

Thema

| 스피커 산업 동향 및 필름 스피커 기술 개요

김성진 대표이사
(주)제닉스

소리(Sound)는 매질을 통해서 일정한 속도로 전달되는 유체의 진동 현상의 하나이다. 소리는 매질 속으로 전달해 간다. 스피커는 콘이 앞뒤로 전진/후진을 거듭하며 음이 발생한다. 저음용 스피커인 우퍼의 콘이 앞으로 전진하는 순간 바로 앞쪽의 공기는 압축이 되고, 콘이 원래의 자리로 돌아오면 바로 앞의 공기는 처음의 압력(대기압과 같은 압력)으로 돌아오고, 콘이 뒤로 후진하면 바로 앞의 공기는 순간적으로 팽창하여 공기압이 대기압보다 낮아지게 된다. 공기는 스프링과 같이 한쪽에서 발생한 파를 자동으로 다른 쪽으로 이동시킨다. 압력의 변화로 상술한 원리를 이용하여 음을 재생하는 스피커에는 콘형, 돔형, 혼형 등이 있다.

그 외에 압전세라믹을 이용하는 압전스피커가 있으며, 현재는 종이처럼 얇은 필름스피커도 개발이 되고 있다. 압전세라믹을 이용하는 압전스피커의 대표적인 예가 부저이며, 통상 고주파수의 음을 발생하는데 적합하다. PVDF를 이용하는 필름스피커는 예전에 개발이 되었으나, 현재까지 적용이 많이 이루어지지 않았으나, 요즘 들어 피앤아이, 아이티앤지 등에서 개발을 완료하여 시판을 하고 있다.

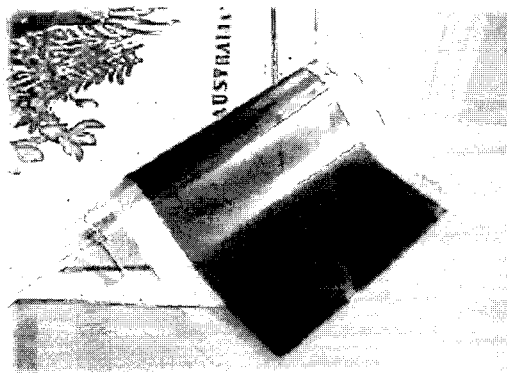


그림 1. 상용 압전 필름 스피커용 PVDF 필름.

1. 서론

스피커는 전기에너지를 음성에너지로 변환시키는 전기 음향 변환장치로 오디오 제품의 품질을 좌우하는 중요한 구성요소이며, 최근에는 완구에서 통신기기에 이르기까지 거의 모든 전자제품에 소요되는 필수 부품이다. 스피커의 내수 시장은 자동차용 및 고급형 AV용 스피커의 수요 증가로 90년대 초반까지 급격한 증가세를 보였으나, 경기 침체, AV 기기의 보급 포화 등으로 인하여 1995년을 고비로 감소하였으나, 최근 소형 휴대용 기기의 증가로 인하여 소형 스피커의 수요량은 꾸준히 증가하고 있다. 일반적으로 스피커는 AV기기(TV, 라디오, 오디오 등)와 자동차(전장용품)에 주로 쓰이고, 그 외에 악기나 장난감 등에 많이 사용되고 있으며, 정보통신기기의 고급화에 따라 휴대폰 등의 통신기기와 PDA, PC 등 정보기기에 필요적으로 채용되고 있으며, 최근에는 에어컨, 김치냉장고 등 백색가전 제품에도 채용되고 있는 추세이다. 아래의 표1은 스피커의 사용용도를 나타낸 것이다.

일본전자 기계공업협회(EIKA)가 세계 오디오 시장동향을 분석한 자료에 따르면 세계 가정용 오디오 총수요는 97년 1억 3,000만대에서 2002년에는 1억 4,000만대로 연평균 1.7%의 안정적인 성장률을 보였고, 2003년 세계 스피커 생산규모는 대략 58억불,

스피커 시장규모는 68억불에 이르는 방대한 시장이다. 2003년 중국은 약 13.9억불, 미국은 13.4억불, 말레이시아가 4.1억불 정도를 생산하였으며, 우리나라의 경우는 2003년에 1.5억불을 생산하여 세계 약 10위에 해당되었다. 스피커의 시장은 정확한 산출을 하기 어려울 정도로 방대한 시장을 형성하고 있으며, 기존의 오디오 시장은 한계점에 다다랐으나, 홈시어터 시장의 활성화와 휴대폰, PDA 등의 모바일 기기에 채택되는 스피커의 수요가 급증하고 있는 추세에 있다.

국내의 스피커 생산업체들은 소형 경량화에 기술 개발의 초점을 맞추고 있으며, 그 대안으로 필름 스피커는 고음 영역에서의 우수한 성능 및 경량화의 가능성으로 크게 주목을 받고 있다. 전기신호를 음파로 변환하는 스피커는 주로 자석 진동판 및 코일 등으로 구성된 자기구동 방식인데 이의 두께를 줄이고 경량화 및 제작공정을 간단히 하고자 함에 있어서 자석의 두께를 2mm 이하로 줄이면, 자기장의 크기가 함께 줄어들어 축소의 한계를 갖는다. 이동 보이스코일 진동판 방식의 종래기술에 따른 라우드 스피커는 음을 충실하게 재생할 수 있지만 제법 큰 상당한 크기의 캐비닛(스피커)공간을 필요로 하고, 전기 전력을 음향 전력으로 전환하는 비능률적인 방법을 취한다. 공간 축소에 대한 요구사항은 진동판을 구동하는 이동 보이스 코일의 필요성 때문에 쉽게 줄어들지 않는다. 보이스 코일의 이동으로 진동판을

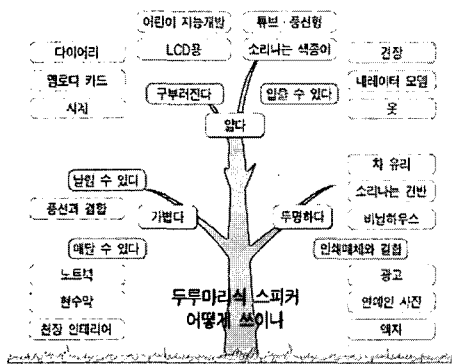


그림 2. 필름스피커의 사용용도.

표 1. 스피커의 용도.

용도	기기명
홈시어터용	5.1 채널, 6.1채널 스피커
Hi-Fi 오디오용	컴포넌트 스테레오
일반 오디오용	라디오, 테이프레코더, 라디오카세트
공간확청용	P.A 스피커, 확청기
통신용	유선전화기, 이동무선전화기
음악용	기타, 앰프 전자악기
완구용	완구, 게임기
자동차용	카라디오, 카스테레오, 콤팩트디스크 플레이어
비디오용	TV, HDTV
멀티미디어용	컴퓨터
경보기용	자동차 도난방지, 가스누출방지, 세탁기 등
기타	금전등록기, 자동판매기, 에어컨, (김치)냉장고 등

구동(Drive)하여 음을 발산하는 메커니즘으로 구현 되는 종래의 스피커 방식으로는 스피커 공간 축소 관련 문제를 쉽게 해결할 수가 없다.

이를 개선하기 위한 비자기구동방식인 압전형 스피커는 주로 세라믹스 압전재료가 사용되고, 신호변환을 위하여 진동판과 강력한 접착방법이 요구되고, 가공이 까다롭고, 대형의 크기로 제작 시 소자가 깨지거나, 접착 시 접착의 균일도 등의 문제로 제약을 받고 있다. 또한 저음 특성이 떨어져 응용 범위가 한정되어 있다. 일반적인 PZT계 압전 세라믹 재료는 우수한 압전 특성으로 현재 압전 변압기, 액추에이터, 트랜스듀서, 센서, 레조네이터, 필터 등의 용도로 매우 광범위하게 응용되고 있으며, 압전 스피커는 부저, 소형스피커로 다양하게 응용되고 있다. 두께가 0.1mm도 되지 않는 PVDF를 이용한 필름스피커가 개발되어 응용범위를 넓히고 있다.

필름 스피커는 전기신호를 압력으로 변환할 수 있는 압전세라믹의 특성을 이용한 것이며, 기존의 필름 스피커는 이소불화비닐(PVDF, Poly Vinylidene Fluoride)을 이용한 것으로, 필름의 상·하면에 전극 처리를 하여 분극 공정을 통해 제조된다. 필름 자체가 기존 스피커의 자석과 올림통 역할을 동시에 할 수 있어 기존의 스피커 역할을 필름 자체가 할 수 있다. 기존의 스피커의 경우 자석과 올림통을 구성해 있어 구조를 변경하고 두께를 줄이는 데 한계가 있으나, 필름 스피커는 형태를 자유롭게 변형할 수 있다.

2. 자기구동 방식의 스피커

2.1 스피커의 원리

북을 북채로 두드리면 가죽으로 된 북의 표면이 진동을 하기 시작한다. 이 진동으로 인하여 북 주변의 공기도 함께 진동하기 시작하고, 공기의 진동은 주변으로 전파되어 사람의 귀를 통해 들을 수 있다. 이러한 진동이 사람의 귀에까지 전달하는 매체는 공기가 된다. 소리를 전달하는 매체는 공기와 같은 기체뿐만 아니라 액체, 고체도 될 수 있다. 나무를 두드리면 그 소리는 짧게 끊어지지만, 북을 두드리면 오

랫동안 소리가 계속됨을 알 수 있으며, 진동이 오래 유지될수록 소리는 여운을 갖고 지속된다.

소리를 만들려면 진동을 시키면 되는데, 천천히 진동시키면 저음이 발생하고, 반대로 빨리 진동시키면 고음이 발생한다. 같은 진동수를 갖더라도 진동의 폭이 커지면 소리의 크기도 커지게 된다. 스피커는 이러한 원리를 이용해서 소리를 발생시킨다.

스피커에 입력되는 신호는 소리의 정보를 갖고 있는 전기신호이다. 이 전기신호에는 소리의 크기, 진동수 등의 소리에 관련된 모든 정보가 포함되어 있으며, 전자석에 입력된다. 전자석은 이 신호에 따라 N극·S극의 방향과 자성의 세기가 다르게 나타난다. 전자석의 뒤쪽에는 자석의 세기가 일정한 영구자석이 자리 잡고 있다. 전자석에서 N극의 방향에 따라 두 자석은 서로 밀기도 하고 당기기도 한다. 그리고 전자석의 자석 세기에 따라 밀고 당기는 힘은 커지기도 하고 작아지기도 하면서 소리를 내게 된다.

전자석의 한쪽 끝은 스피커의 중앙에 있는 둥그런 모양의 콘이라는 것에 붙어있으며, 전자석의 움직임에 따라 이 콘도 함께 움직이게 되고, 결국 콘에 붙어있는 고깔도 움직이게 된다. 이러한 움직임은 진동이라고 말할 수 있으며, 주변의 공기를 진동시켜 소리를 발생시키게 된다.

2.2 스피커의 구조

스피커는 일반적으로 다음 그림과 같은 구조의 무빙코일(Moving Coil) 스피커가 많이 사용된다. 특수하게는 정전형(Electrostatic) 스피커와 리본(Ribbon) 스피커, 압전형(Piezoelectric) 스피커 등이 있고 최근 진동면이 얇은 박막형 스피커가 개발되고 있다.

박스에 조립하지 않은 상태의 스피커를 스피커 유니트(Unit), 혹은 드라이버(Driver)라고 부른다. 무빙코일 스피커는 그림과 같이 영구자석을 링으로 구성하고 자석의 상, 하에 각각 프론트 플레이트, 백플레이트를 설치하여 폴피스와 함께 자기회로를 구성한다. 폴피스와 프론트 플레이트의 사이에 간격을 만들어 갭(Gap)이 형성되는데, 이곳에 보빈에 감은 보이스코일을 설치하고 이를 지지하기 위하여 스파이더(Spider)를 사용한다. 진동면적을 넓혀 효율을

높이기 위하여 진동판을 보빈에 접촉하며 진동판은 스피커 프레임에 유연한 재료의 에지(Edge)를 사용하여 지지한다. 진동판 가운데 부분에는 Dust Cap이라는 뚜껑을 씌우며, 진동판 형상 및 Dust Cap의 형상은 고음에서의 지향성, 분할진동의 발생 등을 결정하는 요소가 된다. 한편 그림에서 자석과 폴피스의 위치가 바뀌어 폴피스 위치에 영구자석이 설치되고 자석 위치에 플레이트 링이 설치되는 경우도 있다

2.3 문제점

종래의 일반적인 구조의 보이스코일 진동판 스피커에 있어서는 다음과 같은 문제점이 있다. 즉, 스피커의 음향이 외부로 방사될 때 음향은 댐퍼와 진동판 그리고 센터캡을 통하여 외부로 방사되는데 이와 같은 일련의 동작을 진행하며 음향이 외부로 방사되는 동안에 댐퍼와 진동판 그리고 센터캡에서 진동음이 유발되는 문제점이 있다. 이 진동음은 스피커를 통하여 외부로 방사되는 재생음과 혼합되어 결국 스피커에서 음향이 발생할 때 잡음이 섞여 나오게 되는 요인이 되었고, 그와 같은 요인은 스피커의 질을 가늠하는 척도가 되고 있다. 뿐만 아니라 댐퍼와 진동판 그리고 센터 캡에서 발생하는 진동에 의해 댐퍼와 진동판 그리고 센터 캡은 관성의 영향에 의해 전기적 신호를 기계적 진동으로 변환하는 과정에서 과도 특성(Transient Characteristics)이 나빠지는 요인이 되고 있다. 그리고 구성요소의 재료들이 균일하지 않으면 다음과 같은 결함이 생길 요인이 있다. 보이스코일 보빈이 자장의 힘을 받게 될 때, 보이스코일 보빈은 좌우로 이동하게 된다. 보이스코일

보빈은 상단부(Top End)가 현수 지지되는 구조로 보이스코일 보빈의 하부는 심하게 진동을 하게 된다. 이 진동으로 보이스코일 보빈은 워셔 또는 요크와 충돌하여 노이즈(Noise)를 발생한다. 따라서 보이스코일 보빈이 워셔 또는 요크와 충돌하는 것을 방지하기 위해서는 요크와 워셔와의 간격은 보다 더 넓어져야 한다. 스피커의 용적이 증대되는 경우에도 요크와 워셔와의 간격은 증가한다. 그러나 간격이 증가될수록 스피커의 민감도는 더욱 더 악화된다.

일반적인 이동 보이스코일 진동판 라우드 스피커에서 저음, 중음 및 고음의 동작특성이 다른 것은 그에 대응되는 우퍼, 스코커 및 트위터에 사용되는 보이스코일 보빈, 진동판, 보이스코일 등을 포함하는 진동계의 질량 차이에 따른 것으로 스피커 진동계의 질량이 무거운 경우에는 충실한 음압을 송출하지 못한다. 이와 같이 종래의 스피커에서는 진동에 관련된 구성요소의 질량이 중요한 인자로서 이상적인 음을 재생하는데 상당한 문제가 있다.

또한 큰 진동판은 관성의 법칙에 따라 움직이므로 전기적 특성을 기계적 진동으로 전이하는 과정에서 구동 시에는 늦게 출발하고, 정지 시에는 조금 후에 정지하게 된다. 이것은 진동하는 큰 진동판이 무거우면 무거울수록 심각해지는 특성이 있어 음질을 저하시키는 요인으로 지적된다. 그리고 또 다른 문제점은 공기의 저항이다. 면적이 넓을수록 공기의 저항력을 많이 받기 때문에 음이 흐려지는 원인이 된다.

3. 압전형 스피커

비자기구동방식인 압전형 스피커는 주로 압전세라믹스 재료가 사용되고, 신호변환을 위하여 진동판 금속과 압전세라믹을 강력하게 접촉한 구조로 되어 있다. 압전세라믹은 통상 0.1 mm 정도로 원형으로 가공을 하여 사용을 하며, 금속 진동판의 두께는 통상 0.1~0.2 mm 정도의 것을 사용한다. 세라믹 특성상 가공이 까다롭고, 대형의 크기로 제작 시 소자가 깨지거나, 접촉 시 접촉의 균일도 등의 문제로 대형의 압전 스피커의 제조에는 상당한 제약을 받고 있

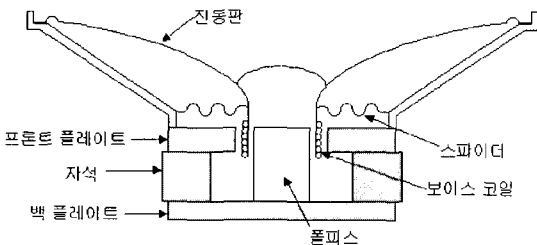


그림 3. 자기 구동 방식 스피커의 내부 구조.

다. 또한 저음 특성이 떨어져 응용 범위가 한정되어 있어서 압전 스피커는 부저, 소형스피커로 주로 응용되고 있으며, Sonitron社에서 박형의 압전형 스피커가 생산되고 있으며, 표에 특성을 나타내었다.

Sonitron의 스피커는 압전세라믹과 복합 금속/고분자 레이어의 구조로 이루어져 있으며, 이러한 복합 금속/고분자 레이어가 원하지 않은 공진점을 줄여주어 기존 디자인의 제품(세라믹 0.1 mm + 금속 진동판 0.1~0.2 mm)보다 일정한 주파수 응답 특성을 보인다. 또한 압전형 스피커는 마그넷 타입의 스피커 보다 빠른 응답 속도를 보이는데 이것은 보이스코일을 이용하는 마그넷 스피커 보다 질량이 높지 않기 때문이며, 마그넷 스피커는 압전 스피커보다 보이스코일에 의한 손실이 적기 때문에 보다 효율이 높은 잇점을 가지고 있다. 압전형 스피커는 전자기장을 형성하지 않기 때문에 EMC 기준 조건을 맞추기가 훨씬 유리하다.

일반적인 자기 구동 방식의 스피커에 비하여 음압이 낮은 문제점이 있으며, 임피던스가 보통의 스피커의 4, 8, 16 Ω에 비해 훨씬 높은 기존의 앰프와는 호환이 되지 않은 문제점이 있어 별도의 앰프를 이용해야 하는 단점이 있다.

이러한 압전형 스피커는 간단한 구조임에도 불구하고, 무거운 세라믹스 압전체를 진동판에 단단히 접착시키는 데 있어 불량률이 발생되고 크기축소가 어려워며 세라믹의 쉽게 깨어지는 성질 등의 단점 때문에 여러 가지 응용제품에 적합하지 않은 점이 많이 있는게 사실이다.

표 2. 미국 Sonitron社의 압전형 스피커 사양.

SPECIFICATIONS				
Model:	SPS-4540-02	SPS-6770-02	SPS-10080-02	
Frequency range	200 Hz - 20 kHz	250 Hz - 20 kHz	200 Hz - 20 kHz	
Max. SPL @ 1m (50Vpp input, average at 1 kHz)	94dB	94dB	86dB	86dB
Distortion (%THD) (RMS at 1m, average at 1 kHz)	< 1.5%	< 1.5%	< 1.5%	< 1.5%
Capacitance (@20%)	220 nF	330 nF	330 nF	570 nF
Operating Voltage	5 to 60Vpp	5 to 60Vpp	5 to 60Vpp	5 to 60Vpp
Impedance @ 1kHz (RMS)	729 ohm	600 ohm	490 ohm	288 ohm
QW (QW)	0.8g	0.8g	1.2g	27g
Operating Temperature	-20°C to +60°C			
Storage Temperature	-40°C to +80°C			
Case material	ABS			
Standard color/finish	Grey			
SPS-3335-02				

4. 필름 스피커

4.1 PVDF(Poly Vinylidene Fluoride)

필름 스피커는 PVDF라는 압전 필름을 이용하는 것으로 선진국에서 이미 오래전부터 연구가 진행되어 왔고, 시제품의 제작은 많이 이루어 졌다. 1969년 PVDF의 압전성과 초전성이 Kawai에 의해 발견된 후 센서, 스피커로의 응용에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며, 센서로의 응용은 현재 여러가지 제품이 나오고 있다. Beam 스위치, 스냅스위치 등의 스위치류, Impact 프린터, 경기결과 기록, 악기, 교통 센서 등의 충격센서류, 오디오 장치의 픽업, Machine Monitoring, 베어링 센서, Fan Flow 센서, 실의 절단 감지 센서 등의 진동검지, 가속도 센서, 의료용 초음파 영상 센서, 청진기, 비파괴검사(NDT), 음향방사, 액체 수위 센서 등의 초음파 센서, 스피커와 마이크로폰 등의 오디오기기, 소나, 수중청음기 등에 이용되고 있으며, 앞으로 Active Vibration Damping, HydroPiezoelectricity, Smart Skin 등에 이용될 전망이며 연구가 계속 진행되고 있다. PVDF 필름은 넓은 주파수 영역, 넓은 동적영역, 낮은 음향 임피던스, 높은 유전강도 및 기계강도, 얇고 유연성이 있으며, 낮은 밀도와 높은 감도를 갖고 있다. 음향 임피던스는 물, 인체조직, 유기물질의 음향임피던스의 2.6배(압전세라믹은 약 11배) 정도를 가지고 있다.

PVDF는 $-(CH_2-CF_2-CH_2-CF_2-)_n-$ 구조로 보통 높은 쌍극자 모멘트(Dipole Moment)를 갖는다. 구조식은 다음의 그림과 같으며, 연신한 분자고리에 직각방향으로 전기쌍극자 모멘트가 나타남을 보여 주고 있다. 두 폴리머 체인들에 있는 쌍극자 사이의

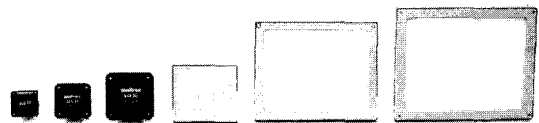


그림 4. 미국 Sonitron社의 압전형 스피커 제품사진.

전기적 반력으로 외부 전기장이 가해지면 쌍극자 인력으로 분자간 거리가 감소하므로 PVDF 박막의 총 두께가 감소하는 압전효과가 발생하게 된다. PVDF(Poly Vinylidene Fluoride)는 분자쇄에 CF₂ 쌍극자를 포함하고 있는 불소계의 강유전성 고분자로서 제조공정이나 열처리 방법에 따라 α형, β형, γ형 등의 여러 가지 결정형태를 가지며 분자를 구성하는 원자, 결정, 극성기의 포함 등에 따라 그 전기적인 성질도 매우 다르다. PVDF 고분자 재료내의 CF₂ 쌍극자는 분극시 가해지는 인가 전기의 극성 방향으로 회전하여 일정 방향으로 배열함에 따라 강한 압전 및 초전 특성을 지니게 된다. 이와 같이 분극에 의한 쌍극자의 극성 반전은 Kawai에 의해 보고되었다.

이러한 특성을 갖는 PVDF에 외부에서 가열하거나 전계를 가하면 전하가 양면에 나타나서 신호를 인출할 수도 있어 센서로서 응용을 하고 있다. PVDF의 일반적인 특성을 표에 나타내었다.

이와 같이 PVDF 필름은 외부의 압력, 진동, 충격을 받으면 압전 정효과에 의하여 전기적 출력이 얻어지고, 역으로 외부의 교류전압을 인가하면 압전 역효과에 의하여 진동하는 특성을 나타내며, 또 외부의 온도변화에 의해서 전기적 출력을 얻을 수 있다. 표는 PVDF와 다른 압전 재료의 특성을 비교한 것이다.

PVDF 압전필름이 갖는 특징들로는 압전 세라믹스에 비해 유연성, 내마모성, 가혹조건에 적합, 성형성 양호, 광대역 (0.001 Hz ~ 10⁹ Hz), 고감도 (10⁻⁸ ~ 10⁶ psi), 고효율, 압전세라믹에 비해 10배 이상의 고전압동작, 습기를 0.02 % 미만으로 흡수하며 화합물에 내성이 강한 안정성, 전자회로에 적합 등의 장점

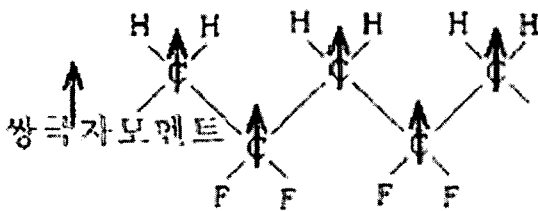


그림 5. PVDF의 분자구조.

들이 있으며, 단점들로는 저주파에서 동작불량, 전자파 차단 필요 등이 있다.

그러나 PVDF 필름을 이용한 필름스피커의 경우, 제조가 까다로워 고가인 PVDF 필름을 사용하며, 저음영역의 출력이 낮고, 별도의 트랜스포머를 사용하여 기존 스피커에 비해 수십~수백배 높은 임피던스 차이를 보완해주어야 한다.

4.2 압전 필름 스피커

4.2.1 개요

압전 필름스피커는 다양한 두께의 PVDF 필름의 양면에 전극을 형성하고 고전압으로 분극 처리를 함

표 3. PVDF의 일반적인 특성.

구분		단위	값	
물리적 특성	용점	°C	170 - 185	
	비중		1.75 - 1.80	
	굴절률		1.42	
기계적 특성	인장강도(25°C)	Kg/cm ²	500 - 600	
	항복강도(25°C)	Kg/cm ²	400 - 600	
	신축율	%	200 - 300	
	경도		77 - 80	
열적 특성	열팽창율	°C ⁻¹	1.5 × 10 ⁻⁵	
	비열	cal/g · °C	0.33	
	열전도율	cal/hr · cm ² °C/cm	1.0(25~160 °C)	
	열분해온도	°C	> 315	
	내연성		자기소화	
전기적 특성	체적 고유저항	Ω · m	2.6 × 10 ¹⁴	
	비유전율(60~10 ⁹ Hz)		3 - 15	
	tanδ	60 Hz		0.05
		1 kHz		0.018
		0.1 MHz		0.16
		1 GHz		0.11
	내전압	KV/0.1 mm 필름		9

표 4. 대표적인 압전 세라믹과 PVDF 압전 필름의 특성 비교.

구분	단위	PVDF	PZT	BaTiO ₃
밀도	10 ³ Kg/m ³	1.78	7.8	5.7
비유전율		12	1,200	1,700
d31	pC/N	23	110	78
g31	10 ⁻³ Vm/N	216	10	5
k31	% at 1 KHz	12	30	21
음향임피던스	10 ⁶ Kg/m ² · sec	2.7	30	30

으로써 제조되며, 공기를 밀어내는 다이어프램과 구동부가 하나의 유닛으로 구성되어진다. 필름스피커는 필름 상에 형성된 전극을 통해 AC 전기를 인가하는 매우 단순한 구조이다. 필름의 형상, 지지구조의 조절을 통하여 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 그림에서와 같이 필름스피커는 진동을 하는 PVDF 필름 다이어프램과 스피커 인클로저, 지지 구조물로 구성되어진다. 인가전압에 대하여 최대의 변위를 발생시키는 연신된 방향(그림에서는 "1" 방향)이 L 방향으로 맞추면 가장 우수한 음향 특성을 보인다. 필름스피커의 경우 PVDF 필름을 그림에서와 같은 방향(압전특성이 가장 우수한 방향, 즉 연신된 방향)으로 휘어서 인클로저에 단단히 고정을 하면 된다. 필름 상의 전극을 통해 전압이 인가되면 필름의 두께 방향 및 연신된 방향으로 동시에 기계적인 스트레인(Strain)이 발생하나, 두께 방향의 스트레인은 필름 자체가 워낙 얇기 때문에 무시할 수 있다. 그러나 변위가 큰 In-plane Strain은 필름의 곡률 반경을 따라 Radial Motion으로 필름의 표면과 수직한 방향으로 전환되며, 이러한 곡률로 인하여 필름의 표면은 인클로저의 상하 방향으로 진동을 하게 된다. 표면적이 큰 필름은 훨씬 효과적으로 주위의 공기로 음향 에너지를 방사하게 된다. 이러한 구조의 필름스피커는 고주파수에서 매우 우수한 음향특성을 보이며, 20 kHz까지 일정한 음향특성을 보이게 된다. 음압 특성과 주파수 응답 특성은 필름의 크기 및 형상, 인

가 음향 신호의 크기, PVDF 필름 물질의 압전 특성, 유전 특성, 기계적인 손실 특성, 임피던스 효과, 전극 재료의 질량 등 여러 가지 특성에 따라서 변화한다.

4.2.2 필름스피커의 특성에 영향을 미치는 인자

(1) 필름 두께의 영향 : 음압(SPL, Sound Pressure Level)은 인가전압에 비례하고, 일정한 전압 하에서는 이론적으로 얇은 필름일수록 음압이 증가하게 된다. 음압(SPL)은 다음의 식으로 측정된다.

$$SPL = 20 \log_{10} \frac{P}{P_{ref}} (dB) \quad (1)$$

P : 스피커로부터의 특정 거리에서 음압
 Pref : 2×10^{-5} Pascal 이다.

필름의 두께를 1/2로 줄이면 SPL은 6 dB 증가하게 된다. 그러나 필름의 두께를 줄이면 필름스피커의 정전용량 또한 커져 파워앰프에서 보다 큰 전류가 필요하게 된다. 또한 얇은 필름을 이용할 경우, 대면적의 PVDF 필름에서 필름의 곡률이 일정하게 지지하기 어렵기 때문에 왜곡현상이 발생할 수 있다.

(2) 곡률반경의 영향 : 곡률 반경 또한 필름스피커의 특성 중 주파수 범위를 좌우하는 큰 인자이다. 저음 한계 주파수는 PVDF 필름의 영스 모듈러스(Young's Modulus)의 제곱근과 밀도에 비례하고, 곡률반경에는 반비례한다. PVDF의 기본적인 물성 값을 대입하면, 저음 한계 주파수는 다음의 식과 같이 구할 수 있다.

$$f \sim \frac{21}{R(cm)} kHz = \frac{53}{R(inch)} kHz \quad (2)$$

R : 곡률반경
 f : 저음 한계 주파수

그림은 곡률 반경에 따른 10 kHz에서의 SPL의 변화 및 저음 한계 주파수를 나타낸 것이다.

(3) 길이 및 폭의 영향 : PVDF 필름스피커의 음향 출력은 필름의 길이와 폭에 비례한다. 즉 전극이 형성된 면적에 비례한다.

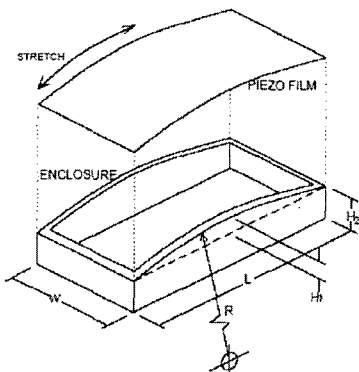
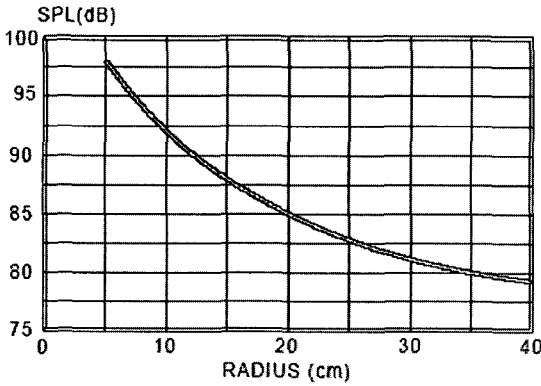


그림 6. 압전 필름스피커의 구조.

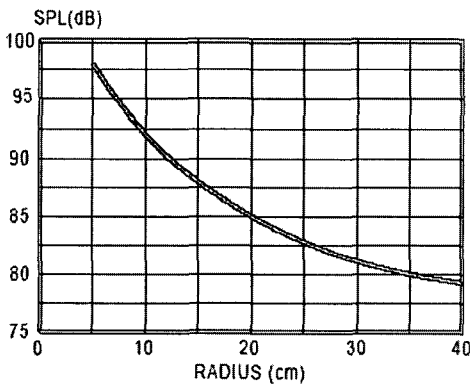
(4) 임피던스의 영향: PVDF 필름스피커가 충분한 음량을 내기 위해서는 고전압의 인가가 필수적이다. 오디오 앰프의 출력 전압을 높이기 위해서 통상적으로 승압 오디오 트랜스포머가 사용된다. 트랜스포머의 승압비는 1차, 2차 코일의 권선수에 비례하게 되는데, 또한 1차, 2차측의 임피던스는 권선수의 제곱에 비례하게 된다. 트랜스포머의 출력측 임피던스는 반드시 PVDF 필름의 임피던스와 같거나 낮아야 한다. 만약 임피던스가 매칭이 되지 않으면 심각한 왜곡이 발생하게 된다. 보통의 일반 스피커는 파워앰프에 저항적인 부하로 작용을 하지만, 필름스피커는 용량형 부하로 작용한다. 이러한 결과로 인하여 필

름스피커의 임피던스는 주파수에 따라 변하게 된다. $10(W)cm \times 10(L)cm \times 28 \mu m$ 의 PVDF의 정전용량은 대략 35 nF 정도이다. 고주파수 영역에서 이러한 PVDF 필름스피커의 임피던스는 매우 낮아 앰프로부터 고전류가 흐르게 된다.

필름스피커는 어떠한 형상이나 크기로 손쉽게 제작할 수 있다는 장점이 있으며, 곡률반경 및 크기에 따라 독특한 주파수 특성을 가지게 할 수 있으며, 다른 구조물에도 부착할 수 있고, 손쉽게 부착도 가능하다. 필름스피커는 평탄한 주파수 응답 특성을 가지며, 경량, 유연하다. 그러나 아직까지 고음질의 실현이 어려우며, 저음 영역에서의 음압의 감소, 높은 인가전압 등 개선해야 될 사항이 많은 실정이다. 또

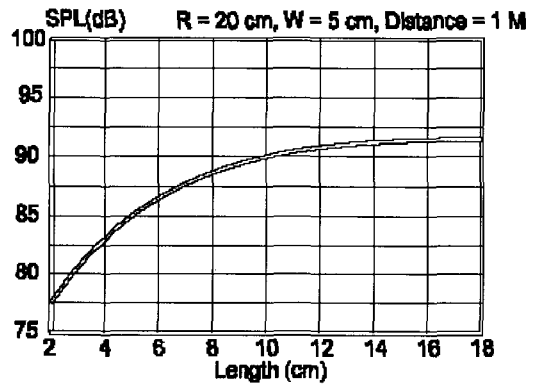


(a)

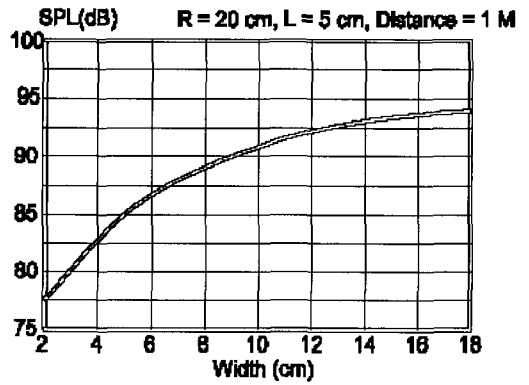


(b)

그림 7. 압전필름의 곡률반경과 저음한계주파수, SPL(음압)과의 관계.



(a)



(b)

그림 8. 압전 필름의 크기에 따른 SPL 특성.

한 현재 국내에서 필름스피커를 생산하는 업체들이 PVDF 필름은 전량 일본과 미국에서 수입을 하고 있어서 아직까지 국내에서는 큰 경쟁력이 없는 게 사실이다. 아래는 미국의 Measurement Specialties Incorporated社에서 제조하는 PVDF 필름스피커의 사양이다.

인가전압이 125 V_{rms}로 매우 높고, 주파수 영역도 3.5 kHz ~ 20 kHz로 저음 영역은 거의 들리지 않는다. 물론 크기를 늘리고, 곡률 반경을 조절하면 저음 한계 주파수를 낮출 수도 있을 것이다.

4.2.3 필름스피커 구동회로

압전 필름 스피커로 전압을 입력하기 위해서는 음향기로부터 출력된 외부 음원 신호가 앰프 모듈에 입력되면 전압 증폭을 하기 위한 증폭용 IC(Integrated Circuits)를 이용하거나, 또는 권선비가 1:30 이상의 트랜스포머를 사용하여 전압을 증폭시킨다. 승압 트랜스포머의 출력 단자를 거쳐 증폭된 음원신호를 필름 스피커의 전극층에 각각 연결을 한다. 압전 필름의 변위량은 인가된 전압의 제곱에 비례한다. 압전필름의 특성상 높은 음압을 내기 위해서 100 V_{rms} 이상의 고전압을 인가해야 하는 단점이 있고 크기를 작게 하면 음향 특성이 현저히 떨어져 소형화에는 한계가 있다. 그림은 PVDF 필름스피커 구동회로의 예를 나타내었다.

4.2.4 전극 형성

종래의 양면 전극 증착법으로 많이 사용되는 스크린 프린팅 방법으로는 수 μm 이상 두께의 전극을

형성하는데 적합하고, 이 방법에 의한 전극 증착은 진동판에 하중을 주므로 보다 얇은 금속 전극을 형성하는 진공증착법이 사용되는 것이 유리하다. 진공 증착법으로 금속전극을 수천 Å으로 증착하면 좋으나, 양산성 문제, 고가격 등의 문제점이 있다. 또한 불소계 고분자의 대표적인 Poly Tetra Fluoro Ethylene(PTFE)와 Poly Vinylidene Fluoride(PVDF)의 표면 에너지는 각각 22.6, 36.5 dyne/cm의 낮은 값을 가지고 있으므로 척수적인 표면 성질과 접착이 어려운 특성을 나타낸다. PTFE의 경우, 고주파 영역에서의 우수한 절연성에도 불구하고 Cu 또는 Al 등의 반응성 금속마저도 접착이 되지 않기 때문에 Sodium Naphthalene 으로 표면을 화학적으로 부식하여 극성 작용기를 형성하거나 기계적으로 Interlocking을 증가시키기 위해 표면을 기계적으로 연마하여 사용하였다. 또한 PVDF 위의 Al이나 Cu와 같은 반응성 금속은 전극으로 사용하기에 적합한 접착력을 나타내지만 Pt 또는 Au와 같은 불활성 금속은 접착이 되지 않고 박막이 고분자에서 박리되기 때문에 전극으로서 활용되지 못하였다. 고분자와 금속간의 접착력을 증가시키기 위하여 Plasma 처리법, 고에너지 이온빔 조사법, 화학적 처리법, UV-Ozone 등을 이용한 방법이 연구되고 있다. 그러나 이러한 방법 등은 결합과괴, 탄화 현상, 가교 형성 등의 문제점을 나타내었으며 표면에 결함을 최소화하는 새로운 방법이 요구되고 있다. 국내에서 필름스

표 5. 미국 Measurement Specialties 사의 압전 필름 스피커 사양.

PARAMETER	VALUE
Frequency Range	3.5 kHz - 20 kHz
SPL @ 40 cm	105 dB +/- 5 dB
Drive Voltage	125 V _{rms}
Enclosure Dimensions	13 cm X 11 cm X 6 cm
Radius of Curvature	7 cm
PVDF Thickness	52 μm
PVDF Capacitance	24 nF

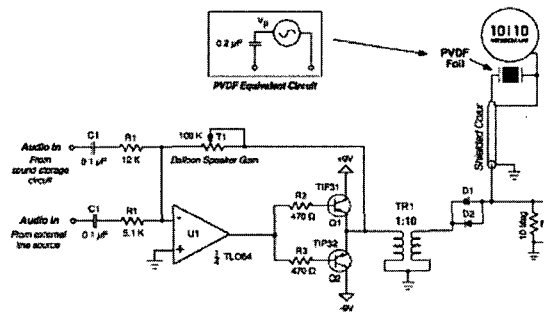


그림 9. PVDF 압전필름 스피커의 구동 회로의 예.

피커를 제조하는 업체들은 일본이나 미국에서 PVDF 필름을 수입하여 표면개질을 통하여 전극을 부착하고, 분극을 하여 필름스피커를 제조하는 기술을 가지고 있다.

4.2.5 국내의 필름스피커 산업 현황

국내의 스피커 제조업체들은 모바일용의 소형 스피커 개발에 주력을 하고 있으며, 수작업이 많은 스피커 산업의 특성상 국내보다는 중국, 말레이시아 등지에서 생산을 하고 있다. 압전형 스피커도 국내에서 생산 거점을 거의 중국으로 이전을 하였고, 가격 경쟁력 등의 문제로 국내의 기업들이 어려움을 겪고 있는 게 현실이다. 국내의 필름 스피커의 제조업체 중 제품을 출시하고 있는 대표적인 업체는 아이티엔지, 미래 플라즈마 등이며, 디에스테크놀러지, 유니피온, 한음사운드, 유경전자, 에큐피드, 제이앤앤 등의 회사와 지속적인 기술 개발을 하고 있다. 그러나 핵심 부품인 필름은 거의 대부분 일본, 미국 업체에서 수입하여 사용하고 있으며, 표면개질을 통해 전도성 고분자 등의 전극을 상하면에 전극으로 형성한 제품이다. 트랜스포머를 이용하여 승압을 하며, 입력 전압은 최고 150V에 달한다. 임피던스는 1kHz에서 5k Ω 정도로 기존 스피커의 8 Ω , 16 Ω 에 비하여 300~600배 가량 높으며, 필름스피커의 특성상 저음 영역의 출력은 여전히 개선되고 있지 않고 있다. 그림은 국내의 기업에서 제조한 필름 스피커

의 특성이다. 입력전압은 100 V_{rms}로 측정을 하였다. SPL은 1 kHz에서 100 V_{rms} 인가시 약 75 dB 정도의 특성을 보이고 있다. 필름스피커의 가장 큰 단점인 저주파수 영역의 SPL은 대략 200 Hz에서 50 dB 이하의 특성을 보이고 있다. 가격은 대략 A5 크기의 제품이 65,000원 정도로 판매가 되고 있다. 기존의 PC 스피커 시장 등 스피커 시장을 확보하기 위해서는 보다 가격 경쟁력을 가져야 될 것으로 보인다.

5. 모바일 기기용 스피커

일반적으로 유무선 통신 단말기, 특히 핸드폰 (Cellular Phone)과 같은 이동통신용 단말기는 경박·단소화를 추구하는데 있어 충전 배터리가 가진 일정 용량 하에서 통화 시간을 길게 하고 중량과 크기를 최소화할 수 있는 부품을 채택하는 추세이다. 현재의 핸드폰에서는 배터리, 키패드, 스피커 및 마이크로폰을 각기 장착하는 곳을 마련해야 하므로 크기를 축소하는데 제약이 따른다. 특히 스피커 및 마이크로폰은 1 mm 미만의 얇은 두께로서 저전력으로 동작하는 소자가 절실히 필요한 실정이다. 현재의 스피커 시장에서 급격한 수요의 증가가 이루어지고 있는 휴대폰에서 스피커는 소형 리시버(통화음이 들리는 곳)에만 쓰였으나, 폴리 화음 벨소리를 위해 스피커가 하나 더 부착되었다. 최근 DMB, MP3, PTT, 게임 등 스피커 성능이 중요한 휴대폰 서비스가 등장하면서 스피커 성능에 대한 요구 및 크기의 제한에 대한 요구가 높아지고 있는 상황이다. 현재의 필름스피커 및 휴대폰 스피커는 수명과 저음 재생력을 높이는 것이 관건이다. 게임산업이 발전하고 컴퓨터를 이용하여 음악과일을 재생하게 되면서, PC용 스피커는 예전의 PC 주변 기기가 아니라 필수 구성품으로 자리 잡고 있으며, 저가격의 일반품과 고가의 고급형으로 양극화되고 있는 실정이다. 모바일 기기에 필름스피커를 장착하는 시도가 많이 이루어지고 있다.

일본 공급업체들은 휴대폰 등 고급형 휴대용 제품에 적합한 극소형 마이크로 스피커를 개발하고 있다. 휴대폰용 마이크로 스피커는 15 mm(\varnothing) 및 20

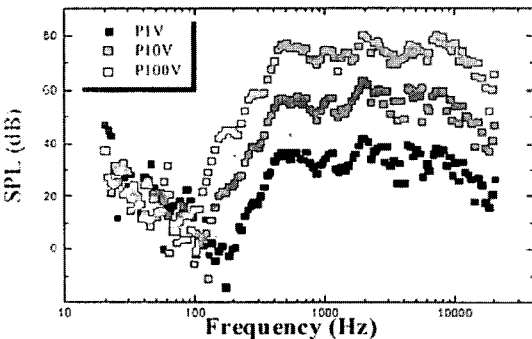


그림 10. 국내에서 제조된 압전 필름스피커의 주파수에 따른 SPL 특성.

mm(Ø) 크기의 휴대폰에 적합하며, 20 mm(Ø) 모델은 3 mm 또는 3.2 mm의 두께, 1.6 g 또는 2.1 g의 중량이다. 민감도는 1 kHz에 118 dB/mW 또는 112 dB/mW이다. 15 mm(Ø) 모델은 2.5 mm 또는 3.2 mm의 두께, 0.8 g 또는 1.1 g의 중량이다. 민감도는 117 dB/mW 또는 113 dB/mW이다. 이 제품은 주파수 반응 범위가 300 Hz에서 3.4 kHz이나 최소 두께의 제품이 2.5 mm로 경박 경량화에 아직 어려움을 가지고 있다. Pioneer는 앞으로의 R&D는 톤의 질, 소형화와 같은 성능 개선에 맞추어져 있다고 밝힐 정도로 소형, 초박형 스피커가 필수 과제이다. 마이크로 스피커는 휴대폰 제품에 쓰이기 때문에 구조적인 디자인은 다양한 조건 하에 신뢰할 만한 성능을 발휘하기 위해 추가적으로 고려되어야 한다. 일본의 주요 제조업체들은 저급 제품의 가격경쟁을 회피하기 위해 부가가치가 높은 제품에 집중하고 있다.

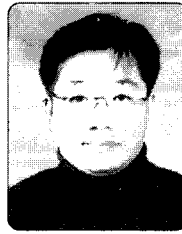
필름스피커가 휴대폰에 장착되기 위해서는 음압, 민감도, 낮은 구동전압의 실현 등 많은 과제가 있는 것이 사실이다. 이러한 장애를 극복하기 위해 많은 연구가 이루어져야 할 것이다. 국내의 몇몇 중소기업에서 모바일용의 초박형 스피커를 개발하기 위하여 연구가 진행 중에 있다. 기존의 PVDF 필름스피커는 현재 국내에서 필름을 제조하는 곳이 없어 전량 수입에 의존하고 있으며, 별도의 승압 앰프를 사용하지 않는 저전압 구동의 필름스피커의 개발이 아직까지는 이루어지지 않아 모바일 기기에서의 적용은 아직은 이루어지지 않고 있다.

6. 결론

현재 국내에서 몇몇 기업체에서 필름스피커를 개발하여 시판을 하고 있다. 그러나 핵심인 PVDF 필름은 전량 일본이나 미국에서 수입을 하고 있는 것 또한 현실이다. 현재의 필름스피커가 보다 더 시장에서 인정받기 위해서는 상술한 바와 같은 많은 어려움을 해결해야 할 것이다. 전자업계의 초미의 관심인 경박·경량화를 실현하기 위해 스피커의 두께를 줄이기 위해 많은 연구가 이루어지고 있는 시점에서 필름스피커에도 획기적인 지원 및 연구가 진행이 되

어 필름스피커가 모바일 기기, 소형기기에 장착되었으면 하며, 이 분야에 대한 정부와 관련업계의 집중적인 투자와 관련 기술 개발이 이루어진다면 스피커 시장에서 필름스피커의 미래는 밝다고 할 수 있다.

저자|약력



성명 : 김성진

◆ 학력

- 1991년 한국과학기술원 재료공학과 공학사
- 1994년 포항공대 대학원 재료 금속공학과 공학석사

◆ 경력

- 2003년 - 현재 (주)제닉스 대표이사

