

溫拌再生瀝青混凝土工作性評估

劉明仁¹ 王啟人² 侯此威² 朱婷姿²

¹淡江大學土木工程學系 教授

²淡江大學土木工程學系 學生

摘要

溫拌瀝青混凝土 (warm mix asphalt, WMA) 之拌合與滾壓溫度介於熱拌瀝青混凝土與冷拌瀝青混凝土之間，力學特性與績效不亞於傳統熱拌瀝青混凝土，具有明顯之經濟效益，路面刨除料 (reclaimed asphalt pavement, RAP) 利用於再生瀝青混凝土，則具有降低成本、減少廢棄物處置之環保優點，兩者皆為有效之節能減碳對策。

傳統熱拌瀝青混凝土在較低溫環境鋪設施工時，常有混合料溫度迅速下降，難以壓實之問題，因而施工季節與運輸距離必須有所限制；再生瀝青混凝土則在刨除料用量較高時，常出現拌合困難之現象；因此探討溫拌添加劑應用於再生瀝青混凝土有其重要性。本研究針對溫拌再生瀝青混凝土，在較高路面刨除料添加量與較低試體滾壓溫度時，評估其工作性表現，以瞭解溫拌添加劑對於再生瀝青混凝土施工作業之影響。

本研究蒐集國內外溫拌瀝青混凝土與再生瀝青混凝土相關文獻，以路面刨除料添加量與試體滾壓溫度為變數，採用車轍輪跡試驗之平版試體滾壓設備，模擬現地瀝青混凝土壓路機械之滾壓過程，評估溫拌再生瀝青混凝土之工作性，以供國內推動溫拌再生瀝青混凝土之參考。

關鍵詞：路面刨除料、溫拌瀝青混凝土、再生瀝青混凝土、工作性

一、前言

全球暖化之危機促使世界各國積極推動各項溫室氣體減量策略，並研究如何有效利用資源、能源，以有效改善瀝青混凝土生產，目前主要對策有三方面：

1. 路面材料再生利用：例如路面刨除料 (reclaimed asphalt pavement, RAP) 回收再利用於瀝青混凝土，具有降低材料、降低廢棄物處置成本、環保等優點。
2. 溫拌瀝青混凝土 (warm mix asphalt, WMA)：溫拌瀝青混凝土可在較低溫度施工，成效不亞於熱拌瀝青混凝土，具有經濟效益。
3. 冷拌瀝青混凝土 (cold mix asphalt)：使用乳化瀝青製造冷拌瀝青混凝土，在環保及節能方面具有功效，惟其成效略差於熱拌瀝青混凝土。

瀝青混凝土滾壓作業之壓實度 (密度) 與其工作性 (workability) 有關，瀝青混凝土之工作性直接影響到路面成效與耐久性，國外研究顯示溫拌瀝青混凝土

可在較低溫度施工，具有節省燃料、減少揮發性氣體釋放、減少瀝青老化、延長施工季節、延長運輸距離、較易壓實、提昇刨除料用量等優點，因此，溫拌瀝青混凝土在較低溫度時之工作性評估，就是一個非常值得探討之重要議題。本研究蒐集國內、外再生瀝青混凝土與溫拌瀝青混凝土之相關文獻、規範，採用溫拌添加劑之溫拌瀝青混凝土技術，針對刨除料與溫拌瀝青混凝土技術之結合，進行溫拌再生瀝青混凝土之工作性試驗研究，以評估驗證溫拌再生瀝青混凝土在較低溫度時之工作性表現。

二、文獻回顧

2.1 溫拌瀝青混凝土技術種類

溫拌瀝青混凝土 1995 年在歐洲開始研發，2000 年後在歐洲受到廣泛應用，2004 年美國聯邦公路總署（Federal Highway Administration, FHWA）與各州公路局積極進行溫拌瀝青混凝土技術之相關研究與試鋪專案，其他國家如中國大陸、南非、澳洲、紐西蘭亦積極推行溫拌瀝青混凝土以節約能源。國內有關溫拌瀝青混凝土之研究尚未多見，因此需要進行相關研究以探討瞭解溫拌瀝青混凝土之特性，供國內鋪面工程界參考，並作為未來現地試鋪評估成效之基礎。

溫拌瀝青混凝土之原理為降低瀝青之黏滯度，使瀝青混凝土容易拌製，進而降低瀝青混凝土之拌合與滾壓溫度。溫拌瀝青混凝土技術一般可分為四類：

1. 泡沫瀝青技術：英國殼牌石油公司與挪威 Kolo-Veidekke 公司研發，將軟瀝青加熱與粒料充分拌合形成軟瀝青混合料，同時將冷水加入加熱後之硬瀝青產生蒸氣形成泡沫瀝青，再將軟瀝青混合料與泡沫瀝青充分拌合。此技術須改裝設備，成本較高。本類型代表性產品包括 WAM-Foam[®]（BP Bitumen）、Advera[®]（PQ Corporation）、Low Energy Asphalt LEA[®]（LEA Co.）、Double Barrel[®] Green（Astec Inc.）等。
2. 礦物添加劑技術：主要採用白色粉末狀人造沸石（zeolite），顆粒內部含有約 21% 之水份，遇熱時水份釋出，在瀝青中迅速膨脹形成泡沫瀝青，工作性增加，使瀝青在較低溫度下更容易裹附粒料。本類型代表性產品為 Aspha-Min[®]（Eurovia Services）。
3. 乳化瀝青技術：主要採用特殊技術製造之乳化瀝青與加熱後之粒料拌合，乳化瀝青之水份釋出形成瀝青混合料，可顯著改善工作性、附著性及包裹粒料之能力。本類型代表性產品為 Evotherm[™]（MeadWestvaco）。
4. 有機物添加劑技術：以 Sasobit[®] 系列產品為代表，Sasobit[®] 係德國 Sasol Wax 公司用 Fischer-Tropsch 方法製造之固體石蠟有機物，加熱超過其凝固點（約 100°C）時，Sasobit[®] 融化與瀝青膠泥混合，進而使其黏滯度降低，可降低瀝青混凝土拌合與滾壓溫度。在常溫時，Sasobit[®] 在瀝青混合料中為固體，可提高穩定度與抵抗車轍之能力。

本研究主要採用有機溫拌添加劑方式進行試驗研究。

2.2 溫拌瀝青混凝土優點

再生瀝青混凝土常面臨之黏滯度控制不易、高溫廢氣排放、刨除料添加比例限制、季節性施工等問題，若考慮溫拌瀝青混凝土之技術，有可能成為解決問題之對策。根據國外相關研究，溫拌瀝青混凝土具有下列主要優點：

1. 節省燃料：溫拌瀝青混凝土之拌合與滾壓溫度較低，節省成本，節能減碳。國外研究一般比熱拌瀝青混凝土節省燃料消耗約 20~30%。
2. 減少揮發性氣體釋放：溫拌瀝青混凝土拌合溫度較低，拌合過程與滾壓過程中有害氣體釋放量大幅減少，減輕對環境污染及施工人員之健康損害。
3. 減少瀝青老化：生產過程之拌合溫度較低，瀝青老化程度大幅降低，進而能提高路面之耐久性，延長路面使用年限。
4. 延長施工季節：溫拌瀝青混凝土可在較低氣溫之環境鋪設及滾壓，可克服因為混合料溫度迅速下降而難以壓實之問題，適合於夜間或冬季施工。
5. 延長運輸距離：工作性維持較久，運輸距離可延長，澳洲添加 Sasobit[®]之溫拌瀝青混凝土，曾有運輸時間長達 9 小時之案例。
6. 較易壓實，性能優良：溫拌瀝青混凝土有較高工作性，滾壓施工較易，施工品質佳。國外文獻及現地試鋪檢驗顯示，溫拌瀝青混凝土各項性能指標均達到規範之要求。
7. 提昇刨除料用量：溫拌添加劑 Sasol Wax 公司宣稱可增加刨除料之取代比例，且更容易施工。德國添加 Sasobit[®]及 Aspha-Min[®]之溫拌瀝青混凝土，曾有刨除料用量高達 90% 之案例。

2.3 瀝青混凝土工作性

瀝青混凝土之工作性 (workability) 是描述瀝青混凝土施工之難易程度，工作性是影響熱拌瀝青混凝土滾壓作業壓實度 (密度) 之最主要因子。Marvillet and Bougault 曾發展出一套儀器用於檢定熱拌瀝青混合料之工作性，亦有借用波特蘭水泥混凝土工作性儀器 (如 two-point workability machine) 來檢定熱拌瀝青混合料之工作性，Gudimettla, Cooley, Jr. and Brown [19] 則研發出另一套儀器用於檢定熱拌瀝青混凝土之工作性 (如圖 2.1 之原型機所示)，惟世界各國對於熱拌瀝青混凝土工作性之量測方法與儀器，目前仍未有普遍之共識。

John Oliver and Allan Alderson [20] 之工作性評估研究中，使用英國石油公司平版試體滾壓機 (BP slab compactor) 製作平版試體，再進行試體空隙率之相關分析，即可判斷瀝青混凝土工作性之高低。本研究則採用可模擬現地瀝青混凝土壓路機械滾壓過程之車轍輪跡試驗平版試體滾壓機製作平版試體，再以試體之空隙率 (air voids content) 變化，來推估不同夯壓溫度下之瀝青混凝土工作性差異程度。

三、試驗材料與流程

3.1 試驗材料

本研究主要試驗材料說明如下：

1. 瀝青膠泥

本研究使用之瀝青膠泥 AC-20 (用於不含刨除料之瀝青混凝土) 取自建中工程股份有限公司之瀝青拌合廠，AC-10 (用於含有刨除料之再生瀝青混凝土) 取自成功瀝青拌合廠。

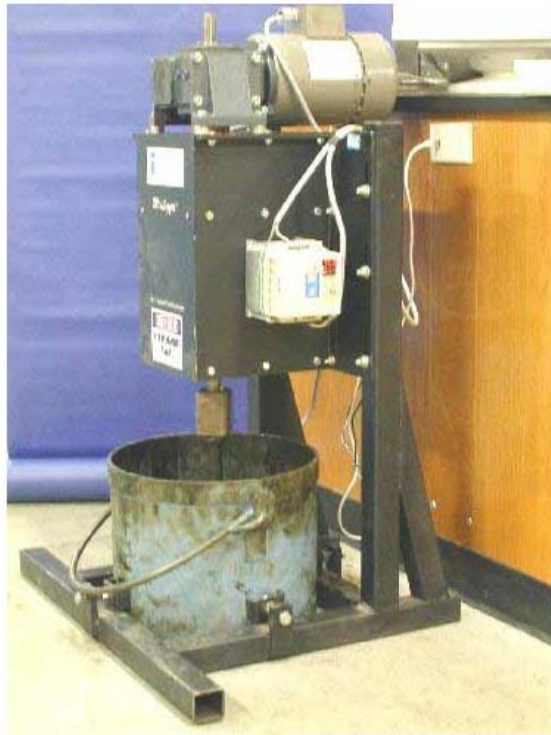


圖 2.1 瀝青混凝土工作性量測之原型機

2. 溫拌添加劑

本研究之溫拌添加劑採用 Sasobit[®]H8、Rediset[™] WMX 等溫拌添加劑，使用劑量係依據廠商建議用量預混加入瀝青膠泥。

Sasobit[®]H8 溫拌瀝青添加劑，依據德國 Sasol Wax 研究報告建議，其添加方式可分為與瀝青膠泥預先拌合及直接於粒料拌合過程中添加等兩種。本研究選擇預先混合方式，將瀝青膠泥高溫加熱至流體狀態，再將 Sasobit[®]加入均勻攪拌混合 30 分鐘。根據 Sasol Wax 報告指出，一旦瀝青膠泥與 Sasobit[®]經過一次均勻混合，可長時間儲存保持均勻。荷蘭 Akzo Nobel 公司則研發可促進瀝青膠泥與粒料間黏著性之溫拌添加劑 Rediset[™] WMX。使用 Rediset[™] WMX 之溫拌瀝青混凝土，除可降低拌合與滾壓溫度之特性外，亦兼具抵抗水分侵害之能力。Akzo Nobel 建議其溫拌添加劑 Rediset[™] WMX 最有效使用方式為瀝青混凝土拌合前，

3. 粒料

本研究使用之粒料取自忠建工業股份有限公司之再生瀝青拌合廠，粒料標稱最大粒徑為 3/4 英寸。

4. 路面刨除料 (reclaimed asphalt pavement, RAP)

本研究使用之路面刨除料取自忠建工業股份有限公司之再生瀝青拌合廠。

3.2 試驗內容

本研究材料試驗分三階段進行，各階段主要內容如下：

1. 瀝青膠泥基本物性試驗：本研究採用 AC-20 瀝青膠泥，分別添加 Sasobit®H8、Rediset™ WMX 溫拌添加劑，預混於瀝青膠泥，檢驗溫拌添加劑對瀝青膠泥物性之影響。
2. 再生瀝青混凝土配比設計：本研究採用 AC-10 瀝青膠泥為再生劑，進行再生瀝青混凝土配比設計，刨除料含量分別為 0%、35%、70%，添加 Sasobit®H8、Rediset™ WMX 溫拌添加劑，採用馬歇爾配比設計法求得最佳瀝青含量。
3. 溫拌再生瀝青混凝土工作性評估試驗：本研究採用車轍輪跡試體滾壓設備製作平版試體，量測理論最大比重 (G_{mm})、容積比重 (G_{mb})，計算平版試體之空隙率，評估溫拌再生瀝青混凝土之工作性。

3.3 溫拌添加劑預混

本研究為使溫拌添加劑與瀝青膠泥能達成足夠之均勻性，預混時，先加熱瀝青膠泥至高溫流體狀態，再加入溫拌添加劑，以 3 葉片之攪拌頭進行攪拌，容器下方安裝加熱溫控裝置，攪拌時間 30 分鐘，以達成混合均勻之目的。

3.4 人工老化模擬回收瀝青

本研究為進行各刨除料取代量之黏結料性質試驗，採用滾動薄膜烘箱之人工老化方法，製作模擬回收自刨除料之老化瀝青膠泥。試驗方法依據 CNS 14250 滾動薄膜烘箱試驗規範，瀝青膠泥加熱倒入玻璃試驗瓶中，再加熱滾動薄膜烘箱至試驗溫度 (145°C)，試驗溫度達到後將試驗瓶放入旋轉試樣架，將空氣吹嘴對準試驗瓶，以 15 ± 0.2 rpm 轉速旋轉試樣架，人工老化時間設定為 927 分鐘，以達到模擬刨除料回收老化瀝青膠泥 (60°C 黏滯度約 22,033 poises) 之效果。

3.5 馬歇爾配合設計試驗

本研究依據各刨除料取代量進行再生瀝青混凝土之馬歇爾配合設計試驗。本研究使用之刨除料已經過打碎處理，配料時並未篩開各粒徑，而係直接依據刨除料取代量取樣使用。因刨除料細顆粒較多，刨除料含量較高之級配，其細顆粒含量亦偏高，易造成空隙率與 VMA 不足，必須進行級配調整，以符合空隙率與 VMA 之規範要求。

3.6 平版試體評估工作性試驗

本研究溫拌再生瀝青混凝土工作性 (workability) 評估，係採用車轍輪跡試驗之平版試體滾壓設備，以模擬現地瀝青混凝土壓路機械之滾壓過程。本研究分

別添加 1.5% Sasobit[®]H8 及 2% Rediset[™] WMX 溫拌添加劑，變化 3 種滾壓溫度 (148°C, 128°C, 108°C)，2 種刨除料取代量 (35%, 70%)，滾壓 50 次，製作溫拌再生瀝青混凝土 30×30×5cm 平版試體，量測瀝青混合料之理論最大比重 (G_{mm})、平版試體之容積比重 (G_{mb})，計算平版試體之空隙率 (air voids content)，以平版試體之空隙率評估溫拌再生瀝青混凝土在不同滾壓溫度下之工作性，主要流程如圖 3.1 所示。

本研究工作性評估主要步驟如下：

1. 平版試體製作

計算製作試體所需之混合料重，粒料與瀝青置於烘箱加熱，變化三種滾壓溫度 (148°C, 128°C, 108°C)，以車轍輪跡試體滾壓機 (如圖 3.2 所示) 製作平版試體。

2. 測定瀝青混合料理論最大比重 (G_{mm}):

$$G_{mm} = \frac{A}{A + B - C} \quad (1)$$

其中 A：試體乾重
B：比重瓶重+滿水重
C：真空抽氣後試體重+水+比重瓶重

3. 測定平版試體容積比重 (G_{mb}):

$$G_{mb} = \frac{A}{B - C} \quad (2)$$

其中 A：試體乾重
B：試體面乾內飽和重
C：試體水中重

4. 計算平版試體空隙率 (air voids content):

$$\text{空隙率} = 100 * \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \% \quad (3)$$

其中 G_{mm} ：瀝青混合料之理論最大比重
 G_{mb} ：平版試體之容積比重

四、試驗結果與分析

4.1 瀝青之溫度與黏滯度試驗結果

瀝青膠泥為一溫感性 (temperature susceptible) 之材料，其黏滯度受溫度影響而變化，製作瀝青混凝土試體時，通常以瀝青之溫度與黏滯度試驗結果來決定其拌合溫度及滾壓 (夯壓) 溫度。美國瀝青學會建議瀝青混凝土之最佳拌合溫度及滾壓 (夯壓) 溫度，分別為黏滯度 170±20cSt 及 280±30cSt 對應之溫度。本研究為探討刨除料含量對溫拌添加劑之影響，採用人工老化瀝青，變化 0%、35% 與 70% 之刨除料含量，並且分別添加 1.5% Sasobit[®]H8、2% Rediset[™] WMX 溫拌添加劑，檢測其溫度與黏滯度變化，同時決定溫拌再生瀝青混凝土拌合溫度與滾

壓溫度，試驗結果如圖 4.1 所示。由圖 4.1 中可看出，Sasobit®H8、Rediset™ WMX 溫拌添加劑在較低溫時（約 60°C）大致上皆使瀝青膠泥之黏滯度增加。Sasobit®H8、Rediset™ WMX 等溫拌添加劑則在高溫時使瀝青膠泥之黏滯度降低，增加瀝青膠泥流動性，因此可以降低瀝青混凝土之拌合溫度與滾壓溫度。拌合與滾壓溫度降低之效果 Rediset™ WMX 比 Sasobit®H8 略好。由圖中亦可看出，不含溫拌添加劑時，刨除料添加量越多，黏滯度越高。含刨除料之瀝青膠泥分別添加 1.5% Sasobit®H8、2% Rediset™ WMX 溫拌添加劑後，皆有降低高溫黏滯度之效果，且 Rediset™ WMX 之效果比 Sasobit®H8 略好。

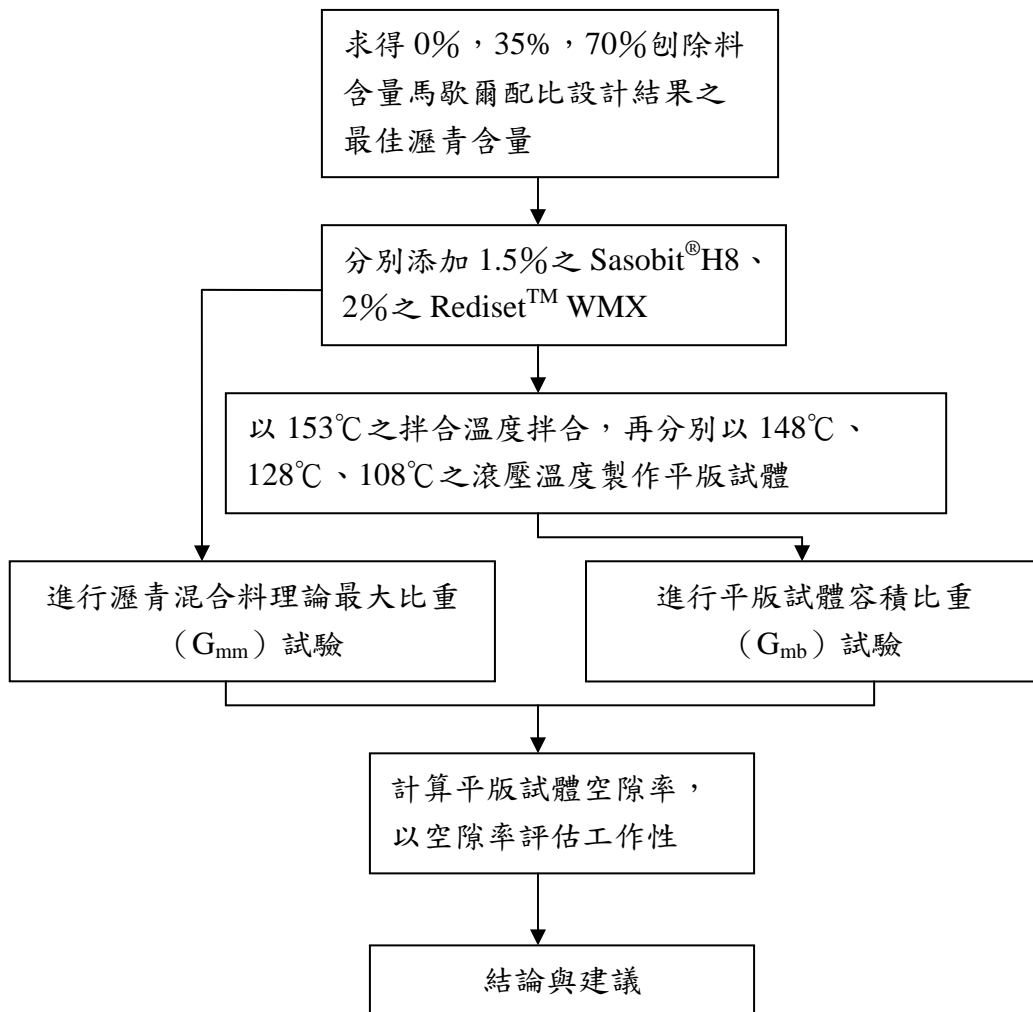


圖 3.1 平版試體工作性評估試驗流程



圖 3.2 車轍輪跡試體滾壓機

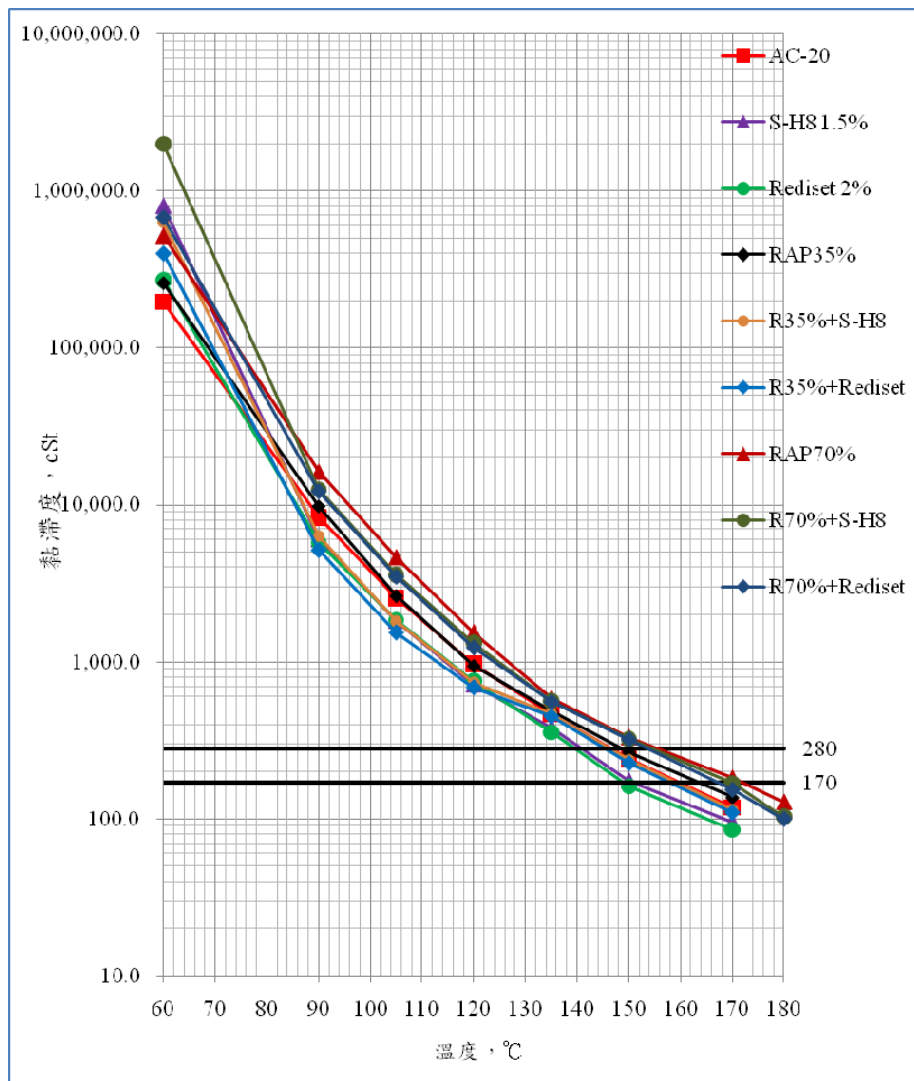


圖 4.1 本研究含溫拌劑與刨除料之瀝青膠泥試驗結果

4.2 馬歇爾配合設計試驗結果

本研究再生瀝青混凝土依據馬歇爾配合設計法，試驗結果歸納如表 4.1。

表 4.1 馬歇爾配合設計試驗結果

刨除料含量	0%	35%	70%
最佳瀝青含量 (%)	5.0	4.8	4.7
單位重 (kg/m ³)	2380	2383	2397
穩定值 (kgf)	1438	1940	1966
流度值 (0.1mm)	3.5	3.2	2.6
空隙率 (%)	4	4	3.6
VMA (%)	13.8	13.4	13.3

4.3 平版試體評估工作性試驗結果

本研究為評估溫拌再生瀝青混凝土在較低滾壓溫度下是否能維持足夠之工作性 (workability)，採用車轍輪跡試驗之平版試體滾壓設備，以模擬現地瀝青混凝土壓路機械之滾壓過程。本研究分別添加 1.5% Sasobit[®]H8 及 2% Rediset[™] WMX 溫拌添加劑，變化 3 種滾壓溫度 (148°C, 128°C, 108°C)，3 種刨除料取代量 (0%, 35%, 70%)，其中 148°C 為利用 AC-20 瀝青黏結料試驗得到 280±30 cSt 對應之滾壓溫度，再依此滾壓溫度降低 20°C 與 40°C，共計 3 種滾壓溫度。溫拌再生瀝青混凝土平版試體尺寸為 30×30×5cm，各滾壓 50 次製作完成後，再進行量測其理論最大比重 (G_{mm}) 與容積比重 (G_{mb})，計算各試體之空隙率 (air voids content)。平版試體之空隙率變化，可用於評估各種溫拌再生瀝青混凝土在較低滾壓溫度下之工作性。平版試體之空隙率試驗結果如圖 4.2、圖 4.3、圖 4.4 所示，3 個圖則分別展示刨除料含量為 0%、35%、70% 之試體空隙率變化。各圖中試體編號之 T148、T128、T108 為試體滾壓溫度。

由各圖中可看出滾壓溫度愈低，瀝青混凝土材料之工作性愈差，平版試體之空隙率也愈高。刨除料含量愈高，試體之空隙率也愈高。其中刨除料含量 70% 之試體 (詳圖 4.4)，其控制組 (即不含溫拌添加劑者) 試體之空隙率最高，3 個滾壓溫度之空隙率分別為 8.8%、9.3%、9.2%。依據國內一般密級配瀝青混凝土鋪面施工壓實度要求以實驗室馬歇爾試體密度平均值 95% 以上為例，瀝青混凝土新工完成滾壓之空隙率約須在 $100 - 95 \times 96\% = 8.8\%$ 以下 (由公式 3)，顯示刨除料含量高之瀝青混凝土確實不易滾壓，惟圖 4.4 中添加 Sasobit[®]H8 及 Rediset[™] WMX 溫拌添加劑之試體，其空隙率在較低滾壓溫度 (128°C, 108°C) 時，卻仍然可達到約 7.1%~7.3% 之水準，顯示添加溫拌添加劑之再生瀝青混凝土，在較低滾壓溫度與高刨除料含量時，有能力改善再生瀝青混凝土之工作性。

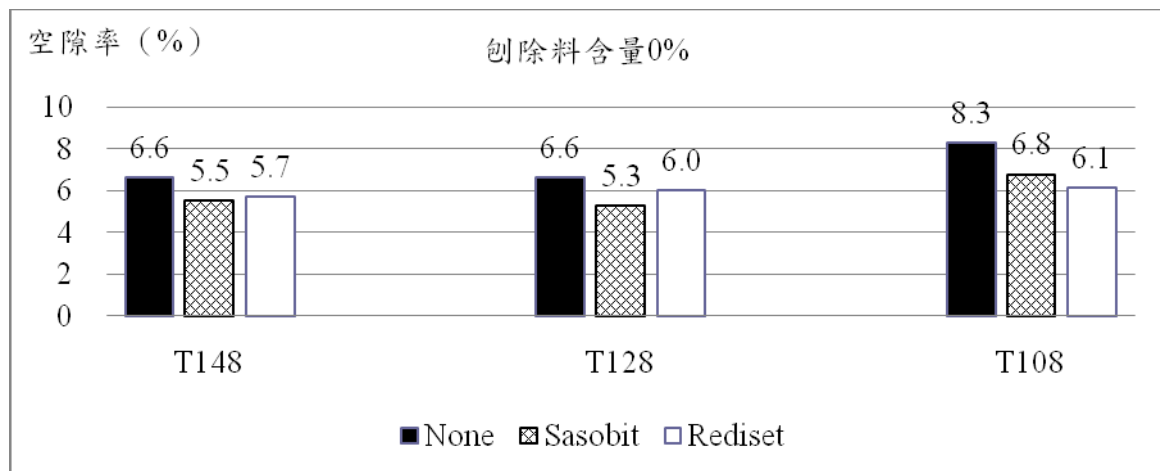


圖 4.2 溫拌再生瀝青混凝土滾壓溫度與空際率關係 (刨除料 0%)

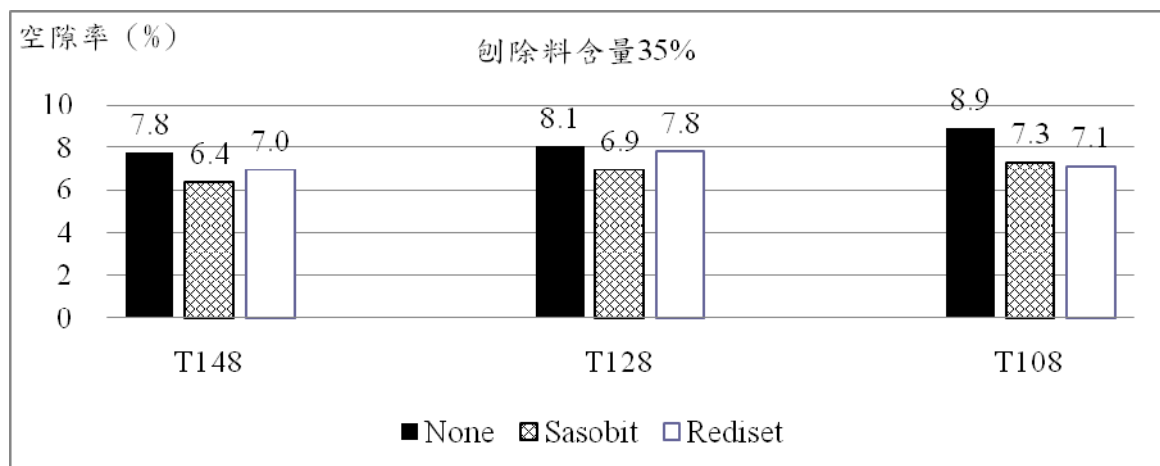


圖 4.3 溫拌再生瀝青混凝土滾壓溫度與空際率關係 (刨除料 35%)

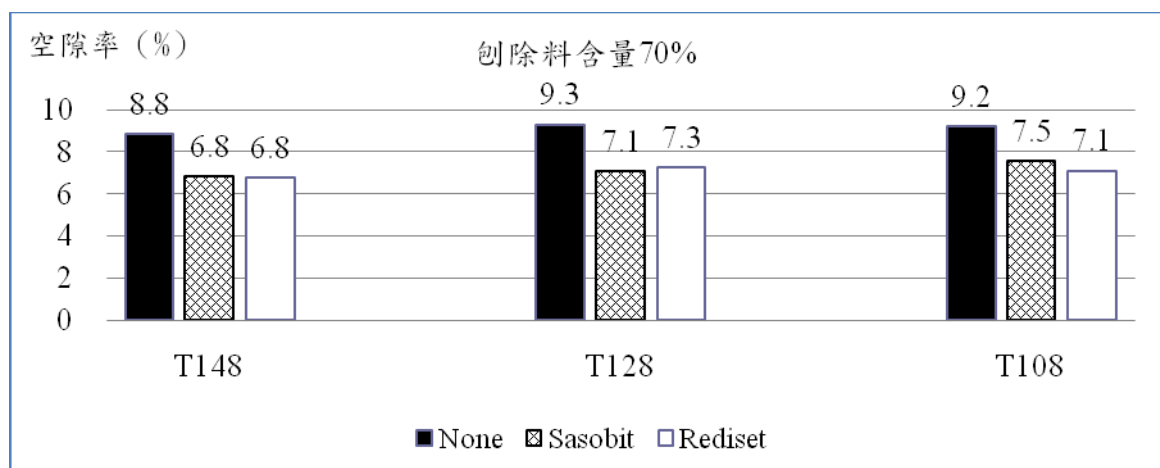


圖 4.4 溫拌再生瀝青混凝土滾壓溫度與空際率關係 (刨除料 70%)

五、結論與建議

1. 本研究瀝青黏結料之溫度與黏滯度試驗結果發現，刨除料含量越多，黏滯度越高。2 種溫拌添加劑皆顯示可使高溫時黏結料之黏滯度降低，增加流動性，達到溫拌之目的。根據本研究試驗數據，2% RedisetTM WMX 之效果比 1.5% Sasobit[®] H8 略好。
2. 本研究平版試體之工作性評估試驗結果顯示，滾壓溫度愈低，刨除料含量愈高，瀝青混凝土材料之工作性愈差，試體之空隙率也愈高。刨除料含量 70% 添加 1.5% Sasobit[®] H8 或 2% RedisetTM WMX 溫拌添加劑之試體，其空隙率在較低滾壓溫度時仍可達到 7.3%，顯示溫拌添加劑有能力改善高刨除料含量再生瀝青混凝土之工作性。
3. 建議未來可研發評估量測瀝青混凝土工作性之儀器，以便評估各種瀝青混凝土（如溫拌、改質）之工作性表現。
4. 建議未來可選定適當溫拌瀝青混凝土技術，進行拌合廠生產、現地試鋪、路面績效觀測，以實際驗證溫拌再生瀝青混凝土之工作性。

六、誌謝

本文為社團法人中華鋪面工程學會研究計畫之部份成果，研究過程中受到眾多學者與先進之指導與協助，以及台灣區瀝青工業同業公會之研究經費資助，在此一併深切誌謝。

七、參考文獻

- [1] 林志棟、唐綺玟、陳建達、岳巧瑯，「瀝青混凝土挖（刨）除料之再利用評估與管理機制」，第七屆鋪面材料再生學術研討會論文集（2006）。
- [2] 許阿明、邱垂德、呂理成，「國內熱拌再生瀝青混凝土的品質狀況分析」，第七屆鋪面材料再生學術研討會論文集（2002）。
- [3] 林志憲、陳偉全，「瀝青混凝土刨除料（RAP）使用評估」，第二屆資源工程研討會論文集（2005）。
- [4] 游輝榮，「溫拌瀝青混凝土工程性質之研究」，碩士論文，淡江大學土木工程學系（2008）。
- [5] 蕭新祿，「再生瀝青混凝土馬歇爾配合設計及量測不確定度評估之研討」，碩士論文，逢甲大學土木工程學系（2004）。
- [6] 周宗裕，「熱拌再生瀝青混凝土生產及品質分析之研究」，碩士論文，中華大學土木工程學系（1997）。
- [7] 張學鴻，「再生瀝青混凝土之性質評估」，碩士論文，國立成功大學土木工程學系（2005）。
- [8] 林東慶，「依據瀝青性質評估再生瀝青混凝土添加比例」，碩士論文，國立成功大學土木工程學系（2004）。
- [9] 林晉哲，「添加不同再生料含量對瀝青混凝土之影響」，碩士論文，國立成功大學土木工程學系（2004）。

- [10] 陳志一、孫見林、龐力果、郝培文，「不同添加劑對溫拌瀝青混合料路用性能的影響」，中外公路，第 27 卷第 6 期 (2007)。
- [11] 李德超，「兩種溫拌混合料添加劑性能室內試驗比較」，石油瀝青，第 22 卷第 2 期 (2008)。
- [12] Brad Putman, “Warm Mix Asphalt,” SCDOT Highway Conference. (2009)
- [13] Hurley, G. C. and B. D. Prowell, “Evaluation of Sasobit[®] for Use in Warm Mix Asphalt,” NCAT Report05-06. (2005)
- [14] Julie Elizabeth Penny, “An Evaluation of Heated Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Material and Wax Modified Asphalt for Use in Recycled Hot Mix Asphalt (HMA),” Worcester Polytechnic Institute. (2006)
- [15] Louay Mohammad, Shadi Saadeh, and Samuel Cooper, “Evaluation of Asphalt Mixtures Containing Sasobit[®] Warm Mix Additive,” ASCE Proceedings of GeoCongress 2008. (2008)
- [16] Michael Anderson, “Engineering Properties, Emissions, and Field Performance of Warm Mix Asphalt Technologies,” NCHRP 9-47. (2008)
- [17] Rajib B. Mallick, Prithvi S. Kandhal, and Richard L. Bradbury, “Using Warm Mix Asphalt Technology to Incorporate High Percentage of Reclaimed Asphalt Pavement Material in Asphalt Mixtures,” Journal of the Transportation Research Board, No. 2051. (2008)
- [18] Yusuf Mehta, “Reclaimed Asphalt Pavement in Hot Mix Asphalt,” NJDOT Bureau of Research. (2009)
- [19] Jagan M. Gudimettla, L. Allen Cooley, Jr., and E. Ray Brown, “Workability of Hot Mix Asphalt,” NCAT Report 03-03. (2003)
- [20] John Oliver and Allan Alderson, “Development of an Asphalt Workability Index: Pilot Study,” Austroads, technical report, No. AP-T59. (2006)