

스피커 제작기술의 국내외 동향

卞 弘 正

(正 會 員)

金星포스타(株) 技術理事

I. 서 론

전기적 신호로서 물체를 진동시켜 음향신호로 전환하는 변환기로서의 스피커는 전자기 발명과 더불어 개발된 이후, 세계 최초로 1877년 미국과 독일에서 그림 1 (a)와 같은 형태의 스피커 특허를 출원하였으나 실용화하지는 못하였고, 1925년 진공관 증폭기의 개발과 함께 Western Electric사의 C. W. Rice, E. W. Kellogg에 의하여 그림 1 (b)와 같은 스피커가 등장하였다.^(1,2,3)

초기의 스피커는 자계형성과 운동체의 질량제어 등의 제약으로 음의 재생영역에 한계가 있었고, 그 형상이 대규모 이어서 주로 상업용에 사용이 국한되었다. 그 이후 영구자석 등 자성체의 개발, 고온용 접착제 및 관련 재료의 개선으로 1930년대 초기에 현재의 스피커 형상에 가까운 스피커가 등장하였다. 근래에 와서 음향측정 기술의 발달과 고속 컴퓨터의 등장으로 음향해석 및 물성의 정량분석을 통한 우수한 특성과 높은 효율을 갖는 소재의 선택 뿐만 아니라 이에 적합한 재료의 개발과 구조설계를 하는 단계로 도약하였다.

이러한 질적 향상과 더불어 이제 우리나라도 수량면

에서 세계 연간 총 생산량 10억 개중 12%인 1.2억 개를 생산하는 스피커 공급 대국으로 성장하였고, 그 중에서 세계 생산량의 4%를 Gold Star Foster에서 생산하고 있다.

II. 본 론

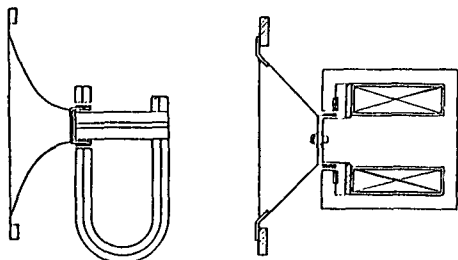
1. 스피커의 종류

스피커의 종류는 그 진동체의 구동방법에 따라 동전형, 정전형, 압전형으로 구분하는데 다이내믹형, 리본형 스피커 등 가동선圈(moving coil)형의 스피커가 동전형으로 스피커의 주종을 이루며, 정전형내의 진동판에 고압의 신호 전류를 가하여 진동판을 구동하는 정전형과 전기석, 로셀(Rochelle)염, KDP(Kotassium Dihydrogen Phosphate) 등 강유전체의 압전효과를 이용한 압전형의 스피커로 구별할 수 있다. 그러나 동전형을 제외한 정전형과 압전형 스피커는 그 개발시기가 동전형 스피커와 비슷하나, 정전형 스피커는 음압이 낮고 진동판의 크기가 대형이어서 초기의 상품화는 이루지 못하였지만 점차 소형화하여 실용화하고 있으며, 압전형 스피커 역시 음압이 낮고 음의 재생효과가 좋지 않아 극히 일부만 사용하고 있으며, 최근 중합체(Polymer계)의 압전소자 개발과 진동체의 개발로 머지않아 널리 쓰이게 될 것이다.

2. 구조 및 구동원리

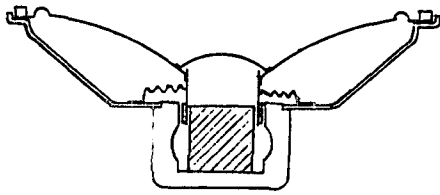
가장 널리 보급되어 있고 기본적인 스피커는 그림2와 같은 다이내믹형 스피커라고 할 수 있으며 이의 구성은 영구자석을 포함한 드라이버(driver), 보이스 코일(voice coil), 진동계(diaphragm and suspensions) 및 프레임(frame) 등으로 구분된다.

이러한 구조를 갖는 스피커의 전기음향 등가회로는 그림3과 같으며 외부에서 가해지는 전기신호(e_i)가 드라이버의 자기공극내에 위치한 보이스 코일(R_c, L_c)

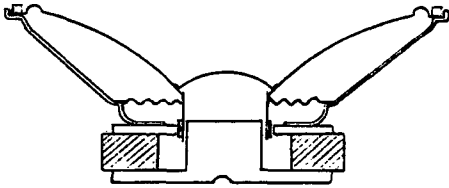


(a) Siemens사가 특허 출원한 스피커 (b) Rice Kellogg의 스피커

그림 1.



(a) 내자형 스피커



(b) 외자형 스피커

그림 2.

에 가해져 기계진동(F)으로 바뀌어 진동체(M_{ms} , C_{ms} , R_{ms})를 구동하고 음향신호(P)로 변환시킨다. 그림3의 드라이버 내에서 기계진동 변환비 BI: 1과 음향진동 변환비 1: S는 실제 보이스 코일과 보이스 코일 보빈(bobbin)을 접착시킨 접착제(부틸 페놀 수지계), 보이스 코일 보빈과 진동체에 사용한 접착제(변성 아크릴계) 및 진동체 재질에 따른 진동에너지 전달계수와 형상에 따른 비점성 매질에서의 음향에너지 변환^{4,5)}을 고려하여 설계하여야 한다. 그림 4에 진동판 형상에 따른 주파수 특성을 보였는데 (a)의 콘(cone) 반정각(semi-apex angle)에 따라 고역 공진 주파수가 달라짐을 알 수 있고, 콘의 형상에 따라 대체로 고음역에서의 특성이 (b)와 같이 변화한다. 이외에도 진동판을 지지하고 구속하는 지지부분(inner suspension, outer suspension) 및 드라이버의 구조에 의해서도 그 특성이 변화한다.

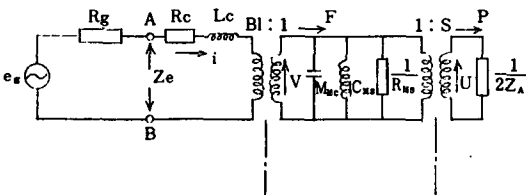
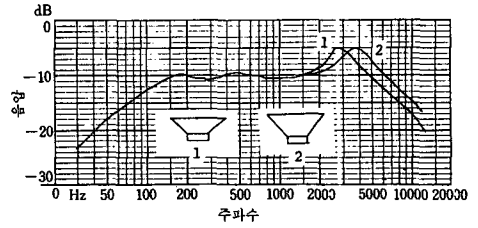
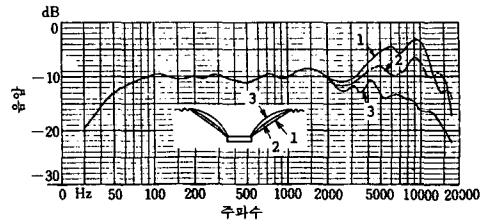


그림 3.



(a) 진동판의 형상에 따른 스피커의 주파수 특성



(b) 반정각(semi-apex angle)에 따른 고역 공진주파수의 변화

그림 4.

3. 부분별 특성

(1) 드라이버(driver)

드라이버에 사용하는 영구자석으로 그림 2 (a)와 같은 Ni-Co계의 Alnico 자석이 있다. 이 형태의 구조자석은 온도에 대한 우수한 자기특성과 높은 자기에너지적(BH) 등의 이점이 있으나, 원료인 코발트의 공급부족과 가격상승으로 인하여 특수목적 이외에는 이의 사용을 피하고 다소 자기적 성능이 떨어지나 원료공급이 유리하고 값이 싼 자기 이방성 페라이트(ferrite)에 산화바륨(BaO)이나 산화스트론튬(SrO) 등을 첨가한 경질 페라이트(ferrite)를 사용한 스피커(그림 2 (b))가 생산되고 있다. 최근에는 금속주조형 RCO_5 (R-Sm, Ce, Pr, etc) 또는 R_2Co_{17} 계의 희토류 금속과 Cu, Fe, Zr, Co 등의 화합물로 이루어진 영구자석이 개발되었는데 이의 최대 에너지적(BH_{max})이 20~30MGOe가 되어 자기회로 개선 및 새로운 형태의 높은 효율을 갖는 스피커에 사용된다. 이러한 자성체의 개발은 국외에서 활발히 이루어지고 있으며 Nb-Fe-B계의 자성체가 개발되어 최대 자기에너지적(BH_{max})가 30~40MGOe에 까지 도달하였다. 그러나 Curie 온도($T_c=500^\circ C$)가 낮아 높은 온도에서 자기 에너지가 감소하여 스피커의 자기회로에의 적용은 되지 못하고 있다. 국내에서도 음향기기 뿐만 아니라 OA 및 전자산업에 수요가 급증할

것에 대비하여 회토류 자성체에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

한편, 자기회로의 구조개선을 들 수 있는데 AV 시스템(audio visual system)의 등장으로 스피커의 누설자속에 대한 영상의 일그러짐이나 색변화를 방지하기 위해 그림 5와 같은 독특한 자기회로를 만들어 누설자속을 최대로 억제하고 있다. 자기회로를 구성하는 재료도 지금까지 압연강판 등을 가공하여 사용하고 있는데 Permalloy와 같은 투자율이 높은 재료를 사용하여 효율을 높일 수가 있으나 생산가격이 높아지는 등의 문제가 있다.

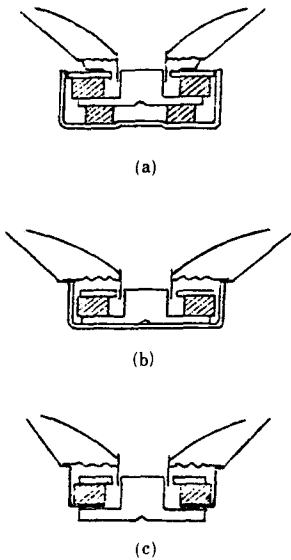
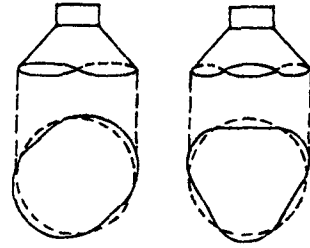


그림 5.

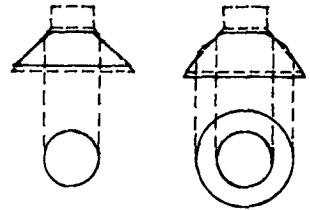
(2) 진동체(diaphragm)

스피커의 진동체는 보이스 코일에 의한 구동력을 음향진동으로 전달하는 역할을 하고 스피커의 특성을 결정하는 중요한 요소이다.

이상적인 스피커의 진동체는 일정한 방향의 진동 즉, 피스톤 운동을 하여야 하는데 그림 6과 같이 진동체 자체의 고유진동과 이에 따른 분할진동으로 고조파가 발생하므로 자체진동에 의한 변형을 억제하기 위해 높은 강성과 영률(Young's modulus)을 갖는 재료를 선택할 필요가 있다. 근래까지 펄프를 소재로 한 콘 형태의 진동체가 대중을 이루었으나 강도가 낮아 그림 7과 같은 한계 주파수 범위내에서만 피스톤 운동을 하



(a) Diametric bifucation



(b) Circular bifucation

그림 6.

고 이 범위를 벗어난 대역에서는 분할진동을 하여 주파수 특성에 영향을 준다. 또한 고유한 음색을 충실히 재현할 수 있도록 적당한 내부 손실에 의한 잔향시간을 조화시켜야 한다. 예를 들어 저음용 스피커에서는 되도록 잔향이 길어야 하고 고음용 일수록 고역공진을 피하고 잔향을 짧게 하여 신호음을 재생하여야 한다. 그림 8에 음압특성의 시간지연에 따른 누적 스펙트럼을 보이고 있는데 (a)의 7 KHz 부근에서의 고역공진에 따른 잔향을 개선하여 (b)와 같이 고역에서의 잔향을 없앨 수 있다.

최근에는 강성을 높여 변형을 억제하기 위해 그림 9와 같은 허니컴(honey comb) 구조의 진동판이 개발되어 강성에 의한 분할진동이 어느 정도 제거되었으나 내부손실이 작아 전 대역의 주파수 재생에는 적합하지 않고, 현재로서는 펄프를 소재로 한 진동판보다 성능이 뒤떨어져 표피재료 및 접착체의 개발도 병행하여 연구가 진행중이다. 실지로 이 형태의 스피커는 소, 중 구경에서 실용화되고 있으며 대구경에서는 그림 10¹¹⁾과 같이 분할진동할 때의 최적 node 점에다 보이스 코일을 부착하여 구동하는 방법(그림 11)을 채택하기도 한다. 그러나 제작 공정이 까다로와 작업 능률이 떨어지는 단점이 있다. 이를 개선하기 위해 콘형의 허니컴 구조 진동판을 사용하기도 한다.

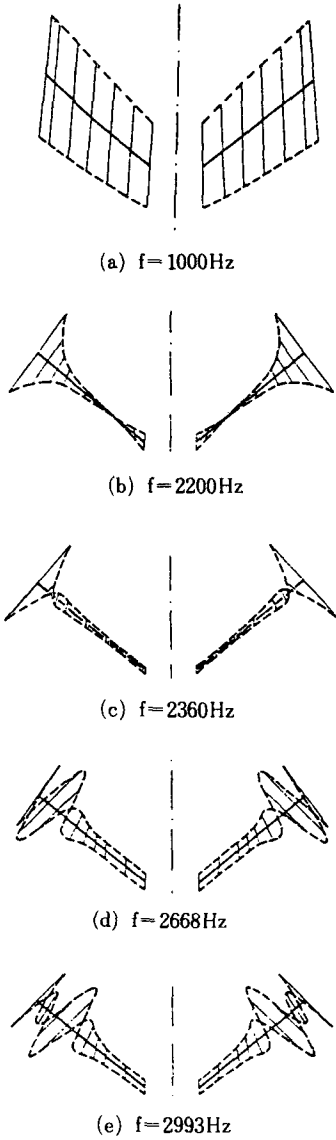
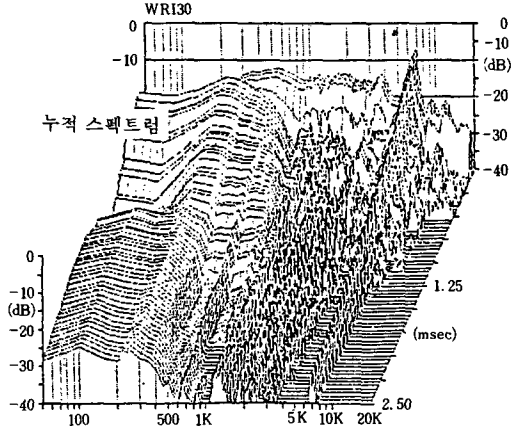
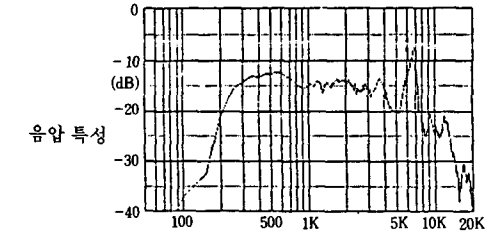
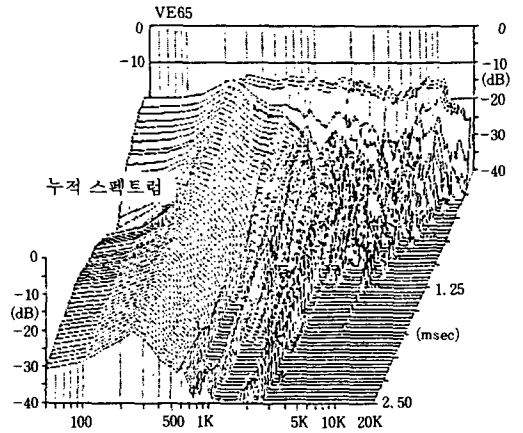
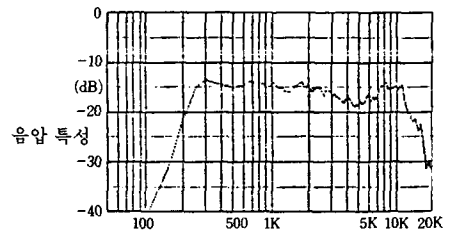


그림 7.

진동체 재료의 개선을 위해서 그림12에서와 같은 높은 강성과 적절한 내부손실을 갖는 재료의 선택이 필요하나, 아직 국내에서는 시작단계일 뿐 양산하여 상품화하지 못하고 있다. 국외에서는 이미 개발단계를 지나 상품화되고 있으며, 그림13과 같은 graphite 섬유와 aramid 섬유를 적조하여 페놀수지 및 에폭시 수지로 성형한 콘진동판이 개발되어^{17,18)} 저음용과 중음용으로 사용하고 있다. 그림14에 종이 진동판에 의한



(a)



(b)

그림 8. 고역 공진점에서의 누적 스펙트럼

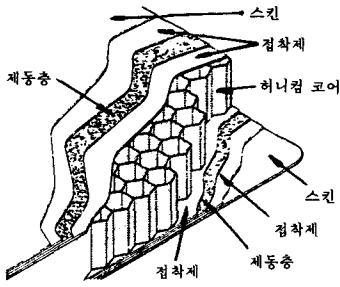


그림 9. 허니컴 구조의 평면 스피커

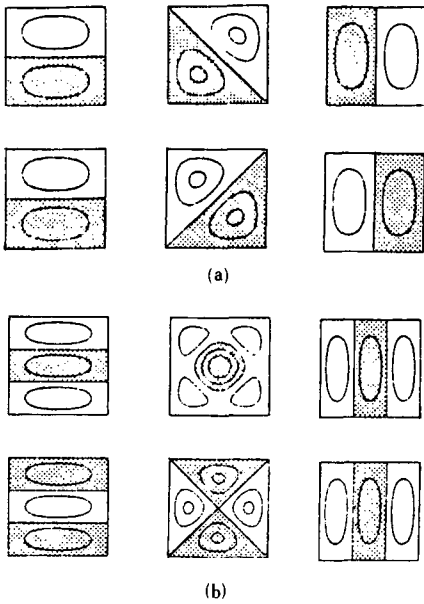


그림 10. Bifurcation patterns of rectangular plate

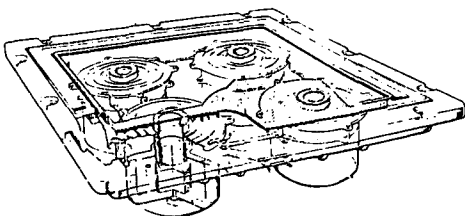


그림 11.

2 차 고조파 (a)와 복합체 (polymer)로 된 진동판에 의한 2 차 고조파 (b)의 크기를 나타내었는데 100Hz 이상에서 현저히 고조파가 감소함을 알 수 있다. 또한

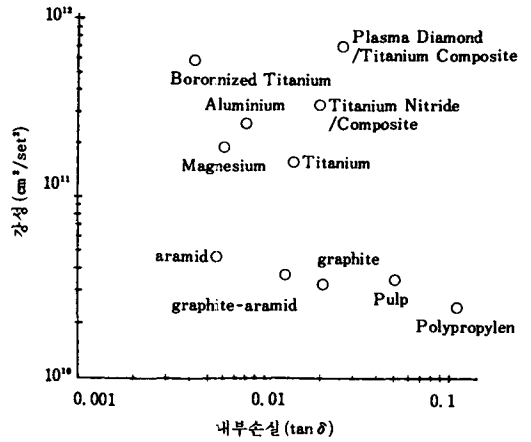


그림 12.

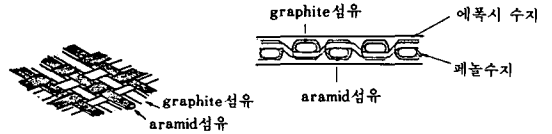
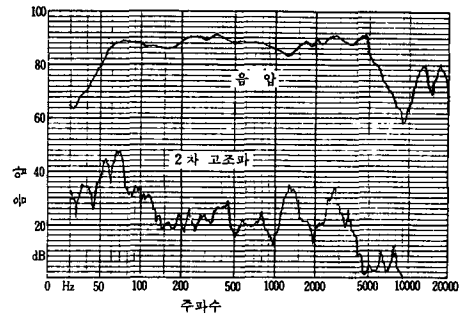
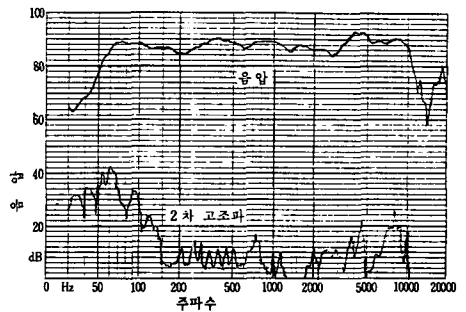


그림 13.



(a)



(b)

그림 14.

피스톤 운동영역도 확대되어 9 KHz까지도 평탄한 주파수 특성을 나타낸다.

이 외에도 종이 진동판에 특정 화학물질을 함침하여 강성을 높인 것과 polypropylen 과 같은 polymer 계의 수지를 입힌 진동판을 사용하여 실용화하고 있는데 작업성이 유리한 반면 polymer 계의 복합형 진동판 만큼의 좋은 특성을 갖지 못하고 있다.

중음용 또는 고음용으로 지향특성이 큰형태의 진동판 보다 우수한 돔(dome)형의 진동판을 사용하는데 종래에는 Al, 페놀수지 및 면포에 실리콘 고무를 함침한 것을 사용하였으나, 점차 가볍고 높은 강도를 갖는 Ti, Be 등의 재료로 대체되어 간다. 최근 C.V.D. (chemical vapor deposition)¹⁹⁾ 방법에 의한 금속표면의 결정화와 금속표면에 세라믹을 도포하여 강성을 높이고 있으며 국외에서는 티타늄 기판에 graphite를 가열, 가속하여 금속 표면에 다이아몬드 구조의 결정을 성장한 진동판을 제작하여 제품을 생산하고 있다. 이 진동판의 주파수 특성(그림15)에서 고역 공진점은 티타늄만을 사용하였을 때 보다 높은 주파수까지 올릴 수 있고 이때의 왜율도 감소됨을 알 수 있다.

(3) 진동체 지지부분(inner suspension, outer suspension)

진동판을 지지하는 부분으로 inner suspension 과 outer suspension이 있는데(그림16) 주기능은 진동판이 한방향(축방향)으로 운동하도록 구속한다. 진동체가 진동할 때 진동체 주변의 경계조건에 따라 진동 mode와 주파수 특성이 달라진다¹⁰⁾ 하겠다. 그림17에는 진동판 바깥부분의 경계조건에 따라 진동판의 분할

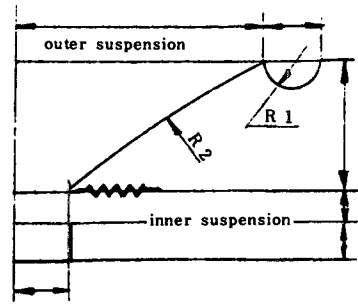


그림 16.

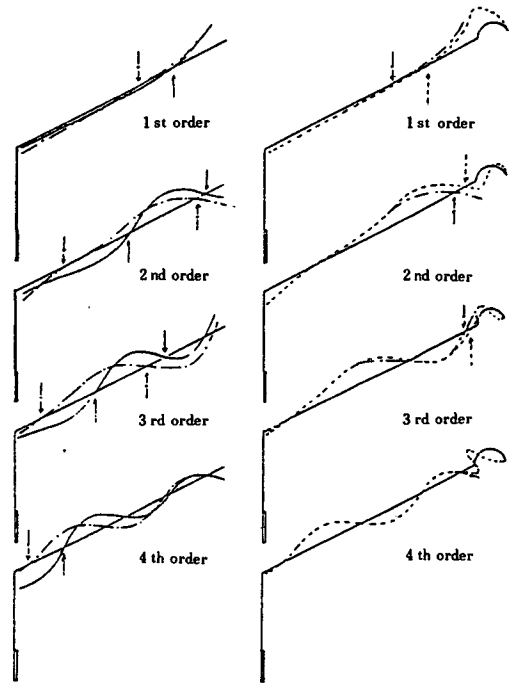


그림 17.

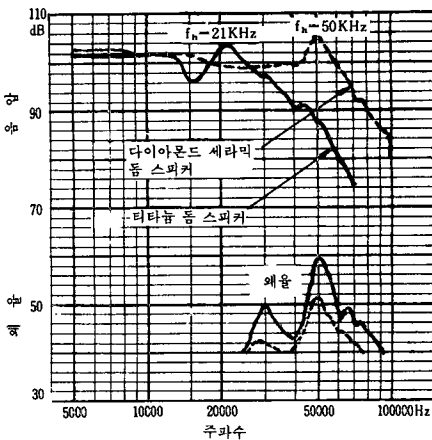


그림 15.

mode를 나타내며 이에 따른 주파수 특성은 그림18에서와 같이 outer suspension이 없는 자유단의 진동과 outer suspension 구속에 의한 경계조건에 따라 주파수 특성은 변화한다. 그림19에서는 같은 질량의 outer suspension을 그 형상의 크기만 달리하였을 때의 음압 특성을 나타내는데 outer suspension의 곡률반경이 클수록 저역에서 음압이 증가함을 보인다. 그러나 곡률반경이 너무 크면 outer suspension 자체가 특정 주파수에서 분할진동을 하므로 진동체가 비선형 진동을 하

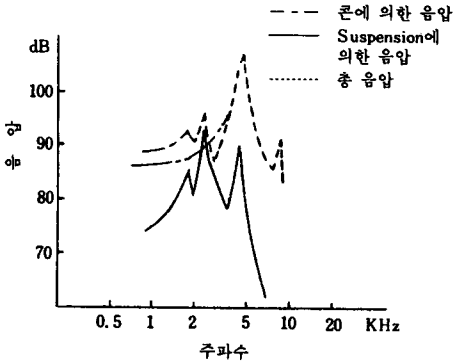


그림 18.

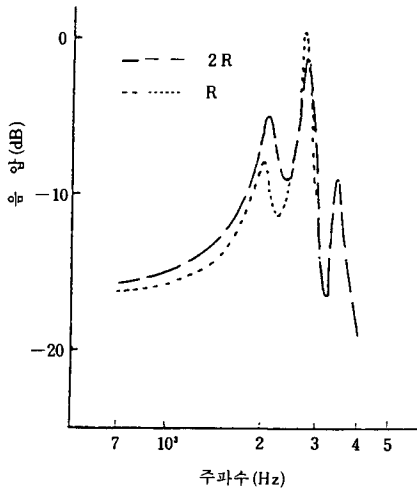


그림 19.

지 않는 범위가 되도록 그 크기를 제한할 필요가 있다. Inner suspension도 진동체의 진동을 구속하면서 축방향으로만 진동하는 자유도(degree of freedom)가 1에 가까운 운동을 하도록 그 형상과 변형력을 조절할 필요가 있겠다.

스피커 특성중 왜율의 증가는 inner suspension과 outer suspension의 영향이 크다. 이들에 의한 진동체의 구속력은 그림20과 같이 나타나는데, 이때 파형의 일그러짐을 알 수 있으며 재료와 형태에 따라 응답 특성(그림21)이 달라진다.

III. 결과 및 동향

우리나라 스피커 생산은 초기에 저자본, 풍부한 노

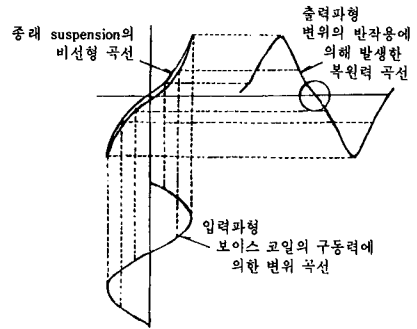


그림 20. Suspension에 따른 정현파 응답특성

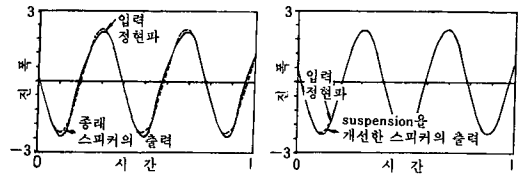


그림 21. Suspension의 정현파 동작특성

동력 등을 바탕으로 저급의 스피커 생산이 주종을 이루었으나 근간 오디오 기술의 발전 및 보급과 더불어 소비자 수준의 향상과 대량수요에 의해 생산제품을 표준화 할 필요가 있겠다. 그러나 대부분 국내 스피커 생산업체는 숙련기능에 의한 생산과 시설비로 제품의 표준화 및 질적향상을 이루지 못하고 또한 고급제품 수요의 한계와 소비시장의 확보가 미흡하여 이에 따른 기업의 과감한 시설투자가 요구된다 하겠다. 앞으로 설비투자 뿐만 아니라 소재개발과 연구투자에 의한 기술을 축적하여 현재의 저급품 위주에서 국외로의 고급품 시장을 확보하여야 하겠다. 그렇지 않으면 값싼 노동력을 바탕으로 한 중공 등의 후발국가에게 머지않아 스피커 시장을 빼앗기게 될 것이다.

參 考 文 獻

- [1] J. Eargle, "Loudspeakers" *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 25, no. 10-11, pp. 685-688, Oct.-Nov. 1977.
- [2] 阪本 橋次, *スピーカとスピーカシステム*, 1971.
- [3] G.L. Augspurger, "Theory, ingenuity and wishful wizardry in loudspeaker design:

- A half century of progress?," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 77, no. 4, pp. 1303-1308, April 1985.
- [4] K.E. Stahl, "Synthesis of loudspeaker mechanical parameters by electrical means: A new method for controlling low frequency loudspeaker behavior", *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 29, no. 9, pp. 587-596, Sept. 1981.
- [5] L.J. van der Pauw, "The trapping of acoustical energy by a conical membrane and its implications for loudspeaker cones," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 68, no. 4, pp. 1163-1168, Oct. 1980.
- [6] L.J. Putnick, B.J. Matkowsky and E.L. Reiss, "Secondary states of vibrating plates," *J. Acoust. Soc. Am.*, vol. 69, no. 6, pp. 1682-1687 June, 1981.
- [7] S. Takahashi, T. Katoh, S. Taguchi and T. Watanabe, "Glass-fiber and graphite-flake reinforced polyimide composite diaphragm for loudspeakers," *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 31, no. 10, pp. 723-728, Oct. 1983.
- [8] T. Tsukagoshi, S. Yokozeki, S. Higawara and Y. Arai, "Graphite polyvinyl chloride composite for loudspeaker diaphragm," *J. Acoust. Soc. Japan*, vol. 38, no. 10, pp. 624-631. 1981.
- [9] M. Sakamoto, S. Ota, S. Iwakura, K. Yamazaki and S. Matsuoka, "Titanium and hardened carbon film composite speaker diaphragm. Plasma diamond speaker diaphragm," *Tech. Rep. Elect. Comm. Soc.*, vol. 185, no. 286, pp. 1-8, 1986.
- [10] F.J.M. Frankort, Philips Res. Rep., no. 2, 1975. *

♣ 用 語 解 說 ♣

Response Time (응답 시간)

단말기에서 문제를 제기한 후 응답을 받을 때까지 경과된 시간. 응답 시간은 다음과 같이 구성된다. 컴퓨터에 전달하는 시간, 컴퓨터에서의 처리시간, 질의에 답하기 위해 필요한 화일의 레코드를 접근하는데 걸리는 시간, 다시 단말기에 재전송하는 시간

Processing image (영상처리)

인간의 두뇌를 모방한 컴퓨터 시스템에 의한 처리로서 스캐너처럼 영상을 관찰한다. 필요한 정보를 얻기 위하여 여러 방식으로 영상을 처리한다. 이러한 시스템의 주요 성과는 (1)본래 영상보다 좋게 재구성하고, (2)영상에 있는 특수한 정보와 관련되는 수치적 또는 도식적 리포트 등이다.

Voice Unit (VU) : 음성단위

전기적으로 변환되어 있는 음성이나 프로그램의 파형에 대한 총 파고나 볼륨(volume)의 측정 단위. 제로(zero)음성 단위의 기준값은 600Ω 부하에 가해진 1mV의 순 정현파로써 정의된다.

Merge (합병)

어떤 규칙(즉, 어떤 순서)에 따라 미리 순서가 정해진 두 개이상의 배열로부터 각 항목의 크기, 순서, 총 개수 등을 바꾸지 않고 하나의 항목 배열을 만들어내는 것

Character Blank (공백 문자)

단어들의 사이와 같이 문자들의 사이를 분리하기 위하여 사용되는 특수 부호. 어떤 컴퓨터에서는 *와 같은 부호를 사용하여 공백을 나타냄으로써 기계의 고장이나 키펀치(keypunch) 조작원의 실수로 인하여 발생하는 공백과 구별되도록 한다.