

Resonant Voice in Singers

성균관대학교 의과대학 강북삼성병원 이비인후과학교실

진 성 민

사람의 발성기관은 공기를 짜내어 주는 역할을 하는 호흡기관(breathing apparatus)과 소리의 원음을 만들어내는 성대(vocal folds) 그리고 성대로부터 만들어진 원음을 공명(resonance) 시키고 여과(filtering) 시킴으로써 특징적인 소리의 모양을 갖추는 역할을 하는 성도(vocal tract)로 크게 나누어 볼 수 있다.

Formant

특정 주파수들을 가진 소리가 공명기(resonator)를 통과하여 지나갈 때 이들은 공명기로부터 이루어진 공명(resonance)에 의하여 큰 진폭(amplitude)을 가진 소리가 되어 나오게 되며, 이들은 공명기의 모양과 형태에 따라 공명기에 적절하게 일치되는 주파수로 조정이 되는데 이를 공명 주파수(resonance frequency)라 한다. 그런데 인간의 성도에 의해 공명이 이루어진 경우는 이와 같은 공명들을 포먼트(formant)라 하고, 공명 주파수를 formant frequency라 부른다. 포먼트는 모음의 성질을 결정하고, 개개인의 음색을 결정하기 때문에 사람의 목소리에 있어 매우 중요하다 할 수 있으며, 흥미로운 점은 일상 발성 시 사람의 성도에는 4개내지 5개의 포먼트가 존재하는데, 처음 2개의 포먼트는 모음의 성질을 결정하고 세 번째, 네 번째 그리고 다섯번째 포먼트는 개개인의 음색을 결정하는데 관여한다는 점이다.

턱, 혀, 입술 그리고 인두 벽의 움직임에 따라 구강이나 인두강의 넓이 및 길이에 변화를 줌으로써 성도의 모양이 변화될 수 있는데 이때 포먼트 값의 변화가 일어난다. 제 1 포먼트의 경우는, 입을 벌리고 혀와 턱의 위치를 아래로 함으로써 구강이 넓어지고 인두강이 좁아지게 되면 그 값이 증가하게 되며, 입술을 내밀면서 둥글게 하거나, 혀의 위치가 올라가면서 구강이 좁아지고 인두강이 넓어질 경우 그 값은 낮아지게 된다. 모음 발성 시 성인 남자의 경우는 대개 200~800Hz사이에서 제 1 포먼트가 형성된다. 제 2 포먼트의 경우는, 혀의 위치와 연관성이 가장 많은것으로 되어 있는데, 구강이 좁아지고, 구강 내 혀가 앞으로 위치하고, 입술이 옆으로 벌어질 경우 그 값이 증가하고, 입이 벌어지고 구강이 넓어지고 혀가 뒤로 위치하면, 그리고 입술이 둥글게 만들어지면 그 값이 감소하게 된다. 모음 발성 시 성인 남자의 경우는 대개 500~2500Hz 사이에서 제 2 포먼트가 형성된다. 즉, 제 1 및 2 포먼트의 변화 양상은 모음사

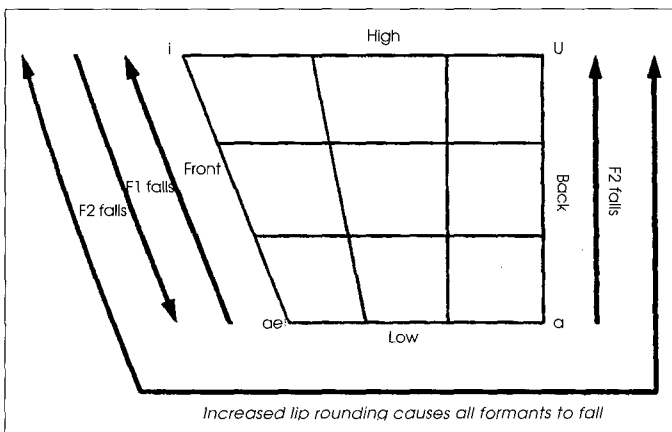


Fig. 1. Relationship between vowel position and formant values.

각도에 비추어 이해하면 어렵지 않게 접근할 수 있다(Fig. 1). 제 3 포먼트는 아래쪽 앞니와 혀끝사이의 공간과 밀접한 관계가 있는 것으로 알려져 있으며, 모음 발성 시 성인 남자의 경우는 대개 1600~3500Hz 사이에서 제 3 포먼트가 형성된다. 제 4 및 5 포먼트와 성도 모양과의 관계는 더욱 복잡해서 조음방법에 따른 상관관계를 살펴보는 데는 어려움이 있으나, 성도의 길이와 하인두의 모양과 관계가 있는 것으로 생각하고 있다. 모음 발성 시 성인 남자의 경우는 대개 2500~4000Hz 근처에서 제 4 포먼트가, 3000~4500Hz 근처에서 제 5 포먼트가 형성된다.

Formant Frequencies in Singing

1988년에 Gramming 등은 남자 성악가와 일반 성인남자에서 주파수별로 낼 수 있는 가장 큰 소리로 고품을 질렀을 때 양자간에 발생강도에 분명한 차이점을 관찰할 수 없었다는 보고를 한 바 있다. 따라서 성악가라고 해서 일반인들보다 더 큰 소리로 노래를 하는 것은 아니라는 것을 미루어 짐작해 볼 수 있는데, 어떤 이유로 오케스트라 연주 속에서 성악가의 노래가 우리 귀에는 명료하게 들리는지에 대해서 의문점이 생기지 않을 수가 없다. 이는 성악가와 일반인들의 목소리간에 분명한 차이를 보이는 주파수역 즉, 스펙트럼의 특징에서 그 이유를 알 수 있다. 성악가는 발성시 일반인들과 달리 약 2500~3000Hz 근처에 singer's formant라 불리우는 에너지 집중대가 형성되며(Fig. 2), 이 영역 때문에 오케스트라의 연주 속에서도 성악가의 목소리가 청중들의 귀에 명료하게 들리는 것이라 설명할 수 있다(Fig. 3). Singer's formant가 형성되는 주파수 영역은 alto를 포함한 남성 성부에서 큰 차이를 보이지는 않으나 bass쪽으로 갈수록 약간씩 낮은 주파수에서 형성되는 것으로 알려져 있으며, 그 중심주파수가 bass는 2.4kHz, baritone 은 2.6kHz, tenor는 2.8kHz, 알토는 3.0kHz 주변에서 형성되는 것으로 알려져 있다. 그러나 soprano의 경우는 학자들간에 약간에 이견이 있는데, Appelman은 soprano에서도 singer's formant가 3.2kHz 주변에서 형성된다고 보고 하였으나, Sundberg는 soprano에서 보이는 소견은 singer's formant가 아니라 단순한 제 3, 4 포만트라 주장하였다.

그렇다면 어떻게 성악가들은 이와 같은 스펙트럼을 그들의 목소리에서 만들어 낼 수 있을까 하는 점인데, 이는 바로 공명에 의한 것이라 말할 수 있다. 이 같은 공명현상을 설명하기 위한 노력이 아직도 계속 이루어지고 있으며, 아직

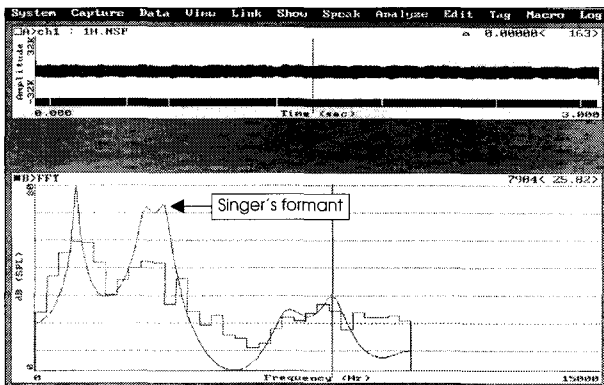


Fig. 2. Singer's formant.

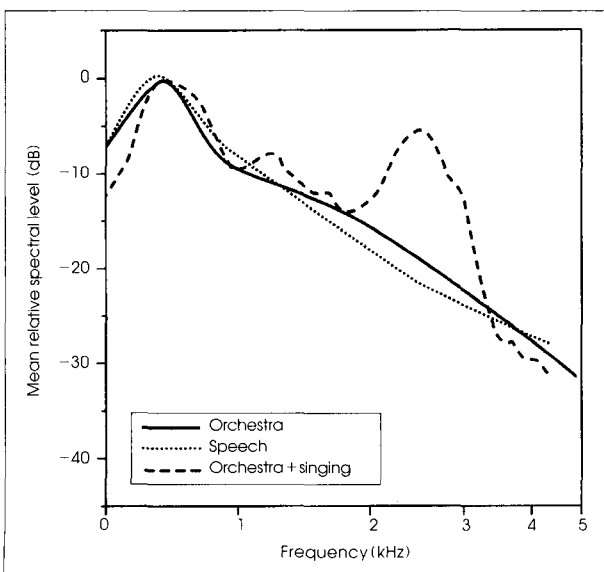


Fig. 3. Long term average spectra for voice and orchestra (Sundberg, 1987).

까지 singer's formant가 형성되는 방법에 대해서 분명하게 밝혀진 바는 없으나, Sundberg가 성도내의 후두 주변부에 위치하는 작은 공명기의 존재를 modeling을 통하여 설명함으로써, singer's formant의 형성에 대하여 증명하고자 하였고, Titze는 물리적 수식을 통하여 singer's formant의 형성여부를 증명하고자 하였다. Sundberg에 따르면 진성대로 부터 후두개의 경계부까지를 한쪽이 막혀 있는 관으로 생각하여, 그 단면적과 이상외를 포함하는 하인두부의 단면적 간의 비를 6배 이상으로 해줄 경우 singer's formant에 형성에 해당하는 공명이 이루어졌다고 설명하였고(Fig. 4), Titze는 한쪽이 막혀 있는 공명관에서 공명 주파수를 산출해 내는 공식 즉, $F = (2n - 1)c/4L$, (c : speed of sound in the vocal tract (350 m/sec), L : length of epilarynx tube (3cm)) 을 이용하여 singer's formant의 형성을 설명하였다. Titze의 설명에서 보면 일반 성인 남자의 성도의 길이를 17cm 내외라 볼 때 이 역시 Sundberg의 1:6비와 같아서 1:6비가 2가지 양상으로 나타나는 것 같다고 하였다. 따라서 이들의 주장을 바탕으로 성악가들이 singer's formant를 만들어 내기 위해서는 발성시 하인두부를 넓혀주고, 후두를 아래로 내려(또는 고정시켜) 성도의 길이를 길게 만들어 줌으로써 형성되는 것이 아닌가 하는 생각을 할 수 있다.

최근 Titze와 진의 보고에 따르면, 약 2500~3000Hz 근처에서 형성되는 기존의 singer's formant 외에도 약 8000~9000Hz 근처에서 성악가의 경우 일반인들과 다른 특이한 포만트가 형성된다고 주장한 바 있다(Fig. 5)

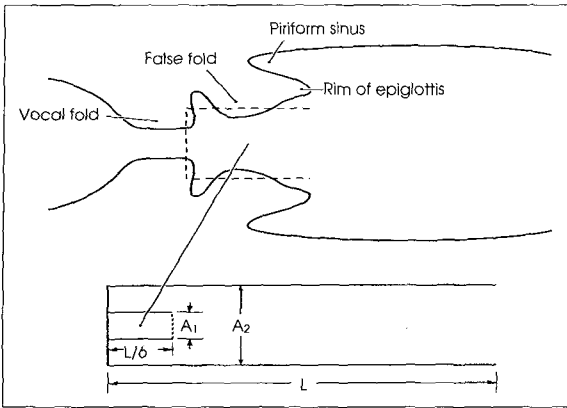


Fig. 4. Illustration of small quarter-wave resonator in a large quarter-wave resonator to produce vocal ring (the singer's formant). (Titze IR, 1994) A1 : exit area of epilarynx, A2 : expanded area into the lower larynx, L : length of vocal tract.

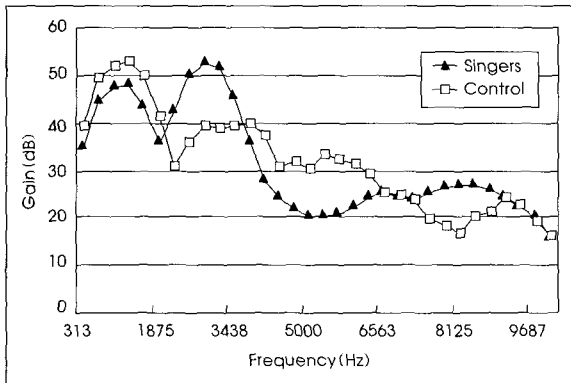


Fig. 5. Long term average spectrum of 15 tenors singing (triangles) and 15 controls singing (squares) a sustained /a/ vowel at a high pitch (G4) in head voice.

이것 역시 앞서 말한 $F=(2n-1)c/4L$ 의 수식을 통하여 $n=2$ 일 때 정확하게 기존의 singer's formant가 형성되는 지점에서 3배 되는 주파수에서 형성되는 것을 설명할 수 있다. 그러나 이 경우 그 에너지가 첫번째 singer's formant에 비하여 약 20~30dB 낮게 나타나고, 3000Hz 근처보다 10000 Hz 근처에서의 소리가 청각기의 민감도면에서 약 20dB정도 낮다는 점을 고려한다면 실제 우리가 청각적으로 큰 차이점을 못 느낄 수 있다는 점이 있다. 그러나 어떤 recording 시스템이나 증폭 시스템을 이용하여 고주파수역을 강조한다면, 청각학적으로 의미있는 결과를 얻어낼 수 있을 것으로 생각하고 있다.

사람의 성도에서 이루어지는 공명 현상들은 아직까지도 명확하게 밝혀져있는 내용은 없으나, 서양음악 교육을 받은 성악가에서 나타나는 singer's formant와 같은 특이한 에너지 집중 영역은 매우 흥미로운 현상이라 할 수 있다. 사람의 여러가지 목소리에 대한 음향학적 접근은 앞으로도 많은 관심의 대상이 될 수 있을 것으로 생각되며, 이와 같은 연구는 다양한 분야의 학자들의 연구와 지식이 공유될 때 더 큰 발전을 이루어 단순한 학문적 연구를 벗어나 실용적인 부분으로 까지도 적용이 가능할 수 있을 것으로 생각된다.

REFERENCES

- Sundberg J. Vocal tract resonance. In Satalloff RT. *The Professional Voice: The Science and Art of Clinical Care*. New York, NY: Raven Press:1991.
- Titze IR. *Principle of Voice Production, 2nd printing*. (Iowa City: National Center for Voice and Speech):2000.
- Titze IR, Jin SM. Is There Evidence of Second Singer's Formant? *J Singing*:2003. p.329-31.