

<論 文>

가솔린 엔진의 소음원 검출에 대한 다차원 스펙트럼 해석의 응용

오 재 응* · 서 상 현** · 강 명 순***

(1985년 12월 3일 접수)

Application of Multi-Dimensional Spectral Analysis for Noise Source Identification on Gasoline Engine

Jae Eung Oh, Sang Hyun Suh and Myung Soon Kang

Key Words: Noise Source Identification(소음원검출), Multi-Dimensional Spectral Analysis(다차원 스펙트럼해석), Frequency Response Function(주파수응답함수), Coherence Function(기여도함수), Overall Level(총레벨), Shield Effect(차단효과)

Abstract

This paper presents a method for estimating the noise source contribution on cylinder block of a gasoline engine in a multiple input system where the input sources may be coherent with each other. By coherence function method, it is found that the biggest part of the noise source in a cylinder block is generated by bending vibration on center of cylinder block near the oil pan. This analysis is modelled as three input/single output system because the noise generating mechanism of the gasoline engine is very complicated. The coherence function method is proved to be useful tool for identifying of noise source. The overall levels of the radiated sound pressure by coherence function method are compared with those measured and calculated by the frequency response function approach. The experimental results have shown a good agreement with the results calculated by the coherence function method when the input sources are coherent strongly each other. The estimation of shield effect by FRF method indicates that significant reduction can be achieved in sound radiation if only transmission path generated by bending vibration of oil pan is acoustically shielded.

1. 서 론

내연기관은 연료절감 및 경량화에 따라 진동과 소음

의 감소에 대한 엄격한 요구를 만족하지 않으면 안 되는 상황에 직면하고 있다. 내연기관의 진동과 소음의 발생기구는 지극히 복잡할 뿐만 아니라 규명도 용이하지 않다. 여기서 엔진의 개발 및 개량은 시작시험의 반복에 의존하지만 경비절감을 위해서는 설계단계에서 진동과 소음을 가능한 정확하게 예측할 필요가 있다. 이와 같은 엔진소음은 실린더내의 혼합공기의 연소에 의

* 정회원, 한양대학교 공과대학 기계공학과

** 정회원, 한양대학교 대학원 기계공학과

*** 정회원, 한양대학교 공과대학 정밀기계공학과

한 연소소음과 기계계의 운동에 따라 발생하는 기계소음으로 나누어진다⁽¹⁾. 엔진소음으로서는 특히 문제가 되는 중·고주파의 소음은 실린더내의 연소압력에 의해 발생하며 이와 같은 진동압력은 피스톤 컨벡팅로드 크랭크축(이것을 운동계라고 부름)⁽²⁾을 통하여, 혹은 실린더헤드로부터 실린더헤드 볼트를 통하여 실린더블록 표면 및 오일팬에 전달된다. 한편 실린더내에 발생한 에너지는 필연적으로 그 일부가 진동으로써 실린더블록 등의 외부구조에 전달되어 그 표면으로부터 직접 음으로 방사되는 것과 동시에 엔진의 지지구조를 통하여 차체 등에 전달된다. 여기서 연소압력이 크랭크축을 통하여 메인 베이링에 전달되는 기구 및 베이링에 입력된 충격력에 의해 엔진본체에 어떻게 전달되는가에 대한 연구가 Y. Hayashi⁽³⁾ 등에 의해 이미 발표되었다. 더우기 저자⁽⁴⁾ 등은 엔진 각부의 거동을 시계열적으로 추구하여 연소에 의한 가진력이 엔진 표면에 전달하는 과정에 실린더의 내부압력 및 크랭크축의 진동이 중대한 영향을 미치고 있음을 규명하였다.

본 연구에서는 소음원 및 진동원을 규명하기 위하여 사용되어 온 종래의 주파수응답함수(Frequency Response Function; FRF)법⁽⁵⁾과 소음원 및 진동원 간에 강한 상관관계가 존재한 경우에 사용되는 기여도함수(coherence function)법을 이용한 다차원 스펙트럼해석(Multi-Dimensional Spectral Analysis; MDSA)^(4,6)법에 의하여 가속도응답 및 방사음과의 기여관계를 규명하였다.

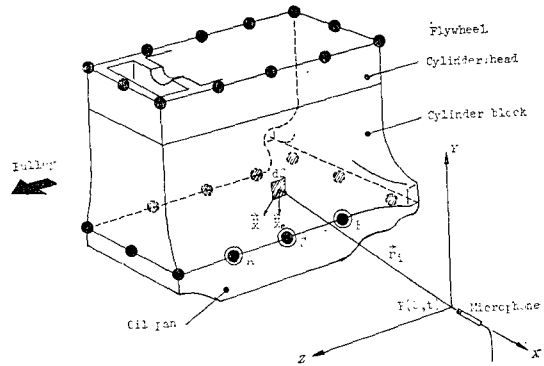
2. 이론적 고찰

2.1 진동-음향 변환의 전달특성

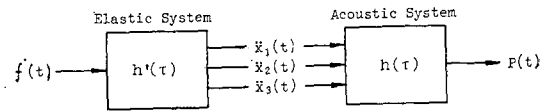
Fig. 1에 나타낸 가솔린엔진의 연소압력에 의해 실린더블록을 가진할 때 발생하는 진동응답은 임의의 측정점의 가속도로써 측정된다. 이와같은 경우 진동응답은 음향계의 입력원으로 간주되기 때문에 진동-음향관계가 Fig. 1 (b)와 같이 모델화할 수 있다. 이들 측정점으로부터 얻어진 진동계의 응답을 음향계의 입력원으로 가정하여 이론적 전개를 나타내면 다음과 같다. 즉 진동계로부터 far-field에 있어서 음압 측정점의 좌표축을 고려하면 음압 $p(0, t)$ 는 Helmholtz 적분의 푸리에 변환에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다^(4,6,7).

$$P(0, f) = - \int_{s,sc} \left\{ P(\vec{r}_i, f) \frac{\partial G}{\partial n}(\vec{r}_i, f) - \frac{\partial P}{\partial n}(\vec{r}_i, f) G(\vec{r}_i, f) \right\} ds \quad (1)$$

여기서 \rightarrow 은 벡터를 나타낸다. $G(\vec{r}_i, f)$ 는 Green 함



(a) Surface integral used in the construction of the Helmholtz integral equation



(b) Model of input/output

Fig. 1 Modelling for transformation of vibration and acoustic

수이고 표면상의 임펄스성 점음원에 대한 음압의 푸리에 변환을 나타낸다. 식 (1)은 구조물의 표면 S 로부터 폐공간 S_c 까지 적분을 수행한 전표면에 방사되는 방사음을 나타낸다. 방사음은 엔진의 실린더블록의 굽힘진동에 의해 방사되기 때문에 계의 수직면에 있어서 운동량을 고려하면 다음과 같이 된다.

$$\rho \ddot{x}_n(\vec{r}_i, t) = - \frac{\partial P}{\partial n}(\vec{r}_i, t) \quad (2)$$

여기서 ρ 는 공기의 밀도를 표시한다. 식 (2)를 푸리에 변환하여 식 (1)에 대입하면 다음과 같이 된다.

$$P(0, f) = - \int_{s,sc} \left\{ P(\vec{r}_i, f) \frac{\partial G}{\partial n}(\vec{r}_i, f) + \rho \dot{X}_n(\vec{r}_i, f) G(\vec{r}_i, f) \right\} dS \quad (3)$$

식 (3)의 Green 함수는 방사음 및 가속도의 임펄스 응답이고 방사음에 far-field에서 가속도의 영향이 충분히 포함되어 있다고 가정하면 다음과 같이 된다⁽⁶⁾.

$$P(0, f) = - \rho \int_S [\dot{X}_n(\vec{r}_i, f) G(\vec{r}_i, f)] dS \quad (4)$$

2.2 3 입력에 대한 단일출력의 기여관계

다입력계의 음원해석을 위하여 본 연구에서는 측정계 등의 제약성을 고려하여 3 입력에 대한 단일출력계에 대해서 이론적 고찰을 수행하였다. Fig. 2(a)의 경

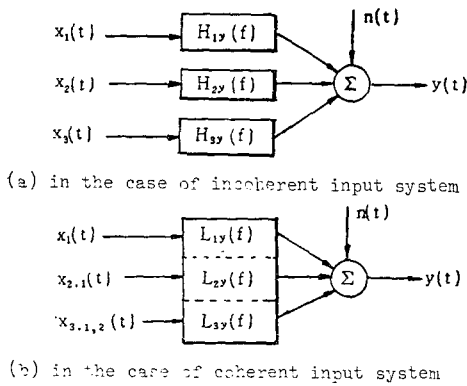


Fig. 2 Model of three input/single output system for gasoline engine;

우는 입력간 상관관계가 존재한다고 가정하면 출력스펙트럼은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$S_{yy}(f) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 H_{iy}^*(f) H_{jy}(f) S_{ij}(f) + S_{nn}(f) \quad (5)$$

여기서 $H_{iy}(f)$ 는 i 번째 입력과 출력에 의해 계산되는 전달함수를 나타내며 $S_{ij}(f)$ 는 입력 $x_i(t)$ 와 $x_j(t)$ 간의 상호파워 스펙트럼을 나타낸다. 또한 $H_{iy}^*(f)$ 는 전달함수 $H_{iy}(f)$ 의 공액복소수를 나타내며 $S_{nn}(f)$ 는 잡음 $n(t)$ 의 파워 스펙트럼을 나타내고 있다. 한편 식 (5)에서 입력간 상관관계가 없는 경우의 출력스펙트럼은

$$S_{yy}(f) = \sum_{i=1}^3 |H_i(f)|^2 S_{ii}(f) + S_{nn}(f) \quad (6)$$

로 나타내며, 본 논문에서는 식 (5), (6)을 FRF 법^(4,6)이라 부른다. 기여도함수를 이용하여 입력간 혹은 입출력간의 관계로부터 상관성분을 제거하기 위해서는 잔류스펙트럼(residual spectrum)법을 이용하게 된다. 예를 들어서, 1차적인 잔류스펙트럼은 다음과 같은 식에 의해서 얻어진다.

$$S_{ii,1}(f) = S_{ii}(f) - |L_{i1}(f)|^2 S_{11}(f) \quad (i=2, 3, y) \quad (7)$$

$$S_{ij,1}(f) = S_{ij}(f) - L_{i1}(f) S_{j1}(f) \quad (i=2, 3; j=y) \quad (8)$$

여기서 $L_{i1}(f)$ 는 입력간 및 입출력간의 상관성분을 제거시킨 경우의 입력간 및 입출력간의 최적 전달함수이다(Fig. 2(b) 참조). 마찬가지로 2차적인 잔류스펙트럼은 예를 들어 $x_3(t)$ 에 대하여 구하면 입력 $x_1(t)$ 와 $x_2(t)$ 의 선형적인 영향을 제거함으로써 다음 식과 같이 된다.

$$S_{33,1,2}(f) = S_{33,1}(f) - |L_{23}(f)|^2 S_{22,1}(f) \quad (9)$$

$$S_{yy,1,2}(f) = S_{yy,1}(f) - |L_{2y}(f)|^2 S_{22,1}(f) \quad (10)$$

$$S_{3y,1,2}(f) = S_{3y,1}(f) - L_{2y}(f) \cdot S_{32,1}(f) \quad (11)$$

여기서 $L_{2y}(f)$ 는 입력 $x_2(t)$ 와 출력 사이의 최적 전달함수이다. 한편 입력간 및 입출력간의 기여관계를 나타내는 일반 기여도함수(Ordinary Coherence Function; OCF)는

$$\gamma_{ii}^2(f) = \frac{|S_{ii}(f)|^2}{S_{ii}(f) S_{ii}(f)},$$

$$\gamma_{iy}^2(f) = \frac{|S_{iy}(f)|^2}{S_{ii}(f) S_{yy}(f)} \quad (12)$$

$$(i=1, 2, 3; j=1, 2, 3; i \neq j)$$

으로 정의된다. 한편 이러한 관계식을 이용하여 다입력계에 적용하여 잔류과정을 통하여 각 입력원의 순수 기여도를 나타낸 부분 기여도함수(Partial Coherence Function; PCF)를 $x_3(t)$ 에 대하여 구하면

$$\gamma_{3y,1,2}^2(f) = \frac{|S_{3y,1,2}(f)|^2}{S_{33,1,2}(f) S_{yy,1,2}(f)} \quad (13)$$

로 된다. 이와 같은 식을 이용하여 입력간 및 입출력간의 상관성분을 제거하여 계산된 다중 기여도함수(Multiple Coherence Function; MCF)는 다음과 같이 된다.

$$\gamma_{y,1,2}^2(f) = 1 - \{1 - \gamma_{2y,1}^2(f)\} \{1 - \gamma_{2y,2}^2(f)\} \{1 - \gamma_{3y,1,2}^2(f)\} \quad (14)$$

여기서 $\gamma_{2y,1}^2(f) = \frac{|S_{2y,1}(f)|^2}{S_{22,1}(f) S_{yy,1}(f)}$ 이다.

실제로 진동원을 검출하려면 입력원의 출력에 대한 순수한 기여량을 계산할 필요가 있으므로 실측에 의한 출력스펙트럼과 기여도함수와의 기여출력 스펙트럼(coherent output spectrum)을 이용하게 된다. 예를 들어 3입력 $x_1(t), x_2(t), x_3(t)$ 가 출력에 기여하는 순수한 기여량을 나타내는 기여출력 스펙트럼은 다음 식에 의해 계산된다.

$$\begin{aligned} &\gamma_{1y,2,3}^2(f) S_{yy,2,3}(f) \\ &\gamma_{2y,1,3}^2(f) S_{yy,1,3}(f) \\ &\gamma_{3y,1,2}^2(f) S_{yy,1,2}(f) \end{aligned} \quad (15)$$

식 (15)의 기여출력 스펙트럼은 입력신호와 출력신호를 측정할 때 S/N 비가 높으면 높을수록 실제의 출력계의 출력스펙트럼과 잘 일치한다.

식 (15)를 이용하여 진동주파수 영역에 걸친 각 진동원의 기여관계를 파악하기 위하여 기여출력 스펙트럼의 적분한 레벨(integrated level)을 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\phi_i(0 \sim f) = \int_0^f \gamma_{1y,2,3}^2(f) S_{yy,2,3}(f) df$$

$$\phi_2(0 \sim f) = \int_0^f \gamma_{2y,1,3}^2(f) S_{yy,1,3}(f) df$$

$$\phi_3(0 \sim f) = \int_0^f \gamma_{3y,1,2}^2(f) S_{yy,1,2}(f) df \quad (16)$$

식 (16) 으로부터 누적된 레벨에 대해서 대수합을 구하면 총레벨(overall level)이 된다.

3. 실험

3.1 실험장치 및 측정계

실험에 사용된 엔진은 4기통 1400 cc 가솔린엔진이다. 본 실험은 실제로 엔진을 장착하여 가동될 때 실린더블록의 각 요소부의 공회진동에 의해 방사하여 소음이 되는 진동·소음간의 기여관계를 해석하기 위하여 Fig. 3에 나타내는 바와 같이 Y. Hayashi⁽³⁾ 및 본 실험에서 각 측정점에서 해석한 결과 비교적 높은 진동응답을 나타내는 가솔린엔진 실린더블록의 플리부근(#1), 플라이휠부근(#2), 중앙부근(#3)에 가속도 픽업(B & K Type 4366)을 각각 부착시켜 진동(입력원)을 측정하고 동시에 엔진 표면으로부터 원거리인 2m 떨어진 곳에 마이크로폰(B & K Type 4166)을 이용하여 음압(출력)을 측정하였다.

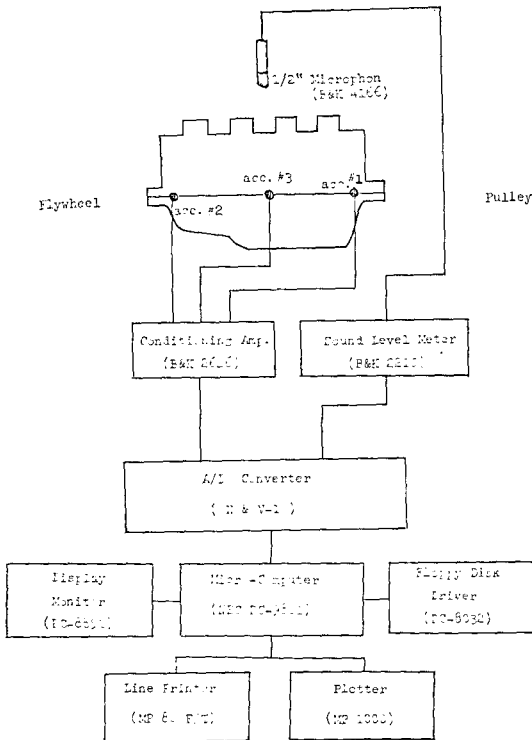


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

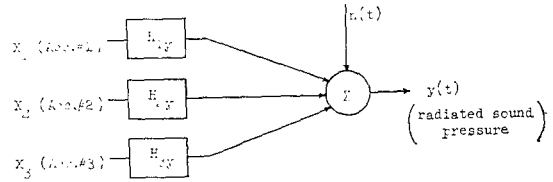


Fig. 4 3-input, 1-output model for gasoline engine

본 연구에서는 다차원 스펙트럼해석을 적용하여 소음원을 규명하기 위하여 측정계 및 전달특성을 고려하여 실린더블록의 가속도응답을 입력으로 하였으며 동시에 방사음을 출력으로 각각 입출력관계를 모델화하여 Fig. 4와 같은 계통도에 의해 실험을 실시하였다. 본 실험은 최대부하를 갖는 3500 rpm 에서 실시하였다.

3.2 데이터 처리순서

본 연구에 사용된 가속도계 및 마이크로폰에 의해 측정된 신호는 증폭기에 의해 증폭시켜 각각의 채널로그 신호를 4 채널 A/D 변환기에 의해 디지털화하여 마이크로 컴퓨터에 입력시켜서 데이터 처리를 수행하였다. 데이터 처리는 3 단계로 나누어 실시하였는데 먼저 각종 스펙트럼 밀도함수를 마이크로 컴퓨터에 의해 계산하여 그 결과를 이용하여 주파수 응답함수, 각 입력간 및 입출력간의 일반 기여도함수, 부분 기여도함수, 다중 기여도함수, 잔류스펙트럼을 계산하였다. 최종적으로 각 입력원의 출력에의 기여관계를 전주파수 영역에서 적분한 레벨 및 총레벨에 의하여 소음원의 기여순서를 결정하도록 하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 가솔린엔진의 진동-음향변환

다차원 스펙트럼해석의 이론적 가정에 있어서 가장 중요한 입력간의 상관(γ_{ij}^2) 및 입출력간의 상관(γ_{iy}^2) 관계를 검토할 필요가 있다. 특히 입력간 일반 기여도함수는 임의의 입력 $x_i(t)$ 와 $x_j(t)$ 가 독립적인가 혹은 상호간에 상관관계가 존재하는가를 판단하는 데 매우 중요하다. 3입력계의 입력간 및 입출력간의 상관관계는 Fig. 5 및 Table 1에 나타낸 바와 같이 0.5이상의 값을 나타내고 있는데 이와 같은 결과로부터 입력간 및 입출력간에 상관이 존재하고 있는 것으로 생각된다. 따라서 다차원 스펙트럼해석이 가솔린엔진의 소음원 검출에 적용이 가능하다는 것을 알 수 있다. 다차원 스

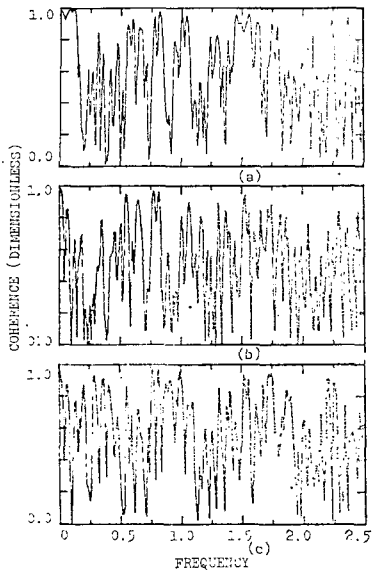


Fig. 5 Ordinary coherence function; (a) $\gamma^2_{12}(f)$, (b) $\gamma^2_{13}(f)$, (c) $\gamma^2_{23}(f)$

Table 1 Values of total mean ordinary coherence function

γ^2_{12}	γ^2_{13}	γ^2_{23}	γ^2_{1y}	γ^2_{2y}	γ^2_{3y}
0.577	0.500	0.588	0.500	0.496	0.521

펙트럼해석을 수행하는 데 있어서 이론적 가정 및 결과물을 검증하기 위해서는 출력과 주어진 입력과의 사이에 계산된 다중 기여도함수는 0.5 이상의 높은 값이 요구된다^(4,6).

한편 다중기여도함수가 만약 0.5 이하의 낮은 값을 갖는 경우 다입력계로 해석할 때에 계의 비선형적인 요소에 의한 영향이 크거나 혹은 실제로 존재하는 다른 입력원이 무시된 것으로 생각할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 Fig. 6 (d)에 나타낸 방사음의 스펙트럼에서 가장 큰 피크치의 주파수별 순서로 나타낸 다중 기여도함수는 Table 2의 $\gamma^2_{y,x}$ 에 나타낸 바와 같이 대부분 피크주파수에서 높은 값을 나타내고 있는 것으로 보아 본 연구에 사용된 가솔린엔진의 소음원 검출에 다차원 스펙트럼해석을 적용하는 것이 유효하다고 생각된다.

다음은 본 연구에서 각 입력원의 출력에 대한 부분 기여도함수를 방사음의 출력스펙트럼의 현저한 피크주파수 순서별로 나타내면 Table 2와 같다. 예를 들어서 107 Hz 부근에서의 기여도는 중앙부근(#3)의 굽힘진동이 가장 크고 폴리부근(#1) 및 플라이휠부근(#2)의 굽힘진동은 거의 기여하지 않고 있음을 알 수 있으며 449 Hz 부근에서는 폴리부근(#1)의 굽힘진동, 플라이휠부근(#2)의 굽힘진동, 중앙부근(#3)의 굽힘진동의 순서로 나타내고 있음을 알 수 있다. 이와같이 기여도함수법에 의해 가솔린엔진의 실린더블록으로부터 방사되는 소음의 기여관계를 알게 되므로써 실린

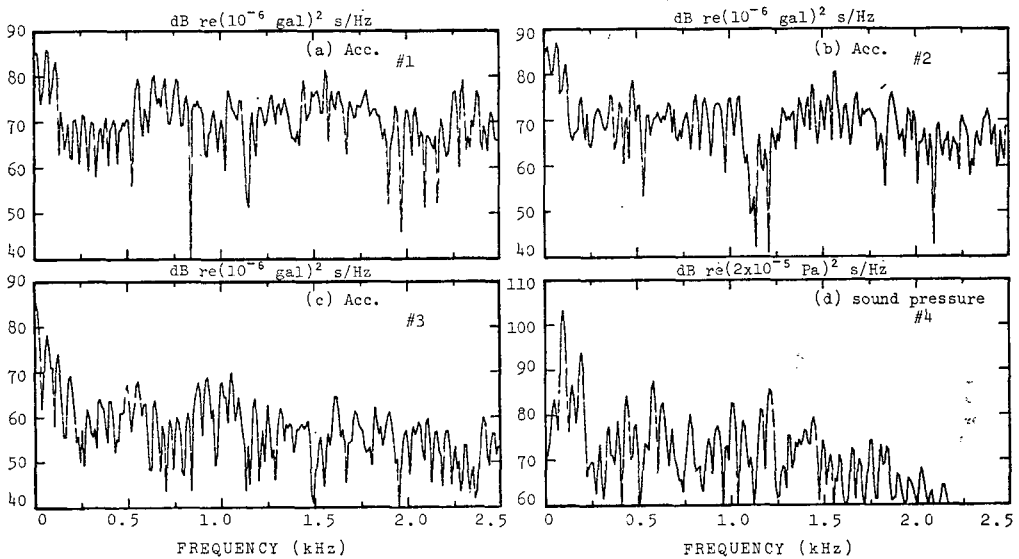


Fig. 6 Power spectral densities of vibration and sound pressure measured at gasoline engine

Table 2 Values of partial coherence function for gasoline engine at each peak frequency

Frequency (Hz)	$\gamma^2_{1y,2,3}$	$\gamma^2_{2y,1,3}$	$\gamma^2_{3y,1,2}$	$\gamma^2_{y,x}$
107	0.259	0.222	0.902	0.955
205	0.372	0.374	0.593	0.986
596	0.071	0.051	0.668	0.890
1221	0.943	0.501	0.548	0.994
449	0.750	0.558	0.318	0.863
1016	0.368	0.328	0.306	0.963
791	0.004	0.276	0.031	0.831
1455	0.591	0.254	0.860	0.988
1768	0.313	0.481	0.598	0.868

더블록 각 요소부의 중요한 공진모우드를 검출할 수 있다고 사료된다.

4.2 각 소음원과 방사음의 기여관계

Fig. 6은 가솔린엔진을 전부하상태에서 운전할 때에 측정된 각 요소부의 가속도응답 및 엔진 전방 2m 지점에서의 방사음에 대한 파워스펙트럼의 예를 나타낸 것이다. 이와 같이 입력과 출력의 스펙트럼 형상만으로는 입력원의 출력에 대한 기여도를 정확하게 판단하기는 어렵기 때문에 입력간 및 입출력간의 상관관계를 잔류하여 계산한 기여출력 파워스펙트럼을 Fig. 7에 나타내었다. 각 피크주파수에서 입력이 출력에 기여한 정량적인 평가를 기여도합수법에 의해 얻은 결과는 실측에 의해서 얻어진 결과와 비교하여 보면 Fig.

8에 나타난 바와 같이 거의 일치하고 있으나 FRF법의 식 (6)에 의해 얻어진 결과는 실측치 보다 상당히 높은 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 기여도합수법의 경우 입력간의 상관성분이 잔류되었기 때문이며 FRF법의 경우는 입력간의 상관성이 존재하고 있음에도 불구하고 그 상관성을 고려하지 않았기 때문에 실측치 보다 매우 높은 값을 나타내고 있는 것으로 판단된다. 즉 입력간의 상관관계가 존재함에도 불구하고 상관관계가 없는 즉 독립적이라고 가정한 식 (6)을 이용한 FRF법은 입력간에 강한 상관성이 존재하는 경우에 적용하는 것은 문제가 있는 것으로 생각된다.

다음은 기여출력 파워스펙트럼을 전주파수 영역에 있어서 적분한 레벨값을 Fig. 9에 나타내었다. 각 소음원의 기여순위는 중앙부근의 굽힘진동, 폴리부근의 굽힘진동, 플라이휠의 굽힘진동의 순으로 되어 있음을 알 수 있다. 즉 각 입력원 사이의 상관성을 고려하여 계산한 기여출력 스펙트럼을 적분함으로써 각 소음원의 기여순위를 보다 쉽게 결정할 수 있음을 알 수 있다. 한편 전주파수 영역에서 적분하여 대수합을 계산한 총 레벨을 Table 3에 나타내었다. Table 3에 나타낸 바와 같이 3입력을 고려한 경우 실측치 보다 약간 낮은 출력스펙트럼을 나타내고 있는데, 이는 연소소음 이외의 여러 가지 기계적 소음과 공기흡입 소음 및 펌 소음등의 다른 입력원이 존재할 가능성이 있음을 알 수 있다.

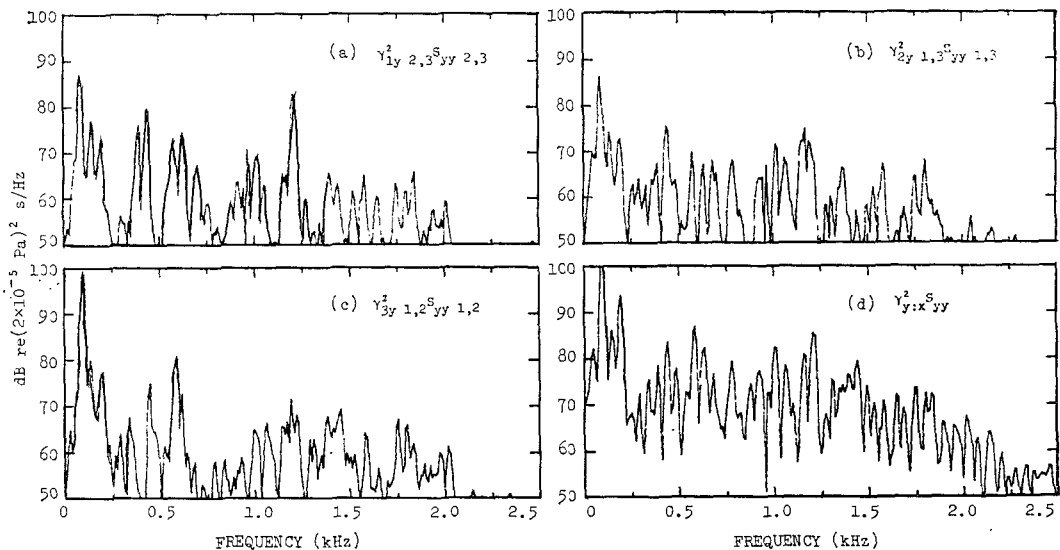


Fig. 7 Residual coherence output power spectrum

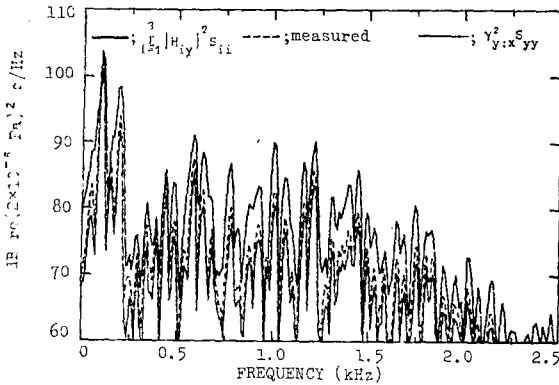


Fig. 8 Comparisons between FRF approach and coherence function approach

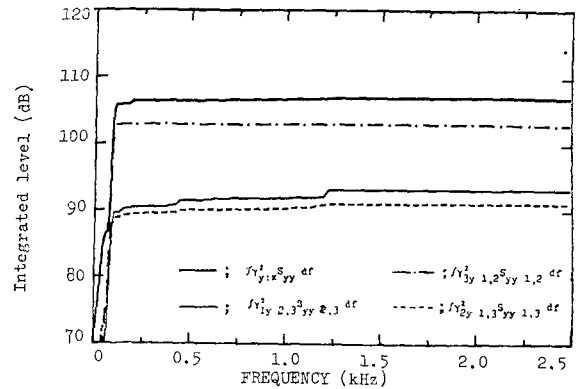


Fig. 9 Comparisons of integrated energy contribution to the coherent output power spectrum

Table 3 Overall level contributions estimated by coherence function approach for gasoline engine

Item		Value (dB)
Measured power output		107.25
Coherence function (dB)	$\int \gamma_{y,x}^2 S_{yy} df$	106.99
	$\int \gamma_{1,y}^2 S_{yy} df$	102.33
	$\int \gamma_{2,y}^2 S_{yy} df$	101.09
	$\int \gamma_{1,2,3}^2 S_{yy,2,3} df$	93.25
	$\int \gamma_{2,3}^2 S_{yy,1,3} df$	91.19
	$\int \gamma_{3,1,2}^2 S_{yy,1,2} df$	103.02

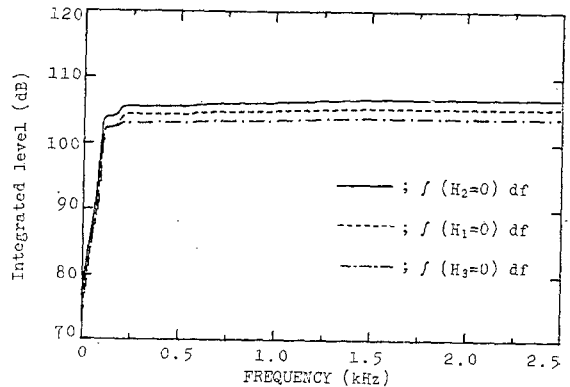


Fig. 10 Comparisons of integrated FRF by shield effect

4.3 방사음의 전달특성 및 차단효과 (Shield Effect)

각 소음원이 검출된 경우 각 입력원의 출력에 대한 전달특성, 즉 차단효과는 FRF 법의 식 (5)를 계산할 때 전달경로를 해석적으로 제거함으로써 예측하는 것이 가능하다. Fig. 10은 전주파수 영역에서의 차단효과를 나타낸 것이다. 예를 들어, 플라이휠 부근의 굽힘진동의 전달경로가 차단되었을 때 ($H_2=0$), 플리부근의 굽힘진동의 전달경로가 차단될 때 ($H_1=0$), 중앙부근의 굽힘진동의 전달경로가 차단될 때 ($H_3=0$)의 순으로 나타나고 있다. 이와 같은 결과는 총배벨의 값이 가장 크게 떨어지는 즉 오일팬 부근의 중앙부의 굽힘진동이 가장 큰 기여를 하고 있음을 의미한다. 한편 FRF 법에 의해서 얻어진 총배벨 값을 실측된 결과와 비교하여 나타내면 Table 4와 같다. Table 4에 나타낸 바

Table 4 Overall level contributions estimated by the frequency response function approach for gasoline engine

Item		Value (dB)
Measured power output		107.25
Frequency response function (dB)	$A = \int H_1 ^2 S_{11} df$	102.03
	$B = \int H_2 ^2 S_{22} df$	102.69
	$C = \int H_3 ^2 S_{33} df$	103.88
	$D(H_3=0) df$	103.95
	$E(H_2=0) df$	106.76
	$F(H_3=0) df$	105.38

$$D = |H_1|^2 S_{11} + |H_2|^2 S_{22} + H_1^* H_2 S_{12} + H_2^* H_1 S_{21}$$

$$E = |H_1|^2 S_{11} + |H_3|^2 S_{33} + H_1^* H_3 S_{13} + H_3^* H_1 S_{31}$$

$$F = |H_2|^2 S_{22} + |H_3|^2 S_{33} + H_2^* H_3 S_{23} + H_3^* H_2 S_{32}$$

와 같이 중앙부근의 굽힘진동의 전달경로가 차단되었을 때 ($H_3=0$) 총레벨이 103.95 dB로 다른 두개의 입력원인 플리부근의 굽힘진동 ($H_1=0$)과 플라이휠 부근의 굽힘진동 ($H_2=0$)의 전달경로를 각각 차단할 때의 총레벨 105.38 dB, 106.76 dB 보다 낮은 값을 가짐을 알 수 있다. 따라서 어느 소음원이 가장 크게 기여하고 있는가를 해석적으로 규명함으로써 전달경로의 차단효과를 쉽게 알 수 있다. 또한 Table 4에서 A, B, C는 세개의 입력중에서 두개의 입력을 동시에 차단시켰을 때의 총레벨 값을 나타낸 것이다. 즉 FRF법을 이용하여 각 입력이 출력에 전달되는 전달경로의 유효한 차단효과를 해석적으로 규명할 수가 있음을 알 수 있다.

따라서 본 실험에 사용된 엔진의 경우 중앙부근의 굽힘진동의 전달경로를 차단시키는 것이 소음을 감소시키는 데에 매우 효과적임을 알 수 있다.

5. 결 론

소음방지 대책을 세우는 데에 있어서 중요한 것은 실제로 가솔린엔진의 각 입력원간의 상대적 기여관계 및 진동계로부터 음향계에 전달특성을 파악하고 소음원을 검출하는 것이다. 본 연구에서 소음원을 가지는 가솔린엔진에 다차원 스펙트럼 해석법을 응용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 소음원간에 강한 상관관계가 존재하고 있을 때 진동원을 검출하기 위해서는 기여도합수법을 이용하는 것이 유효하다는 것을 검증하였다.

(2) 본 실험에 사용된 가솔린엔진의 실린더블록으로부터 방사되는 소음원의 기여순위는 총레벨에 대해서 오일팬부근의 중앙부의 굽힘진동, 플리부근의 굽힘진동, 플라이휠의 굽힘진동의 기여순위로 되어 있음을 알았다.

(3) 기여도합수법을 이용하여 소음원으로 간주되는 실린더블록의 각 요소부의 피크과파수를 검출하여 각 모우드별 기여순위를 결정할 수가 있었다.

(4) 각 소음원의 방사음에 대한 기여관계를 이용하여 실린더블록으로부터 방사되는 소음을 감소시키기 위해서는 식 (6)의 FRF법을 이용하여 오일팬 부근의 중앙부의 굽힘진동에 대한 전달경로를 차단시키는 것이 가장 효과적임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- (1) B.J. Challen, The Effect of Combustion System on Engine Noise, SAE Paper, 750798
- (2) R.G. Dejong and N.E. Parsons, High Frequency Vibration Transmission Through the Moving Parts of an Engine, SAE Paper, 800405
- (3) 林義正 外 5名, エンジンの燃焼騒音發生メカニズムに關する研究, 日産技報, 第16號, 1984
- (4) 康明順·吳在應·徐相炫, 多次元 스펙트럼 解析에 의한 가솔린엔진의 振動源 檢出에 關한 研究, 대한기계학회논문집, Vol. 9, No. 6, pp.691~698, 1985
- (5) M.E. Wang and M.J. Crocker, On the Application of Coherence Techniques for Source Identification in a Multi Noise Source Environment, J. Acoust. Soc. Am. Vol. 74, No. 3, pp.861~872, 1983
- (6) 吳在應 外 3人, 多次元 스펙트럼 解析による閉空間モデルを利用した衝擊騒音源の檢出, 日本機械學會論文集, C編, 第49卷, 第447號, pp.1971~1981, 1983
- (7) M.C. Junger, Sound Structure and their Interaction, MIT Press, 1972