

캐비닛 구조물의 내부 마찰소음 발생 메커니즘에 관한 실험적 연구

이동규* · 박정현* · 박기홍*** · 하병국*** · 김형식*** · 박상후**†

* 부산대학교 기계공학부 대학원, ** 부산대학교 기계공학부/정밀정형 및 금형가공연구센터, *** LG 전자

Investigation of Mechanism of Frictional Impulse Noise in Closed Cabinet

Dong Gyu Lee*, Jung-Hyun Park*, Ki Hong Park***,
Byung-Kuk Ha***, Hyeong-Sik Kim*** and Sang Hu Park**†

* Graduate School of Mechanical Engineering, Pusan Nat'l Univ.,

** School of Mechanical Engineering, ERC/NSDM, Pusan Nat'l Univ.,

*** LG Electronics Inc.

(Received March 21, 2012 ; Revised November 6, 2012 ; Accepted November 19, 2012)

Key Words: Negative Pressure(음압), Stick-Slip(스틱-슬립), Frictional Impulse Noise(마찰소음), Air Condensation(공기 응축), Abnormal Noise(이상소음)

초록: 대형 냉장고의 경우 내부구조가 복잡하고 냉장고 문을 열고 닫을 때 냉장고 내부에 온도편차가 발생하며, 또한 진동에 의한 흔들림이 발생하게 된다. 이러한 다양한 원인에 의하여 간헐적으로 부품간 마찰에 의한 이상소음이 발생하기도 한다. 따라서 본 연구에서는 이러한 이상소음의 원인과 메커니즘을 실험적으로 분석하고 이것을 줄일 수 있는 가능성에 대하여 제안하고자 한다. 이상 소음을 구현하기 위한 실험장치를 구성하고 냉장고 문의 열림과 닫힘에서 발생하는 변형량 분석과 온도 변화에 따른 내부 압력변화를 측정하여 소음발생의 주요원인에 대하여 분석하였다. 또한 설계초기 단계에서 적용이 가능한 소음저감 방법론을 제안하였다.

Abstract: A large-sized refrigerator has a complicated inner structure such as a shelf and a rack for product loading. Therefore, when the refrigerator door is opened and closed, the temperature inside the refrigerator varies and vibrations occur due to the physical force applied for opening and closing the door. Owing to these factors, an abnormal sound is generated by the relative distortion between the inner structures. In this study, we aimed to clarify the mechanism that generates this abnormal noise inside the refrigerator using experimental approaches, and we also investigated ways by which to reduce this noise. Toward this end, we developed an experimental setup for measuring the noise, temperature, inner pressure, as well as amount of vibration, and we analyzed the main factors causing the noise based on the experimental results. Furthermore, we suggested a way by which to reduce the noise; this method can be applied in the design stage itself.

1. 서 론

기술문명의 발달과 진보에 따라 일상생활 속에 사용되는 가전제품들이 사용의 편의성과 고기능, 대용량을 추구하는 제품들이 증가하고 있다. 특히 냉장고는 구조, 열유체, 제어, 제조 등 다양한 기술분야가 적용되고 집약된 종합 기계-전기제품이라고 할 수 있다. 또한 냉장고의 경우 사용환경이 대부분 실내에서 사용을 하게 된다. 따라서 디자인 뿐만 아니라 미세한 소음이나 진동에 대한 소

비자의 불만이 다양해진다.

최근 들어 냉장고에서 발생하는 이상소음(abnormal noise)에 관한 소비자들의 불만이 많이 들어 오고 있다.⁽¹⁾ 이상소음은 어떤 소비자들은 느끼지 못하는 경우도 있지만 소음에 대한 민감도에 따라 불쾌감을 느끼게 할 수도 있다. 사람마다 다른 반응을 보이기는 하지만 모든 소비자들에 만족감을 주기 위해서는 소음이 발생하지 않도록 설계하는 것이 중요한 기술이라고 할 수 있다.⁽²⁾ 최근 냉장고에 발생하는 기능적인 문제와 기계적 소음 해결을 위하여 다양한 연구⁽³⁻⁶⁾가 진행되고 있고 많은 부분이 개선되어 적용되고 있지만 이 중에서

† Corresponding Author, sanghu@pusan.ac.kr

냉장고에서 간헐적으로 발생하는 이상소음은 냉장고의 기계적인 결함이나, 압축기, 모터, 팬에 의한 소음이 아니고 냉장고 내부의 다양한 부품들간의 마찰음인 스틱-슬립(stick-slip)에 의한 소음으로 아직도 해결해야 될 부분이 많이 남아있다. 그러나 현재까지 캐비닛 형태를 가지는 냉장고의 작동 중 내부 마찰음에 대한 연구가 진행된 것이 거의 없으며, 그 원인에 대한 정확한 메커니즘 분석이 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 냉장고에서 발생하는 이상소음현상을 실험적인 검증을 통하여 현상재현 및 분석을 실시하였고 소음 발생 원인 규명 및 추가적인 측정 장치 구성을 통해 발생 메커니즘 및 소음 저감 방안에 관하여 연구하였다.

2. 이상소음 분석 실험

2.1 이상소음 발생 메커니즘

스틱-슬립현상으로 불리는 이상소음은 상대운동을 하는 두 부재의 접촉면이 마찰현상에 의하여 정지상태 (stick or adhesion phase)와 미끄러짐 상태 (slip phase)가 반복하여 간헐적으로 소음이 발생하는 현상이다.⁽⁷⁻¹⁰⁾ 이러한 이상소음은 Fig. 1에서와 같이 개념적으로 간략하게 설명할 수 있다. 부재 A와 B가 서로 접촉하고 있는 상태에서 부재 A가 외력 F 을 받을 때, 부재에 작용하는 외력이 마찰력을 극복하지 못하면 정지상태가 된다. 부재 A의 작용력이 계속 증가하여 정지 마찰력보다 크게 되면 미끄러짐 상태가 되어 부재 A와 부재 B 사이에 상대 변위가 발생되고 두 면 사이에 동마찰력 (F_d)이 작용하게 된다 [식 (1) 참조].

$$\begin{aligned} F_d &< \mu_s \times N \quad (\text{stick state}) \\ F_d &\geq \mu_k \times N \quad (\text{slip state}) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 N 은 수직하중, μ_s 와 μ_k 는 각각 정지 마찰계수와 동마찰계수를 의미한다. 정지상태에서 동적 상태로 전환되는 순간에 마찰력과 표면조도로 표현되는 미세돌기들 간의 미세 탄성변형에 의한 내부변형에너지 (internal strain energy)가 저장이 된다. 이러한 에너지의 크기는 표면조도, 접촉면적, 소재간의 친화성 등의 영향을 받게 된다. 따라서 내부변형에너지가 임계 값을 넘게 되면 순간적으로 미끄러짐이 발생하고 미세돌기의 진동에 의한 소음과 열로 에너지가 발산하게 된다. 여기서 소음의 크기는 상대변형 속도에 의존한다. 이렇게 에너지가 발산되면 내부변형에너지가 급격하게 줄어 들고 다시 정지상태로 돌아간다. 이와 같이 정

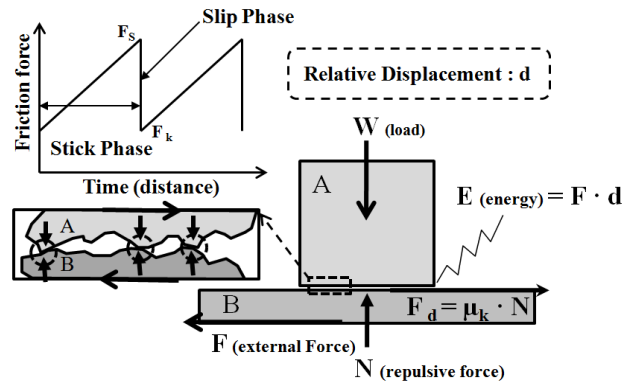


Fig. 1 Schematic explanation of the noise generation by stick-slip mechanism

지상태와 미끄러짐 상태가 반복되면서 소음이 발생하는 현상을 스틱-슬립에 의한 이상소음 현상⁽¹¹⁾이라 하며, 정지상태에서는 외력이 증가함에 따라 마찰력도 증가하지만 일단 미끄러짐 상태가 되면 마찰력이 급격하게 떨어지게 되고 그러한 현상이 반복되는 것을 확인할 수 있다.

2.2 실험장치 구성 및 실험조건

냉장고에서 발생하는 이상소음을 재현하기 위한 기초 실험장치를 Fig. 2에 나타내었다. 실험장치에서 양문형 냉장고를 실내 (평균 온도 26 °C)에 평탄 면에 고정하고 냉장고 도어를 닫을 때 스프링을 이용하여 동일한 하중 4 kgf (39.2 N)으로 닫을 수 있는 장치 (pushing jig)를 만들어서 이용하였다. 이것은 냉장고 문을 닫을 때, 동일한 충격량이 전달되도록 하기 위함이다. 또한, 냉장고 외벽에 근접하여 소음을 측정할 수 있는 음향 측정기 (sound level-meter, model: SC260, CESVA Instruments)를 설치하여 시간에 따른 냉장고 내부에서 발생하는 이상소음의 크기를 간접적으로 측정할 수 있도록 하였다. 또한 냉장고 내부의 온도와 압력변화를 알아보기 위하여 저온과 상온에서 주로 사용되는 K-type 열전대(model: NI-9213, National Instruments)와 압력센서(model: NI-9201, National Instruments)를 냉장고 벽면을 뚫어 호스로 연결하여 설치하였다. 열전대와 압력센서는 데이터 수집기(DAQ; data acquisition system, model: DAQ-9174, National Instruments)를 통하여 시간에 따른 데이터를 수집하고 컴퓨터와 연계하여 분석하였다. 실험 환경과 냉장고 작동 조건은 Table 1에 정리하였다. 측정 방법은 동일한 시료를 이용하여 각 데이터 별로 3회 측정하여 평균값을 취하였다.

또한 냉장고의 작동 안정성을 고려하여 1 set (3회) 측정 후 안정화 시간을 1 hr으로 두었다.

Table 1 Experimental conditions for abnormal noise generation in a refrigerator

Items	Value
Indoor temperature (°C)	26
Refrigerator, Freezer (°C)	0,-24
Stabilization time (hour)	1
Force of closing door device(N)	39.2
Indoor environment noise (dBA)	~40

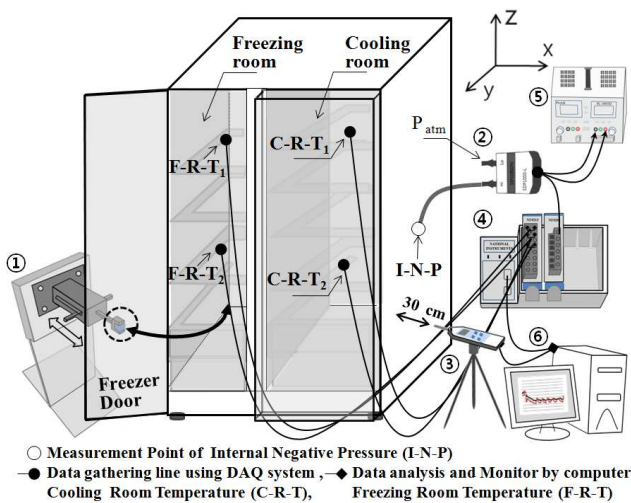


Fig. 2 Schematic diagram of experimental setup for the measurement of the refrigerator; ① Pushing jig (39.2 N), ② Pressure Sensor: SDP-1000L, Sensirion), ③ Sound-level-meter: CESVA, SC260, and ④ DAQ data acquisition system: NI cDAQ-9174, Temperature: (NI-9213), Pressure: (NI-9201), National Instruments) ⑤ Power supply (PL-3005D, Protek) ⑥ Computer

2.3 현상재현 및 소음발생 위치분석

이상소음에 대한 현상분석을 위하여 재현실험을 먼저 실시하였다. Fig. 2 에 나타낸 실험장치를 통하여 냉장고 도어 개폐 후 특정 위치에서 간헐적으로 나타나는 이상소음을 확인하고 또한 냉장고 내부 선반의 하중 부가조건을 달리하면서 이상소음과의 관계를 알아보았다.

특정 부분에서 발생하는 소음의 발생조건을 확인하기 위하여 Fig. 3 과 같이 5 군데 선반 (냉장실 A, B, C, 냉동실: D, E)에 순차적으로 5 kgf 의 저온물체 (냉동부하)를 올려놓고 선반의 하중 위치별로 소음발생 여부와 크기를 측정하였다. 각 위치별 측정에서 실험횟수가 반복됨에 따라 냉장고의 온도가 달라져서 결과에 영향을 주기 때문에 냉장고의 안정화 시간을 고려하여 문을 닫은 후 1 hr 가 지난 다음에 소음을 측정하였다. 실험결과

Table 2 Average number of noise occurrence

Case	Load of 5 kgf	Number of noise occurrence
case-a	on shelf-C	8
case-b	on drawer-D	0

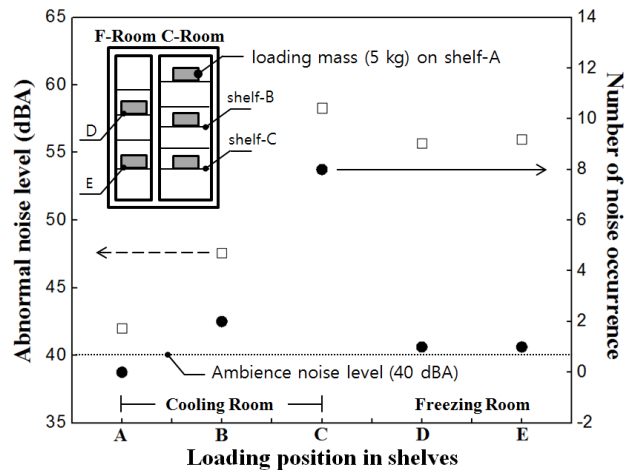


Fig. 3 Diagram of abnormal noise level and number of noise occurrence depending on each loading position: shelf-A (top position), shelf-B (middle position), shelf-C (bottom position) in a cooling room; shelf-D and -E (middle and bottom position each in a freezing room)

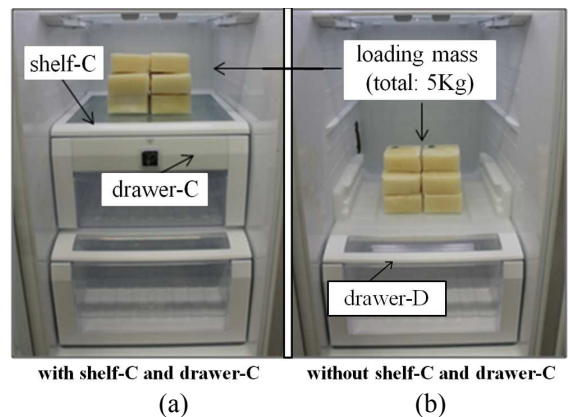


Fig. 4 Photo-images showing loading conditions: (a) loading of 5 kgf on the shelf-C (case-a), and (b) the same loads on the drawer-D (case-b)

선반-C 에 하중을 가했을 때 가장 많은 빈도수와 높은 크기의 이상소음이 발생됨을 알 수 있었다. 또한 냉동실 선반-D 와 E, 그리고 냉장실 선반-A 에 하중을 가한 경우에는 거의 이상소음이 발생되지 않음을 알 수 있었다. 본 연구결과에서 이상소음은 선반-C 부근에서 잘 발생됨을 알았다.

선반-C 부근에는 서랍형 적재공간이 있어 정확한 소음발생이 되는 부품을 찾기 위하여 간단한

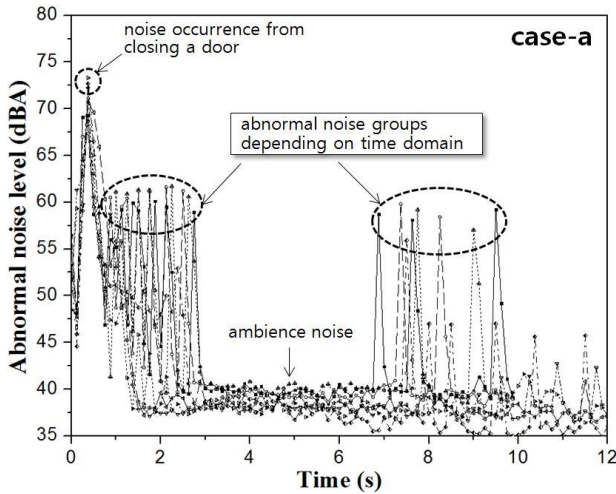


Fig. 5 Abnormal noise generation according to time domain in a case of case-a [see Fig. 4(a)]

실험을 Fig. 4 와 같이 하중 위치에 따라 두 가지 실험경우를 나타낸 것이다. 선반-C에 하중을 가하는 경우 (case-a)와 선반-C와 서랍공간-C를 제거한 뒤 서랍공간-D 위에 하중을 가한 경우 (case-b)로 나누어서 실험을 실시하였다. 두 가지 실험경우에 대하여 소음발생 횟수를 Table 2에 나타내었다. 측정결과 선반-C에 하중을 부가하였을 때 소음이 가장 빈번하게 발생하는 것을 확인하였다. 따라서 이상소음은 선반-C와 냉장고 내부케이스간의 마찰소음으로 확인되었다.

Fig. 5에서는 선반-C 위치에 하중을 부가한 조건으로 6회 반복실험을 통해서 얻은 이상 소음 시간 축으로 표기한 것이다. 전체적으로 주변 소음인 40 dBA 이상의 소음크기를 가지는 이상소음이 발생하는 시간대를 크게 나누어 두 개의 영역으로 나눌 수 있다. 이상소음의 크기는 60 dBA 인근에서 발생하였으며 냉장고 문을 닫음으로 발생하는 소음 (70 dBA 이상) 이후에 1~3 s 동안 이상소음이 잘 발생하고 이후 7~10 s 영역에서 이상소음이 발생하였다. 이렇게 두 시간대에서 발생하는 이유에 대해서는 3장에서 자세히 설명하겠지만 선반과 냉장고 내부케이스의 상대 마찰이 두 시간대에서 크게 발생됨을 예측할 수 있다. 전체적으로 실험결과로부터 소음이 연속적으로 발생하지 않고 간헐적으로 나타나는 전형적인 스틱-슬립 현상에 의한 소음으로 판단된다.

3. 상대운동 발생원인 분석

스틱-슬립 음은 접촉하는 두 물체의 상대변위 발생으로 일어나기 때문에 실제 냉장고에 이러한

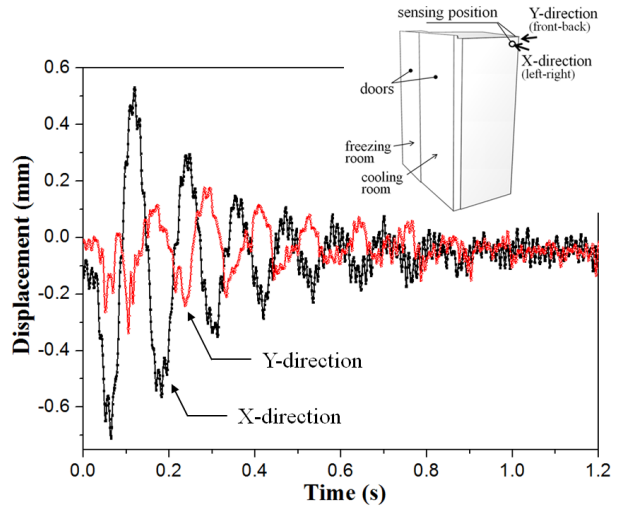


Fig. 6 Vibrating motion of a refrigerator by closing force of a door

상대변위 발생을 위한 하중이 존재해야 한다. 예상되는 원인으로서는 냉장고 문을 닫을 때 발생하는 물리적인 충격량에 의한 진동이 있다. 그리고 냉장고 문을 열고 있을 때 상대적으로 높은 실내온도가 냉장고 내부로 유입되어 냉장고 문을 닫았을 때 높아진 온도가 다시 냉각되면서 밀폐된 공간에서 공기수축이 발생하여 나타나는 음압 (negative or minus pressure)을 또 다른 원인으로 들 수 있다. 두 가지 원인에 대하여 각각 실험적으로 분석하였다.

3.1 도어 닫힘 하중에 의한 냉장고 진동측정

Fig. 6와 같이 냉장실 오른쪽 모서리 부분에 구조물로 지지하고 데이터 수집장치 (NI cDAQ-9178, National Instruments)와 레이저 변위센서 (CP24MHT80, Freecon)를 부착하여 도어를 닫을 때 그 충격량에 의해 변위가 가장 많이 발생하는 냉장고 상단부에 좌우방향 (X-direction), 전후방향 (Y-direction)으로 각각 측정을 할 수 있도록 하였다. 변위 데이터는 총 10번의 반복실험을 통하여 얻어진 값을 평균하여 구하였으며 Fig. 6에 측정결과를 정리하였다. 도어를 닫는 순간에 최대 변위가 발생하였으며 약 1 s 이후에는 거의 진동에 의한 변위는 소멸됨을 알 수 있다. 또한 변위가 전후방향 변위보다 좌우방향 변위가 더 심하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이러한 진동경향과 Fig. 5에 나타낸 이상소음 측정결과를 비교해 볼 때, 이상소음의 경우 대부분 1 s 이후 발생되므로 진동에 의한 상대변위는 거의 없다고 볼 수 있다. 따라서 상대변위의 원인은 다른 조건에 있음을 알 수 있다.

3.2 냉장고 내부음압 측정실험

냉장고 도어 개폐 후 발생하는 내부온도 급감에 따라 공기수축으로 발생하는 음압을 측정해 보았다 (실험장치: Fig. 2 참조). 실험환경은 현상재현 실험과 유사하게 실내온도 26℃ 상태에서 실시하였으며 이상소음이 잘 발생하는 조건인 선반-C에 5 kgf 하중을 부가한 상태로 하였다. 또한 냉장고 내부의 온도가 냉장고 초기설정 온도가 되도록 안정화 시간을 1 hr 로 두어서 실험을 실시하였다. Fig. 2 에 나타낸 압력 센서를 이용하여 데이터 수집장치로 입력되는 전압 데이터를 이용하여 식 (3)과 같이 압력 데이터로 변환하여 측정하였다. 5 V의 전압을 압력 센서에 공급하면 대기압과 냉장고의 내압간의 상대전압을 출력하여 데이터가 수집된다. 이를 식 (3)을 이용하여 압력 (Pa)으로 변환시켰다.

$$\text{Pressure (Pa)} = \alpha \times (\text{Voltage} - \beta) / \gamma \quad (3)$$

여기서 α, β, γ 는 각각 압력 변환계수, 기준전압, 상대 압력비와 출력전압간 보정 상수로 그 값은 순서대로 500, 0.25, 3.75 로 하였다.

Fig. 7 에 정리한 냉장실, 냉동실 압력과 온도 변화량은 시간에 따라 냉장실 문과 냉동실 문을 순차적으로 각각 3 회씩 열었다가 일정한 힘으로 문을 닫을 때 외부의 온도가 유입되면서 내부의 온도 차이에 의해 발생하는 내부압력 및 온도 변화량을 측정한 데이터이다. 모든 실험조건에서 냉장고 문을 열고 외부공기가 유입이 되도록 유지하는 시간은 3 s 로 동일하게 하였다.

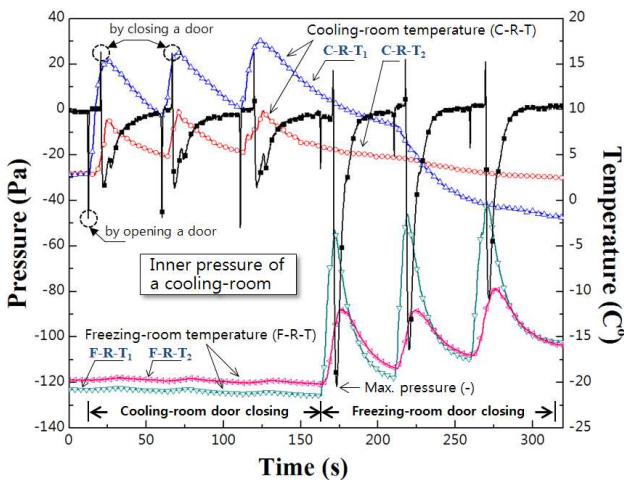


Fig. 7 Measurement of inner pressure in a cooling room and variation of temperature in the cooling room and freezing room [positions of temp. sensor (C-R-T's, F-R-T's) are defined in Fig. 2]

냉장고의 특성상 냉기 순환을 위하여 아래쪽에 냉동실과 냉장실이 서로 연결되도록 개방되어있기 때문에 양쪽에서 걸리는 음압은 동일하여 내부 압력 측정은 한쪽 벽면에서 실시하였다. 측정위치는 냉장실 중앙 위치에 구멍을 뚫어 호스를 연결하였고 음압 데이터는 대기압과 내부압력의 차이에 의하여 압력센서에서 받아지는 전압 데이터를 압력 단위로 변환하여 나타내었다. Fig. 7 에서 첫 번째 실험으로 냉장실 문을 3 회 열고 닫음으로써 나타나는 내부압력과 변화를 살펴보자. 냉장실 문을 열게 되면 냉장실 내부가 확장되는 개념이 되기 때문에 순간적으로 음압이 걸리게 된다. 이후 문을 닫게 되면 냉장실 내부 공기가 문의 닫힘 속도에 의하여 순간적으로 압축이 되기 때문에 양압력 (plus pressure)이 발생한다. 그리고 냉장실 문 개폐에 따라서는 냉동실의 온도변화는 거의 일어나지 않음을 알 수 있다. 하지만 냉장실의 온도편차는 5~10℃의 변화가 발생하였다. 이에 따라 냉장실 문을 닫았을 때 공기 수축에 의해 냉장실에 걸리는 압력의 경우에 약 -30 ~ -40 Pa 수준으로 나타났다. 3 회 냉장실 문 개폐실험에 이어서 이번에는 냉동실 문을 3 회 개폐하는 실험을 실시하였다. 냉동실 온도는 일반적으로 -20℃ 수준으로 유지하게 되는데 문을 열어 3 초간 유지하게 되면 내부 온도가 약 0℃까지 올라가게 됨을 알 수 있다. 따라서 냉동실 문의 개폐에 따라 온도편차가 20℃ 정도 발생하게 되므로 이것을 급냉시킴에 따라 음압이 크게 발생함을 알 수 있다. 이때 음압의 수준은 약 -80 ~ -120 Pa 로 나타났다. 이렇게 발생된 음압은 냉장고 공기 흡입구를 통하여 외부공기가 유입되면서 점차적으로 해소하게 된다. 해소되는 시간은 약 25 ~ 27 s 범위에 있으며 이후에는 대기압과 동일한 상태로 돌아오게 된다.

결과적으로 냉장실 문의 개폐 보다는 냉동실 문의 개폐시에 냉동실의 낮은 온도와 상대적으로 높은 외부 온도와의 높은 온도 차이에 의해서 음압이 크게 작용하고 안정화시간 또한 빠른 것으로 보아 음압 변화량이 큰 것을 알 수 있다. 이로 인해 발생하는 공기 수축에 의해서 밀폐된 내부의 구조가 변형을 일으키며 부재간의 상대 마찰음이 발생하는 것으로 판단된다. 이를 검증하기 위하여 Fig. 2 와 같이 냉장실 오른쪽 벽면에 소음측정기를 설치하여 Fig. 7 에서 내부음압 및 온도 측정 실험을 할 때 소음측정을 동시에 실시하였다.

실험은 시간 축을 기준으로 동일한 데이터 수집 주파수 (8 Hz)로 데이터를 수집하였다. Fig. 8(a)와

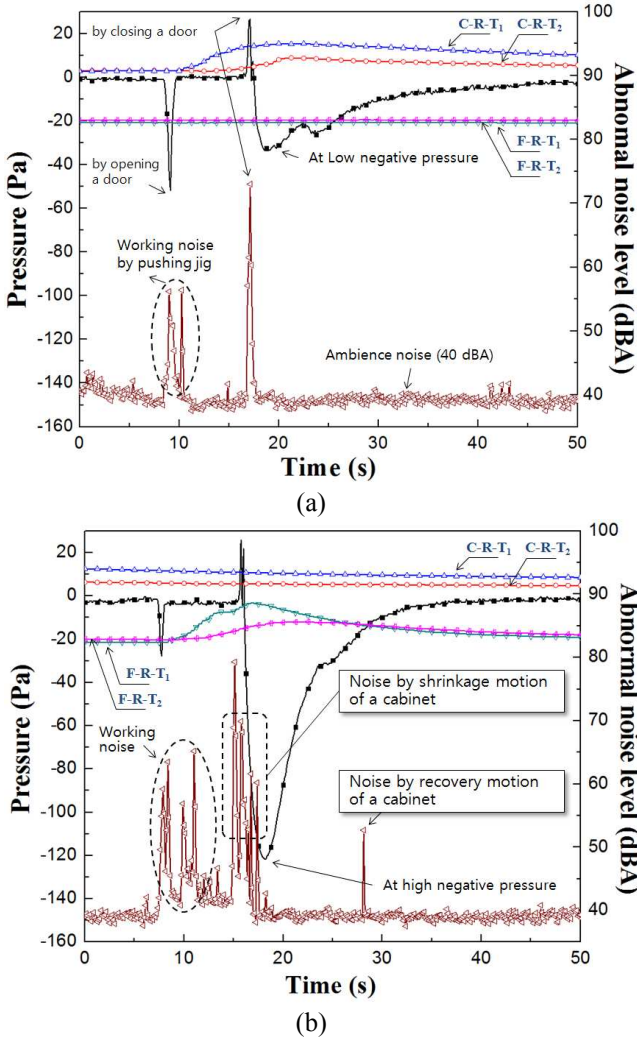


Fig. 8 Variation of negative pressure, friction induced abnormal noise, and temperature; (a) in case of a cooling-room door open/close, and (b) in case of a freezing-room door open/close

8(b)는 각각 냉장실 도어를 닫을 때와 냉동실 도어를 닫을 때 시간변화에 따른 내부 압력과 온도 변화, 그리고 소음을 측정된 데이터이다. 냉장실 도어를 닫을 때 외부온도와 내부온도와의 온도 차이가 상대적으로 작기 때문에 낮은 음압이 작용하면서 문을 닫고 난 이후에는 소음이 발생하지 않는 것을 알 수 있다. 반면에 Fig. 8(b)에서는 외부의 온도와 내부의 온도 차이가 상대적으로 높게 나타나면서 문을 닫은 후에 공기의 수축에 의해서 높은 음압이 작용하고 이로 인하여 냉장고 캐비닛이 변형하게 되어 선반과 상대운동이 발생하여 이상소음이 잘 발생함을 알 수 있다. 이후 음압이 회복되는 동안 (약 25 s)에서도 외부공기의 유입으로 천천히 회복이 되지만 선반과의 마찰음이 발생함을 알 수 있다. 이러한 회복시의 이상소음 발생

은 실험할 때마다 항상 일정하지는 않았다. 그 이유는 외부 공기유입 속도가 일정하지 않을 수도 있으며, 선반과 캐비닛의 회복속도 차이와 접촉조건에 따라서 마찰음이 다르게 발생되기 때문이다. 전반적으로 냉장고 문을 닫고 난 직후부터 음압이 최대에 걸리는 시점까지 도달하는 시간이 약 1~2 s 수준이며 이때 캐비닛의 순간적인 수축으로 선반과의 마찰음이 잘 발생됨을 실험적으로 입증하였다.

4. 결과토의

냉장고에서 발생하는 간헐적인 이상소음을 분석하기 위해서 발생 위치 및 경향을 파악하였고 냉장고 도어 개폐 후 발생하는 냉장고 물리적 거동량 측정과 음압발생에 따른 내부 마찰음의 발생메커니즘을 다음과 같이 정리하였다.

(1) 이상소음 발생조건 및 위치는 냉장실 선반-C 위치에서 반복적으로 이상소음 발생 유무가 가장 많았으며 구조특성상 선반과 냉장고 내부케이스의 상대 마찰에 의한 전형적인 스틱-슬립 음이다. 또한 하중이 집중될 때 부품간 마찰이 선반-C 위치에서 가장 많이 일어나기 때문이다. 이러한 것은 선반-C의 체결구조나 결합공차와도 연관이 있으며 향후 이러한 부분에 대한 추가연구도 필요할 것으로 사료된다.

(2) 냉장고 거동측정은 냉장고 도어를 일정한 힘 (4 kgf)으로 개폐 시 발생하는 변형을 측정할 결과 도어를 닫는 순간에 최대 변위가 발생하였으며 변형이 전후방향 변형보다 좌우방향 변형이 더 심하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 또한 약 1 s 이후에는 거의 진동에 의한 변형은 소멸됨을 알 수 있다. 따라서 이상소음의 경우 대부분 1 s 이후 발생되므로 진동에 의한 상대 변형은 거의 없다고 볼 수 있다.

(3) 냉장고 도어 개폐 후 발생하는 내부온도 급감에 따라 공기수축으로 발생하는 음압에 따른 소음을 측정된 결과 상대적으로 음압이 크게 발생하는 조건에서 소음이 많이 발생하는 것을 확인할 수 있었고 음압이 상승하는 영역과 해소되면서 하강하는 영역으로 나뉘어 소음이 발생하는 것을 확인하였다.

5. 결론

냉장고의 도어 개폐 시 발생하는 이상소음은 특정 선반위치와 부재간의 마찰로 인한 스틱-슬립

현상에 의하여 발생되며 스틱-슬립 현상은 냉장고 도어 개폐 시 발생하는 외부와 내부의 온도 차이에 의해 밀폐된 내부 구조물에서 공기 수축이 일어나면서 일시적으로 캐비닛 내부에 음압이 형성되고, 이러한 음압에 의해 선반과 내부구조물간의 상대 변위에 의한 것이다. 본 연구에서는 실험적으로 이상소음 발생 원인을 검증하였고 냉장고 도어 개폐 시 발생하는 이상소음에 관한 원인을 분석하였다. 향후 음압 발생 요소들의 상관관계를 해석적 방법을 이용한 캐비닛 구조물의 변형량과 실험적으로 구한 변형량을 비교하고 케이스 변형에 의한 이상소음 발생을 체계적으로 검증하는 것이 필요하다. 또한, 재질간의 소재 마찰 및 친화성 실험을 통하여 재료간의 스틱-슬립에 영향을 끼치는 요인을 추가적으로 연구할 필요가 있을 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 LG 전자 연구비 지원에 의하여 수행되었으며 관계자 여러분께 감사드립니다. 또한 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 해외우수연구기관유치사업(No.K20701002274-12E0100-05710) 연구성과 임을 밝힙니다.

참고문헌

(1) Joo, J. M, Kim, J. R and Lee. D. H, 2001, "Measurement and Control of Abnormal Sound for Refrigerator," *Proc. of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Conf.*, pp. 380~384.
 (2) Joo, J. M, Lee, J. W, Lee, J. W, Jeoung, J. K and Kim, Y. T, 2005, "Development of the Ultra-Silence

Refrigerator with Considering Consumer's Hearing," *Proc. of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Conf.*, pp. 435~438.
 (3) Choi, S. W, Hwang, W. G, Im, Y. S, Kim, H. E. and Kim, S. S, 2004, " A Study on Reduction Refrigerant Noise in Household Refrigerator," *Proc. of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Conf.*, pp. 1062~1066.
 (4) Lee, C. H, Jeong, J. H. and Jeon, J. Y, 2004, " Evaluation of Indoor Refrigerator Noise in Steady-State Condition," *Proc. of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering Conf.*, pp. 790~796.
 (5) Lampugnani, G, 1994, "Compressor Noise Reduction on a Refrigerator" *Int. Compressor Engineering Conf.*, pp. 753~760.
 (6) Takushima, A., Shinobu, Y., Tanaka, S., Eguchi, M. and Matsuki, K., 1992, "Fan Noise Reduction of Household Refrigerator," *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. 28, No. 2, pp. 287~292.
 (7) Berman, A. D., Ducker, W. A. and Israelachvili, J. N., 1996, "Origin and Characterization of Different Stick-Slip Friction Mechanisms," *Langmuir*, Vol. 12, pp. 4559~4563.
 (8) Pyo, J. H., 2005, "Reduction of Frictional Impulse Noise Induced by Thermomechanical Deformations in TV Sets" Thesis, KAIST, pp. 5~15.
 (9) Dieterich, J. H., 1978, "Time-Dependent Friction and the Mechanics of Stick-Slip," *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 116, pp. 790~806.
 (10) Kim, S. C. and Kim, S. H., 2001, "Stick-slip Friction Modeling and Performance Comparison of a Precise Linear Actuator," *J. of KSPE*, Vol. 18, No. 4, pp. 64~71.
 (11) Park, D. I, 2005, "A Study on Correlation Between Noise Caused by Stick-slip and Friction Characteristics," Thesis, KAIST, pp. 136.