

## 물리와 음악의 상호작용 (Interaction between Physics and Music)

박찬웅(경원대학교 물리학과)

### 1. 물리와 음악이 어떻게 만날 수 있을까.

물리학은 자연과학의 핵심이 되는 학문으로 자연에서 벌어지는 모든 현상에 대하여 그 현상이 발생하는 이유에 대하여 궁금증을 갖고 그 궁금증을 풀어나가 궁극적으로 질서의 비밀을 알아내는 학문이다. 방법론적인 의미에서의 과학은 분석적 방법을 사용하여 복잡한 현상을 분해 · 단순화시키는 작업을 수행한다는 것을 내포하고 있다. 이 분석적 방법의 문제점은 현상을 있는 상태 그대로 보지 않고 분해하여 작은 요소로 나누고 이 작은 요소들 사이의 상호작용으로 전체를 해석하려고 한다는 것이다. 여기서 상호작용(interaction)이란 두 요소 또는 물체 사이에 작용하는 힘(관계)을 말한다. 세 개의 물체가 있을 때에만 나타나는 특수한 현상이라는 것은 없고 다들 사이의 관계로 표현된다는 것이다. 이의 문제점에 대해서는 다음과 같은 예가 적절할 것이다. 한 여자와 두 남자가 벌이는 삼각관계를 상상해 보자. 물리에서는 여자와 남자 사이에 작용하는 인력(attractive force)과 남자와 남자 사이에 작용하는 척력(repulsive force)으로만 삼각관계를 표현할 수 있다. 그러나 실제 세 사람이 한자리에 모였을 경우 벌어지는 불꽃튀기는 상황에 대하여는 표현하지 못한다는 것이다. 이처럼 분석적 방법으로 표현하지 못하는 세계는 무궁무진할 것이다. 그 중 하나가 음악이 된다. 음을 음표하나하나로 표현할 수 있지만, 음표자체가 음악을 의미하는 것은 아니다. 그 음들의 조화로운 시간적 배열이 음악이 된다. 방법적인 한계가 있는 도구를 가진 과학이 전체를 통해 느끼는 예술을 표현한다거나 인위적으로 결합시키는 것은 온당치 못하다. 각기의 고유한 방법으로 서로를 이해하고, 도움을 줄 수 있는 접점을 찾는 것이 오늘의 과제일 것이다.

과학과 예술이 서로에게 도움을 줄 수 있는 것이 무엇인지 먼저 살펴보고, 이러한 접근 방법으로 영재아들을 교육하면 어떠한 효과가 있을지 살펴보기로 하자.

## 2. 물리로부터 음악의 만남

피타고라스는 우주가 수로 이루어졌다고 주장하였다. 피타고라스의 사고의 바탕에 음이 있었다. 음의 조화를 보고 거기서 우주는 수로 이루어져 있지 않을까 생각했던 것이다. 그 속을 들여다보며 피타고라스 음계를 이해하여 보자.

가장 먼저 생긴 악기가 현악기와 관악기일 것이다. 현악기를 보면 줄 양쪽 끝이 고정되어있고 가운데 부분이 진동하면서 소리가 난다. 이 파의 파장은 양쪽 끝이 고정되어있으므로 현의 길이의 두 배를 정수로 나눈 것들이 된다. 하나의 파장만이 존재하는 것이 아니라 여러 파장이 존재할 수 있고 진동수는 현에서의 파동의 속도를 파장으로 나눈 것이므로 현의 진동의 진동수(주파수)는 가장 낮은 기본 진동수(fundamental frequency)가 있고 거기에 배수가 되는 고조파 진동수(higher harmonic frequency)들이 있게 된다. 예를 들어 기타로 C음(도)을 낸다고 하자. 그러면 그 음의 진동수의 두 배가 되는 음(한 옥타브 위의 C음)이 존재한다. -한 옥타브 차이는 두 배의 진동수 차이가 있다. 또한 3배가 되는 진동도 가능하며 이는 한 옥타브 위의 G음(솔)이 된다. 다시 4배의 진동도 가능하며 이는 두 옥타브 위의 C 음이 되고 5배 진동은 두 옥타브 위의 E음(미)가 된다. 이렇게 보면 한 음에 도미솔 화음이 존재하게 된다. 가청 주파수는 20-20000Hz이고 표준음이 A<sub>4</sub> (440Hz) - 피아노 왼쪽에서 네 번째 라음 -이므로 보통 10차 이상의 고조파를 듣게 된다. 이렇게 자연의 소리는 여러 음이 섞여서 나기 때문에 우리 귀에 자연스럽게 들리며, 인위적으로 만든 소리는 단조로움을 느끼게 된다. C음으로부터 G음과 E음을 만들고, 다시 G음을 기준으로 하여 계속하여 다른 음들을 만들어 낼 수 있다. 한 옥타브 내의 도미솔 1도 화음의 주파수 비를 보면 4:5:6의 비율을 갖게 된다. 이렇게 4:5:6의 비율 갖는 화음을 장화음(major triad)이라 한다. 1도, 4도, 5도 화음이 장화음이 된다. 이렇게 하여 음계를 만들어 보면 표와 같이 된다.

C	D	E	F	G	A	B	C
1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2
9/8	10/9	16/15	9/8	10/9	9/8	16/15	

이 음계를 온음계(diatonic scale)이라 한다. C와 D, F와 G의 간격은 9/8으로 major whole tone(주온음)이라 한다. D와 E, G와 A의 간격은 10/9으로 minor whole tone(단온음)이라 한다. 마지막으로 E와 F, B와 C 사이는 16/15 주파수 비를 가져 semitone(반음)이라 한다. 이 음계에서는 온음들 사이에서도 간격이

차이가 있다. 다른 음들은 fifth들의 주파수 비가 3:2이지만 D와 A 사이만 그렇게 되지 않아 불완전하다. 이런 단점을 보완하기 위하여 음들 사이의 간격을 9/8로 일정하게 하여 나온 것이 Pythagorean scale이다.

C	D	E	F	G	A	B	C
1	9/8	81/64	4/3	3/2	27/16	243/128	2
9/8	9/8	256/243	9/8	5/8	9/8	256/243	

Diatonic scale과 Pythagorean scale에서는 조옮김이 쉽다는 장점이 있는 반면에 semitone에서 문제가 생긴다. 이 문제로 인해 장화음이 조화를 이루지 못한다. 또한 반음 올림(sharp)과 내림(flat)이 다르게 된다. - C#과 Db 이 같은 음이 아니다. 이들을 개선한 것이 tempered scale이라 부르는 평균율이다. 한 옥타브의 간격을 1200cent로 하고 반음에 100cent씩 주었다. 반음은  $2^{1/12}$ 배의 간격을 갖게 하여 일정하게 준 음계가 된다. 이러한 음계는 피아노와 같은 건반악기가 출현하여 필요하게 되었다. 오케스트라에서는 현을 기준으로 하여 음을 맞추고 이에 따라 조를 바꿈으로 평균율을 선호하지 않는 경향이 있다. 이 음계는 현악기에 잘 적용될 수 있는 것이지만 다른 악기에는 잘 적용되기 힘들다.

자연현상에서 배음이 발생하게 되는데 이는 현악기에서만 발생하는 것이 아니고 관악기, 건반악기, 타악기 등 모든 악기에서 발생한다. 악기의 구조에 따라 배음들의 비율이 다르기도 하고 어떤 배음들은 안 나기도 한다. 이렇게 각 악기마다 고유의 배음 비율을 갖고 이것이 악기의 음색을 결정하는 한 요인이 된다. 악기의 음색(timber)이라는 것은 다음에 의하여 결정된다고 한다.

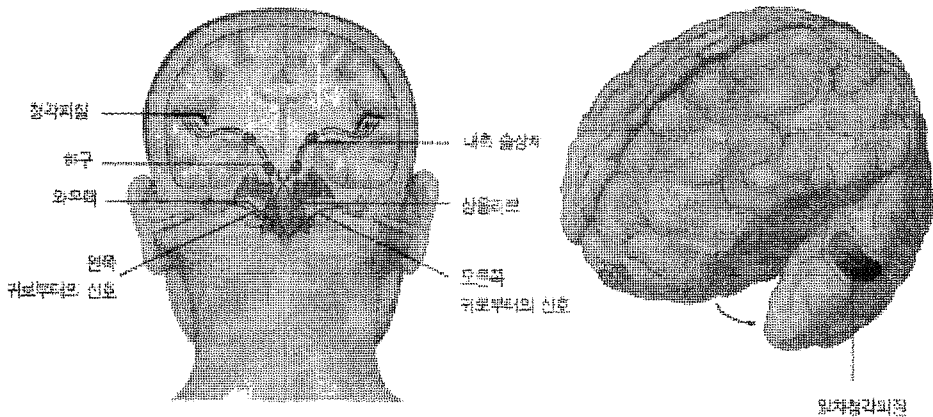
1. 배음의 비율
2. 음의 시작 방식
3. 음의 바이브레이션 방식
4. 음의 트레몰로
5. 음의 감쇄율

음악에서 사용하는 소리 하나를 과학적으로 분해하여 살펴보면 위와 같이 설명할 수 있지만, 이것들이 모여 조화를 이룰 때는 하나들의 합으로 표현할 수는 없을 것이다. 물리가 실제로 음악의 내용에 도움을 주지는 못하더라도 기계적인 부분과 음의 이론적인 부분을 설명하여 줄 수 있다. 그 도움의 예로 악기의 제작을 들 수 있다. 플룻을 예로 보자. 플룻은 크게 소리를 발생시키는 헤드부분

과 음의 높낮이를 결정하는 공명부분으로 나눌 수 있다. 우리가 병에 입을 대고 불면 소리가 나듯, 헤드부의 embouchure에 입술을 대고 바람을 불면 공기가 진동하여 소리가 나게 된다. 이를 공기리드라고 한다. 원래 리드를 사용한 악기를 목관악기라고 하는데, 플룻은 리드가 없지만 목관악기에 속한다. 헤드부에서 발생된 여러 진동수가 혼재된 소리가 공명부를 따라 지나가면서 구멍을 열어주는 길이에 따라 공명이 되어 그 공명 진동수에 해당하는 소리가 나게 된다. 정확한 음들을 만들어주기 위해서 각 음에 해당하는 구멍의 위치와 크기를 정확하게 결정해 주어야 한다. 또한 사용한 재료에 따라 소리의 질이 많이 달라진다고 한다. 흑단 등 나무로 만든 플룻이 있는 가 하면 황동, 백동, 은, 금, 백금 등 다양한 재질로 만들어진 플룻이 있다. 재질이 다른 악기들은 가격이 매우 차이가 나는데, 백동의 경우 약 40만원, 은의 경우 1800만원, 금의 경우 3000만원 정도가 된다. 그 가격 차이만큼이나 소리 차이가 크다고 하는데, 스펙트럼의 분석 결과는 별다른 차이를 볼 수 없었다. 기계로 볼 수 없는 미세한 차이를 우리 귀는 감지하는 것으로 생각되며, 새로운 분석방법이 개발되어야 한다고 본다.

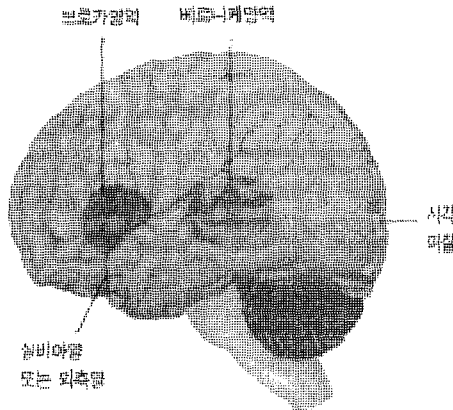
### 3. 음악으로부터 과학에의 접근

외부에서 발생된 소리는 귀의 청각세포에서 전기 신호로 바뀐 후 뇌로 전달된다. 뇌로 음향 신호가 전달될 때 상 올리브와 하구 사이에서 교차가 일어나 반대편의 반구로 전달된다.



이 신호가 일차 청각피질에서 처리된 후 다른 영역으로 시냅스된다. 음원의 위치 지각은 두 귀의 강도와 시간차를 포함한 여러 단서로 파악하게 된다. 인간이

언어를 알아듣는 영역은 청각피질에서 가까운 베르니케 영역(다른 사람의 말과 글을 이해)과 전두엽의 운동피질과 가까운 브로카 영역(단어 의미 이해)이 있으며, 이들 영역은 인간의 경우 좌반구가 더 활성화되어 있다.



시각이든 청각이든 언어와 관련된 기능은 좌반구가 우세하다. 가드너가 주장하는 다중지능 논거의 하나가 각 지능의 뇌 활성화 영역이 다르다는 것이며, 언어 지능을 주관하는 것은 좌반구의 브로카 영역이 될 것이다. 여러 가지 연구의 결과로 보았을 때, 좌반구는 분석-계열적으로 정보를 처리하기 때문에 언어와 수학적 추리에 적합하고, 우반구는 공간-종합적으로 정보를 처리하기 때문에 형태 지각과 전체적인 사고에 더 적합하다고 한다. 수학적 능력은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 하나는 논리 수학 지능이며 또 하나는 공간지능이 된다. 논리 수학 지능은 문제를 논리적으로 분석하고, 수학적 조작을 수행하고, 과학적인 방법으로 문제를 탐구하는 능력으로 좌반구에 국재화되어 있다. 지능 검사의 수학 능력 측정은 공간능력과 상관이 높다(가드너의 공간지능). 이는 형태의 추리, 심상의 형성과 회전과 관계가 있다. 또한, 막대한 양의 정보를 기억할 때 심상을 이용하여 저장하는 기억술에 대하여서는 잘 알려져 있다. 이러한 기능은 우반구에 속한 영역에서 주로 수행되어진다. 음악지능은 연주를 하거나 음악적 양식을 이해하고 작곡하는 기술들을 수반한다. 이 음악지능은 그 특성상 언어지능과 구조가 거의 비슷하나 우반구에 주로 국재화되어 있다. 이렇게 우리의 뇌의 부분 부분이 각기 상이한 기능을 하면서 전체적으로 조화를 이루어 나간다. 좋은 음악을 듣고 음악적 소양을 닦음으로서 우반구의 기능을 활발히 할 수 있으며, 이는 공간 지능 등을 활성화 시키는데 도움이 될 수 있을 것으로 본다. 물

리에서는 머리로 심상을 그리며 사고하는 경우가 많이 있고, 많은 경우 직관이 필요하다. 음악이 이러한 능력을 배양시키는데 도움을 주지 않을까 생각해 본다.

#### 4. 물리와 음악을 통합한 영재 교육

앞서 보았듯이 우리의 뇌는 부분별로 각기 다른 기능을 하는 것으로 보이며, 과학적 능력은 한 쪽 뇌의 발달로만 이루어지는 것이 아닌 양 쪽 뇌의 조화로운 발달이 중요하다. 특히 우리나라 학생들은 형태인지, 심상의 사용 등이 매우 취약하다. 이 능력을 배양시키려면 우반구를 활성화시키도록 하여야 한다. 공간지능과 음악지능은 뇌의 활성화 영역이 차이가 있어 이러한 논리가 무리가 있다고 볼 수 있지만, 음악이 좋은 도구가 될 수도 있다고 본다. 무엇보다도 특히 물리에서 천재성이라고 말하는 직관력은 사물에 대한 종합적인 판단을 행하여 얻는 것을 말하며, 이를 키우는데 감성적 훈련이 필요하다고 생각한다.

#### 참고 문헌

1. 박찬웅, 악기의 음과 스펙트럼 분석, 경원대학교 논문집 제 16 집, 231, 1997
2. 박찬웅, 관악기의 음 특성 분석, 경원대학교 자연과학연구소 논문집, 제 5 집, 29, 1999
3. L. Kinsler, A. Frey, A. Coppens and J. Saunders, Fundamentals of Acoustics, 3rd ed., John Wiley & Sons, 1982
4. T. Rossing, The Science of Sound, 2nd ed., Addison-Wiley, 1990
5. H. Gardner, Intelligence Reframed, Basic Books, 1999
6. 장현갑, 생물심리학, 민음사, 1995
7. J. W. Kalat, Biological Psychology, 6th ed., International Thomson Publishing, 1999
8. John Robert Anderson, Cognitive Psychology and Its Implication, 4th ed., W.H. Freeman and Company, 1995