

위상 특성 1

글 | 강성훈 / 음향공학박사, 대전보건대학 방송제작기술과 교수, 음향기술산업연구소장 / www.sti.or.kr, ksound@hit.ac.kr

음향기기의 위상 특성은 음질에 많은 영향을 끼친다. 따라서 위상을 정확하게 이해하고 측정하는 것이 중요하다. 본고에서는 위상의 개념과 위상이 왜 필요한지에 대해서 설명하고 스피커의 위상 특성에 대해서 설명한다.

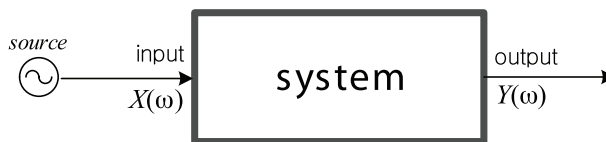
음향 시스템의 전달 함수(transfer function)는 측정 신호를 입력시켜 출력을 측정하고, 출력 신호를 입력 신호로 나누어 구한다. 전달함수를 측정하는 방법은 [그림 1]과 같고, [그림 2]와 같이 주파수 특성과 위상 특성으로 구성되어 있다. 주파수 특성이란 입력된 신호의 모든 주파수 성분이 얼마나 정확하게 재생되는가를 나타내고, 위상 특성은 모든 주파수 성분이 동시에 재생되는가를 나타내는 특성이다.

여기에서 시스템이란 앰프, 이퀄라이저, 스피커, 마이크 등이고, 실내도 될 수 있다. 또한, 이것들이 조합된 시스템일 수도 있다. 예를 들면, 실내에 설치된 음향 시스템의 성능을 측정하는 경우에는 믹서의 입력에서 실내 음향까지 포함된 것이 음향 시스템이 된다.

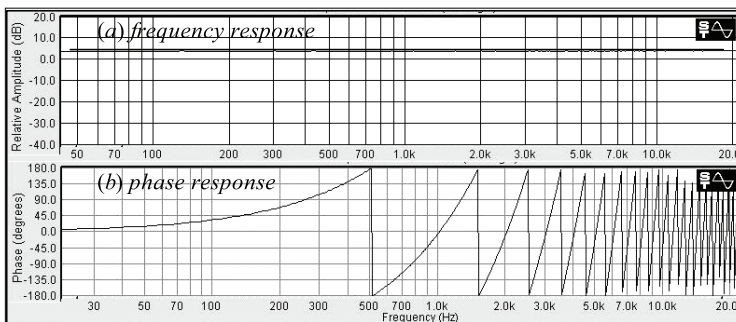
음향 시스템에서 입력 파형을 정확하게 재생하기 위해서 진폭 주파수 특성과 함께 위상 주파수 특성이 평탄해야 된다. 재생되는 모든 주파수가 동시에 재생되어야 하지만, 실제로는 주파수에 따라서 재생되는 시간이 약간씩 다르다. 예를 들어 바이올린의 600Hz의 음은 약 20,000Hz의 성분음까지 포함하고 있다. 이 음들이 재생될 때 복합음에 포함되어 있는 주파수들이 모두 동시에 재생되어야 하지만, 실제로는 재생장치는 주파수에 따라서 재생되는 시점이 약간씩 다르

$$\text{transfer function} = \frac{Y(\omega)}{X(\omega)} \angle \theta \quad * \omega = 2\pi f$$

주파수특성 위상특성



[그림 1] 시스템의 전달 함수



[그림 2] 전달함수(주파수 특성과 위상 특성)

고, 이것은 위상 특성에서 관측할 수 있다.

[그림 3과 4]는 500Hz, 1000Hz, 1500Hz로 합성된 신호이다. [그림 4]는 [그림 3]과 같이 전부 같은 주파수로 구성된 음이지만, 1500Hz의 음이 500Hz와 1000Hz보다 위상이 90도 늦은 신호로 합성된 것이다. [그림 4]의 스펙트럼은 [그림 3]과 같지만, 파형은 [그림 3]과 다른 것을 볼 수 있다. 이와 같이 신호 성분중에서 어느 특정 주파수의 음이 위상이 다르면 파형이 달라지는 것을 볼 수 있다.

위상 특성(phase response)이란 재생 장치에서 어느 복합음이 재생될 때, 그 복합음이 포함하는 모든 성분이 재생되는 시간이 모든 주파수 대역에서 같은지를 나타내는 특성을 말한다. 위상 특성은 주파수와 관계없이 0도에서 평평한 특

7. 스피커의 위상 특성

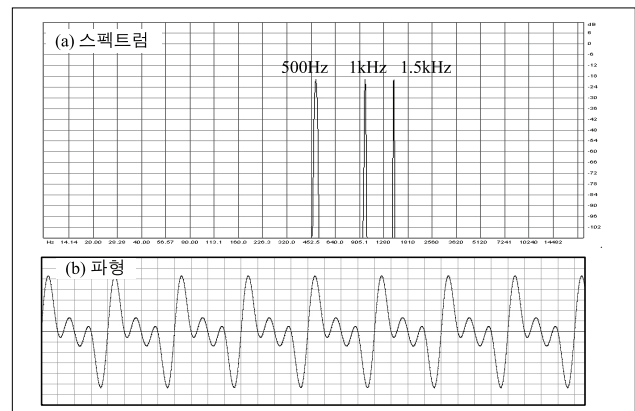
성이 이상적이고, 이것을 직선 위상이라고 한다. 모든 음향기기는 위상 특성이 평탄한 것이 좋다. 그러나 스피커나 마이크는 앰프와 같은 전자기기에 비하면 위상 특성이 나쁘다. 이러한 왜곡을 위상 왜곡(phase distortion)이라고 한다. 위상 특성과 주파수 특성은 밀접한 관계가 있고, 주파수 특성이 변하면 반드시 위상 특성도 변한다.

위상의 개념

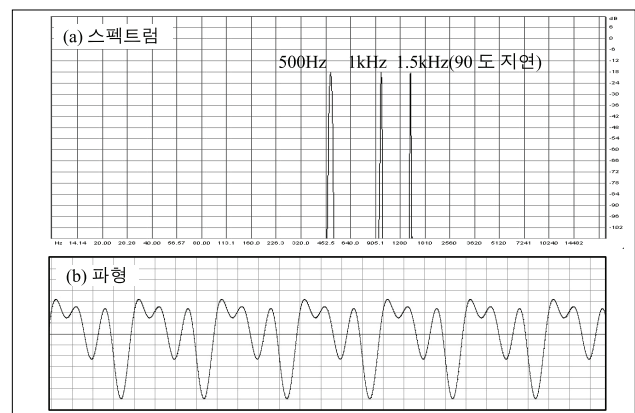
사인파 신호의 1주기는 [그림 5]와 같이 궤적의 1회전과 같은 의미이므로 이것을 위상 각도로 표현하면 360도가 된다. 따라서 1/2 주기는 180도, 1/4 주기는 90도가 된다. 위상이 180도가 되면 0도와 완전히 반대 상태가 되고, 360도는 원래의 상태로 되돌아온다. 진폭의 크기는 위상에 따라서 순간순간 달라지고, 90도에서 최대가 되고, 0도와 180도에서 0이 된다. 그리고 270도에서는 -1이 된다.

[그림 6]에는 모든 신호가 위상이 같은 것들을 나타내고 있고, [그림 7]에는 위상이 서로 다른 신호들을 볼 수 있다. 두 신호의 위상차는 [그림 8]과 같이 나타내고, 이 예에서는 A 신호는 B 신호보다 위상이 $\theta=70^\circ$ 도 앞선다(lead)고 표현한다. 반대로 B 신호는 B 신호보다 지연된다고(lag) 표현한다.

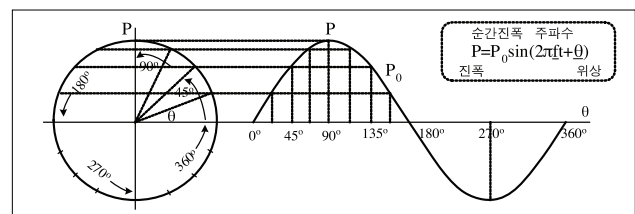
360도 위상 차이(phase shift)는 한 파장(한 사이클)과 같고, 파장은 각 주파수별로 거리나 시간으로 나타낼 수 있다. 예를 들면, [그림 9]에서 1000Hz의 주기는 주파수의 역수, 즉 1/1000초(1ms)이다. 따라서 1ms 지연은 360도 위상차가 생기고, 0.5ms 지연은 180도 위상차가 생기게 된다. 500Hz의 주기는 2ms이므로 2ms 지연은 360도 위상차가 생기고, 1ms 지연은 180도 위상차[그림 9]에서 점선으로 표기)가 생긴다.



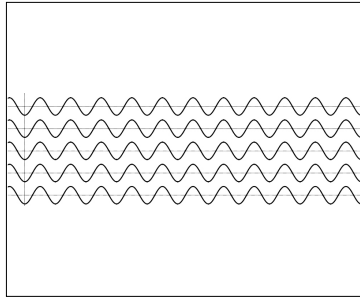
[그림 3] 3개의 주파수로 구성된 음의 스펙트럼과 파형



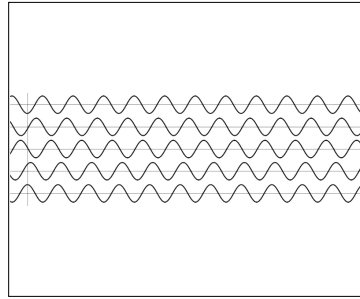
[그림 4] 3개의 주파수로 구성된 음의 스펙트럼과 파형



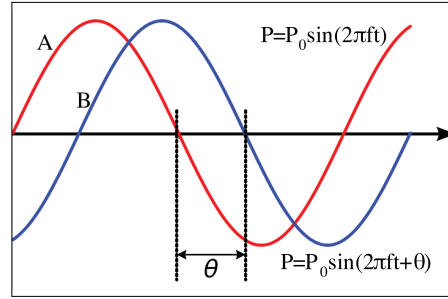
[그림 5] 사인파의 위상



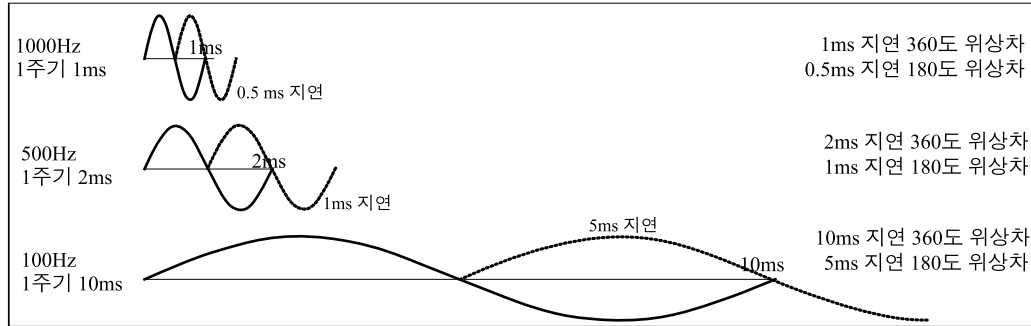
[그림 6] 위상이 전부 같은 신호들



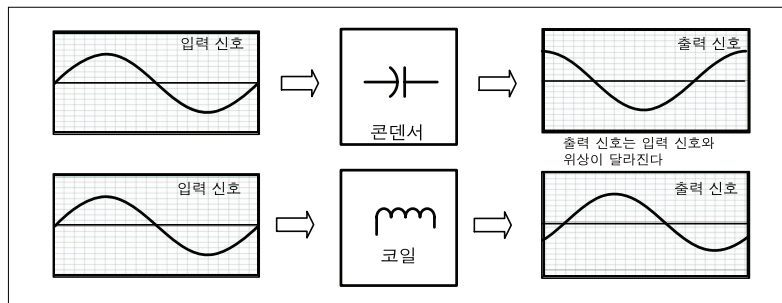
[그림 7] 위상이 전부 같은 신호들



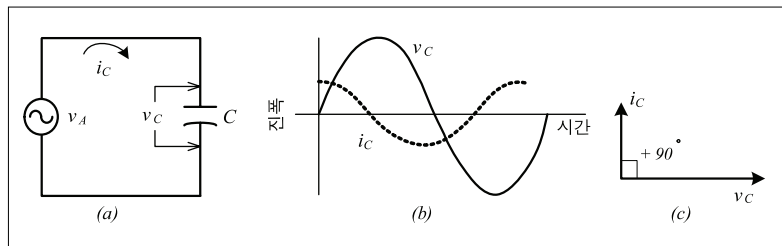
[그림 8] 두 신호의 위상차



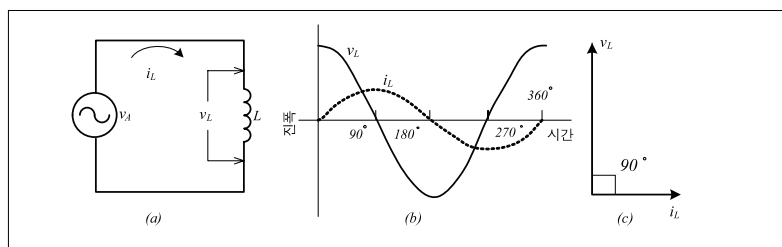
[그림 9] 주파수별 주기와 위상



[그림 10] 콘덴서와 코일을 통과한 출력 신호는 입력 신호와 위상이 달라진다



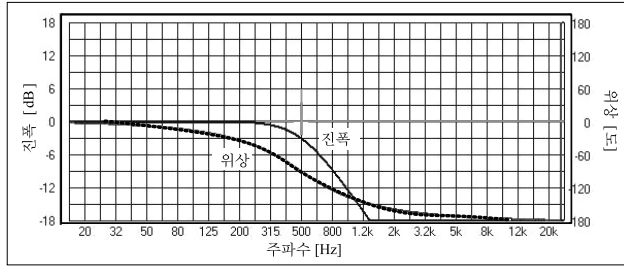
[그림 11] 콘덴서 회로에서는 전류는 전압보다 위상이 90도 앞선다



[그림 12] 인덕터 회로에서는 전압은 전류보다 위상이 90도 앞선다

위상 특성이 필요한 이유는 다음과 같다. [그림 10]과 같이 신호가 콘덴서와 코일을 통과하면 신호가 지연되어 위상이 변하게 된다. 전기 신호가 콘덴서를 통과하면 [그림 11]과 같이 전압과 전류의 위상이 90도 차이가 나고, 전류가 전압보다 위상이 90도 앞선다. 반면에 신호가 코일을 통과하면 [그림 12]와 같이 전압과 전류의 위상이 90도 차이가 나고, 전압이 전류보다 90도 위상이 앞선다.

신호가 필터를 통과하면 차단 주파수에서 위상이 변하게 된다. 예를 들어, Butterworth 필터는 1차 필터마다 차단 주파수에서 위상이 45도씩 변하므로 2차 필터는 90도, 3차 필터는 135도, 4차 필터는 180도 변한다. 필터의 기울기가 급격할수록 위상 특성도 급격하게 변하게 된다.



[그림 13] 2차 저역통과 필터의 진폭 특성과 위상 특성

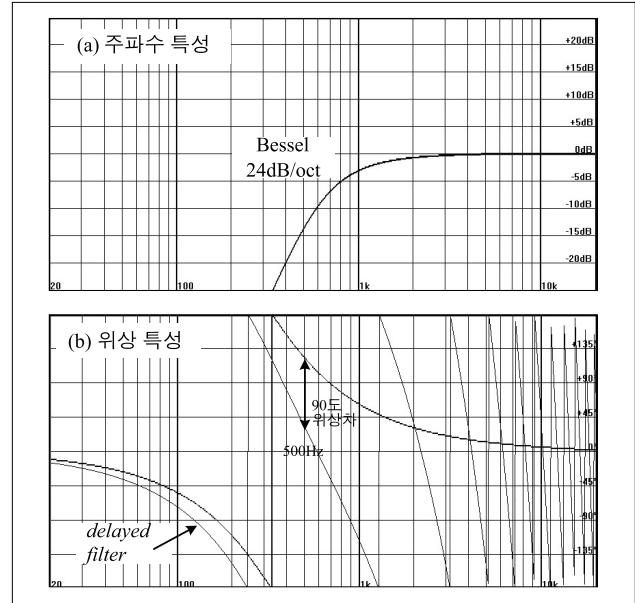
다. [그림 13]에는 2차 저역 통과 필터의 진폭 특성과 위상 특성의 예를 나타낸다.

[그림 14]에는 같은 주파수 특성이면서 두 필터가 시간 지연이 있는 주파수 특성을 나타낸다. 그림에서 두 필터의 주파수 특성은 완전히 같지만, 시간 정보는 나타나지 않는다. 즉, 주파수 특성만으로는 두 필터의 특성 차이가 없고, 시간 지연 정보가 나타나지 않는다. 따라서 [그림 14b]와 같이 위상 정보를 보면 두 필터의 시간 정보가 90도 위상 차로 나타나는 것을 알 수 있다.

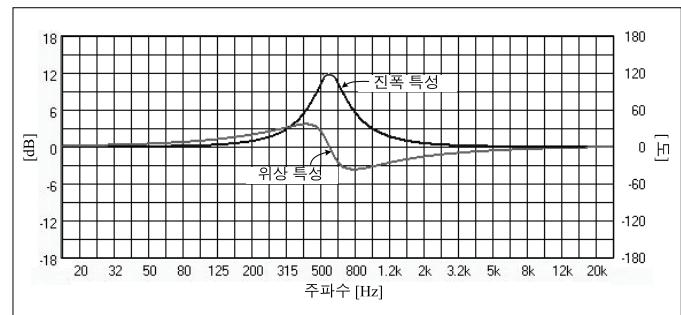
이퀄라이저의 슬라이더를 가변하면 그 주파수에서 위상도 변한다. [그림 15]에는 이퀄라이저의 슬라이더를 부스트하였을 때 주파수 특성과 위상 특성을 동시에 나타내고 있다. [그림 16]에는 스피커의 위상 특성을 나타낸다. 스피커도 일종의 필터이며, 입력 신호에 대해서 출력 신호가 지연되는 것을 알 수 있다.

이와 같이 신호가 전자회로나 음향기기를 통과하면 지연이 발생되어 입력과 출력 신호의 위상이 달라지게 된다. 여기에서 주의할 것은 위상은 반드시 두 신호가 있어야 의미가 있다. 예를 들어 회로의 입력 신호와 출력 신호간의 위상 차이, 또는 어느 신호가 다른 회로를 통과한 출력 신호들간의 위상 차이 등과 같이 반드시 두 신호를 비교해야 위상이 의미가 있으며, 하나의 신호만으로는 위상의 개념이 필요없다.

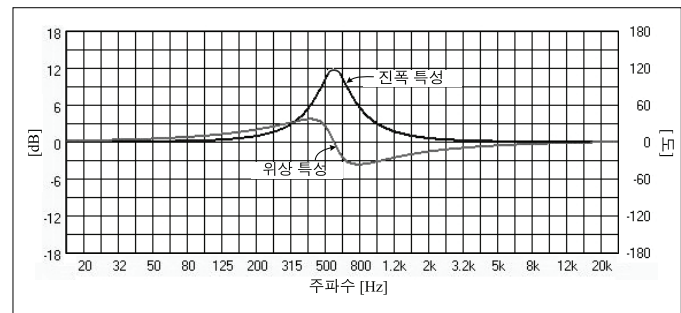
머리말에서 설명하였듯이 주파수 특성은 음향기기의 중요한 특성 중의 하나이지만, 시간 정보도 아주 중요하고 이것은 위상 특성에서 관측할 수 있다. 따라서 음향기기의 주파수 특성만 측정하는 것은 모든 음향 정보를 알 수 없으며, 동시에 위상 특성도 측정하여 분석해야 한다. 🎧



[그림 14] 두 유니트간에 시간 차가 있는 경우



[그림 15] 이퀄라이저의 진폭을 가변한 경우의 위상 특성 변화



[그림 16] 스피커 시스템의 위상 특성