

## 냉장고 수축팽창 소음원의 규명과 저감 방법

김원진<sup>a\*</sup>, 박성규<sup>b</sup>

## Identification and Reduction Method for Refrigerator Contraction and Expansion Noise

Wonjin Kim<sup>a\*</sup>, Seong Kyu Park<sup>b</sup><sup>a</sup> Department of Mechanical and Automotive Engineering, Keimyung University, Republic of Korea<sup>b</sup> LG Electronics, Republic of Korea

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received 29 June 2013

Revised

Accepted 23 July 2013

## Keywords:

Contraction&amp;expansion noise

Stick-slip

The frequency

Sound visualization

## ABSTRACT

The contraction and expansion noise of a refrigerator are investigated, and some effective methods are proposed to reduce the level and occurrence frequency of noise. First, the noise of a refrigerator is measured to estimate the frequency spectrum and occurrence frequency of noise. Second, a sound visualization was conducted using an acoustic camera to determine the location of the noise source. From the results, it was observed that the internal part mainly producing noise was the third shelf in the freezer room. A method to estimate the acceleration on the location of the noise source is introduced to analyze the contraction and expansion noise precisely and accommodate experimental convenience. Noise reduction methods such as the replacement of the existing shelf with glass shelves, adoption of rail slides, and increase of roughness on the contact surface of the shelf are proposed and tested.

## 1. 서론

생활수준의 향상으로 정온한 주거환경에 대한 요구가 증가함에 따라 일반 가정에서 사용되는 가전제품의 저소음과 저진동 실현에 대한 소비자의 요구가 높아지고 있다. 이러한 가전제품 중에서 냉장고는 24시간 연속적으로 운전되는 제품으로서, 사용자의 사용 의사와 상관없이 소음이 발생한다<sup>[1]</sup>. 특히 사용자들의 소음에 대한 불평이 다른 가전제품에 비해 월등히 높게 나타나고 있기 때문에 냉장고의 소음저감에 대한 기술개발이 매우 빠르게 진행되고 있다.

최근에는 냉장고 운전 중에 간헐적으로 발생하는 수축팽창 소음(contraction and expansion noise)이 큰 문제가 되고 있다. 수축 팽창 소음은 비정상소음으로 소음 발생 시에 소비자에게 불쾌감

및 불안감을 심어준다. 또한 냉장고의 환입과 직결되므로 제조업체의 품질비용 상승에 영향을 준다. 따라서 수축팽창 소음을 개선하기 위한 방향을 제시하는 것이 냉장고의 저소음 설계에 중요한 작업이다.

이러한 수축팽창 소음은 스틱슬립 현상과 관련지어 설명할 수 있으며, 마찰실험과 관련된 논문들을 통해서 확인할 수 있다. T. Jibiki<sup>[2]</sup>는 마찰 계수 및 속도의 변화가 마찰소음 발생과 밀접한 관련이 있음을 확인하였다. Bouisson<sup>[3]</sup>는 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA, poly methyl methacrylate) 마찰실험에서 수직하중이 증가함에 따라 미끄럼면에 작용하는 전단응력이 감소하고, 표면 조도가 증가함에 따라 스틱슬립이 증가하는 것을 확인하였다.

Pyo<sup>[4]</sup>는 텔레비전에서 간헐적으로 발생하는 충격음의 원인으로

\* Corresponding author. Tel.: +82-53-580-5265

Fax: +82-53-580-5165

E-mail address: wjkim@kmu.ac.kr (Wonjin Kim).

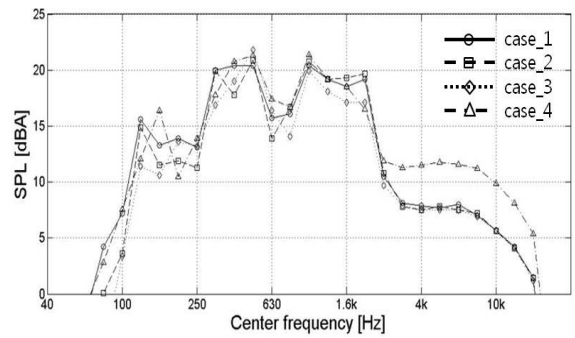
재료의 열팽창과 스틱슬립에 의한 마찰현상을 지적하였고, 발생횟수를 저감하는 연구를 수행하였다.

이상의 연구에서 자동차의 브레이크 마찰소음이나 텔레비전이 켜짐과 꺼짐 시에 발생하는 충격음의 원인이 스틱슬립 현상인 것을 확인하였고, 이러한 연구들이 꾸준히 진행되고 있다. 하지만 냉장고의 온도 변화에 따른 열팽창으로 인하여 발생하는 수축팽창 소음에 대한 연구는 부족한 실정이다. 본 연구에서는 냉장고에서 발생하는 수축팽창 소음에 대한 기구를 규명하고, 수축팽창 소음의 크기와 발생횟수를 저감시키는 대책을 수립하고자 한다.

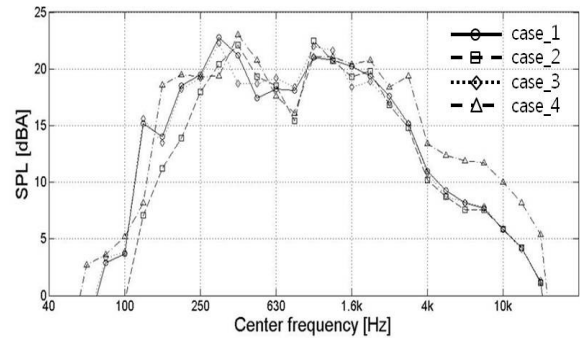
## 2. 수축팽창 소음의 분석

냉장고는 여러 가지 이종 재질의 부품들이 서로 접촉하고 있거나 체결되어 있으므로 온도변화로 인한 열팽창이 발생하게 되면 부품들은 서로 구속되어 응력 및 변형률에너지가 증가하게 된다. 온도의 변화와 시간의 영향으로 접촉면의 접촉강성이 변화하게 되면 마찰면이 정지 상태에서 미끄러짐 상태로 변화하게 되고, 접촉면의 표면돌기(asperity)들에서 충격, 충돌 에너지가 발생하게 된다. 그 이후에 발생하는 시스템의 내부에너지는 변형 및 운동 에너지로 변환되며, 이때 소산된 운동에너지는 대부분 진동현상으로 나타난다. 이러한 접촉면의 진동이 수축팽창 소음을 유발한다<sup>[5]</sup>.

수축팽창 소음은 매우 불규칙적으로 발생하며, 짧은 시간동안 발생하는 충격음이다. 여기서는 냉장고 소음의 정상상태에 대한 소음 레벨을 기준으로 10 dBA 이상 높은 충격소음을 수축팽창 소음으로 정의하였다. 무향실에서 양문형 냉장고를 대상으로 냉장고 높이



(a) Front



(b) Rear

Fig. 2 1/3 octave band spectrum of contraction and expansion noise

Table 1 The occurrence frequency of contraction and expansion noise

Operation conditions	Front	Rear
Compressor on	4	1
Compressor off	19	19

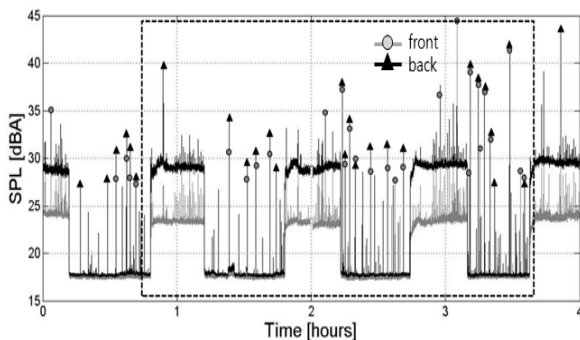


Fig. 1 Time history of sound pressure level

의 중간에서 전·후방으로 각각 1 m 떨어진 지점<sup>[6]</sup>에서 4시간 동안 소음을 측정하고 3사이클(cycle) 동안의 발생빈도를 분석하였다. 소음 측정결과는 Fig. 1, 소음의 발생 빈도수는 Table 1에 나타내었다. 최대 소음레벨은 압축기 기동상태일 때에 44.7 dBA, 정지상태일 때에 41.1 dBA로 평가되었다. Fig. 2는 발생한 4개의 수축팽창 소음을 대상으로 1/3 옥타브 밴드 주파수 분석을 실시한 결과로서 전·후방 모두 발생한 주요 주파수 성분의 경향이 유사하고, 315 ~ 500 Hz, 1 ~ 2 kHz 대역의 성분이 가장 높다. 이상에서와 같이 측정된 수축팽창 소음은 3사이클 동안 전방에서 총 23회, 후방에서 총 20회 발생하였다. 이러한 소음의 발생빈도를 저감하기 위하여 소음원의 위치에 대한 규명이 필요하다.

## 3. 소음 발생위치의 규명

### 3.1 소음원의 위치 분석

#### (1) 음압분포 측정결과

수축팽창 소음의 발생위치를 규명하기 위하여 음향카메라를 사용하였다. 음압분포 측정은 실험의 편리와 실제 냉장고의 설치환경을 고려하여 무향실이 아닌 실험실에서 냉장고 전체가 화면에 나오도록 1.5 m 떨어진 위치에 음향카메라를 설치하고, 냉장고 전면

대하여 10시간 동안 측정하였다. 또한 2.2절의 1/3 옥타브 분석결과를 토대로 수축팽창 소음의 우세한 주파수 대역인 1~2 kHz를 음향카메라의 분석주파수 범위로 설정하였다. 그리고 소음레벨을 분석하기 위하여 별도의 마이크로폰을 설치하였다.

Table 2는 수축팽창음의 레벨이고, Fig. 3 및 Fig. 4는 각각 냉장고 전면, 후면에서 방사되는 수축팽창 소음을 가시화한 것이다. 수축팽창 소음은 전면 측정 시에 총 9회(냉동실 7회, 냉장실 2회) 발생하였다. 몇 가지 경우를 제외하고는 냉동실 높이의 중간부분에서 소음이 방사됨을 확인하였다. 후면 측정 시에는 총 5회(냉동실 4회, 냉장실 1회) 발생하였다. 냉장실에서 발생한 1회를 제외하고는 모두 냉동실 높이의 중간부분에서 소음이 방사되고, 전면 측정결과와 유사한 위치에서 소음이 발생하였다. 전면 및 후면 측정결과를 중

Table 2 Level of contraction and expansion noise

	Sound level [dBA]								
	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6	case 7	case 8	case 9
Front	49.2	50.3	41.0	42.3	42.8	45.2	48.7	42.3	41.8
Rear	46.0	45.5	44.2	47.8	53.9	-	-	-	-
Left	52.3	50.1	42.5	41.6	45.1	40.1	48.1	48.6	-
Right	47.5	50.8	46.2	47.2	45.3	40.0	41.1	-	-

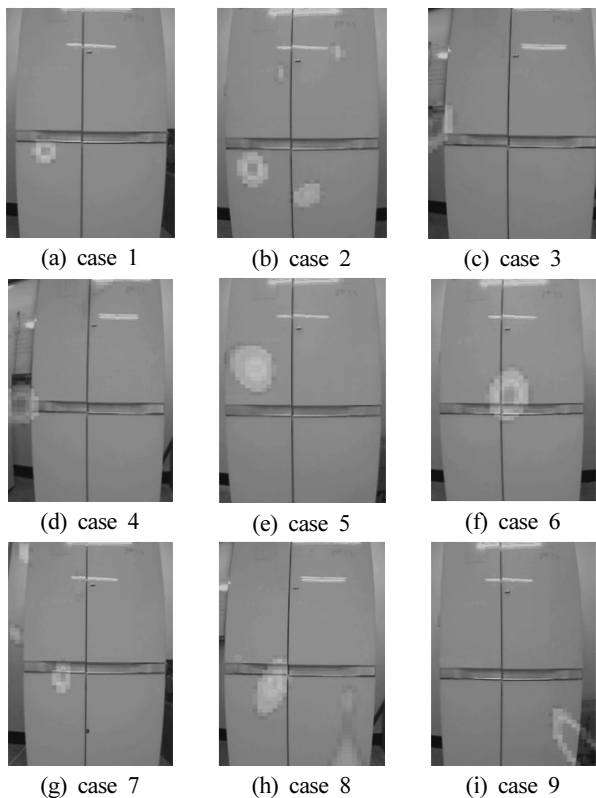


Fig. 3 Sound pressure distribution of the front side

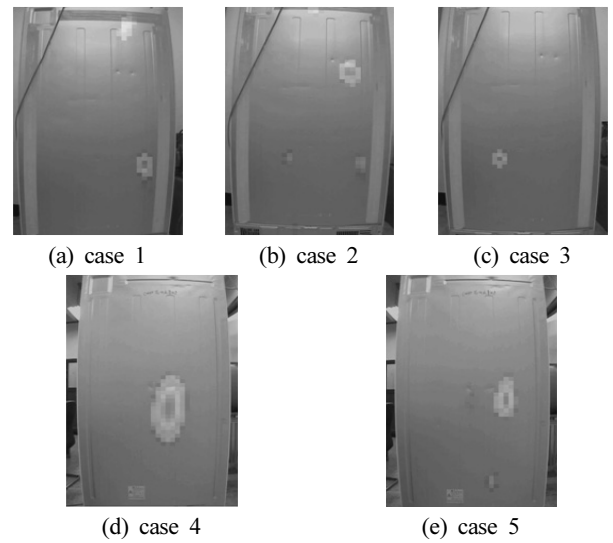


Fig. 4 Sound pressure distribution of the rear side

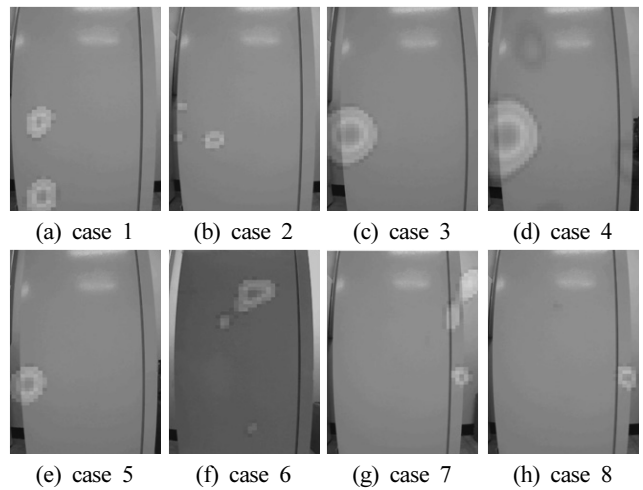


Fig. 5 Sound pressure distribution of the left side

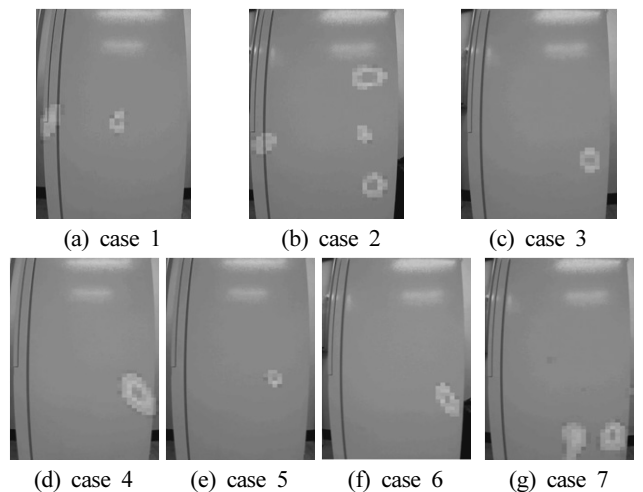
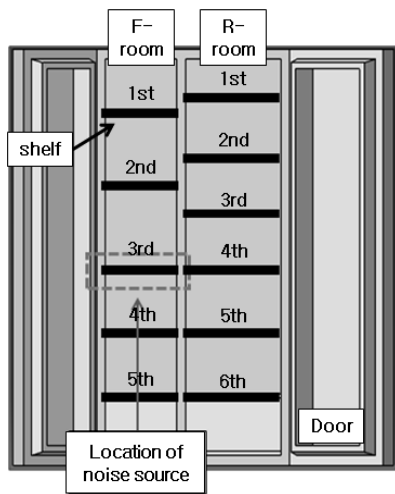


Fig. 6 Sound pressure distribution of the right side

**Table 3** The occurrence frequency of contraction and expansion noise for different positions

Source location		Occurrence frequency of noise			
		front	rear	left	right
F-room	2nd shelf	1	-	1	-
	3rd shelf	7	4	5	5
	basket	1	-	2	-
R-room	5th shelf	-	1	-	1
	6th shelf	-	-	-	1
Total		9	5	8	7



**Fig. 7** Location of noise source in the refrigerator

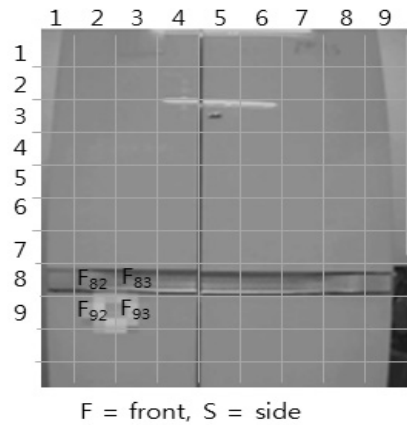
합해보면 수축팽창 소음은 온도변화가 큰 냉동실에서 주로 발생하며, 발생위치는 냉동실의 중앙부이다.

냉장고 좌·우측면에서도 음압분포를 측정하였고, 그 결과를 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었다. 수축팽창 소음은 좌측 8회, 우측에서 7회 발생하였다. 또한 좌·우측면의 음압분포가 대부분 냉동실 높이의 중앙부분이고, 냉장고 안쪽 면에서 주로 발생함을 확인할 수 있다. 측정결과에서 냉장고 내의 위치별 발생횟수를 종합하면 Table 3과 같고, Fig. 7에서와 같이 냉동실의 중앙부분(3번 선반)에서 발생빈도가 가장 높음을 확인할 수 있다.

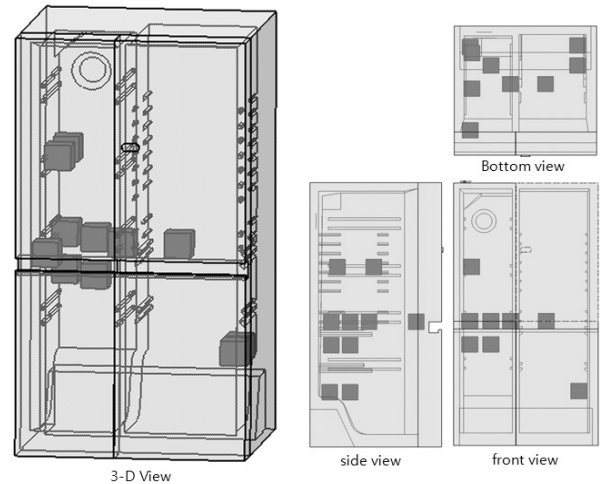
**(2) 소음원의 3차원 도식화**

앞 절의 음압분포 측정결과를 토대로 개략적인 발생위치를 확인하였다. 음향카메라는 2차원 평면상의 음압분포를 가시화하기 때문에 소음원의 3차원 위치를 정확히 파악하기가 어렵고, 데이터양에 따라 분석하는데 많은 시간이 필요하다. 따라서 소음원의 위치를 3차원으로 도식화하는 방법이 시도하였다.

Fig. 8과 같이 냉장고의 표면에 가로·세로 10 cm 간격으로 그리



**Fig. 8** Projection of sound source on grid map



**Fig. 9** 3D visualization of noise source

드(grid)를 생성하였다. 생성된 그리드를 통해서 음원의 위치를 단위크기와 좌표정보를 갖는,  $F_{ij}$ ,  $S_{kl}$ 로 표현하였다. 여기서  $F$ 는 정면(front),  $S$ 는 측면(side),  $i$ 와  $k$ 는 행 성분, 그리고  $j$ 와  $l$ 는 열 성분을 나타낸다. 그리고 다음과 같이 정면과 측면의 음압분포 데이터 중에서 행의 높이가 같은 데이터를 추출한다.

$$V_{ijl} = \delta_{ik} F_{ij} S_{kl}$$

$$\delta_{ik} = \begin{cases} 1 & (i = k) \\ 0 & (i \neq k) \end{cases} \quad (3.2)$$

$V$ 는 단위크기와 위치정보를 가지는 정육면체의 부피를 나타낸다.  $i$ 는 행,  $j$ 와  $l$ 은 정면과 측면의 열의 위치정보를 나타내기 때문에 수축팽창 소음의 발생위치를 3차원으로 도식화할 수 있다.

Fig. 9는 음원의 3차원 도식화 결과를 나타낸 것이다. 소음원의 위치는 냉동실 높이의 중간부분 좌측벽면에서 발생빈도가 높음을

확인할 수 있다. 이러한 결과로부터 소음원의 위치는 냉동실 내부의 3번째 선반부분일 것이라는 결론을 얻을 수 있다.

### 3.2 진동레벨 분석

냉장고 내부부품의 수축팽창은 표면돌기들의 충격을 갖는 스틱슬립 현상을 발생시키고, 소음과 동시에 진동을 유발한다. 따라서 이러한 소음이 발생할 때에는 내부 벽면으로 상대적으로 높은 레벨의 진동이 전달된다. 따라서 냉장고 내부에서 스틱슬립이 발생하는 세부적 위치 및 수축팽창 소음의 정도를 진동레벨을 이용하여 평가할 수 있다. 이 방법은 암소음 레벨이 상대적으로 높은 실험실 환경에서 수축팽창음을 평가할 수 있는 장점이 있다. 여기서 소음의 발생위치로 판단되는 냉동실의 세 번째 선반 위치의 냉장고 내부 벽면에 가속도계를 설치하였다. 그리고 수축팽창음에 의한 진동과 기

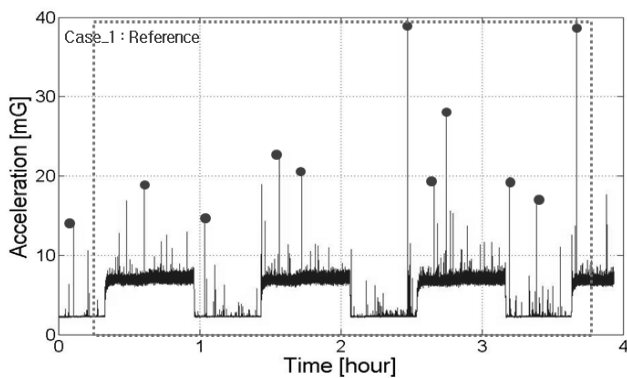
타 진동을 구분하기 위하여 냉장고 내부에 마이크로폰을 설치하여 음압도 동시에 측정하였다. 그리고 선반의 유·무에 따른 진동레벨을 평가하고, Table 4 및 Fig. 10에 실험결과를 나타내었다. Fig. 10에서 3사이클 동안의 수축팽창 소음이 선반이 있을 경우에는 총 10회 발생하였고, 선반을 제거했을 경우에는 발생하지 않았다. 참고로 선반이 제거된 상태에서 진동의 피크는 압축기의 기동에 의하여 발생한 것으로 수축팽창 현상과 비교하여 상대적으로 레벨이 낮다. 이 실험결과로부터 냉장고의 수축팽창 소음을 발생키는 내부 부품은 소음원의 위치 분석 결과와 동일하게 냉장고의 세 번째 선반이라는 결론을 얻을 수 있다. 따라서 수축팽창 소음원인 냉장고 선반의 수정을 통하여 소음발생 횟수를 저감시키는 것이 필요하다.

### 4. 부품 수정을 통한 소음저감 대책

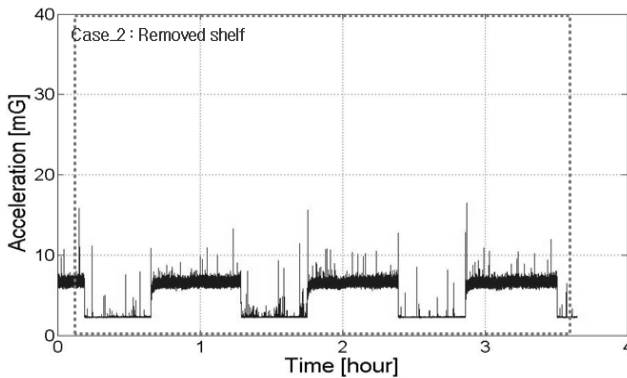
스티크슬립 현상에 따른 수축팽창 소음의 발생은 접촉표면에서 급격한 마찰력의 변화와 밀접한 관련이 있다. 소음을 방지하기 위해서는 접촉표면에서 마찰력의 변화를 저감시키는 것이 필요하다. 그러므로 접촉표면의 재료특성, 표면적 및 표면거칠기, 미끄러짐 속

**Table 4** The occurrence frequency of contraction and expansion noise without the 3rd shelf in F-room

	with shelf	Without shelf
Occurrence frequency	10	0



(a) Refrigerator with shelf

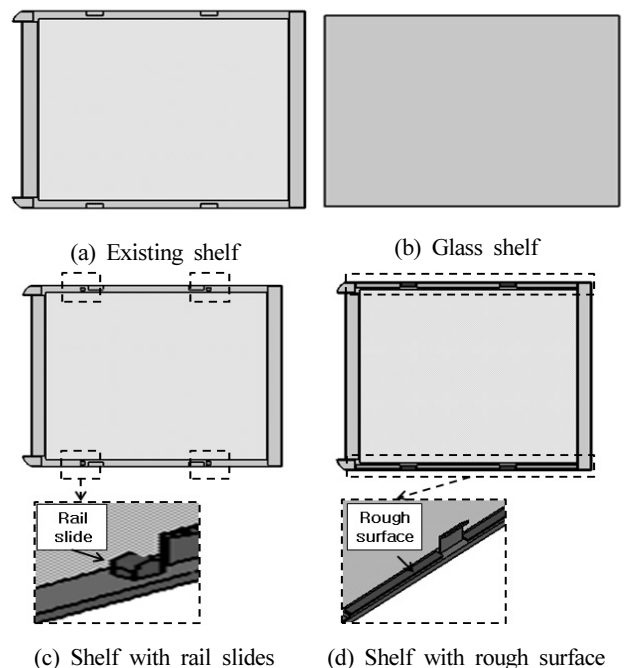


(b) Refrigerator without shelf

**Fig. 10** Time history of acceleration level on the inner wall of refrigerator

**Table 5** The occurrence frequency of contraction and expansion noise with modified shelves

	Existing shelf	Glass shelf	Shelf with rail slides	Shelf with rough surface
The frequency	10	11	4	0



**Fig. 11** Modified shelves in F-room

도, 윤활 등과 같이 소음에 영향을 주는 요인을 제어해야 한다<sup>[7-10]</sup>. 위와 같은 근거를 토대로 수축팽창 소음의 발생부인 냉동실 세 번째 선반의 수정을 통해 소음저감 방안을 마련하였다. 첫 번째는 기존선반 Fig. 11(a)를 대상으로 Fig. 11(b)과 같이 외곽 케이싱을 제거하여 접촉면의 재질을 유리로 변경하였다. 두 번째는 Fig. 11(c)과 같이 선반에 레일 슬라이드(rail slide)를 부착하였다. 선반의 외곽 케이싱과 같은 재질인 레일 슬라이드를 부착하여 냉장고 내부 벽면과 선반과의 접촉면을 저감하였다. 마지막으로 Fig. 11(d)와 같이 접촉면의 표면거칠기를 증가시켰다. 표면거칠기의 증가는 마찰력을 증가시켜 표면돌기의 맞물림에서 미끄러짐 상태로 변화하는 것을 방지하는 효과가 있다. 세 가지 경우에 대하여

진동레벨을 평가하고, 그 결과를 Table 5 및 Fig. 12에 나타내었다. Fig. 12(a)의 유리 선반을 적용한 경우이다. 세 사이클 동안 수축팽창음이 11회 발생하였고, 개선된 효과는 없었다. Fig. 12(b)의 레일 슬라이드를 적용한 경우에는 수축팽창 소음이 4회 발생하였고, 발생빈도 및 전체적인 진동레벨도 저감되었다. Fig. 12(c)의 표면거칠기를 증가시킨 경우는 수축팽창 소음이 발생하지 않았다. 이상의 결과에서 선반과 내부벽면의 접촉면을 최소화하고, 표면거칠기를 증가시키면 소음의 발생 빈도를 효과적으로 저감할 수 있을 것이라 판단된다.

### 5. 결론

냉장고 수축팽창 소음의 발생 현상 및 위치를 분석하고, 소음저감 대책을 수립하였다. 먼저 소음현상을 파악하기 위하여 무향실에서 수축팽창 소음의 발생횟수 및 주파수 스펙트럼을 분석하였다. 그리고 음향카메라를 이용하여 측정된 평면 음압분포 데이터에서 소음원의 위치를 3차원으로 도식화하는 방법을 제시하고, 소음원이 냉동실 내부의 3번째 선반부임을 규명하였다. 실험의 편리와 소음원 발생 위치에서 수축팽창 소음 발생에 대한 상세한 분석을 위하여 진동 가속도 레벨을 이용한 평가방법을 도입하였다. 마지막으로 소음을 저감하기 위한 방안을 도출하기 위하여 유리선반 적용, 선반 접촉면에 레일 슬라이드를 적용, 접촉부의 표면거칠기를 증가시키는 세 가지의 경우에 대하여 수축팽창음 발생횟수를 평가하였다. 그 결과로부터 수축팽창 소음을 저감하기 위해서 냉동실 선반의 접촉면에 레일슬라이드를 이용하여 접촉면적을 줄이거나 표면거칠기를 증가시키는 방법이 효과적이라는 결론을 도출하였다.

### References

- [1] Lee, C. H., Jeong, J. H., Jeon, J. Y., 2004, Evaluation of Indoor Refrigerator Noise in Steady-State Condition, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, 790-795.
- [2] Jibiki, T., Shima, M., Akita, H., Tamura, M., 2001, A Basic Study of Friction Noise Caused by Fretting, Wear, 251:1 1492-1503.
- [3] Bouissou, S., Petit, J. P., Barquins, M., 1999, Normal Load, Slip Rate and Roughness Influence on the PMMA Dynamics of Sliding 2. Characterization of the Stick-Slip Phenomenon, Computer standards & interfaces 21:2 128-136.
- [4] Pyo, j. H., 2004, Reduction of Frictional Impulse Noise Induced by Thermomechanical Deformations in TV Sets A Thesis for a Master, KAIST, Korea.
- [5] Park, D. I., 2005, A Study on Correlation Between Noise Caused

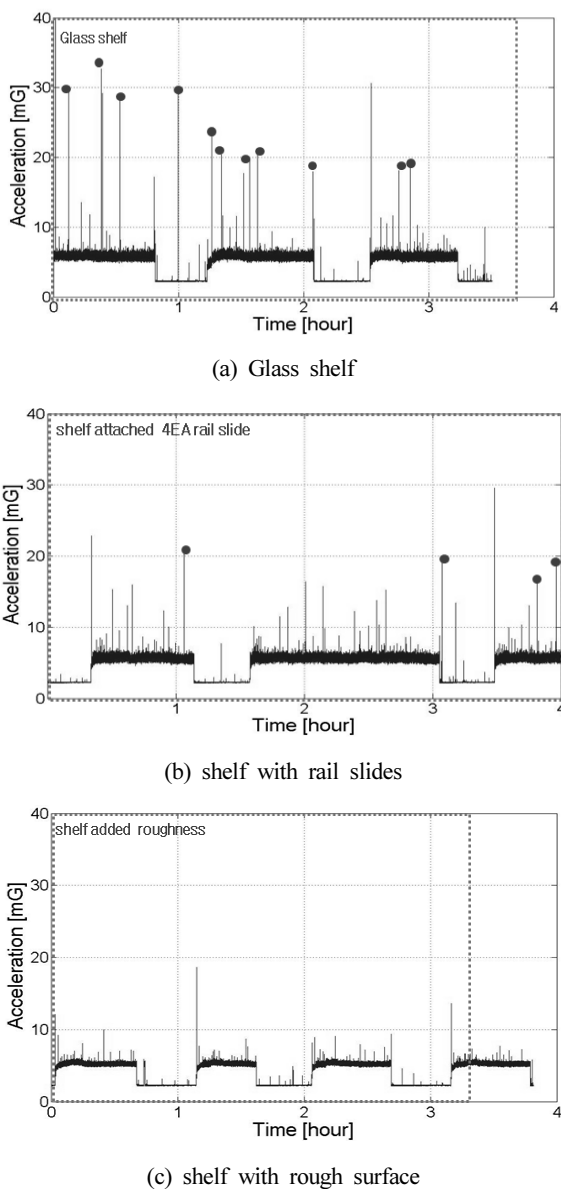


Fig. 12 Time history of the acceleration level for modified shelves in F-room

- by Stick-slip and Friction Characteristics, A Thesis for a Master, KAIST, Korea.
- [6] KSC, 2010, Refrigerator-Freezers and Freezers, KSCISO15502:2010, Korean Industrial Standards, Korea
- [7] Berman, A. D., Ducker, W. A., Israelachvili J. N., 1996, Origin and Characterization of Different Stick-slip Friction Mechanisms, *Physical and Chemical Mechanisms of Tribology*, 12:0 4559-4563.
- [8] Baumberger, T., Heslot, F., Perrin, B., 1994, Crossover from Creep to Inertial Motion in Friction Dynamics *Nature*, 367:0, 544-545.
- [9] Berthoud, P., Baumberger, T., Sell, C., Hiver, J. M., 1999, Physical Analysis of the State- and Rate-dependent Friction Law: Static Friction, *Physical Review B*, 59:22 14313-14317.
- [10] Bouissou, S., Petit, J. P., Barquins, M., 1999, Stress Drop and Contact Stiffness Measured from Stick-Slip Experiments on PMMA-PMMA Friction, *Tribology Letters*, 7:0 61-65.