

덕트의 설계 조건에 따른 오디오 음향환경 개선에 관한 연구

김양수*, 김대근*, 문종대**, 최정식**, 차인수**

*동신대학교 대학원 전기전자공학과

**동신대학교 전기전자공학과

A Study on the improvement of the audio acoustic characteristics by the condition of the duct design

Yang-Soo Kim*, Dae-Geon Kim*, Jong-Dae Moon**, Jang-Sik choi**, Cha In Su**

*Dept. of Electrical & Electronics Eng. Graduate School of Dongshin Uni

**Dept. of Electrical & Electronics Eng. Dongshin Uni

ABSTRACT

In this paper, we conducted research about the speaker's acoustic characteristics by the condition of the duct. It is expanding the bass ton play frequency as interfere two frequencies each other which originate from the speaker's back and front side using duct, as attach the duct of round shape or, square at the encloser. This is not making of bass ton range using interference. the structure of the duct which using this experiment is round shape. And we confirmed that can expand the limit of bass ton play as compare the actual experimental wave that after simulation of play frequency range as length change

1. 서론

전기적 신호로서 물체를 진동시켜 음향신호로 전환하는 변환기로서의 스피커는 전화기 발명과 더불어 개발된 이후, 세계 최초로 1877년 미국과 독일에서 특허출원 하였으나 실용화하지 못하고 1925년 진공관 증폭기의 개발과 함께 Western Electric사의 C. W. Rice, E. W. Kellogg에 의하여 요즘 사용하는 스피커가 등장하였다. 스피커는 음향기기의 필수적인 한 부분으로 지난 수십년간 사용되어왔으며 그중 보편적으로 사용되어지는 직접 방사형 스피커는 큰 원뿔형 진동막이 공기와 직접 결합되어 있어, 진동막을 구동하여 공기중의 소리를 발생시키는 것이다.^[1,2,3]

일반적으로 스피커만 단독으로 사용하는 경우는 거의 없으며 대부분 인클로우저라는 상자를 이용하여 사용하는 경우가 대부분이다. 인클로우저로는 후면개방형, 밀폐

형, 위상반전형, 패시브 라디에이터형으로 나눌 수가 있으며 대표적으로 밀폐형과 위상 반전형이 주로 사용된다. 스피커 유닛 하나만으로도 충분한 음을 재생 할 수 있다. 하지만 이런 인클로우저라는 상자를 사용하는 이유는 스피커 유닛 전면에서 나오는 주파수의 위상과 스피커 유닛 후면에서 나오는 주파수와 위상차가 180° 이기 때문에 서로 보강 간섭으로 인한 음압 저하를 막기 위함이다.^[4]

2. 이론

위상반전형의 구조는 덕트(duct) 또는 포트라고 부르는 구멍을 통해 Bar내의 공기를 밖으로 연결하여 인클로저 내부의 공기와 덕트 내에 있는 공기와는 용적이나 그 주위의 상태도 다르기 때문에, 완전한 "막히는 것 없이 공기가 통하는"것 같은 연결 상태는 아니다. 따라서 각각이 지닌 공기의 질량, 움직이기 쉬움에 의해 반발력(탄력성)도 달라진다. 위상 반전형은 이 두 곳의 공기가 지닌 탄력성이 각각 특정 진동으로 균형이 잡히는 공기 용적이 되도록 설계되어 있다.

이 결과로 인클로저 안의 공기가 스피커 진동판에 의해 앞서의 특정 진동주파수로 반복하여 압축 팽창이 주어지면, 덕트내의 공기는 인클로저 안의 공기가 압축되었을 때 팽창한다고 하는 역진동을 일으킨다. 이것이 위상 반전형이라는 이름이 된 동작인데, 이 때의 덕트내의 공기 양에 의한 인클로저 외부에 대한 음압 변화의 상태는 진동판에서 만들어지는 그것과 같아지기 때문에, 앞서의 특정 주파수의 음은 덕트와 진동판 쌍방에서 방출(放出)되어 강화된다. 이 특정 주파수는 위상 반전형의 공진 주파수라고 불리며, 설계상 스피커의 공진 주파수보다 다소 낮은 주파수로 하기 때문에, 결과적으로 위상 반전형은 스피커 유니트의 실력 이상의 저음까지 평탄하게 재생할 수 있는 특징을 가졌다. 위상반전형 스피커는 같은 정도의 저음 재생을 바라는 경우 밀폐형보다 작아

도 되는 점, 진동판에 걸리는 내부 공기의 반발력이 덕트의 빠져나가는 구멍 효과도 전대역적으로는 작아지기 때문에, 음에 늘어남에 있으며, 특히 저 음역은 청감상 풍부해지는 점을 들 수 있다.^[4]

캐비닛의 콤플라이언스를 통해 포트의 음향관 내부의 공기 질량이 구동되기 때문에 상자의 콤플라이언스와 포트내의 질량으로 결정되는 공진 주파수로 공진 한다 공진 주파수 이하에서는 스피커에서 나오는 소리와 포트에서 나오는 소리는 서로 위상이 반대지만, 포트의 공진점과 스피커의 최저 공진 주파수 사이에서는 서로의 위상이 갖추어지므로 캐비닛의 공진 주파수까지 재생 대역을 넓힐 수 있다.^[5,6]

3. 시스템 설계 및 제작

인클로저 내부에는 가로폭 높이 및 깊이 치수가 음파의 파장의 반 또는 배수의 주파수로 정재파를 발생하고 이 정재파로 인하여 진동판의 진동에 영향을 미치고 출력 음압 주파수 특성에 상당한 기복을 발생시키므로 인클로저의 상자내에 흡음재를 넣어서 제거해야 한다. 실험에 쓰이는 덕트는 교환을 할 수 있도록 제작하였다. 디바이딩 네트워크의 설계는 $\pm 12\text{dB}$, 2way 제작하였다. 크로스 오버 주파수는 1KHz로 정했다. 덕트의 설계는 치수를 계산함에 있어 먼저 덕트의 튜닝 주파수와 개구 면적을 결정해야 한다. 덕트의 튜닝 주파수 (f_b)이고 개구면적 (s)는 일반적으로 유닛의 유효진동 면적 (πa^2)의 0.2~0.5배로 정한다. 따라서 덕트의 길이 (L)의 계산은 다음 식 (1)와 같다.

$$L = \frac{30000 \times S}{f_b \times V_b} - 0.825 \times \sqrt{S} \quad (1)$$

위의 계산식에 맞추어 덕트의 길이를 결정한다. 실험에 쓰인 덕트의 길이는 100, 120, 150, 280(mm)를 사용하였다. 인클로저의 설계 부분에서 정재파를 방지하기 위해서는 내부의 판 사이의 거리 가로, 세로, 높이의 비가 소리의 파장이나 그 정수배가 되지 않는 비율로 설계해야 한다. 실험에 쓰인 인클로저의 비율은 1 : 1.8 : 2.3의 비율로 설계하였다. 그리고 간섭을 줄이기 위해서 스피커의 모서리 부분을 라운드 처리하였다.

4. 시뮬레이션

Filter 라는 필터링 프로그램을 이용하여 아래와 같은 조건에 의한 로우패스 필터와 하이패스 필터링을 해보았다. 그림 1, 2에서 1KHz에서 감소와 증가를 나타남이 확인되었고 3dB의 이득을 얻을 수 있다.

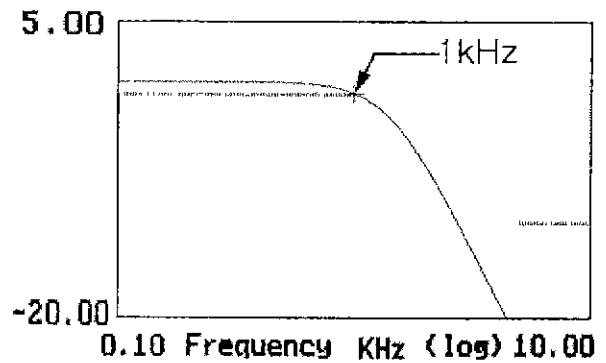


그림 1 저역통과 필터
Fig. 1 Low pass filter

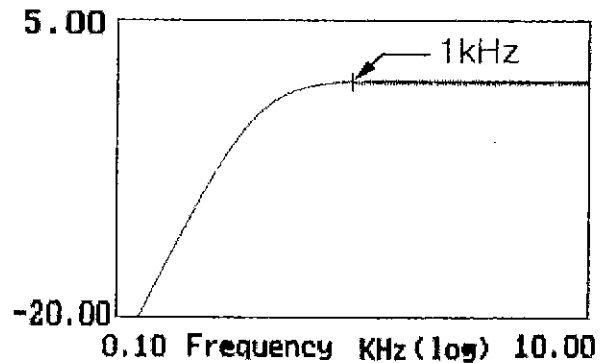


그림 2 고역통과 필터
Fig. 2 High pass filter

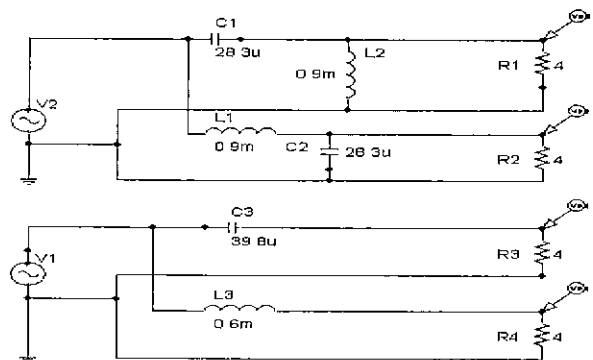


그림 3 PSpice 회로도
Fig. 3 PSpice circuit

시뮬레이션 결과 6dB/oct 일때와 12dB/oct 일 때 모두 이득은 3dB 이었다. 그리고 로우패스 필터와 하이패스 필터 모두 1KHz의 주파수 대역에서 6dB/oct 일때보다 12dB/oct 일때가 더 급격한 감소 또는 증가로 결과가 나왔다. PSpice를 이용하여 디바이딩 네트워크를 설계하고 시뮬레이션을 수행한 결과를 아래의 그림을 통해 나타냈다. 그림 3은 6dB/oct과 12dB/oct 일때의 회로도이다. 여

기에서의 크로스오버 주파수를 1KHz이며 이에 따른 콘덴서와 코일의 용량 결정하였다. 그림4와 그림 5는 6dB/oct와 12dB/oct일 때의 회로도 및 시뮬레이션 그림이다. 6dB/oct일 때와 12dB/oct 일 때를 비교하기 위해서 같은 크로스 오버 주파수를 설정하여 C_1 , C_2 , L_1 , L_2 의 값을 구했다.^[8,10]

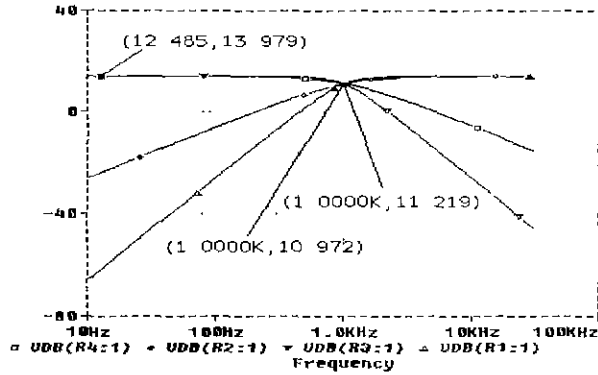


그림 4 시뮬레이션의분석
Fig. 4 Simulation analysis

아래의 표 1은 계산식을 이용하여 계산되어진 콘덴서 (C_1 , C_2)와 코일(L_1 , L_2)을 나타내었다.

표1 인덕터와 캐패시터의 용량
Table 1 Induct and Capacitor meter

dB/oct	L1	L2	C1	C2
6dB/oct	0.6mH		39uF	
12dB/oct	0.9mH	0.9mH	28.3uF	28.3uF

코일은 철심보다는 찌그러짐이 적은 공심을 사용하여 제작하였고, 콘덴서는 음질에 밀접한 영향을 가지므로 전해 콘덴서보다는 필름콘덴서를 이용하였다.

그리고, 그림 4에서 나타냈듯이 6dB/oct와 12dB/oct에서 둘 다 약 3dB의 이득을 보았으며 기울기는 12dB일 때의 회로에서 급격한 감소와 증가를 나타내었다.

5. 실험 결과 및 고찰

덕트 입구에서의 주파수 파형을 살펴보면 덕트의 길이가 길어질수록 저음영역이 낮은 쪽으로 이동하고 그림 5, 6, 7 있음을 실험을 통하여 알 수 있다. 그러나 덕트가 길어질수록 재생되어지는 주파수 대역은 저음 쪽으로 많이 늘어났지만 스피커의 1미터 전방에서의 그림 8, 9, 10 음압은 덕트가 길어질수록 평탄하고 풍부한 저음을 재생하는 것이 아니라 우퍼에서와 덕트에서의 출력되는 주파수와 위상차이로 인한 기복이 심함을 알 수가 있

다. 따라서 평탄한 주파수 대역을 재생하기 위해서는 덕트 입구에서의 출력되는 주파수의 위상과 우퍼 전면부에서 출력되는 주파수의 위상이 일치할 때 덕트의 효과를 가장 많이 볼 수 있다.

제작된 스피커의 공진주파수는 40Hz이나 그림 8, 9, 10 에서와 같이 덕트를 붙임으로써 공진주파수(40Hz) 이하에서도 비교적 평탄한 주파수를 재생할 수 있음을 실험의 결과로 알 수 있다.

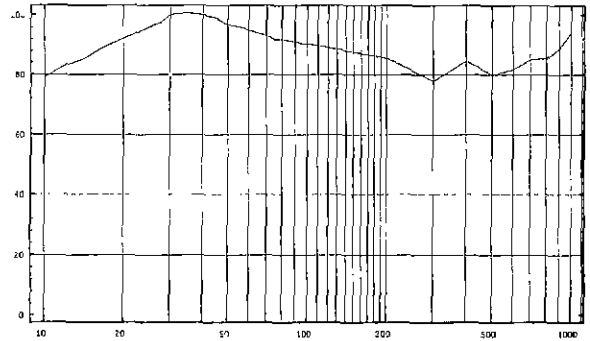


그림 5 120mm 덕트 입구 음압
Fig. 5 120mm sound pressure level of duct

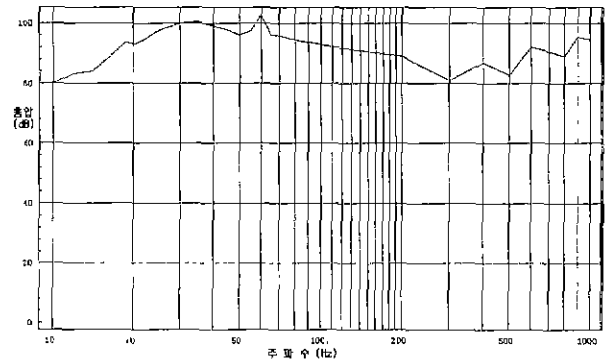


그림 6 150mm 덕트 입구 음압
Fig. 6 150mm sound pressure level of duct

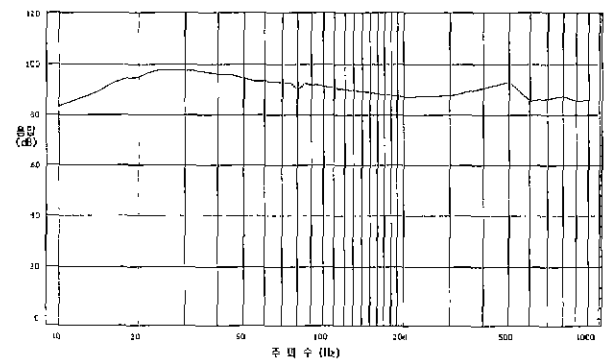


그림 7 280mm 덕트 입구 음압
Fig. 7 280mm sound pressure level of duct

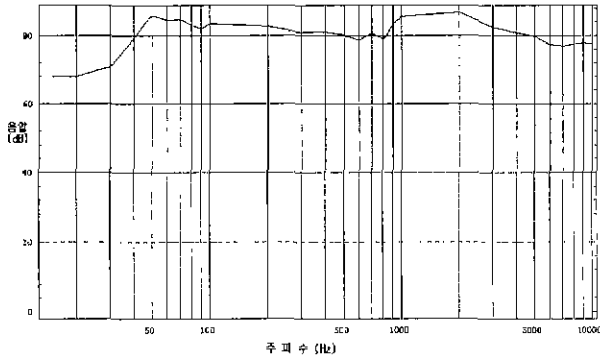


그림 8 120mm 1m 거리에서의 음압
Fig. 8 120mm sound pressure level

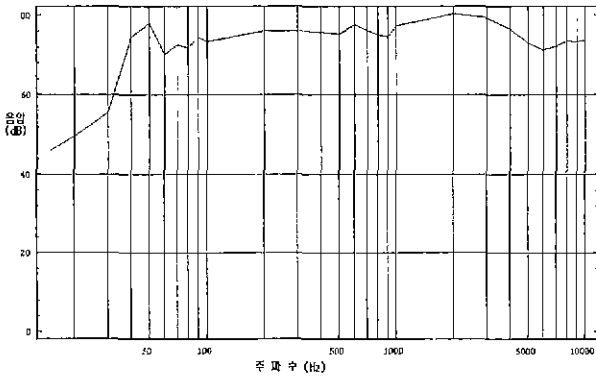


그림 9 150mm 1m 거리에서의 음압
Fig. 9 150mm sound pressure level

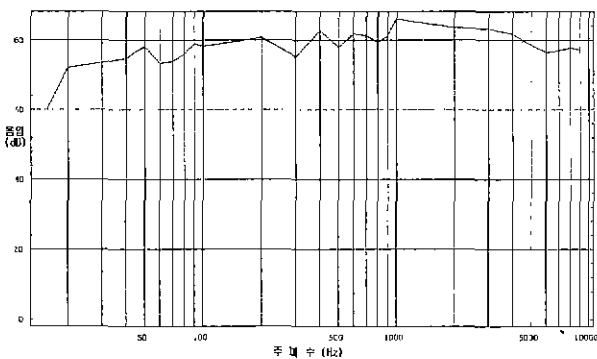


그림 10 280mm 1m 거리에서의 음압
Fig. 10 280mm sound pressure level

6. 결론

직접 방사형의 스피커가 재생 할 수 있는 음압의 크기와 주파수 대역보다도 인클로우저라는, 캐비닛을 사용하였을 때 저음역의 주파수 대역을 늘릴 수가 있다. 밀폐형과 위상반전형을 비교해 볼 때 저음의 주파수를 재생

할 수 있는 인클로우저의 크기는 밀폐형보다 위상반전형이 더 작으므로 생산성에서도 유리하다고 볼 수 있다. 하나의 스피커를 사용한 플레인의 스피커보다도 디바이딩 네트워크를 사용하여 고음 저음으로 나누었을 때의 결과가 우퍼를 하나 사용했을 때보다도 재생 할 수 있는 주파수 대역이 넓다. 또한 재생되어지는 음압도 향상되었음을 실험을 통하여 증명하였다. 현재 사용되어지고 있는 위상반전형 스피커의 덕트의 길이의 변화에 따른 주파수 대역의 변화를 통하여 덕트가 길어짐에 따라서 재생되어지는 주파수의 대역이 낮은쪽으로 변함을 알 수 있었다. 그러나 저음의 재생 능력은 덕트가 길어짐에 따라 늘어나지만 전체적인 주파수의 변화에서의 기복은 피할 수가 없었다. 따라서 전체적인 주파수의 기복을 피할 수 만 있다면 좀더 나은 음질의 스피커를 기대할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] KagaWa, Y., Yamabuchi.T., and Sugihara. K., 1980. "A Finite Element Approach to a Coupled Structural-Acoustic Radiation System with Application to Loudspeaker Characteristic Calculation". Journal of Sound and Vibration. Vol. 69. No. 2. pp. 229~243.
- [2] 박건직, 음향機器, 도서출판 청암, pp 93-96
- [3] 박건직, 음향機器, 도서출판 청암, p. 94
- [4] 現代 오디오技術, 기전연구소, 가동철평, p58-59
- [5] 日本 放送 出版 協會, p123-132
- [6] Dynamic Range of Active Band-Pass Filters with an Element-by-Element Simulation V. V. Meshcheryakov, I. V. Penkin pp. 5