

전자음향의 시각화에 관한 연구

†황지영, ††김준

요약

새로운 소리를 창조하는 전자음향의 기보는 오선 위에 나타내는 경우도 있지만 일반적으로 그래픽으로 나타내며 작곡가에 따라서 자기 특유의 기보법을 쓰기도 한다.

본 논문에서는 전자음향을 기보하는데 있어 작곡자 외에 악기 연주자가 좀 더 쉽게 인지 할 수 있고, 좀 더 객관화 된 표기를 연구함으로써 음악 전공자가 아닌 일반인들도 전자음향 기보를 조금 더 쉽게 이해하고 재현 할 수 있는 전자음향 기보법을 만들기 위한 기초 연구를 하고자 한다. 또한 단순히 연주를 위한 악보에 그치는 것이 아닌 악보를 영상 이미지로 활용할 수 있는 사운드의 시각화(sound visualization)에 관해서도 연구해 보고자 한다.

Study on the visualization of electronic sound

†Jeeyoung Hwang, ††Jun Kim

Abstract

The electronic sound notations for finding sound materials can be expressed above by staffs but usually are expressed by graphics and each composer usually has their unique music notation system. The purpose of this thesis is to standardize the electronic sound notation system so that not on the composer but others such as instrument players and further more non-music majors can easily

● 교신저자 : 김준, 주소 : 서울시 중구 필동 3가 26번지 동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과, Tel : 02-2260-3264, E-mail : music@dongguk.edu
접수일 : 2011년 5월 31일, 심사일 : 2011년 7월 19일, 완료일 : 2011년 8월 2일
†동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과(computermusic@dongguk.edu), ††동국대학교 영상대학원 멀티미디어학과(music@dongguk.edu)

understand and recompose the electronic sound. Thus furthering the study from simple recital scores to sound visualization where scores can be used as video images.

Key words : Electronic sound notation(전자음향기보법), Sound visualization(사운드 시각화), Synesthesia(공감각)

I. 서론

일반적으로 음악에서 사용되고 있는 서양 기보법(오선 기보법)은 음의 높이와 길이 같은 소리의 일부 특성을 중심으로 나타내는 서양 음악적 개념에 맞추어진 것이기 때문에 이 같은 기보법은 음색, 강세, 공간 같은 특성들에 대해서는 부정확하게 나타낼 수 있다. 실제로 음악 창작과 기보법은 서로서로 영향을 주고받게 되는데 그 상호작용과 긴장관계로 인해 악보의 기보 방식도 변하게 된다.

20세기 초부터 몇몇 작곡가들은 전통음악에서 사용되지 않는 소리 재료들을 그들의 어휘에 통합시키기를 원했고 최근 30년간 전자 음향적 기술이 발전하고 많은 작곡가들이 전자음악 혹은 전자음향의 작품들을 작곡하고 있지만 아직 체계화된 기보법이 만들어져 있지 않으며 작곡가들마다 자기 자신만의 기보법으로 표기하고 있어 대부분의 악보들은 그것을 똑같이 재생산하거나 악보를 보며 음악을 이해하는데 매우 어렵다는 문제점이 있다.

새로운 소리를 창조하는 전자음향의 기보는 오선 위에 나타내는 경우도 있지만 일반적으로 그래픽으로 나타내며 작곡자에 따라서 자기 특유의 기보법을 쓰기도 한다. 최근에는 전통악기와 함께 전자음향을 혼합하여 작곡을 하는 경향이 많이 있으며 이런 경우 특히 악기와 전자음향으로 이루어진 테이프 사운드 간의 시간의 일치(synchronization)에 정확성을 기하기 위해 시간 진행을 정확하게 표기해야 한다. 이렇듯 전자음향에 관한 연구와 다양한 작품이 제작되고 연주되는데 반해 전자음악 또는 전자음향에 대한 기보 체계는 아직 객관화되지 않았고 또한 작곡기법에 있어서도 주관적이거나 새로운 기법들이 계속 연구되어짐으로써 기보법의 표준화나 객관화를 시키는 것이 쉽지 않은 것이 사실이다.

본 논문에서는 전자음향을 기보하는데 있어 작곡자 외에 악기 연주자가 좀 더 쉽게 인지 할 수 있고, 좀 더 객관화 된 표기를 연구함으로써 음악 전공자가 아닌 일반인들도 전자음향 기보를 조금 더 쉽게 이해하고 재현 할 수 있는 전자음향 기보법을 만들기 위한 기초 연구와 단순히 연주를 위한 악보가 아닌 악보를 영상 이미지로 활용할 수 있는 사운드의 시각화에 관해 연구해 보고자 한다.

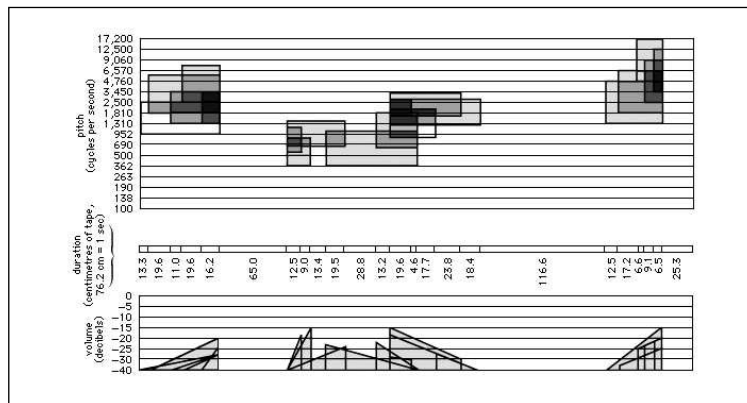
II. 기보법 연구

2.1 기보법의 역사와 종류

기보법은 고대 그리스의 글자악보를 시작으로 9세기경 그레고리안 성가를 기록하기 위해 수도원에서 사용한 네우마(neume)기보법과 11세기경 <귀도 다레조>(Guido D'Arezzo 991/992-1050)에 의해 고안된 보표선(staff)과 음자리표(clef)가 사용된 보표 기보법, 12세기말 13세기 초 다성음악의 발전에 의해 각성부의 정확한 움직임을 정확하게 알 수 있고 음길이를 세분화 할 수 있는 모드 기보법(modal notation), 13, 14세기에 이르러 개개의 음길이를 명시하는 정량 기보법(mensural notation), 프랑코 기보법 등 다양한 기보법이 발전되어 현재까지 사용되는 오선 기보법에 이르게 되었다. 또한 강약의 기호는 17세기 이후에 세계, 여러개, 점점 세계, 점점 여러개 등 생략 부호를 사용하였고 낭만시대에 이르러서야 강약, 악센트, 아티쿨레이션 등에 대한 기보가 섬세해지며 확대되었다. 이렇듯 음악의 기보법은 시대의 흐름에 따라 필요에 의해 계속 발전되고 변화되어 왔다. 20세기 중반 이후 음악을 재해석 하려는 움직임이 음악계에서 나타나기 시작하고 현대음악의 창작과 연주가 활발해지면서 음악가들의 실험적이고 다양한 흥미가 독특한 표현 방법으로 나타났다. 그러한 움직임은 악기의 특수주법을 개발하고 획기적인 음향을 도입하였으며 새로운 악기를 출현시켰고 타악기가 크게 자리 잡았으며 이 시기의 음악은 작곡법과 기보법에서의 새로운 변화를 요구하였다.

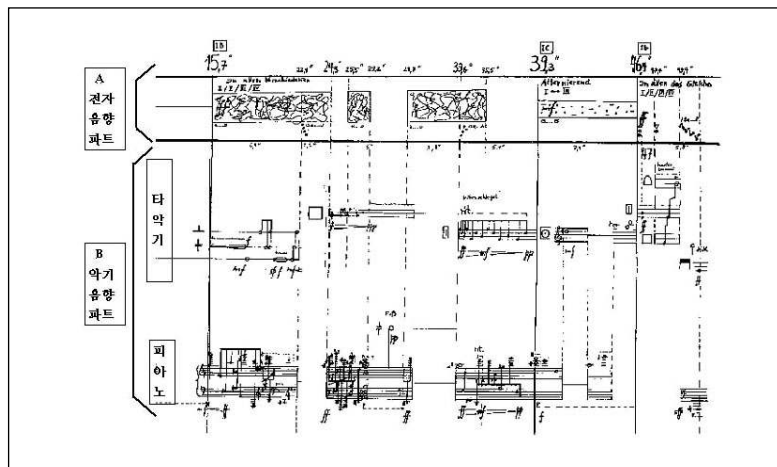
2.2 전자음악 작곡가들의 기보법

<바레즈>(Edgar Varèse, 1883-1965)는 음악을 소리 구성이라고 정의하였고 <케이지>(John Cage, 1912-1992)는 확률, 우연성, 불확정성 등의 개념을 음악에 적용했을 뿐만 아니라 침묵까지 음악의 구성 요소로 포함시켰다. 전통적인 기보법에서는 이러한 새로운 사상-우연성, 즉흥연주, 클러스터, 소음 등-을 전부 표기하는 것이 불가능하다. 그러므로 새로운 기보법의 시도가 특별한 의미를 갖게 되고 도표나 문장에 의한 지시, 도형 악보 등 다양한 형태의 기보법이 나타나기 시작했다. 전자음악 악보 중 최초로 완성된 것은 <슈톡하우젠>(Karlheinz Stockhausen, 1928-2007)의 『studie II (1954)』였다. 이 악보는 위-아래 두 부분으로 나뉘고 상단의 경우 세로축은 주파수를, 가로축은 시간을 나타내며 하단의 경우 음량값을 나타낸다. [그림 1]



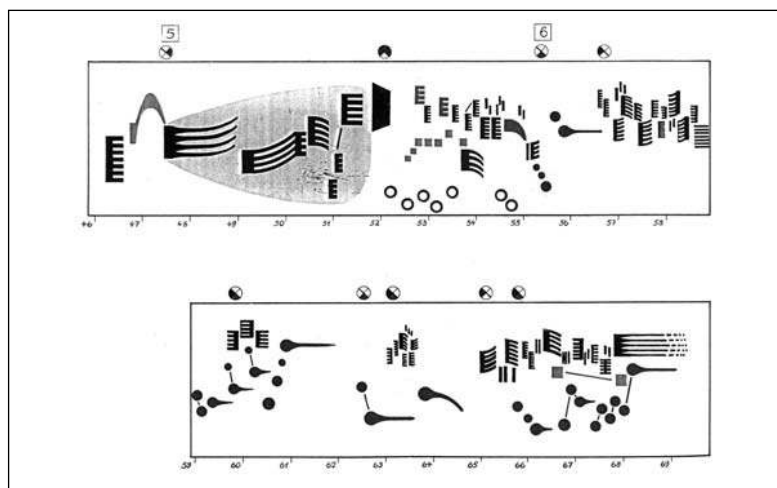
[그림 1] 슈톡하우젠 Studie II (1954)

〈슈톡하우젠〉, 〈리게티〉(Gyorgy Ligeti, 1923-2006) 등은 음악적 정보를 효과적으로 나타내기 위해 그래픽 기보법을 사용하였다. 마그네틱 테이프로 된 전자적 생산물을 사후적으로 그래픽으로 옮기는 작업은 테이프를 틀어놓고 거기에 맞추어 연주하는 혼합음악의 경우에 반드시 필요한 것으로 〈슈톡하우젠〉의 『Kontakte (1960)』가 그 예이다. 피아니스트와 타악기 연주자는 그래픽으로 된 도식 악보를 따라 전자음향에 맞추어 연주한다. 거기에는 각 연주자가 들어가야 할 부분이 초단위의 시간에 따라 공간적 혹은 비율적으로 적혀있다. [그림 2]



[그림 2] 슈톡하우젠 Kontakte (1960)

〈케이지〉, 〈브라운〉, 〈리게티〉 등은 좀 더 추상적이고 개념적인 의미를 전달하고자 했으며 작곡가와 청중의 관계성을 재설정하려는 시도로 우연성을 악보에 담아내려고 하였다. [그림 3]



[그림 3] 리게티 Artikulation (1958)

다양한 형태의 그래픽 악보가 등장한 중요한 이유는 새로운 음악에 사용된 사운드 효과, 악기, 장비 등을 나타낼 심볼형 언어가 필요했기 때문이라고 볼 수 있다. 또한 새로운 음악의 작곡가들은 전통적인 악보가 가진 정보 전달의 기능뿐만 아니라 듣는 사람들에게 자유로운 해석의 여지를 주고자 했기 때문이다. 이러한 움직임은 미술계에서도 나타났는데 <클레>(Paul Klee, 1879-1940), <칸딘스키>(Wassily Kandinsky, 1866-1944), <노이게보렌>(Heinrich Neugeboren, 1901-1959)과 같은 바우하우스(Bauhaus)의 예술가들은 새로운 형태의 기보법에 관심을 가지고 음악을 시각화하는 실험을 전개하였고 1950년경에는 <스트뤼빈>(Robert Strubin, 1897-1965), <베로네시>(Lugi Veronesi, 1908-1998), <웨더>(Jacob Weder, 1906-1990) 등이 체계적인 색-소리 변환법을 만들기 위한 연구를 진행하기도 하였다.

III. 사운드 시각화

3.1 사운드 요소와 색상 요소의 상관관계

<뉴턴>(Isaac Newton, 1643-1727)은 빛의 스펙트럼에 대하여 실험하였고, 『Opticks, (1704)』에서 스펙트럼의 기초적인 순서인 빨강, 주황, 노랑, 초록, 파랑, 남색, 보라를 C, D, E, F, G, A, B까지의 음의 순서와 동등하게 연결하여 생각했다. 프랑스 수도사 <카스텔>(Louis Bertrand Castel, 1688-1757)은 파란색이 C(도)와 유사하다는 것을 믿었고, 시각을 위한 하프시코드(Harpsichord for eyes)인 '시각 클라브생'(Clavecin Oculaire)을 만들었다. <스크리아빈>(Alexander Scriabin, 1872-1915)은 공감각자는 아니었지만 그의 작품『Prometheus (1911)』에서 공감각적인 모티브가 발견된다. 또한 C, D, E, F, G, A, B를 가시광선 스펙트럼의 빨강, 주황, 노랑, 초록, 파랑, 남색, 보라에 맞춰 대입시킨 학자들이 많았다.

3.2 공감각에서의 사운드 시각화

심리학자인 <카르보스>(Theodore F. Karwoski), <오드버트>(Henry S. Odbert)는 『Color-music(1938)』이라는 공동논문에서 음악을 들을 때의 색채반응을 연구했는데 60%이상의 학생이 색채를 경험하고 39%는 색을 볼 수 있으며 31%는 색채반응을 느꼈다고 했다. 또 색채 공감각인 색청(color hearing)에 관하여 느린 음악은 일반적으로 파란색을 연상시키고 빠른 음악은 빨간색을 연상시키며 높은 음색은 밝은 색, 낮은 음색은 어두운 색을 연상시킬 뿐만 아니라 색상과 함께 모양도 포함하고 있다는 결론을 내리기도 하였다. 또한 심리학자 <카츠>(David Katz, 1884-1953)는 색채가 형태보다 감정에 더욱 관련이 있으며 형태가 소박하면 할수록 그만큼 감정과의 결부는 더욱 긴밀해 진다고 하였다.

1931년 <짜이즈>는 "낮은 소리 또는 높은 소리를 들으면서 여러 가지 색으로 된 조그만 조각들을 보게 될

경우 귀에 들리는 소리가 낮은 음이면 눈에 보이는 색이 어두운 쪽으로 이동하는 경향이 있고 높은 음이면 밝은 색 쪽으로 이동하는 경향이 있다. 따라서 낮은 소리는 빨간색을 노랗게 또는 주황색을 띤 것처럼 보이게 하는 효과가 있다”고 하여 청각과 시각을 직접적으로 연관시키기도 하였다.

공감각과 관련된 예술가들이 느끼는 색청을 살펴보면 플루트의 경우에는 공통적으로 하늘색을 느끼고 바순은 갈색, 트럼펫은 황색 계열, 바이올린은 적색계열, 첼로는 청색계열을 느낀다고 한다. 또 많은 예술가들이 공감각을 이용한 작품을 만들었는데 <칸딘스키>의 경우 <쇤베르크>(Arnold Schonberg, 1874-1951)와 함께 많은 작업을 하면서 『인상 III』 등 본인이 느끼는 색청에 의한 미술 작품들을 다수 제작하기도 했다. [표 1].

[표 1] 악기별 색청의 비교표

	플루트	바순	트럼펫	바이올린	첼로
칸딘스키 (Kandinsky)	하늘색	적보라/ 갈색	황색	밝은 적색	어두운 청색
라비냐크 (Lavignac)	하늘색	어두운 갈색	주황	적갈색	어두운 청색
림스키코르사코프 (Rimsky Korsakov)	찬음색	조소적, 슬픈	명량한 음색	광채	부드러우며 탁한 음색

IV. 새로운 기보법을 위한 연구과제 제시 및 결론

4.1 음악의 각 요소를 어떤 시각적 요소로 결합 할 것인가

전자음향의 기보를 위해서는 사운드와 이미지(점, 선, 형태 등)의 적절한 조합을 찾아내고 더 나아가 악기 음색과 색채에 관한 연구가 필요하다.

4.1.1 가시광 파장에 의한 색과 사운드의 주파수를 대입

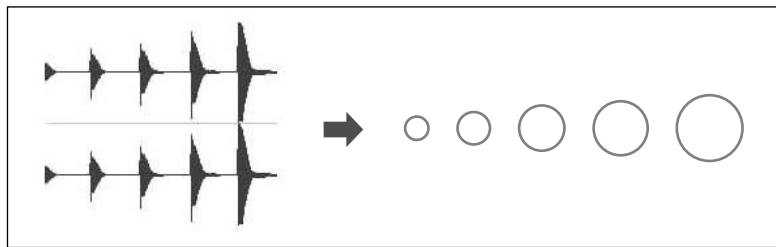
세상에 존재하는 색상의 종류는 우리가 볼 수 있는 빛의 영역인 가시광의 파장 영역에 의해 결정된다. 가시광의 파장 영역은 380-770nm로서, 각 파장은 고유한 색상을 가진다. 가시광의 영역과 사운드의 주파수에는 상당한 차이가 있지만 가시광 파장 색을 사운드의 주파수에 대입할 수 있으며 명도나 채도 등을 이용해 옥타브나 화음, 음색에 대응 시킬 수 있다.

이러한 주파수들의 흐름을 나타내는 선율은 선의 형태로 표현이 가능한데 이것은 길이와 위치를 나타낼 수 있고 방향성과 운동성을 표출하는데 용이하다.

4.1.2 선의 굵기나 형태의 크기로 음량값을 표현

음량값을 이미지나 색으로 표현하기 위한 기초 실험으로 리서치를 통한 두 가지 실험을 하였다. 실험 대

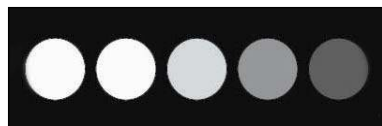
상은 음악전공자 40명을 대상으로 이루어졌다. 첫 번째는 음의 세기와 형태의 사이즈에 관한 실험으로 일반적으로 음량값이 커질수록 선이 굵어지거나 형태의 사이즈가 커져야 자연스럽게 인지하는 것으로 나타났다. 실제로 점차적으로 커지는 사운드와 크기가 점진적으로 변화하는 이미지를 대입시키는 실험에서 거의 대부분의 사람들이 사운드가 커질수록 이미지의 사이즈도 커지는 것을 선택하였다. [그림 4]



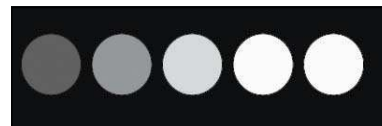
[그림 4] 음량값의 변화에 따른 이미지 변화

음의 세기가 강할 때 느껴지는 색감은 가깝고 강렬하고 짙고 거대하며 음의 세기가 약할 때는 색이 옅고 흐릿하고 멀리 있는 것처럼 느껴진다.

두 번째 실험은 음의 세기에 명도의 차를 대입하는 실험으로 음의 세기와 명도의 변화에 관해 실험하였다. 점차적으로 커지는 사운드에 명도가 점차 낮아지는 이미지와 반대로 명도가 점차 높아지는 이미지를 대입해보는 실험으로 이 실험에서는 70%(28명)가 음의 세기가 커질수록 명도가 높아지는 이미지를 선택 [그림 6]하였고 30%(12명)가 음의 세기가 커질수록 명도가 낮아지는 이미지를 선택[그림 5]하는 결과가 나타났다.



[그림 5] 높은 명도에서 낮은 명도



[그림 6] 낮은 명도에서 높은 명도

하지만 앞의 실험에서 바탕색을 흰색으로 바꾸어 실시한 실험에서는 55%(22명)가 명도가 점차 높아지는 이미지를, 45%(18명)가 명도가 점차 낮아지는 이미지를 선택하는 결과가 나타났다. 이러한 결과를 볼 때 음량값과 명도를 대입하는데 있어 악보나 영상의 바탕색과 기보된 기호들의 색상대비에 따른 적절한 변화도 필요하다고 보여진다.

4.1.3 음의 길이 표현

일반적으로 음의 길이를 위한 시간의 흐름 표시는 일반적인 음악의 단위인 M:B:T(마디 : 박 : 틱)로 표기하는 방법과 SMPTE Time Code(시간 : 분 : 초 : 프레임)로 표기하는 경우가 있는데 보통의 악기 연주자들은 M:B:T 등이 표시된 마디 단위로 표기된 것을 선호하는 경향을 보인다. 두 가지 경우 모두 정확한 시간의 일치(synchronization)를 위해서는 연주자가 곡을 완벽하게 인지하여 연주하거나 초시계, 클릭 사운

드 등을 이용해야 하는데 클릭 사운드를 이용하는 경우에는 실제 연주시 테이프 사운드의 음량값이 클 때 클릭 소리가 잘 안 들리거나 클릭 사운드를 너무 키울 경우 소리가 밖으로 새어 나오는 문제점이 있다. 초 시계를 이용하는 경우에는 In/Out 시점을 정확하게 알 수 있으나 연주자가 템포를 잘 맞추어야 하며 악보와 시계를 동시에 봐야 하는데서 발생하는 문제점을 해결해 주어야 한다.

4.2 한 작품에서 다양한 형태로 변화하는 기보 방법

전자음향에 관한 지식이 없는 일반인을 대상으로 전자음향 요소의 변화에 따른 민감도에 관한 실험을 하였다. 이 실험은 1분정도 길이의 전자음향 작품과 함께 전자음향의 음량값의 변화를 기보한 악보, 음색의 변화를 기보한 악보, 주파수의 변화를 기보한 악보 세 가지를 주었을 때 어떤 악보가 가장 인지하기 쉬운 악보인가를 선택하는 것이다. 실험의 결과는 주파수의 변화에 따른 악보에 비해 음량값과 음색의 변화에 따른 악보를 선택한 경우가 많아 주파수의 변화에 비해 음량값과 음색의 변화에 조금 더 민감한 것으로 나타났다. [표 2]

[표 2] 전자음향 요소의 변화에 따른 민감도 결과

악보 종류	음량값의 변화를 기보한 악보	음색의 변화를 기보한 악보	주파수의 변화를 기보한 악보
선택한 사람 수	16명	16명	8명

도입부의 경우에는 음량값이나 주파수의 높낮이의 변화에 조금 더 민감하며 곡이 진행됨에 따라 점차 음색의 변화에 민감해 지는 것도 알 수 있었다.

또한 실제로 실험에 사용된 전자음향을 듣고 그래픽 형태의 악보로 자유롭게 표현해 보도록 지시한 실험의 결과에서도 직선이나 점, 원형 등의 이미지를 이용해 음색과 음량값의 변화를 함께 표현한 경우가 가장 많았고 그 다음이 음색과 주파수 변화를 표현한 경우, 주파수와 음량값의 변화를 표현한 경우 순으로 나타났다. 이 실험의 결과를 보면 곡의 위치와 작품의 형태에 따라 더 민감하게 인지되는 요소가 다르게 나타나므로 어느 한 가지 요소만으로 이루어진 기보만으로는 정확한 악보를 만들 수 없다는 것을 알 수 있다. 전자음향의 경우는 정확한 음높이를 인지할 수 없거나 클러스터 등의 음군의 형태로 나타나는 경우, 응집된 사운드가 미묘한 변화를 보이며 길게 지속되는 형태 등이 나타나는 경우가 많아 일반적인 기보법으로 일률적으로 표현을 할 경우 연주자나 음악을 감상하는 사람이 악보를 놓치게 되는 경우가 많다. 이러한 요소를 보완하기 위해서는 사운드의 종류에 따라 부각되는 요소를 기보에 달리 적용하는 것이 방법이다. 예를 들어 템포가 빠르거나 사운드의 변화가 많은 경우, 스타카토처럼 끊어지며 연주가 되거나 도약이 많은 형태에서는 리듬이나 사운드의 방향성을 쉽게 인식할 수 있도록 사운드의 방향성을 기호나 text, 점으로 이용하는 방법이 좋다. 반면 템포가 느리거나 하나의 사운드가 길게 지속되는 경우에는 셈여림의 변화나 음높이의 변화에 중점을 두어 선의 형태를 이용하고 음색의 변화가 두드러지는 경우에는 색을 더해주면 효과적이다.

그러므로 하나의 작품에서도 각 부분에 따라 선율·리듬·음색 등 그 부분에서 가장 쉽게 인지되는 요소에 중점을 두어 기보에 변화를 주는 것이 좋다.

4.3 결론 및 앞으로의 연구과제

전자음향을 기보하기 위한 방법으로는 가시광의 주파수에 따른 색을 음높이에 대입하거나 음량값과 음색에 이미지의 크기, 색상의 명도나 채도를 대입하는 등 다양한 방법을 이용 할 수 있다. 음의 세기와 형태의 사이즈에 관한 실험에서는 일반적으로 음량값이 커질수록 선이 굵어지거나 형태의 사이즈가 커져야 자연스럽게 인지하는 것으로 나타났으며 음의 세기와 명도의 차를 대입하는 실험에서는 음의 세기가 커질수록 색의 명도가 높아지는 것을 자연스럽게 인지하는 것으로 나타났다. 또한 사운드를 들으며 가장 적합하게 생각되는 악보를 고르는 방식으로 실험한 전자음향 요소의 변화에 따른 민감도에 관한 실험에서는 주파수의 변화에 따른 악보에 비해 음량값과 음색의 변화에 따른 악보를 선택한 경우가 많았다. 그 외 실험에 사용된 전자음향을 듣고 그래픽 형태의 악보로 자유롭게 표현해 보도록 지시한 실험의 결과에서는 음색과 음량값의 변화를 함께 표현한 경우가 가장 많았고 그 다음이 음색과 주파수 변화를 표현한 경우, 주파수와 음량값의 변화를 표현한 경우 순으로 나타났다.

하지만 음량값과 명도가 변화하는 경우에는 바탕색과의 대비에 따라 인지의 차이가 나타나기도 하였으며 실험에 사용되는 샘플 사운드가 합성음인 경우와 악기음향일 때 느껴지는 명도의 차이에도 오차의 범위가 발생했다. 이렇듯 단순한 대입만으로는 자신만의 독특한 기법으로 만들어지는 전자음향을 위한 기보법을 표준화하는 것은 까다로운 일이다. 그러므로 앞으로 지속적인 연구와 좀 더 체계적이고 다양한 리서치를 통해 여러 가지 요소의 대입과 효과적인 혼합 방법으로 새로운 기보법을 표준화하고 객관화하는 작업이 필요하다.

앞으로의 연구를 통하여 전자음향과 악기가 함께 연주되는 형태의 작품에서 연주자가 전자음향 악보를 쉽게 인지하기 위해 필요한 다른 요소는 무엇인가, 같은 곡에서 음악의 흐름에 따라 악보 형태가 변화할 때의 효과는 무엇인가, 음악의 흐름에 따라 기보에 변화가 있는 경우와 그렇지 않은 경우의 악보 인지의 정확성의 차이는 무엇인가, 전공 악기에 따라 선호하는 형태의 악보가 차별화 되는가, 컬러와 텍스트를 이용했을 때의 효과는 무엇인가, 전자음향의 기보를 영상을 위해 시각화했을 때의 예술성과 효율성은 무엇인가에 관하여 알아보려고 한다.

참고문헌

- [1] 장 이브 보쇠르, 음악 기보법의 역사, 서울, 이앤비 플러스, 2010
- [2] Theresa Sauer, Notations 21, NY, MBP, 2009

- [3] Gerald Eskelin, DME, The sound of music: Perception and notation, U.S.A, 1998
- [4] Christina kubisch, Stromzeichnungen electrical drawings, Bonn, VG Bild-kunst, 2008
- [5] Michael Poast, Color Music: Visual Color Notation for Musical Expression, The MIT Press, Vol. 33, No. 3 (2000), pp. 215-221
- [6] John Evarts, The New Musical Notation: A Graphic Art, The MIT Press, Vol. 1, No. 4 (Oct. 1968), pp. 405-412
- [7] 김영식, 전자음악과 현대음악의 융합에 관한 연구 - 음향합성과 기보법을 중심으로, 음악평론, 제7·8집, 2008
- [8] 박은선, 현대 음악 작품의 기보법 연구, 한양대 석사, 1991
- [9] 오동희, 현대 음악에 나타난 새로운 기보법에 관한 연구, 경희대 석사, 1988
- [10] 서영인, 음악의 공감각적 시각화 표현 연구 - 황병기 가야금곡 <미궁>의 시각화를 중심으로, 한국디자인학회 학술발표대회 논문집 제41권 1호 pp. 204-205, 2004
- [11] 문영애, 재즈 이미지에 의해 형성된 공감각적 색채와 비례에 의한 복식조형, 연세대학교 대학원 석사학위논문, 1999
- [12] 전가영, 음과 색의 공감각적 표현, 이화여자대학교 대학원 미술학부, 2004
- [13] 김은하, 현대음악에서의 그래픽 기보에 관하여, 계간 낭만 음악 제12권 제1호 pp. 39-59, 1999
- [14] 김제창, 김순영, 전자·컴퓨터 음악의 이해, 서울, 장원출판, 1991
- [15] 최수환, 음악 정보 추출(MIR) 알고리즘을 활용한 사운드 시각화 연구, 한국예술종합학교 예술전문사과정 학위논문, 2010
- [16] 황지영, 음악의 시각화를 위한 악기음색과 색청의 공감각적 연구, 2003년도 디지털 아트 미디어 학술세미나 발표 자료집, pp. 9-18