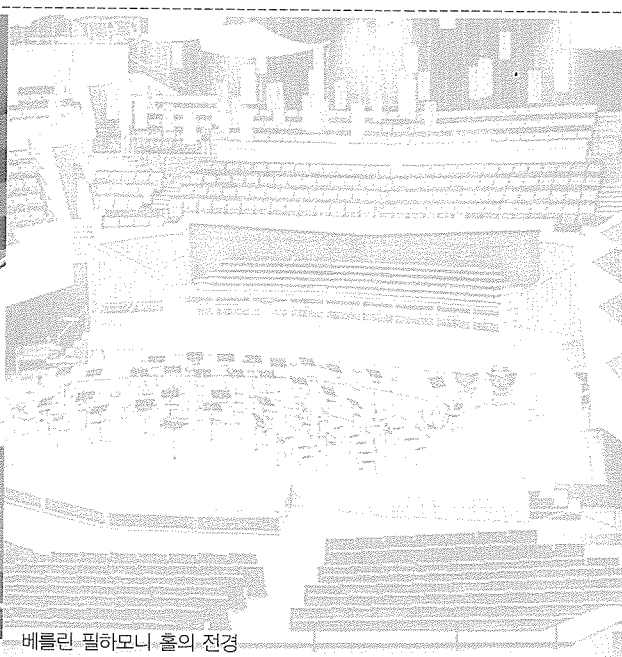
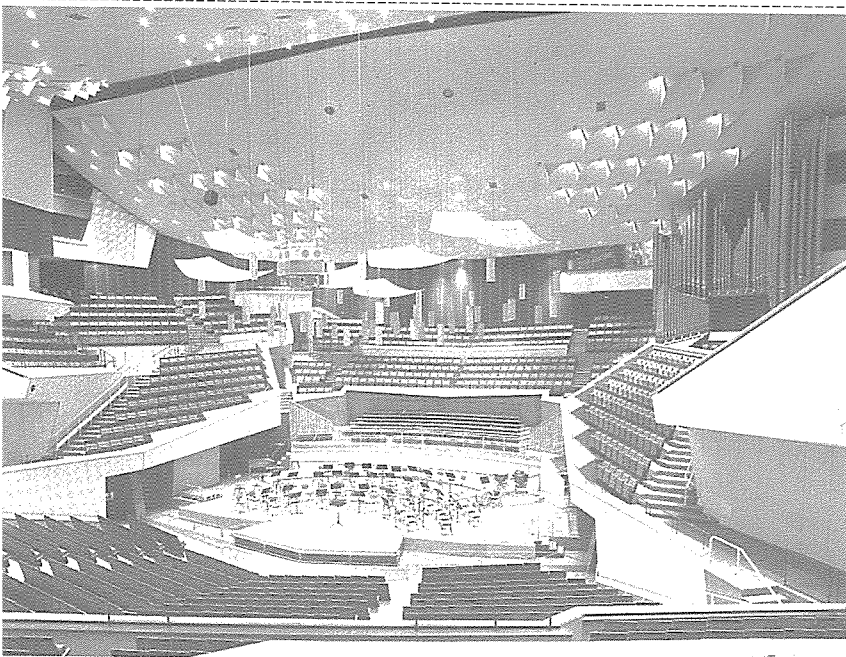


〈음악과 과학의 만남〉

물리학자 헬름홀츠 '음악음향학' 창시

글_성광모 서울대 전기컴퓨터공학부 교수, 음향공학 kmsung@acoustics.snu.ac.kr



베를린 필하모니 홀의 전경

‘**치**대는 과학이다’라는 침대 회사의 선전 문구가 있지만, **□** 소리가 말로 과학이다. 소리는 소리를 발생시키는 음원에 의해서 발생된 미세한 압력의 변화가 공기 매질을 따라 전달되어 고막을 진동시켜 청각기관을 통해 감지되는 물리적인 현상이기 때문이다. 한편, 소리는 음악의 표현 수단이기 때문에 음악과 과학은 불가분의 관계에 있다. 단지 음향학은 소리를 자연 과학적으로 다루고, 음악은 소리를 감각적으로 다루는 차이가 있을 뿐이다.

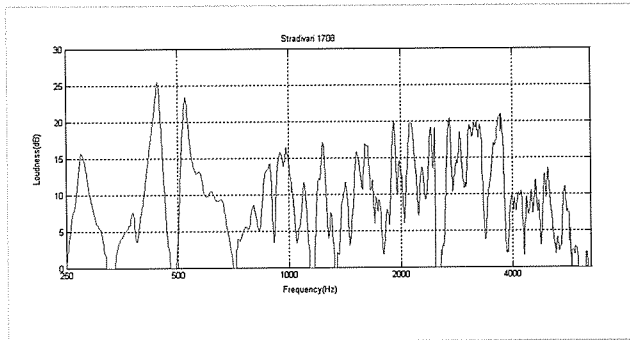
음향학이 현대적인 모습으로 집대성된 것은 영국의 물리학자 레일리 경(1842~1919)에 의해서이며, 음악과 관련한 음악음향학(musical acoustics)은 독일의 물리학자 헬름홀츠(1821~94)에 의해 시작되었다. 이후 많은 음향학자들이 음악과 관련하여, 특히 악기에 관해 많은 관심을 가지고 꾸준

히 연구하여 오고 있으며, 오늘 날에는 거의 모든 악기의 동작에 관한 과학적인 근거가 확립되었다.

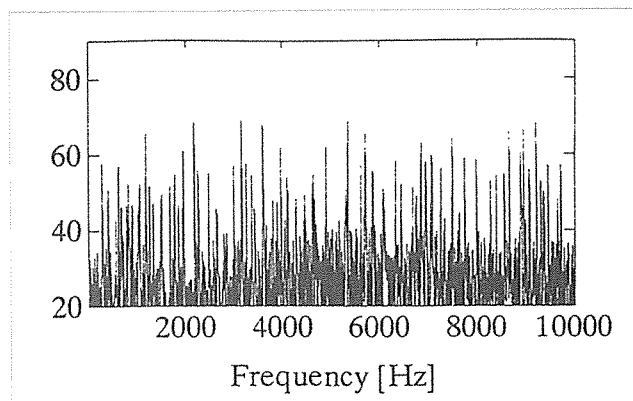
스트라디바리우스의 비밀은 아직도 수수께끼

바이올린은 서양 음악에서 아주 중요한 역할을 하는 매력적인 악기이다. 바이올린은 음색뿐만 아니라 형태도 아름다워 많은 사랑을 받아 왔으며, 음향학자들에게도 악기 중에서 가장 큰 관심의 대상이 되어왔다.

17~18세기 이탈리아에서 만들어진 유명한 바이올린들은 아직도 세계적인 연주가들로부터 절대적인 사랑을 받고 있으며, 그 중에서도 스트라디바리우스나 과르네리 같은 악기는 악기이면서 동시에 인류의 귀한 문화재로 대접받아 가격이 수백만 달러에 이른다.



(그림1) 1708년산 스트라디바리우스의 주파수 응답. x축은 주파수를 나타내고 y축은 무향실에서 마이크로폰으로 수신한 응답을 데시벨(dB) 단위로 표시했다.



(그림2) 썸과리의 주파수 응답. x축은 주파수를 나타내고 y축은 그 응답을 데시벨(dB) 단위로 표시하고 있다.

흔히 “스트라디바리우스의 비밀은 영원한 수수께끼다.” 또는 “스트라디바리우스의 비밀은 악기 표면의 칠(vernish)에 있다”라고 이야기하는데, 이것은 맞지 않는 이야기다. 바이올린을 소리를 모두 흡수하는 무향실내에 설치하고 가진기(exciter)를 사용하여 주파수 응답을 측정하면 그림 1과 같은 그래프를 얻는다. 여러 가지 다른 주파수에서 수많은 봉우리를 보게 되는데, 각각의 봉우리들은 몸체 어느 부분의 특정 형태의 공진(response)에 의해 생긴다. 바이올린의 현을 활로 그으면 기본음뿐만 아니라 그의 정수배에 위치한 배음도 발생하게 되는데 악보상의 같은 음을 연주한다 하여도 각각의 바이올린은 자기의 주파수 응답 곡선에 의해 배음 성분의 비율이 다르게 결정되고, 따라서 각각의 악기는 다른 음색을 갖게 된다.

또한 하나의 바이올린에서도 각각의 악기는 다른 음높이

의 음을 연주하면 주파수 응답 곡선상에서의 기본음과 배음의 주파수 위치가 달라지고 배음 성분 비율이 달라져서 변화가 있는 음색으로 들린다. 좋은 바이올린의 변화무쌍하고 영롱한 음색은 99%가 그 악기의 주파수 응답 곡선에 기인한다.

많은 바이올린 제작자들이 유명한 이탈리아 고악기의 모든 부분을 똑같은 두께와 굴곡면을 갖도록 제작하는, 즉 외형적인 복사를 시도하여 왔지만 그 음색까지 복사하지는 못하였다. 아무리 같은 종류의 나무라 하더라도 각각의 나무는 그 밀도나 탄성 등이 달라서 주파수 응답 곡선이 달라지기 때문이다. 반면 음향학적인 복제, 즉 과학적인 방법으로 주파수 응답 곡선을 거의 같게 만들었을 경우, 그 바이올린의 음색도 거의 같게 된다는 실험에는 필자도 직접 참여한 바 있다.

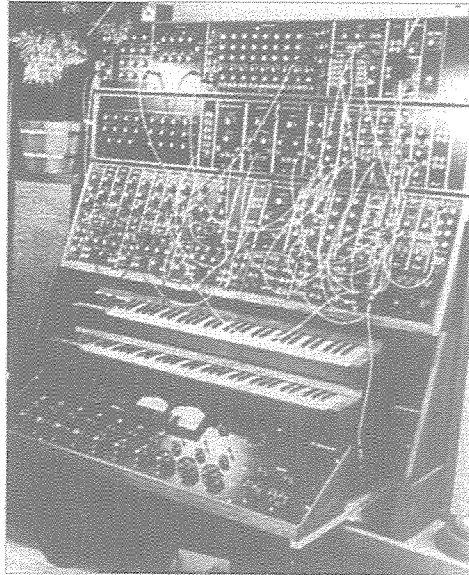
최근 30여년 사이에 뉘발트 등의 연구자에 의해 수많은 이탈리아 고악기의 주파수 응답 곡선이 측정되어 학계에 보고되어 있으나, 그것이 아직 악기 제작자들과 잘 연결되지 않고 있다. 악기 제작자들은 마치 요리책을 보고 요리를 하는 것처럼 지시하는 대로 따라서 하면 스트라디바리우스 음색의 악기가 나오는 것을 원하지만, 그 중간 과정이 아직까지는 연구소의 연구실에서 수행해야 할 정도로 까다롭기 때문이다.

우리 선조들의 음악적 지혜 ‘징’

우리 국악기 중에는 징, 썰매리, 운라 등의 금속 타악기가 있다. 서양 음악에서는 심벌즈나 트라이앵글이 금속 타악기로 대표적이다. 일반적으로 심벌즈나 썰매리와 같이 넓은 면적의 금속판을 타격하게 되면 수많은 고유 진동수가 들떠서 그 주파수 스펙트럼이 수없이 많은 불규칙한 선 스펙트럼을 갖게 된다. 우리의 귀도 그 복잡한 형태의 스펙트럼을 감지하여 음높이의 인식보다는 복잡하고 특이한 금속 타악기 고유의 음색으로 인식하게 된다(그림 2 참조).

그러나 필자가 우리의 금속 타악기인 징의 특성을 연구하다 보니 이제까지의 금속 타악기에 대한 이런 선입견이 반드시 옳지 만은 않다는 것을 알게 되었다. 징의 경우 음색에 영향을 미치는 고유진동수의 위치는 재료의 특성뿐만 아니라

원형 판의 크기, 두께 분포, 판의 곡면 정도, 판에 연결된 옆 부분인 전두리의 높이 및 각도 등등 징의 구조 전체에 의해 결정된다. 우리의 조상들은 오랜 시간의 경험을 통해 현재의 징의 형태를 찾았으며, 놀랍게도 우리의 징은 낮은 주파수 영역에서 부분음(partial)들이 기본음의 정수배에 위치하고 있다(그림 3 참조). 그래서 징 소리를 들으면 마치 음높이를 갖는 멜로디 악기처럼 아름답게 어울리는 음색을 느낄 수 있는 것이다. 잘 만들어진 우리 나



무구 신세사이저

라의 징이라도 정 복판을 타격하지 않거나, 딱딱한 채로 타격하여 높은 주파수 영역까지 이르면 듣기에 곱끄러운 소리가 발생하는 것도 과학적으로 잘 설명된다.

징 소리의 또 한가지 매력은 징을 세계 타격할 때, 타격 초기에 음높이가 미끄러지는 현상(pitch gliding)이 있다는 것이다. 이것은 징의 바닥이 큰 진폭으로 진동할 때 일어나는 비선형적 현상으로, 우리 귀는 이미 이 현상에 익숙해져 있으며 이는 징 소리의 큰 매력 중 하나이다.

좋은 콘서트 홀, 그리고 좋은 좌석

우리 나라는 지난 30여년간 경제적으로만 비약적인 발전을 한 것이 아니고 문화나 체육 면에서도 세계적인 대열에 합류하게 되었다. 세계적으로 유명한 연주자를 배출했을 뿐만 아니라 지방 도시의 교향악단의 수준도 어디에 내놓아도 손색이 없을 정도가 되었다. 그래서 많은 지방 자치단체들이 좋은 콘서트 홀이나 다목적 홀을 보유하고 있거나 건립을 계획하고 있다.

1960년대까지 만해도 음향학자들이 설계 단계에서 어떤 콘서트 홀이 좋은 콘서트 홀이 될 것이라고 보장하는 것은 불가능한 일이었다. 그러나 실내 음향학의 발전으로 오늘날에는 도면과 마감재료를 컴퓨터에 입력하면 어느 좌석에서 소리가 어떻게 들릴지 미리 들어볼 수 있다.

좋은 콘서트 홀, 소리가 좋은 좌석이 되기 위해 주요 사항을 몇 가지 열거해보자.

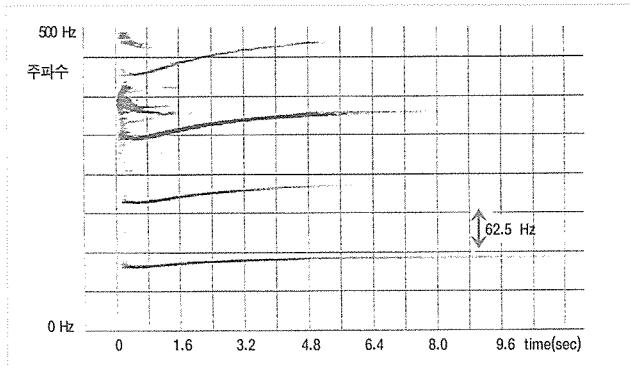
콘서트 홀에서 가장 중요한 점은 적절한 잔향이다. 잔향이란 실내에서 소리를 발생시키던 음원이 동작을 멈춘 후에도 마치 여운처럼 소리가 남아 점점 약하게 들리다가 사라지는 현상이다. 방의 내벽이 소리를 잘 흡수하면 잔향이 적어지고, 덜 흡수하면 잔향이 많아지며, 상대적으로 큰 방은 실내 공기 중에 저장되는 음향에너지가

많아서 작은 방에 비해 많은 잔향을 가진다. 잔향의 많고 적음은 잔향시간으로 표시하는데, 이것은 초기의 소리 에너지가 1백만분의 1로 감소하는데 걸리는 시간을 의미하며 초로 나타낸다. 적절한 잔향 시간은 대략 콘서트 홀이 2초, 오페라 하우스가 1.5초, 강연장이 1초, 그리고 파이프오르간 연주회장의 경우 2초 이상으로 알려져 있다.

잔향 다음으로 중요한 요소는 초기 측면 반사음일 것이다. 무대에서 발생한 어느 소리는 특정 청중에게 직접 도달하기도 하고, 벽이나 천장의 어느 부분에 반사되었다가 도달하기도 하는데, 직접음이 도달한 이후 짧은 시간내에 청중의 전면 양 옆의 벽에서 반사한 음이 풍부하게 도달해야 좋다. 풍부한 초기 측면 반사음은 소리가 아름답게 들리게 하며, 우리에게 유쾌한 공간감을 제공해 주는 것으로 알려져 있다.

19세기까지의 콘서트 홀은 주로 직육면체의 구두통 같은 기본 구조를 가졌으나 20세기 이후의 콘서트 홀은 경제적인 관점에서 보다 많은 청중을 수용하면서도 시야를 충분히 확보하기 위해 주로 부채꼴 형태의 기본 구조로 건설되었다. 그러나 부채꼴 형 콘서트 홀의 경우 측면에 특정한 반사 구조를 구축하지 않으면 무대 바로 앞 자리에 측면 반사음을 효과적으로 전달하지 못하여, 제일 비싼 자리인 소위 로열석에서 소리가 빈약하고 공허하게 들리게 된다.

이 밖에도, 무대에서 발생한 소리는 청취자의 양쪽 귀에 다



(그림3) 징의 스펙트로그램. x축은 시간을 나타내고 y축은 주파수를 나타낸다. 정상상태에서 기본음과 배음 성분들의 간격이 일정함을 볼 수 있고 타격 초기의 음고 변화도 보인다.

소 다른 형태로 전달되어야 좋으며, 천장의 반사음이 발코니 등에 의해 가려지는 곳은 덜 좋고, 저음역의 잔향시간이 중고음역에 비해 좀 길어야 저음 악기소리가 풍부하게 들릴 수 있어 더 좋다.

전자악기, 그 무한한 가능성의 세계

재래의 전통적인 악기가 물리적인 방법으로 소리를 발생시켜 증폭시킨 후 공기 중으로 방사하는 반면에 전자악기는 이름 그대로 전자공학적인 방법으로 신호를 발생시켜 증폭시킨 후 스피커를 통해 소리를 내게 되어 있다.

전자악기의 역사에서 빼어놓을 수 없는 인물은 로보트 무그이다. 그는 1960년대에 젊은 대학생의 신분으로 발진기, 여파기 및 제어 모듈 등을 통일되게 0~10V의 신호로 제어할 수 있도록 만들어, 사용자가 임의로 서로 연결시켜 여러 가지 다양한 신호를 발생시켜 사용할 수 있도록 만들었다. 그가 이렇게 고안한 무그 신시사이저는 오늘날까지도 아날로그 전자악기의 대명사가 되고 있다.

전자악기에서 신호의 합성은 두 가지 목적을 갖고 있다. 하나는 기존의 악기 음에 대한 모사 또는 모방이고, 다른 하나는 이제까지 존재하지 않았던 음이나 음색의 창조이다. 20세기 후반에 생겨난 전자음악은 전자악기의 두 번째 기능을 많이 활용하고 있는 반면, 대중들은 전자악기의 첫번째 기능을 주로 사용한다. 악기음을 모사하기 위한 합성법에는 여러 가지가 있다. 어느 악기음의 주파수 스펙트럼을 똑같이 만들기 위해 기본음과 배음 성분을 그대로 만들어서 합해주는 가산

합성법, 이미 많은 배음을 갖고 있는 신호에 여파기를 연결하여 원하는 스펙트럼을 얻는 감산 합성법, 다양한 측파대의 스펙트럼을 가진 주파수 변조신호를 이용하는 FM 합성법, 정현파 파형이 찌그러지면 배음 성분이 생긴다는 원리를 이용한 비선형 왜곡법 등등 많은 방법이 고안되어 경제적으로 악기 음을 모사하는데 사용되어 왔다.

반도체 메모리가 대용량화되고 가격이 낮아짐에 따라, 악기음 합성 분야에서도 변화가 일어났다. 어느 악기음을 모사하기 위해 어떤 파형을 어떻게 합성할 것이 아니라, 실제로 존재하는 좋은 악기의 음을 디지털(PCM) 방식으로 녹음하여 저장하였다가 사용하자는 것이다. 이는 악기음 합성이라기 보다는 디지털 녹음-재생이라는 너무도 단순한 방법이지만 타악기 등의 경우와 같이 현실감 있는 재현이 어려운 악기음을 만드는 데에는 아주 적합해서 현재의 전자악기에 다른 합성방법과 아울러 많이 채택되고 있다.

우리가 이미 피부로 느끼고 있듯이, 현재의 정보기술(IT)은 신문, 방송, 통신, 오락, 그리고 학문의 연구까지 한 곳에 모이도록 하고 있다. 이른바 컴퓨터와 인터넷, 그리고 이를 잘 활용할 수 있는 갖가지 소프트웨어들이다. 전자악기도 이제 전자음악 작곡가나 유흥업소 악사들의 전유물이 아니다. 적당한 컴퓨터에 적절한 소프트웨어만 탑재하면 내 컴퓨터가 무한한 가능성을 가진 전자악기로 탈바꿈하기 때문이다. 그래서 근래에는 이제까지 사용되던 전자음악이라는 용어 대신에 컴퓨터음악이라는 용어를 더 많이 사용하게 되었다.

21세기는 문화의 세기가 될 것이라고 하고, 문화가 우월한 민족이 세계를 지배하게 될 것이라고 한다. 소리를 다루는 음향학은 순수 과학으로 출발하여, 그 후에 공학과 결합하여 디지털 오디오, 소나, 초음파 영상 진단기 등 인류에게 유용한 많은 제품이나 기술에 영향을 미쳤다. 이제는 소리를 음악과 관련한 감성 공학적인 측면이나, 정보기술과 융합시켜 더 한층 발전시키도록 연구하는 것이 젊은 과학 후속세대에 게 맡겨진 일이 아닌가 생각해 본다. ㉔



글쓴이는 서울대 공대 전자공학과 졸업, 독일 아헨공대 음향공학 박사, 한국 음향학회 회장 역임