

<論 文>

다차원 스펙트럼 해석에 의한 가솔린엔진의 진동원 검출에 관한 연구

강 명 순* · 오 재 응** · 서 상 현***

(1985년 5월 24일 접수)

A Study on the Identification of Vibration Sources of a Gasoline Engine by Multi-Dimensional Spectral Analysis

Myung Soon Kang, Jae Eung Oh and Sang Hyun Suh

Key Words: Vibration Source(진동원), Multi-Dimensional Spectral Analysis(다차원 스펙트럼 해석), Frequency Response Function(주파수 응답함수), Coherence Function(기여도 함수), Overall Level(총레벨)

Abstract

This paper presents a method for the identification of vibration sources in a multiple input system where the input sources may be coherent with each other. Using multi-dimensional spectral analysis, it is found that one of the most significant vibration sources of a gasoline engine is the pressure variation within the cylinder. In this analysis the concepts of residual spectral analysis and the partial coherence function are applied. Finally, the overall levels of the acceleration on the cylinder block obtained by multi-dimensional spectral analysis are compared with those by the frequency response function approach. The experimental results have shown a good agreement with the results calculated by this method the input sources are coherent strongly each other.

1. 서 론

최근 엔진 설계자들이 소음·진동문제에 관하여 많은

관심을 갖고 있는데, 대부분의 논문은 엔진 구조물의 표면응답을 측정하는 것이었다. 예를 들어, Kumar와 Strivastave⁽¹⁾는 크로스 상관함수법에 의한 엔진구조물과 전반적인 엔진 소음을 통계적 방법으로 적용하였으며, York⁽²⁾는 디젤 구조물에서 방출된 소음의 기여도를 결정하는 방법을 제시하였다. 이론적으로는, 엔진경로의 전달함수(구조물의 어떤 점에서의 응답과

*정회원, 한양대학교 공과대학 정밀기계공학과

**정회원, 한양대학교 공과대학 기계공학과

***정회원, 한양대학교 대학원 기계공학과

어떤 점에 작용하는 가진력과의 관계)를 자세히 알고 있으면, 엔진 구조물의 표면응답은 용이하게 평가될 수 있으나 엔진은 복잡한 구조물이기 때문에 가진력과 전달함수를 정확히 파악하기는 어려운 실정이다.

그러나, 최근에 엔진 구조물의 동적인 특성을 규명하기 위한 한 방법으로 주파수 분석^(3,4)에 의해 진동원을 검출하는 해석방법도 꾸준히 개발되고 있는 추세이다. 이러한 해석방법에는 진동원간의 상관관계가 존재하지 않는다고 가정하여 해석하는 주파수 응답함수(Frequency Response Function; FRF)^(5,6)법이 이용되고 있다. 그러나 실제의 구조물은 진동현상이 매우 복잡할 뿐만 아니라 한개의 구조물 내에도 많은 진동원이 존재하기 때문에 정확한 진동원의 검출이 어려운 경우가 많다.

따라서, 본 연구에서는 종래의 FRF 법을 이용하였을 때의 문제점을 보완하고 계의 정확한 진동원을 파악하기 위하여 진동원 간에 강한 상관관계가 존재하는 경우에 사용되는 다차원 스펙트럼해석(Multi-Dimensional Spectral Analysis; MDSA)^(7,8,9)법을 가솔린엔진에 적용 검토하였다.

2. 다차원 스펙트럼의 이론적 고찰⁽⁶⁻⁹⁾

Fig. 1(a)는 입력간에 상관관계가 없고, 상호 독립적인 경우의 입출력 관계 모델이며 실제의 진동계 혹은 음향계에 있어서는 일반적으로 입력간에 상관관계가 존재하는 경우가 많기 때문에 정확한 진동원을 검출하기 위하여 본 연구에서는 입력간의 상관관계를 고려하여 이론적 고찰을 수행하였다. Fig. 1(a)의 경우에 입력간 상관관계가 존재한다고 가정하면 출력 스펙트럼은 다음과 같이 쓸 수 있다.

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

여기서 $H_{iy}(f)$ 는 i 번째 입력이 출력에 기여하는 전달함수를 나타내며, S_{ij} 는 입력 x_i 와 x_j 간의 상호 파워 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(1)에서 입력간 상관관계가 없는 경우의 출력 스펙트럼은

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

로 나타내며, 본 논문에서는 식(1), (2)를 FRF 법^(6,8,9)이라 부른다. 다차원 스펙트럼해석을 이용하여 입력간 혹은 입출력간의 관계로부터 상관성분을 제거하기 위해서는 잔류 스펙트럼(residual spectrum)법을 이용하

게 된다. 예를 들어서, 1차적인 잔류 스펙트럼은 다음과 같은 식에 의해서 얻어진다.

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

$$S_{ij,1}(f) = S_{ij}(f) - L_{1j}(f) S_{i1}(f) \quad (i=2, 3; j=y) \quad (4)$$

여기서 $L_{1i}(f)$ 는 입력간 및 입출력간의 상관성분을 제거시킨 경우의 입력간 및 입출력간의 최적 전달함수이다[Fig. 1(b) 참조]. 마찬가지로 2차적인 잔류 스펙트럼은 예를 들어 $x_3(t)$ 에 대하여 구하면 입력 $x_1(t)$ 와 $x_2(t)$ 의 선형적인 영향을 제거함으로써 다음 식과 같이 된다.

$$S_{33,1,2}(f) = S_{33,1}(f) - |L_{23}(f)|^2 S_{22,1}(f) \quad (5)$$

$$S_{yy,1,2}(f) = S_{yy,1}(f) - |L_{2y}(f)|^2 S_{22,1}(f) \quad (6)$$

$$S_{3y,1,2}(f) = S_{3y,1}(f) - L_{2y}(f) \cdot S_{32,1}(f) \quad (7)$$

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

$$\gamma^{2,ij}(f) = \frac{|S_{ij}(f)|^2}{S_{ii}(f) S_{jj}(f)}, \quad (8)$$

$$\gamma^{2,iy}(f) = \frac{|S_{iy}(f)|^2}{S_{ii}(f) S_{yy}(f)}$$

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

으로 정의되며, 이러한 관계식을 이용하여 다입력계에 적용하면 잔류과정에 의하여 자 입력원의 순수 기여도를 나타낸 부분 기여도함수(Partial Coherence Function; PCF)를 $x_3(t)$ 에 대하여 구하면

$$\gamma^{2,3y,1,2}(f) = \frac{|S_{yy,1,2}(f)|^2}{S_{33,1,2}(f) S_{yy,1,2}(f)} \quad (9)$$

로 되며 이 식을 이용하여 입력간 및 입출력간의 상관

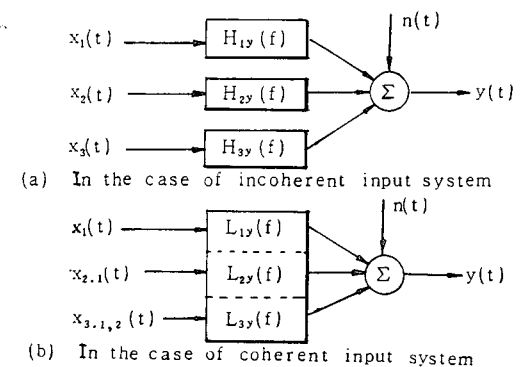


Fig. 1 Model of three input/single output system for gasoline engine
 x_1 : bending of crank shaft,
 x_2 : torsion of crank shaft
 x_3 : cylinder pressure

성분을 제거하여 계산된 다중 기여도함수(Multiple Coherence Function; MCF)는 다음과 같이 된다.

$$\gamma^2_{y,z}(f) = 1 - \{1 - \gamma^2_{1y}(f)\} \{1 - \gamma^2_{2y,1}(f)\} / \{1 - \gamma^2_{3y,1,2}(f)\} \quad (10)$$

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

실제로 진동원을 검출하려면 입력원의 출력에 대한 순수한 기여량을 계산할 필요가 있으므로 실측에 의한 출력 스펙트럼과 기여도함수와의 곱인 기여출력스펙트럼(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 각각 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} &\gamma^2_{1y,2,3}(f) \cdot S_{yy,2,3}(f) \\ &\gamma^2_{2y,1,3}(f) S_{yy,1,3}(f) \\ &\gamma^2_{3y,1,2}(f) S_{yy,1,2}(f) \end{aligned} \quad (11)$$

식(11)의 기여출력 스펙트럼은 입력신호와 출력신호를 측정할 때 S/N비가 높으면 높을수록 실제의 출력계의 출력 스펙트럼과 같이 잘 일치한다.

식(11)을 이용하여 진주파수 영역에 걸친 각 진동원의 기여관계를 파악하기 위하여 기여출력 스펙트럼의 총레벨(overall level)을 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \phi_1(0 \sim f) &= \int_0^f \gamma^2_{1y,2,3}(f) S_{yy,2,3}(f) df \\ \phi_2(0 \sim f) &= \int_0^f \gamma^2_{2y,1,3}(f) S_{yy,1,3}(f) df \\ \phi_3(0 \sim f) &= \int_0^f \gamma^2_{3y,1,2}(f) S_{yy,1,2}(f) df \end{aligned} \quad (12)$$

3. 실험

3.1 실험장치 및 측정계

실험에 사용된 엔진은 4기통 1400cc 가솔린엔진이다. 본 실험은 실제 엔진을 장착하여 가동될 때 각 요소부 중에서 진동원으로 간주되는 크랭크축의 비틀림

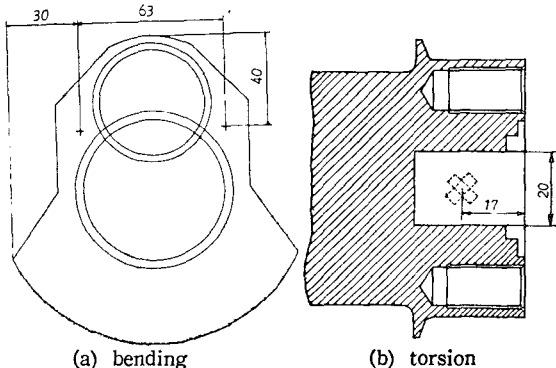


Fig. 2 The attachment position of strain gage

및 굽힘진동의 측정을 위하여 스트레인게이지의 부착 위치를 Fig. 2에 표시하였다. 스트레인 게이지의 결선방법은 오차와 계인의 정도를 높이기 위하여 풀브릿지법으로 하였다.

사용되는 게이지는 고감도 항열성 게이지(KFD-2-CI-11, KYOWA Co.)로서 크랭크축에 부착시키기 위하여 고온용 접착제 PC-6(사용온도 $-260 \sim 250^\circ\text{C}$)를 사용하였다. 실린더 압력을 측정하기 위하여 제 4 실린더⁽⁶⁾에 원형 저항 스트레인식 가솔린엔진 전용 지압계(MP-100, Shinkoh)를 사용하였다. 한편 실린더 블록 오일팬 부근^(10,11)의 진동은 실제로 음으로 가장 많이 방사되기 때문에 가속도 피입(B & K Type 4366)을 실린더 블록 오일팬 부근에 부착하여 진동을 측정하였다. 특히 스트레인 게이지를 부착하고 회전하는 크랭크축에서의 출력신호를 정지된 계통으로 뽑아내기 위해 전기적인 전달장치인 슬립링(KYOWA Co.)을 사용하였다.

본 연구에서는 다차원 스펙트럼해석의 적용성을 검토하기 위하여 측정계 및 전달특성을 고려하여 크랭크축의 굽힘진동, 비틀림진동, 실린더의 점화조건을 고려한 대표적인 실린더의 내부압력을 입력원으로 하였으며, 실린더 블록의 진동을 출력으로 각각 입력력 판

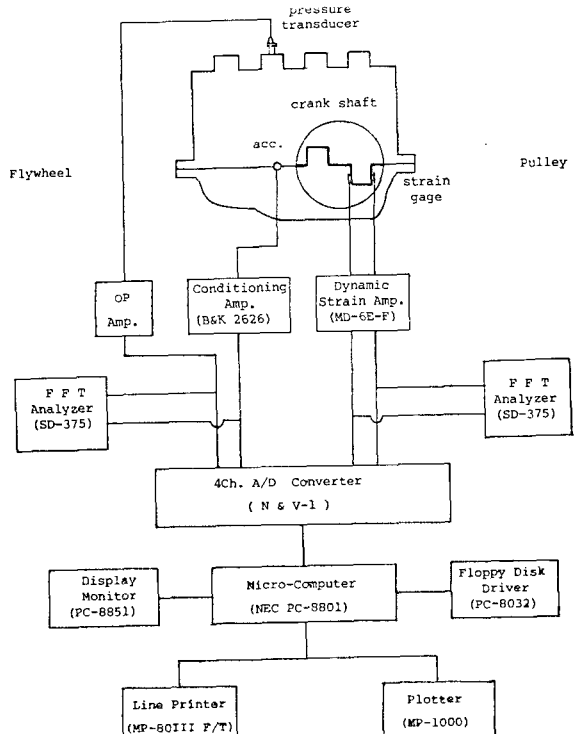


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

계를 모델화하여 실험을 실시하였다.

3.2 데이터 처리순서

본 연구에 사용된 측정계 및 분석계의 계통도를 Fig. 3에 나타내었다. 가속도계와 스트레인 게이지에 의해 측정된 출력신호를 증폭기로 증폭시켜 각각의 채널로 그 신호를 A/D변환기에 의해 디지털화하여 마이크로 컴퓨터에 입력시켜서 랜덤 데이터 처리를 수행하였다. 한편 2대의 2채널 F.F.T. (Fast Fourier Transform) 분석기에 의하여 시간영역 및 주파수 영역에서 모니터링하면서 A/D변환기에서 마이크로 컴퓨터에 전송된 각 데이터를 이용하여 주파수 응답함수, 각 입력간 및 입출력간의 기여도함수, 잔류스펙트럼을 계산하였다. 그리고 각 입력원의 출력에 대한 기여관계를 진주파수 영역에 걸쳐서 적분한 총레벨에 의하여 각 진동원의 기여량 및 기여순서를 계산하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 다입력계의 상관성 검토

다차원 스펙트럼해석의 이론적인 가정에서 가장 중요하다고 생각되는 입력간의 상관($\gamma^{2,ij}$)과 입출력간의 상관($\gamma^{2,io}$) 관계를 검토해야 할 필요가 있다. 특히 입력간의 일반 기여함수($\gamma^{2,ij}$)는 임의의 입력 x_i 와 x_j 가 독립적이거나 혹은 상호간에 상관관계가 존재하는가를 판단하는데 매우 중요하다.

3입력계의 입력간의 상관관계는 Fig. 4와 Table 1에 보이는 바와 같이 상당히 높은 값을 나타내고 있는

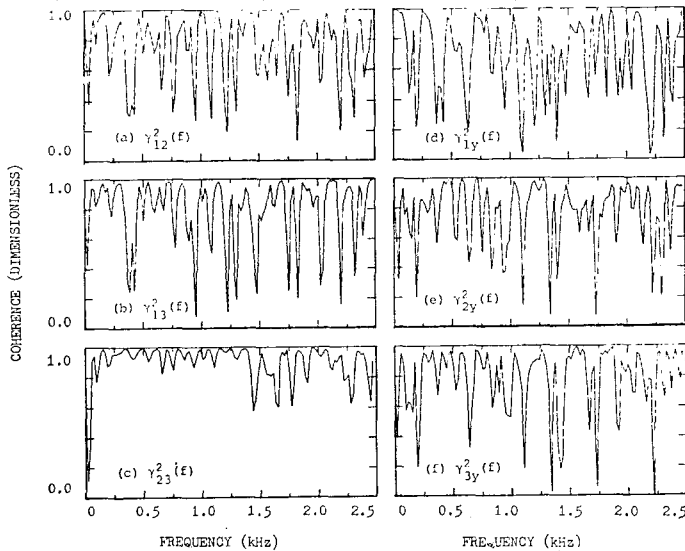


Fig. 4 Ordinary coherence functions for gasoline engine

데 이와 같은 결과로 보아 입력간에 상관성이 존재하고 있는 것으로 생각된다. 일반적으로 다차원 스펙트럼해석을 가솔린엔진에 적용하기 위해서는 입력간의 일반 기여도 함수가 0.5 이상의 높은 값이 요구된다⁽⁹⁾. 본 연구에서는 Table 1에 나타낸 바와 같이 OCF가 진주파수가 영역에서 평균 0.7이상의 높은 값을 나타내는 것으로 보아 입력간에 강한 상관관계가 존재하고 있기 때문에 다차원 스펙트럼해석의 적용이 가능하다는 것을 알 수 있다. 한편 다중 기여도함수가 만약 낮은 값을 갖는 경우 다입력관계로 해석할 때에 계의 비선형적인 요소에 의한 영향이 크거나 혹은 실제로 존재하는 다른 입력원이 무시된 것으로 생각할 수 있다. 그러나 본 연구에서 얻은 다중 기여도함수는 Table 2의 $\gamma^{2,y,x}$ 항에 나타낸 바와 같이 대부분의 공진 주파수에서 높은 값을 나타내고 있는 것으로 보아 본 연구에 사용된 가솔린엔진은 다차원 스펙트럼해석을 적용하는 것이 유효하다고 생각된다.

본 실험에서 각 입력원의 기여관계를 나타내는 부분 기여도함수를 각 공진점에서의 스펙트럼 크기 순으로 나타내면 Table 2와 같게 된다. 예를 들어 78Hz 부근에서의 기여도는 크랭크축의 굽힘진동이 가장 크고, 실린더의 내부압력, 크랭크축의 비틀림 진동은 거의 기여하지 않고 있음을 알 수 있으며 488Hz 부근에서는 크랭크축의 비틀림 진동, 실린더의 내부압력, 크랭크축의 굽힘진동의 순으로 나타내고 있음을 알 수 있다.

4.2 각 입력원과 출력의 기여관계

Fig. 5는 가솔린엔진을 진주하 상태에서 운전할 때에

Table 1 Values of averaged ordinary coherence function

γ^2_{12}	γ^2_{13}	γ^2_{23}	γ^2_{1y}	γ^2_{2y}	γ^2_{3y}
0.744	0.780	0.898	0.687	0.757	0.743

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

Frequency (Hz)	$\gamma^2_{1y,2,3}$	$\gamma^2_{2y,1,3}$	$\gamma^2_{3y,1,2}$	$\gamma^2_{y,x}$
78	0.822	0.139	0.192	0.995
1582	0.296	0.655	0.907	0.995
488	0.585	0.792	0.604	0.993
1055	0.665	0.299	0.619	0.994
1504	0.229	0.541	0.229	0.984
1309	0.736	0.217	0.603	0.995
605	0.587	0.634	0.780	0.998

측정한 각 요소부의 응답 및 실린더 블록의 가속도 응답에 대한 파워 스펙트럼(power spectrum)의 예를 나타낸 것이다. 입력과 출력의 파워스펙트럼 형상만으로는 입력원의 출력에 대한 기여도를 정확하게 판단하기 어렵기 때문에 입력간 및 입출력간의 상관관계를 잔류하여 계산한 부분 기여도함수를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 6에 나타낸 결과로부터 각 공진주파수에서 입력이 출력에 기여한 정량적인 평가를 다차원 스펙트럼해석에 의해 할 수 있다고 생각된다.

다음은 입력간의 상관관계를 고려하여 계산한 기여출력 스펙트럼(출력중 순수한 입력에 의한 부분)(.....; 점선)과 실측된 파워 스펙트럼(잡음 등을 포함한 전체 출력)(—; 굵은선)을 비교하면 Fig. 7에 나타난 바

와 같이 전주파수 영역에서 거의 일치하고 있지만 실측치가 약간 더 높은 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 한편 Fig. 8은 입력원의 가장 적당한 갯수를 결정하기 위하여 입력을 두개(제 4 실린더 압력, 크랭크축의 굽힘진동), 세개(제 4 실린더의 압력크, 랭크축의 굽힘진동, 비틀림진동), 네개(3입력원 이외에 제 1 실린더의 압력을 추가함)로 한 경우의 기여출력 스펙트럼을 나타내고 있다. 두개의 입력만 고려한 $\gamma^2_{y,x(2)}S_{yy}$ (—)는 실측치(Fig. 7의 굵은 실선)보다 훨씬 작은 반면에 네개의 입력을 고려한 경우의 $\gamma^2_{y,x(4)}S_{yy}$ (—)는 세개의 입력을 고려한 $\gamma^2_{y,x(3)}S_{yy}$ (.....)와 큰 차이가 없는 것으로 보아 본 연구에서는 세개의 입력만으로 진동원의 기여평가가 가능하다는 것을 알 수 있다. 또한 이것은 Fig. 6(d)에서 보는 바와 같이 입력과 출력 사이의 상관을 고려한 다중 기여도함수가 1에 가깝다는 것을 의미한다. 이에 반해서 FRF법에 의해 얻은 Fig. 7에 나타낸 결과(—; 가는선)는 실측치보다 상당히 높은 값을 나타내고 있다.

이와 같은 결과로부터 MDSA법의 경우는 입력간의 상관관계를 잔류하여 계산되었기 때문에 출력기여 스펙트럼값이 실측치보다 적지만 FRF법의 경우에는 입력간의 상관관계가 존재하고 있음에도 불구하고 상관성을 고려하지 않았기 때문에 실측치보다 매우 높은 경향을 나타내고 있는 것으로 판단된다. 즉 입력간의 상관관계가 존재함에도 불구하고 상관관계가 없는, 독립적이라고 가정한 식(2)의 FRF법은 입력간에 강한 상관관계가 존재하는 경우에 적용하는 것은 문제가 있는 것으로 생각된다.

Fig. 9는 기여출력 스펙트럼을 0Hz에서 임의의 주파수까지 적분시킨 총베벨 값을 나타내고 있다. 그림

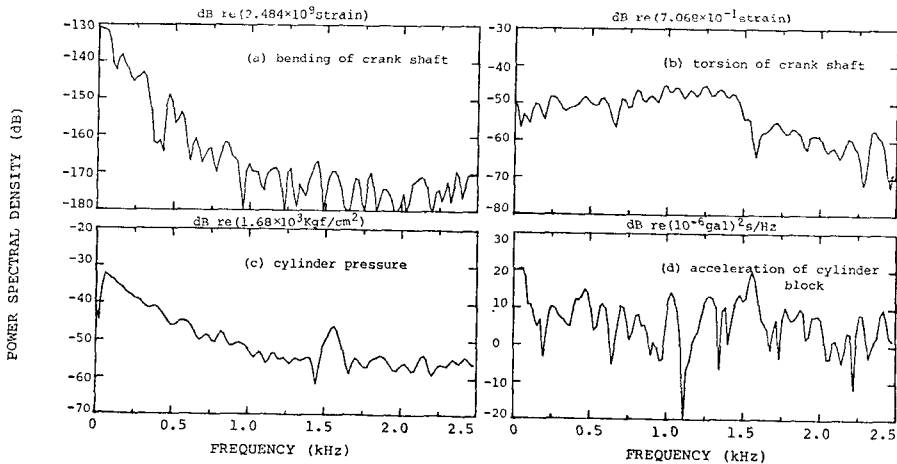


Fig. 5 Typical power spectral densities for gasoline engine

에서 나타난 바와 같이 각 입력원의 기여순위는 380Hz 이하의 주파수 영역에서는 크랭크축의 굽힘진동, 비틀림진동, 실린더 내부압력 순으로 되어 있으나, 380Hz

이상의 주파수 영역에서는 실린더의 내부압력, 크랭크축의 굽힘진동, 비틀림 진동 순으로 되어 있음을 알 수 있다. 즉 각 입력원 사이의 상관성을 고려하여 계산한 기여출력 스펙트럼을 적분함으로써 각 입력원의 기여 순위를 보다 쉽게 결정할 수 있음을 알 수 있다.

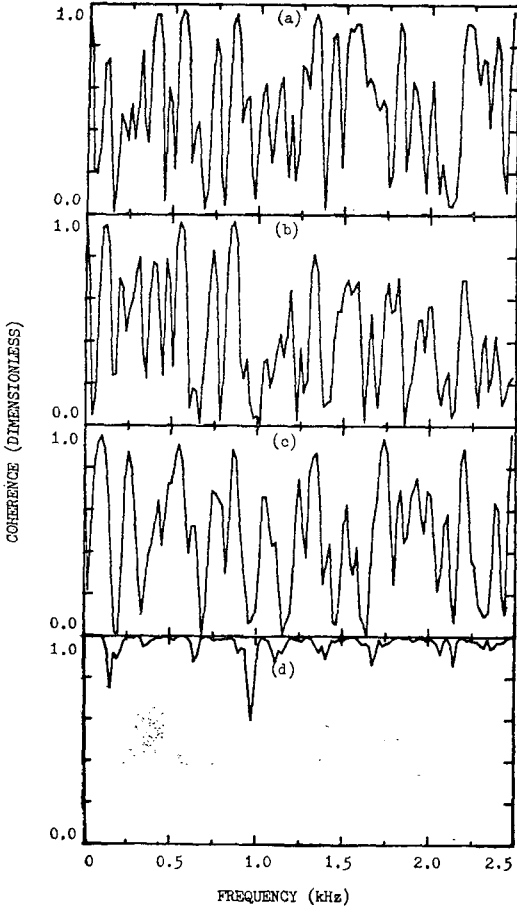


Fig. 6 Partial coherence functions and multiple coherence functions;

(a) $\gamma^2_{3y-1,2}$, (b) $\gamma^2_{2y-1,3}$, (c) $\gamma^2_{1y-2,3}$, (d) $\gamma^2_{y;x}$

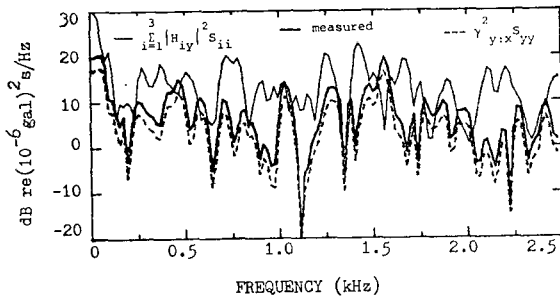


Fig. 7 Comparison between FRF approach and coherence function approach

4.3 진동의 전달특성 및 차단효과 (Shield Effect)

각 입력원의 출력에 대한 전달특성 및 차단효과를 FRF 법의 식 (1)을 계산할 때, 전달경로를 해석적으로 제거함으로써 예측하는 것이 가능하다. Fig. 10은 전 주파수 영역에서의 차단효과를 나타낸 것이다. 예를 들어, 1425Hz에서의 차단효과는 비틀림 진동의 전달경로가 차단될 때 ($H_2=0$), 굽힘진동의 전달경로가 차단될 때 ($H_1=0$), 실린더의 내부압력의 전달경로가 차단될 때 ($H_3=0$)의 순으로 나타나고 있다. 이것은 주파수 응답 레벨의 값이 가장 크게 떨어지는 실린더의 내부압력이 1425Hz에서 가장 큰 기여를 하고 있음을 의미한다. 즉, 어떤 입력원 하나를 제거하였을 때의 값이

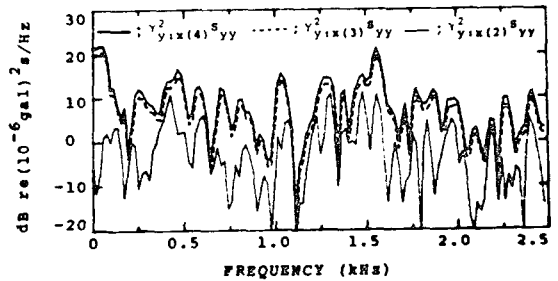


Fig. 8 Comparisons of coherent output spectrum for 2-input, 3-input and 4-input models

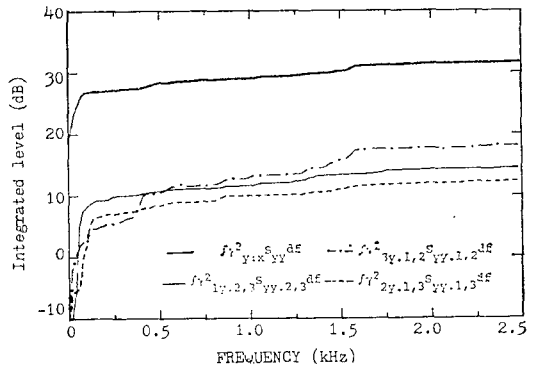


Fig. 9 Comparison of integrated energy contributions to the coherent output power spectrum

3 입력원 모두를 고려한 주파수 응답레벨의 값보다 가장 낮은 값을 갖는다면, 그 입력원은 다른 두 입력에 비해서 더욱 큰 기여를 하고 있음을 의미한다. 따라서 1425Hz에서의 기여순위는 차단할 때의 값의 역순인 실린더 내부압력, 굽힘 진동, 비틀림 진동의 순으로 되는 것을 알 수 있다.

Fig. 11은 각각의 진동원의 전달경로를 차단시켰을 때의 스펙트럼을 전주파수 영역에 걸쳐서 적분한 총레

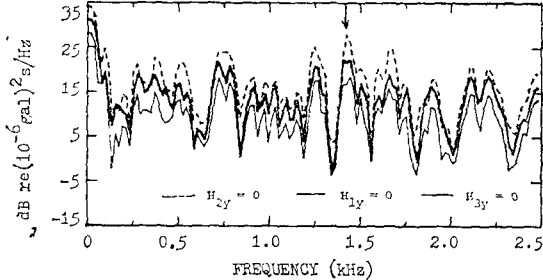


Fig. 10 Comparison of frequency response functions by shield effect

Table 3 Comparison of integrated level contributions estimated by the frequency response function approach and by the coherence function approach for the gasoline engine

Approach	Items	Contributions measured output (dB)	Gasoline engine 33.64
Coherence function (dB)	$\int r^2_{y,x} S_{yy} df$	31.64	
	$\int r^2_{1y} S_{yy} df$	30.91	
	$\int r^2_{2y,1} S_{yy,1} df$	22.70	
	$\int r^2_{1y,2,3} S_{yy,2,3} df$	14.36	
	$\int r^2_{2y,1,3} S_{yy,1,3} df$	11.20	
	$\int r^2_{3y,1,2} S_{yy,1,2} df$	17.03	
Frequency response function (dB)	$A = \int H_1 ^2 S_{11} df$	33.08	
	$B = \int H_2 ^2 S_{22} df$	32.96	
	$C = \int H_3 ^2 S_{33} df$	33.92	
	$\int D(H_3=0) df$	38.25	
	$\int E(H_2=0) df$	39.34	
	$\int F(H_1=0) df$	39.00	

$$D = |H_1|^2 S_{11} + |H_3|^2 S_{22} + H_1^* H_2 S_{12} + H_2^* H_1 S_{21}$$

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

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

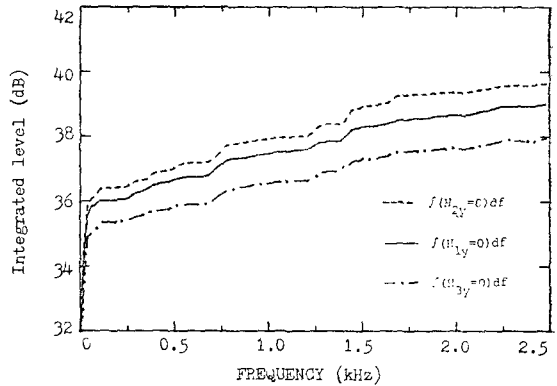


Fig. 11 Comparison of integrated FRF by shield effect

벨을 나타내고 있으며 Table 3은 FRF 방법과 MDSA 법을 전주파수 영역에 걸쳐 적분한 총레벨의 값을 비교하여 나타낸 것이다. Fig. 11과 Table 3에 나타난 바와 같이 실린더의 내부압력이 차단될 때 ($H_3=0$)의 총레벨이 38.25dB로 다른 두개의 입력원인 굽힘 진동 ($H_1=0$)과 비틀림 진동 ($H_2=0$)을 각각 차단할 때의 총레벨 39.00dB, 39.34dB보다 낮은 값을 가짐을 알 수 있다. 따라서 총레벨에서의 기여순위는 실린더의 내부압력, 크랭크축의 굽힘 진동, 비틀림 진동으로 되고 있음을 알 수 있다. 또한 Table 3에서 A, B, C는 세계의 입력중에서 두개의 입력을 동시에 차단시켰을 때 총레벨의 값을 나타낸 것이다. 즉, FRF 법을 이용하여 각 입력이 출력에 전달되는 전달경로에 유효한 차단효과를 해석적으로 규명할 수가 있음을 알 수 있다.

따라서 본 실험에 사용된 엔진의 경우 실린더의 내부압력의 전달경로를 차단시키는 것이 실린더 블록의 진동을 저감시키는 데에 매우 효과적임을 알 수 있다.

5. 결 론

진동방지 대책을 세우는 데에 중요한 것은 실제로 가솔린엔진의 각 입력원간의 상대적 기여관계 및 전달 특성을 파악하고 진동원을 검출하는 것이다. 이상의 실험결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 입력간에 강한 상관관계가 존재하고 있을 때 진동원을 검출하기 위해서는 다차원 스펙트럼해석법을 이용하는 것이 유효하다는 것을 검증하였다.

(2) 본 실험에 사용된 가솔린엔진 블록에 미치는 진동의 기여순위가 총레벨에 대해서는 실린더의 내부압

력, 크랭크축의 굽힘 진동, 크랭크축의 비틀림 진동 순으로 되어 있음을 알 수 있다.

(3) 다차원 스펙트럼해석을 이용하여 실린더 블록의 진동원으로 간주되는 각 요소부의 공진주파수를 검출하여 각 모드별 기여순위를 결정할 수가 있었다.

(4) 식 (2)의 FRF 법에 의해 각 입력원의 출력에 대한 기여관계를 이용하여 전달경로를 해석적으로 실린더 블록의 진동을 저감시키기 위해서는 실린더 내부압력의 전달경로를 차단시키는 것이 가장 효과적임을 알 수 있었다.

후 기

본 연구를 수행하는데 협조해 주신 기아산업 중앙연구소 소장 정남학 상무님, 신동영 이사님, 김재만 차장님 이하 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- (1) S. Kumar and N.S. Strivastava, Investigation of Noise due to Structural Vibration using a cross-correlation technique, J. Acoust. Soc. Am. Vol. 57, pp. 769~772, 1975
- (2) P.J. Yoke, The Application of Idealization and Response Analysis to Diesel Engine Noise Assessment, SAE Paper, 750836
- (3) K.A. Ramsey, Effective Measurements for Structural Dynamics Testing-part 1, S. & V., pp. 24~35, 1975
- (4) K.A. Ramsey, Effective Measurements for Structural Dynamics Testing-part 2, S. & V., pp. 18~31, 1976
- (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) J.E. OH, Application of Multi-dimensional Spectral Analysis for Noise Identification on Mechanical Structures, Thesis of Doctor Eng. Tokyo Institute of Technology, 1983
- (7) J.S. Bendat and A.G. Piersol, Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis, Chap. 8, pp. 188, John Wiley & Sons, 1980
- (8) 吳在應, 鍛造機の衝擊騒音の檢出への多次元スペクトル解析の應用, 日本機械學會論文集, 第51卷 第463號, pp. 699~704, 1985
- (9) 吳在應外 3人, 多次元スペクトル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, 第49卷 第447號, pp. 1971~1981, 1983
- (10) Hideo Okamura, Experiments on the Transmission Paths and Dynamic behavior of Engine Structure Vibrations. I. Background and Static tests, J. Acoust. Soc. Am. Vol. 67, No. 2, pp. 538~545, 1980
- (11) Hideo Okamura, Experiments on the Transmission Paths and Dynamic behavior of Engine Structure Vibrations. II. Motoring tests, J. Acoust. Soc. Am. Vol. 67, No. 2, pp. 546~550, 1980