

우퍼 스피커 유닛의 열전달 특성에 대한 실험적 연구

김형진¹, 김대완¹, 이무연^{2*}

¹동아대학교 기계공학과 대학원, ²동아대학교 기계공학과

Experimental study on the heat transfer characteristics of woofer speaker unit

Hyung-Jin Kim¹, Dae-Wan Kim¹ and Moo-Yeon Lee^{2*}

¹Graduate School of Mechanical Engineering, Dong-A University

²School of Mechanical Engineering, Dong-A University

요약 본 연구의 목적은 우퍼 스피커 유닛의 열전달 특성 고찰하기 위하여 입력신호를 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz 그리고 3000 Hz로 변화시키면서 실험을 수행하였다. 이를 위하여, 우퍼 스피커 유닛의 더스트 캡을 제거하고 보빈 내부에 열전대를 부착하여 보이스 코일에서 발생하는 온도를 측정하였고 주변으로의 열전달 특성을 파악하였다. 결과적으로, 입력신호가 감소할수록 보이스 코일 온도가 증가하였고, 입력신호가 증가할수록 스피커 유닛 각 부품의 온도편차가 증가하는 것을 확인하였다. 또한 1800 sec 및 입력신호 500 Hz에서 보이스 코일 온도는 3000 Hz에 비하여 48.4 % 감소하였다.

Abstract The objective of this study is to experimentally investigate the heat transfer characteristics of 200W woofer speaker unit with the input voice signals such as 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, and 3000 Hz. The temperature and heat transfer characteristics of the woofer speaker unit were evaluated with the input signals. As results, the temperature of the voice-coil for woofer speaker unit increased with a decrease of the input signals and the temperature differences between parts of the tested speaker unit increased with the decrease of the input voice signals. In addition, the voice-coil temperature for the input signal of 500 Hz showed 48.4 % lower than that of 3000 Hz during 1800 sec.

Key Words : Heat transfer, Input signal, Voice-coil, Woofer speaker.

기호설명

R_T : 보이스코일 저항 (resistance of voice-coil, Ω)
 R_t : 상온에서의 저항 (resistance at ambient temperature, Ω)
 a : 온도저항계수 (thermal resistance coefficient)
 T_T : 증가온도 (increasing temperature, $^{\circ}\text{C}$)
 T_t : 상온 (ambient temperature, $^{\circ}\text{C}$)
 R_0 : 기준온도에서 도체의 저항 (conductor resistance at reference temperature, Ω)

1. 서론

스피커는 전기 에너지를 음성 에너지로 바꿔주는 장치로써 구조는 단순하지만 사용되는 용도와 방식에 따라서 모양과 크기가 다양하다. 이러한 스피커의 핵심 부품으로는 보이스 코일, 영구자석, 탑 플레이트, 바텀 플레이트 등이 있으며, 그 중 가장 중요한 부품은 보이스 코일이다. 보이스 코일은 스피커의 전체적인 성능과 내구성을 결정짓는 중요한 부품으로써 전기적 입력 신호를 받으면 보이스 코일은 상하로 움직인다. 이때 보이스 코일

본 논문은 이 논문(작품)은 동아대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Moo-Yeon Lee(Dong-A Univ.)

Tel: +82-10-5440-8421 email: mylee@dau.ac.kr

Received January 27, 2014

Revised February 4, 2014

Accepted May 8, 2014

은 자체의 전기저항에 의해 열이 발생되고 보이스 코일의 온도는 상승하게 된다. 일반적으로 스피커에서 열이 발생하는 형태는 총 3가지 형태로서 진동에 따른 열 발생, 보이스 코일에서 Joule effect에 따른 열 발생, 자기장 발생으로 인한 열 발생 등이 있다[1]. 이러한 스피커의 열은 스피커의 성능 및 수명감소로 이어지며, 그 중 보이스 코일에서 발생된 열은 코일의 탄화현상과 폴림현상을 야기 시키며, 스피커의 불량문제를 발생시킬 수 있다. 그러나 현재까지 스피커의 보이스 코일에서 발생된 열 및 이것을 제어하는 연구는 거의 이루어지지 않았다[2]. 따라서 본 연구에서는 우퍼 스피커 유닛의 입력 신호에 따라 보이스 코일에서 발생하는 열전달 특성에 관하여 실험적으로 고찰하였다. 또한, 우퍼 스피커 유닛의 구성 부품의 온도 특성에 관하여 비교 및 분석하여 향후 고효율 스피커 개발에 기여하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

Fig. 1은 본 실험에 사용된 우퍼 스피커 유닛은 8 inch 우퍼 스피커 유닛이며, Impedance는 8Ω 이다. 최대 허용 입력 200W를 출력할 수 있으며, 스피커 유닛 구조는 Bottom plate, Yoke, Magnet, Top plate, Voice coil, Bobbin, Damper, Frame, Cone paper, Dust cap, 등으로 이루어져 있다[3]. 우퍼 스피커의 보이스 코일 온도를 측정하기 위하여 Fig. 2와 같이 Cone paper위에 있는 Dust cap을 제거하여 보빈의 내부 벽면 임의의 3지점에 K-type의 열전대를 부착하여 보이스 코일의 온도를 1sec 간격으로 나눠 총 18000sec동안 측정하였다. 또한 챔버를 이용하여 대기 온도를 14℃로 맞췄으며, 이는 한국의 봄, 가을철 평균 외기온도로 고려하여 설정하였다[4]. 우퍼 스피커의 보이스 코일과 스피커 주변 온도를 측정하기 위하여 Fig. 3과 같이 실험 장치를 구성하였으며, 앰프와 Data Logger는 지면에 접시시켜 실험의 노이즈를 최소화 시켰다. 실험 장치로는 노트북과 입력 신호를 주기 위한 소프트웨어인 Burninwave generator 0.9를 사용하여 신호를 입력하였다. 입력 신호를 증폭시키기 위한 앰프로는 Europower PMX 3000을 사용하였으며, 보이스 코일에서 발생하는 열을 측정하기 위하여 K-type 열전대외 Graphtec WS-450 Wireless Data Logger을 이용하였다. 입력 신호는 총 18000sec 동안 1sec 단위로 온도변화를

측정하였으며, 우퍼 스피커 외기온도를 일정하게 설정하기 위하여 챔버(420 X 360 X 400)를 사용하였다. 외부온도는 14℃로 유지하면서 실험을 수행하였으며, 스피커의 입력 신호는 500Hz, 1000Hz, 2000Hz 그리고 3000Hz까지 증가하면서 측정하였다. 본 연구에서 사용한 실험조건은 Table 1과 같다.

[Table 1] Experimental conditions

Ambient condition (°C)	14
Input signals (Hz)	500, 1000, 2000, 3000
Chamber size (mm)	420 X 360 X 400

또한, 본 연구에서 실험한 우퍼 스피커 유닛의 보이스 코일의 온도특성은 식 (1)과 같으며, 보이스 코일의 발열 온도는 저항 값의 함수로 표현되며, 다음과 같이 나타낸다.

$$R_T = R_t [1 + a(T_T - T_t)] \quad (1)$$

여기서, R_t , a , T_T 와 T_t 는 상온에서의 저항, 온도저항 계수(thermal resistance coefficient, 구리&알루미늄 = 0.004/°C), 증가온도 그리고 상온을 의미한다. 스피커에서 이러한 특성을 열적 선형성(thermal linearity)라고 부르며, 보이스 코일 저항은 온도의 함수로 정리되고, 온도가 상승함에 따라 저항값(R)이 비례하여 상승하게 되며, 식 (2)와 같이 나타낸다[5].

$$R = R_0 (1 + a \propto \Delta T) \quad (2)$$

여기서, R_0 는 기준온도 (t_0)에서 도체의 저항을 의미하고 a 는 온도계수, 그리고 $\Delta T = t_1 - t_0$ 는 온도차를 나타낸다.

3. 실험결과 및 고찰

우퍼 스피커 실험에서 입력 신호를 500Hz, 1000Hz, 2000Hz 그리고 3000Hz까지 주었을 경우 18000sec 경과 한 보이스 코일 온도는 약 200.4℃, 178.7℃, 131.3℃ 그리고 93.0℃이고, 온도 한계점(퀴리점)이 존재하는 영구자석의 온도는 약 137.3℃, 121.9℃, 94℃ 그리고 78℃로 나타났다. 보이스 코일에서 발생된 열을 분석해 보면 입력

신호인 주파수(Hz)가 감소할수록 더 높은 온도의 열이 발생함을 확인하였다. 또한 입력 신호인 주파수(Hz)가 증가할수록 부위별 온도 편차가 증가함을 확인하였다.

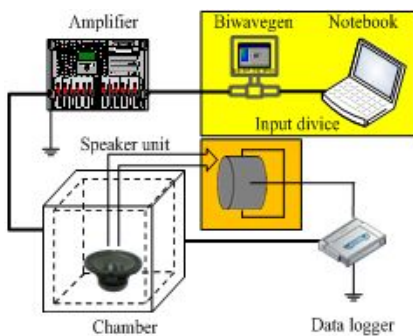
우퍼 스피커 유닛의 보이스 코일 온도는 0sec에서 140sec까지 급격하게 온도가 증가하였으며, 이후 온도의 상승폭이 감소하였고 입력신호가 감소할수록 증가하였다.



[Fig. 1] Pictures of the woofer speaker unit



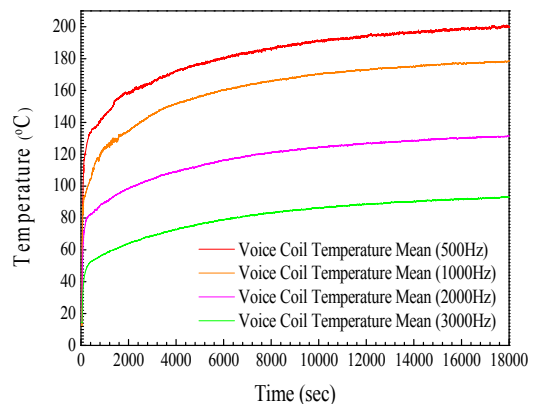
[Fig. 2] Measuring point of the woofer speaker unit



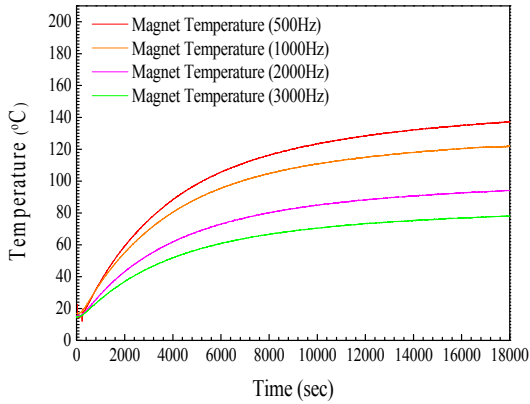
[Fig. 3] Test set-up of the woofer speaker unit

Fig. 4는 우퍼 스피커 유닛의 입력신호를 18000sec 동안 주었을 때 보이스 코일의 온도 특성을 실험한 데이터이다. 입력신호를 500Hz를 주었을 경우 18000sec가 경과한 보이스 코일 온도는 200.4°C이며 3000Hz를 주었을 경우 보이스 코일 온도는 97.0°C로 48.4% 감소함을 확인하였다.

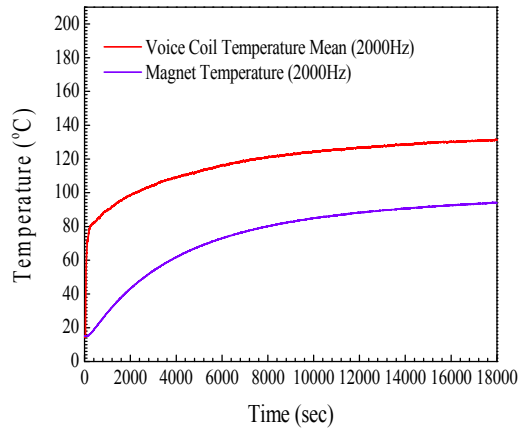
우퍼 스피커 유닛의 경우 Lee의 논문을 통하여 보이스 코일에서 발생된 열은 Top plate, Yoke, Magnet, Bottom plate 순으로 열전달이 발생하였고, 이는 보이스 코일에서 거리가 가까운 순으로 열전달이 잘되었다는 것을 확인할 수 있었다[6]. Fig. 5는 본 실험에서 영구자석의 외부 표면의 온도를 측정된 결과이다. 그 결과 6000sec까지 영구자석의 온도가 꾸준히 상승하였으며 6000sec이후 온도가 서서히 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 18000sec 기준에서 보이스 코일이 가장 발열이 많이 되는 500Hz에서 영구자석 외부표면의 온도는 137.3°C 이고, 3000Hz에서는 영구자석 외부표면의 온도는 78°C로 500Hz기준에서 3000Hz의 영구자석 외부표면 온도는 약 56.9% 낮았다. Fig. 6, 7, 8 그리고 9는 입력 신호별 보이스 코일의 열이 영구자석의 외부표면에 미치는 영향을 나타낸 실험 결과이다. 각 입력신호(Hz) 별 보이스 코일에 따른 영구자석의 열전달량을 측정된 결과 500Hz에서 영구자석은 보이스 코일의 발열량 중 68.6%가 전달되었으며, 1000Hz에서는 보이스 코일의 68.2% 열이 영구자석으로 전달되었다. 2000Hz에서 영구자석은 보이스 코일의 발열량 중 71.5%가 전달되었으며, 3000Hz에서 보이스 코일 열전달량 중 83.8%의 열이 영구자석으로 전달되었다. 보이스 코일의 열전달량을 측정된 결과 1000Hz 이하에서는 42%의 열이 영구자석으로 전달되었으며 2000Hz에서는 29%, 그리고 3000Hz에서는 17%로 감소하였다. 또한, 이상의 결과로부터 보이스 코일에 전류가 공급되면 일정시간 이후에는 열 발생으로 인한 온도상승이 감소하여 일정한 값으로 수렴하는 것을 알 수 있다.



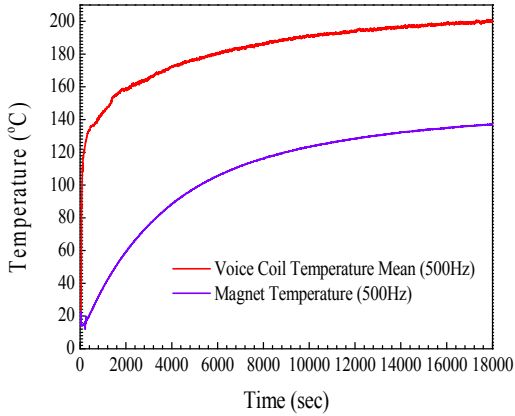
[Fig. 4] Results of the experiment (Voice-Coil)



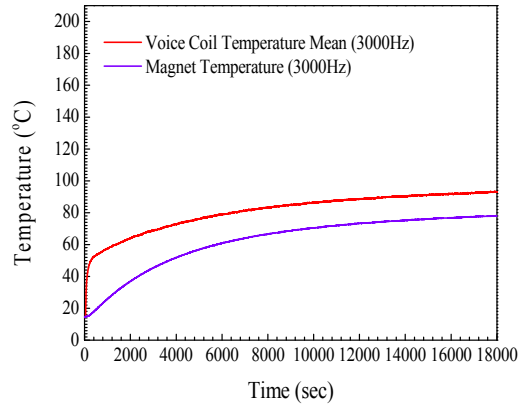
[Fig. 5] Results of the experiment (Magnet)



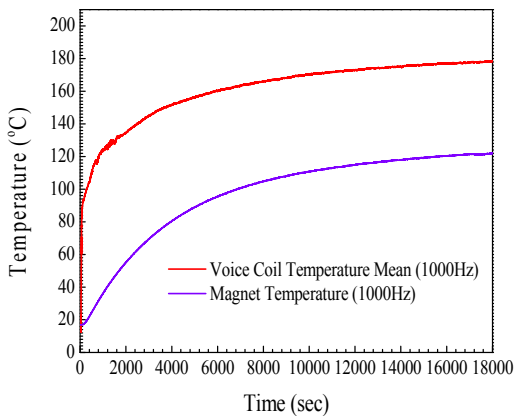
[Fig. 8] Results of the experiment (2000Hz)



[Fig. 6] Results of the experiment (500Hz)



[Fig. 9] Results of the experiment (3000Hz)



[Fig. 7] Results of the experiment (1000Hz)

4. 결론

본 연구는 우퍼 스피커의 성능과 수명에 크게 영향을 미치는 보이스 코일의 최고온도를 보이스 코일 입력 신호를 변경하면서 실험을 수행하였다. 입력신호 별 보이스 코일에서 발생하는 발열 데이터를 수집하여 일정시간 이후에는 보이스 코일의 온도가 일정하게 수렴하는 것을 확인하였고, 보이스 코일의 발열량이 영구자석에 미치는 영향을 측정 및 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 또한, 향후 고성능 스피커 개발을 위하여 자성유체를 적용한 열전달 성능 향상에 관하여 연구하고자 한다.

1) 보이스 코일은 입력신호에 따라 140sec 동안 급격

하게 열을 발생하는 것을 알 수 있었으며 140sec이 후 서서히 열을 발생시킨다는 것을 측정하였다.

- 2) 보이스 코일은 입력 신호가 낮을수록 발열량이 증가하고, 입력신호가 낮을수록 부위별 온도편차가 증가하였다.
- 3) 입력신호가 감소할수록 보이스 코일에서 발생하는 열은 영구자석에 더 많은 양의 열을 전달한다.
- 4) 입력신호가 증가할수록 보이스 코일과 영구자석의 온도 증가율 편차는 감소하였다.

References

- [1] Sei Jin Oh, *Fundamentals of Loudspeaker Engineering*, SeokHakDang, 2006, pp. 187-196.
- [2] W. Klipper, 2004, "Nonlinear Modeling of the Heat Transfer in Loudspeakers", *J. Audio Eng. Soc.*, Vol. 52, No. 1/2, PP. 3-24.
- [3] Sung Kuk Kim, Tae Hee Lee and Surk Soon Lee, "Multidisciplinary design optimization for acoustic characteristics of a speaker diaphragm", in *2004 Proc. of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, pp. 763-766.
- [4] Yong Ki Son and Seong-Cheol Lee, "An Evaluation of concrete crack index considering variations of ambient and placement temperature", in *2013 Proc. of the Korea Concrete Institute*, pp. 233-234.
- [5] Sung-Jae Lee, *Basic electrical electronic for creative engineering education*, DongHak, 2006, pp. 35-37
- [6] Moo-Yeon Lee, Hyung-Jin Kim and Woo-Young Lee, "Numerical analysis on temperature characteristics of the voice-coil for woofer speaker using ferrofluid", *Kor. Mag. Soc. J.*, vol. 23, no. 5, pp. 166-171, Oct. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4283/JKMS.2013.23.5.166>

김 형 진(Kim, Hyung-Jin)

[정회원]



- 2011년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (공학사)
- 2013년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 (박사과정)

<관심분야>

나노유체, 스피커, 열전달

김 대 완(Kim, Dae-Wan)

[정회원]



- 2008년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (공학사)
- 2011년 2월 : 동아대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 (박사과정)

<관심분야>

친환경 자동차 열관리, 신재생에너지, 자성유체

이 무 연(Lee, Moo-Yeon)

[정회원]



- 2010년 2월 : 고려대학교 기계공학부 (공학박사)
- 2011년 1월 : 고려대학교 기계공학과 (연구교수)
- 2011년 2월 ~ 2012년 8월 : 자동차부품 연구원 선임연구원
- 2012년 9월 ~ 현재 : 동아대학교 기계공학과 교수

<관심분야>

친환경 자동차 열관리, 전동식 히트펌프, 신재생에너지 변환 시스템, 열/물질전달, 연료전지, 나노유체, 자성유체