

## 國道輪胎/路面噪音之量測與減噪

### Field Testing and Noise Reduction of Tire/Road Noise on Highways

徐茂濱<sup>1</sup>、簡偉弘<sup>2</sup>、高偉傑<sup>2</sup>、方明峻<sup>2</sup>

#### 摘 要

當車輛在國道高速公路作等速行駛時，影響社區安寧之主要噪音來源實為輪胎路面噪音。本研究之主要探討方向集中在單一車輛之輪胎噪音，採用隨車聲強法及路邊聲壓法來量測輪胎路面噪音，聲強法係屬國內首見，此方法使用特殊之聲強探棒貼近於輪胎作量測，除可直接測得輪胎路面之噪音，並可摒除其他背景噪音之影響。

研究結果顯示，在已量測之路面中，最安靜之柔性路面為開放級配路面，而 SMA 路面為最嘈雜之柔性路面，兩者間聲強之差值達到 4.8 dB(A)，剛性路面則都較柔性路面嘈雜。在不同種類輪胎(一般轎車胎)之間會有 1.1 dB(A)至 2.3 dB(A)之差異；且使用一般越野胎之休旅車的路邊聲壓值較米其林輪胎高出 4.1dB(A)，顯見越野胎較一般轎車胎嘈雜許多。另外輕型車車速每降低 10 km/h 時聲壓約減少 2 dB(A)。從國道高速公路之減噪對策來看，在對噪音特別敏感之路段，若車速降低 20 km/h(譬如從 110 km/h 降低至 90 km/h)，再配合安靜之輪胎與低噪音之柔性路面，估計行車噪音約可降低 6~10 dB(A)。

#### 前 言

近年來國內經濟蓬勃發展都市人口驟增，導致交通運輸工具等流動噪音源，對環境之影響層面最廣且最為明顯。在都會區的環境噪音中約有 70 %來自於行車噪音，行車噪音包括「車輛動力噪音」及「輪胎路面噪音(tire/road noise)」兩部份。其中「車輛動力噪音」係指車輛動力系統或引擎所外傳之噪音，「輪胎路面噪音」係指輪胎與路面之接觸噪音，近年來國外研究輪胎路面噪音結果顯示，小客車行車速度高於 50 km/h，重型車輛行車速度大於 80 km/h 時，輪胎路面噪音是行車噪音之主要來源，亦即當車輛在國道或快速道路上高速行駛時，其噪音主要來源為輪胎路面噪音。

本研究主要針對已完成探勘之路段進行現地噪音之實車量測，並作分析與討論，以瞭解目前國道各種路面之噪音現況及其產生噪音量之排序，且針對影響噪音量之不同因素(輪胎、路面、車速與護欄)作探討。另外，由滑行通過法量測單一車輛之路邊聲壓與隨車聲強法量得之聲強作

<sup>1</sup> 國立臺灣科技大學 機械工程研究所 副教授

<sup>2</sup> 國立臺灣科技大學 機械工程研究所 碩士研究生

比較，找出兩者之相對應關係。

### 現地噪音量測計劃

一般在路邊所量測到之車輛噪音其實還包含了輪胎噪音以外之聲源(引擎、變速箱、進排氣、風切)。另外，高速公路路旁所量測到的行車噪音包含不同車種與車速等變數，無法僅只依據此一種單一量測分離各因素對於整體車流噪音之影響。本研究之主要探討方向僅集中在單一車輛之輪胎噪音，因為唯有真正瞭解單一車輛之輪胎噪音在整體噪音中所佔之比例後，才能在後續模擬多車輛之車流噪音，以便為降低高速公路行車噪音找出適切之對策。

現地量測輪胎路面噪音之方法，可分為滑行通過法及鄰近聲源量測法等，其中鄰近聲源量測法又可分為蓬罩式無動力拖車聲壓量測法與隨車聲強量測法。使用蓬罩式無動力拖車進行輪胎路面噪音之聲壓量測時，其優點為較不受風速、週遭車輛及其它噪音源之影響，且量測之有效頻寬較寬(100~8000 Hz)，但除因蓬罩拖車須特製外，同時須架設多支麥克風進行量測，此時須擴充頻譜分析儀之頻道數，因此儀器與設備之成本較高。對聲強法而言，於麥克風前端加裝錐形導風罩，可降低風切噪音之影響，且麥克風貼近於輪胎，可直接測得輪胎路面之噪音，量測頻寬雖稍窄(500~5000 Hz)，但卻足以提供實際所需之資訊。故本研究係以滑行通過法與聲強法等兩種方法分別量測在不同車速、不同路面及使用不同輪胎情況下所產生之噪音。

### 滑行通過法與聲強法之關係

選取胎印前端及胎印後端所量得聲強之平均值，與滑行通過法所量測到之路邊聲壓做比較，南二高林邊開放級配路面所量得之結果，如圖 1 與圖 2 所示；而南二

高林邊高架橋下密級配路面量測結果，如圖 3 至圖 4 所示。

將不同車速下所量得之聲強值減去滑行通過法所測得之聲壓值，如圖 5 與圖 6 所示，可看出在開放級配路面上使用米其林輪胎(車速從 70km/h 至 100km/h)，所量得之聲強比聲壓高出 26.8 dB(A)~28.9 dB(A)，而使用登祿普輪胎聲強比聲壓高出 24.4 dB(A)~27.8 dB(A)；在密級配路面上使用米其林輪胎(車速從 70km/h 至 90km/h)，所量得之聲強比聲壓高出 25.9 dB(A)~26.9 dB(A)，而使用登祿普輪胎聲強比聲壓高出 25.3 dB(A)~26.5 dB(A)。再將此二路段在不同車速下之聲強與路邊聲壓量測值做一整理，如圖 7 所示，二者間有一線性關係，因此往後對於同種性質之路面，只須使用同一種車型與輪胎，量得其聲強值即可預測在任一車速下之路邊聲壓值。假設在某一開放級配路面上使用米其林輪胎，聲強量測值為 100dB(A)，即可預測出路邊聲壓值約為 72.2 dB(A)。

另外由圖 8 與圖 9 可看出在南二高林邊段開放級配與密級配路面上，路邊量測法所測得之聲壓頻譜，從聲壓頻譜圖(SPL)中大致能夠反應出實際所測得聲強值(SI)之趨勢，但圖上還是可看出部份趨勢不一致，可能是受到風切噪音(風速、風向)或是車體結構噪音之影響，以至於部分趨勢不一致。

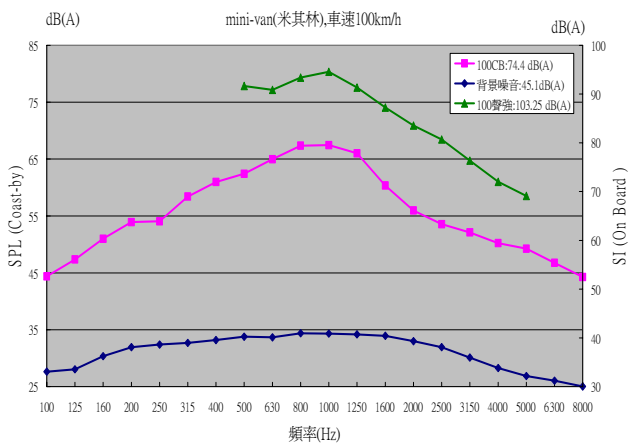


圖 1 屏東開放級配路面之二種噪音頻譜 (米其林)-車速-100km/h

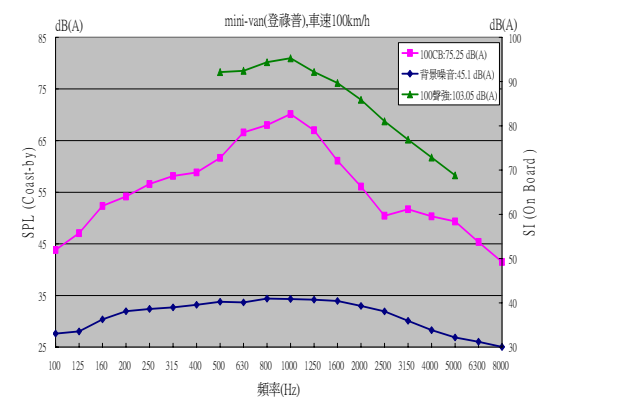


圖 2 屏東開放級配路面之二種噪音頻譜 (登祿普)-車速 10

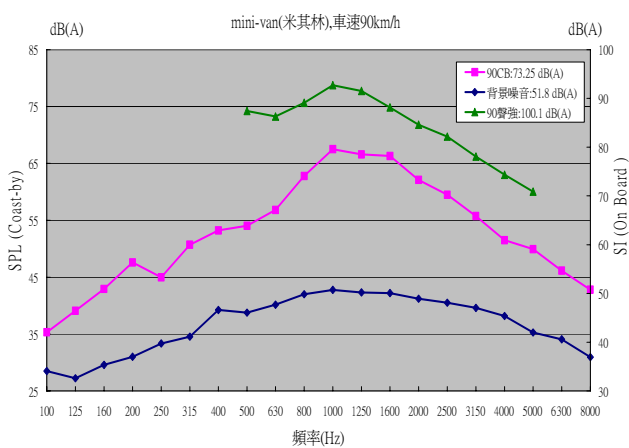


圖 3 屏東密級配路面之二種噪音頻譜 (米其林)-車速 90km/h

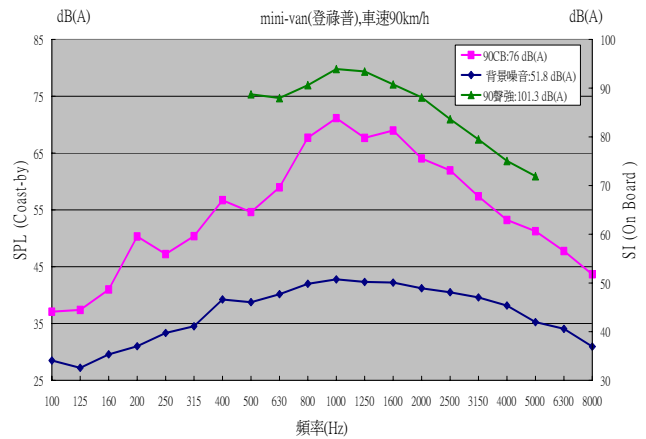


圖 4 屏東密級配路面之二種噪音頻譜 (登祿普)-車速 90km/h

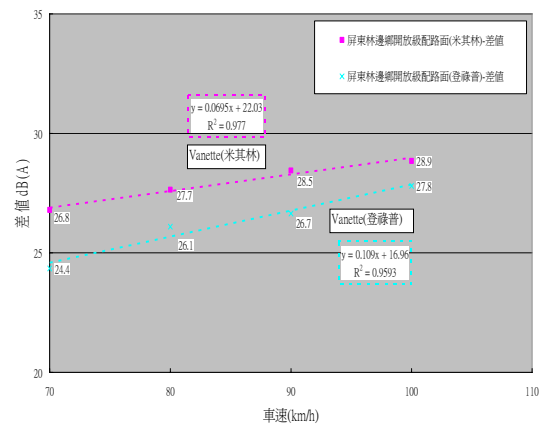


圖 5 南二高林邊段開放級配路面聲強與路邊聲壓之差距

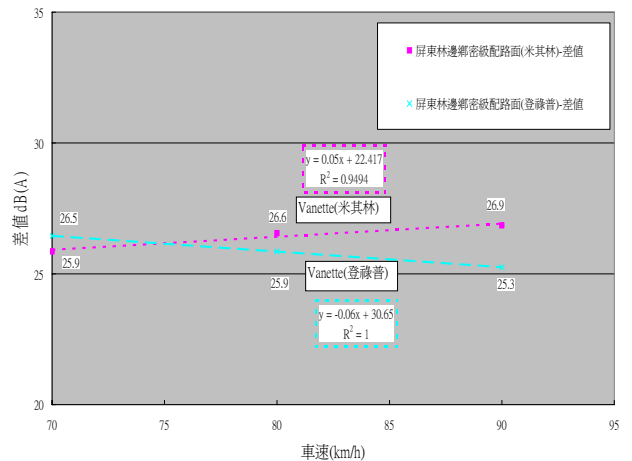


圖 6 南二高林邊段密級配路面聲強與路邊聲壓之差距

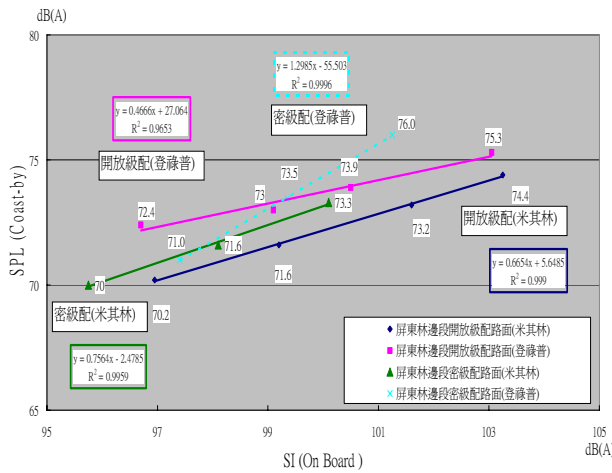


圖 7 聲強法與滑行通過法之比較(柔性路面)

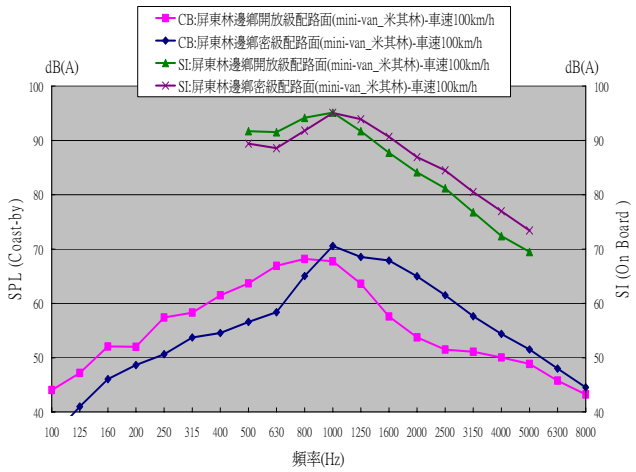


圖 8 不同路面(開放級配與密級配)之聲強與聲壓頻譜圖(廂型車&米其林輪胎)

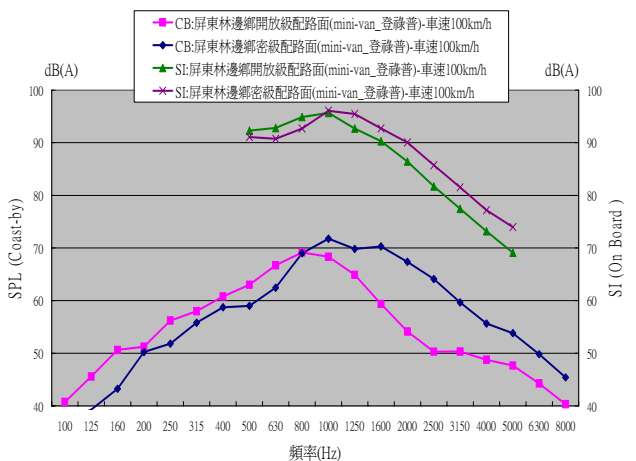


圖 9 不同路面(開放級配與密級配)之聲強與聲壓頻譜圖(廂型車&登祿普輪胎)

### 路邊護欄之影響

南二高屏東林邊之開放級配路面為高架路段，路旁與中央均有護欄，因此只能使用其終點長僅 150m 之無護欄剛性路面，作為探討有無護欄對滑行通過法所測得之聲壓的影響。然因受限於可供量測之路面長度嚴重不足，車速在無護欄之路段最高也只能到達 80km/h。量測之聲壓頻譜圖如圖 10 與圖 11 所示，由圖中可看出有護欄之路段由於受到中央分隔島與路旁護欄反射之影響，所量得之聲壓都會比無護欄之聲壓為高。在車速為 70km/h 時有護欄之聲壓會比無護欄之聲壓高出 1.2 dB(A)；車速為 80km/h 時有護欄之聲壓會比無護欄之聲壓高出 1.9 dB(A)。將所量得之聲壓值經由線性迴歸處理，如圖 12 所示，可知在該剛性路面上有無護欄對路邊聲壓之影響約為 1.6 dB(A)，因此可以據此修正後續在有護欄路段所量得之路邊聲壓值。

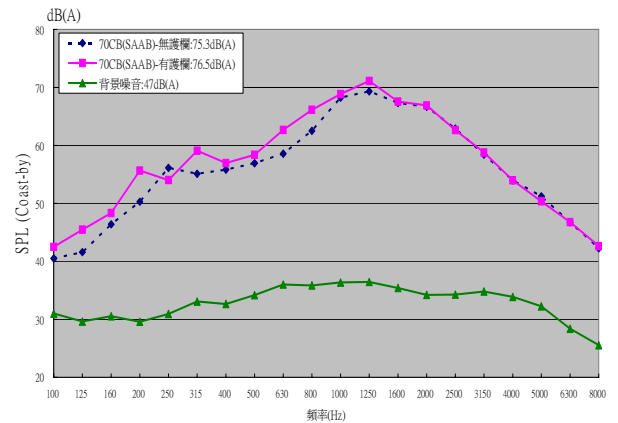


圖 10 林邊剛性路面有無護欄時之路邊聲壓頻譜(車速 70km/h)

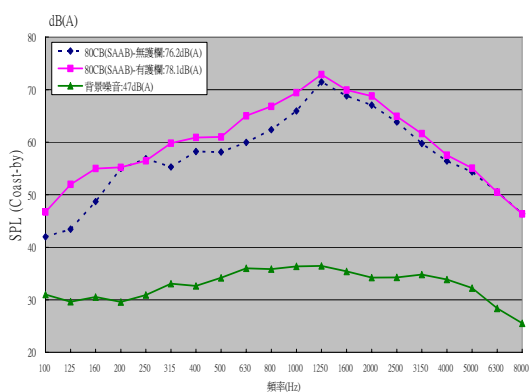


圖 11 林邊剛性路面有無護欄時之路邊聲壓頻譜(車速 80km/h)

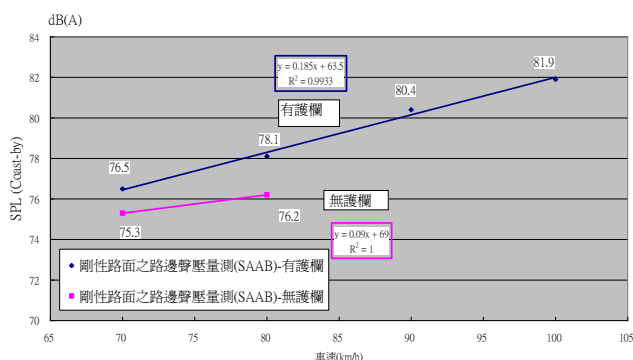


圖 12 有無護欄對路邊聲壓之影響

### 不同輪胎之影響

透過量得之聲強來探討不同輪胎對噪音之影響。本研究所使用之輪胎有三種，分別為登祿普LE MANS LM702-195/65R14、米其林Energy XM1-195/65R14及固特異Eagle F1-205/55ZR16 跑胎。在七堵收費站之橫向齒耙溝槽紋理剛性路面作量測，將量測結果彙整成圖 13，可看出在七堵收費站剛性路面上，登祿普輪胎之聲強比米其林輪胎高出約 2.1 dB(A)(90 km/h時)；在南二高屏東林邊之密級配瀝青混凝土路面上，登祿普輪胎在 90 km/h時之聲強比米其林輪胎高出約 1.1 dB(A)(圖 14)；而在關西SMA路面上比較米其林與固特異輪胎之差異，可知在 90 km/h時固特異輪胎之聲強比米其林輪胎高出約 1.6 dB(A)(圖 15)；另外在南二高屏東林邊之開放級配瀝青混凝土路面

上，同時比較登祿普、米其林與固特異三種輪胎之差異，可知在 100 km/h時固特異輪胎最嘈雜，較米其林高出約 0.6 dB(A)，較登祿普輪胎高出約 1.2 dB(A)(圖 16)，但是此次量測結果米其林較登祿普高出 0.6 dB(A)，與先前之結果不符，導致此原因是量測當日上午先行量測登祿普輪胎，此時風向與風速穩定，於下午量測米其林輪胎時天候不穩，風速極大，量測車行方向呈逆風狀態，於高速行駛時 100 km/h風切噪音更劇，因此造成此種與預期不符之結果，但為驗證風切噪音影響程度，於是使用車速 100 km/h反方向(順風)作量測(如圖 17 所示)，發現差異值達到 1.7 dB(A)，因此可斷定風切噪音之影響程度極大，若將此差值補上，就可明顯看出與預期之結果相符，固特異與登祿普輪胎分別較米其林輪胎高出 2.3 dB(A)及 1.1 dB(A)。

另外使用路邊量測法探討三種車型 (Tribute、SE900、VANETTE) 於開放級配與密級配路面之輪胎路面噪音，由圖 18 與圖 19 可看出，Tribute 車型在開放級配與密級配路面上之聲壓為 76.6 dB(A)、77.3 dB(A)，而 VANETTE (米其林) 在開放級配與密級配路面上之聲壓為 72.5 dB(A)、72.3 dB(A)，開放級配上兩種車型之差值為 4.1 dB(A)，而密級配路面上兩種車型之差值為 5.0 dB(A)，因 Tribute 使用的是越野胎，而 VANETTE(米其林輪胎)是一般轎車胎，從其差值我們看出使用越野胎較一般轎車胎許多，因此在高速公路上選用較安靜的輪胎規格，能夠有效降低高速公路上之行車總聲壓值。

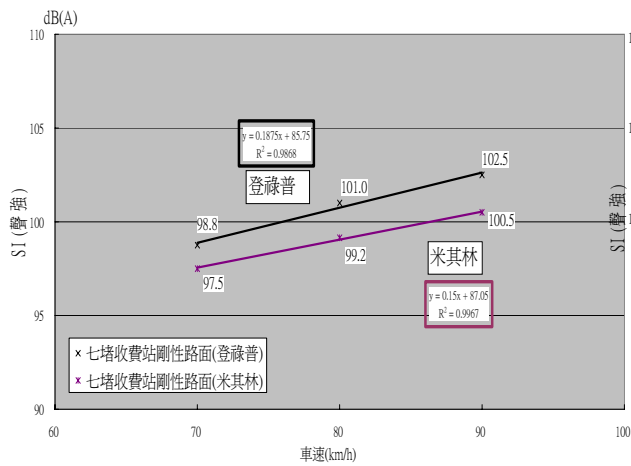


圖 13 不同輪胎(登祿普與米其林)之聲強 (七堵收費站)

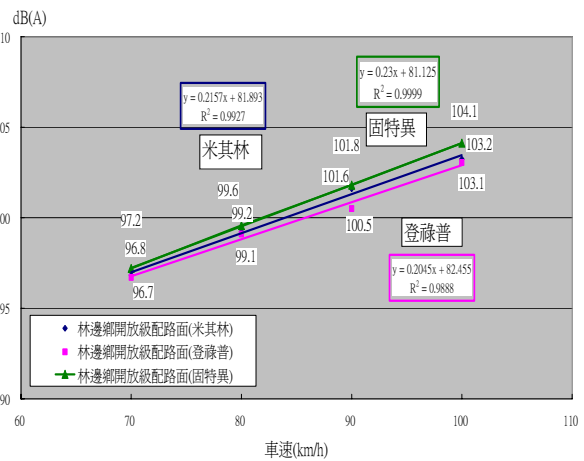


圖 16 不同輪胎(固特異、登祿普與米其林)之聲強(南二高林邊段之開放級配面)

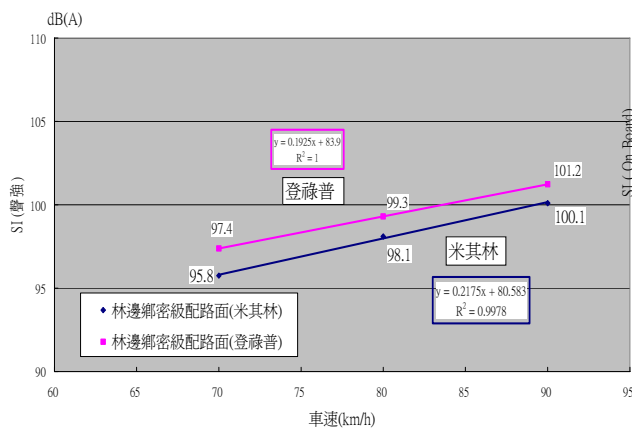


圖 14 不同輪胎(登祿普與米其林)之聲強 (南二高林邊段之密級配路面)

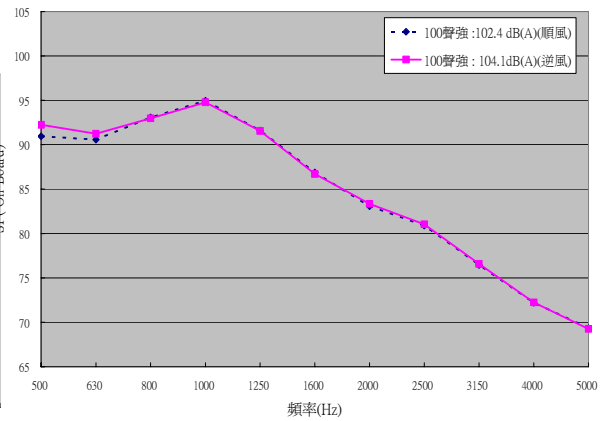


圖 17 不同風向(順風與逆風)之聲強頻譜圖(南二高林邊段之開放級配路面)

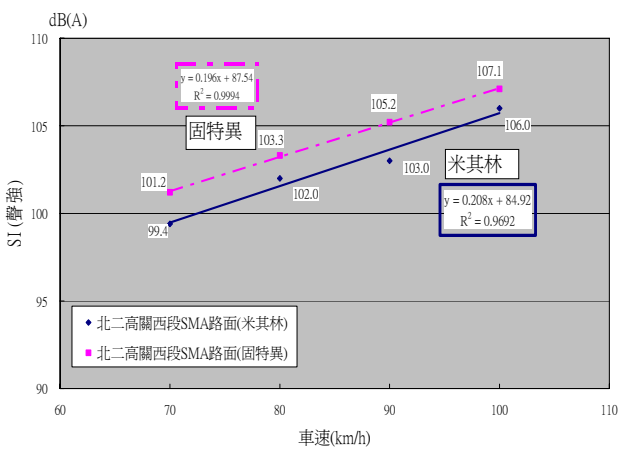


圖 15 不同輪胎(固特異與米其林)之聲強

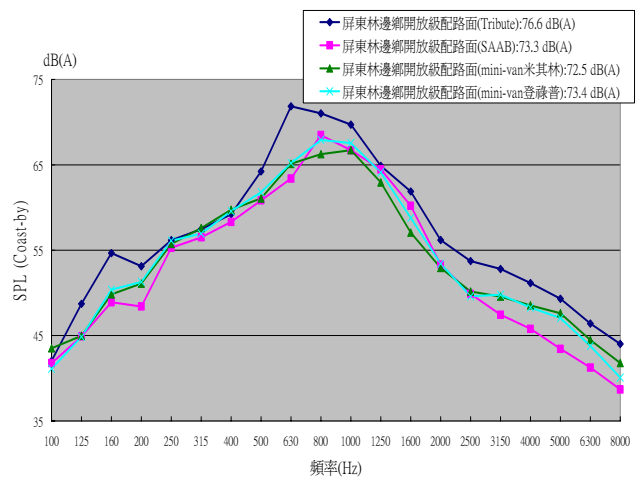


圖 18 不同車型之路邊量測聲壓值(南二高林邊段之開放級配路面)

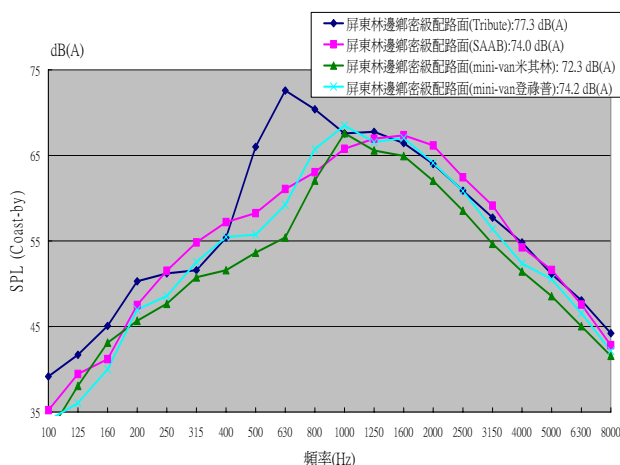


圖 19 不同車型 (Tribute、SE900、VANETTE) 之路邊量測聲壓值(南二高林邊段之密級配路面)

### 不同路面之影響

道路的狀況包括路面型式(表面刷紋、材料種類、表面紋理、路面粗糙度、路面平整度)、道路寬度、車道數、路堤及安全護欄等因素，對道路行車噪音均會有影響。在此針對不同之剛性與柔性路面使用登祿普輪胎、米其林輪胎及固特異輪胎所量得之聲強作探討。在圖 20 可看出米其林輪胎在頭城剛性路面所量得之聲強較關西段之剛性路面來得高，在車速 90 km/h 時，頭城收費站比關西段高出 3.2 dB(A)，其原因是因為頭城剛性路面為橫向齒耙紋理而關西剛性路面為縱向紋理，其結果與國外參考文獻符合；另外發現同樣為橫向齒耙紋理之七堵收費站剛性路面，其量測聲強值比頭城剛性路面低 7 至 8 dB(A)，其原因可能是因為七堵收費站之量測路面為已通車路段，量測路段是重車進入地磅站前之車道，地形處於下坡路段，重車進入地磅站時又必須重重煞車，導致橫向齒耙紋理被磨平許多，因此輪胎路面間之衝擊與振動所產生之噪音大幅減少。

柔性路面方面，於南二高林邊段使用登祿普輪胎在車速 90 km/h 時，可看出聲強在開放級配路面僅較密級配路面安靜約 0.4 dB(A) (圖 21)，但一般文獻顯示[1]開放級配

路面大都較密級配路面安靜 2 至 3 dB(A)，導致此結果是因為在南二高林邊段之開放級配路面屬高架道路，路旁與中央均有護欄，使得量測出之聲強值較無護欄時為高，因此使用 SAAB 900SE 轎車探討護欄之有無對路邊聲壓之影響，量測結果顯示，有護欄時之聲壓較無護欄時會高出 1.6 dB(A)，再利用先前討論聲壓與聲強值之間的關係，由圖 7 中選取開放級配路面(登祿普輪胎)內之線性迴歸關係式： $y = 0.4666x + 27.064$ ，當聲壓之差值( $\Delta y$ )為 1.6 時，代入此公式可得聲強之差值( $\Delta x$ )為 3.4，因此可知在開放級配路面上使用登祿普輪胎，當聲壓值因護欄而多出 1.6 dB(A) 時，在有護欄路段測得之聲強值應會比無護欄時之相同路面多出 3.4 dB(A)。據此，將差值 3.4 dB(A)補上，開放級配應較密級配路面安靜 3.8 dB(A)。

使用米其林輪胎在車速為 100 km/h 時，關西段之 SMA 路面平均較大溪多孔隙路面高出 1.1dB(A) (圖 22)，而由國外文獻中[1]可看出 SMA 路面一般都較多孔隙路面高出 3~5 dB(A)，本次之實際量測結果與國外所報導之數據有所差距，導致此原因可能是因為所量測之多孔隙路面已開放通車 2 年，內部之孔隙部份已被碎屑塵土填滿，吸音效果已大為減弱；另一部份原因是本次所量測的 SMA 路面之表面亦為多孔隙路面，此點與傳統 SMA 路面為封閉無孔隙的情況並不相同。另一方面，SMA 路面較南二高林邊段之開放級配路面高出約 2.3 dB(A)，且開放級配路面又較密級配路面高出 1.0 dB(A)與預期不符，導致此結果也是因護欄之影響，先前已得知有無護欄時聲壓會產生 1.6 dB(A)之差異，有護欄時較無護欄時之聲壓會高出 1.6 dB(A)，再利用聲壓與聲強值之間的關係，由圖 7 中選取開放級配路面(米其林輪胎)之線性迴歸關係式： $y = 0.6654x + 5.6485$ ，當聲壓之差值( $\Delta y$ )為 1.6 時，代入此公式可得聲強之差值( $\Delta x$ )為 2.4，因此可知在開放級配路面上，當聲壓值因護欄而多出 1.6 dB(A)時，

在有護欄路段測得之聲強值應會比無護欄時之相同路面多出 2.4 dB(A)。據此，將差值 2.4 dB(A)補上，於是 SMA 路面應較開放級配路面高出約 4.7 dB(A)，密級配路面應較開放級配路面高出 1.4 dB(A)。

另外探討改質開放級配路面與開放級配路面之關係，從圖 22 中可看出在車速為 100 km/h 時開放級配路面較改質開放級配路面安靜 1.4 dB(A)，但開放級配路面因有護欄影響，因此當開放級配路面無護欄時應會較改質開放級配路面安靜 3.8 dB(A)，但同樣是開放級配又是新工路段其量測值應該一樣，導致此結果是因為改質開放級配路面其路面下半層厚度 3 cm 是 SMA，上半層厚度 3 cm 是開放級配路面，因此吸音效果較差所致。最後使用固特異輪胎在車速為 100 km/h 時，由圖 23 可看出 SMA 路面聲強較開放級配路面高出 2.9 dB(A)，但因固特異輪胎只有二個，無法執行路邊量測，以致於無從比較有無護欄之聲強差值。

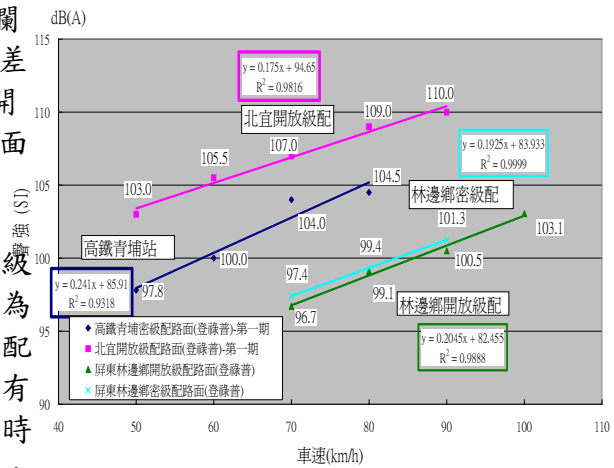


圖 21 登祿普輪胎在不同柔性路面上之聲強

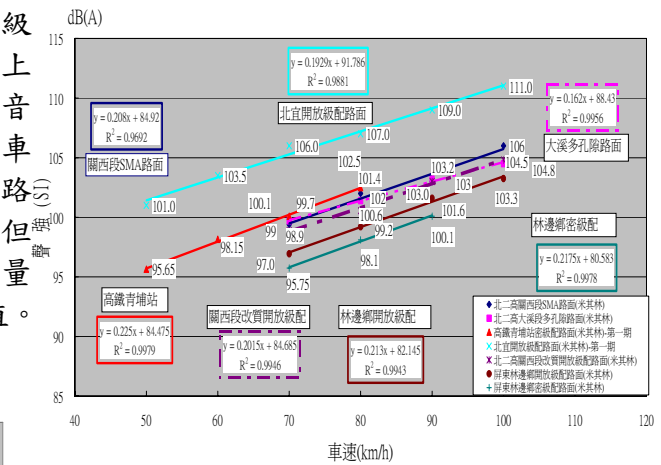


圖 22 米其林輪胎在不同柔性路面上之聲強

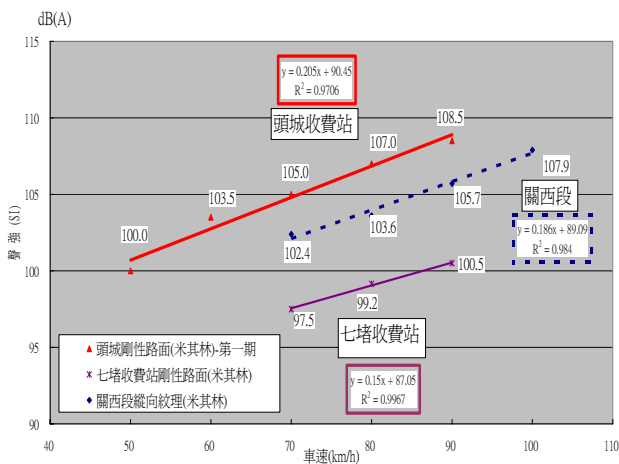


圖 20 米其林輪胎在不同剛性路面上之聲強

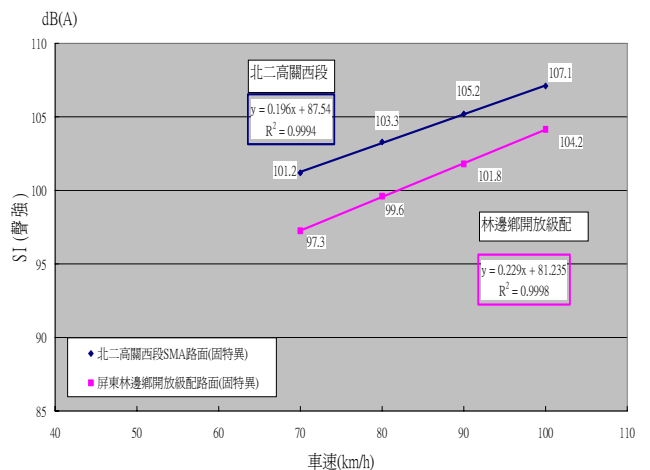


圖 23 固特異輪胎在不同柔性路面對聲強之影響

### 路面之排序



路面種類	量測路段	聲強量測值 (100km/h)	備註
開放級配(柔性路面)	南二高林邊段	100.9 dB(A)	有護欄路段
密級配(柔性路面)	南二高林邊段	102.3 dB(A)	依線性迴歸推算
多孔隙(柔性路面)	北二高大溪段	104.5 dB(A)	已使用兩年
改質開放級配(柔性路面)	北二高關西段	104.8 dB(A)	
石膠泥(柔性路面)	北二高關西段	105.7 dB(A)	
縱向磨刨紋理(剛性路面)	北二高大溪段	107.9 dB(A)	
橫向齒耙紋理(剛性路面)	北宜頭城收費站	111.0 dB(A)	依線性迴歸推算
橫向溝槽紋理(剛性路面)	機場跑道	113.5 dB(A)	依線性迴歸推算(登祿普輪胎)

本研究使用相同之測試輪胎(米其林 Energy XM1-195/65R14)，選取國內高速公路與平面道路共 11 段道路 8 種型式的路面作聲強量測。在此將已完成量測之路面作一排序(車速 100km/h)，以供未來國內鋪設道路時之參考，如表 1 所示。在南二高林邊段之開放級配路面屬高架道路，路旁與中央均有護欄，使得量測出之聲強值較無護欄時為高，因此透過 SAAB 900SE 轎車探討護欄之有無對路邊聲壓之影響。量測之結果顯示，有護欄時較無護欄時之聲壓會高出 1.6 dB(A)，利用聲壓與聲強值之間的關係，得知聲強值應會多出 2.4 dB(A)。據此，將原本有護欄路段所測得之聲強值 103.3 dB(A)減去護欄之影響值 2.4 dB(A)，即應是開放級配路面在無護欄時所測得之值 100.9 dB(A)。

此外，此次量測中由於某些路段之長度不足以在安全狀況下完成測試，在密級

配路面、橫向齒耙路面及機場橫向鉋切溝槽三種路面上車速只能達到 90 km/h，故在表 1 中車速為 100 km/h 之聲強值係由此三種路面之線性迴歸關係式(如圖 24 所示)所推算而得的[註 1 註 1]。另外在機場剛性路面上由於可供測試時間(1:00~5:30 a.m.)不足，只完成登祿普輪胎之量測，因受測輪胎不同，無法與先前之數據互相比較，於是由七堵剛性路面上所完成之線性迴歸圖(圖 13)，推算出兩種輪胎(米其林與登祿普在 100 km/h)之差異，登祿普應較米其林輪胎高出 2.4 dB(A)，將原先所測得之值 115.9 dB(A)，扣掉兩種輪胎之差異值 2.4 dB(A)，即可推算出米其林輪胎(車速為 100 km/h)在機場橫向溝槽紋理路面之聲強值為 113.5 dB(A)。

表 1 各路面聲強量測值排序

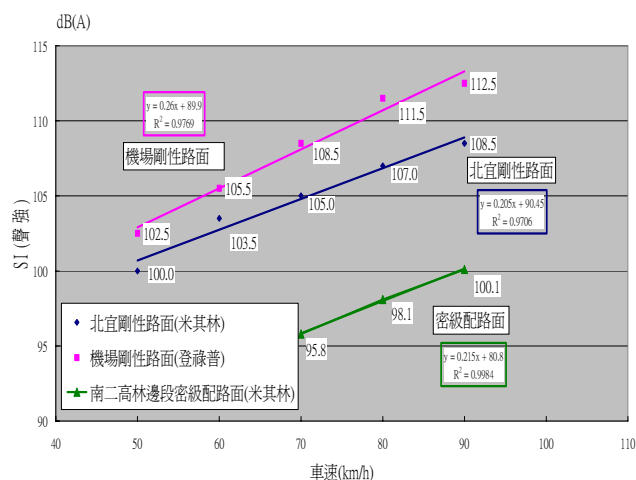


圖 24 三種路面之強線性回歸

### 車速之影響

本研究共選取 8 種類型之路面進行現地噪音量測並進行資料比較分析，使用登祿普、米其林及固特異輪胎進行不同車速(70 km/h、80 km/h、90 km/h 及 100km/h)之聲強

註 1 機場剛性路面：  $0.26 \times 100 + 89.9 = 115.9$   
頭城剛性路面：  $0.205 \times 100 + 90.45 = 111.0$   
林邊密級配路面：  $0.215 \times 100 + 80.8 = 102.3$

與滑行通過法量測，在七堵剛性路面因實際可測路段只有 400 公尺，所以無法進行 100km/h 車速之量測。由圖 25 至圖 27，可看出聲強會隨著車速增加而增加。

至於在量測路邊聲壓方面，本研究選取歐怡公司 ISO10844 標準密級配路面、屏東林邊南二高終點路段密級配與開放級配柔性路面作量測，使用登祿普與米其林兩種輪胎，以不同車速進行滑行通過法之量測，並且另以 SAAB 900SE 轎車與馬自達 Tribute 休旅車搭配量測，我們將所量得之聲壓值以線性迴歸處理(圖 28 至圖 31)，由圖中可看出聲壓隨著車速增加而增加，故可知聲強與聲壓於車速每增加 10km/h 之平均增加量，聲強於車速每增加 10km/h 之平均增加量為 2.1 dB(A)，聲壓於車速每增加 10km/h 之平均增加量為 1.8 dB(A)。

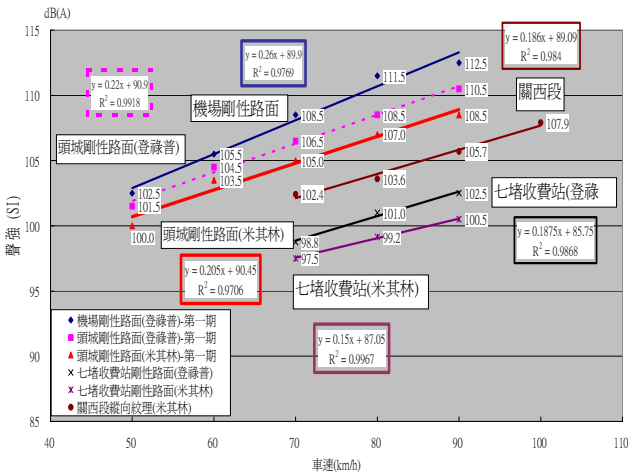


圖 25 車速對不同剛性路面聲強之影響

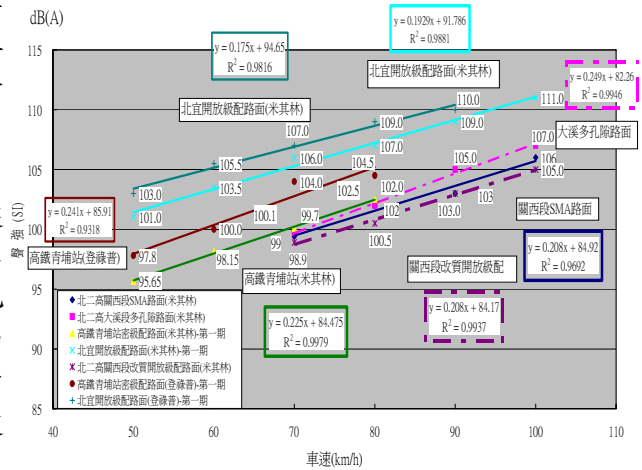


圖 26 車速對不同柔性路面聲強之影響

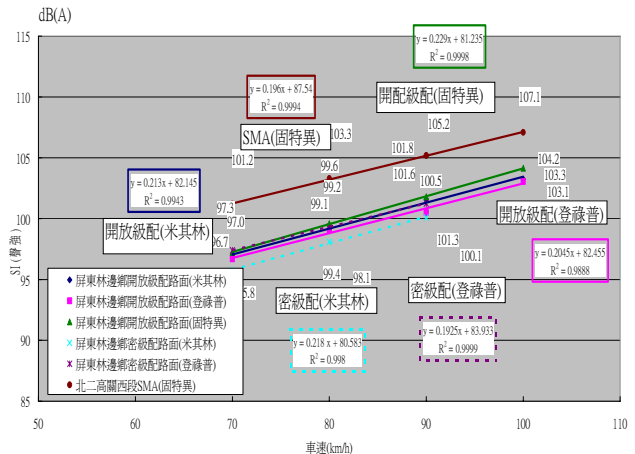


圖 27 車速對不同柔性路面聲強之影響

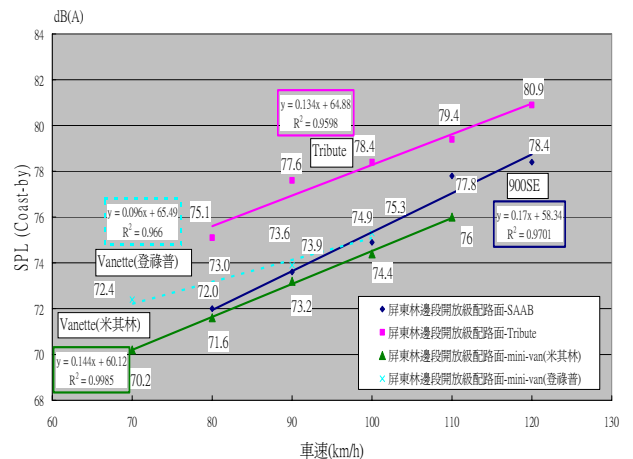


圖 28 車速對路邊聲壓之影響  
(開放級配路面)

## 結 論

[1] 本研究共完成 11 段道路 8 種型式路面之測試，將隨車量測到之聲強值與滑行通過法所量測到之路邊聲壓值作比較，可由線性回歸找出兩者間之線性關係，因此往後對於同種性質之路面，只須使用同一種車型與輪胎，隨車量得其聲強後即可預測在任一車速下之路邊聲壓值。本研究將所有量測過之路面在車速為 100km/h 時之噪音值作一排序，可知最安靜之柔性路面為開放級配路面，最嘈雜之柔性路面為 SMA 路面，兩者之差值達到 4.8 dB(A)。至於剛性路面，則都較所有的柔性路面為嘈雜（高出約 6~10 dB(A)）。

[2] 藉由聲強法量測結果可知，不同種類輪胎(一般轎車胎)會有 1.1 dB(A)至 2.3 dB(A)之差異，在南二高屏東林邊之開放級配瀝青混凝土路面上，比較登祿普、米其林與固特異三種輪胎之差異，可知在 100 km/h 時固特異輪胎最嘈雜，較米其林高出約 2.3 dB(A)，較登祿普輪胎高出約 1.2 dB(A)。另外使用路邊量測法探討三種車型 (Tribute、SE900、Vanette) 於南二高林邊段開放級配與密級配路面上之聲壓值分別高出 4.1 dB(A)及 5.0 dB(A)。

[3] 有護欄之路段由於受到中央分隔島與路旁護欄反射之影響，所量得之聲壓都會比無護欄之聲壓為高。於剛性路面上有無護欄對路邊聲壓之影響約為 1.6 dB(A)，因此可以據此修正後續在有護欄路段所量得之路邊聲壓值。

## 參考文獻

- [1] Bennert, T., D. Hanson, A. Maher, and N. Vitillo, "Influence of Pavement Surface Type on Tire/Pavement Generated Noise," *Journal of Testing and Evaluation*, Vol. 33, No.2, March 2005.

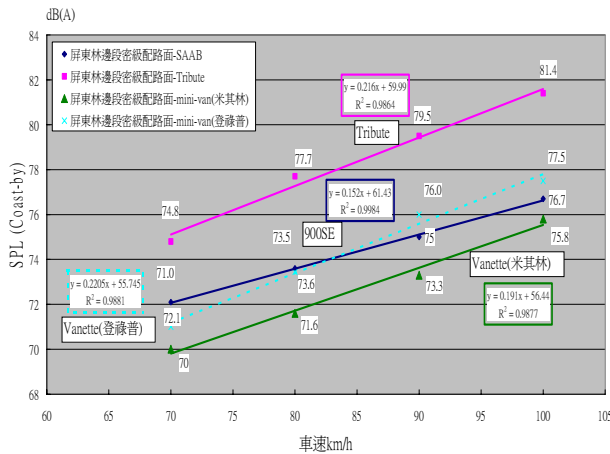


圖 29 車速對路邊聲壓之影響  
(密級配路面)

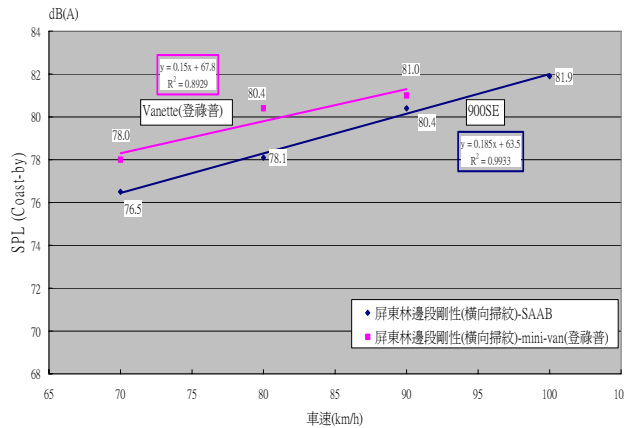


圖 30 車速對路邊聲壓之影響(南二高  
終端剛性路面)

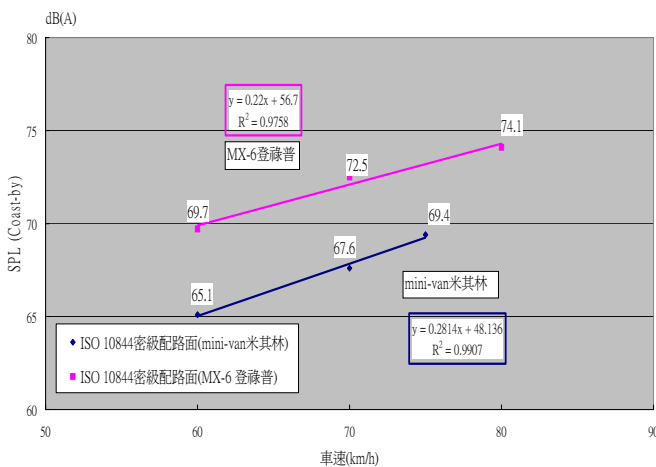


圖 31 車速對路邊聲壓之影響(ISO 10844  
標準密級配路面)