

논문 2016-53-10-14

슬림 스피커 진동판의 분할진동 모드와 열전달 관계 분석을 통한 진동 패턴 예측

(Vibration Pattern Prediction through The Analysis on the Break-up Mode and the Heat Transfer Relationship of Slim Speaker Diaphragm)

김 현 갑*, 김 희 식**

(Hyun-Kab Kim[Ⓢ] and Hiesik Kim)

요 약

이 논문에서는 레이저를 통한 진동판 스캔과 열화상 카메라를 사용한 진동판 촬영, 두 가지 방법을 비교하며 슬림 스피커의 분할 진동을 검출하는 방법에 대해 살펴본다. 슬림 스피커는 평판형의 구조적인 특성상 분할진동이 두드러지게 나타나고, 설치되는 공간이 좁아 무빙 코일에서 발생하는 열의 냉각이 제한적이다. 이런 특성으로 인해 슬림 스피커에서 분할진동이 제품의 품질에 큰 영향을 미친다. 본 연구에서는 진동판에서 일어나는 분할진동의 영향과 무빙 코일에 의한 진동판의 열전달 관계를 비교 탐색한다. 비교를 위한 실험은 분할진동 모드의 측정과 진동판의 열 변화 측정을 진동판 스캔과 열화상 카메라 촬영의 2 단계의 실험으로 진행한다. 동일 주파수에서 발생하는 분할진동 모드와 열전달 형태를 비교하여 서로 간에 어떤 영향을 미치고 있는 지 파악할 수 있다. 그리고 이를 통해 발견한 연관성을 통해 쉽게 촬영할 수 있는 열화상만으로도 슬림 스피커가 가지는 분할진동의 형태와 경향성을 빠르게 파악하여 최적 설계에 도움이 되는 자료로 사용할 수 있을 것이다.

Abstract

In this paper, In this paper, we use two methods to compare the slim speakers. That way, the diaphragm scan using laser and diaphragm photographed using a thermal imaging camera. Slim speaker has the structure of a flat plate type. Break-up mode by this characteristic is displayed in a larger size. Further, since the installation space is narrow, it has limited moving coil cooling. As a result, the break-up mode slim speakers, a significant impact on quality. In this study, try to connect the break-up mode of the diaphragm, the heat transfer mode of the diaphragm. Experiment for comparison, a two-step. The first step is to measure the divided vibration through the vibration plate scan. The second step measures the diaphragm photographed using a thermal imaging camera. Then, compare the results of both of the same frequency. Thus, comparing the heat transfer pattern and the pattern of break-up mode. Tend to be analysis of break-up mode from the pattern comparison, and document for the optimum design.

Keywords : Speaker, Vibration Pattern, Break-up Mode, Thermal Analysis

I. 서 론

디스플레이 기술의 발전에 힘입어 TV, 모니터, 노트북 등의 제품은 박형의 디스플레이를 가지고 되고, 이

*정 회원, 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과

(Department of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul)

**정 회원, 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과

(Department of Electrical and Computer Engineering, University of Seoul)

Ⓢ Corresponding Author (E-mail : hyunkab@keti.re.kr)

Received ; June 19, 2016

Revised ; July 16, 2016

Accepted ; September 28, 2016

에 따라서 제품에 포함된 스피커도 점점 슬림해지고 있다. 슬림 스피커는 구동부의 깊이가 얇아 서스펜션 구조가 취약하고 평판형의 진동판 형태로 인해 강성 확보가 어려워 분할진동에 대한 영향과 내부의 열 변화의 영향을 크게 받는다. 분할진동이란 무빙 코일을 사용한 스피커에서는 정도의 차이가 있지만, 기본적으로 발생하는 현상이다. 진동판이 동일한 움직임을 가지지 못하고, 물리적 위치에 따라 다른 움직임을 보이는 것을 말한다. 이는 진동판의 물성과 기하구조, 두 가지 요인에 영향을 받는다.^[1] 진동판의 물성이란 소재가 가진 물리적인 성질을 의미하여, 기하구조는 진동판의 형태 및 기계적

인 댐핑 구조를 말한다. 분할진동은 고품질 음향재생에 있어서 중요한 주파수 지점에서 음압 감소를 발생시킬 뿐만 아니라, 비선형적인 운동으로 인한 제품의 내구성 감소에도 영향을 미치는 중요한 요소다. 때문에 분할진동을 예측하고 측정하기 위한 기술의 적용이 반드시 필요하다.

이 논문에서는 분할진동을 쉽게 예측할 수 있는 방법에 대해서 알아본다. 1단계 실험으로 슬림 스피커의 진동판을 레이저로 스캔하여 특정 주파수에서 발생하는 분할진동 모드를 파악하고, 2단계 실험에서 특정 주파수에서 시료를 열화상 카메라로 촬영하여 레이저 스캔 결과와 비교하여 상관관계를 살펴본다.

II. 본 론

1. 실험 시료 및 조건

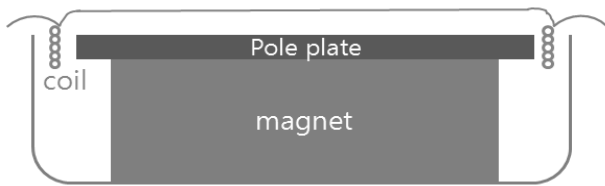


그림 1. 슬림 스피커 구조도
Fig. 1. Slim Speaker Structure.

슬림 스피커는 그림 1. 과 같이 무빙 코일의 얇은 구동 깊이와 평판형 진동판을 가진 스피커를 의미한다. 콘 형태의 스피커의 경우 무빙 코일에 연결된 스파이더라고 불리는 댐퍼가 기계적인 지지구조를 형성한다. 스피커는 진동판의 복원 및 지지를 위한 힘을 기계적인 구조를 통해서 제공받아 스피커 전체의 유연성을 결정하는데, 스파이더가 대략 80%에 가깝게 기여하며, 진동판을 잡아주는 에지 부분은 20% 정도에 그친다.^[2]

슬림 스피커는 일반적인 콘 형태의 스피커 스피커와 달리 내부에 기계적인 지지 구조가 존재하지 않거나 취약하여 안정적인 댐핑을 확보하기 어렵다. 또한 진동판의 형태가 평면적이기 때문에 무빙 코일의 수직적인 구동에 대한 힘의 전달이 비선형적이 되기 쉽다.

실험을 위해 박형의 TV에 사용되는 시료와 포터블 기기에 사용되는 시료 2종을 준비하였다. 두 시료 모두 밀폐되지 않은 유닛 상태이다. 스피커의 유닛을 단독으로 측정하게 되면, 공기의 리액턴스에 대한 반발력으로

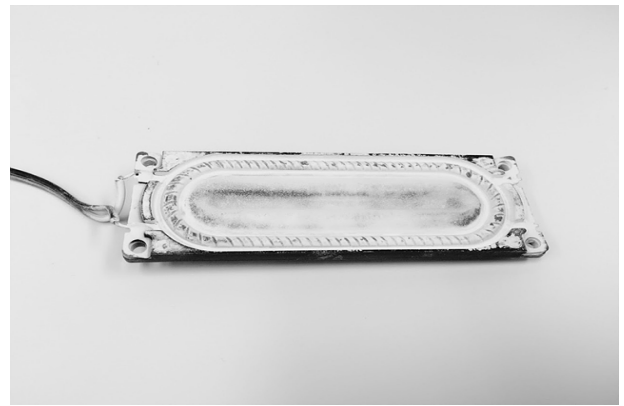


그림 2. 슬림 스피커 시료 A
Fig. 2. Slim Speaker Sample.

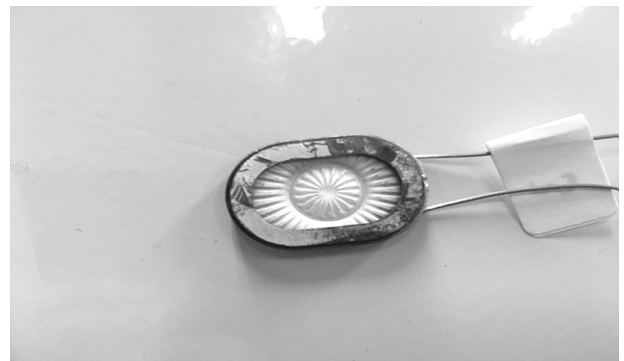


그림 3. 슬림 스피커 시료 B
Fig. 3. Slim Speaker Sample.

저주파수의 대부분이 제대로 전달되지 못하는 어쿠스틱 쇼트가 발생한다. 이 경우 유닛의 재생 주파수 응답 대역이 나타나지 않으나, 본 논문에서는 주파수 특성에 대한 변별이 필요하지 않기 때문에 어쿠스틱 쇼트를 막기 위한 배플(Baffle)은 사용하지 않는다.

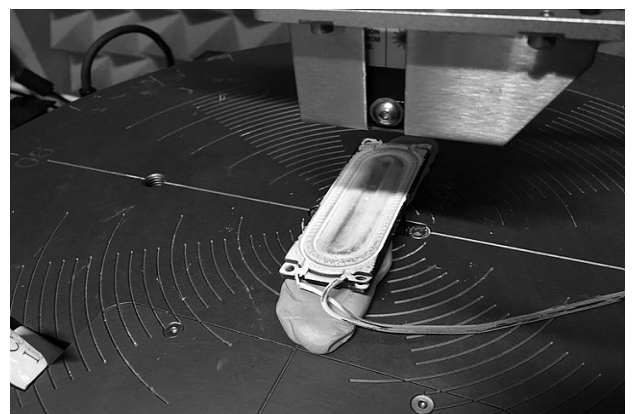


그림 4. 진동판 스캔 준비 상태
Fig. 4. Ready to Scan Diaphragm.

레이저 스캔은 KLIPPEL R&D SYSTEM을 사용하여 진동판의 전 범위를 동일한 조건에서 측정하였다. 레이저의 반사를 위해 극소량의 질량을 가지는 흰색의 초크 파우더를 진동판에 도포하였다.



그림 5. 열화상 촬영 준비 상태
Fig. 5. Ready to Thermal Imaging shooting.

열화상 촬영은 FLIR E50을 사용하였으며, 신호 발생기를 사용하여 신호를 시료에 직접 인가한다. 모든 실험마다 10분 이상 완전히 냉각 시킨 후 촬영을 진행하였으며, 시료의 위치는 동일하다.

2. 실험 방법

본 논문에서는 레이저를 사용한 진동판 스캔과 열화상 카메라를 사용한 진동판 촬영 두 가지 방법의 실험을 단계적으로 실행한다. 각 단계에 따른 실험 구성도는 아래와 같다.

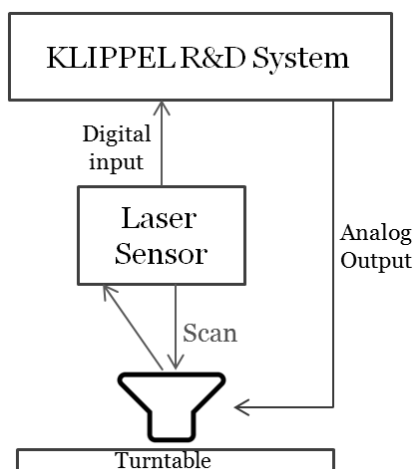


그림 6. 1단계 실험 구성도
Fig. 6. Step 1, Configuration of experimental system.

레이저를 통한 스캔은 고정밀 레이저 센서를 사용하여 변위와 형태를 측정한다. 레이저의 특성을 이용한 Holography Interferometry, Speckle Interferometry 등의 기술은 급격한 발전을 하고 있으며, 최근의 컴퓨터 기술의 발전은 기존의 복잡한 처리과정을 용이하게 하면서 실시간 계측도 가능하게 하였다.^[3] 여기에서는 KLIPPEL R&D SYSTEM을 사용하여 시료의 Acceleration level과 Sound pressure level의 주파수 응답에 따른 진동 모드를 1단계로 산출한다.

Acceleration Level은 실제로 무빙 코일이 변위를 가지고 움직이는 정도를 나타내는 것이며, Sound pressure level은 코일의 움직임에 의해 실제로 발생하는 음압을 표시한다.

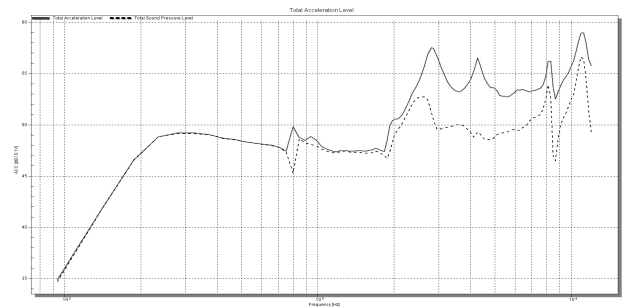


그림 7. Acceleration Level과 Sound Pressure Level의 주파수 응답
Fig. 7. Frequency Response of Acceleration Level and Sound Pressure Level

그림 7. 은 시료 A의 주파수 응답 특성에 대한 Acceleration Level과 Sound Pressure Level의 차이를 나타낸 그래프이다. 진동 모드에 따라 무빙 코일의 운동성과 진동판에서 변환되는 음압의 차이를 주파수 응답에 대하여 나타내 준다. 이러한 방법은 측정된 진동 데이터를 사용하여 진동 모드와 음압과의 관계를 모델링을 통해 나타낼 수 있다.^[4]

실제 음압과 운동성을 산출하기 위한 모델 식은 아래와 같다.

Acceleration Level

$$L_a = 20 \log \left(\frac{\omega^2 \rho_0}{p_0 2\pi s} \int \frac{|x_n(r_i)|}{|r_o - r_i|} dS_i \right) \quad (1)$$

Sound Pressure Level

$$SPL(r_o) = 20 \log \left(\frac{p(\omega)}{p_o} \right) \text{ with} \tag{2}$$

$$p(\omega) = \frac{\omega^2 \rho_0}{2\pi} \int_s \frac{x_n(r_i)}{|r_o - r_i|} e^{-jk|r_o - r_i|} dS_i$$

열화상 카메라를 통한 실험은 1단계에서 산출한 진동 모드에 대한 진동판 스캔 결과에 따라 주파수를 결정한다. 저주파수 대역의 강체 진동 모드와 고주파수의 분할 진동 모드 2개를 설정하여, 각 주파수 별로 열화상을 촬영한다. 열화상 촬영은 촬영되는 온도 자체 보다는 진동판에 분포되는 열전도 차이를 살펴봄으로써 고주파수의 분할 진동 모드가 발생하는 영역과의 상관관계를 연결해 볼 수 있다. 실험은 시료 A, B를 모두 진행하되, 시험 결과는 시료 A를 중심으로 나타낼 것이며, 시료 B의 결과는 추가 보장을 위한 자료로 사용된다.

3. 실험 결과

가. 진동판 스캔 결과

1단계 실험인 진동판 스캔 완료 후 그림 7. 을 참조하여 시료 A의 운동성과 음압의 차이가 작은 강체 진동 구간의 609 Hz 와 운동성과 음압의 차이가 큰 분할 진동 구간인 3 kHz 와 8 kHz 의 결과를 산출하였다. 진동을 나타내는 그림에서 붉은색 부분과 파란색 부분은 서로 반대 방향의 움직임을 나타낸다.

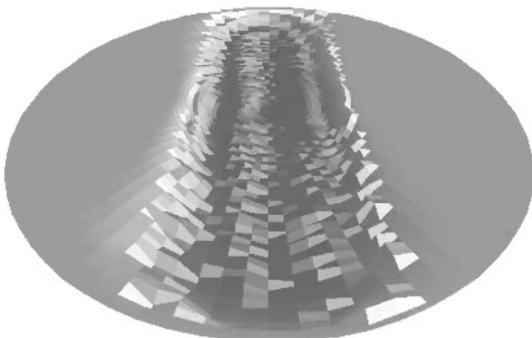


그림 8. 609 Hz의 진동 특성
Fig. 8. Vibration characteristic of 609 Hz.

비교적 저주파 대역인 609 Hz 에서는 진동판의 전영역이 선형적으로 진동한다. 기계적인 완전한 강체의 움직임이라고는 할 수 없지만, 진동의 방향성이 일치하고

전영역의 움직임이 함께 이루어지고 있어서 진동판의 강체 진동 모드로 보아도 무방하다.

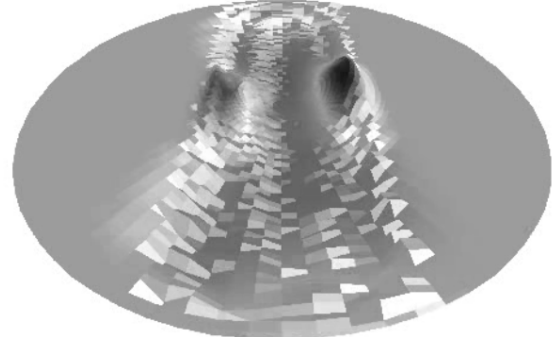


그림 9. 3 kHz의 진동 특성
Fig. 9. Vibration characteristic of 3 kHz.

그림 9. 의 3 kHz의 결과는 상하좌우의 끝단 일부에서 전체적인 진동 방향성과 다른 분할 진동의 형태가 나타난다. 무빙 코일을 사용한 다이내믹 드라이버 구조적인 강성의 취약점에 해당하는 부분이며, 운동성의 전달이 균일하게 이루어지고 있지 않다.

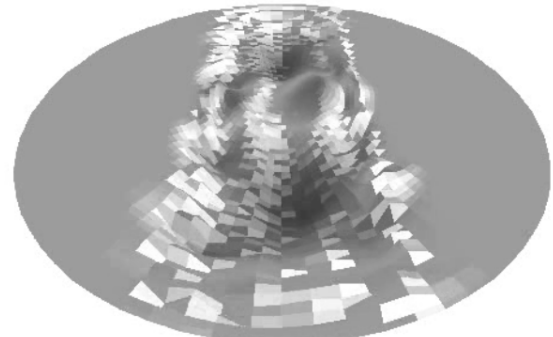


그림 10. 8 kHz의 진동 특성
Fig. 10. Vibration characteristic of 8 kHz.

그림 10. 은 8 kHz의 결과로 분할 진동 모드가 역시 발생하고 있다. 무빙 코일이 직접 힘을 전달해주는 부분과 그렇지 못한 부분과의 차이가 크게 나타나고 있으며, 진동판의 형태 역시 고르지 못하다.

나. 진동 모드와 열화상 영상 특성

2단계 실험으로 1단계 실험에서 산출한 세 가지 진동 모드에 대한 열화상 영상을 촬영하였다. 신호 발생기를 통해 진동판 스캔에서 산출한 것과 동일한 주파수를 입력하여, 30초 지점을 기준으로 살펴보았다. 실험 구조도는 아래와 같다.

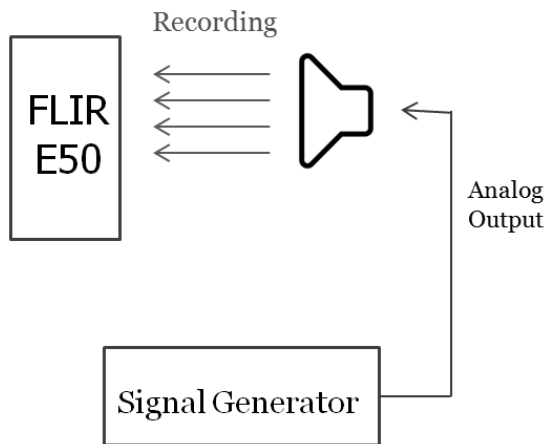


그림 11. 2단계 실험 구성도
Fig. 11. Step 2, Configuration of experimental system.

2단계 실험인 열화상 촬영은 FLIR E50을 사용하여 진동판의 열전달 현황을 측정하였다. 1단계 실험의 결과를 토대로 분할 진동 모드를 비교할 수 있는 지정 주파수를 기준으로 한다.



그림 12. 609 Hz의 진동판 열화상
Fig. 12. Thermal image Diaphragm of 609 Hz.

그림 8. 과 같이 분할진동이 적은 609 Hz 에서는 무빙 코일이 직접 접촉하는 부분과 전체 진동판의 온도차이가 크지 않다. 그림 12.와 비교해 본다면, 해당 주파수에서의 진동에서 발생하는 열이 진동판 전체로 잘 전도되는 형태다.

그림 9. 의 3 kHz 의 열화상 화면에서는 이미 무빙 코일이 접촉하는 영역과 그 주변부와의 온도차이가 좀 더 선명하게 나타나기 시작한다. 특히, 분할진동이 발행하는 구조적으로 취약한 부분을 중심으로 나타나고 있다.



그림 13. 3 kHz의 진동판 열화상
Fig. 13. Thermal image Diaphragm of 3 kHz.

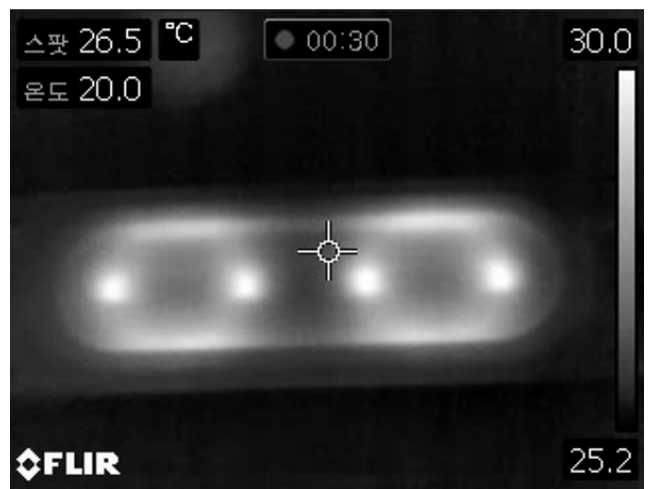


그림 14. 8 kHz의 진동판 열화상
Fig. 14. Thermal image Diaphragm of 8 kHz.

그림 10. 의 8 kHz의 고주파 부분에서는 진동판에 전도되는 온도차이가 확연하게 구분된다. 고주파수 진동에 의한 운동성 증가에 맞물려 더 선명한 온도차를 보여주는 것으로 보인다. 무빙 코일을 중심으로 구조적인 강성이 부족한 분할진동 영역에는 열전달이 잘 이루어지고 있지 않다고 할 수 있다.

다만, 시료 A의 결과에서는 분할진동이 고주파수의 증가에 의한 코일의 운동성 상승과 같은 방향으로 이루어져 있어서 고주파수에서만 분할진동이 일어나는 것으로 오해될 소지가 있다.

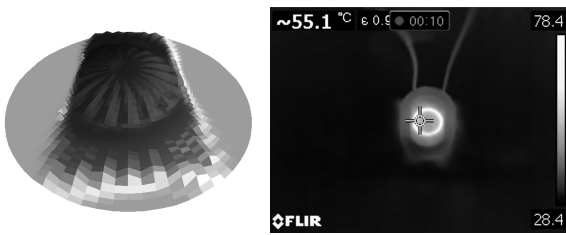


그림 15. 1 kHz의 진동 특성과 열화상
Fig. 15. Vibration characteristic and Thermal image Diaphragm of 1 kHz.

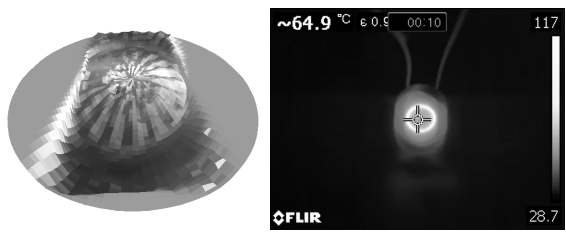


그림 16. 140 Hz의 진동 특성과 열화상
Fig. 16. Vibration characteristic and Thermal image Diaphragm of 140 Hz.

그림 15. 와 그림 16. 은 시료 B의 결과를 통해 저주파수 대역에서 발행하는 분할진동의 모습을 비교하여 나타낸다. 상대적으로 더 고주파인 1 kHz에서 하단부의 진동이 약간 약한 것을 제외하면 균일하게 진동하고 있는데 반하여, 저주파인 140 Hz 에서는 대각선으로 기울어져서 진동을 하고 있는데, 이런 형태의 분할진동은 구동부에 무리를 주기 때문에, 내구성에 있어 치명적인 분할진동이다.

따라서 상기의 결과를 살펴 볼 때 각 주파수의 진동 특성이 열 분포의 형태에 변화를 주고 있다는 것을 비교해 볼 수 있으며, 레이저로 스캔한 분할 진동의 패턴과 열화상 카메라로 측정할 열전달 패턴의 상관성이 나타난다고 할 수 있다.

특히 슬림 스피커는 다중 재료로 구성된 진동판을 사용한다. 섬유강화 복합재료뿐만 아니라 철, 비철 금속을 포함한 각종 재료 층이 서로 복합적으로 결합, 다기능을 발휘하도록 하는 복합 구조물로 응용되고 있다. 이러한 구조물은 성능 향상을 위하여 열변형과 잔류응력 문제를 고려한 설계 및 제작의 필요성이 요구되고 있다.^[5] 슬림 스피커에서는 치명적으로 발생할 수 있는 분할 진동의 패턴이 구조적인 특성에 의해 진동판의 물성에 큰 영향을 받는다.^[6] 진동판의 열전달 특성은 이러한 상황을 복합적으로 보여주는 것으로 열화상의 경우 복합 특성 뭉쳐져서 표현되기 때문에 세밀한 결과를 보여주지는 못하지만, 짧은 시간 안에 수 시간이 진행되는 진동

판 스캔의 패턴을 예상해 볼 수 있는 패턴을 산출해 볼 수 있다.

III. 결 론

이상의 내용을 정리하여 보면, 분할진동 모드가 일어나는 특정 주파수에서, 진동판의 진동에 취약한 영역과 열전달 차이가 나타나는 영역이 서로 겹쳐진다. 슬림 스피커의 분할 진동 모드는 진동판의 기계적인 형상 자체가 강성을 확보하고 있는 콘형의 스피커와 달리, 슬림 스피커가 가진 평판형의 구조적인 강성의 취약점이 크게 드러나는 부분으로 제품 설계에 필수적으로 고려해야 할 부분이나 개발의 모든 단계에서 레이저 스캔으로 검증해보기는 어려운 일이다. 이 경우 상기의 실험 결과를 연결해 본다면, 열화상 카메라를 통한 진동판의 열전달 형태를 살펴봄으로써 분할진동이 일어나는 취약 영역에 대한 일종의 경향성을 빠르게 짐작해 볼 수 있다.

다만 아쉬운 점으로 본 논문에서는 사용한 샘플 시료가 단순하고, 발생한 분할진동 모드가 한정적이라 진동판의 열전달 영역과의 연관 관계가 세밀하지 않다. 따라서 현재는 의심 영역을 열화상으로 빠르게 부각해 볼 수 있다는 점을 주목해야 한다. 차기 연구에서는 진동판의 열전달 관계에 관하여 좀 더 세밀한 연계를 설정함과 동시에 구조적으로 취약한 다른 형태의 스피커 진동판의 진동 모드에서도 검증해 보고자 한다.

REFERENCES

- [1] Peter Larsen, "Geometrical Stiffness of Loudspeaker Cones", Audio Engineering Society, 116th Convention, Convention Paper 6095, pp. 1, Berlin, Germany, May 2004.
- [2] Sei-Jin Oh, Theory and Design of Loudspeaker, SeokHakDang, pp. 102, 2011
- [3] Ki-Su Kang, "A Study on Thermal Strain Analysis of Composite Materials by ESPI", Dept. of Mechanical Design Engineering, Chosun University, pp. 5, 1999.
- [4] Wolfgang Klippel and Joachim Schlechter, "Measurement and Visualization of Loudspeaker Cone Vibration", Audio Engineering Society, 121st Convention, Convention Paper 6882. pp. 12, San Francisco, CA, USA, 2006
- [5] J. H. Chung, N. S. Goo, H. C. Park, K. J. Yoon, "A Study on thermal deformation behavior of laminates composed of different material layer",

- Proceedings of the Korean Society For Composite Materials Conferenc, pp. 54, 2000
- [6] Kyeong Min Kim, Seong Keol Kim, and Keun Park, "Investigation on Vibration Characteristics of Micro Speaker Diaphragms for Various Shape Designs", Journal of the Korean Society of Precision Engineering, v.30, no.8, pp. 791, 2013.

— 저 자 소 개 —



김 현 갑(정회원)
2015년~현재 서울시립대학교 전자
전기컴퓨터공학과 (석사과
정 재학 중)
2011년~2013년 제이웍스코리아(주)
기술고문

2012년~2013년 한국정보통신기술협회 방송장비
시험규격개발위원회 위원
2014년~현재 전자부품연구원 정보통신미디어연
구본부 차세대음향산업지원센터 연구원
<주관심분야: 정밀계측, 음향제어, 진동제어, 전
산해석, 신호처리, 열 패턴>



김 희 식(정회원)
1977년 서울대학교 기계공학과 (공
학사)
1979년 한국과학기술원 생산공학과
(공학석사)

1987년 Germany Stuttgart University Production
Engineering (공학박사)
1979년~1982년 과학기술부 원자력국 감사관실
사무관
1987년~1989년 한국과학기술원 CAD/CAM 연구
실 선임연구원
1989년~현재 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학
부 (교수)
<주관심분야: Optical Measurement of Geometries,
Application of Sensor for Automation and Image
Processing>