

中華民國音響學會第十四屆學術研討會論文集

目錄

專題演講一

公寓建材之隔音性能改善

Improvement of sound insulation of building materials to the noise problem in apartment houses

演講者：Dr. 山下充康 Mitsuyasu Yamashita. Japan-----P-1

翻譯者：陳炯堯

專題演講二

音樂廳音響

Concert Hall Acoustics

演講者：Dr. 安藤四一 Ando Yoichi. Japan-----P-5

翻譯者：陳炯堯

A1 基礎聲學、電氣聲學、水中聲學、數位語音系統、量測及訊號處理 (一)

A1-1 平板聲輻射之適應性主動控制----- 1

陳國在、黃思銘

A1-2 冷卻風扇噪音品質檢驗之探討----- 9

王栢村、洪振毓

A1-3 超音波在含球狀粒子複合材之波傳研究----- 17

楊瑞彬

A1-4 微極性波傳理論在多孔性材料之運用----- 25

夏紹毅

A1-5 發聲球系統之座標定位----- 33

蕭肇殷、鄧錦坤、黃靖仁、蔡炆龍

A1-6 銑削進給深度與粗糙度及噪音之相關性的灰色預測----- 41

鄧錦坤、蕭肇殷、蔡信興、鄧永宜

A2 基礎聲學、電氣音響、水中音響、數位語音系統、量測及訊號處理 (二)

A2-1 紡織業勞工聽力損失評估研究----- 49

張淑如、陳秋蓉、邱士剛

A2-2 鐵路噪音 Leq (1hr) 預測之檢討----- 57

郭宏亮、盧天鴻

A2-3 單一噪音事件擷取之研究----- 63

陳啟光

冷卻風扇噪音品質檢驗之探討 Discussions on the Sound Quality Inspection of Cooling Fans

王栢村¹ 洪振毓²
國立屏東科技大學機械工程系

摘要

本文主要目的在探討冷卻風扇噪音品質檢驗之分析，利用懸臂樑式測試基座來固定風扇，分別在風扇不同的電壓即不同的轉速之下，藉由麥克風量測風扇轉動時所產生之聲音訊號，將所量到之訊號傳入頻譜分析儀作分析，舉出 9 種噪音指標作為風扇品質之依據，經實驗分析驗證，可依指標 B 或結合其他指標之綜合考慮作為冷卻風扇噪音線上品質檢測之依據。

ABSTRACT

This paper presents the experimental methods for sound quality inspection of cooling fans. A cantilever beam fixture that can also be used for vibration level inspection is proposed to support the cooling fans. The fans are operated at different levels of voltage inputs resulting in different rotational speeds. Microphones are used to measure the sound pressure level emitted from the cooling fans. An analyzer can then process the measured sound signals. Nine noise indices are established to quantify the sound quality of cooling fans. Experimental results show that index B is the most suitable one and other indices can also be incorporated for practical sound quality inspection.

一、前言

Barlow[1]指出現在的散熱方式有很多種，不過以目前最常見的散熱方式還是以冷卻風扇為主流，其應用範圍相當的廣泛，例如電源供應器、CPU、硬碟抽取盒等等。根據工業技術研究院對於目前散熱風扇產業專題研究報告中指出[2]，1996 年全世界市場上對於散熱風扇需求量大約是 2 億 3000 萬個，而我國產量就佔了全世界市場的 41%，所以冷卻風扇的性能以及品質是提升競爭力的所在。

Chin[3]提到一般個人電腦，冷卻系統是主動及被動裝置的組合，使更能達到冷卻的效果。不過利用冷卻風扇來達到冷卻的目的，卻會引發電磁干擾以及使用者難以忍受的雜音。Kiyomi[4]提及由於使用者的要求，使得「低噪音」在冷卻風扇設計上已成為一個重要的因素，因此製造廠商不僅要求如何減低噪音的產生，且需要一個精確而有效的量度方法。然而目前對於小型冷卻風扇之品質檢驗，大多以人工的方式，利用觸覺以及聽覺來判斷其振動量或噪音量之大小，其缺點是準確度低，又易造成誤判，難免有失客觀。有鑑於此建立一套可量化之量測方法與設備，以檢測風扇之振動量有其必要性以及實用上之需求，何展效和江文旺[5]文中對風扇振動及噪音有提出個別的測試方法，如噪音測試有 1.聲功率量測，2.聲強量測，3.噪音頻譜分析，及 4.噪音值量測。

本文目的在藉由麥克風的量測分別就 5 組風扇在不同的電壓即不同的轉速之下，量測風扇轉動時所產生之聲音訊號，將所量到之訊號傳入頻譜分析儀作分析，最後分析並探討風扇噪音品質檢驗的預測模式，並建立冷卻風扇噪音品質指標。

二、冷卻風扇噪音實驗量測

在做風扇噪音實驗量測時，利用設計之懸臂樑式測試基座來固定風扇，藉由麥克風的量測分別就 5 組風扇在不同的電壓即不同的轉速之下，量測風扇轉動時所產生之聲音訊號，並

傳入頻譜分析儀作分析，最後分析並探討風扇噪音品質檢驗的預測模式，並建立冷卻風扇噪音品質指標。

2.1 實驗儀器架構及頻譜分析儀螢幕之設定

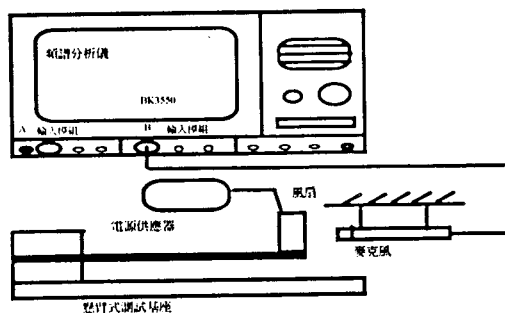
實驗架構情形如圖一所示，其所用儀器型號表如表一所示，將麥克風接於訊號分析儀之 B 輸入模組，將風扇以蜂臘固定在懸臂樑之自由端上方，出風口方向向內，而麥克風置於距風扇入風口 1 公分處，麥克風距離風扇的位置並無一定的標準，以實際量測到噪音值為準，所以本實驗以 1 公分做基準。其實驗主要在 8V、10V、12V、14V 及 16V 不同電壓下分別將 5 組風扇量測到的聲音訊號傳入雙頻道分析儀作分析。

實驗過程中，首先必須完成頻譜分析儀的設定，在本實驗中 5 組冷卻風扇所量測到的最高轉動頻率為 248Hz，而實驗之風扇為 7 個葉片 3 個肋支撐結構，所以在頻寬設定至少要大於轉動頻率乘以 7 個葉片數乘以 3 個肋數， $248 \times 7 \times 3 = 5208$ 故取 6.4kHz，取頻譜分析儀最高解析條數為 800 條，因為實驗中對噪音值之振幅的大小要有明確的解析，所以選擇對振幅有較好解析的 FLAT-TOP 加權函數；根據黃[6]之建議在量測之設定及速度考慮下，平均次數設定為 100 次，量測時間為 13 秒。

2.2 冷卻風扇噪音頻譜分析及品質指標分析探討

在做噪音實驗量測之前必須量測實驗室背景噪音的大小，當風扇量測到噪音頻譜的峰值若高於背景噪音 10dB 以上就表示量測所得之值是有效的可進一步做噪音頻譜分析。經實驗結果發現，實驗室的背景噪音頻譜如圖二所示，而冷卻風扇所量測到之典型噪音頻譜如圖三所示，其各頻率之噪音值都比背景噪音值還高於 10dB 以上，所以實驗得到的數據是可信賴的，可進一步做噪音品質指標探討分析。

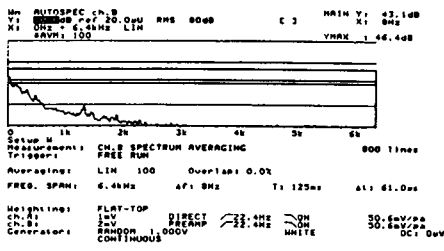
而圖三為 1 號風扇在正常電壓下運轉所量測得到的噪音頻譜圖，從圖可明顯看出在 192Hz、1344Hz、2688Hz 和 4032Hz 有出現噪音尖峰值。此風扇的轉動頻率為 192Hz，因



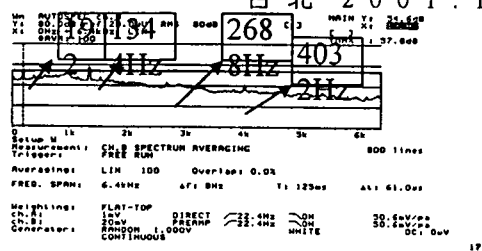
圖一、風扇噪音量測實驗架構圖

表一、噪音實驗儀器型號一覽表

儀器名稱	型號
頻譜分析儀	BK-3550
麥克風	BK-4190
電源供應器	GPC-3030D



圖二、實驗室背景噪音頻譜



圖三、1 號風扇正常電壓下運轉噪音

此在 192Hz 處會有較高之轉動噪音值產生，風扇有 7 個葉片，因此在 7 倍轉動頻率 1344Hz 處也會出現尖峰值，而此噪音尖峰值主要來自葉片所產生的風切音，風扇外殼有 3 根肋支撐結構，所以在 14 倍轉動頻率 2688Hz 處及 21 倍轉動頻率 4032Hz 處也會出現尖峰值，此噪音尖峰值為葉片與肋結構所產生的風切噪音。

再來就要來分析探討冷卻風扇噪音品質指標，而在冷卻風扇噪音品質指標的奠定方面將分成兩大方向來分析探討：

- A. 同風扇不同電壓下風扇噪音品質分析探討。
- B. 相同電壓下不同風扇之風扇噪音品質分析探討。

A. 同風扇不同電壓下風扇噪音品質分析探討

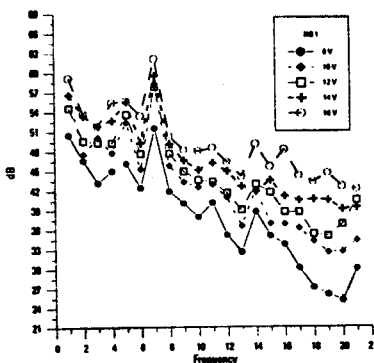
為了更方便區分比較 5 組風扇之間的關聯性將其轉動頻率及其 21 個倍頻處之噪音值用曲線圖畫出以利於分析比較，如圖四(a)至(e)所示為同風扇不同電壓下 5 組風扇的噪音值曲線圖，由對應之訊息得知如下：

1. 當輸入的電壓值越大，也就是說風扇轉速越快則其噪音值也就會越大。
2. 在 21 個倍頻中以第 1、7、14 及 21 倍頻處會有較明顯的波峰值出現，也證明了之前所推測風扇主要的噪音之來源處，為 1 倍頻風扇振動噪音值，7 倍頻為 7 個葉片所產生的風切音值，14 及 21 倍頻為葉片與肋所產生的風切音值。

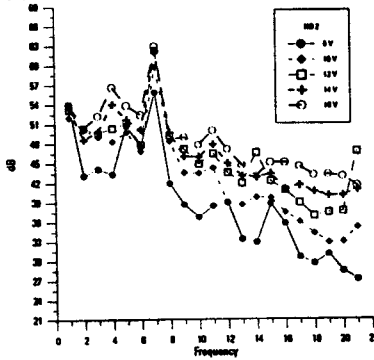
B. 相同電壓下不同風扇噪音品質分析探討

為了進一步了解這 5 組冷卻風扇在噪音頻譜上的特性，再從相同的電壓下不同風扇的觀點來分析探討風扇噪音品質問題，如圖五(a)至(e)所示為相同電壓下 5 組風扇的噪音曲線圖，由圖對應之訊息得知如下：

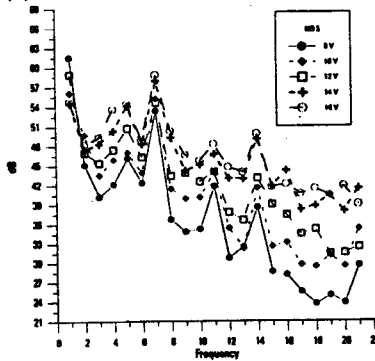
1. 在 7 倍頻處有最大噪音值出現，分別是電壓 8V 時 1、2 及 4 號風扇，電壓 10V 時 1、2、4 及 5 號風扇，電壓 12V 時 1、2 及 4 號風扇，電壓在 14V 及 16V 時 5 組風扇的最大噪音值全都出現在 7 倍頻處。在 7 倍頻處有最大噪音值出現顯示其風扇的葉片與空氣摩擦所產生的影響大過於來自風扇結構本身所產生的噪音。
2. 在轉動頻率處有最大噪音值出現，分別是電壓 8 V 時 3 及 5 號風扇，電壓 10 V 時 3 號風扇，電壓 12 V 時 3 號風扇。在轉動頻率處有最大噪音值出現顯示其風扇本身不平衡質量所引起的效應。
3. 在 3 倍頻處有最大噪音值出現，為電壓 12V 時 5 號風扇。在 3 倍頻處有最大噪音值出現是風扇內部結構裝配不良所引起的，可能原因是軸不對心或是軸承潤滑不良等因



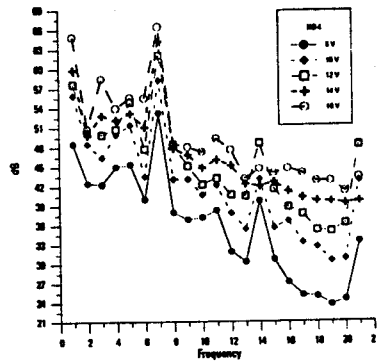
(a)1 號風扇



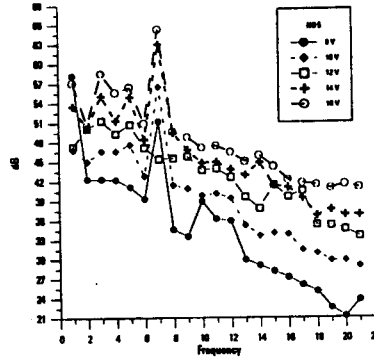
(b)2 號風扇



(c)3 號風扇



(d)4 號風扇



(e)5 號風扇

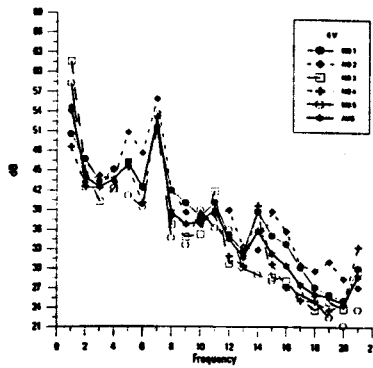
圖四、同風扇不同電壓下各倍頻之噪音曲線圖

素，因為風扇是屬於旋轉機器的一種，對於旋轉機器而言，在 3 倍頻處有最大值產生是屬於軸不對心所引發而造成風扇噪音的產生[7]。

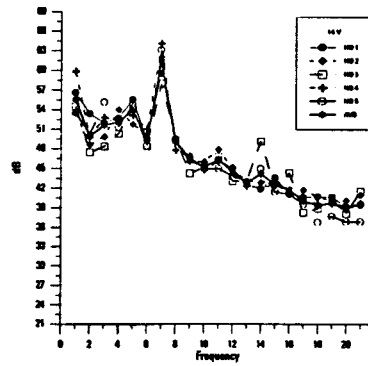
三、冷卻風扇噪音品質指標檢驗標準之建立

經過上一節冷卻風扇噪音品質分析探討後，本節接下來就要建立冷卻風扇噪音品質指標之標準，以利於往後在各種型式風扇噪音品質指標的建立。如表三所示，為九種噪音品質指標之定義及其物理意義說明，其檢驗標準係依據統計的方式，以指標 B 為例，表示如下，

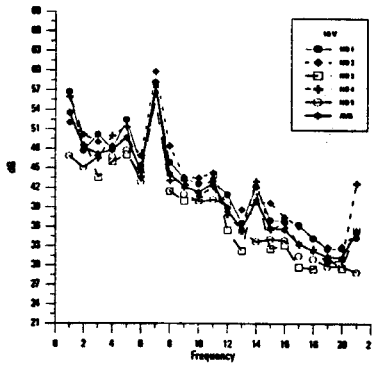
$$E_{all} > E_{all,avg} + \alpha \sigma_{E_{all}} \quad (1)$$



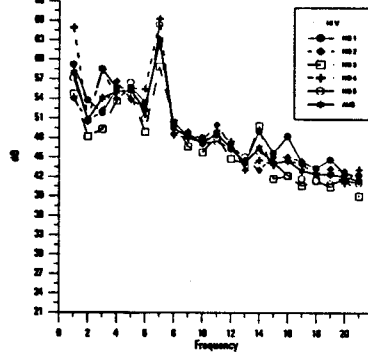
(a) 8V



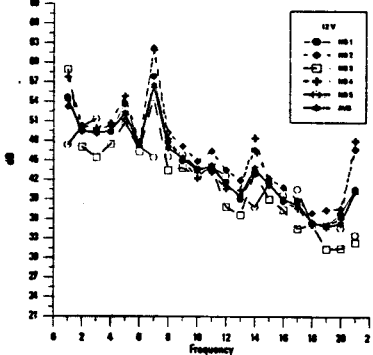
(d) 14V



(b) 10V



(e) 16V



(c) 12V

圖五、同電壓不同風扇下各倍頻之噪音曲線圖

其中， E_{all} 為風扇全部倍頻之噪音能量， $E_{all,avg}$ 為風扇噪音能量平均值， α 為一常數值，在本次 α 的設定上設為 0， $\sigma_{E_{all}}$ 則為冷卻風扇噪音能量標準差。

將冷卻風扇噪音品質分析所探討出來九個指標依序代入品質指標 1 式中，經過比較分析得表四及五，分別為大於平均值的風扇，從這二個表的數據可以看出下列幾個訊息：

1. 利用指標 A 的方法，將所需要的數據代入所建立之冷卻風扇品質指標方程式中，從表四中可以明顯的看出 1、2 及 4 號風扇是屬於噪音品質不合格的一群風扇。
2. 從表五正常電壓下所分析出的結果顯示，1、2 及 4 號風扇也是屬於品質不良的風扇。
3. 指標 B 是取全部倍頻的噪音值來做噪音品質分析，經代入品質指標公式後得到 1、2 及 4 號風扇也是屬於噪音品質不良的風扇。除了在電壓 16V 時 5 號風扇之噪音值會有偏高的趨勢，這是因為電壓越高，轉速越快則噪音越大所引起的效應。

表三、風扇之噪音品質指標設定

指標	噪音品質指標表示式	物理意義	標準
A	$P_i, i=1,2,3,\dots,21$	同電壓不同風扇之特性比較	$P_i > P_{i,avg} + \alpha\sigma P_i$
B	$E_{all} = \sum_{i=1}^{21} P_i$	風扇頻域下所含概之面積為噪音能量	$E_{all} > E_{all,avg} + \alpha\sigma E_{all}$
C	$E_1 = \sum P_i, i=1,7,14,21$	風扇較高噪音值倍頻處之能量	$E_1 > E_{1,avg} + \alpha\sigma E_1$
D	$E_2 = E_{all} - E_1$	除較高噪音倍頻外其他倍頻之能量	$E_2 > E_{2,avg} + \alpha\sigma E_2$
E	$E_{VB} = P_1 + P_7$	轉動頻率及葉片倍頻處之噪音能量	$E_{VB} > E_{VB,avg} + \alpha\sigma E_{VB}$
F	$E_B = P_7 + P_{14} + P_{21}$	葉片及肋之影響倍頻處噪音能量	$E_B > E_{B,avg} + \alpha\sigma E_B$
G	$R_1 = \frac{E_1}{E_{all}}$	較高噪音倍頻下之能量與風扇噪音能量之比值	$R_1 > R_{1,avg} + \alpha\sigma R_1$
H	$R_2 = \frac{E_2}{E_{all}}$	除較高噪音倍頻下之噪音能量與風扇噪音能量之比值	$R_2 > R_{2,avg} + \alpha\sigma R_2$
I	$R_B = \frac{E_B}{E_{all}}$	葉片及肋倍頻噪音能量與風扇噪音能量之比值	$R_B > R_{B,avg} + \alpha\sigma R_B$

- 從指標 C 即 1、7、14 及 21 的倍頻噪音品質比較分析之後，得知 1、2 及 4 號風扇也是屬於噪音不合格的風扇，但是在 8V、10V 及 14V 時 3 號風扇的噪音值也是不合格的，可能因為振動大所引起的高噪音。
- 指標 D 除了 1、7、14 及 21 的倍頻噪音值外，比較得知 1、2 及 4 號風扇也是不合格的，而從指標 E 之 1 及 7 倍頻來比較也有相同的趨勢，值得注意的是在 8V、10V 及 12V 之 3 號風扇也是屬於不合格的風扇，這也驗證 4 的結果 3 號風扇是屬於振動大所引起的高噪音。
- 從指標 F 葉片與肋作用下之風切音的觀點比較得之，1、2 及 4 號風扇的風切音值對整體噪音值有蠻大的影響。
- 指標 G 為指標 C 及 B 之噪音能量比值，從結果得知 3 號及 4 號冷卻風扇是不合格的風扇，這是因為此 2 個風扇在 1、7、14 及 21 的倍頻處有較高的能量，而在其它倍頻處則是能量偏低也就是說高者恆高，低者恆低。
- 指標 H 為指標 D 及指標 B 之噪音能量比值，是除 1、7、14 及 21 倍頻外其他倍頻和風扇全部能量之比，從結果得知 1、2 及 5 號風扇是不良的風扇，而 5 號風扇可能是好的，或者其他雜音之影響，這也驗證 7 的結果。
- 指標 I 為指標 F 及指標 B 之比值為葉片及肋影響對整體風扇噪音能量比，從結果得知 3 和 4 號風扇是屬於不合格的風扇，這是因為此 2 組風扇在葉片的風切噪音值大之影響。

表四、指標 A 所求得之大於 $P_{i,avg}$ 之風扇數

電壓 倍頻	8V	10V	12V	14V	16V
1	3,5	1,3,4	1,3,4	1,4	1,4
2	1,3	2,3,4	1,2,4,5	1,5	1,4
3	1,2	1,2	1,2,4,5	1,4,5	4,5
4	1,4	1,2,4	2,4	1,2,4	1,2,5

5	1,2,3	1,2,4	1,4	1,3,5	1,4,5
6	1,2,3	1,2	1,2,4	2,4	1,2,4
7	2,3,4	1,2,4	1,2,4	1,4,5	4,5
8	1,2	1,2	1,2,4	1,2,3,5	1,3,5
9	1,2,3	1,2,4	2,5	1,4,5	1,2,5
10	1,5	1,2,3	1,2,5	2	1,2
11	1,2	1,2,3	2	2,3	2,4
12	1,2,5	1,2,5	1,2,5	1,2,4	2,4,5

13	1,2,3	1,2	2,4,5	2,3,5	2,5
14	1,3,4	1,3,4	2,4	3,5	1,3
15	1,2	1,2	1,2,4,5	1,2,4	1,2,5
16	1,2	1,2,4	2,5	3	1,2,4
17	1,2	1,2	1,2,5	1,2,4	1,2,4
18	1,2	1,2,4	2	1,2,4	1,2
19	1,2	1,2	1,2,4,5	1,2,3	1,2,4
20	1,2	1,2	1,2,4	1,2,4	1,2
21	1,3,4	3,4	1,2,4	2,3	1,2,4

電壓 指標	8V	10V	12V	14V	16V
B	1,2	1,2,4	1,2,4	1,2,4	1,4,5
C	3,4	1,2,3,4	1,2,4	3,4	1,4,5
D	1,2	1,2,4	1,2,4,5	1,2,4	1,2,4
E	2,3,5	1,2,3,4	1,2,3,4	4	1,4,5
F	1,3,4	1,2,4	1,2,4	2,3,4	1,4,5
G	3,4,5	3,4	1,2,3,4	3,4	3,4,5
H	1,2,5	1,2,5	5	1,2,5	1,2
I	3,4	3,4	1,2,4	2,3,5	3,4,5

表五、指標 B 至指標 I 相同電壓下不同風扇比較出大於 E_{avr} 或 R_{avr} 的風扇

表六、指標優缺點之比較

指標	優點	缺點
A	可得知 5 組冷卻風扇之全部訊息	所得之資訊太多，且不太明確
B	含概風扇全部資訊，是屬於單一指標值容易應用	1、7、14 及 21 主要倍頻如果噪音值不高，但整體噪音能量高會造成誤判
C	以直接得到影響風扇主要噪音來源影響，是屬於單一指標值	缺少其它倍頻之影響，顯得不客觀
D	了解除了主要噪音源外其他倍頻噪音之影響，是屬於單一指標值	缺少主要噪音倍頻之訊息，資訊來源顯得不足
E	可了解轉動頻率及 7 個葉片之風切音所構成之影響，是屬於單一指標值	缺少其它倍頻之影響，資訊來源不足
F	直接得到葉片及肋的風切噪音訊息，是屬於單一指標值	缺少其它倍頻之影響，資訊來源不足
G	可知道 1、7、14 及 21 等 4 個主要噪音源對應風扇能量的關係，是屬於單一指標值	易造成高能量恆高，低能量恆低的結果
H	可知道除了 1、7、14 及 21 等 4 個主要噪音源其於倍頻噪音能量對應風扇能量的關係，是屬於單一指標值	與指標 G 結果一樣，易造成高能量恆高的結果低能量恆低的結果
I	了解葉片與肋所形成之風切音與風扇能量之間的關係，是屬於單一指標值	只能了解葉片與風扇能量之間的關係且跟指標 G 也有同樣的缺點，資訊來源不足

四、結果與討論

經過上述九種噪音品質指標定義及分析比較結果將分別其指標之優缺點敘述如表六所示，由其指標各優缺點的判別得知：

1. 指標 A 在輸入的資訊上很齊全，但是也因此易造成不太明確之判斷。
 2. 指標 B 是單一指標值，可呈現整體總噪音量的特性，所得到的訊息也比較明確，在未來冷卻風扇指標之選擇可作為冷卻風扇噪音品質之指標。
 3. 指標 C 至 F 皆屬於較客觀的呈現出風扇噪音之特性，在資訊來源上顯得不足，要作為冷卻風扇噪音品質指標需相互之間的配合。
 4. 指標 G 至 I 為能量上的比值，屬於單一指標，只能了解單一方面之資訊，且會造成能量有高者恆高，低者恆低之趨勢，作為噪音品質指標需要其他指標之間的配合。
- 因此在一連串的分析 and 比較驗證下，以指標 B 作為冷卻風扇噪音品質指標是比較合適的，而其他指標均有其意義，有助於了解冷卻風扇噪音之來源分析，亦值得深入探討。

五、結論

本文目的主要是在建立冷卻風扇噪音品質檢驗之模式及噪音品質指標，從冷卻風扇噪音頻譜分析了解到風扇主要的噪音來源，至不同風扇相同電壓下及相同風扇不同電壓下風扇噪音所呈現出的特性，也驗證了之前所推測的假設，最後也定義出九種噪音品質指標來分析探討，在一連串的實驗分析比較之後選擇指標 B 作為冷卻風扇噪音品質指標是可行的，在未來可依指標 B 作為冷卻風扇噪音品質之判斷，而其他指標亦可作為風扇在設計改善上之依據。

六、參考文獻

1. Barlow, B., 1990, "A Guide to Selecting Cooling Fans," *Electronic Packaging & Production*, Vol. 6, No. 12, pp. 48-49.
2. 陳有斌、應台發，1997，*散熱風散產業專題研究*，工業技術研究院光電所。
3. Chin, S., 1986, "Keeping the PC Cool," *Electronic Products*, Vol. 29, No. 8, pp. 47-50.
4. Kyiome, N., 1985, "Automatic Small Motor Noise Measuring Equipment," *IEEE Trans. On Industry Applications*, Vol. 21, No. 4, pp. 899-905.
5. 何展效、江文旺，1992，「風扇噪音振動測試技術」，*機械工業雜誌*，第3期，第145-178頁。
6. 黃崇杰，1988，*基於振動量之冷卻風扇品質檢驗*，碩士論文，國立屏東科技大學機械研究所。
7. B&K. Inc. 1985, "Machine-Health Monitoring," Denmark