

廢輪胎橡膠材料應用於道路交通安全設施之評估分析

李克聰¹ 陳昱豪²

摘要

由於近年來社會經濟快速成長、車輛使用頻率急遽增加，進而致使廢輪胎所衍生之環保問題日益嚴重。台灣地區根據環保署八十八年度稽核認證廢輪胎之回收量約有九萬公噸，且以每年 5% 的比例快速增加中；然而，國內現今仍無一套有效解決處理廢輪胎的治本之道。目前世界各國對於廢輪胎處理所採行的方式，大致可分為掩埋、原型利用、舊胎再製、能源回收再利用與切碎研磨再利用等方法。其中，利用掩埋來處理廢輪胎之方法，不但需廣大之土地面積，且亦無法有效根本解決廢輪胎之處理問題。

此外，數十年來政府大幅度地增加對道路交通建設之投資，此舉雖能達到紓解車流的目標，但隨之衍生而來的交通安全課題卻是相關主管單位所輕忽的；從各重大交通事故之統計資料中可明顯發現，其肇事原因除駕駛人本身因車速太快或疏忽等駕駛行為不當外，因缺乏關鍵性防護設施所造成之傷亡實為另一項主因；此現象亦同樣發生於各級道路之施工區域。凡此，皆是過去政府單位對於道路安全設施未加以積極重視所致使之情形。

鑑於上述，本研究擬從改善道路交通安全設施之角度切入，並結合廢輪胎再利用之環保觀念，進行「廢輪胎橡膠材料應用於道路交通安全設施」之課題研究。研究中將蒐集廢輪胎分解後與再製橡膠墊片等之相關物性資料，同時並研究分析國內外道路交通安全設施相關之技術與規定，最後透過現地測試之階段進行事前事後分析，進而評估其可行性。藉由本研究之努力，一方面不但可達到將廢物品再資源化之環保目標，另一方面又能徹底解決道路安全島之防護問題，進而降低人車之損害程度，如此對於增進道路交通安全之目標將有積極正面之助益。

壹、前言

由於近年來社會經濟快速成長、車輛使用頻率急遽增加，進而致使廢輪胎所衍生之環保問題日益嚴重。台灣地區根據環保署八十八年度稽核認證廢輪胎之回收量約有九萬公噸，且以每年 5% 的比例快速增加中；然而，國內現今仍無一套有

¹逢甲大學交通工程與管理系所副教授

²逢甲大學交通工程與管理研究所研究助理

效解決處理廢輪胎的治本之道。由於廢輪胎具有體積龐大、富彈性、不易被生物分解等特性，因此在處理上遭遇相當大之困難，且堆置的廢輪胎除有礙觀瞻外，更易造成火災及孳生病媒蚊的威脅。目前世界各國對於廢輪胎處理所採行的方式，大致可分為掩埋、原型利用、舊胎再製、能源回收再利用與切碎研磨再利用等方法。其中，利用掩埋來處理廢輪胎之方法，不但需廣大之土地面積，且亦無法有效根本解決廢輪胎之處理問題。此外，自十大建設開始，政府對於道路交通建設之投資即大幅度地增加，其的確提供用路人一個良好快速的駕駛環境，並達到紓解車流的目標。雖為如此，但隨之衍生而來的交通安全課題卻是相關主管單位所輕忽的；從各重大交通事故之統計資料中可明顯發現，其肇事原因除駕駛人本身因車速太快或疏忽等駕駛行為不當外，道路安全設施的缺乏進而造成無法提供用路者關鍵性的防護，實為另一項主要因素。而台灣地區各級道路之施工興建及維修工作十分頻繁，此亦間接導致整體施工區域意外事故之居高不下，進而讓整個社會付出可觀之社會成本。凡此，皆是過去政府單位為對於道路安全緩撞設施未加以積極重視所致使之情形。

鑑於上述，本研究認為若能將廢輪胎加以回收，並利用其相關之物性特性，將廢輪胎橡膠粉再利用於道路交通安全設施之製作並將其裝設於易肇事之危險路段上，一方面不但可達到將廢物品再資源化之環保目標，另一方面又能徹底解決道路安全島之防護問題，進而降低人車之損害程度；最後，又能基於廢輪橡膠粉再利用技術之低成本優勢，將緩撞設施廣泛佈設於中、低行駛速率之各級道路上，如此對於增進道路交通安全之目標將有積極正面之助益。

貳、文獻回顧

由於本研究擬將廢輪胎橡膠材料應用於道路交通安全設施，故以下將分別針對「廢輪胎之物性」、「廢輪胎之處理方式」、「廢輪胎橡膠材料之相關應用」與「道路交通安全設施之現況」作一回顧，以協助研究之後續進行。

2.1 廢輪胎之現況分析

以美國為例，1990年時產生 230×10^6 條廢輪胎，每年以4%~5%的成長率，至1997年時增加至 280×10^6 條廢輪胎。輪胎因不易腐化，故不適合掩埋處理。過去數年來，科學家、工程師們一直致力於廢輪胎的回收研究。於1990年時，美國廢輪胎的回收率僅有11%，但截至1997年時，其回收率已增至81%。而根據國內環保署估計，在民國72年至78年間，台灣地區累積超過50萬噸的廢輪胎，而這些廢輪胎在當時多是以露天方式隨意堆放，不但容易引發火災，也會因積水而滋生病媒蚊，對生命財產造成相當程度之損害。目前國內對於輪胎、橡膠等廢棄物，政府皆訂有具體的回收計劃，尤其近年來在環保署廢棄物回收基金會的努力下，累積的廢輪胎量已由民國85年以前的13萬6千噸呈逐年減少的趨勢，但截至目前為止，廢輪胎每年仍以約12萬5千噸的速率成長（如表1所示）。1998年時國內廢輪胎回收量約為105,000 MT、廢橡膠為60,610 MT。現階段最大宗之廢棄

物為廢塑膠，其每年廢棄量高達 1,000,000 MT，如能將回收率提昇至 50% 以上（即 500,000 MT / 年的回收量），則可大幅減低其對環境之衝擊。因此，尋求更多的廢輪胎再利用方式，確實有其必要性及急迫性。此外，從財團法人廢輪胎資源回收管理基金管理委員會之資料顯示，我國每年至少產生 10 萬公噸之廢輪胎，而目前根據行政院環境保護署於 88 年 6 月 17 日所公告之廢輪胎回收價格則如表 2 所示。

表 1 廢輪胎回收量、處理量及儲存量之統計表

年度	回收量 (Kg)	處理量 (Kg)	儲存量 (Kg)
79/10~84/12	284,922,157	148,981,911	136,010,246
85/01~85/12	82,062,384	88,521,086	-6,458,702
86/01~86/12	59,172,750	63,036,936	-125,687,358
累計量	426,157,291	300,539,933	125,687,358

資料來源：廢輪胎處理基金會。

表 2 廢輪胎回收處理費率

現行輪胎規格分類	重量	售價	每年銷售量	現行費率
內徑 10" 以下及機車胎	--	--	--	10 元/條
內徑 12" ~14"	--	--	--	50 元/條
內徑 15" ~19"	--	--	--	60 元/條
內徑 20" ~23"	40kg	1,000~5,00 元/條	30 萬條	150 元/條
內徑 10" 以上及特種車胎	70~80kg	15,000 元/條	40 萬條	300 元/條

資料來源：廢輪胎處理基金會。

2.2 廢輪胎之物性

廢輪胎乃是由橡膠、碳黑、鋼絲及尼龍纖維等物質所組成，其主要成分包括橡膠、硫化劑、硫化促進劑、促進劑、抗氧化劑、加強劑、填充物、軟化劑與染色劑等。（如下表 3 所示）。

其中，橡膠份量約佔全胎的 70% 以上，而橡膠之組成主要源自於石油的天然及合成有機化合物等兩種，目前之使用一般皆以合成橡膠為主。此種合成橡膠的化學成分主要是苯乙烯-丁二烯（styrene-butadiene rubber, SBR）與聚丁二烯（butadiene rubber）。至於碳黑乃是填裝於輪胎中，作為硫化橡膠補強之用，其為增加結合物穩定之一種填料。所謂補強（reinforcement），係為當兩種物質結合時，彼此機械性質互相配合以補齊不足之處。一般而言，當純橡膠經硫化後抗拉強度至少少於 350psi，但若加入碳黑 50% 後，則抗拉強度將可提升至 3500psi。

此外，硫化劑的功能乃為使橡膠鏈交，以聯成三度空間之網狀織，同時並賦予產品所希望的物理性質。而其亦為輪胎中硫化元素的主要來源。至於軟化劑又可稱為塑化劑，主要為礦油和焦油產品，其功能是促進膠料混合、增加彈力、產生黏力。

表 3 廢輪胎之基本成分組成

組成	主要成分物
橡膠	天然橡膠、合成橡膠
硫化劑	硫、有機硫
硫化促進劑	賽挫類促進劑
促進劑	氧化鋅、硬脂酸
抗氧化劑	安類抗氧化劑、酚類抗氧化劑、蠟
加強劑	碳黑、白碳
填充物	碳酸鈣、黏土
軟化劑	石油類過程油、松焦油、芳香油
染色劑	鈦白、氧化鋅

資料來源：廢輪胎橡膠粉資源化技術及其衍生產品之應用計劃【1】。

2.3 廢輪胎之處理方式

目前對於廢輪胎之處理方式主要有掩埋、原型利用、能源回收再利用及切碎研磨再利用等四種【2】。茲將概述於下：

2.3.1 掩埋

由於廢輪胎掩埋將會佔據龐大空間，致使減少掩埋場之壽命；另廢輪胎於掩埋場內會聚集沼氣且在掩埋一段時間後會浮出地表，破壞覆土層，造成另一種危害。故通常需將廢輪胎切碎後再進行掩埋，導致掩埋費用之增加。

2.3.2 原型利用

所謂廢輪胎之原型利用，主要可分為「直接原物利用」與「舊胎翻製」等兩種方式。其中，直接原物利用乃是將廢輪胎經各種不同型式組合後，可直接用於防撞、海岸防波、邊坡防崩、人工魚礁等地方。此種應用不需高深技術，實行容易，但其組合費用偏高，故使用數量仍有限。至於舊胎翻製，則係指將廢輪胎的胎面進行刮除處理後，貼上新胎面使之成為再生胎。但基於安全考量及再生胎的價格與新胎價格相差不多，故目前大多使用者仍皆以新胎為考量。

2.3.3 能源回收再利用

廢輪胎亦可藉由熱解與燃燒作為能源回收之再利用。其中，所謂熱解乃是將廢輪胎置於缺氧的環境下，利用加熱方式將其中的有機化學鍵破壞以產生新的物質。通常廢輪胎熱解後可產生重油、碳黑、橡膠殘渣、銅絲及瓦斯等物質。一般平均每公噸廢輪胎可產生約 300kg 的重油、130 kg 的碳黑、190 kg 的橡膠殘渣及 30 kg 的銅絲。但其處理成本相當高，並不具經濟效益。另一方面，由於輪胎所含能量相較各等級的煤為高。因此，經燃燒後之純橡膠輪胎切片所產生的能量約為 16000 But/lb、含銅絲及棉紗的廢輪胎切片可產生 14200 But/lb、含棉紗的廢輪胎碎片可產生 15500 But/lb。反觀焦煤與無煙煤所含之能量僅約為 13700 But/lb 與 12750

But/lb。基於此，實可利用燃燒方式來回收廢輪胎內所含之熱量，以減少煤的使用，並解決廢輪胎的堆置問題。雖為如此，但在環保意識高漲的今日，一般人民對於二次公害的要求與接受程度日益嚴苛，故在設置廢輪胎燃燒廠時，仍必須要有詳細的規劃與相當程度的投資，以避免產生民怨。

2.3.4 切碎研磨再利用

一般而言，廢輪胎之切碎方式包括兩種：其一為於常溫下經切片機切碎，其二為透過液態氮冷凍後經超低溫粉碎機粉碎。廢輪胎經切碎研磨並將鋼絲及纖維等非膠物質分離後，可取得粒徑細小的(ϕ 5mm)橡膠粉，再將橡膠粉添加於其他物質中作成應用。目前已有將橡膠粉添加於瀝青中製成橡膠瀝青，並添加於混凝土原料中製成各種橡膠製品，如高速公路護欄、鐵路平交道、人造草皮、運動場跑道、兒童遊樂場地、屋頂防護墊、橡膠板等，其不但具安全性、富彈性、耐候性強、隔音效果良好等優點外，尚不易龜裂、老化。此外，亦有橡膠混凝土、橡膠土方之應用，其主要原理乃在於橡膠粉的添加將會改變傳統土木結構材料的配方與性質，故可作為多用途之廣泛應用。

目前世界各國對於廢輪胎的處理仍以掩埋方式居多，以美國、英國及義大利等國為例，約有 60% 以上的廢輪胎使用掩埋法來處理【3】。但目前世界各國對廢輪胎的掩埋條件都有嚴格的限制，而荷蘭已於公元 2000 年明訂完全禁止廢輪胎掩埋之法律。茲將歐、美、日等各國對於廢輪胎之處理方式歸納於表 4 中。

2.4 廢輪胎橡膠材料應用之相關研究

王怡諭與張振榮等人認為廢輪胎的處理對於環境將造成相當大的衝擊，故應審慎為之。囿限於台灣地區土地資源有限，採用掩埋法處理並不十分適宜；而傳統的熱裂解方法，其所產製的焦炭品質不佳，且精製焦炭的成本又過高，無法解決大量廢輪胎之處理問題；此外，過去數年來，政府雖一直倡導以補助燃料方式來鼓勵水泥業者處理廢輪胎之問題，唯受困於附近居民不斷地抗爭行動，致使推行數年卻毫無進展。迄今，國內尚無一套根本解決廢輪胎的處理方式。鑑於此，該研究遂提出如能經由 LOTCAP 熱裂解回收資源物，將能產生相當可觀的能源，對於國家的環保形象亦有莫大的助益。

至於交通部科技顧問室之委託計畫案「廢輪胎應用於公路填方之可行性研究（第二期）」，其主要目的在於根據不同土壤與廢輪胎碎片混合比例進行一系列室內之物理與力學試驗，以瞭解其工程性質。研究中發現可將廢輪胎碎片作為輕質填充材料，但於現場施工使用時，除考慮減輕負載外，亦需衡量夯實效果之難易度。此外，廢輪胎碎片填充材料之透水性遠較一般純土壤回填料為高，有助於排水並減輕負載，且不同的混合比所提供之剪力強度將會隨土壤顆粒與廢輪胎碎片間之互制效應而改變。

表 4 歐、美、日各國廢胎處理現況及未來規劃

國別	年廢輪胎產量	現行處理方式	未來規劃
德國	64.5 萬噸	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水泥廠 (26%) 2. 其他熱能再利用 (2%) 3. 輪胎翻新 (15%) 4. 再生橡膠、橡膠粉 (7%) 5. 原物利用 (2%) 6. 切片 (8%) 7. 掩埋、囤積 (40%) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建立焚燒場 2. 發展新的回收在利用 3. 技術 4. 道路工程之應用
法國	40 萬噸	大多掩埋 (26%)	設立焚燒設備
英國	45 萬噸	<ol style="list-style-type: none"> 1. 掩埋、屯積 (67%) 2. 能源(含水泥窯) (9%) 3. 再製胎 (18%) 4. 再生橡膠 (6%) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 燃燒發電 2. 道路工程
義大利	27 萬噸	<ol style="list-style-type: none"> 1. 再製胎 (25%) 2. 再生(橡膠粉) (6%) 3. 熱能利用 (4%) 4. 其他利用 (5%) 5. 掩埋 (60%) 	燃燒以回收能源
美國	2.76 萬噸	<ol style="list-style-type: none"> 1. 掩埋或屯積 (68%) 2. 能源回收 (10%) 3. 再生橡膠(粉) (5%) 4. 柏油橡膠 (1%) 5. 再製胎 (12%) 6. 輸出 (4%) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 焚燒作為燃料 2. 製作橡膠瀝青 3. 將橡膠粉與高分子聚合物混合，以製作新的且附加價值高的產品
日本	84 萬噸	<ol style="list-style-type: none"> 1. 能源，含水泥窯 (43%) 2. 再製胎 (9%) 3. 再生橡膠 (12%) 4. 輸出 (25%) 5. 其他 (11%) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 再生膠 2. 再製胎 3. 輸出 4. 能源利用

資料來源：本研究整理。

2.5 道路交通安全設施之現況分析

隨著北二高、西濱快速道路與各大都會區之外環快速道路相繼發展完成後，其確實提供用路人一個良好快速的駕駛環境，並達到紓解車流的目標；但隨之所衍生而來的道路交通安全問題，卻是始料未及的。歸納重大交通事故之統計資料可明顯發現，肇事時間大多發生在凌晨時分，而其肇事原因除駕駛人本身因車速太快或疏忽等駕駛行為不當外，道路安全設施的缺乏，致使無法提供用路者關鍵

性的防護，實為另一項之主要因素。此外，由於各級道路之施工興建及維修十分頻繁，造成許多用路人及施工人員因缺乏適當施工區域防撞設施而喪失寶貴性命，亦讓整個社會付出可觀的社會成本。細究其因，國內安全設施設置規範未臻詳盡，又未能因地制宜地引進國外安全設施，加上設置安全設施的執行程序不夠明確，凡此皆是造成重大生命財產損失之主因。就工程角度而言，安全的道路交通系統除應具備有良好的幾何設計、鋪面品質等條件外，亦應包括完善的交通安全設施，所謂完善的交通安全設施，即必須具有警示、導引、區隔及防護等四大功能。如此安全設施的設置一方面可降低道路因設計不當或因地形環境限制所發生潛在危險之可能性，另一方面可降低意外事故發生時的嚴重性及其衍生的龐大社會成本。

一般而言，道路交通安全設施可概分為二類，包括預警設施與緩衝防護設施。其中，預警設施包括標誌、標線、號誌等，主要設置於易肇事路段或潛在危險障礙物前，以提醒駕駛人提高注意力，進而避免意外事故發生。至於碰撞緩衝安全設施則為一局部性的交通安全防護設施，其通常設置於無法移動的剛性障礙物前，依據動能或動量不減原理，促使車輛在意外碰撞發生時，能平穩地減速停止或重新導正行進方向，進而減低意外事故之嚴重性。以台北都會區內提供穿越性交通的建國、新生高架橋及環河快速道路為例，這些高架或快速道路的設置確實肩負起改善交通擁擠之功能。但隨之衍生而來的道路交通安全問題，卻是相關單位所始料未及的。自民國 85 年 1 月 1 日至民國 86 年 3 月 7 日，上述三條主要高架道路共發生 20 件重大車禍事故，造成 17 人死亡、7 人重傷。其中，近 8 成事故的肇事類型均與出入匝道有關，至於 85 年台北市八條快速道路之全年肇事次數竟高達 270 件。這些重大車禍所造成的傷亡往往都相當嚴重，遂因而引起社會大眾之關切，並要求有關單位加裝安全防護設施以避免傷亡的繼續發生。以下本研究針對國內目前裝設緩撞設施之概況歸納如表 5 所示。

表 5 國內目前裝設緩撞設施之概況表

裝設地點	裝設概況
北二高	於新竹系統交流道各匝道處裝設共八座之鋼板護欄護墊型緩撞設施，其中三座經卡車撞擊後全毀，五座經其他車輛撞擊後半毀。無傷亡紀錄，已達初步緩撞功能。
中山高	於新竹系統交流道、豐原交流道及五股高架段出口匝道等處共試裝四座充水型及砂統型緩撞設施，其中五股高架段出口匝道有一次擦撞肇事紀錄。
省道	於台中大里橋安裝鋼板護欄型緩撞設施，效果良好。
台北市環河北路高架道路	裝設 H.D.PE 圓桶之重覆使用型緩撞設施。

資料來源：道路交通安全緩撞設施之規劃研究【4】。

參、現地測試

為探究廢輪胎橡膠材料應用在交通安全設施之可行性，本研究將選擇快慢車道分隔島前端、紐澤西護欄邊緣、紐澤西護欄端頭及中央紐澤西護欄前端等幾處地點進行安全島防撞設施之現地測試，其測試情況分述如下：

3.1 快慢車道分隔島前端

相關裝設情形如下：

地點	台北縣新店市中興路
交通特性	此端頭為下高速公路交流道左轉 90 ⁰ 因前叉路口快車道禁止左轉，必須駛出快車島其車流與直線車輛進出快車道或進入快車道之車流會產生出交織，容易撞上此分隔島前端。
材質	六角型橡膠防撞柱其材質為廢輪胎橡膠粉與天然膠添加黏著劑。
裝設情形	民國 91 年 2 月 6 日安裝四支六角型橡膠防撞柱於分隔島前。

3.2 紐澤西護欄邊緣

相關裝設情形如下：

地點	台北縣新店市安和路三段(往中和方向)
交通特性	交通量大，夜間視線不佳，車輛容易擦撞護欄邊緣。
材質	廢輪胎橡膠粉與再生橡膠及碳酸原料。
裝設情形	防撞護條於民國 91 年 2 月 7 日安裝護欄側邊。

3.3 紐澤西護欄端頭

相關裝設情形如下：

地點	台北縣新店市安和路三段(往新店方向)
交通特性	交通量大，夜間視線不佳，車輛尤其是機車容易碰撞中央護欄前端。
材質	六角型橡膠防撞柱其材質為廢輪胎橡膠粉添與天然膠加黏著劑。
裝設情形	民國 91 年 2 月 7 日安裝一支六角型橡膠防撞柱於中央紐澤西護欄前端。

3.4 中央紐澤西護欄前端

相關裝設情形如下：

地點	台北縣新店市安和路三段(往中和方向)
交通特性	十字路口交通流量大，夜間視線不佳，又是中央紐澤西護欄起點，車輛容易碰撞此處。
材質	廢輪胎橡膠粉+ELABIND 黏著劑。
裝設情形	民國 91 年 2 月 20 日安裝中央紐澤西護欄前緣。

以上之現地測試，由於裝置時間短，目前尚無具體數據可進行分析。但若在地方主管單位配合下，持續進行長時間觀察，相信會有進一步資料可供後續相關

研究作參考。

肆、成本效益分析

為了驗證廢輪胎橡膠材料應用在交通安全設施市場之可行性，本研究選擇下列典型地點並裝置適合之廢輪胎橡膠安全設施以進行成本效益分析，且進而比較廢輪胎橡膠材料與其它材料之差異。在進行相關成本效益之分析前，首先將車禍肇事成本定義為包括以下五項：

1. 死亡價值成本：包括個人生命價值及死亡喪葬費用。
2. 受傷價值成本：包括救護過程費用及醫療費用。
3. 財物損失價值成本：包括車輛損失、公路設施被撞毀損失及其它方面之財物損失。
4. 肇事發生後對其他道路使用者之時間消耗損失衍生之價值。
5. 法院訴訟費用。

至於各項傷亡及財物損失價值成本之估算，美國 AASHTO 之「Roadside Design Guide」中，採用了二階段式之步驟，首先是估計意外事故之嚴重性，其次依其嚴重程度估計該事故之成本，表 6 為各項傷亡及財物損失價值成本之建議值：

項目	損失價值成本
死亡	USD\$500,000
嚴重受傷	USD\$110,000
輕微受傷	USD\$10,000
中度受傷	USD\$3,000
第一級財務損毀	USD\$2,500
第二級財務損毀	USD\$5,000

經斟酌國內經濟狀況，並參考國內外研究資料【19】，本研究對於肇事成本之保守估計可依表 7 所列標準計算之：

項目	平均損失價值成本（每人或每輛）
死亡	300 萬元
傷害	100 萬元
嚴重受傷	200 萬元
輕微受傷	20 萬元
中度受傷	80 萬元
車輛全毀	30 萬元
車輛半毀	10 萬元
車輛輕度毀損	1 萬元

4.1 高肇事地點（紐澤西中央護欄端頭）之成本效益分析

一般道路紐澤西中央護欄端頭為常見之肇事典型地點，由於其肇事率高且主

管單位經費有限，故目前只能以一般之三角交通錐置於前端以作為警示之用，但其卻完全無安全防撞之功能，故類似地點之肇事率依然高居不下，進而引發龐大之車禍傷亡社會成本。

以下將依據台北縣新店市安和路三段之相關肇事資料進行分析。該路段去年共有二件有記錄之肇事，其肇事車輛分別為小汽車與機車，而肇事程度則分別為汽車中度毀損、駕駛輕傷；機車毀損、騎士中度受傷。

(一) 與裝設廢輪胎橡膠防撞柱比較：

以保守角度估計，如裝設廢輪胎橡膠防撞柱，其裝設與材料成本約為 2 萬元，材料費用每公斤約為 110 元。若以防護一件機車肇事而言，其與安裝三角交通錐之成本效益比較，可分為下列二種狀況估算：

1. 假設其能使速度為 60KPH 之機車肇事的騎士，由中度傷害減輕為輕度傷害，則其效益之計算如下：

$$80 \text{ 萬元} - 20 \text{ 萬元} = 60 \text{ 萬元}$$

其益本比為 30 倍，如下式所示：

$$\Delta B / \Delta C = 60 / 2 = 30$$

2. 假設其能使機車肇事（速度約為 35KPH）之騎士，輕度傷害減為無傷害，其效益為 20 萬元，益本比為 10 倍，如下列所示：

$$\Delta B / \Delta C = 20 / 2 = 10$$

(二) 與裝設高成本之緩撞設施（圓筒重覆使用型，REACT 350）比較：

圓筒重覆使用型裝設成本為 100 萬元，其設計撞擊速度為 70KPH，因此其能使機車騎士之中度傷害或輕度傷害減為無傷害，其效益分別為 80 萬元與 20 萬元，其益本比分別為：

$$\Delta B / \Delta C = 80 / 95 = 0.84 \quad \Delta B / \Delta C = 20 / 95 = 0.21$$

(三) 與裝設低成本之緩撞設施（日本充水型）比較

日本充水型之裝設成本約為 18.2 萬元，其設計撞擊速度為 60KPH，因此亦會使機車騎士之中度傷害或輕度傷害減為無傷害，其效益分別為 80 萬元與 20 萬元，其益本比分別為：

$$\Delta B / \Delta C = 80 / 18.5 = 4.32 \quad \Delta B / \Delta C = 20 / 18.5 = 1.08$$

4.2 高肇事地點（快慢車道分隔島前端）之成本效益分析

快慢車道分隔島前端乃為高肇事之地點，以台北縣新店市中興路為例，該地點去年共有三件有記錄之肇事，其肇事車輛有二件為小汽車、一件為機車，至於肇事程度分別為汽車二件均為輕度損毀、駕駛輕傷；機車則為中度毀損，騎士輕傷。

(一) 與廢輪胎橡膠防撞柱比較：

如裝設廢輪胎橡膠防撞柱，如圖 5.1 所示，其裝設與材料成本為 2 萬元(材料費用每公斤大約為 110 元)，為保守估計，只要防護一件小汽車之肇事，其效益之計算可分成下列二種狀況估算如下：

1. 假設其能使行車速度為 60KPH 汽車的駕駛，由中度傷害減輕為輕度傷害，車

輛毀損由半毀減輕為輕度毀損，則其效益之計算如下：

$$(80 \text{ 萬} - 20 \text{ 萬}) + (10 \text{ 萬} - 1 \text{ 萬}) = 69 \text{ 萬元}$$

約 10 萬噸，一公斤大約需要處理費用 3.2 元，如包括這部份之社會成本的減少，其所產生之效益會比估計值還要高。其益本比為 34.5，如下列所示：

$$\Delta B / \Delta C = 69 / 2 = 34.5$$

2. 假設其能使行車速度變為 40KPH 之小汽車的駕駛由輕度傷害減輕為沒事，車輛由輕度毀損減輕為沒事，其效益之計算如下：

$$20 \text{ 萬} + 1 \text{ 萬} = 21 \text{ 萬}$$

其益本比為 10.5，如下式所示：

$$\Delta B / \Delta C = 21 / 2 = 10.5$$

- (二) 與裝設高成本之緩撞設施 (H.D.P.E 圓筒型) 比較：

此進口之緩撞設施之裝設成本為 110 萬元，其設計撞擊速度為 90 KPH，因此其分別能使 60KPH 及 40KPH 之肇事小汽車的車輛與駕駛均減輕為無傷害，由於此類型緩撞設施可重覆使用，故其總效益計算如下：

$$(80 \text{ 萬元} + 10 \text{ 萬元}) + (20 \text{ 萬元} + 1 \text{ 萬元}) = 111 \text{ 萬元}$$

其本益比為 1.01 如下列所示：

$$\Delta B / \Delta C = 111 \text{ 萬元} / 110 \text{ 萬元} = 1.01$$

由以上之比較分析廢輪胎橡膠應用在此類地點之成本效益分析比原來只裝三角交通錐或裝設進口緩撞設施均要有利得多，足見此項應用在市場上之優勢。

值得注意的是，由於廢輪胎橡膠材料可明顯減少環境污染成本，故上述所估計之益本比於社會成本部分將忽略不計。此外，若以環保署每年處理廢輪胎量約 10 萬噸，且一公斤所需之處理費用約以 3.2 元計算，則包括此部份所減少之社會成本，其所產生之效益將較上述估計值為高。

伍、結論與建議

本研究雖囿限於時間與經費，但仍在有限之研究內容下，得到幾點初步之結論與建議，茲分述如下：

5.1 結論

透過前述之分析，本研究得到以下幾點結論：

1. 橡膠材料由於其彈性大，若能應用在安全島之防撞設施上，則撞擊後之車輛易於彈回，因此其適合在較低速之道路環境上佈設。但因其成本高，故採用廢輪胎橡膠材料替代應為值得考慮之作法。透過相關物性測試分析後，本研究發現其彈性雖比天然膠稍低，但仍可吸收撞擊所產生之能量，故可應用在更低速之道路環境。至於若要佈設於高速道路之環境，則必須再加上結構設計以增加其緩撞效率。
2. 透過物性之分析，本研究發現廢輪胎橡膠無論是採用黏結劑或再生膠等方式，皆顯示在交通安全島防撞設施之應用上皆有其可行性。其中，在常溫

下可運用廢輪胎橡膠加黏結劑方式，且適合佈設在不規則交通安全設施之現場，至於再生膠方式則必須在工廠鑄造，較適合於佈設於規則狀之交通安全設施上。

3. 在成本效益與市場分析方面，以廢輪胎橡膠材料所製成之一般防撞設施適合於較低速限之道路環境，雖其所能減少之行車肇事社會成本有限，但由於其相關成本低，故其益本比保守估計仍可達到 10 以上。在實務應用上，因其成本低廉，故能較為普及地裝設在易肇事之危險地點，以因應政府預算有限之窘境。此外，對於交通安全之改善亦有莫大之助益。
4. 目前廢輪胎橡膠材料所製成一般防撞設施所適合安裝之地點，本研究認為有以下三處：一般道路（速限 40KPH 以下）之中央分隔護欄二端頭及其側邊、都市地區一般道路之快慢分隔島或槽化島前端與社區（包括學校）內道路之減速墊。
5. 廢輪胎橡膠材料所製成之防撞設施，亦可進一步應用在較高速限之道路環境，如高（快）速公路等地方，惟其必須採用結構化之設計以增加碰撞後舒解能量之緩撞效果。

5.2 建議

對於後續性研究，本研究有以下三點建議：

1. 此研究課題因既可達到環保要求，又可比較全面的增進交通安全，故相對顯得十分重要。尤其在政府預算有限情況下，本研究成果更能發揮事半功倍之效果。但由於本研究受限於時間與經費，未能再作更進一步之探究。建議未來之研究方向可不限於廢輪胎橡膠墊片，而應擴大應用在增加結構設計之防撞設施，則其執行效益將更為顯著。
2. 為求得其更精準之防撞速度範圍，後續性研究可以專注在電腦模擬上。建議可利用有限元素法進行，但由於所需研究經費大，故需要與汽車製造公司與車輛測試中心（ARTC）合作，並以一系列化之多年整合型研究計畫為之。

參考文獻

1. 行政院環保署研究報告，「廢輪胎橡膠粉資源化技術及其衍生產品之應用計劃」，民國八十九年十二月。
2. 李清華、郭葉輝，「廢輪胎可行處理技術評析」，技術與工程，pp.47-58,1992。
3. 行政院環保署研究報告，「廢輪胎回收清除處理廢率之訂定與制度之規劃」，民國八十八年十二月。
4. 李克聰，交通部「道路交通安全緩撞設施之規劃研究」交通部委託逢甲大學研究報告，87 年 6 月。
5. AASHTO, "Roadside Design Guide", October 1988.
6. 劉冠汝，「反光車牌對車輛肇事影響之研究」，交通大學運輸研究所碩士論文，

88年6月。

7. 李克聰，交通部「道路交通安全緩撞設施之規範草案之研究」，交通部委託逢甲大學研究報告，89年9月。
8. 費俊九，「廢輪胎能源利用為汽電共生之開發」，廢輪胎資源化利用技術與策略研討會，頁22，民國八十五年。
9. 蔡英明，「屑化橡膠混凝土配比及工程性質之初步研究」，朝陽科技大學營建工程研究所碩士論文，民國八十八年六月。
10. 葉佳魁，「廢輪胎碎片在不同相對夯實度下之大地工程性質」，台灣大學土木工程研究所碩士論文，民國八十八年六月。
11. 林政璋，「廢輪胎橡膠瀝青之性質研究」，中華大學土木工程研究所碩士論文，民國八十九年六月。