

# 가정용 냉장고 소음 음질요소의 최소인지한계량

Just noticeable difference of sound quality metrics for household refrigerator noise

유 진<sup>†</sup> · 정충일\* · 전진용\*\*

Jin You, Choong Il Jeong, Jin Yong Jeon

**Key Words** : 최소인지한계량 (Just noticeable difference), 음질 (Sound quality), 냉장고 소음 (Refrigerator noise)

## ABSTRACT

A prediction model for the sound quality of household refrigerator noise was proposed by investigating subjective and objective attributes of the noise [Jeon et al. (2007) Appl. Acoust.]. In the present study, the just noticeable difference (JND) of each sound quality metric - Zwicker's loudness, sharpness, roughness and fluctuation strength - which constitute the prediction model was investigated. Loudness of recorded sound samples from five refrigerators were varied according to constant intervals in sound pressure levels. Sharpness was also changed at 14-16 barks. Auditory experiments were conducted to discriminate the JNDs of loudness and sharpness by method of limit. The results indicated that JNDs of loudness and sharpness were 0.50 sone and 0.08 acum, respectively.

## 1. 서론

냉장고 등 가전기기 소음에 의한 annoyance는 음압레벨뿐만 아니라 소음의 주파수 특성, 변동강도 및 인간의 청감특성 등에 의한 영향을 함께 받기 때문에 주관적 평가 개선을 위해서는 음질 (Sound quality) 특성을 고려한 심리음향학적 접근이 이루어져야 한다 [1]. 이에 주거환경을 고려한 냉장고 소음의 음질 특성에 대한 고찰이 이전연구 [2]로서 진행되었으며 허용가능 소음 수준이 제안되었다. 또한 냉장고 소음의 음질 평가를 위해 Zwicker [3]의 라우드니스 (loudness)가 주요한 영향을 미치는 음질요소임을 밝혀내었으며, 라우드니스뿐만 아니라 샤프니스 (sharpness), 러프니스 (roughness) 등의 음질요소 개선이 필요한 것으로 나타났다.

그러나 주요 음질요소를 도출하는 데에서 그치는 것이 아니라 각 주요 음질요소의 인지가능 개선을 위한 목표량이 설정되면 기기소음의 보다 효율적인 제어가 가능할 것이다. 이를 위해서 각 음질요소의 최소인지한계량 (Just noticeable difference, 이하 JND) 조사연구가 필요하며, JND 조사연구 방법론은 냉장고 소음연구뿐만 아니라 기

타 기기소음 관련 연구에도 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

JND 관련 연구는 심리음향분야에서 활발하며, 소리의 intensity, frequency 및 duration 차이 인지에 대한 연구 등으로 크게 나뉘고 있다. 대부분의 경우 순음 (pure tone)과 복합음 (complex tone) 및 white noise 등을 제시 자극으로 사용하여 실험을 진행하고 있으며 [4-7], Zwicker parameter와 같은 특정 음질요소의 JND 연구는 이루어지지 않고 있다.

JND 조사연구 방법론으로서 한계법 (method of limit), 조정법 (method of adjustment) 및 지속자극법 (method of constant stimuli) 등이 전통적으로 사용되고 있으며 [8], 한계법의 정확도를 개선한 simple up-down법과 피실험자의 예측에 의한 적응효과까지 개선한 transformed up-down법 등이 개발되어 적용되고 있다 [9]. 한계법의 경우 실험방법 및 분석법이 간단하여 적용이 쉬운 장점을 가지나 충분한 사전실험이 요구되는 단점이 있으며, transformed up-down법의 경우 결과의 bias를 줄일 수 있으나 그 절차가 복잡한 한계를 갖는다.

이에 본 연구에서는 냉장고 소음 음질의 효율적 개선 목표량 설정을 위해 음질평가에 주요 영향을 미치는 음질요소들의 JND를 조사하였고, JND 조사 방법론으로서 한계법을 적용하였다. Zwicker의 라우드니스, 샤프니스, 러프니스 및 변동강도 (fluctuation strength)가 조사대상 음질요소로 활용되었으며, 무향실에서 녹음한 냉장고 소음을 실제 거주공간에서 수음한 충격응답 (impulse

<sup>†</sup> 한양대학교 건축환경공학과, 박사과정

E-mail : jinyou.willow@gmail.com

Tel : (02) 2220-1795, Fax : (02) 2291-1793

\* 한양대학교 건축환경공학과, 석사과정

\*\* 한양대학교 건축대학, 부교수

response)과 가청화하여 실험음원으로 사용하였다. 하나의 음질요소, 예를 들어 라우드니스, JND 도출을 위해 나머지 음질요소, 이 경우 샤프니스, 러프니스 및 변동강도, 값은 통제변인으로서 일정한 값을 갖도록 유지시키면서 조작변인이 되는 특정 음질요소의 값을 일정한 간격으로 변화시킨 후 음질요소 차이 인지에 대한 주관적 반응을 조사하는 방식으로 연구가 진행되었다.

전체 피실험자 반응의 75% 이상이 차이인지를 한 경우의 음질요소 차이를 JND 반응으로 도출하였으며 [9-10], 본 연구 결과는 이전연구에서 제안하는 음질 인덱스 개선에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

## 2. 실험 음원

### 2.1 음원 녹음 및 가청화

무향실에서 서로 다른 12종의 양문형 냉장고의 정상상태 작동소음을 녹음하였다. 녹음 위치는 그림 1과 같이 냉장고로부터 전후좌우 각 1m 떨어진 위치에서 높이 1m 지점으로 선정하였으며, 1/2인치 마이크로폰 4개를 사용하여 동시 녹음하였다. 네 지점의 측정값 중 가장 음압레벨이 큰 후면 1m 지점의 음원을 본 연구의 실험음원으로 선정하였다.

무향실 녹음 음원을 가청화하기 위해 100m<sup>2</sup> 규모의 실제 주거환경에서 수음한 충격응답을 사용하였다. 충격응답은 주거환경 부엌의 냉장고 위치에 무지향성 스피커를 위치시킨 후 스피커로부터 약 7m 떨어진 거실위치에서 수음하였다[2].

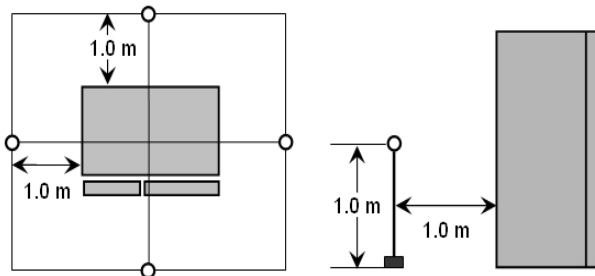


Fig. 1 Recording positions of refrigerator noise in an anechoic chamber, o: microphone.

### 2.2 실험 음원 제작

가청화한 12종의 냉장고 소음 중 특성이 다른 5종을 선정하여 라우드니스 JND 실험음원 작성에 활용하였다. 각 음원이 약 0.2sone의 일정한 라우드니스 간격을 갖도록 전주파수 대역의 음압레벨을 조정하였으며 5종 음원 중 한 음원을 활용한 실험음원들의 라우드니스 스펙트럼이 그림 2에 나타나있다.

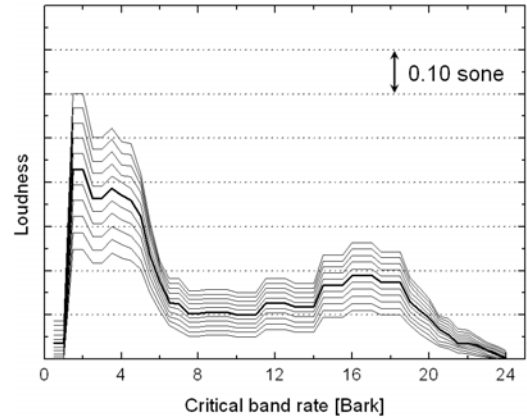


Fig. 2 Loudness spectrum of experimental sounds for JND of loudness, —: original sound; —: created sounds.

샤프니스의 JND 실험음원 제작을 위해 라우드니스 스펙트럼의 엔벨롭(envelope)을 변화시키는 방법을 채택하였고, 그림 3과 같이 14-16bark 대역의 음압레벨을 조정하여 샤프니스 값을 변화시켰다. 샤프니스 실험음원은 원본음원으로부터 약 0.02acum 간격을 갖도록 조정되었으며, 실험음원들 사이의 라우드니스 차이는 인지하기 어려운 미미한 차이로 나타나 라우드니스에 의한 인지반응을 배제시킬 수 있을 것으로 판단되었다.

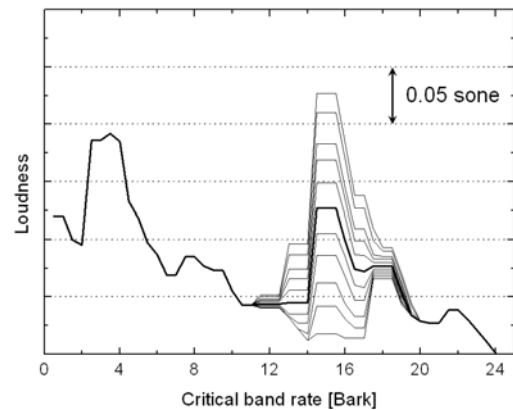


Fig. 3 Loudness spectrum of experimental sounds for JND of sharpness, —: original sound; —: created sounds.

시간 대역(time domain)에서 냉장고 소음의 진폭변조(amplitude modulation)를 통해 러프니스와 변동강도의 JND 실험음원을 제작하였으며, 두 음질요소의 실험음원에 적용된 진폭변조 사이의 차이는 일정 시간당 변조횟수가 주된 차이이다. 러프니스의 경우 원본음원과 실험음원의 값의 차이가 약 0.01asper 간격으로 변화하도록 제작하였고, 변동강도의 경우 약 0.003vacil 간격으로 작성하였다.

### 3. 주관적 평가

#### 3.1 실험 설계

일정 간격으로 제작된 라우드니스, 샤프니스, 러프니스 및 변동강도 변화음원에 대하여 각각 청감실험을 통한 주관적 평가가 이루어졌다. 라우드니스와 샤프니스 JND 실험의 경우 40명의 20대 정상청력자가 실험에 참여하였다. 러프니스와 변동강도 실험의 경우 2명의 관련 전문가가 여러 번 실험에 참여하는 방식으로 진행되었으며, 그림 4와 같은 방법으로 한계법(method of limit) [8]이 활용되었다.

RUN1	RUN2	RUN3	RUN4	RUN5	RUN6	RUN7	RUN8	RUN9	RUN10
More									
More									
More									
More									
More									
More	More ↑	More ↑	More ↑	More ↑	More ↑	More ↑	More ↑	More ↑	More ↑
More	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal
Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal
Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal
Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal
Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal
Equal	Equal	Less ↓	Equal	Equal	Equal	Equal	Equal	Less ↓	Equal
Less	Less	Less	Less	Less ↓	Less	Less ↓	Less	Less	Less
	Less								
	Less								
	Less								
	Less								

Fig. 4 Evaluation result of fluctuation strength JND test

각 음질요소 JND에 대한 주관적 평가시 원본음원과 음질이 변화된 실험음원을 하나의 쌍으로 피실험자에게 제시하였으며, 두 음원 중 더 큰 값을 갖는 음원을 선택하도록 하는 2-AFC (Alternative Forced Choice)법 [8]이 적용되었다. 제시음원의 크기는 실제 주거환경 거실위치에서 냉장고 소음의 레벨과 동일한 수준으로 설정하여 제시하였으며 청감실험 전용 챔버에서 헤드폰을 사용하였다.

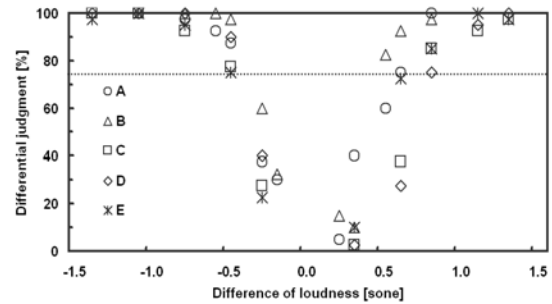
#### 3.2 실험 결과

각 음질요소 JND에 대한 주관적 평가 결과는 그림 5와 같다. 쌍으로 제시된 원본음원과 음질요소의 값을 변화시킨 실험음원 사이의 음질요소 값의 차이가 그림 5의 X축에 나타나있으며, 그 차이를 청감적으로 인지한 반응비율이 Y축에 나타나있다. 전체 피실험자의 반응 중 75% 이상이 차이를 인지한 때의 음질요소의 값을 차이를 JND로 설정하였다[9-10].

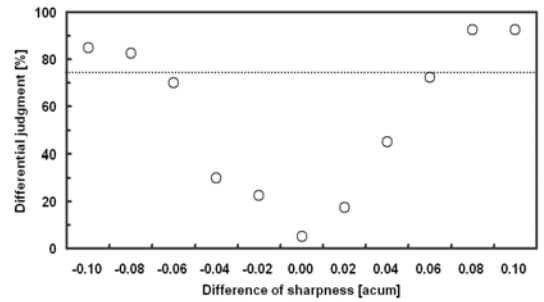
라우드니스의 경우 그림 5(a)와 같이 5종의 냉장고 음원(A-E)의 결과가 나타나있으며, 약 0.5sone의 차이가 나는 실험음원 쌍에 대하여 75% 이상의 피실험자가 차이를 인지하기 시작하는 것으로 나타났다. 따라서 라우드니스의 JND는 약 0.5sone으로 설명할 수 있으며, 동일한 방식으로 샤프니스의 JND는 약 0.08acum에서

발생하는 것으로 나타났다. 러프니스와 변동강도의 JND는 각각 0.03asper와 0.01vacil로 나타났으며, 전문가 2명이 각 10회씩 실험을 진행한 결과이다.

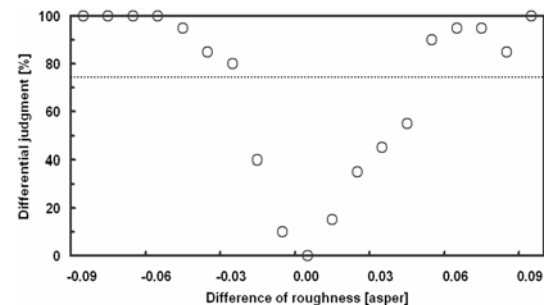
따라서 냉장고 소음의 음질 개선을 사용자에게 인식시키기 위해서는 라우드니스의 경우 최소 0.5sone, 샤프니스의 경우 0.08acum, 러프니스의 경우 0.03asper, 그리고 변동강도의 경우 0.01vacil 이상 개선이 되어야만 할 것으로 사료된다.



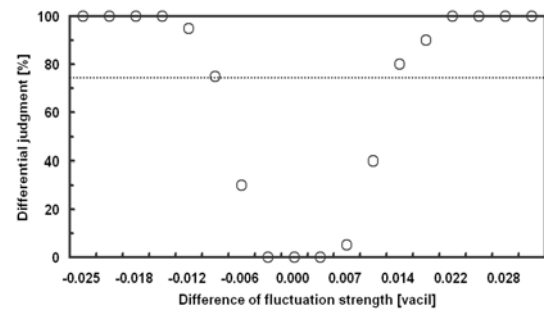
(a) Loudness



(b) Sharpness



(c) Roughness



(d) Fluctuation Strength

Fig. 5 JND test results of sound quality metrics

#### 4. 결론 및 향후 진행방향

본 연구에서는 냉장고 정상상태 소음의 음질개선을 위해 주관적 반응에 영향을 미치는 주요 음질요소의 최소 인지한계량을 조사하였다. 라우드니스의 경우 약 0.5sone, 샤프니스의 경우 약 0.08acum이 JND 결과로 도출되었으며, 러프니스와 변동강도의 경우 각각 0.03asper 및 0.01vacil로 나타났다.

상기 음질요소의 JND를 적용하여 냉장고 소음의 음질개선을 위한 각 음질요소의 제어량을 보다 구체적으로 산출할 수 있을 것으로 사료되며, 이전연구에서 제안된 SQ Index의 심리음향학적 의미를 설명하는 데에도 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서 적용한 한계법 등의 JND 도출 방법론은 냉장고 소음 연구 뿐만 아니라 에어컨, 세탁기 등 기타 제품의 기기소음 음질 개선에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

향후 연구에서는 음질요소의 JND를 검증하기 위해 본 연구에서 활용한 한계법 외에 최근 JND 관련 연구에서 다수 적용되는 Transformed Up-Down법[9] 등을 사용하여 음원을 제시하고 주관적 반응을 조사할 계획이다. 본 연구와 향후 연구 결과를 통해 기기소음 음질요소 JND 도출 방법론이 정립될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

(1) Gu J. H., Lee S. K., Kim J. R., Lee E. Y., 2004, "A study of development of sound quality index of a refrigerator based on human sensibility engineering", Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol 14, No. 11, pp.1195-1202.

(2) Jeon J. Y., You J., Chang H. Y., 2007, "Sound radiation and sound quality characteristics of refrigerator noise in real living environments," Applied Acoustics (in press).

(3) Zwicker E. and Fastl H., 1999, Psychoacoustics : Facts and Models, Springer.

(4) Semal C., Demany L., 2006, "Individual differences in sensitivity to pitch direction," Journal of the Acoustical Society of America, 120(6), pp.3907-3915.

(5) Bernstein J. G. W., Oxenham A. J., 2006, "The relationship between frequency selectivity and pitch discrimination: Effects of stimulus level," Journal of the Acoustical Society of America, 120(6), pp.3916-3928.

(6) Eddins D. A., Bero E. M., 2007, "spectral modulation detection as a function of modulation frequency, carrier bandwidth, and carrier frequency region," Journal of the Acoustical Society of America, 121(1), pp.363-372.

(7) Gockel H. E., Moore B. C. J., Carlyon R. P., Plack C. J., 2007, "Effect of duration on the frequency discrimination of individual partials in a complex tone and on the discrimination of fundamental frequency," Journal of the Acoustical Society of America, 121(1), pp.373-382.

(8) Gelfand S. A., 1998, Hearing: An Introduction to Psychological and Physiological Acoustics, Marcel Dekker, Inc, New York.

(9) Levitt H., 1971, "Transformed up-down methods in psychoacoustics," Journal of the Acoustical Society of America, 49(2), pp.467-477.

(10) Gabriel K. J., Colburn H. S., 1981, "Interaural correlation discrimination: 1. Bandwidth and level dependence," Journal of the Acoustical Society of America, 69(5), pp.1394-1401.