

압축기소음과 냉장고소음의 관계 규명 (압축기 정음화에 의한 냉장고 정음화)

유원희*, 백충국*, 송진환*

The search for relations between compressor noise and refrigerator noise

Wonhee You, Chunguk Baek, Jinhwan Song

ABSTRACT

Noise radiated from refrigerator is mainly decided by compressor noise. If the compressor is silent then the refrigerator could be silent. But in some case this tendency is not true. Because there is uncertain relations between compressor noise and refrigerator noise. And the refrigerator noise is affected by the cycle-matching in the refrigerating system using compressor. In this research it was studied that the compressor noise which didn't affect some refrigerator models could affect other refrigerator models. The methods which could reduce the refrigerator noise was studied and ultimately the methods which could change the characteristics of compressor noise was presented.

1. 서론

냉장고의 소음원에는 여러 가지가 있다. 압축기에 의한 소음, 압축기 냉각팬에 의한 소음, 냉동실/냉장실 팬에 의한 소음, 냉매 유동에 의한 소음, 압축기의 진동 또는 팬모타의 진동에 의해 냉장고 부품이 떨어져 발생하는 소음 등이 그것이다. 그 중에서도 압축기의 소음은 냉장고 소음의 전부를 차지한다고 해도 과언이 아닐 정도로 냉장고 소음에 있어서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다.

일반적으로 압축기의 소음과 냉장고의 소음은 선형적인 관계를 가지고 있다고 볼 수 있다. 그러나 때로는 이러한 관계가 전혀 반대로 나올 수도 있다. 즉, 같은 모델의 압축기가 어떤 냉장고 모델에서는 조용하게 작동하지만 어떤 냉장고 모델에서는 매우 시끄럽게 작동하는 경우도 자주 발생되기 때문에 종종 소비자불만의 대상이 되기도 한다. 이러한 현상은 압축기를 사용하는 냉각 시스템에서의 Cycle-

Matching과 어느정도 관계가 있기 때문인 것으로 판단되고 있다. 특히 1kHz 이하의 저주파수 대역에서는 소음의 원인이 압축기에 있는 지 또는 냉장고 부품에 있는 지 그 원인을 알 수 없는 경우가 많이 있다.

따라서, 본 연구에서는 1kHz 이하의 저주파수 대역 소음에 대하여 그 감소대책을 검토를 하였으며 궁극적으로는 압축기 내부에서의 소음감소대책을 통하여 냉장고소음을 감소시키고자 하였다.

2. 냉장고의 소음발생현상 및 기계실소음

냉장고의 측정은 문이 있는 면을 전면으로 할 때 사방 4면에 대하여 무향실내에서 실시된다. 전면 소음은 사용자에게 직접적으로 인지되는 것으로서 매우 중요시되며, 측면소음 또한 냉장고 설치방법에 따라 사용자에게 큰 영향을 줄 수 있다. 그러나 무엇보다 중요한 것은 후면에서 발생하는 소음이다. 그것은 후면에 팬과 압축기가 있기 때문이다. 이 후

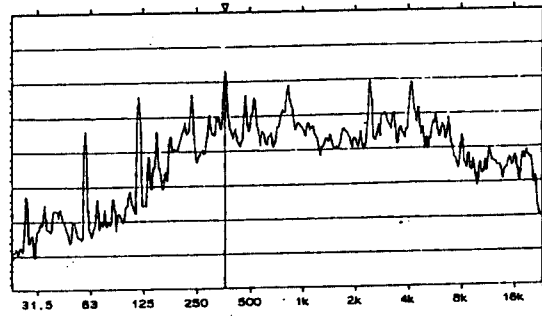
* 삼성전자(주) 냉장고개발팀

면소음중에서 냉장/냉동실 팬소음은 냉장고가 설치된 곳의 후면, 측면 및 상부공간를 통하여 사용자에게 전달될 수 있으며, 압축기소음은 하부와 측면공간을 통하여 사용자에게 전달될 수 있다.

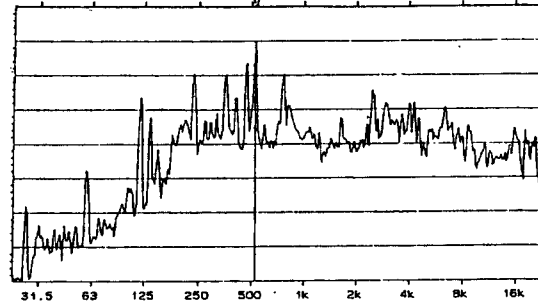
특히 냉장고 후면소음은 전면소음에 비하여 매우 높기 때문에 이 소음이 벽이나 바닥 천장등에 반사되어 사용자에게 전달될 때는 설치방법에 따라 어느정도 문제를 야기시킬 수 있다. 즉 전면소음은 물론 측면소음 및 후면소음이 낮아야만 냉장고가 조용하다고 말할 수 있는 것이다.

이와함께 냉장고소음은 후면소음이 낮아지면 측면소음은 물론 전면소음도 낮아지는 경향을 보이고 있기 때문에 후면소음을 낮추는 것이 저소음냉장고 개발에 있어서 필수적인 일이다. 후면소음을 낮추기 위해서는 냉동/냉장실 팬소음 및 냉매유동소음등을 낮추는 것도 중요하지만 가장 중요한 것은 압축기에서 발생하는 소음을 낮추는 일이다. 그러나 앞서 언급한 대로 압축기가 조용하고 Cycle-Matching이 제대로 이루어졌다고 하더라도 냉장고 작동중의 어떤 불확실한 원인으로 인하여 압축기 단품의 소음보다 훨씬 높은 소음이 냉장고에서 발생하기도 하는 것이다. 따라서 압축기의 소음은 단품에서는 물론 냉장고 적용시에도 필수적으로 검토되어야 한다. 본 연구에서는 이러한 사항에 중점을 두고 냉장고의 저소음화를 수행하였다.

냉장고에 있어서 기계실이라 함은 압축기와 압축기 냉각팬이 설치된 공간으로서 냉장고소음의 주된 원인이 되는 곳이다. 기계실 소음은 냉장고후면 기계실의 중심위치에서부터 얼마간 떨어진 위치에 마이크로폰을 설치하고 냉기동부터 그 특성 및 수준을 측정한다. 여기서 냉기동이라 함은 냉장고가 생산되어 거주공간에 설치된 후 처음 작동하는 상태를 말한다. Fig. 1(a)는 냉기동후 정상상태(안정된 상태)에서의 전형적인 냉장고 기계실 소음을 보여주고 있으며 Fig. 1(b)는 높은 소음수준을 나타내는 냉장고의 기계실 소음수준을 보여주고 있다. 정상적인 냉장고에 비하여 정상상태에서의 소음이 약 3dB 이상 높게 형성되어 있고, 특히 520Hz 성분이 피크값을 보이며 비정상적인 소음특성을 나타낼 수 있다. 이 성분의 방향성을 검토하기 위하여 냉장고 좌측 및 우측에서의 소음을 측정된 결과 Table 1과 같이 냉장고 좌우측으로의 심각한 방향성을 확인할 수 있었다. 이 소음은 소음규격을 초과함은 물론 시장



(a) 정상적인 냉장고의 기계실소음



(b) 비정상적인 냉장고의 기계실소음

Fig. 1 냉장고 기계실소음

Table 1. 비정상적인 냉장고소음의 방향성 (dBA)

Point	Front	Right	Left	Back
Overall	26	38.5	39	41
520Hz	24	37	38	36

(이 데이터는 측정조건에 따라 변동될 수 있음)

에 출품시 사용자불만의 대상이 됨은 명백한 일이다.

한편, 이 520Hz 성분의 소음은 압축기 작동주파수의 9배되는 성분임을 알 수 있으며, 대체로 그원인이 압축기내에 있음이 여러 연구결과 및 실험에 의해 확인되고 있다. 실제 본 연구의 대상이 된 냉장고에 있어서도 그 원인이 압축기에 있음이 많은 실험을 통하여 확인되었다.

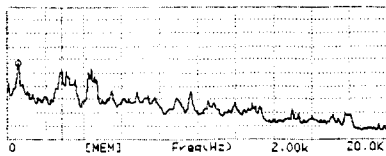
3. 압축기 소음의 특성

냉장고에서 보여주고 있는 520Hz 성분의 소음이 압

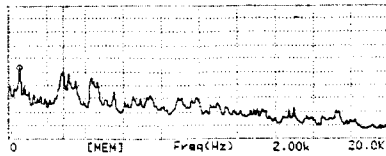
축기에서 어떻게 형성되고 있는가를 살펴보기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다.

3.1 압축기 단품 작동시 소음시험

압축기 단품시험은 Calorie-Meter 에 연결된 상태에서 ASHRAE 조건에 따라 실시된다. 그러나 압축기가 냉장고에 탑재되어 작동할 때는 ASHRAE 조건으로 작동하는 것이 아니기 때문에 Calorie-Meter가 연결된 상태에서 냉장고상태를 시뮬레이션해야 할 필요성이 있다. 실제로 Fig. 2의 (a)와 (b)는 ASHRAE 조건과 냉장고 유사조건에서의 압축기 소음변화 및 정상상태의 압축기 소음 스펙트럼을 보여주고 있다.



(a) ASHRAE 조건에서의 압축기소음



(b) 냉장고조건에서의 압축기소음

Fig. 2 압축기소음

이들로부터 520Hz 성분의 소음은 ASHRAE 조건은 물론 냉장고조건에서도 잘 나타나고 있음을 알 수 있으며, 이러한 사실로부터 냉장고에 탑재된 압축기의 소음문제를 검토해 보기 위해서는 ASHRAE 조건만으로도 어느정도 충분함을 알 수 있다. 이렇게 부하(온도 및 압력)가 바뀌어도 많이 변하지 않고 나타나는 520Hz 성분의 소음은 일반적으로 부품의 공진 및 작동상태와 관계가 있다. 이러한 현상이 어떤 부품 또는 어떤 상태로부터 기인되는가를 파악하기 위하여 다음의 실험들을 수행하였다.

3.2 압축기셀 내부 기주공명

압축기 내부의 기주공명주파수는 압축기 작동상태에서는 직접적인 실험을 통하여 얻기가 매우 어렵기 때문에 공기중에서 측정하여 압축기 작동상태로 환산하여 얻는다. 이 때 압축기셀 내부의 공간에 존재하는 냉매가스는 이상기체로서 단열과정을 따른다.

(1) 이러한 단열과정을 따르는 가스에서의 소리의 속

도는 다음 식과 같이 표현된다. (2)

$$c = \sqrt{\gamma P_0 / \rho_0} \quad (1)$$

여기서 c 는 소리의 속도, γ 는 비열비, P_0 는 밀도 ρ_0 일 때의 가스의 압력이다. 이를 근거로 공기중에서 측정되어 환산된 압축기 작동시의 압축기셀 내부 공간의 기주공명 주파수 및 문제시되는 520Hz의 2차 음향 모우드형상은 Table 2 및 Fig. 3과 같다.

Table 2. 압축기셀 내부 기주공명주파수 (Hz)

Mode	1st	2nd	3rd
in Air	824	1120	1470
R12	387	530	697

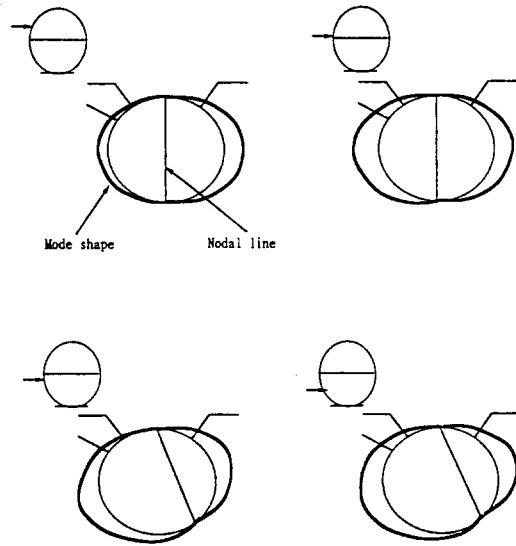


Fig. 3 압축기셀 내부 520Hz 음향모우드 형상

이 Table 2 와 Fig. 3 으로부터 520Hz 대역의 2차 기주공명주파수가 명백히 나타나고 있으며 그 방향성 또한 냉장고에 설치되었을 때와 동일하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

3.3 각 부품별 고유진동수 시험

상기한 압축기셀 내부 기주공명주파수 성분이 압축기소음에 영향을 주기 위해서는 압축기 내부 부품의

진동 또는 밸브충격음 차단 불충분등의 압축기셀 내부 음향모드 가진원이 있어야 할 것이다. 본 연구에서는 이러한 기주공명가진원을 찾아내기 위하여 압축기 내부 각 부품의 고유진동수를 측정하였다.

Fig. 4의 (a), (b), (c) 는 각각 부품 A, 부품 B 및 부품 C의 대표적인 주파수응답함수를 보여주고 있다. 이 그림들로부터 520Hz의 기주공명주파수 가진원은 부품 A, 부품 B 및 부품 C 등 여러 부품에 공통으로 존재함을 알 수 있다. 특히 부품 A의 경우 520Hz 성분은 2차 기주공명주파수의 음향모드 형상과 동일한 방향으로 가진되고 있음을 알 수 있다. 한편, 부품 B의 경우 흡입밸브에서 압축기 셀내부 공간으로 방사되는 충격음을 줄이기 위하여 약 500Hz 부위에서의 전달손실값이 최대가 되도록 설계되었으나 반면 520Hz의 고유진동수를 갖고 있기 때문에 소음차단 성능이 반감되고 있음을 알 수 있다. 부품 C의 경우는 520Hz의 성분 일부분에서 나타나고 있는 국부 진동모우드로서 520Hz 소음성분의 원인이 될 가능성이 있다.

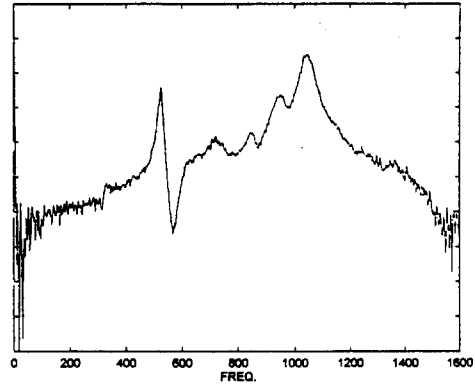
4. 압축기 소음특성의 변경

앞에서 언급한 바와 같이 520Hz 압축기 소음성분의 원인은 부품 A의 공진, 부품 B의 공진 및 부품 C의 공진등에 의한 압축기셀 내부의 기주공명이다. 따라서 이러한 4 가지 원인을 모두 변경시키는 것이 바람직하나 대량생산 단계에서 변경시키는 것은 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 우선 520Hz 소음성분의 가장 직접적인 원인이라 할 수 있는 압축기 셀 내부의 기주공명을 변화시키고자 하였으며 또한 부품 A의 구조변경을 통하여 고유진동수를 변화시키고자 하였다. 그 결과 압축기셀내부 기주공명주파수는 Table 3 와 같이 변경되었고 부품 A의 고유진동수는 Fig. 5와 같이 변경되었다.

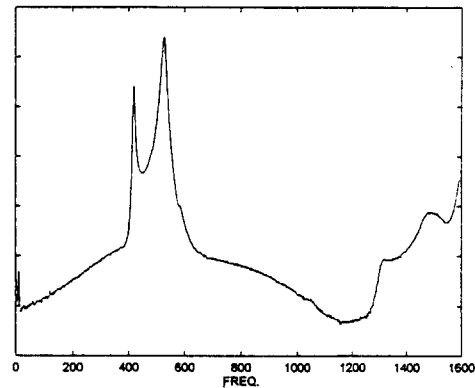
압축기셀내부 기주공명주파수와 부품 A의 고유진동수가 변화된 압축기의 소음 스펙트럼은 Fig. 6과 같다. 이로부터 520Hz 성분의 소음이 많이 감소되어 있음을 알 수 있다.

5. 냉장고 소음특성의 변화

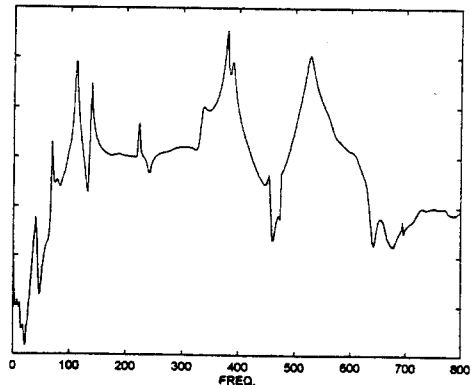
이렇게 재설계된 압축기를 냉장고에 탑재하여 소음특성 및 그 수준을 측정해 본 결과 Fig. 7 및 Table 4와 같다. 전면소음은 약 1.5dB, 측면소음은 약 2.5dB, 후면소음은 약 2dB 감소되었음을 알 수



(a) 부품 A의 주파수응답함수



(b) 부품 B의 주파수응답함수



(c) 부품 C의 주파수응답함수

Fig. 4 압축기 각 요소의 주파수응답함수

Table 3. 변경된 압축기셀 내부 기주공명주파수 (Hz)

Mode	1st	2nd	3rd
in Air	852	1040	1480
R12	403	492	700

Table 4. 정음화 냉장고의 방향별 소음수준 (dBA)

Point	Front	Right	Left	Back
Before	26	38.5	39	41
After	24.5	36	36	39

(이 데이터는 측정조건에 따라 변동될 수 있음)

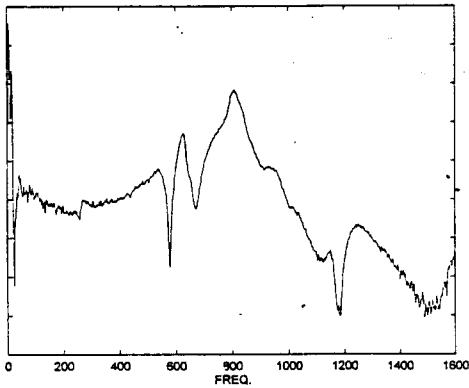


Fig. 5 변경된 부품 A의 주파수응답함수

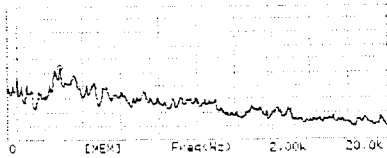


Fig. 6 재설계된 압축기의 소음스펙트럼

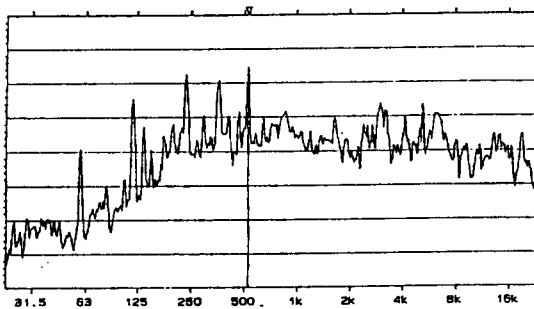


Fig. 7 재설계된 압축기 적용시의 냉장고 기계실소음

있다. 이로부터 본 연구를 통해 수행된 압축기 및 냉장고의 저소음화는 비교적 성공적임을 알 수 있다.

6. 결론

냉장고의 소음은 대체로 냉장고 자체에서 그 저감 대책을 세울 수 있으나 소음의 원인이 불명확하고 해결대책이 없는 경우 압축기에서 그원인을 찾아야 할 것이며, 압축기에서 마련된 소음감소대책은 냉장고의 소음감소에 많은 영향을 줄 것이다.

참고문헌

- (1) Werner Seodel, Design and Mechanics of Compressor Valves, Purdue Univ., 1984.
- (2) Lawrence E. Kinsler, etc., Fundamentals of Acoustics, John Wiley & Sons, 1982.