.003	0.010	0.009	0.010	0.019	0.012
SOx	0.025	0.017	0.131	0.132	0.190	0.039

Energy Consumption and Emissions from Transportation Related Fuel Production

	Diesel	Residual Oil	Natural Gas	Intermediate fuel and feedstock for NNA NG	LNG: as an Intermediate fuel and feedstock for NNA FG	LNG: as a transportation fuel	LPG	Electricity in Use:Electricity in Brazil
Energy Consumption (Btu per Btu or Grams Per MmBtu)								
Total energy	0.180	0.128	0.073	0.192	-0.916	0.189	0.120	2.565
Fossil energy	0.177	0.126	0.072	0.191	-0.918	0.188	0.118	2.218
Coal	0.030	0.020	0.002	0.002	0.006	0.006	0.011	1.620
Natural gas	0.072	0.065	0.066	0.179	-0.934	0.169	0.079	0.535
Petroleum	0.075	0.051	0.004	0.010	0.011	0.013	0.028	0.062
VOC	7.683	6.355	5.827	7.269	4.682	6.731	10.215	18.912
CO	12.219	11.011	8.010	13.923	-14.707	11.867	11.072	54.557
NOx	41.532	40.314	22.825	61.679	11.751	45.631	37.152	224.547
PM10	8.042	5.740	0.878	2.174	-1.908	1.954	3.205	287.308
PM2.5	3.237	2.413	0.521	1.290	-2.819	1.122	1.502	75.482
SOx	19.855	19.270	21.578	22.803	22.803	14.451	21.623	493.864
CH4	103.396	99.180	196.356	233.831	189.455	199.097	115.281	287.165
N2O	0.233	0.176	0.087	0.263	-0.972	0.158	2.808	1.996
CO2	14416	10616	5258	12667	-53952	12653	9145	212922
Urban Area Emissions								
VOC	2.959	2.080	0.127	0.088	0.099	0.171	1.879	1.237
CO	3.182	2.133	0.235	0.247	0.281	0.550	1.253	10.900
NOx	8.567	5.585	0.648	1.577	1.830	2.795	3.710	37.393
PM10	1.463	0.926	0.021	0.041	0.045	0.090	0.412	2.417
PM2.5	0.860	0.532	0.016	0.028	0.031	0.064	0.246	1.430
SOx	6.252	5.053	0.248	0.706	0.782	0.556	2.388	81.285

Time-Series Tables for Key Parameters for Fuel Production Options

Year 2010

Conventional Oil Recovery and Fuel Refining from Conventional Oil

Fixed (original for 2010) Interpolated Default or user input	98.0% 98.6% 98.0%		85.5% 85.5% 87.7%		85.5% 85.5% 87.2%				
	Crude Recovery Efficiency		CG Refining Efficiency		FRFG Refining Efficiency				
5-year period			5-year period			5-year period			
1990			1990			1990			
1995			1995			1995			
2000			2000			2000			
2005			2005			2005			
2010			2010			2010			
2015			2015			2015			
2020			2020			2020			
Relative Efficiency (to yr 2010)			Relative Efficiency (to yr 2010)			Relative Efficiency (to yr 2010)			
100.0%			100.6%			100.6%			
100.0%			100.6%			100.6%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
100.0%			100.0%			100.0%			
10									

Oil Sands Recovery and Fuel Refining from Oil Sands

Fixed (original for 2010)

Interpolated Default or user input

Oil Sands Recovery Efficiency: Surface Mining				Oil Sands Upgrading: Surface Mining				Oil Sands Recovery Efficiency: In-Situ Production			
5-year period	Surface Mining	Relative Efficiency (to yr 2010)	5-year period	Surface Mining	Relative Efficiency (to yr 2010)	5-year period	In-Situ Production	Relative Efficiency (to yr 2010)	5-year period	In-Situ Production	Relative Efficiency (to yr 2010)
1990	92.8%	97.9%	1990	97.9%	99.3%	1990	78.4%	93.0%	1990	78.4%	93.0%
1995	92.8%	97.9%	1995	97.9%	99.3%	1995	78.4%	93.0%	1995	78.4%	93.0%
2000	94.4%	99.6%	2000	98.4%	99.8%	2000	83.1%	98.6%	2000	83.1%	98.6%
2005	94.8%	100.0%	2005	98.6%	100.0%	2005	84.3%	100.0%	2005	84.3%	100.0%
2010	94.8%	100.0%	2010	98.6%	100.0%	2010	84.3%	100.0%	2010	84.3%	100.0%
2015	95.0%	100.2%	2015	98.7%	100.1%	2015	85.0%	100.8%	2015	85.0%	100.8%
2020	95.2%	100.4%	2020	98.7%	100.1%	2020	85.6%	101.5%	2020	85.6%	101.5%

94.8%

Fixed (original for 2010)

Interpolated Default or user input

Oil Sands Upgrading Efficiency:			Share of Surface Mining Process in Oil Sands Recovery		
5-year period	In-Situ Production	Relative Efficiency (to yr 2010)	5-year period	Process in Oil Sands Recovery	Relative Efficiency (to yr 2010)
1990	100.0%	101.4%	1990	70.0%	70.0%
1995	100.0%	101.4%	1995	70.0%	70.0%
2000	100.0%	101.4%	2000	68.0%	68.0%
2005	100.0%	101.4%	2005	68.0%	68.0%
2010	98.6%	100.0%	2010	50.0%	50.0%
2015	98.7%	100.1%	2015	48.0%	48.0%
2020	98.7%	100.1%	2020	45.0%	45.0%

98.6%			50.0%		
-------	--	--	-------	--	--

50.0%

Fixed (original for 2010)

Interpolated Default or user input

Share of Oil Products in Crude Oil Blend			H2 Use for Upgrading: SCF/mmBtu product, Surface Mining			H2 Use for Upgrading: product, In-Situ Production		
5-year period	Crude Oil Blend	Relative Efficiency (to yr 2010)	5-year period	Relative Efficiency (to yr 2010)	5-year period	Relative Efficiency (to yr 2010)		
1990	0.0%	0.0%	1990	178.600	1990	0.000		
1995	0.0%	0.0%	1995	178.600	1995	0.000		
2000	2.5%	4.8%	2000	178.600	2000	0.000		
2005	4.8%	9.4%	2005	178.600	2005	0.000		
2010	9.4%	13.8%	2010	290.300	2010	111.600		
2015	13.8%	18.1%	2015	290.300	2015	111.600		
2020	18.1%	18.1%	2020	290.300	2020	111.600		

9.4%

Natural Gas Recovery, Processing, Compression, and Liquefaction

Fixed (original for 2010)

Interpolated Default or user input

NA NG Recovery Efficiency:					NNA NG Recovery Efficiency:				
5-year period	Relative Efficiency (to yr 2010)	5-year period	Relative Efficiency (to yr 2010)						
1990	97.2%	1990	97.2%						
1995	97.2%	1995	97.2%						
2000	97.2%	2000	97.2%						
2005	97.2%	2005	97.2%						
2010	97.2%	2010	97.2%						
2015	97.2%	2015	97.2%						
2020	97.2%	2020	97.2%						

NA FG Recovery Efficiency:					NNA FG Recovery Efficiency:				
5-year period	Relative Efficiency (to yr 2010)	5-year period	Relative Efficiency (to yr 2010)						
1990	100.0%	1990	100.0%						
1995	100.0%	1995	100.0%						
2000	100.0%	2000	100.0%						
2005	100.0%	2005	100.0%						
2010	100.0%	2010	100.0%						
2015	100.0%	2015	100.0%						
2020	100.0%	2020	100.0%						

97.2%

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

97.2%	97.2%	97.2%
97.2%	97.2%	97.2%
5-year period	NA NG Processing Efficiency	Relative Efficiency (to yr 2010)
1990	97.2%	100.0%
1995	97.2%	100.0%
2000	97.2%	100.0%
2005	97.2%	100.0%
2010	97.2%	100.0%
2015	97.2%	100.0%
2020	97.2%	100.0%

97.2%	97.2%	97.2%
97.2%	97.2%	97.2%
5-year period	NNA FG Processing Efficiency	Relative Efficiency (to yr 2010)
1990	97.2%	100.0%
1995	97.2%	100.0%
2000	97.2%	100.0%
2005	97.2%	100.0%
2010	97.2%	100.0%
2015	97.2%	100.0%
2020	97.2%	100.0%

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

93.0%	93.0%	93.1%
93.0%	93.0%	93.1%
5-year period	NG Compression Station: NG Compressor	Relative Efficiency (to yr 2010)
1990	93.1%	100.0%
1995	93.1%	100.0%
2000	93.1%	100.0%
2005	93.1%	100.0%
2010	93.1%	100.0%
2015	93.1%	100.0%
2020	93.1%	100.0%

91.0%	91.0%	91.0%
91.0%	91.0%	91.0%
5-year period	NG Compression Station: Electric Compressor	Relative Efficiency (to yr 2010)
1990	97.3%	100.0%
1995	97.3%	100.0%
2000	97.3%	100.0%
2005	97.3%	100.0%
2010	97.3%	100.0%
2015	97.3%	100.0%
2020	97.3%	100.0%

Fixed (original for 2010)  
Interpolated Default or user input

91.0%	91.0%	91.0%
91.0%	91.0%	91.0%
5-year period	NNA NG Liquefaction Efficiency	Relative Efficiency (to yr 2010)
1990	88.5%	97.3%
1995	88.0%	97.8%
2000	90.0%	98.9%
2005	90.0%	98.9%
2010	91.0%	100.0%
2015	91.0%	100.0%
2020	91.5%	100.5%

91.0%	91.0%	91.0%
91.0%	91.0%	91.0%
5-year period	NNA FG Liquefaction Efficiency	Relative Efficiency (to yr 2010)
1990	88.5%	97.3%
1995	89.0%	97.8%
2000	90.0%	98.9%
2005	90.0%	98.9%
2010	91.0%	100.0%
2015	91.0%	100.0%
2020	91.5%	100.5%

Petroleum to Conventional Gasoline, Reformulated Gasoline, Liquefied Petroleum Gas, Residual Oil, Conventional Diesel, Low-Sulfur Diesel, and Naphtha

1) Scenario Control and Key Input Parameters (from the *Inputs* sheet)

Gasoline oxygen content (by weight)			
CG	0.0%		
RFG	2.3%		
CARFG	2.0%		

Type of additive to be used	CG	RFG	CARFG
	5	4	4

Share of Crude Feedstocks

	Conventional		Oil Sands		Products: In Situ	
	Crude Oil	Surface Mining	Crude Oil	Surface Mining	Production	Production
Share of Crude Feedstocks	91%	5%	5%	5%		5%

2) Shares of Combustion Processes for Each Stage

	Crude Recovery		Oil Sands Recovery		Gasoline Refining	LPG Refining	Naphtha Refining	Resl. Oil Refining	Diesel Fuel Refining	MTBE production	TAME production	ETBE production
Residual oil industrial or commercial boiler		100.0%		100.0%	100.0%	33.0%	100.0%	33.0%	100.0%			
Diesel commercial boiler		25.0%		0.0%	33.0%	33.0%	33.0%	33.0%	33.0%			
Diesel stationary engine		50.0%		0.0%	33.0%	33.0%	33.0%	33.0%	33.0%			
Diesel turbine		25.0%		0.0%	34.0%	34.0%	34.0%	34.0%	34.0%			
Diesel locomotive				100.0%								
Diesel HDE truck				100.0%								
NG engine		50.0%		0.0%	25.0%	25.0%	25.0%	25.0%	25.0%			
NG large turbine		0.0%		0.0%	60.0%	60.0%	60.0%	60.0%	60.0%			
NG large industrial boiler		0.0%		100.0%	15.0%	15.0%	15.0%	15.0%	15.0%	100.0%	100.0%	100.0%
NG small industrial boiler		50.0%		0.0%								
NG pipeline turbine					100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%			
Coal industrial boiler				100.0%								
Pat coke industrial boiler				100.0%								

3) Calculations of Energy Consumption and Emissions for Petroleum Fuels By Stage

	Crude Oil				Oil Sands Recovery: Surface Mining						
	Recovery	Transportation to U.S. Refineries	Transportation to CA Refineries	Storage	Bitumen Extraction	Bitumen Extraction: Non-Combustion	Bitumen Upgrading	Bitumen Upgrading: Energy use and Emissions for Hydrogen Production	Bitumen Upgrading: Non-Combustion	Transportation to U.S. Refineries	Storage
Energy efficiency	98.0%	32.5%	47.5%	80.0%	94.8%	98.6%				32.5%	80.0%
Urban emission share	2.0%	1.000	1.000	1.000	2.0%	1.000				1.000	1.000
Loss factor											
Shares of process fuels											
Crude oil	1.0%				0.0%	0.0%	0.0%		0.0%		
Residual oil	1.0%				0.0%	0.0%	0.0%		0.0%		
Diesel fuel	15.0%				0.6%	0.0%	0.0%		0.0%		
Gasoline	2.0%				0.0%	0.0%	0.0%		0.0%		
Natural gas	61.9%				82.3%	97.1%	0.0%		0.0%		
Coal	0.0%				0.0%	0.0%	0.0%		0.0%		
Electricity	19.0%				17.1%	2.8%	0.0%		0.0%		
Hydrogen	0.0%				0.0%	0.0%	0.0%		0.0%		
Pet coke	0.0%				0.0%	0.0%	0.0%		0.0%		
Refinery still gas	0.0%				0.0%	Nuclear steam			Nuclear steam		
Feed loss	0.1%				0.0%	0.1%					
Energy use: Btu/mmBtu of fuel throughput											
Crude oil	204				0	0	0		0		
Residual oil	204				0	0	0		0		
Diesel fuel	3,057				329	0	0		0		
Gasoline	408				0	0	0		0		
Natural gas	12,635				45,132	13,787	0		0		
Coal					0	0	0		0		
Electricity	3,872				9,377	397	84,187	H2 input as feed, Btu/mmBtu of fuel throughput	397		
Hydrogen					0	0	0		0		
Petcoke					14	14	0		0	62	0
Feed loss	28	62	62	0	0	0	0	Nuclear steam	0		
Refinery still gas											
Natural gas flared											
Total energy	18,800				72,865	58,015	42,192	42,192	58,015	15,888	0
Fossil fuels	28,055	10,108	3,468	0	69,587	57,690	42,012	42,012	57,690	15,588	0
Coal	26,693	9,981	3,452	0	15,316	1,528	850	850	1,528	1,487	0
Natural gas	6,417	655	101	0	53,133	55,554	40,650	40,650	55,554	4,305	0
Petroleum	15,804	1,884	282	0	1,137	608	511	511	608	9,796	0
Total emissions: grams/mmBtu of fuel throughput											
VOC	0.652	0.548	0.273		0.523	0.000	0.949	0.840	0.000	0.548	
CO	3.942	2.545	1.218		1.669	0.000	2.335	1.977	0.000	2.762	
NOx	11.369	13.003	6.829		5.898	0.000	6.134	4.936	0.000	11.787	
PM10	1.438	0.451	0.218		2.884	0.000	1.406	1.235	0.000	0.478	
PM2.5	0.573	0.287	0.155		0.880	0.000	1.202	1.120	0.000	0.246	
SOx	2.287	5.923	3.951		5.174	0.000	1.883	1.524	0.000	2.369	
CH4: combustion	7.145	1.247	0.340		11.639	0.000	19.106	16.270	0.000	2.274	
N2O	0.054	0.019	0.007		0.081	0.000	0.050	0.032	0.000	0.029	
CO2	2.981	805	283		4,944	8,631	7,655	7,655	8,631	1,230	
VOC from bulk terminal											
VOC from ref. Station	0.702	1.534	1.534		0.351	0.351	0.351		0.351	1,534	
CH4: non-combustion	13.185	69.536	69.536							69.536	
Urban emissions: grams/mmBtu of fuel throughput											
VOC	0.046	0.539	0.752	0.000	0.027	0.000	0.067	0.057	0.000	0.544	0.000
CO	0.129	0.142	0.089	0.000	0.130	0.000	0.308	0.296	0.000	0.161	0.000
NOx	0.386	0.688	0.487	0.000	0.438	0.000	0.699	0.660	0.000	0.649	0.000
PM10	0.021	0.024	0.016	0.000	0.027	0.000	0.264	0.262	0.000	0.021	0.000
PM2.5	0.014	0.017	0.012	0.000	0.017	0.000	0.263	0.261	0.000	0.015	0.000
SOx	0.344	0.343	0.288	0.000	0.776	0.000	0.093	0.057	0.000	0.202	0.000

	Oil Sands Recovery: In-Situ Production					Conventional Gasoline				
	Bitumen Extraction	Bitumen Extraction: Non-Combustion Emissions	Bitumen Upgrading	Bitumen Upgrading: Energy use and Emissions for Hydrogen Production	Bitumen Upgrading: Non-Combustion Emissions	Transportation to U.S. Refineries	CG Refining	CG Refining: Non-Combustion Emissions	CG Transportation and Distribution	
Energy efficiency	84.3%		98.60%				87.7%			
Urban emission share	2.0%		2.0%			32.5%	65.0%		70.0%	
Loss factor			1.000			1.000	1.000		1.001	
Shares of process fuels										
Crude oil	0.0%		0.0%				0.0%			
Residual oil	0.0%		0.0%				3.0%			
Diesel fuel	0.0%		0.0%				0.0%			
Gasoline	0.0%		0.0%				0.0%			
Natural gas	97.2%		97.1%				30.0%			
Coal	0.0%		0.0%				13.0%			
Electricity	2.8%		2.8%				4.0%			
Hydrogen	0.0%		0.0%				0.0%			
Pet coke	0.0%		0.0%				0.0%			
Refinery still gas	0.0%		0.0%				50.0%			
Feed loss	0.0%		0.1%				0.0%			
Energy use: Btu/mmBtu of fuel throughput										
Crude oil	0		0				0			
Residual oil	0		0				4,208			
Diesel fuel	0		0				0			
Gasoline	0		0				0			
Natural gas	181,011		13,787				42,075			
Coal	0		0				18,233			
Electricity	5,214		397				5,610			
Hydrogen	0		32,364				0			
Pet coke	0		0				0			
Feed loss	14		14			62	0			
Refinery still gas	0		0			0	0			
Natural gas flared	0		0			0	813			
Total energy	207,561		32,043	16,220		15,888	156,745		0	
Fossil fuels	205,659		31,829	16,151		15,588	154,639		0	
Coal	8,894		1,004	327		1,487	28,127		0	
Natural gas	195,669		30,531	15,627		4,305	50,357		0	
Petroleum	1,096		293	197		9,796	76,154		0	
Total emissions: grams/mmBtu of fuel throughput										
VOC	1,435	0.000	0.432	0.323	0.000	0.548	0.733	2,308	0.264	
CO	4,706	0.000	1,118	0.760	0.000	2,762	4,456	1,154	1,109	
NOx	15,730	0.000	3,096	1,898	0.000	11,787	13,563	1,364	5,272	
PM10	2,237	0.000	0.645	0.475	0.000	0.478	7,129	0.320	0.180	
PM2.5	1,068	0.000	0.512	0.431	0.000	0.246	2,611	0.160	0.113	
SOx	4,719	0.000	0.945	0.586	0.000	2,369	7,998	4,412	1,354	
CH4: combustion	37,239	0.000	9,091	6,255	0.000	2,274	12,762	0.175	0.676	
N2O	0.229		0.030	0.012		0.029	0.175	0.011	0.011	
CO2	12,810		3,919	2,943		1,230	10,485	1,172	476	
VOC from bulk terminal			0.351			1.534				
VOC from ref. Station										
CH4: non-combustion						69.536				
Urban emissions: grams/mmBtu of fuel throughput										
VOC	0.042	0.000	0.032	0.022	0.000	0.544	0.162	1,500	13,296	
CO	0.159	0.000	0.126	0.114	0.000	0.161	2,501	0.750	0.267	
NOx	0.521	0.000	0.293	0.254	0.000	0.649	7,370	0.887	0.986	
PM10	0.028	0.000	0.103	0.101	0.000	0.021	1,555	0.208	0.026	
PM2.5	0.022	0.000	0.102	0.100	0.000	0.015	0.912	0.104	0.020	
SOx	0.470	0.000	0.058	0.022	0.000	0.202	3,436	2,868	0.163	

	Reformulated Gasoline						Liquefied Petroleum Gas			
	RFG Gasoline Blendstock Refining			CARFG Gasoline Blendstock Refining			RFG Transportation and Distribution		CA RFG Transportation and Distribution	
	RFG Gasoline Blendstock Refining: Non-Combustion Emissions	CARFG Gasoline Blendstock Refining: Non-Combustion Emissions	RFG Storage	CA RFG Storage	CA RFG Transportation and Distribution	CA RFG Storage	LPG Refining	LPG Refining: Non-Combustion Emissions	LPG Transportation and Distribution	LPG Storage
<b>Energy efficiency</b>	87.2%	87.2%	70.0%	67.0%	67.0%	70.0%	94.3%	7.0%	70.0%	
<b>Urban emission share</b>	65.0%	95.0%	70.0%	67.0%	67.0%	70.0%	65.0%	7.0%	70.0%	
<b>Loss factor</b>	1.000	1.000	1.000	1.001	1.001	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
<b>Shares of process fuels</b>										
Crude oil	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Residual oil	3.0%	3.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Diesel fuel	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Gasoline	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Natural gas	30.0%	30.0%	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%	13.0%
Coal	13.0%	13.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%	4.0%
Electricity	4.0%	4.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Hydrogen	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Pet coke	50.0%	50.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	50.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Refinery still gas	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Feed loss	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
<b>Energy use: Btu/mmBtu of fuel throughput</b>										
Crude oil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Residual oil	4,404	4,404	0	0	0	0	1,813	0	0	0
Diesel fuel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Gasoline	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Natural gas	44,037	44,037	0	0	0	0	18,134	0	0	0
Coal	19,083	19,083	0	0	0	0	7,858	0	0	0
Electricity	5,872	5,872	0	0	0	0	2,418	0	0	0
Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pet coke	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Refinery still gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Refinery still gas flared	73,395	73,395	0	0	0	0	30,223	58	58	58
<b>Total energy</b>	164,052	164,052	7,023	7,023	4,123	0	67,554	8,684	58	58
Fossil fuels	161,848	161,848	6,967	6,967	4,094	0	66,646	8,631	58	58
Coal	29,439	29,439	320	320	166	0	12,122	332	0	0
Natural gas	52,704	52,704	889	889	454	0	21,703	891	0	0
Petroleum	79,705	79,705	5,758	5,758	3,475	0	32,821	7,408	58	58
<b>Total emissions: grams/mmBtu of fuel throughput</b>										
VOC	0.767	2,321	0.271	0.271	0.115	0	0.316	2,146	0.450	0
CO	4.664	1,161	1.138	1.138	0.515	0	1.920	1,073	1.644	0
NOx	14.195	1,372	5.407	5.407	1.915	0	5.845	1,269	8.932	0
PM10	7.461	0.322	0.185	0.185	0.069	0	3.072	0.298	0.281	0
PM2.5	2.733	0.161	0.115	0.115	0.041	0	1.125	0.149	0.195	0
SOx	8.371	4.437	1.388	1.388	0.224	0	3.447	4.103	1.821	0
CH4: combustion	13.357	13,304	0.683	0.683	0.362	0	5,500	0.877	0.016	0
N2O	0.183	0.184	0.012	0.012	0.006	0	0.075	543	0.016	0
CO2	10.974	1,220	492	492	260	0	4,519	683	1.308	0
VOC from bulk terminal			6.667	6.667	13.082	0				0
VOC from ref. Station			13.082	13.082		0				0
CH4: non-combustion						0				0
<b>Urban emissions: grams/mmBtu of fuel throughput</b>										
VOC	0.170	1,509	0.221	0.221	0.115	0	0.070	1,395	1.008	0.000
CO	2.617	0.754	4.217	4.217	0.212	0	1.078	0.698	0.349	0.000
NOx	7.714	0.892	10.241	10.241	0.667	0	3.176	0.825	1.436	0.000
PM10	1.627	0.209	0.738	0.738	0.015	0	0.670	0.193	0.039	0.000
PM2.5	0.955	0.105	0.574	0.574	0.013	0	0.393	0.097	0.030	0.000
SOx	3.596	2.884	5.537	5.537	0.042	0	1.481	2.667	0.209	0.000





		Crude Naphttha			Pet Coke		
		Crude Naphttha Refining			Crude Naphttha Refining: Non-Combustion Emissions		
		Distribution			Crude Naphttha Transportation and Distribution		
		Crude Naphttha Storage			Pet Coke Production from Oil Sand		
		Pet Coke Production: Non-Combustion Emissions			Pet Coke Transportation and Distribution		
		Pet Coke Storage					
Energy efficiency	94.3%						
Urban emission share	65.0%		67.0%	67.0%		85.0%	0.0%
Loss factor	1.000		1.001	1.000		1.000	1.000
Shares of process fuels							
Crude oil	0.0%					1.0%	
Residual oil	3.0%					1.0%	
Diesel fuel	0.0%					15.0%	
Gasoline	0.0%					2.0%	
Natural gas	30.0%					62.0%	
Coal	13.0%					0.0%	
Electricity	4.0%					19.0%	
Hydrogen	0.0%					0.0%	
Pet coke	0.0%					0.0%	
Refinery still gas	50.0%					0.0%	
Feed loss	0.0%					0.0%	
Energy use: Btu/mmBtu of fuel throughput							
Crude oil	0					1,765	
Residual oil	1,813					1,765	
Diesel fuel	0					26,471	
Gasoline	0					3,529	
Natural gas	18,134					109,412	
Coal	7,858					0	
Electricity	2,418					33,529	
Hydrogen	0					0	
Petcoke	0					0	
Feed loss	0					0	
Refinery still gas	30,223					0	
Natural gas flared						0	
Total energy	67,554		6,955	0		242,993	1,195
Fossil fuels	66,646		6,901	0		231,191	1,191
Coal	12,122		305	0		55,576	30
Natural gas	21,703		847	0		137,121	73
Petroleum	32,821		5,749	0		38,494	1,089
Total emissions: grams/mmBtu of fuel throughput							
VOC	0.316		2.146	0.264		2.919	0.042
CO	1.920		1.073	1.108		10.950	0.193
NOx	5.845		1.269	5.211		31.871	0.414
PM10	3.072		0.298	0.178		10.813	0.016
PM2.5	1.125		0.149	0.111		3.434	0.010
SOx	3.447		4.103	1.327		19.705	0.021
CH4: combustion	5.500		0.673	0.673		34.652	0.106
N2O	0.075		0.011	0.011		0.297	0.002
CO2	4.519		543	483		17,315	93
VOC from bulk terminal			6.667				
VOC from ref. Station			13.082				
CH4: non-combustion							
Urban emissions: grams/mmBtu of fuel throughput							
VOC	0.070		1.395	13.297		0.192	0.003
CO	1.078		0.698	0.274		0.493	0.003
NOx	3.176		0.825	1.002		1.598	0.009
PM10	0.670		0.193	0.025		0.130	0.001
PM2.5	0.393		0.097	0.020		0.077	0.001
SOx	1.481		2.667	0.146		2.952	0.006

4) Calculations of Energy Use and Emissions of Additive Production

4.1) The Amount of Additives Required for Meeting Gasoline Oxygen Requirements

	O2 Content (by weight)	Weight		Volumetric		Volumetric		Energy	
		Content for CG	RFG	Content for CG	RFG	Content for CG	RFG	Content for CG	RFG
MTBE	18.2%	0.0%	12.6%	11.0%	0.0%	12.7%	11.0%	0.0%	10.5%
ETBE	15.7%	0.0%	14.6%	12.7%	0.0%	14.7%	12.8%	0.0%	12.5%
TAME	15.7%	0.0%	14.6%	12.7%	0.0%	14.2%	12.4%	0.0%	12.6%
Ethanol	34.8%	0.0%	6.6%	5.7%	0.0%	6.3%	5.4%	0.0%	4.2%

4.2) Shares of Onsite and Offsite Production of Additives (onsite: refinery production; offsite: additive plant production)

	Reformulated gasoline		Conventional gasoline	
	Offsite	Onsite	Offsite	Onsite
MTBE	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
ETBE	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%
TAME	50.0%	50.0%	50.0%	50.0%

4.3) Calculations of Energy Consumption and Emissions for Additive Production by Stage

4.4) Summary: Production of Additives (Per mmBtu of additive)

	MTBE for CG	MTBE for RFG	ETBE	TAME
Total energy	479,609	479,609	413,908	216,389
Fossil fuels	476,994	476,994	257,380	217,071
Coal	12,915	12,915	38,713	6,732
Natural gas	415,544	415,544	173,538	172,601
Petroleum	48,536	48,536	45,129	37,739
VOC	16,840	16,840	14,611	8,224
CO	20,654	20,654	13,986	10,374
NOx	65,847	65,847	44,508	35,221
PM10	6,591	6,591	11,700	3,380
PM2.5	4,673	4,673	4,083	2,350
SOx	33,486	33,486	25,808	16,446
CH4	164,707	164,707	70,404	78,479
N2O	0,344	0,344	7,017	0,173
CO2	19,275	19,275	15,577	9,641
CO2 (w/ C in VOC & CO)	19,360	19,360	15,645	9,683
GHGs	23,580	23,580	19,496	11,696
Urban emissions				
VOC	3,135	3,135	2,909	1,599
CO	1,884	1,884	1,261	1,145
NOx	4,647	4,647	3,156	2,766
PM10	0,259	0,259	0,200	0,171
PM2.5	0,207	0,207	0,151	0,134
SOx	1,593	1,593	1,619	0,923

Petroleum and fossil fuel content of additives (by energy)		
	Petroleum content	Fossil fuel content
MTBE for CG	2.49%	100.0%
MTBE for RFG	2.49%	100.0%
ETBE	2.16%	56.8%
TAME	2.49%	100.0%
Ethanol	0.00%	0.0%

5) Summary of Energy Consumption and Emissions: Btu or Grams per mmBtu of Fuel Throughput at Each Stage

5.1) Energy Use and Total Emissions

	Feedstocks			Fuels																					
	Crude for Use in U.S. Refineries	CA Refineries	Crude for Use in U.S. Refineries	Conv. Gasoline		RFG Gasoline		CARFG Gasoline		RFG		CARFG		LPG		Resi. Oil		Conv. Diesel		LS Diesel		Crude Naphtha		Pet Coke	
				Blendstock	Gasoline	Blendstock	Gasoline	Blendstock	Gasoline	Blendstock	Gasoline	Blendstock	Gasoline	Blendstock	Gasoline	Blendstock	Gasoline	Blendstock	Gasoline	Blendstock	Gasoline	Blendstock	Gasoline	Blendstock	Gasoline
Loss factor	53,485	31,525	163,760	171,205	168,305	230,671	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	1,001	
Total energy	51,839	30,146	168,942	168,942	166,070	192,044	186,196	75,343	73,691	124,674	138,374	73,604	232,383	73,604	232,383	73,604	232,383	73,604	232,383	73,604	232,383	73,604	232,383	73,604	
Fossil fuels	7,804	6,518	28,462	29,782	29,628	36,784	35,702	12,455	12,414	21,865	24,353	12,438	55,606	55,606	55,606	55,606	55,606	55,606	55,606	55,606	55,606	55,606	55,606	55,606	
Coal	32,171	16,087	51,265	53,635	53,200	70,282	67,643	22,597	22,530	39,463	43,919	22,568	137,194	137,194	137,194	137,194	137,194	137,194	137,194	137,194	137,194	137,194	137,194	137,194	
Natural gas	11,863	7,541	81,870	85,525	83,242	84,978	82,851	40,291	38,747	63,347	70,102	38,598	39,583	39,583	39,583	39,583	39,583	39,583	39,583	39,583	39,583	39,583	39,583	39,583	
Petroleum	3,531	3,161	23,056	23,110	22,937	24,566	24,205	4,221	2,824	4,152	4,243	22,477	2,961	2,961	2,961	2,961	2,961	2,961	2,961	2,961	2,961	2,961	2,961	2,961	
VOC	6,599	5,160	6,724	6,967	6,799	8,524	8,155	4,638	4,412	5,619	6,030	4,105	11,143	11,143	11,143	11,143	11,143	11,143	11,143	11,143	11,143	11,143	11,143	11,143	
CO	24,640	18,199	20,211	20,987	16,548	25,520	20,639	16,047	15,674	16,891	18,127	12,331	32,285	32,285	32,285	32,285	32,285	32,285	32,285	32,285	32,285	32,285	32,285	32,285	
NOx	2,093	1,656	7,635	7,974	6,140	10,154	8,096	3,652	3,647	5,948	6,583	3,550	10,829	10,829	10,829	10,829	10,829	10,829	10,829	10,829	10,829	10,829	10,829	10,829	
PM10	0,974	0,728	2,886	3,012	2,078	3,706	2,714	1,470	1,440	2,264	2,497	1,387	3,444	3,444	3,444	3,444	3,444	3,444	3,444	3,444	3,444	3,444	3,444	3,444	
PM2.5	8,259	6,239	13,774	14,207	13,590	17,162	16,174	9,372	11,011	11,596	12,356	8,883	19,726	19,726	19,726	19,726	19,726	19,726	19,726	19,726	19,726	19,726	19,726	19,726	
SOx	92,922	90,208	13,448	14,061	13,676	18,033	17,132	6,377	6,257	10,470	11,601	6,178	34,758	34,758	34,758	34,758	34,758	34,758	34,758	34,758	34,758	34,758	34,758	34,758	
CH4	0,087	0,061	0,187	0,195	0,191	1,920	1,686	0,092	0,089	0,146	0,161	0,087	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	
N2O	4,970	3,264	12,142	12,695	12,462	14,436	13,979	5,745	5,646	9,445	10,473	5,549	17,409	17,409	17,409	17,409	17,409	17,409	17,409	17,409	17,409	17,409	17,409	17,409	
CO2	4,991	3,282	12,225	12,778	12,545	14,526	14,068	5,962	5,662	9,467	10,496	5,626	17,435	17,435	17,435	17,435	17,435	17,435	17,435	17,435	17,435	17,435	17,435	17,435	
CO2 (w/ C in VOC & CO)	7,340	5,555	12,616	13,188	12,943	15,549	14,998	5,952	5,845	9,772	10,834	5,806	17,435	17,435	17,435	17,435	17,435	17,435	17,435	17,435	17,435	17,435	17,435	17,435	
GHGs																									

5.2) Urban Emissions: Grams per mmBtu of Fuel Throughput at Each Stage

	Feedstocks		Fuels												
	Crude for Use in U.S. Refineries	CA Refineries	Convc.	Gasoline Blendstock	RFG Gasoline Blendstock	CARFG Gasoline Blendstock	RFG	CARFG	CARFG	LPG	Resi. Oil	Conv. Diesel	LS Diesel	Crude Naphtha	Pet Coke
Loss factor	0,585	0,798	14,960	14,977	15,707	14,925	1,001	1,001	1,001	1,000	1,000	1,000	1,000	1,001	1,000
VOC	0,270	0,218	3,520	3,648	5,535	3,548	1,001	1,001	1,001	1,000	1,000	1,000	1,000	1,001	1,000
CO	1,073	0,872	9,249	9,623	12,220	9,436	1,001	1,001	1,001	1,000	1,000	1,000	1,000	1,001	1,000
NOx	0,044	0,037	1,790	1,864	1,060	1,798	1,001	1,001	1,001	1,000	1,000	1,000	1,000	1,001	1,000
PM10	0,031	0,026	1,037	1,081	0,740	1,043	1,001	1,001	1,001	1,000	1,000	1,000	1,000	1,001	1,000
PM2.5	0,688	0,632	6,472	6,653	9,803	6,596	1,001	1,001	1,001	1,000	1,000	1,000	1,000	1,001	1,000
SOx															

## Fuel Economy and Emission Rates of Passenger Cars and LDT1 Vehicles: Baseline Vehicles and New Vehicles

### 1) Fuel Economy and Emission Rates of Passenger Cars Baseline Vehicles: gasoline-equivalent MPG and grams/mile emissions (fuel economy is adjusted for on-road performance using the EPA mpg-based method, and using 43%city/57%highway VMT split) **Model Year 2005**

Gasoline Car: Values from non-stochastic simulations and for adjustments to distribution functions

Model Year	MPG	VOC (Exhaust)	VOC (Evap.)	CO	NOx	PM10 (Exhaust)	PM10 (TBW)	PM2.5 (Exhaust)	PM2.5 (TBW)	CH4	N2O
1990	22.10	0.881	0.527	14.056	1.285	0.0131	0.0205	0.0124	0.0073	0.0883	0.067
1995	21.70	0.533	0.382	8.356	0.657	0.0096	0.0205	0.0089	0.0073	0.0582	0.030
2000	22.00	0.154	0.073	5.210	0.300	0.0088	0.0205	0.0081	0.0073	0.0221	0.012
2005	23.40	0.122	0.058	3.745	0.141	0.0081	0.0205	0.0075	0.0073	0.0146	0.012
<b>2010</b>	<b>24.50</b>	<b>0.095</b>	<b>0.057</b>	<b>3.492</b>	<b>0.069</b>	<b>0.0081</b>	<b>0.0205</b>	<b>0.0075</b>	<b>0.0073</b>	<b>0.0106</b>	<b>0.012</b>
2015	25.40	0.094	0.057	3.482	0.069	0.0081	0.0205	0.0075	0.0073	0.0104	0.012
2020	30.00	0.093	0.057	3.460	0.069	0.0081	0.0205	0.0075	0.0073	0.0102	0.012

Diesel Car: Values from non-stochastic simulations and for adjustments to distribution functions

Model Year	MPG	VOC (Exhaust)	VOC (Evap.)	CO	NOx	PM10 (Exhaust)	PM10 (TBW)	PM2.5 (Exhaust)	PM2.5 (TBW)	CH4	N2O
1990	0.00	0.088	0.000	0.539	0.141	0.0090	0.0205	0.0084	0.0073	0.0026	0.012
1995	0.00	0.392	0.000	1.168	0.914	0.1396	0.0205	0.1282	0.0073	0.0118	0.067
2000	0.00	0.198	0.000	0.812	1.074	0.0737	0.0205	0.0679	0.0073	0.0047	0.030
2005	0.00	0.088	0.000	0.817	0.300	0.0719	0.0205	0.0671	0.0073	0.0026	0.012
2010	<b>0.00</b>	<b>0.060</b>	<b>0.000</b>	<b>0.534</b>	<b>0.080</b>	<b>0.0090</b>	<b>0.0205</b>	<b>0.0084</b>	<b>0.0073</b>	<b>0.0026</b>	<b>0.012</b>
2015	0.00	0.060	0.000	0.534	0.080	0.0090	0.0205	0.0084	0.0073	0.0026	0.012
2020	0.00	0.060	0.000	0.534	0.080	0.0090	0.0205	0.0084	0.0073	0.0026	0.012

**Gasoline Car: stochastic simulation distribution functions**

Distribution Functions of Fuel Economy and Emission Rates for Baseline Vehicles										
Model Year	MPG	VOC (Exhaust)	VOC (Evap.)	CO	NOx	PM10 (Exhaust)	PM10 (TBW)	PM2.5 (Exhaust)	PM2.5 (TBW)	N2O
1990	25.20	0.881	0.527	14.056	1.285	0.0131		0.0124		0.067
1995	25.20	0.533	0.382	8.356	0.657	0.0096		0.0089		0.030
2000	25.20	0.154	0.073	5.210	0.300	0.0088		0.0081		0.012
2005	25.20	0.122	0.058	3.745	0.141	0.0081		0.0075		0.012
2010	25.20	0.095	0.057	3.492	0.069	0.0081		0.0075		0.012
2015	26.80	0.094	0.057	3.482	0.069	0.0081		0.0075		0.012
2020	28.40	0.093	0.057	3.460	0.069	0.0081		0.0075		0.012

**Diesel Car: stochastic simulation distribution functions**

Distribution Functions of Fuel Economy and Emission Rates for Baseline Vehicles										
Model Year	MPG	VOC (Exhaust)	VOC (Evap.)	CO	NOx	PM10 (Exhaust)	PM10 (TBW)	PM2.5 (Exhaust)	PM2.5 (TBW)	N2O
1990		0.392		1.168	0.914	0.1396		0.1282		0.067
1995		0.198		0.812	1.074	0.0737		0.0679		0.030
2000		0.088		0.817	0.300	0.0719		0.0671		0.012
2005		0.088		0.539	0.141	0.0090		0.0084		0.012
2010		0.060		0.534	0.080	0.0090		0.0084		0.012
2015		0.060		0.534	0.080	0.0090		0.0084		0.012
2020		0.060		0.534	0.080	0.0090		0.0084		0.012

Energy Use and Emissions of Vehicle Operations

1) Scenario Control and Key Input Parameters (from the Inputs sheet)

Volumetric share of an alternative fuel in a fuel blend

Methanol in FFV fuel	85.0%
Methanol in dedicated vehicle fuel	90.0%
Methanol in low-level blend of gasoline and ethanol	9.5%
Ethanol in FFV fuel	80.8%
Ethanol in dedicated vehicle fuel	80.8%
Butanol in FFV fuel	100.0%
FT diesel in CIDI fuel	100.0%
Biodiesel in CIDI fuel	20.0%
Renewable diesel II in CIDI fuel	20.0%
Renewable gasoline in SI fuel	20.0%
Ethanol in E-diesel	10.0%
Additives in E-diesel	1.0%

Coefficient of VMT-Share Curve Fit Note: DO NOT Change  
-7.73E-09 2.63E-06 -3.65E-04 2.66E-02

Vehicle miles traveled (VMT) share by CD and CS operations for grid-connected (plug-in) hybrid electric vehicles Note: This VMT % will be used to calculate a weighted average performance of combined CD and CS operations

	PHEV: CG and RFG	Grid-Connected SI	HEV: CARFG	Grid-Connected SI	Grid-Connected SI	HEV: Low-Level EthOH	Blend with Gasoline	Grid-Connected SI	HEV: CNG	Grid-Connected SI	HEV: LNG	Grid-Connected SI	HEV: LPG	Grid-Connected SI	HEV: MeOH	Grid-Connected SI	HEV: EthOH	Grid-Connected SI	ICE HEV: H2	Compression Ignition	PHEVs: CD and LSD	Grid-Independent CIDI	HEVs: Dimethyl Ether	Grid-Independent CIDI	HEVs: FT Diesel	Grid-Independent CIDI	HEV: GD20	Grid-Independent CIDI	HEVs: E-Diesel	Fuel Cell PHEVs: H2
Operational All Electric Range (miles)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Charge-Depleting (CD) Operation	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Charge-Sustaining (CS) Operation	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Share of RFG out of RFG and CG or Share of LSD out of LSD and CD for alternative fuel blends

Gasoline for methanol blend	50%
Gasoline for low-level ethanol blend	0%
Gasoline for high-level ethanol blend	50%
Gasoline for butanol blend	50%
Gasoline for renewable gasoline blend	50%
Diesel for Fischer-Tropsch diesel blend	100%
Diesel for biodiesel blend	100%
Diesel for renewable diesel II blend	100%
Diesel for E-diesel blend	100%

2) Ratios of Vehicle Fuel Economy and Emissions by Advanced and Alternative-Fueled Vehicles (from the Inputs sheet)

(fuel economy is relative to baseline gasoline vehicle; emissions for SI technologies are relative to GV's fueled with baseline gasoline, and for CIDI technologies are relative to CIDI Vehicles fueled with baseline diesel)

	SIDI Vehicle: CG and RFG	SIDI Vehicle: CARFG	SIDI Vehicle: Low-Level EthOH Blend with Gasoline	SIDI Dedicated MeOH Vehicle	SIDI Dedicated EthOH Vehicle	CIDI Vehicle: Conventional or LS Diesel	CIDI Vehicle: Dimethyl Ether	CIDI Vehicle: FT Diesel	CIDI Vehicle: BD20	CIDI Vehicle: RDII 20	CIDI Vehicle: E-Diesel
gallon)	115.0%	115.0%	115.0%	115.0%	115.0%	120.0%	120.0%	120.0%	120.0%	120.0%	120.0%
VOC: exhaust	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
VOC: evaporative	100.0%	100.0%	100.0%	85.0%	85.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
CO	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
NOx	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
PM10: exhaust	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
PM10: brake and tire wear	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
PM2.5: exhaust	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
PM2.5: brake and tire wear	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
CH4	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	200.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
N2O	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

3) Per-Mile Fuel Consumption and Emissions of Vehicle Operations

	Baseline Gasoline Vehicle: CG and RFG	SIDI Vehicle: CG and RFG	SIDI Vehicle: CARFG	SIDI Vehicle: Low-Level EthOH Blend with Gasoline	SIDI Dedicated MeOH Vehicle	SIDI Dedicated EthOH Vehicle	CIDI Vehicle: Conventional and LS Diesel	CIDI Vehicle: Dimethyl Ether	CIDI Vehicle: FT Diesel	CIDI Vehicle: BD20	CIDI Vehicle: RDII 20	CIDI Vehicle: E-Diesel
Urban Emission Shares	62.2%	62.2%	62.2%	62.2%	62.2%	62.2%	62.2%	62.2%	62.2%	62.2%	62.2%	62.2%
gallon)	23.4	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1
Total fuel use (Btu/mile)	4,908	4,268	4,268	4,268	4,268	4,268	4,090	4,090	4,090	4,090	4,090	4,090
Fossil fuel use (Btu/mile)	4,806	4,179	4,112	3,992	4,268	1,127	4,090	4,090	4,090	3,323	3,306	3,838
Coal use (Btu/mile)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Natural gas use (Btu/mile)	0	0	0	0	3,490	0	0	4,090	4,090	0	0	0
Petroleum use (Btu/mile)	4,806	4,179	4,112	3,992	778	1,127	4,090	0	0	3,323	3,306	3,838
Emissions: grams/mile												
VOC: exhaust	0.122	0.122	0.122	0.122	0.122	0.122	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088	0.088
VOC: evaporation	0.058	0.058	0.058	0.058	0.049	0.049	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
CO	3.745	3.745	3.745	3.745	3.745	3.745	0.539	0.539	0.539	0.539	0.539	0.539
NOx	0.141	0.141	0.141	0.141	0.141	0.141	0.141	0.141	0.141	0.141	0.141	0.141
PM10: exhaust	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009	0.009
PM10: brake and tire wear	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021
PM2.5: exhaust	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008	0.008
PM2.5: brake and tire wear	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007	0.007
SOx	0.006	0.005	0.002	0.005	0.001	0.002	0.002	0.000	0.000	0.002	0.002	0.002
CH4	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015	0.003	0.005	0.003	0.003	0.003	0.003
N2O	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012	0.012
CO2	370	321	319	321	305	315	322	285	311	323	320	321
CO2 (w/ C in VOC & CO)	377	328	325	327	322	322	323	286	312	324	321	323
GHGs	381	332	329	331	316	326	327	290	316	328	325	326
Misc. item	-8	-7	-12	-21	-1	-236	327	290	316	-61	-60	-19



1. Well-to-Pump Energy Consumption and Emissions: Btu or Grams per mmBtu of Fuel Available at Fuel Station Pumps

	Baseline CG and RFG	Baseline Conventional and LS Diesel
Total Energy	250,743	193,718
WTP Efficiency	80.0%	83.8%
Fossil Fuels	228,700	190,215
Coal	40,433	32,158
Natural Gas	92,970	76,092
Petroleum	95,297	81,966
CO2 (w/ C in VOC & CO)	16,812	15,488
CH4	108,738	104,527
N2O	1.140	0.248
GHGs	19,871	18,175
VOC: Total	27,345	7,774
CO: Total	14,229	12,630
NOx: Total	47,526	42,768
PM10: Total	10,990	8,676
PM2.5: Total	4,270	3,470
SOx: Total	23,734	20,615
VOC: Urban	15,527	2,990
CO: Urban	3,805	3,412
NOx: Urban	10,417	9,233
PM10: Urban	1,838	1,603
PM2.5: Urban	1,071	0,932
SOx: Urban	7,222	6,588

## 2. Well-to-Wheels Energy Consumption and Emissions: per Mile

Gasoline Vehicle: CG and RFG

Item	Btu/mile or grams/mile			Percentage of each stage		
	Feedstock	Fuel	Vehicle Operation	Feedstock	Fuel	Vehicle Operation
Total Energy	263	968	4,908	6,139	4.3%	15.8%
Fossil Fuels	255	868	4,806	5,928	4.3%	14.6%
Coal	38	160	0	198	19.3%	80.7%
Natural Gas	158	298	0	456	34.6%	65.4%
Petroleum	58	409	4,806	5,274	1.1%	7.8%
CO2 (w/ C in VOC & CO)	17	66	377	459	3.7%	14.3%
CH4	0.456	0.077	0.015	0.548	83.2%	14.1%
N2O	0.000	0.005	0.012	0.018	2.4%	29.4%
GHGs	28	69	381	478	5.9%	14.4%
VOC: Total	0.017	0.117	0.180	0.314	5.5%	37.2%
CO: Total	0.032	0.037	3.745	3.815	0.8%	1.0%
NOx: Total	0.121	0.112	0.141	0.374	32.3%	30.0%
PM10: Total	0.010	0.044	0.029	0.083	12.5%	52.9%
PM2.5: Total	0.005	0.016	0.015	0.036	13.4%	45.2%
SOx: Total	0.041	0.076	0.006	0.123	33.1%	61.9%
VOC: Urban	0.003	0.073	0.112	0.188	1.5%	39.0%
CO: Urban	0.001	0.017	2.329	2.348	0.1%	0.7%
NOx: Urban	0.005	0.046	0.088	0.139	3.8%	33.0%
PM10: Urban	0.000	0.009	0.018	0.027	0.8%	32.8%
PM2.5: Urban	0.000	0.005	0.009	0.014	1.0%	35.3%
SOx: Urban	0.003	0.032	0.004	0.039	8.6%	81.7%

SIDI Vehicle: CG and RFG

Item	Btu/mile or grams/mile			Percentage of each stage		
	Feedstock	Fuel	Vehicle Operation	Feedstock	Fuel	Vehicle Operation
Total Energy	228	842	4,268	5,338	4.3%	15.8%
Fossil Fuels	221	755	4,179	5,155	4.3%	14.6%
Coal	33	139	0	173	19.3%	80.7%
Natural Gas	137	259	0	397	34.6%	65.4%
Petroleum	51	356	4,179	4,586	1.1%	7.8%
CO2 (w/ C in VOC & CO)	15	57	328	399	3.7%	14.3%
CH4	0.397	0.067	0.015	0.479	82.9%	14.0%
N2O	0.000	0.004	0.012	0.017	2.2%	26.7%
GHGs	25	60	332	416	5.9%	14.4%
VOC: Total	0.015	0.102	0.180	0.297	5.1%	34.2%
CO: Total	0.028	0.033	3.745	3.806	0.7%	0.9%
NOx: Total	0.105	0.098	0.141	0.344	30.6%	28.4%
PM10: Total	0.009	0.038	0.029	0.076	11.8%	50.3%
PM2.5: Total	0.004	0.014	0.015	0.033	12.6%	42.6%
SOx: Total	0.035	0.066	0.005	0.107	33.1%	61.9%
VOC: Urban	0.002	0.064	0.112	0.178	1.4%	35.8%
CO: Urban	0.001	0.015	2.329	2.346	0.0%	0.6%
NOx: Urban	0.005	0.040	0.088	0.132	3.5%	30.2%
PM10: Urban	0.000	0.008	0.018	0.026	0.7%	29.9%
PM2.5: Urban	0.000	0.004	0.009	0.014	1.0%	32.2%
SOx: Urban	0.003	0.028	0.003	0.034	8.6%	81.7%

CIDI Vehicle: Conventional and LS Diesel

Item	Btu/mile or grams/mile			Percentage of each stage		
	Feedstock	Fuel	Vehicle Operation	Feedstock	Fuel	Vehicle Operation
Total Energy	219	574	4,090	4.5%	11.7%	83.8%
Fossil Fuels	212	566	4,090	4.4%	11.6%	84.0%
Coal	32	100	0	24.3%	75.7%	0.0%
Natural Gas	132	180	0	42.3%	57.7%	0.0%
Petroleum	49	287	4,090	1.1%	6.5%	92.4%
CO2 (w/ C in VOC & CO	20	43	323	5.3%	11.1%	83.6%
CH4	0.380	0.047	0.003	88.4%	11.0%	0.6%
N2O	0.000	0.001	0.012	2.7%	5.1%	92.2%
GHGs	30	44	327	7.5%	11.0%	81.5%
VOC: Total	0.014	0.017	0.088	12.1%	14.5%	73.5%
CO: Total	0.027	0.025	0.539	4.6%	4.2%	91.3%
NOx: Total	0.101	0.074	0.141	31.9%	23.5%	44.6%
PM10: Total	0.009	0.027	0.030	13.2%	41.4%	45.4%
PM2.5: Total	0.004	0.010	0.016	13.3%	34.2%	52.5%
SOx: Total	0.034	0.051	0.002	39.0%	58.4%	2.6%
VOC: Urban	0.002	0.010	0.055	3.6%	14.7%	81.7%
CO: Urban	0.001	0.013	0.335	0.3%	3.7%	96.0%
NOx: Urban	0.004	0.033	0.088	3.5%	26.6%	69.9%
PM10: Urban	0.000	0.006	0.018	0.7%	25.6%	73.7%
PM2.5: Urban	0.000	0.004	0.010	0.9%	27.1%	71.9%
SOx: Urban	0.003	0.024	0.001	9.9%	85.2%	4.9%



## 附錄 3

### GREET 2.7 模式內容輸出摘錄

\*\*\*\*\*

**COPYRIGHT NOTIFICATION**

\*\*\*\*\*

Software: GREET 2, Version 2.7  
Copyright © 2007 UChicago Argonne, LLC

**Open Source Software License**

Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:

1. Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.
2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.
3. The end-user documentation included with the redistribution, if any, must include the following acknowledgment:  
"This product includes software developed by the UChicago Argonne, LLC as Operator of Argonne National Laboratory under Contract No. DE-AC02-06CH11357 with the Department of Energy (DOE)"

Alternately, this acknowledgment may appear in the software itself, if and wherever such third-party acknowledgments normally appear.

4. **WARRANTY DISCLAIMER.** THE SOFTWARE IS SUPPLIED "AS IS" WITHOUT WARRANTY OF ANY KIND. THE COPYRIGHT HOLDER, THE UNITED STATES, THE UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, AND THEIR EMPLOYEES: (1) DISCLAIM ANY WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE, TITLE OR NON-INFRINGEMENT, (2) DO NOT ASSUME ANY LEGAL LIABILITY OR RESPONSIBILITY FOR THE ACCURACY, COMPLETENESS, OR USEFULNESS OF THE SOFTWARE, (3) DO NOT REPRESENT THAT USE OF THE SOFTWARE WOULD NOT INFRINGE PRIVATELY OWNED RIGHTS, (4) DO NOT WARRANT THAT THE SOFTWARE WILL FUNCTION UNINTERRUPTED, THAT IT IS ERROR-FREE OR THAT ANY ERRORS WILL BE CORRECTED.

5. **LIMITATION OF LIABILITY.** IN NO EVENT WILL THE COPYRIGHT HOLDER, THE UNITED STATES, THE UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY, OR THEIR EMPLOYEES: BE LIABLE FOR ANY INDIRECT, INCIDENTAL, CONSEQUENTIAL, SPECIAL OR PUNITIVE DAMAGES OF ANY KIND OR NATURE, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO LOSS OF PROFITS OR LOSS OF DATA, FOR ANY REASON WHATSOEVER, WHETHER SUCH LIABILITY IS ASSERTED ON THE BASIS OF CONTRACT, TORT (INCLUDING NEGLIGENCE OR STRICT LIABILITY), OR OTHERWISE, EVEN IF ANY OF SAID PARTIES HAS BEEN WARNED OF THE POSSIBILITY OF SUCH LOSS OR DAMAGES.

6. Portions of the Software resulted from work developed under a U.S. Government contract and are subject to the following license:  
the Government is granted for itself and others acting on its behalf a paid-up, nonexclusive, irrevocable worldwide license in this computer software to reproduce, prepare derivative works, and perform publicly and display publicly.

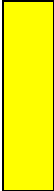
\*\*\*\*\*

**Color Scheme for the GREET Model**

Clear cells are primarily for calculations and secondary assumptions



Yellow cells are key input assumptions that users can change for their own simulations



Cells with red triangle in the upper right corner contain comments. Users are advised to read the comments

**Brief Descriptions of GREET 2.7a Worksheets**

Sheet	Description
Vehi_Inputs	Key input parameters of vehicle and vehicle components that users can specify for GREET simulations.
Mat_Inputs	Key input parameters of vehicle materials that users can specify for GREET simulations.
Car	Key input parameters of car and car components that users can specify for GREET simulations.
SUV	Key input parameters of SUV and SUV components that users can specify for GREET simulations. This sheet is linked to Vehi_Inputs and Mat_Inputs sheets when the user selects car for simulation.
Steel	Calculations of energy use and emissions for steel production.
C.Iron	Calculations of energy use and emissions for cast iron production.
W.Al	Calculations of energy use and emissions for wrought aluminum production.
C.Al	Calculations of energy use and emissions for cast aluminum production.
Lead	Calculations of energy use and emissions for lead production.
Nickel	Calculations of energy use and emissions for nickel production.
KOH	Calculations of energy use and emissions for KOH production.
Cobalt	Calculations of energy use and emissions for cobalt oxide production.
Copper	Calculations of energy use and emissions for copper production.
Zinc	Calculations of energy use and emissions for zinc production.
Magnesium	Calculations of energy use and emissions for magnesium production.
S.AcId	Calculations of energy use and emissions for sulfuric acid production.
Glass	Calculations of energy use and emissions for glass production.
Plastic	Calculations of energy use and emissions for plastic production.
Rubber	Calculations of energy use and emissions for rubber production.

<b>Platinum</b>	Calculations of energy use and emissions for platinum production.
<b>Vanadium</b>	Calculations of energy use and emissions for vanadium production.
<b>Zirconium</b>	Calculations of energy use and emissions for zirconium production.
<b>Titanium</b>	Calculations of energy use and emissions for titanium production.
<b>Chromium</b>	Calculations of energy use and emissions for chromium production.
<b>Rare Earth</b>	Calculations of energy use and emissions for rare earth production.
<b>Manganese</b>	Calculations of energy use and emissions for manganese production.
<b>FC Materials</b>	Calculations of energy use and emissions for fuel cell materials production.
<b>Mat_Sum</b>	Summary of energy use and emissions results for vehicle materials production (per pound of material).
<b>Vehi_Fluids</b>	Calculations of energy use and emissions for fluids production, fluids use and fluids disposal.
<b>Battery Assembly</b>	Calculations of energy use and emissions for battery assembly.
<b>Vehi_ADR</b>	Calculations of energy use and emissions for vehicle assembly, vehicle disposal and vehicle recycling.
<b>Battery_Sum</b>	Summary of energy use and emissions results for battery (per vehicle lifetime).
<b>Vehi_Comp_Sum</b>	Summary of energy use and emissions results for vehicle components (per vehicle lifetime).
<b>Vehi_Sum</b>	Vehicle-cycle energy use and emissions results for various vehicle technologies (per vehicle lifetime).
<b>TEC_Results</b>	Well-to-Pump, vehicle operation and vehicle-cycle energy use and emissions results for vehicle/fuel technology combinations (per mile).
<b>TEC_Graphs</b>	Graphic presentation of energy use and emissions for various vehicle/fuel technology combinations.

### Key Notes for GREET Simulations

- 1 The cells which are colored as yellow and green present default assumptions for GREET calculations. Users can simply place their own assumptions regarding given issues in these cells to replace the default assumptions.
- 2 Whenever changes are made for input assumptions, users need to press the F9 key so that GREET recalculates results with the new input assumptions.
- 3 The GREET model is designed with the so-called circular calculation feature in Excel in order to account for secondary energy and emission effects. In circular calculations, if a cell requiring a value is accidentally inputted with a non-value entry, the whole model may be corrupted, and the model cannot be repaired by inputting a value to the same cell. Users are strongly recommended to save their work frequently and keep the original copy of the GREET model as a backup.

### This software was authored by:

Michael Wang, Andrew Burnham, and Ye Wu  
Center for Transportation Research  
Energy Systems Division  
Argonne National Laboratory  
9700 S. Cass Avenue  
Argonne, IL 60439 USA  
Phone: 630/252-2819  
E-mail: mqwang@anl.gov



Scenario Control Variables and Input Assumptions Related to Vehicle and its Components

1. Selection of Vehicle Types for Simulation

1

1 -- Passenger Cars

2 -- SUVs

1. Specification of Total Vehicle Weight, pounds

	ICEV: Conventional Material	ICEV: Light-Weight Material	HEV: Conventional Material	HEV: Light-Weight Material	FCV: Conventional Material	FCV: Light-Weight Material
	3,330	1,970	2,810	2,000	3,020	2,280

2. Vehicle Battery and Fluids Weight, pounds per vehicle

2.1) Battery Weight

	ICEV: Conventional Material	ICEV: Light-weight Material	HEV: Conventional Material	HEV: Light-weight Material	FCV: Conventional Material	FCV: Light-weight Material
Lead-Acid	36.0	23.4	22.1	14.4	22.1	14.4
Ni-MH			84.3	51.3	110.0	69.7
Li-Ion			33.7	20.5	44.0	27.9

2.2) Fluids Weight

	Engine Oil	Power Steering Fluid	Brake Fluid	Transmission Fluid	Powertrain Coolant	Windshield Fluid	Adhesives
ICEV	8.5	0.0	2.0	24.0	23.0	6.0	30.0
HEV	8.5	0.0	2.0	1.8	23.0	6.0	30.0
FCV	0.0	0.0	2.0	1.8	15.8	6.0	30.0

3. Key Input Parameters for Vehicle Components: Body, Powertrain System, Transmission System, Chassis, Traction Motor, Generator, Electronic Controller, an

3.1) Vehicle Components Weight, pounds (excluding battery, fluids, and fuel)

	ICEV: Conventional Material	ICEV: Light-weight Material	HEV: Conventional Material	HEV: Light-weight Material	FCV: Conventional Material	FCV: Light-weight Material
	3200	1853	2632	1863	2832	2140

3.2.a) Fuel Cell Stack Size, kW

Conventional Material	70
Light-weight Material	54

3.2.b) Weight of Fuel Cell Stack and Auxiliary System, pounds

Fuel Cell Stack (Powertrain System): Conventional Material	226
Fuel Cell Auxiliary System: Conventional Material	546
Fuel Cell Stack (Powertrain System): Light-weight Material	174
Fuel Cell Auxiliary System: Light-weight Material	421

3.3) Vehicle Components Composition, % by wt

	ICEV: Conventional Material	ICEV: Light-weight Material	HEV: Conventional Material	HEV: Light-weight Material	FCV: Conventional Material	FCV: Light-weight Material
Powertrain System	25.7%	30.7%	17.0%	21.6%	8.0%	8.1%
Transmission System	6.3%	6.7%	7.2%	7.8%	2.6%	2.8%
Chassis (w/o battery)	23.9%	23.0%	24.5%	24.5%	23.0%	23.8%
Traction Motor	0.0%	0.0%	2.1%	2.0%	3.8%	3.8%
Generator	0.0%	0.0%	2.1%	2.0%	0.0%	0.0%
Electronic Controller	0.0%	0.0%	1.8%	1.8%	3.4%	3.3%
Fuel Cell Auxiliary System	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	19.3%	19.7%
Body: including BW, interior, exterior	44.1%	39.6%	45.3%	40.3%	39.9%	38.5%

3.4) Tire Replacements During Lifetime of Vehicle

3
---

4. Key Input Parameters for Batteries

4.1) Battery Type for Hybrid Electric Vehicles

1	1 -- Ni-MH
	2 -- Li-Ion

4.2) Battery Type for Fuel Cell Vehicles

1	1 -- Ni-MH
	2 -- Li-Ion

4.3) Battery Size in Peak Battery Power, kW

	Ni-MH	Li-Ion
HEV: Conventional Material	23	23
HEV: Light-weight Material	14	14
FCV: Conventional Material	30	30
FCV: Light-weight Material	19	19

4.4) Battery Replacements During Lifetime of Vehicle

	Lead-Acid	Ni-MH	Li-Ion
ICEV	2		
HEV	2	1	0
FCV	2	1	0

4.5) Battery Specific Power

	W/kg	W/lb
Ni-MH	600	272
Li-Ion	1500	680

5. Key Input Parameters for Fluids

5.1) Fluids Replacements During Lifetime of Vehicle

Engine Oil	Power Steering Fluid	Brake Fluid	Transmission Fluid	Powertrain Coolant	Windshield Fluid	Adhesives
40	0	3	1	3	20	0

5.2) Ratio of Waste to Product when Fluids is Disposed

Engine Oil	Power Steering Fluid	Brake Fluid	Transmission Fluid	Powertrain Coolant	Windshield Fluid	Adhesives
66.7%	66.7%	66.7%	66.7%	66.7%	0.0%	66.7%

6. GREET Default Key Assumptions for Vehicle and Vehicle Component Production

6.1) Energy Use of Battery Assembly: mmBtu per ton of battery

27,470	Lead-Acid
35,230	Ni-MH
30,690	Li-Ion

6.2) Energy Use of Vehicle Assembling, Disposal and Recycling: mmBtu per vehicle

0.234	Paint Production
0.956	Vehicle Painting
5.864	Vehicle Assembly
1.420	Vehicle Disposal

7. Lifetime VMT of a Vehicle, miles

ICEV: Conventional Material	ICEV: Light-weight Material	HEV: Conventional Material	HEV: Light-weight Material	FCV: Conventional Material	FCV: Light-weight Material
160,000	160,000	160,000	160,000	160,000	160,000

8. Ratios of Fuel Economy of Light-Weight Material Vehicles Relative to Their Conventional Material Vehicles Counterpart

ICEV: Light-Weight Material	HEV: Light-Weight Material	FCV: Light-Weight Material
132%	119%	118%

Scenario Control Variables and Input Assumptions Related to Vehicle Materials

1. Material Composition for Vehicle Components

1.1) Material Composition for Each Component, % by wt

	ICEV:		HEV: Conventional		HEV: Light-weight		FCV: Conventional		FCV: Light-weight	
	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material
<b>Body</b>										
Steel	68.3%	11.1%	68.3%	10.8%	68.3%	10.3%				
Wrought Aluminum	0.7%	9.1%	0.7%	8.9%	0.7%	8.5%				
Copper/Brass	1.9%	3.6%	1.9%	3.5%	1.9%	3.3%				
Magnesium	0.0%	0.9%	0.0%	0.9%	0.0%	0.9%				
Glass	6.5%	7.7%	6.5%	7.5%	6.5%	7.2%				
Carbon Fiber-Reinforced Plastic	0.0%	38.1%	0.0%	39.7%	0.0%	42.3%				
Average Plastic	18.1%	23.6%	18.1%	22.9%	18.1%	22.0%				
Rubber	0.5%	0.9%	0.5%	0.8%	0.5%	0.8%				
Others	4.0%	5.0%	4.0%	5.0%	4.0%	4.7%				
<b>Powertrain System</b>										
Steel	39.5%	54.8%	48.4%	59.6%	1.5%	1.5%				
Stainless Steel	0.0%	3.6%	0.0%	3.2%	0.0%	0.0%				
Cast Iron	28.6%	5.3%	24.0%	4.7%	0.0%	0.0%				
Wrought Aluminum	0.0%	1.8%	0.0%	2.5%	23.2%	23.2%				
Cast Aluminum	17.1%	17.8%	14.4%	15.8%	0.0%	0.0%				
Copper/Brass	2.9%	3.8%	2.6%	3.2%	0.0%	0.0%				
Average Plastic	9.3%	11.1%	8.4%	9.4%	0.0%	0.0%				
Rubber	2.6%	1.8%	2.2%	1.6%	0.0%	0.0%				
Carbon Fiber-Reinforced Plastic	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	62.7%	62.7%				
PFSA	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.4%	5.4%				
Carbon Paper	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.1%	5.1%				
PTFE	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.4%	1.4%				
Carbon & PFSA Suspension	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	0.6%				
Platinum	0.002%	0.003%	0.002%	0.002%	0.09%	0.09%				
Others	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%				
<b>Transmission System/Gearbox</b>										
Steel	30.0%	30.0%	60.5%	60.5%	60.5%	60.5%				
Copper	0.0%	0.0%	18.9%	18.9%	18.9%	18.9%				
Cast Iron	30.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%				
Wrought Aluminum	30.0%	30.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%				
Cast Aluminum	0.0%	30.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%				
Average Plastic	5.0%	5.0%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%				
Rubber	5.0%	5.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%				
Others	0.0%	0.0%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%				

Chassis (w/o battery)						
Steel	81.9%	31.5%	81.9%	30.3%	81.9%	29.4%
Cast Iron	7.8%	11.0%	7.8%	10.9%	7.8%	11.1%
Wrought Aluminum	0.0%	3.0%	0.0%	2.7%	0.0%	2.5%
Cast Aluminum	1.2%	31.4%	1.2%	34.1%	1.2%	35.7%
Copper/Brass	1.4%	2.7%	1.4%	2.5%	1.4%	2.2%
Glass Fiber-Reinforced Plastic	0.0%	9.9%	0.0%	9.8%	0.0%	10.1%
Average Plastic	2.0%	3.9%	2.0%	3.6%	2.0%	3.2%
Rubber	5.1%	5.7%	5.1%	5.3%	5.1%	4.8%
Others	0.6%	0.9%	0.6%	0.8%	0.6%	1.0%
Traction Motor						
Steel			36.1%	36.1%	36.1%	36.1%
Stainless Steel			0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Cast Aluminum			36.1%	36.1%	36.1%	36.1%
Copper/Brass			27.8%	27.8%	27.8%	27.8%
Others			0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Generator						
Steel			36.1%	36.1%		
Cast Aluminum			36.1%	36.1%		
Copper/Brass			27.8%	27.8%		
Others			0.0%	0.0%		
Electronic Controller						
Steel			5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
Cast Aluminum			46.9%	46.9%	46.9%	46.9%
Copper/Brass			8.2%	8.2%	8.2%	8.2%
Rubber			3.7%	3.7%	3.7%	3.7%
Average Plastic			23.8%	23.8%	23.8%	23.8%
Others			12.4%	12.4%	12.4%	12.4%
Fuel Cell Auxiliary System						
Steel					36.8%	36.8%
Carbon Fiber-Reinforced Plastic					25.7%	25.7%
Wrought Aluminum					16.7%	16.7%
Copper					9.6%	9.6%
Average Plastics					8.7%	8.7%
Rubber					1.5%	1.5%
Nickel					0.5%	0.5%
Others					0.5%	0.5%

1.2) Vehicle Material Composition Aggregated by Each Component: % by wt

	ICEV:						FCV: Light-weight					
	Conventional Material	ICEV: Light-weight Material	HEV: Conventional Material	HEV: Light-weight Material	FCV: Conventional Material	FCV: Light-weight Material	Conventional Material	ICEV: Light-weight Material	HEV: Conventional Material	HEV: Light-weight Material	FCV: Conventional Material	FCV: Light-weight Material
Steel	61.7%	30.5%	65.2%	30.9%	56.4%	21.6%	56.4%	30.9%	65.2%	30.9%	56.4%	21.6%
Stainless Steel	0.0%	1.1%	0.0%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.7%	0.0%	0.7%	0.0%	0.0%
Cast Iron	11.1%	4.2%	6.0%	3.7%	1.8%	2.6%	1.8%	3.7%	6.0%	3.7%	1.8%	2.6%
Wrought Aluminum	2.2%	6.9%	1.8%	6.3%	5.9%	9.6%	5.9%	6.3%	1.8%	6.3%	5.9%	9.6%
Cast Aluminum	4.7%	14.7%	5.1%	14.1%	3.2%	11.4%	3.2%	14.1%	5.1%	14.1%	3.2%	11.4%
Copper/Brass	1.9%	3.2%	4.3%	5.4%	4.8%	5.5%	4.8%	5.4%	4.3%	4.8%	5.5%	5.5%
Magnesium	0.02%	0.4%	0.02%	0.4%	0.02%	0.3%	0.02%	0.4%	0.02%	0.4%	0.02%	0.3%
Glass	2.9%	3.0%	2.9%	3.0%	2.6%	2.8%	2.6%	3.0%	2.9%	3.0%	2.8%	2.8%
Average Plastic	11.2%	14.0%	10.6%	12.6%	10.2%	11.7%	10.2%	12.6%	10.6%	10.2%	10.2%	11.7%
Rubber	2.4%	2.6%	1.9%	2.0%	1.8%	1.9%	1.8%	2.0%	1.9%	1.8%	1.8%	1.9%
Carbon Fiber-Reinforced Plastic	0.0%	15.1%	0.0%	16.0%	10.0%	26.4%	10.0%	16.0%	0.0%	10.0%	10.0%	26.4%
Glass Fiber-Reinforced Plastic	0.0%	2.3%	0.0%	2.4%	0.0%	2.4%	0.0%	2.4%	0.0%	0.0%	0.0%	2.4%
Nickel	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%
PFSA	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.4%	0.4%	0.0%	0.0%	0.4%	0.4%	0.4%
Carbon Paper	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	0.4%	0.4%	0.0%	0.0%	0.4%	0.4%	0.4%
PTFE	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%
Carbon & PFSA Suspension	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.05%	0.05%	0.05%	0.0%	0.0%	0.05%	0.05%	0.05%
Platinum	0.0005%	0.0009%	0.0003%	0.0004%	0.007%	0.007%	0.007%	0.0004%	0.0003%	0.0004%	0.007%	0.007%
Others	1.9%	2.2%	2.2%	2.5%	2.2%	2.6%	2.2%	2.5%	2.2%	2.2%	2.2%	2.6%

1.3) Material Composition of Tire, % by wt

Rubber	66.7%
Steel	33.3%

2. Battery Material Composition, % by wt

		ICEV:		HEV:		FCV:	
		Conventional Material	Light-weight Material	Conventional Material	Light-weight Material	Conventional Material	Light-weight Material
<b>Lead-Acid</b>							
Plastic: Polypropylene		6.1%	6.1%	6.1%	6.1%	6.1%	6.1%
Lead		69.0%	69.0%	69.0%	69.0%	69.0%	69.0%
Sulfuric Acid		7.9%	7.9%	7.9%	7.9%	7.9%	7.9%
Fiberglass		2.1%	2.1%	2.1%	2.1%	2.1%	2.1%
Water		14.1%	14.1%	14.1%	14.1%	14.1%	14.1%
Others		0.8%	0.8%	0.8%	0.8%	0.8%	0.8%
<b>NI-MH</b>							
Iron		12.0%	12.0%	12.0%	12.0%	12.0%	12.0%
Steel		23.7%	23.7%	23.7%	23.7%	23.7%	23.7%
Aluminum		0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%
Copper		3.9%	3.9%	3.9%	3.9%	3.9%	3.9%
Magnesium		1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%	1.0%
Cobalt		1.8%	1.8%	1.8%	1.8%	1.8%	1.8%
Nickel		28.2%	28.2%	28.2%	28.2%	28.2%	28.2%
Rare Earth Metals		6.3%	6.3%	6.3%	6.3%	6.3%	6.3%
Average Plastic		22.5%	22.5%	22.5%	22.5%	22.5%	22.5%
Rubber		0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
<b>Li-Ion</b>							
Lithium Oxide (LiO2)		5.3%	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%	5.3%
Nickel		2.6%	2.6%	2.6%	2.6%	2.6%	2.6%
Cobalt		2.7%	2.7%	2.7%	2.7%	2.7%	2.7%
Manganese		2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%
Graphite/Carbon		10.6%	10.6%	10.6%	10.6%	10.6%	10.6%
Binder		2.1%	2.1%	2.1%	2.1%	2.1%	2.1%
Copper		24.5%	24.5%	24.5%	24.5%	24.5%	24.5%
Wrought Aluminum		18.6%	18.6%	18.6%	18.6%	18.6%	18.6%
Cast Aluminum		10.6%	10.6%	10.6%	10.6%	10.6%	10.6%
Electrolyte		8.7%	8.7%	8.7%	8.7%	8.7%	8.7%
Plastic: Polypropylene		8.1%	8.1%	8.1%	8.1%	8.1%	8.1%
Plastic: Polyethylene		2.9%	2.9%	2.9%	2.9%	2.9%	2.9%
Steel		0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%
Thermal Insulation		0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%	0.5%
Electronic Parts		0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%

3. Share of Key Material Composition in Specific Fluids

50.0%	Share of ethylene glycol in engine coolant, % by wt
50.0%	Share of methanol in windshield fluid, % by wt

4. Key Input Parameters for Material Use

4.1) Share of Virgin and Recycled Materials Used in Vehicle, % by wt

	Virgin Material	Recycled Material
Steel	30.0%	70.0%
Wrought Aluminum	89.0%	11.0%
Cast Aluminum	41.0%	59.0%
Lead	27.0%	73.0%
Nickel	56.0%	44.0%

4.2) Tons of Intermediate Material Needed per Ton of Final Steel Product

	Ore Recovery	Pelletizing&Sintering	Ore	Coke Production	Blast Furnace	Basic O2 Processing	Electric Arc Furnace	Sheet Production& Rolling	Stamping
Virgin Steel	5.200	1.860		0.531	1.180	1.420	0.220	1.340	1.000
Recycled Steel						0.090	1.530	1.340	1.000
Stainless Steel							1.610	1.340	1.000

4.3) Tons of Intermediate Material Needed per Ton of Final Wrought Aluminum Product

	Bauxite Mining	Bauxite Refining	Alumina Reduction	Scrap Preparation	Reverb Melt and Ingot Cast	Al Melting and Casting	Sheet Production& Rolling	Stamping
Virgin Wrought Aluminum	4.800	1.900	1.000			1.000	1.380	1.000
Recycled Wrought Aluminum				1.060	1.000	1.000	1.380	1.000

4.4) Tons of Intermediate Material Needed per Ton of Final Cast Aluminum Product

	Bauxite Mining	Bauxite Refining	Alumina Reduction	Al Melting and Casting	Al Casting	Al Recycling
Cast Aluminum	4.800	1.900	1.000	1.000		
Recycled Cast Aluminum					1.000	1.000

4.5) Tons of Nickel Needed per Ton of Nickel Hydroxide Product

	0.633
--	-------

4.6) Composition of Fiber Glass, % by wt

	Glass	Glass Fiber
	0.0%	100.0%

4.7 a) Shares of Individual Plastic in a Vehicle for Average Plastic Calculation, % by wt

	Polypropylene	Polyester	HDPE
	50.0%	30.0%	20.0%

4.7.b) Composition of Glass Fiber-Reinforced Plastic and Carbon Fiber-Reinforced Plastic, % by wt

	Polyester	Glass Fiber	Inert Filler
Glass Fiber-Reinforced Plastic	50.0%	50.0%	0.0%
Carbon Fiber-Reinforced Plastic	70.0%	30.0%	



4.7.c) Tons of Intermediate Material Needed per Ton of Final Fiber-Reinforced Plastic Product

Glass Fiber-Reinforced Plastic	1,140
Carbon Fiber-Reinforced Plastic	1,140

4.8) Selection of Method for Estimating Energy Use for Platinum Production

2	1 -- NA mine - weight based energy allocation
	2 -- South African mine based
	3 -- NA mine - market value based energy allocation

4.9.a) Selection of Wrought Aluminum Electric Generation Mix for Alumina Reduction: Hall-Heroult Process (Aluminum Smelting)

2	1 -- US Mix
	2 -- User Defined Mix

4.9.b) Selection of Cast Aluminum Electric Generation Mix for Alumina Reduction: Hall-Heroult Process (Aluminum Smelting)

2	1 -- US Mix
	2 -- User Defined Mix

4.9.c) Electric Generation Mixes for Alumina Reduction: Hall-Heroult Process (Aluminum Smelting)

	Wrought Aluminum		Cast Aluminum	
	US Mix	User Defined Mix	US Mix	User Defined Mix
Residual oil	1.1%	0.0%	1.1%	0.0%
Natural gas	18.3%	0.0%	18.3%	0.0%
Coal	50.4%	31.0%	50.4%	31.0%
Nuclear power	20.0%	1.0%	20.0%	1.0%
Biomass	0.7%	0.0%	0.7%	0.0%
Others	9.5%	68.0%	9.5%	68.0%

5. GREET Default Key Assumptions for Material Production

5.1) Energy Use of Steel Production: mmBtu per ton of material product

0.054	Taconite Mining
1.391	Ore Pelletizing&Sintering
5.580	Coke Production
15.886	Blast Furnace
1.627	Basic O2 Processing
4.240	Electric Arc Furnace (for virgin steel and recycled steel)
4.819	Electric Arc Furnace (for stainless steel)
6.108	Sheet Production&Rolling
5.453	Stamping

5.2) Energy Use of Cast Iron Production: mmBtu per ton of material product

1.339	Iron Recycling
20.664	Iron Casting

5.3) Energy Use of Wrought Aluminum Production: mmBtu per ton of material product

0.563	Bauxite Mining
9.527	Bauxite Refining: Bayer Process
65.843	Alumina Reduction: Hall-Heroult Process
4.146	Al Melting and Casting
8.344	Sheet Production&Rolling
5.453	Stamping
0.623	Scrap Preparation (Recycled Al)
9.500	Reverb Melt and Ingot Cast (Recycled Al)

5.4) Energy Use of Cast Aluminum Production: mmBtu per ton of material product

0.563	Bauxite Mining
9.527	Bauxite Refining: Bayer Process
65.843	Alumina Reduction: Hall-Heroult Process
4.146	Al Melting and Casting
34.650	Al Casting (Recycled Al)
1.450	Al Recycling (Recycled Al)

5.5) Energy Use of Lead Production: mmBtu per ton of lead

2.590	Lead Ore Mining
15.006	Virgin Lead Production
4.140	Recycled Lead Production

5.6) Energy Use of Nickel Production: mmBtu per ton of nickel or nickel hydroxide

0.000	Nickel Ore Mining
63.781	Nickel Production
15.945	Recycled Nickel Production
4.918	Nickel Hydroxide Production
2.459	Recycled Nickel Hydroxide Production

5.7) Energy Use of KOH Production: mmBtu per ton of KOH

8.370	KOH Production
-------	----------------

5.8) Energy Use of Cobalt Production: mmBtu per ton of cobalt oxide

0.000	Ore Mining
63.781	Cobalt Oxide Production
15.945	Recycled Cobalt Oxide Production

5.9) Energy Use of Copper Production: mmBtu per ton of copper

0.000	Ore Mining
65.962	Copper Production

5.10) Energy Use of Zinc Production: mmBtu per ton of zinc

3.720	Ore Mining
86.400	Zinc Production

5.11) Energy Use of Magnesium Production: mmBtu per ton of magnesium

Ore Mining	0.000
Magnesium Production	167.000

5.12) Energy Use of Sulfuric Acid Production: mmBtu per ton of sulfuric acid

Sulfuric Acid Production	0.000
--------------------------	-------

5.13) Energy Use of Glass Production: mmBtu per ton of material product

Glass Production	14.824
Glass Fiber Production	14.021

5.14) Energy Use of Plastic Production: mmBtu per ton of material product

Polypropylene Production	28.400
Polyester Production	61.161
HDPE Production	33.000
Inert Filler Production	0.641
Carbon Fiber Production	160.200
Glass Fiber-Reinforced Plastic Fabrication	7.886
Carbon Fiber-Reinforced Plastic Fabrication	7.886

5.15) Energy Use of Rubber Production: mmBtu per ton of rubber

Styrene-butadiene Rubber Production	33.855
-------------------------------------	--------

5.16) Energy Use of Platinum Production: mmBtu per ton of platinum

Ore Mining	2.262
Platinum Processing	72.100

5.21) Energy Use of Rare Earth Production: mmBtu per ton of rare earth

Ore Mining	4.333
Virgin Rare Earth Production	108.314
Recycled Rare Earth Production	0.000

5.22) Energy Use of Manganese Production: mmBtu per ton of manganese

Ore Mining	3.720
Virgin Manganese Production	86.400

5.23) Energy Use of Fuel-Cell Materials Production: mmBtu per ton of material product

Nafion 117 Sheet Production	12.296
Nafion Dry Polymer Production	12.038
PTFE Production	81.685

5.24) Energy Use of Fluids Production: mmBtu per ton of material product

Ethylene Glycol Production	29.654
----------------------------	--------

**Scenario Control Variables and Input Assumptions Related to Vehicle and its Components**

**1. Specification of Total Vehicle Weight, pounds**

	ICEV: Conventional Material	ICEV: Light-weight Material	HEV: Conventional Material	HEV: Light-weight Material	FCV: Conventional Material	FCV: Light-weight Material
Passenger Car	3,330	1,970	2,810	2,000	3,020	2,280

**2. Vehicle Battery and Fluids Weight, pounds per vehicle**

**2.1) Battery Weight**

	ICEV: Conventional Material	ICEV: Light-weight Material	HEV: Conventional Material	HEV: Light-weight Material	FCV: Conventional Material	FCV: Light-weight Material
Passenger Car - Lead-Acid	36.0	23.4	22.1	14.4	22.1	14.4
Passenger Car - Ni-MH			84.3	51.3	110.0	69.7
Passenger Car - Li-Ion			33.7	20.5	44.0	27.9

**2.2) Fluids Weight**

	Engine Oil	Power Steering Fluid	Brake Fluid	Transmission Fluid	Powertrain Coolant	Windshield Fluid	Adhesives
Passenger Car - ICEV	8.5	0.0	2.0	24.0	23.0	6.0	30.0
Passenger Car - HEV	8.5	0.0	2.0	1.8	23.0	6.0	30.0
Passenger Car - FCV	0.0	0.0	2.0	1.8	15.8	6.0	30.0

**3. Key Input Parameters for Vehicle Components: Body, Powertrain System, Transmission System, Chassis, Traction Motor, Generator, Electronic Control System, and Fuel System**

**3.1) Vehicle Components Weight, pounds (excluding battery, fluids, and fuel)**

	ICEV: Conventional Material	ICEV: Light-weight Material	HEV: Conventional Material	HEV: Light-weight Material	FCV: Conventional Material	FCV: Light-weight Material
Passenger Car	3200	1853	2632	1863	2832	2140

**3.2.a) Fuel Cell Stack Size, kW**

Passenger Car - Conventional Material	70
Passenger Car - Light-weight Material	54

**3.2.b) Passenger Car Weight of Fuel Cell Stack and Auxiliary System, pounds**

Fuel Cell Stack (Powertrain System): Conventional Material	226
Fuel Cell Auxiliary System: Conventional Material	546
Fuel Cell Stack (Powertrain System): Light-weight Material	174
Fuel Cell Auxiliary System: Light-weight Material	421

3.3) Passenger Car Components Composition, % by wt

	ICEV: Conventional Material	ICEV: Light-weight Material	HEV: Conventional Material	HEV: Light-weight Material	FCV: Conventional Material	FCV: Light-weight Material
Powertrain System	25.7%	30.7%	17.0%	21.6%	8.0%	8.1%
Transmission System	6.3%	6.7%	7.2%	7.8%	2.6%	2.8%
Chassis (w/o battery)	23.9%	23.0%	24.5%	24.5%	23.0%	23.8%
Traction Motor	0.0%	0.0%	2.1%	2.0%	3.8%	3.8%
Generator	0.0%	0.0%	2.1%	2.0%	0.0%	0.0%
Electronic Controller	0.0%	0.0%	1.8%	1.8%	3.4%	3.3%
Fuel Cell Auxiliary System	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	19.3%	19.7%
Body: including BW, interior, exterior	44.1%	39.6%	45.3%	40.3%	39.9%	38.5%

3.4) Passenger Car Battery Size in Peak Battery Power, kW

	Ni-MH	Li-Ion
HEV: Conventional Material	23	23
HEV: Light-weight Material	14	14
FCV: Conventional Material	30	30
FCV: Light-weight Material	19	19

6. GREET Default Key Assumptions for Vehicle and Vehicle Component Production

6.2) Energy Use of Vehicle Assembling, Disposal and Recycling: mmBtu per passenger car

0.234	Paint Production
0.956	Vehicle Painting
5.864	Vehicle Assembly
1.420	Vehicle Disposal

7. Lifetime VMT of a Vehicle, miles

	ICEV: Conventional Material	ICEV: Light-weight Material	HEV: Conventional Material	HEV: Light-weight Material	FCV: Conventional Material	FCV: Light-weight Material
Passenger Car	160,000	160,000	160,000	160,000	160,000	160,000

Scenario Control Variables and Input Assumptions Related to Vehicle Materials

1. Material Composition for Vehicle Components

1.1) Material Composition for Each Passenger Car Component, % by wt

		ICEV: Conventional		ICEV: Light-weight		HEV: Conventional		HEV: Light-weight		FCV: Conventional		FCV: Light-weight	
		Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material	Material
<b>Body</b>													
Steel		68.3%	11.1%	68.3%	10.8%	68.3%	10.8%	68.3%	10.3%	68.3%	10.3%	68.3%	10.3%
Wrought Aluminum		0.7%	9.1%	0.7%	8.9%	0.7%	8.9%	0.7%	8.5%	0.7%	8.5%	0.7%	8.5%
Copper/Brass		1.9%	3.6%	1.9%	3.5%	1.9%	3.5%	1.9%	3.3%	1.9%	3.3%	1.9%	3.3%
Magnesium		0.04%	0.9%	0.04%	0.9%	0.04%	0.9%	0.04%	0.9%	0.04%	0.9%	0.04%	0.9%
Glass		6.5%	7.7%	6.5%	7.5%	6.5%	7.5%	6.5%	7.2%	6.5%	7.2%	6.5%	7.2%
Carbon Fiber-Reinforced Plastic		0.0%	38.1%	0.0%	39.7%	0.0%	39.7%	0.0%	42.3%	0.0%	42.3%	0.0%	42.3%
Average Plastic		18.1%	23.6%	18.1%	22.9%	18.1%	22.9%	18.1%	22.0%	18.1%	22.0%	18.1%	22.0%
Rubber		0.5%	0.9%	0.5%	0.8%	0.5%	0.8%	0.5%	0.8%	0.5%	0.8%	0.5%	0.8%
Others		4.0%	5.0%	4.0%	5.0%	4.0%	5.0%	4.0%	4.7%	4.0%	4.7%	4.0%	4.7%
<b>Powertrain System</b>													
Steel		39.5%	54.8%	48.4%	59.6%	48.4%	59.6%	48.4%	1.5%	48.4%	1.5%	48.4%	1.5%
Stainless Steel		0.0%	3.6%	0.0%	3.2%	0.0%	3.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Cast iron		28.6%	5.3%	24.0%	4.7%	24.0%	4.7%	24.0%	0.0%	24.0%	0.0%	24.0%	0.0%
Wrought Aluminum		0.0%	1.8%	0.0%	2.5%	0.0%	2.5%	0.0%	23.2%	0.0%	23.2%	0.0%	23.2%
Cast Aluminum		17.1%	17.8%	14.4%	15.8%	14.4%	15.8%	14.4%	0.0%	14.4%	0.0%	14.4%	0.0%
Copper/Brass		2.9%	3.8%	2.6%	3.2%	2.6%	3.2%	2.6%	0.0%	2.6%	0.0%	2.6%	0.0%
Average Plastic		9.3%	11.1%	8.4%	9.4%	8.4%	9.4%	8.4%	0.0%	8.4%	0.0%	8.4%	0.0%
Rubber		2.6%	1.8%	2.2%	1.6%	2.2%	1.6%	2.2%	0.0%	2.2%	0.0%	2.2%	0.0%
Carbon Fiber-Reinforced Plastic		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	62.7%	0.0%	62.7%	0.0%	62.7%
PFSA		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.4%	0.0%	5.4%	0.0%	5.4%
Carbon Paper		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.1%	0.0%	5.1%	0.0%	5.1%
PTFE		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.4%	0.0%	1.4%	0.0%	1.4%
Carbon & PFSA Suspension		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	0.0%	0.6%	0.0%	0.6%
Platinum		0.002%	0.003%	0.002%	0.002%	0.002%	0.002%	0.002%	0.09%	0.002%	0.09%	0.002%	0.09%
Others		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
<b>Transmission System/Gearbox</b>													
Steel		30.0%	30.0%	60.5%	60.5%	60.5%	60.5%	60.5%	60.5%	60.5%	60.5%	60.5%	60.5%
Copper		0.0%	0.0%	18.9%	18.9%	18.9%	18.9%	18.9%	18.9%	18.9%	18.9%	18.9%	18.9%
Cast Iron		30.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Wrought Aluminum		30.0%	30.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%	20.0%
Cast Aluminum		0.0%	30.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Average Plastic		5.0%	5.0%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%
Rubber		5.0%	5.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Others		0.0%	0.0%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%	0.4%

Chassis (w/o battery)						
Steel	81.9%	31.5%	81.9%	30.3%	81.9%	29.4%
Cast Iron	7.8%	11.0%	7.8%	10.9%	7.8%	11.1%
Wrought Aluminum	0.0%	3.0%	0.0%	2.7%	0.0%	2.5%
Cast Aluminum	1.2%	31.4%	1.2%	34.1%	1.2%	35.7%
Copper/Brass	1.4%	2.7%	1.4%	2.5%	1.4%	2.2%
Glass Fiber-Reinforced Plastic	0.0%	9.9%	0.0%	9.8%	0.0%	10.1%
Average Plastic	2.0%	3.9%	2.0%	3.6%	2.0%	3.2%
Rubber	5.1%	5.7%	5.1%	5.3%	5.1%	4.8%
Others	0.6%	0.9%	0.6%	0.8%	0.6%	1.0%
Traction Motor						
Steel			36.1%	36.1%	36.1%	36.1%
Stainless Steel			0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Cast Aluminum			36.1%	36.1%	36.1%	36.1%
Copper/Brass			27.8%	27.8%	27.8%	27.8%
Others			0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Generator						
Steel			36.1%	36.1%		
Cast Aluminum			36.1%	36.1%		
Copper/Brass			27.8%	27.8%		
Others			0.0%	0.0%		
Electronic Controller						
Steel			5.0%	5.0%	5.0%	5.0%
Cast Aluminum			46.9%	46.9%	46.9%	46.9%
Copper/Brass			8.2%	8.2%	8.2%	8.2%
Rubber			3.7%	3.7%	3.7%	3.7%
Average Plastic			23.8%	23.8%	23.8%	23.8%
Others			12.4%	12.4%	12.4%	12.4%
Fuel Cell Auxiliary System						
Steel					36.8%	36.8%
Carbon Fiber-Reinforced Plastic					25.7%	25.7%
Wrought Aluminum					16.7%	16.7%
Copper					9.6%	9.6%
Average Plastics					8.7%	8.7%
Rubber					1.5%	1.5%
Nickel					0.5%	0.5%
Others					0.5%	0.5%

Vehicle Assembling, Disposal, and Recycling

1) Shares of Combustion Processes for Each stage

Resi. oil industrial boiler	100.0%
NG industrial boiler	100.0%
Coal industrial boiler	100.0%

2) Calculations of Energy Consumption and Emissions for Each Stage

	Paint Production		Vehicle Painting		Vehicle Assembly		Vehicle Disposal	
	Combustion Emissions	Non-Combustion Emissions	Combustion Emissions	Non-Combustion Emissions	Combustion Emissions	Non-Combustion Emissions	Combustion Emissions	Non-Combustion Emissions
Energy use: mmBtu per vehicle	0.234		0.956		5.864		1.420	
Urban emission share	0.0%		0.0%		0.0%		0.0%	
Shares of process fuels								
Resid. oil	0.0%		0.0%		0.0%		0.0%	
Diesel	0.0%		0.0%		0.0%		0.0%	
Natural gas	0.0%		21.1%		60.0%		0.0%	
Coal	0.0%		0.0%		7.0%		0.0%	
Electricity	100.0%		78.9%		33.0%		100.0%	
Energy use: mmBtu per vehicle								
Resid. oil	0.000		0.000		0.000		0.000	
Diesel	0.000		0.000		0.000		0.000	
Natural gas	0.000		0.201		3.518		0.000	
Coal	0.000		0.000		0.410		0.000	
Electricity	0.234		0.755		1.935		1.420	
Total energy	0.600		2.151		9.156		3.642	
Fossil fuels	0.519		1.889		8.482		3.149	
Coal	0.379		1.223		3.556		2.301	
Natural gas	0.125		0.618		4.786		0.760	
Petroleum	0.014		0.048		0.140		0.088	



Total Emissions: grams per vehicle						
VOC	4.425	404.130	15.760	1732.858	66.568	26.855
CO	12.766	387.618	46.093	84.645	223.867	77.471
NOx	52.544	1826.811	185.662	1097.203	787.186	318.856
PM10	67.230	504.748	217.664	607.618	681.032	407.978
PM2.5	17.663	252.374	57.719	303.809	197.040	107.185
SOx	115.564	2254.058	375.121	1422.523	1082.378	701.287
CH4	67.197		256.475		1301.002	407.775
N2O	0.657		2.358		10.032	3.987
CO2	49.824	-20.408	173.709	55082.059	684.593	302.349
Urban Emissions: grams per vehicle						
VOC	0.289	0.000	0.959	0.000	2.876	1.757
CO	2.551	0.000	8.274	0.000	21.990	15.478
NOx	8.750	0.000	28.352	0.000	75.057	53.098
PM10	0.566	0.000	1.828	0.000	4.766	3.432
PM2.5	0.335	0.000	1.083	0.000	2.838	2.031
SOx	19.021	0.000	61.399	0.000	158.265	115.424

3) Summary of Energy Consumption and Emissions Related to Vehicle Assembly, Disposal and Recycling

Energy Use: mmBtu per vehicle			Vehicle Painting	Vehicle Assembly	Vehicle Disposal	Total ADR
Paint Production						
Total Energy	0.600	2.151	9.156	3.642		15.549
Fossil fuels	0.519	1.889	8.482	3.149		14.039
Coal	0.379	1.223	3.556	2.301		7.460
Natural gas	0.125	0.618	4.786	0.760		6.289
Petroleum	0.014	0.048	0.140	0.088		0.290
Total Emissions: grams per vehicle						
VOC	408.555	1748.617	66.568	26.855		2250.596
CO	400.384	130.738	223.867	77.471		832.460
NOx	1879.355	1282.864	787.186	318.856		4268.261
PM10	571.978	825.282	681.032	407.978		2486.270
PM2.5	270.037	361.528	197.040	107.185		935.790
SOx	2369.622	1797.644	1082.378	701.287		5950.932
CH4	67.197	256.475	1301.002	407.775		2032.449
N2O	0.657	2.358	10.032	3.987		17.035
CO2	29,416	228,791	684,593	302,349		1,245,150
CO2 (VOC, CO, CO2)	29,870	228,939	684,847	302,437		1,246,093
GHGs	31,745	236,054	720,362	313,820		1,301,981
Urban Emissions: grams per vehicle						
VOC	0.289	0.959	2.876	1.757		5.881
CO	2.551	8.274	21.990	15.478		48.292
NOx	8.750	28.352	75.057	53.098		165.258
PM10	0.566	1.828	4.766	3.432		10.592
PM2.5	0.335	1.083	2.838	2.031		6.287
SOx	19.021	61.399	158.265	115.424		354.108

## Energy Use and Emissions of Vehicle Cycle

### 1) Summary of Energy Consumption and Emissions: mmBtu or grams per-vehicle lifetime

#### 1.1) ICEV: Conventional Material

	mmBtu or grams per vehicle lifetime					Percentage of each stage			
	Components	ADR	Batteries	Fluids	Total	Components	ADR	Batteries	Fluids
Total energy	68.805	15.549	4.330	11.651	100.335	68.6%	15.5%	4.3%	11.6%
Fossil fuels	64.257	14.039	3.798	11.581	93.675	68.6%	15.0%	4.1%	12.4%
Coal	24.896	7.460	2.782	0.474	35.612	69.9%	20.9%	7.8%	1.3%
Natural gas	29.324	6.289	0.875	2.114	38.603	76.0%	16.3%	2.3%	5.5%
Petroleum	10.037	0.290	0.141	8.993	19.461	51.6%	1.5%	0.7%	46.2%
CO2	5,113,253	1,245,150	347,355	716,523	7,422,281	68.9%	16.8%	4.7%	9.7%
CO2 (VOC, CO, CO2)	5,157,137	1,246,093	347,466	716,797	7,467,493	69.1%	16.7%	4.7%	9.6%
CH4	9318.480	2032.449	526.150	1161.275	13038.354	71.5%	15.6%	4.0%	8.9%
N2O	56.842	17.035	4.542	5.442	83.861	67.8%	20.3%	5.4%	6.5%
GHGs	5,407,038	1,301,981	361,974	747,450	7,818,443	69.2%	16.7%	4.6%	9.6%
VOC: Total	1490.382	2250.596	35.214	29233.450	33009.642	4.5%	6.8%	0.1%	88.6%
CO: Total	38721.000	832.460	98.550	241.306	39893.316	97.1%	2.1%	0.2%	0.6%
NOx: Total	5930.194	4268.261	391.011	1238.483	11827.950	50.1%	36.1%	3.3%	10.5%
PM10: Total	9572.313	2486.270	545.318	467.033	13070.933	73.2%	19.0%	4.2%	3.6%
PM2.5: Total	3835.826	935.790	155.899	273.845	5201.360	73.7%	18.0%	3.0%	5.3%
SOx: Total	12993.502	5950.932	1176.572	1469.618	21590.623	60.2%	27.6%	5.4%	6.8%
VOC: Urban	226.675	5.881	2.911	17933.158	18168.626	1.2%	0.0%	0.0%	98.7%
CO: Urban	143.084	48.292	17.022	88.986	297.384	48.1%	16.2%	5.7%	29.9%
NOx: Urban	476.752	165.258	58.351	437.178	1137.539	41.9%	14.5%	5.1%	38.4%
PM10: Urban	58.951	10.592	3.895	167.777	241.216	24.4%	4.4%	1.6%	69.6%
PM2.5: Urban	28.506	6.287	2.278	108.786	145.858	19.5%	4.3%	1.6%	74.6%
SOx: Urban	791.995	354.108	125.231	621.207	1892.542	41.8%	18.7%	6.6%	32.8%

## 1.2) ICEV: Light-weight Material

	mmBtu or grams per vehicle lifetime					Percentage of each stage			
	Components	ADR	Batteries	Fluids	Total	Components	ADR	Batteries	Fluids
Total energy	68.366	15.549	2.815	11.651	98.380	69.5%	15.8%	2.9%	11.8%
Fossil fuels	62.746	14.039	2.469	11.581	90.835	69.1%	15.5%	2.7%	12.7%
Coal	16.471	7.460	1.808	0.474	26.213	62.8%	28.5%	6.9%	1.8%
Natural gas	26.939	6.289	0.569	2.114	35.911	75.0%	17.5%	1.6%	5.9%
Petroleum	19.337	0.290	0.092	8.993	28.711	67.3%	1.0%	0.3%	31.3%
CO2	5,043,448	1,245,150	225,781	716,523	7,230,901	69.7%	17.2%	3.1%	9.9%
CO2 (VOC, CO, CO2)	5,058,993	1,246,093	225,853	716,797	7,247,736	69.8%	17.2%	3.1%	9.9%
CH4	8640.427	2032.449	341.997	1161.275	12176.148	71.0%	16.7%	2.8%	9.5%
N2O	55.662	17.035	2.952	5.442	81.091	68.6%	21.0%	3.6%	6.7%
GHGs	5,291,591	1,301,981	235,283	747,450	7,576,305	69.8%	17.2%	3.1%	9.9%
VOC: Total	1306.938	2250.596	22.889	29233.450	32813.873	4.0%	6.9%	0.1%	89.1%
CO: Total	13716.660	832.460	64.058	241.306	14854.484	92.3%	5.6%	0.4%	1.6%
NOx: Total	6853.436	4268.261	254.157	1238.483	12614.338	54.3%	33.8%	2.0%	9.8%
PM10: Total	7255.015	2486.270	354.457	467.033	10562.774	68.7%	23.5%	3.4%	4.4%
PM2.5: Total	3095.178	935.790	101.334	273.845	4406.148	70.2%	21.2%	2.3%	6.2%
SOx: Total	15102.330	5950.932	764.772	1469.618	23287.651	64.9%	25.6%	3.3%	6.3%
VOC: Urban	454.455	5.881	1.892	17933.158	18395.387	2.5%	0.0%	0.0%	97.5%
CO: Urban	182.732	48.292	11.064	88.986	331.074	55.2%	14.6%	3.3%	26.9%
NOx: Urban	592.062	165.258	37.928	437.178	1232.426	48.0%	13.4%	3.1%	35.5%
PM10: Urban	97.260	10.592	2.532	167.777	278.161	35.0%	3.8%	0.9%	60.3%
PM2.5: Urban	44.148	6.287	1.481	108.786	160.702	27.5%	3.9%	0.9%	67.7%
SOx: Urban	844.478	354.108	81.400	621.207	1901.194	44.4%	18.6%	4.3%	32.7%

### 1.3) HEV: Conventional Material

	mmBtu or grams per vehicle lifetime					Percentage of each stage			
	Components	ADR	Batteries	Fluids	Total	Components	ADR	Batteries	Fluids
Total energy	59.276	15.549	16.542	10.641	102.008	58.1%	15.2%	16.2%	10.4%
Fossil fuels	55.415	14.039	14.612	10.574	94.640	58.6%	14.8%	15.4%	11.2%
Coal	20.033	7.460	9.530	0.443	37.466	53.5%	19.9%	25.4%	1.2%
Natural gas	26.336	6.289	3.931	2.045	38.602	68.2%	16.3%	10.2%	5.3%
Petroleum	9.046	0.290	1.152	8.085	18.573	48.7%	1.6%	6.2%	43.5%
CO2	4,544,427	1,245,150	1,334,190	653,660	7,777,427	58.4%	16.0%	17.2%	8.4%
CO2 (VOC, CO, CO2)	4,582,860	1,246,093	1,335,400	653,911	7,818,265	58.6%	15.9%	17.1%	8.4%
CH4	8088.631	2032.449	1926.191	1072.071	13119.340	61.7%	15.5%	14.7%	8.2%
N2O	50.396	17.035	17.130	5.011	89.571	56.3%	19.0%	19.1%	5.6%
GHGs	4,800,094	1,301,981	1,388,660	682,206	8,172,940	58.7%	15.9%	17.0%	8.3%
VOC: Total	1299.856	2250.596	131.741	29210.868	32893.061	4.0%	6.8%	0.4%	88.8%
CO: Total	33911.946	832.460	1067.737	221.227	36033.370	94.1%	2.3%	3.0%	0.6%
NOx: Total	5229.528	4268.261	1477.373	1129.733	12104.895	43.2%	35.3%	12.2%	9.3%
PM10: Total	7990.508	2486.270	1858.960	424.630	12760.368	62.6%	19.5%	14.6%	3.3%
PM2.5: Total	3240.896	935.790	535.271	248.328	4960.286	65.3%	18.9%	10.8%	5.0%
SOx: Total	16832.645	5950.932	11912.834	1335.425	36031.835	46.7%	16.5%	33.1%	3.7%
VOC: Urban	205.247	5.881	25.791	17919.866	18156.785	1.1%	0.0%	0.1%	98.7%
CO: Urban	128.926	48.292	65.182	79.883	322.284	40.0%	15.0%	20.2%	24.8%
NOx: Urban	426.545	165.258	221.040	391.279	1204.123	35.4%	13.7%	18.4%	32.5%
PM10: Urban	53.059	10.592	16.755	149.734	230.139	23.1%	4.6%	7.3%	65.1%
PM2.5: Urban	25.648	6.287	9.371	97.015	138.321	18.5%	4.5%	6.8%	70.1%
SOx: Urban	707.148	354.108	459.414	555.121	2075.792	34.1%	17.1%	22.1%	26.7%

### 1.4) HEV: Light-weight Material

	mmBtu or grams per vehicle lifetime					Percentage of each stage			
	Components	ADR	Batteries	Fluids	Total	Components	ADR	Batteries	Fluids
Total energy	69.747	15.549	10.179	10.641	106.116	65.7%	14.7%	9.6%	10.0%
Fossil fuels	64.245	14.039	8.991	10.574	97.849	65.7%	14.3%	9.2%	10.8%
Coal	16.555	7.460	5.871	0.443	30.330	54.6%	24.6%	19.4%	1.5%
Natural gas	27.583	6.289	2.415	2.045	38.332	72.0%	16.4%	6.3%	5.3%
Petroleum	20.107	0.290	0.705	8.085	29.187	68.9%	1.0%	2.4%	27.7%
CO2	5,170,487	1,245,150	820,923	653,660	7,890,221	65.5%	15.8%	10.4%	8.3%
CO2 (VOC, CO, CO2)	5,186,292	1,246,093	821,663	653,911	7,907,959	65.6%	15.8%	10.4%	8.3%
CH4	8832.572	2032.449	1185.805	1072.071	13122.897	67.3%	15.5%	9.0%	8.2%
N2O	56.959	17.035	10.542	5.011	89.547	63.6%	19.0%	11.8%	5.6%
GHGs	5,424,080	1,301,981	854,449	682,206	8,262,716	65.6%	15.8%	10.3%	8.3%
VOC: Total	1289.842	2250.596	81.083	29210.868	32832.389	3.9%	6.9%	0.2%	89.0%
CO: Total	13945.141	832.460	652.426	221.227	15651.254	89.1%	5.3%	4.2%	1.4%
NOx: Total	7034.531	4268.261	909.185	1129.733	13341.710	52.7%	32.0%	6.8%	8.5%
PM10: Total	7232.587	2486.270	1145.368	424.630	11288.855	64.1%	22.0%	10.1%	3.8%
PM2.5: Total	3086.512	935.790	329.770	248.328	4600.401	67.1%	20.3%	7.2%	5.4%
SOx: Total	19051.498	5950.932	7281.124	1335.425	33618.978	56.7%	17.7%	21.7%	4.0%
VOC: Urban	472.764	5.881	15.773	17919.866	18414.285	2.6%	0.0%	0.1%	97.3%
CO: Urban	189.438	48.292	40.108	79.883	357.721	53.0%	13.5%	11.2%	22.3%
NOx: Urban	610.647	165.258	136.026	391.279	1303.210	46.9%	12.7%	10.4%	30.0%
PM10: Urban	100.804	10.592	10.297	149.734	271.427	37.1%	3.9%	3.8%	55.2%
PM2.5: Urban	45.752	6.287	5.762	97.015	154.816	29.6%	4.1%	3.7%	62.7%
SOx: Urban	863.941	354.108	282.819	555.121	2055.989	42.0%	17.2%	13.8%	27.0%

### 1.5) FCV: Conventional Material

	mmBtu or grams per vehicle lifetime					Percentage of each stage			
	Components	ADR	Batteries	Fluids	Total	Components	ADR	Batteries	Fluids
Total energy	86.549	15.549	20.767	2.466	125.331	69.1%	12.4%	16.6%	2.0%
Fossil fuels	80.708	14.039	18.350	2.426	115.523	69.9%	12.2%	15.9%	2.1%
Coal	22.538	7.460	11.910	0.196	42.104	53.5%	17.7%	28.3%	0.5%
Natural gas	36.263	6.289	4.964	1.381	48.897	74.2%	12.9%	10.2%	2.8%
Petroleum	21.908	0.290	1.476	0.848	24.522	89.3%	1.2%	6.0%	3.5%
CO2	6,638,482	1,245,150	1,675,350	138,897	9,697,878	68.5%	12.8%	17.3%	1.4%
CO2 (VOC, CO, CO2)	6,675,266	1,246,093	1,676,907	138,961	9,737,227	68.6%	12.8%	17.2%	1.4%
CH4	11,305,703	2032.449	2414.119	322.752	16075.022	70.3%	12.6%	15.0%	2.0%
N2O	71.735	17.035	21.495	1.428	111.693	64.2%	15.3%	19.2%	1.3%
GHGs	6,979,285	1,301,981	1,743,666	147,455	10,172,387	68.6%	12.8%	17.1%	1.4%
VOC: Total	1476.861	2250.596	165.257	28906.727	32799.441	4.5%	6.9%	0.5%	88.1%
CO: Total	32456.496	832.460	1374.288	56.372	34719.616	93.5%	2.4%	4.0%	0.2%
NOx: Total	8351.227	4268.261	1853.953	243.825	14717.266	56.7%	29.0%	12.6%	1.7%
PM10: Total	9759.266	2486.270	2322.846	82.992	14651.373	66.6%	17.0%	15.9%	0.6%
PM2.5: Total	4119.696	935.790	669.052	43.177	5767.715	71.4%	16.2%	11.6%	0.7%
SOx: Total	23711.870	5950.932	15318.654	248.375	45229.830	52.4%	13.2%	33.9%	0.5%
VOC: Urban	511.258	5.881	33.096	17812.866	18363.102	2.8%	0.0%	0.2%	97.0%
CO: Urban	223.999	48.292	81.840	7.672	361.804	61.9%	13.3%	22.6%	2.1%
NOx: Urban	719.901	165.258	277.412	28.731	1191.301	60.4%	13.9%	23.3%	2.4%
PM10: Urban	112.254	10.592	21.126	7.566	151.538	74.1%	7.0%	13.9%	5.0%
PM2.5: Urban	51.638	6.287	11.798	4.374	74.097	69.7%	8.5%	15.9%	5.9%
SOx: Urban	1046.499	354.108	575.838	34.317	2010.763	52.0%	17.6%	28.6%	1.7%

### 1.6) FCV: Light-weight Material

	mmBtu or grams per vehicle lifetime					Percentage of each stage			
	Components	ADR	Batteries	Fluids	Total	Components	ADR	Batteries	Fluids
Total energy	95.342	15.549	13.197	2.466	126.554	75.3%	12.3%	10.4%	1.9%
Fossil fuels	88.239	14.039	11.660	2.426	116.365	75.8%	12.1%	10.0%	2.1%
Coal	19.573	7.460	7.572	0.196	34.800	56.2%	21.4%	21.8%	0.6%
Natural gas	36.543	6.289	3.153	1.381	47.366	77.1%	13.3%	6.7%	2.9%
Petroleum	32.124	0.290	0.936	0.848	34.198	93.9%	0.8%	2.7%	2.5%
CO2	7,070,572	1,245,150	1,064,609	138,897	9,519,228	74.3%	13.1%	11.2%	1.5%
CO2 (VOC, CO, CO2)	7,084,743	1,246,093	1,065,596	138,961	9,535,393	74.3%	13.1%	11.2%	1.5%
CH4	11871.577	2032.449	1534.326	322.752	15761.102	75.3%	12.9%	9.7%	2.0%
N2O	76.378	17.035	13.660	1.428	108.502	70.4%	15.7%	12.6%	1.3%
GHGs	7,404,293	1,301,981	1,108,025	147,455	9,961,755	74.3%	13.1%	11.1%	1.5%
VOC: Total	1479.259	2250.596	105.023	28906.727	32741.605	4.5%	6.9%	0.3%	88.3%
CO: Total	12503.868	832.460	871.390	56.372	14264.090	87.7%	5.8%	6.1%	0.4%
NOx: Total	9933.106	4268.261	1178.171	243.825	15623.363	63.6%	27.3%	7.5%	1.6%
PM10: Total	8870.904	2486.270	1476.715	82.992	12916.881	68.7%	19.2%	11.4%	0.6%
PM2.5: Total	3871.266	935.790	425.328	43.177	5275.561	73.4%	17.7%	8.1%	0.8%
SOx: Total	24990.426	5950.932	9713.852	248.375	40903.585	61.1%	14.5%	23.7%	0.6%
VOC: Urban	758.355	5.881	20.991	17812.866	18598.093	4.1%	0.0%	0.1%	95.8%
CO: Urban	276.844	48.292	52.006	7.672	384.815	71.9%	12.5%	13.5%	2.0%
NOx: Urban	878.405	165.258	176.291	28.731	1248.685	70.3%	13.2%	14.1%	2.3%
PM10: Urban	155.630	10.592	13.420	7.566	187.208	83.1%	5.7%	7.2%	4.0%
PM2.5: Urban	69.792	6.287	7.495	4.374	87.948	79.4%	7.1%	8.5%	5.0%
SOx: Urban	1163.465	354.108	365.979	34.317	1917.870	60.7%	18.5%	19.1%	1.8%



## 2) Summary of Energy Consumption and Emissions of Vehicle Cycles: Btu or grams per mile

	ICEV:		HEV:		FCV:	
	Conventional	ICEV: Light-	Conventional	HEV: Light-	Conventional	FCV: Light-
	Material	weight	Material	weight	Material	weight
	160,000	160,000	160,000	160,000	160,000	160,000
Lifetime VMT						
Total energy	627	615	638	663	783	791
Fossil fuels	585	568	592	612	722	727
Coal	223	164	234	190	263	218
Natural gas	241	224	241	240	306	296
Petroleum	122	179	116	182	153	214
CO2	46	45	49	49	61	59
CO2 (VOC, CO, CO2)	47	45	49	49	61	60
CH4	0.081	0.076	0.082	0.082	0.100	0.099
N2O	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
GHGs	49	47	51	52	64	62
VOC: Total	0.206	0.205	0.206	0.205	0.205	0.205
CO: Total	0.249	0.093	0.225	0.098	0.217	0.089
NOx: Total	0.074	0.079	0.076	0.083	0.092	0.098
PM10: Total	0.082	0.066	0.080	0.071	0.092	0.081
PM2.5: Total	0.033	0.028	0.031	0.029	0.036	0.033
SOx: Total	0.135	0.146	0.225	0.210	0.283	0.256
VOC: Urban	0.114	0.115	0.113	0.115	0.115	0.116
CO: Urban	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
NOx: Urban	0.007	0.008	0.008	0.008	0.007	0.008
PM10: Urban	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001
PM2.5: Urban	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000	0.001
SOx: Urban	0.012	0.012	0.013	0.013	0.013	0.012

### 3) Vehicle Cycle Energy and Emission Changes (% relative to gasoline ICEV with conventional material)

	ICEV: Light-weight Material		HEV: Conventional Material		HEV: Light-weight Material		FCV: Conventional Material		FCV: Light-weight Material	
Total energy	-1.9%		1.7%		5.8%		24.9%		26.1%	
Fossil fuels	-3.0%		1.0%		4.5%		23.3%		24.2%	
Coal	-26.4%		5.2%		-14.8%		18.2%		-2.3%	
Natural gas	-7.0%		0.0%		-0.7%		26.7%		22.7%	
Petroleum	47.5%		-4.6%		50.0%		26.0%		75.7%	
CO2	-2.6%		4.8%		6.3%		30.7%		28.3%	
CO2 (VOC, CO, CO2)	-2.9%		4.7%		5.9%		30.4%		27.7%	
CH4	-6.6%		0.6%		0.6%		23.3%		20.9%	
N2O	-3.3%		6.8%		6.8%		33.2%		29.4%	
GHGs	-3.1%		4.5%		5.7%		30.1%		27.4%	
VOC: Total	-0.6%		-0.4%		-0.5%		-0.6%		-0.8%	
CO: Total	-62.8%		-9.7%		-60.8%		-13.0%		-64.2%	
NOx: Total	6.6%		2.3%		12.8%		24.4%		32.1%	
PM10: Total	-19.2%		-2.4%		-13.6%		12.1%		-1.2%	
PM2.5: Total	-15.3%		-4.6%		-11.6%		10.9%		1.4%	
SOx: Total	7.9%		66.9%		55.7%		109.5%		89.5%	
VOC: Urban	1.2%		-0.1%		1.4%		1.1%		2.4%	
CO: Urban	11.3%		8.4%		20.3%		21.7%		29.4%	
NOx: Urban	8.3%		5.9%		14.6%		4.7%		9.8%	
PM10: Urban	15.3%		-4.6%		12.5%		-37.2%		-22.4%	
PM2.5: Urban	10.2%		-5.2%		6.1%		-49.2%		-39.7%	
SOx: Urban	0.5%		9.7%		8.6%		6.2%		1.3%	

Energy Use and Emissions of Well-to-Pump, Vehicle Cycle and Vehicle Operation

1) Per-Mile Well-to-Pump, Vehicle Cycle and Vehicle Operation Energy Use and Emissions:

Gasoline Vehicle: CG and RFG, Conventional Material		Btu/mile or grams/mile			Percentage of each stage			
Item		WTP	Vehicle Cycle	Vehicle Operation	Total	WTP	Vehicle Cycle	Vehicle Operation
Total energy		1,231	627	4,908	6,766	18.2%	9.3%	72.5%
Fossil fuels		1,122	585	4,806	6,514	17.2%	9.0%	73.8%
Coal		198	223	0	421	47.1%	52.9%	0.0%
Natural gas		456	241	0	698	65.4%	34.6%	0.0%
Petroleum		468	122	4,806	5,395	8.7%	2.3%	89.1%
CO2 (VOC, CO, CO2)		83	47	377	506	16.3%	9.2%	74.5%
CH4		0.534	0.081	0.015	0.630	84.7%	12.9%	2.3%
N2O		0.006	0.001	0.012	0.018	30.9%	2.9%	66.2%
GHGs		98	49	381	527	18.5%	9.3%	72.2%
VOC: Total		0.134	0.206	0.180	0.521	25.8%	39.6%	34.6%
CO: Total		0.070	0.249	3.745	4.064	1.7%	6.1%	92.1%
NOx: Total		0.233	0.074	0.141	0.448	52.0%	16.5%	31.5%
PM10: Total		0.054	0.082	0.029	0.164	32.8%	49.7%	17.4%
PM2.5: Total		0.021	0.033	0.015	0.068	30.7%	47.6%	21.7%
SOx: Total		0.116	0.135	0.006	0.258	45.2%	52.4%	2.4%
VOC: Urban		0.076	0.114	0.112	0.302	25.3%	37.6%	37.1%
CO: Urban		0.019	0.002	2.329	2.350	0.8%	0.1%	99.1%
NOx: Urban		0.051	0.007	0.088	0.146	35.0%	4.9%	60.1%
PM10: Urban		0.009	0.002	0.018	0.028	31.9%	5.3%	62.8%
PM2.5: Urban		0.005	0.001	0.009	0.015	34.2%	5.9%	59.9%
SOx: Urban		0.035	0.012	0.004	0.051	69.4%	23.1%	7.5%

# Transportation Fuel Cycle Emissions and Energy Model

Gasoline Vehicle: CG and RFG, Light-Weight Material		Btu/mile or grams/mile		Percentage of each stage		
Item		WTP	Vehicle Cycle	Vehicle Operation	Total	Vehicle Operation
Total energy		932	615	3,718	5,265	70.6%
Fossil fuels		850	568	3,640	5,058	72.0%
Coal		150	164	0	314	0.0%
Natural gas		346	224	0	570	0.0%
Petroleum		354	179	3,640	4,174	87.2%
CO2 (VOC, CO, CO2)		63	45	285	393	72.6%
CH4		0.404	0.076	0.015	0.495	2.9%
N2O		0.004	0.001	0.012	0.017	71.7%
GHGs		74	47	289	411	70.5%
VOC: Total		0.102	0.205	0.180	0.487	37.0%
CO: Total		0.053	0.093	0.3745	0.3891	96.3%
NOx: Total		0.177	0.079	0.141	0.397	35.6%
PM10: Total		0.041	0.066	0.029	0.135	21.1%
PM2.5: Total		0.016	0.028	0.015	0.058	25.4%
SOx: Total		0.088	0.146	0.005	0.238	2.0%
VOC: Urban		0.058	0.115	0.112	0.285	39.3%
CO: Urban		0.014	0.002	2.329	2.346	99.3%
NOx: Urban		0.039	0.008	0.088	0.134	65.4%
PM10: Urban		0.007	0.002	0.018	0.026	67.5%
PM2.5: Urban		0.004	0.001	0.009	0.014	64.9%
SOx: Urban		0.027	0.012	0.003	0.042	7.0%

## 附錄 4      簡報資料

# 從生命週期觀點探討國內私人小客車 之能源消耗與溫室氣體排放之研究

## 簡報



交通部運輸研究所

101年4月25日

1

## 簡報大綱

- 一、緒論
- 二、國內外文獻回顧
- 三、國外常用評估模式簡介
- 四、我國私人小客車能耗溫室氣體排放試算  
與評估
- 五、重要課題探討與推動策略研擬
- 六、結論與建議

2

## ■ 研究緣起

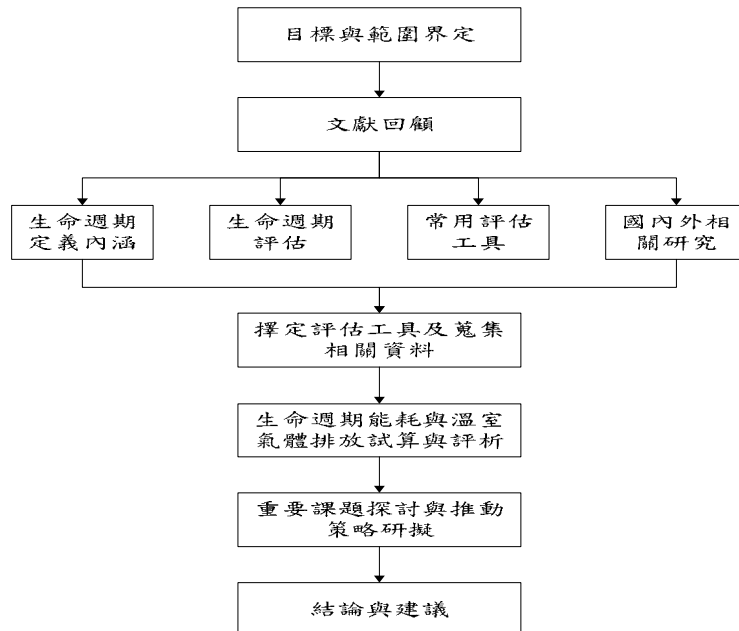
- 根據2010年統計，**運輸部門**是我國**第二大**能源消耗部門，佔全國總能耗比約**13%**。
- 國內運輸系統之能源消耗與二氧化碳排放，歷年來均以**公路系統**為最大宗，其中又以**私人小客車**的能耗與排放為**最主要來源**。
- 目前在運輸部門的能耗與溫室氣體排放量統計上，僅以**運具在行駛過程**中因燃燒化石燃料或用電過程中所造成的**能耗與溫室氣體排放**的推估為主。
- 然而從**原料取得、生產製造至廢棄回收**階段皆會產生二氧化碳及能耗。

## ■ 研究範圍及目的

- 以國內私人小客車在**原料組成、製造與運銷、使用與維護、棄置與回收**等**生命週期**各階段中，所涉及**能源消耗與溫室氣體排放**之相關範疇為主要研究範圍。
- 從生命週期觀點瞭解國內私人小客車於**原料組成、製造與運銷、使用與維護、棄置與回收**等階段之能源消耗與溫室氣體排放。
- 針對研究成果，探討未來在各階段中節能減碳之策略方向與重點。



## 研究流程

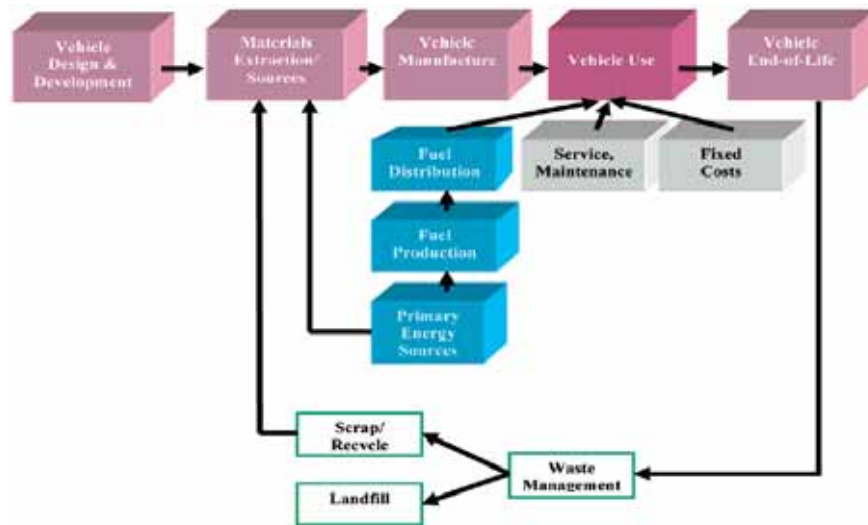


## 生命週期的定義與內涵

- 生命週期觀念之產生，源於1970年待能源危機之因素下所發展出來以能源分析為主要重點之思考模式。
- 生命週期評估(Life Cycle Assessment, LCA)最早被企業界用來作為評估或改善其產品、製程、或活動對環境產生之污染和耗能負荷的方法，近年來生命週期評估重點及其運用已逐漸轉至環保相關之公共事務上。
- 根據國際標準組織ISO對LCA的敘述：生命週期評估是在產品的生命過程中(從搖籃到墳墓：Cradle to Grave)，從原料的取得、製造、使用與廢棄等階段，評估其產生的環境衝擊。



## 二、文獻回顧



汽車生命週期簡易圖

Heather L., MacLean HL, Lave LB, "Life Cycle Assessment of Automobile / Fuel Options", Environ Sci Technol, Vol 37, 2003, pp.5445-5452.

7

## 二、文獻回顧

### ■ 國內外文獻回顧(1/5)

#### ● 美國

- Mikhail V. Chester(2008)「美國旅客運輸生命週期環境盤查」研究發現，車輛總生命週期之能源消耗與排放，大於車輛使用階段之能源消耗與排放。
- 研究中針對「汽油車」，選擇轎車、SUV，以及Pickup三種車型，並根據美國2005年車輛銷售排行榜做為挑選對象。
- 結果發現所有車種於使用階段之能耗與溫室氣體排放占整體生命週期比例均為最大。
- Mikhail Chester and Arpad Horvath(2009)延續前述2008年之研究，對機車、柴油車、校車、電動公車、芝加哥以及紐約市地鐵，進行生命週期盤查。
- 發現柴油轎車於製造階段之能耗與排放，高於類似規格之汽油車，在使用階段中運行能耗與GHG、SO<sub>2</sub>、CO之排放，以及啟動部分之排放低於類似規格汽油車。

8

## ■ 國內外文獻回顧(2/5)

### • 歐盟

- 小客車的環境改善計畫(Environmental Improvement of Passenger Cars, IMPRO-car project) ,
  - (1) 探討改進車輛一些原始的的特性(諸如引擎、車輛設計及製造原料等) ,對環境衝擊會造成什麼影響。
  - (2) 探討對車輛使用型能的改變所帶來的影響。
- 生命週期分析, 包括車輛製造階段、附屬配件製造階段、燃料生產階段、燃料使用階段及車輛回收與處理階段。
- 結果顯示:
  - (1) 從完整生命週期來看, 汽油車的能源消耗及溫室氣體排放量較柴油車來得低。
  - (2) 兩者在車輛製造階段與附屬配件製造階段之能源消耗與溫室氣體排放量差異不大; 但在燃料生產階段則有明顯之差異。
  - (3) 燃料使用階段之能源消耗與溫室氣體排放量佔比最高, 其次是燃料生產階段。

## ■ 國內外文獻回顧(3/5)

### • 中國大陸

- 周祖鵬(2010)於「一種新的汽車全生命週期評價指標」研究指出, **生命週期評價方法**是一種有效的產品環境友好性評價方法, 它的廣泛應用必定能夠**為節能減碳作出貢獻**。
- 俞一鳴(2010)進行強混合動力汽車全生命周期成本研究, 研究結果顯示: **強混合動力汽車**是一種對於**節能減碳**和**環境保護**都有非常明顯作用的汽車產品。
- 「車用替代燃料生命周期分析」一書(2008), 採用國際流行的Well-to-Wheel車用燃料能源和排放分析工具**GREET**, 透過**調查**研究大量數據, 構建以中國數據為基礎的**模型數據庫**。計算出2005年、2012年和2020年的140種**車用替代燃料路徑**在中國實際條件下的全生命週期中**能源消費量**、**溫室氣體排放量**和**持有者成本指標**。
- Xianchun 等人(2011)依據美國**GREET** 與 **MOBILE**模式, 研提中國**汽車製造業二氧化碳排放計算方法**, 並在中國重慶應用於汽機車製造業二氧化碳排放的估算。

## ■ 國內外文獻回顧(4/5)

- 日本
  - Japan Automob. Res. Inst., Inc專家FUNAZAKI ATSUSHI及 TANEDA KATSUNORI(2001)進行小汽車終端生命週期評估之研究，針對1998 年廢棄之小汽車進行生命週期評估。
- 韓國
  - Kee Mo Jeong等韓國建國大學學者(2007)運用生命週期評估方法，考量車輛回收利用之環境負擔及效益，以評估其環境績效及確認改善之機會。研究結果顯示：經由汽車回收利用所獲得的環境效益相對大於回收過程所產生的環境負荷。
- 泰國
  - Martin Goedecke等學者(2007)進行替代能源車輛與燃料之生命週期成本之分析，比較13種替代能源車輛之生命週期成本，其中生命週期成本包括社會生命週期成本及消費者生命週期成本兩部分。

## ■ 國內外文獻回顧(5/5)

- 臺灣
  - 蔡欣欣(2007)以簡易式生命週期評估方法，針對我國目前推動油氣雙燃料與油電混合車進行使用與廢棄回收階段之生命週期盤查分析，並與傳統汽油小客車作比較，從環境與能源角度比較三者之優異。
  - 工業技術研究院(2004)進行「汽機車生命週期耗能分析研究」，以文獻蒐集方式進行相關分析，其中以VW的GOLF車型為分析對象，並採用ISO 14040與ISO 14041之定義進行評估。其分析結果則分為「製造」、「材料生產」、「燃油生產」以及「使用與丟棄」來總點呈現。

單位：Kg/car

	總和	製造	材料生產	燃油生產	使用與丟棄
汽油車	29,732	1,890	2,512	1,991	23,339
柴油車	26,602	1,889	2,688	1,748	20,277

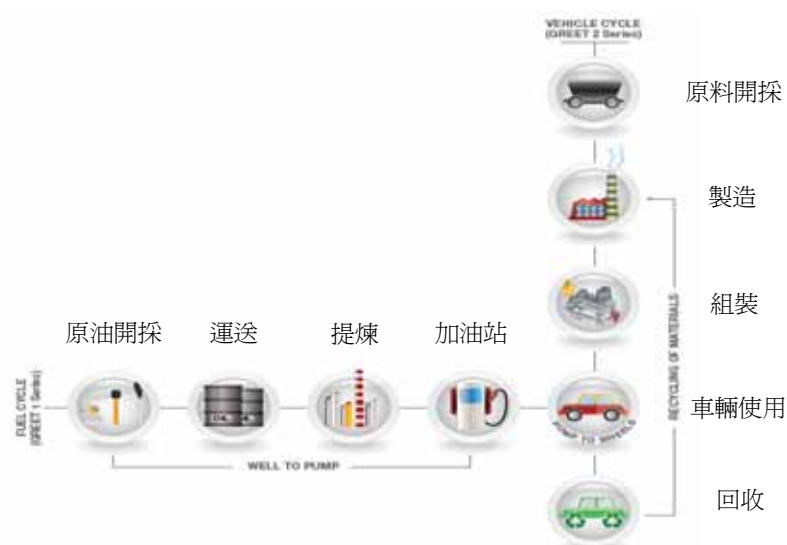
- 潘富生(2002)進行「電動機車與燃油機車生命週期盤查分析」，根據ISO 14040規範，以盤查方式進行電動機車與燃油機車生命週期比較。惟受限於資料取得困難，該研究範疇限縮至使用至廢棄階段，未能涵括生產製造階段。然各階段電動車均無較大的優勢。

## ■ GREET 模式(1/4)

- GREET，全名Greenhouse Gases, Regulated Emissions, and Energy Use in Transportation。
- 由美國運輸部委託美國能源部最大的研究中心阿岡國家實驗室(Argonne National Laboratory，Transportation Technology R&D Center)發展。
- 1995年開始發展的一套**能源週期(energy-cycle)**分析模式，之後因應不同車輛製造技術，再擴展增加**車輛週期(vehicle-cycle)**模式。
- 2010年所公布之最新版**GREET1.8d**與**GREET2.7**，為目前世界上**最完整車輛耗能評估模型**之一。
- GREET可分析包括**燃料製造、車輛製造、車輛使用**3種不同狀況，可單獨進行分析或組合進行分析，提供包括溫室氣體在內**10種以上**排放與耗能分析。

13

## ■ GREET 模式(2/4)

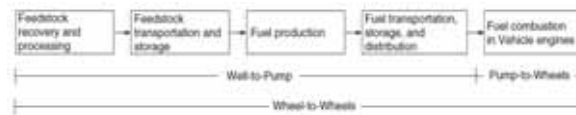


14

## ■ GREET 模式(3/4)

### • 燃料週期(fuel-cycle)分析

- 採用電腦模擬方式來針對使用不同燃油的傳統內燃機車輛、油電混合動力車輛，及純燃料電池車或是與電池混合而成的燃料電池車輛，依據所指定車輛規格性能及行車型態進行模擬。
- 可計算出不同的燃料所造成的廢氣排放影響。
- 從Well-to-Pump 至Pump-to-Wheels 及Well-to-Wheels 進行整體性之研究評估。
- GREET1.8d所針對燃料週期(fuel-cycle)，是指燃料從礦場開採一直到車輛消耗燃燒的過程，GREET模型又將其分為三階段，第1階段是feedstock階段，包括化石原料開採、原油運輸、儲存，第2階段是fuel階段，包括原油進口之後，燃料製造提煉過程，及第3階段為將燃油運輸、儲存、配送至加油站。



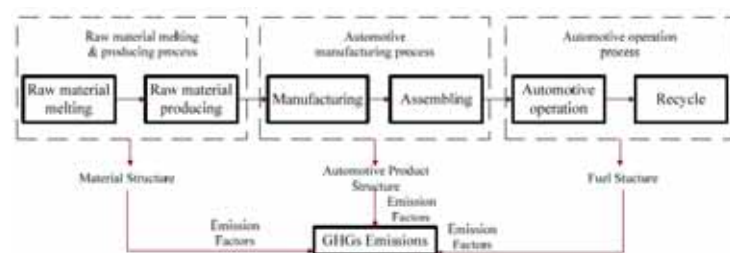
GREET 軟體燃料週期運作流程圖

15

## ■ GREET 模式(4/4)

### • 車輛週期(vehicle-cycle)分析

- GREET模型中關於車輛週期(vehicle-cycle)的定義，是指車輛從材料準備、生產製造、報廢處理的過程。
- GREET又將其分為三階段，分別是material structure階段(包括材料製造、零件裝配、車輛組裝)、automotive manufacturing階段(包括燃燒、蒸發、煞車、輪胎磨耗等)、automotive-operation階段(包括車輛行駛階段、車輛廢棄、回收)。



GREET車輛週期定義

16

## ■ MOVES 模式

- MOVES，全名MOTOR Vehicle Emission Simulator。
- 美國環保署運輸與空氣品質辦公室(EPA's Office of Transportation and Air Quality, OTAQ) 發展的新一代汽車污染源排放係數推估模式。
- 美國環保署已於2009年12月正式宣布MOVES模式取代使用多年的MOBILE模式，成為美國環境影響評估之法定模式。
- 車輛行駛過程中之能耗與排放率的推估。

17

## ■ 評估工具與分析車種之選擇

- MOVES僅針對使用階段進行能耗與污染物排放的評估。
- GREET模式是對各種能源使用車輛的生命週期建立了整體的生命週期評估。
- GREET模式有完整的生命週期評估架構，包括車輛週期與燃料週期。
- GREET模式針對參數部分可進行修正，並有完善的說明指南。
- GREET模式是公開使用的整體車輛生命週期之評估工具。
- 有限的時間及初步對模式的了解。
- 私人汽油小客車 v.s. 私人柴油小客車。

18

## ■ 模式參數本土化<sup>(1/10)</sup>

- 我國在車輛組成過程、車輛使用及燃油生產提煉過程與美國有所差異，因此在GREET模式中部分參數需要進行本土化的修正，以符合現今臺灣使用的車種。
- GREET2.7模式本土化部分
  - 車輛總行駛里程：以一般國產車行駛效能推估，車輛總行駛可達200,000公里。
  - 平均小客車使用年限：若以每年可行駛1.4萬公里計算，平均小客車使用年限約15年。
  - 輪胎及鉛蓄電池更換次數：若以每行駛5萬公里更換一次，則車輛輪胎及鉛蓄電池更換次數皆為4次。
  - 使用階段中，流體的運用情形(更換次數、更換比、更換量)

19

## ■ 模式參數本土化<sup>(2/10)</sup>

- 使用階段中，流體的運用情形：

流體的替換次數

	引擎機油	動力方向機油	煞車油	自動變速箱油	動力系統冷卻液	擋風玻璃水	接著劑
預設值	40	0	3	1	3	20	0
本土化	40	2	7.5	2	4	20	0

流體更換廢液占比 (%)

	引擎機油	動力方向機油	煞車油	自動變速箱油	動力系統冷卻液	擋風玻璃水	接著劑
預設值	66.7%	66.7%	66.7%	66.7%	66.7%	0.0%	66.7%
本土化	90.0%	66.7%	66.7%	60.0%	66.7%	0.0%	66.7%

流體在汽車中所占的重量 (磅)

	引擎機油	動力方向機油	煞車油	自動變速箱油	動力系統冷卻液	擋風玻璃水	接著劑
預設值	8.5	0	2.0	24.0	23.0	6.0	30.0
本土化	8.5	1	2.0	16.0	23.0	6.0	30.0

20

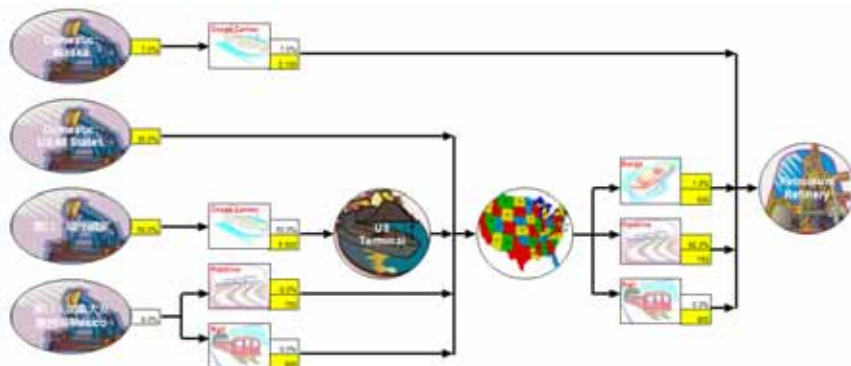
## ■ 模式參數本土化<sup>(3/10)</sup>

- GREET1.8模式本土化部分
  - 油料運輸途徑
  - 油輪噸位
  - 燃料的熱值

21

## ■ 模式參數本土化<sup>(4/10)</sup>

- GREET1.8模式-油料運輸途徑

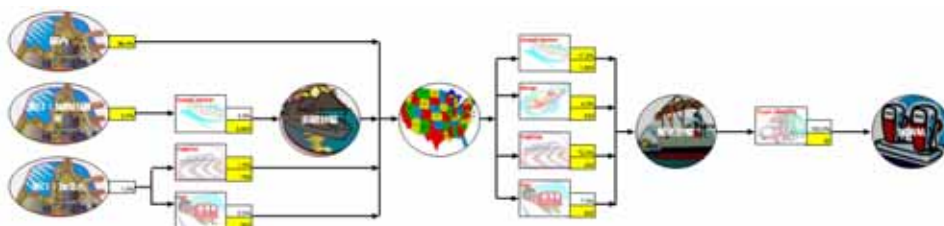


22



## ■ 模式參數本土化<sup>(5/10)</sup>

- GREET1.8模式-油料運輸途徑



23

## ■ 模式參數本土化<sup>(6/10)</sup>

- 國內燃料運輸途徑
  - 以中油為研究對象
  - 進口原油

	中東國家	非洲
進口比例	70%	30%
距離	10,000Km	7,900Km
平均加權距離	9,370Km	



24

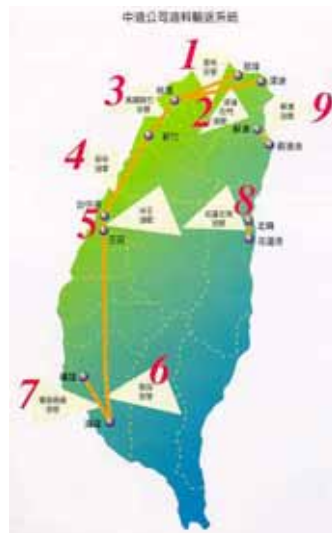
## ■ 模式參數本土化<sup>(7/10)</sup>

### ● 國內燃料運輸途徑

- 中油三座煉油廠：桃園、大林、高雄。
- 卸油浮筒
- 油管運輸：平均約82公里。

### ● 東部運輸上

- 燃油運送至東部地區比例：以各縣市汽柴油銷售量推估，約5%。
- 3油庫運送加權距離：454公里。
- 假設皆以近海油輪運送。



25

## ■ 模式參數本土化<sup>(8/10)</sup>

### ● 國內燃料運輸途徑

- 油庫至各加油站的油料運送。
- 油罐車

	平均運送距離(公里)
基隆地區	10
臺北地區	50
桃竹苗地區	75
臺中地區	35
雲嘉南地區	50
高屏地區	60
東部地區	130

26

## ■ 模式參數本土化<sup>(9/10)</sup>

### • 國內燃料運輸途徑

#### － 本土化傳統汽(柴)油運輸途徑

運輸行為	國外進口原油	汽柴油的儲存		配送加油站
運輸途徑	國外至臺灣端	煉油廠至油庫		油庫至加油站
方式	遠洋油輪	油管(西部)	油輪(東部)	油罐車
比例	100%	95%	5%	100%
距離	9,370公里	82公里	454公里	60公里

#### － 油輪噸位

油輪種類	平均油輪噸位
遠洋油輪	12.7萬公噸
環臺油輪	4萬公噸

27

## ■ 模式參數本土化<sup>(10/10)</sup>

### • 國內燃料運輸途徑

#### － 燃料熱值(依據能源局公布)

燃料種類	熱值(kcal/l)
汽油	7,800
柴油	8,400
天然氣	8,000

28



## 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估<sup>(1/12)</sup>

- 國內私人小客車之分析
  - 以類似規則之汽油小客車與柴油小客車做分析對象。
  - 挑選1組進口車量，2組國產車輛。
  - 相關參數調整：車重、平均能耗、二氧化碳排放參數。



## 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估<sup>(2/12)</sup>

- 國內私人小客車之分析-1

VOLKSWAGEN 進口		VOLKSWAGEN GOLF 2.0 TSI WITH HATCHBACK	VOLKSWAGEN GOLF PLUS 2.0 TDI WITH HATCHBACK
排氣量		1,984 c.c.	1,968 c.c.
排檔型式		自動排檔6檔(A6)	自動排檔6檔(A6)
參考車重		1,514 (kg)	1,605 (kg)
油耗資訊	耗能標準	9.9 (km/l)	9.9 (km/l)
	測試值	13.1 (km/l)	16.9 (km/l)
	市區油耗	10.00 (km/l)	14.08 (km/l)
	高速(非市區)油耗	16.95 (km/l)	20.41 (km/l)
車型相關資訊		前輪驅動(F)	前輪驅動(F)
		渦輪或機械增壓	渦輪或機械增壓
		無鉛汽油	柴油



## 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估<sup>(3/12)</sup>

### • 國內私人小客車之分析-2

福特六和		MONDEO TURBO CD345-8T (NEDC)	MONDEO TDCI TURBO CD345-4T (NEDC)
排氣量		1,999 c.c.	1,997 c.c.
排檔型式		自動排檔6檔(A6)	自動排檔6檔(A6)
參考車重		1,709 (kg)	1,720 (kg)
油耗資訊	耗能標準	9.9 (km/l)	9.9 (km/l)
	測試值	11.8 (km/l)	16.0 (km/l)
	市區油耗	8.89 (km/l)	13.27 (km/l)
	高速(非市區)油耗	15.35 (km/l)	19.25 (km/l)
車型相關資訊		前輪驅動(F)	前輪驅動(F)
		渦輪或機械增壓	渦輪或機械增壓
		無鉛汽油	柴油

31



## 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估<sup>(4/12)</sup>

### • 國內私人小客車之分析-3

福特六和		FOCUS C307- 6N (NEDC)	FOCUS TDCI TURBO C307-9N (NEDC)
排氣量		1,999 c.c.	1,997 c.c.
排檔型式		自動排檔4檔(A4)	自動排檔6檔(A6)
參考車重		1,439 (kg)	1,526 (kg)
油耗資訊	耗能標準	9.9 (km/l)	9.9 (km/l)
	測試值	11.6 (km/l)	15.7 (km/l)
	市區油耗	8.50 (km/l)	12.29 (km/l)
	高速(非市區)油耗	15.46 (km/l)	19.77 (km/l)
車型相關資訊		前輪驅動(F)	前輪驅動(F)
		無鉛汽油	渦輪或機械增壓
			柴油

32



## 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估<sup>(5/12)</sup>

### • 國內私人小客車之分析-車重

能源使用類型車種	汽油車	柴油車
車輛來源	進口	
車型	VOLKSWAGEN GOLF 2.0 TSI WITH HATCHBACK	VOLKSWAGEN GOLF PLUS 2.0 TDI WITH HATCHBACK
參考車重(磅)	3,338	3,364
車輛來源	國產	
車型	福特六和 MONDEO TURBO CD345-8T	福特六和 MONDEO TDCI TURBO CD345-4T
參考車重(磅)	3,768	3,792
車型	福特六和 FOCUS C307-6N	福特六和 FOCUS TDCI TURBO C307-9N
參考車重(磅)	3,172	3,364

33



## 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估<sup>(6/12)</sup>

### • 國內私人小客車之分析-平均能耗

能源使用類型車種	汽油車	柴油車
車輛來源	進口	
車型	VOLKSWAGEN GOLF 2.0 TSI WITH HATCHBACK	VOLKSWAGEN GOLF PLUS 2.0 TDI WITH HATCHBACK
平均能耗(km/L)	13.1	16.9
車輛來源	國產	
車型	福特六和 MONDEO TURBO CD345-8T	福特六和 MONDEO TDCI TURBO CD345-4T
平均能耗(km/L)	11.8	16.0
車型	福特六和 FOCUS C307-6N	福特六和 FOCUS TDCI TURBO C307-9N
平均能耗(km/L)	11.6	15.7

34



## 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估<sup>(7/12)</sup>

- 國內私人小客車之分析-CO<sub>2</sub>排放參數

能源使用類型車種	汽油車	柴油車
車輛來源	進口	
車型	VOLKSWAGEN GOLF 2.0 TSI WITH HATCHBACK	VOLKSWAGEN GOLF PLUS 2.0 TDI WITH HATCHBACK
CO <sub>2</sub> 排放參數 (kg/km)	0.1725	0.1544
車輛來源	國產	
車型	福特六和 MONDEO TURBO CD345-8T	福特六和 MONDEO TDCI TURBO CD345-4T
CO <sub>2</sub> 排放參數 (kg/km)	0.1915	0.1631
車型	福特六和 FOCUS C307-6N	福特六和 FOCUS TDCI TURBO C307-9N
CO <sub>2</sub> 排放參數 (kg/km)	0.1948	0.1662

35



## 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估<sup>(8/12)</sup>

- Well-to-Pump階段之總能耗與CO<sub>2</sub>排放

燃料類型	燃料之原料開採、提煉及運銷階段(Well-to -Pump) (每mmBtu燃料生產)	
	總能耗(Btu)	CO <sub>2</sub> 排放(公克)
汽油	249,184	18,008
柴油	195,082	16,482

36

四、我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估



# 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估<sup>(9/12)</sup>

## • Well-to-Wheel階段之每公里能耗與溫室氣體排放試算表

車種	燃料類型		每公里能耗(Btu)；每公里CO <sub>2</sub> 排放(公克)				占比(%)		
			原油開採	燃油提煉及運輸	車輛使用	合計	原油開採	燃油提煉及運輸	車輛使用
GOLF 2.0 TSI WITH HATCHBACK	汽油	能耗	138	487	2507	3132	4.4%	15.5%	80.1%
		CO <sub>2</sub> 排放	10	35	178	223	4.5%	15.7%	79.8%
GOLF PLUS 2.0 TDI WITH HATCHBACK	柴油	能耗	107	273	1945	2325	4.6%	11.7%	83.7%
		CO <sub>2</sub> 排放	11	21	147	179	5.9%	12.0%	82.1%
MONDEO TURBO CD345-8T	汽油	能耗	153	540	2778	3470	4.4%	15.5%	80.1%
		CO <sub>2</sub> 排放	11	39	197	247	4.5%	15.7%	79.8%
MONDEO TDCI TURBO CD345-4T	柴油	能耗	113	288	2054	2454	4.6%	11.7%	83.7%
		CO <sub>2</sub> 排放	11	23	155	189	5.9%	12.0%	82.1%
FOCUS C307-6N	汽油	能耗	155	549	2829	3533	4.4%	15.5%	80.1%
		CO <sub>2</sub> 排放	11	40	201	252	4.5%	15.7%	79.8%
FOCUS TDCI TURBO C307-9N	柴油	能耗	115	293	2093	2501	4.6%	11.7%	83.7%
		CO <sub>2</sub> 排放	11	23	158	193	5.9%	12.0%	82.1%

37

四、我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估



# 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估<sup>(10/12)</sup>

## • 生命週期各階段之每公里能耗與溫室氣體排放試算表

車種	燃料類型		每公里能耗(Btu)；每公里CO <sub>2</sub> 排放(公克)				占比(%)		
			WTP階段	車輛週期階段(不含車輛使用階段)	車輛使用階段	合計	WTP階段	車輛週期階段(不含車輛使用階段)	車輛使用階段
GOLF 2.0 TSI WITH HATCHBACK	汽油	能耗	625	513	2507	3650	17.1%	14.1%	68.7%
		CO <sub>2</sub> 排放	45	40	178	263	17.1%	15.2%	67.7%
GOLF PLUS 2.0 TDI WITH HATCHBACK	柴油	能耗	379	516	1945	2845	13.3%	18.1%	68.4%
		CO <sub>2</sub> 排放	32	40	147	219	14.6%	18.3%	67.1%
MONDEO TURBO CD345-8T	汽油	能耗	692	555	2778	4030	17.2%	13.8%	68.9%
		CO <sub>2</sub> 排放	50	43	197	290	17.2%	14.8%	67.9%
MONDEO TDCI TURBO CD345-4T	柴油	能耗	401	557	2054	3017	13.3%	18.5%	68.1%
		CO <sub>2</sub> 排放	34	43	155	232	14.7%	18.5%	66.8%
FOCUS C307-6N	汽油	能耗	705	497	2829	4036	17.5%	12.3%	70.1%
		CO <sub>2</sub> 排放	51	38	201	290	17.6%	13.1%	69.3%
FOCUS TDCI TURBO C307-9N	柴油	能耗	408	516	2093	3022	13.5%	17.1%	69.3%
		CO <sub>2</sub> 排放	34	40	158	233	14.6%	17.2%	67.8%

38



四、我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估



# 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估<sup>(11/12)</sup>

- 車輛週期與車輛使用階段之每公里能耗與溫室氣體排放試算表

車種	燃料類型		每公里能耗(Btu)： 每公里CO <sub>2</sub> 排放(公克)			占比(%)	
			車輛週期階段 (不含車輛使用 階段)	車輛使用階段	合計	車輛週期階段 (不含車輛使用 階段)	車輛使用階段
GOLF 2.0 TSI WITH HATCHBACK	汽油	能耗	513	2507	3020	17.0%	83.0%
		CO <sub>2</sub> 排放	40	178	218	18.3%	81.7%
GOLF PLUS 2.0 TDI WITH HATCHBACK	柴油	能耗	516	1945	2461	21.0%	79.0%
		CO <sub>2</sub> 排放	40	147	187	21.4%	78.6%
MONDEO TURBO CD345-8T	汽油	能耗	555	2778	3333	16.7%	83.3%
		CO <sub>2</sub> 排放	43	197	240	17.9%	82.1%
MONDEO TDCI TURBO CD345-4T	柴油	能耗	557	2054	2611	21.3%	78.7%
		CO <sub>2</sub> 排放	43	155	198	21.7%	78.3%
FOCUS C307-6N	汽油	能耗	497	2829	3326	14.9%	85.1%
		CO <sub>2</sub> 排放	38	201	239	15.9%	84.1%
FOCUS TDCI TURBO C307-9N	柴油	能耗	516	2093	2609	19.8%	80.2%
		CO <sub>2</sub> 排放	40	158	198	20.2%	79.8%

39

四、我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估



# 我國私人小客車生命週期能源消耗與溫室氣體排放試算與評估<sup>(12/12)</sup>

- 車輛週期各階段之每公里能耗與溫室氣體排放試算表

車種	燃料類型		每公里能耗(Btu)： 每公里CO <sub>2</sub> 排放(公克)					占比(%)			
			原料組成	組裝/廢棄/回收	電池使用	流體使用	總計	原料組成	組裝/廢棄/回收	電池使用	流體使用
GOLF 2.0 TSI WITH HATCHBACK	汽油	能耗	354	77	22	60	513	69.0%	15.1%	4.2%	11.8%
		CO <sub>2</sub> 排放	27	6	2	4	40	68.6%	16.0%	4.4%	11.0%
GOLF PLUS 2.0 TDI WITH HATCHBACK	柴油	能耗	357	77	22	60	516	69.1%	15.0%	4.2%	11.7%
		CO <sub>2</sub> 排放	27	6	2	4	40	68.6%	16.0%	4.4%	11.0%
MONDEO TURBO CD345-8T	汽油	能耗	396	77	22	60	555	71.3%	13.9%	3.9%	10.9%
		CO <sub>2</sub> 排放	30	6	2	4	43	70.8%	14.8%	4.1%	10.2%
MONDEO TDCI TURBO CD345-4T	柴油	能耗	398	77	22	60	557	71.4%	13.9%	3.9%	10.8%
		CO <sub>2</sub> 排放	30	6	2	4	43	70.9%	14.8%	4.1%	10.2%
FOCUS C307-6N	汽油	能耗	338	77	22	60	497	68.0%	15.5%	4.3%	12.2%
		CO <sub>2</sub> 排放	26	6	2	4	38	67.5%	16.6%	4.6%	11.4%
FOCUS TDCI TURBO C307-9N	柴油	能耗	357	77	22	60	516	69.1%	15.0%	4.2%	11.7%
		CO <sub>2</sub> 排放	27	6	2	4	40	68.6%	16.0%	4.4%	11.0%

40

## 重要課題探討

- GREET模式本土化分析過程之課題
  - GREET模式之版本：GREET1.8c、GREET 1.8d；GREET 1 2011
  - 參數資料的收集不易
  - 本土化參數修正項目受限
  - 模式中所探討的車輛類別與本研究分析車種有差異
- 生命週期成本評估：生命週期各階段成本須包含之內容
- 如何降低車輛產品生命週期的能耗與排碳量
- 運具選擇之政策推動與民眾宣導
- 替代能源車輛之探討

41

## 推動策略研擬

- 生命週期評估模式本土化之解決方案與推動策略
  - 跨部會合作，以進行全面性的基礎資料蒐集及建立
  - 參數蒐集部分，亦可從文獻及問卷調查方式獲得
  - 建立國內本土化參數之資料庫及模式整合
  - 建立國內本土化之生命週期評估模式
  - 替代能源車輛之生命週期評估研究

42

## ■ 推動策略研擬

- 使用階段為私人小客車生命週期中能耗與二氧化碳排放的最主要階段，應針對該階段進行深入探討。
- 現階段推動私人小客車節能減碳效率提升上
  - － 車輛製造生產階段
    - 與業者協商生產節能車輛
    - 提升新車效率水準
  - － 車輛使用階段上
    - 推廣「環保駕駛(Eco-driving)」及私人運具成本合理化
    - 小客車共乘制
    - 強制性車輛能源效率分級標示
    - 能源價格合理化

43

## ■ 推動策略研擬

- 小客車生命週期中，權責分工之探討。

生命週期階段	生產製造	消費及使用				回收利用	其他			
措施	車輛效率管理	能源規範及標示效率管理	都市交通系統規劃	運輸管理	節能減碳教育宣導	廢車回收再利用	政府採購法及公共工程規範	溫室氣體減量之控管、低碳生活圈推廣	財稅工具	科技研發
主責部會	經濟部	經濟部	交通部			環保署	工程會	環保署	財政部/金管會	國科會
共同執行部會	-	-	內政部	各直轄縣市政府	教育部、環保署	交通部	-	-	-	-

- 節能減碳策略需透過跨單位之橫向聯繫與縱向分工。

44

## ■ 結論 (1/2)

- 本研究完成三組不同的汽油車與柴油車能耗與溫室氣體排放之結果比較：
  - GREET模式分析之燃料週期各階段、車輛週期各階段之能耗及二氧化碳排放量，汽油車皆比柴油車多，而總能耗及二氧化碳排放量亦有相同趨勢。
  - 從GREET2.7模式分析結果，不論是汽油小客車或是柴油小客車，在使用階段的能耗及二氧化碳的排放量是最高的，占總生命週期約70%。
- 在車輛生命週期中，雖然在WTP階段及車輛週期階段(不含使用階段)的能耗與二氧化碳排放量較少，然若要生命週期通盤減量，亦需國內相關部會的配合。

45

## ■ 結論 (2/2)

- 依據汽油車與柴油車比較，柴油車的總能耗與二氧化碳的排放量均較汽油車低。
- 根據本研究分析，小客車在WTP階段與車輛週期階段(不含使用階段)加總之CO<sub>2</sub>排放佔全生命週期的佔比約為31%~33%，使用階段的佔比約67%~69%。
- 假設用路人之車輛使用習慣沒有改變，推動鼓勵性或強制性之措施以降低平均小客車之使用年限並促進小客車汰舊換新，則有助於減少整體小客車在全生命週期之CO<sub>2</sub>排放總量。

46

## 建議

- 以生命週期觀點，「**源頭減量**」仍為運輸部門未來節能減碳的值得考量的重要手段。
- 生命週期評估所需之**基礎資料**甚多，建議應透過跨部門的合作，進行**全面性的基礎資料蒐集與建立**。
- 現階段推動私人小客車節能減碳效率提昇策略上，建議可將**製造生產階段**及**使用階段**列為推動重點。
- 建議後續可進一步就更多不同車種與能源技術，俾利釐清**替代能源車輛**與**傳統車輛**的差異，並可作為政府部門針對**替代能源車輛**研擬適當**推動策略**之參據。

47

## 簡報結束

謝謝指教

48