

<論 文>

다이젤 엔진에서 排氣管의 屈曲度가 排氣 騒音에 미치는 影響

文秉秀* · 金玉鉉* · 徐正閔**

(1986年 3月 22日 接受)

Effects of Exhaust Pipe Curvature on the Exhaust Noise of a Diesel Engine

Byung Soo Moon, Ock Hyun Kim, and Jeong Yun Seo

Key Words: Engine Exhaust Noise(엔진 排氣 騒音), Exhaust Pipe Curvature(排氣管 屈曲), Circular Arc Bent Pipe(圓弧形 曲管), Rectangular Bent Pipe(直角形 曲管), Sound Pressure Level(音壓)

Abstract

It is often occurred that exhaust pipe of an internal combustion engine should be bent due to some geometrical constraints. Especially for automobiles most of exhaust pipes of engines have curvature to avoid rear axles. In this paper effects of pipe curvature on the exhaust noise of a diesel engine have been studied experimentally.

Experiments were carried out on a 4-cycle, 2164 cc diesel engine. Two types of curvature, circular arc and rectangle, were tested. Sound pressure level (SPL) and power spectrum of the exhaust noise were measured by inserting bent pipes of different curvature dimensions into the exhaust pipe at various engine operating conditions. The following results were obtained from this study. Among the engine operating conditions the exhaust noise was affected mainly by engine revolution speed. The noise was reduced by the circular arc bent pipe. The effectiveness of an arc bent pipe on the noise reduction was dominated by its arc angle and the maximum noise reduction was obtained by the angle of 180°. But the noise reduction could not be obtained by the rectangular bent pipe, and at high engine speed the noise was rather increased due to turbulence of exhaust gas.

1. 緒 論

排氣 騒音은 엔진의 주요 騒音源이 되고 있으며 排氣系는 排氣 매니폴드, 排氣管, 머플러로 구성된다. 엔진의 排氣 騒音에 관한 研究로는 效果的으로 排氣

騒音을 低減시키기 위한 머플러의 設計와 이의 騒音 低減 效果에 대한 解析에 가장 많은 研究가 集中되고 있다⁽¹⁻³⁾. 그러나 엔진을 장착하여 使用하고 있는 경우를 살펴보면 設置 空間의 制約으로 인하여 排氣管은 直線으로 設置되지 못하고 障礙物을 피하기 위하여 中間에 曲管部를 갖는 경우가 흔히 發生하게 된다. Fig. 1은 차량 엔진 排氣系의 대표적인 系統圖를 例示한 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 대부분의 차량

* 正會員, 忠北大學校 工科大學 機械工學科

** 正會員, 仁荷大學校 工科大學 機械工學科

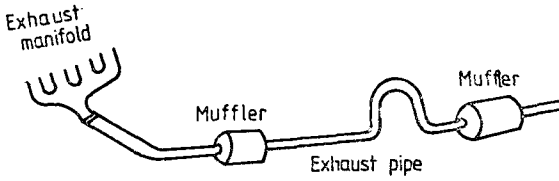


Fig. 1 A schematics of automobile exhaust system

에 있어서 엔진 배기관은 차량 後尾의 뒷차축(rear axle)을 피하기 위하여 曲管部를 갖게 된다. 이와 같은 배기관의 屈曲에 의한 엔진 背壓의 增加 現象은 잘 알려져 있으나⁽⁴⁾ 그 屈曲에 의한 엔진 배氣 騒音의 影響에 관하여는 별로 研究 發表된바 없다. 屈曲管에 관한 音響學的 理論 및 實驗研究는 많은 研究者들에 의해 遂行 되었다. 그러나 이들 研究는 대부분 管内의 流體 流動을 考慮하지 않았거나⁽⁵⁾ 이를 考慮한 경우라도 風洞을 이용한 定常 流動의 제트 騒音에 관한 것들이었다⁽⁶⁾. 따라서 이들의 研究 結果를 엔진 배氣 騒音의 경우와 같이 배氣 가스가 脈動流이고 溫度 勾配를 갖는 경우에 適用하기는 곤란하다. 엔진使用時 배기관의 屈曲은 흔히 發生되는 實際的인 問題로 그 屈曲에 의한 배氣 騒音의 影響 分析은 重要한 研究 課題로 생각된다. 엔진 배氣 騒音은 回轉 速度, 負荷 토크 등 그 使用 條件이 매우 다양하며 또한 배氣 가스의 溫度 變化, 溫度 勾配, 脈動流 등의 많은 因子와 관계 되므로 이에 관한 理論 解析은 매우 복잡하고 어려움이 많은 것으로 생각되고 있다. 따라서 본 研究에서는 實驗的 方法을 통하여 엔진 배기관의 屈曲 形相이 배氣 騒音에 미치는 影響에 대해서 考察하였다. 엔진으로는 4기통, 배氣量 2164 cc의 디젤 엔진을 使用하였으며 엔진의 보통 使用 범위인 1200~3200 rpm, 드로플 밸브의 開放度 25~100% 區間에서 實驗을 遂行하였다. 屈曲部의 形相으로는 대부분의 배기관 屈曲이 圓弧形態임을 考慮하여 圓弧形의 屈曲管과 管的 적임부의 影響을 考察하기 위한 直角形 屈曲管的 두가지 形態를 택하였다. 各 엔진의 運轉 條件에서 屈曲管的 形相 치수를 바꾸어 가며 배氣 騒音의 音壓(sound pressure level, SPL)과 스펙트럼을 얻었으며 이들을 相互 比較 檢討하여 배기관 屈曲 形相의 主要 設計 變數에 의한 배氣 騒音의 影響을 考察하였다.

2. 實驗 裝置 및 方法

Fig. 2는 본 實驗 裝置의 概略圖를 나타내며 Table 1에는 이들 裝置의 主要 諸元을 提示하였다. 使用된 엔진은 4 사이클, 4氣筒, 배氣量이 2164 cc이다. 實驗은 엔진 回轉 速度와 드로플 밸브의 開放度를 變化시켜 가며 實施하였다. 배기관은 內徑 40 mm, 管 두께 3 mm의 鋼 파이프를 使用하였으며 배기관의 總 길이는(머플러 포함) 보통의 승용차 배기관 길이 정도가 되도록 5700 mm로 하였다.

배기관 끝은 순수한 배氣 騒音만을 測定하기 위하여 엔진 몸체와 마이크로폰 사이에 防音壁을 設置하여 遮斷시켰으며 마이크로폰의 位置는 가스 排出口를 包含한 同一 水平面에서 가스 排出 方向에 대해 直角이 되는 300 mm 位置에 設置하여 배氣 騒音을 測定하였다⁽⁷⁾. Fig. 2에서와 같이 디젤 엔진의 後方에 曲管을 插入 連結하였으며 이때 使用된 曲管의 形相은 Fig. 3과 같은 圓弧形과 直角形의 두가지이다.

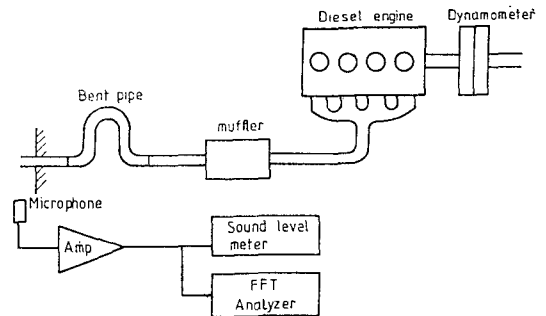


Fig. 2 Experimental set-up

Table 1 Specifications of instruments for experiments

Name	Specifications
Dynamometer	Eddy-Current electro brake dynamometer Absorption power 100 BHP Rev. of shaft 7,000 rpm
Diesel engine	4-cylinder, 4-cycle, 2164 cc
Muffler	Expansion type, 700 mm length
Pipe	40 mm I.D., 3mm thickness steel pipe Length; 1,500 mm from the manifold outlet to the inlet of muffler 3,500 mm from outlet of muffler to the exit of exhaust pipe

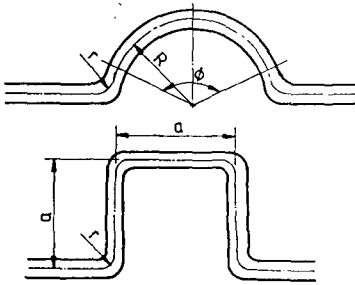


Fig. 3 Circular arc and rectangle bent pipes

圓弧形的 경우 圓弧 半徑, R , 中心角 ϕ 를 主要 設計 變數로 하였으며 直角形的 경우는 변의 길이 a 를 變數로 하여 이들의 치수 變化에 의한 影響을 檢査하였다. 曲管 치수는 승용 차량의 경우에 해당하는 範圍로 하여 여러 種類의 曲管들을 製作하였으며 이들을 各各 排氣管에 組立하여 實驗을 遂行하였다. 특히 曲管을 바꿀때 마다 排氣管의 總 長이가 一定하도록 排氣管의 直線 部分의 長이를 調整하였다. 各 形相의 曲管을 組立한 後에 엔진의 回轉 速度와 드로틀 밸브 開放度를 變化시켜 各 條件에서 엔진 排氣 騒音의 音壓을 測定하고 FFT(Fast Fourier Transform)分析器를 利用하여 排氣 騒音의 周波數 스펙트럼을 測定하였다. 또한 曲管에 의한 엔진 背壓의 影響을 檢査하기 위하여 每 實驗마다 엔진 背壓도 함께 測定하였다.

3. 實驗 結果 및 考察

Table 2에 보인 바와 같은 實驗 條件으로 本 實驗을 遂行 하였으며 다음과 같은 結果를 얻었다. 엔진 運轉 條件에 따른 排氣 騒音의 變化를 보면 直管의 경우(排氣管이 曲管部를 갖지 않는 경우)와 曲管의 경우(曲管部를 갖는 경우) 共通的으로 排氣 騒音은 드로틀 밸브 開放度에 의해서 크게 變化하지 않으며 主

Table 2 Experimental conditions

Variables	Conditions
Throttle valve open (%)	25, 50, 75, 100
Engine speed (rpm)	1200, 1600, 2000, 2400,
Circular arc bent pipe	2800, 3200
arc radius, R (mm)	100, 200
arc angle, ϕ (degree)	90, 180, 270
Rectangle bent pipe	
side length, a (mm)	200, 400

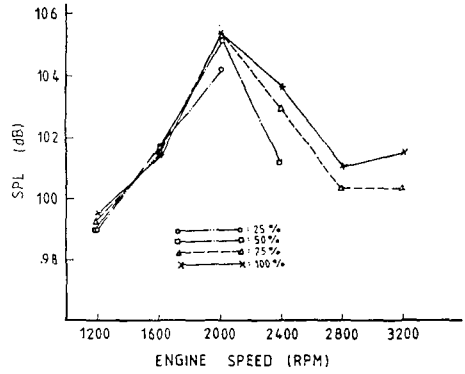
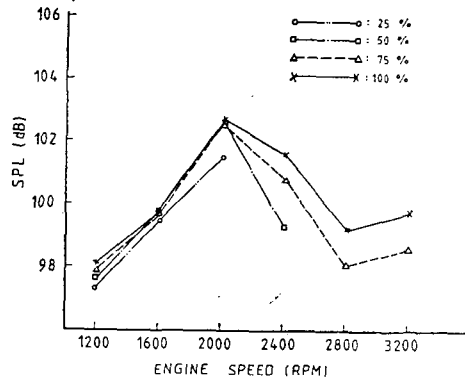
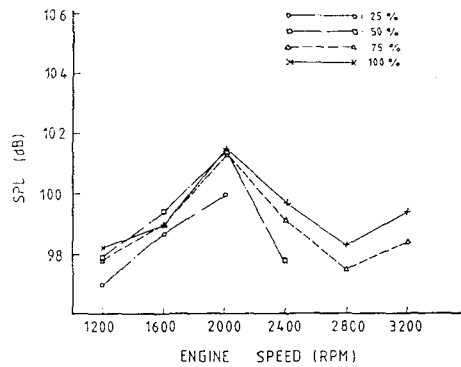


Fig. 4 Exhaust noise with a straight pipe



(a) $R=100$ mm, $\phi=180^\circ$, $r=30$ mm



(b) $R=200$ mm, $\phi=180^\circ$, $r=30$ mm

Fig. 5 Exhaust noise with circular arc bent pipes

로 엔진의 回轉 速度에 의해 크게 影響을 받는다. 엔진 運轉 條件에 따른 排氣 騒音의 變化는 直管, 圓弧形 曲管, 直角形 曲管 別로 實驗한 結果 Fig. 4, Fig. 5, Fig. 6과 같이 나타났다. 各 그림에서 %는 드로틀 밸브의 開放度를 나타낸다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 엔진 排氣 騒音은 드로틀 밸브 開放度의 增加에 따라 약간 增加하는 傾

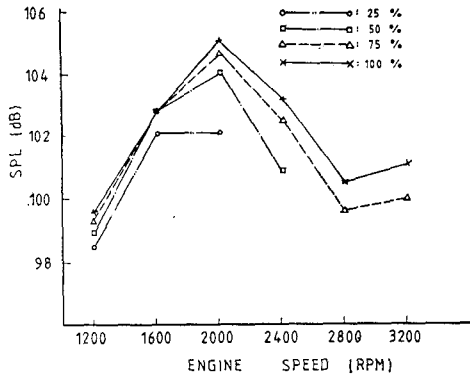
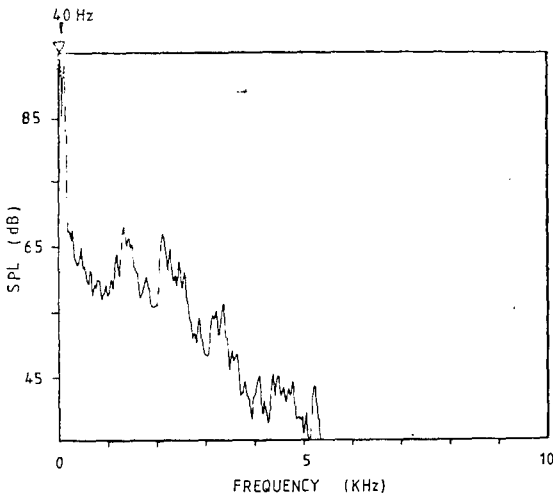


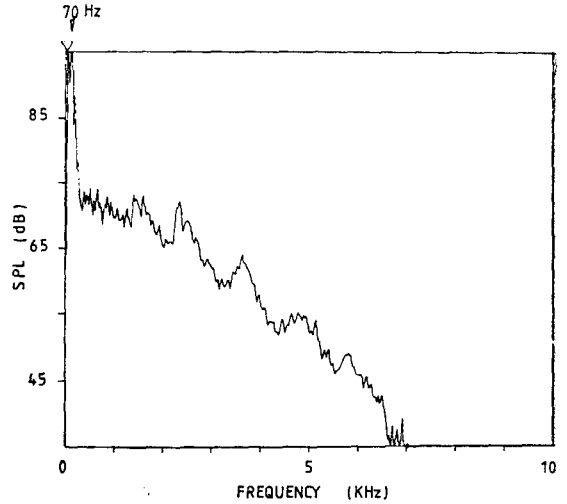
Fig. 6 Exhaust noise with a square bent pipe
a=400 mm, r=0 mm

向이 있지만 이것보다 엔진 回轉 速度의 增大에 따른 變化가 크다는 것을 알 수 있다. 또한 直管 또는 曲管의 경우 모두 2,000 rpm에서 排氣 騒音이 最大가 됨을 알 수 있다. Fig. 7은 圓弧形 曲管의 경우 서로 다른 엔진 回轉 速度에서의 排氣 騒音의 스펙트럼을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 排氣 騒音의 基本 周波數는 1,200 rpm, 2,000 rpm, 3,200 rpm의 경우 각각 40 Hz, 70 Hz, 100 Hz로 4 사이클 엔진에서의 基本 周波數 計算式 $f(\text{Hz}) = z(\text{氣筒數}) \times \frac{N(\text{rpm})}{120}$ 과 잘 一致하고 있다⁽⁸⁾.

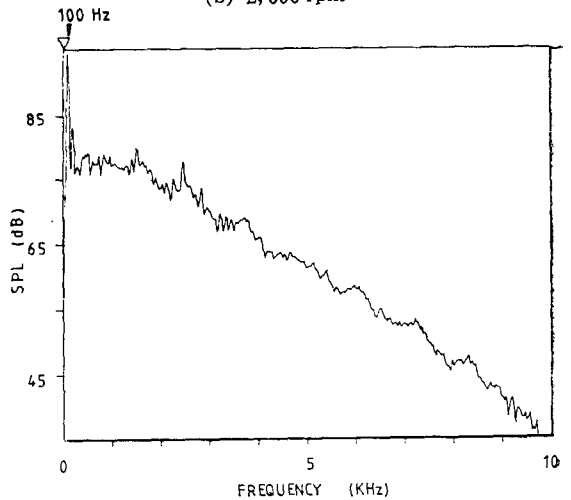
또한 그림으로부터 回轉 速度의 增加에 따라 基本 周波數 以上の 高周波數 成分이 增加하고 있음을 알 수 있다. 曲管 形相 치수에 의한 排氣 騒音의 影響을 比較하기 위하여 Fig. 8, Fig. 9에는 曲管의 경우의 音壓을 直管의 경우와 比較하였다. Fig. 8에 나타난 바



(a) 1,200 rpm



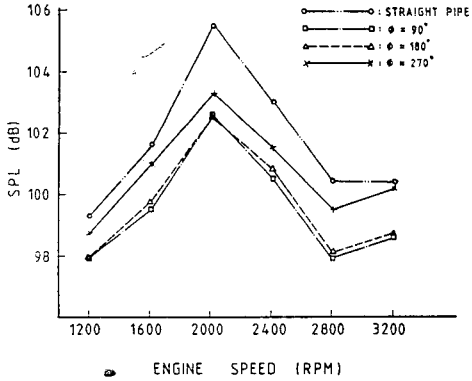
(b) 2,000 rpm



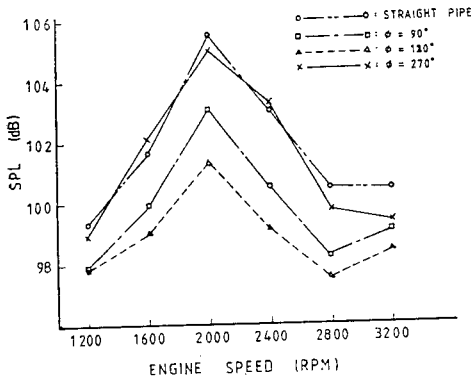
(c) 3,200 rpm

Fig. 7 Power spectra of exhaust noise with a circular arc bent pipe
R=100 mm, r=30 mm, $\phi=180^\circ$,
throttle valve open 75%

와 같이 圓弧形 曲管에 의해 排氣 騒音은 減少된다는 것을 觀察할 수 있다. 또한 이 그림에 의하면 排氣 騒音은 圓弧形 曲管의 中心角 ϕ 에 의해 크게 影響을 받고 있으며 中心角 $\phi=180^\circ$ 에서 騒音 減少 效果가 가장 크게 나타남을 알 수 있다. 이와 같은 現象은 다음과 같이 說明될 수 있다. 즉 圓弧形 曲管의 中心角 增加는 가스가 排氣管을 通過할 때 에너지의 損失을 增加시켜 騒音을 減少시키지만 이와는 反對 效果로 中心角 增加에 의해 가스 흐름의 亂流 現象이 增加되어 이로 인해 騒音이 增加한다^(6,9). 따라서 어느 限度까지는



(a) $R=100$ mm, $r=30$ mm



(b) $R=200$ mm, $r=30$ mm

Fig. 8 Variation of exhaust noise with arc angle of circular arc bent pipes throttle valve open 25%

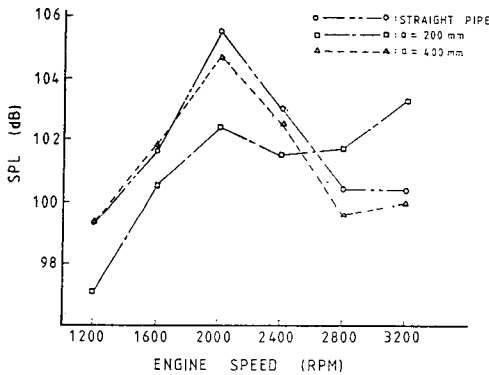


Fig. 9 Variation of exhaust noise with side length of square bent pipe $r=0$, throttle valve open 75%

中心角이 增加함에 따라 排氣 騒音が 減少하지만 그 限度 以上の 中心角에서는 中心角의 增加에 따라 騒音은 다시 增加하므로 排氣 騒音 減少를 最大로 하는 最適 中心角이 存在한다. Fig. 9는 直角形 曲管 경우의

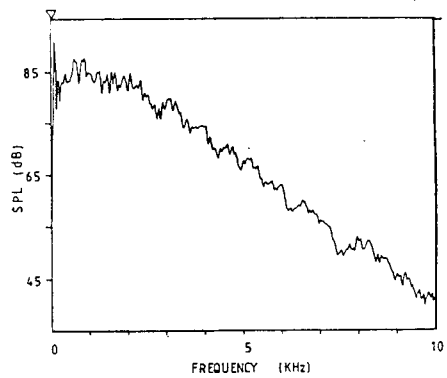


Fig. 10 Power spectrum of exhaust noise with a square bent pipe $a=200$ mm, throttle valve open 75%

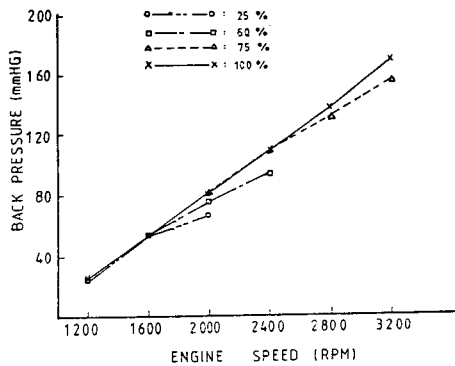


Fig. 11 Back pressure with a circular arc bent pipe $R=200$ mm, $r=30$ mm, $\phi=180^\circ$

排氣 騒音を 直管의 경우와 比較한 것이다. 이 그림에 의하면 변의 길이에 의하여 排氣 騒音が 크게 影響을 받는다는 것을 알 수 있으며, 변의 길이 a 가 400 mm 일때 直管의 경우와 거의 같은 排氣 騒音を 갖는 것으로 나타나고 있다. 圓弧形 曲管의 경우와는 달리 直角形 曲管으로는 排氣 騒音 減少 効果는 保障되지 못하며 특히 Fig. 9에서 알 수 있는 바와 같이 변의 길이 200 mm 일 때에는 2,800 rpm 以上の 速度 區間에서 오히려 排氣 騒音が 直管의 경우보다 增加 함을 알 수 있다. Fig. 10에는 Fig. 9에서 直管보다 큰 排氣 騒音を 나타내고 있는 변의 길이 $a=200$ mm, 3,200 rpm 에서의 스펙트럼을 보였다. 이 스펙트럼은 Fig. 7의 圓弧形 曲管의 경우와는 달리 基本 周波數보다 높은 高周波數 成分의 增加 現象이 뚜렷이 나타나고 있다. 이것은 앞에 言及한 바와 같이 가스의 亂流 流動 現象의 增加로 인하여 騒音が 增大한 것으로 說明된다.

엔진의 背壓 增加는 엔진 性能에 크게 影響을 주르

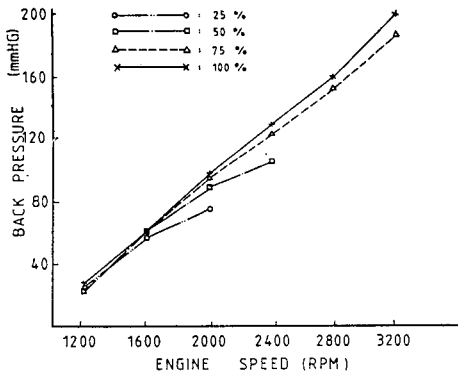


Fig. 12 Back pressure with a square bent pipe $a=400$ mm, $r=0$

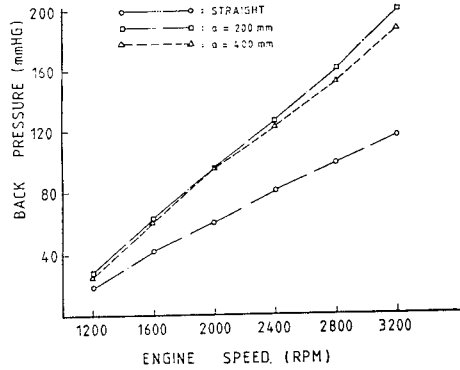
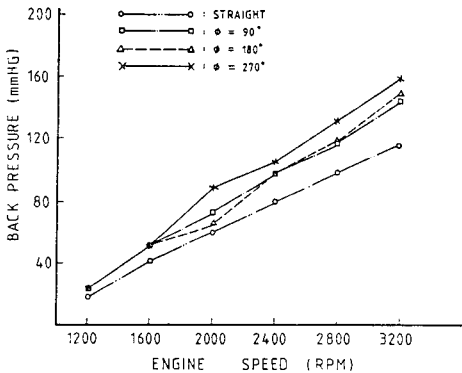
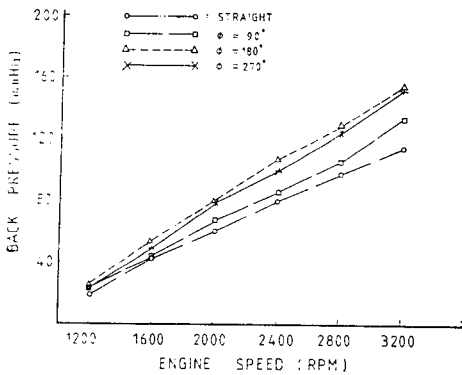


Fig. 14 Variation of back pressure with side length of square bent pipe $r=0$, throttle valve open 75%



(a) $R=100$ mm, $r=30$ mm



(b) $R=200$ mm, $r=30$ mm

Fig. 13 Variation of back pressure with arc angle of circular arc bent pipes throttle valve open 75%

로 曲管에 의한 엔진 背壓 變化 現象도 역시 매우 重要視된다. Fig. 11~Fig. 14은 曲管에서의 엔진 背壓 增加 現象을 나타내며 그림에서 垂直軸은 게이지 壓力을 表示한다. Fig. 11, Fig. 12에 의하면 엔진 運轉 條件에 따른 背壓 變化에서 드로틀 밸브의 開放度가

增加 할수록, 回轉 速度가 增加 할수록 背壓은 增加하며 排氣 騒音의 경우와 마찬가지로 밸브 開放度에 의한 背壓의 影響은 작으며 주로 엔진의 回轉 速度에 의해 背壓이 크게 影響을 받는다는 것을 알 수 있다.

曲管의 形相 치수에 의한 背壓 變化를 Fig. 13, Fig. 14에 보였다. 이 그림으로부터 圓弧 曲管의 경우에 背壓은 주로 中心角에 의해 影響을 받으며 中心角이 增加 할수록 背壓이 增加함을 알 수 있다. 直角形 曲管은 변의 길이에 의해 背壓이 影響을 받으며 변의 길이가 작은 $a=200$ mm 일때 보다 큰 背壓增加 現象이 發生함을 알 수 있다.

4. 結 論

엔진 排氣管이 屈曲部를 가질때 이로 인한 排氣 騒音의 影響을 實驗的으로 研究하였다. 4氣筒, 排氣量 2164 cc의 승용차용 디젤 엔진을 使用하였으며 屈曲部는 圓弧形과 直角形의 두가지 形態에 대하여 屈曲部의 形相 치수가 排氣 騒音에 미치는 影響을 實驗的으로 究明한바 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) 排氣 騒音은 드로틀 밸브 開放度가 增加 할수록 약간 增加하지만 이로 인한 影響은 작으며 주로 엔진 回轉 速度에 의해 크게 影響을 받는다. 最大 排氣 騒音은 直管, 曲管의 경우 모두 回轉 速度 2,000 rpm에서 일어난다.

(2) 圓弧形 屈曲部에 의해 排氣 騒音은 減少하여 주로 圓弧의 中心角에 의해 排氣 騒音이 影響을 받는다. 中心角 約 180°에서 가장 큰 騒音 減少 效果를 나타낸다.

(3) 直角形 屈曲部에 의한 排氣 騒音의 減少 效果는

거의 없었으며 오히려 고속 회전 區間에서 騒音 增加 現象이 나타난다.

(4) 圓弧形 曲管에서 엔진 背壓은 주로 中心角에 의해 影響을 받으며 中心角이 增加할 수록 背壓이 增加하는 現象을 나타낸다.

Reference

- (1) M.G. Prasad and M.J. Crocker, "Insertion Loss Studies on Models of Automotive Exhaust Systems", J. Acoust. Soc. Am., Vol. 70, No. 5, pp.1339~1344, 1981
- (2) M.G. Prasad and M.J. Crocker, "Studies of Acoustical Performance of a Multy-Cylinder Engine Exhaust Muffler System", J. of Sound and Vibration, Vol. 90, No. 4, pp.491~508, 1983
- (3) E.J. Wonnacott, "Lower Exhaust Noise from Better Silencer Design Techniques", J. of Sound and Vibration, Vol. 37, No. 1, pp.17~26, 1974
- (4) 機械工學便覽, 第8編, 水力學及び流體力學, pp.8~13, 1972
- (5) D.H. Keefe and A.H. Benade, "Wave Propagation in Strongly Curved Ducts", J. Acoust. Soc. Am., Vol. 74, No. 1, pp.320~332, 1983
- (6) G.F. Kuhn and C.L. Morfey, "Noise Due to Fully Developed Turbulent Flow Exhausting From Straight and Bent Pipes", J. of Sound and Vibration, Vol. 44, No.1, pp.27~35, 1976
- (7) 日本工業規格, 第7條 4項, JIS Z8731, 1966
- (8) 田中忠夫, 原良光彦, "乗用車用排氣系に関する考察", 三菱重工技報, Vol. 17, No. 5, pp.750~756, 1980
- (9) C.Y. Tsui and G.A. Flandro, "Self-Induced Sound Generation by Flow Over Perforated Duct Liners," J. of Sound and Vibration, Vol. 50, No. 3, pp.315~331, 1977