

# 1.

그림 1은 크로스오버 네트워크의 특성을 나타낸다. 이 특성에서 한 밴드의 이득이 떨어지면 다음 밴드의 이득은 증가하기 시작한다. 이득이 급격하게 떨어지는 것은 바람직하지 않다. 이득이 서서히 떨어지거나 올라가고 있는 것을 볼 수 있다. 이 이득 증가율을 기울기(filter slope)라고 하고, 12, 18, 24, 48dB/oct가 있다. 일반적으로 필터의 차수를 올리면 차단 특성이 급격해지지만, 위상 변화가 커져서 과도특성이 좋지 않게 되어 파형이 왜곡되게 된다. 따라서 무조건 급격한 필터를 사용하는 것이 피해야 한다.

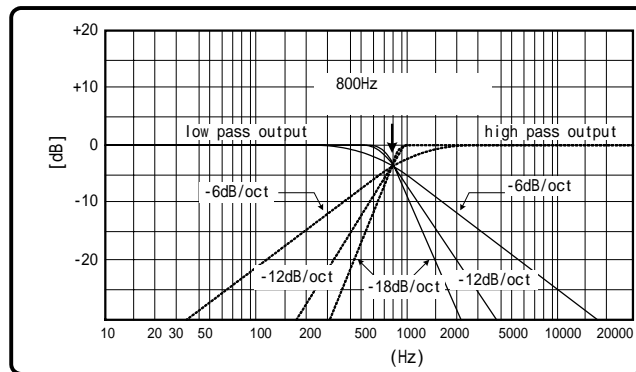


그림 1 필터의 기울기

크로스오버 주파수에서 주파수 특성의 합은 평탄하게 해야 한다. 한 대역이 페이드 아웃(fade out) 되면, 다음 대역은 페이드 인(fade in) 되면서 크로스오버 주파수에서 특성의 합이 평탄해야 한다. 그림 2에 그 특성을 나타낸다.  $b_1$ 의 저역 통과 필터의 roll off가 시작되는 지점이며,  $a_1$ 은 고역 통과 필터의 roll in이 시작되는 지점이며,  $a_1$ 과  $b_1$ 을 더하면  $c_1$ 이 되고,  $c_2$  지점도 마찬가지로, 두 필터의 이득의 합은 평탄해진다. 즉, 필터의 이상적인 특성은 크로스오버 주파수에서 평탄해야 한다는 것이다.

이러한 특성을 얻기 위해서는 두 필터의 위상 특성이 중요하다. 만약 크로스오버 주파수에서 두 필터의 위상이 약간만 달라도 답이 생기게 된다. 만약 고음과 저음 필터의 위상이 180도가 다르면, 그림 3과 같이 답이 생기게 된다. 디지털 크로스오버 필터에서는 두 필터의 위상을 미세하게 조정하는 기능도 있다. 이러한 경우에는 크로스오버 주파수에 해당하는 신호를 입력하여 미세 조정한다. 즉, 크로스오버 주파수의 신호가 가장 크게 들리도록 위상을 조절한다. 필터에 위상 반전(위상을 180도로 변환시키는 기능) 기능을 활용하면 된다. 크로스오버 주파수가 완전하게 조정되어 있는 경우에는 어느 한쪽 필터를 위상 반전시키면 두 음이 완벽하게 상쇄되어 소리가 거의 들리지 않게 되고, 다시 위상을 반전시키면 소리가 들리게 된다.

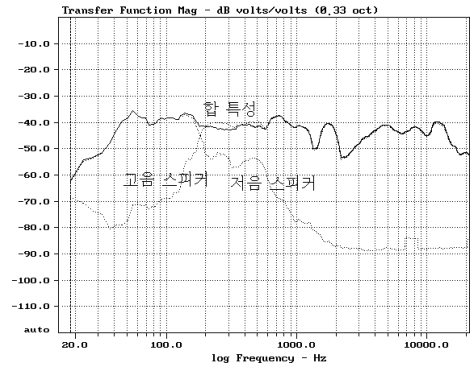
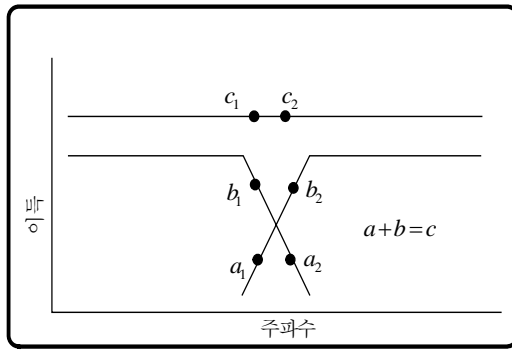


그림 2 크로스오버 주파수 특성과 합 특성

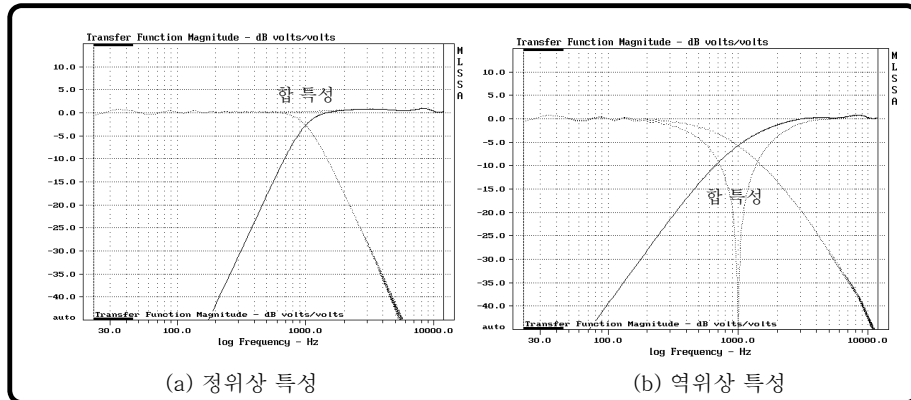


그림 3 필터의 위상 특성에 따라서 크로스오버 주파수에서의 특성이 달라진다.

채널 디바이더에서 사용되는 크로스오버 필터는 일반적으로 Butterworth filter(버터워스 필터)와 Linkwitz-Riley 필터(이하에서는 L-R 필터로 약함)를 사용하고 있다.

## 2.

### 1) 1

1차 필터는 그림 4와 같이 하나의 저항과 하나의 콘덴서로 구성되어 있다. 저항의 저항 값은 주파수와 무관하게 일정하지만, 콘덴서의 임피던스는 주파수에 따라서 달라진다. 콘덴서는 DC 는 통과시키지 않지만, 주파수가 높아질수록 전류가 잘 흐르는 성질이 있다. 따라서 콘덴서는 고역 통과 필터의 기능을 한다. 이러한 성질을 이용하여 크로스오버 네트워크의 설계에 사용한다. 그림 5는 1차 네트워크 회로의 특성을 나타낸다. 콘덴서와 저항의 위치를 바꾸어 저역 통과 필터(LPF)와 고역 통과 필터(HPF)를 구성한다.

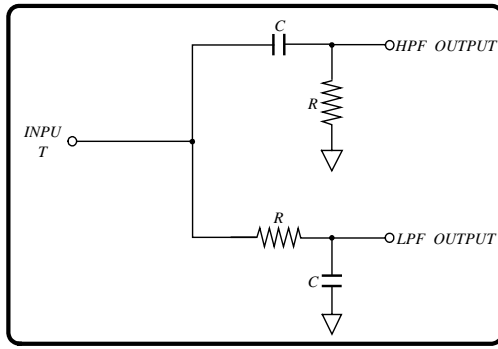


그림 41차 크로스오버 네트워크

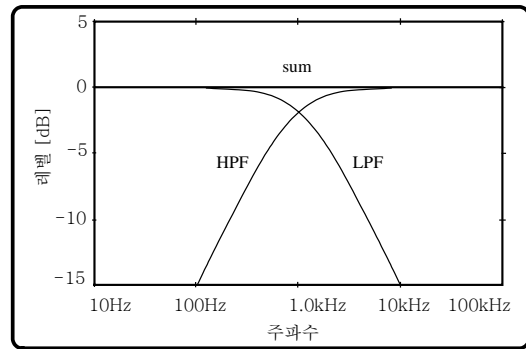


그림 5 1차 필터의 진폭 특성

## 2)

그림 7 에는 크로스오버 주파수가 1kHz 인 경우에 LPF 와 HPF 의 특성을 나타낸다. 그림 7에서 1 차 필터의 기울기는 6dB/oct(또는 20dB/decade) 이다. 1차 필터의 기울기는 6dB/oct 이고, 1차수가 증가 되면 6dB/oct 씩 기울기를 더하면 된다. 예를 들면 4차 필터는 24dB/oct(=4×6)가 된다.

회로에서 같은 저항 값과 콘덴서의 임피던스 값을 사용하면 진폭 특성은 크로스오버에서 -3dB 지점에서 교차하게 된다. 이 점은 콘덴서의 임피던스와 저항의 저항 값이 같아질 때 나타나는 감쇠 효과이다.

-3dB 를 전압으로 나타내면  $0.707(20\log 0.707 = -3\text{dB})$ 이 되며, 전류도 0.707이 된다. 따라서 전력은  $0.5(=0.707 \times 0.707)$ 가 된다. 따라서 이 점을 반 전력점(half power point) 이라고 한다.

그림 7.5에서 보면 LPF 와 HPF 의 출력을 더하면 평탄한 진폭 특성이 된다. 이것은 두개의 출력 전압의 합이 일정하므로 정전압(constant voltage) 이라고 한다. 1차의 경우에는 정전력이 된다. 정전력은 크로스오버 주파수에서 동작하는 각 스피커의 파워 응답 합을 가르키고, 각 드라이버가 크로스 오버에서 1/2 전력으로 동작하면 합은 1이 된다.

## 3)

그림 7에는 1차 크로스오버의 위상 특성을 나타낸다. HPF 의 위상 특성은 DC 에서 90도 위상차가 생기고, 크로스오버에서 45도가 되고, 고주파수에서 0도가 된다. LPF 의 위상 특성은 DC 에서 0도 이고, 크로스오버에서 -45도가 되고, 고주파수에서 -90도가 된다.

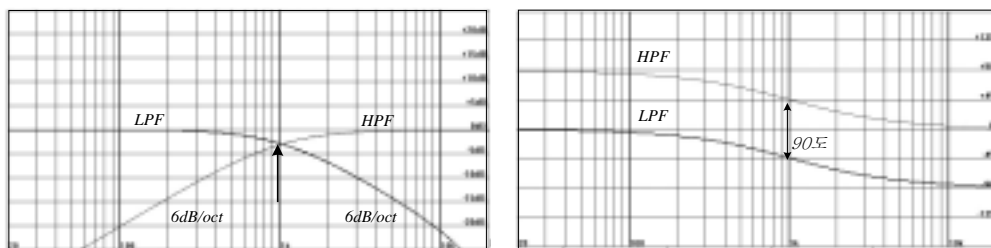


그림 71차 필터의 진폭과 위상 특성

그림 8에는 2차 크로스오버의 위상 특성을 나타낸다. HPF 의 위상 특성은 DC 에서 180도 위상차가 생기고, 크로스오버에서 90도가 되고, 고주파수에서 0도가 된다. LPF 의 위상 특성은 DC 에서 0도 이

고, 크로스오버에서  $-90$ 도가 되고, 고주파수에서  $-180$ 도가 된다.

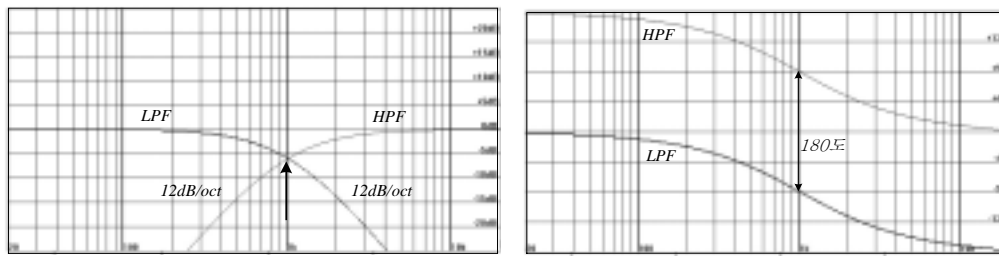


그림 8 2차 필터의 위상 특성

저항과 콘덴서는 상반되는 성질을 가지고 있고, 위상차가  $90$ 도 생긴다. HPF 부분은 신호 경로에서 콘덴서를 직접 통과하므로 이 회로는  $+90$ 도에서 시작되고, 이것을 **phase lead** 라고 한다. LPF 부분은  $0$ 도에서 시작하여  $-90$ 도로 위상이 변화되고, 이것은 **phase lag** 라고 한다. 크로스오버 네트워크에서 1차 증가할 때 마다 크로스오버 주파수에서  $\pm 45$ 도 위상차가 생긴다.