

## 輕量化鋁圈節能效益探討與成本效益評估

溫智升\*、廖慶復

財團法人車輛研究測試中心(副工程師)

\*E-mail: cswen0828@artc.org.tw

能源局計畫編號: 104-E0404

### 摘要

我國能源多需仰賴進口，又車隊燃油成本占其營運成本約3成，因此如何減少燃油消耗以提升其運輸效率，便成為車廠與相關產業積極研究改善的重要議題。國內重型車輛多為國外進口，引擎與變速箱系統相關技術皆源自於國外原廠，不易對其進行改裝與設變。因此，本計畫主要針對國內客貨運業者實際需求，搜尋國際間整車相關之節能技術，進行導入與產品研發改良，並探討實際安裝後的節能效益。其中輕量化鋁圈可廣泛適用於客貨運車輛，本研究對此技術搭載實車規劃相關實驗，包含定速與加減速行車型態，分別安裝輕量化鋁圈與原車鐵圈進行節能效益測試，最佳節能效益可達約4.2%，並透過實驗結果進行成本效益分析，俾利客貨運業者作為節能技術應用之參考依據。

**關鍵詞：**燃油經濟性、輕量化鋁圈、成本效益分析

### 1. 前言

隨著國際對於公路運輸能源效率與CO<sub>2</sub>排放減量的重視，提升重型車輛的燃油效率與降低污染排放量，成為國際間迫切解決的重要議題之一。雖然各大車廠與相關技術工程研究機構對於新穎之節能技術大量投入，其所發展之節能技術諸多具有可行性與顯著性，但是，我國實際營運的重型車隊中，鮮少看見節能技術搭載與應用。因此，新穎的節能技術與營運車隊實際導入之間需要強化相關連結與推廣應用，以達實際節能減碳之功效。

國際間之車輛節能技術可分為整車技術、動力系統及燃料技術等三大類別，與重型商用車輛相關之各項節能技術項目整理如表1。由於重型車輛種類繁多，營運型態差異也大，適用的節能技術亦有不同，如市區運輸與長途高速運輸行車型態有很大的差異，意即同一節能技術對應不同的使用條件下，其結果則會有不同的效益落差。國外針對車輛能源消耗系統曾有相關探討，依據Transportation Research Board, TRB指出重型車輛高速行驶之引擎運轉損失中，50%用於指示封閉循環效率(indicated closed cycle efficiency) [1]。其中制動功率損失占42%，包括滾動阻力、空氣阻抗等，詳見圖1；而與引擎動力相關之進氣(gas exchange)、摩擦(friction)、引擎附件(engine accessories)等損失占8%。前者之潛在節能技術如低滾動阻力輪胎、擾流板等，屬於車輛系統技術，與車輛動力系統相關性較低。

後者之潛在節能技術則屬於引擎、變速箱等動力系統技術。例如，對於高速行駛之重型車輛而言，減少空氣阻力應為降低能源消耗最關鍵的技術，但空氣動力技術之節能優勢會隨著車輛速率與行駛距離降低而減少，故低速與短距離行駛之車輛，較無法仰賴此技術來提高節能效益。此時，若能搭配其他具有低速與短距適合之節能技術，對節能效益將具有加乘的效果，因此結合適用多情境的節能技術是非常重要的。藉由相關文獻可得知降低滾動阻力與輕量化的技術部分，於各行駛型態下之CO<sub>2</sub>的減量效益約落於2-6%之間[2]。而低滾阻節能輪胎已於本計畫102年度進行實車驗證，其節能效益最佳可達約6%[3]。節能輪胎產品於國內外主要輪胎廠皆已投入開發及量產，國外並有相對應之節能標示，俾利車隊業者與消費者選購。在輕量化相關技術部分，美國環保署(U.S. EPA)所開發之重型車輛溫室氣體CO<sub>2</sub>模擬軟體(Greenhouse Gas Emission Model, GEM)，其中已明定輕量化技術貢獻於減碳之效益，並針對車體與零組件項目進行相關減量訂定，其中一項即為輕量化鋁圈，基本型單輪約可減重21磅(約10公斤)，藉此以提高燃油經濟性及降低CO<sub>2</sub>排放[4-5]。國際間已有輕量化鋁圈節能技術產品，且各型態之客貨運車輛皆適用，於國內僅需進一步結合製造商與客貨運輸業者，搭配實際營運型態進行節能效益驗證，透過客貨運輸業者實際使用與獲得相關節能成效，促使車隊業者後續自行導入，除可提高節能技術安裝率以擴大節能成效外，並可營造運輸領域節能減碳氛圍。

除了實際驗證產品節能效益外，投資成本亦是業者對於節能技術導入之首要考量，故本研究亦針對投資成本與相對效益進行分析與評估。成本效益分析(Cost Benefit Analysis, CBA)是通過比較專案的全部成本和效益來評估方案價值的一種方法，CBA作為一種經濟決策方法，將成本費用分析法運用於導入重型車輛節能減碳技術決策之中，尋求在投資決策上如何以最小的成本獲得最大的效益，或者評估引入該技術設備之可行性[6]。CBA的基本原理是：針對某項支出目標，提出若干實現該目標的方案，運用一定的技術方法，計算出每種方案的成本和收益，透過比較方法，並依據一定的原則，選擇出最優的決策方案。簡言之，CBA是投資可行性分析之工具，其原理在於對方案、計畫等做全面性的分析，以求取資源最有效的運用。由經濟學的角度觀之，即在求取業者效益最大，而求取業者效益最大的目

標下，假定所支付的成本固定，則求取最大的業者利益；反之，當業者利益固定時，則求取最小的業者成本。同理，當業者成本及業者利益均不固定時，則以追求業者利益大於業者成本的程度，來判斷資源運用的效率。在CBA 中最重要的觀念在於貼現率的選擇，所謂貼現率的意義在於未來與現在的社會大眾對所得(即拿現在所得作為投入成本)的時間偏好。因此，因投入而獲取的效益，對CBA 而言是另一重要的概念，效益若是可計算的，則可假定不同的時間點上的滿足程度是可以用「貨幣單位」衡量其價值。

本研究將採成本效益分析法(Cost Benefit Analysis)，從民間投資決策角度出發，針對前述節能技術進行探討。車輛導入節能技術的成本項目可能包括：設備成本、工程改裝成本、審驗成本、設備維修成本、訓練成本等，以及評估期滿時設備之殘值；而在效益項目則主要考量燃油節省。至於空氣污染、噪音等難以轉化為實質資金流動的外部成本，參考相關文獻多半難以計算，故本研究不予計算。依據文獻回顧結果，本研究所採用之評估指標和決策判準，為一般最常見的淨現值、益本比、內部報酬率與還本期等四項。

## 2. 理論公式與實驗設備

### 理論公式

- 轉動慣量  $I = \sum m_i r_i^2$
- 轉動動能  $E_k = \frac{1}{2} I \omega^2$

由以上公式可得知，轉動物體質量(m)越大，其轉動慣量越大，相對所需之轉動動能亦越大；而車速越快，角速度( $\omega$ )越快，相對所需之轉動動能也越大。故車速越快與減重比例越高，其輕量化鋁圈節能效益越佳。

### 測試實驗車輛

本研究針對輕量化鋁圈節能效益進行實車搭載驗證，相關測試分別利用客、貨車輛搭配定速與模擬市區加減速行車型態進行測試，如圖2所示其測試車輛分別為HINO-3.5噸貨車與HINO-14.5噸客車(車輛規格如表2所示)，相關測試均於車輛中心試車場封閉測試道進行，除了降低測試過程中外部交通因素影響，更可監控平均風速低於5 m/s以下進行測試，且固定路面滾阻等參數，使其測試數據更加精準。本測試之定速設定分別為65與85 km/hr，而行車型態則是參考歐盟NEDC污染測試使用之市區行車型態，如圖3所示。本實驗為求有效且具客觀之數據，測試車輛利用沙包配重模擬半載，測試過程中要求平均風速低於5 m/s以下及全程關閉冷氣、定速測試行駛距離須高於7 km等條件，測試結果擷取3筆有效數據進行平均油耗計算。由表2可看出，不論是3.5噸貨車或是14.5噸之客車，其鐵圈與鋁圈之重量差異幾乎達一倍，此將改變車輛行駛時之轉動慣性可提高加速性能，除此之外，鋁合金材料之熱傳導係數約是鐵材的三倍，將可更快傳導出剎車時產生之熱量避免熱衰竭，維持煞車系統之性能。

表1 重型商用車輛節能技術項目彙整

類別	次類別	項目
整車技術	1. 空氣動力	拖車頭：車頂導風板、駕駛室後端整流 拖車：拖車前端整流、車尾導流、拖車側裙
	2. 滾動阻力	低滾動阻力輪胎、寬基輪胎(Single Wide-based Tyres)、自動胎壓調整
	3. 駕駛行為	環保駕駛(Eco-driving)、預測巡航控制(Predictive Cruise Control)
	4. 輕量化	引擎、傳動、輪圈及輪胎、懸吊、拖車貨櫃等輕量化
	5. 輔助動力單元(APU)	全電動化冷凍貨櫃、垃圾車電動化舉升與壓縮系統
動力系統	6. 引擎效率	後處理器、燃燒系統、減少引擎附屬系統損失
	7. 廢熱回收	機械式複合增壓(Mechanical turbocompound)、電子式複合增壓、熱電式系統(Thermoelectrics)
	8. 替代動力系統	燃料電池車、純電動車、複合動力車(上可分為Hybrid Electric Vehicle、Hydraulic Hybrid Vehicle及Flywheel Hybrid Vehicle等)
燃料技術	9. 變速系統	自動手排變速系統(Automated Manual Transmission)
	10. 生質燃料 Biofuel	Biodiesel、BTL(Biomass to Liquid)、HVO(Hydrogenated Vegetable Oils 氫化植物油)
	11. 替代能源燃料	CNG(壓縮天然氣)、Biogas(沼氣)、氫燃料(用於火花點火內燃機引擎)等。

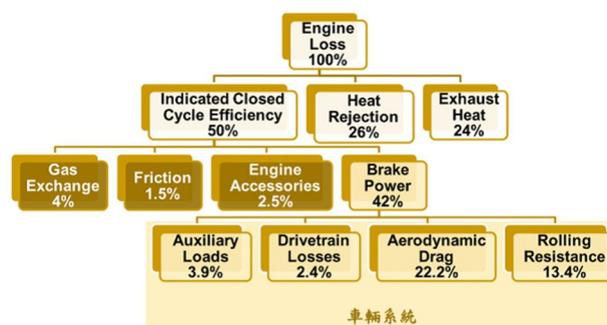


圖1 重型車輛引擎運轉損失動力分析圖[1]

表 2 實驗測試車輛規格

廠牌/引擎	HINO-N04C	HINO-J08E
排氣量	4009 c.c	7684 c.c
測試載重	半載	半載
總重限值	3.49 噸	14.5 噸
最大馬力	150 ps/2500 rpm	280 ps/2400 rpm
最大扭力	42.8 kg · m/1400rpm	84 kg · m/1500 rpm
輪胎尺寸	195/75R16	295/80R22.5
輪圈重量	鐵：18 kg；鋁：10 kg	鐵：48 kg；鋁：28kg
胎壓	76 psi	124 psi



圖 2 輕量化鋁圈測試車輛安裝實體圖

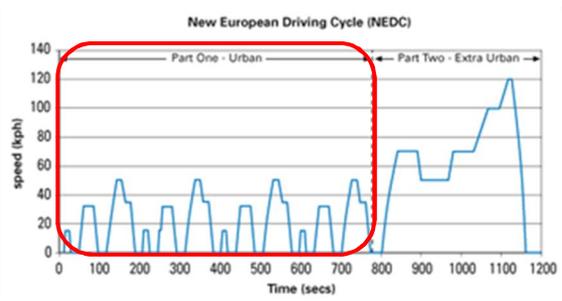


圖 3 歐盟 NEDC 行車型態(市區)

#### 實車油耗測試場地與儀器設備

本次道路實車油耗測試部份，規劃於車輛中心試車場內進行試驗，其實驗設備包括有封閉試車跑道、資料紀錄器、體積式燃油流量計其規格說明如下。

##### ● 封閉測試道

對於道路實車油耗測試部份選擇於車輛中心封閉試車跑道中進行試驗，以確認試驗品質一致性外亦可兼具試驗安全，本試車場面積共 119 公頃，如圖 4 所示。



圖 4 車輛中心試車場

#### 高速周回路：

(a)測試道規格：周長 3,575 m，最大彎道坡度 38°，設計車速為 160 km/h，為橢圓形 3 車道。

(b)測試道應用：可執行各國法規及共同標準(如 CNS,ECE,SAE 等)，主要測試項目有：

加速、最高速率、速度/里程計校正、燃料消耗、排污耐久、里程累積、高速操安、乘適性能與高速耐久等測試。

##### ● 資料紀錄器

本次研究實驗所使用之資料紀錄器，主要功用為接收、儲存各感測器輸出之類比、數位或 CAN Bus 訊號，透過內建功能將訊號資料即時轉換為物理量呈現，並同步透過軟體進行資料擷取分析，RACELOGIC VBOX II 10 Hz 為整合精密速度與多功能資料紀錄器，其速度量測原理即使用 GPS 全球衛星定位系統，利用都普勒效應 (Doppler effect) 之頻率傳輸與每一衛星建置通訊，透過演算器建構精確之速度之量測，進而獲得距離等相關資訊，並搭配內建資料儲存功能執行 CNS D3017、ECE R83 等滑行測試外，亦可進行加速、最高速率、煞車等車輛性能試驗，其相關規格及用途如表 3 所示[7]。

表 3 RACELOGIC VBOX II 10Hz 資料紀錄器設備規格

廠牌	型號	規格
RACELOGIC	VBOX II 10Hz	量測經/緯度、速度、方向、距離、時間、加速度等。 1.速度部份 量測範圍：0.1~1600km/h 更新頻率：10Hz 精確度：0.1km/h 解析度：0.01km/h 2.距離部份 精確度：0.05%(< 50cm per km) 解析度：1.0cm 3.時間部份 精確度：0.01s 解析度：0.01s 4.方向部份 精確度：0.1° 解析度：0.01° 5.加速度部份 量測範圍：0~20G 精確度：0.5% 解析度：0.01° 6.類比輸出入 電壓(± 50VDC、解析 24bit) 7.數位輸出入 CAN Bus 及 TTL 數位訊號

● 體積式燃油流量計

本研究之油耗量測儀器採用德國CORRSYS-DATRON 體積式燃油流量計，可精確量測動態油量消耗量，常使用於機車、小客車及重型客貨車之引擎，且具有熱交換及冷卻泵浦溫控系统維持油溫穩定，確保流量量測之精確度。其量測原理利用一轉軸連接4個精密活塞，當油箱燃油進入並充滿活塞室時，推動活塞並使其移動，相對轉動中央之轉軸旋轉，因轉軸上安裝非接觸式之霍爾感應器進而產生脈波訊號，提供資料記錄器記錄燃油之流量或消耗量。本次研究採用，其相關規格及用途如表4所示。

表4 CORRSYS-DATRON/DFL-3 體積式流量計規格

量測範圍 (感知器) (l/h)	0.5 to 250
最大流量 (幫浦) (l/h)	120
量測精度 (範圍 1...50 l/h) (%)	±0.5
再現性 (%)	±0.2
最大操作壓力 (bar)	5
壓降 (bar)	0 to 0.5
解析度 (cm <sup>3</sup> )	0.33

3. 實驗與分析結果

3.1 油耗實驗測試

根據 65、85 km/h 與加減速行車型態測試，及與行駛距離計算平均油耗，3.5 噸貨車與 14.5 噸客車平均油耗計算結果如圖 5 與圖 6 所示。由圖 5 可看出，定速 65 與 85 km/h 的平均油耗表現差距很大(約 3 km/L)，其主要原因為測試時車輛皆保持於 5 檔(最高檔位)，定速 65 km/h 時引擎轉速落於經濟轉速區間(1000~1500 rpm)，而定速 85 km/h 時之引擎轉速則達約 2000 rpm，再加上車輛受到空氣阻力與輪胎滾動阻力於不同速率下的影響，顯示出兩種速率下之油耗差異。然透過安裝鐵圈與鋁圈實際測試後，比較其統計平均油耗，安裝鋁圈之定速與加減速行車型態測試下之平均油耗優於鐵圈約 0.1~0.25km/L，且隨者車速越高，鐵圈與鋁圈之平均油耗差異越大。此實驗結果與理論相互呼應，由轉動所需動能理論公式可得知車速越快，其所需之轉動動能也越高，使得安裝輕量化鋁圈後之效益越佳。

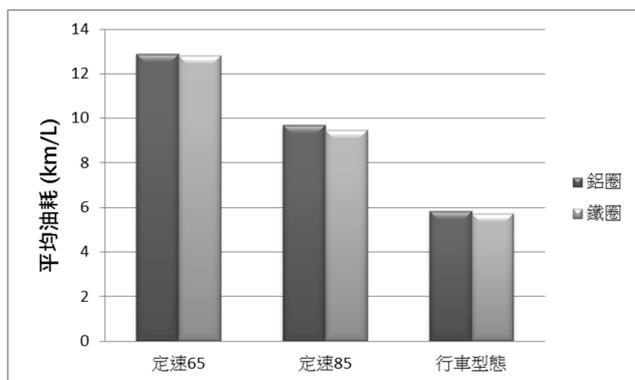


圖 5 3.5 噸貨車平均油耗比較

圖 6 為 14.5 噸大客車安裝輕量化鋁圈相較於安裝鐵圈之平均油耗表現，經定速與加減速行車型態下進行測試，因 14.5 噸大客車測試車輛排氣量與車重皆高於 3.5 噸貨車，故其平均油耗明顯較低，但安裝輕量化鋁圈後之平均油耗仍可提升約 0.06~0.23 km/L，且油耗測試結果與 3.5 噸貨車類似，車速越高時節能效益愈佳。

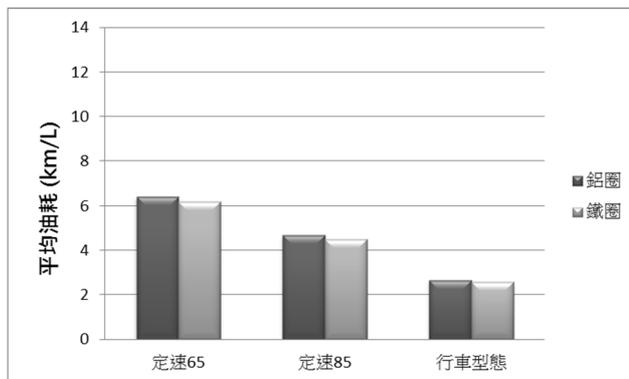


圖 6 14.5 噸客車平均油耗比較

利用 3.5 噸貨車與 14.5 噸客車安裝輕量化鋁圈與鐵圈測試之平均油耗表現結果，進行節能效益改善幅度的計算，如圖 7 所示，可看出於各測試情境下，14.5 噸客車之節能效益明顯較 3.5 噸貨車高，於測試情境為定速 85km/h 時，其效益可達約 4.2%，反觀 3.5 噸貨車僅約 2.6%。主要原因為兩者測試車輛排氣量與車重等級的懸殊，平均油耗表現有明顯差距，使得經由節能效益計算後產生比例上的落差。但藉由此圖可看出輕量化鋁圈具有實質節能效益，且因購置成本低，本研究搭配成本效益分析，俾利國內運輸業者作為節能技術導入之參考依據。

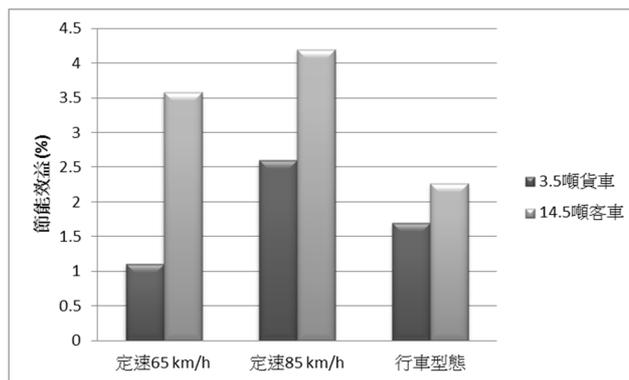


圖 7 不同測試情境下之節能效益

3.2 成本效益分析

實驗情境之參數如下整年營運日：扣除車輛維修保養、駕駛休息等，設定車輛年營運共 330 日。每日行駛里程：每日行駛里程，設定為 100 公里。營運型態分類：依據營運特性，分為短程、中程與長程等三類。不同營運特性行駛比例如下表：

表 5 營運型態特性分類表

	短程	中程	長程
市區行駛里程比例(%)	65%	11%	11%
非定速巡航(65km/hr)	24%	65%	24%
高速行駛(85km/hr)	11%	24%	65%

小貨車不同營運型態每日可節省消耗燃油介於 0.46~0.74 公升間，大客車不同營運型態每日節省消耗燃油介於 2.11~2.57 公升間。以平均貨運業者每年營運 330 天進行計算，小貨車每年節油效益約介於 3,400~5,500 元不等；大客車每年節油效益約介於 15,700~19,100 元。我國目前現有各類貨運車輛超過一百萬輛，然而在汽車製造商的成本考量下，鐵圈仍為大部分車輛的標準配備，而輕量化鋁圈仍礙於製作成本而屬於高單價商品。過去車輛改裝輕量化鋁圈主要是以整體美觀為目的，較少用於一般營業用車輛。但為了解進一步推廣現有客貨運業者裝設鋁圈，本計畫設計兩種情境，一種係將既有車輛輪圈進行改裝，惟此類改裝須將舊有輪圈拆卸後，改裝為新型輕量化鑄造鋁圈，其成本較高；另一種則係直接在新購車輛時，以選購方式將新型輕量化鑄造鋁圈納入，此方法的成本較低。依據不同資金結構方案進行改裝鋁圈或新購車輛時加購鋁圈之成本效益分析 (CBA)，其結果如下：

表 6 不同車種改裝鋁圈各方案成本效益評估一覽表

年	大客車短程			大客車中程			大客車長程		
	方案一	方案二	方案三	方案一	方案二	方案三	方案一	方案二	方案三
NPV	72,663	50,544	41,439	54,497	31,991	22,725	78,924	56,939	47,889
BCR	2.27	1.62	1.45	1.96	1.39	1.25	2.38	1.70	1.52
IRR	21.5%	15.6%	13.1%	16.6%	10.3%	7.5%	23.1%	17.4%	14.9%
PDB	3.59	4.41	4.82	4.29	5.48	6.31	3.41	4.14	4.51
年	小貨車短程			小貨車中程			小貨車長程		
	方案一	方案二	方案三	方案一	方案二	方案三	方案一	方案二	方案三
NPV	-24	-15,781	-22,271	-14,680	-30,749	-37,369	-2,444	-18,253	-24,765
BCR	1.00	0.72	0.64	0.62	0.45	0.40	0.94	0.67	0.60
IRR	0.0%	-9.3%	-14.2%	-8.5%	-22.9%	-37.7%	-1.3%	-11.0%	-16.4%
PDB	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

表 7 不同車種新購鋁圈各方案成本效益評估一覽表

年	大客車短程			大客車中程			大客車長程		
	方案一	方案二	方案三	方案一	方案二	方案三	方案一	方案二	方案三
NPV	90,663	76,838	71,151	72,497	58,284	52,436	96,924	83,232	77,601
BCR	3.32	2.38	2.14	2.86	2.05	1.84	3.49	2.50	2.24
IRR	36.5%	31.7%	29.7%	30.0%	24.8%	22.7%	38.8%	34.0%	32.1%
PDB	2.36	2.66	2.80	2.76	3.24	3.45	2.25	2.52	2.64
年	小貨車短程			小貨車中程			小貨車長程		
	方案一	方案二	方案三	方案一	方案二	方案三	方案一	方案二	方案三
NPV	11,976	1,748	-2,464	-2,680	-13,220	-17,561	9,556	-724	-4,957
BCR	1.44	1.05	0.94	0.90	0.65	0.59	1.35	0.98	0.88
IRR	8.2%	1.3%	-1.9%	-2.1%	-11.6%	-16.9%	6.7%	-0.5%	-3.9%
PDB	6.17	9.14	NA	NA	NA	NA	6.65	NA	NA

輕量化鋁圈之優點包括節能、環保、安全等，亦符合日後市場所需的趨勢。若欲使市場內既有營運車輛輪圈轉換為輕量化鋁圈，一方面除可透過將既有車輛輪圈進行改裝，一方面亦可思考透過車輛設備重製更新的機會，在新車投入營運時，即將輕量化鋁圈列入。依據本團隊設計之設備改裝與新購等兩類不同情境，分析結果如下：

在效益部分，不同車型裝設輕量化鋁圈節能設備效

益有些許差異，3.5 噸小貨車節能效率約介於 1.1%~2.6% 之間，14.5 噸大客車節能率則介於 2.3%~4.2% 之間。以平均貨運業者每年營運 330 天進行計算，小貨車每年節油效益約介於 3,400~5,500 元不等；大客車每年節油效益約介於 15,700~19,100 元。在成本部分設計兩種情境，將既有車輛輪圈進行改裝，其成本較高，約為 36,000-54,000 元；另若在新購車輛時直接選配輕量化鋁圈成本較低，約為 24,000-36,000 元。在成本效益評估結果部分，既有小貨車輪圈改裝輕量化鋁圈情境無論以短、中、長程，自有資金或借貸方式進行改裝，其淨現值與內部報酬率均為負，其益本比亦小於 1，並不符合成本效益；大客車輪圈改裝鋁圈情境，其淨現值依據不同方案有所變動，原則上均具成本效益，另依據原始出資是否借貸，三種方案之淨現值、益本比與內部報酬率法之計算結果均呈現借貸比例越高，投資效益遞減之情形；新購車輛直接選購輕量化鋁圈作為車輛配備情境，其成本效益較以舊有車輛改裝為高。若小貨車新購，僅在長程且資金自有及短程且資金自有或借貸 50% 時符合成本效益。大客車新購車輛選購輕量化鋁圈，其成本效益較佳，多半可在 2-4 年內還本。不同型式的節能設備，其適用的情境與條件均不相同，部分設備僅可在部分特定車種時發揮較大效益。以輕量化鋁圈而言，其應用於車重較重的大型車輛時，其成本效益較佳。若應用於車重較輕的小型貨車時，仍可在部分情境下發揮成本效益。惟廣義來說，此節能設備可在大多數情況下發揮成本效益，故業者可依據自身資金持有狀況進行節能設備購置。

#### 4. 結論

本研究分別安裝鐵圈與輕量化鋁圈，透過 65、85 km/h 定速與加減速行車型態進行測試，其結果透過與行駛距離進行平均油耗計算與相互比較，安裝輕量化鋁圈平均油耗可提升約 0.1~0.25 km/L，換算後最佳節能效益可達約 4.2%。經由成本效益分析評估，大客車於新購車輛時即換裝輕量化鋁圈，其成本效益較佳，幾乎皆可在 2-4 年內還本。不同型式的節能設備，其適用的情境與條件均不相同，部分設備僅可在部分特定車種時發揮較大效益。若應用於車重較輕的小型貨車時，仍可在部分情境下發揮成本效益。惟廣義來說，此節能設備可在大多數情況下發揮成本效益，故業者可依據自身資金持有狀況進行節能設備購置。

#### 5. 致謝

本研究係經濟部能源局委託財團法人車輛研究測試中心辦理之「重型車輛耗管管制與節能應用技術推廣計畫(2/3)」(計畫編號：104-E0404 的部分成果)，謹此致謝。

#### 6. 縮寫說明(成本效益分析)

- NPV (Net Present Value) 淨現值法
- BCR (Benefit-Cost Ratio, B/C) 益本比法
- IRR (Internal Rate of) 內部報酬率法

- PDB (Payback Period Method) 還本期法

## 7. 參考文獻

- [1] Transportation Research Board (2010), Technologies and Approaches to Reducing the Fuel Consumption of Medium- and Heavy-Duty Vehicles. Committee to Assess Fuel Economy Technologies for Medium- and Heavy-Duty Vehicles; Board on Energy and Environmental Systems, Division on Engineering and Physical Sciences, Transportation Research Board.
- [2] Reduction and Testing of Greenhouse Gas(GHG) Emission from Heavy Duty Vehicle, AEA, Feb 2011.
- [3] 102 年度車輛節能應用技術研究計畫(3/3)結案報告，12 月，2013。
- [4] Vehicle Simulation Tool for Compliance Vehicle Simulation Tool for Compliance Emissions Standards and Fuel Efficiency Standards for Medium and Heavy-Duty Engines and Vehicles: Phase 2, U.S. EPA, June, 2015.
- [5] 40 CFR 1037.520 Modeling CO<sub>2</sub> emissions to show compliance, July, 2012.
- [6] Fuguitt, D. and Wilcox, S. J., Cost-benefit analysis for public sector decision makers, Quorum, Westport, Conn., London, 1999.
- [7] Racelogic VB2SX10 10Hz GPS Data Logger User Guide, 2013.