

주거 공간내 냉장고 소음의 정상상태 평가 Evaluation of indoor refrigerator noise in steady -state condition

이 충 화* · 정 정 호** · 전 진 용***

Chung Hwa Lee, Jeong Ho Jeong and Jin Yong Jeon

Key Words : Refrigerator, SPL(dBA), Steady-state Noise, Simulation, Subjective Evaluation Tests

ABSTRACT

The characteristics of refrigerator noise recorded in anechoic chamber was investigated in condition of a the real living room and a kitchen. To predict the noise propagation in an apartment unit, room acoustic simulation software was used. It was found that the noise level in the real living room was 4~8dB higher than in the anechoic chamber. When a noise barrier and absorption materials were used on the rear wall and floor, the noise level reduced up to 3~4dB. In addition, when the subjective evaluation of auralized refrigerator noise was undertaken using headphone, it was revealed that 21dB(A) is the allowable sound pressure level of 95% satisfaction.

1. 서 론

최근 주거환경에 영향을 미치는 생활소음에 대한 민원이 급증함과 동시에 각종 가전제품에서 발생하는 소음에 대한 관심도 증가하고 있다. 미국 소음공학회(I-INCE)의 Technical Study Group 2에서도 소음평가등급 "Noise labels for consumer and industrial products"제도를 실행하기 위해 1999년부터 각국의 실정 및 의견을 조사하고 있다[1].

냉장고는 24시간 연속적으로 운전하여 다른 가전제품에 비해 소음영향이 민감하여 제품의 구매 및 인지도에 최근 중요한 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 따라서 정온한 생활환경에 대한 요구수준이 높아짐에 따라 저소음 냉장고의 개발은 소비자 및 생산자의 주요 관심사항이 되고 있다.

그러나 생산자가 냉장고의 소음레벨 테스트를 실시하여 일정수준을 만족하는 제품을 출하하였음에도 불구하고, 소비자가 소음에 대한 불만족, 불평(claim)을 표시하는 사례가 증가하고 있다. 이를 해결하기 위해서는 냉장고

의 기능적인 결함뿐만 아니라 소비자의 소음에 대한 민감도와 실제 사용 환경 조건에서의 소음레벨 변화, 및 주변 조건의 영향에 대한 고려가 필요하다. 따라서 소비자의 요구수준을 만족시키기 위해서는, 실제 사용 환경을 고려한 소음 레벨 측정 및 주관 평가가 이루어져야 한다.

냉장고에서 발생하는 소음은 크게 2가지로 송풍 소음과 구조진동음으로 나눌 수 있다. 일반적으로 소음의 제어는 3가지 단계로 구분할 수 있다. 냉장고 소음의 경우, 먼저 냉장고의 각 구성 부품의 소음 및 진동을 제어하여 생산된 저소음 부품을 적용하는 것이며, 둘째로 각 부품으로 이루어진 소음 전달 경로를 해석하여 소음, 진동 전달 경로를 차단하는 방법이다. 셋째로 냉장고의 사용 환경을 조절하여 소비자에게 전달되는 소음을 저감하는 방법이다. 심리음향학적 측면에서 가전기기에서 발생하는 소음은 음압레벨뿐만 아니라 소음의 시간대 및 지속시간, 배경소음, 주파수 특성에 좌우되므로 생활환경에서 발생하는 냉장고 소음에 대한 사용자의 반응을 기반으로 한 만족도 및 관련 소음 요소에 대한 평가기준이 도출되어야 한다.

본 연구에서는 사용 환경에 의한 냉장고 소음 전달 특성과 사용 환경 개선에 의한 소음 저감 방법 및 실제사용 환경 조건을 고려한 청감실험을 통하여 설계 기준 레벨 제안 등을 목적으로 한다. 따라서 본 연구에서는 실제 환경에서의 냉장고 소음의 특성 및 주관적 반응실험

*한양대학교 건축공학과 석사과정

E-mail : chunghwa@empal.com

Tel : (02)2290-1795, Fax : (02) 2291-1793

**한양대학교 건설연구소 연구원, 공학박사

***한양대학교 건축공학부 부교수

을 위해 건축음향 시뮬레이션을 실시하여 가청화된 음원을 사용하였다.

2. 연구배경

냉장고 소음에 대한 Claim 사례(3~5월 30세대 claim 대상 방문 조사) 분석 결과 압축기 및 팬 모터 소음의 불만족 빈도가 높았으며, 각 소음의 음압레벨을 사용 환경에서 측정된 결과 약 38~42dBA 정도가 가장 높게 나타났다.

물리적 소음레벨에 대한 냉장고의 주 소음원은 압축기로 압축기 소음을 저감하기 위한 구조개선 등에 의해 약 2 dB 저감되었고[2,3], 암모니아 냉매를 활용한 흡수식 냉동시스템을 적용한 저소음 냉장고 시스템도 제안되었다[4]. 또한 냉장고에서 발생하는 소음 저감을 위해 냉장고 후면판에 flexible joint를 적용하여 2dB 정도를 저감하였으며[5], 냉동실과 기계실의 송풍소음 및 압축기의 진동 전달경로 차단 등을 통해 총합소음을 약 4dB까지 저감하기도 하였다[6].

냉장고에 사용되는 압축기의 경우 Sound Power를 측정하여 dBA값과 Zwicker의 Loudness, Tonality 및 Sharpness를 분석한 결과 각 요소에 따른 방사 특성의 차이가 큰 것으로 나타났다[7]. 또한 특정 제품의 Sound Quality 개선을 위해서는 소음원의 전달경로에 대한 예측, 정밀한 소음 측정, 주관적 평가, 측정값과 주관적 반응값과 관계분석 등이 이루어지고 있다[8]. 냉장고 소음에 대한 Annoyance는 실험 결과 저주파 특성이 더 큰 것으로 나타났다[9]. 최근에는 냉장고 소음을 대상으로 Sound Quality 평가를 통하여 냉장고 소음 평가의 가이드라인으로 활용하고 있다[10].

반면 냉장고가 위치하는 건축 환경에서는 음장조건에 따라 소음방사 특성이 달라지고 주파수 특성 및 레벨의 변화가 발생하여 되어 소비자들의 반응에 영향을 미치게 된다. 따라서 KS C 9305에 규정된 무향실 측정방법은 생활환경조건과 달라 실질적인 음질평가와는 다소 차이가 있어 냉장고 사용 환경이 반드시 고려되어야 할 것으로 사료된다. 또한 소음 전달경로 개선을 통하여 고주파 대역 소음의 제어가 가능하다[11]. 따라서 사용 환경 유형에 대한 분류 및 건축적 대처방안도 제시되어야 한다.

3. 무향실 소음 측정

일반적으로 냉장고 소음은 무향실내 전면(도어 방향) 1m에서 음압레벨을 측정되나[12] 압축기, 팬 모터 등

주요 소음원에서의 소음 특성을 확인하기 위해서는 후면에서도 측정한다. 전면과 후면 소음은 음압레벨과 주파수 특성이 다르며, 후면의 경우 압축기 소음이 발생되고 있어 전면보다 음압레벨이 더 높다[6].

그림 1은 냉장고 전, 후면의 음압레벨을 주 야간의 배경소음과 비교한 것이다. 그림 2에서와 같이 냉장고 소음이 주간의 배경소음보다 약 9dB 작고 야간의 배경소음보다 약7dB 크다. 즉 주간에는 냉장고 소음이 인지되지 못할 수도 있지만, 야간의 경우에는 냉장고 소음이 시끄럽게 인지될 수 있다.

이는 일반적으로 정상작동하고 있는 냉장고라 할지라도 수면을 취하기 직전 상황과 같은 개인의 민감도가 높아지는 경우에는 냉장고 소음으로 인해 annoyance가 발생할 수도 있음을 보여준다. 실제 소비자는 전면으로 방사되는 소음과 후면에서 벽이나 주변 환경에 의해 반사되어 일반적으로 더 강화된 소음을 듣게 된다. 따라서 냉장고의 위치에 따라 소음이 다르게 들려질 수 있다.

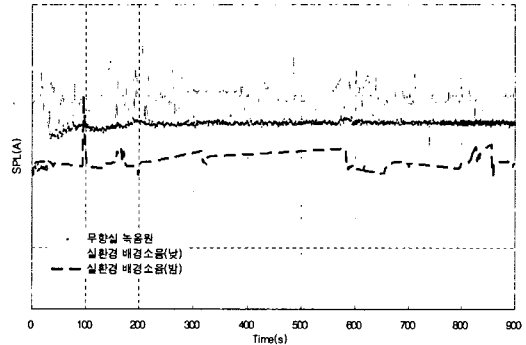


그림 1. 냉장고 소음과 배경소음

그림 2는 무향실에서 거리 변화에 따른 냉장고 소음의 음압레벨 및 주파수 측정 결과이다. 냉장고 소음의 측정은 각 수음거리에서 10초간 측정된 음원의 L_{eq} 를 나타낸 것이다.

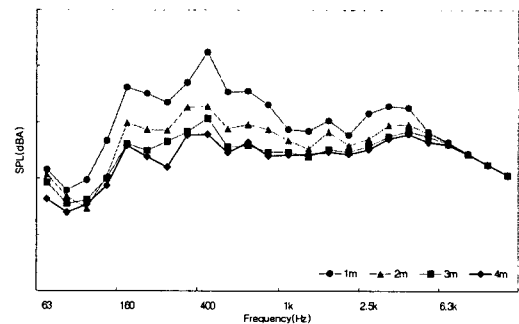


그림 2. 거리증가에 따른 냉장고 소음의 특성 변화

그림 2에서와 같이 중주파수 영역에서는 거리 증가에 따라 큰 폭의 차이를 보였다. 3m까지 7.8dB까지 급격한

감쇠를 보였고, 3~4m 범위에서는 약 1dB의 감쇠를 보였다.

그림 3은 1의 음원을 Zwicker 파라미터인 loudness로 나타낸 것이다. 3m거리이후 loudness값이 감소가 완만해지는 것으로 나타났다. 그러나 실제 사용 환경에서는 냉장고 주위에 반사면이나 흡음면의 영향에 의해 무향실보다 음압레벨이 증가하며 각종 심리 음향 인자가 값이 달라진다. 따라서 기존의 방법으로 냉장고의 성능을 평가하는 것보다 실제 사용 환경을 고려하여 평가하는 것이 더욱 타당할 것으로 사료된다.

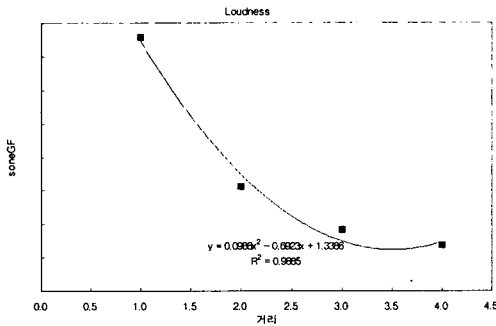


그림 3. 거리에 따른 냉장고 소음의 Loudness 변화

4. 냉장고 소음 시뮬레이션

사용 환경에서의 냉장고 소음 평가를 위해 통계청의 2000년 주택통계를 활용하여 대표적인 공동주택 크기를 선정하였다. 전체 공동주택에서 14~39평의 아파트가 전체의 80%를 차지하므로 [13] 기본세대는 30평형대 공동주택(서울시, S아파트)으로 주방에 설치된 냉장고가 거실에서 직접 보이는 공간을 대상으로 선정하였다. 사용 환경에 대한 냉장고 소음의 예측, 평가와 가청화는 실내음향 시뮬레이션 프로그램 odeon 6.0 활용하였다.

4-1. 사용 환경에서의 음압레벨 분포

음향 시뮬레이션 기법을 활용하여 사용 환경에서의 냉장고 소음 분포특성을 예측하여 무향실 측정결과와 비교하였다. 수음점은 그림 4와 같이 냉장고 전방1m, 부엌이 위치하는 2m, 거리감쇠에 따른 3m와 4m, 거실이 위치하는 7m로 5점을 선정하였다. 이때 음원의 설정은 냉장고의 전면과 후면에 2개의 음원(Hemisphere)을 선정하여, 무향실에서 측정된 주파수 특성을 입력하였다.

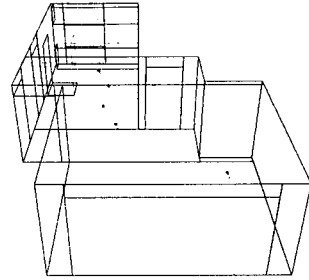


그림 4. 시뮬레이션 모델에서 음원 및 수음점 선정

시뮬레이션 결과 그림 5와 같이 냉장고의 소음에 의해서 전방 1m와 거실의 위치인 7m에서 약 5dB 정도의 음압레벨 차이가 발생하였다.

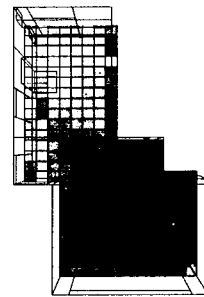


그림 5. 냉장고 소음의 음압 분포

무향실에서의 거리증가에 따른 음압감쇠와 시뮬레이션 결과와의 비교는 그림 6과 같다.

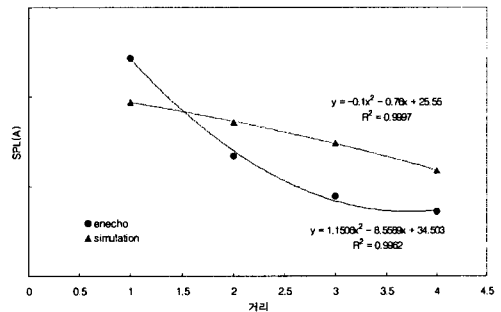


그림 6. 시뮬레이션과 무향실의 거리 감쇠 특성 비교

그림 6에서와 같이 시뮬레이션과 무향실에서 측정된 음압레벨은 거리 증가에 따른 감소율이 서로 다르다. 무향실의 경우 1~4m사이에 약8dB가 감쇄되었으나, 시뮬레이션에서는 4dB의 차이가 발생했다.

4-2. 칸막이벽 사용에 따른 음압레벨 비교

주거 환경에서 냉장고의 위치에 따라 소음의 방사형태가 변화한다. 따라서 냉장고 좌우면이 개방되고, 후벽에 붙어 있는 경우와 좌우면에 칸막이벽이 설치된 경우의 소음 분포를 비교하고, 냉장고 소음 저감을 위한 사용 환경 개선 방안을 도출하고자 한다.

좌우 칸막이 설치유무에 따른 음압레벨을 비교하기 위해 수음점의 위치를 전방 1m, 부엌(2m), 거실(7m)의 3점을 선정하였다. 칸막이가 없는 경우, 좌측벽에 칸막이가 있는 경우, 우측벽에 칸막이가 있는 경우, 좌우 양측에 칸막이가 있는 경우 등 4가지 조건을 그림 7에 나타내었다.

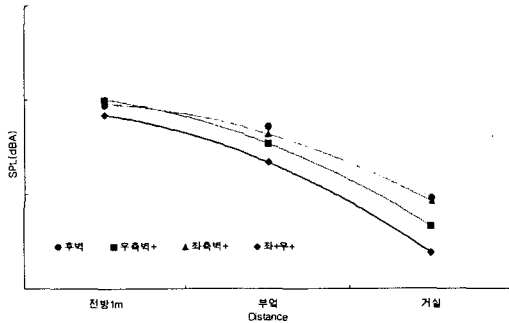
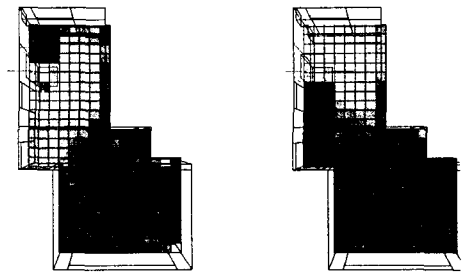


그림 7. 칸막이벽 유무에 따른 음압비교

좌우 칸막이 유무에 따라 거실에서 음압이 3dB(A) 정도 차이가 발생되었다. 좌측벽보다 우측벽을 설치했을 경우 음압의 감소가 더 크게 나타났는데, 이는 그림 8의 음압레벨 분포에서와 같이 좌측벽이 냉장고 소음을 반사하여 부엌과 거실에서 음압이 더 커진 것으로 사료된다.



(a) 좌측벽의 방사형태 (b) 우측벽의 방사형태
그림 8. 칸막이벽 유무별 음압레벨분포

4-3. 반사벽면 흡음에 의한 소음저감

냉장고 소음은 반사벽면에 의해 보강 및 감소된다. 냉장고의 주요 기계장치가 냉장고의 후면부에 위치하므로 전면부 소음보다 후면부에서 발생하는 소음이 더 크다.

이런 냉장고 표면에서 방사된 소음은 전면부에서는 직접 방사되고, 후면부에서는 벽체에 반사되어 전방에 소음이 전달된다. 벽면에 반사되어 실내로 전달된 소음은 후면 벽체의 반사정도에 따라 음압레벨이 변화하므로 사용 환경에서 후면벽은 냉장고 소음 레벨을 결정하는 중요한 요소이다.

따라서, 본 연구에서는 냉장고가 위치하는 후벽부의 흡음특성 변화에 따른 소음레벨의 저감을 조사하였다. 후벽의 흡음특성을 완전반사(0.00)와 50mm 흡음재의 흡음특성을 적용하여 각각 계산하였다. 바닥흡음은 냉장고 주위에 5mm 카펫을, 우측칸막이벽의 흡음 특성으로는 조적벽에 50mm 흡음재를 적용한 경우로 설정하였다. 시뮬레이션 결과는 그림 9와 같다.

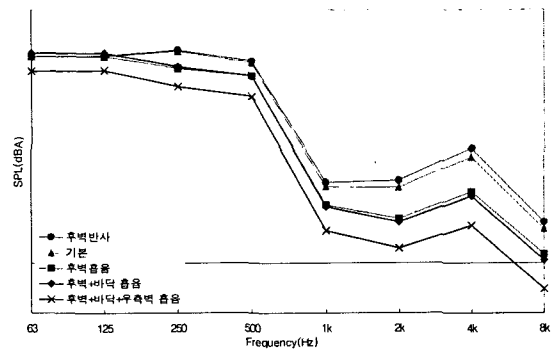


그림 9. 냉장고 주변 재료의 음향 조건변화에 의한 저감

설치 위치 주변 공간의 흡·차음처리와 같은 건축적 수법에 의한 저감 방법은, 청감자에게 민감한 주파수 영역인 4kHz에서 기존 대비 약 7dB(A)의 저감효과를 보였으며, 후벽, 바닥, 칸막이벽의 조합으로 인해 약 4dB(A)까지 저감되었다.

5. 정상상태 냉장고소음의 청감평가

냉장고 소음에 대한 주관적 청감실험을 통하여 감성적 만족도 레벨 및 만족 비율을 제한하기 위하여 청감실험을 실시하였다.

5-1. 실험환경 및 실험 방법

청감실험은 ODEON 6.0을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션 (Impulse response)과 무향실(전면 1m) 녹음원을 가청화하여 사용하였다. 청감실험의 상황은 심야에 수면을 취할 수 있는 편안한 환경으로 가정하였고, 청감 실험 내용에 대해 충분히 설명하였다. 냉장고 소음의 최대dB(A)와 최소 dB(A)의 음원을 실험 시작 전 제시하여 제시되는 음원의 음압레벨 범위를 인지할 수 있도록 하였다. 대상음원은 배경소

음보다 5dB 작은 음원부터 3dB씩 증가시켜 10단계의 음원을 제시하였다. 음원제시는 3번씩 반복하였으며, Head Acoustics System(Artemis)과 Electrostatic 헤드폰(STAX SR-3030)을 사용하였다. 청감 실험은 정상청력을 갖고 있는 20대 중반의 대학생 20여명을 대상으로 실시하였으며, 실험시간대의 평균 배경 소음이 21dB(A)인 청감실험부스에서 실시하였다. 피험자는 4명씩 1조로 나누어 실시하였다.

주관적 평가는 표1에서와 같이 소음의 크기, 제시되는 소음의 제시되는 소음의 각 레벨과 대응되는 사용 환경에서의 의식정도 그리고 쾌적성의 3개의 Category로 나누어 평가하였으며, 각각의 범주는 9점 척도로 구성하였다. 각 음원을 제시후 피험자가 느끼는 주관적 반응을 준비된 반응 기록지에 기입하도록 하였다.

1개의 음원 당 총 3개의 평가항목에 대하여 평가를 실시하였으며, 청감실험에 소요된 시간은 총 81개 음원에 대하여 30분이 소요되었다. 또한 척도 9를 사용시 예상되는 주관적 크기 결정의 어려움을 줄이기 위하여 표1과 같이 전체 주관적 크기의 범주로 3개의 그룹(not annoying-annoying-very annoying) 으로 구분하였다.

표 1. 청감실험 반응 기준

구분	내용			
	소음의 크기	의식의 정도	쾌적성	
Not Annoying	척도 1	거의 들리지 않음	냉장고의 가동을 느끼지 못함	쾌적한 생활가능(or 수면)
	척도 2	멀리서 들리는 느낌	가동이 의식되나 신경 쓰이지 않음	가끔 의식되는 때가 있으나 쾌적한 생활 가능
Annoying	척도 3	들리지만 거의 느껴지지 않음	가동이 다소 의식됨	의식되지만 쾌적한 생활 가능
	척도 4	작게 들린다(신경 쓰이기 시작)	가동 상태를 알 수 있음	신경 쓰지 않으면, 지장 없는 생활 가능
	척도 5	들린다	가동 상태를 잘 알 수 있음	냉장고 소음이 거슬리기 시작
Very Annoying	척도 6	잘 들린다	가동 동작이 의식되기 시작	소음이 구분됨(예, 저음 고음)
	척도 7	크다	작은 동작도 다소 인식됨	참을 수 있는 한계
Not Annoying	척도 8	아주 크다	작은 동작도 매우 잘 인식됨	참고 지낼 수 없음
	척도 9	엄청나게 크다	작은 동작도 매우 잘 인식됨	사용 불가능

5-2. 청감실험결과

각각의 냉장고 소음의 음압레벨에 따른 피험자의 주관적 반응값을 3개의 범주에 대하여 평균하여 그림 10에 나타내었다.

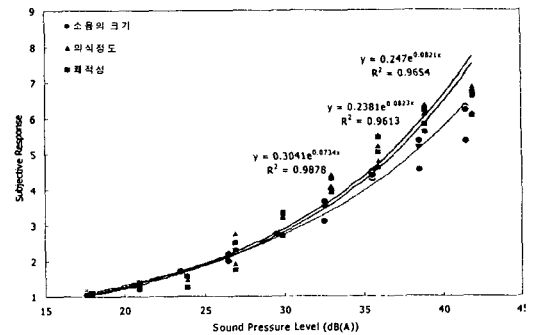


그림 10. 소음 레벨변화에 따른 주관적 반응

그림 10에서 나타난 소음의 크기, 의식의 정도 및 쾌적성의 세 지표에 대한 반응은 서로 높은 상관관계를 나타냈으며, 특히 의식성과 쾌적성간의 상관관계는 0.998로 매우 높게 나타났다.

30dB(A)이하의 낮은 음압레벨에서는 음압의 증가에 따라 소음의 인지나 쾌적성, 시끄러운 정도가 수준으로 평가되었다. 그러나 그 이상 음압이 높아질수록 소음의 크기보다 의식의 정도나 쾌적성이 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 따라서 냉장고 소음레벨이 높아질수록 주관적인 반응에 대한 고려가 강화되어야 한다.

일반인들을 대상으로 한 청감실험 결과에 대하여 그림 10의 회귀분석을 실시한 결과 분석결과 신경이 쓰이지 않고 쾌적한 생활이 가능한 냉장고 음압레벨(척도 9중 척도 1 레벨)은 21dB(A)이며, 가끔 의식되는 때가 있으나 쾌적한 생활이 가능한 음압레벨(2점 레벨)은 24dB(A)로 나타났다.

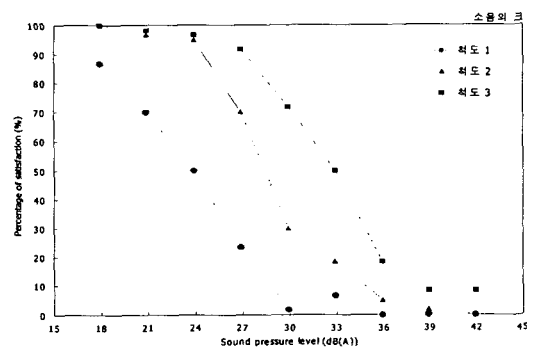


그림 11. 소음의 크기에 따른 만족도 비율

그림10에 의해 표1의 3가지 내용 중 의식의 정도와 쾌적성은 유사한 상관성을 가지므로 소음의 크기와 쾌적성에 따른 두 가지 내용으로 만족도를 구해보았다. 그림 11, 12에 나오는 3가지 척도는 표 1의 9점 척도 중 각각 1, 2, 3척도를 나타낸다. 척

도1을 기준으로 만족도를 구한 값은 다른 제시 레벨에 따라 피험자가 선택한 척도 중 1점이하를 표시한 정도를 전체 반응회수 중 응답한 비율로 나타낸 값을 말한다. 따라서 척도1 즉 냉장고 소음이 거의 들리지 않을 경우를 기준으로 한 경우 피험자의 70%가 21dB(A)가 될 때 만족한다고 응답하였으며, 척도2 즉 겨우 들리지만 멀리서 들리는 정도를 기준으로 한 경우 98%의 피험자가 21dB(A)에서 만족하였으며, 27dB(A)에서 70%가 만족하였다. 척도3의 경우 들리지만 의식하지 않는 소음에 대해서 70%의 사람들이 30dB(A)에서 만족하였다. 그림 12는 쾌적성에 대한 만족도의 비율을 나타낸 것이다. 척도1은 쾌적한 생활이 가능하며 수면에 전혀 지장을 주지 않는 소음을 만족하는 경우로 21dB(A)에서 78%의 사람들이 만족하였으며, 70%의 사람들이 24dB(A)의 소음레벨에 만족하였다.

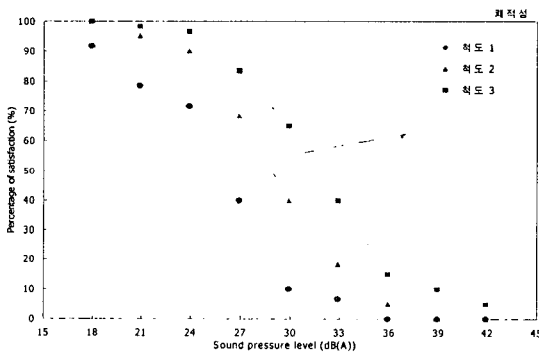


그림 13. 쾌적성에 따른 만족도 비율

6. 토의 및 결론

냉장고의 실제 사용 환경에서 소음 전달 특성, 주변 건축 환경 개선에 의한 소음 저감 방법 및 실제 사용 환경을 고려한 청감실험을 실시하였다.

실환경에서 냉장고 소음의 전파특성을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 조사한 결과 무향실 측정치와 거리별로 약 4~8dB 차이가 발견되어 향후 냉장고 및 가전제품의 소음 평가 및 음질 평가시 사용 환경이 고려되어야 할 것으로 사료된다.

또한 건축 환경 개선을 통한 냉장고 소음 저감평가 결과 칸막이벽의 설치에 의해 3dB, 후벽 및 바닥 등 주변 흡음력 변화에 따라 각각 3~4dB 저감이 가능한 것으로 나타났다.

컴퓨터 시뮬레이션을 통해 가청화된 음원으로 청감실험을 실시한 결과 소음의 크기, 의식의 정도, 쾌적성의 척도간 상관관계가 높게 나타났다. 따라서 일반적으로 냉장

고 소음의 크기에 있어서 '들리지만 거의 느껴지지 않음' (청감실험 척도3)을 만족기준으로 가정할 경우 90%의 사람들이 27dB(A)에서 만족하는 것으로 나타났다.

향후 냉장고의 다양한 종류에 따른 소음 특성 평가를 실시하고, 및 청감실험을 실제 사용 환경에서 진행하여야 할 것이다. 또한 피험자의 소음에 대한 민감도와 주관적 만족레벨 등의 조사 분석을 통하여 냉장고 소음 방지 설계 목표 설정에 대한 차별화가 가능할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- (1) B. F. Berry, "The work of I-INCE technical study group 2 on noise labels for consumer and industrial products," Proceedings of Inter-noise 2002.
- (2) 김기문, "냉장고용 압축기 효율 및 고주파 소음개선 연구," 공기조화 냉동공학 제24권 제1호, pp.71-81. 1995.
- (3) 유원희 등, "압축기소음과 냉장고소음의 관계 규명(압축기 정음화에 의한 냉장고 정음화)," 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp.32-36. 1996.
- (4) 오후규 등, "암모니아 흡수식 무소음 냉장고," 공기조화 냉동공학, 제24권 제3호, pp.308-316. 1995.
- (5) J. L. Paris, B. S. Tabuenca, "Evaluation of the noise emitted by the condenser of a household refrigerator," Proceedings of First Pan-Americans/Iberian Meeting on Acoustics. 2002.
- (6) 서상호 등, "가정용 냉장고의 소음 및 진동 저감," 공기조화 냉동공학회 하계학술발표회 논문집, pp. 1133-1137. 2000.
- (7) G. C. Jay, D. Collings, P.E and D. Lowery, "Implementation of sound quality measurements in component rating tests," Proceedings of SQS-2002. 2002.
- (8) G. Ebbitt and P. Davies, "The role of sound quality assessment in noise control," Proceedings of NOISE-CON 98. 1998.
- (9) B. L. Cardozo and K. G. van der Veen, "Estimation of annoyance due to low level sound," Applied Acoustics 12 (5), pp.389-396. 1979.
- (10) J. Joo, J. Lee, S. Oh and M. Meis, "Sound quality evaluation for the refrigerator and the air conditioning system," Proceedings of Inter-noise 2003.
- (11) 주재만 등, "냉장고의 이상소음에 관한 사례연구," 한국소음진동 공학회 추계학술대회논문집, pp.380-384. 2001.
- (12) KS C 9305 9.2.14, 1999
- (13) 통계청, "2000 주택통계".