

娛樂營業場所低頻噪音之調查

The low frequency noise survey of entertainment establishment and business places

周禮中¹ 徐淵靜² 郭宏亮³ 余忠和⁴ 陳建維⁵

摘 要

關鍵字：低頻噪音、娛樂場所、營業場所

依據行政院環境保護署統計資料顯示，娛樂營業場所噪音陳情數歷年來均居噪音陳情案件數首位，但其中有許多案件為符合一般噪音（20Hz 至 20 kHz）之管制標準但民眾仍不斷陳情者。究其原因除民眾主觀感受外，有部分問題乃是該等噪音之組成特性具有低頻特性。本調查研究乃針對屢遭民眾陳情之娛樂及營業場所，其使用如冷卻水塔、冷氣機、抽風機、冷凍櫃及大型冰箱等具有低頻噪音特性設施，收集並參考國外先進國家之研究報告，進行實地量測上述設施其噪音及頻譜後，針對其噪音頻率分布及低頻範圍音量進行分析，以作為訂定噪音低頻部分（20Hz 至 200Hz）管制標準之參考。

A b s t r a c t

Keywords : Low frequency noise, business places, entertainment establishment

According to the statistical data of petition cases from EPA, the noise from entertainment establishments and business places was the first place among all the noise complaint cases. Although the noise measured from some of the complaints cases conformed the noise control standard (20Hz-20kHz), but the complainants still petitioned afterward. Besides the subjectively sensation of each complainant, some of the cases were because of the low frequency characteristic. This study focused the noise from cooling towers, air conditions, fans, refrigerators of entertainment establishments and business places. Refer to the reports of developed countries, and measured the noise from above-mentioned places. The data were analyzed and then provided to the EPA for reference of low frequency(20Hz-200Hz).

一、研究緣起與目的

由於民眾環保意識提昇及對生活品質要求提高，對於噪音的容忍度隨之降低，歷年來噪音污染陳情案件呈現遞增趨勢。因此行政院環境保護署（以下簡稱環保署）於民國 93 年起，乃委託專案針對噪音組成特性進行探討，決定低頻噪音之頻率範圍為（20Hz

¹ 周禮中，行政院環境保護署空氣品質保護暨噪音管制處技正

² 徐淵靜，中國科技大學建築系教授

³ 郭宏亮，高雄醫學大學通識教育中心兼任教授

⁴ 余忠和，歐怡科技股份有限公司總經理

⁵ 陳建維，歐怡科技股份有限公司經理

至 200Hz)，從而制定了低頻噪音管制標準，並已於 94 年起公告娛樂場所及營業場所低頻噪音管制標準。回顧其制定過程，依環保署統計年報，民國 78 年全國全年噪音陳情案件數為 10,883 件，至民國 92 年已達 31,659 件。在 92 年的陳情案件中，以音源別而言，以娛樂場所及營業場所（40.90%）、工廠（19.05%）及營建工程（17.97%）為主，三者合計達 77.92%；就陳情方式而言，以電話或口頭陳情為主（81.65%），其次為網路陳情（8.68%）。而就處理情形而言，以無法監測或未發現污染源為主（56.59%），其次則為符合標準（27.51%），兩者合計達 84.1%。在處理結果方面，92 年實際受到限期改善、罰鍰、罰鍰並再限期改善、按日連續處理、停工停業者等處分者共 2,867 件，佔整體噪音陳情案件數量約 9%；亦即表示有 9% 係屬超出噪音管制標準者。但陳情案件數逐年上昇，可能原因除了民眾對居家環境及自身權益不斷提昇、陳情管道增加、土地使用住商混雜等等因素之外，對於管制標準的合宜性亦必須進行檢討。由各地方環保局所反應的案例中發現，有不少陳情案件經多次稽查仍屬符合標準，可是陳情人依舊持續陳情，推究其原因，除了民眾主觀感受外，這些案例的音源多來自冷卻水塔、抽排風機、冷凍櫃、大型冰箱及部分娛樂場所、營業場所，而這些音源的特性經頻率分析後，在 200Hz 頻率以下所佔比重較高。

「噪音管制標準」是採用「A」加權評估指標，這也是國際通用的頻率加權，但「A」加權會對低頻部分的頻率有較多（相對於中、高頻）的衰減，如與中高頻一起計算，相對地就比較無法評價出這類噪音問題的干擾，故環保署乃針對低頻噪音收集國外相關研究文獻、量測方法等進行研究，並針對佔陳情比例第一位的娛樂場所及營業場所進行噪音監測作業，以作為制定低頻噪音管制標準之參考。

二、相關研究及標準

本研究蒐集國際標準組織及德國、日本、荷蘭、丹麥等國在低頻噪音所訂的規範或標準。在量測方法的考量上，主要包含了評估指標、取樣時間以及量測位置等，同時在實務上必須尋求兼顧多年來既有的噪音管制標準中的方法，以避免加重稽查人員的負擔。

（一）人耳低頻範圍聽力

正常人耳可聽音之頻率範圍定義為 20Hz 至 20 kHz。惟實際上可聽到聲音頻率及音量範圍因人而異，而對於頻率較低聲音感受主觀反應(perception)和一般普通常聽的中、高頻(medium-frequency or high-frequency)並不相同。

1. 通常頻率在 20 Hz 以下的聲音，即超低頻噪音(infrasound)，一般人不太聽得到，可是當音量大到可感受時，人的感覺會有像心跳或振動的感覺，有些報告指出人耳會感到壓力的存在，同時當事人會有憂慮(uneasiness)以及焦慮(anxiety)的反應，像是有呼吸般頻率的壓力存在，此外 20 Hz 以下的聲音也會讓門、窗或玻璃製品輕微振動作響，令人感到不快。
2. 頻率在 20 Hz - 60 Hz 的聲音，人耳依稀可以聽得到，當事人會覺得腦中有振動或壓力等產生響聲(booming)，而感受的程度與聲音的響度(loudness)僅有稍微的關係(slightly dependent)。又如同 20Hz 以下頻率，到了某一個強度時，門窗會振動，產

生二次噪音。

3. 當聲音頻率超過 60 Hz，人耳可以如對一般聲音一樣聽得到，但由於有純音成份 (Pure tone component)，會讓人感到不舒服，尤其當背景音量較低的狀況下，更會讓當事人感覺到它的存在，此外頻率超過 60 Hz 的聲音並不會引起門、窗或玻璃製品的振動。
4. ISO 226 將人耳最小聽力閾值以及人耳對不同頻率其音量大小的感受採用「響度 (Phon)」評估指標，並且繪出 20 Hz 至 20 kHz 等響度曲線，當聲音頻率為 1 kHz 時，音量增加 20 dB，響度 Phon 值增加 20 Phon；當聲音頻率為 20 Hz 時，音量同樣增加 20 dB，響度 Phon 值確增加 40 Phon，比 1k Hz 聲音多出 20 Phon，即低頻噪音因為所對應的 Phon 值的增加程度會超過比 dB 數的增加程度，同時由於聽力較靈敏的人（統計上排受測人數前 10%）其最小聽力閾，較一般聽覺靈敏程度的人（統計上排受測人數 50%）低將近 10dB，因此當低頻噪音的音量對於一般聽覺靈敏程度的人尚未達到困擾的情形時，但對聽力較靈敏的人，因為相同音量他（她）所感受到的響度較大，該低頻噪音可能已經對其產生生活上的影響干擾。

(二) 評估指標

國際上對低頻噪音的頻率範圍並沒有一致性的定義，德國、日本和波蘭同樣訂在 10Hz – 80Hz 頻率範圍，丹麥訂在 10Hz – 160Hz 頻率範圍，瑞典訂在 31.5Hz – 200Hz；在訂定低頻噪音的容許值或參考值方面，共有兩種類型，分別為：

1. 對各頻率之音量訂出容許值。
2. 對所訂定低頻音頻率範圍，訂出總量容許值。

第一種類型以德國、日本和波蘭為代表，德國和日本分別對於 10Hz – 80Hz，瑞典則對 31.5Hz – 200Hz 各 1/3 八音度中心頻率音量訂出各別頻率的容許值（日本則為參考值，若有任一個中心頻率測值超過就做為是否有低頻噪音問題存在的判定依據）；丹麥則採第二種類型是對 10Hz – 160Hz 頻率範圍的聲音採 A 加權總量管制，依據室內用途（如住家、辦公室或商業使用）以及不同時段（日間或夜間）訂出不同的容許值，分別自 20 分貝到 35 分貝不等。

德國 DIN 45680 標準中採用了 1/3 八音度頻譜之均能音量以及最大音量兩種評估指標，而丹麥則是採用 10Hz 至 160 Hz 頻率範圍之 A 加權均能音量 $L_{pA, LF}$ ，而我國先前噪音管制標準只採用 20Hz 至 20 kHz，視音源音量隨時間變化的情形來決定採用 A 加權均能音量 L_{Aeq} 或 A 加權最大音量 L_{Amax} ，對於穩定性噪音或隨機變動的噪音採用均能音量指標；對於間歇性且每次音源產生音量大小大致一定時，則採用最大音量做為指標。並未特別對低頻部分訂有管制標準。

(三) 量測取樣時間

採用均能音量 L_{Aeq} 做為評估指標，就必須定義量測取樣時間，德國 DIN45680 對量測取樣時間長短僅做概略性的要求，取樣時間的長短需要能涵蓋一個或數個重覆的音量周期變化；荷蘭所進行的調查量測取樣時間為 10 分鐘，扣除背景噪音影響的訊號，低頻噪音有效量測時間平均約 8 分鐘；丹麥建議對於音量持續性變動的音量，量測取樣時

間至少 5 分鐘，若噪音源特性為間歇性噪音，則取樣時間為 10 分鐘。

(四) 量測位置

1. 德國 DIN 45680 標準：在室內門、窗關閉狀況下，麥克風放置位置選擇室內音量最大的地方，無論聲音是來自空氣傳遞或固體傳遞的位置，而且是人們較長停留的地方（例如長沙發、床舖等），倘若上述地點靠近牆壁，則麥克風需距離牆壁至少 0.5 公尺。
2. 荷蘭研究報告：量測位置為室內，麥克風放置在臥室，離地高 1 至 1.5 公尺，距離牆角壁面 0.4 至 0.5 公尺處。
3. 丹麥管制標準：原則上量測時門、窗需關閉，但若住戶要求時可以增加門、窗打開狀況下的測試。量測位置為住戶認為室內音量最高的位置，若住戶無法指出室內音量最高的位置，量測者得自行尋找判定，但量測位置要能代表房間用途的住戶活動位置，而且需離牆壁面或大型家具 0.5 公尺以上，離地面高 1 至 1.5 公尺。

一般的環境噪音量測多選擇在室外，但由於低頻噪音係著重於低頻部分，該頻率範圍容易受到風的影響，在室外只要有輕微的風就會影響量測結果，同時室外測點也量不到建築物牆壁面等結構振動所產生的固體音，此外低頻聲音的陳情處所也以室內居多，又低頻部分波長比較長，在房間內易產生干涉、駐波之現象而放大音量，因此上述國外的調查、標準以及低頻噪音法規，量測位置多以室內為主。

三、量測計畫與量測調查結果

本研究有關低頻噪音之監測工作，主要以透過各縣市環保局提供的稽查資料作書面篩選方式為主，以人員現勘選點方式為輔，量測地點包含冷卻水塔、冷氣機、抽風機等設施及具重低音喇叭場所所影響民眾住家室內指定位置共 100 處。

(一) 測點選定原則

1. 分別請台北市、台北縣、台中縣、嘉義縣、台南市、高雄市、高雄縣等七個縣市提供過往陳情稽查資料以進行書面篩選。
2. 以環保局提供被民眾陳情嚴重者為主（如冷卻水塔、冷氣機、抽風機等設施及具重低音喇叭場所）。
3. 以書面篩選測點屬未超過現行噪音管制標準但又屢遭陳情者。（為第一優先）
4. 以書面篩選測點屬未超過現行噪音管制標準採勸導改善方式者。（為第二優先）

各縣市環保局所提供的資料經初步篩選後，再進行後續現勘工作，為避免屋主誤解，均由縣市環保局人員陪同現勘，依據稽查人員和屋主適合的時間敲定現勘日期，而後由環保局人員陪同本研究調查小組人員進行現勘確認量測地點，時間充裕時則可現場進行量測，或由本研究調查小組人員與屋主洽商後續量測時間。

(二) 監測地點

100 處低頻噪音現場量測，測點分佈情形為基隆市 4 處、台北市 31 處、台北縣 13 處、桃園縣 1 處、台中縣 4 處、嘉義市 3 處、嘉義縣 3 處、台南市 22 處、台南縣 9 處、高雄市 4 處及高雄縣 6 處，合計 100 處。

(三) 量測儀器

為研判噪音頻率分布情形，本研究使用噪音量測儀器符合國際標準 IEC 60651：1979、IEC 60804：1985、ISO 7196：1995、IEC 61672-1：2002 一型噪音計及 IEC 61260：1995 規範之 SVANTEK945A 噪音計。

(四) 監測調查資料分析

在所完成的 100 處調查低頻噪音量測資料，均將現場所測得 1/3 八音度頻譜紀錄於噪音計內，並將資料下載到電腦成為原始資料，再由原始資料依據計畫目的做進一步的分析：

1. 各測點之 1/3 八音度頻譜(1 Hz – 20 kHz)：為未加權之 10 分鐘均能音量 $L_{eq, 10min}$
2. 各測點之 1/3 八音度頻譜(20 Hz – 20 kHz)：10 分鐘均能音量 $L_{eq, 10minA}$ 加權音量。

本次調查中，多數噪音源都是在營業時段運轉，不容易停機量測背景噪音，加上本次調查為執行研究計畫，而非環保局執行陳情稽查作業，為避免噪音源所有人或操作者誤解，造成不必要的誤會，所以並沒有拜訪噪音源所有人或操作人要求停機來量測背景噪音，因此量測結果係包含了背景噪音，但為避免室內低頻噪音之影響，量測時將量測點週遭之電冰箱、冷氣機、冷凍庫、洗衣機、電扇等可能產生低頻噪音之設備予以關機。由於測點都是在室內，建築物的外牆建材對中、高頻的噪音有較佳的隔音效果，因此分析上以室內「關窗」的量測結果為主。

(五) 調查結果之主要頻率分析

低頻噪音很多是來自於轉動機械的噪音源，例如冷卻水塔、空調機等，這類轉動機械的噪音音量會集中在某些主要頻率上，尤其在夜深人靜、背景噪音較低時，由於噪音音量集中在主要頻率，聽起來更加清晰，更容易讓人感受到它的存在。這類轉動機械主要頻率 Hz 數與機械轉速以及風扇葉片數有關。德國 DIN 45680 提出若某一個 1/3 八音度頻率之音量較前後相鄰頻率的音量高出 5dB，則噪音源有純音(tone)的特性，如圖 1。

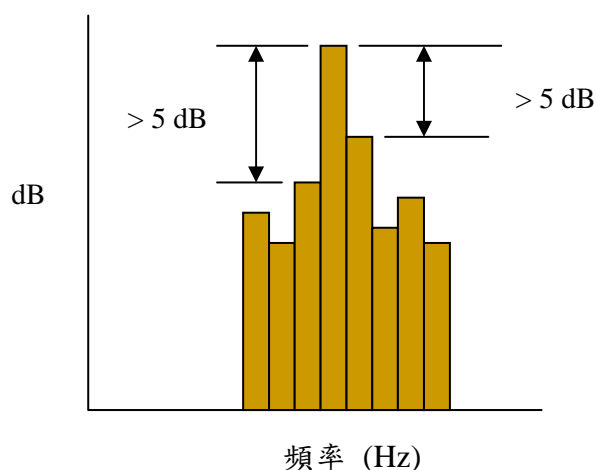


圖 1 純音判定條件

依據德國的純音(tone)判定條件做為找出轉動機械的噪音主要頻率方法，我們將各測點 1/3 八音度各頻率音量和前後頻率音量比較，以找出是否有高出 5 分貝的主要頻率存

在，圖 2 以及圖 3 分別為在「關窗」以及「開窗」狀況下所測得噪音頻譜中符合判定條件之主要頻率分佈圖。

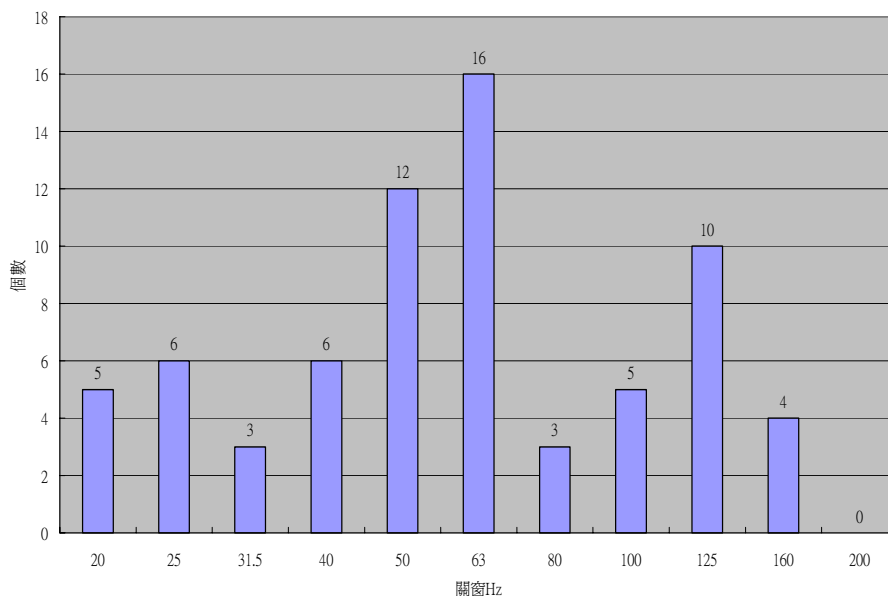


圖 2 主要頻率分析（關窗狀況）

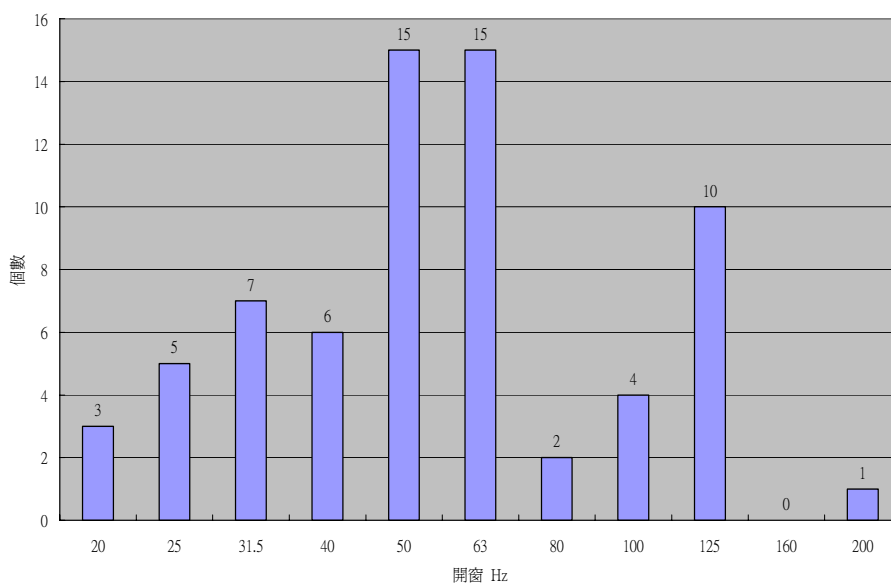


圖 3 主要頻率分析（開窗狀況）

在「關窗」狀況下共計有 70 個符合判定條件之主要頻率；在「開窗」狀況下則有 68 個。而主要頻率分佈 20Hz–200Hz 之間，其中以 50Hz 和 60Hz 兩個頻率所占個數最多，再其次則為 125Hz，三者占全部數量約 57%，又 180Hz 與 200Hz 也相當多，並沒有主要頻率發生在 20Hz 以下的案例。

綜合所調查 100 處測點的主要頻率分佈，以及環保局在噪音儀器採購上的方便性，建議我國低頻噪音量測頻率範圍訂在 20Hz–200Hz 可符合此次低頻噪音量測結果。

(六) 調查結果之音量大小範圍分析

將所調查之 100 處測點在「關窗」狀況下的噪音量測結果，取 20Hz - 200Hz 範圍低頻噪音音量，經 A 加權後加總後成為低頻噪音均能音量，分別依據音源種類及音量大小統計如表 1；音量值由大到小排列如表 2。

表1 音源種類及低頻噪音量大小分佈統計

單位：dB(A)

	< 30	30-35	35-40	40-45	45-50	>50
冷卻水塔	0	6	30	9	10	5
空調系統	2	3	9	7	2	1
抽風機	0	4	2	2	5	3
總計	2	13	41	18	17	9

表2 100處低頻噪音量由大到小排列

單位：dB(A)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	54.8	53.8	52.1	51.1	50.8	50.8	50.0	49.7	49.6	48.7
10	48.4	47.8	47.3	47.3	47.1	46.9	46.4	46.3	46.2	45.8
20	45.4	45.3	45.2	44.7	44.2	43.8	43.6	43.3	43.2	42.9
30	42.8	42.6	42.3	42.2	41.9	41.1	41.0	40.8	40.7	40.0
40	39.7	39.7	39.4	38.8	38.7	38.7	38.4	38.3	38.3	38.3
50	38.1	38.0	37.7	37.7	37.4	37.2	37.1	37.0	36.9	36.9
60	36.8	36.7	36.7	36.5	36.4	36.0	35.6	35.6	35.4	35.4
70	35.2	35.2	35.0	34.7	34.7	34.6	34.0	33.9	33.9	33.7
80	33.6	33.3	33.2	33.2	32.8	32.8	32.2	31.4	31.2	30.3
90	30.1	29.7	29.7	29.6	29.2	28.8	27.9	27.8	23.4	21.6

表 2 中音量最大者為排列編號 01 - 54.8 dB(A)；最小的為排列編號 100 - 21.6 dB(A)。倘若管制標準日間時段訂在 40 dB(A)，則不合格率約為 40%；若訂在 35 dB(A)，則不合格率約為 70%；若訂在 30 dB(A)，則不合格率約達 90%。

四、結論與建議

- (一) 本研究所研擬的低頻噪音源管制主要對象為冷卻水塔、冷氣機、抽風機等設施以及具重低音喇叭場所，前者設施皆為風扇、馬達等轉動件所發出噪音，屬於音量穩定性噪音源，後者重低音喇叭屬於音量隨機變動性噪音，這兩者的音量變動特性適合以均能音量 L_{Aeq} 做為評估指標，而且在執行上也能和現行的噪音管制標準有一致性，故對於低頻噪音量測規範之評估指標建議採用 A 加權均能音量 L_{Aeq} 。
- (二) 當時我國噪音管制標準規定均能音量量測時間不得少於 8 分鐘，考慮到噪音管制的一致性，低頻噪音的量測取樣時間宜與噪音管制標準所規定者相同。

- (三) 本次調查時並未發現有超低頻噪音問題(主要頻率在 20Hz 以下),且考量目前防音技術,所以並不規範 1Hz 至 20Hz 之超低頻噪音。
- (四) 本研究小組建議低頻噪音量測規範之量測位置同樣以室內為測點,選擇陳情人所指定其居住生活室內地點,並且為能代表陳情人房間用途人們較長停留或活動的地方(例如長沙發、床舖等區域),而且需離牆壁面或大型家俱 0.5 公尺以上,麥克風高度為離地面高 1 至 1.5 公尺,原則上量測時門、窗需關閉。
- (五) 綜合所調查 100 處測點的主要頻率分佈、噪音計功能以及其他國家所採行的範圍,本研究建議我國低頻噪音量測頻率範圍訂在 20Hz-200Hz 可符合現況。
- (六) 對於所建議訂定之低頻噪音頻率範圍,必須要考慮市面上低頻噪音儀器的取得是否容易?由於多數噪音計儀器製造廠其精密型噪音計附有 1/3 八音度頻譜量測功能機種,其最小量測 1/3 八音度頻率都可以量到 20 Hz,而少數噪音計製造商之最高等級噪音計(當然價格也較高)其 1/3 八音度頻譜功能可以到 12.5 Hz 或者更低,因此依據所調查結果之噪音源主要頻率分佈以及其後環保局採購噪音計之選擇性,建議我國低頻噪音所定義的最小頻率自 20 Hz 起可符合低頻噪音管制使用,並不需參照德國或丹麥將下限定義在 10Hz。
- (七) 本研究成果後續經相關法制程序,環保署已於 94 年 1 月 31 日公告新增營業娛樂場所噪音管制標準。

五、誌謝

本文乃行政院環境保護署專案計畫研究成果之一,計畫編號為 EPA-93-F105-02-104。

六、參考文獻

1. Danish Environment Protection Agency, "Danish Guidelines on Environmental Low Frequency Noise, Infrasound and Vibration", 2002.
2. ISO 226 : 2003 "Acoustics- Normal Equal-Loudness-Level Contours"
3. Deutsches Institute für Normung, DIN 45680 : 1997 "Measurement and Evaluation of Low Frequency Environmental Noise"
4. 低周波音對策檢討委員會, "低周波音問題對應の手引書", 平成 15 年。日本。