

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書
出國報告（出國類別：其他(國際會議、技術交流)）

「美國廢輪胎回收策略及橡膠瀝青
技術參訪計畫」出國報告

服務機關：行政院環境保護署資源回收基管會

職稱姓名：翁文穎 高級環境技術師兼組長

赴派國家：美國

出國期間：104 年 10 月 3 日至 10 月 12 日

報告日期：104 年 12 月

摘要

本次參訪計畫，藉由參加西元 2015 年橡膠化橡膠瀝青研討會(RAR2015)之機會，與國際間具橡膠瀝青應用經驗之專家及業界研發人員，研析討論廢輪胎回收管理策略及橡膠瀝青應用技術。並經由實地勘查內華達州 I-515 公路拉斯維加斯路段橡膠瀝青鋪築道路，與內華達州交通部人員進行經驗交流，瞭解當地橡膠瀝青鋪面使用現況。

透過參訪鹽湖城廢輪胎回收及處理公司(Liberty Tire Recycling)，觀摩廠內廢輪胎處理製程，並與廠方人員交流瞭解猶他州廢輪胎回收處理機制、廢輪胎再利用推廣策略及該州廢輪胎回收處理量能與再利用現況等。

拜訪橡膠瀝青生產公司(Alon Asphalt Company)，瞭解加州境內橡膠瀝青推廣政策及橡膠瀝青工廠化技術，並諮詢工廠化橡膠瀝青時產業鏈所需具備的技術能力、產製設備及市場運作等資訊。

目錄

壹、 目的	4
貳、 參訪行程.....	4
參、 成員	6
肆、 工作內容.....	6
伍、 心得與建議.....	17
陸、 附錄	18
附錄 一 會議議程	
附錄 二 重點論文摘錄	
附錄 三 廠商訪談資料	

壹、目的

西元 2015 橡膠化橡膠瀝青研討會(RAR2015)係由國際知名橡膠瀝青學者 Dr. Jorge Sousa 及亞利桑納州橡膠瀝青專家 George Way，在 2000 年創辦的橡膠瀝青研討會(Asphalt Rubber conference)，每三年舉辦一次，是國際間最主要的廢輪胎橡膠瀝青推廣策略及技術交流的場合，2000 年在葡萄牙、2003 年在巴西、2006 年在美國加州、2009 年在中國南京、2012 年在德國慕尼黑，今年 2015 年又回到美國拉斯維加斯。

歷經多年技術的轉變，橡膠瀝青在路面的應用逐漸由現場拌合走向工廠化，這種重大的轉變使得西元 2015 研討會更名為「橡膠化」橡膠瀝青(Rubberized Asphalt Rubber)研討會，其論文發表內容涵蓋世界各地各種橡膠瀝青路面的應用技術經驗、檢測方法、品質保證、及規範制定等，可供國內作為推廣參考。另美國實為廢輪胎回收處理及應用最為進步的國家，期藉由此次現地參訪，瞭解美國廢輪胎回收處理市場機制及推廣現況，作為國內未來參採方向。

貳、參訪行程

本次參訪時程為 2015 年 10 月 3 日至 12 日，10 月 4 日至 7 日參加橡膠化橡膠瀝青研討會(Rubberized Asphalt Rubber Conference 2015)，期間安排了參訪內華達州交通部鋪設的橡膠瀝青路段；8 日至 10 日參訪廢輪胎處理廠及拜訪工廠化橡膠瀝青生產公司，由於參訪地點位於美國，考量時差及行程安排因素，本次出席人員於 10 月 3 日出發，於 10 月 12 日結束行程返抵台灣，共計 10 日。有關此參訪行程如下：

活動日期	活動內容	活動地點
2015/10/03 (星期六)	啟程，出發抵美國內華達州拉斯維加斯	臺北市 抵達 拉斯維加斯
2015/10/04 (星期日)	橡膠化橡膠瀝青研討會(RAR 2015)報到 暨開幕茶會	拉斯維加斯
2015/10/05 (星期一)	參加橡膠化橡膠瀝青研討會，議題針對全球暖 化美國各州實施綠色政策及橡膠瀝青鋪設技 術開發，研討重點為如何減少鋪設厚度及拌合 溫度等。	
2015/10/06 (星期二)	上午：參觀橡膠瀝青鋪設路段，內華達州內鋪 設橡膠瀝青公路段(I-515)。	
	下午：參加橡膠化橡膠瀝青研討會，議題針對 橡膠瀝青對環境的影響及拌合時對人體危 害，另包括鋪面鋪設降低噪音效果等。	
2015/10/07 (星期三)	參加橡膠化橡膠瀝青研討會，議題針對延宕橡 膠瀝青老化及再生技術開發研究。	
2015/10/08 (星期四)	轉程，至猶他州鹽湖城。	拉斯維加斯→ 鹽湖城
2015/10/09 (星期五)	參訪 Liberty Tire Recycling 公司位於猶他州鹽 湖城之廢輪胎處理工廠，並針對猶他州境內廢 輪胎回收制度及成品再利用途徑等議題進行 意見交流。	鹽湖城
2015/10/10 (星期六)	拜訪 Alon Asphalt 公司及 Wright Asphalt Product 公司，針對加州境內橡膠瀝青應用現 況及橡膠瀝青工廠化技術引入國內等議題進 行意見交流。	
2015/10/11 (星期日)	返程→舊金山轉機	鹽湖城→舊金山 →台北市
2015/10/11-12 (星期一)	返程→抵達台北	

參、成員

單位	職稱	姓名
行政院環境保護署 資源回收管理基金管理委員會	組長	翁文穎
中華大學營建管理學系	教授	邱垂德
財團法人台灣營建研究院	計畫工程師	涂哲維
財團法人台灣營建研究院	助理工程師	黃麗松

肆、工作內容

一、 2015 橡膠化橡膠瀝青研討會參加成果

本屆研討會議在內華達州拉斯維加斯舉行，會議交流包含了橡膠瀝青發展、未來應用趨勢、橡膠瀝青對人體危害研究成果發表等議題，可作為我國橡膠瀝青未來應用之參考，會議議程詳見附錄一。會議重點如下：

- (一) 本屆會議主題搭配美、英、中國大陸等的橡膠瀝青應用逐漸由現場拌合走向工廠化，故將橡膠瀝青做更廣泛的定調為「橡膠化的橡膠瀝青 (Rubberized Asphalt Rubber)」，最明顯差異在於橡膠瀝青的廢輪胎膠粉量不受須添加至 15%以上(美國 ASTM D6114)的限制。
- (二) 根據英國諾丁漢(Maria, University of Nottingham, UK)等人的研究可知，廢輪胎橡膠瀝青沒有辦法廣泛地採用，最主要的原因是瀝青工業界不信任乾式製程，又不願意針對溼式製程的儲存穩定問題採取必要的設備調整所致。因此，為迎合瀝青工業界，使橡膠瀝青能更廣泛的應用，近年來多著重於橡膠化的橡膠瀝青技術研究與工程應用成效驗證。

(三) 根據美國亞利桑納州奈杜(Prem Naidoo, Asphalt and Wax Innovation, LLC)及美國亞利桑納州施滕皮哈爾(Jeff Stempihar, SSEBE)等人的研究可知，目前橡膠瀝青技術有兩項大進展(論文內容詳見附錄二)。

1. 煉油廠級技術，是加入化學劑混拌而成的橡膠瀝青，其廢輪胎膠粉的添加量約在瀝青量的 10%左右，成品特性近似於 SBS 改質瀝青，並且可以納入 PG 級的瀝青系統，也就是迎合現有路面工程界的瀝青規範而較好推動，相較於傳統在現場拌的橡膠瀝青，可稱為工廠化橡膠瀝青。
2. 化改輪胎橡膠(Chemically Modified Crumb Rubber, CMCR) 技術，是將橡膠粉做前處理後，可能的方法有表面處理及去硫化技術，企圖將溼式製程的產品改成用乾式的方法來生產，但表面處理及去硫化技術才剛開始進入市場，牽涉到專利技術，價格尚未穩定。

(四) 根據美國內華達州席貝利(Peter E. Sebaaly, University of Nevada)等人的研究提及，因應橡膠瀝青拌製需要高溫才能使瀝青基底與橡膠粉拌和均勻，過程中會使用到大量的重油，此舉對資源及環境皆會造成影響。對此，美國早年已嘗試將溫拌技術引入，也證實溫拌技術能有效降低 17~30°C，且溫拌技術應用於橡膠瀝青路面，不僅能降低其混合料施工溫度，同時保持橡膠瀝青混合料優良的路用性能，惟拌製過程中會產生水氣及氣泡，尚需克服。針對此部分，講者藉由不同的 PG 級瀝青配比，並搭配不同廠牌溫拌藥劑(ADVERA、SASOBIT、EVOTHERM)來輔助降低水氣，且現行實驗階段已具有成果，確實能有效降低氣泡，其中以添加 SASOBIT 成效最為顯著。

(五) 根據美國鋪面協會蘇珊(Jorge B. Sousa, Consulpav International)等人研究提及，因應美國早年多為混凝土路面，為使各公路單位在不挖除原有混凝土路面的情況下能進行修繕工程，故提出新的鋪面結構方案 ARFC(如

下圖 1)，即在原有路面上加設 2.5 公分開放級配及 4.5 公分越級配的橡膠瀝青，且巴西公路局(DER-RJ Rio de Janeiro State Highway Department)透過 RJ-122 公路進行實際試鋪工程，並驗證其道路使用成效及平整度良好。

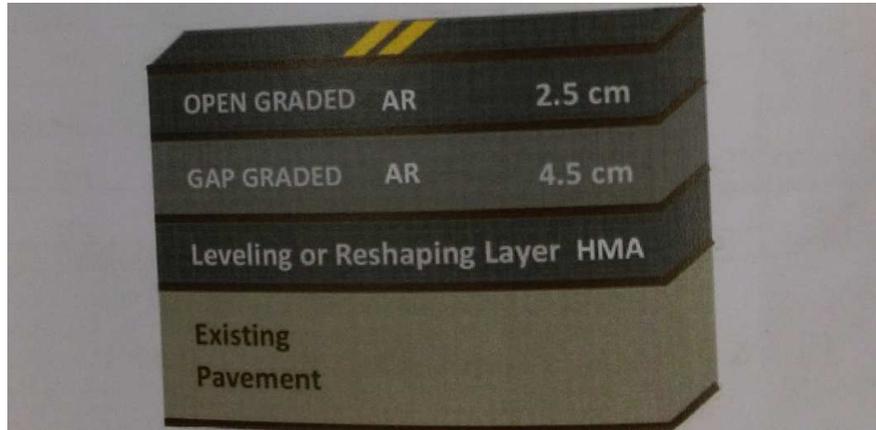


圖 1 新鋪面結構設計(ARFC)示意圖



圖 2 RJ 122 公路鋪設 ARFC 結構橡膠瀝青混凝土鋪面

(六) 根據義大利福爾納伊(Fornai, D., Ecopneus SCPA)等人研究提及，根據不同工地監測及統計分析結果見表 1~表 3，在一般瀝青或橡膠瀝青混凝土施工過程中，以現場執行整平工作之人員承受之風險最高為 3.34×10^{-5} ，較高於一般行業要求 (Carcinogenic Target Risk = 1×10^{-6} ,United States Environmental Protection Agency, 2014)，對此，亦建議相關人員在過程中使用安全防護器具，以降低傷害風險。

表 1 各階段執行人員之吸入性致癌風險評估

R_i- Risk associated to Inhalation Exposure						
PAH	Standard Asphalt			Rubberized Asphalt		
	Roller	Screedman	Paver	Roller	Screedman	Paver
Benzo[a]Pyrene	1,20×10 ⁻⁵	1,48×10 ⁻⁵	3,92×10 ⁻⁶	6,13×10 ⁻⁶	6,28×10 ⁻⁶	4,30×10 ⁻⁶
∑ PAHs	2,15×10 ⁻⁵	2,78×10 ⁻⁵	7,24×10 ⁻⁶	1,13×10 ⁻⁶	8,89×10 ⁻⁶	6,24×10 ⁻⁶

表 2 各階段執行人員之接觸性致癌風險評估

R_d- Risk associated to Dermal Exposure		
PAH	Standard Asphalt	Rubberized Asphalt
	Screedman	Screedman
Benzo[a]Pyrene	4,35×10 ⁻⁶	4,64×10 ⁻⁷
∑ PAHs	5,60×10 ⁻⁶	7,79×10 ⁻⁷

表 3 現場整平執行人員之致癌風險評估

PAH	R_{tot}	
	Standard Asphalt	Rubberized Asphalt
	Screedman	Screedman
Benzo[a]Pyrene	1,92×10 ⁻⁵	6,74×10 ⁻⁶
∑ PAHs	3,34×10 ⁻⁵	9,67×10 ⁻⁶

(七) 研討會現況



技術交流會議現況



橡膠瀝青混凝土級配設計及膠粉規格展示



橡膠瀝青拌製設備展示

二、 橡膠瀝青鋪設路段現場勘查(I-515 路段)

本次現勘路段為 I-515 公路拉斯維加斯段，雙向道皆以在原有鋼性路面上加鋪 2.5 公分厚度的開放級配橡膠瀝青混凝土方式進行改造，整體工程於 2008 年完成。經行車經過混凝土路面段及橡膠瀝青路面段，兩者噪音度差異明顯之大，

可以想見內華達州現行極積推廣橡膠瀝青鋪路來降低噪音的急迫性。

經觀察橡膠瀝青鋪設路段，整體鋪面雖無修補狀況，但在表面上會階段性出現橫向裂縫。內華達州交通部官員表示，表面裂縫經勘查，非屬橡膠瀝青材料所造成，歸咎於基底混凝土原保留的伸縮縫關係，在變化過程影響到了橡膠瀝青鋪面，且經過長期觀察，對橡膠瀝青鋪面整體功能並無影響。

	
路面整體現況	路段鋪設高度
	
觀察橡膠瀝青狀況	局部紋理現況
	
表面裂縫現況(一)	表面裂縫現況(二)

三、 廢輪胎回收及處理公司參訪(Liberty Tire Recycling)

本次參訪 Liberty Tire Recycling 是總部位於賓州的美國專業廢輪胎回收處理公司，回收處理廠遍佈美國各州，是北美最大的廢輪胎回收處理公司，全美國 1/3 的廢輪胎目前由這家公司負責處理，估計每年將約 1 億 4 千萬條廢輪胎轉化為對人類有益的可持續性產品。本次安排參觀的鹽湖城廢輪胎回收處理廠，是該公司美西最大的處理廠，生產線的產品有廢輪胎再製、切割為胎得福、磨粉供橡膠產業使用、及供石油公司拌製工廠化橡膠瀝青。有關參訪過程中，針對猶他州廢輪胎推廣應用現況，重點如下列：

- (一) 猶他州廢輪胎回收業的市場機制，主要是廢輪胎處理回收業者靠從輪胎販售店(tire shop)回收輪胎，可以得到販售店給的處理金、處理後衍生產品的販售收入及猶他州政府給予的補貼金，三種不同來源的收入來支付處理廢輪胎所需的成本。換言之，美國一般消費者習慣購物時外加不同的稅，應此在換輪胎時，因為買新輪胎要繳每條 1 美元輪胎稅(tire tax, 即用作回收基金)，再針對舊輪胎要繳每條約 3 美元的棄置費(disposal fee)，這些錢交給輪胎販售店後，上繳政府每條 1 元，拿到每條 3 元的棄置費要依法處理。
- (二) 猶他州廢輪胎再利用推廣策略，是由政府對產製販售新輪胎徵收每條 1 美元的回收金，透過補助機制來促進後端市場應用意願，即廢輪胎若製成膠粉成品並應用於再生製品時，每噸可獲得 65 美元之處理成本補助；若製成膠粉以外的產品而用於再生製品時，每噸可獲得 50 美元之處理成本補助；若製成膠片再利用，每噸可獲得 20 美元之處理成本補助。
- (三) 目前該廠的狀況大概是每條輪胎可以從輪胎店取得 1 美元，販售產品的狀況則視客戶的需求而定，TDF 膠片佔最大百分比，其次為切碎研磨的橡膠細粒，主要作為人工草皮內填料及橡膠跑道的下層墊，處理成本高

的販售價格也較高，加上州政府的補貼，公司即可獲利營運。

- (四) 該廠主要處理猶他州境內廢輪胎外，每年約 300 萬條，亦代處理鄰近州之廢輪胎，每年處理廢輪胎膠片或膠粉成品約 6 萬公噸。處理之成品以作為輔助燃料比例最高約占 49%、再生橡膠製品約占 25%、膠片直接再利用約占 25%，供應橡膠瀝青應用則約占 1%。

	
廠內膠粉出廠情況	廠內膠粉成品儲存情況
	
廠內待研磨膠粉儲存情況(一)	廠內待研磨膠粉儲存情況(一)
	
原胎	第一道研磨設備
	

<p>第二道研磨設備</p>	<p>處理後之鋼絲壓製</p>
	
<p>棉絮篩選設備</p>	<p>膠粉規格篩選設備</p>
	
<p>膠粉產出情況</p>	<p>膠粉裝袋</p>
	
<p>成品應用於景觀草坪基地</p>	<p>成品應用於跑道 PU 膠墊</p>
	
<p>生產規格說明</p>	<p>會議討論</p>

四、 橡膠瀝青生產公司拜訪(Alon Asphalt Company & Wright Asphalt Product Co.)

Alon USA 總公司是美國加州的石油化業工廠，為回收處理煉油的瀝青，分設了 Asphalt Company，為美國高性能瀝青產品最大的供應商之一。近年也因應加州政府對於橡膠瀝青的推廣政策，該公司也順勢加投入橡膠瀝青應用市場，最新的發展是取得工廠化橡膠瀝青的材料配方及製程的專利。主要產品有一般瀝青、橡膠瀝青、聚合物改質瀝青，產品銷售以德州以西的州為主。有關參訪過程中，針對加州廢輪胎推廣應用現況及工廠化橡膠瀝青，重點如下列：

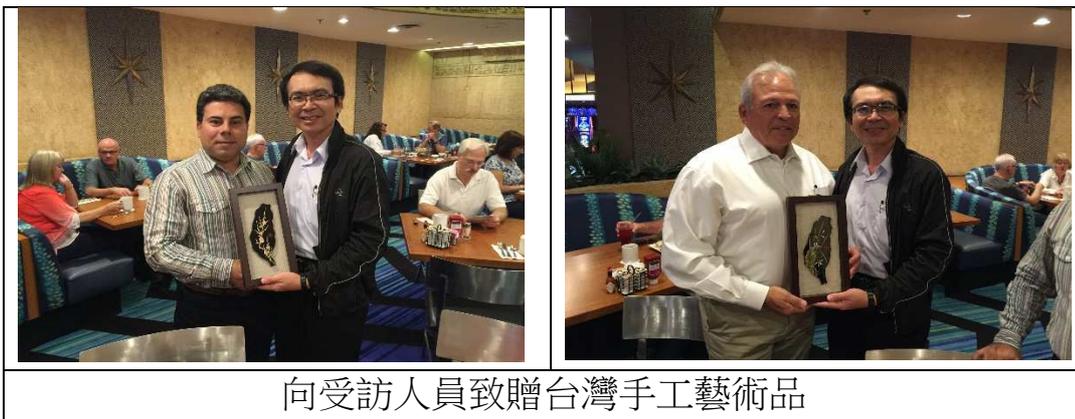
- (一) 加州對於橡膠瀝青推廣政策，是加州政府於 2005 年通過 AB 338 法令要求境內添加廢輪胎橡膠的鋪面材料的比例須逐年增加，在 2007 年時應達 20%，2013 年應達 30%，在 2010 年，加州公路局就有超過 30%的熱拌瀝青案有添加廢輪胎橡膠，且在 2015 年 1 月政府為大量推廣使用橡膠瀝青，並於該法令中明訂境內 50%的鋪面工程須使用橡膠瀝青。另州政府亦透過鼓勵方式即每使用 12 英磅橡膠粉於鋪面工程可獲得 2 美元的補助經費，以促進公路單位大量使用橡膠瀝青之意願。
- (二) 根據該公司產製經驗，其建議國內在引進工廠化橡膠瀝青時，可由瀝青供應源頭廠商(如中油公司、台塑石油等公司)進行設備投資，由該廠商向廢輪胎處理廠購入橡膠粉進行加工產製，再將成品作為一般瀝青進行分售及運送，此方式能有效確保工廠化橡膠瀝青供應品質之穩定性。可能的關鍵是台灣的瀝青產品標準尚未使用 PG 級規範，用針入度或黏度規範不容易規範改質瀝青及橡膠瀝青的產品品質。目前採用廠拌橡膠瀝青時，引用 ASTM D6114 的視黏度規範做現場製程品質控制，但該規範不適用於工廠化橡膠瀝青。
- (三) 一般工廠化橡膠瀝青生產，是通過較細膠粉（細度通常在 80 目以上，傳統現場濕法橡膠瀝青膠粉細度為 20 目~30 目）和穩定劑的採用，可提高

橡膠瀝青的存儲穩定性，使橡膠瀝青穩定存儲可達 30 天以上。另大量的膠粉摻量（摻量 $\geq 18\%$ ），使橡膠瀝青有高黏性的表現，也相對提供抗水侵害與抗高溫車轍的表現。在粒料級配的選擇更為的廣範，將不侷限在越級配或開放級配上，對於密級配亦適用。有關美國地區針對工廠化橡膠瀝青拌製工廠的現況如圖 3 所示。



圖 3 美國工廠化橡膠瀝青廠

（四）訪談現況



伍、心得與建議

- (一) 從 2015 年橡膠化橡膠瀝青研討會的論文來看，橡膠瀝青的工程成效及環境友善狀況是國際已應用與研討的共識，對照國內道路工程界對廢輪胎橡膠瀝青的使用，經驗顯然尚不足夠，未來必須加強推廣，讓道路鋪設經驗普及化。
- (二) 目前國內已成功引進溼式製程的橡膠瀝青，鋪路的成效也和國外許多的經驗相類似，未來如果累積足夠的證據數據，可以跨部會促請交通及道路主管機關協助推動，在熱拌瀝青鋪面中加入廢輪胎橡膠粉，以達成工程品質與環境保護兼顧的雙贏目標。
- (三) 在橡膠瀝青產製技術方面，經實務驗證，傳統溼式製程不牽涉任何專利技術，現場拌製的設備也不是很昂貴。只要形成政策必須要推動，市場產生需求與經濟誘因，相關業者就會投入評估考慮投資及因應政府公部門之要求。
- (四) 工廠化生產橡膠瀝青方面，由於臺灣的瀝青產製規格主導權有很大部分取決於石油公司，故實務做法應可藉由與台塑石油公司或中油公司等研議商討，未來若石油公司有這方面的意願與遠景規劃，可以由石油公司提議進行瀝青規範的更新，並進行工廠化橡膠瀝青的大規模生產與供應。
- (五) 化改輪胎橡膠(Chemically Modified Crumb Rubber, CMCR)方面，因牽涉技術專利，現階段建議可洽詢有意願之民間企業，探討由自行引進的可能性。若有試鋪案可合作的機會時，可以一併納入後續研討。。

陸、附錄

附錄 一 橡膠化橡膠瀝青研討會會議議程

附錄 二 重點論文摘錄

附錄 三 橡膠瀝青生產廠商訪談資料