

# 이식박사의 흥미로운 과학 이야기



## 화학은 위대한 음악가 기린 음악가

글 \_ 이식 팀장 · 슈퍼컴퓨팅응용지원팀 · siklee@kisti.re.kr



화학자이자 작곡가였던 알렉산드로 포르피리에비치 보로딘

이번 호에서는 음악과 화학의 상관관계에 대해 얘기하려고 합니다.

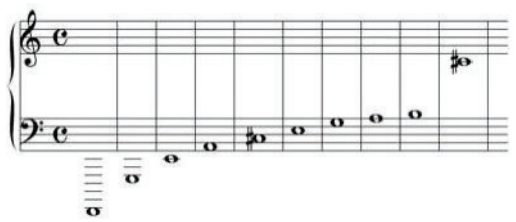
가장 먼저 떠오르는 사람은 러시아 국민악파 5인조의 한 사람인 알렉산드로 포르피리예비치 보로딘입니다. 보로딘은 스스로 인정했듯이 '일요일 작곡가'였습니다. 리스트나 발라키레프로부터 인정받은 뛰어난 음악적 재능을 갖고 있었지만, 보로딘은 화학자로서의 일생을 바쁘게 살았기 때문에 그의 작곡은 매우 더디게 진행되었습니다. 결국 유작이었던 <이고르 왕자>의 경우 립스키코르사코프와 클라주노프의 도움에 의해서 완성될 수 있었죠. 알데히드 연구에 크게 기여한 화학자가 지금은 대부분의 사람들에게 작곡가로 기억되고 있는 것입니다.

보로딘 외에도 많은 화학자들이 음악에 깊은 관심을 가졌었습니다. 화학과 음악 사이에는 어떤 상관관계가 있는 것일까요?

여기서 미국화학회 소식지(C&EN) 2006년 가을 호에서 재미있게 읽은 내용을 소개할까 합니다. 기사에 의하면 화학 반응으로 음악을 생성해 들을 수 있다고 합니다.

미국 뉴욕 주의 낮소 커뮤니티 대학 화학과의 마하테프 쿵바 교수는 화학반응의 프로세스를 음악으로 바꾸는 방법을 고안했습니다. 쿵바 교수의 기본 아이디어는 '음악은 수학에 토대를 둔 예술이다', '화학 역시 수학의 용어로 묘사될 수 있는 과학이다'입니다. 따라서 수학을 통해 화학과 음악이 연결될 수 있다는 거죠. 즉, 화학반응의 여러 인자를 음악의 3요소인 박자, 선율, 화성과 연결시킬 수 있다면 화학반응도 음악이 될 수 있다는 것이 쿵바 교수의 생각입니다.

1개의 반응물질이 여러 개로 분해되는 1차 반응( $N_2O_5 \rightarrow 2NO_2 + 1/2O_2$ )을 예로 들어 보겠습니다. 쿵바 교수는  $N_2O_5$ 의 반응속도에 대한 수식을 쓴 후, 푸리에 변환(Fourier transform) 알고리즘을 사용해서 반응속도식을 진동수(frequency)와 진폭(amplitude)을 갖는 다른 수식으로 변환했습니다. 진동수와 진폭 정보를 사람의 가청영역의 음표로 변환하는 데는 음악이론을 적용하였고, 음의 세기는  $N_2O_5$ 의 초기 농도에 연결시켰습니다.

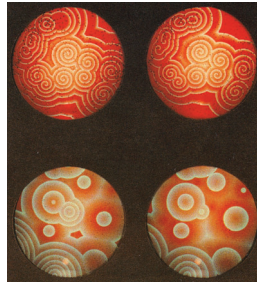


$N_2O_5$ 의 분해반응에서 만들어진 음악

쿰바 교수는 효소를 포함하는 반응, 핵의 붕괴 반응, Belousov-Zhabotinsky 반응(반응물과 생성물 사이에서 그네처럼 왔다 갔다 하는 특이한 반응) 등으로부터 비슷한 방법으로 음악을 끌어냈습니다.

화학반응으로부터 만들어낸 음악의 한 소절을 듣는 순간 쿰바 교수는 매우 기분이 좋았다고 합니다. 여러분도 다음 사이트 (<http://pubs.acs.org/cen/science/84/8439/music.html>)에서 화학반응에 의해 만들어진 음악을 한 번 들어보시면 어떨까요?

지금까지 화학자들은 물질의 화학적 성질에 대한 깊은 지식을 얻어왔습니다. 그렇다면 화학의 눈을 통해 물질의 재미있는 면, 즉 화학반응을 이용한 음악을 만들어내는 것도 힘든 이유는 없지 않을까요?



Belousov-Zhabotinsky 반응 으로부터 얻어진 패턴들은 특이한 파형을 형성한다. from Philip Ball, "The Self-Made Tapestry" (1999).



스트라디바리우스

최근 비행기내에서 영화 한 편을 보았습니다. "오거스트 러쉬(August Rush)"라는 영화였는데요. 내용 자체는 너무 상투적인 헐리웃 스타일이라 감동적이지 않았지만 "음악은 모든 곳에 있고, 우리가 할 일은 그저 듣는 것뿐이다"란 대사는 깊이 기억에 남았습니다. 대사 그대로, 음악은 모든 곳에 있습니다. 물론 화학반응 속에도 말입니다.

두 번째로 소개할 내용은 세계적으로 유명한 바이올린 스트라디바리우스에 관한 얘기입니다.

17~18세기는 스트라디바리우스, 과르네리, 데스토네, 토노니, 과다니니 등 유명한 바이올린이 많이 제작된 시기입니다. 이중 특히 과르네리와 스트라디바리우스는 명품악기의 대명사로 알려져 있고, 희소성과 뛰어난 음색 때문에 대당 수억에서 수십 억 원의 고가에 거래되고 있습니다. 2006년 크리스티 경매에서는 스트라디바리우스 한 대가 354만 달러에 거래되었으며, 최근에는 소더비 경매에서 과르네리 텔 제수가 최고가를 경신했다는 소식도 들립니다. 도대체 어떤 요소가 명품 바이올린의 감동적인 음색을 만들어내는 것일까요? 이 문제는 지금껏 악기제작자는 물론이고 과학자들로부터도 끊임없이 도전을 받아 왔습니다.

남성적인 과르네리에 비해 스트라디바리우스는 여성적인 음색으로 유명합니다. 미국 테네시 대학의 연구자들은 그 이유를 스트라디바리우스가 제작된 당시의 기후 때문이라고 주장하고 있습니다. 유난히 추웠던 당시 기후 때문에 악기 제작에 쓰인 나무들은 나이트가 촘촘하고 나뭇결의 밀도가 높아졌으며, 그러한 요인이 소리의 스펙트럼이 균일하고 음정 변화가 거의 없는 여성적 음색의 명기를 만들었다는 것입니다.



영화 '오거스트 러쉬'



Vol 444, 30 November 2006

**BRIEF COMMUNICATIONS**

### Wood used by Stradivari and Guarneri

The material used by the old masters to make exquisite violins may have been chemically manipulated.

Whether or not the great Italian violin-makers used wood that had been chemically processed in order to preserve it and enhance the instrument's sound quality has long been a contentious issue<sup>1,2</sup>. Here we use nuclear magnetic resonance and infrared spectroscopy to analyse organic matter in wood taken from antique instruments made by Stradivari (Fig. 1) and Guarneri del Gesù. Our results indicate that the wood used by the masters could indeed have been chemically treated, and a technique that may inspire an approach to violin making that is more chemistry-based.

Maple wood samples from the interior of the instruments' back plates were obtained as thin shavings during the repair of cracks. The instruments were a violin by Stradivari, dated 1773, a cello by Stradivari (1731), a violin by Guarneri del Gesù (1741), a violin by Gaud-Bernardel of Fera (1840), and a viola by Henry Jay of London (1769). For comparison, we used recent tone woods from Bosnia and central Europe.

Figure 2a shows <sup>13</sup>C solid-state nuclear magnetic resonance (NMR) spectra of the different wood samples, recorded (see supplementary information) and interpreted as described<sup>3</sup>. The spectra differ at the following points: the small peaks attributed to the acetyl carbons at 18 and 179 p.p.m.; the small methoxy peak at 56 p.p.m.; and the main lignin peaks at 135 and 155 p.p.m. The most significant difference is shown by the Guarneri sample as a decrease in all of these peaks. The spectrum of the Stradivari

violin shows close similarities to that of the Guarneri, whereas the deviations of the Stradivari cello wood from the recent Bosnian maple are only slightly different from those of the old English and French instruments, and from those generated by boiling and bleaching the Bosnian maple sample (for details, see supplementary information).

Fourier transform infrared (FTIR) spectra<sup>4</sup> were obtained for recent Bosnian maple, the Guarneri sample and the Stradivari violin sample (Fig. 2b). The differences between these spectra are obvious at several peaks, particularly in the carbonyl region at 1736 cm<sup>-1</sup> to 1650 cm<sup>-1</sup> and at 1237 cm<sup>-1</sup>. The increase in absorption at around 1650 cm<sup>-1</sup> may be caused by the formation of quinones from lignin by oxidation<sup>5</sup>. The spectra of both violins also differ from that of the Stradivari cello, which in turn differs only slightly from those of the old Grand-Bernardel and from the boiled-bleached Bosnian maple. One supplementary information for spectra and statistical analysis of their significance.)

<sup>1</sup> We found no evidence of potassium silicate<sup>6</sup> in

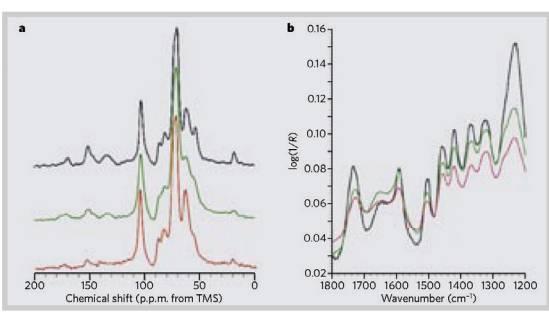
any of our antique samples. By these methods, the violins by Guarneri and, to a slightly lesser degree, the Stradivari stand out against the other standards. Our results support the idea that chemical treatments, such as oxidation and hydrolysis, were used in making these violins and, to a much lesser extent, the Stradivari cello. In the case of the cello, the English viola and the French viola, natural aging cannot be ruled out as a cause of the chemical changes. The effects may also be related to the unusual mineral composition of the wood in these instruments, which remains to be investigated.

However, the observed differences are likely to have originated from a regional practice of wood preservation that affected the mechanical and acoustical properties of the wood<sup>7</sup>. Our case studies may inspire a more chemistry-based approach to violin making.

**Joseph Nagorny, Joseph A. DiVerdi, Noel L. Owen, H. Dennis Tollay**  
<sup>1</sup>Department of Biochemistry, Texas A&M University, College Station, Texas 77843, USA  
<sup>2</sup>e-mail: nagorny@tamu.edu  
<sup>3</sup>Department of Chemistry, Colorado State University, Fort Collins, Colorado 80523, USA  
<sup>4</sup>Department of Chemistry and Biochemistry, Statistics, Brigham Young University, Provo, Utah 84602, USA

1. Gough, C. *Phil. Mag.* **19**, 391 (1860).
2. Nagorny, J. *Am. Chem. Soc.* **128**, 1668 (2006).
3. Gaudin, C. *Phil. Mag.* **11**, 400 (1861).
4. Gaudin, C. *Phil. Mag.* **11**, 400 (1861).
5. Gaudin, C. *Phil. Mag.* **11**, 400 (1861).
6. Anderson, L. J., Smith, J., Owen, N. L. & Hill, M. C. *Appl. Biomater.* **4**, 417 (1993).
7. Saccini, S. *J. Appl. Polym. Sci.* **4**, 417 (1993).
8. Hill, M. C. *J. Appl. Polym. Sci.* **4**, 417 (1993).

Supplementary information accompanies this article on the Nature website. Received 19 July; accepted 8 November 2006. Copyright © 2006 Nature Publishing Group. DOI: 10.1038/444030a



바이올린으로부터 얻은 <sup>13</sup>C 고체상 NMR 스펙트럼(a)과 FTIR 스펙트럼 (b). 검정색은 현대의 보스니아 지방 단풍나무이고, 녹색과 적색은 각각 스트라디바리(Stradivari)와 과르네리 델 제수(Guarneri del Gesù)다.

2006년 조셉 네지바리 교수가 Nature 지에 발표한 연구결과

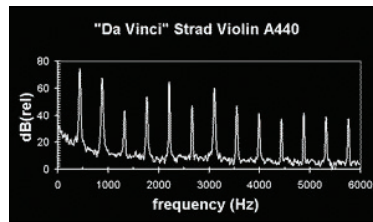
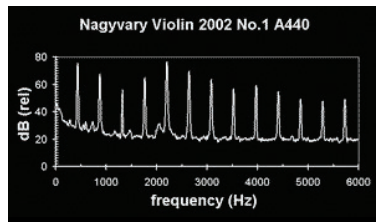
Texas A&M 대학교의 생화학자 조셉 네지바리 교수는 또 다른 주장을 합니다. 스트라디바리는 북 이탈리아의 숲 속에 널리 서식하는 벌레로부터 바이올린을 보호하기 위해 화학 물질로 바이올린을 처리했습니다. 이때 사용된 도료들이 잡음을 제거하는 효과를 주어서 스트라디바리우스의 특색 있는 음색을 만들었다는 것입니다.

네지바리 교수는 2006년 Nature 지에 그의 주장을 뒷받침하는 1페이지짜리 논문을 투고하여 주목을 받았습니다. 그의 연구팀은 세 대의 명품 악기(1717년산 스트라디바리우스 바이올린, 1731년산 스트라디바리우스 첼로, 1741년산 과르네리 델 제수 바이올린)와 1840년산 Grand-Bernardel 바이올린, 1769년산 헨리 제이 비올라에서 나무 샘플을 채취하였습니다. 비교를 위해 최근에 악기 제작용으로 사용되는 보스니아와 중부 유럽의 단풍나무까지 포함하여 고체 핵자기 공명장치(<sup>13</sup>C Solid-state NMR)와 푸리에 변환 적외선 분광장치(FTIR)를 이용해 정밀 분석을 실행했죠.

일련의 연구를 통해 연구팀은 악기 가공 시의 화학처리, 즉 산화와 가수분해에 사용되었던 화학물질들이 나무의 음향학적 성질에 변화를 주었다고 결론 내렸습니다. 사실 이와 비슷한 주장은 이미 여러번 제기된 적이 있었습니다. 네지바리 교수가 다른 점이 있다면 이러한 주장을 좀 더 과학적으로 체계화해 유명 학술지를 통해 발표했다는 것이죠.

네지바리 교수의 주장이 과학계에서 폭넓은 지지를 받은 것에 반해, 악기 제조업자들은 여전히 의혹의 눈초리를 보내고 있습니다. 과학자들이 한두 가지 중요한 이슈를 부각시킨 데 반해 악기제작자들은 좀 추상적인 해법을 찾는 것처럼 보입니다. 스트라디바리우스의 특이한 음색은 과학자들이 지적한 한두 가지에 의해 만들어진 것이 아니라, 수 백 가지 복합적인 이유가 작용한 결과라는 것이죠.

Nature 지에 발표된 연구결과에 대해서 바이올린 제작자들은 '스트라디바리우스의 모든 비밀이 밝혀졌다고 생각하지 않는다. 스트라디바리는 진정한 천재였다. 과학이 어떤 질문에 대해서는 답을 줄 수도 있지만, 과학과 예술이 항상 오버랩 되는 것은 아니다' 라고 평하고 있습니다. 심지어는 네지바리 교수가 직접 바이올린 제작사를 운영하기 때문에 아마도 사업적 동기로 그러한 연구결과를 냈을 것이라고 폄하하는 경우까지 있었습니다.



스트라디바리우스와 네지바리 교수가 제작한 바이올린의 파형분석결과.  
 <네지바리 교수는 자신이 만든 바이올린의 음색이 스트라디바리우스와 비슷하다고 주장하고 있다.>

네지바리 교수는 자신이 직접 바이올린 제작 회사를 운영하면서 자신이 만든 바이올린이 스트라디바리우스나 과르네리과 비슷한 음색을 내고 있다고 주장하고 있습니다. 실제로 그가 운영하는 바이올린 회사의 홈페이지(<http://www.nagyvarylviols.com/>)에는 자신들의 연구


결과를 보도한 ABC 뉴스, 크리스티안 사이언스 모니터, 디스커버 지, 디스커버리 채널, 사이언티픽 어메리칸의 보도 내용이 링크되어 있습니다.

2003년에 독일의 다큐멘터리 제작사에서 실시한 블라인드 테스트에서 전문가와 일반청중이 포함된 600명 가운데 오직 57명만이 스트라디바리우스를 제대로 맞췄을 정도로 자신이 제작한 바이올린의 음색이 스트라디바리우스와 대동소이하다고 주장한 것입니다. 언론과의 인터뷰에서 네지바리 교수는 '안토니오 스트라디바리는 70, 80대에 그의 최고 작품을 만들어냈다. 나는 이제 겨우 69세에 불과하다'면서 분자연구를 통해 바이올린의 음색을 개선하는 일에 계속 정진하겠다는 의지를 밝혔습니다.

재미있고 독창적인 현상들은 여러 분야의 융합에서 발견되는 경우가 많습니다. 시각적 자극이 즉흥적 음악으로 재창조된 예는 많습니다. 일례로 무소르그스키의 <전람회의 그림>가 유명하죠. 이에 반해서 후각이나 미각 같은 화학적 자극이 음악이나 미술로 재창조된 예는 거의 없습니다.

아름다운 배경음악이 음식을 더 맛있게 하고, 모차르트의 음악을 들은 식물이 더 잘 자랐다는 연구결과에서 보듯이 음악이 생체내의 생화학 반응에 어떤 식으로든 영향을 끼치는 예는 많습니다. 역으로 이러한 화학반응을 음악으로 바꾸어 보려는 노력은 무척 재미있는 시도가 될 것이고, 앞으로 더욱 흥미진진한 결과가 계속해서 나올 것으로 기대됩니다.

화학반응을 컴퓨터 프로그램을 통해 음악으로 바꾸었던 쿴바 교수는 가장 적극적인 경우이고 그렇지 않더라도 실제로 화학은 악기 재료, 악기에 더해지는 화학물질, 콘서트홀에 사용되는 물질, 영상기록매체 등을 통해 음악에 매우 많은 영향을 끼치고 있는 것이 사실입니다.

유명 광고 카피를 흉내 내어, "화학은 음악이다"란 말로 이번 글을 마치겠습니다. 



## Profile

서울대학교 화학과를 졸업하고 포항공대에서 이학박사 학위를 받았다. MIT 물리학과, 영국 케임브리지 대학교 케번디시 연구소와 미국 펜실베이니아 대학교에서 연구원으로 일했다. 과학칼럼니스트로 신문과 잡지에 글을 쓰고 있으며, 함께 지은 저서로는 <영국 바꾸지 않아도 행복한 나라(리수)>, <영화 속 흥미로운 과학 이야기(시공아트)>가 있다.