

# 위상 반전형 스피커시스템에서 임피던스 봉 사이의 관계

이 한량\*, 오 세진\*, 이성수\*\*  
\*주성대학 스피커음향기술혁신센터  
\*\*서원대학교 정보통신공학과

## The Relations between Two Impedance Mounds of A Bass Reflex System

Han-Ryang Yi\*, Sei-Jin Oh\*, Seung-Soo Lee\*\*  
\*Ju-Seong College Speaker and Audio Technical Innovation Center  
\*\*Department of Information and Communication Engineering, Seo-Won University

### 요약

본 논문은 스피커의 후면 방사음을 이용하여 저주파수의 음을 재생하기 위한 인클로져(enclosure) 방식 중 통기구(Vent)를 이용한 위상반전(Bass Reflex) 방식의 스피커 시스템에 관한 것이다.

일반적으로 위상반전형 스피커 시스템의 임피던스 곡선의 특성은 저주파수 대역에서 통기구의 공명에 대한 것과 구동스피커의 공명에 대한 임피던스 봉(mound)이 나타난다.

기존의 연구 결과들은 통기구와 인클로져의 용적에 관련된 최저 주파수에서의 공명에 대한 것만을 대상으로 하였다. 즉, 최저 주파수에서의 공명특성이 상대적으로 높은 주파수에서 나타나는 스피커의 공명특성에 미치는 영향과 이로 인한 스피커의 음파발생 특성에 관하여 구체적인 논의가 되지 않았다.

본 논문에서는 위상반전형 스피커 시스템에서의 두 임피던스 봉오리 사이의 관계를 정리하고, 상대적으로 높은 주파수에서 발생하는 임피던스의 공명 특성에 따른 스피커의 음파발생 특성에 관해 연구하였다.

### 서론

작은 크기의 진동판으로 저주파수의 음파를 재생시키기 위한 노력은 1930년대 이후부터 지금까지 계속되어 오고 있다. 지금까지 개발된 수 많은 저음 재생방식 중 가장 일반화된 것은 vent 혹은 port라고 하는 통기공을 가진 위상반전형 스피커시스템이다.

지금까지 위상반전형 시스템에 대한 연구의 결과들은 1970년대에 Thiele과 Small에 의해 종합적으로 정리되었다.[1],[2]

그러나 Thiele-Small Parameter로 알려진 양들은 스피커 자체의 특성과 밀폐형 상자, 그리고, 통기공이 있는 상자와 통기공에 대한 변수들을 얻는데 목적을 두고 있다. 즉, 통기공을 가진 상자에서 통기공의 영향에 의해 스피커 자체에 미치는 영향에 대한 연구는 아직 구

체화 되지 않았다.

본 논문에서는 통기공의 공명특성에 따른 스피커 자체의 공명특성의 변화를 조사하였다.

### Q-factor의 측정방법

스피커의 DCR이  $R_E$  이고, 임피던스 봉의 최대치가  $R_M$  일 때 두 저항의 관계에 대한 변수  $R_o$  와  $R_i$  은 다음의 식 (1), (2)와 같다.

$$R_o = \frac{R_M}{R_E} \quad (1)$$

$$R_i = \sqrt{f_o} R_E \quad (2)$$

이때, 역학적인 Q-factor의 값  $Q_m$  는 다음의 식(3)과 같이 쓸 수 있다.

$$Q_m = \frac{f_o \sqrt{R_o}}{f_2 - f_1} \quad (3)$$

여기에서,  $f_o$  는 스피커의 공명주파수이고,  $f_1$ ,  $f_2$  는 임피던스 봉에서 식 (2)에 의해 계산된  $R_i$  값이 나타나는 주파수이다.

또한, 전기적인 Q-factor의 값  $Q_e$  는 다음의 식(4)와 같이 쓸 수 있고,

$$Q_e = \frac{Q_m}{R_o - 1} \quad (4)$$

두 Q-factor에 대한 전체 Q-factor  $Q_o$  는 다음의 식 (5)와 같이 쓸 수 있다.

$$Q_o = \frac{Q_m Q_e}{Q_m + Q_e} \quad (5)$$

### 측정결과

측정에 사용된 스피커는 직경이 125mm이고, DCR이 7.25 ohm인 제품을 사용하였다.

상자는 내부 컷수가 가로x세로x깊이가 440x 320x240 mm인 것을 사용하였다.

임피던스를 측정하기 위한 장비로는 Real Time Audio Analyzer인 ASA-II를 사용하였고, 주된 환경에 의한 영향을 배제하기 위해 지상에서 1m 높이의 별도 받침대 위에 스피커시스템을 설치하고 측정하였다. 다음의 [표1]은 상자를 사용하지 않은 스피커 단품의 사양이다.

내용	값	단위
Ro	6.73	-
RE	7.25	Ohm
R1	18.80	Ohm
Fs	58	Hz
f1	41	Hz
f2	78	Hz
QMS	4.02	-
QES	0.70	-
QTS	0.60	-

[표 1] 상자에 결합하지 않은 스피커 자체의 사양

상자에 스피커를 장착한 경우의 사양은 스피커 단품의 특성량과 구별하기 위해 각 항목의 뒤에 첨자를 붙였다.

내용	값	단위
RoB	9.07	-
RE	7.25	Ohm
R1B	21.84	Ohm
FsB	106	Hz
f1B	91	Hz
f2B	122	Hz
QMB	10.30	-
QEB	1.28	-
QTB	1.14	-

[표 2] 상자에 스피커를 장착한 경우의 사양

통기공이 있는 경우에 대한 사양을 표시하기 위해 각 항목의 뒤에 "B\_00\_00"의 첨자를 붙였다. B는 상자에 스피커를 장착하였음을 나타내고, 중간의 00은 통기공의 직경을, 마지막의 00은 통기공의 길이를 나타낸다. 그리고, 1차봉은 저주파수에서 나타나는 상자와 통기공의 공명에 의한 임피던스 봉을 나타내고, 2차봉은 상대적으로 높은 주파수에서 나타나는 스피커의 변화된 임피던스 봉을 나타낸다.

내용	1차봉	2차봉	단위
RoB_50_18	4.44	6.54	-
RE	7.25	7.25	ohm
R1B_50_18	15.28	18.53	ohm
FsB_50_18	31	119	Hz

f1B_50_18	25	107	Hz
f2B_50_18	37	137	Hz
QMSB_50_18	5.45	10.13	-
QESB_50_18	1.58	1.83	-
QTSB_50_18	1.23	1.55	-

[표 3] 상자 1에 통기공이 있는 경우. 통기공의 내경 : 50mm, 길이 : 18mm

내용	1차봉	2차봉	단위
RoB_60_18	4.68	6.35	-
RE	7.25	7.25	ohm
R1B_60_18	15.68	18.27	ohm
FsB_60_18	33	122	Hz
f1B_60_18	26	110	Hz
f2B_60_18	39	139	Hz
QMSB_60_18	5.49	10.60	-
QESB_60_18	1.49	1.98	-
QTSB_60_18	1.17	1.67	-

[표 4] 상자 1에 통기공이 있는 경우. 통기공의 내경 : 60mm, 길이 : 18mm

내용	1차봉	2차봉	단위
RoB_70_18	5.16	5.96	-
RE	7.25	7.25	ohm
R1B_70_18	16.47	17.70	ohm
FsB_70_18	35	130	Hz
f1B_70_18	28	114	Hz
f2B_70_18	42	145	Hz
QMSB_70_18	5.68	10.24	-
QESB_70_18	1.36	2.06	-
QTSB_70_18	1.10	1.72	-

[표 5] 상자 1에 통기공이 있는 경우. 통기공의 내경 : 70mm, 길이 : 18mm

다음의 [표 6]은 통기공의 직경 변화에 따른 Q-factor들의 값을 정리한 것이다. 이 결과를 보면, 동일한 용적의 상자에서 통기공의 직경이 커짐에 따라 1차봉의 경우에는 QMS 값이 증가하는 것을 볼 수 있다. 그러나 QES 값은 작아지는 것을 알 수 있고, QTS 값은 결과적으로 작아지는 것으로 나타난다.

또한 2차봉의 경우에 있어서는 QMS 값이 1차 봉의 경우와 같이 증가하는 것을 알 수 있고, [표 7]과 같이 약 80%이상의 증가폭을 가진다. 그리고, QES 값은 1차봉의 경우와는 다르게 증가하는 경향을 나타내고 있다. QES의 증가율은 일정하지 않고 증가율이 약 2배씩 상승하는 경향을 보이고 있다. 최종적으로 2차봉의 QTS 값은 1차봉의 경우와 달리 증가하는 경향을 보이며, 증가율 역시 증가하는 경향을 보이고 있다. 2차봉의 Q-factor들은 상자에 결합되지 않은 경우와 비교해 QMS 값은 약 2배 이상 증가하였고, QES 값

역시 2배이상의 증가를 나타내고 있고, QTS 값 역시 2배 이상의 증가를 보여 주고 있다. 그리고, 밀폐된 상자의 경우와 비교하면, QES 값은 비슷한 수준의 값을 가지나, QES값의 증가가 나타나는 것을 볼 수 있고, 최종적으로 QTS 값의 증가를 나타내고 있다.

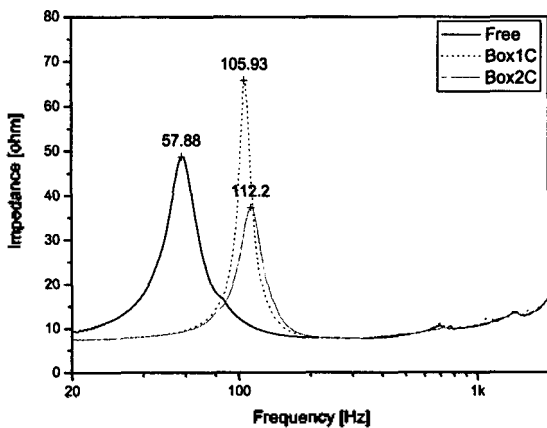
직경	1차봉		
	QMS	QES	QTS
50	5.45	1.58	1.23
60	5.49	1.49	1.17
70	5.68	1.36	1.10
	2차봉		
	QMS	QES	QTS
50	10.13	1.83	1.55
60	10.60	1.98	1.67
70	10.24	2.06	1.72

[표 6] 통기공의 직경 변화에 따른 Q값의 변화

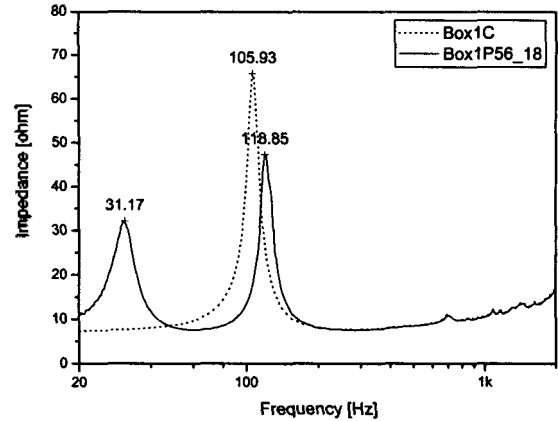
직경	증가율(%)		
	QMS	QES	QTS
50	86	16	26
60	93	33	43
70	80	51	56

[표 7] 통기공의 변화에 따른 Q-factor들의 증가율

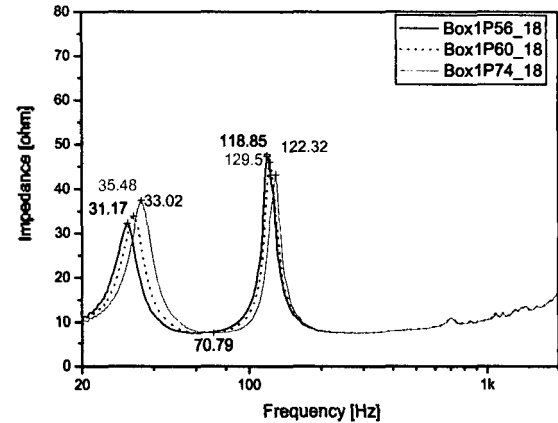
다음의 그림들은 본 논문의 측정을 통해 얻은 측정 그래프들이다.



[그림 1] Box의 유무에 따른 임피던스 특성  
Free : Box를 부착하지 않은 스피커 자체의 특성  
Box1C : 밀폐형 Box1에서의 특성  
Box2C : 밀폐형 Box2에서의 특성



[그림 2] 밀폐형과 Port형의 임피던스 특성  
Box1C : 밀폐형 Box1에서의 특성  
Box1P56\_18 : Box1에 Port가 있는 경우  
(Vent : 내경 50mm, 길이 18mm)



[그림 3] 동일 용적의 Box에서 Port의 직경변화에 따른 임피던스 특성  
(Port 내경 : 50/55/70mm, Port길이 : 18mm)

### 결론

결과적으로 위상반전형 스피커에서 통기공의 직경을 변화시키면 구동스피커의 임피던스 특성이 변화하는 것을 확인할 수 있었다.

부가적으로 상자의 용적을 변화시킨 측정자료와 통기공의 길이변화에 대한 자료를 실어놓았다. 이 부가적인 측정결과에서 통기공의 직경 및 길이의 변화에 따른 구동 스피커의 Q-factor 변화폭을 확인할 수 있었다.

향후, 상자의 용적변화와 통기공의 길이 변화에 따른 구동 스피커의 특성 변화를 확인하여 관계를 정립할 것이다.

### 참고문헌

[1] A. N. Thiele, "Loudspeakers in Vented Boxes",

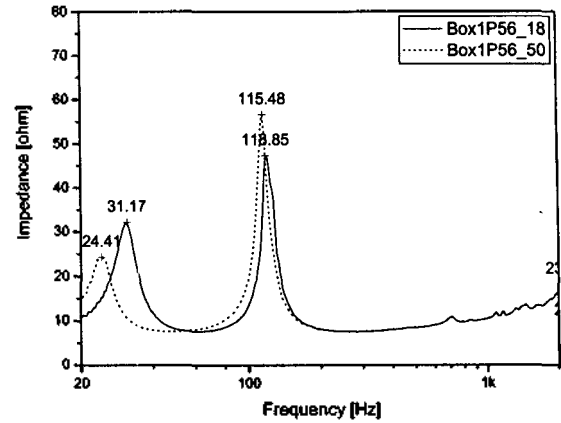
J. Audio Eng. Soc., Vol.19, pp382-391 and 471-483, 1971.

[2]R. H. Small, "Direct-Radiator Loudspeaker System Analysis", J. Audio Eng. Soc., Vol.20, pp.383-395, 1972.

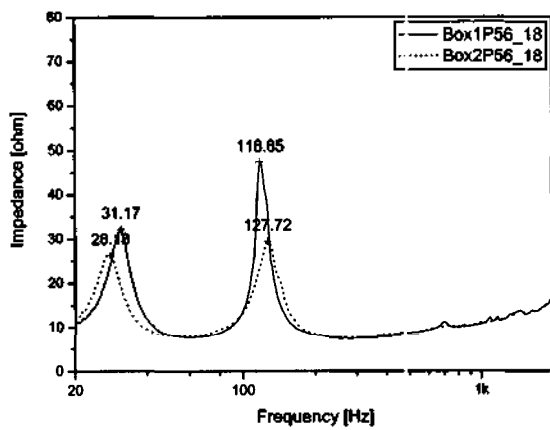
[3]Robert. E. Crocker, *Handbook of Acoustics*, Chap. 11., John Wiley & Sons,1938

[첨부]

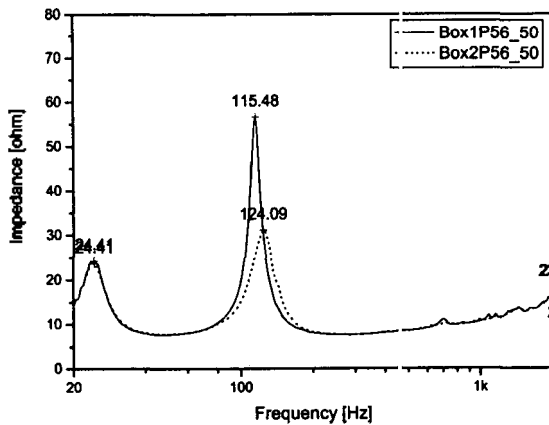
상자의 용적과 통기공의 길이를 변화시키면서 측정한 그래프들을 실어 놓았다.



[그림 6] 동일 용적의 Box에서 Port의 길이변화에 따른 임피던스 특성 (Port 내경 : 50mm, 길이 : 18mm/50mm)



[그림4] Vent가 있는 Box용적변화와 임피던스 특성 (Vent : 내경 50mm, 길이 18mm)



[그림 5] Port가 있는 Box용적변화와 임피던스 특성 (Port : 내경 50mm, 길이 50mm)