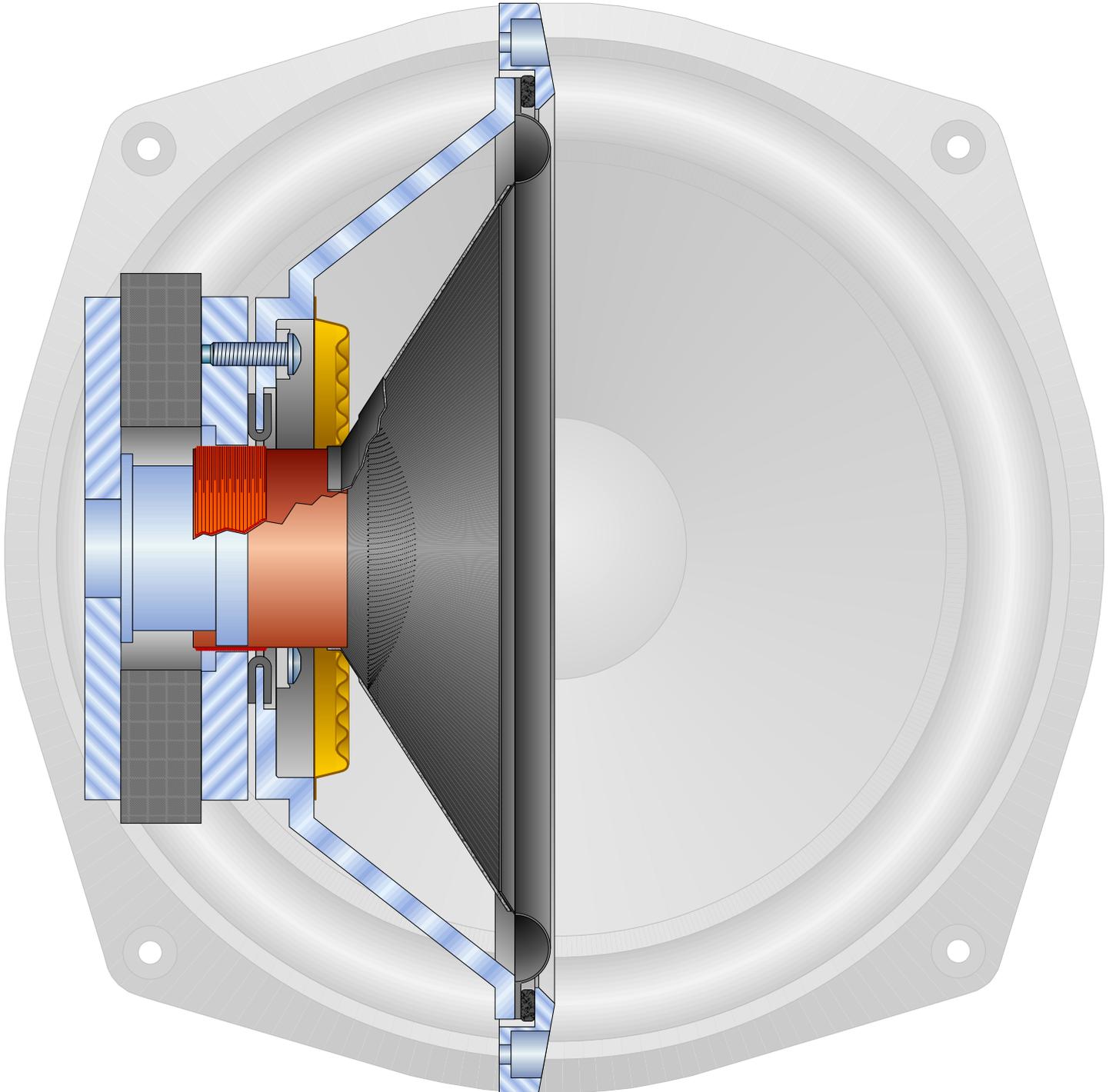


스피커 및 음향 스피커

기술과 도전과제에 대한 요약 설명, 이미지 중심으로



2026년 01월

인간의 생리적 민감성

인간의 생리적 감수성은 고음질 음악 재현의 모든 제약 조건의 기초가 된다. 이 감수성은 주파수나 진폭 측면에서 선형적이지 않다.

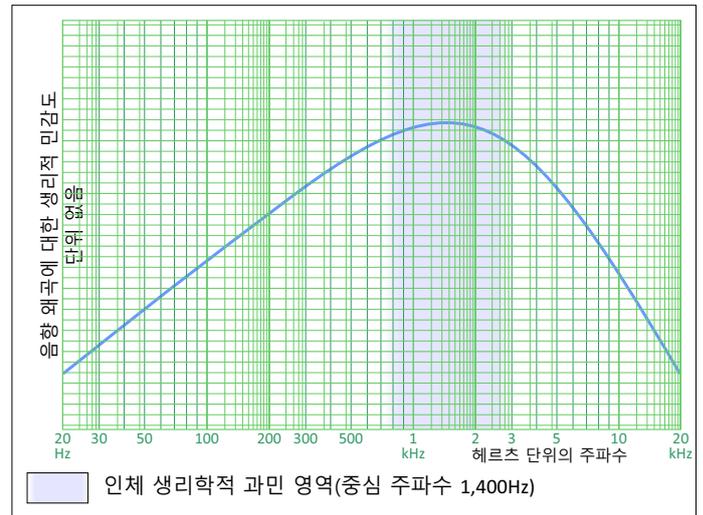
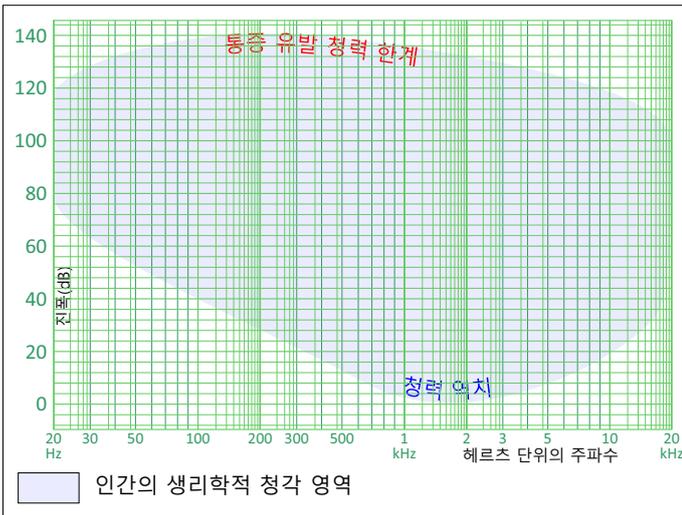
78~102 데시벨(dB) 사이에서, 젊은 성인(15~30세)은 20~20,000 헤르츠(Hz) 범위의 음향 신호를 감지합니다. 나이가 들수록 귀는 극고음역대에서 어느 정도 감도를 잃습니다: 60세 이상이 되면 12kHz 또는 14kHz 이상의 소리는 약해지지만 완전히 사라지는 않습니다.

콘서트 중, 이 연령대의 음악 애호가들은 자신의 나이에 맞는 귀로 음악을 감상한다. 그러나 그의 뇌의 소리 분석 시스템은 대부분의 젊은이들보다 더 발달된 능력을 지니고 있다.

그의 문화적 소양이 청력이 약해져도 더 잘 듣는 법을 알게 해준다.

우리는 귀로 듣고 뇌로 분석한다고 말할 수 있습니다.

또는 귀는 시간이 지남에 따라 노화되는 하드웨어(마이크로폰)와 비교될 수 있지만, 우리의 뇌는 나이가 들수록 점점 더 정교해지는 지속적으로 업데이트되는 소프트웨어 덕분에 작동합니다(문화적 습득을 통한 분석).



따라서 우리의 생리적 감도는 주파수에 대해 전혀 선형적이지 않습니다. 약 1,400Hz 주변에 초감도 영역(인간 음성 영역)이 존재합니다.

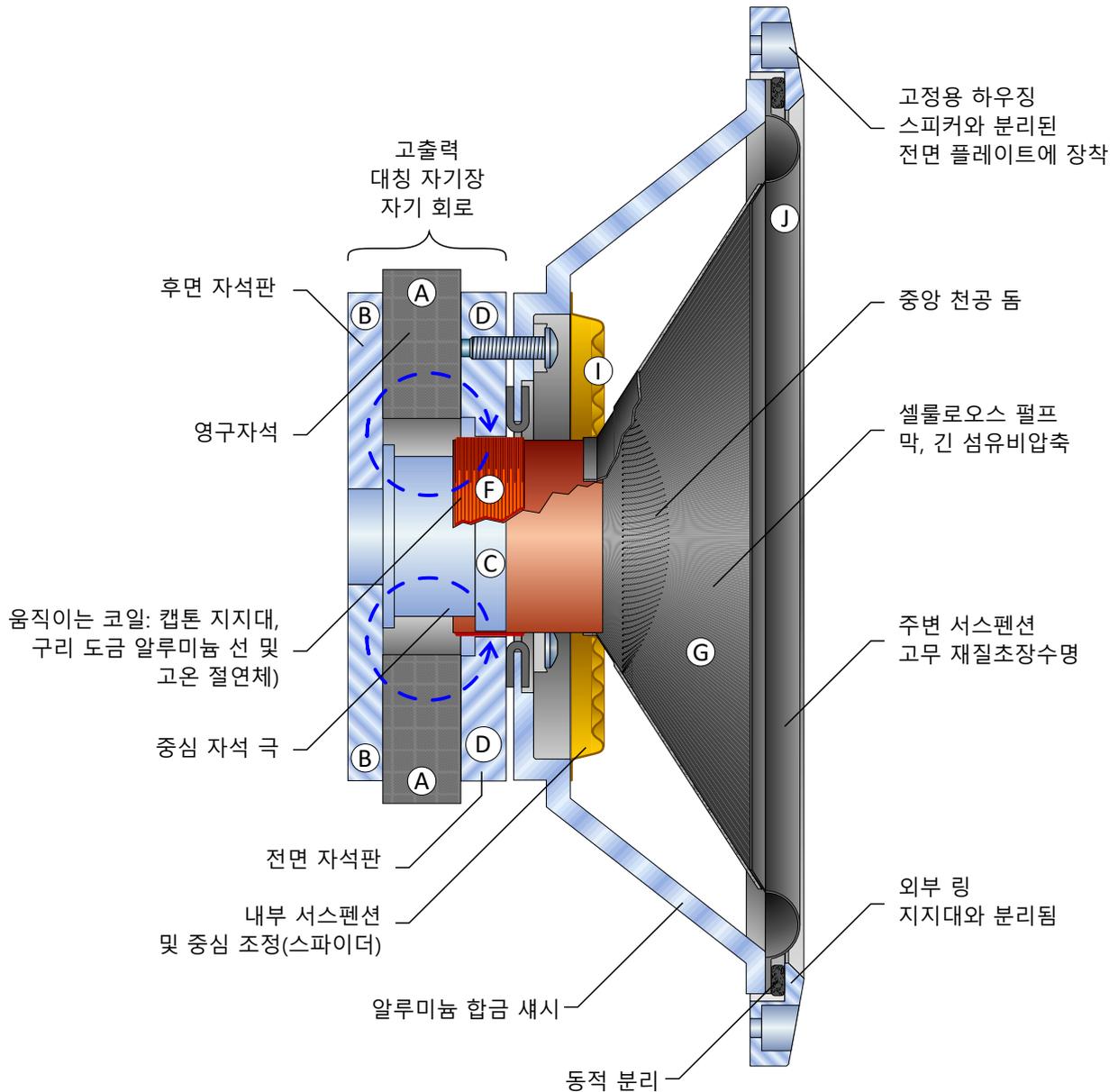
이 주파수 대역은 1,400Hz를 중심으로 2옥타브에 걸쳐 있는 700Hz에서 2,800Hz 사이로, 음향 재현 시 발생하는 모든 형태의 왜곡(디스토션, 잔향, 지향성 문제)을 최소화하기 위해 극도의 노력이 요구되는 '성역'과 같은 영역입니다.

따라서 이 주파수 범위는 가능한 한 중음 스피커를 중심으로 음향 인클로저를 제작하도록 요구합니다.

우리는 이 악기에 정교한 작업을 요구하면서도 오직 이 두 옥타브로만 축소된 활동 범위에만 적용하도록 합니다. 전체 스펙트럼 재생을 완성하기 위해 저음 스피커(우퍼)와 고음 스피커(트위터)를 추가합니다.

따라서 고성능 음향 인클로저는 반드시 세 개의 스피커를 갖춰야 하며, 그 중 하나는 진정한 미드레인지 스피커여야 합니다.

스피커의 작동 원리



B245-5 저음 변환기

스피커의 작동 원리

원형페라이트자석A, 후극판B, 중심코어C, 전극판D로 구성된 자기 회로는D와C 사이에 위치한 좁은 원형 틈새인 에어갭에서 매우 강한 자기장을 생성합니다.

움직이는 코일F와 원뿔형 진동판G는 서스펜션I과J에 의해 매달려 있어, 이 코일이 자기 부품에 닿지 않으면서 공기층 중앙에 위치하도록 되어 있습니다.

증폭기에서 나오는 전류는 이동 코일을 통과하며, 공기 틈새의 강한 자기장의 작용으로 인해 전류의 방향에 따라 진동판을 앞으로 밀거나 뒤로 당긴다.

이렇게 전기 신호(마이크로폰이 음원을 녹음할 때 포착한 소리의 이미지)의 리듬에 맞춰 앞뒤로 움직이면서 음악이 어느 정도 충실하게 재현됩니다.

음향 인클로저의 구성 및 전력 부하 분배



음향 인클로저는 전체적인 충실도 성능에 있어 동등한 중요성을 지닌 세 가지 요소 그룹으로 구성됩니다. 즉:

- 증폭기에서 오는 전기 신호를 기계적 운동으로, 그리고 소리로 변환하는 다양한 스피커 또는 변환기.

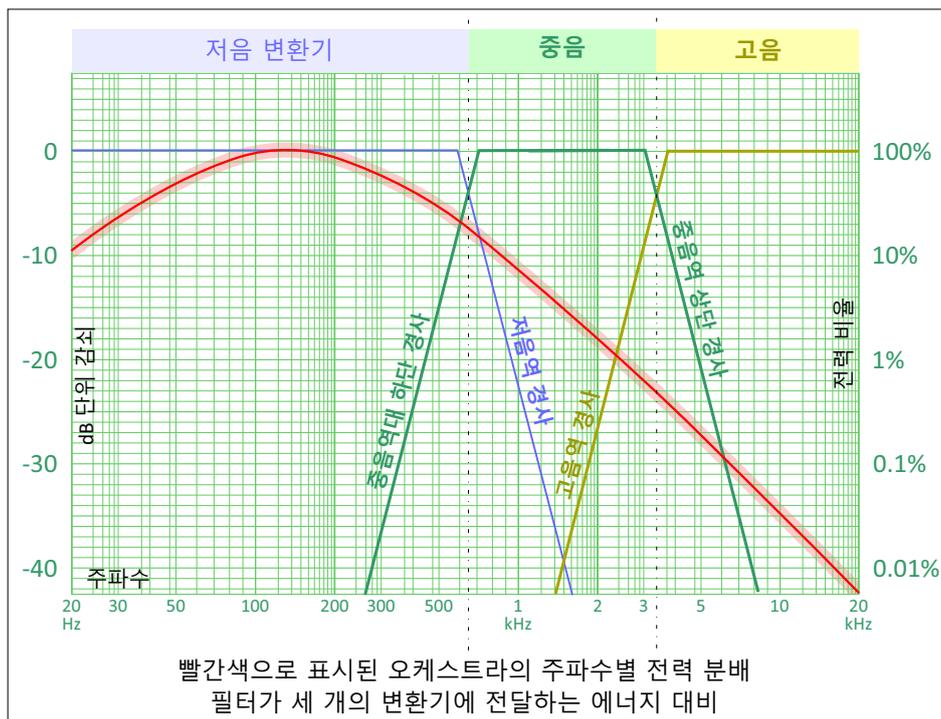
- 주파수 구성에 따라 이 전기 신호를 각 스피커로 안내하는 필터.

- 인클로저의 하나 또는 여러 개의 케이스, 이는 각 스피커의 후면 음파(스피커 내부 인클로저 내에서 다이어프램이 생성하는 소리)를 처리해야 합니다. 이는 후방 음파가 직접 음향 신호를 방해하지 않도록 하기 위함입니다.

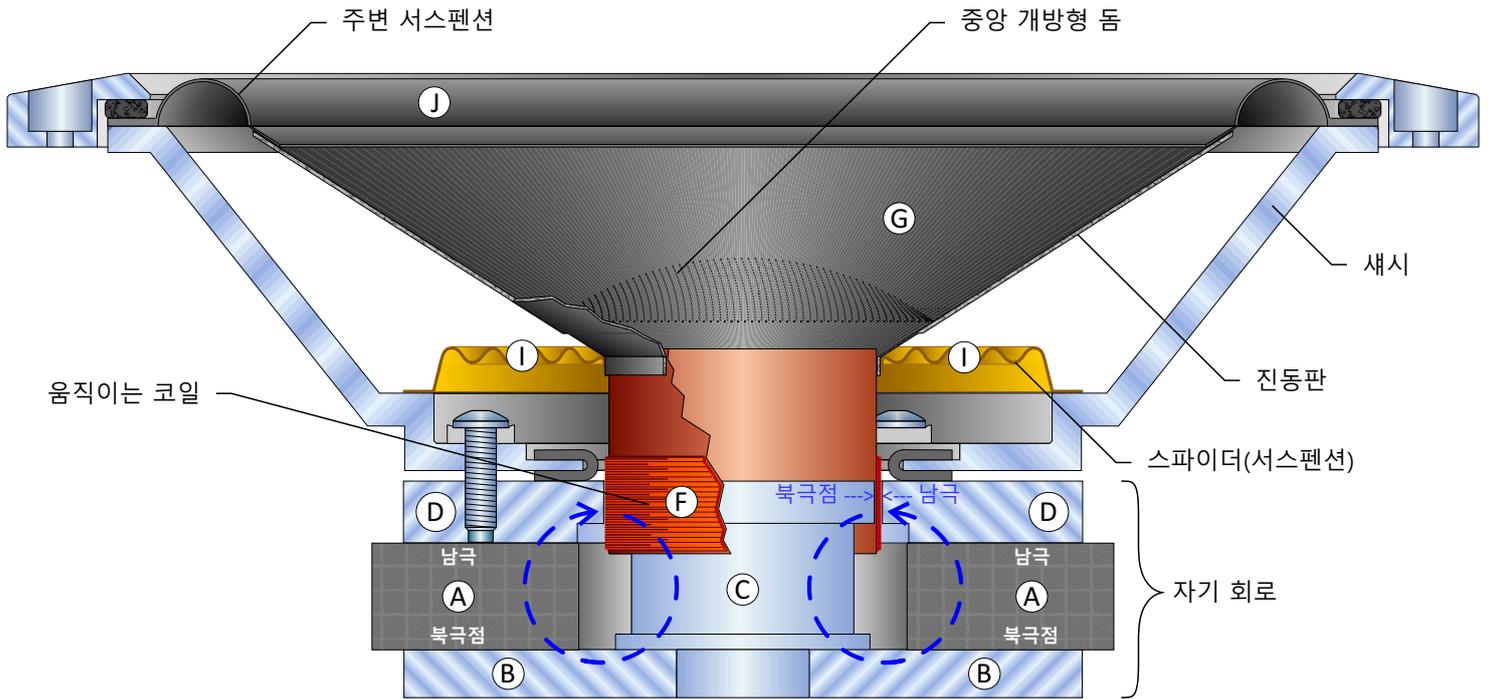
교향악단의 경우, 대부분의 에너지는 저음 스피커 (~80%)에 의해 재현되며, 이는 음악적 이미지의 깊이와 악기적 두께를 담당합니다.

가장 높은 재현 충실도는 음악 표현의 명료성을 담당하는 중음역 변환기에 요구됩니다.

음향 공간은 20kHz를 훨씬 초과하는 신호를 재현하기 위해 가장 빠른 반응 속도가 요구되는 고음역 스피커에 의해 재현됩니다.

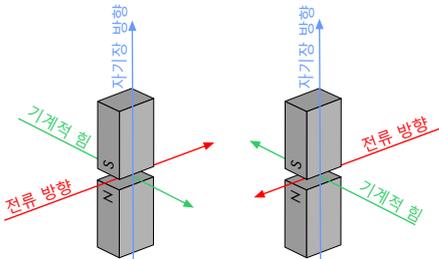


스피커의 네 가지 주요 매개변수



힘 계수: $B \cdot l$

공극(C와 D 사이에 위치한 원형 슬릿) 내 자기장이 자기장에 잠긴 움직이는 코일의 선 길이와 곱한 값



테슬라*미터
(T·m)

움직이는 질량: m (Mms)

가동 코일(F) + 진동판(G)의 질량 합계 + 서스펜션(I+J)의 일부 즉, 움직이는 부분



그램
(g)

순응도: C (Cms)

두 서스펜션의 탄성 : 주변부(J) + 내부 중심 조정(I)



밀리미터/뉴턴
(mm/N)

표면적: S

총 방사 면적에 해당하며, 즉, 다이어프램(G)의 면적 + 주변 서스펜션(J)의 일부



$$S = \pi \cdot r^2$$

제곱미터
(m²)

+ **Redc**는 움직이는 코일(F)의 직류 저항입니다

스피커의 효율은 다음에 비례합니다:

$$\eta \approx \frac{S \cdot (B \cdot l)^2}{m^2 \cdot R_{edc}}$$

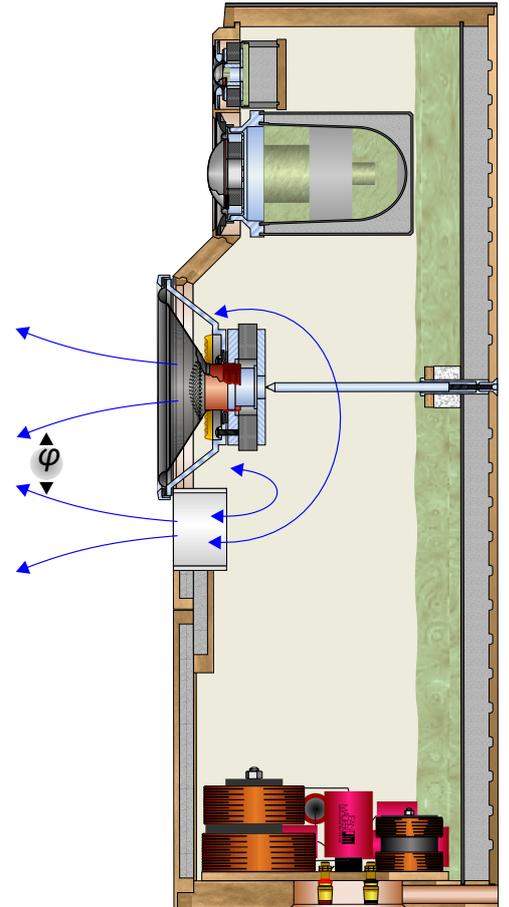
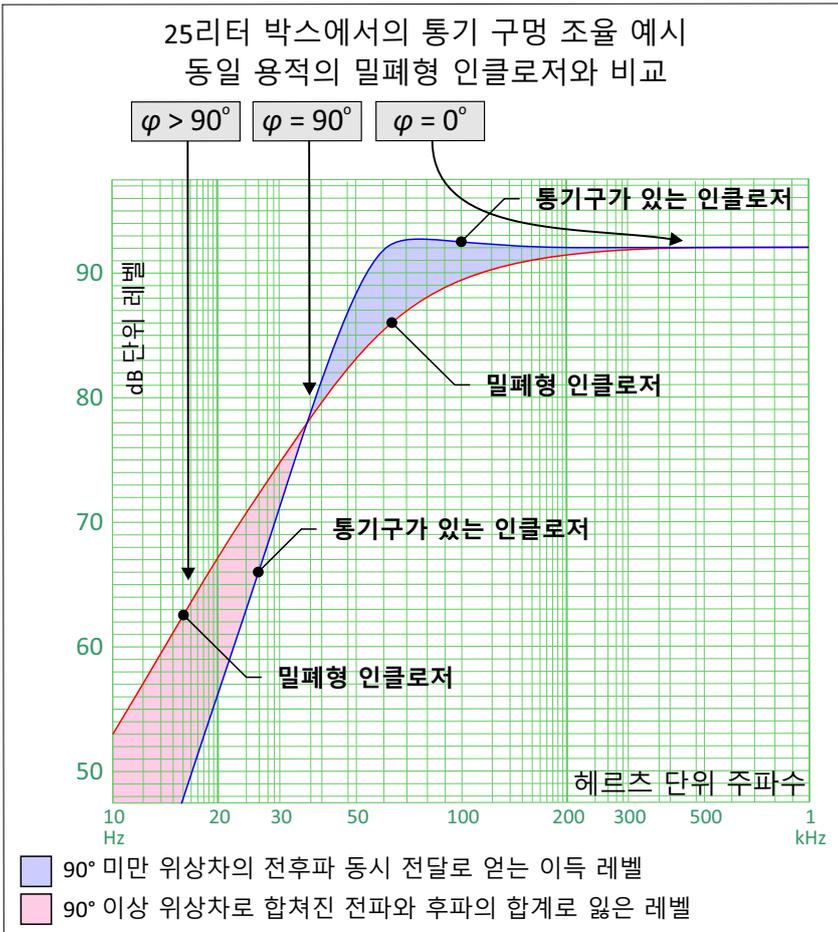
이 방정식에서 컴플라이언스 **Cms**는 제외됩니다

여기서 가동 질량은 그 값의 제곱으로 작용함을 알 수 있습니다. 즉: $m^2 = m \cdot m$

예를 들어, 움직이는 질량이 33그램인 우리의 B245-5 스피커의 경우,

이동 부품 제작 과정에서 접착제 1그램이 낭비되면 효율이 6.15%(즉 0.52dB) 감소합니다.

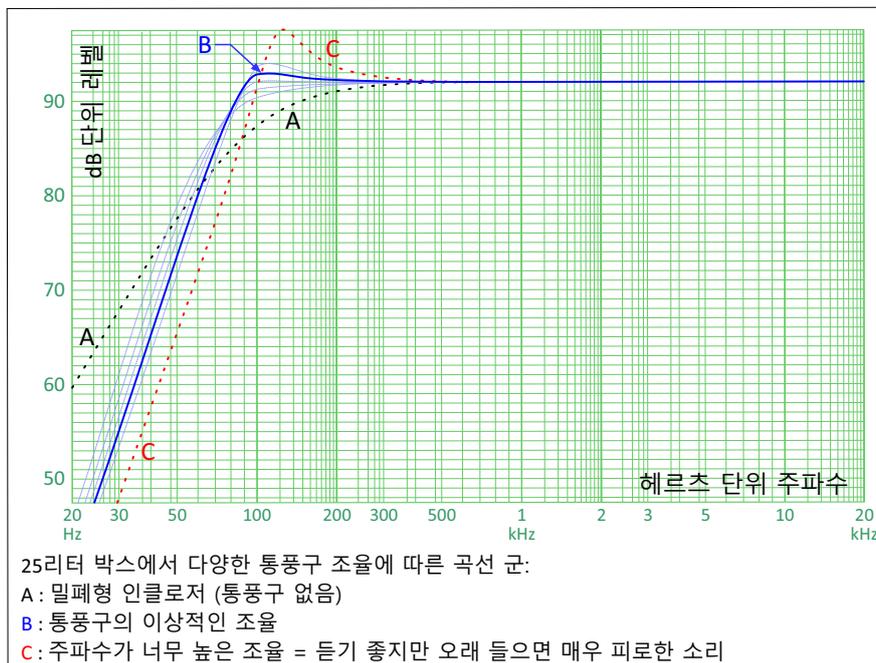
공기 배출구로 조율된 상자



극저주파수 영역에서 공기 배출구는 인클로저 내부에서 외부로 많은 공기(음향) 에너지를 전달합니다. 이 에너지는 주파수가 증가함에 따라 감소하며, 250Hz 이상에서는 거의 제로에 가깝습니다.

밀폐형 캐비닛에 비해, 저음 반사식 통풍구가 적절히 설계된 캐비닛은 우퍼의 후면 파동에서 일정량의 에너지를 회수하여 청취 공간으로 전달(유리한 위상 관계)하고, 청취하기 어렵고 스피커에 해로운 극저주파수 대역(불리한 위상 관계)을 감소시키는 효과를 냅니다.

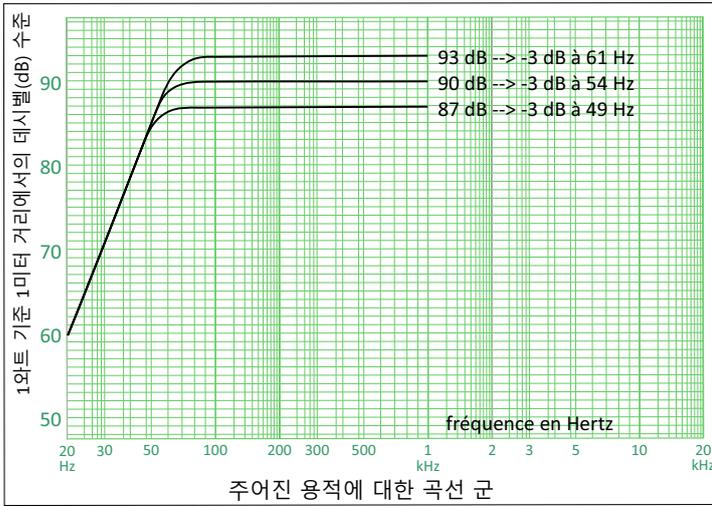
이 시스템은 저음 영역에서 주파수 응답을 선형화하는 효과를 가져옵니다.



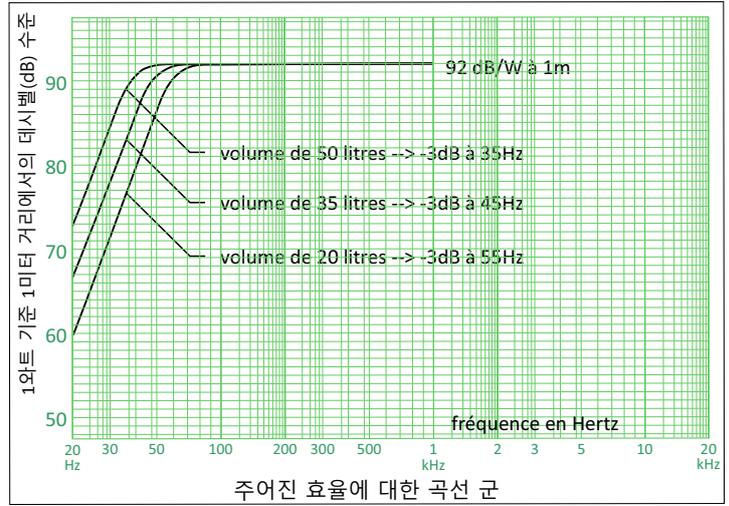
저음역의 기본 기준

- 1- 효율성 (dB/W at 1m), 흔히 잘못된 표현으로 '수율'이라고도 함
- 2- 용적 (리터)은 부하 유형 (밀폐형, 통기구 시스템, 또는 패시브 부하)에 따라 달라짐
- 3 - 대역폭 극저음역에서
이 저음 채널의 세 가지 기준은 물리 법칙을 벗어날 수 없으며, 즉:

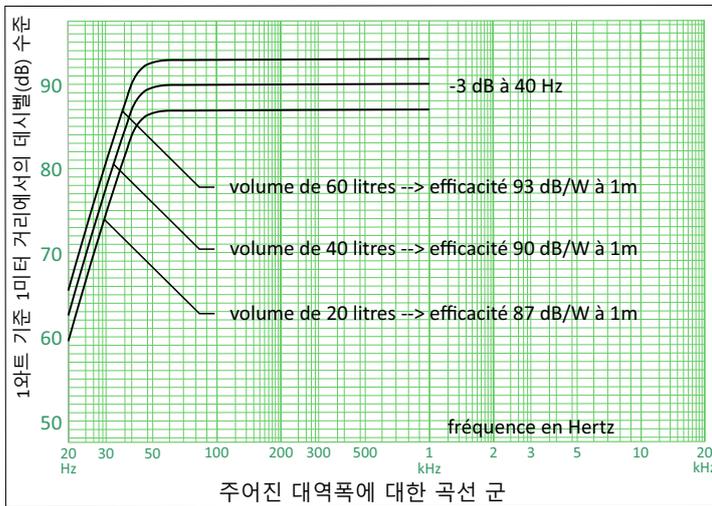
주어진 부피에 대해: 효율성과 대역폭이 정의됨



특정 효율성에 대해: 부피와 대역폭이 정의됨



주어진 대역폭에서: 효율성과 부피가 정의됨



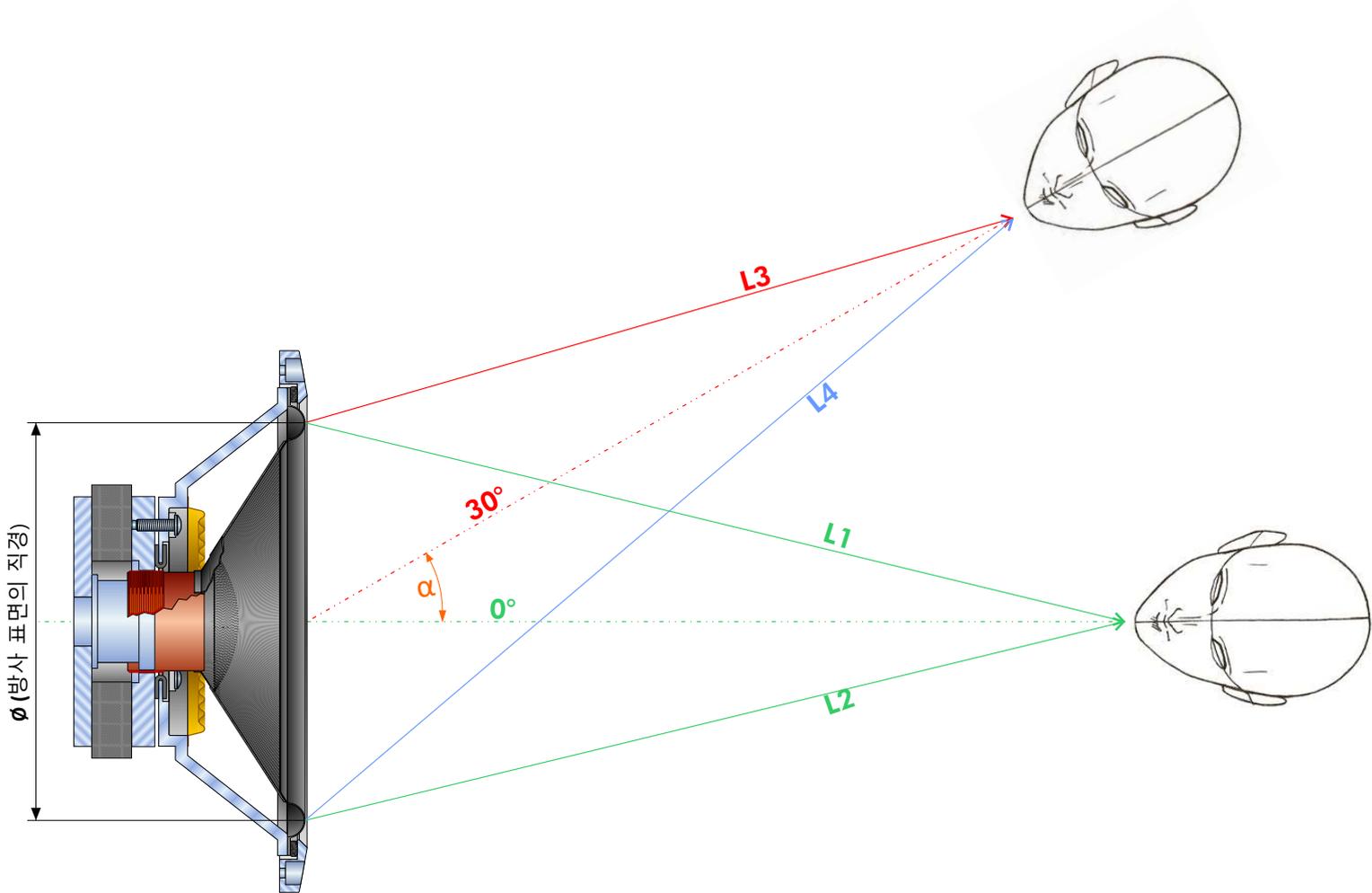
- 4- 허용 최대 데시벨(dB) 수준
- 5- 기타 음악적 성능 (왜곡, 잔향 등)
- 6- 신뢰성 (최대 부하 및 노화 시)

스피커의 지향성 발생 원인

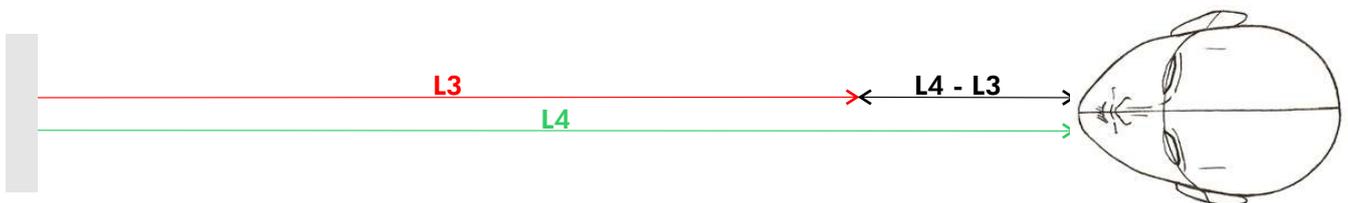
스피커의 지향성은 3가지 매개변수와 관련이 있습니다:

- 1- 진동판의 크기(더 정확히 말하면 방사 부분) 즉 직경 \varnothing (m)
- 2- 고려되는 주파수 F (Hz)
- 3- 청취자의 위치 각도(스피커 축에 대한): α (도)

공기 중 음속($V_{air}=344\text{m/s}$)은 이 현상을 설명할 때 고려해야 합니다.



지향성은 막의 서로 다른 방사 부분에서 청취자까지 소리가 전파되는 길이의 차이로 인해 발생합니다.



지향성의 세부 사항

청취자가 스피커의 축상에 위치할 경우, 거리 **L1**과 **L2**는 동일합니다. 진동판의 모든 부분에서 방출된 소리는 동시에 청취자에게 도달합니다.

그림과 같이 청취자가 각도 $\alpha = 30^\circ$ 로 떨어져 있는 경우, 거리 **L3** 과 **L4** 는 동일하지 않습니다.

길이 차이 (**L4 - L3**) 는 더 긴 거리 (**L4**) 를 이동한 음향 신호가 **L3** 에서 발생한 신호에 비해 지연되는 현상으로 나타납니다.

여기서, \varnothing 20cm의 진동판과 30° 의 각도를 가정할 때:

$$L4 - L3 = \frac{\varnothing \cdot \cos 30^\circ}{2} + \frac{\varnothing \cdot \sin 60^\circ}{2} = 0,1 \text{ m}$$

0.1m의 길이 차이에 따른 지연 시간 **T**는 다음과 같습니다 :

$$T \text{ (s)} = \frac{L4 - L3 \text{ (m)}}{V_{air} \text{ (m/s)}} \quad \text{soit :} \quad T = \frac{0,1}{344} = 0,29 \text{ ms}$$

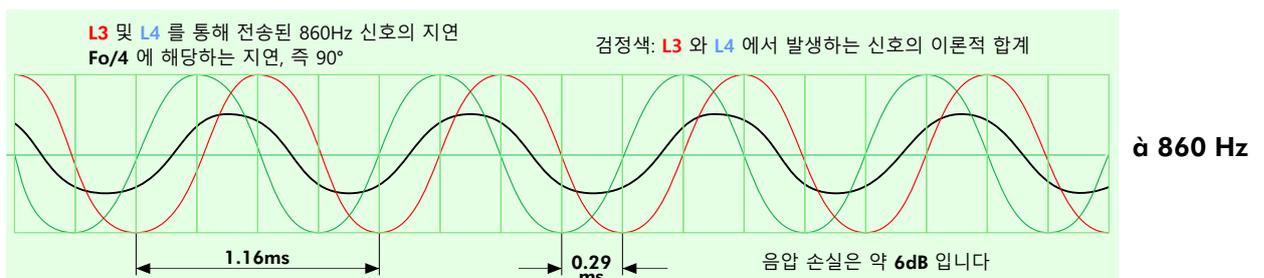
이 **0.1m** 파장에 해당하는 주파수는 다음과 같습니다:

$$F_0 \text{ (Hz)} = \frac{V_{air} \text{ (m/s)}}{L4 - L3 \text{ (m)}} \quad \text{soit :} \quad F_0 = \frac{344}{0,1} = 3'440 \text{ Hz}$$

1,720Hz (즉 $F_0/2$) 주파수 재생을 위해 **L3** 에서 발생하는 신호는 **L4** 에서 발생하는 신호에 의해 180° 위상 차이로 상쇄됩니다.

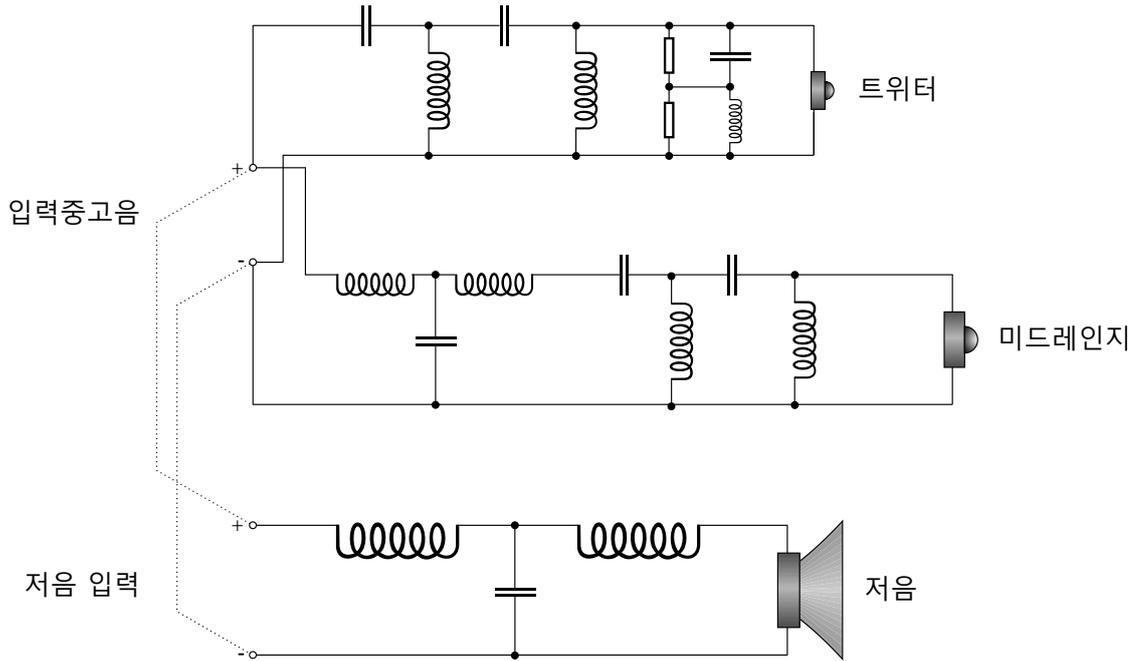


실제로 $F_0/4$ 에 해당하는 주파수(본 예시에서는 860Hz)에서는 상당한 감쇠가 발생합니다. 20cm 멤브레인과 30° 각도의 경우, 860Hz부터 이미 무시할 수 없는 지향성이 나타납니다.



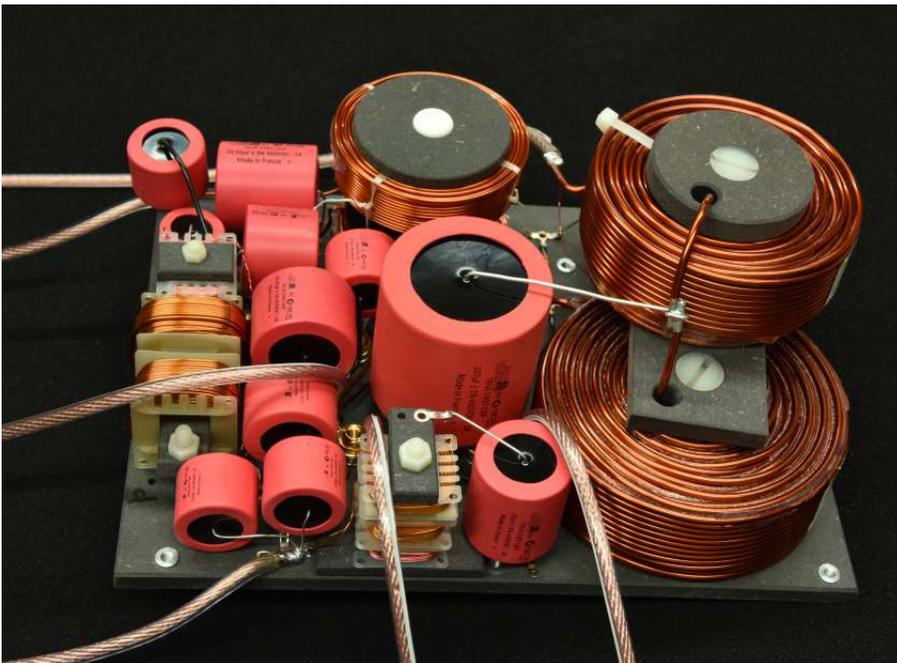
스피커의 지향성 다이어그램은 음악적 품질과 관련이 없으며, 대신 다이어그램의 크기와 관련이 있습니다: **다이어그램이 클수록 해당 주파수 영역에서 지향성이 강해집니다.**

전통적인 LC 분배기 필터

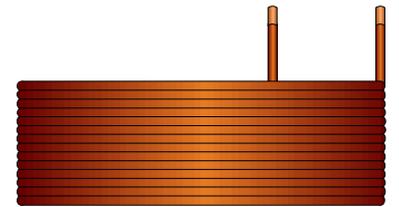


분배 필터는 증폭기에서 나오는 신호를 각 스피커로 주파수 성분에 따라 방향을 조정합니다. 고성능 및 높은 감쇠 경사도를 가진 패시브 필터는 다른 어떤 시스템과 비교해도 결정적인 장점을 제공합니다. 이러한 필터는 큰 단면의 구리 코일과 자성체 코어가 없는 인덕터, 그리고 폴리프로필렌 콘덴서로 구성될 경우 포화되지 않으며, 높은 선형성과 탁월한 내구성을 자랑합니다.

패시브 필터의 구성 및 부품



급격한 경사 및 낮은 직렬 손실을 가진 분배 필터, 화학 콘덴서 없이 자성 코어가 없는 코일: 6.5kg의 부품.

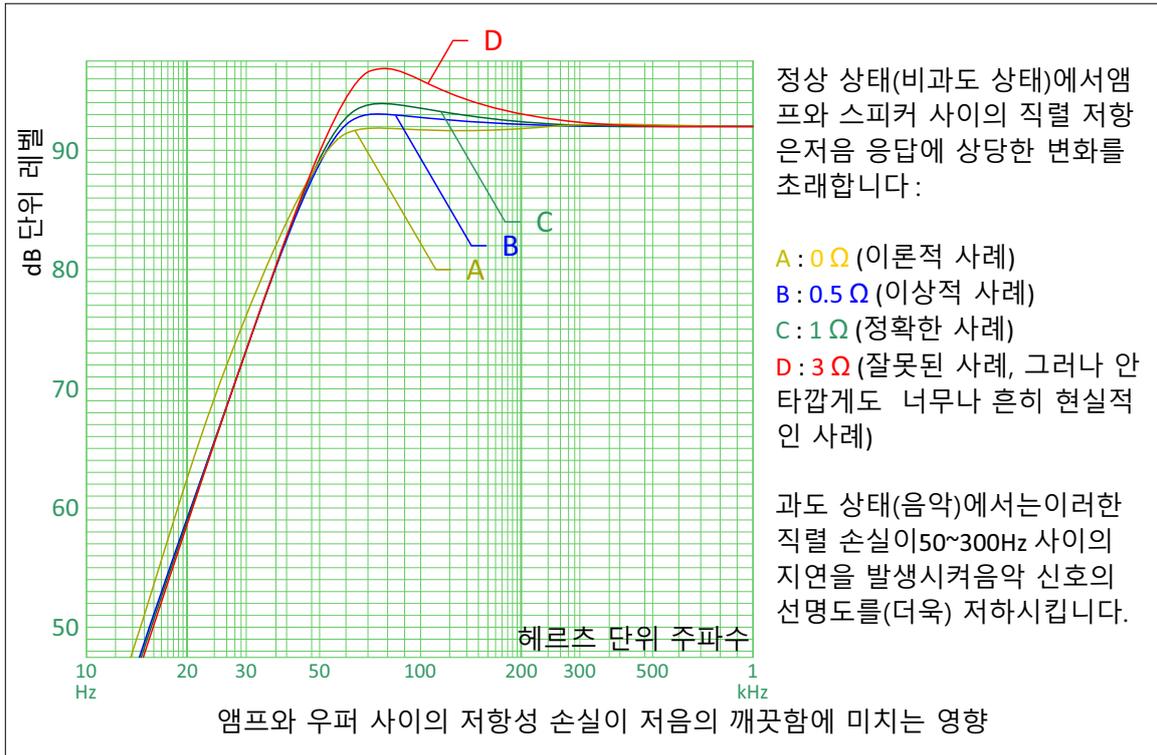


자성 코어 없는
매우 큰 단면의 자기 인덕션 코일:
1.68mH - 0.11옴 - 3kg

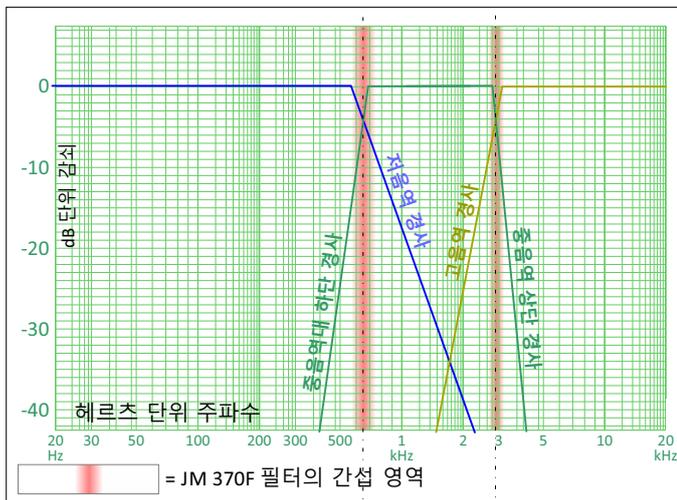
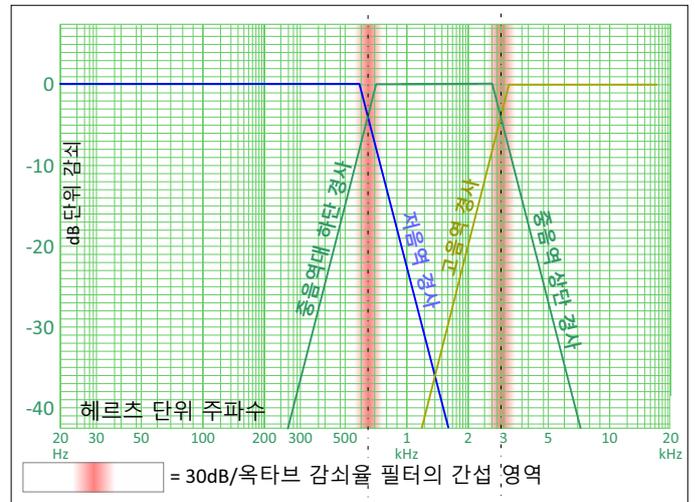
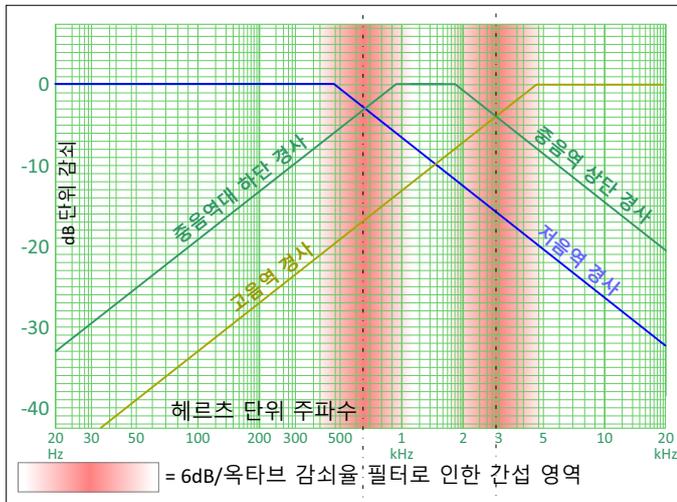


폴리프로필렌 콘덴서
높은 안정성과
매우 빠른 임펄스 응답:
12.7mF - 3% - $\text{tg}\delta < 0.06\%$

분배 필터의 저항성 손실 및 그 영향



필터의 감쇠율



필터의 경사도는 스피커들의 공통 작동 영역을 결정합니다.

이러한 영역들은 당연히 한 변환기가 다른 변환기를 밟는 현상에 의해 방해받습니다.

기하학적으로 어긋나고 물리적으로 다른 변환기들에 의해 방해받습니다. 필터의 경사가 가파를수록 이러한 중첩 영역은 작아집니다. 단일 멤브레인에서 나오는 재생 범위는 당연히 더 깨끗할 것입니다.

스피커 및 스피커 인클로저의 임피던스: 매우 복잡한 부하이자 증폭기에 대한 큰 도전 과제

저항체는 가열체와 마찬가지로 단순한 부하입니다. 이 부하가 요구하는 전류는 가해지는 전압에 따라 달라집니다. 이 전류는 완전히 소비되어 열로 변환됩니다. 이는 가해지는 전압의 형태와 무관하게 적용됩니다.

교류 전동기 또는 스피커는 전기 에너지를 운동 에너지로 변환하며, 시스템 손실로 인해 일정한 효율을 보입니다. 손실된 에너지의 일부는 열로 변환됩니다. 운동 에너지로 변환된 부분은 전압원에 대해 비저항성(비저항성)이 아닌 반응성 부하를 나타냅니다. 이는 해당 모터 또는 스피커가 소비하는 것보다 더 많은 전류를 요구하며, 잔여 전류를 전압원으로 되돌려 보낸다는 것을 의미합니다. 이 되돌아오는 에너지를 역기전력(fcem)이라고 합니다.

스피커에 따라 전류 수요는 다이어프램 이동에 필요한 에너지의 최대 7배까지 초과할 수 있습니다. 이 초과 에너지는 필터와 스피커 케이블을 다시 통과하여 증폭기로 재흡수되어야 합니다. 초과 에너지의 비율은 전기 신호의 내용(주어진 순간마다의 주파수 및 진폭 변화)에 따라 달라집니다. 이를 동적 코사인 피(cos ϕ)라고 할 수 있습니다.

앰프에게 스피커 부하는 두 가지 큰 과제를 제시합니다:

1- 충분한 전류 공급 능력, 즉 암페어(A) 용량을 갖춰야 합니다. 이 능력은 음향 인클로저로부터 큰 전류 요구가 발생할 때마다 앰프가 동적 피크를 클리핑하지 않도록 합니다. 클리핑은 청취 시 매우 불쾌할 뿐만 아니라 스피커 자체의 건강에도 위험합니다.

2- 스피커의 역에너지(fcem)를 효과적으로 흡수할 수 있는 능력. 그렇지 않을 경우, 스피커 방향으로의 전류 반동이 매우 해로운 에코 효과로 음악적 입체감을 방해합니다. 다이내믹 레벨의 저점은 이 반환 에너지에 묻히고 음악적 디테일은 매우 불쾌한 공명으로 가득 차게 됩니다. 앰프/스피커 시스템이 재현하는 다이내믹은 나빠집니다.

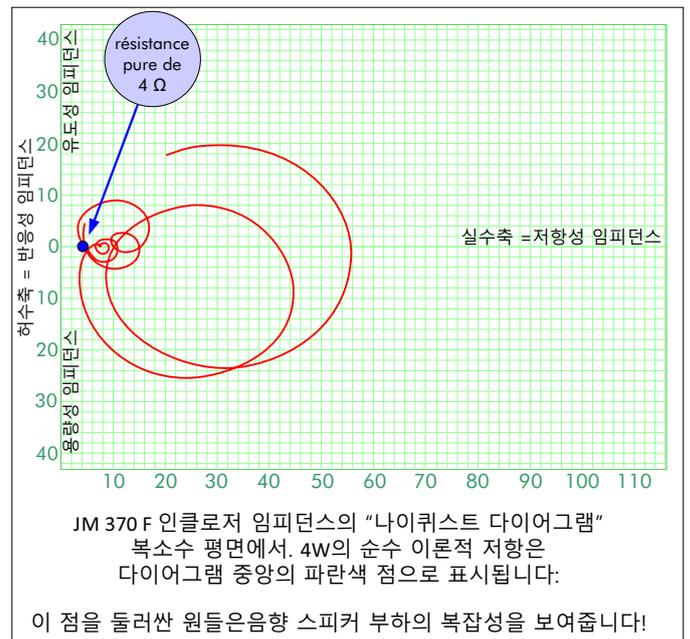
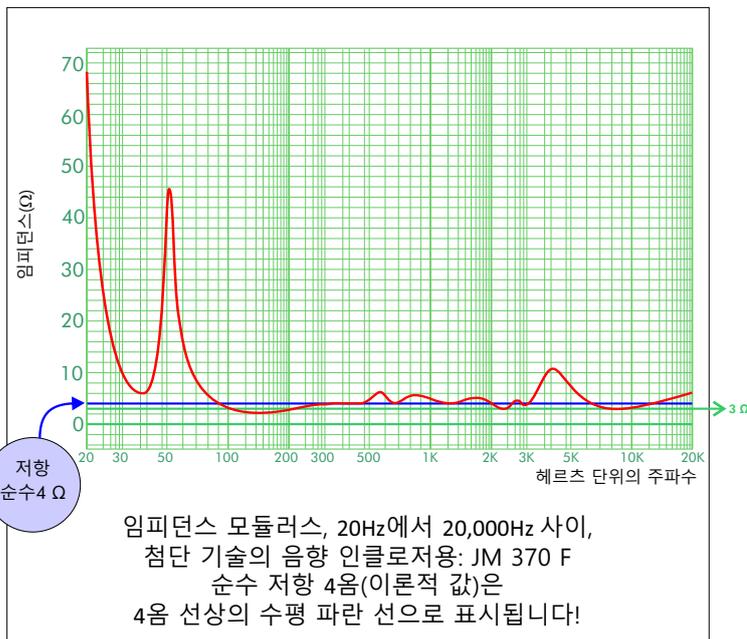
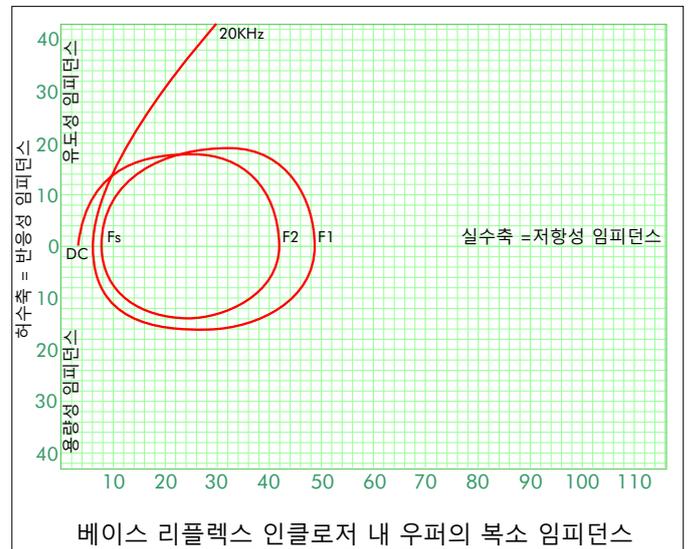
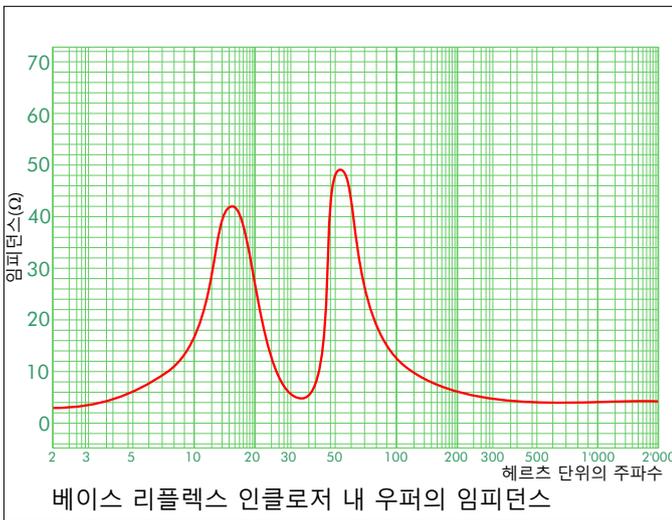
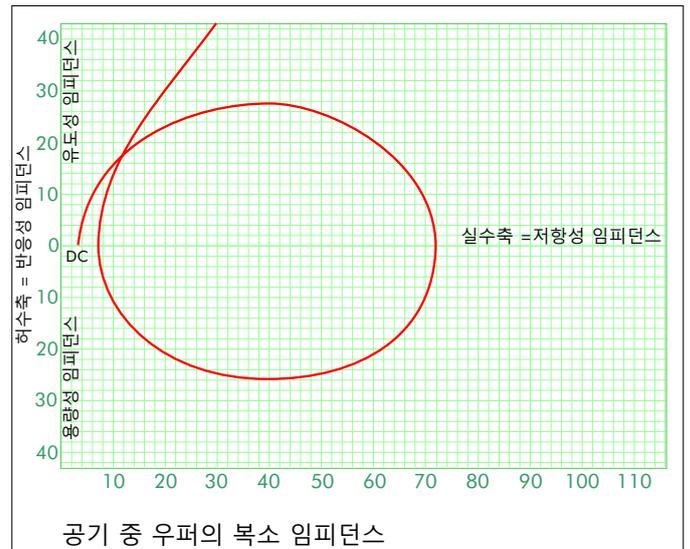
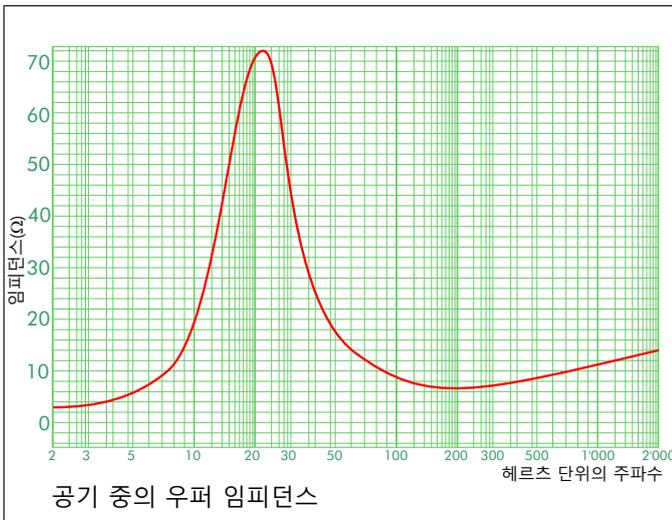
트랜지스터 앰프 중 일부는 많은 전류를 공급할 수 있습니다. 예를 들어, 2옴 이하의 저항 부하를 수용할 수 있는 능력은 이 측면에서 우수한 성능을 보장합니다. 4옴 이하로 내려갈 수 없는 트랜지스터 증폭기는 설계자가 스피커 부하의 의미를 이해하지 못했기 때문에 배제해야 합니다.

반면, 역전류 재흡수(fcem)는 출력 변압기가 없는 직접 트랜지스터 방식 앰프 출력부에 많은 문제를 야기합니다. 이 에너지 재흡수는 제대로 제어되지 않아 앞서 언급한 결과를 초래합니다.

진공관 앰프 기술은 진공관의 작동 임피던스를 스피커의 임피던스에 맞추기 위해 출력 변압기를 필요로 합니다. 이는 우수한 성능을 얻기 위해 개발 및 제조가 어렵고, 부피가 크며 무겁고 비용이 많이 드는 부품입니다. 그러나 매우 정교하게 제작된다면, 이는 스피커에게 진정한 선물과 같습니다. 스피커는 원하는 모든 전류를 공급받을 수 있습니다. 이후 스피커는 반응성 에너지(fcem)를 반환하며, 이는 출력 변압기에 의해 매우 높은 효율로 소멸됩니다. 필터와 스피커 케이블의 낮은 직렬 저항도 이 에너지를 증폭기로 되돌리는 것을 용이하게 합니다.

일부 트랜지스터 앰프에는 출력 변압기가 장착되어 있으며, 이 경우 그 품질이 우수한 진공관 앰프에 근접할 수 있습니다.

스피커와 음향 인클로저의 임피던스



스피커의 반응 에너지, = 동적 범위를 파괴하는

음악의 다이내믹 레인지는 변조 피크와 밸리 사이의 진폭 차이로 정의되며, 데시벨(dB)로 표현됩니다.

동적 범위의 피크를 재현하는 것은 비교적 쉽지만, 반드시 뒤따르는 골을 재현하는 것은 전혀 다릅니다. 왜냐하면 기계적 및 전기적 잔류 진동이 낮은 진폭의 음악 신호를 가려버리려는 경향이 있기 때문입니다. 예를 들어, 교향악단 녹음은 쉽게 60dB의 동적 범위를 보여주며, 이는 1:1,000,000의 전력 비율에 해당합니다. 이 전력 차이는 찰나의 순간에 재현됩니다.

불행히도 잔류 잡음(케이스 진동, 전기적 에코, 제대로 감쇠되지 않은 다이어프램 등)은 포르티시모 이후에 필연적으로 발생하지만, 정적 또는 매우 낮은 음량(또는 단순히 다이내믹의 골)은 정확히 그 순간에 재현되어야 합니다.

이러한 신호가 무례하게 지속되는 현상을 "음의 연장 효과"라고도 부릅니다. 문제의 핵심은 "침묵의 존중"이라는 개념에 있습니다.

스피커에서 소리의 비정상적인 연장 현상은 크게 세 가지 원인으로 발생합니다:

1- 각 스피커의 역기전력(fcem)은 증폭기에서 나오는 전기 음악 신호에 반하는 기생 전류입니다. 이 전류는 증폭기에 의해 가능한 한 잘 재흡수되어야 합니다. 이 흡수가 제대로 이루어지지 않으면, 마치 산악 지형에서 암벽을 마주했을 때 발생하는 것과 유사한 에코 효과가 발생합니다. 이 잔향으로 인해 원래의 음향 신호는 알아들을 수 없게 됩니다. 그러나 트랜지스터는 이 반사 에너지를 제대로 재흡수하지 못하여, 이 에너지가 스피커로 다시 반사되어 모든 다이내믹 레인지의 저점을 방해합니다. 진공관 앰프에 우수한 출력 변압기가 장착되어 있다면, 이 변압기의 2차 권선이 이 기생 전류를 효과적으로 단락시켜 차단합니다.

2- 이동 부품(움직이는 코일과 진동판)의 움직임과 주변 공기 질량에 의해 유발되는 기계적 반응 에너지는 일종의 잔류 기생 현상을 발생시킵니다. 이는 스피커 자체에서 발생하는 기계적 진동입니다. 이 진동은 탈출하기 위해 스피커 지지대의 가지들을 따라 인클로저 케이스까지 흘러가며, 지연 효과와 상당한 변형을 동반하여 케이스의 각 면을 자극합니다.

장 모레(Jean Maurer) 스피커에서는 이러한 다양한 잔류 에너지가 특히 우퍼 모터와 매우 낮은 공진 주파수를 가진 모래로 채워진 이중 백보드(double dos-arrière)를 역동적으로 연결하는 프리스트레인 막대(tige de précontrainte) 덕분에 석영 모래에 의해 흡수됩니다. 우퍼 지지대 역시 동적으로 인클로저 전면판과 분리되어 있습니다. 미드레인지 및 트위터의 경우 이중 셸 내부에 채워진 모래가 이 역할을 수행합니다.

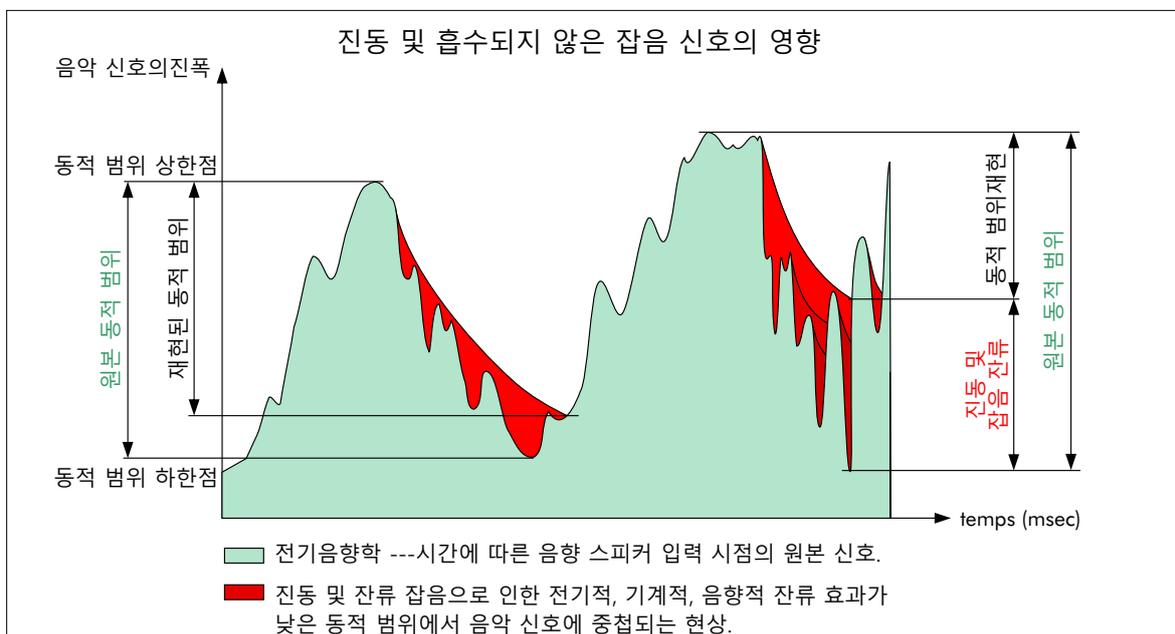
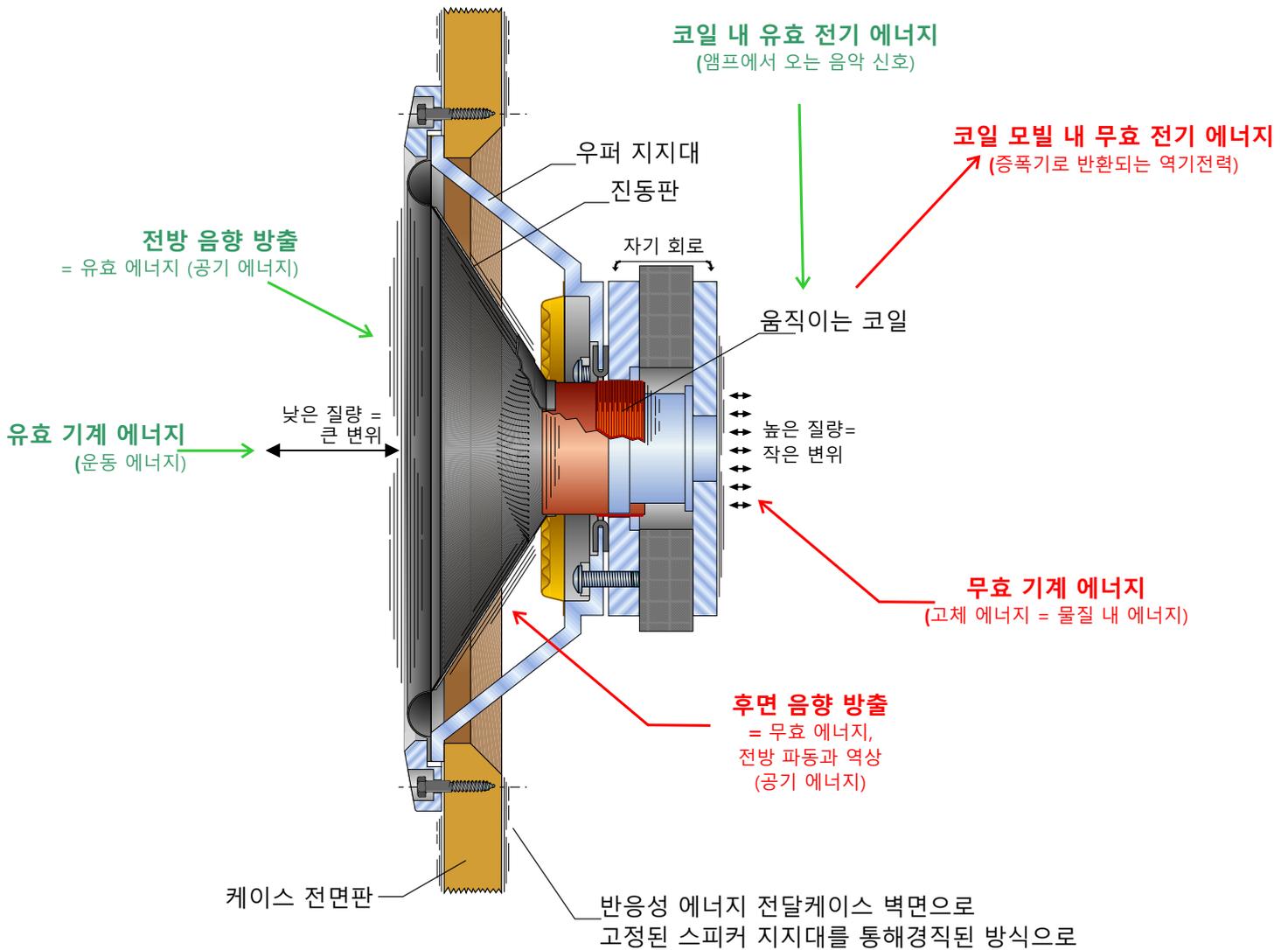
3- 스피커 다이어프램의 움직임은 전방 음향 방출과 반대 방향의 후방 음향 방출을 발생시킵니다. 모두가 말하는 유일한 원치 않는 신호 형태인 후방 음향파는 미네랄 울로 흡수됩니다. 이 신호의 일부는 베이스 리플렉스 통풍구를 통해 재흡수되어 저주파 응답을 선형화합니다.

앞서 언급된 두 가지 반응 에너지 형태에 비해, 이 형태는 음악적 침묵을 유지하는 측면에서 제어 문제가 가장 적은 에너지입니다.

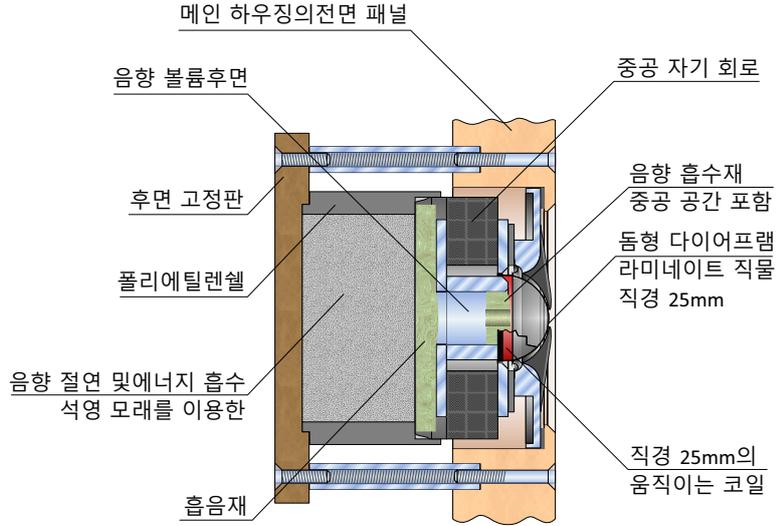
스피커 인클로저가 매우 관성적, 즉 공진이 적다면 재현되는 음악의 입체감이 우수할 것입니다.

인클로저의 이중 등판에 채워진 석영 모래와, JM 370F 모델의 경우 측면 및 전면 2개 부분에 채워진 모래가 이러한 결과에 크게 기여합니다.

스피커의 유효 에너지 및 무효 에너지



중음 및 고음 변환기: 저음 인클로저 내에 삽입된 두 개의 인클로저

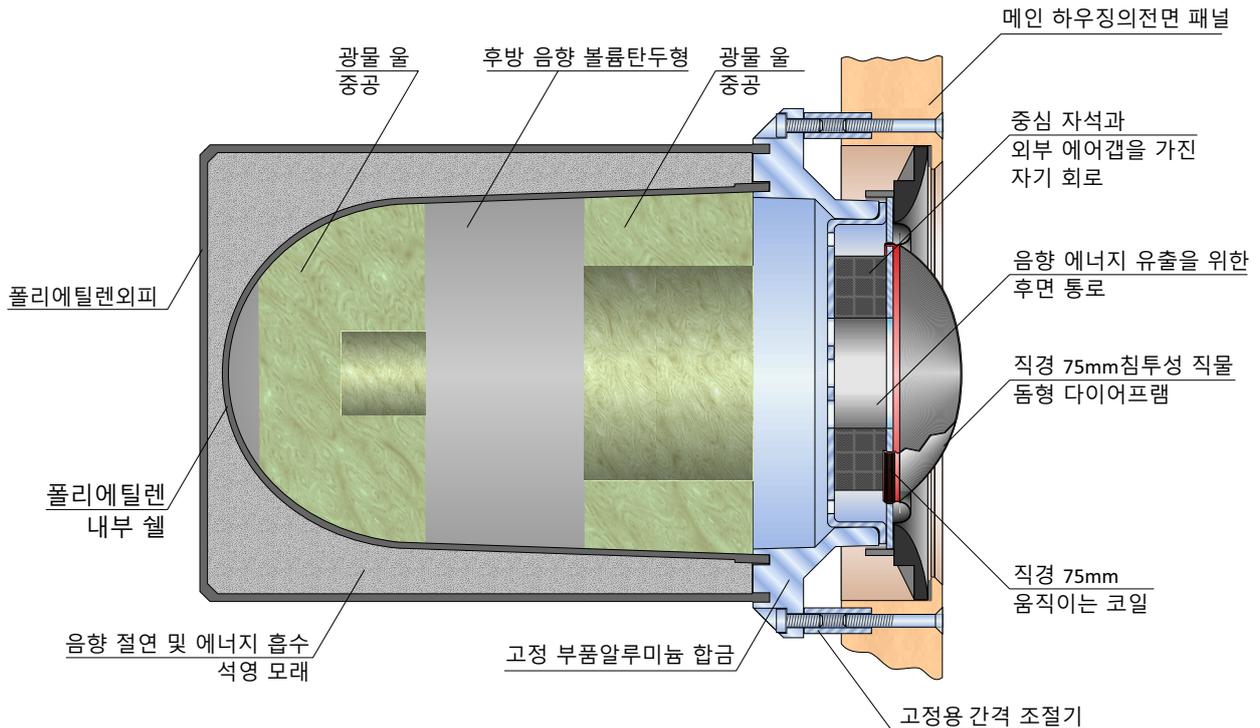


고음 인클로저, TD25-4 변환기 장착

각 스피커 또는 변환기는 전방 음파와 후방 음파를 생성합니다.

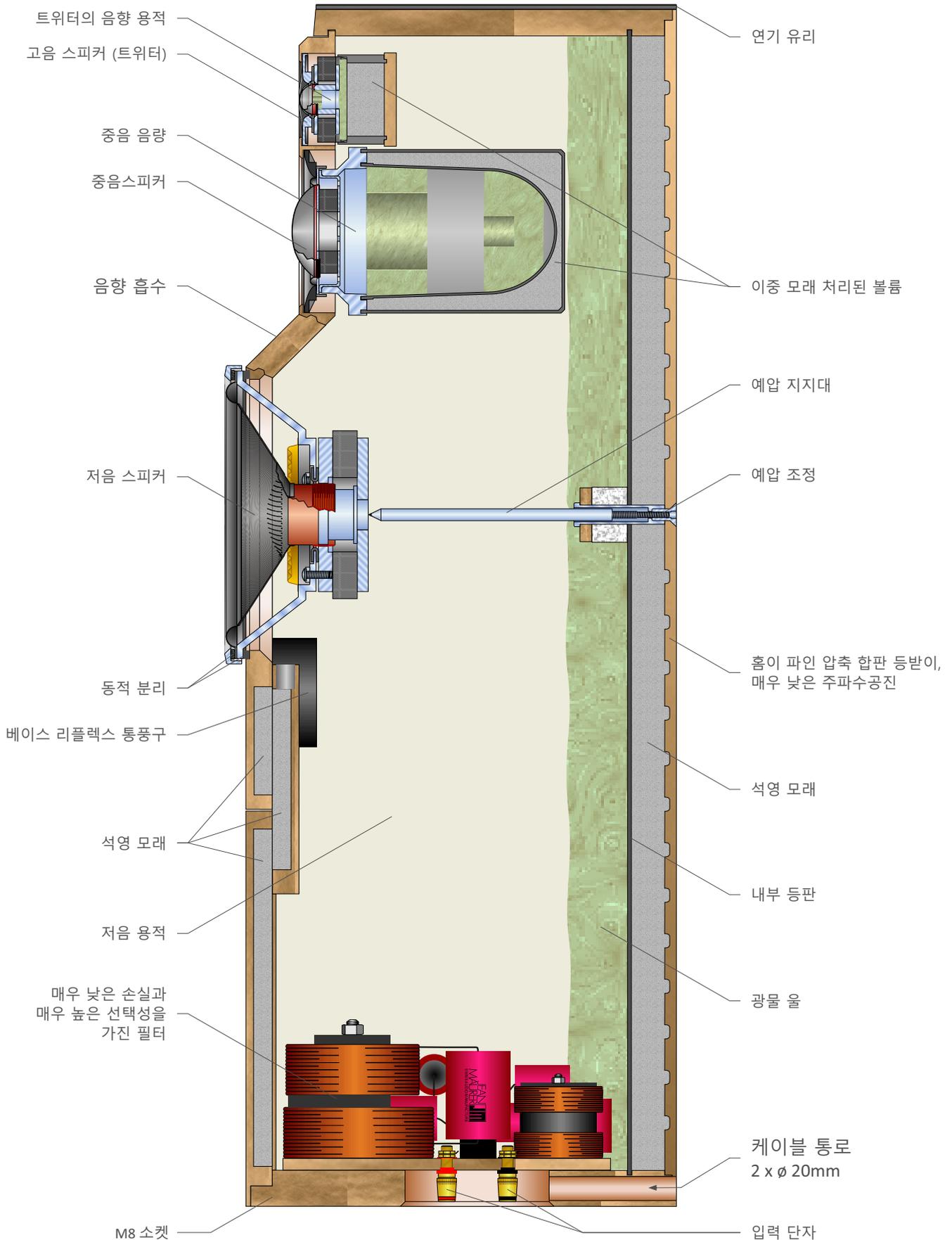
스피커의 후방 에너지는 어떠한 경우에도 다른 스피커의 후방 에너지와 혼합되어서는 안 됩니다. 그렇지 않으면 인접 스피커의 진동판 동작을 심각하게 방해하여 용납할 수 없는 소음 공해를 유발할 위험이 있습니다.

중음역 또는 고음역 변환기의 가동 부품이 저음 에너지로 인해 기계적으로 파손될 위험도 현실적입니다. 이 두 채널(중음 및 고음)의 반응 에너지도 신중하게 처리해야 합니다. 두 경우 모두, 중음 채널의 이중 백에 모래를 채운 것과 마찬가지로, 석영 모래 덩어리가 이를 안정화시킬 것입니다.

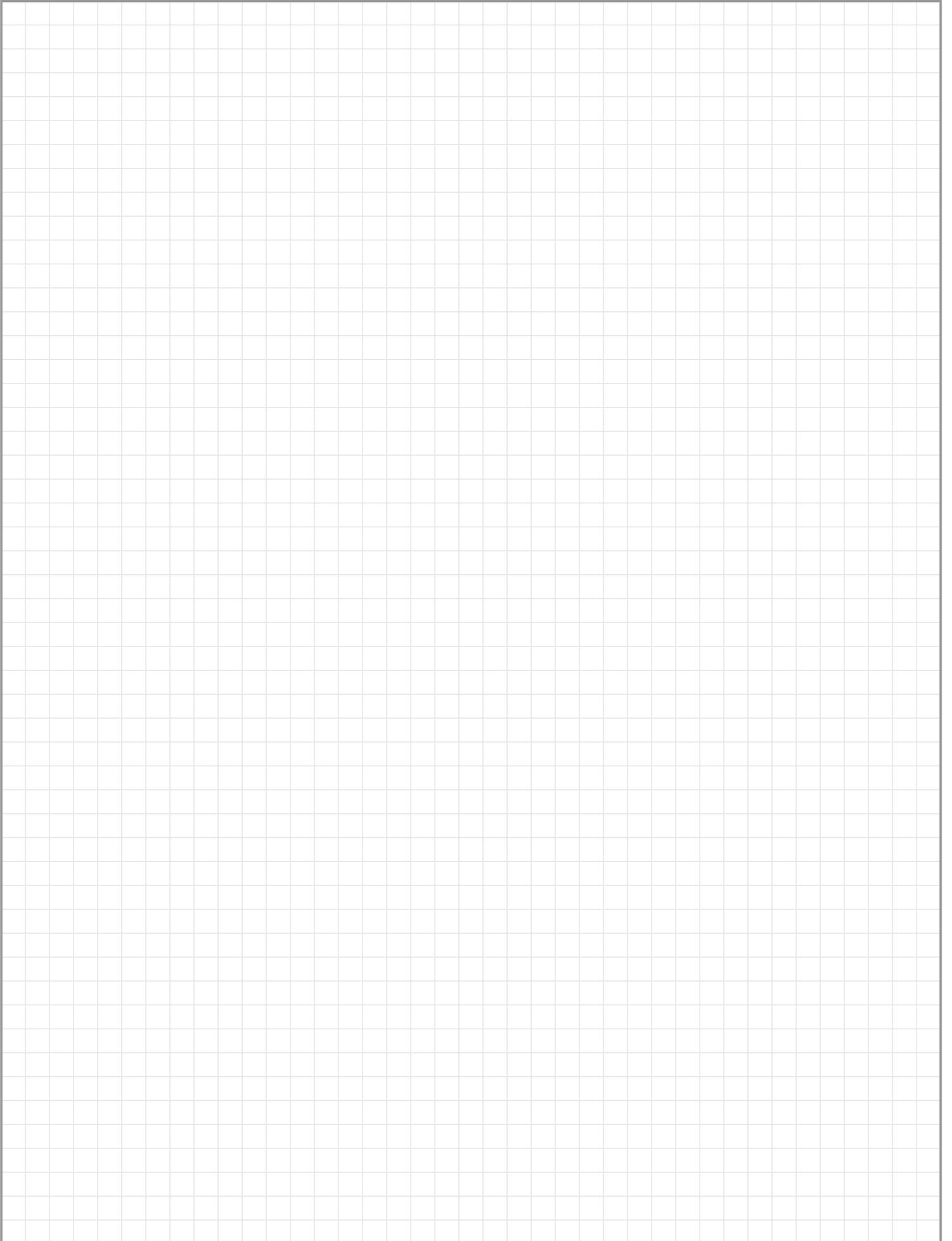


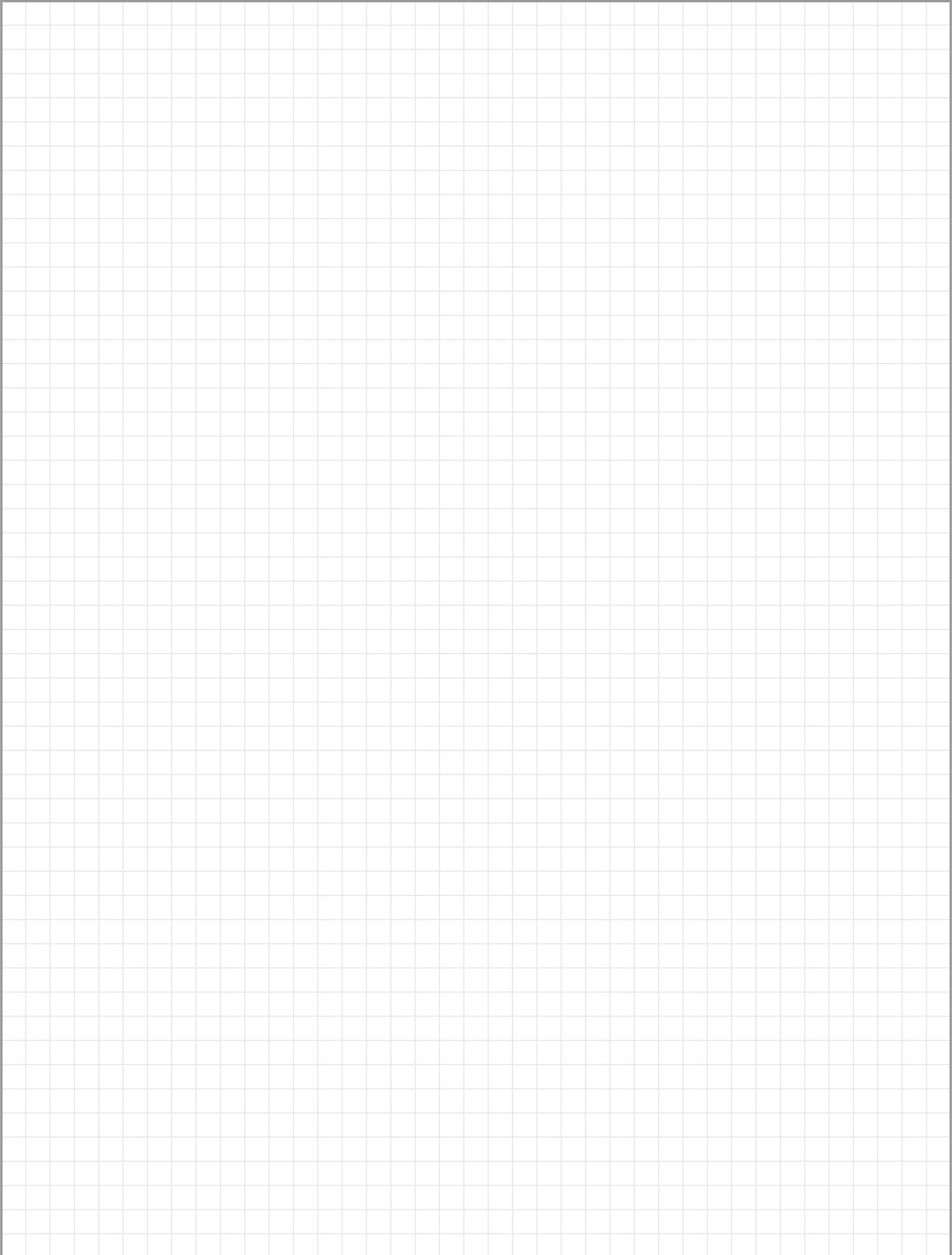
중음용 인클로저, MD75-3 변환기 장착

에너지 흡수형 음향 인클로저 케이스



Jean Maurer JM 370F 음향 스피커 단면도





스위스 제조업체
탁월한 음향 스피커 및
진공관 앰프

www.jeanmaurer.ch

Jean Maurer Swiss Audio Manufacture SA
Rue du Chêne 17
CH-1170 Aubonne

+41 21 808 50 60 | info@jeanmaurer.ch | www.jeanmaurer.ch