

# PCF 기법을 이용한 광디스크 드라이브의 진동원 규명

## The Identification of Vibration Sources in Optical Disk Drive Using PCF Method

°함경훈\*·장영배\*\*·박노철\*\*\*·박영필\*\*\*\*

Kyoung-Hoon Ham, Young-Bae Chang, No-Cheol Park and Young-Pil Park

**Key Words:** ODD (Optical Disk Drive), FES (Focusing Error Signal)  
Partial Coherence Function (부분기여도함수)  
Partial Coherent Output Spectrum (부분기여출력스펙트럼)

### ABSTRACT

After the vibration source is searched in optical disk drive as an information storage device broadly used, the influence of it against FES(Focusing Error Signal) which is a kind of positioning error of pick up from the circuit is carefully examined. For that purpose, partial coherence function method is applied on a simple multi-degree of freedom model made for the theoretical verification and it is practically introduced in optical disk drive for analyzing the effect of vibration source. Finally, partial coherence output spectrum is attentively observed in order to know which vibration source is a great influence on FES.

#### 기호설명

- $G_{yy}$  = 출력  $y(t)$  의 자기스펙트럼
- $G_{iy}$  = 입력  $x_i(t)$  와 출력  $y(t)$  의 상호스펙트럼
- $\gamma_{iy}^2(f)$  = 입력  $x_i(t)$  와 출력  $y(t)$  의 기여도함수
- $\gamma_{y:x}^2(f)$  = 입력과 출력의 다중기여도함수
- $G_{y:i}(f)$  = 입력  $x_i(t)$  의 기여출력스펙트럼
- $\gamma_{iy:(i-1)}^2(f)$  = 입력  $x_i(t)$  와 출력  $y(t)$  의 부분기여도함수
- $G_{y:i:(i-1)}(f)$  = 입력  $x_{i:(i-1)}(t)$  의 부분기여출력스펙트럼

크 드라이브(HDD)와 광디스크 드라이브(ODD)를 들 수 있는데 이중 광디스크 드라이브의 특징은 휴대와 이동이 용이한 CD 나 DVD 를 미디어로 사용하고 있고 성능개선의 핵심 연구로 기록밀도의 증가와 신뢰성의 향상이 주요점이 되고 있다. 고밀도화 및 고배속의 데이터 전송을 위해 현재 10000rpm 정도의 제품까지 출시되고 있으며 이로 인해 디스크 플러터와 스펀들에 의한 가진, 디스크의 질량 불균형으로 인한 진동 혹은 가공 및 조립 오차등으로 인한 기계적 진동은 픽업 부위 대물렌즈의 Positioning Error 인 FES(Focusing Error Signal)와 TES(Tracking Error Signal)에 증대한 영향을 주어 디스크의 고용량화에 커다란 제약이 되고 있다. 그러므로 광디스크 드라이브의 저장밀도 및 성능을 향상시키기 위해서 드라이브 내 여러 진동원들을 찾아 저감시키는 것이 절대적으로 필요하다. J.S. Bendat 과 M.E. Wang 등은 MISO system 에서의 진동/소음원 규명에 대해 접근방법과 해법을 제시했으며 [1-4] M.W. Trethewey 와 W.G. Halvorsen 등은 잔여스펙트럼과 기여출력스펙트럼을 이용해 진동/소음원을 규명하였다.[5-8] 본 연구에서는 광디스크 드라이브내 여러 진동원들이 FES 에 미치는 영향을 알아보기 위해 다입력/단일출력계(MISO)를 도입하여 PCF (Partial Coherence Function)기법을 소개한다. 그것을 이용하여 어느 진동원이 어떤 주파수에서 FES 에 가장 지배적으로 영향을 주는지를 부분기여출력스펙트럼을 통해 살펴본다.

### 1. 서론

처음 정보저장기기는 컴퓨터에 관련된 몇몇 분야에만 국한되어 사용되어져 왔지만 근래에는 특점분야를 떠나 산업 전반적으로 그 사용빈도가 증가하고 있다. 대표적인 정보저장기기로 하드디스크

\* 연세대학교 기계공학과

\*\* 연세대학교 기계공학과

\*\*\* 정희원, 연세대학교 정보저장협동과정

\*\*\*\* 정희원, 연세대학교 기계공학과

## 2. 진동원 규명의 적용 이론

### 2.1 MISO 모형에 관련된 함수들

시스템 내 진동원 규명을 위한 모형은 다입력/단일출력계(MISO)로서  $m$  개의 상변수 선형계  $H_j(f)$  로 구성된다. Fig.1 에서  $m$  개의 입력  $x_j(t)$  와 출력  $y(t)$  는 측정 가능한 신호이며, 외부잡음  $n(t)$  는 모형에 고려하지 않은 비선형성, 신호들의 비정상 과정, 측정잡음의 영향, 그리고 모형에 고려되지 않는 다른 입력들의 영향을 포함한다.

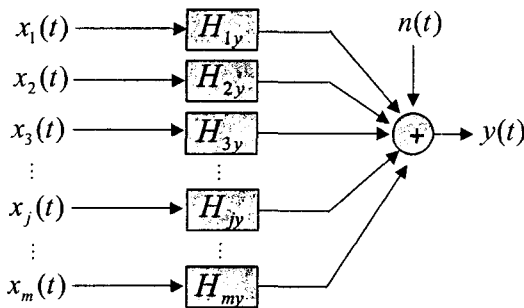


Fig. 1 Multiple input / Single output model

$$G_{iy}(f) = \sum_{j=1}^m H_j(f) \cdot G_{ij}(f) \quad \dots(1)$$

$$G_{yy}(f) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m H_i^*(f) \cdot H_j(f) \cdot G_{ij}(f) + G_{nn}(f) \quad \dots(2)$$

식 (1)과 (2)는 각각 입력과 출력의 상호스펙트럼, 출력의 자기스펙트럼을 나타내고 있다. 식 (3)은 두 신호사이의 기여도 함수를 나타낸 것이다. 이것을 통해 두 신호의 상관관계의 여부를 판단할 수 있게 된다.

$$\gamma_{ij}^2(f) = \frac{|G_{ij}(f)|^2}{G_{ii}(f) \cdot G_{jj}(f)} \quad \dots(3)$$

$$\gamma_{yx}^2(f) = 1 - \frac{G_{nn}(f)}{G_{yy}(f)} \quad \dots(4)$$

$$G_{y:i}(f) = \gamma_{iy}^2(f) \cdot G_{yy}(f) \quad \dots(5)$$

식 (4)는 입력의 선정에 있어서 타당성을 판별해주는 다중기여도함수의 정의이고 식(5)는 입력이 출력에 기여하는 정도를 양적으로 표현해주는 기여출력스펙트럼이다.

### 2.2 부분기여도함수(PCF)의 정의

운전중인 기계구조물에 대해 다입력/단일출력 모형을 적용하여 진동원을 규명하고자 할 경우, 입력으로 사용되는 신호들은 서로 상관관계를 갖는 경우가 많다. 그러므로 각각의 입력신호가 어떤 출력신호에 미치는 영향을 보기 위해서는 입력들간의 우선순위를 고려한 후 상관이 있는 양만큼 제거해 주어야 한다. 상관관계가 제거된 잔여 성분들을 가지고 다중기여도함수를 구해봄으로써 입력 선정의 타당성을 판별한다. 그리고 부분기여도함수와 부분기여출력스펙트럼을 통해 어떤 신호가 출력 신호에 더 많은 영향을 주는지를 정량적으로 파악할 수가 있다.

$$\gamma_{iy:(i-1)}^2(f) = \frac{|G_{iy:(i-1)}(f)|^2}{G_{ii:(i-1)}(f) \cdot G_{yy:(i-1)}(f)} \quad \dots(6)$$

$$G_{y:i:(i-1)}(f) = \gamma_{iy:(i-1)}^2(f) \cdot G_{yy:(i-1)}(f) \quad \dots(7)$$

식 (6)은 상관관계를 제거한 입력신호와 출력출력신호와의 부분기여도함수를, 식 (7)은 부분기여출력스펙트럼을 나타내고 있다.

이상의 함수들을 이용하여 어떤 기계 시스템에서의 진동원을 규명해 본다.

## 3. 다자유도계 모델에서 진동원 규명

간단한 다자유도계 모델을 대상으로 앞에서 정의한 기여출력스펙트럼을 적용해 봄으로써 이론의 타당성을 검증해 보았다. 대상 시스템은 Fig. 2 와 같고 물리량은 Table. 1 과 같다.

Table. 1 Specific Information of the system

Item	Content
Each mass	1e-3
Each Stiffness	1e2
Each Force	Random Signal
Forcing Point	2,3,7
Responding Point	5

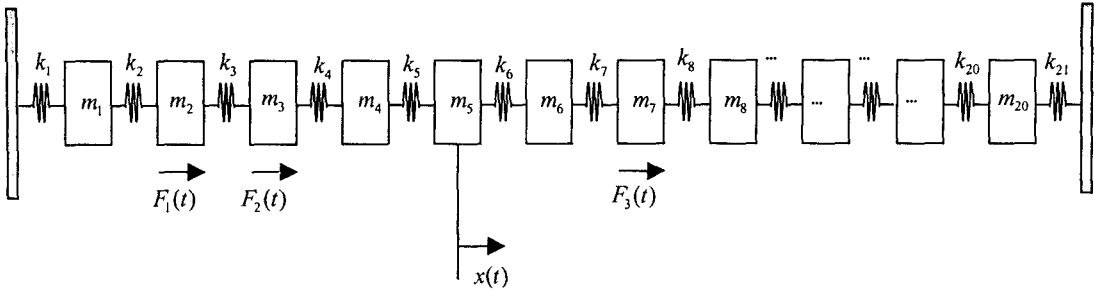


Fig. 2 Configuration of simulated structure

Fig.3 에서는 이상의 내용을 블록선도로 표현했다. (a)에서처럼 각각의 Mass 2,3,7 에 작용하는 랜덤신호  $x_1(t), x_2(t), x_3(t)$  를 만들어 주어 전달함수  $H_{1y}(f), H_{2y}(f), H_{3y}(f)$  를 통과하게 한다. 이것은 상호상관이 없는 신호들이므로 (b)에서 보는바와 같이 전달함수  $L_{12}(f), L_{23}(f)$  를 정의하여 입력들간의 상호상관이 있는 신호  $x_a(t), x_b(t), x_c(t)$  를 구했다. 결국, (c)에서처럼  $x_a(t), x_b(t), x_c(t)$  가 전달함수  $L_{ay}(f), L_{by}(f), L_{cy}(f)$  를 거쳐

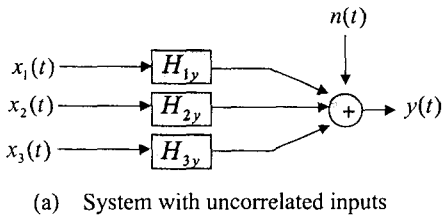
노이즈와 합쳐짐으로써 출력을 구성하게 된다.

Table. 2 에서는 시뮬레이션을 위해 사용한 값을 나타내었다.

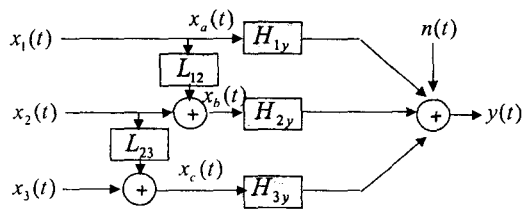
Table. 2 Specific Information for the Simulation

Item	Content
Sampling Frequency	400Hz
Ensemble Average	25
Noise	7% of Output r.m.s

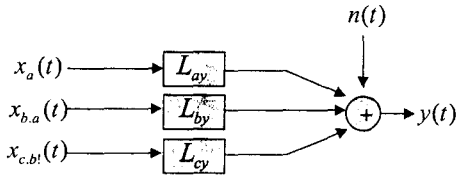
Fig.4 는 입력과 출력의 자기스펙트럼을 나타낸 것이다. 입력의 자기스펙트럼에서는 입력  $x_1(t), x_2(t), x_3(t)$  을 상관관계 지어준  $L_{12}(f), L_{23}(f)$  의 영향으로 입력  $x_b(t), x_c(t)$  의 자기 스펙트럼  $G_{bb}, G_{cc}$  에서 각각 관련 주파수에서의 피크를 확인할 수 있다. 출력의 자기스펙트럼에서는 가정해 준 전달함수의 영향으로 많은 피크들을 확인할 수 있다.



(a) System with uncorrelated inputs



(b) System for correlation



(c) System with correlated inputs

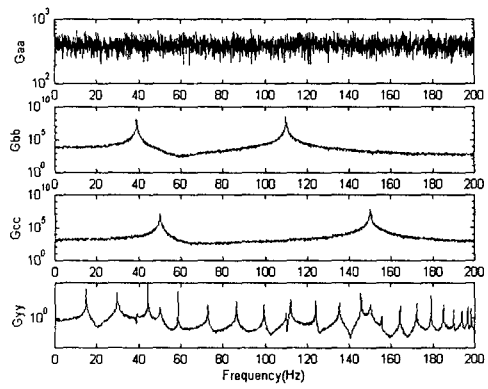


Fig. 4 Auto spectrums of inputs and output

Fig. 3 Block Diagram of system for correlated inputs

$x_a(t)$ ,  $x_b(t)$ ,  $x_c(t)$  순으로 우선순위가 있는 입력을 상관관계 제거후 잔여스펙트럼을 가지고 다중기여도 함수를 구했다. Fig.5 에서 보여지듯이 전 주파수 대역에 걸쳐서 크기가 1 에 근사하는 것으로 보아 선정된 입력이 적절하였음을 확인할 수 있다.

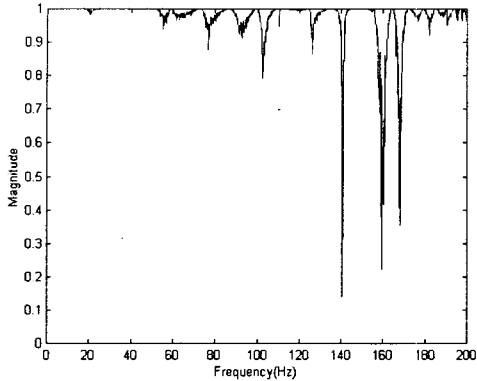


Fig. 5 Multiple coherence function of inputs

Fig.6 는 부분기여도함수를 나타낸 것으로 입력이 출력에 기여하는 비율을 알 수 있다.

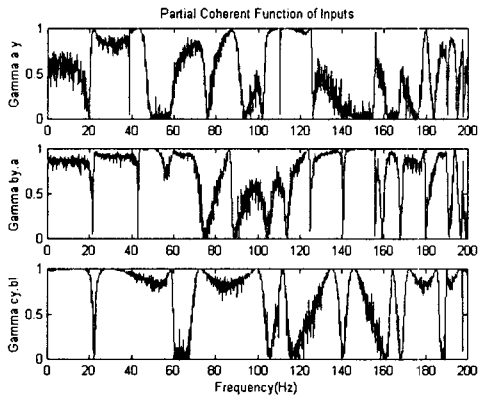


Fig. 6 Partial coherence function

Fig.7 은 상관관계가 있는 입력이 출력에 기여하는 양을, Fig.8 은 부분기여출력스펙트럼을 나타낸 것이다. 후자에서는 입력  $x_c(t)$  의 기여출력스펙트럼,  $G_{y:c,bl}(f)$  에서 상관관계를 제거한 결과로 크기가 현저히 감소함을 알 수 있다. 전 주파수 대역에 걸쳐서 입력  $x_a(t)$  가 영향을 주나 상관관계를 주기위해 정의한  $L_{23}(f)$  의 영향으로 관련 주파수에서는 입력  $x_a(t)$  보다  $x_b(t)$  의 영향이 더 큼을 알 수 있다.

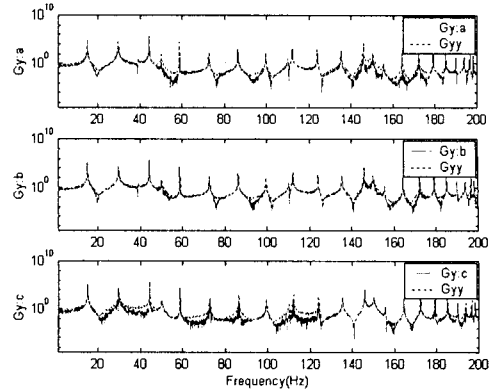


Fig. 7 Coherence output spectrum

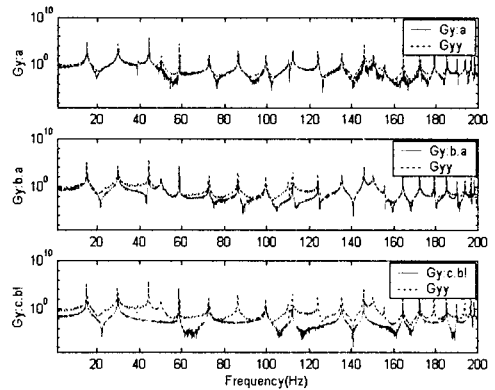


Fig. 8 Partial coherence output spectrum

마지막으로 Fig.9 를 살펴보자. 위 그림은 기여출력스펙트럼의 합과 출력의 자기스펙트럼을 비교한 것이다. 상관관계의 영향으로  $G_{yy}$  보다  $G_{y:inputs}$  이 더 큼을 확인할 수 있다. 반면, 아래 그림에서는 상관관계의 제거로 인해  $G_{yy}$  가

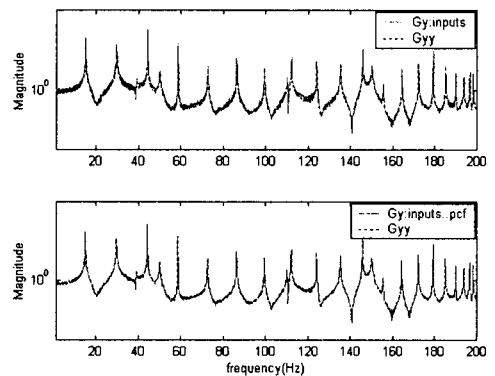


Fig. 9 Comparison of  $G_{yy}$  with the sum of  $G_{y:inputs}$

$G_{y:input\_pcf}$  보다 조금 크지만 적절한 입력의 선정으로 인해 그 차이는 그다지 크지 않음을 알 수 있다.

이상으로 다자유도계 모델에서 PCF 기법을 적용함으로써 각각의 입력이 출력에 기여하는 정도를 살펴보았다. 이 기법을 광디스크 드라이브에 적용해 보자.

#### 4. 광디스크 드라이브에서 진동원 규명

실험대상은 DVD 16 배속이다. 주 가진원이라 추정되는 스피들모터 부위의 진동,  $x_a(t)$  와 디스크의 면진동,  $x_b(t)$  는 LDV(Laser Doppler Vibrometer)를 사용하여 동시에 측정하였다. 그리고 제 3 의 진동원으로 픽업 부위의 진동,  $x_c(t)$  는 가속도계를 부착하여 그 신호를 측정하였다. 면진동은 비교적 모드가 잘 나타나는 디스크의 외곽을 측정했다.

회로에서 FES 신호를 뽑아내 출력으로 두고 입력과의 상호 관계를 알아보았다. Cada-X 에서 입력과 출력의 자기스펙트럼과 상호스펙트럼을 받아 시뮬레이션을 해 보았다.

Fig.10 은 입력과 출력의 자기스펙트럼을 비교한 것으로  $G_{yy}$  에 나타나는 모드성분이  $G_{bb}$  에서도 흡사하게 나타남을 알 수 있다.

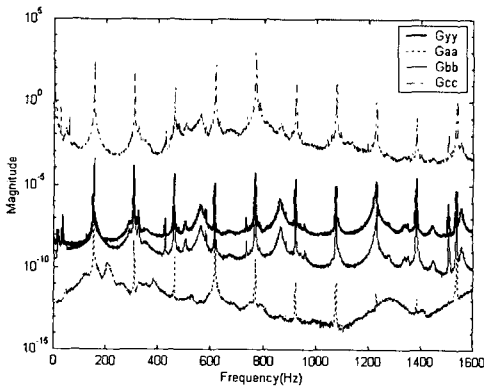


Fig. 10 Auto spectra of inputs and output

위의 입력은 각기 상호상관이 있으므로 그 영향을 제거하여야 한다. 우선순위는 스피들모터 부위의 진동, 면진동, 픽업 부위의 진동의 순으로 가정하고 해석을 하였다.

Fig.11 은 상관관계를 제거한 입력들을 가지고 다중기여도함수를 그려보았다. 전체적으로 0.6 이

상의 값을 나타내며 모드 성분이 나타나는 주파수 근처에서는 1 에 근접하므로 입력의 선정에 문제가 없었다는 것을 확인할 수 있다.

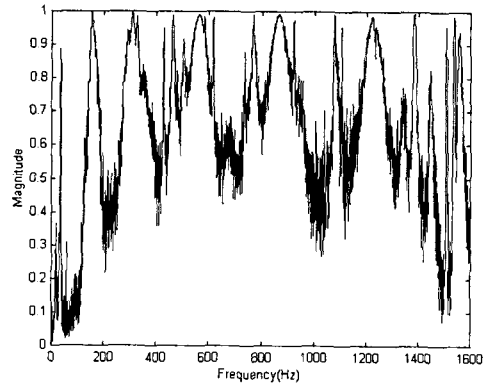


Fig. 11 Multiple coherence function of inputs

Fig.12 는 부분기여도함수를 나타낸 것이다. 입력  $x_b(t)$  가 출력에 차지하는 비율이 가장 큼을 대략적으로 확인할 수 있다.

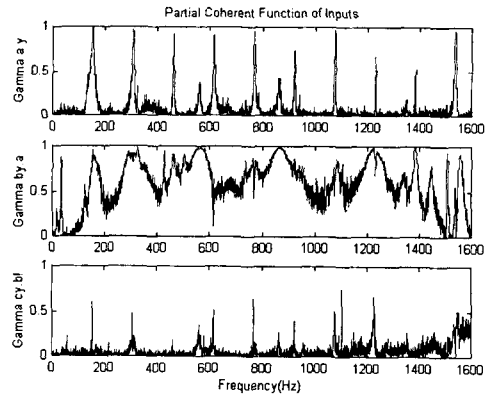


Fig. 12 Partial coherence function

Fig.13 은 상호상관이 존재하는 입력들의 기여 출력스펙트럼을, Fig.14 는 상호상관을 제거한 경우의 부분기여출력스펙트럼을 나타내었다. 전자에서는  $G_{y:b}(f)$  가 RRO 성분이 존재하는 주파수에서 큰 값을 가지는데 그것은 상호상관으로 인해 존재하는 것임을 Fig.14 를 통해 알 수 있다. Fig.14 를 살펴보면  $G_{y:b}(f)$  에서 큰 값을 가졌던 RRO 성분이  $G_{y:b,a}(f)$  에서는 사라지게 된다. 즉, 스피들모터가 우선순위에 있어서 가장 앞선다는 가정에 의해 디스크의 모드와 RRO 성분이 어느 한 진동원에 의해 발생하는 것이 아니라 각각 스피들 모터와 면진동에 나뉘어 나타나는 것이

다. 여기서는 RRO 성분은 스핀들모터에 의한 것이고 모드는 면진동에 의해 발생하게 됨을 알 수 있다. 그리고 Fig.14 의 세번째 그림을 보면 픽업 부위의 진동을 나타내는  $x_c(t)$  는 전 주파수에서 그 기여도가 미미함을 알 수 있다.

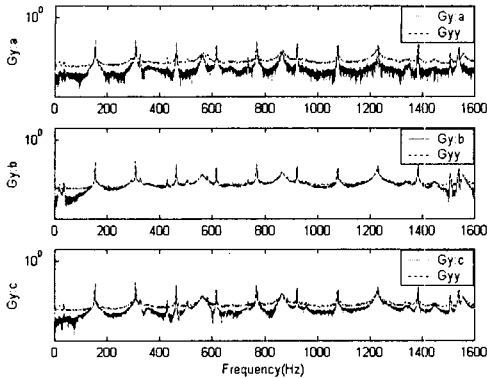


Fig. 13 Coherence output spectrum

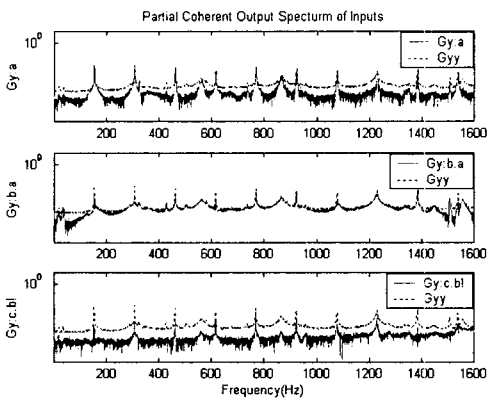


Fig. 14 Partial coherence output spectrum

Fig.15 에서 아래 그림은 입력의 부분기여출력 스펙트럼의 합과 출력의 자기스펙트럼과의 비교를 나타내고 있는데 상관관계의 제거로 인해 출력의 자기스펙트럼이 전체적으로 입력의 부분기여출력 스펙트럼의 합보다 더 큼을 확인할 수 있다. 특히 RRO와 모드성분이 발생하는 주파수에서 상관관계의 제거로 인한 총 부분기여도함수값의 감소가 두드러짐을 확인할 수 있다. 또, 가능성 있는 입력을 정확히 모두 선정했다면 이상적으로는 아래 그림에서 각각의 값이 정확히 일치하겠지만 실제적으로 그러하기는 불가능하다. 다중기여도 함수에서 확인했듯이 입력의 선정에 있어서 문제가 없음을 이미 확인했다.

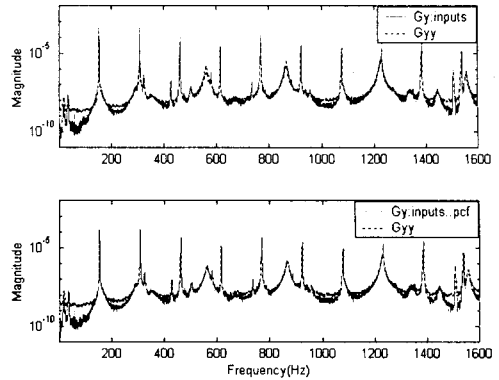


Fig. 15 Comparison of  $G_{yy}$  with the sum of  $G_{y:inputs}$

## 5. 결론

PCF 기법을 이용하여 광디스크 드라이브내 진동원을 규명하였다. 실험은 디스크를 회전중에 스핀들 모터부위의 진동과 디스크의 면진동, 그리고 픽업 부위의 진동을 측정했다. FES의 자기 스펙트럼과 각 진동원의 부분기여출력스펙트럼을 비교한 결과 출력인 FES의 자기스펙트럼에서 나타나는 모드 성분과 RRO 성분은 어느 한 진동원에 의해서 발생하는 것이 아님을 확인했다. 본 연구에서는 스핀들모터에 가장 앞선 우선순위를 부여했기 때문에 출력에서 규칙적으로 발생하는 RRO 성분은 스핀들 모터의 작동에 의해 나타난 것이고 완만한 경사를 가지는 산모양의 모드성분은 회전 디스크의 영향으로 발생하는 것임을 알 수 있다. 그리고 픽업 부위의 진동은 그 크기가 미미하여 FES에 그다지 큰 영향을 주지 못하는 것을 확인하였다. 본 연구에서는 3 입력 1 출력으로 대상시스템을 가정했지만 면진동과 스핀들모터만으로도 FES의 자기스펙트럼의 크기를 충분히 표현할 수 있기 때문에 2 입력 1 출력으로 시스템을 해석해도 무방하다는 결론을 내렸다.

## 후기

본 연구는 한국과학재단 지정 정보저장기기 연구센터의 지원(2001G0101)을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) J.S. Bendat, 1980, "Modern analysis procedures for multiple input/output problems", J. Acoust. Soc. Am. 68(2), pp. 498 ~ 503
- (2) J.S. Bendat, 1976, "Solutions for the multiple input/output problem", Journal of Sound and Vibration , 44(3), pp. 311 ~ 325
- (3) M.E. Wang, 1983, "On the application of coherence techniques for source identification in a multiple noise source environment", J. Acoust. Soc. Am. 74(3), pp. 861 ~ 872
- (4) A.F. Seybert, 1975, "The use of coherence techniques to predict the effect of engine operating parameters on diesel engine noise", Journal of Engineering for Industry, pp. 1227 ~ 1233
- (5) W.G. Halvorsen, 1975, "Noise source identification using coherent output power spectra", Sound and Vibration, pp. 15 ~ 24
- (6) R.J. Alfredson, 1977, "The partial coherence technique for source identification on a diesel engine", Journal of Sound and Vibration, 55(4), pp. 487 ~ 494
- (7) M.W. Trethewey, 1981, "Identification of noise sources of forge hammers during production: An application of residual spectrum techniques to transients", Journal of Sound and Vibration, 77(3), pp. 357 ~ 374
- (8) C.J. Dodds, 1975, "Partial coherence in multivariate random processes", Journal of Sound and Vibration, 42(2), pp. 243 ~ 249