

HDD 의 소음도 평가에 대한 연구 Research on evaluation for the noise of HDD

최성준* 문원규** 강성우*** 황태연***
SungJoon Choi, WonKyu Moon and SungWoo Kang, TaeYeon Hwang

Key Words : HDD(하드디스크), Jury Test(대인 실험), Loudness(소리의 시끄러움 정도), Sharpness(소리의 날카로움 정도)

ABSTRACT

Nowadays since the customers of HDD's are interested in their noise levels in addition to their primary performances such as their average access time, capacity, HDD manufacturers make efforts on reducing the noise. The works to reduce noise are usually based on the measurable physical quantities such as SPL or acoustic intensity level. However, since the HDD noise is judged by human beings, the basis of noise reduction should be human sensations. In this paper, the noise levels of various HDD's are evaluated by the human jury test to find a relationship between the physical quantities used for noise control and the human sensations of noise. Discrepancies are found in the judgments by the human beings and by the physical quantities. The loudness level, a psychoacoustic variable, is used to solve the discrepancy.

1. 서론

1.1 연구의 배경

컴퓨터의 사용이 일반화되면서 소비자들은 보다 많은 멀티 미디어들을 활용하기 위해 고성능, 고용량 컴퓨터를 선호하게 되었다. 그리하여 컴퓨터 제조 업체들은 컴퓨터의 성능이나 HDD의 용량을 크게 하는 것에만 관심을 가져 그 활용 용도를 높이는 것에 많은 노력과 시간을 투자하였다. 그 결과, 성능이나 용량면에서는 예전과 비교할 수도 없을 정도로 많은 발전을 이루었다. 그러나 최근에는 컴퓨터의 소음 문제가 대두되면서 컴퓨터 내부의 여러 가지 소음 원인 중 HDD의 소음이 사용자의 구매 결정에 중요한 요인으로 작용하게 되었다. 현재 대부분의 HDD 제조 업체들은 설계 시 소음 평가 단계를 채택하여, HDD의 평균 소음을 많이 낮추는데 성공하였다. 그러나 현재까지의 HDD 소음 평가 방법은 Sound Power Level이나 Sound Pressure Level과 같이 직접 측정되는 물리량에 기초한 것이어서 인간이 실제로 느끼는 소음도와 완벽하게 일치한다고 볼 수 없다. 그 이유는 인간의 느낌이 감각기관(귀)의 생물학적인 요인과 주관적 요인 등과 같은 물리적으로 측정하기 불가능한 요인들에 영향을 받기 때문이다.

본 연구에서는 인간의 소음 감지 특성을 포함한 소음도를 측정할 수 있는 방법을 개발하는데 그 목적이 있다. 그렇기 때문에 HDD의 소음에 대해 일반인들이 판단하는 대인 실험이 필요하고, 그 결과와 물리적으로 측정이 가능한 변수, 그리고 많은 대인 실험을 통하여 상관 관계가 알려져 있는 심리 음향학적 변수[1-3]들을 서로 연결시켜 그들의 관계를 파악해야 한다. 결과적으로 그들의 관계를 규명 짓는다면 인간이 느끼는 소음도에 대한 기준을 세울 수 있고, Sound Pressure Level이나 Sound Power Level 대신에 사용하여 보다 효과적으로 HDD의 소음 제어에 활용할 수 있을 것이다.

1.2 연구 내용 및 방법

본 연구는 크게 세 가지 단계로 진행되었다. 첫째 단계로는 가장 많은 시간이 소모된 HDD의 소음도나 선호도에 대한 대인 실험과 그 결과를 확인하는 것이다. 두 개의 HDD에서 발생하는 소리를 비교하여 소음도를 판단하게 하는 방식으로 다수의 심판자(jury)들을 대상으로 수행되었다. 모든 심판자(jury)들의 답변 데이터를 종합하여 각각의 HDD에 대한 선호도와 주관적 소음도를 구하였다. 대인 실험의 회수는 총 2번에 걸쳐서 하였는데 같은 종류의 각각 다른 HDD를 사용하여 실험을 행하였다. 1차 대인 실험은 심판자들이 HDD 소리의 '소음도', '날카로움 정도', '편안함 정도'에 대해 판단하도록 하였고, 이 결과를 고찰하여 HDD 선택도에 크게 영향을 미치는 심리 음향학적 변수들을 파악하고자 하였다. 즉, 1차 대인 실험은 HDD 소음에 대한 경향성을 파악하고, 2차 대인 실험을

* 포항공과대학교 기계공학과
E-mail : csjangel@postech.ac.kr
Tel : (054) 279-8217, Fax : (054) 279-5899
** 포항공과대학교
*** 삼성 전자(주)

위한 하나의 준비 단계로 고려되었다. 그리하여 1차 대인 실험의 결과로 심판자들이 HDD를 선택하는데 큰 작용을 하는 것은 소리의 '소음도'와 '편안함 정도'라는 것을 알 수 있었고, 이 결과들을 바탕으로 하여 2차 대인 실험을 수행하였다.

두 번째로는 2차 대인 실험에 사용된 HDD들의 물리적 값인 Sound Pressure Level 이나 Band Level 을 측정하고, 심리 음향학적 변수들과의 관계를 구하는 것이다. Loudness 측정은 1/3 octave band level 을 이용하는 Zwicker method 를 사용하여 구하였는데, 그래프에 그려가면서 직접 구하는 과정인 Graphic procedure 와 Loudness 계산용 MS-DOS Program 을 사용하여 구한 것을 비교하여 Graphic Procedure 로 구한 값을 검증하였다.

마지막으로 세 번째는 대인 실험의 결과와 Sound Pressure Level, Loudness Level 을 각각 비교 분석함으로써, 인간이 느끼는 소음도를 평가할 수 있는 PI(Preference Index)의 제시 가능성을 검토하였다.

2. 심리 음향학적 변수의 정의

소음의 물리적인 값들(SPL 이나 Band Level 등)과 소음에 대해 인간이 인지하는 심리학적 상태와의 관계를 알아보기 위해 이번 연구에서 검토한 심리 음향학적 변수들의 간단한 정의[2]들을 알아보자.

우선 Loudness 는 소리의 주관적 크기(subjective magnitude) 혹은 주관적 강도(subjective intensity)로 정의되고, SPL 과 주파수, bandwidth, duration, temporal properties, background 등의 여러 자극 변수(stimulus variables)들의 함수이다.

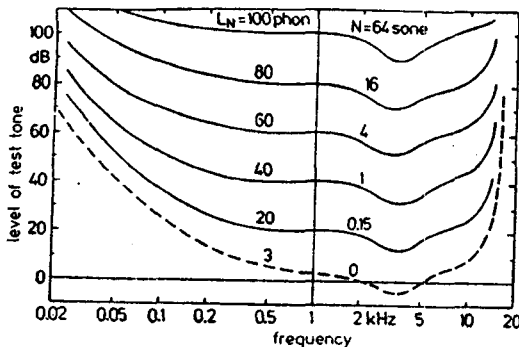


Fig. 2.1 Loudness level contour LN and loudness N

Loudness level 은 loudness 의 주파수 특성을 나타내는 것으로 1kHz tone 의 평면파가 정면 입사

될 때의 소리 크기와 동일한 값으로 판단되는 SPL 값을 가칭 주파수 영역에서 나타낸 것이다. 이때 형성된 등곡선 들의 값은 1kHz 의 SPL 의 dB 값으로 단위는 dB 을 대신하여 phon 으로 정의하여 구분한다. Fig. 2.1 에서 각각의 등곡선은 같은 loudness 를 의미한다.

두 번째로 Sharpness 는 저주파와 고주파 사이의 spectral balance 를 의미하는 값으로 저주파보다 고주파 성분이 커질수록 sharpness 의 값이 커진다. Sharpness 의 단위는 60dB 을 갖는 1kHz 의 중심 주파수에서 1 critical bandwidth 의 narrow band noise 를 1 acum 이라 정의한다.

그리고 이 외에도 Fluctuation Strength, Roughness, 그리고 Tone to noise ratio 등이 있으나 추후에 계속적으로 이용될 변수들이다.

3. 대인 실험 및 결과

3.1 실험 장치 및 실험 방법

하드디스크의 대인 실험을 하기 위하여 Fig 3.1 과 같이 2cm 간격의 wire mesh 를 가진 mounting frame 을 두께 10mm 인 아크릴로 제작하였다. 그리고 이 mounting frame 을 Fig 3.2.와 같이 흡음재 역할을 하는 스폰지 위에 거치시켰는데, mounting frame 을 흡음재에서 19cm 위쪽에 위치시켜 바닥에서 반사되는 음압의 크기를 최대한 줄였다. 이때 흡음재의 넓이는 470×940 mm 로 제작하였다.

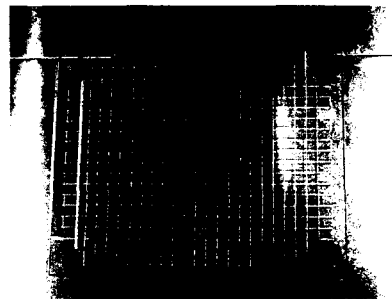


Fig. 3.1. Mounting frame with wire mesh in a 2cm gap

실험 방법은 비교 측정법으로 2 개의 하드 디스크를 Fig 3.2.와 같이 mounting frame 위에 위치시키고 소음 크기의 기준이 되는 하드 디스크와 판별 대상이 되는 하드 디스크를 각각 순서대로 구동시킴으로써, 소음도의 기준이 되는 하드 디스크에 대해 판별 대상이 되는 하드디스크의 소음 정도를 대인 실험을 통해 파악하였다. 그리고 하드 디스크를 구동 시킨 후 그 본래의 회전수까지 상승될 때 발생하는 비교적 큰 소음은 제외시켰다.

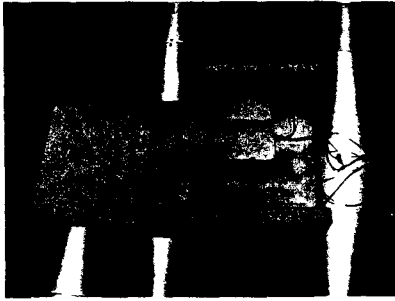


Fig. 3.2. Experimental equipments for Jury test

3.2 1차 대인 실험

3.2.1 실험 개요

1차 대인 실험의 목적은 인간이 느끼는 소리의 편안함 정도가 대표적인 심리 음향학 변수들(Loudness 및 Sharpness 등등)중 어느 것과 밀접한 관계를 가지고 있는가를 판단하는 것이라고 할 수 있다.

1차 대인 실험의 피 실험자는 총 35 명이고, 질문의 개수는 총 27 개로써 소음의 크기(Loudness)와 날카로움 정도(Sharpness), 그리고 종합적으로 소음의 평가를 나타내는 거슬림 정도(Annoyance)에 대해 각각 9 가지에 해당하는 HDD 비교 및 응답을 심판자(jury)들에게 요하였다. 사용된 HDD는 총 8 가지이고, 같은 회사 제품의 rpm 별 비교 후 다른 회사 제품과의 비교를 행하였다. 그리고, 각각의 물음에 대한 답변을 5 가지의 정량적 판단이 필요한 선택 방식으로 제공하여, 심판자가 주관적으로 느낌의 정도를 정량화 하는 것을 요하였다. 한가지 예로 loudness의 경우에는 아주 조용, 조용, 같음, 시끄러움, 아주 시끄러움으로 나누어 답변하도록 하는 방식이다.

실험 장소는 포항 공과 대학교 기계공학과에 있는 반 무향실에서 실시하였고, 실험 시간은 반 무향실 내부의 온도 상승을 고려하여 30 분 이하로 실험을 하고, 1 시간 정도의 간격을 두어 반 무향실 내부의 온도를 낮추어 주었다.

3.2.2 1차 대인 실험 결과

1차 대인 실험의 결과를 Fig.3.3에 나타내었는데 각각의 HDD가 받은 심판자들의 결과를 비율화하여 나타낸 것이다. Fig.3.3의 결과를 보면 인간이 느끼는 소리의 편안함 정도(Preference)는 소리의 크기를 나타내는 loudness와 많은 관계를 가지고 있다. 왜냐하면 loudness에 근거한 HDD의 순위는 소리의 거슬림 정도를 나타내는 Annoyance에 근거한 HDD 순위와 동일하기 때문이다. 이것

은 소리의 크기가 작으면 일단 심판자들은 조용하고 편안한 소리로 받아들임으로써 나오는 결과인 것으로 판단된다. 그리고, Fig.3.3을 확인해 보면 대체적으로 5400rpm HDD가 7200rpm HDD보다 조용하고 무디며, 편안한 소리를 낸다는 것을 알 수 있다.

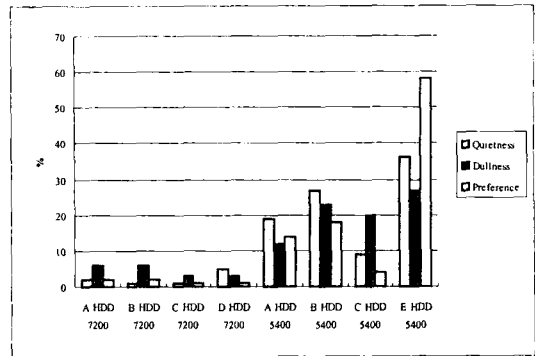


Fig. 3.3 Subjective Ranking in all the tested HDDs by; Quietness, Sharpness and Annoyance

3.3 2차 대인 실험

3.3.1 2차 대인 실험의 목적

1차 대인 실험은 정확한 정량화에 대한 경향 파악을 위하여 실시되었다. 1차 대인 실험 결과에서 알 수 있었듯이 많은 정보를 얻을 수 있었으나 개인의 차이에 따른 정량화의 차이 때문에 데이터를 이용한 객관적인 정량화에 문제가 있을 수 있었다. 한 심판자가 일관성 있는 판단을 27번의 비교 실험에서 내린다는 것은 매우 어려운 일이고, 정량화를 5 단계로 하였기 때문에 점수가 후한 심판자의 영향이 크게 입력되는 문제점도 있었다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 비록 얻을 수 있는 정보의 종류 수는 작더라도 정확한 정보를 얻기 위하여 대인 실험 방법을 단순화 시켰다. 즉 질문의 개수를 줄이고 질문의 답에 대한 선택의 종류도 단순화 시켰다. 그 대신 모든 HDD를 서로 비교하여 심판하도록 함으로써 판단 착오의 영향을 최소화하고자 하였다. 이 방식은 각 심판자가 단순 비교에 답하게 되므로 주관적 정량화의 상이함을 극복할 수 있다고 판단된다.

3.3.2 실험 개요

2차 대인 실험에 사용된 HDD는 1차에서 쓰인 HDD들을 쓰지 않고, 같은 종류의 다른 표본들을 가지고 실험을 하였다. 이 2차 실험의 피 실험자는 총 56 명이고, 질문 형식은 모든 HDD를 각각

비교하는 형식으로 하였고, 1 차 대인 실험에서 했던 Sharpness 에 대한 질문을 제외한 Loudness 에 대한 질문 28 개, Annoyance 에 대한 질문 28 개, 총 56 개의 질문을 하였다. 왜냐하면 좀 더 정확한 실험을 하기 위해서 얻을 수 있는 정보의 개수를 줄여야 했기 때문이고, 1 차 대인 실험의 결과를 바탕으로 인간이 느끼는 소리의 선호도는 시끄러움을 나타내는 Loudness 와 많은 관계를 가지고 있기 때문이다. 그리고 각각의 질문에 대한 답변을 1 차 대인 실험과 같이 5 가지가 아니고, 3 가지로 답변하도록 하였는데, loudness 를 예로 들면 '조용하다', '같다', '시끄럽다'와 같이 나타내었다. 2 차 대인 실험의 장소와 실험 시간 등은 1 차 대인 실험과 동일하게 실시하였다.

3.3.3 2 차 대인 실험 결과

각각의 HDD 를 서로 비교한 2 차 대인 실험 결과를 해석하기 위해서는 많은 방법들이 있을 것이나 우선 가장 간단한 방법으로 결과를 분석하였다. 하나의 HDD 가 총 실험에서 7 번씩 비교가 되는데, 그 7 번의 데이터를 모두 합하는 방법이다. 그리하여 한 개의 HDD 가 받을 수 있는 최대의 수는 $56 \times 7 = 392$ 가 되고, 'Quietness'와 'Preference'에 대해 모두 정리하여 그래프로 나타내면 Fig.3.4 와 같은 결과를 얻을 수 있다.

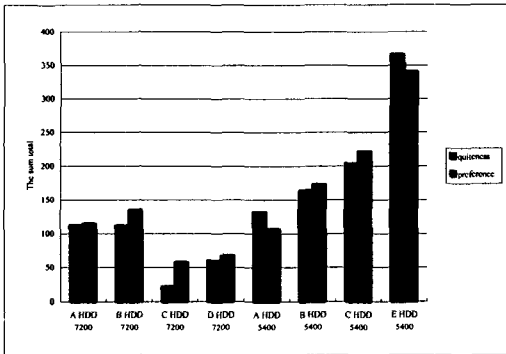


Fig.3.4 The sum total of the quietness and preference number on each HDD

4. 측정된 HDD 의 소음 레벨

인간이 느끼는 소음도, 즉 JURY TEST 의 결과가 측정 가능한 물리량과 어떠한 관계를 가지고 있는지를 알아보기 위해서 HDD 의 소음 레벨을 측정해야 한다. 그리하여 이 절에서는 인간이 느끼는 소음도가 과연 심리학적으로 측정이 가능한

여러 가지 변수와 어떠한 상관 관계를 가지고 있는지를 파악하기 위한 준비 단계로써 HDD 의 소음 레벨 측정에 대하여 다루었다.

4.1 HDD 의 Sound Pressure Level 측정

실험을 통해서 각각의 HDD 에 대한 band level 과 Sound Pressure Level 을 측정하고, Sound Pressure Level 에 대한 결과를 Fig.4.1 에 나타내었다.

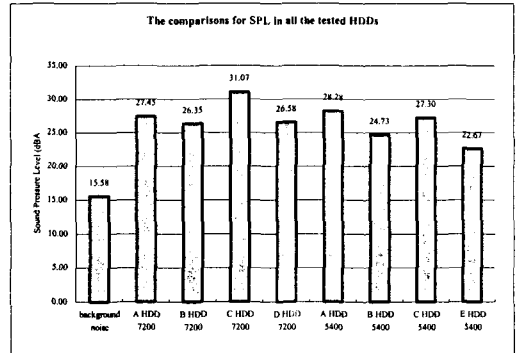


Fig.4.1 The comparison for SPL in all the tested HDDs

4.2 HDD 의 Loudness 및 Loudness level 측정

Loudness 를 구하는 방법은 크게 두 가지로 나뉜다. 그 첫번째 방법은 Octave band 를 이용하는 방법이고, 두 번째 방법은 Zwicker method 인데 첫 번째 방법과 크게 다른 점은 1/3 Octave band 를 사용한다는 점이다. 1/3 Octave band 로 측정된 Loudness level 이 Octave band 로 측정된 것보다 정확한 값을 가지므로 본 연구에서는 두 가지 측정 방법 중 후자의 방법을 택하기로 하였다. 그리하여 Zwicker method 를 이용하여 측정된 HDD 의 Loudness Level 을 Fig.4.2 에 나타내었다.

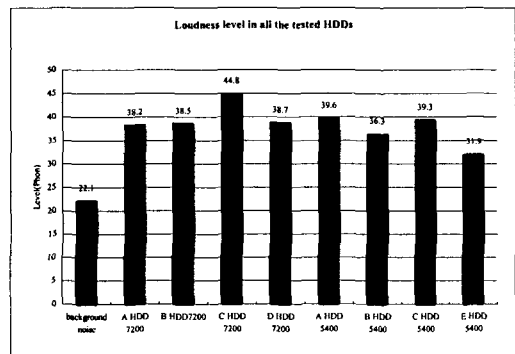


Fig.4.2 The comparisons of the loudness level in all the tested HDDs

5. 실험 결과의 종합 검토

앞 절에서 구한 각각의 HDD 에 대한 SPL 과 loudness level 과의 관계를 보면 Fig 5.1 과 같다.

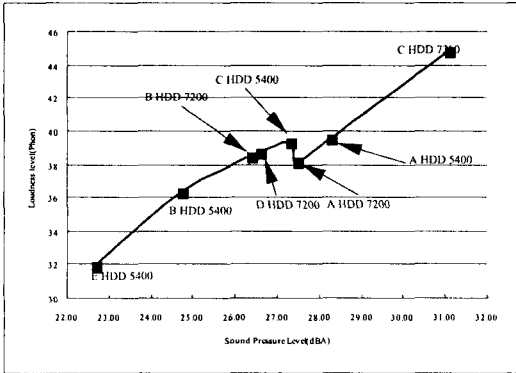


Fig.5.1 The relation of SPL and Loudness level

그 결과를 보면 대체적으로 SPL 이 증가할수록 Loudness level 도 증가한다는 것을 확인할 수 있는데, 그 중에 A HDD 7200 rpm 는 SPL 에 대해서 B HDD 7200, D HDD 7200, 그리고 C HDD 5400 보다 는 높지만, loudness level 은 그 제품들보다 낮게 나오는 것을 확인 할 수 있었다. 이러한 결과는 Graphic procedure 로 Loudness 를 결정하는 데에 상대적으로 높은 면적을 차지하고 있는 중심 주파수 3~5kHz 부근에서 A HDD 7200rpm 의 band level 이 조금 낮게 나왔기 때문이다. 그리하여, 우선적으로 HDD 의 Loudness level 을 낮게 하기 위해서는 중심 주파수 3~5kHz 사이의 band level 이 낮아야 하며, 설계시 이 점을 고려하여 3~5kHz 의 소음원을 크게 제거한다면 낮은 Loudness level 을 가질 수 있다는 것을 말해주고 있다. 이것은 사람의 귀 특성이 3~4kHz 에서 가장 민감하다는 것과 연관시켜 생각하더라도 타당하다.

다음으로 측정된 SPL 과 Loudness level 에 대해 2 차 대인 실험의 결과의 관계도 각각 Fig 5.2 와 Fig 5.3 에 나타내었다.

우선 두 결과의 경향이 SPL 이나 Loudness level 이 증가하면 대체적으로 심판자들의 선택도가 낮아지는 것을 볼 수 있다. 그러나 심판자들의 선택도가 Loudness level 에만 의존하지 않는 단적인 예를 D HDD 7200 와 C HDD 5400 으로 들 수가 있는데, D HDD 7200 의 경우는 SPL 이나 Loudness level 이 대체적으로 낮지만 심판자들의 선택도도 상대적으로 낮은 결과를 보였다. 반면에, C HDD 5400 의 경우는 SPL 이나 Loudness level 순위로 따지자면 중간 정도이지만, 심판자들의 선택도는 높은

결과를 나타냈다. 이것은 인간의 소음에 대한 선택도가 소리의 소음도를 말해주는 Loudness 에만 의존하지 않고, 다른 심리 음향학적 변수에 대한 의존 가능성을 말해주고 있다. 그리고 SPL domain(Fig 5.2)에서 나타낸 것 보다 loudness level domain(Fig 5.3)에서 나타낸 대인 실험의 결과가 좀 더 선행적인 결과를 보여주고 있다. 즉, 사람의 소음에 대한 판단이 음향/소음 장비로 직접 측정된 Sound Pressure Level 보다는 심리 음향학적 변수인 loudness level 에 좀 더 선행적인 특성을 보인다는 것이다. 그 중에서도 Preference 보다 Quietness 가 더욱 더 선행적인 특성을 나타낸다는 사실은 소음의 크기에 대한 심판자들의 판단이 기존 연구에서 이루어진 데이터와 부합하는 것을 보여주는 것이라 생각되며, 본 대인 실험의 신뢰성을 높여주는 자료이다.

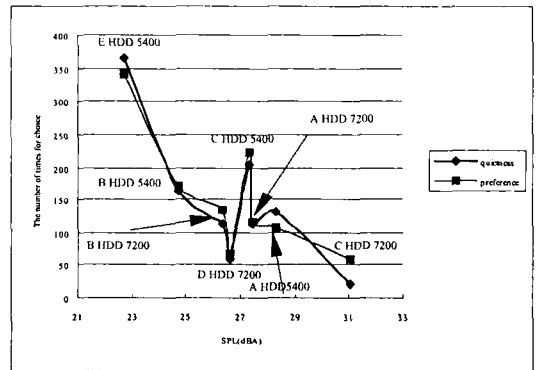


Fig.5.2 The results of the 2nd JURY TEST at various SPL

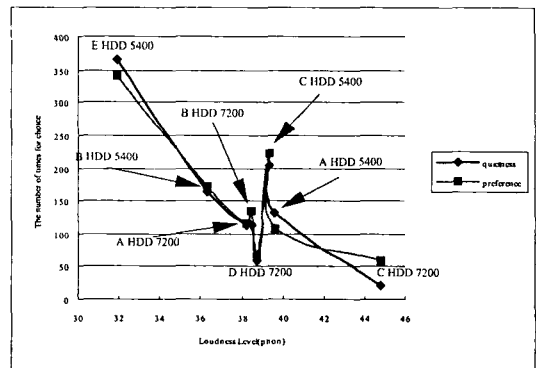


Fig.5.3 The results of the 2nd JURY TEST at various Loudness level

따라서 인간에 대한 HDD 소음도 판단의 기준이 될 수 있는 PI(Preference Index)를 찾기 위해서는 Loudness 뿐만 아니라 Sharpness, Roughness 등과

같이 다른 심리 음향학적 변수들을 측정하여야 한다. 그 인자들과 Loudness 를 조합하면 대인 실험의 선호도를 정확하게 예측할 수 있는 Preference Index(PI)라는 새로운 인자를 찾을 수 있을 것으로 기대된다.

6. 결론 및 향후 과제

이번 연구의 목적은 인간의 소음에 대한 인지 특성을 물리적으로 측정이 가능한 여러 가지 변수들과 연관시킴으로써 인간이 주관적으로 느끼는 소음의 정도를 파악하게 할 수 있는 상관 관계를 정의하는 것이다. 그러나 아직까지 그 상관 관계를 규명할 수는 없었지만 다른 심리 음향학적 변수들과 연관 시킴으로써 PI(Preference Index)를 정의할 수 있는 가능성을 제시하였다.

결론적으로 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) HDD 설계 시에는 SPL 보다는 진정한 소음도를 뜻하는 Loudness level 을 제어하고자 노력하는 것이 좋으며, 이를 간단하게 말하면 우선적으로 사람에게 가장 민감한 3~5kHz 에서의 Band level 을 가능한 낮추는 방식으로 HDD 소음 제어를 수행하는 방식과 유사하다.
- (2) 대인 실험 결과는 물리적으로 측정이 가능한 SPL 보다 소리에 대한 인간의 심리적 상태를 여러 가지 변수로 표시하는 심리 음향학적 변수인 Loudness level 에서 더욱 더 선형적인 특성을 가지고 있고, 그 중에 특히 Quietness 가 Preference 보다 더 선형적이었다.
- (3) HDD 소음에 대한 심판자들의 선택도는 대체적으로 낮은 Loudness level 에서 높고, 높은 Loudness level 에서는 낮은 경향을 보이지만 작은 Loudness level 이 1dB 정도 차이 날 때는 상관 관계가 약해진다. 이것은 심판자들의 선택도가 오직 소음의 크기와 관계 있는 Loudness 에만 의존하는 것이 아니라 다른 심리 음향학적 변수들에도 종속된다는 것을 말해준다. 그리하여 정확한 PI 를 얻기 위해서는 Sharpness, Roughness 와 같은 다른 변수들도 포함하여 많은 수의 대인 실험과 분석이 필요하다.

그리하여, 앞으로 진행되어야 할 연구는 우선 각각의 HDD 에 대해 Sharpness, Roughness, Fluctuation Strength 등을 측정하고, 모든 경우에 대한 결과를 분석하여 대인 실험의 결과와 비교되어

야 할 것이다. 그리고 좀 더 정확하고 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해서는 여러 개 같은 제품의 HDD 를 가지고 반복 실험을 하여 보다 많은 데이터를 얻음으로써 이루어 질 수 있을 것이다.

후 기

본 연구는 삼성 전자주위의 "HDD 초 저소음 제어 기술 개발" 과제의 연구비 지원으로 진행 되었으며 지원에 감사 드립니다. 그리고 실험에 도움을 주신 손영, 한윤식 박사님과 이학수, 기호진, 조치훈, 한경남에게 감사의 마음을 전합니다.

참고 문헌

- (1) L. E. Kinsler, A. R. Frey, Fundamentals of acoustics, John Wiley & Sons, Inc, 4th edition, Chapter 11, pp. 302-328.
- (2) E. Zwicker, H. Fastl, Psycho-acoustics, facts and models, Springer-Verlag, 2nd edition
- (3) International Organization for Standardization, Acoustics - Method for calculating loudness level, ISO 532-1975(E).