Trans. Korean Soc. Noise Vib. Eng., 26(2) : 121~129, 2016
http://dx.doi.org/10.5050/KSNVE.2016.26.2.121

한국소음진동공학회논문집 제 26 권 제 2 호, pp. 121~129, 2016
ISSN 1598-2785(Print), ISSN 2287-5476(Online)

가정용 냉장고에서 방사되는 소음의 패턴 분석

Pattern Analysis of Noise Radiated from Household Refrigerator

공 경 수*·정 의 봉*·김 태 훈**·신 대 식**·안 세 진†

Kyung-Soo Kong, Weui-Bong Jeong, Tae-Hoon Kim, Dae-Sik Shin and Se-Jin Ahn

(Received October 2, 2015 ; Revised February 18, 2016 ; Accepted February 18, 2016)

Key Words : Refrigerator(냉장고), Cooling Cycle(냉각 사이클), Sound Quality(음질), Compressor Noise(압축기 소음), Fan Noise(휀 소음), Defrost Noise(제상 소음), Noise Pattern(소음 패턴)

ABSTRACT

The noise pattern of a household refrigerator is dependent on the characteristics of its operating cycle which is repeated with a specific pattern depending on various parameters, such as room temperature and performance of its mechanical parts. Analysis of noise pattern is essential prior to evaluation of sound quality of a refrigerator. In this study, 14 units of refrigerator were classified into 4 types according to noise pattern and sort of mechanical part, which helps to analyze characteristics of refrigerator noise. Sound quality metrics(loudness, sharpness, roughness, and fluctuation strength) were calculated to compare noise pattern of the 4 types of refrigerator. The results of this study can be useful to decide noise performance of refrigerator.

1. 서 론

최근 기술의 발전과 더불어 생활수준이 향상됨에 따라 보다 조용하고 안락한 주거 공간에서 생활하려는 사람들의 욕구가 늘고 있다. 이에 맞춰 가전 기기 업계에서는 저소음형 제품을 개발하기 위해 소음 진동 분야의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 냉장고 소음은 주거환경에서 하루 종일 지속적으로 작동하는 기계로 소비자에게 가장 오래 노출되는 소음 중 하나이고 소음에 관한 소비자의 불만 또한 끊이지 않고 있다. 그리하여 냉장고 소음 저감과 소음 품질 개선을 위한 연구가 계속되고 있다.

냉장고는 일정한 온도를 유지하기 위해 작동과 정지를 반복하는 기계와 전기 전자 장치가 조합된 시스템이다. 냉장고 소음은 냉장고의 구조뿐만 아니라 운동 부품의 작동 사이클에 따라 달라지며, 냉장고 구조와 사이클은 제조사에서 출시하는 모델마다 다양한 특성을 가진다. 이러한 이유로 과거의 냉장고 소음 연구에서는 하나의 소음원에 대하여 계측하고 분석하였으며, 이를 통하여 소음 저감 목적을 달성하려 하였다. 냉장고의 소음원은 압축기, 고내휀(in-chamber fan), 냉매 소음(refrigerant noise), 제상 소음(defrosting noise) 등이 있다. Joo[1]는 압축기 소음의 4 kHz ~ 5 kHz의 고주파수 대역의 소음을 전달 경로 설계 변경을 통하여 냉장고의 소음을 저감하였다. Jung[2]은 냉장고 내부에 설치되는 휀의 형상 설계인자 변경을 통해서 BPF(blade passing frequency)의 피크 소음을 줄였다. Choi[3]는 냉매 소음의 발생 메커니즘을 규명했고 이 소음에 대하여 모

† Corresponding Author ; Member, Uiduk University, Division of Energy & Electrical Engineering
E-mail:sjahn@uu.ac.kr
* Pusan National University, Mechanical Engineering
** LG Electronics

‡ Recommended by Editor Il Kwon Oh

ⓒ The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

세관에 머플러를 장착하는 방법을 통하여 소음 저감 방안을 제시했다. Hasan[4]은 가정용 냉장고가 제상 과정 중 방사되는 파쇄 소음(crack noise)은 부품의 급격한 온도 변화로 인한 수축, 팽창이 원인이라는 것을 밝혔다.

다양한 소음원의 물리적 소음 저감에 관한 연구가 활발하게 진행됨에도 불구하고 소비자의 냉장고 소음에 대한 불만은 계속되고 있다. 그리하여 냉장고 소음의 물리적이고 정량적인 개선과 더불어 감성적이고 주관적 소음 품질 향상에 대한 연구[5,6]의 필요성이 대두되고 있다.

이 연구에서는 가정용 냉장고의 구조와 내장된 각종 부품의 종류에 따라 구분되는 다양한 소음을 직접 청음하고 계측 및 분석을 통하여 냉장고의 특성과 작동 사이클에 따른 소음 패턴을 분류하였다. 이를 위하여 냉장고 작동 사이클을 고려하여 적합한 계측 절차를 설정하였으며, 14대의 가정용 냉장고 소음을 계측하여 냉장고 타입에 따른 소음 패턴을 분석하였다. 이 연구의 목적은 다양한 냉장고 타입과 작동 사이클에 따라 분류된 다양한 소음 패턴을 분석 및 분류하는 것이다. 이는 다양한 패턴의 냉장고 소음을 사전에 이해함으로써 냉장고 소음 연구를 위한 종합적이고 일관된 분석방법을 계획하는 데 있어서 효과적인 정보로 활용될 것으로 기대된다.

2. 냉장고 소음 특성 분석

2.1 냉장고 소음원

냉장고는 일반적으로 기계실, 냉장실, 냉동실로 구분되고 각 부분에서 발생하는 소음은 차이가 있다. 각 부분의 소음은 구성된 부품의 소음 특성이 복합된 형태로 방사된다.

(1) 압축기(compressor)

압축기는 냉장고의 뒷면으로 통하는 기계실에 위치하며 냉각 사이클에서 기체 상태인 낮은 압력의 냉매를 고압의 기체로 압축하는 역할을 한다. 냉장고 소음의 주된 원인이며 압축 방식에 따라 왕복동 압축기, 리니어(linear) 압축기 등으로 구분되며 가정용 교류 전기의 주파수에 연동하여 작동 주파수가 결정된다. 압축기의 소음은 작동 주파수의 고조파 성분이 고주파수까지 영향을 주어 넓은 범위의 주파수 성분을 가진다. 일반적으로 국내 냉장고 사양의 경우, 작동 주파수는 50 Hz ~ 60 Hz 수준이고 수출 사양의 경우는 해당 지역의 공급 전력 주파수에 따라 작동 주파수가 결정된다.

(2) 기계실 홴(C-fan: condensor fan)

기계실 홴은 압축기와 함께 기계실에 위치해 있으며 압축기와 응축기의 과열을 방지하기 위한 냉각 홴의 일종이다. 압축기와 동시에 작동하며 회전 주파수와 홴 날개 수의 곱인 BPF 성분의 토날(tonal) 소음과 날개가 유체를 지날 때 발생하는 유동의 난류로 인한 광역 주파수 대역의 소음이 있다.

(3) 고내홴(in-chamber fan)

고내홴은 냉기의 순환을 목적으로 냉장고 내부에 설치되며, 설치된 위치에 따라 냉동실 홴(F-fan: freezer fan), 냉장실 홴(R-fan: refrigerator fan), 제빙실 홴(I-fan: ice making room fan)으로 구분한다. 모델에 따라 1개 ~ 3개의 고내홴이 장착되며 전압의 세기에 따라 회전수가 달라지며 소음의 특성이 변화한다. 소음 특성은 기계실 홴과 유사하다.

(4) 냉매 유수음

냉매 유수음은 냉매가 배관을 따라 흐르면서 발생하는 소음이다. 특히 냉장고 냉각 사이클 중 증발기에서 액체 상태의 냉매가 기화하는 과정에서 슬러그류(slug flow)나 처언류(churn flow)와 같은 간헐류 2상 유동 양식이 발생될 때 내부의 기포가 유로의 변경 등에 따라 융합, 분열되는 과정에서 1 kHz ~ 3 kHz 주파수 대역의 소음이 발생하기도 한다.[7,8]

(5) 제상 소음

반복되는 냉각 작용으로 인해 냉장고 부품 특히 증발기(evaporator) 주위에 얼어붙은 성에로 인해 열교환이 원활하지 않아 냉장 효율이 저하되는 것을 막기 위해 성에를 녹이는 과정에서 발생하는 소음이다. 제상 소음은 얼음이 부품에 얼어붙어 있는 상태에서 가열된 열에 의해 수축하는 얼음과 팽창하는 부품이 순간적으로 떨어질 때 발생하는 충격성(impulsive) 소음이다.

2.2 냉장고 작동 사이클 특징

냉장고는 냉동실과 냉장실 내부의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 압축기의 작동과 정지를 반복할 뿐만 아니라 냉각된 공기를 냉장고 내부에 골고루 분포하게 하기 위하여 내부에 장착된 고내홴도 조건에 따라 작동과 정지를 반복한다. 이러한 부품들의 작동과 반복에 따라 냉장고에서 발생하는 소음의 특성도 함께 반복적으로 변화하기 때문에 냉장고 소음을 이해하기 위해서는 이러한 부품들의 작동 사이클을 이해하는 것이 필요하다. 냉장고의 작동 사이클은 냉장고 내부의 온도를 얼마나 정밀하게 유지하며 제어할지에 따라 그리고 적용되는 압축기 종류와 각종 고내홴의 사양에 따라 결정된다. 그러므로 냉장고의 작동 사이클은 냉장고 모델의 목적과 특성뿐만 아니라 주위 온도 환경에 따라 다양한 형태를 가진다. 이 연구에서는 최근에 출시되고 있는 냉장고에 적용되는 압축기와 고내홴의 종류에 따라 작동 사이클을 Table 1과 같이 냉장고에 장착된 부품에 의한 소음원의 개수에 따라 4가지 타입으로 분류했고 각각의 타입에 대한 작동 사이클의 특성은 Table 2와 같다.

Table 1 Classification of 4 types from 14 refrigerators according to characteristics of their parts

Ref.	Components				
	Comp.	C-fan	F-fan	R-fan	I-fan
Type A	1	1	1	0	0
Type B	1	1	1	1	0
Type C	1	1	1	1	1
Type D	1	1	1	2	0

Table 2 Operation of noise sources in a normal mode

Ref. type	Parts	Operation cycle						
Type A	Comp.	Off	On					Off
	C-fan	Off	On					Off
	F-fan	Off	On					Off
Type B	Comp	Off	On					Off
	C-fan	Off	On					Off
	F-fan	Off	On			Off		
	R-fan	Off				On		Off
Type C	Comp.	Off	On					Off
	C-fan	Off	On					Off
	F-fan	Off	On			Off		
	R-fan	Off				On		Off
	I-fan	On						
Type D	Comp.	Off	On					Off
	C-fan	Off	On					Off
	F-fan	Off	On			Off		
	R-fan1	Off				On		Off
	R-fan2	On	Off	On	Off	On	Off	On

(1) Type A: 압축기와 기계실 홴이 먼저 작동하며 증발기의 온도가 정해진 온도에 도달하면 냉동실 홴이 작동하여 냉동실 안의 냉기를 순환시킨다. 냉동실의 온도가 만족되면 냉동실과 냉장실 사이의 댐퍼가 열리며 냉장실에 냉기를 공급한다. 모든 온도가 만족되고 일정 시간이 지나면 모든 부품의 작동이 멈추고 정지한다.

(2) Type B: 압축기와 기계실 홴이 먼저 작동하며 증발기의 온도가 정해진 온도에 도달한 후에 고내홴이 작동한다. 냉장실, 냉동실 각각 홴이 존재하며 일정 로직에 따라 작동하며 고내의 온도가 만족되면 일정 시간이 지난 후 모든 부품의 작동이 멈추고 정지한다.

(3) Type C: Type B의 구성품에 추가로 자동 제빙 장치가 있다. 제빙실의 냉기 순환 홴(I-fan)은 사이클과 무관하게 지속적으로 작동하며 I-fan 이외의 구성품은 Type B와 동일한 사이클로 작동한다.

(4) Type D: Type B에 냉장실 홴(R-fan) 하나가 추가된 타입이다. Type B와 유사한 사이클로 작동하며 추가된 R-fan은 일정한 로직으로 작동과 중지를 계속한다.

위의 특징 이외에 모든 냉장고는 약 10시간 주기로 얼어붙은 응축기의 성에를 제거하는 제상 과정을 거친다.

여러 가지 냉장고의 작동 사이클을 분석한 결과, 일반적으로 냉장고는 압축기가 작동하는 동안 냉장고 내의 부품에 따라 다양한 소음이 발생하며 일정 주기마다 제상 과정을 거친다. 그리고 제상 과정을 거친 직후에는 정상적인 사이클과 다르게 비정상적으로 작동했다.

3. 냉장고 소음 패턴 분석

최근에 시판되고 있는 다양한 모델의 냉장고를 무향실에 설치하여 냉장고 소음을 청음하고 측정 및 분석한 결과 냉장고 소음은 해당 냉장고 적용된 각

종 휀들의 종류와 작동상태에 따라 소음 패턴이 정해지는 것을 확인하였다.

3.1 냉장고 소음 측정

냉장고의 음질을 분석하기 위하여 소음을 측정할 때 냉장고 주위의 조건과 수음점을 결정하는 것은 매우 중요하다. 이 연구에서는 무향실에 설치된 냉장고의 후면에 목재 판재의 설치 유무를 달리하며 소음 특성이 변화하는 것을 사전시험(pilot test)을 통하여 분석하였다.

그리고 좌우의 측면에서 동시에 소음을 계측하는 사전 시험의 결과를 분석한 결과, 냉장고의 우측면에서 주 소음원인 압축기의 소음이 가장 뚜렷하게 계측되고 목재 판이 있는 경우에 10 kHz 이하의 주파수에서 음압이 상승하는 효과가 있었다. 이는 기존의 연구에서 주거환경과 무향실에서 계측한 소음을 비교한 연구 결과와 유사한 결과이다[9].

냉장고의 소음은 주변의 환경과 작동시간에 따라 변화한다. 이 연구에서 냉장고 소음을 일정한 조건에서 계측하기 위하여 내부의 온도가 25 ℃로 일정하게 유지되는 무향실(cut-off frequency: 80 Hz, background noise level: 17 dBA) 내부에 시험용 냉장고를 동일한 위치와 방향으로 설치하였다. 시험용 냉장고는 무향실의 중앙에 위치시켜 환경 조건을 가능한 한 통일시켰고 계측 시작 전에 냉장고를 충분히 가동시켜 정상적인 상태에서 가동될 때 계측을 실시하였다. 실 주거환경의 내벽으로 인한 반사 조건을 고려하여 냉장고 후면에는 목재의 판을 설치하였다. 그리고 사전 시험을 통하여 냉장고 소음을 상대적으로 잘 구별할 수 있는 우측면에서 거리 0.5 m, 높이 1.0 m 위치에 Fig. 1에서와 같이 마이크로폰을 설치하였다. 소음 신호 측정은 냉장고 내부의 온도가 안정화되어 각종 부품들의 작동이 일정한 사이클을 반복할 때부터 실시하였다. 신호 획득 시간은 냉장고 사이클이 반복하는 과정에서 압축기가 일정 시간 정지한 후부터 다시 작동하기 시작하여 압축기가 정지할 때까지로 하였다. 제상 사이클에서 발생하는 충격성 소음은 이 연구의 대상에서 제외하였으며, 제상 사이클 직후의 냉장고 사이클은 정상상태의 사이클과 다소 차이가 있으므로 제상 직후의 측정은 제외하였다. 이 시험에 사용된 냉장고는 최근 생산하여 시판되고 있는 14대의 가정용 냉장고이다. 14대의 냉장고는 각각 서로 다른 모델로 선정하였으며 Type A는 6대, Type B는 3대, Type C는 3대, Type D는 2대로 구성하였다.

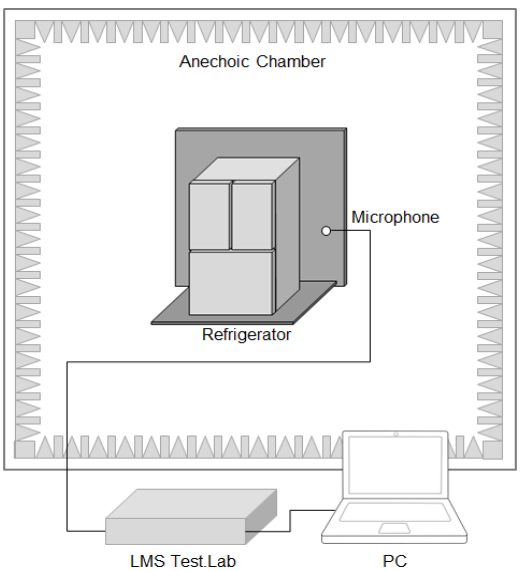


Fig. 1 Measurement setup and signal recording process

3.2 냉장고 소음 특성 분석

장착된 부품의 종류가 같은 냉장고는 유사한 작동 사이클을 가지며 냉장고 소음의 패턴도 비슷하다. 안정된 상태에서 작동하는 하나의 사이클이 지속되는 시간은 냉장고마다 다소 차이가 있으나 소음의 패턴으로 분류하는 것은 가능하였다. 대부분의 냉장고 소음은 압축기와 기계실 휀(C-fan)이 동시에 작동을 시작할 때 약 30 dBA 이상의 소음레벨로 상승하였다. 냉장고 내부에서 소음을 발생시키는 부품의 종류가 많을수록 동일한 냉장고 소음 패턴에서도 복잡하게 소음레벨이 변화하는 것을 확인할 수 있었다. 안정화된 이후의 하나의 작동 사이클 동안에 발생하는 과도 소음은 압축기와 기계실 휀이 켜지거나 꺼질 때 가장 크고 구분도 쉬웠으며, 압축기가 작동 중인 상태에서는 각종 휀들이 켜지고 꺼질 때 발생하는 과도 소음에서의 음압 레벨 변화가 3 dBA 이하로 미약하게 나타났다. 하지만 실제 청음 시에는 음질(sound quality)은 확연히 변화하는 것을 느끼는 경우가 있었다. 즉, 음압 레벨의 차이는 미미한데 불구하고 음질에서 유의미한 차이를 나타내는

경우이므로 음질에 대한 연구의 필요성이 있음을 알 수 있다.

시험용 14대의 냉장고에서 분류한 냉장고 4가지 타입에 대하여 하나의 사이클 동안 발생하는 음압 레벨(sound pressure level, SPL)과 시간-주파수를 나타내는 컨투어 맵(contour map)을 나타내었다. Fig. 2는 Type A 냉장고의 소음 특성을 나타내며 냉장고 모델 중 가장 필수적인 부품만 장착되어 있어

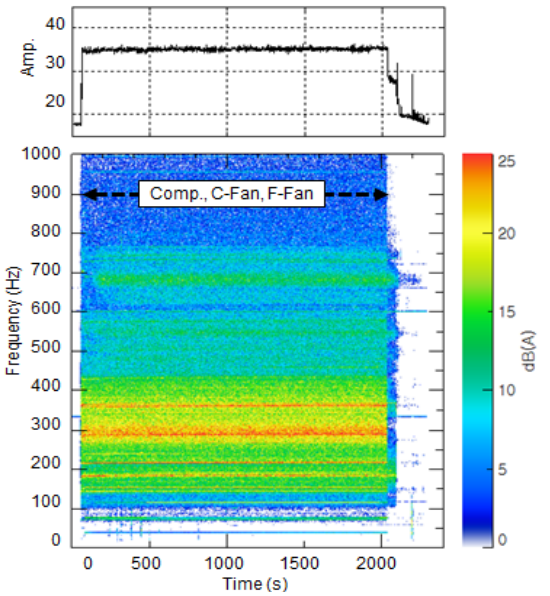


Fig. 2 SPL and time-frequency map of 1-cycle in a normal mode of Type A

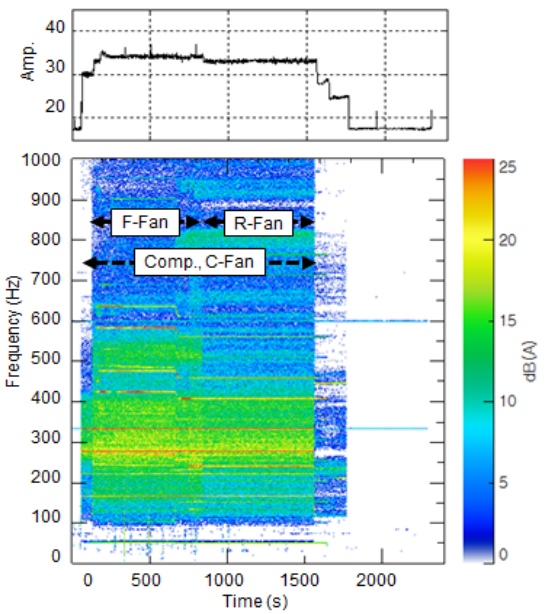


Fig. 3 SPL and time-frequency map of 1-cycle in a normal mode of Type B

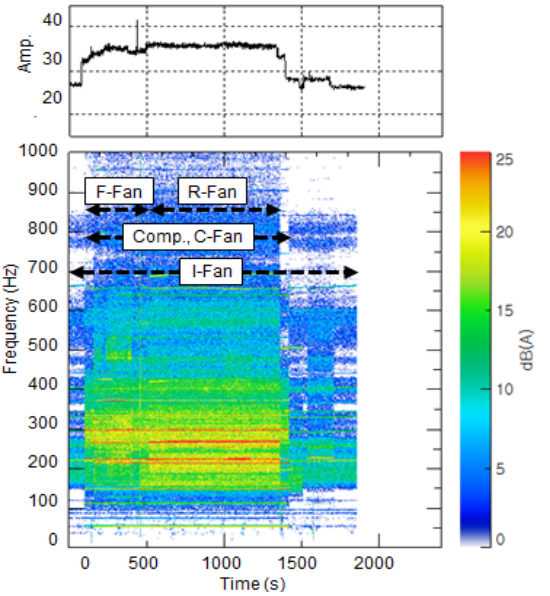


Fig. 4 SPL and time-frequency map of 1-cycle in a normal mode of Type C

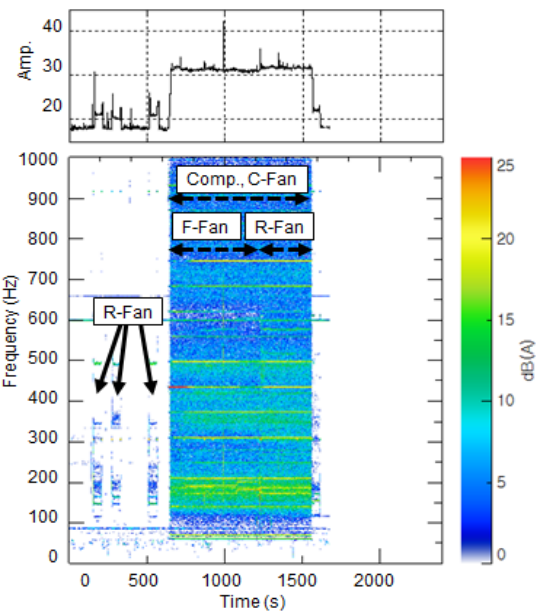


Fig. 5 SPL and time-frequency map of 1-cycle in a normal mode of Type D

압축기, 기계실 휀과 고내휀의 소음 특성이 복합된 소음 패턴을 보인다. Fig. 3의 Type B는 압축기가 작동하는 동안에 SPL의 크기 변화는 미미하지만, 작동하는 고내휀이 변화함에 따라 주파수 특성이 크게 변화하는 것을 알 수 있다. 이러한 소음 주파수 변화로 인하여 음질의 특성도 변화할 수 있음을 짐작할 수 있다. Fig. 4는 Type C 냉장고의 경우이며 Type B에 비하여 내부에 제빙실 휀이 추가된 타입이다. 제빙실 휀은 제상 과정을 제외하고는 멈추지 않고 지속적으로 작동하며 토날 소음과 광역 소음을 방사하기 때문에 Type C 냉장고는 기본적인 음압레벨이 25 dBA 이상으로 다른 냉장고보다 소음 노출량이 많다. Type C의 시간-주파수 컨투어 맵을 분석하면 Type B와 유사하게 두 가지 소음 패턴을 보이지만 압축기가 꺼져있을 때 제빙실 휀이 작동하여 발생하는 소음이 추가되어 총 3가지의 소음 패턴으로 구분할 수 있다. Fig. 5의 Type D 냉장고는 냉장실 휀이 2개가 내장되어 있다. 이 냉장고는 압축기가 가동되지 않을 때에도 일정한 로직으로 고내휀이 작동하며 소음을 방사한다. 하지만 압축기가 꺼진 상태의 고내휀 소음은 약 20 dBA의 레벨로 거의 무시할 수 있을 정도이다. 그리고 냉각 사이클 작동 중의 소음은 Type B의 소음 패턴과 유사하며 2가지 특성의 소음 패턴으로 구분할 수 있다.

3.3 음질 인덱스 패턴 분석

심리음향학(Psycho-acoustics)에서는 소리의 질(quality)을 구분하기 위하여 4대 음질 인덱스를 제시하였다. 4대 음질 인덱스는 소리의 신호에서 청감을 고려한 소리의 크기, 날카롭기, 거칠기, 변동 세기를 정량화하여 각각 loudness, sharpness, roughness, fluctuation strength로 나타낸 것이다. 이러한 음질 4대 지표는 일반적인 소리를 보편적으로 구분할 때 사용되는 지표이며, 특정한 소리에 대한 음질 평가를 위해 충분한 검토를 실시한 후에 적용하는 것이 바람직하다. 음질 4대 지표의 수식은 다음과 같다[10].

$$N' = 0.08\left(\frac{E_{TQ}}{E_0}\right)^{0.23}\left[\left(0.5+0.5\frac{E}{E_{TQ}}\right)^{0.23}-1\right] \quad (1)$$

$$N = \int_0^{24\,Bark} N' dz \ \text{[sone]} \quad (2)$$

E_{TQ} : 최소가청한계에서의 자극

E_0 : I_0의 대응 자극

$$S = 0.11\frac{\int_0^{24\,Bark} N' g(z)dz}{\int_0^{24\,Bark} N' dz} \ \text{[acum]} \quad (3)$$

$$g(z) = \begin{matrix} 1 & z \le 16 \\ 0.066e^{0.171z} & z > 16 \end{matrix} \quad (4)$$

z : Bark scale number

$$F = \frac{0.008\int_0^{24\,Bark} \Delta L\, dz}{(f_{\mathrm{mod}}/4\,Hz)+(4\,Hz/f_{\mathrm{mod}})} \ \text{[vacil]} \quad (5)$$

$$R = 0.3 f_{\mathrm{mod}} \int_0^{24\,Bark} \Delta L\, dz \ \text{[asper]} \quad (6)$$

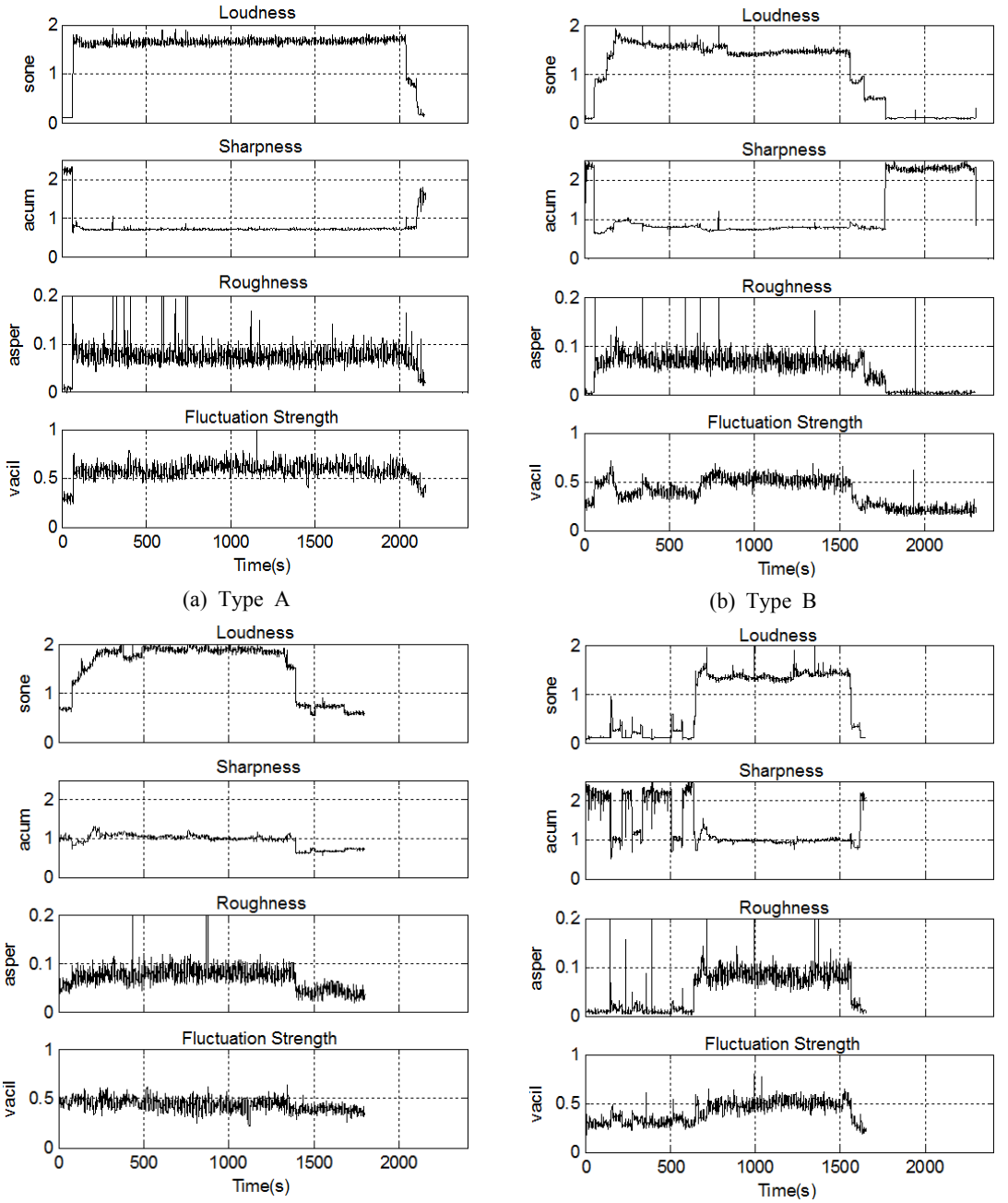
f_{mod} : modulation frequency

ΔL : masking depth

식 (1)은 specific loudness의 계산식이며 critical band에 대한 loudness를 구할 수 있다. 식 (2)는 specific loudness를 critical band에서 적분하여 loudness를 구하는 식이다. 식 (3)은 loudness와 specific loudness에 가중치 함수 $g(z)$를 곱하여 적분한 값의 비로 sharpness를 구하는 식이다. 식 (4)의 $g(z)$는 16 Bark(2.7 kHz ~ 3.1 kHz) 이상의 주파수에서 가중치를 주는 함수로 고주파수 성분이 저주파수보다 클 경우 sharpness가 높아진다. 식 (5), (6)은 각각 fluctuation strength와 roughness를 구하는 식이다.

이 연구에서는 앞에서 분류한 냉장고의 4가지 타입의 소음에 대한 각각의 음질 4대 지표를 계산하여 Fig. 6에 나타내었다. 청감을 고려한 소리의 크기를 나타내는 loudness는 4가지 타입 냉장고 모두에 대하여 다소 차이는 있으나 SPL과 유사한 패턴을 나타내고 있음을 알 수 있다. 하지만 sharpness는 냉장고의 타입과 상관없이 사이클이 작동하는 동안에 값의 큰 변화 없이 1.0 acum 근처의 값으로 나타났다. 이것은 sharpness를 구하는 식 (3)에서 알 수 있듯이

16 Bark 이상의 주파수에 가중치를 높이 두고 있는데 비해 냉장고 소음은 Fig. 2 ~ Fig. 5에서 보는 바와 같이 1 kHz 이내의 주파수에 주된 소음 roughness는 압축기의 작동을 반영할 수 있지만 다른 소음원의 작동과는 큰 연관이 없다. 마지막으로 fluctuation strength는 20 Hz 이하 변조 주파수에 의한 소음의 크기를 나타내는 지표인데, 냉장고 소음 중 20 Hz 이하 차이의 작동 주파수를 갖는 소음원이 없어 소음



(a) Type A (b) Type B

(c) Type C (d) Type D

Fig. 6 Sound quality metrics of 1-cycle in a normal mode

패턴과 큰 연관이 없는 것으로 보인다. 이러한 이유로 Type B 냉장고에서 작동 중간에 SPL이 증가함에도 fluctuation strength가 낮아지는 패턴을 보이고 있으며, Type C 냉장고에서 0.5 vacil로 일정한 패턴을 보였다.

4. 결 론

이 연구는 가정용 냉장고에서 발생하는 소음 패턴을 분류하는 것을 목적으로 하고 있으며, 이를 위하여 다양한 모델의 냉장고에 대하여 소음의 계측 및 분석을 통하여 내장된 휀의 종류에 따라 냉장고 타입을 4가지로 분류하였고 타입별로 다양한 작동 사이클을 나타내었다. 냉장고 타입에 따라 작동 사이클이 지속되는 시간이 차이가 있으며 특정한 사이클 동안에 작동하는 각종 부품들의 특성에 따라 다양한 패턴의 소음을 발생시켰다. 이 결과를 통해 냉장고 소음 저감 연구를 계획하거나 수행함에 있어서 냉장고 타입 또는 소음 패턴을 고려해 개선이 필요한 목표를 명확하게 할 수 있다. 이를 통해 연구 결과가 개선되는데 유의한 도움이 될 것이라 기대된다. 그리고 작동 사이클 동안에 발생하는 소음에 대한 음질 4대 인덱스 분석 결과, loudness는 SPL과 유사하게 변화하였으며 roughness는 압축기의 작동과 연관된 지표로 냉장고와 상관성이 있었다. 반면, sharpness는 냉장고 소음의 주요 주파수 범위를 고려하면 전혀 무용한 지표이며 fluctuation strength 또한 냉장고가 방사하는 소음과는 연관이 없었다. 이 결과는 냉장고 소음의 심리음향학적 연구의 초석으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

References

(1) Joo, J. M., Kim, J. R. and Lee, D. H., 2001, Measurement and Control of Abnormal Sound for Refrigerator, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 380~384.

(2) Jung, Y. K., Kim, C. J., Baek, S. J. and Jeon, W. H., 2002, Study on the Optimal Shape of Low Noise, New Concept Fan for Refrigerator, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 645~650.

(3) Choi, S. W., Hwang, W. G., Sul, S.-Y., Im, H. E. and Kim, S. S., 2004, A Study on Reduction of Refrigerant Noise in Household Refrigerator, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 1062~1066.

(4) Koruk, H. and Arisoy, A., 2015, Identification of Crack Noise in Household Refrigerators, Transactions of Applied Acoustics, Vol. 89, pp. 234~243.

(5) Park, J. G., Cho, Y., Lee, S. W., Hwang, D. S. and Lee, C. H., 2009, Objective Assessment Model for Refrigerator Noises, Transactions of the Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 46, No. 5, pp. 80~90.

(6) Jeon, J. Y., You, J. and Chang, H. Y., 2007, Sound Radiation and Sound Quality Characteristics of Refrigerator Noise in Real Living Environments, Transactions of Applied Acoustics, Vol. 68, No. 10, pp. 1118~1134.

(7) Hartmann, D. and Melo, C., 2013, Popping Noise in household refrigerators: Fundamentals and practical solutions, Transactions of Applied Thermal Engineering, Vol. 51, No. 1-2, pp. 40~47.

(8) Heo, S. J., Kim, M. S., Han, H. S. and Jeong, E. B., 2011, Prediction of Two-phase Flow Patterns and Noise Evaluation for Evaporator Pipe in a Refrigerator, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 21, No. 10, pp. 916~923.

(9) Jeon, J. Y., You, J., Chang, H. Y., Lee, C. H. and Jeong, J. H., 2006, Sound Quality Characteristics of Refrigerator Noise in Real Living Environments, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 16, No. 8, pp. 797~805.

(10) Zwicker, E. and Fastl, H., 1999, Psychoacoustics Facts and Modles, 2nd Edition, Springer-Verlag, Germany, pp. 61~261.

KyungSoo Kong is received B.S. degrees from Pusan National University in 2015 and he is student of the School of Mechanical Engineering in Pusan National University. His research interest is Psycho-acoustics.

Weuibong Jeong received B.S. and M.S. degrees from Seoul National University in 1978 and from KAIST in 1980, respectively. He then received his Ph.D. degree from Tokyo Institute of Technology in 1990. Dr. Jeong is currently a professor at the department of mechanical engineering at Pusan National University in Busan, Korea. His research interests are in the area of the measurement and signal processing, finite/boundary element analysis of noise and vibration, fluid-structure interactions and acoustic-structure interactions.

SeJin Ahn is received B.S., M.S. and Ph.D. degrees from Pusan National University in 1994, 1996, and 2003, respectively. Dr. Ahn is currently a professor at the department of energy & electricity in Uiduk University. His research interest is in human vibration.