

以廢輪胎橡膠推動道路養護資源循環減碳技術

邱垂德¹ 涂哲維² 許承煜³ 陳東興⁴

¹社團法人台灣輪胎循環經濟協進會秘書長

²財團法人台灣營建研究院工程服務組專案經理

³保綠資源股份有限公司(台灣分公司)總經理

⁴保綠資源股份有限公司董事長

RECA-114-021

摘要

本研究以「輪胎循環高值化、道路養護低碳排」為願景，結合輪胎回收業與熱拌瀝青業，應用鋪路工程的新式技術，執行為期兩年的「以廢輪胎橡膠推動道路養護資源循環減碳技術」，開發創新橡膠瀝青低碳鋪路材料；在研發創新、化解疑慮、輔導扎根、及成果推廣四大方向，展開完成(1)開發橡膠瀝青混合料的平衡式配比設計、(2)以創新方法檢測橡膠瀝青混凝土成效、(3)實做納入橡膠瀝青的瀝青改質規範、(4)溫拌橡膠瀝青混合料納入路面刨除料、(5)用溫拌技術降低異味、(6)工廠化免除特殊機具需求、(7)實證含橡膠瀝青刨除料再利用、(8)辦理橡膠瀝青研討會、(9)觀摩溫拌橡膠瀝青養路減碳技術、(10)輔導熱拌廠產品碳足跡認證、(11)研擬橡膠瀝青低碳養路技術指引、(12)低碳橡膠瀝青路面鋪築、(13)提出成功典範及具體成效數據、及(14)推動道路養護成效式規範等共14項工作；在實驗室與試辦專案案中充份應用開發的材料設計方法及品質檢測方式，完善品質檢驗與材料設計試驗的一致性及有效性；突破資源限制委託美國瀝青科技中心以成效分級體系對國內瀝青材料進行檢測，引進AASHTO M323規範，檢測黏結料的抗車轍與抗開裂特性，促進選對材料及優化環保材料；鋪築二段溫拌橡膠瀝青越級配路面，有效降低製程溫度消除瀝青煙及異味，試鋪一段工廠化橡膠瀝青鋪面免除特殊拌合機具的需求，也紀錄實證老舊的橡膠瀝青路面得以順利刨除再利用回路面工程；成果推廣方面，則綜合擬訂「橡膠瀝青低碳養路技術指引」，指引國內鋪面工程人員參照先進技術規範，據以執行高效低碳的道路鋪面養護工作，邁向道路養護低碳排的目標。

關鍵詞：橡膠瀝青，橡膠改質瀝青，溫拌技術，內含碳，營運碳

一、前言及研究目的

面對2050年淨零排放目標，美國聯邦公路總署(Federal Highway Administration, FHWA)以「通膨削減法(Inflation Reduction Act, IRA)」預算中的20億美元執行低碳交通建材(Low Carbon Transportation Materials, LCTM)計畫，補助或獎勵低碳建材（主要材料類別為鋼材、混凝土、瀝青混凝土、及平板玻璃）[1]；用胎磨膠粉替代聚合物橡膠，再度成為瀝青混凝土路面改質的低碳新選擇。將廢輪胎橡膠做為替代的瀝青改質劑，證實可防止路面過早出現車轍和開裂，而延長路面壽命，也可以降低鋪面噪音，並提高平坦度和安全性；在經濟成本方面，則因增加路面的使用壽命並減少路面維修的需求，具有顯著的全生命週期成本優勢；在環境效益方面，則因大量降低改質劑的內含碳及製程溫度較低減少的營運碳，而具有明顯的減碳效果。過去10餘年前環保署因應能源轉型將廢輪胎資源轉向物質再用，並以「延續輪胎生命，守護道路安全」為願景，已成功將橡膠瀝青即拌即用(溼式)製程技術轉移，相繼在國道及省道公路路面層已有超過60車道公里的實績。但，過去幾年推動時常因成本較高，又需有特殊的拌製設備且需即拌即用不能儲存，加上製程溫度較高而有異味較重的顧慮，困難點較多需仰賴適當補助及政策支撐。

本計畫以過去10年執行國內廢輪胎鋪路的成果為基礎[2][3]，以「輪胎循環高值化、道路養護低碳排」為願景，具體落實本土化「以廢輪胎橡膠推動道路養護資源循環減碳技術」，預計達到以下四項目的：

- (1) 實驗室研發創新材料設計及檢測方法：以溫拌橡膠瀝青技術為核心的低碳道路養護材料，必須以新的方法執行材料配比設計，也應以新的檢測方法驗證可能成效。
- (2) 實做示範化解業界疑慮：針對目前道路機關及熱拌廠對推動廢輪胎鋪路的疑慮，主要包括製程溫度較高產生的異味及污染排放、必需採用特殊拌合設備且即拌即用不能儲存、未來含橡膠的瀝青路面刨除料恐難再生等，以實廠實做驗證及過程監測的客觀數據化解疑慮。

- (3) 輔導扎根推動橡膠瀝青低碳技術：搭配溫拌橡膠瀝青鋪路觀摩示範及橡膠瀝青工作坊和低碳鋪路技術研討會，及輔導熱拌廠提出產品碳足跡(Carbon Footprint, CFP)，推動以溫拌橡膠瀝青為核心的低碳技術。
- (4) 擴大鋪路實績推廣成果：藉由道路單位提出的搭配案源，擴大溫拌橡膠瀝青低碳養護道路之實績。

二、 研究方法

本計畫為具體落實「以廢輪胎橡膠推動道路養護資源循環減碳技術」的本土化，將預計達到的研發創新、化解疑慮、輔導扎根、及成果推廣共四項目的，拆解列出達成的主要工作項目共14項，如圖1所示；研發創新方面主要是整理先進國家的相關文獻，搭配在實驗室以平衡式配比設計(Balanced Mix Design, BMD)概念導入新式檢測方法，引用新的成效式瀝青規範；化解疑慮方面除委託美國瀝青科技中心(National Center for Asphalt Technology, NCAT)實驗室開發橡膠改質瀝青(Rubber Modified Binder, RMB)外，也研擬新式改質瀝青規範，及可能的胎磨膠粉粒徑調整，再由實驗室用平衡配比設計法(Balanced Mix Design, BMD)調配密級配橡膠瀝青混凝土，在判定性質符合規定的前提下，由於是在工廠拌製且可以儲存，可在一般密級配道路上使用，供料熱拌廠也不需特別的設備，以免除「特殊拌製設備且即拌即用」的疑慮；成果推廣方面則搭配環境部提報工程會的「廢輪胎資源循環堆動計畫」，由交通部及內政部提供試辦工程案源，用實廠實鋪的方式，示範應用新的材料檢驗方式，及溫拌橡膠瀝青低碳技術，也實際執行異味檢測，展示低溫拌製技術的異味排除效果，並召開技術研討會、工作坊及觀摩會，輔導及推廣橡膠瀝青低碳鋪築技術；最後則綜合擬訂「橡膠瀝青低碳養路技術指引」，用融合當代先進技術的成效設計鋪面概念為主軸，依序從納入實際成效的力學-經驗法鋪面結構設計(Mechanistic – Empirical Pavement Design Guide, MEPDG)、基於成效指標的材料配比設計(BMD)、到與成效相關的契約規範和品質管理機制，並列出近年來該團隊輔導的成功案例供參，協助國內鋪面工程人員擺脫老舊規範的束縛，積極參照先進技術規範，據以執行高效低碳的道路鋪面養護工作，達成道路養護低碳排的目標。



圖1. 以廢輪胎橡膠推動道路養護資源循環減碳技術研究架構圖[3]

三、 結果與討論

本節依研發創新、化解疑慮、輔導扎根、及成果推廣四小節，說明研究結果與討論。

三.1. 研發創新方面

現行規範以瀝青的「軟硬(25°C針入度或60°C黏度)」分級，與服務成效(高溫抗變形低溫抗開裂)不直接相關，且難納入環保材料；為實做納入橡膠瀝青的瀝青改質規範，本研究突破資源限制委託

美國瀝青科技中心(NCAT)以成效分級(Performance Graded, PG)體系，對國內瀝青材料檢測抗車轍與抗開裂特性，促進選對材料及優化環保材料，概念如圖2所示。

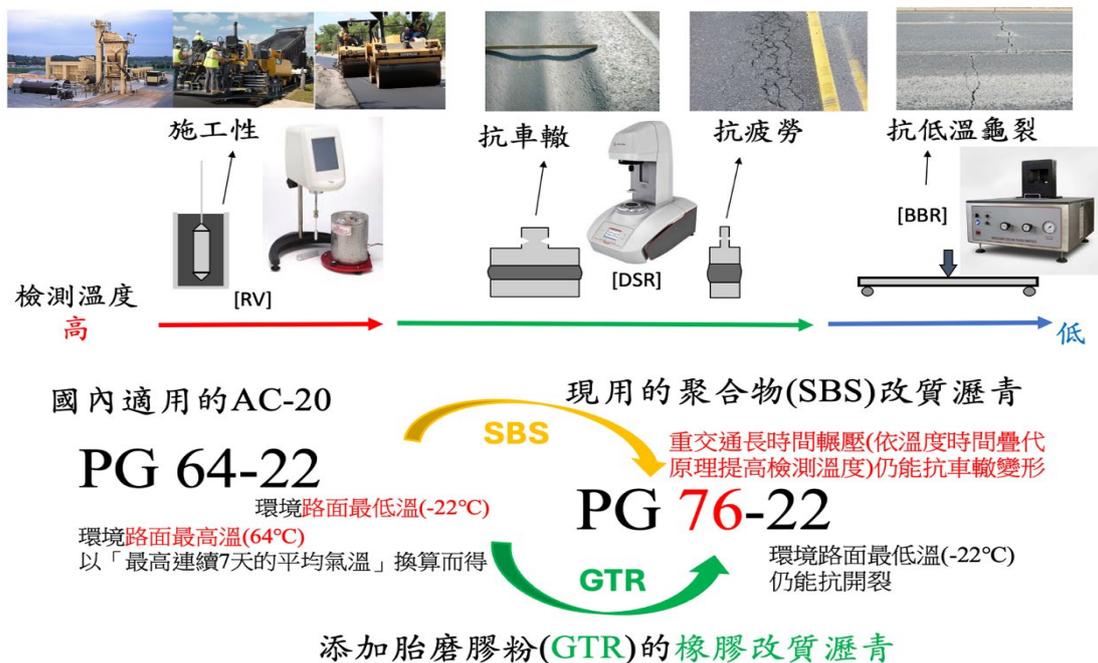


圖2. 瀝青黏結料的成效分級(PG)體系及改質成效概念圖

研究結果顯示以中油 AC-20 (PG64-22)為基油，可以添加10%胎磨膠粉及0.5%硫磺做為交聯劑，拌製成符合佛州 PG76-22ARB 的黏結料，重點觀察的「多重應力潛變回復(Multi-Stress Creep Recovery, MSCR)試驗的抗車轍指標確定可符合規範要求。在實廠生產的「單拌型 RMB(10%GTR+0.5%S)」，與同時期高速公路局三個改質瀝青專案樣品的檢測數據比對如表1所示，在 PG76-22ARB 符合性檢測數據中，原始瀝青在76°C的相位角為77.4，高於實驗室拌製的74.5，且超過75，顯示有彈性分部不足(相位角愈小代表彈性分部愈高)；在剪應力3.2kPa 測得的不可回復潛變順變($J_{nr, 3.2}$)，愈低代表愈能抗車轍變形，在實驗室拌製的試樣測得 0.78kPa^{-1} ，符合要求，而實廠生產的試樣測得 1.58kPa^{-1} ，則超過界值($<1.0\text{kPa}^{-1}$)；而第三項回復率(% $R_{3.2}$)超過界值的狀況，也都指向彈性部份不足造成的潛變順變值過高，及彈性體分子交聯網絡不足，能否以增加膠體磨的剪切作用提昇，又或只能採用混拌型 RMB，都需要更多實做驗證。

經由新北市政府養護工程處的試辦專案，驗證本團隊提出的「單拌型橡膠改質瀝青(中油 AC-20+10%GTR+0.5%S)」可以用既有的改質瀝青設備廠順利生產，並以油罐車運送至遠端熱拌瀝青廠儲油槽中備用，確認已成功將橡膠瀝青「工廠化」；應用既有改質瀝青密級配的配比設計，以「黏結料替代」法，順利拌製用油量為5.0%(對混合料)的「工廠化橡膠瀝青(RMB)密級配瀝青混合料」，以既有的方法，粒料溫度控制在160°C上下，可以順暢地拌製完成，滾壓溫度控制為150°C，一個上午鋪築完成共240公噸橡膠改質密級配瀝青混凝土路面。以在鋪築日熱拌廠取得的 RMB 密級配的壓實曲線判斷在設計圈數不易符合空隙率規定(3%~5%)，可知用黏結料替代法之用水量(5.0%)有偏低不易壓實現象，將施工日取得的試樣再烘軟分樣提高用油量至的「複拌試樣」，則展現正常的壓實曲線；提高油量複拌試樣也將抗車轍指數和抗開裂指數提高，展現橡膠改質的效果。

表1. 本研究四種改質瀝青 FDOT PG76-22符合性檢測數據

試驗	試驗溫度, °C	R	A	B	C	界值
原始瀝青						
閃火點, °F	n.a.	321	335	343	332	>450
旋轉黏度, PaS	135	1.74	2.98	3.21	2.53	<3.0
動態剪流變儀, $G^*/\sin\delta$, kPa	76	1.04	1.77	2.47	1.74	>1.00
動態剪流變儀, 相位角(δ)	76	77.4	62.0	65.2	66.6	<75.0
分離狀況(上下層軟化點差值), °F	n.a.	14	0	+40	0	<15
經滾動薄膜烘箱老化後						
重量損失, %	163	-0.074	+0.018	+0.019	-0.226	<1.00
多重應力潛變回復	67					
$J_{nr, 3.2kPa}$, kPa^{-1}		1.58	0.19	0.23	0.23	<1.0
$J_{nr, diff}$, %		48.1	69.9	58.0	28.4	<75
在3.2kPa的回復率, %		12.1 ^{註2}	80.7	71.9	76.3	註一
再經加壓老化儀老化後						
動態剪流變儀, $G^*\sin\delta$, kPa	26.5	1669	1857	4201	2139	<6,000
撓曲樑流變儀勁度, MPa	-12	121	131	118	146	<300
撓曲樑流變儀m值	-12	0.351	0.354	0.359	0.337	>0.300
撓曲樑流變儀, ΔT_c	n.a.	-0.7	-0.1	-0.8	-1.5	> -5°C

註一： $> 29.371(J_{nr, r})^{-0.2633}$

註二：依註一計算，界值為應大於 26.1%

在利用平價簡單的兩種指數型成效試驗執行平衡式配比設計(BMD)方面，建議選用對組成原料較少限制的 AASHTO PP105 D 法，並且引用超級鋪面法的旋轉壓實曲線顯現的體積特徵來納入傳統配比的設計粒料架構概念，如圖3所示，在實驗室以添加刨除料(Recycled Asphalt Pavement, RAP)的橡膠瀝青越級配為目標，依該流程實做驗證可行；依據該 BMD 配比設計的概念，亦提出新式瀝青混凝土品質檢測法，流程如圖4所示；由鋪築工地取得的試樣，經短期老化後的旋轉壓實曲線迅速判定體積穩定性，並製成標準試體執行抗車轍指數試驗，搭配經長期老化後試樣製成標準試體執行抗開裂試驗，綜合三種數據評定瀝青混凝土品質，將可有效提昇品質管效率。在試辦專案案中充份應用，並且得以設計成效檢驗材料品質，完善品質管檢驗與原材料設計試驗的一致性及其有效性。

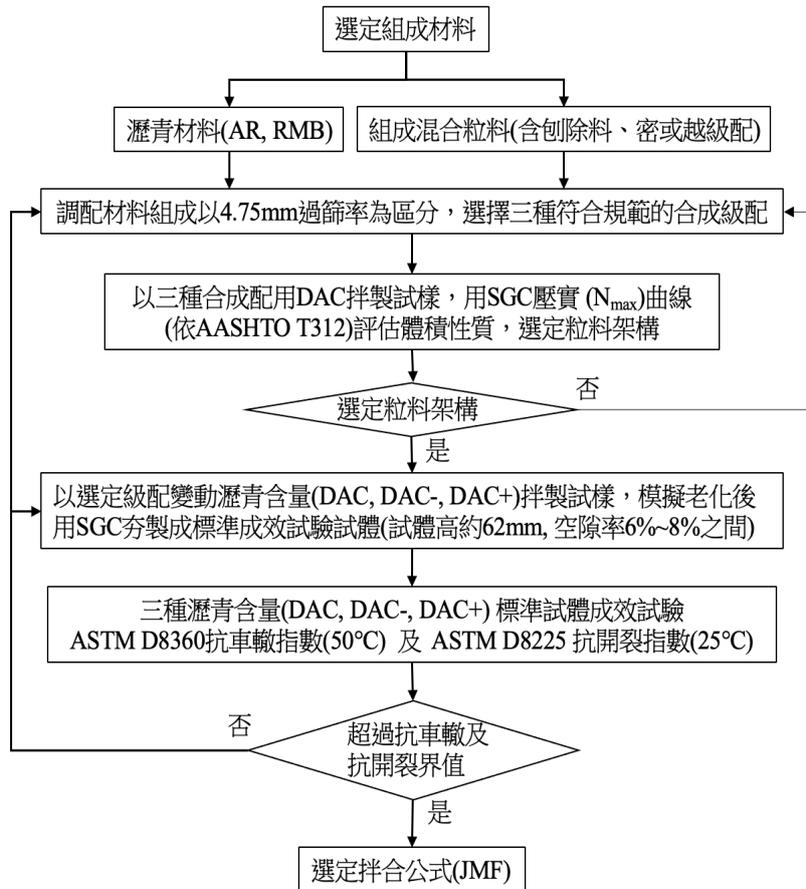


圖3. 瀝青黏結料的成效分級體系及改質成效概念圖

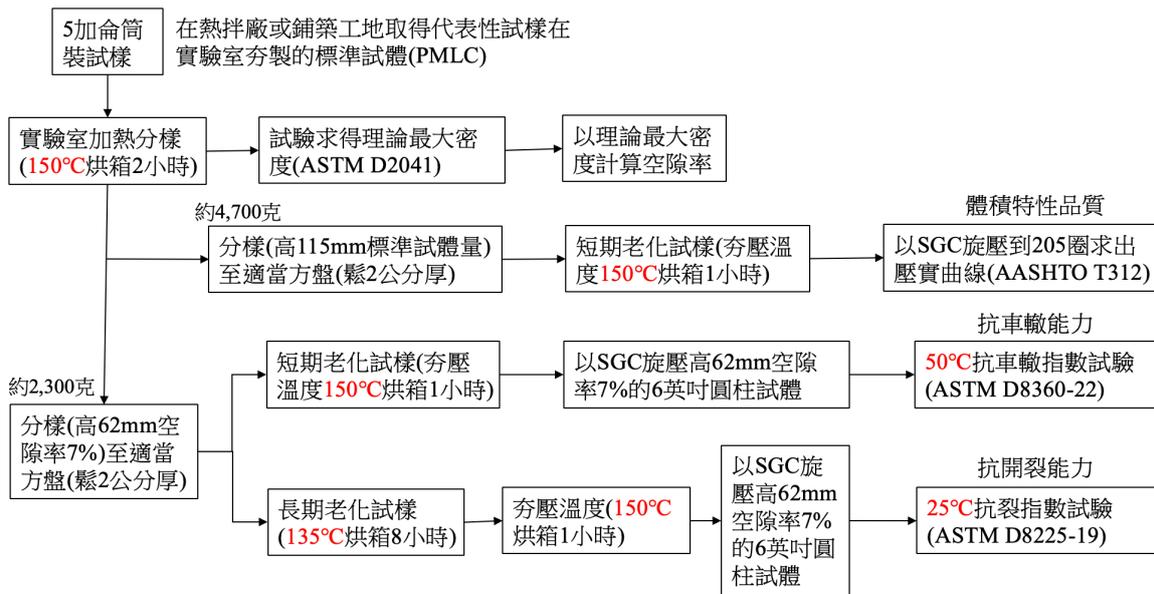


圖4. 瀝青黏結料的成效分級體系及改質成效概念圖

三.2. 化解疑慮方面

實做驗證以機械發泡方式降低異味明顯有效，113年6月在於臺三乙9k~10k 溫拌橡膠瀝青越級配 (Asphalt Rubber Gap Graded, ARGG) 試辦工程，在熱拌廠及鋪築工地取得共5個空氣試樣，異味檢測濃度皆低於一般規定的<10，如圖5所示；114年8月新北大橋換鋪溫拌橡膠瀝青越級配(ARGG)面層，連續施工兩個夜間逐車量測出廠溫度的數據，可知該案 ARGG 的「拌合溫度」在145~150°C之間，比一般橡膠瀝青越級配低10~15°C，比一般改質瀝青密級配低至少20°C；兩試辦案的執行示範已提升國內鋪面工程界引進溫拌技術的信心，根據設備販售商的非正式統計，購置安裝發泡管的熱拌廠已從2廠增至超過7廠，本研究的執行成果已引領低碳溫拌技術在國內落實。



圖5. 臺三乙線9~10k 溫拌橡膠瀝青試鋪段異味檢測空氣採樣及檢測數據

本研究紀錄臺61線 ARGG 面層(超過9年)，刨除運至熱拌廠處理後拌製成冷拌再生瀝青混合料，鋪回桃園航空城新開區的道路基層，如圖6所示；整理近幾年的文獻，美國方面已實證 ARGG 可用回一般瀝青混凝土、學術界寄望用以提高再生瀝青品質、及國內回收瀝青路面刨除料(RAP)問題，共三節說明回收橡膠瀝青刨除料(Recycled Asphalt Rubber Pavement, RARP)等同於聚合物改質瀝青刨除料，在得以分開堆置處理後用回瀝青混合料的情境時，將因添加 RARP 而得到品質稍高的再生瀝青混合料，然，一般實務狀況則沒有必要為了這些微的品質差異，將 RARP 特別分開堆置處理，只要當成一般 RAP 混堆後處理，即可得到品質穩定的回收料。後續則將積極參與國土署「營建事業再生利用之再生資源項目及規範」之修訂建議，避免工程界視 RARP 為有滲出液污染環境顧慮的挖(刨)除料。

台61線33K+150~34K+000橋面南下兩車道(104年鋪橋面段)(新編里程號27K)

台61線27K南下橋面橡膠瀝青越級配(2015年鋪)刨除前,經9年又3個月的車行磨耗,表面露出石粒的包覆瀝青已磨光,石料表面亦有磨光現象,鋪成時的油斑沒有惡化的情形。2024年9月12日夜間刨除。



2024年9月12日約320噸橡膠瀝青刨除料運至拌合廠經軋碎篩分後暫存

2024年9月13日泡沫瀝青冷拌廠拌製成R60



2024年9月13日泡沫瀝青冷拌廠拌製成的R60做為桃園航空城新闢道路的基層



胎磨膠粉只占瀝青混凝土重量比1.2%且為瀝青改質劑,老舊橡膠瀝青混凝土可正常回收再用回路面工程應無疑慮。



圖6. 橡膠瀝青刨除料再利用追蹤案例及可再利用性說明

三.3. 輔導扎根方面

利用委託美國 NCAT 執行瀝青 PG 試驗的機會,本研究邀請 NCAT 主任 Dr. Randy West 來臺交流,並於113年6月20日辦理研討會及論壇,宣傳「輪胎循環高值化、道路養護低碳排」理念,推廣橡膠瀝青低碳道路養護技術,參與該研討會的產、官、學、研人員合計超過百人,Dr. Randy West 也與在本研究團隊的安排下,在交通部公路局及學行單位公開發表三場具提昇國內鋪面工程技術認知的主題的演講;114年5月15日辦理「工廠化橡膠瀝青技術座談會」提報本研究第一年的成果及說明持續進行的專案工作內容,也邀請臺灣營建研究院、交通部公路局北區養護分局、和臺北市政府工務局新建工程處的工程司,分享辦理溫拌橡膠瀝青鋪築案的經驗,當日與會的道路工程機關與技術人員約40名,熱烈討論共同開發低碳高效瀝青路面材料的相關議題。

觀摩溫拌橡膠瀝青養路減碳技術方面則於114年11月13日假交通部公路局工程材料技術所辦理「橡膠瀝青低碳養路技術觀摩會」,邀請交通部公路局、交通部高速公路局、及北部三個直轄市工務局共約30名觀摩員額,深入瞭解探究及實際觀摩本研究提出的瀝青混凝土成效試驗相關新技術。該觀摩會是以本研究完成的「橡膠瀝青低碳養路技術指引」為主要內容,由本研究計畫主持人講授技術內容,涵蓋成效設計鋪面、長壽鋪面概念、高效路面加鋪層、瀝青成效分級、國內改質瀝青的 PG76-22 符合狀況、及橡膠瀝青低碳養路技術指引;實驗室觀摩項目則包括動態剪流變儀(DSR)、旋轉壓實試驗機(SGC)、抗開裂指數(CTindex)試驗、抗車轍指數試驗(RTindex)、瀝青混凝土疲勞試驗及漢堡輪跡試驗設備觀摩說明,藉此提昇國內鋪面工程人員對成效設計鋪面及採用低碳永續創新材料與技術的認知。

本研究亦與財團法人台灣營建研究院,合作整理歐美先進國家針對熱拌瀝青廠提出且有效實施的減碳策略與技術,並擬妥符合 ISO 21930 的「搖籃到大門(A1到 A3)的碳盤查規定,奠定熱拌廠減碳的基礎,於114年4月28日假台中烏日集思會議中心舉辦「熱拌瀝青碳盤查與減碳技術講習」,以本研究提出的「熱拌瀝青混合料 CFP-PCR」輔導熱拌廠進行產品碳足跡盤查;整理探究美國 NAPA 網站公開已發佈的熱拌產品 EPD 資料,可知熱拌廠的不同產品營運碳(A3)相近,原料運輸碳(A2)受料源遠近影響,同地區的不同熱拌廠間差異亦不大,受瀝青混凝土配比影響的原料內含碳(A1)主控不同產品的碳排放量差異,瀝青用量低及添加刨除料(RAP)皆明顯降低內含碳,以胎磨橡膠替代聚合物改質劑,更能大量降低原料內含碳(亞利桑納州某熱拌廠的 EPD 顯示降幅達29%)。

三.4. 擴大鋪路實績方面

本研究執行的二年期間,計有交通部公路局、臺北市政府工務局新建工程處、及新北市政府工務局養護工程處,三個單位搭配試辦鋪築「即拌即用橡膠瀝青越級配(Asphalt Rubber Gap-Graded, ARGG)鋪面」合計7,751公噸,長約24.1車道公里,彙整如表2所示;其中臺三乙線和新北大橋二案採用更環保的溫拌技術,113年6月在於臺三乙9k~10k 溫拌橡膠瀝青試辦工程,實做驗證以機械發泡方式降低異味明顯有效,在熱拌廠及鋪築工地取得共5個空氣試樣,異味檢測濃度皆低於一般規定的

<10(如圖5所示)；114年8月新北大橋換鋪溫拌橡膠瀝青越級配面層，連續施工兩個夜間逐車量測出廠溫度的數據，可知該案 ARGG 的「拌合溫度」在145~150°C之間，比一般橡膠瀝青越級配低10~15°C，比一般改質瀝青密級配低至少20°C；此兩溫拌橡膠瀝青路面試辦案的執行示範，已提升國內鋪面工程界引進溫拌技術的信心，根據設備販售商的非正式統計，購置安裝發泡管的熱拌廠已從2廠增至超過7廠，本研究的執行成果已引領低碳溫拌技術在國內落實。

表2. 本研究二年期間鋪築的橡膠瀝青鋪面彙整表

鋪設時間	鋪設路段	鋪設公里數	膠粉使用量
113年6月	交通部公路局臺三乙線(9k~10k)(省道桃園市大溪至石門水庫路段)	長1km 雙向4車道，含彎道加寬及路肩，厚5cm，合計約6.5車道公里	鋪溫拌橡膠瀝青越級配2,150公噸；使用膠粉約28公噸
113年11月	臺北市工務局新建工程處大安區仁愛路3段(新生南路路口至復興南路路口)	總鋪築面積38,973m ² ，厚5cm，計約13.6車道公里	鋪橡膠瀝青越級配約4,491公噸；使用膠粉約42公噸
114年8月	新北市政府工務局養護工程處新北大橋主橋面6個車道及部份引道	總鋪築面積12,291m ² ，厚4cm，計約4車道公里	鋪溫拌橡膠瀝青越級配約1,110公噸；使用膠粉15公噸
合計		24.1車道公里	7,751公噸(橡膠瀝青越級配)；85公噸膠粉

本研究也以新式成效試驗在實驗室測得的各類瀝青混凝土數據，點繪在「品質判釋圖」上，如圖7所示，圖中點繪二年研究期間，於熱拌廠取樣依標準程序經老化模擬再旋轉成空隙率7%的試體，測得的多種瀝青混凝土的成效試驗數據；由圖可知橡膠瀝青越級配(ARGG)是非常好的抗開裂材料，抗開裂指數大約在200~500的範圍，遠高於美國鋪面工程界建議抗裂需求的臨界值>50，但抗車轍指數則較低，大約在30~60之間，低於一般密級配的65；抗車轍指數是較新的成效試驗，目前美國路面工程界尚未有明確的臨界值提出，少數單位對改質密級配有抗車轍指數需大於75的建議；或許抗車轍指數試驗不適用於評估越級配的抗車轍能力，基於國內外橡膠瀝青越級配用在表面層不但不會有車轍疑慮反而有抗車轍較佳的實務經驗。

依據在實驗室以 BMD 設計含刨除料 ARGG 的成果，可知由於 ARGG 的用量高達8.0%，添加高比例刨除料(RAP)時仍可維持較低的再生瀝青比(Recycled Binder Ratio, RBR)，得以確保黏結料的品質，再加上抗開裂指數偏高的特性，添加 RAP 後雖也呈現抗開裂能力降低及抗車轍能力升高，亦即在品質判釋圖上向左上移動的狀況，似乎可以消除抗車轍能力不足的顧慮。加入 RAP 或許多改質劑都有使瀝青混凝土勁度變大的抗車轍效果，此時則應注意鬆弛特性(Relaxation Properties)不足的問題，沒有足夠的鬆弛性則將出現疲勞開裂或低溫龜裂的問題，抗開裂指數試驗顯然可以用來判斷有否足夠的鬆弛性或柔性，圖7中顯示兩種改質密級配都沒有明顯提高抗開裂能力，橡膠改質密級配的數據較少，圖中的「RMB 密」是用試驗路面廠拌樣品(含油量5.0%)提高油量複拌試樣(5.6%)測得的數據，雖如預期顯示改質的效果，但因試料不足且誤差偏高，仍待後續試驗確認。

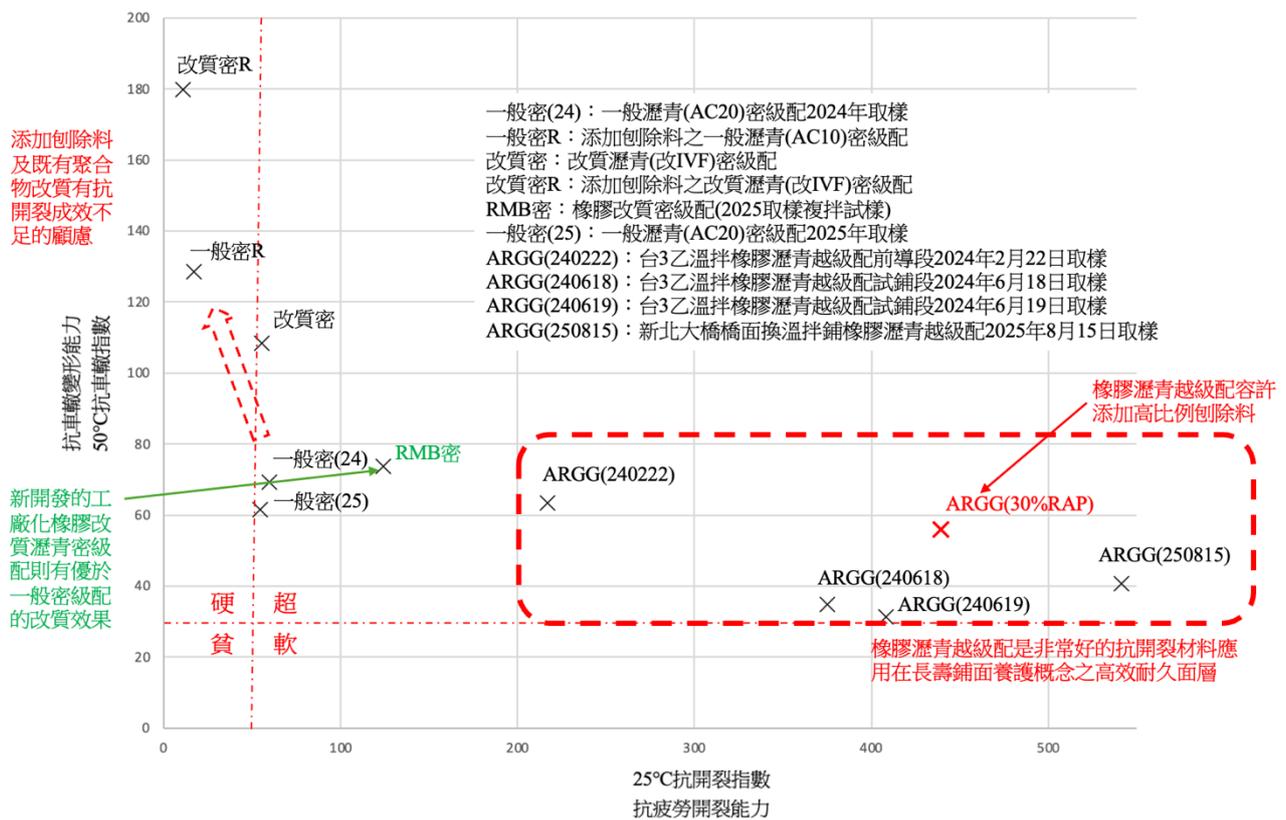


圖7. 本研究測得的各種瀝青混凝土的品質判釋圖

四、結論

本研究之順利完成，提昇國內即拌即用橡膠瀝青技術到與加州同步，引進黏結料成效分級後開發的橡膠改質瀝青密級配，雖已顯現改質效果，但要與慣用的聚合物改質瀝青競爭，則仍需投入更多的製程調配、配比設計、及試鋪實踐工作。國內省道及高快速公路系統瀝青混凝土層都超過20公分，屬於深強瀝青鋪面結構，多年維修時也已針對局部底層破壞採用穩定處理改善，破壞型態逐漸接近美國經驗，以表層的開裂及車轍為主，可以類比長壽鋪面，選用高績效的瀝青混合料做為面層，達成「在少量的表面層維修下可無限期使用的路面」的長壽目標。採用橡膠瀝青，也就是以胎磨膠粉做為瀝青改質劑，不僅提昇鋪面永續、回復力(韌性)、路面養護績效等多項指標，亦為瀝青拌合業淨零轉型的策略重點。橡膠瀝青越級配是高績效的瀝青面層材料，在國內20餘年來累積鋪築數量已超過3萬公噸，高值化應用約8萬條廢輪胎，然，國內鋪面工程技術規範更新緩慢，採用溫拌橡膠瀝青混凝土做為高效低碳鋪路材料，沒有本土規範可依循，必需參照先進國家的技術規範；本研究擬定的「橡膠瀝青低碳養路技術指引」，將可協助國內鋪面工程人員擺脫老舊規範的束縛，積極參照先進技術規範，據以執行高效低碳的道路鋪面養護工作，邁向道路養護低碳排的目標。

參考文獻

- [1] FHWA, Low-Carbon Transportation Materials Grants Program, <https://www.fhwa.dot.gov/lowcarbon/>
- [2] 行政院環保署委託辦理計畫(EPA-107-HA14-03-A204)，廢輪胎橡膠瀝青鋪面推廣應用暨使用成效驗證專案工作計畫，財團法人台灣營建研究院執行，計畫執行期間：民國107年6月至民國109年3月。
- [3] 環境部資源循環署114年度補助資源循環創新及研究發展計畫，計畫編號 RECA-114-021，以廢輪胎橡膠推動道路養護循環減碳技術(第二年)，成果報告定稿，社團法人台灣輪胎循環經濟協進會執行，中華民國114年11月30日。