

音響인텐시티法을 利用한 空調덕트消音器의 減音性能評價方法에 관한 研究

The Estimation of Sound Attenuation Caused by Duct Silencer Using Sound Intensity Method

*金 錫 洪 (Kim, Seok Hong)
**孫 章 烈 (Sohn, J. Y.)
***吳 在 應 (Oh, J. E.)
****金 興 植 (Kim, H. S.)

要 約

實驗室이 아닌 一般音場에서 音響인텐시티法을 利用하여 空調덕트 消音器의 減音性能 評價方法을 檢討하였다. 音響인텐시티法에 의한 減音量 測定値는 音圧法에 의한 測定値보다 理論値와 比較적 잘 一致하였으며, 음향인텐시티法은 音圧法에 比하여 音場條件에 따른 影響을 比較적 적게 받는 것으로 나타났다.

ABSTRACT

This paper is to suggest the test method of sound attenuation caused by absorptive duct silencer using sound intensity method in field. In order to estimate sound attenuation, sound power being radiated from sound power source and duct exhaust terminal was measured by the sound pressure method and sound intensity method in semianechoic and common room.

The results of the measured sound attenuation values by sound intensity method are more similar to those of theoretical calculation than those by the sound pressure method.

In addition, sound intensity method is much less influenced by sound field condition or continuous background noise than the sound pressure method.

*漢陽大學校 大學院 建築工學科
**漢陽大學校 建築工學科 教授
***漢陽大學校 機械工學科 教授
****漢陽大學校 建築設備·環境工學研究室

I. 序 論

建物内の音環境에 영향을 미치는 騒音源으로는 交通騒音이나 工場騒音등과 같이 建物외부에서 발생하는 것과 空調설비, 엘리베이터 등과 같이 建物内部에서 발생하는 것이 있다. 최근들어 公조설비가 채용되고 있는 대형건물에서는 밀폐창의 설치에 의하여 建物外部 騒音은 어느 정도 遮斷시킬 수 있게 되었으나, 室内의 덕트系統等으로부터의 騒音이 問題가 될 수 있다.

덕트系統의 騒音은 一般的으로 덕트 消音器에 의하여 제어하며, 消音器의 減音性能을 評價하기 위해서는 消音器에 의하여 減衰된 音響과위레벨을 測定해야 한다. 종래의 音壓法에 의하여 實驗室이 아닌 一般音場에서 音響과위레벨을 測定할 경우, 音場條件과 暗騒音의 영향에 따라 測定結果에 큰 오차가 생길 수 있다.

本 研究에서는 音場條件과 暗騒音의 영향을 비교적 적게 받는 音響인텐시티法을 利用하여 一般音場에서의 空調덕트 消音器의 減音量 測定方法 定立을 위한 기초자료를 제시하고자 한다. 또한, 음향인텐시티법에 의한 음향과위레벨測定時, 音場條件과 音源으로부터 測定面까지의 거리가 測定結果에 미치는 영향을 檢討하고자 한다.

II. 理論的 考察

1. 減音量 測定原理

減音量(Sound Attenuation)은 그림 1과 같이, 消音器 설치 前後의 덕트開口端의 音壓 또는 音響과위레벨差로부터 다음과 같이 定義된다.

$$Att = SPL' - SPL = PWL' - PWL [dB] \quad (1)$$

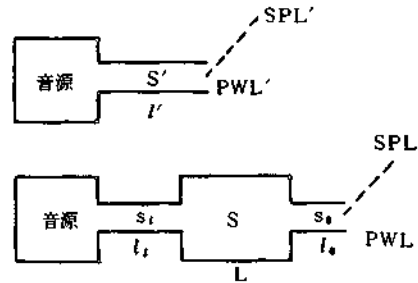


그림 1 減音量의 定義.

吸音型 消音器에 의한 理論的인 減音量은 다음과 같다.

$$R = 1.05 \alpha^{L^4} \frac{P}{A} \quad (2)$$

단, R : 減音量 [dB / m]

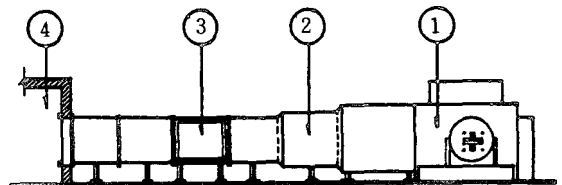
P : 空氣通過 斷面의 厚度길이 [m]

A : 空氣通過 斷面積 [m²]

α : 周波數帶域別 吸音率 [-]

ASTM 規格에 따르면 그림 2와 같은 實驗裝置에 의하여 一般덕트와 消音器를 同一길이만큼 交換附着하고 殘響室에서 測定한 消音器附着前後의 과위레벨差로부터 減音量을 算定하도록 되어 있다.

本 研究에서는 이러한 實驗原理를 응용하여 擴散音場(殘響室)이 아닌 一般音場에서 空調덕트消音器



- ① 送風機
- ② 音源BOX
- ③ 消音器
- ④ 殘響室

그림 2 덕트消音器의 減音性能 實驗裝置.

표 1 未處理 直管部の 自然減衰量[dB/m]

P/A [%m ²]	옥타브대역 中心周波數[Hz]		
	63	125	250 以上
12以上	0	0.9	0.3
12~ 5	0.9	0.3	0.3
5以下	0.3	0.3	0.3

의 減音量을 測定하였으며, 測定裝置는 그림 5 와 같다.

표 1 은 吸音處理하지 않은 直角덕트에서의 音源으로부터 거리에 따른 自然減衰量⁽¹⁾을 나타낸다.

2. 音響파워레벨 測定原理

前述한 바와같이 減衰音을 算定하기 위해서는 파워레벨을 測定해야 한다. 음향파워레벨 測定方法은 크게 音圧法과 音響인텐시티法으로 區分되며 各各의 測定原理는 다음과 같다.

① 종래의 音圧法

音場條件에 따라 測定方法이 달라지며 半自由音場과 一般音場에서의 음향파워레벨은 다음과 같이 測定한다.

a) 半自由音場

音源에 대하여 그림 3 과 같이 가상적인 測定面을 선정하고 各 測定點에서 測定한 音壓레벨로부터 音源의 音響파워레벨 L_w 는 다음과 같이 求한다.

$$L_w = L_p + 10 \log_{10}(S) \tag{3}$$

단, L_p : 測定面上的의 平均音壓레벨[dB]

S : 測定閉曲面的의 全体面積[m²]

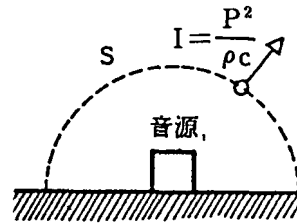


그림 3 半自由音場에서의 音壓法.

b) 一般音場에서의 音圧法

測定點은 半自由音場의 測定點에 準하여 선정하고 음향파워레벨 L_w 는 다음 式에 의하여 求한다.

$$L_w = L_p - 10 \log_{10} \left(\frac{1}{S} + \frac{4}{R_E} \right) \tag{4}$$

R_E : 周波數帶域別 室定數 = $\frac{A_E}{(1 - \alpha_E)}$ [m²]

α_E : 周波數帶域別 室의 平均吸音率[-]

A_E : 周波數帶域別 室의 吸音力 = $\frac{55.3}{C} \cdot \frac{V}{T_E}$ [m²]

C : 音速[m/s]

T_E : 周波數帶域別 殘響時間[s]

V : 室의 容積[m³]

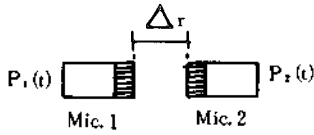
② 音響인텐시티法

音響測定法에는 종래의 音壓法 以外에 최근 연구가 급속히 進行되고 있는 음향인텐시티法이 있으며, 이 方法을 利用하면 音의 強度를 直接 測定할 수 있다.

a) 音響인텐시티 測定原理^{(2),(3)}

音場의 한 點P에서의 r方向의 音의 強度벡터 I_r 은 2點의 音壓P(t)와 粒子速度의 r方向成分 $U_r(t)$ 와의 곱을 時間平均으로 나타낸 것이다.

$$I_r = \overline{P(t) \cdot U_r(t)} \tag{5}$$



$$P(t) = \frac{P_1(t) + P_2(t)}{2} \quad (6)$$

$$U_r(t) \approx -\frac{1}{\rho_c \Delta r} \int_{-\infty}^t [P_2(t) - P_1(t)] dt \quad (7)$$

단, ρ_c : 空氣의 密度 $-$: 時間平均値

式(5)는 Δr 만큼 떨어진 位置의 音壓 P_1, P_2 로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_r \approx -\frac{1}{\rho_c \Delta r} \frac{P_1(t) + P_2(t)}{2} \int_{-\infty}^t [P_2(t) - P_1(t)] dt \quad (8)$$

한편, (8)式의 關係를 Fourier 변환에 의하여 周波數領域으로 表示하면 $f_1 \sim f_2$ 의 주파수 대역의 音의 強度 $I_r(f_1 \sim f_2)$ 은 다음과 같이 된다.

$$I_r(f_1 \sim f_2) \approx -\frac{1}{2\pi\rho_c\Delta r} \int_{f_1}^{f_2} \frac{I_m\{G_{1,2}(f)\}}{f} df \quad (9)$$

단, I_m : 허수부를 表示

$G_{1,2}(f)$: $P_1(t), P_2(t)$ 의 相互스펙트럼 密度函數,

여기서 (8)式을 利用하여 音의 強度를 時間영역치리에 의하여 直接的으로 求하는 것을 直接法이라고 하고, 近接하는 2點에서 音壓信號間의 상호 스펙트럼密度函數를 求하여 그 허수부에 대하여 式(9)의 연산을 함으로써 임의의 주파수대역에서 音의 強度를 求하는 方法을 크로스스펙트럼法이라고 한다.

b) 音響과워레벨 測定에의 응용^{(4), (5), (6)}

음향인텐시티법에 의한 음향과워레벨測定法은 현재 ISO를 중심으로 規格을 作成하는 단계⁽⁷⁾에 있으

며, 音壓法과는 달리 半自由音場과 一般音場에서의 測定方法이 同一하다. 音響과워레벨 L_w 는 그림 4와 같은 測定面上에서 測定한 음향인텐시티레벨로부터 다음 式에 의하여 求한다.

$$L_w = L_1 + 10 \log_{10}(S) \quad (10)$$

단, L_1 : 測定面上的의 平均音響인텐시티레벨 [dB]

S : 測定閉曲面の 全体面積 [m^2]

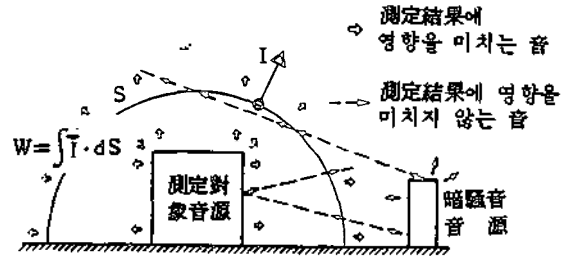


그림 4 音響인텐시티法.

音響인텐시티法은 그림 4에서 보는 바와 같이 測定閉曲面外部의 暗騒音에 의한 影響을 거의 받지 않으므로, 音壓法에 비하여 一般音場에서도 음향과워레벨을 비교적 精確히 測定할 수 있다는 장점이 있다.

III. 측정개요 및 방법

1. 측정개요

本 研究에서는 一般音場에서 ASTM에 規定되어 있는 減音量 測定方法⁽⁸⁾에 準하여 그림 5와 같은 測定裝置를 構成하여 測定을 實施하였다. 測定對象의 空調덕트 消音器는 덕트내에 吸音材를 附着한 吸音型으로서 그 構造 및 치수는 그림 5와 같다.

實驗裝置는 그림 6과 같은 室內의 콘크리트 바닥面上에 設置하였으며, 音場條件이 음향과워레벨 測

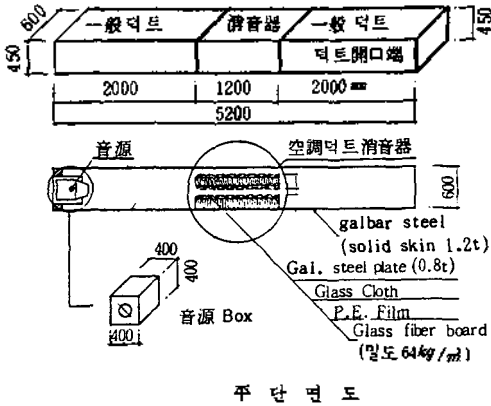


그림 5 空調덕트 消音器의 減音量測定裝置.

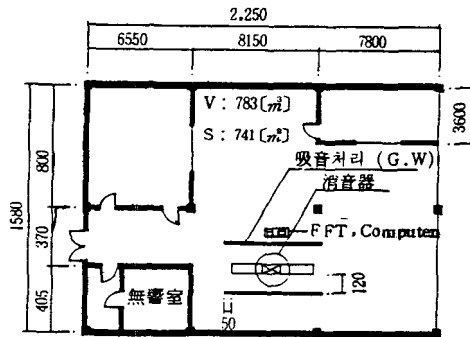


그림 6 減音量測定裝置를 설치한 室의 形體.

定結果에 미치는 영향을 檢討하기 위하여 덕트 주변을 吸音處理한 경우와 處理하지 않은 경우로 나누어 測定하였다.

音響과워레벨은 종래의 音圧法과 음향인텐시티法을 이용하여 표 2와 같이 13종류에 대하여 測定하였다. 덕트消音器의 減音量은 音源의 音響과워레벨로부터 표 1의 自然減衰量을 뺀 덕트開口端의 음향과워레벨과 測定에 의한 덕트開口端의 음향과워레벨과의 差로부터 求하였다.

음향인텐시티法에 의한 음향과워레벨測定時 音源과 測定面사이의 거리에 따른 영향을 검토하기 위

표 2 음향과워레벨 測定項目

測定法	音場條件	음원과측정면의거리 (cm)	측정점수	적용규격	
音源 (B & K Type 4205)	인텐시티法	100	10	ISO 基準案 作成中	
	音壓法				
덕트開口端	인텐시티法	100	6		ISO 3745
	音壓法			일반음장	KSF 2808
측면	인텐시티法	덕트 주변 吸音處理	100	ISO 基準案 作成中	
			5		
		덕트 주변 吸音非處理	10		
			5		
	音壓法	덕트 주변 흡음처리	10	65	KSF 2808

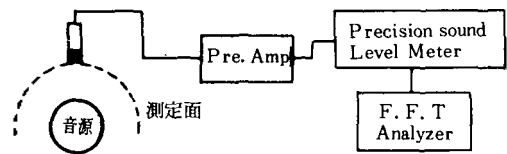


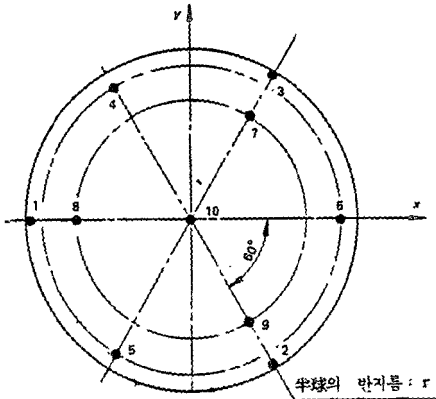
그림 7 音圧法에 의한 음향과워레벨測定裝置.

하여 그 거리를 5cm, 10cm, 100cm 세 경우로 변화시켜 덕트表面의 音響과워레벨을 測定하였다.

2. 音圧法에 의한 음향과워레벨 測定

그림 7은 音圧法에 의한 음향과워레벨測定裝置構成圖이다. 모든 測定에 대하여 音源은 時間的으로 안정된 白色雜音을 사용하였으며, 騒音計의 청감보정특성은 Flat에 고정하고 1/3옥타브대역별로 32회 時間平均하여 各 測定點에서 측정한 音圧 레벨로부터 음향과워레벨을 求하였다.

音源, 덕트開口端, 덕트表面에 대한 測定點은 各 各 그림 8, 그림 9, 그림 10과 같다.



半球의 반지름 : r

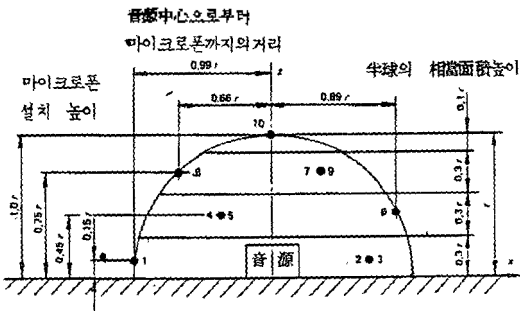


그림 8 音源의 음향과위레벨測定點.

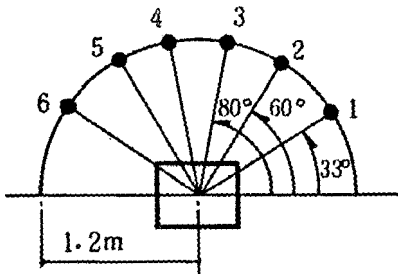
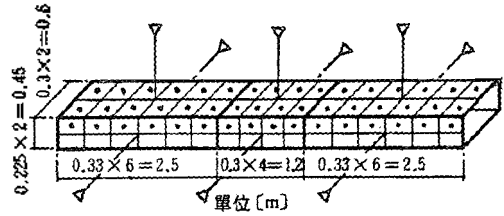


그림 9 덕트開口端의 음향과위레벨測定點.

3. 音響인텐시티法에 의한 음향과위레벨 測定

測定點과 測定條件은 덕트表面의 음향과위레벨測定時 測定點을 덕트表面으로부터 5cm, 100cm 떨어져 잡은 것 以外에는 모두 音圧法과 同一하다.



- : 덕트표면과 測定面사이의 거리 5cm, 10cm
- △ : 덕트표면과 測定面사이의 거리 100cm

그림10 덕트表面의 음향과위레벨 測定點.

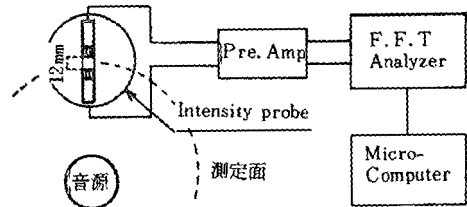


그림11 音響인텐시티法에 의한 음향과위레벨測定裝置

2 채널 F. F. T 分析器와 마이크로 컴퓨터를 利用한 크로스스펙트럼法⁹⁾에 의하여 音의 強度를 測定하고 이로부터 音響과위레벨을 求하였으며 測定裝置는 그림11과 같다.

2 개 마이크로폰의 간격 Δr 은 125~4,000Hz에서 測定誤差를 작게 하기 위하여 12mm로 하였으며, 位相誤差에 대하여서는 Modified Microphone Switching 法을 利用하여 다음과 같이 보정을 하였다¹⁰⁾.

$$[G_{12}] \text{ Calibrated} = \frac{G_{12}}{K_{12} |H_{12}|^2}$$

$$\text{단, } K_{12} = \left[\frac{H_{12}^s}{H_{12}^z} \right]^{1/2}$$

H_{12} : 1회 測定時 1.2系 統間의 전달함수

H_{12}^s : Microphone Switching 後의 1.2系 統間의 전달함수

H_1 : Mic. 1의 Gain Factor

Ⅲ. 測定結果 및 考察

1. 音場條件에 따른 영향

測定時 主暗騒音源은 F. F. T와 컴퓨터의 팬이었으며, 消音器 中央點 上部 1m에서의 暗騒音레벨은 F特性으로 60dB 정도였다.

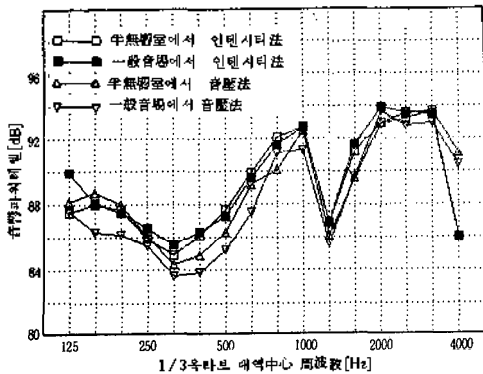


그림12 音源의 音響과위레벨.

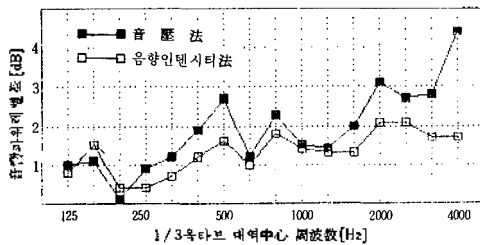


그림13 덕트 주변 吸音處理時와 非處理時의 덕트表面의 音響과위레벨차.

그림12는 半無響室과 一般音場에서 음향인텐시티法和 音圧法에 의하여 測定한 音源의 음향과위레벨을 나타낸다.

半無響室과 一般音場에서의 音響과위레벨차는 音圧法の 경우 최대 2.5dB의 차이를 보이고 있으나

인텐시티法の 경우에는 125Hz를 제외한 모든 周波數에서 ± 0.5 dB의 작은 차이를 보이고 있다.

그림13은 덕트 주변 吸音處理時와 非處理時의 덕트表面의 音響과위레벨차를 나타낸다. 인텐시티法の 경우는 그 차가 최대 2dB정도로 音圧法の 경우 최대 4.4dB보다 작게 나타나고 있으며, 이러한 차이는 音場條件의 변화와 덕트 주변 吸音處理에 의한暗騒音(F. F. T와 Computer의 fan騒音)의 차단효과에 기인한 것이라 판단된다.

2. 音源과 測正面사이의 거리에 따른 영향

그림14는 인텐시티法에 의한 덕트表面의 음향과위레벨測定時 덕트表面으로부터 測定面까지의 거리에 따른 변화특성을 나타낸 것이다. 5cm의 간격을 유지시킨 경우가 10cm간격의 경우보다 125Hz에서 최대 3.5dB 높게 나타나고 있으며, 100cm의 간격을 유지시킨 경우는 10cm 간격의 경우보다 500Hz에서 최대 8.5dB 높게 나타나고 있다. 이것은 Δr 이 12mm이고 音源表面으로부터의 거리가 5cm일 때 近接音場에 의한 誤差가 0에 가까운 점을 고려하면 音源(덕트)表面으로부터 인텐시티 프로우브 中心까지의 거리와 測定面 全体面積과의 상호관계에 의한

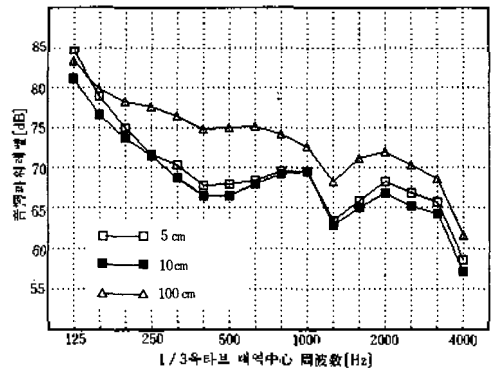


그림14 덕트 주변 吸音處理時 덕트表面과 음향과위레벨 測定面사이의 거리에 따른 영향.

것으로 판단된다.

3. 減音量의 理論値와 測定値의 比較

그림15는 吸音型 空調덕트消音器의 減音量을 나타낸 것이다. 音響인텐시티法에 의하여 實測한 減音量은 1250Hz를 제외한 全周波數 帶域에서 理論計算値와 매우 잘 一致하고 있으며, 音壓法에

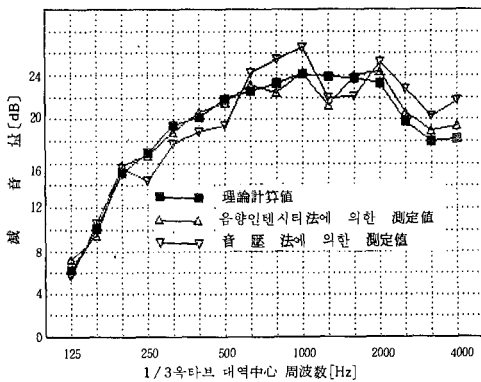


그림15 消音器의 減音量.

의한 實測値는 理論計算値와 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 1250Hz에서의 理論計算値와 音響인텐시티法에 의한 實測値의 큰 차는 그림12에서 보는 바와 같이 1250Hz에서의 音源特性에 기인한 것으로 사료된다. 減音量은 500Hz~2000Hz의 中間 周波數帶域에서 22dB以上으로 높게 나타났으며, 低周波帶域에서 減音效果가 떨어지는 것은 低周波에서 吸音材의 吸音率이 낮기 때문이라 판단되고 高周波帶域에서 減音效果가 떨어지는 것은 高周波音이 風道의 中央을 관통해 나가기 때문이라 사료된다.

IV. 結 論

音場條件 및 音源과 測定面사이의 距離가 音響과

위래벨測定結果에 미치는 영향을 檢討하고, 종래의 音壓法과 音響인텐시티法에 의하여 空調덕트消音器의 減音量을 測定한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 音響인텐시티法에 의한 減音量 測定値는 音壓法에 의한 것보다 理論計算値와 1.5dB以内로 잘 一致하였으며, 音響인텐시티法을 利用하면 實驗室이 아닌 一般音場에서도 消音器의 減音量을 비교적 精確하게 측정할 수 있으리라 사료된다.

2) 音響인텐시티法에 의한 音響과위래벨測定値는 音壓法에 비하여 音場條件에 따른 영향을 1~3dB 정도 적게 받는 것으로 나타났으며, 一般音場에서도 音響인텐시티法에 의하여 音響과위래벨을比較的 精確하게 測定할 수 있음을 알 수 있었다.

3) 덕트表面의 音響과위래벨은 덕트表面과 인텐시티 프로우브 中心間의 距離를 5cm로 한 경우가 10cm로 한 경우보다 125Hz에서 최대 3.5dB, 100cm로 한 경우는 10cm로 한 경우보다 500Hz에서 최대 8.5dB 높게 나타났다. 이는 덕트表面으로부터 인텐시티 프로우브中心까지의 距離와 測定面全體面積과의 상호관계에 의한 것으로 판단된다.

本 研究에서는 덕트內에 氣流가 없는 경우에 대하여 덕트消音器의 減音量 測定方法을 檢討하였으나, 앞으로 덕트內 氣流에 의한 騒音을 고려한 減音量 測定方法에 대해서도 研究가 進行되어야 할 것이다.

參 考 文 獻

- ASHRAE 1984 Systems Volume: Sound and Vibration Control, p.32.4
- 金興植, 孫章烈, 吳在應; S. I. (Sound Intensity)法에 의한 壁體의 遮音性能現場測定에 관한 研究, 大韓建築學會 學術發表論文集 第5卷 第1號 pp. 235~236, 1985.
- FAHY, F.J.: Measurement of acoustic intensity using the cross spectral density of two micro-