

## 공리적 접근을 통한 CD-ROM 드라이브의 소음 진동저감 설계평가

이재승\* 차성운\*\*

### Axiomatic Approach for the Design of Reducing the Noise and Vibration of CD-ROM Drive.

Jae Seung Lee and Sung Woon Cha

**Key Words:** Axiomatic Approach(공리적 접근), CD-ROM(Compact Disk-Read Only Media)  
Optimum design (최적설계)

#### Abstract

CD-ROM drive is improved in rotation speed up to 10,000 rpm. But Vibration and Noise are also increased simultaneously more and more. So many attempts are tried to reduce the unexpected effects. Most attempts are not enough to cover the increasement of Noise and Vibration. Merely availed tries are accumulated in many part and it makes the structure complicated. The Axiomatic approach could arrange the order of design and estimate the optimum design in good oder. In Axiomatic Approach, the composition is divided by Customer Requirement, Functional Requirement, Design Parameter and Design Matrix in large portion. This method also could show more effective way to design before making a prototype.

#### 기호 설명

DM = Design Matrix  
CR = Customer Requirement  
FR = Functional Requirement  
DP = Design Parameter  
CD = Compact Disk  
OASPL = Overall Sound Pressure Level

#### 1. 서론

현재 컴퓨터의 보급은 급격히 증가해 있는 상태이며 각 요소의 급속한 발달과 고성능 부품의 수요 또한 증가하고 있다. CD-ROM은 정보 저장 매체로써 매우 각광받고 있으며 재생속도에 있어 경쟁이 치열해지고 있다. 현재, 10000rpm이상의 제품이 판매되고 있으며 다양한 부가 기능 또한 탑재되고 있다. 반면 속도의 증가에 비례해 진동 및 소음이 같이 증가하고 있는 것 또한 문제점으로 제시되고 있다.

소음의 경우 그 자체가 제품의 성능에 큰 영향을 미치는 요소가 아니지만 제품의 비교 평가시 간과해선 안될 중요한 요인이므로 개선의 필요성

\* 연세대학교 대학원 기계공학과

\*\* 연세대학교 기계전자공학부

이 크게 존재한다.

즉, CD-ROM의 소음은 주위 주변 소음에 비해 음압은 낮으나 사용자가 가까운 거리에서 작업을 장시간 하는 경우가 많으며 주파수대가 민감가청 대역이 주성분을 이루고, 설치장소가 실내인점 때문에 소음의 제어가 요구되는 부분이다.

소음의 원인은 우선 CD-ROM의 모터에서 방사 되는 소음과 모터와 CD자체의 회전등의 주기적인 힘이 부품연결부위를 자극하여 생기는 기계적 소음을 들 수 있으며, 물체의 진동과는 관계없이 CD의 회전으로 내부에 고속의 공기유동이 물체의 날카로운 부분이나 불연속적인 경계를 통과하다가 그 주변에 와류를 형성하여 직접 공기의 소밀부(압력변화) 및 와류를 생성하는 경우로 볼 수 있다.

첫 번째의 경우는 구조물자체가 여러 고유진동수를 보유할 것이며, 진동의 공진처럼 자극의 주파수가 물체의 공명 주파수와 일치할 때 음은 더욱 강해진다. 이러한 특징은 한 개의 막대봉으로 여러 다른 재질의 물체를 타격 했을 때 다른 소리를 발생하는 경우와 같다. 즉, 다시 말해 공진체에 일종의 손실을 주거나 하는 방법으로 공진을 막을 수 있을 것이다.

두 번째의 경우는 유속을 낮추거나 와류를 생성시키기 힘든 형태로의 구조변형등의 방법으로 해결하여야 할 것이며 CD-ROM의 경우 많은 연구가 유체흐름에 대해 이루어지고 있으며 다소 성과를 보고 있는 상태이다. Tray 의 형상 변화나 덮개의 모양 변화, 또는 window cavity 의 변형등이 그 예이다.

소음 및 진동의 감소를 기대하여 트레이 형상의 변화나 방진고무의 부착등은 생산공정을 복잡하게 하며 제조 시간 및 경비의 증가를 가져오고 있다. 하지만 지금도 여러 가지 변형이 누적되고 있는 상태이고, CD ROM의 RPM이 증가함에 따른 소음의 증가치에는 많이 부족한 현실이다.

따라서 기존의 제품설계에 대해 공리적인(Axiomatic) 접근으로 타당성을 검토해 볼 필요가 있으며 그 결과로 합리적인 개선 요인에 대해서도 직관적으로 예측할 수 있을 것이다.

공리적 접근은 설계과정에 있어 물리적 영역에 포함되어져 있는 기능적 요구사항을 만족시키는 설계요소의 변화가 그와 관련된 요구사항에만 미치도록 해야 한다는 독립의 공리와 각 설계요

소가 최소한의 정보를 가져야 한다는 정보의 공리로 나뉘어지며, 독립의 공리를 만족하는 최소한의 정보를 보유하는 설계가 최적의 설계임을 의미한다.<sup>(1)</sup>

## 2.영역(Domain)의 설정

### 2.1 사용자 요구사항(Customer Requirement)

모든 제품에서 사용자의 요구를 충족시키는 것이 가장 선행되어야하며, 이를 통해 설계의 방향이나 개선사항에 대해 합리적인 방안이 제시된다. 이장에서는 소음 및 진동 그리고 생산단가에 대해 초점을 두고 고려하고 있다.

그러므로 개선될 CD-ROM설계의 사용자 요구사항(CRs)에 대한 일부설정은 다음과 같다.

- CR<sub>1</sub> : 정속한 운전이 가능해야 한다.
- CR<sub>2</sub> : Data Reading시 Error를 줄인다.

### 2.2 기능적 요구 사항(Functional Requirement) 과 설계 요소(Design Parameter) 제시

먼저 초기 Domain이 설정되었으면 CRs의 영역을 기초로 하여 보다 구체적인 기능적 요구사항(FRs)을 결정하여야 한다.

이것이 연구의 목표로 정의될 것이며 계층구조상 상위개념이 된다.<sup>(3)</sup>

- FR<sub>1</sub> : 소음의 감소
- FR<sub>2</sub> : 디스크의 안정된 운전

그리고 각 FRs항에서 하위개념의 구체적인 기능적 요구들로 세분화 될 수 있다.

- FR<sub>1</sub> : 소음의 감소
- FR<sub>11</sub> : 구조소음의 감소
- FR<sub>12</sub> : 공기입자의 Separation에 의한 Vortex Noise 감소
- FR<sub>13</sub> : 누설소음의 전달경로 차폐

현재의 소음 저감안으로 연구되고 있는 대부분의 방안은 기존 모델에 재료의 첨부나 형상의 소극적 변형등이다. 이것을 바탕으로 DP를 정의한다.

- DP<sub>1</sub> : 음압레벨(Sound Pressure)
- DP<sub>11</sub> : 연결 부위 방진재 첨가
- DP<sub>12</sub> : Tray의 형상 변화
- DP<sub>13</sub> : Case의 틈새 제거

### 3. 설계행렬(Design Matrix)

#### 3.1 독립의 공리

각 FRs 요소에서 가장 중요한 요소로 대응되는 DPs의 설정 후 FRs와 DPs의 관계를 행렬의 형태로 표시한다.

$$\begin{Bmatrix} FR_{11} \\ FR_{12} \\ FR_{13} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X & O & X \\ O & X & O \\ O & O & X \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{11} \\ DP_{12} \\ DP_{13} \end{Bmatrix} \quad (1)$$

(1)의 행렬식을 보면 FRs와 DPs가 완전한 독립을 이루고 있지는 않지만 순서의 부여에 의해 우선 순위를 결정함으로써 설계의 합리화를 도모할 수 있다.

즉, DP<sub>13</sub> 또는 DP<sub>12</sub>의 설계 파라미터를 우선 시행함으로써 FR<sub>11</sub>에 연성된(coupled) 파라미터의 수정을 최소화 할 수 있다. 다시 말해 DP<sub>13</sub>로 인해 전체 CD-ROM의 진동 특성이 결정된 후 특성에 따른 방진재의 적절한 첨부로 빠른 개선을 도출 할 수 있다.

나머지 FRs에 대해서도 다음과 같다.

- FR<sub>2</sub> : 디스크의 안정된 운전
- FR<sub>21</sub> : Spindle Motor에 의한 진동 완화
- FR<sub>22</sub> : Vortex에 의한 Disk의 Shaking 현상 완화

CD의 고속회전으로 인해 진동이 발생하여 미세한 트랙피치(0.74 $\mu$ m)와 피트길이(0.4 $\mu$ m)를 광이 이탈하여 Error를 일으킬 우려가 있으므로 진동에 의한 불안정요소를 고려한다.

각 FRs에 대응하는 DPs는 다음과 같다.

- DP<sub>2</sub> ; 안정된 힘의 전달
- DP<sub>21</sub> : Ball Balancing에 의한 회전축 안정
- DP<sub>22</sub> : 디스크 표면 이동 유량의 조절

고로 설계 행렬식을 나타내면 다음의 형태로 표

시된다.

$$\begin{Bmatrix} FR_{21} \\ FR_{22} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X & O \\ O & X \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{21} \\ DP_{22} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

이 설계행렬은 독립의 공리에 잘 만족하고 있으므로 어떤 설계 파라미터를 우선으로 놓아도 만족할 만한 과정을 얻을 수 있다.

DP<sub>22</sub>의 경우 디스크의 회전으로 인해 유체가 원주방향으로 이동하며 Tray 바닥면과의 마찰로 와류가 형성되어 Disk의 면진동을 유발하는 또 하나의 원인이 되었을 것이라는 가정에서 설정되었다.

불확실한 가정에 대한 검증은 위해 Disk의 면진동을 수행하였으며, 그 검증으로 설계 행렬식을 수정할 수 있었다. CD의 면진동 측정은 LDV와 FFT Analyzer로 하였으며, 유체의 영향을 보기 위해 제작된 작은 Chamber내에 CD-ROM을 위치시키고 측정하였다.<sup>(2)</sup>

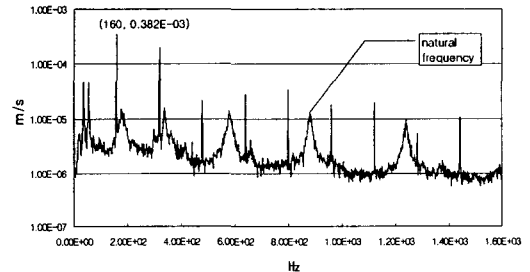


Fig. 1 Hi-balanced CD

Fig.1의 그래프는 편심 오차가 극히 작도록 특별히 제작된 CD를 대기압하에서 9600 rpm으로 회전시에 CD의 진동특성을 나타낸 것이다. 160Hz에서 최대 진폭을 가지며 모터 가진에 의한 Peak점들 사이에 CD의 고유 주파수 성분이 존재하고 있다.

Fig. 2 그래프는 같은 회전속도로 CD를 회전시키고 대기압하에서와 진공 상태에서의 진동특성을 비교하였다.

Fig.2의 경우는 편심의 영향 때문에  $\Delta f$ 가 일정한 160Hz증가때마다 Peak가 생기는 것을 알 수 있다. 최대 Peak 점은 800Hz에서 나타나므로 Fig.1과는 다른 점에서 최대 속도 성분을 갖는다.

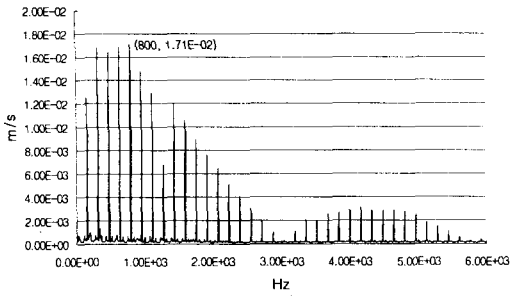


Fig. 2 0.03g unbalanced CD(under Air)

Fig.3의 경우는 CD-ROM이 놓여진 Chamber의 공기를 Air pump를 이용해 뽑은 후 0기압의 진공상태에 가까운 상태에서 같은 회전수로 운행하였을 때의 그래프이다.

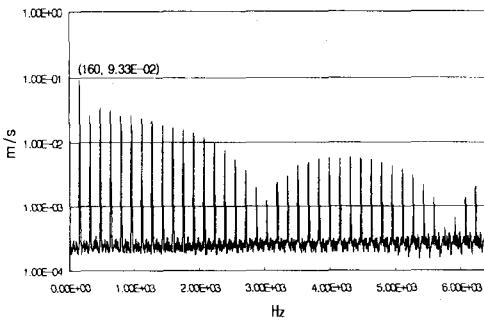


Fig. 3 0.03 unbalanced CD(under Vacuum)

이 그래프 역시 Fig.2와 같은  $\Delta f=160\text{Hz}$ 의 증가마다 Peak이 형성되고 있으나 최대 Peak 점은 Fig.1과 같은 160Hz에서 생기며 Fig.2에 비해 높은 속도 성분을 갖는다.

Table 1 Peak-Point Value

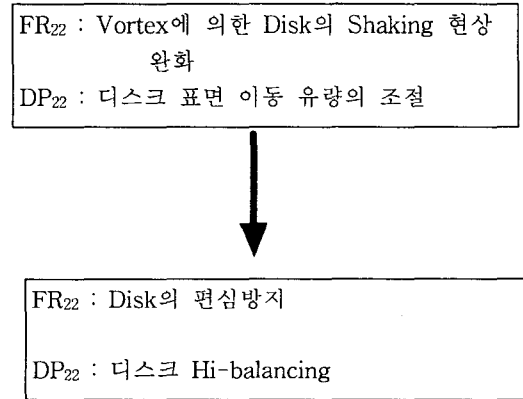
	Fig. 1	Fig. 2	Fig. 3
Frequency (Hz)	160	800	160
Velocity (m/s)	0.000382	0.0171	0.0933

세 값을 비교해 볼 때 CD에 편심이 주어질 때의 속도 성분이 월등히 높음을 알 수 있고, 예상과는 다르게 Fig. 3(under Vacuum)의 값이 Fig.2

의 대기압 상태에서 보다 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

이것은 CD와 Tray 밑면사이의 마찰에서 생기는 공기와류로 인한 불안정 요인보다 CD 윗면에서 유체하강에 의해 중심축 방향 힘이 더 크며 공기가 일종의 Damping 효과를 하고 있다고 예측된다. 유체의 이동은 원심축 펌프의 유체 이동과 같은 형상으로 나선형(spiral)의 모양으로 Disk 끝단을 이탈할 것이다. 이 같은 형태의 유체이동에 대한 보고는 Fig.3의 결과를 가능케 하고 있다.<sup>(4)</sup>

즉 이 결과는 (2)식의 설계 행렬에서 DP22의 설정이 옳지 않음을 나타내고 있으며, 실험의 결과에서 새로운 요소로 대체시키는 것이 바람직할 것이다. 즉



위의 수정과정을 거쳐 (3)의 독립행렬에 의한 관계를 구할 수 있다

$$\begin{Bmatrix} FR_{21} \\ FR_{22} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X & O \\ O & X \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_{21} \\ DP_{22} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

즉 설계 요소 구성시 실험적 검증이 요구되며 이러한 확실한 설계요소의 반영으로부터 정확한 설계순위를 확정하게 된다.

### 3.2 정보의 공리

독립의 공리와 더불어 또 하나의 설계개념으로 정보의 공리를 고려해야 한다. 이는 선행된 독립의 설계요소가 최적의 설계를 위해서는 최소의 정보량을 가져야함을 의미한다.

현재 소음저감 설계에 CD가 Tray위를 구동할

때 유체의 유동에 대한 고려로 Tray의 형상의 변화를 여러 각도로 시도하고 있다. 이에 사용자의 요구사항과 설계자의 합리적 의도를 고려하여 FRs를 설정하고 효율적인 설계 순위를 전개한다.

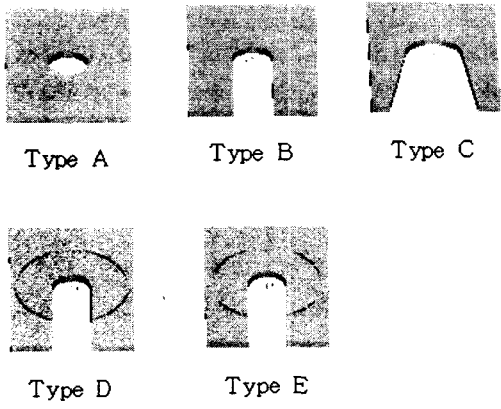


Fig. 4 Different Test Shapes of Tray

여기서의 설계영역은 5가지 다른 모양의 Tray에 대해서 고려된다. 여기서의 OASPL(Overall sound pressure level)값은 기존논문<sup>(4)</sup>의 측정치를 사용하였다.

- FR<sub>1</sub> : 제조비용의 절감
- FR<sub>2</sub> : 정숙성

그리고 이에 부합하는 DP<sub>s</sub>를 설정한다.

- DP<sub>1</sub> : 사용재료 절감
- DP<sub>2</sub> : vortex noise 감소

상위개념의 설계행렬은 다음과 같다.

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} X & O \\ O & X \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{Bmatrix} \quad (4)$$

독립의 조건이 갖추어져 있으며 정숙성에 대한 설계요소는 형상변화이며 정보의 양으로 구분된 Tray window 와 Guide wall에 대해 세분화 될 수 있다.

- 정숙성(I<sub>21</sub>)
- OASPL (I<sub>211</sub>)

제조비용의 절감에 대한 설계요소는 사용재료 절감이며 제품의 부피를 정보의 양으로 고려한다.

- 제조비용 절감(I<sub>11</sub>)
- Tray의 부피 (I<sub>111</sub>)

Table 2 Information contents of satisfying FRs

	Type A	Type B	Type C	Type D	Type E
I <sub>211</sub>	6.5	6.78	7.05	68.9	68.2
I <sub>111</sub>	0.2409	0.2019	0.1614	0.215	0.2055

기능적 요구사항(FRs)에 대한 정보량의 측정값을 Table 2에 나타내었다.

위의 각 정보량들이 서로 어떻게 연관되어 있는지의 판별을 통해 객관적인 정보의 양을 비교해 볼 수 있다.<sup>(5)</sup>

Table 3 House of Quality

	제조비용(1)	noise(1)	가중치
OASPL	X		1
Tray 부피		X	1

Table 3에서 보듯이 요소들이 완전한 독립을 이루고 있으므로 가중치의 필요성이 없게 된다. 하지만 이것은 단순한 요소항에서의 조합이고, 대부분의 요소들은 비연성(decoupled) 또는 연성(coupled)의 관계를 이루고 있으므로 비연성의 관계시 설계 파라미터들이 비연성화 되어 있으므로 각각의 정보량에 대해 객관적인 비교를 위해 가중치의 조합이 필수적이다. 이같은 과정을 통해 도출되는 정보량의 비교를 통해 최소의 정보량을 가진 최적의 제품을 평가할 수 있다.<sup>(5)</sup>

#### 4. 결론

본론에서와 같은 공리적 설계에서 주의해야 할 점들로 각 요소들간의 정확한 연관관계와 정보량

이다. 복잡한 비연성의 관계에서 하나의 요소의 오차는 결국 전혀 다른 설계순서를 가져올 수 있기 때문이다. 요소들의 관계를 유추할 수 있는 초기단계의 검증등이 필요시 된다고 본다.

요즘 CD-ROM의 소음 및 진동의 감소를 위해 다각도의 많은 연구가 이루어지고 있다. 보통 이러한 연구결과들이 기존의 시행되고 있는 방법들과 여과없이 받아 들여 지고 있는 실정이다.

특히 RPM의 증가로 인한 소음의 증가량을 잡지 못하고 있는 실정이다. 현재 CD-ROM에는 여러개의 방진재와 여러 부분에서의 재료의 침식으로 인해 생산공정의 복잡함을 초래하는 반면 소음저감의 효과는 크지 못하다. 이러한 길어진 공정의 개선을 위해 설계의 우선순위 선정이 중요할 것이며 연성에서 오는 예기치 못한 오차의 범위도 크게 줄일 수 있다.

## 5. 참고문헌

- (1) Nam P. Suh, 1990, "The Principle of design", The Oxford University Press.
- (2) B&K, 2000, "Frequency Analysis", Handbook
- (3) 문용락, 차성운, 1997, "Axiomatic Approach를 이용한 DVD 설계평가", 대한기계학회 춘계학술대회, A권p666-672
- (4) Y.S.Kim, D.N. Heo and D.J. Lee, D.S. Roe and Y.C. Kim, 2000, "Identification and Reductions of Aerodynamic Noise Sources in High Speed Rotating CD-ROM Drive", American Institute of Aeronautics and Astronautics
- (5) 차성운, 2001, "Creative Design Method 3rd edition", 연세대학교 기계공학과