

미숙련 작업자에 의한 미확인 조립오차가 스피커 특성에 미치는 영향

박 석 태
주성대학 음향과

Effects for characteristics of loudspeaker due to unknown fabrication mistakes by unskilled workers

Seok-Tae Park

Department of Acoustical Engineering, Juseong College

stpark@jsc.ac.kr

요약

미숙련 작업자들에 의하여 생산되는 라우드스피커의 특성들을 분석하여 제작된 제품들의 품질 신뢰도를 분석하였다. 동일한 부품을 사용한 경우임에도 조립 제작과정에서 누적된 미확인 제작오차에 의하여 발생하는 스피커의 전기 임피던스와 음향응답특성등의 산포도를 분석하였다. 또한, 전기 임피던스 곡선들로부터 T-S 매개변수 규명법 으로 규명한 스피커 매개변수들의 산포도도 분석하였다. 부품들의 질량에 대한 실측치와 매개변수법으로 규명한 결과를 비교하여 조립제작과정에서 이 값들의 변화 되는 정도도 분석하였다.

1. 서론

주성대학 음향공학과 의 교과 과정중에 라우드스피커 (이하 스피커)를 제작하는 과정이 있다. 학생들에게는 공장에서 제작된 동일한 스피커 부품들이 제공되었으며 제작과정을 숙지시킨 다음에 제작과정에 따라 스피커를 제작하도록 하였다. 이렇게 제작한 스피커들의 특성을 파악하여 신뢰성 있는 제품이 생산되었는가를 분석하는 것도 의미있는 작업이라 여겨졌다. 공장에서 자동 생산

되는 제품의 경우와는 달리 수작업에 의한 조립 제작과정, 주로 접착, 중에는 많은 조립오차가 발생할 것으로 여겨졌다. 이러한 조립오차가 발생하는 메커니즘은 주로 다이어프램을 중앙에 위치시키지 못할 때 발생하는 편심오차와 자력선 중심에 음성코일 중심을 일치 시키지 못할 때 생기는 평형위치 이탈오차, 다이어프램과 보빈의 접합위치 오차등이 단일 또는 복합적으로 발생할 수 있다. 그러나, 이러한 오차들을 원인별로 정확하게 분석하는 방법은 시간적으로나 경제적으로 많은 비용이 소요되게 된다. 이들 각각의 영향에 따른 스피커 특성변화를 파악하기는 불가능하다고 여겨진다. 본 연구에서는 각 원인 별 분석이 아닌 종합적 분석을 하여 미숙련 작업자에 의한 미확인 조립 오차가 스피커의 특성에 미치는 영향을 분석하였다.[1]

2. 스피커 모델링

스피커는 전기계, 기계계 및 음향계로 구성된 복합 계이다. 이들 복합계를 간단한 통합계로 바꾸어 해석을 하면 스피커 특성을 용이하게 분석할수 있다. 베라넥이 스피커에 대한 유사회로 연구를 하였고[2] 스피커의 거동을 표현할 수 있는 스피커 매개변수들을 텔레와

스플라이가 정리하여 스피커 모델링등에 사용되고 있다[3-6]. 이들 매개변수들을 규명하는 방법들은 여러 연구자들에 의해 제시되었다. 스피커 모델링 기법연구는 스피커 자체만 아니라 인클로저를 포함하는 인클로저 모델링과 크로스오버 네트워크까지를 포함하는 모델링까지 발전하였다. 인클로저에 의한 음향 회절까지도 고려하는 모델링 기법등이 사용되고 있다. 기본적으로 이러한 기법들은 T-S 매개변수에 기초한 집중질량계 모델링 방법이다. 이러한 모델들은 상대적으로 고주파수에서 발생하는 다이아프램부의 breakup 현상들을 예측 할 수 없다는 단점이 있다. 그러나, 해석시간이 짧고 비교적 간단한 이론을 적용 했음에도 breakup 주파수보다 작은 주파수에서는 음향응답특성등이 시험결과와 잘 일치함으로써 스피커 해석 소프트웨어등에서 사용하고 있다. 본 연구에서도 이러한 모델링 기법에 기초하여 스피커 매개변수를 규명하였고 스피커 특성등을 분석 하였다. 한편, 스피커의 breakup 현상을 정확히 분석 하려면 유한요소법이나 경계요소법등을 사용하여 보다 복잡하고 비용과 시간이 많이 소요되는 방법등을 적용할 수 있다. 이 경우에는 각 부품의 물성데이터를 정확히 알고 있어야 하며 이 값들은 해석 결과에 큰 영향을 미치고 방대한 데이터의 처리가 필요하게 된다.

3. 스피커 매개변수

T-S 매개변수들을 임의로 선택한 9 개의 샘플 스피커들에 대하여 규명하였다. 규명법은 질량법을

표 1. T-S 매개변수 규명법으로 구한 매개변수들의 평균값과 표준편차 비교

매개변수	평균값	표준편차
컴플라이언스, um/N	540.59	64.48
힘요소, Tm	6.31	0.92
기계적 Qm	2.91	0.16
전기적 Qe	0.84	0.25
전체 Qt	0.75	0.15
공진주파수, Hz	65.98	3.53

다이아프램부 질량, g	10.38	1.15
등가부피, litre	6.97	0.83
민감도, dB	85.59	1.69
방사효율, %	0.24	0.07

사용하였고[5] 표 1 에 대표적인 매개변수들을 나타냈다. 표 2 에는 각 매개변수들의 오차범위를 나타냈다. 전기적 Q 값은 최대 52% 오차를 나타냈다.

표 2. T-S 매개변수들의 분포비교

매개변수	하한, %	상한, %
컴플라이언스, um/N	-17	24
힘요소, Tm	-22	17
기계적 Qm	-9	9
전기적 Qe	-27	52
전체 Qt	-22	41
공진주파수, Hz	-5	8
다이아프램부 질량, g	-12	12
등가부피, litre	-17	24
민감도, dB	-4	2
방사효율, %	-45	34

서라운드와 스피커로 구성된 동적 시스템의 등가 스프링 상수의 역수인 컴플라이언스를 규명한 결과를 Fig.1 에 나타냈다. 점선은 99% 신뢰도 구간을 나타내며 이 구간내에 규명된 데이터가 존재함을 나타냈다. Fig.2 는 다이아프램 부의 질량 규명 결과를 나타냈다.

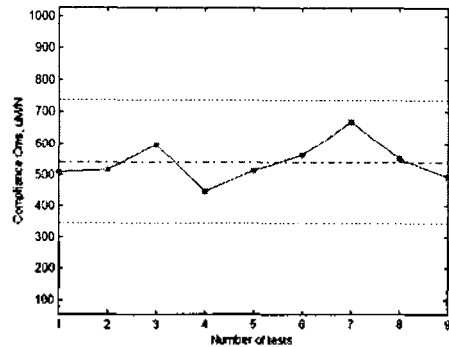


Fig.1 Variation of compliance coefficient identified by mass method on 9 samples, dot line: 99% confidence region, dot-dash line: average value, * mark : identified results

4. 질량 측정값 분포

3 장에서는 제작한 9 개의 샘플 스피커에 대한 T-S 매개변수를 규명하였다. 43 개의 샘플 스피커를 제작하기에 앞서 각 부품들의 질량을 측정하여 각 부품들의 편차를 분석하였다. 질량측정은 전자저울 (AND 사 제품, 모델명 HM-202, 측정범위 최대 200g, 분해능 0.1mg)을 사용하여 측정하였고 표 3 에 결과를 정리하였다. 다이어프램 질량을 측정한 결과를 Fig. 3 에 나타냈다. 가로축은 샘플 라우드스피커 번호를 나타내며 세로축은 측정된 다이어프램의 질량을 나타냈다. 평균값은 9.9321g 으로 일점쇄선으로 표시되며, 표준편차는 0.2665g 으로 99% 신뢰도 구간, 평균값 ± 3 *표준편차, 을 2 개의 파선으로 나타냈다. 다이어프램의 질량분포는 평균값을 기준으로 -4.8%에서 6.6%이내에 있음을 보였다. 보빈의 질량은 평균값이 3.5444g, 표준편차는 0.1135g, 오차는 -3.2% 에서 4.5% 범위내에 있음을 나타냈다. 스파이더는 -1.7% 에서 2.4% 구간내에, 더스트 캡은 -2.6% 에서 2.1%, 프레임은 -2.7% 에서 1% 구간내에, 자석은 -0.5% 에서 0.4% 구간내에 질량값들이 존재하였다.

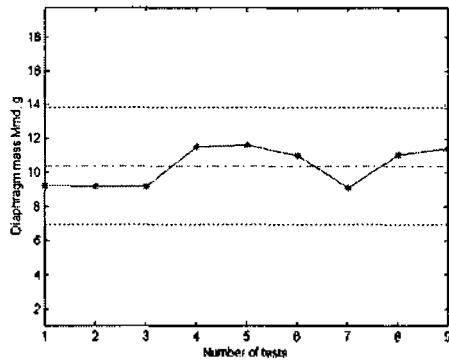


Fig.2 Variation of equivalent mass of diaphragm part including spider, bobbin, voice coil and surround identified by mass method on 9 samples, dot line: 99% confidence region, dot-dash line: average value, * mark : identified results

표 3. 스피커 각 부품의 질량측정 결과, 단위: g

품명	평균값	표준편차
더스트 캡	0.9697	0.0113
다이어프램	9.9321	0.2665

보빈	3.5444	0.1135
스파이더	1.0620	0.0115
캡	111.4424	0.2536
프레임	95.9075	0.6966
윗판	127.6854	0.3601
터미널	1.2659	0.0061
폴피스	149.3460	0.3735
자석 1	181.5403	0.3902
자석 2	152.0215	0.3227

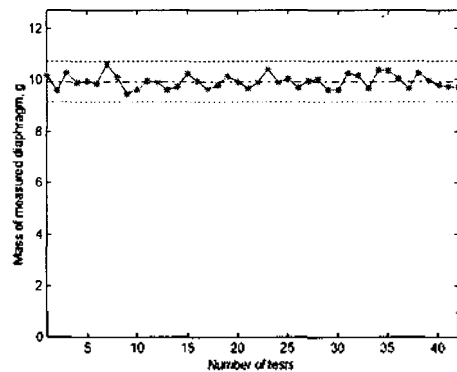


Fig.3 Variation of mass of diaphragm measured by electrical precision scale on 43 samples, dot line: 99% confidence region, dot-dash line: average value, * mark : measured results

5. 스피커 특성 시험

미숙련 작업자들이 제작한 43 개의 샘플 스피커에 대하여 전기 임피던스와 음향응답특성을 Fig.4 에 나타냈다. 전기 임피던스를 포트박스에 라우드스피커를 장착한 상태에서 측정하였다. 포트박스에서는 포트공간으로 인하여 52Hz 부근에서 임피던스가 극소값이 된다. 이 주파수는 포트공간 주파수이며 라우드스피커 다이어프램은 거의 움직이지 않으므로 음압에 거의 기여하지 못하고 포트내의 공기가 급격하게 움직여서 음압에 주로 기여하게 된다. 이 주파수 이상부터가 실제로 라우드스피커를 사용할 수 있다. 몇개의 곡선들을 제외하면 대체적으로 같은 패턴을 보이고 있다. 제작된 라우드스피커들의 경우에 앞절에서 부품의 균질성이 확인되었는데도 이같은 차이를 보이는 것은 조립오차에 따른 것으로 추정되었다. 조립오차에 따라 영향 받을 수 있는 것은 스프링 상수의 편이와 평형 위치에서의

상하 비 대칭성 및 좌우 비 대칭성 등을 들 수 있다. 상용소프트웨어를 사용하여 T-S 매개변수에 기초하여 전기 임피던스를 예측할 때에 기본적으로 평형위치에서는 대칭성을 갖는다고 가정한다. 따라서, 상용 소프트웨어에서는 비 대칭성에 따른 특성을 예측할 수 없었다. 미숙련자들이 제작한 43 개 중에서 4 개가 특이한 전기 임피던스 특성을 보이며 이는 제작 시에 중대한 실수를 한 것으로 추측되었다. 제품을 확인해보니 상하 평형 위치가 정상적인 위치에서 벗어난 경우와 다이어프램이 좌우 대칭위치에서 약간 벗어난 것으로 나타나 이러한 영향이 전기 임피던스 특성에 영향을 주었다는 결론을 얻었다. Fig.5 에는 제작한 43 개의 라우드스피커를 포트박스에 장착하고 그라운드 플레인 방법으로 측정된 결과를 나타냈다[7]. 민감도를 분석한 결과 음압은 80.52 dB 에서 90.66 dB 사이에 분포할 확률이 99% 임을 보였다. Fig.5 에서 93%의 제품이 범위내에 있음을 보이고 범위를 벗어나는 것은 3 개의 곡선으로 나타났다. 이것은 통상적인 조립과정에서 벗어난 결과로 나타난 것을 의미한다. 즉, 정상적인 표준 작업으로 제작하지 않았다는 것을 뜻한다.

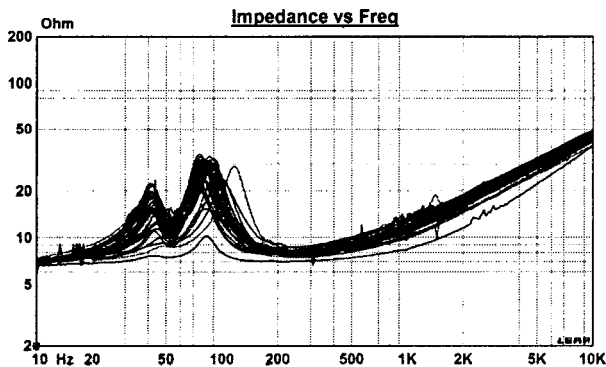


Fig.4 Variation of electrical impedance for 43 loudspeakers manufactured by unskilled workers

6. 결론

43 개의 라우드스피커 샘플들을 미숙련 작업자들이 제작하였다. 라우드스피커의 부품들은 자동생산되어 균질성을 확보한 것으로 예측되었고 전자저울로 질량을 측정된 결과 균질성이 있다고 판명되었다. 이 부품들을

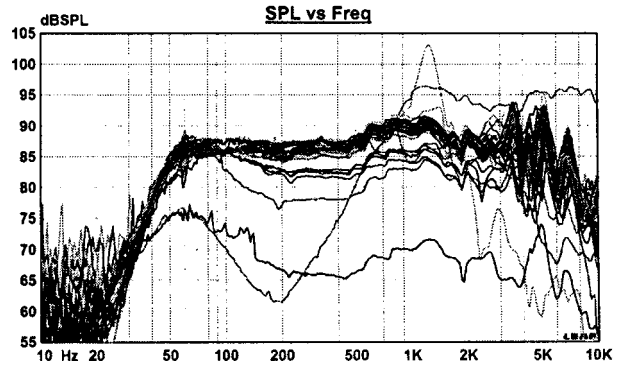


Fig.5 Variation of sound pressure level for 43 loudspeakers manufactured by unskilled workers

Fig.4 와 Fig.5 를 고려하면 전기 임피던스에서의 이상징후가 음향 응답특성에 반영되었음을 알 수 있다.

사용하여 미숙련자들이 제작한 라우드스피커들의 T-S 매개변수들은 매우 큰 편차를 나타냈으며 이 매개변수들로부터 예측된 민감도는 시험결과와 잘 일치함을 나타냈다. 각 매개변수들이 큰 편차를 나타내는 데도 민감도 결과가 잘 일치하는 이유는 이 매개변수들로 구성되는 라우드스피커 모델은 동적모델로 매개변수들이 모델의 전체적인 특성을 잘 표현되도록 각 매개변수들이 최적으로 피팅 되었다고 볼 수 있다. 민감도 시험 결과를 보면 제작된 43 개의 라우드스피커들에서 80% 정도인 35 개 샘플들은 민감도가 3dB 이내에 있음을 보였고 93%인 40 개 샘플들은 허용한계 내에 있었다. 결론적으로 특수한 몇 가지 경우를 제외하면 부품의 균질성이 확보되면 미숙련자들이 작업할 경우에도 93% 정도의 제품은 허용 한계내에 있음을 보였다.

참고문헌

1. 박석태, 주성대학논문집, 12 집, pp.83-96, 2003
2. L.L.Beranek, Acoustics, the Acoustical Society of America, 1993
3. Small, Richard H., Direct Radiator Loudspeaker Analysis, AES, vol.20, No.5, pp.383-395, 1972
4. Small, Richard H., Passive-Radiator Loudspeaker Systems Part 1: Analysis, AES, vol.22, No.8, pp.592-601, 1974
5. Small, Richard H., Vented-Box Loudspeaker Systems-Part 1: Small-Signal Analysis, AES, vol.21, No.5, pp.363-372, 1973
6. Small, Richard H., Vented-Box Loudspeaker Systems-Part 1: Large-Signal Analysis, AES, vol.21, No.6, pp.438-444, 1973
7. LEAP EnclosureShop Reference manual Release 5, LinearX Systems, 2003