

制限된 空間에 맞는 새로운 消音器部品の 開發에 대한 研究

A Study on the Development of a New Muffler Component required in the Geometrically Constrained Space

* 李 正 權 (Jeong Guon Lee)
** 李 炳 昊 (Byung Ho Lee)

要 約

制限된 空間을 最大限으로 活用하고 最小限의 壓力 降下를 만족하는 最小限의 騒音水準을 얻기 위하여, 既存의 2-pipe system의 管들 사이에 새로운 管을 설치하여, 3-pipe through-flow system을 설계하였다. 3-pipe system에 대한 騒音 減衰 能力을 1/3-octave-band로 周波數 分析을 행한 결과, 이 system은 high frequency region(약 1K~6.3K Hz band)에서 큰 騒音 傳達 減衰 現象을 보여서, 새로운 muffler 부품으로 쓰일수 있음을 알아 내었다.

ABSTRACT

To get minimum noise level by making full use of the constrained geometric space and being compatible with the minimum pressure-drop condition, 3-pipe through-flow system is designed by inserting a new pipe which is shaped a resonator in the cavity of 2-pipe system.

As a result of the 1/3-octave-band frequency analysis for the noise reduction characteristics, this system is proved to have good sound attenuation effect in the high frequency region (about 1K~6.3K Hz band), so that it is found to be a useful component of a muffler.

1. 緒 論

排氣 騒音과 燃燒 騒音은 自動車 騒音의 主된 騒音源 들이고, 특히 排氣 騒音은 그중 斷然 강한 騒音源으로서, 燃燒에 의한 構造에 基因한 騒音(structure-borne noise) 보다 약 20dB 정도 높게 나타난다.¹⁾ 그 밖에 自動車의 吸氣部(inlet), 空氣 調和 裝置의 덕트(duct of air conditioning system), 가스 터빈(gas turbine), 壓縮機, 펌프, 空氣壓 드릴(pneumatic rock drill) 등 흐름과 소음이 밀접한 관계를 갖고 있는 부분들에서도 심한 소음에 대하여 환경 靜肅의 目的上 消音器(Muffler 또는 Silencer)를 使用하여야 한다.

現在 各國에서는 各種 騒音 規制 法案들이

* 韓國科學技術院 機械工學科
** 正會員: 韓國科學技術院 教授

강화되고, 그 許容 音壓 限界는 자주 낮아지고 있는 形便이므로, 消音器의 設計에 있어서 最適化의 方案이 계속 研究되고 있으며, 이에 따른 構造 設計 및 理論的인 設計 豫測이 重要한 課題로 삼아져 왔다. 한편으로는 消音器의 形狀이 점점 複雜해져 가는 傾向이 나타나고 있는데, 여기에는 騒音 減少 能力에 대해 折衷(trade-off) 하는 것이 問題가 되고 있다.²⁾

本 論文에서는 이러한 折衷의 問題의 하나인 壓力 低下(pressure-drop)가 最小化 될 수 있는 방식인 貫通流(through flow) 방식의 共鳴器(resonator)의 안쪽 空間에, 다시 共鳴管의 形狀을 갖는 管(pipe)을 설치하여(3-pipe system), 그 特性에 대한 研究를 行하고, 그 結果에 대해 利用 可能性에 대한 考察을 하기로 한다.

略語 및 符號 解説

TL : 騒音 傳達 減少量(transmission loss, 여기서는 noise reduction NR 과 같이 쓰임)

$$TL \text{ or } NR = (\text{Input Level}) - (\text{Output Level}) \text{ in dB.}$$

σ : 구멍 面積比(porosity 또는 perforation ratio)

$$\sigma = (\text{구멍의 총면적} / \text{pipe의 전체 면적}) \times 100 \text{ in } \%$$

ρ : 吸音 材料의 密度(in g/cm^3)

2-pipe system : 從來의 resonator

3-pipe system : 本 實驗에 쓰인 resonator

acoustically long pipe : 길이 \gg 직경인 管

acoustically short pipe : 길이 \approx 직경 혹은 길이 \leq 직경인 管

II . 設計 背景

reactive muffler의 基本 形狀으로는 膨脹, 縮少, Helmholtz resonator, side branch, extended tube, quincke tube 등이 있다. 현재 使用되고 있는 消音器는 이들 基本 形狀 自體 및 이를 連結 應用한 through flow, reverse flow, cross flow 등의 flow 形式으로 된 module의 直列的인 連結로써 이루어지고 있다.

그러나, 前章에서 밝힌 複雜한 形狀에 대한 trade-off로서 制限된 空間과 여러 module의 連結로 인한 過度한 背壓(back pressure)이 문제가 될 때에는, 자연히 騒音 減衰 面은 어느 정도 犧牲을 치루어야 한다.

한편, flow 形式중 through-flow 形式이 가장 pressure-drop이 작고, resonator가 音響 filter로서 매우 效果的인 것과, 주어진 制限된 空間 등을 念頭に 들 때에는, 必然적으로 追加的인 要素를, 現存하는 resonator의 空間 사이에 橫的으로 設置하여야 한다. 從來의 縱的인(直列的인) 連結 方式에 대하여, 이러한 橫的인 設計 方向에 의하여, 本 論文에서 論議되는 3-pipe through-flow type resonator의 必要性이 주어지며, 이에 대한 特性의 研究가 必要하게 된다.

III . 實驗 裝置

Fig. 1은 實驗에 使用된 實驗 裝置의 크기와 모양을 보여 주며, 本 論文에서 使用된 pipe 번호수와 cavity 번호수에 대한 설명을 하여 준다. 그림에 보이는 두개의 열판 사이에 porosity가 다른 管들이 組合되어서 끼워진 後에, 바깥쪽의 bolt와 nut로 連結된 후 固定되게 하여서, 여러 組合에 대한 實驗을 되풀이하게 할 수 있다.

實驗에 使用된 resonator의 부품으로는, 音響學的으로 긴 管(acoustically long pi-

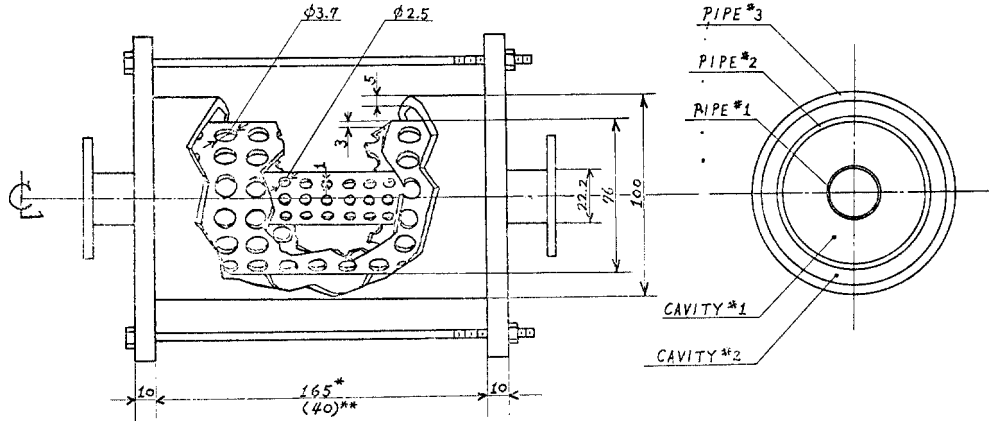


FIG.1. TESTED 3-PIPE RESONATOR SHAPE AND DIMENSION - A CUT-AWAY VIEW

pe)의 경우에는 pipe # 1의 porosity(σ_1)가 0.0432~36.9% (11종), pipe # 2의 porosity (σ_2)가 0.0276~35.6% (8종)의 관들을 사용하였고, 음響學的으로 짧은 관(acoustically short pipe)의 경우에는 σ_1 이 0.334%~40.1% (12종), σ_2 가 0.139~38.3% (9종)의 porosity가 서로 다른 實驗用 관들이 서로 組合되어 사용되었다.

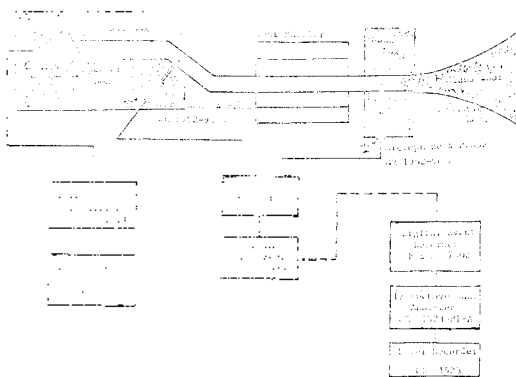


Fig. 2는 實驗에 사용된 測定 器機의 種類와 그 裝置한 모습을 簡略하게 block diagram으로 보인 것이다. speaker에서 發生된 pink noise는 實驗用 resonator의 바로 input과 output의 位置에서 그 音壓이 採取되어, sound level meter를 거쳐서 1/3-octave-band로 分析이 된다. 振動을 막기 위하여 모래 상자가 사용되었고, 끝부분의 horn 및 tail pipe에 fiber glass

를 채워 넣어서 anechoic termination 條件으로 만들었다.³⁾

IV. 實驗 結果 및 解析

1. 2-pipe resonator system에 대한 예비 실험

주된 實驗에 앞서서, 2-pipe resonator에 있어서, 空氣의 흐름이 없을때의 porosity (σ_1)의 變化에 대한 TL의 變化를 調査한 結果로서, 음響學的으로 긴 관에서는 $\sigma_1 = 4.10\%$, 음響學的으로 짧은 관에서는 $\sigma_1 = 35.1\%$ 의 porosity 附近에서 TL이 最大가 되고, 減衰 範圍가 넓어 지는 最適 porosity가 存在하는 것을 알아 내었다.⁴⁾

2. 음響學的으로 긴 관의 경우

Fig. 3는 σ_1 을 固定시키고, δ_2 를 變化시킨 結果를 보여 준다. 2.5 KHz band以上에서 3-pipe system의 特性으로서 pipe # 2의 perforation이 증가함에 따라, TL이 작아 지다가 다시 커지게 되나, 그 valley가 더 길게 되는 현상을 보여 준다. Fig. 4는 反對로 σ_1 을 變化시키고 σ_2 를 固定하여서 測定된 結果를 보여 준다. pipe # 1의 porosity σ_1 이 2-pipe system의 最適 porosity에 가까와 질수록 TL이 커지게 됨을 알수 있다.

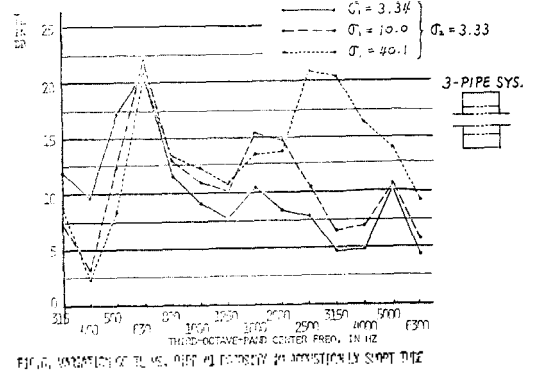
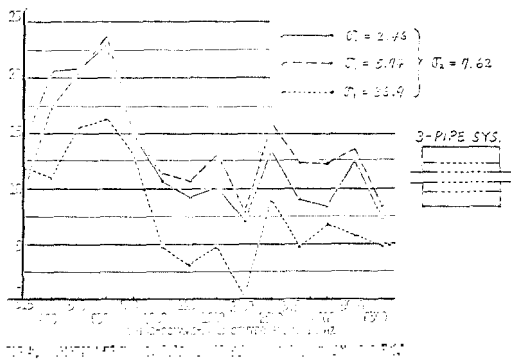
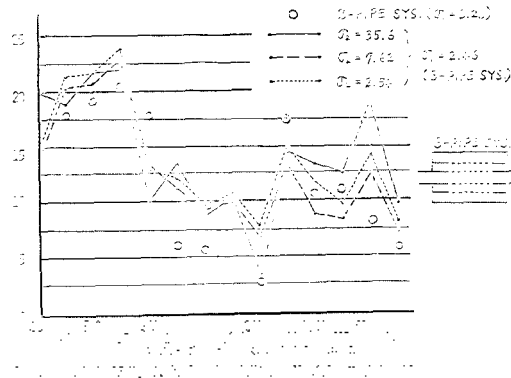


FIG. 6. VARIATION OF TL VS. PIPE #1 POROSITY IN ACOUSTICALLY SHIELD PIPE

ration 이 커짐에 따라 TL 이 작아지다가 다시 더욱 커지는 현상을 볼수 있고, pipe #1 의 porosity 가 最適値에 가까와 질수록 TL 이 크게 되는 것을 알수 있다.

以上の結果로써 音響學的으로 짧은 管과 긴 管 모두 pipe # 1 의 porosity 가 TL 에 가장 큰 影響을 미치며, pipe # 2 의 變化에 대해서는 큰 差異가 없으나, 2-pipe system 보다는 TL 이 크므로, 3-pipe system에서 pipe # 2 를 끼워 넣는것 자체가 큰 의미를 갖는 것을 알 수 있다.

3. 音響學的으로 짧은 管의 경우

Fig. 5와 Fig. 6은 마찬가지로 σ_1 을 固定시키고 σ_2 를 變化시킨 것과, σ_1 을 變化시키고 σ_2 를 固定시켜 測定한 TL의 typical한 結果를 各 各 보여 준다. 音響學的으로 긴 管에서와 마찬가지로 1.25 KHz band 以上の high frequency region 에서 pipe # 2의 perfo-

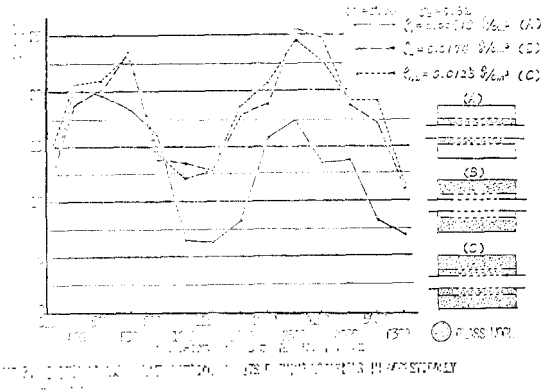
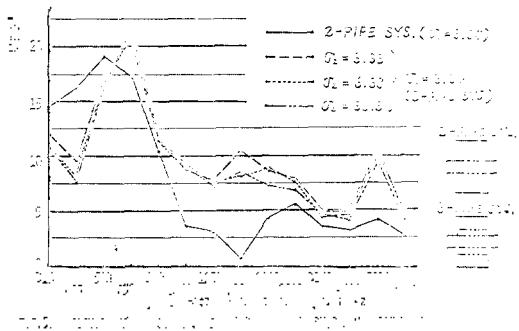
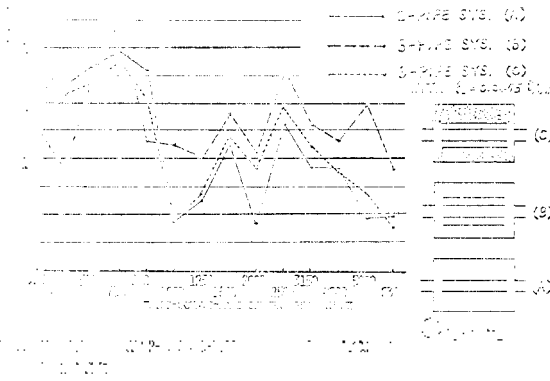


FIG. 9. VARIATION OF TL VS. PIPE #2 POROSITY IN ACOUSTICALLY SHIELD PIPE

4. 吸音材料의 影響

Fig. 7은 3-pipe system의 空隙에 absorptive material 을 채워 넣었을 때의 效果를 보여 주는데(音響學的으로 긴 管의 경우), 그 중에서 pipe # 2와 pipe # 3의 사이 空隙인 cavity # 2에 glass wool을 설

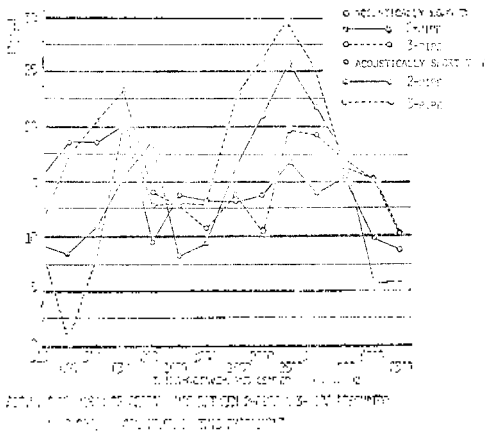


치하는 것이 效果的인 것을 보여주며, 더욱 더 low pass filter의 性向을 갖게 되어 이러한 構造는 reactive muffler라기 보다는 차라리 dissipative muffler라 부르는 것이 마땅하다.

音響學的으로 짧은 管의 경우에는 吸音材料의 影響이 別로 나타나지 않았는데, 이것은 dissipative muffler의 소리 減衰率이 吸音 lining의 길이에 비례한다는 事實과 一致한다.

5. Herschel-Quincke tube의 경우

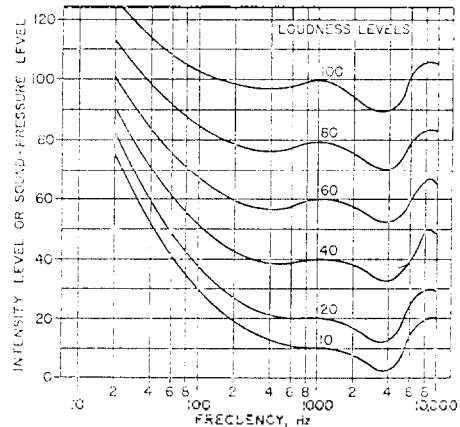
Fig. 8은 3-pipe quincke tube system에 대한 實驗 結果를 보여 준다. 약간의 low-frequency 領域을 除外한 大部分의 주파수대(frequency band)에서 2-pipe type의 quincke tube보다 좋은 效果, 最大



約 11dB...5 KHz band)를 보여주고 있으나, glass wool을 cavity # 2에 넣을 때에는 오히려 performance가 떨어지는 현상을 볼 수 있었다. 이것은 位相이 180°만큼 차이가 나게 되는 high frequency 부분이 glass wool에 吸音되어 그 效果가 떨어진 것으로 생각된다.

V. 結 論

Fig. 9는 optimum porosity 附近에서의 2-pipe system과 3-pipe system의 音響 減衰 能力을 比較한 것이다. 얻어진 結果를 고려해 볼 때, 대체로 2-pipe system보다 high frequency band (1K~6.3 K band)에서 훨씬 큰 TL(max. 10 dB 이상)을 갖고, 그 이하의 low frequency region에서는 거의 같은 수준의 performance를 갖는 넓은 범위의 TL을 얻을 수 있다는 것을 볼 수 있다. 또한 우리가 Fig. 10과 같은 equal-loudness-level contour curve를 살



펴 볼 때 1K~6K 사이의 주파수 영역은 다른 주파수 영역보다 인간의 귀가 더 크게 느끼게 되는 매우 sensitive한 領域이므로, 本論文에서 論議된 3-pipe system은 相當히 利用價値가 있는 形狀이 될 수 있다.

研究 結果를 다시 要約해 보면, 3-pipe system (quincke tube 포함)은 high frequency region에서(약 1K~6.3K Hz ba-

nd) 2-pipe 에서 보다 더 좋은 騒音 減衰 效果를 가지게 되는데, 특히 音響學的으로 짧은 管의 3-pipe resonator 에 있어서 pipe # 1 과 pipe # 2 의 porosity 가 2-pipe resonator 의 最適 porosity 에 가까와지면 매우 큰 high frequency attenuation 이 얻어 진다.

참 고 문 헌

1. E.K. Bender and A.J. Brammer, "Internal Combustion Engine Intake and Exhaust System Noise," J. Acoust. Soc. Am., 58(1), 22-30, 1975.
2. L.J. Eriksson, "Current Alternatives in Exhaust System Acoustical Evaluation " Nelson Muffler Ind. report, reprinted from Sound Vib.
3. J. Igarashi and M. Toyama, "Fundamentals of Acoustical Silencers (I)", Report No. 339, Aeronautical Research Institute, Univ. of Tokyo, 223-241, 1958.
4. J. W. Sullivan and M. J. Crocker, "Analysis of Concentric-tube Resonators Having Unpartitioned Cavities," J. Acoust. Soc. Am., 64(1), 207 - 215, 1979.