

다차원 스펙트럼 해석법에 의한 프린터의 소음원 검출에 관한 연구

A Study on the Noise Source Identification of Daisy Wheel Printer using Multi-Dimensional Spectral Analysis Method

* 오 재 응 (Oh, J.E.)

** 박 준 철 (Park, J.C.)

*** 임 동 규 (Yim, T.K.)

요 약

最近 機械構造物의 騒音問題가 重要視되면서 騒音源의 檢出 및 對策에 관한 많은 研究가 進行되고 있다.

本 研究에서는 daisy wheel 프린터에 周波數分析의 應用으로서 多次元 스펙트럼解析法을 適用하여 騒音源을 檢出하였고, 프린터의 振動과 音壓사이의 寄與關係를 各 周波數別 그리고 全周波數 領域에서 評價하였다. 또한 本 研究의 結果와 周波數應答函數法의 結果를 比較 檢討하여 多次元 스펙트럼解析法의 適用 妥當성을 立證하였다.

研究結果, 全周波數 領域에서 플레이트(platen)의 振動이 騒音레벨에 가장 크게 寄與함을 알았고, 騒音低減을 위해 플레이트의 두께를 2mm, 4mm로 變更시켰을 때 각각 6 dB, 7.9dB의 騒音低減效果를 얻었다.

ABSTRACT

Recently, as the noise problems of mechanical structures have been more serious, much studies are being carried out on the identification of noise sources and the reduction of noise level.

In this paper, as the application of frequency analysis, the multi-dimensional spectral analysis method is applied to daisy wheel printer to identify the noise sources, and the relationship between sound pressure and vibration of printer is found in narrow and overall frequency range.

The results of this study are compared with those of frequency response function method, thus, the applicability of multi-dimensional Spectral analysis method is verified.

It can be found, in a overall frequency range, that the vibration of platen have the worst effect on noise level, and the noise level reduction of 6dB, 7.9dB is obtained by changing the platen thickness to 2mm, 4mm, respectively.

* 한양대학교 정밀기계공학과 교수

** 한양대학교 대학원

*** 한양대학교 정밀기계공학과 교수

I. 서 론

최근 기전 (Mechatronic) 제품에 있어서 진동 및 소음문제가 많이 발생하고 있으며 기전제품의 경량화 및 고속화에 따라 더욱 심화되어 가고 있는 실정이다. 이와 같은 기전제품의 국제경쟁력을 강화하기 위해서 각종 소음원의 검출을 위한 새로운 해석방법을 도입하여 그 발생원을 규명하고 나아가서 대책을 수립할 필요가 있다.

이러한 관점에서 진동과 음과의 관계를 규명하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있으며 또한 소음원의 검출을 위한 해석방법이 많이 연구되고 있다.¹⁾²⁾³⁾ 그러나 실제의 구조물은 진동현상이 매우 복잡할 뿐만 아니라 한 개의 구조물 내에도 많은 소음원이 존재하기 때문에 정확한 소음원의 검출이 어려운 경우가 많다.

따라서 본 연구에서는 주파수 분석의 응용으로서 다차원 스펙트럼 해석 (Multi-Dimensional Spectral Analysis)⁴⁾⁵⁾⁶⁾ 을 컴퓨터 주변기기의 하나인 프린터에 적용하여 그 진동과 음과의 기여관계 및 정확한 소음원의 검출을 하고자 하였다.

II. 이론 해석

II-1 다입력 단일 출력계의 수학적 모델화

다입력에 대한 단일출력의 선형계에 있어서 소음 및 진동원 해석은 Bendat⁶⁾ 및⁶⁾ 등에 의해 보고되었다. 본 연구에서는 3 입력에 대한 단일출력계에 대해서 입력간의 상관을 고려하여 해석을 행하였다.

즉 그림 1의 경우 먼저 입력 $X_2(t)$ 는 $X_1(t)$ 와 상관 존재 하므로 $X_2(t)$ 로부터 $X_1(t)$ 와의 상관성분을 제거한 $X_{2,1}(t)$ 로 되며 다음에 $X_3(t)$ 는 $X_3(t)$ 로 부터 $X_1(t)$ 와 $X_2(t)$ 의 상관성분을 제거한 $X_{3,1,2}(t)$ 로 된다. 따라서 그림 1의 출력스펙트럼은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

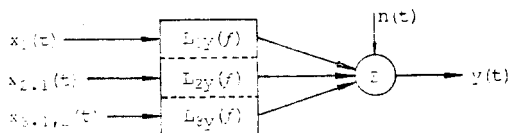


Fig. 1 Model of three input / single output system in the case of coherent inputs

$$S_{yy}(f) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 L_{iy}^* L_{jy}(f) S_{ii, (i-1)}(f) + S_{nn}(f)$$

여기서 *는 공액복소수, $L_{iy}(f)$ 및 $L_{jy}(f)$ 는 그림 1에서의 전달함수를 각각 나타내고 있다.

그리고 $S_{ii, (i-1)}(f)$ 는 $X_{ii, (i-1)}(f)$ 의 파워 스펙트럼, $S_{nn}(f)$ 는 외란 $n(t)$ 의 파워스펙트럼을 각각 나타내고 있다.

다차원 스펙트럼 해석을 위해서는 입력간 혹은 입출력간의 상관성분을 제거하기 위해서 레지듀얼 스펙트럼을 구하게 되는데, 예를 들어 1차적인 레지듀얼 스펙트럼 (residual Spectrum)은 다음과 같다.

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

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

마찬가지로 2차적인 레지듀얼 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.

$$S_{33, 1, 2}(f) = S_{33, 1}(f) - |L_{23}(f)|^2 S_{22, 1}(f) \quad (4)$$

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

$$S_{2y, 1, 2}(f) = S_{2y, 1}(f) - L_{2y}(f) S_{32, 1}(f) \quad (6)$$

같은 방법으로 $X_2(t)$ 와 $X_1(t)$ 에 대해서 구할 수 있다. 그리고 입력간 및 입출력간의 기여관계를 나타내는 일반 기여도 함수 (Ordinary Coherence function: OCF)는

$$\gamma_{ij}^2(f) = \frac{|S_{ij}(f)|^2}{S_{ii}(f) S_{jj}(f)}, \quad \gamma_{iy}^2(f) = \frac{|S_{iy}(f)|^2}{S_{ii}(f) S_{yy}(f)} \quad (7)$$

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

으로 정의되며 이들 관계를 이용하여 다입력계에 적용하면 레지듀얼 과정에 있어서의 각 입력원의 기여도를

나타내는 부분기여함수 (Partial Coherence function: PCF)를 예를 들어 $X_3(t)$ 에 대해서 구하면 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} r_{3y \cdot 1}^2(f) &= \frac{|S_{2y \cdot 1}(f)|^2}{S_{22 \cdot 1}(f) S_{yy \cdot 1}(f)} \\ r_{3y \cdot 1,2}^2(f) &= \frac{|S_{3y \cdot 1,2}(f)|^2}{S_{33 \cdot 1,2}(f) S_{yy \cdot 1,2}(f)} \end{aligned} \quad (8)$$

또한 출력 $y(t)$ 의 파워중에서 모든 입력 $X_i(t)$ 로부터 전달되는 파워의 비율을 나타내는 다중기여도함수 (Multiple Coherence function: MCF)는 다음과 같이 된다.

$$r_{3 \cdot 2}(f) = 1 - \{1 - r_{3y}^2(f)\} \{1 - r_{3y \cdot 1}^2(f)\} \{1 - r_{3y \cdot 1,2}^2(f)\} \quad (9)$$

실제로 진동 및 소음원을 접출하는데 있어서 정확한 출력을 측정할 필요가 있다. 실측에 의한 출력스펙트럼과 기여함수와와의 곱을 기여출력 파워스펙트럼 (Coherence output power spectrum)이라고 부른다.

이들은 입력신호의 S/N비가 높으면 높을수록 원래의 입력/출력계에서의 출력스펙트럼과 잘 일치한다. 즉 3 입력 $X_1(t), X_2(t), X_3(t)$ 가 출력에 기여하는 순수한 기여량을 나타내는 기여출력 파워스펙트럼은 각각 다음 식으로 정의된다.

$$\begin{aligned} r_{1y \cdot 2,3}^2(f) & S_{yy \cdot 2,3}(f) \\ r_{2y \cdot 1,3}^2(f) & S_{yy \cdot 1,3}(f) \\ r_{3y \cdot 1,2}^2(f) & S_{yy \cdot 1,2}(f) \end{aligned} \quad (10)$$

이와 같은 관계를 이용하여 전 주파수 영역에 걸친 각 진동원의 기여관계를 얻기 위하여 기여출력 파워스펙트럼의 오버올 레벨 (overall level) ϕ_i 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \int_0^f r_{1y \cdot 2,3}^2(f) S_{yy \cdot 2,3}(f) df \\ \phi_2 &= \int_0^f r_{2y \cdot 1,3}^2(f) S_{yy \cdot 1,3}(f) df \\ \phi_3 &= \int_0^f r_{3y \cdot 1,2}^2(f) S_{yy \cdot 1,2}(f) df \end{aligned} \quad (11)$$

II-2 주파수 응답 함수법에 의한 차단효과 (Shield effect)

II-1절에서의 다차원 스펙트럼 해석법은 입력간에 상관관계가 존재한다는 가정하에서 해석하였으나 만약 입력간에 상관이 없다고 가정하면 이 계는 다음 그림으로 나타낼 수 있다.

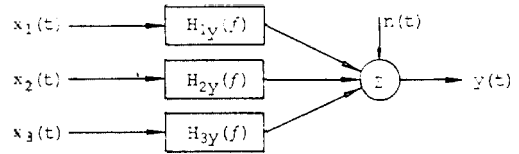


Fig. 2 Model of three input / single output system in the case of incoherent inputs

입력간의 상관이 고려되지 않은 Fig.2의 경우에 있어서 입력간의 상관이 존재한다고 가정할 때의 출력스펙트럼은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$S_{yy}(f) = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 H_{iy}^*(f) H_{jy}(f) S_{ij}(f) + S_{nn}(f) \quad (12)$$

여기서 $S_{ij}(f)$ 는 입력간 크로스 스펙트럼을 나타내고 $H_{iy}(f)$ 및 $H_{jy}(f)$ 는 입출력간의 전달함수를 나타낸다. 한편 식(12)의 경우 입력간의 상관이 없거나 아주 작을때의 출력스펙트럼은

$$S_{yy}(f) = \sum_{i=1}^3 |H_{iy}(f)|^2 S_{ii}(f) + S_{nn}(f) \quad (13)$$

로 나타내며 본 연구에서는 식(13)을 주파수 응답함수 (Frequency response function: FRF) 법이라고 부르기로 한다. 또한 본 논문에서 이용되는 각 경우의 차단 효과는 식(12)로부터 다음과 같이 유도된다.

$$\begin{aligned} S_{yy}(f)|_{H_1=0} &= |H_2|^2 S_{22} + |H_3|^2 S_{33} + H_2^* H_3 S_{23} \\ &\quad + H_3^* H_2 S_{32} \\ S_{yy}(f)|_{H_2=0} &= |H_1|^2 S_{11} + |H_3|^2 S_{33} + H_1^* H_3 S_{13} \\ &\quad + H_3^* H_1 S_{31} \end{aligned}$$

$$S_{yy}(f)|_{f=0} = |H_1|^2 S_{11} + |H_2|^2 S_{22} + H_1^* H_2 S_{12} + H_2^* H_1 S_{21}$$

III. 실험

III-1 실험장치 및 방법

프린터의 진동과 음과의 관계를 규명하고 소음원을 검출하는데 있어서 3입력 단일출력의 다차원 스펙트럼 해석법을 적용하기 위하여 가속도계 (RION PV-90A) 3개를 각각 플레이트 (Platen) 중앙, 모터 구동부, 케이스에 부착하고 프린터 전방 1m 지점에서

1/2" 마이크로폰 (B&K Type 4166) 을 설치하여 동시에 진동 및 음압 신호를 얻었다. 이때 프린터는 Self-testing 하여 작동하였으며 각 부의 진동신호를 각각 입력 $X_1(t)$, $X_2(t)$, $X_3(t)$ 로 하고 음압신호를 출력 $y(t)$ 로 하는 3입력 단일출력계로 모델화 하였다. 특히 음압신호를 측정하는데 있어서 주위로 부터 압소음의 영향을 받지 않고 음의 반사가 되지 않는 금성사 중앙연구소 무향실에서 실험을 행하였다. Photo. 1은 진동 및 음압신호를 측정하기 위한 무향실내에서의 실험장치를 보여주고 있다.



Photo. 1 Experimental set-up to measure the sound pressure in anechoic chamber

III-2 측정계 및 데이터의 처리

3개의 가속도계와 마이크로폰에 의해 측정된 진동 및 음압신호를 Dynamic Analyzer (Scientific Atlanta SD-375) 를 통해 도너터링하면서 IEEE-488 인터페이스 버스를 통해 마이크로 컴퓨터 (NEC PC - 9801) 에 전송하였다. 이때의 샘플링 시간 Δt 는 $40\mu\text{sec}$ 로 하였다. 전송된 데이터는 마이크로 컴퓨터의 소프트웨어

어에 의해 각각에 대한 기여평가를 행하고 이를 X - Y Plotter (WATANABE MP-1000) 로 시켰다.

Photo. 2는 마이크로 컴퓨터를 중심으로한 분석계를 보이고 Fig. 3은 본 실험에 사용된 측정계 및 데이터 해석의 계통도를 보이고 있다.

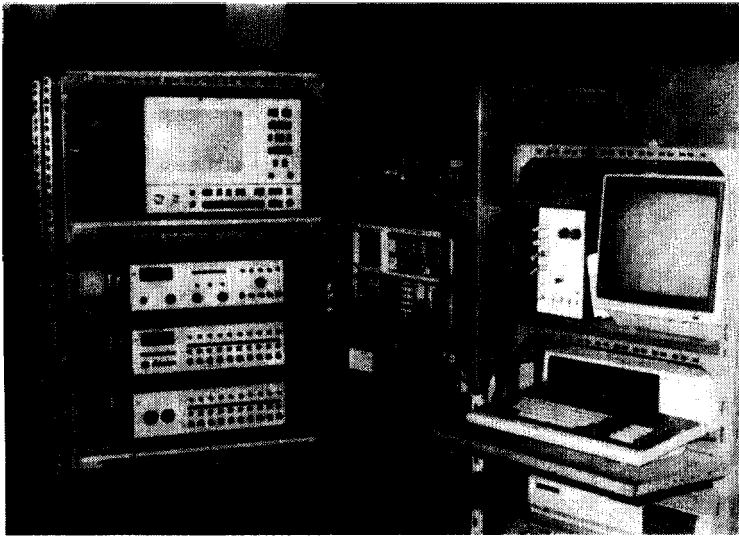


Photo. 2 Data process system - Microcomputer and its periphery

IV. 실험결과 및 고찰

IV - 1 프린터 각부의 진동과 음과의 관계

fig. 4는 프린터 각부의 시간영역에서의 출력신호를 나타내고 있다. 특히 fig. 4(d)의 음압신호가 임펄스형 신호이고 0.076의 높은 RMS 값을 가지므로 이로 인한 소음문제가 발생하리라 생각된다.

프린터 각부의 진동신호를 입력으로 하고 음압신호를 출력으로 하여 단일입력 단일출력계에서의 기여관계를 알아보면 fig. 5와 같다. 여기서 각 입력원의 출력으로의 기여가 플레이튼의 진동은 2000~5000Hz 영역에서, 모터 구동부는 4000Hz 이상의 고주파수 영역, 그리고 케이스는 1000Hz 이하의 저주파수 영역에서 크게 나타남을 알 수 있다. 또한 플레이튼 진동에 의한 기여가 다른 두 입력에 의한 기여보다 크게 나타남을 알 수 있다. 이를 보다 더 해석적으로 분석하기 위해 다차원 스펙트럼 해석법을 적용하고 이를 종래의 FRF법과 비교 검토하였다.

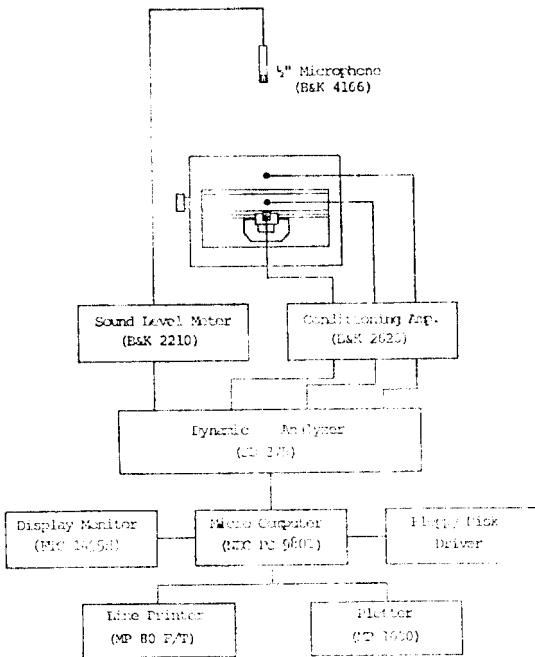


Fig. 3 Block diagram of measuring and analysis system

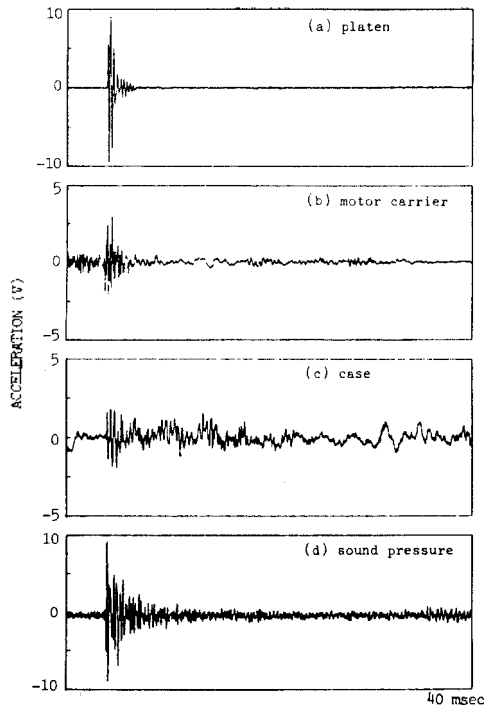


Fig. 4 Time signals of vibration and sound pressure measured at each part of printer

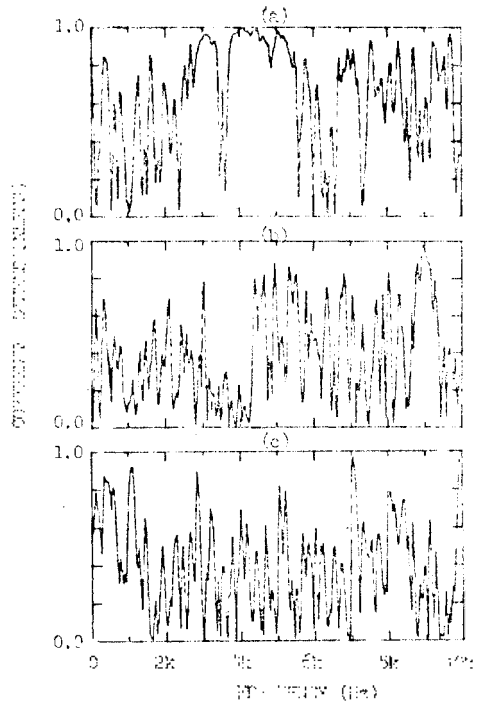


Fig. 5 Coherence functions between vibration and sound pressure
(a) $\gamma_{1y}^2(f)$ (b) $\gamma_{2y}^2(f)$ (c) $\gamma_{3y}^2(f)$

IV - 2 다차원 스펙트럼 해석법의 적용 타당성 검토

다차원 스펙트럼 해석의 이론적인 가정에서 가장 중요하다고 생각되는 입력간의 상관관계를 검토해야 할 필요가 있다. 특히 입력간의 일반기여함수 (r^2_{ij})는 임의의 입력 $X_i(t)$ 와 $X_j(t)$ 가 독립적인가 혹은 상호간에 상관관계가 존재하는가를 판단하는데 매우 중요하다.

본 연구에서 사용된 프린터 각부의 상관관계가 Fig.6 과 table 1에 보이는 바와 같이 0.5 이상의 높은 값을 나타내기 때문에 입력간에 상관이 존재하는 것으로 생각된다. 이것은 다차원 스펙트럼 해석의 필요성을 의미한다. 실제로 다차원 스펙트럼 해석을 할 경우에 이론적인 가정 및 결과를 검증하기 위해서는 출력과 주어진 입력간의 다중기여도 함수가 0.5 이상의 높은 값이 요

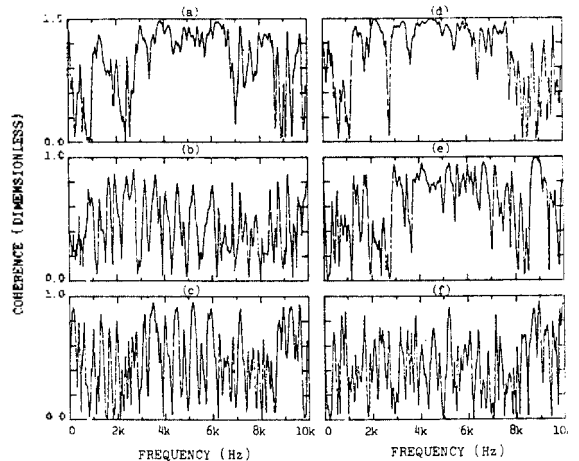


Fig. 6 Ordinary coherence functions ;
(a) $\gamma_{12}^2(f)$ (b) $\gamma_{13}^2(f)$ (c) $\gamma_{23}^2(f)$
(d) $\gamma_{1y}^2(f)$ (e) $\gamma_{2y}^2(f)$ (f) $\gamma_{3y}^2(f)$

Table 1 Values of averaged ordinary coherence function

| $\gamma_{12}^2(f)$ | $\gamma_{13}^2(f)$ | $\gamma_{23}^2(f)$ | $\gamma_{1y}^2(f)$ | $\gamma_{2y}^2(f)$ | $\gamma_{3y}^2(f)$ |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 0.682 | 0.512 | 0.524 | 0.743 | 0.631 | 0.508 |

구된다. ⁽²⁾⁽³⁾ 만약 다중 기여도 함수가 낮은 값을 갖는 경우에는 다 입력계로 해석할 때에 비선형적인 요소에 의한 영향이 크거나 혹은 실제로 존재하는 다른 입력원이 무시된 것으로 생각할 수 있다. 그러나 본 연구에서

얻은 다중기여도 함수는 Table 1의 γ_{yix}^2 항에 나타난 바와 같이 전 주파수 영역에서 0.9이상의 높은 값을 나타내고 있으므로 본 연구에서의 다차원 스펙트럼 해석의 적용은 타당하다고 생각된다.

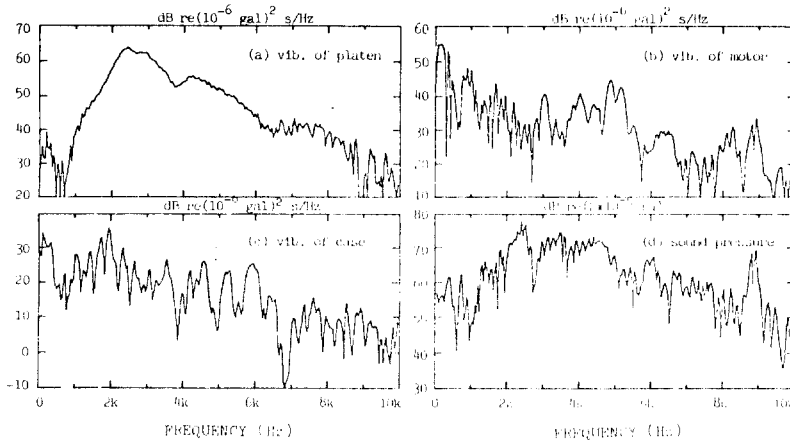


Fig. 7 Power spectral densities of vibration and sound pressure measured at each part of printer

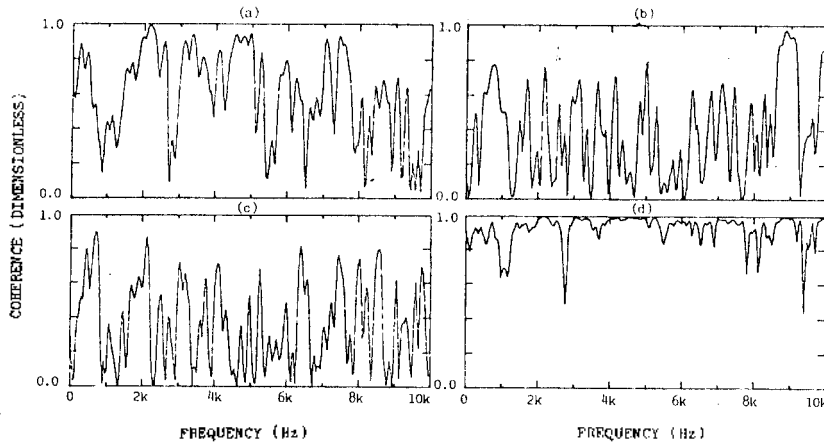


Fig. 8 Partial coherence functions and multiple coherence function

(a) $\gamma_{1y-2,3}^2(f)$ (b) $\gamma_{2y-1,3}^2(f)$ (c) $\gamma_{3y-1,2}^2(f)$ (d) $\gamma_{y:x}^2(f)$

IV - 3 각 입력원의 출력에의 기여평가

Fig. 7은 프린터를 self-testing 할 때에 측정된 각 요소부의 진동 및 음압신호에 대한 파워스펙트럼을 나타낸 것이다. 그런데 이러한 파워 스펙트럼의 현상으로는 입력원의 출력에 대한 기여도를 판단하기 어려우므로 입력간 및 입출력간의 상관관계를 알아보기 위하여 레지듀 (Residue) 하여 계산한 부분기여함수를 Fig. 8에 나타내었다. 이것에 의하여 각 주파수별 출력에 대한 입력의 기여도를 평가할 수 있으리라 생각된다.

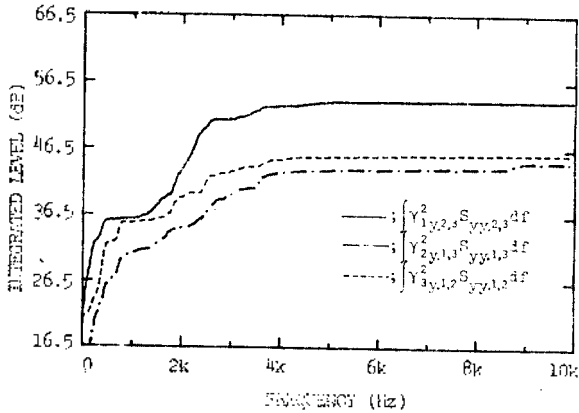


Fig. 9 Comparison of integrated energy contribution to the coherent output power spectrum

Fig. 9는 기여출력 파워스펙트럼을 전 주파수 영역에 걸쳐서 적분시킨 오버 레벨을 나타내고 있다. 그림에서 나타낸 바와 같이 각 입력원의 출력에의 기여순위는 플레이트 케이스, 그리고 모터 구동부의 진동순으로 나타내고 있다. 즉 각 입력원 사이의 상관성을 고려하여 계산할 기여출력 스펙트럼을 적분함으로써 각 입력원의 기여순위를 보다 쉽게 결정할 수 있다.

위의 결과에서 기여순위가 가장 큰 플레이트의 진동을 감소시키기 위하여 플레이트의 두께를 변화시켜 보았다. 이에 대한 플레이트의 파워 스펙트럼을 Fig. 10에 나타내었고 Fig. 11은 이때의 출력에 대한 부분 기여도 함수를 나타내고 있다. 여기에서 플레이트의 두께가 1mm에서 2mm로 변경되었을 때 전 주파수영역에서 기여도가

떨어지고 특히 2000 ~ 5000 Hz 부근의 기여가 현저히 떨어짐을 알 수 있다. 또한 플레이트의 두께가 4mm인 경우에 2000 ~ 5000 Hz 사이의 기여도는 작아지고 9000 Hz 부근에서 크게 나타나는데 이는 Fig. 10 (c)에서 보이는 9000 Hz에 해당하는 진동이 커진 것에 기인하는 것으로 여겨진다.

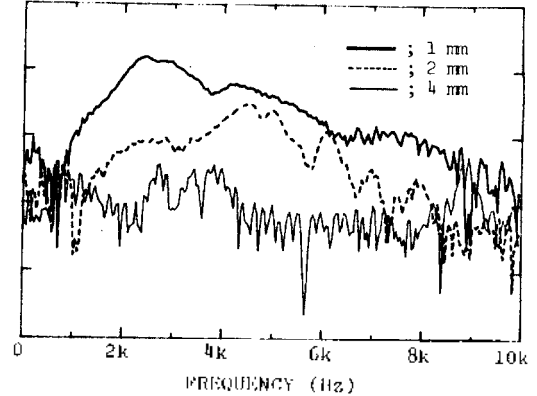


Fig. 10 Effect of vibration level reduction in narrow band frequency due to the difference of platen pipe thickness.

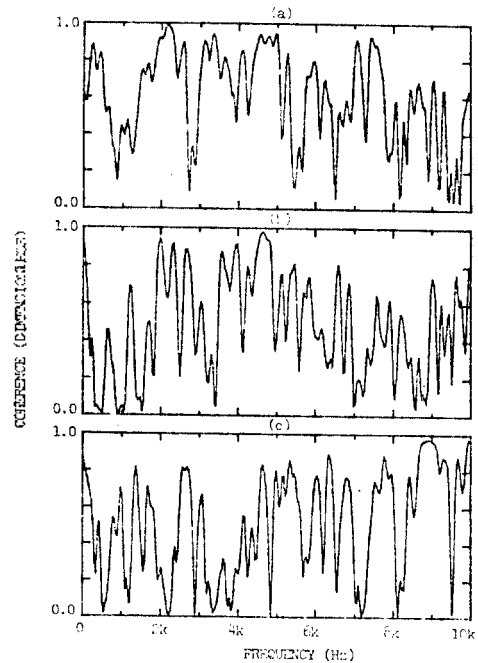


Fig. 11 Partial coherence function due to the difference of platen thicknesses. (a) 1 mm (b) 2 mm (c) 4 mm

Fig. 12는 스폰지 부착유무에 따른 케이스의 진동 파워 스펙트럼을 나타낸 것이고 이에 따른 기여도를 Fig. 13에 나타내었다. 여기에서 알 수 있듯 케이스의 진동이 현저히 감소하지만 출력에 대한 기여도는 크게 줄지 않는 것으로 보아 케이스의 진동감쇠는 소음레벨저감에는 크게 효과가 없을 것으로 추측 가능하다.

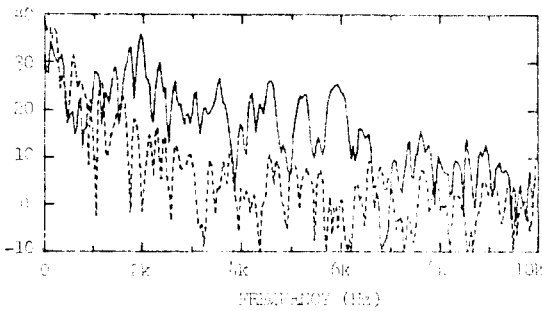


Fig. 12 Effect of vibration power reduction on case due to attaching sponge
 — ; with no sponge
 - - - ; with sponge

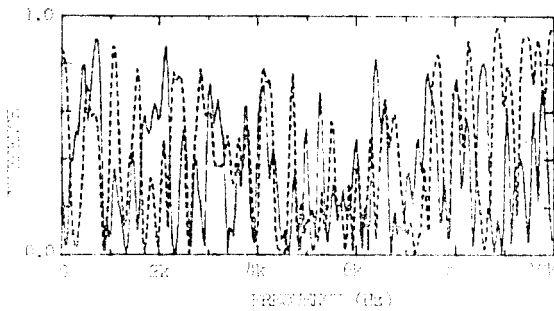


Fig. 13 Effect of partial coherent correlation due to attaching sponge
 — ; with no sponge
 - - - ; with sponge

IV - 4 FRF법과 다차원 해석법과의 비교평가

소음원을 검출할 경우 각 입력원의 출력에의 차단효과는 FRF법을 계산할 때 각 입력원의 출력에의 전달정도를 제거함으로써 해석적으로 계산하는 것이 가능하다. Fig. 14는 전 주파수영역에서의 차단효과를 나타낸 것이고 Fig. 15는 각각의 기여를 차단시킨 스펙트럼을 전 주파수영역에 걸쳐서 적분시킨 오버올 레벨을

나타내고 있다. Table 2는 FRF법과 다차원 해석법을 전 주파수영역에 걸쳐서 적분한 오버올 레벨의 값을 비교하여 나타낸 것이다. 여기에서 나타난 바와 같이 플레이튼의 진동이 차단 ($H_1 = 0$) 될 때의 오버올 레벨이

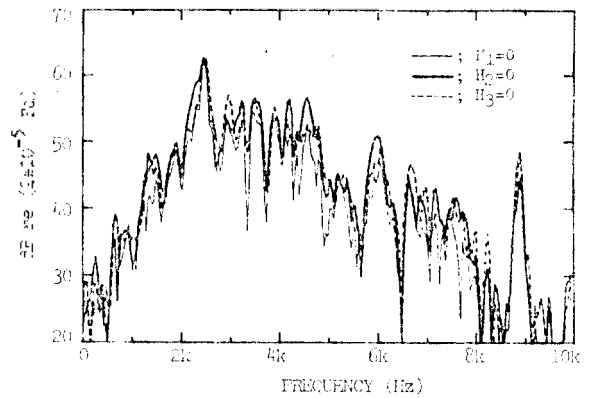


Fig. 14 Comparison of frequency response functions by shield effect

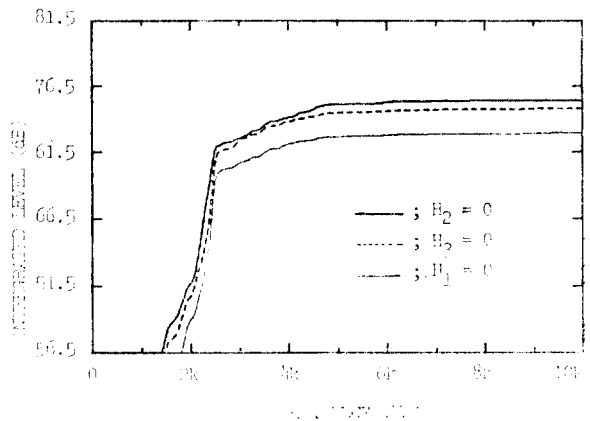


Fig. 15 Comparison of overall level of vibration by shield effect

다른 두 입력원을 차단할 때의 값보다 2.3 ~ 3.2dB정도 낮아 이에 따른 기여순위는 플레이튼, 모터 구동부 케이스의 순으로 됨을 알 수 있다. 즉 앞서 다차원 해석법에 의해 얻어진 기여순위의 결과와 일치함을 알 수 있다. 따라서 이것은 프린터의 소음 저감을 위해서는 플레이튼의 진동을 억제시키는 방향으로 구조를 변경하는 것이 효과적임을 의미하는 것이다.

Table 2 Comparison of integrated level contributions estimated by the frequency response function approach and by the coherence function approach for Daisy wheel printer

| ITEM | | VALUE (dB) |
|-------------------------------------|---|------------|
| Contributions measured power output | | 62.6 |
| Coherence Function (dB) | $\int \gamma_{yy}^2 S_{yy} d\mathbf{f}$ | 62.4 |
| | $\int \gamma_{1y}^2 S_{yy} d\mathbf{f}$ | 62.1 |
| | $\int \gamma_{2y}^2 S_{yy} d\mathbf{f}$ | 49.6 |
| | $\int \gamma_{y2,3}^2 S_{yy,2,3} d\mathbf{f}$ | 53.8 |
| | $\int \gamma_{y1,3}^2 S_{yy,1,3} d\mathbf{f}$ | 44.7 |
| | $\int \gamma_{3y,1,2}^2 S_{yy,1,2} d\mathbf{f}$ | 45.9 |
| Frequency Response Function (dB) | A = $\int H_1 ^2 S_{11} d\mathbf{f}$ | 71.1 |
| | B = $\int H_2 ^2 S_{22} d\mathbf{f}$ | 67.9 |
| | C = $\int H_3 ^2 S_{33} d\mathbf{f}$ | 68.9 |
| | D ($H_3=0$) d \mathbf{f} | 74.7 |
| | E ($H_2=0$) d \mathbf{f} | 75.4 |
| | F ($H_1=0$) d \mathbf{f} | 72.9 |

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

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

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

IV - 4 프린터 각부의 변경에 따른 소음저감 효과

앞 절의 결과를 종합하여 각 경우에 있어서의 프린터 소음저감 효과에 대해 알아보면 다음과 같다.

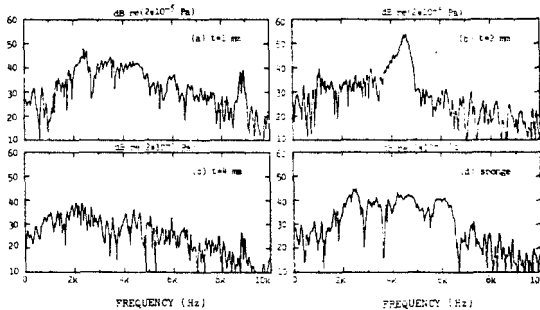


Fig. 16 Effect of sound level reduction due to the change of each part of printer

Fig. 16은 플레이트의 두께변화와 케이스에 스펀지를 부착했을 경우의 음압신호의 파워스펙트럼을 나타내고 있다. 앞의 4.3절에서 예측한 결과와 같이 플레이트의 두께가 2mm인 경우 음압레벨이 전 주파수영역에서

다소 떨어지지만 4000 ~ 5000 Hz 사이의 영역에서 크게 나타나고 4mm의 경우 전 주파수 영역에서 현저하게 떨어짐을 알 수 있다. 또한 케이스에 스펀지를 부착한 경우는 소음레벨에 크게 영향을 못 미침을 알 수 있다. 위의 각 경우에 대한 소음레벨 저감값이 Table 3에 나타나 있다.

Table 3 Effect of noise level reduction at each case measured in anechoic chamber

| platen | 1 mm | 1 mm sponge | 2 mm | 4 mm |
|---------------------|------|-------------|------|------|
| sound pressure (dB) | 62.6 | 62.3 | 56.6 | 54.7 |
| effect (dB) | 0 | 0.3 | 6.0 | 7.9 |

V. 결 론

프린터의 소음저감 대책을 세우는데 중요한 것은 각 소음원의 기여관계 및 전달특성을 파악하여 소음원을 검출하는 것이다. 이상의 실험결과로부터 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 입력간의 상관관계가 존재할 때 소음원을 검출하기 위해서는 다차원 스펙트럼 해석법을 이용하는 것이 유효하다는 것을 검증하였다.
- 2) 본 실험에 사용된 프린터소음의 오버울 레벨에 미치는 기여 순위는 플레이트, 케이스, 모터 구동부의 순으로 됨을 알 수 있었다.
- 3) 다차원 스펙트럼 해석법에 의해 진동과 음파의 관계를 보다 해석적으로 검출하여 진동 및 소음저감 대책에 유효한 자료를 제시하였다.

참 고 문 헌

1. M.E. Wang and M.J. Crocker, "On the application of coherence techniques for source identification in a multiple noise source environment", *J. Acoust. Soc. Am.* 74(3), pp. 861-872, 1983.
2. J.E. Oh, "Applications of multi-dimensional spectral analysis for noise source identification on mechanical structures", Thesis of Doctor Eng. Tokyo institute of Technology, 1983.
3. 오재응, "PRT-50 Daisy wheel printer 의 소음제어에 관한 연구", 금성사 보고서, 1985.
4. J.S. Bendat and A.G. Piersol, "Engineering applications of correlation and spectral analysis", John Wiley & Sons, 1980.
5. 吳在応外 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撃騒音源の検出", 日・機・論文集, 49 卷, 447 号, pp.1971-1981, 1983.
6. 吳在応, "鍛造機の衝撃騒音の検出への多次元スペクトルの応用", 日・機・論文集, 51 卷, 463 号, pp.699-704, 1985.