

# 하이파이용 라우드스피커 전산해석

박 석 태  
주성대학 음향과

## Computational analysis for HiFi loudspeaker

Seok-Tae Park

Department of Acoustical Engineering, Juseong College

stpark@jsc.ac.kr

### 요약

본 연구에서는 스피커 전용 해석 소프트웨어를 이용 하이파이용 우퍼에 대한 해석결과를 기술하였다. 전용 소프트웨어를 사용하는 경우에는 범용 소프트웨어에 비하여 다양한 경계조건을 갖는 경우에는 적용할 수 없다. 해석 대상은 무한배플에 장착된 하이파이용 우퍼로서 다이어프램의 breakup 현상을 예측할 수 있었다. 또한, 다이어프램의 두께 변화와 다양한 재료 및 힘 요소의 크기에 따른 하이파이용 라우드스피커의 음향특성들을 파악할 수가 있었다.

### 1. 서론

중소 기업체 등에서는 라우드스피커(이하 스피커)를 개발하는데 있어 타사 모델을 기초로 하여 설계하고 제작하는 방식을 택하고 있다. 이러한 방법으로는 경쟁력 있는 제품을 생산하는데 어려움이 있으며 더 좋은 음질의 제품을 짧은 시간 동안에 개발할 수는 없게 된다. 현실적으로 전문 설계기술을 보유한 전문가들이 중소기업에 없는 경우가 많으므로 생산기술을 보유한 업체와 전문 설계자가 협력을 하게 된다면 좋은 음질의 제품을 효율적으로 개발할 수 있다. 본 연구는 중소기업 기술지도를 한 경험에 기초하여 스피커를 전문 해석 소프트웨어를 이용하여 해석한 경우를 기술하고자 한다.

### 2. 전산해석

#### 2.1 모델링 과정

전산해석은 크게 3 단계 과정으로 구성된다. 첫번째 단계는 전처리 과정(preprocess)으로 형상설계와 기하학적 경계조건 설정, 물성치 부여등을 하는 과정이다. 두번째 단계는 해석과정으로 대규모 연산이 수행된다. 세번째 단계는 후처리 과정(postprocess)으로 해석결과를 관심있는 방식으로 분석하는 과정이다. 본 연구에서의 해석대상 우퍼는 직경이 5.25 인치, 공칭 저항 8 옴으로 하이파이용으로 개발된 제품이다. 이 제품을 주성대학 음향공학과에서 교육용으로 부품상태로 구입하여 스피커제작 실습에 사용하였다. 우퍼의 음향특성에 관심이 있으므로 음향해석을 수행하였다. 이를 위해서 먼저 진동해석 과정을 수행하여 구한 진동해석결과를 음향해석을 위한 경계조건으로 사용하였다. 사용한 소프트웨어는 Loudsoft 사의 Finecone v1.7 이었다. 이 소프트웨어는 축 대칭 문제에 대하여 진동해석 및 음향해석을 수행할 수 있게 개발된 것이다. 진동해석은 유한요소법을 사용하였고 음향해석은 진동해석결과를 이용하여 Rayleigh 방법으로 수행하도록 되어있다. 음향해석을 Rayleigh 방법으로 해석하면 계산시간이 짧은 장점이 있으나 인클로저 효과등의 내부 음장 해석은 수행할 수 없고 외부 음장해석만 가능하다. 한편, 해석을 위해서는 기하학적 데이터를 구성해야 한다. 2 차원 CAD 소프트웨어를 이용하여 스피커의 각 부품을 층(layer)별로 작성한, 축 대칭으로 작성한 데이터들을 해석 소프트웨어로 보내게 된다. 해석 소프트웨어에서는 각 층별로 데이터를 읽어

들이고 해석을 위한 기하학적인 방향성 검토를 한후에 기하학적 경계조건 및 하중치를 부여하도록 한다. Fig. 1 에 해석대상인 샘플 스피커를 나타냈다. 샘플 스피커는 방자형 구조이며 2 층 원형 코일을 사용하고 있다. Fig.2 에 CAD 로 작성한 스피커 전산해석을 위한 축대칭 형상을 나타냈다. Fig.3 에는 전용 해석 소프트웨어에서 읽어들이 3 차원 단면 형상을 나타냈다. 스피커를 가진하는 힘을 모델링하기 위하여 스피커 T-S 매개변수를 사용하였으며 이때 생성된 가진력을 하중조건으로 사용하였다.



Fig.1 Sample loudspeaker

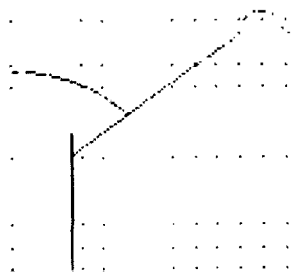


Fig.2 Axisymmetric draft for sample loudspeaker

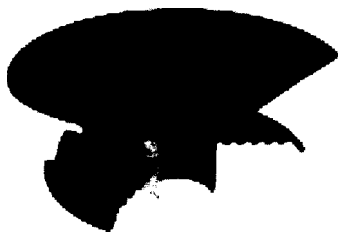


Fig.3 Section view for sample loudspeaker; 3D model on Loudsoft software

## 2.2 경계조건 부여

경계조건은 기하학적 경계조건과 하중경계조건으로 구분할 수 있다. 기하학적 경계조건은 변위 경계조건으로 다이어램과 스파이더의 외곽이 고정단이라고 가정하며 축 대칭 경계조건을 가정한다. 하중조건은 선형계를 가정하며 전류에 의해 보빈이 상하 진동하는 것을 가정한다. 보빈에 작용하는 구동력은 로렌츠 힘으로 T-S 매개 변수로 나타내는 전기계에 흐르는 전류와 스피커 자기계의 힘요소의 곱으로 나타낼 수 있다. 정확한 가진력을 구하려면 스피커의 전기임피던스 곡선을 측정하고 입력 매개변수인 T-S 매개변수들을 조정하여 시험결과와 일치하도록 한다. Fig.4 는 전기 임피던스 곡선을 비교한 결과로 T-S 매개변수로 규명한 결과와 시험으로 측정한 결과를 나타냈다. 상부의 검은 선으로 나타난 것이 시뮬레이션 결과이며 시험결과는 Fig.4 에서 잘 보이지 않는다. Fig.5 에는 on-axis 음향 응답특성을 나타냈다. 2.5kHz 이상에서 음향응답이 커지기 시작함을 알 수 있다. 이는 on-axis 음향응답 특성으로 다이어램이 강제거동에서 일부분만이 움직이는 형태로 바뀌어 지향특성이 강해졌다는 것을 의미한다. 저주파수에서 시험결과와 해석결과가 차이가 나는 이유는 시험은 내부용적이 50 리터인 포트 인클로저에 샘플 스피커가 장착된 상태에서 측정한 것이고 해석 결과는 무한배플에 장착된 결과이다. 따라서, 인클로저에 의한 결과는 주로 저주파수에서 나타나므로 차이가 발생한 것으로 추정된다. 또한, 해석결과에는 음향회절 현상을 고려하지 않고 있으나 시험결과에는 인클로저에 의한 음향회절효과가 시험결과 포함되었다. 또한, 해석에서는 배플판에 의한 저주파수에서의 음압상승 효과가 포함되어 있다. 따라서, 정확한 비교는 할 수가 없으므로 정성적 비교가 의미있었다.

## 2.3 전산해석 결과 및 토의

앞절에서 기술한 바와 같이 음향해석 결과는 사용한 소프트웨어의 한계로 무한 배플상태에서의 결과 비교가 가능하였다. 시험은 포트 인클로저 상태에서 그라운드 플레인법으로[1] 수행한 결과를 나타냈다. 따라서,

음향응답결과는 정성적인 분석이 의미가 있었다. 하중 조건은 T-S 매개변수를 사용하여 해석한 결과와 시험으로 구한 전기 임피던스를 매개변수를 조정하여 교정하였다. 다음 장에서는 여러가지 특성변화에 따른 음향변화를 예측하고자 한다.

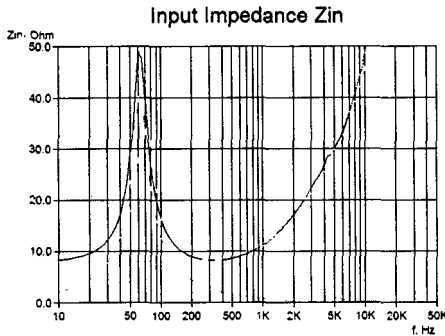


Fig.4 Comparison of electrical impedance of sample loudspeaker between simulated result and test result

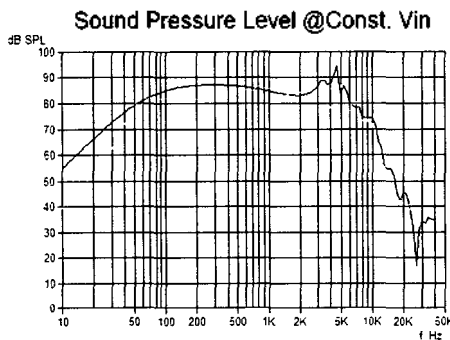


Fig.5 Comparison of sound pressure level of sample loudspeaker between simulated result and test result

### 3. 응용 및 검토

이장에서는 샘플 스피커의 여러 특성 변화에 따라 음향특성이 변화하는 양상을 분석하였다[2]. 첫번째는 다이어프램 두께 변화에 따라 즉, 동적질량과 컴플라이언스의 변화에 따라 우퍼의 음향변화와 다이어프램 서라운드, 스파이더등의 breakup 변화를 분석하였다. 두번째는 다이어프램의 재질이 변경되었을 경우이고 세번째는 자기장 힘 요소의 변화가 음향특성에 어떤 영향을 미치는가를 분석하였다.

#### 3.1 다이어프램 두께 변화에 따른 음향특성

다이어프램 두께변화에 따라 음향특성 변화를 분석하였다. 다이어프램 두께를 50% 했을때와 200%로 했을 경우를 각각 Fig.6 과 Fig.7 에 나타냈다. 50% 두께인 경우는 표준상태(Fig.5)에 비해 음압이 약간 상승하고 고주파 영역이 조금 더 넓어짐을 보였다. 3kHz 이상에서 breakup 이 발생하며 3.8kHz 에서는 골이 발생함을 보였다. 200% 두께인 경우(Fig.7)는 음압이 표준상태보다 작아졌고 breakup 은 조금 더 고주파수 쪽으로 이동함을 나타냈다. 정리하면, 다이어프램의 두께가 감소하면 음압은 상승하고 평탄한 음압범위가 넓어지나 breakup 은 상대적으로 낮은 주파수에서 발생함을 알 수 있었다.

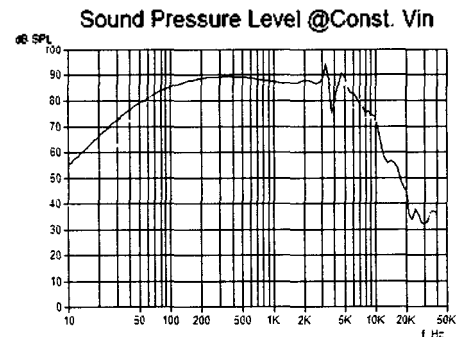


Fig.6 Sound pressure level of sample loud-speaker simulated for 50% diaphragm thickness

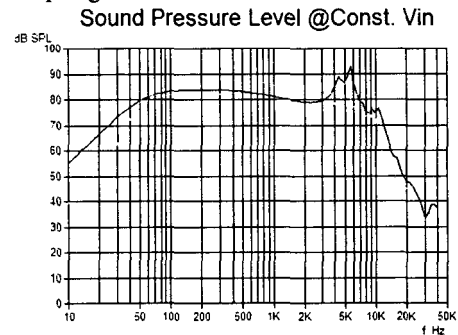


Fig.7 Sound pressure level of sample loud-speaker simulated for 200% diaphragm thickness

#### 3.2 다이어프램 재료에 따른 음향특성

다이어프램 재질이 종이인 경우(Fig.5)와 알루미늄(Fig.8)과 탄소섬유(Fig.9)를 비교하였다. 알루미늄을 사용한 경우에는 breakup 은 9kHz 에서 발생 하였으나 질량이 증가하여 음압레벨이 감소하며 탄소섬유를 사용한 경우에는 5.8kHz 에서 breakup 이 발생하고 감쇠가 작아서 음압변동이 급격함을 나타냈다.

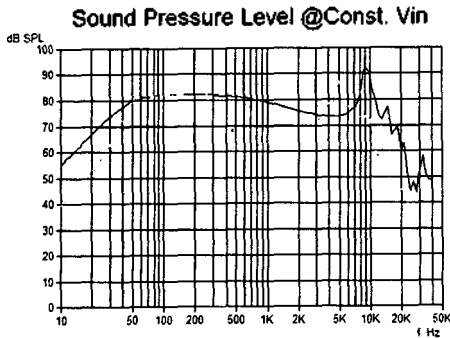


Fig.8 Sound pressure level of sample loud-speaker simulated for aluminum sheet diaphragm

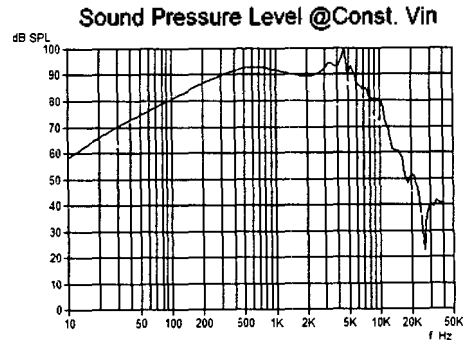


Fig.11 Sound pressure level of sample loud-speaker simulated for 200% force factor

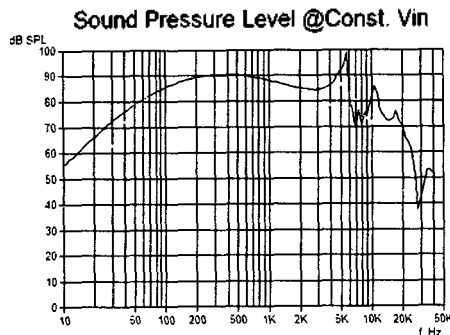


Fig.9 Sound pressure level of sample loud-speaker simulated for carbon fibre composite diaphragm

### 3.3 힘 요소에 따른 음향특성

힘요소의 크기에 따른 음향특성 변화를 해석하였다. 50% 인 경우(Fig. 10)은 저주파수까지 영역이 확대되나 음압레벨이 감소하였고 200%인 경우(Fig.11)은 음압레벨은 상승하나 저주파수 특성이 악화됨을 보였다. 어느 경우에도 breakup 형태는 변함이 없음을 보였다. 즉, 힘 요소는 breakup 에 아무런 영향을 주지 않음을 보였다.

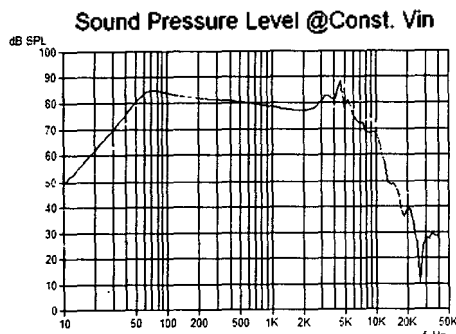


Fig.10 Sound pressure level of sample loud-speaker simulated for 50% force factor

## 4. 결론

하이파이용 라우드스피커에 대한 전산해석을 수행하였다. 해석시간을 줄이기 위하여 음향해석은 Rayleigh 방법을 사용하여 외부음장 해석을 수행하였다. 같은 재질의 다이어프램의 두께가 얇아지면 음압레벨은 상승하고 평탄한 범위가 넓어지나 breakup 은 더 낮은 주파수에서 발생하였고 두께가 커지면 반대현상이 발생하였다. 다이어프램의 두께는 표준상태와 같고 재질을 알루미늄으로 할 경우에 질량증가로 인하여 음압레벨은 낮아졌으며 감쇠가 작으므로 큰 피크가 발생하였다. 탄소섬유의 경우에는 저주파특성이 악화되었다. 즉, 재료가 바뀔 경우에 복합적인 고려를 하여야 함을 나타냈다. 힘 요소를 크게 하면 저주파특성이 악화되었으며 자력을 감소시키면 저주파특성은 개선되었다. 어느 경우에도 breakup 특성은 변화가 없었다.

## 후 기

본 연구는 충북중소기업청 생산현장 애로기술 지도 사업의 기술지도과제의 일부임을 밝혀드립니다.

## 참고문헌

1. LEAP EnclosureShop Reference manual Release 5, LinearX Systems, 2003
2. Peter Larson, Geometrical Stiffness of Loudspeaker Cones, ALMA's World Cone Symposium 2003, 2003