

공회전 차량의 구조기인 소음 해석

"배 병 국" . 김 광 준"

(Analysis of Structure-Borne Noise in a Passenger Car During Idling)

(Byeng-Kuk Bae, Kwang-Joon Kim)

1. 서론

승용차의 수요 증가 및 고급화, 경량화에 따라 차량의 승차감 개선에 많은 관심이 집중되고 있으며 승차감의 향상을 위한 차량의 소음/진동 문제 해결에 많은 노력이 집중되고 있다. 차실소음 및 차체진동의 감소, 제어를 위한 노력으로 소음/진동원의 특성규명 및 소음/진동의 전달 경로와 차실내 소음 특성파악 등의 연구가 진행되어 왔다. 여러 소음/진동원에서 발생한 소음/진동은 구조전달 혹은 공기전달 등의 경로를 통하여 실내음장을 형성하게 되며, 따라서 실내소음의 저감을 위해서는 이들 소음원 및 전달 경로에 대한 이해가 필요하게 된다¹⁾.

차량등 운전중인 기계 구조물의 소음/진동원 및 전달 경로에 대한 해석 방법으로 신호 처리 기법이 널리 이용 되어 왔으며, 이러한 신호 처리 기법의 적용은 실내소음을 출력으로 여러 소음원을 입력으로 하는 다중입력/단일출력 모형을 구성하므로써 각 소음원들의 출력에 대한 기여와 전달경로에 대한 특성을 파악할 수 있게 된다^{2,3)}. 이들 소음원의 기여정도는 기여도함수와 기여출력 스펙트럼으로 나타낼 수 있으며, 특히 소음원들 사이에 상관관계가 존재하는 경우에는 부분 기여출력 스펙트럼으로 표현 가능하다. 부분 기여출력 스펙트럼은 신호들의 잔여성분(residual)들로부터 얻어지는데 이를 위해서는 먼저 소음원들 사이의 상관관계에 대한 이해가 선행되어야 하며 이들 소음원들 사이의 상관관계를 인과관계로 파악할 수 있어야 한다. 이로부터 다중입력/단일출력 모형을 통한 각 소음/진동원의 특성 및 전달 경로에 대한 해석을 수행할 수 있다.

본 연구에서는 공회전시 발생하는 승용차의 실내소음에 대하여 각 소음원들의 특징과 실내소음에 기여하는 정도를 다중입력/단일출력 모형을 구성하므로써 기여도 및

부분 기여도 함수를 이용한 신호 처리 방법으로 소음원을 규명하였다.

2. 적용이론

공회전 중인 승용차에서는 엔진폭발음과 흡배기계에서 발생하는 소음/진동이 여러 전달경로를 통하여 차실내로 투과 방사되어 실내소음이 발생하게 된다. 특히 차체를 통하여 전달되는 구조기인 소음의 경우 각 소음/진동원에 의해 차체 및 판넬이 가진되고 이로부터 실내음장이 형성된다. 이들을 소음/진동원 및 전달경로로 간주할 수 있으며, 차실내의 소음과의 관계를 살핌으로써 여러 소음/진동원의 실내음에 대한 기여정도와 전달경로의 특성을 알 수 있다. 소음/진동신호들 사이의 연관성과 기여정도는 신호들 사이의 기여도 함수(coherence function)와 기여출력(coherent output) 스펙트럼으로 표현할 수 있다.

$$\gamma_{xy}^2(f) = \frac{|G_{xy}(f)|^2}{G_{xx}(f)G_{yy}(f)} \quad (1)$$

$$G_{y,x}(f) = \gamma_{xy}^2(f)G_{yy}(f)$$

기여도 함수는 두 신호 사이의 선형적인 상관관계를 나타내므로 소음/진동원 및 전달경로들의 실내음에 대한 상관정도를 쉽게 파악할 수 있다. 그러나 소음/진동원이 서로 독립적으로 작용하지 않은 경우에는 기여도 함수만으로 소음/진동원의 특성을 파악할 수 없게 되며, 이 때에는 각각의 소음원을 분리(conditioning)하여 얻어지는 잔여(residual)성분들로부터 상관정도를 파악할 수 있으며 이는 부분 기여도 함수(partial coherence function)로 표현하게 된다.

- * 한국과학기술원 기계공학과
- ** 한국과학기술원 기계공학과 (정회원)

$$\gamma_{xy,i}^2(f) = \frac{|G_{xy,i}(f)|^2}{G_{xx,i}(f)G_{yy,i}(f)} \quad (2)$$

$$G_{yy,x,i}(f) = \gamma_{xy,i}^2(f)G_{yy,i}(f)$$

부분 기여출력 스펙트럼은 잔여성분에 대한 부분 기여도 함수로 표현할 수 있으며 기여도 함수와는 다른 특성을 나타내게 된다. 따라서 실내소음을 유발하는 각 소음원들의 관계를 기여도 함수와 부분 기여도 함수를 이용하여 파악할 수 있다.

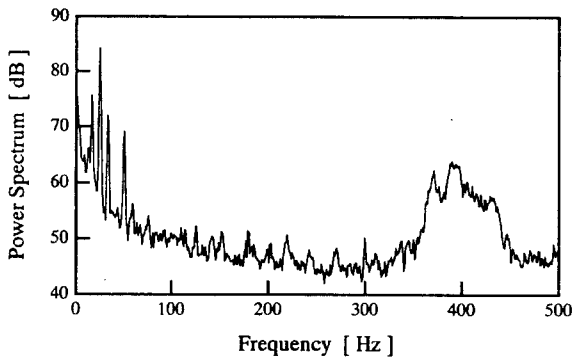
3. 차실내 소음원 규명

3.1. 차실내 소음

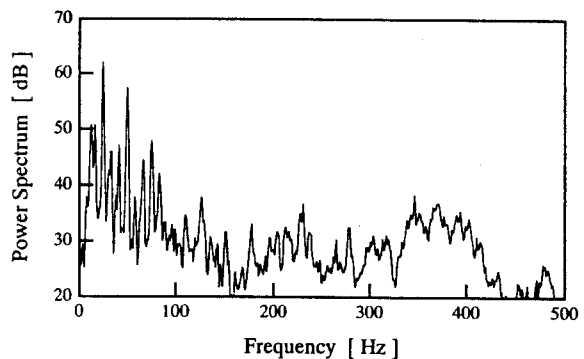
공회전 중의 차실내 소음은 주로 500Hz 이하 영역에 분포하고 있으며 이에 대한 소음원은 엔진의 폭발 및 흡배기계통과 관련 지을 수 있다¹⁾. 따라서 엔진폭발과 관련하여 엔진블럭의 진동신호를, 배기계통과 관련하여

배기관의 진동신호를 차실내 소음에 대한 입력신호로 하고 차체와 레일, 필라, 판넬등을 전달경로로 하는 다중입력/단일출력 모형을 구성하였다.

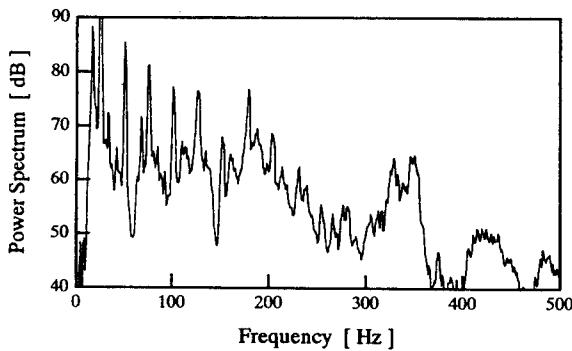
이때 얻어지는 신호들의 자기 스펙트럼은 그림 1과 같이 나타난다. 실험대상인 3기통 차량의 경우, 엔진 공회전수가 약 1020RPM으로 엔진폭발의 기본주기는 25.5 Hz이며 실내소음 및 필라등에서 관찰되는 저주파 영역(약 100Hz 이하)의 (0)피크들은 엔진 공회전수와 관련된 성분이다. 또한 25.5Hz 주기 사이의 (v)피크들은 3기통에 관련된 성분으로 세개의 피크가 25.5Hz 간격으로 나타나며 이들 저주파 영역의 피크들은 엔진폭발에 따른 엔진블럭의 진동신호로부터 기인된 것이다²⁾. 그 외에도 실내소음은 많은 주파수 성분을 가지며 분포하고 있으며 400Hz 대역에서는 비교적 넓은 주파수 성분을 포함하고 있다. 이러한 실내 소음의 특성은 전달경로인 필라 등에서도 비슷한 형태로 나타내고 있다. 또한 그림 2의 실내소음과 이들 소음원 및 전달경로 사이의 기여도 함수로부터 200Hz영역(150-350 Hz)의 신호는 배기관의 진동신호와



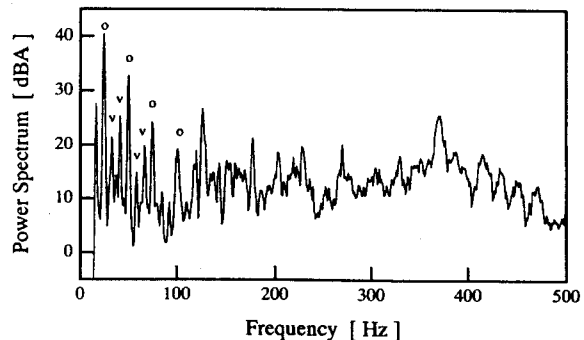
a. 엔진블럭의 가속도 신호



c. 센터필라의 가속도 신호



b. 배기관의 가속도 신호



d. 실내소음

그림 1. 소음/진동신호의 자기 스펙트럼

밀접한 관계가 있으며 400Hz영역의 신호는 엔진블럭의 진동 신호와도 관계되어 있음을 알 수 있다.

3.2. 기여도 및 부분 기여도

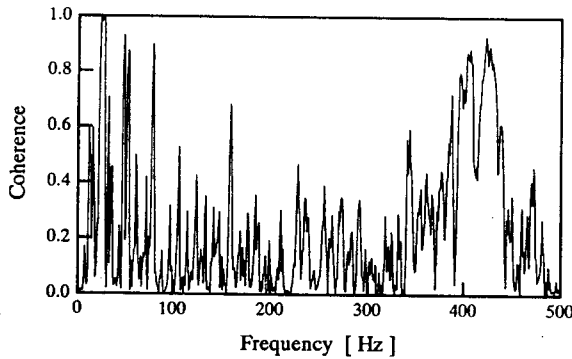
그림 2의 기여도 함수에서 살펴보면 200Hz 영역에서는 입력신호인 엔진블럭과 배기관의 진동신호 사이에 큰 상관 관계가 존재하지 않으며(그림 2.a), 이 부분의 실내소음은 배기관의 진동신호와 밀접한 관계가 있음을 나타낸다(그림 2.b, 2.c). 그러나 400 Hz 주변의 실내소음은 배기관 뿐만 아니라 엔진블럭과도 큰 상관관계를 보이므로 단순히 기여도 함수만으로 소음원을 판단하기 어렵다. 따라서, 이 영역의 신호에 대해서는 잔여성분을 통한 해석이 필요하며 이를 위하여 엔진블럭과 배기관 사이의 인과관계(causality)를 우선적으로 파악하고 있어야 한다. 이들의 인과관계는 그림 3에서 두 신호 사이의 전달함수를 살펴봄으로써 가능하다. 즉, 엔진블럭의 진동신호를 입력으로 배기관의 신호를 출력으로 하는 전달함수 $H_{yx}(f)$ 와 배기관의 신호를

입력으로 엔진블럭의 신호를 출력으로 하는 전달함수 $H_{xy}(f)$ 에 대한 실수부와 허수부의 힐버트 관계로부터 배기관의 진동은 엔진블럭의 진동에 의해 발생한 것임을 알 수 있다⁴⁵⁾. 이는 이들 전달함수들로부터 구해지는 충격 응답 함수에서도 판별할 수 있으며⁴⁶⁾, 따라서 400Hz 주변에서 공통적으로 나타나는 상관관계는 엔진블럭의 진동에 의한 것으로 배기관의 신호에서 엔진블럭의 신호를 제거한 잔여신호로 다시 살펴 보아야 한다.

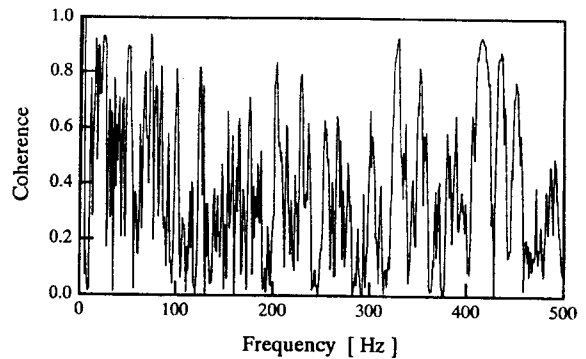
엔진블럭의 진동에 기인한 요소를 제거한 잔여성분을 살펴보면 400Hz 주변에서 배기관 및 필터와 실내소음 사이의 부분 기여도함수는 크게 줄어든다(그림 4). 즉, 400Hz 주변의 실내소음은 엔진블럭의 진동신호와 관련되어 있으며 배기관은 이 영역에서 소음/진동원의 역할이 아니라 전달경로의 역할을 하는 것으로 판단된다.

3.3. 엔진블럭의 충격시험

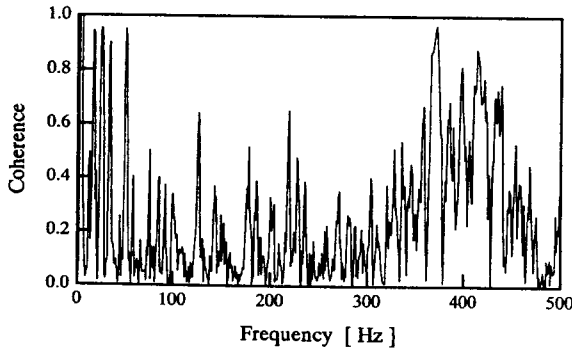
400Hz 주변에서 나타나는 엔진블럭의 진동신호를



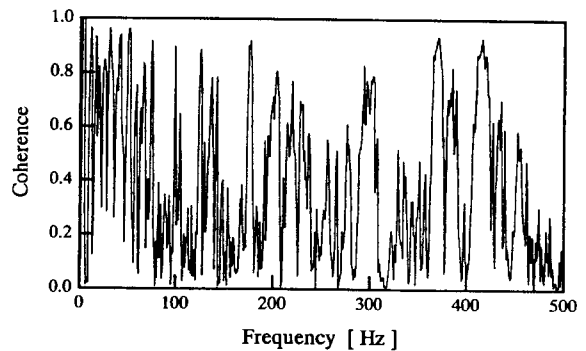
a. 엔진블럭 : 배기관



c. 배기관 : 실내소음



b. 엔진블럭 : 실내소음



d. 센터필라 : 실내소음

그림 2. 신호들 사이의 기여도 함수

살펴보기 위하여 그림 5와 같이 충격시험을 실시하였다. 상하방향을 X, 좌우방향을 Y로 하였을때 나타나는 엔진블럭의 충격시험 결과, X방향의 충격과 Y방향의 충격에 대해 380Hz, 400Hz에서 엔진블럭의 모우드가 존재함을 알 수 있다(그림 6.a). 이러한 모우드와 관계된 진동이 엔진마운트를 통하여 차체에 전달되는 과정을 살펴보기 위하여 충격시험시 마운트 연결부에서 엔진블럭과 차체의 진동을 전달함수를 이용하여 비교 하였다(그림 6.b). 특히 엔진블럭의 모우드가 존재하는 350-400Hz 영역에서 진동의 차단이 잘 이루어지지 않음을 알 수 있다. 이로부터 400Hz 대역의 실내소음은 엔진폭발에 의해 발생한 엔진블럭의 진동이 마운트에서 차단되지 않고 차체로 전달되어 발생된 것으로 판단할 수 있다.

3.4. 기여출력 스펙트럼

실내소음의 발생원인은 결국 엔진폭발에 관계된 저주파(100Hz이하) 영역과 엔진블럭의 모드에 의한 진동과 관계된 400Hz영역, 그리고 200Hz영역은 배기관과 관련된 것으로 판단할 수 있다. 각 영역별로 실내소음에 기여하는

정도를 그림 7에서 기여출력 스펙트럼과 부분 기여출력 스펙트럼을 이용하여 구하였다. 전체적으로 실내소음은 엔진의 폭발음과 엔진블럭의 진동에 관계된 소음(그림 7.a의 0 표시) 뿐만 아니라, 200Hz영역(그림 7.b의 0 표시)의 소음은 배기관에 의한 것임을 알 수 있다. 따라서, 실내소음 저감을 위해서는 소음원인 엔진블럭(100Hz, 400Hz영역)과 배기관(200Hz영역)의 해석 및 처방이 요구되며 전달경로인 엔진마운트, 차체 및 판넬등의 특성이 함께 고려되어야 한다.

4. 결론

차실내 소음의 소음/진동원 및 전달경로에 대한 이해와 각 소음/진동원의 특성을 파악함으로써 실내소음의 발생원인을 살펴볼 수 있었으며, 각 소음원들의 출력에 대한 기여 정도는 기여도나 부분 기여도 함수를 이용하여 살펴볼 수 있다. 이로부터 실내소음의 주파수 대역별 주요 소음원 및 그 영향을 알 수 있었으며, 특히 200Hz 대역은 배기계통에 관계된 것으로 이를 토대로 실내소음 저감에

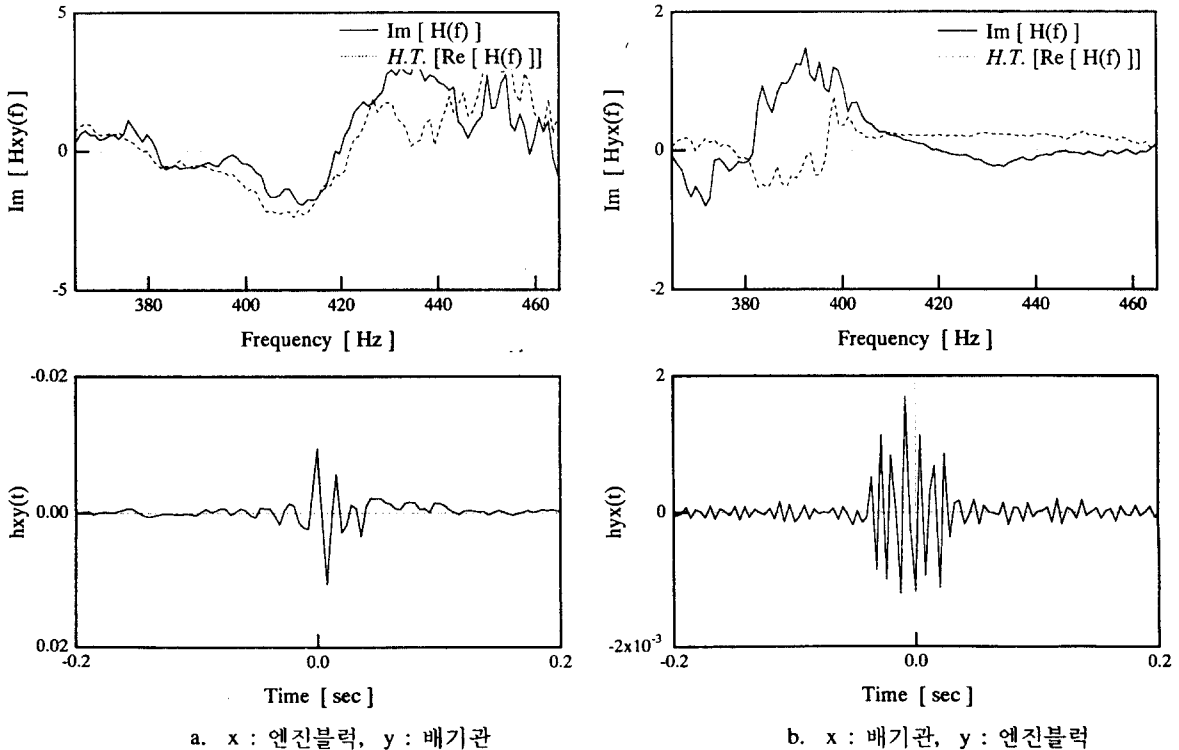
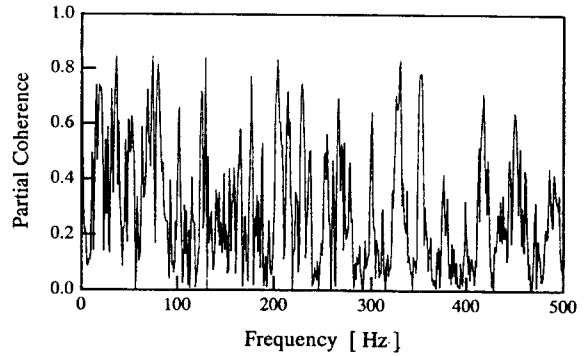


그림 3. 전달함수의 힐버트 관계 및 충격 응답 함수

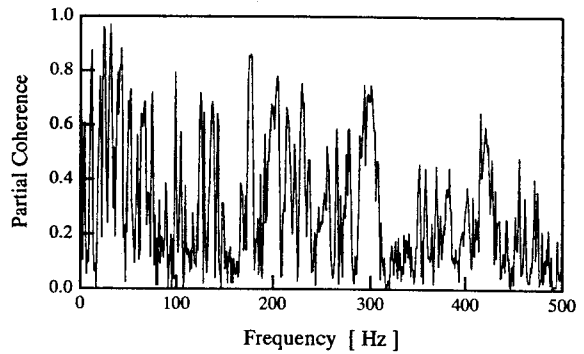
관한 정보를 얻을 수 있다. 주행중인 상태에서는 공회전 시와 또 다른 상황이므로 타이어 소음, 동력 전달계, 공력 기인 소음 등 여러 소음원이 추가로 고려되어야 하며, 엔진 회전수등에 따라 소음원의 주파수 성분도 달라지게 되므로 더욱 복잡하게 나타난다. 이러한 경우에도 각 소음원의 특성을 파악하고 소음원 및 전달경로에 대한 기여도 혹은 부분 기여도 함수를 사용한 표현이 가능하며 이로부터 차량의 소음원에 대한 정보를 얻을 수 있게 된다.

Reference

1. 김석현, 김중희, 이장무, 조선휘, 1986. "승용차의 차실음향 및 차체진동에 관한 연구(1)", 대한 기계학회 논문집, 제10권, 제 4호, pp.529-530
2. Alfredson, R.J., 1977. "The Partial Coherence Technique for Source Identification on a Diesel Engine", Journal of Sound and Vibration, Vol.55, No.4, pp.487-494
3. Bendat, J.S., and Piersol, A.G., 1986. RANDOM DATA: Analysis and Measurement Procedure, Wiley-Interscience, New York
4. 김광준, 배병국, 1994. "소음원 간의 우선순위 결정을 이용한 차량의 실내 소음원 규명", 소음 진동 공학회 '94 춘계 학술대회 논문집, pp.179-184
5. Frederick M. Tesche, 1992, "On the Use of the Hilbert Transform for Processing Measured CW Data" IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility, Vol.34, No.3, pp.259-266
6. K. Worden and G.R. Tomlinson, 1989. "The High-Frequency Behaviour of Frequency Response Functions and Its Effect on Their Hilbert Transforms", 8th IMAC, pp.121-130
7. J.S. Park, and K.J. Kim, 1994, "Source Identification Using Multi-Input/Single-Output Modeling and Causality Checking of Correlated Inputs" Journal of Vibration and Acoustics Transactions of the ASME, Vol. 116, pp.232-236



a. 배기관: 실내소음



b. 센터필라: 실내소음

그림 4. 엔진블럭의 진동신호를 제거한 부분 기여도 함수

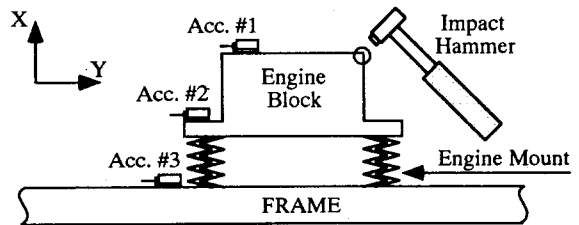
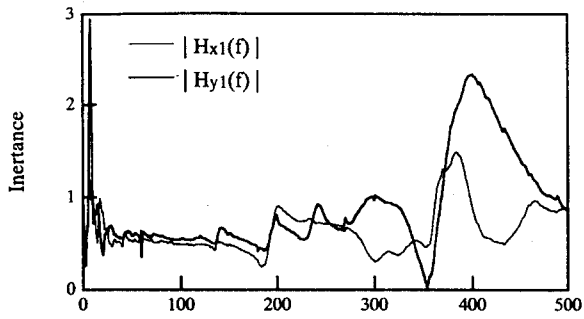
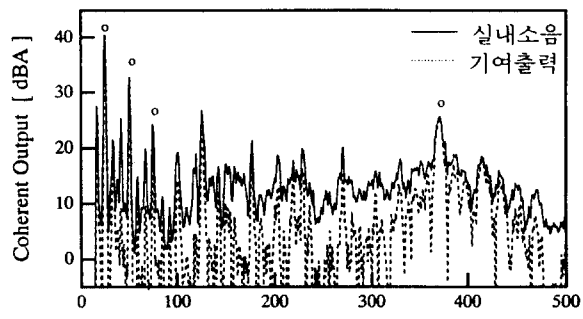


그림 5. 충격시험시 가진위치 및 측정위치



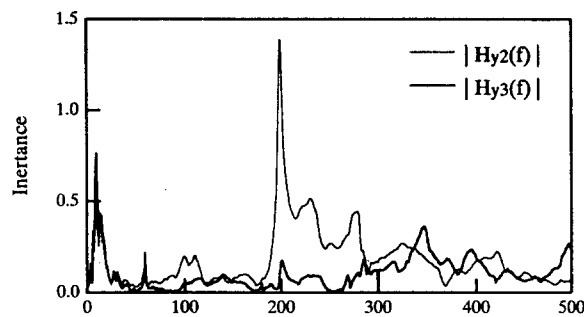
Frequency [Hz]

a. 엔진블럭



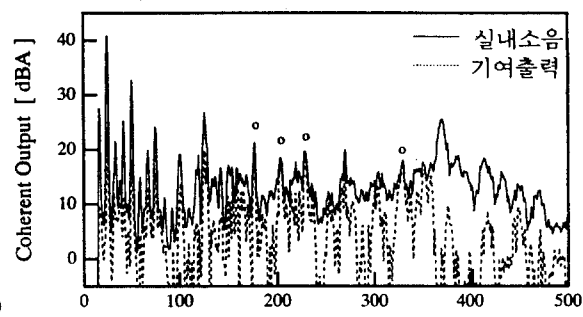
Frequency [Hz]

a. 엔진블럭



Frequency [Hz]

b. 엔진마운트



Frequency [Hz]

b. 배기관

그림 6. 충격시험에 의한 전달함수.
|Hab(f)|: a 방향가진에 대한 b점의 가속도

그림 7. 실내소음에 대한 기여 및 부분 기여 출력
스펙트럼