

不同巴士之振動與噪音檢測分析與評估

王栢村¹ 林鴻裕² 胡惠文³ 李俊賢⁴

¹屏東科技大學機械工程系教授

²屏東科技大學機械工程系副教授

³屏東科技大學車輛工程系副教授

⁴屏東科技大學機械工程系研究生

E-mail: wangbt@mail.npust.edu.tw

摘要

巴士車內振動與噪音影響乘客之舒適性為重要研究課題,本文針對不同巴士車廂內噪音傳遞之現象進行整合比較分析,探討包括不同車型之聲音評估、噪音源探討、車後段噪音改善策略探討以及綜合比較分析等四大部分,並分析主要噪音之來源,建立(1)接受者測試、(2)噪音源測試、以及(3)噪音路徑測試等三種實驗規劃。測試之巴士狀態分為行進、車輛靜止狀態兩種測試,檢測各種不同行駛狀況下之不同巴士車內噪音。噪音源測試在比較相同引擎轉速下,車輛在不同檔位(亦即變速箱)及不同行駛狀況(亦即路面)下,探討車內噪音之影響。噪音路徑測試著重探討車內噪音與各部位噪音之頻譜關聯性。結果顯示,變速箱傳動系統在相同引擎轉速下,入檔對 B-03 車車後段噪音有 3-4dBA 之影響,另外,三部車的車後段噪音、都是隨著引擎轉速上升而增加,表示引擎為主要噪音來源。本文建立巴士車廂內各部位之振動與噪音傳輸路徑實驗規劃,可瞭解其傳遞效果之差異,有助於現況評估以及作為未來振動與噪音改善之參考依據。

關鍵詞: 巴士、振動、噪音、路徑、八音頻帶、線性頻譜。

1. 前言

隨時代快速演進,人們對於車輛需求已到不可或缺的地步,對於車輛舒適性的要求日趨嚴格,其中車內振動與噪音的產生對乘坐舒適度的影響是相當大,因此要增加乘車的舒適度,降低長時間駕駛與乘坐在車內的疲勞,就必須依賴車內振動與噪音的改善來達成。

江等人[1]針對汽車車內噪音,進行量測分析,量測車輛在各種行駛狀況時的噪音,包括不同車速行駛時的定速噪音、緩加速緩減速時的噪音、急加速時的噪音、定檔定速時噪音,以及定檔急加速時的噪音,量測點包括引擎室、前座、後座、行李箱等位置。陳[2]根據造成車內共鳴音的各項主要因素,針對這些方向來進行問題點的原因調查。首先量測車子加速過程中在哪些轉速下會產生令人不悅的共鳴音,發現車內噪音總量部分於 3000rpm 附近及 3600rpm 附近有明顯峰值存在,故主要針對在加速過程中發生車內共鳴音的問題點(引擎轉速 3000rpm 及 3600rpm 附近)進行探討。

Nishimura et al. [3]研究引擎室的聲音傳播特性,發現聲音傳播特性在噪音源引擎表面與車身嵌板邊緣的相對位置會有所變化,使用 BEM 研究插入損失(insertion loss)對引擎室結構的影響。吳等人[4]針對車廂內駕駛者位置的主動式噪音控制進行研究,以汽車引擎所產生之噪音為主要噪音源,發現讓駕駛者戴上耳機作為控制音源,可以有好的噪音衰減效果,雖然不符合實際情況,但在駕駛者位置卻有一定的噪音改善。

王等人[5]探討巴士車廂內振動與噪音傳遞之現象,建立接受者測試、振動及噪音路徑測試等三種實驗規劃,發現行駛之路面激振易於激發低頻率之振動與噪音,隨著引擎轉速的增加,車內振動與噪音量也顯著提高,引擎高轉速引發之激振,為巴士車內主要振動與噪音之來源,並建立巴士車廂內各部位之振動與噪音傳輸路徑實驗規劃。

王等人[6]針對巴士車廂內之噪音進行檢測,並建立車廂內噪音整體量測標準作業程序,利用瞬時噪音頻譜分析儀進行量測,得到三分之一八音頻帶頻譜值,並以室內噪音評估模式,對巴士經隔音處理前後之噪音量測結果進行比較分析,發現經過隔音處理後的巴士車廂內噪音值有明顯下降,又由室內噪音評估指標可藉以瞭解車內噪音品質狀況,可做為未來評估類似車輛內部噪音之參考。

王等人[7]針對巴士車廂內噪音源以及傳播路徑進行評估,發現變速箱傳動系統在相同引擎轉速下,入檔對車後段噪音是有影響的,另外,車內主要振動與噪音量是隨著引擎轉速升高而增加,引擎高轉速所引發之激振為車內振動與噪音之主要來源。

本文主要針對巴士內振動與噪音之傳輸路徑進行探討,瞭解巴士內振動與噪音來源與其貢獻度,並建立巴士車內振動與噪音傳遞之量測規劃,未來可作為巴士車內振動與噪音改善之參考。

2. 實驗量測規劃

本文主要分析目標在探討振動與噪音傳遞路徑分析、以及了解不同巴士內振動與噪音來源及其貢獻度。表 1 為量測設備總表,說明使用儀器名稱、型號以及用途。

表 2 為測試規劃總表, 巴士分為行進與靜止 2 種狀態, 分述如下:

1. 行進(in-running): 巴士在行進狀態下量測各種不同狀況下之車內噪音, 包括定速、上坡、下坡以及加速等狀況。量測頻道包括: 車後段噪音、車中段噪音、引擎室噪音、引擎振動、車架振動、地板振動、座位振動以及車身振動等八個頻道。量測示意圖及方塊圖如表 2。
2. 靜止(in-statics): 分為車輛在正常靜止狀態(A)及車輛後輪軸頂高(B)兩種測試狀態。在 A 狀態, 分別量測在空檔以 0 檔位表示、不同引擎轉速下

之振動與噪音量。在 B 狀態, 則測試在不同檔位、不同引擎轉速下之振動與噪音量。量測頻道包括: 車後段噪音、車外噪音、引擎室噪音、引擎振動、車架振動、地板振動、座位振動以及車身振動等八個頻道。量測示意圖及方塊圖如表 2。

除行進狀態行駛於高速公路測試外, 靜止狀態下之巴士量測選在安靜無干擾之地點, 並量測背景噪音與振動。另外 B-01 車與 B-03 車為手排車, 分 0 空擋、3、4、5、6 檔位, B-02 車則為自排車, 分 D 檔與空擋, 均為後輪驅動。

表 1 量測設備總表

設備名稱	型號	說明
頻譜分析儀	SigLab20-4	頻譜分析
加速度計	KISTLER8704B100M1	引擎振動、車架振動
加速度計	KISTLER8732A500	車身振動、地板振動
麥克風	PCB130D20	車內噪音
地表振動儀	Seismic Accelerometer 731A	座位振動
噪音計	CEL593.C1	車後段噪音

表 2 測試規劃總表

項目	測試狀態	量測示意圖	方塊圖	量測頻道規劃
1	行進 (in-running)			車後段噪音量 p_i 車中段噪音量 p_{im} 引擎室噪音量 p_e 引擎振動量 a_e 車架振動量 a_c 地板垂直振動量 a_f 座位垂直振動量 a_s 車身側向振動量 a_b
2	靜止 (in-statics) A: 正常靜止 B: 後輪軸頂高			車後段噪音量 p_i 車外噪音量 p_o 引擎室噪音量 p_e 引擎振動量 a_e 車架振動量 a_c 地板垂直振動量 a_f 座位垂直振動量 a_s 車身側向振動量 a_b

3. 結果與討論

3.1 接受者測試-噪音評估模式

表 3 為三部巴士之噪音計量測結果比較表，針對三部巴士在各種不同行駛狀況下進行量測，比較三部巴士噪音量之差異，綜合討論如下：

1. 在靜止不同引擎轉速及不同檔位變化下，B-01 車與 B-02 車之噪音量皆與變速箱入檔影響不大，而 B-03 車則是變速箱入到 4、5 檔位時，噪音量會明顯增加。
2. B-03 車在靜止、引擎轉速分別為 1400rpm、1600rpm、1700rpm 及 1800rpm 時，可以發現引擎同樣入到 4 檔位時，噪音達到最高，未來可以針對此現象做進一步探討。
3. 以路測定速情況而言，三部巴士除 B-03 外，在定

速時速 70 公里以上的噪音量都高於目標值 70dBA，且在上坡、加速等高轉速情況下，噪音量更是偏高，以 B-02 定速 100km/hr 及 B-03 上坡時的平均噪音量最高，分別達 75.8dBA 與 75.7dBA，推測除了是由於高引擎轉速外，換檔過程產生的噪音以及路面影響也是產生高噪音量的主要原因。

4. 比較三部巴士在靜止、0 檔位，引擎 1800rpm 的情況，B-02 車噪音量明顯較低，為 70.3dBA，推測與 B-02 車為自排車有關係，而相同為手排車的 B-01 車與 B-03 車比較，B-03 車噪音量為 71.7dBA，而 B-01 車噪音量較高，平均為 76.5dBA，有作後續探討的必要。
5. 靜止不同引擎轉速下，三部巴士噪音量皆隨轉速升高而增加，以高引擎轉速 1800rpm 而言，B-02 噪音量較低，在 0 檔位、1800rpm 時的噪音量為 70.3dBA，B-01 平均噪音量則達 76dBA 以上。

表 3、三部巴士之噪音計結果比較表

Case	B-01(手) (改善後)			Case	B-02(自)			Case 平均	B-03(手)				
	dBA	平均	檔位		dBA	平均	檔位		dBA	平均	檔位		
V-060-01	70.7	70.3	4	V-060-01	70.5	68.8	D	V-060-01	68.5	68.6	4		
V-060-02	70.0		4	V-060-02	67.7		D	V-060-02	68.7		4		
V-060-03	70.2		4	V-060-03	68.1		D	V-070-01	69.5		5		
V-070-01	72.2	71.1	4	V-070-01	70.2	70.3	D	V-070-02	69.5	70.1	5		
V-070-02	70.5		5	V-070-02	70.5		D	V-080-01	70.1		5		
V-070-03	70.5		5	V-070-03	70.3		D	V-090-01	71.3		5		
V-080-01	69.9	70.1	5	V-080-01	72.8	72.9	D	V-100-01	72.8	72.8	5		
V-080-02	70.2		5	V-080-02	73.6		D	T-01(上坡)	76.4		75.7		
V-080-03	70.1		5	V-080-03	72.2		D	T-02(上坡)	75.0				
V-090-01	69.8	70.3	6	V-090-01	74.6	74.6	D	L-01(下坡)	64.6	66.4			
V-090-02	70.9		6	V-090-02	74.6		D	L-02(下坡)	68.1				
V-090-03	70.2		6	V-090-03	74.5		D	U-01(加速)	73.5		73.5		
V-100-01	70.7	70.4	6	V-100-01	75.8	75.8	D	S-0-1300-01	68.2	68.2	0		
V-100-02	70.3		6	V-100-02	76.0		D	S-3-1300-01	67.8		67.8	3	
V-100-03	70.1		6	V-100-03	75.5		D	S-4-1300-02	68.0		68.0	4	
V-110-01	71.7	71.7	6	T-01(上坡)	74.5	74.4	D	S-5-1300-03	69.1	69.1	5		
V-110-02	71.8		6	T-02(上坡)	73.7		D	S-0-1400-01	69.7		69.7	0	
V-110-03	71.6		6	T-03(上坡)	75.1		D	S-3-1400-01	68.7		68.7	3	
U-01(上坡)	73.3	73.4		L-01(下坡)	69.8	70.2	D	S-4-1400-02	69.2	69.2	4		
U-02(上坡)	73.8			L-02(下坡)	70.0		D	S-5-1400-03	67.3		67.3	5	
U-03(上坡)	73.6			L-03(下坡)	70.7		D	S-0-1500-01	71.0		71.0	0	
U-04(上坡)	72.7			U-01(加速)	75.2		D	S-3-1500-01	66.6		66.6	3	
D-01(下坡)	70.8	70.8		U-02(加速)	75.8	75.7	D	S-4-1500-02	67.9	67.9	4		
D-02(下坡)	71.1			U-03(加速)	76.1		D	S-5-1500-03	70.1		70.1	5	
D-03(下坡)	70.8			S-0-1300-01	66.9		66.9	空	S-0-1600-01		71.3	71.3	0
D-04(下坡)	70.5			SV-D-1300-01	65.0		65.0	D	S-3-1600-01		72.0	72.0	3
A-01(加速)	70.4	70.4		V-D-1300-01	67.7	67.7	D	S-4-1600-02	73.3	73.3	4		
S-0-1500-01	72.3	72.2		S-0-1400-01	67.3	67.3	空	S-5-1600-03	71.1	71.1	5		
S-0-1500-02	72.0			SV-D-1400-01	66.2	66.2	D	S-0-1700-01	70.6	70.6	0		
S-0-1500-03	72.3			S-0-1500-01	69.1	69.1	空	S-3-1700-01	72.2	72.2	3		
S-0-1600-01	74.0	74.0		SV-D-1500-01	66.9	66.9	D	S-4-1700-02	75.0	75.0	4		
S-0-1700-01	73.9	73.9		V-D-1500-01	70.2	70.2	D	S-5-1700-03	71.0	71.0	5		
S-0-1700-02	73.8			S-0-1600-01	69.8	69.8	空	S-0-1800-01	71.7	71.7	0		
S-0-1800-01	76.4		76.5		SV-D-1600-01	68.1	68.1	D	S-3-1800-01	72.7	72.7	3	
S-0-1800-02	76.6			S-0-1700-01	70.3	70.3	空	S-4-1800-02	75.7	75.7	4		
S-0-1800-03	76.6			S-0-1800-01	70.3	70.3	空	S-5-1800-03	67.4	67.4	5		

3.2 噪音源測試

3.2.1 引擎及變速箱之影響-噪音

本小節討論引擎及變速箱對車後段噪音之影響，表 4 為三部車車後段噪音量比較表，綜合討論如下：

1. 以相同引擎轉速 1500rpm、不同檔位而言，B-01 車與 B-02 車之車後段噪音入檔後變化並不大，變化範圍在正負 2dBa 以內，表示變速箱對 B-01 車

- 與 B-02 車之車後段噪音影響不大，而 B-03 車入檔後車後段噪音量升高，且是隨著檔位升高而增加。
2. 以相同引擎轉速 1000rpm、0 檔位而言，B-02 車車後段噪音量 63.9dBA 最低，B-01 車 66.9dBA 次之，B-03 車 67.5dBA 最高，值得進行後續差異探討。
 3. 整體而言，B-03 車之變速箱入檔後之車後段噪音量明顯大於其他車，值得注意其間差異，而三部車之車後段噪音都隨著轉速升高而增加，表示引擎為主要噪音來源之一。

表 4、三部巴士之車後段噪音量比較表

(a) B-01 車

引擎轉速	0 檔位	4 檔位	5 檔位	6 檔位	4-0	5-0	6-0
800 rpm	63.028	63.366	64.148	64.435	0.33855	1.1206	1.4075
900 rpm	65.453	66.882	64.201	63.639	1.429	-1.2515	-1.8136
1000 rpm	66.98	66.388	65.667	65.196	-0.59196	-1.3131	-1.7844
1500 rpm	70.711	70.067	69.941	69.844	-0.64454	-0.77022	-0.8679
1800 rpm	74.261	73.439	73.936	73.189	-0.82202	-0.32507	-1.0716

(b) B-02 車

引擎轉速	靜止，0 檔位，dBA	靜止，D 檔位，dBA	D-0
690rpm	62.82	62.646	-0.17382
800rpm	62.352	63.451	1.0985
900rpm	63.348	64.693	1.345
1000rpm	63.993	64.25	0.2567
1100rpm	65.482	64.716	-0.76663
1200rpm	66.904	66.474	-0.42967
1300rpm	67.629	66.063	-1.5654
1400rpm	68.485	67.338	-1.1475
1500rpm	69.747	67.976	-1.7713
1600rpm	70.653	69.669	-0.98451
dBA/rpm	0.78		

(c) B-03 車

引擎轉速	靜止 0 檔位	靜止 3 檔位	靜止 4 檔位	靜止 5 檔位	3-0	4-0	5-0
600rpm	61.413	64.159	65.766	66.298	2.7465	4.353	4.8855
700rpm	65.056	64.225	67.039	66.609	-0.83105	1.9823	1.5529
800rpm	64.888	65.076	65.654	67.519	0.18744	0.76609	2.6307
900rpm	66.438	66.221	67.13	68.017	-0.21748	0.69182	1.5789
1000rpm	67.559	67.865	69.073	69.768	0.30573	1.5145	2.2094
1100rpm	67.716	68.02	68.845	69.859	0.30446	1.1294	2.1432
1200rpm	68.971	68.555	70.004	70.102	-0.41608	1.0326	1.1306
1300rpm	69.215	68.839	69.234	70.63	-0.37652	0.018732	1.4145
1400rpm	71.33	70.89	71.04	73.12	-0.44009	-0.29022	1.7895
1500rpm	71.262	73.036	74.047	74.246	1.7742	2.7845	2.9837
1600rpm	71.496	72.883	73.779	75.114	1.3867	2.2836	3.6179
1700rpm	72.506	73.006	74.164	76.562	0.50015	1.6581	4.0561
1800rpm	73.259	73.023	74.3	77.41	-0.2365	1.0407	4.1506
dBA/rpm	0.91						

3.2.2 路面之影響-噪音

本小節討論路面激振對車後段噪音之影響，故以典型定速時之引擎轉速 1500rpm 進行三部巴士的比較，表 5 為三部巴士相同引擎轉速 1500rpm 下，正常靜止、靜止車輪後軸頂高與定速行進之噪音量比較，表 8 為三部巴士引擎轉速 1500rpm 之車後段噪音頻譜比較表，綜合討論如下：

1. B-01 車內噪音量在巴士定速時比靜止增加

13-14dB，B-02 車內噪音量在巴士定速時比靜止增加 5.6dB，B-03 車之車後段噪音量在巴士定速時比靜止增加約 13.3dBA。

2. 以聲音位準 dB 而言，路面激振影響三部車都是車後段噪音量，但就 dBA 而言，B-01 車無明顯增加，B-03 車減少 2.5dBA，而 B-02 車有 5dBA 之增加，B-02 車於懸吊結構之噪音或其他部位應有改善之必要。

表 5、三部巴士在引擎轉速 1500rpm 之車後段噪音量比較表

(a) B-01 車

均能音量位準	S-1500 靜止(0) (1500rpm)	V-080 80km/hr(5) (1500rpm)	V-100 100km/hr(6) (1500rpm)	(V-080)- (S-1500)	(V-100)- (S-1500)
$L_{eq,pi}$ (dB)	90.231	104.27	103.41	14.039	13.183
$L_{eq,pi}$ (dBA)	70.492	70.379	70.789	-0.11251	0.29691

(b) B-02 車

均能音量位準	靜止 0 檔,1500 rpm (S-0-1500)	靜止 D 檔,1500rpm (SV-D-1500)	定速 70km/hr D 檔,1500rpm (V-070-01)	(SV-D-1500)- (S-0-1500)	(V-070-01)- (SV-D-1500)
$L_{eq,pi}$ (dB)	95.481	97.895	103.58	2.4143	5.6802
$L_{eq,pi}$ (dBA)	69.747	67.976	73.576	-1.7713	5.6002

(c) B-03 車

均能音量位準	靜止(0 檔) 1500 rpm (S-0-1500)	靜止後輪頂高 4 檔,1500rpm (SV-4-1500)	80km/hr 5 檔,1500rpm (V-080-01)	(SV-4-1500)- (S-1500)	(V-080-01)- (SV-4-1500)
$L_{eq,pi}$ (dB)	86.102	89.987	103.35	3.8847	13.361
$L_{eq,pi}$ (dBA)	71.262	74.047	71.548	2.7845	-2.4986

3.3 不同車型之車後段噪音改善策略評估

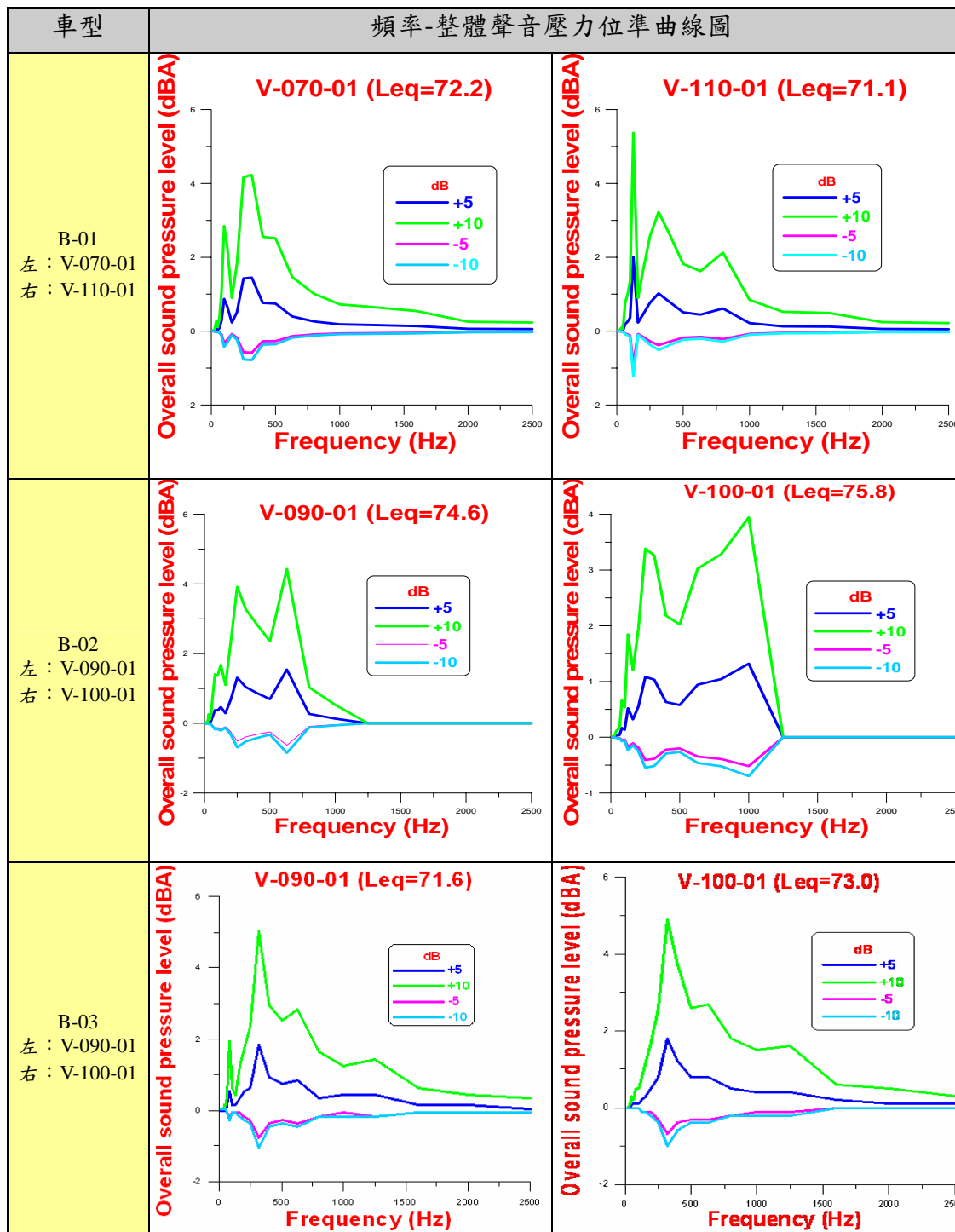
本小節目的在探討如何可能有效降低 3 部巴士之車後段噪音，表 7 為三部巴士之頻率-整體聲音壓力位準曲線圖，綜合討論如下：

1. 由表 7，B-01 車改善頻帶 125Hz、250Hz 及 315Hz 可以降低整體車後段噪音量，B-02 車改善頻帶 250Hz、630Hz 以及 1000Hz 可以降低整體車後段之

噪音量，B-03 車改善頻帶 315Hz 可以降低整體車後段之噪音量。

2. 3 部車有效降低車後段噪音的方法是針對產生共同峰值的頻帶進行改善，而 3 部車改善頻帶都在 1000Hz 以下，且由 3.3 節可發現與懸吊以上之結構有關聯性，因此可推測改善車後段噪音最直接的方法，即是針對懸吊以上之結構進行隔振與隔音處理。

表 7、三部巴士之頻率-整體聲音壓力位準曲線圖



3.4 三部巴士振動與噪音之綜合比較

為了對三部巴士整體的噪音量與振動量有具體的了解，分為接受者測試、噪音源測試、車後段噪音改善策略以及綜合比較分析等 4 大部分，表 8 為三部巴士之綜合比較，綜合討論如下：

1. 定速狀況下，隨著時速增加到 100km/hr，B-02 車之車後段噪音為三部巴士中最高，達 75.8dBA，其

次為 B-03 車 72.8dBA，最低的是 B-01 車 70.4dBA。

2. 在上坡、下坡及加速等高引擎轉速下，三部車各有優劣，沒有明顯好壞；而在 3 個靜止不同引擎轉速狀況下，B-02 車車後段噪音量最低，B-01 車車後段噪音量最高，表示 B-02 車之引擎噪音量較低，可作為後續車種製造之參考。

3. 以引擎而言，B-02 車每 100rpm 增加 0.78dBA 較佳，B-03 車每 100rpm 增加 0.91dBA 較差，B-01 車

則無從比較;B-02 車變速箱對車後段噪音僅±1 dBA 之影響, 為三部車中最佳。就引擎噪音量與變速箱影響而言,B-02 車所採用之引擎與變速箱是比較好的, 但由接受者測試發現 B-02 車受到路面影響, 會使車後段噪音大幅升高, 值得注意。

4. 三部車隔音效果都有超過 30dBA 以上, 表示隔音效果良好; 而 B-01 車與 B-03 車之引擎到車外的隔音量僅 13~16dBA, 在後車蓋加裝泡棉或是吸音棉, 隔音量達 20dBA 以上應該不是問題。
5. 由於 B-01 車為初期實驗之車輛, 量測儀器只能承受到引擎 900rpm 之振動強度, B-02 車與 B-03 車為後期量測, 採用之儀器可承受引擎至 1600rpm, 故 B-01 車測試狀況為 800 與 900rpm, B-02 車與 B-03 車測試狀況為 1300~1600rpm。以 B-02 車與 B-03

車整體比較, B-02 車隔振較佳, 引擎到車內地板隔振達 20dB 以上, 而 B-03 車除引擎到車架隔振達 20dB 以上, 車架到車內座位之隔振量最多僅 15dB。

6. 以車後段噪音與車內振動之頻譜關聯性比較而言, 發現地板振動與車身振動跟車後段噪音有明顯共同峰值產生, B-01 車為 100Hz, B-02 車為 250Hz 與 630Hz, B-03 車為 315Hz, 三部車共同峰值都發生在頻寬 1000Hz 以下, 未來應針對重點頻寬進行深入探討。
7. 針對三部巴士進行噪音改善, 發現 B-01 車降低 125、250 以及 315Hz 噪音量對整體車後段噪音改善最多, B-02 車為 250、630 以及 1000Hz, B-03 車則為 80、315 以及 630Hz。

表 8、三部巴士噪音與振動之綜合比較

比較項目 接受者	B-01 (手排車)	B-02 (自排車)	B-03 (手排車)	備註
60km/hr(dBA)	70.3 (x)	68.8 (△)	68.6 (○)	影響程度 ○ △ x 小 中 大
80km/hr(dBA)	70.1 (○)	72.9 (x)	70.1 (○)	
100km/hr(dBA)	70.4 (○)	75.8 (x)	72.8 (△)	
上坡噪音(dBA)	73.4 (○)	74.4 (△)	75.7 (x)	
下坡噪音(dBA)	70.8 (x)	70.2 (△)	66.4 (○)	
加速噪音(dBA)	70.4 (○)	75.7 (x)	73.5 (△)	
S-0-1000(dBA)	66.8 (x)	63.7 (○)	65.8 (△)	
S-0-1500(dBA)	72.2 (x)	69.1 (○)	71.0 (△)	
S-0-1800(dBA)	76.5 (x)	70.3 (○)	71.7 (△)	
引擎(無負載)	(x)	(○)	(△)	
引擎(含負載)	(x)	(x)	(x)	
比較項目 噪音源	B-01 (手排車)	B-02 (自排車)	B-03 (手排車)	
車後段噪音 (引擎影響)	無	+0.78 dBA/rpm (△)	+0.91dBA/rpm (x)	影響程度 ○ △ x 小 中 大
車後段噪音 (變速箱影響)	±2 dBA (△)	±1 dBA (○)	5 檔,+2~+4 dBA 3,4 檔±1 dBA, (x)	
車後段噪音 (路面影響)	+0.29 dBA 無明顯影響	+5.60 dBA (x)	-2.49 dBA 無明顯影響	
地板振動 (引擎影響)	無	+0.89 dBA/rpm (△)	+0.90 dBA/rpm (△)	
地板振動 (變速箱影響)	±1~2dB (△)	-3~+2dB (△)	4,5 檔+4dB (x)	
地板振動 (路面影響)	+0.77dB 無明顯影響	+3.06dB (x)	-0.59dB 無明顯影響	
座位振動 (引擎影響)	無	1.09 dB (x)	0.06 dB 無明顯影響	
座位振動 (變速箱影響)	無	無明顯影響	4,5 檔 5dB (x)	
座位振動 (路面影響)	+6.48 dB (x)	+4.71dB (x)	+16.29dB (x)	
比較項目 噪音源	B-01 (手排車)	B-02 (自排車)	B-03 (手排車)	備註
車身振動 (路面影響)	+2.38dB (△)	+3.79dB (x)	+1.25dB (○)	○ △ x 小 中 大
比較項目 隔音量	B-01 (手排車)	B-02 (自排車)	B-03 (手排車)	備註
引擎-車後段	32~38 dBA(○)	29~31 dBA(○)	28~31 dBA(○)	○ △ x
引擎-車外	13~16 dBA(△)	無	13~15 dBA(△)	小 中 大

表 8、三部巴士噪音與振動之綜合比較(續)

比較項目	B-01 (手排車)	B-02 (自排車)	B-03 (手排車)	
隔振量				
引擎-車架	11~14 dB(△)	19~21dB(△)	20~24 dB(○)	○ △ x 小 中 大
車架-地板	10~13 dB(△)	19~22 dB(○)	4~6 dB(x)	
車架-車身	無	19~22 dB(○)	9~12 dB(x)	
地板-座位	無	-9~1.6B(x)	11~15 dB(x)	
車後段噪音頻率關聯性 比較	B-01 (手排車)	B-02 (自排車)	B-03 (手排車)	
地板、車身	100Hz	250、630Hz	315Hz	
車架、地板、座位	無	無	無	
改善策略	125、250、315Hz	250、630、1000Hz	80、315、630Hz	

4. 結論

本文針對三部車型分別為 B-01(手排車)、B-02(自排車)以及 B-03(手排車)的巴士進行結果整合比較分析,探討包括聲音評估、噪音源探討、噪音路徑評估、噪音改善策略以及三部車綜合比較分析等五大部分,綜合討論如下:

- 就聲音評估來說,三部巴士普遍自定速時速 70 公里以上噪音量皆高於目標值 70dBA,以車型 B-02 在定速時速 100 公里噪音量最高,達 75.8dBA,表示三部巴士在高時速、高引擎轉速下的車內噪音量仍有改善空間;由室內噪音指標得知低頻噪音是三部車共同的問題,未來針對如何降低低頻噪音是一重要方向。
- 整體而言,三部車的引擎噪音都是隨著引擎轉速上升而增加,表示引擎為主要噪音來源之一,而變速箱對 B-01 車以及 B-02 車的影響在±1 dBA 以內,表示影響不大,對 B-03 車而言,檔位入到 4、5 檔位後,噪音量明顯增加,因此對於 B-03 車變速箱之影響因素應深入探討。
- 路面激振引發 B-01 車車後段噪音低頻區的響應,但因為 A 加權對低頻率有較大之加權,所以 dBA 值幾乎不變,而路面激振不僅引發 B-02 車車後段噪音低頻響應,還加上中高頻的響應,所以 B-02 車路面影響會造成車內噪音升高,需注意其原因探討。
- 與車後段產生共同峰值的原因是來自於懸吊以上的結構,包括車架、地板以及車身結構,在這些部位增添阻尼等相關隔音處理,避免這些部位造成車後段噪音量增加,應是可行的方法。
- 整體而言,三部車與車後段噪音產生共同峰值的頻率都在 1000Hz 以下,未來應針對這些特定頻率進行探討,找出這些頻率是由哪些部位之振動或噪音所貢獻,諸如引擎配置方式、車輛驅動方式、車體結構.....等並深入研究。

5. 參考文獻

- 江文旺,何展效,簡惠子,2005,「小客車車內噪音改善研究」,中華民國第十三屆振動與噪音工程學術研討會,彰化,第 19-22 頁。

- 陳柏徵,2005,「車內加速共鳴音之改善應用」,第十三屆中華民國振動與噪音工程學術研討會,彰化,第 13-18 頁。
- Nishimura, Y., and Shimizu, K., 1996, "Analysis of Acoustic Radiation Characteristics of Engine Compartment and Application to Reduction of Vehicle Pass-by Noise," *JSAE Review*, Vol. 17, pp. 133-137.
- 吳建達,仲成伍,張智閩,白明憲,2000,「車廂內駕駛室之主動式噪音控制」,中華民國第二十四屆全國力學會議,桃園,第 9-14 頁。
- 王栢村,林鴻裕,李俊賢,胡惠文,2006,「巴士車廂內振動與噪音之傳輸路徑探討」,第十一屆車輛工程學術研討會,彰化,第 A1-A5 頁。
- 王栢村,林鴻裕,李俊賢,李建興,2006,「巴士車廂內之噪音檢測評估」,中華民國音響學會第十九屆學術研討會,台南,第 245-250 頁。
- 王栢村,林鴻裕,李俊賢,陳新正,2007,「巴士車內噪音源與傳播路徑之評估」,中華民國振動與噪音工程學會第十五屆學術研討會,台北,第 26 頁。