

# 11. 重型機車空氣濾清器之噪音與振動分析

黃柏文<sup>1</sup>、潘怡綸<sup>2</sup>

<sup>1</sup>正修科技大學 機電工程研究所教授

<sup>2</sup>正修科技大學 機電工程研究所研究生

## 摘要

現今汽機車持續快速的成長，不斷的開發及研發，但在眾多部件當中空氣濾清器扮演極其重要的角色，雖然它不直接關係到車輛引擎性能，卻對車輛引擎的使用壽命有著極大的影響。然而空氣濾清器必須具有足夠的強度，以防止內部流場產生的負壓造成氣流音，致使空氣濾清器排氣噪音過大。除此之外空氣濾清器也有可能因外在刺激如引擎等促使產生結構噪音，因振動時間一長會使材料加速疲勞，造成其損壞，為了改善結構噪音，其振動的特性是必須先行了解，以便擬定對策。

本計劃藉著使用電腦繪圖軟體 ( Pro/ENGINEER ) 來建構出高排氣量空氣濾清器之模型，進而有限元素分析軟體 ( ANSYS ) 來分析空氣濾清器含有壓力時的變形量分佈情況，以瞭解內部空間壓力對於空氣濾清器強度的影響。改變空氣濾清器式樣，進而改善變形量分佈情形。最後配合實驗找出空氣濾清器噪音及振動特性，並改變表面的強度和進氣管的式樣變化，來降低結構音與氣流音。始整個進氣系統的消音性能大大提升。

關鍵詞：空氣濾清器，噪音，振動，有限元素法

## 一、前言

隨著科技日新月異，汽機車工業與技術發展更為驚人，不斷的開發及研發，為了使性能提升與加強其安全性，但在眾多零件當中，空氣濾清器扮演其重要的角色。汽機車中，假如沒有空氣濾清器的過濾作用，引擎就會吸入大量含有塵埃、顆粒的污濁空氣，導致引擎氣缸嚴重磨損。所以空氣濾清器對車輛引擎的使用壽命有著極大的影響。再者，如果使用過程中，長時間不維護保養，空氣濾清器的濾芯就會粘滿空氣中的灰塵，不但使過濾能力下降，而且還會妨礙空氣的流通，導致混合氣過濃而促使引擎工作不正常，因此，按期維護保養空氣濾清器也是相當重要的。對於機車及其空氣濾清器研究者有[1-21]

高排氣量的空氣濾清器，會因為大量的空氣進入空氣濾清器內部，在內部空間做流動，導致內流

場的流動現象進而可能產生噪音；另一方面，外界的刺激如引擎...等，也促使濾清器產生振動。為了改善振動，其振動的特性是必須先行了解，以便對策。

對於空氣濾清器的噪音與振動研究之國內外學者與專家並不多見，Murphey, Robert[7]針對空氣濾清器的設計理論，其中提到結構強度問題。極少數的研究學者呂卓勳，Elmar David，鄭仁杰，孫宏川[11]，張志平[12]等著重在空氣濾清器的噪音與製程上。Huang, David[8]；Swinderman, R. Todd[4]；Hao, Zhi-Yong[10]；Novak, Colin；Ule, Helen[9]也都針對空氣濾清器的噪音問題提出研究成果。

本研究主要目的是分析高排氣量空氣濾清器的噪音與振動問題，藉由數值分析配合實驗驗證，找出空氣濾清器最大噪音及振動特性，而且避免空氣濾清器出口端流量受到影響。

## 二、研究方法

### 2.1 有限元素分析

本研究利用有限元素軟體 ( ANSYS Workbench ) 針對空氣濾清器分析其結構振動特性，利用軟體裡的各種不同分析器，找出空氣濾清器的變化對於自然頻率、振幅和強度的影響。圖1為有限元素分析整個流程圖，將繪製好的空氣濾清器3D實體圖 ( 有濾棉 ) 匯入有限元素軟體，首先設定元素型態為Solid187，該元素為3D實體元素，不需設定結構實體常數 ( Real constant )。Solid187為3維10節點實體，每個節點有x,y,z位移方向之3個自由度，元素都具有二次位移，適用於不規則網格。該元素具有塑性，超彈性，應力強化，大變形，大應變之特性，也可減少自由網格所造成精度不佳的問題。材料參數主要設定楊氏係數 ( Young' s modulus )、蒲松比 ( Poisson Ratio ) 和密度 ( Density )，材質選擇聚丙烯 ( Polyethylene )，然後設定網格切割選擇六面體 ( Hex ) 元素；接著設立空氣濾清器挾持條件，為架上之鎖附點；接著輸入廠商提供之壓力值；最後設定邊界條件，選擇要分析的項目進行分析，最後得到分析結果與實驗分析做比對，驗證其正確性。反之，若有錯誤或誤差太大，就必須回到前處理部份，調整材料參數或者邊界條件設定，找出問題所在，再重新進行分析。

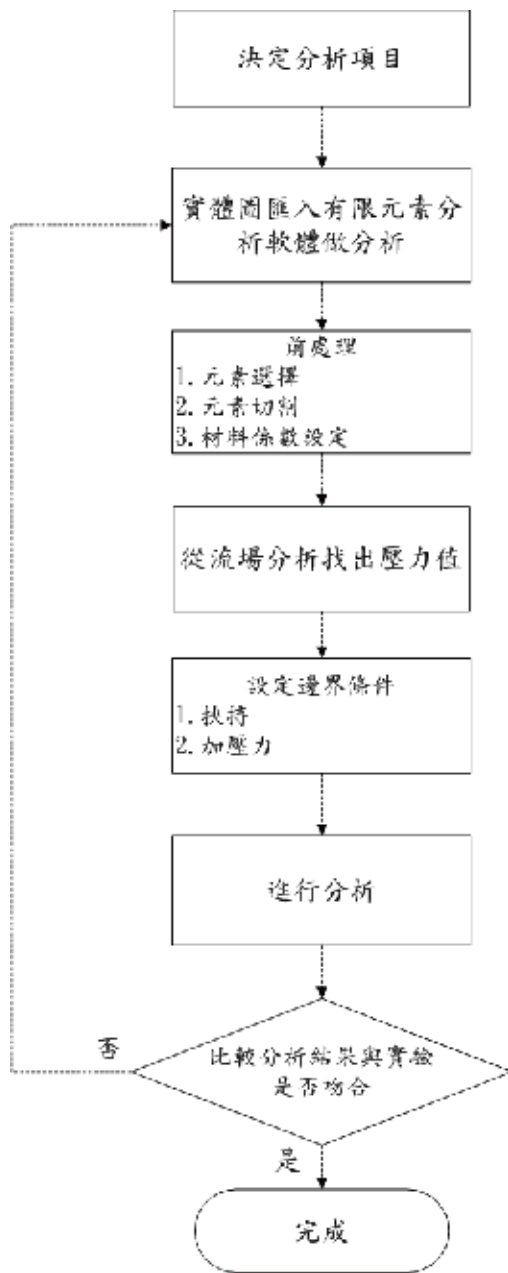


圖1 有限元素分析流程圖

## 2.2 實驗分析

本實驗主要分成三部份。第一部份是在測量空氣濾清器之噪音衰減，在開始量測之前，將儀器設備架設至無響箱及設定妥當，先以喇叭播放混音頻或單音頻至空氣濾清器進口端，測量出進出口音頻及音壓，由麥克風將空氣濾清器進出口端內部訊號傳至頻譜分析儀，經由頻譜分析儀做快速的傅利葉轉換，得到空氣濾清器的頻率響應圖，再從頻率響應圖中找出進口端主音頻，接著再以同樣方式量測空氣濾清器出口端，再計算其衰減量，就可以與其他對策與式樣的結果比較其衰減性，如圖2所示。

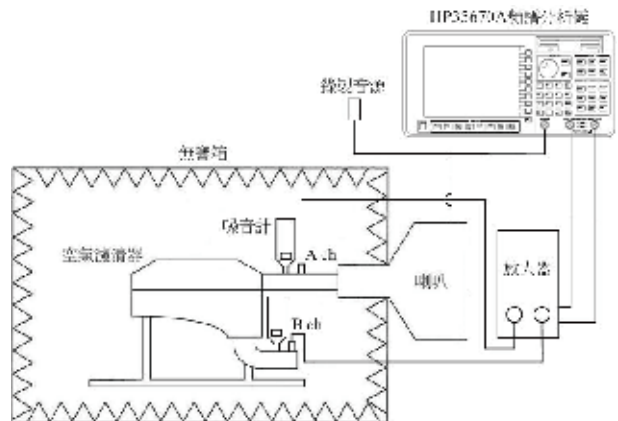


圖2 氣流音實驗儀器整體示意圖

第二部份是在量測空氣濾清器之結構音，在開始量測之前，也是將儀器設備架設及設定妥當，在固定架平板上放置沙包，使平板能保持穩固狀態，不會因為聲音播放時整體結構因振動造成量測不準確，空氣濾清器與夾治具的固定方式，是以兩端鎖附點做固定，接著以喇叭播放聲音至空氣濾清器本體，使其產生振動，距離主要振動點五公分，在由噪音計擷取訊號，確認結果無錯誤之後做十次平均值，就可以將實驗結果儲存，並繪製圖表。圖3為結構音實驗儀器整體示意圖。

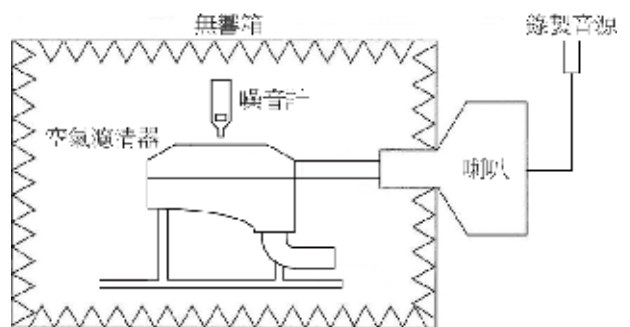


圖3 結構音實驗儀器整體示意圖

第三振動部份，原空氣濾清器固定端不變，然後在底板上推上沙包讓結構保持穩固狀態，當聲音播放至空氣濾清器時產生振動，開始由雷射位移感測器擷取訊號，傳至頻譜分析儀的輸入端，頻譜分析儀將所擷取訊號，透過快速傅利葉轉換，轉換成頻譜分析圖，得出空氣濾清器之振動量，接著在不同的面上量測七點，圖4為振動量測實驗儀器整體示意圖。三部份實驗流程圖如圖5所示。

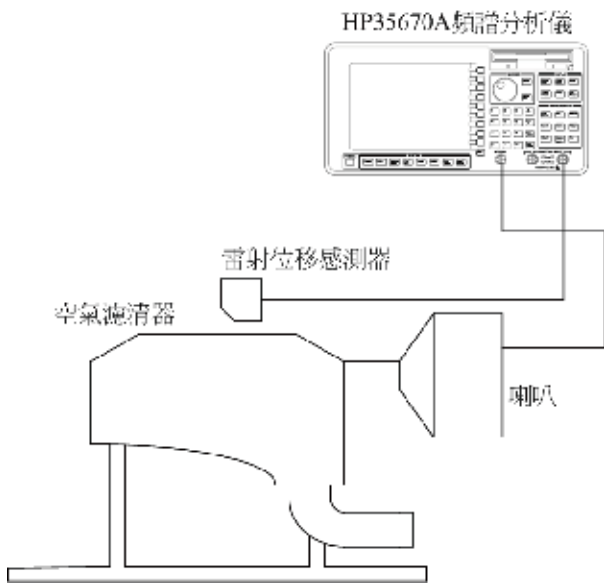


圖4 振動量測實驗儀器整體示意圖

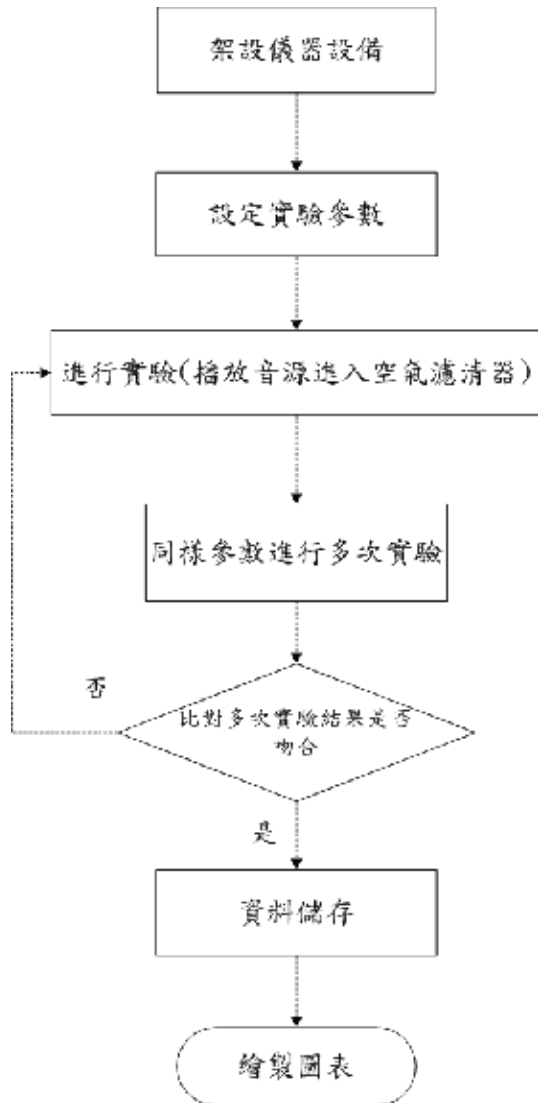


圖5 空氣濾清器噪音量測流程圖

### 2.3 流場分析

量測空氣濾清器實際尺寸後，使用電腦輔助設計軟體 (Pro/ENGINEER) 設計出空氣濾清器 (無濾棉)，再運用電腦繪圖軟體 (Gambit) 建構出空氣濾清器 (無濾棉) 圖形與內部網格型態，在進口端與出口端做邊界條件壓力值設定，因內部壓力小於一大氣壓，所以邊界條件都給負壓，接著運用計算流體力學分析軟體 (Fluent) 算出空氣濾清器 (無濾棉) 出口端流量的變化；圖6為流場分析整個流程圖。

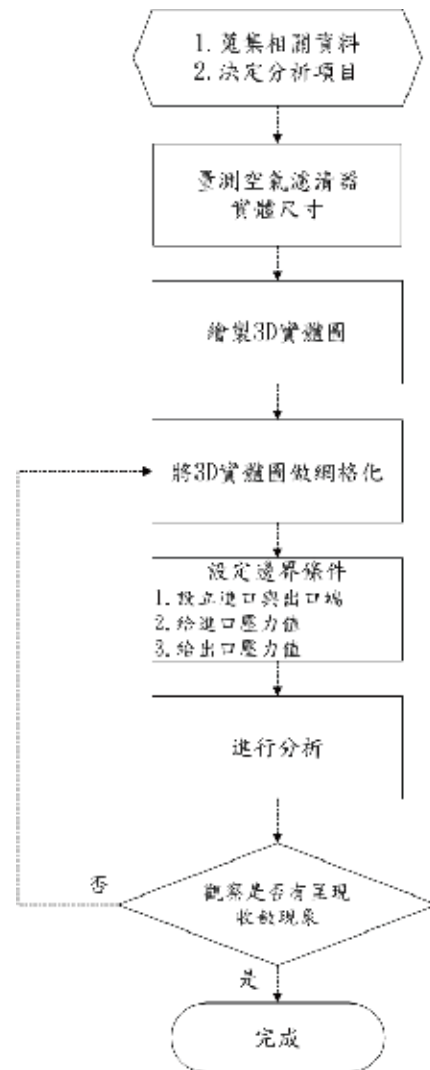


圖6 流場分析流程圖

### 三、有限元素分析結果

本研究分析的對象為華洋公司所生產LEA7機車機種之空氣濾清器做為分析基礎樣式，電腦輔助設計軟體 (Pro/ENGINEER) 建構LEA7空氣濾清器3D實體圖，如圖7所示。



圖7 空氣濾清器3D實體圖

將3D實體圖建立網格化，在以華洋公司所提供的壓力值，在進口邊界條件與出口邊界條件做設定，利用有限元素分析軟體找出空氣濾清器的變化對於自然頻率、振幅、頻率響應和強度的影響。有限元素分析元素切割，如圖8所示，設立壓力值和空氣濾清器挾持條件，為架上之鎖附點，如圖9所示。

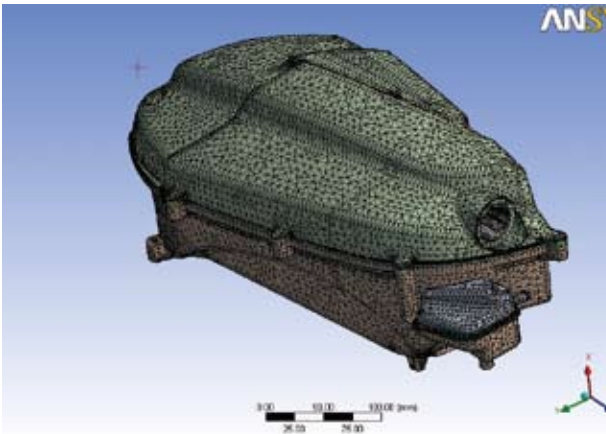


圖8空氣濾清器元素切割

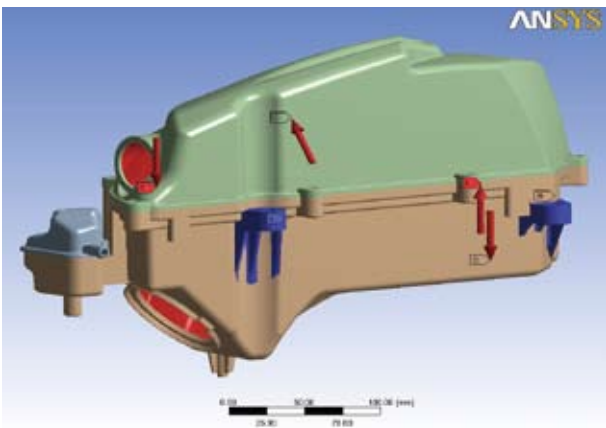


圖9空氣濾清器挾持條件

圖10所示為空氣濾清器在有限元素位移量分析，而最大位移量約7.2857 mm；圖11所示為應力分析最大處88.792 MPa；取有限元素分析位移量最大處做振動量實驗分析第四點，稱之為主要振動點。表1為空氣濾清器前四個自然振動頻率。

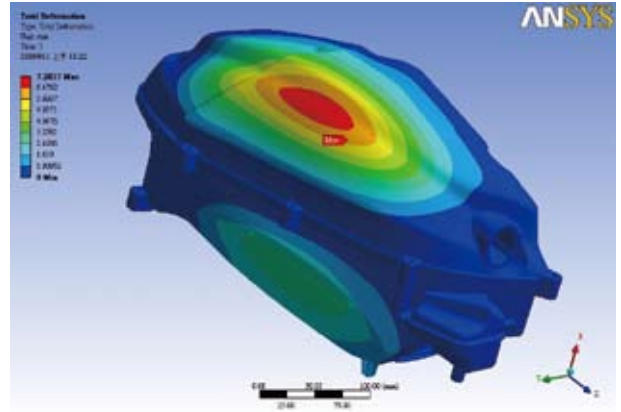


圖10空氣濾清器位移量分析最大處

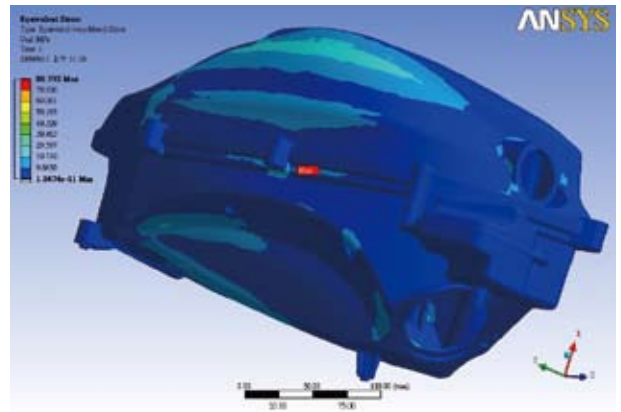


圖11空氣濾清器位應力分析最大處

表1空氣濾清器自然振動頻率

Mode	Frequency (Hz)
1	106.99
2	171.86
3	248.76
4	265.99

## 四、實驗分析結果

### 4.1 吸氣音衰減實驗結果

由改變上蓋式樣加肋當中提出七種改善對策，這七種改善對策所對應之型式，如表2所示。加肋之混音主音頻出口端量測以A3、A6、A7的57.31275Hz較佳，如表3所示；加肋之混音音壓出口端以A3的下



降幅度最大19.961dB，如表4所示。

原式樣與對策A3及A2(另一式樣，華洋提供。)做單音頻100Hz~10kHz實驗並繪製成圖，如圖12及13所示，對策A3出口端衰減曲線表現較佳；做單音頻的音壓100Hz~10kHz實驗並繪製成圖，如圖14及15所示，對策A3出口端衰減曲線表現較佳。

表2 改變上蓋對策-加肋對應之型式

對策	型式
原式樣	肉厚4.0mm直肋
A1	肉厚4.0mm無肋
A2	肉厚5.5mm方肋
A3	肉厚4.0mm蜂巢肋
A4	肉厚4.0mm三角肋
A5	肉厚4.0mm圓肋
A6	肉厚4.0mm吸音棉
A7	肉厚4.0mm玻璃纖維

表3 加肋之混音主音頻

對策	出口端(Hz)
原式樣	64.33139
A1	64.33139
A2	64.33139
A3	57.31275
A4	60.72075
A5	60.72075
A6	57.31275
A7	57.31275

表4 加肋之混音音壓

對策	出口端(dB)	下降(dB)
原式樣	89.179	15.611
A1	93.255	11.846
A2	89.491	15.635
A3	86.913	19.961
A4	88.072	17.096
A5	87.031	18.022
A6	85.211	19.536
A7	85.627	18.153

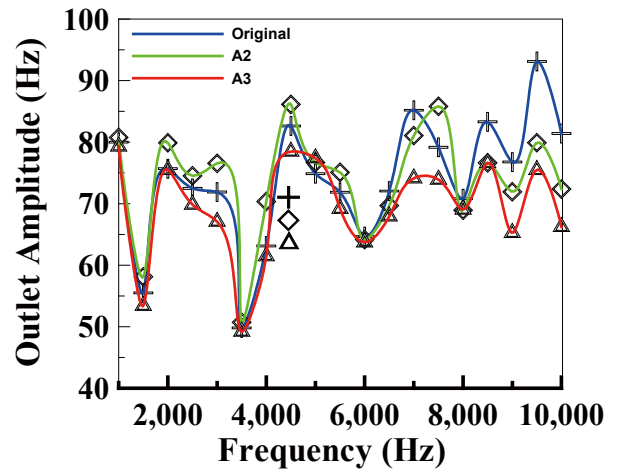
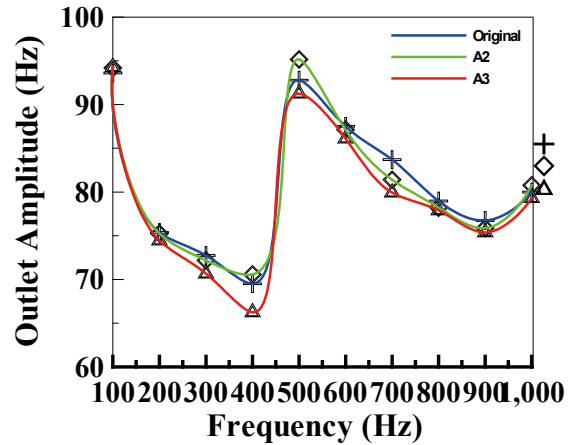


圖12 加肋之出口端單音頻曲線100Hz~1kHz

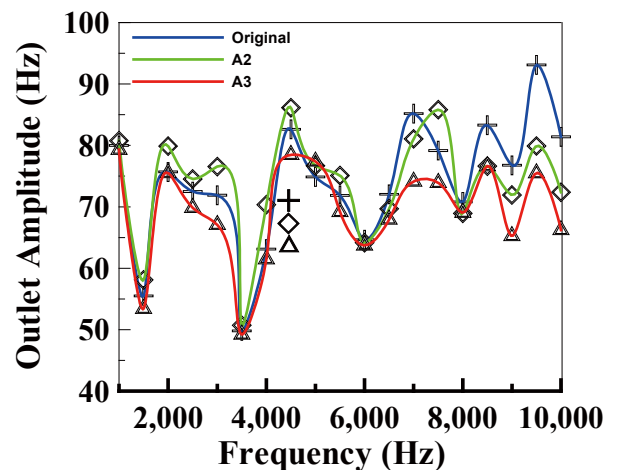


圖13 加肋之出口端單音頻曲線1kHz~10kHz

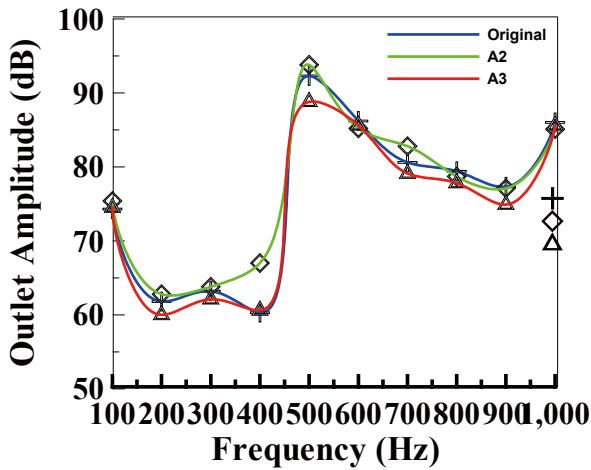


圖14 加肋之出口端單音頻音壓曲線100Hz~1kHz

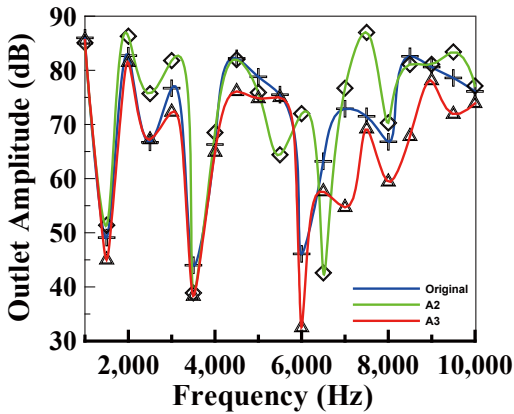


圖15 加肋之出口端單音頻音壓曲線1kHz~10kHz

#### 4.2 振動量實驗結果

取有限元素分析位移最大處與振動量實驗分析的第四點，稱之為主要振動點，如圖16所示。表5所示為原式樣與對策A1~A7振動量，原式樣主要振動點10.959051mm/s<sup>2</sup>，可看到對策A3主要振動點下降至3.0749911mm/s<sup>2</sup>，抑制振動效果較佳，圖17為原式樣與A2及A3主要振動點比較。

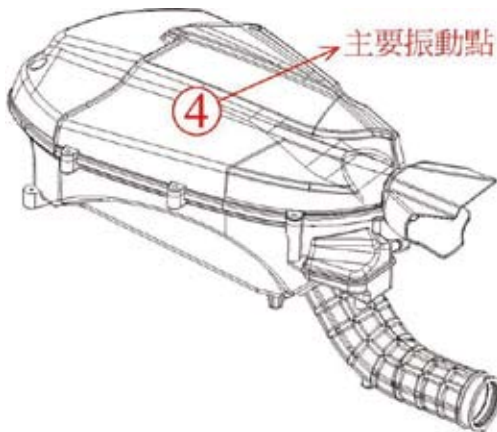


圖16 空氣濾清器主要振動點

表5 原式樣與對策A1~A7振動量

對策	主要振動點
原式樣	10.959051
A1	12.697978
A2	8.9849733
A3	3.0749911
A4	9.0266958
A5	9.4201286
A6	6.3941073
A7	3.236802

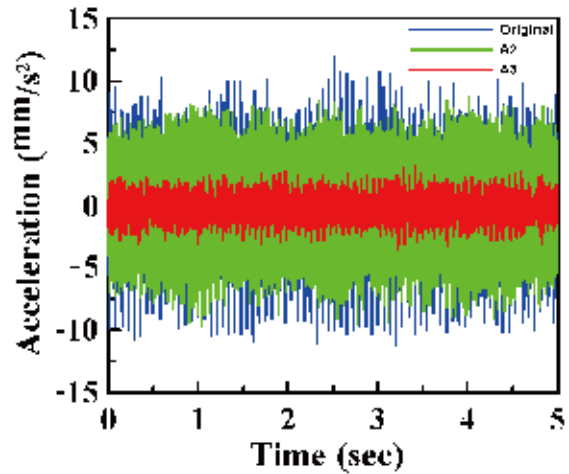


圖17 原式樣與A2及A3主要振動點比較

#### 4.3 結構音衰減實驗結果

由表6可看出原式樣主要振動點結構音為61.646dB，對策A3主要振動點結構音為55.261dB，比原式樣衰減下降6.385dB。

表6 原式樣與對策A1~A9結構音

對策	主要振動點(dB)
原式樣	61.646
A1	61.958
A2	57.533
A3	55.261
A4	55.729
A5	55.407
A6	58.112
A7	56.965

## 五、流場分析結果

進口端壓力設為-30.4006Pa，出口端壓力設為-725.6921Pa，表7為對策A出口端流場分析結果，由分析的數據都在0.0297 kg/s跟0.0298 kg/s左右，可看出加肋對出口端流量影響不大，圖18為對策A流場分析出口端流量曲線圖。

表7 加肋之出口端流場分析結果

實驗流量值	模擬流量值	對策
kg/s	kg/s	
0.0295995	0.0297437	O、F
	0.0297459	A1
	0.0297760	A2
	0.0298352	A3
	0.0298499	A4
	0.0298027	A5

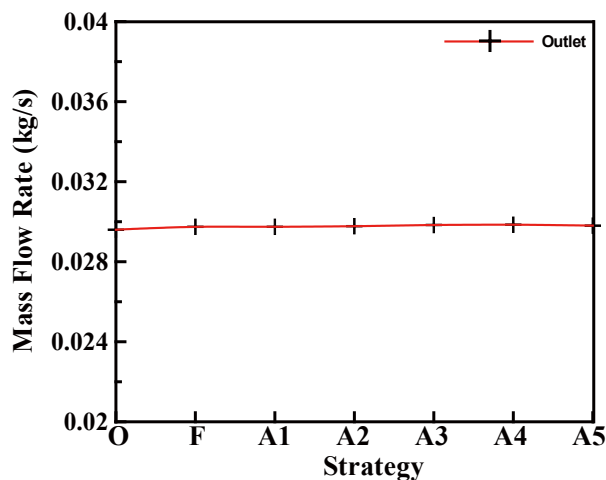


圖18 對策A流場分析出口端曲線圖

## 六、結論

本研究運用有限元素針對空氣濾清器之振動特性做相關的探討，且配合流場分析做出口端流速相關的驗證。同時針對研究結果做出對策，進而找出最佳化參數值，以提供工程師作為設計時之參考依據，綜合以上分析結果作了幾點結論：

1. 有限元素與實驗分析之空氣濾清器的位移分析結果，其主要振動點確實在上蓋第4點，故可證實此實驗的正確性。由分析所找出空氣濾清器的自然振動頻率，為空

氣濾清器特性頻率，在做整體設計時應盡量避開濾清器振動特性頻率，避免產生共振，否則長時間的共振，可能使材料加速疲勞，造成空氣濾清器的損壞。

2. 對於加肋效果而言，對策A3（改變上蓋式樣-加蜂巢肋）效果最佳，吸氣音衰減及位移值都比原式樣低。氣流音衰減比原式樣下降4.35dB；結構音音衰減比原式樣下降6.385dB。
3. 振動量實驗結果得知，對策A3（改變上蓋式樣-加蜂巢肋），其振動量比原式樣要低，較為穩定。對策A2（改變上蓋式樣-肉厚5.5 mm方肋），其振動量比原式樣要低，但比對策A3要高。對策A1（改變上蓋式樣-無肋），其振動量比原式樣較高，較不穩定。在此證明加肋型式的重要性。
4. 流場分析得知，上蓋加肋對策對於出口端流量影響並不影響。

## 參考文獻

1. Brands, M.C. "Helmholtz Tuned Induction System for Turbocharged Diesel Engine", SAE 790069, 1979.
2. Hussain, A.K.M.F. and Ramjee, V., (1976) Effect of the Axisymmetric Contraction Shape on Incompressible Turbulent Flow, Journal of Basic Engineering, pp.58-69.
3. Rao S. S., (1982) The Finite Element Method in Engineering, New York Pergamon International Library.
4. Swinderman, R. Todd (1988) "Martin engineering company: a leader in bulk solids handling. a company profile," Bulk Solids Handling, v 8, n 1, p 129-131.
5. Coz, J.F.L., S. Henriot, and P. Pinchon (1990) AN Experimental and Computational Analysis of the Flow Field in a Four-Valve Spark Ignition Engine-Focus on Cycle-Resolved Turbulence. SAE paper No.900056.
6. Lebrere, L. and B. Dillies (1996) Engine Flow Calculations Using a Reynolds Stress Model in the Kiva-II Code. SAE paper No.960636.
7. Murphey, Robert (2000) "Advances in engine filtration media," Filtration and Separation, v 37, n 10, Dec, 2000, p 20-23.

8. Huang, David T., ( 2004 ) “A simulation approach for prediction and reduction of radiated noise of an air cleaner snorkel” , Finite Elements in Analysis and Design, v 41, n 1, p 31-47.
9. Novak, Colin; Ule, Helen ( 2004 ) “Use of sound quality metrics for the analysis of automotive intake noise,” Canadian Acoustics - Acoustique Canadienne, v 32, n 3, p 100-101.
10. Hao, Zhi-Yong; Jia, Wei-Xin ( 2005 ) “Virtual design and performance prediction of a silencing air cleaner used in an I.C. engine intake system,” Journal of Zhejiang University: Science, v 6 A, n 10, p 1107-1114.
11. 呂卓勳 · Elmar David · 鄭仁杰 · 孫宏川 · ( 1997 ) · “速克達型機車噪音源之診斷技術應用” · 中華民國音響學會第十屆學術研討會論文集 · pp. 407-416 。
12. 張志平 · ( 1998 ) · “ 應用田口方法於汽車空氣濾清器製程不良率之改善” 行政院國家科學委員會計畫案 。
13. 邱聖棻 · ( 1999 ) · 壓縮流場的低雷諾數紊流模式分析 · 大葉大學機械工程研究所碩士論文 · 60頁 。
14. 李坤燃 · ( 2002 ) · 呼吸過濾器的空氣流場分析 · 長庚大學機械工程研究所碩士論文 · 63頁 。
15. 喬軍平 · ( 2004 ) · 轎車外流場的數值模擬 · 北京航空航天大學車輛工程碩士論文 · 53頁 。
16. 陳志雄 · ( 2005 ) · 引擎空氣濾清器流場效率分析 · 國立屏東科技大學機械工程研究所碩士論文 · 98頁 。
17. 吳啟榮 · ( 2005 ) · 機車引擎散熱罩與風扇之流場與散熱效果改良：實驗與計算分析 · 國立台灣科技大學機械工程研究所碩士論文 · 210頁 。
18. 寧燕 · ( 2006 ) · 汽車外流場的數值模擬 · 中國農業大學車輛工程碩士論文 · 57頁 。
19. 朱曉明 · 張敏興 · 楊榮華 · 賴晉圓 · ( 2006 ) · 機車新式樣空氣濾清器之設計與性能測試 · 第四屆精密機械與製造技術研討會論文集 · A08 : 01-09 。
20. 朱曉明 · 簡文通 · 劉建亨 · ( 2007 ) · 空氣濾清器內流場數值模擬與量測 · 第五屆精密機械與製造技術研討會論文集 · E05 : 01-10 。
21. 劉建亨 · ( 2007 ) · 四行程引擎與空氣濾清器流場數值模擬與量測 · 國立屏東科技大學機械工程研究所碩士論文 · 89頁 。
22. 程國城 · ( 2007 ) · 汽渦輪機葉片之應力與振動分析 · 華梵大學機電工程研究所碩士論文 · 106頁 。
23. 藍琦瑁 · ( 2007 ) · 電力變壓器外殼之應力與振動分析 · 華梵大學機電工程研究所碩士論文 · 86頁 。
24. 朱建安 · ( 2008 ) · 高排氣量空氣濾清器之應力與振動分析 · 正修科技大學機電工程研究所碩士論文 · 90頁 。