

엔진 排氣消音器의 音響理論에 의한 解析 (Analysis of Engine Exhaust Muffler by Acoustic Theory)

* 奥田襄介 (Josuka Okda)

要 約

엔진排氣消音器의 특성을 音響理論에 의해 解析하는 것은 消音器의 動作을 이해하고 消音氣의 設計를 하는 데 必要한 것이다. 대부분의 경우 解析에는 Transmission Loss (TL)가 사용되고 있으나 上記의 目的에는 適當하지 않다. 본 論文에서는 消音氣의 특성이 消音氣系 全體의 四端子定數를 써서 해석을 하고 있다. 약간 近似的으로 하면 엔진 排氣消音器의 특성은 四端子定數中の D에 의해 표시된다. $20 \log |D|$ 는 消音器系의 각 эле멘트의 특성을 써서 容易하게 구성할 수 있다. 해석은 無損失 無氣流의 조건에 따라서 이루어 지므로 그의 結果는 근사적인 것이 된다. 그러나 그것은 消音器系나 系의 각 эле멘트의 특성을 이해하고 消音器系를 설계하는 데 극히 有用하다.

ABSTRACT

To analyze the characteristics of engine exhaust mufflers by the acoustic theory is necessary for understanding the action of mufflers and for designing the mufflers. In many cases, the "Transmission Loss (TL)" is used in the analysis, but TL is not suitable

for above purposes. In this paper the characteristics of the mufflers is analyzed by means of the four terminal constants of whole muffler system. After some approximation, the characteristics of engine exhaust mufflers is shown by the "D" in the four terminal constants. $20 \log |D|$ can be easily constructed with the characteristics of each element of the muffler system. The analysis is done under the conditions of no loss and no gas-flow, so the result is approximate. But it is very useful for understanding the characteristics of the muffler system or each element of the system and for designing the muffler system.

1. 序 論

가솔린엔진이나 디젤엔진의 吸排氣音對策으로서 消音器는 없어서는 안될 것이고 排氣用 消音氣로서는 排氣가스의 性狀으로부터 리액턴스形을 기본으로 하는 소음기가 사용되고 있다.

일반적으로 리액턴스形 消音器의 動作을 이해하고 設計의 基礎를 부여하는 데는 音響이

* 正會員 熊本大學 工学部(日本)
(Faculty of Eng. Kumamoto Univ.)

론에 의한 解析은 극히 有效한 方法인 것이다.

리액턴스形消音器의 音響理論에 의한 解析은 1954年 D. D. Daris 등(1)에 의해 Transmission Loss (TL)를 이용하여 처음으로 행하여졌고 그후 현재에 이르기까지 TL을 이용한 해석의 연구가 수없이 발표되었다. 그러나 TL은 無反射管의 途中에 空胴이나 共鳴器를 挿入했을 때의 透過損失을 나타내는 것이므로 音源의 임피던스나 尾管의 影響을 생각치 않고 通常의 消音器의 特性을 나타내는 것은 아니다.

解析에 따라서는 消音器動作의 基本으로부터 出發할 수 밖에 없고 그 結果는 四端子定數를 사용하는 것이 適當하다는 것을 알 수 있다.

2. 消音器의 基本原理

한쪽 方向에서 다른쪽 方向으로 通路를 통해서 물체 (대부분은 氣體)를 移動하려고 할 때 騒音이 그 通路를 통해서 同時에 전달될 경우 물체의 移動을 방해함이 없이 騒音의 전달을 방지하기 위해서 사용되는 것이 소음기이다.

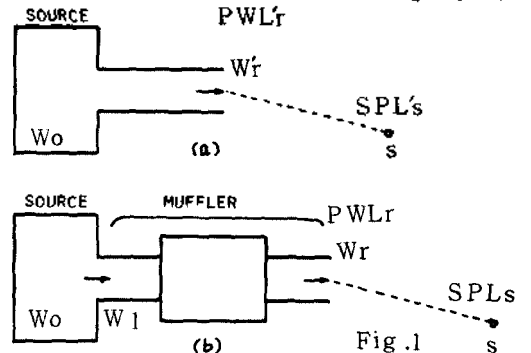
지금 어떤 音源으로부터 送路를 통해서 에너지를 效率 좋게 傳送하는 경우를 생각해 보면 먼저 그 音源으로부터 最大限의 에너지를 끌어내어 途中에서의 減衰없이 傳送하고 보내어져 온 에너지를 모두 손실없이 받아들이는 것이라 할 수 있다. 즉 音源과 送路, 送路中間, 送路와 받아들이는 側等의 接續點에서 反射가 없도록 하는 것이다.

消音器의 경우는 騒音을 전송시키고 싶지 않기 때문에 상기한 바와 역으로 各接續點에서 임피던스가 맞지 않도록 즉 mismatch를 하고 또한 途中에서 吸音된다면 좋다는 것을 알 수 있다. 소음기의 동작은 音波의 반사와 흡음인 것이다.

3. 消音器의 消音效果(2)(3)

消音器 出口의 放射音響과워를 $W(r)$ (과워레벨 $PWL(r)$), 音子의 指向性, 觀測點까지의 距離, 反射의 影響등에 의해 定해지는 定數를 $L(surr)$ 이라 하면 觀測點의 音압레벨 $SPL(s)$ 은 (Fig. 1 참조)

$$SPL_s = PWL_r - L_{surr} \quad [dB] \quad (1)$$



일반적으로 音源으로부터 끌어내어 얻은 最大과워 W_0 는 負荷와 임피던스가 共役整合일 때 얻어지고 이 音源에 實際의 管路, 즉 消音器를 接續했을 때 音源으로부터 管路에 流入하는 과워를 W_1 이라 하면

$$\frac{W_0}{W_1} = \frac{W_0}{W_r} \dots \dots \dots (2)$$

이것을 크게 하는 것이 消音器이고 W_1 / W_r 을 크게 하기 위해서는 管路內에서 흡음을 시켜서 損失을 크게 할 必要가 있고 이것을 目的으로 하는 것이 吸音形消音器(dissipative muffler)이고 W_0 / W_1 을 크게 하기 위해서는 임피던스의 mismatch를 하면 좋고 이것을 主目的으로 하는 것이 리액턴스形 消音器(reactive muffler)인 것이다.

消音器부착前의 값에 대서 (dash -)를 붙여 표시하면 外界에 의한 효과는, 즉 L_{surr} 은 변화하지 않는다고 하면 다음의 식으로 표시할 수 있다.

$$Att = SPL'_s - SPL_s = PWL_r - PWL_r \quad [dB] \dots \dots \dots (3)$$

미스매칭은 音源과의 사이뿐만이 아니고, 消音器 各эле멘트의 接續部나 出口에도 必要하여 Fig. 2와 같은 消音器에는 ①~④에 미스매칭이 있다.

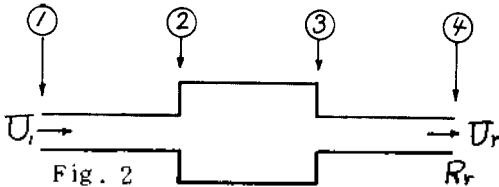


Fig. 2

이 미스매칭에 의해 消音의 效果를 내고 있으나 한편으로는 미스매칭의 反射에 의해 各эле멘트 內에서 共振이 일어나 共振周波數附近에서는 미스매칭의 條件이 崩潰せ 效果가 없는 通過域이 될 때에는 消音器 取付진보다도 이附近의 周波數에서 오히려 音이 크게되는 수도 있다. 共振을 억제하기 위해서는 損失이 必要하므로 리액턴스形에서는 可能한한 吸音을 시킬 것이 요망된다.

지금 排氣弁을 포함한 엔진 실린더는 내부 임피던스가 아주 크므로 體積速度 V₁의 定速度音源으로 假定한다. 出口의 放射리액턴스를 포함한 管系全體의 四端子定數를 A, B, C, D 軸구의 放射抵抗을 R_r, 出口의 體積速度를 V_r로 하면, 리액턴스形에서는 後述함과 같이 R_r은 극히 작으므로

$$W_r = \left| \frac{V_r}{D} \right|^2 R_r \approx \left| \frac{V_1}{D} \right|^2 R_r \dots (4)$$

따라서 消音器 부착의 効果는

$$Att = PWL_r - PWLr \approx 20 \log |D| - 20 \log |W_r| \quad [dB] \dots (5)$$

가 되고, 消音器의 動作이나 特性은 四端子定數의 D에 의해 표시되는 것을 알 수 있다.

4. 리액턴스形 消音器의 解析例

4. 1 膨脹形(2) (3) (4) 리액턴스形 消音器의 代表的인 것으로 膨脹形과 共鳴形이 있다.

膨脹形은 그 모양에 따라 空胴形이라고도 부르며 噴과 噴의 사이에 噴明을 설계한 것으로서, 基本的인 形은 Fig 3에 나타났다.

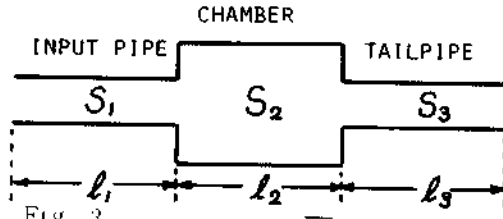


Fig. 3

진체의 四端子매트릭스는 各部의 四端子매트릭스의 積으로 표시되어

$$\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A_3 & B_3 \\ C_3 & D_3 \end{pmatrix} \dots (6)$$

音波가 軸方向으로 進行하는 平面波라 하고 (一次元), 損失을 무시하면

$$\begin{pmatrix} A_i & B_i \\ C_i & D_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos kl_i & jZ_i \sin kl_i \\ j \frac{1}{Z_i} \sin kl_i & \cos kl_i \end{pmatrix} \dots (7)$$

$$Z_i = \frac{\rho c}{S_i} ; \text{특성임피던스}$$

$$K = \frac{w}{c} ; \text{波數}$$

P_i ; 매질의 밀도

C_i ; 유속

W_i ; 角周波數

S_i ; 단면적

l_i ; 端部の 리액턴스에 의한 補正을 행한 實効長

이것으로부터

$$\begin{aligned} D &= C_1 A_2 B_3 + C_1 B_2 C_3 + D_1 \\ &\quad C_2 B_3 + D_1 D_2 D_3 \\ &= -\frac{S_1}{S_3} \sin kl_1 \cos kl_2 \sin kl_3 \\ &\quad -\frac{S_1}{S_2} \sin kl_1 \sin kl_2 \cos kl_3 \end{aligned}$$

$$-\frac{S_2}{S_3} \cos kl_1 \sin kl_2 \sin kl_3 + \cos kl_1 \cos kl_2 \cos kl_3 \dots (8)$$

一般的으로 S_1 과 S_3 은 거의 같으며 $S_2 \gg S_3$ 이므로, 集中定數範圍 ($kl_i \ll 1$)에서는

$$D \approx 1 - \frac{S_2}{S_3} kl_2 kl_3 = 1 - W^2 \frac{V}{C^2} \frac{l_3}{S_3} \quad (9)$$

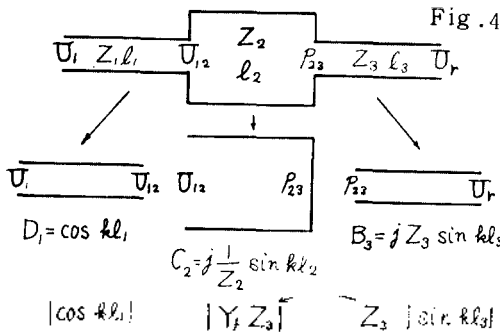
$V = S_2 l_2$; 공동의 용적

또한 分布定數範圍에서는

$$D \approx D_1 C_2 B_3 = -\frac{S_2}{S_3} \cos kl_1 \sin kl_2 \sin kl_3 \quad (10)$$

과 같이 近似될 수 있다.

즉 分布定數範圍에서는, 各境界의 體積速度 V_{ij} , 유압을 P_{ij} 라 하면 Fig 4와 같이 各部에 分割해서 空胴이나 外界와 같이 넓은 空間에 열려있는 경우는 負荷 0, 좁은 出口일때는 닫혀있는 것으로 近似하여 다음에 합성하면 좋다는 것을 알 수 있다.



식 (10)은 또한 一般的으로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$|D| = |\cos kl_1| |Y_f Z_3| |\sin kl_3|$$

Y_f 는 C_2 를 고려한 것으로서 電氣回路에 있어 開放傳達어드미턴스에 해당한다. $20 \log |Y_f Z_3|$ 는 空胴의 特性을 표시하는 것으로서, Fig 3의 基本形 空胴의 경우는

$$20 \log |Y_f Z_3| = 20 \log \frac{S_2}{S_3} + 20 \log |\sin kl_2| \quad [dB] \quad (12)$$

이다. 임의의 空胴의 $20 \log |Y_f Z_3|$ 도 理論的으로 또는 實驗的으로 구할 수 있다.

식 (11)은 또한 管部의 特性이 $20 \log |\cos kl|$ 또는 $20 \log |\sin kl|$ 로 표시되어 全體의 特性 $20 \log |D|$ 는 그것과 $20 \log |Y_f Z_3|$ 의 和가 된다는 것을 나타내고 있다.

$D=0$ 共振을 나타내고 集合定數에서의 共振周波數는

$$f_L = \frac{C}{2\pi} \sqrt{\frac{S_3}{V l_3}} \quad [Hz] \dots (13)$$

이고 또한 分布定數範圍에서는 各部의 共振 ($\cos kl_i = 0, \sin kl_i = 0$)이 多數 나타난다. 式 (10)은 共振付近에서는 D 의 크기에 誤差를 발생하나, 計算에서 無視한 損失이 實際로는 반드시 存在하기 때문에, 이 부분의 크기는 오히려 그 損失에 의해 定해진다. $|D| < 1$ 에서는 通過域이 된다.

Fig 3의 消音器 各部의 特性과 合成特性을 모델的으로 표시하면 Fig 5와 같이 된다.

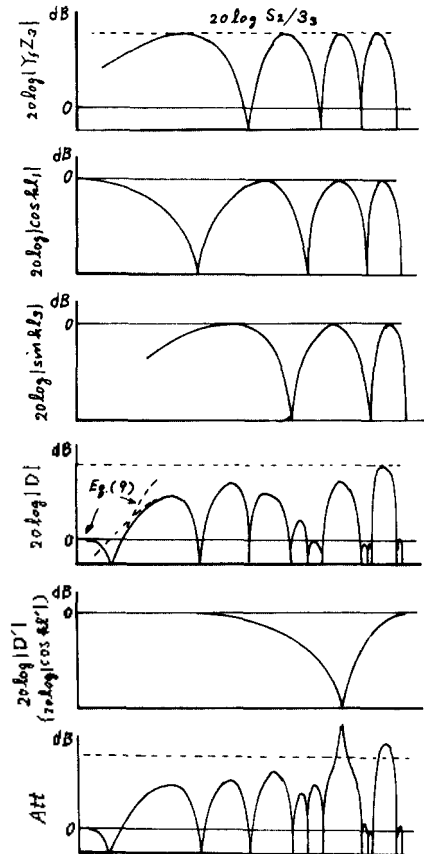


Fig. 5 f (logarithmic scale)

各부의 共振에 의한 通過域 ($20 \log |D| < 0$) 이多數 나타나고 있다. 觀測點의 SPL은 消音의 結果 남아있는 成分에 의해 定해지므로 通過域이 重要한 것이다.

Fig 6에서 空胴은 挿入管形이라 부르고 特性은

$$20 \log |Y_f Z_3| \approx 20 \log \frac{S_2}{S_3} + 20 \log \sin k l_2 - 20 \log \cos k l_a - 20 \log \cos k l_c \quad [dB] \dots \dots \dots (14)$$

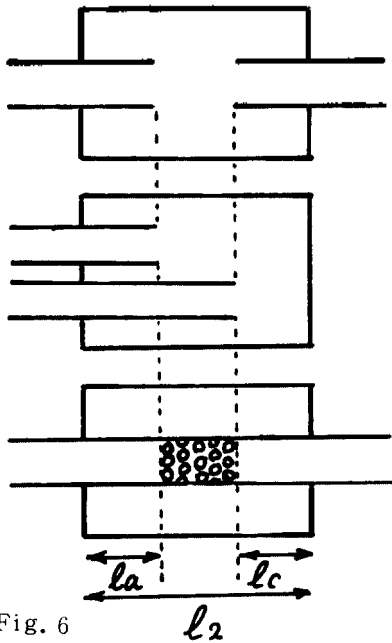


Fig. 6

로 표시되고 l_a, l_c 部の 反共振에 의해 通過域을 줄일 수 있다. 한편 同圖最下端에 표시한 것과 같이 구멍뚫은 파이프가 있는 경우는 구멍뚫은 부분을 제외시켜 近似해도 좋다. 또한 이러한 構造는 다음에 서술하는 共鳴形으로서는 動作하지 않는다.

集中定數로서 共振周波數 및 그 아래에서는 $|D|$ 의 크기는 작다. 또한 周波數가 높게 되면 空胴의 軸과 垂直方向에 共振이 생기고 平面波로는 보여지지 않고 그 이상의 周波數에서는 $|Y_f|$ 즉 $|D|$ 크기는 급히 작게 되고 吸音을 행하지 않는 한 消音의 效果는 期待할 수 없다.

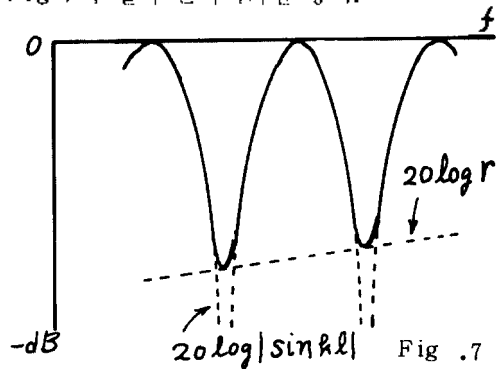
例로서 半徑의 同軸円筒空胴의 경우의 半徑方向의 第一共振周波數는

$$f_H = \frac{1.22}{2a} C \quad [Hz] \dots \dots \dots (15)$$

이고 (3) (4) 膨張形消音器의 有效範圍는 크게 보아 $f_L \sim f_H$ 이다. 단, 그 동안에도 各부의 길이方向의 共振에 의한 通過域이 多數 있는 것은 前述한 대로이다. 有效한 f_H 以下の 周波數範圍에서는 空胴보다도 훨씬 斷面이 작은 尾管에서는 그 斷面은 波長보다도 아주 작고 따라서 R_T 은 尾管의 特性임피던스 Z_3 보다도 아주 작다고 해도 좋다.

排氣消音器에서는 길이方向에 커다란 溫度傾斜가 있다. 거기에 各эле멘트 마다 平均音速을 구해서 이것에다 各эле멘트마다의 k 를 近似시키면 좋다.

氣流의 流速에 의한 共振周波數의 變化(5)는 通學의 排氣管에서는 溫度에 의한 영향보다 적은 이상 氣流에 의한 共振周波數以外의 影響도 無視하고 있으므로 여기서는 氣流의 影響은 一切無視해서 近似적으로 한다. 公진은 損失에 의해 억제된다. 損失의 值 r 을 알면 Fig 7과 같이 근사시키면 좋다.



4. 2 共鳴形 (2)(6) 共鳴器의 임피던스 Z_P 는 共鳴周波數附近에서 극히 적게 되므로 Fig 8과 같이 管의 途中에 부착해서 그 임피던스에 의해 mismatch가 共鳴器의 머리부분의 斷面적을 S_P 로 하고

$$Z_P = j \frac{\rho c}{S_P} \dots \dots \dots (16)$$

로 놓으면 전체의 B, D는

$$20 \log \left| \frac{B}{D} \right| = 20 \log \left| \frac{\sin k l_1 + \cos k l_3}{\cos k l_1 + \frac{S_p}{S_1} \frac{\sin k l_1 \sin k l_3}{X}} \right| \dots (17)$$

B는 空胴에 속한 경우에 사용하고, 上下에 쓴 sin, cos 중에 sin을 使用한다. 直接定速度音源에 接續시킬때는 D, cos을 使用한다.

共鳴形에서는 集中定數에서의 共鳴을 利用하고 머리부분의 實効長을 l_p , 空胴部の 容積 V라 하면

$$X = k l_p - \frac{S_p l_p}{V} \frac{1}{k l_p} \dots (18)$$

또한 共鳴周波數는

$$f_p = \frac{C}{2\pi} \sqrt{\frac{S_p}{V l_p}} \text{ [Hz]} \dots (19)$$

이 된다.

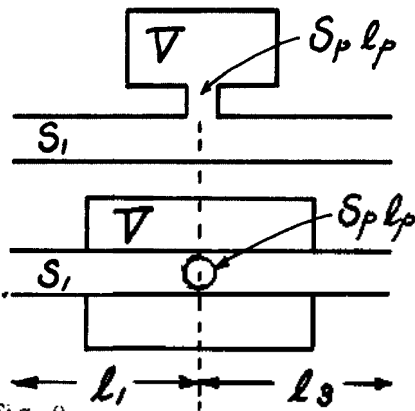


Fig. 8

共鳴形의 경우 共鳴器의 머리부분의 손실을 무시할 수 없다. 式이 간단히 되도록 하면

$$\begin{aligned} \frac{S_p}{S_1} \frac{1}{X} &= \frac{S_p}{S_1} \frac{V}{S_p l_p} k l_p \quad (f < f_p) \\ &= \frac{S_p}{S_1} \frac{1}{k l_p} \quad (f < f_p) \dots (20) \end{aligned}$$

로 해도 좋다.

特性의 例를 Fig 9에 나타냈다.

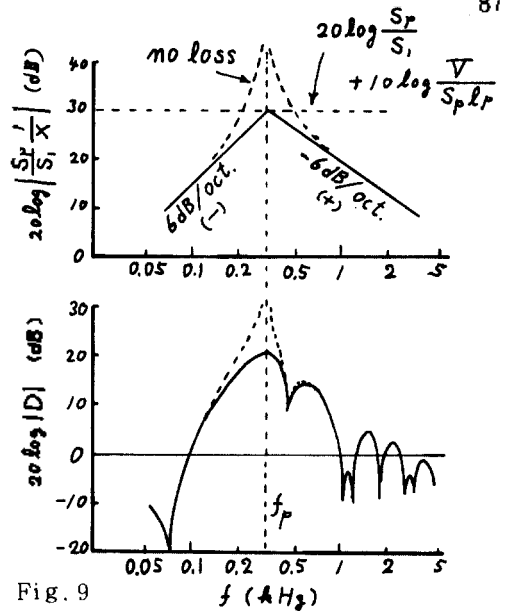


Fig. 9

f_p 가 작을수록, S_p/S_1 가 클수록 效果는 크고 비교적 좁은 周波數範圍의 消音에 適當하고 單獨 또는 膨脹形과 組合되어 使用된다. l_1 , l_3 , $l_1 + l_3$ 의 길이에 의한 共鳴이 存在하는 것에 주의할 必要가 있다.

Fig 10은 共鳴形의 一種으로 사이드브랜치形이라 불리우고

$$X = -j \frac{\rho c}{S_p} \frac{1}{\tan k l_p} \dots (21)$$

이지만 그 第一共鳴周波數를 利用해서

$$f_p = \frac{C}{4 l_p} \text{ [Hz]} \dots (22)$$

이 된다.

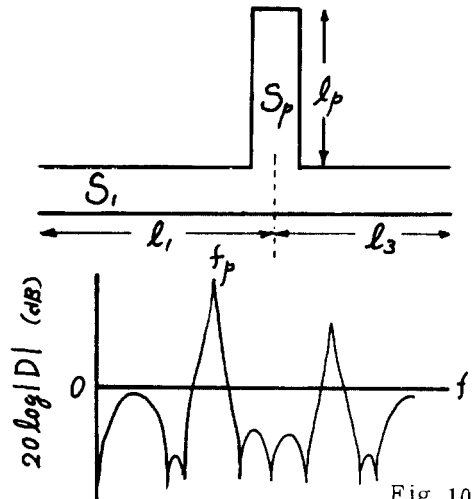
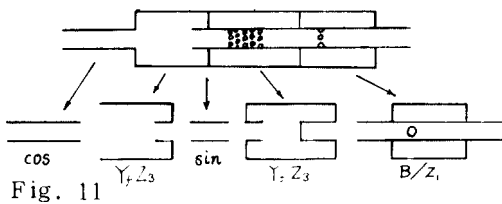


Fig. 10

구조가 간단하므로 消音器의 形狀이 大形이 되는 극히 낮은 周波數帶의 單一周波數成分의 消音에 利用된다. 有效周波數範圍는 좁고 또한 Fig 9의 경우와 같이 l_1, l_3, l_1+l_3 의 共振이 存在한다.

4. 3 複合形 Fig (11)은 몇개의 эле멘트를 組合시킨 複合形消音器의 例로 Fig 4에서 술한 것과 같이 各部에 分解해서 각각의 近의 特性을 구해 그것들을 合成하면 좋다.



4. 4 定音壓音源의 경우 (3) 엔진의 경우는 音源을 定速度音源으로 近似시켰으나 例를 들면 방의 벽에 뚫린 구멍에서 騒音이 새어나오는 경우는 音源測의 임피던스가 극히 작으므로 定音壓 音源으로서 近似시키면 좋다.

이 경우는 D 대신에 B를 사용해서 式(10)의 $\cos kl_1$ 대신에 $jZ_1 \sin kl_1$ 을 사용하면 좋다. 式(9) 및 l_1 은 약간 변화한다.

5. $20 \log Y_1 Z_3$ 및 $20 \log D$ 의 測定

測定하려고 하는 空胴에 짧은 入口管을 붙여 이것으로부터 音壓을 供給했을때 空胴으로부터 實効長 l_1 의 點의 音壓을 P_1 , 空胴의 出口에 해당하는 點의 音壓을 P_2 라 하면 式(11)의 경우와 같이 해서

$$\frac{|P_1|}{|P_2|} = |Z_1 \sin kl_1| \cdot |Y_f| \quad (23)$$

의 近似關係가 얻어져서

$$20 \log |Y_f Z_3| = 20 \log |P_1| - 20 \log |P_2| - 20 \log |\sin kl_1| + 20 \log$$

$$\frac{S_1}{S_3} \quad (24)$$

단, S_3, Z_3 는 装着할 豫定の 尾管의 斷面積과 特性임피던스이다. 즉 Fig 12의 裝置에서 마이크로폰 M_1 에서 P_1 을 發振器에 순환해서 P_1 을 일정하게 유지하고 發振器에 速動한 高速度 레벨레코더에 의해 P_1, P_2 의 音壓레벨差를 기록하고 거기에 式(24) 各邊第 3, 第 4項의 補正을 실시하는 것에 의해 空胴의 特性 $20 \log |Y_f Z_3|$ 의 周波數特性이 얻어진다.

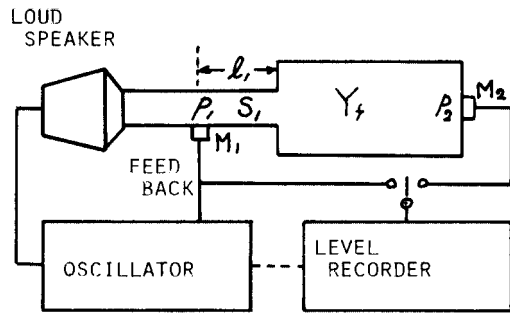


Fig. 12

$20 \log |\sin kl_1|$ 의 補正에 있어서는 共振點 附近의 작은 損失때문에 억제되고 있는 것을 고려해서 행한다. 한편 集中定數範圍에 생기는 共振은 필요없으므로 무시한다. (3)

順方向의 D는 역방향의 A와 동일한 것을 利用해서 Fig 13과 같이 尾管側으로부터 音壓을 供給해서 兩端의 音壓레벨差를 구하면

$$D = \frac{P_2}{P_1}, \quad 20 \log |D| = 20 \log |P_1| - 20 \log |P_2| \quad (25)$$

로부터 $20 \log |D|$ 가 구해진다.

Fig 14는 基本形 空胴의 特性測定的이다.

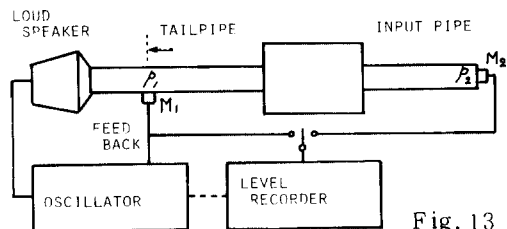
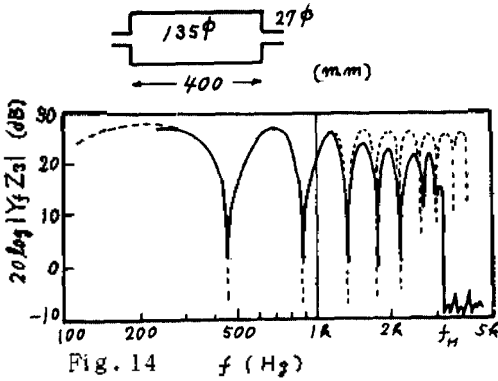


Fig. 13



6. 考 察

消音器 부착의 効果는 實驗的으로는 式(3)에 나타난 것과 같이 外界의 狀態가 같은 경우의 觀測點에서의 消音器 有無에 의한 SPL의 差에 따라서 표시되고 엔진과 같이 定速度音源으로 생각되는 경우의 理論式은 式(5)에 의해 近似的으로 표시된다.

消音器 부착前의 狀態는 通常 길이 l' 의 管 ($D = \cos kb$ 이므로 $b = b_1$ 으로 하면 式이 간단하게 되고 測定과 計算과의 對應을 구하는데 便利하다. (7)

리액턴스形 消音器는 比較的 簡單한 構造로서 어떤 周波數 範圍에서 커다란 消音效果가 있으나 한편 多數의 通過域이 있는 것이 欠點이다. 完體의 SPL 또는 옥타브나 1/3 옥타브 밴드의 밴드 SPL은 帶域內의 에너지에 의해 정해지기 때문에 通過域의 成分이 남아 있으면 減衰域에서 어느程度 減衰시킨 후에는 SPL은 주로 通過域에 남아있는 成分에 의해 정해지는 것이 된다.

즉 通過域이 問題가 되지만 減衰域의 크기만 注目하고 있으면 오히려 판단을 흐리는 것이 된다.

通過域을 억제하기 위해서는 損失이 必要하고 吸音材가 없는 경우 損失은 管壁 附近에서의 媒質의 粘性에 의한 損失이나 熱損失로 주

어진다. 구멍 뚫린 파이프(8), 구멍 뚫린 板(11)의 使用, 構造를 複雜하게 하는 것 등은 損失을 增加하는 效果가 있다. 단, 氣流의 流速이 클 때에는 次氣流騒音을 發生하는 것이 있으므로 (8) (10) 注意할 必要가 있다. 어찌 되었건 損失은 그렇게 크지 않고 또한 가능한 限 吸音材를 併用하는 것이 바람직하다.

엔진 排氣音의 周波數 成分은 廣帶域에 걸쳐 있고 더구나 回轉數에 의해 周波數가 變化한다. 리액턴스形 消音器를 사용하는 경우 반드시 通過域에 의해서 殘響하는 成分이 있고 이것은 크기만을 변경시켜도 一般的으로 없애지지 않는다. 例로서 Fig 3의 消音器에서 各部의 길이율 比例에서 크게하면 特性의 크기는 변하지 않고 全體가 길이에 逆比例해서 低周波 側에 移動할 뿐이고 오히려 音源의 周波數 範圍에 있는 通過域의 數는 增加한다. 또 길이는 그대로 하고 空胴의 直徑을 크게해 가면 F가 낮게 되고 減衰域의 減衰量은 크게 되나 通過域은 그대로 남아 前述한 바와 같이 어느 정도 以上 直徑을 크게 해도 效果가 없을 뿐이지만, F_H 의 低下나 二次 氣流音의 發生等의 問題가 일어난다.

엔진의 排氣系에 吸音材를 사용한다는 것은 耐熱性이나 耐久性에 문제 가 있으나 어느程度 以上の 消音效果를 얻고자 할 때는 必要한 것이다.

7. 結 論

代表的인 리액턴스形 消音器에 있어서 四端子 定數를 사용한 解析例를 보여 주었고 動作原理와 近似計算法 및 特性의 特徵을 보여 주었다. 四端子 定數를 사용하는 方法은 TL을 사용하는 것보다 實際의 使用狀態에 가까운 實用的인 方法으로 消音器의 動作을 理解하고 設計의 基礎를 부여하는 데 대단히 有用하고 測定이 容易하다.

音響理論에 의한 解析은, 音波는 無損失의 靜止한 것과 같이 媒質中の 微小振動中の 平面音波로 있다고 하고, 엔진을 定速度 音源이라고 假定하는 등 近似的인 方法인 것이다.

모다 嚴密한 計算法으로서는 特性曲線法이 있으나 計算은 複雜膨大해서 電子計算機를 必要로 한다. (11)(12) 또한 크기, 回轉數 等 條件이 變하는 것에 따라 計算을 바로 하지 않으면 안된다. 四端子 定數를 사용한 音響理論에 의한 方法은 解가 解析的으로 얻어지고 各 эле멘트의 動作이나 特性, 크기와의 關係 等を 理解하는 것이 容易하고 全體의 예측을 쉽게 세울 수 있는 積登의 특징이 있다.

따라서 이 方法의 特徵을 만들기 위해서는 대단히 嚴密한 計算을 생각함이 없이 例에서 보여준 것과 같이 될 수 있는 한 近似 簡略化 하여 必要에 따라서 後에 補正하는 등으로 하는 것이 効果的이다. 또 그래프에서 合成해서 구하는 것도 効果的이다. (3)(5)

한편 排氣 消音器에서는 氣流에 의한 背壓의 增加, 二次 騒音의 發生이 있어서 이것들을 無視하는 것은 불가능 할 뿐더러 音響理論에서도 이것들을 計算하는 것은 불가능하다. 이것들에 대해서는 별도로 檢討할 必要가 있다.

參 考 文 獻

- (1) D. D. Davis, G. M. Stokes, D. Moore and G. L. Stevens: NACA Tech. Rep. No. 1191 (1954)
- (2) Okda: Performance of reactive mufflers and calculation of engine exhaust noise, internoise 75 Proceeding pp. 655 (1975)
- (3) 奥田: 膨張形消音器의 特性計算法, 日本音響學會誌 25-3 P. 122 (1965)
- (4) 奥田: 膨張形消音器의 円筒狀空胴의 特性, 同上 29-4 p. 199 (1973)
- (5) 奥田: 氣流と消音; 音響管의 端面口における 音波의 反射, 同上 34-12 p. 700 (1978)
- (6) 奥田: 共鳴形消音器의 特性計算法, 同上 27-8 p. 363 (1971)
- (7) 福田, 奥田: 空どう形消音器의 特性口關する 研究-消音效果의 一般式-, 日本機械學會誌 72-604 p. 27 (1969)
Fukuda and Okda: A study on characteristics of cavity-type muffler (2nd report, precise formulas for attenuation), Bulletin of JSME, 13-55 pp. 96 (1970)
- (8) 奥田, Nguyen Manh Cuong: 消音器의 円筒狀空胴內의 同軸孔에 依의 效果, 電子通信學會電氣音響研究會資料 EA 76-59 (1977)
- (9) 奥田: Nguyen Manh Cuong: 膨張形消音器空胴內의 孔을 板의 效果, 同上 EA76-58 (1977)
- (10) 奥田: 消音器で發生する 二次氣流音의 레벨と流速의 關係, 日本音響學會講演論文集 1979-6 p. 389 (1979)
- (11) 西協, 島本: 内燃機關의 排氣騒音레벨의 豫測(第1報), 日本機械學會論文集 44-377 p. 250 (1978)
- (12) 西幣, 島本: 同上(第2報), 45-398 p. 1587 (1979)

그림의 說明

Fig. 1 SPL at the measuring point, Without and with muffler.

Fig. 2 Miss matching muffler(expansion chamber type, constant velocity source).

Fig. 3 Expansion chamber type muffler.

Fig. 4 Dismantling of a muffler.

Fig. 5 Characteristics of expansion chamber type muffler.

Fig. 6 Insert-pipe type chambers.

Fig. 7 Effect of loss and its approximation.

Fig. 8 Resonator type mufflers.

Fig. 9 Characteristics of resonator type muffler.

Fig. 10 Side branch type muffler.

Fig. 11 Combination muffler and its

dismantling.

Fig. 12 Schematic view of the measuring system of $20\log|Y_f Z_3|$.

Fig. 13 Schematic view of the measuring system of $20\log|D|$.

Fig. 14 $20\log|Y_f Z_3|$ of an expansion chamber. The solid curve shows the result measuring and dotted curve shows Eq. (13).