

자동차 오디오용 서브우퍼 개발 Development of Subwoofer for Car Audio System

박 석 태*
Seok-Tae Park

Key Words : Thiele-small Parameter(틸레-스몰 매개변수), Subwoofer(서브우퍼), Nonlinear Model(비선형 모델), Linear and Nonlinear Parameter Identification Method(선형 및 비선형 매개변수 규명법), loudspeaker(라우드스피커)

ABSTRACT

In this paper, computational analysis and experiments of subwoofer for car audio speaker system were performed and discussed to analyze acoustical phenomena for subwoofer. Ported enclosure system with subwoofer were manufactured and provided for test and simulation purposes. Subwoofer with single voice coil and double voice coil were identified by linear and nonlinear parameter identification method for loudspeaker parameters. For high power inputs to subwoofer, sound pressure levels were compared according to input powers with linear and nonlinear loudspeaker models. For subwoofer system with high power, nonlinear speaker model was showed to be adequate to describe the behaviour of loudspeaker.

1. 서 론

현재 차량 장착용 서브우퍼 스피커의 국내 시장 점유율은 미미한 실정이며 카 오디오 서브우퍼 시장은 10 인치가 주류를 보이나 12 인치로 대체되고 있는 실정이다. 국내에서는 자동차 오디오를 목적으로 개발된 12 인치 서브우퍼를 생산하는 업체는 없으며 카 오디오 상점에서는 국산 12 인치 PA 용 서브우퍼를 차량에 장착하고 있는 실정이다. 이로 인하여 고 출력으로 서브우퍼를 구동하는 경우에 외국 수입품들에 비하여 신뢰성 및 내구성 면에서 취약하여 단기간에 구동력이 약화되고 파손되는 관계로 소비자들로부터 외면을 받고 있다. 이를 극복하기 위하여 기존의 국내외 업체들은 보이스 코일 및 댐퍼, 진동판과 프레임 등을 업선하여 유니트 설계 프로그램에 의한 설계와 제작 그리고 시험을 수행하여 신뢰성 있는 유니트를 제작하려는 노력들을 하고 있다. 한편, 카 오디오 기술개발을 살펴보면 (1)인클로저형 스피커시스템 개발분야에서 인젝션 방식의 카 오디오용 디지털 스피커 개발, 인젝션 콘의 설계기술, 저 왜곡률 보이스 코일 실용화 기술등이 있다. (2)카 오디오 고음질 확보를 위한 스피커시스템개발로는 스피커 시스템 설계기술과 실내음장분포 제어기술이 있다. (3)고품질의 카 오디오 개발을 위한 연구방향은 스피커시스템 적용을 위한 인클로저 설계기술개발이 있다. 예를 들면 도요타사의 렉서스와 벤츠사의 경우처럼 독립적인 인클로저 박스 설계로 음질

향상을 목표로 하는 연구가 수행되고 있다. 또한, 차량내의 입체 음향용 스피커시스템 기술개발분야로는 홈 오디오의 5.1 채널 방식의 음장재생용 시스템을 차량에 채택하려는 연구도 수행되고 있다. (4)고음질을 위한 차량내 스피커 시스템 채용/음질 튜닝법 개발로는 음질 튜닝시에 기존의 전문가에 의한 감성연구보다는 통계적 기법에 의한 음질 튜닝 연구 방법등이 개발되고 있다. 또한, (5)외부소음에 대한 흡음, 차음기술 개발로는 차량에서 발생하는 엔진소음, 공력소음, 타이어 소음등을 효과적으로 제어하는 연구등이 있다. 카 오디오 용으로 개발된 서브우퍼를 차량에 장착하기 위해서는 궤적의 서브우퍼 인클로저를 설계하고 제작하여야 한다. 인클로저 설계는 전문 소프트웨어를 사용하여 수행되고 있으며 본 연구에서는 자동차 오디오에 사용되는 서브우퍼를 개발하였다. 서브우퍼 인클로저 시스템의 음향특성을 예측하기 위하여 전산해석 및 시험을 수행하였다. 음향특성을 예측하기 위하여 이중 음성코일의 서브우퍼들에 대한 T-S 매개변수를 규명하였다. 고출력의 서브우퍼 시스템 예측을 위하여 비선형 매개변수 규명법 및 선형 매개변수법으로 규명한 데이터에 기초한 전산해석 결과들을 시험결과와 비교하였다. 전문 소프트웨어를 사용하여 포트박스를 설계하였다. 전문 소프트웨어로는 LSPCAD, LEAP 등이 많이 사용되고 있다. LEAP 소프트웨어는 인클로저의 회절특성을 고려할 수도 있으며 3 차원 공간상에 박스 및 유니트를 배열하면서 유니트 특성과 주변 공간 특성까지도 고려하는 음향시뮬레이션이 가능하다. LSPCAD 는 사용자가 실내 공간등에서 가상 스피커 시스템을 사용하여 음을 청취할 수 있는 가청화 기능 등도 가능하다.

* 주성대학 음향과
E-mail : stpark@jsc.ac.kr
Tel : (043) 219-1202, Fax : (043) 219-1224

2. 서브우퍼 모델링

2.1 서브우퍼의 선형 모델링

이중 음성 코일형태의 서브우퍼의 모습을 Fig.1에 나타냈다. 서브우퍼는 2장의 스피더를 포함하며 폴피스에 포트를 두어 냉각효율을 높이고록 한 구조를 나타냈다.

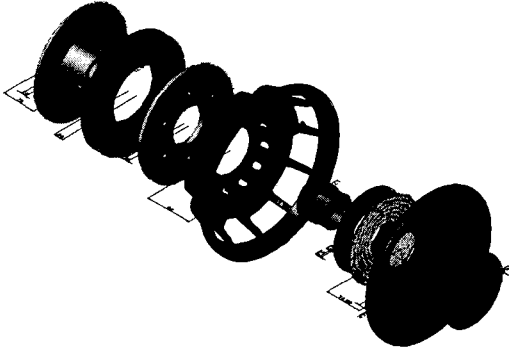


Fig.1 Subwoofer schematic diagram

시제품은 직경 12인치 서브우퍼로서 2중 음성코일방식이다. 강한 음향파워를 구현하기 위하여 전원은 병렬 연결방식을 사용하였으며 각 채널의 공칭저항은 각각 4오옴이었다. 자동차용 서브우퍼는 고객이 다이내믹한 음을 귀와 몸으로 느끼도록 하는 특성을 갖추어야 하므로 큰 전력하에서의 특성 파악이 우선적으로 필요하다. 따라서, 스피커 매개변수인 Thiele-Small (T-S) 매개변수를 구하는데 특별한 필요조건을 만족해야 한다. 즉, 보통의 경우에는 스피커 매개변수를 규명할 때에 저 전류 가진법을 사용하여 구한 전기 임피던스 곡선 데이터를 사용하여 스피커의 선형특성을 나타내는 매개변수를 규명하게 된다[1-4]. 이 방식은 전류 구동 방식에 따라 내부저항이 500오옴이 있는 회로를 통과하는 일정한 전류로 스피커를 구동시켜서 측정된 전기 임피던스 곡선으로부터 선형 T-S 매개변수를 규명한다. 규명한 매개변수는 저전력 가진 특성이므로 서브우퍼의 선형 스피커 특성을 예측하는데 사용될 수 있다. 또한, 규명된 T-S 매개변수를 사용하여 후속적인 전산 시뮬레이션으로 여러 형태의 박스 및 전기 네트워크에 연결된 스피커 시스템에 대한 전기, 기계, 음향특성을 예측하게 된다. Fig.2에 서브우퍼에 대한 선형 전기 등가 모델을 나타냈다. 모터 부분에서의 저항과 인덕턴스는 각각 식(1)과 식(2)로 표현되며 주파

수의 함수 및 각각 두개의 변수로 표현된다. 블록된 임피던스 시험을 하면 모터 요소인 R_{em} 과 L_{em} 을 정확히 규명할 수 있다[5].

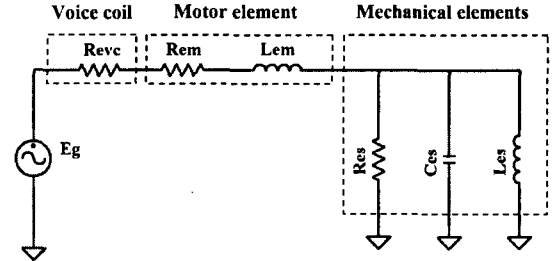


Fig.2 Electrical analogy circuit of subwoofer with weakly nonlinear model

$$R_{em} = R_{em}(\omega, K_{rm}, E_{rm}) = K_{rm} \omega^{E_{rm}} \quad (1)$$

$$L_{em} = L_{em}(\omega, K_{xm}, E_{xm}) = K_{xm} \omega^{E_{xm}-1} \quad (2)$$

$$Z_{em} = R_{em} + j\omega L_{em} = K_{rm} \omega^{E_{rm}} + j\omega K_{xm} \omega^{E_{xm}} \quad (3)$$

where, K_{rm} , E_{rm} , K_{xm} , E_{xm} is constant and $\omega = 2\pi * \text{frequency}$.

2.2 서브우퍼의 비 선형 모델링

2.1절에서는 서브우퍼를 선형 음향동가모델을 사용하여 모델링한 후에 시험으로 측정된 전기 임피던스 곡선을 사용하여 T-S 매개변수를 규명하였다. 현실적으로 서브우퍼는 고 전력을 받는 상황에서의 음향 예측을 필요로 하며 이를 위해서는 비선형 T-S 매개변수를 규명할 필요가 있다. 비선형 T-S 매개변수를 찾는 방법은 여러가지가 있으나 본 연구에서는 독립변수로 전압, 변위등을 사용하였으며 높은 전력하에서 변위의 비선형성도 고려하는 방법을 사용하였다. 구동온도는 스피커의 최대파워를 가정하여 유도된 결과를 사용하였다. 스피커의 비선형 매개변수를 규명하기 위하여 전압구동방식을 사용하였고 시험 및 매개변수 규명은 LMS 소프트웨어를 사용하였다. 비선형 전기동가모델은 Fig.2에서 모터부분을 나타내는 R_{em} 과 L_{em} 을 식(4)와 식(5) 그리고 모터 임피던스를 식(6)으로 표현할 수 있다. 저항 R_{em} 은 온도, 변위, 주파수에 따라 변하는 모터부의 저항을 6개의 매개변수로 표현할 수 있다. 모터 인덕턴스도 온도, 변위, 주파수에 따라 변하는 모터부의 특성을 6개의 매개변수로 표현할 수 있다. Fig.3에는 서브우퍼에 대한 전압구동 방식의 전기 임피던스 시험장치도를 나타냈다. 전기 임피던스

시험을 두번 반복하면서 전류와 전압을 각각 측정하여 전기 임피던스를 계산하는 데 사용한다.

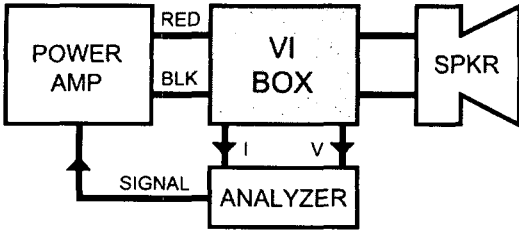


Fig.3 Schematic diagram for electrical impedance measurement by voltage driven method

$$R_{em} = R_{em}(\omega, V_e, T_a) \quad (4)$$

$$; (K_{rm}, F_{rm}, D_{rm}, E_{rm}, V_{rm}, T_{rm})$$

$$L_{em} = L_{em}(\omega, V_e, T_a) \quad (5)$$

$$; (K_{xm}, F_{xm}, D_{xm}, E_{xm}, V_{xm}, T_{xm})$$

$$Z_{em} = R_{em} + j\omega L_{em} \quad (6)$$

3. 포트 인클로저 모델링 및 시험

Fig.4 에 포트 인클로저에 장착된 서브우퍼를 나타냈다. 포트박스 내부의 부피는 약 50 리터이고 포트의 공진주파수는 46Hz, 포트직경은 13.3cm이다. 음압측정은 서브우퍼 전방 20cm 에서 측정하였다. Fig.5 는 시뮬레이션을 위한 포트 인클로저 모델을 나타냈다. 주변환경은 완전무향실 조건을 사용하였다. 시뮬레이션에서는 인클로저에 대한 음의 회절효과도 고려하였다. 사용한 소프트웨어에서의 회절해석법은 Biot-Tolstoy 의 연구에 기초하였다. 본 연구에서는 3 차 까지의 회절을 고려하여 해석하였다. Fig.6 에는 음압결과를 비교하였다. 1 와트 전력을 서브우퍼에 가하여 구한 시험결과(실선), 선형 모델(파선) 및 비선형 모델(1 점쇄선)을 나타냈다. 이때에 음압은 1m 에서 측정 한 값들로 환산하여 비교하였다. 1 와트 가진으로 구한 음압레벨은 선형 모델과 비선형 모델이 모두 시험결과와 잘 일치함을 보여준다. 500Hz 부근에서 음압이 떨어지기 시작하는 현상은 피스톤 폰 주파수 근처임을 나타낸다. 시험결과를 볼때에 1,240Hz 부근에서 피크 값을 나타내는 현상은 다이어그램의 breakup 현상인 것이라 추측된다. 시뮬레이션에서 예측하지 못한 것은 본 연구에서 사용

한 소프트웨어는 다이어그램이 강제 운동을 한다고 가정한 집중 질량계 모델을 사용하고 있으므로 유연체 모델(flexible)에서 나타나는 이러한 현상을 예측할 수가 없었기 때문이다.

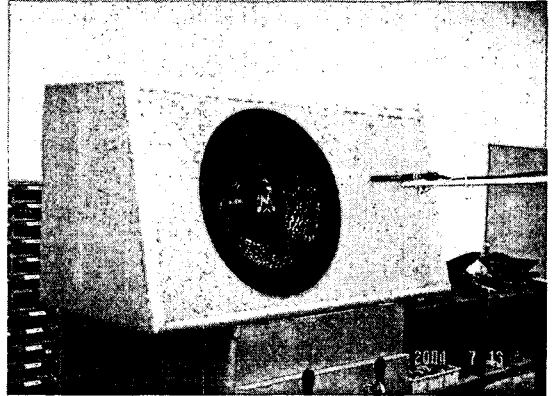


Fig.4 Measurement of SPL for port enclosure with subwoofer at room condition

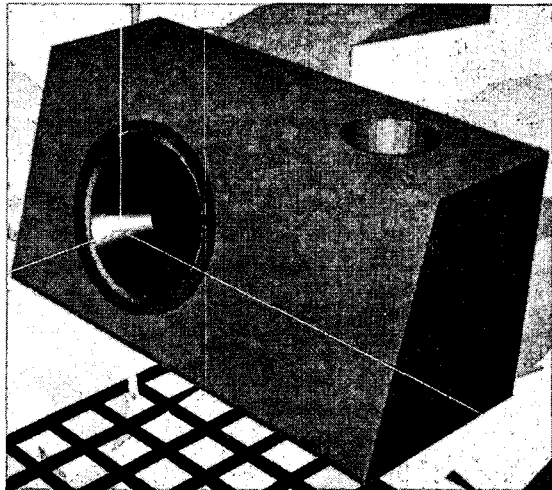


Fig.5 Simulated port enclosure model with subwoofer at anechoic chamber

Fig.7 은 160 와트를 가진하였을 때의 음향응답특성을 비교한 것이다. 500 Hz 이하에서 선형모델을 사용한 결과(파선)는 시험결과보다 크게 나타난다 비선형 모델을 사용한 결과가 시험결과와 잘 일치함을 나타낸다. 이러한 현상은 높은 전력을 스피커에 가할 때 서브우퍼에서 파워 압축현상이 나타남을 의미한다. 따라서, 고출력인 경우에는 비선형 모델을 사용하는 것이 보다 정확한 음향응답 특성을 얻을 수 있다.

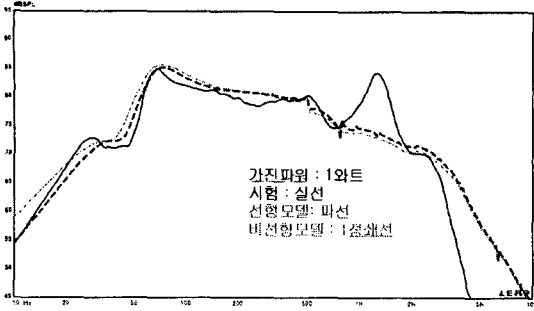


Fig.6 Comparison of SPL @1w, 1m; test result(solid line), linear model(dashed line), nonlinear(dash-dot line)

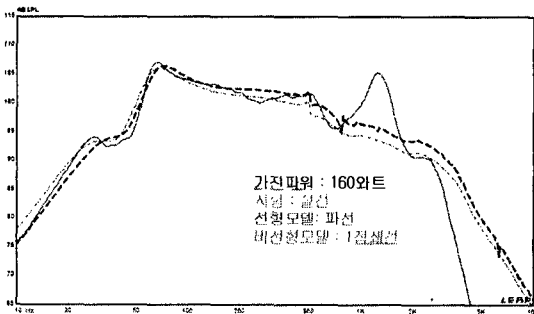


Fig.7 Comparison of SPL @160w, 1m; test result(solid line), linear model(dashed line), nonlinear(dash-dot line)

4. 결론

본 연구를 통하여 서브우퍼의 매개변수를 선형 및 비선형 모델을 사용하여 규명하였다. 스피커

매개변수와 포트 인클로저를 사용하여 예측한 음향특성과 시험결과가 서브우퍼에 저출력인 전압을 가진할때에는 두가지 모델이 모두 잘 일치하였다. 고출력인 경우에는 파워 압축현상으로 비선형 모델을 사용하는 것이 타당함을 나타냈다. 서브우퍼 시스템을 개발시에 음향특성을 예측하기 위하여 시뮬레이션으로도 충분히 정확한 결과를 얻을 수 있음을 보였다.

후기

본 논문은 산업자원부 지원을 받은 주성대학 스피커음향기술혁신센터의 산학공동연구과제의 진행중인 과제의 일부임을 밝힙니다.

참고 문헌

- (1) Small, Richard H., 1972, Direct Radiator Loudspeaker Analysis, AES, vol.20, No.5,pp.383-395
- (2) Small, Richard H., 1974, Passive-Radiator Loudspeaker Systems Part 1: Analysis, AES, vol.22, No.8, pp.592-601
- (3) Small, Richard H., 1973, Vented-Box Loudspeaker Systems-Part 1: Small-Signal Analysis, AES, vol.21, No.5, pp.363-372
- (4) Small, Richard H., 1973, Vented-Box Loudspeaker Systems-Part 1: Large-Signal Analysis, AES, vol.21, No.6, pp.438-444
- (5) LEAP EnclosureShop Reference manual, 2003, Release 5, LinearX Systems