

광 디스크 드라이브 Seek 소음의 음질 평가 Sound Quality Evaluation of Optical Disc Drive Seek Noise

이상윤*, 최명렬**, 성평용**

Sang Yun Lee* , Myung Ryul Choi**, Pyong Yong Seong**

Key Words: Sound Quality(음질), Loudness(라우드니스), Seek Noise(Seek 소음), Optical Disc Drive(광디스크 드라이브), PCM(대응 비교법)

ABSTRACT

Sound quality is becoming a major concern in optical disc drives (ODD). In order to improve the sound quality of slim type ODDs, we changed lead screw pitch and firmware algorithm in the seek mode. To evaluate the sound quality, the PCM (Paired Comparison Method) was adopted and the result was compared with the time-averaged loudness spectrum. Sound signals were also recorded and modified by increasing or decreasing selected frequency bands to verify their sensitivities to the sound quality. As a result of jury test, preferred frequency bands are associated with the time-averaged loudness spectrum.

1. 서론

조용한 환경에서 PC를 사용하고자 하는 욕구가 증가함에 따라 광디스크 드라이브 분야에서도 sound quality의 중요성이 높아지고 있다. 광디스크 드라이브의 소음은 일반적으로 H/H(Half Height) drives의 경우 디스크 불균형(unbalance)으로 인하여 야기되는 1kHz 이하의 구조소음, 디스크 회전 에 의한 내부 유동으로부터 발생하는 1~2kHz 대역의 유동소음 그리고 스피들 모터 등으로 인한 2kHz 이상 대역의 고주파 소음이 있으며, slim drive의 경우 디스크 불균형(unbalance)으로 발생하는 1kHz 이하의 구조소음, 2kHz 대역의 유동소음 그리고 2kHz 이상 전대역에서 발생하는 seek 소음이 있다. 그 중에 체감적으로 가장 문제가 되는 소음은 H/H drive의 구조소음 및 slim drive의 seek 소음이다. 구조소음은 ABS(Automatic Ball balance System)등의 벨런싱 장치로 해결 가능하나 slim drive의 seek 소음의 경우 일반적으로 배열된 3열 기어에 의해 소음 발생이 불가피한 상황이다.

본 논문에서는 lead screw의 pitch 변경 및 firmware algorithm 변경을 통해 seek noise를 개선하였고 jury test를 통하여 효과를 확인하였다. Jury test를 통하여 도출된 주파수 대역별 선호도와 시간평균(time-averaged)된 loudness spectrum을 비교

하였으며 이를 이용하여 seek 시 발생하는 소음의 sound quality 향상을 위한 설계 가이드 라인을 제시 하였다.

2. Seek 소음 발생원 및 개선내용

2.1 Slim Drive의 Seek 소음

본 논문에서 다루고자 하는 slim drive의 seek 소음은 디스크 내의 특정한 위치에 있는 데이터 읽기 위해서 Fig. 1에서 보는 바와 같이 DC motor와 3개의 감속기어를 이용하여 pick-up을 이송하는 과정 중에 발생하는 소음이다. 임의의 address에 위치한 데이터를 읽는 경우 random seek noise, 디스크의 최내주와 최외주에 위치한 데이터에 번갈아 가며 읽는 경우 full seek noise로 구별되며, 발생 주파수 대역은 두 가지 경우 모두 2kHz 이상 전 대역에서 고르게 가진 되는 형태이다. Step

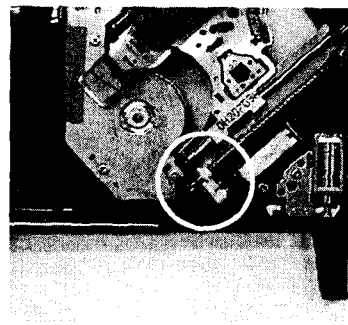


Fig. 1 Three gears for moving pick-up

*OMS Div., SAMSUNG Electronics Co., Ltd.
E-mail : sangyun.lee@samsung.com
Tel : +82-31-200-9199, Fax : +82-31-200-4087

**OMS Div., SAMSUNG Electronics Co., Ltd.

motor 를 이용할 경우 3 개의 감속기어 없이 pick-up 이송이 구현 가능하여 추가 소음 발생이 거의 없으나 소비 전류면에서 DC motor 에 열세이므로 일부 모델에만 적용되고 있다.

2.2 Seek 소음의 개선 및 주파수 특성

Firmware 를 이용하여 pick-up 이송 시의 DC motor 전압 프로파일 최적화, 기어의 재질 형상변경 및 lead screw 의 피치 변경 등을 통하여 개선이 가능하며, Fig. 2, 3 과 같이 개선 전 및 개선 후 seek 소음 특성을 10초간 시간평균 된 1/3 octave-band 로 나타내었다. A 는 개선 전, B 는 lead screw 피치 변경 후, C 는 lead screw 피치 변경 및 firmware 변경을 통한 DC motor 회전 프로파일 최적화 및 회전 rpm 감소 후의 소음 특성이다. Random 및 full seek 소음의 주파수 대역별 분포는 유사하나 A 의 경우 가장 지배적인 소음대역은 2.8~3.5kHz 대역이며 B 의 경우 1.4~1.7kHz 대역으로 차이를 보이고 있으며 C 의 경우 1kHz 이하의 저주파수 대역을 제외한 전대역에서 소음이 감소되었다.

A 의 경우 주요 가진 원은 pick-up 이송 시 발생 하는 기어간 마찰소음이며, B 의 경우 주요 가진 원은 lead screw pitch 증가로 인한 각도변화로 인하여 DC motor 초기 기동 시 발생하는 소음이다.

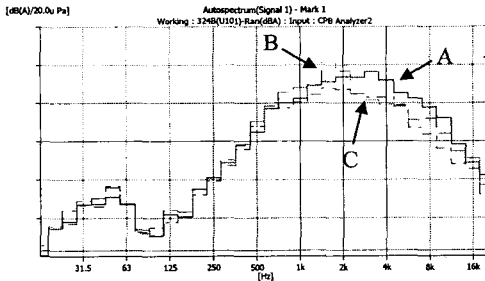


Fig. 2 Random seek noise (A: Before improvement, B,C: After improvement)

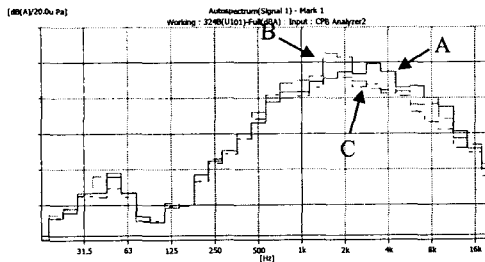


Fig. 3 Full seek noise

	Random		Full	
	SPL	Total Loudness	SPL	Total Loudness
A	1	1	1	1
B	0.99	0.90	1.02	0.97
C	0.92	0.77	0.94	0.80

Table. 1 Normalized SPL & time-averaged (10 sec) total loudness

2.3 Seek 소음의 시간에 따른 소음 특성

Fig. 4, 5 에 random 및 full seek 소음의 시간 축에 따른 변화양상을 1 초간 나타내었다.

Random seek noise 의 경우 A, B 에 비해 C 는 소음 피크치 및 지속시간이 짧은 특징이 있다.

Full seek noise 의 경우 A 는 random seek 시와 유사한 양상을 보이며, B 는 초기 기동 시 소음이 급격히 증가하여 peak 치가 높다. C 는 seek 속도 감소로 인하여 주기가 낮게 나타난다.

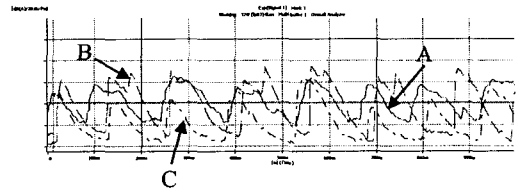


Fig. 4 Random seek noise

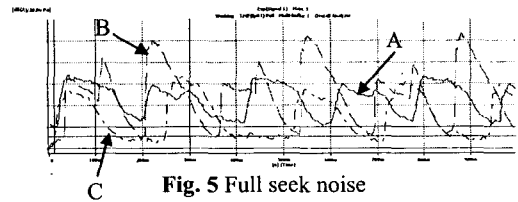


Fig. 5 Full seek noise

2.4 Seek 소음의 Loudness Spectrum 분석

앞 절에서 분석한 A, B, C 세가지 소음에 대하여 시간평균 된 loudness spectrum 분석을 Fig. 6, 7 과 같이 수행하였고, ISO 532B 규격[2]에 따라 Matlab 으로 제작한 프로그램을 사용하였다. A 와 B 의 경우 1/3 octave band 분석과는 달리 각각 지배적인 대역의 크기가 역전되어 있음을 볼 수 있다. 1/3 octave band 분석에서는 소음 A 의 지배적인 대역인 2.8~3.5kHz 대역의 크기가 B 의 지배적인 대역인 1.4~1.7kHz 대역보다 낮게 평가되었으나, loudness spectrum 분석에서는 그 반대이다.

기존에 알려져 왔듯이[3] A-weighting 된 음압 분석은 인간의 청감을 제대로 반영하지 못하며, 그 대안으로 대표적인 것이 loudness 분석이다.

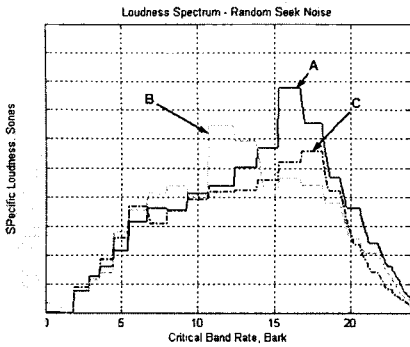


Fig. 6 Loudness spectrum of random seek noise

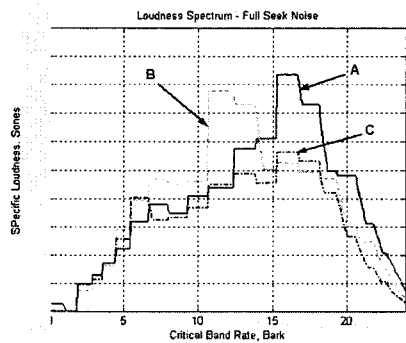


Fig. 7 Loudness spectrum of full seek noise

그러나 본 논문에서 다루는 시간에 따라 변하는 소음의 경우 시간평균 된 loudness spectrum 으로 분석하기에는 적합하지 않다. 따라서 본 논문에서는 jury test 를 통하여 seek 소음의 주파수 대역에 대한 실제 선호도를 분석하고 이것과 시간평균된 loudness spectrum 의 상관성을 조사하여 시간평균된 loudness spectrum 을 이용하여 slim drive seek 소음을 객관적으로 평가 가능한지 여부를 판단하였다.

3. Jury Test

3.1 Sound Recording

Jury test 를 위한 소음의 녹음은 Fig. 8 과 같이 ISO 7779 기준에 의하여 slim drive 단품 상태에서 seek 동작 시 한 개의 microphone 을 사용하여 수행하였으며 청음자의 피로도를 고려하여 각 소음의 샘플링 시간을 4 초로 하였다.

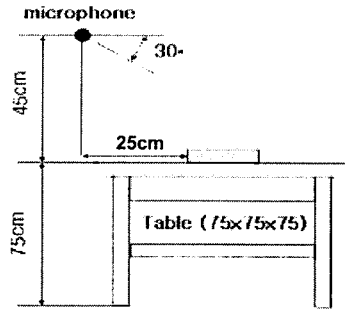


Fig. 8 Microphone location for sound recording (ISO 7779-Seated operator position)

3.2 소음의 편집 및 Jury Test 방법

Slim drive seek 소음의 주파수 대역별 소음의 선호도를 분석하기 위해서 jury test 를 수행하였다.

Test 방법은 두개의 평가음에 대한 상대적인 비교 판단을 하게 되므로 평가가 쉬우며 평가자들의 판단에 대한 차이도 적은 PCM (Paired Comparison Method)를 사용하였다. 평가의 신뢰도를 높이기 위해서 평가순서를 무순서화 하는 것이 필요한데 이를 위해 Matlab 의 randperm 함수를 이용하였다.

A, B, C 3 가지 소음을 Fig. 9 와 같이 6 개 대역에 대해서 6dB 증가 및 감소시켜 3x6x2 총 36 개의 소음으로 편집하였다. 편집대역은 디스크 회전 시 발생하는 harmonic 성분 대역인 ① 57~71Hz, Fig. 6, 7 의 B 소음의 지배적인 대역인 ③ 1414~1760Hz, A 소음의 지배적인 대역인 ④ 2825~3530Hz 를 우선 선정하였다. 그리고 A, B 소음 차이가 많이 나는 대역인 ② 707~880Hz, ⑤ 7070~8800Hz, ⑥ 14140~17600Hz 로 선정하였다. 편집 프로그램은 상용프로그램인 Goldwave 를 사용하였으며 Matlab 을 사용하여 편집된 소음을 동일한 dB 수준으로 재조정 하였다.

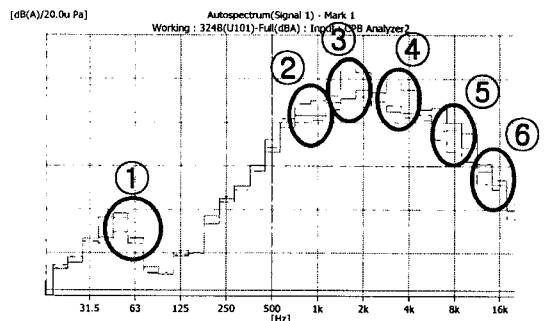


Fig. 9 6 frequency bands to edit for jury test

3.3 Jury Test 결과 및 고찰

Slim drive seek 소음의 주파수 대역별 선호도를 파악하기 위해서 총 36 개의 소음을 평가하였고 각 평가의 일관성을 평가하기 위하여 circular triad number C 를 사용하였으며 정의는 식 (1)과 같다.

$$C = \frac{t}{24}(t^2 - 1) - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^t (X_i - \bar{X})^2 \quad (1)$$

여기서, t 는 비교하고자 하는 대상의 수, X_i 는 i 번째 대상이 얻은 전체 선호점수, \bar{X} 는 모든 대상이 얻은 선호점수의 평균이다. C=0 이면 완벽하게 일관된 판단이 이루어졌다는 의미이고, C 값이 클수록 평가의 일관성이 떨어짐을 의미한다. 각 평가자의 평가능력은 χ^2 분포를 이용하여 검정이 가능하다. $t \leq 6$ 인 경우 유의수준 5%의 임계치는 2 이므로 $C \leq 2$ 이면 판단능력이 있다고 생각한다. Jury test 로 사용된 시험 횟수 총 12 회 중 11 회가 95% 이상의 신뢰도로 평가하고 있음을 알았다.

위의 과정을 거쳐 t 명의 평가자가 일관성 있는 판단을 내렸다고 검증되면 검증된 결과들로부터 Table. 2, 3 과 같이 전체 선호도를 구성하고 이러한 경우 유의수준 내에서 평가자간 결과의 일치 정도를 검증할 필요가 있다. 이러한 결과에서 서로 비슷한 평가결과를 나타내는 평가대상들을 같은 등급으로 표현할 수 있다. 평가기준 M_c 는 식 (2)와 같이 정의된다.

$$M_c = Z_{\alpha/2} \sqrt{N \times t/2} + \frac{1}{2} \quad (2)$$

여기서 Z 는 표준 정규 분포표의 값이다. 평가대상간의 전체 선호도 점수가 M_c 보다 크게 되면 둘 사이에는 유의한 차이가 있는 것이다.[4][5]

Jury test 결과를 보면 6dB 를 증가시킨 경우, 감소시킨 경우 모두 2.8~3.5kHz 대역의 소음이 선호도에 가장 좋지않게 나타났으며 1/3 octave band 와 시간평균 된 loudness spectrum 비교시 역전현상이 나타났던 1.4~1.7kHz 대역보다 선호도가 열세이다. 이는 시간평균 된 loudness spectrum 이 1/3 octave-band 보다는 사람의 청감을 잘 반영하고 있으며 선호도 분포와 일치하는 경향을 보여주고 있으므로 시간에 따라 변하는 seek 소음의 sound quality 분석에도 유용한 도구임을 알 수 있다.

여기서 2.8~3.5kHz 대역의 소음은 2.2 절에서 설명하였듯이 pick-up 이송 시 발생하는 기어간 마찰 소음이며 1.4~1.7kHz 대역은 초기 기동 시 발

생하는 peak 치가 지배적이므로 seek 소음 sound quality 개선 시 DC motor 의 회전 rpm 감소 또는 기어 마찰소음 저감이 좀 더 효과적임을 알 수 있다.

	1	2	3	4	5	6	선호도 합
1	0	4	4	5	5	5	23
2	1	0	5	5	4	3	18
3	1	0	0	3	3	2	9
4	0	0	2	0	2	1	5
5	0	1	2	3	0	0	6
6	0	2	3	4	5	0	14

유의차 판정 기준 **8.1**

Table 2 Total preference matrix (+6dB edited)

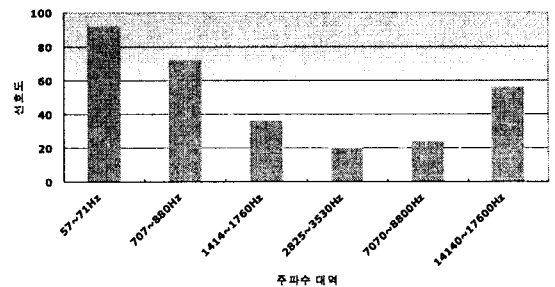


Fig. 10 The comparison of the preference according to frequency bands (+6dB edited)

	1	2	3	4	5	6	선호도 합
1	0	3	0	0	0	0	3
2	3	0	2	0	1	2	8
3	6	4	0	2	1	4	17
4	6	6	4	0	4	6	26
5	6	5	5	2	0	6	24
6	6	4	2	0	0	0	12

유의차 판정기준 **8.8**

Table 3 Total preference matrix (-6dB edited)

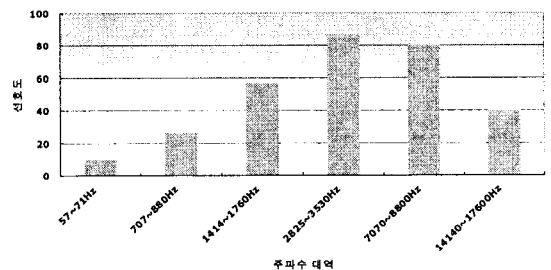


Fig. 11 The comparison of the preference according to frequency bands (-6dB edited)

4. 결 론

본 연구에서는 slim type ODD 의 seek 시 발생하는 소음의 개선과 sound quality 평가를 하였으며 도출된 결과는 다음과 같다.

- (1) Jury test를 통하여 slim drive seek noise의 각 주파수 대역별 선호도를 조사하였으며 가장 민감하게 느끼는 대역은 2.8kHz~3.5kHz 이다.
- (2) Seek noise의 sound quality를 개선하기 위해서는 초기 기동에 의한 peak치를 줄이는 것 보다는 이송속도를 늦추어서 이송 중에 기어 마찰에 의해 발생하는 소음을 저감하는 것이 효과적이다.
- (3) 시간에 따라 주기적으로 변하는 소음에 대해 1.4~3.5kHz 대역에서 시간평균된 loudness spectrum과 A-weighted된 1/3 octave-band 분석 결과가 반대로 나타났으나, jury test 결과는 loudness spectrum의 결과를 뒷받침 하였다.

참 고 문 헌

- (1) E. Zwicker and H. Fastl, *Psychoacoustics, Facts and Models*, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1990.
- (2) E. Zwicker, H. Fastl and C. Dallmayr, "BASIC-Program for calculating the loudness of sounds from their 1/3-oct band spectra according to ISO 532B," *Acustica*, vol. 55, pp. 63~67, 1984.
- (3) R. Hellman and E. Zwicker., "Why can a decrease in dB(A) produce an increase in loudness?," *J.Acoust. Soc. Am.*, vol. 82(5), pp. 1700~1705, 1987
- (4) 조연, 허덕재 외 2 명, 1999, "차량 실내 소음의 음질 특성에 대한 연구," 한국소음진동공학회 춘계학술대회 논문집, pp. 559~566.
- (5) 임도형, 1999, "제품의 음질특성에 관한 연구: 진공청소기에의 응용," 한국과학기술원 석사논문.