

선율(note melody)과 화성(chord harmony)을 통한 인간 뇌의 음악 인식

— 사건관련전위(event-related potentials, ERP)실험의
결과물을 바탕으로 —

남정우·정원일·박명관·조의연*

【요약문】 우리가 일상을 통해 접하는 음악에 한 소리의 흐름을 음악적 혹은 비음악적인 것으로 들리도록 하는 형식적 요소가 포함되어 있으며, 우리는 그러한 형식적 요소를 인식함으로써 그로부터 유래하는 음악적 감정을 얻게 된다. 이러한 음악적 감정은 감상자가 소리 흐름에 내재하는 선율 및 화성에 의해 전개된 종지형식(cadent process)의 긴장-해소(tension-resolution)감을 느끼는 데에서 비롯된 것으로 간주되어 왔다. 우리는 화성적 종지형식을 ‘음악적 해소 패턴(musical resolution pattern)’이라고, 또 이러한 음악적 해소가 감상자의 뇌에서 벌어지는 일이라 가정하고, 그러한 음악적 해소가 벌어지는 시점의 뇌반응을 관찰함으로써 ‘음악의 인식(musical cognition)’이 무엇인지를 밝힐 수 있다고 생각한다. 이러한 전제를 기반으로 우리는 음악의 뇌반응에 대한 ERP 실험의 결과를 언어의 통사론의 형식성에 대한 연구 결과와 비교했고, 그 과정에서 음악에 있어서의 의미론적 형식성을 발견할 수 있었다. 우리 연구는 음악 작품의 선율과 화성을 음악적인 것과 비음악적인 것으로 구분 조작하고, 이로부터 음악적 인식이 어떻게 특정화될 수 있는지 ERP 실험을 통한 뇌신경반응 결과물을 추출하여 언어의 자료들과 비교함으로써 이루어졌다.

【주제어】 음악, 인식, 연장적 위계구조, 선율, 화성, ERP, N400, P600

* 주저자 : 남정우(순천향대학교)
교신저자 : 정원일(동국대학교)
공동저자 : 박명관(동국대학교)
공동저자 : 조의연(동국대학교)

1. 서론

우리 뇌의 청각 인식능력은 언어와 음악에 있어 동일한 형태로 작동하는 것으로 알려져 있다. 특히 이 두 영역의 인식은 명확히 ‘소리사건(sound event)’, 즉 소리의 역학적 흐름에 대한 인식이다. 최근에 다루어진 전기-신경생리학적 연구들은 언어 및 음악적 소리사건에 대한 청각적 인식에 있어서의 우리 뇌반응을 다양한 방식으로 제공해 주었는데, 우리는 여기서 이 두 영역의 형식적-구조적 계기(formal structural sequence)가 놀랍도록 일치하는 모습을 발견하게 된다(Patel et al. (1998)). 보다 정확하게 말하면 우리 뇌는 특정한 소리의 흐름을 일련의 형식적 구조, 즉 ‘연장적 위계구조(extensive or prolongational structure)’와 맞아떨어질 때에만 참된 언어 및 음악적 흐름으로 받아들인다. 일종의 주어-술어 구조로 여겨지는 의미 있는 소리 흐름 구간의 구조는 상응하는 소리 요소들이 결합됨으로써 형성되는 것으로, 그 요소들은 주어진 구조적 맥락에 적합한 것일 수도, 혹은 그렇지 않은 것일 수도 있다. 이것은 연장적 구조상 긴장에 대한 해소를 기대하는 ‘목표음 혹은 목표화음(target note or chord)’이 어떻게 조작되는가에 따라 그 소리흐름이 언어 혹은 음악으로 규정될 수도, 아닐 수도 있다는 것을 보여주는 것이다(Patel et al. (1998)).

보다 세부적으로 말하자면, 먼저 연장적 구조는 언어, 의식(儀式, ritual), 예술작품 등의 ‘의사소통 변위체계(communication trans-system)’인 ‘반복위계(recursive hierarchy)’를 지시하는 척도로 간주된다. 의사소통 체계의 이 같은 구조적 특성은 인식주관에 의해 환기되는 ‘예측’ 내지 ‘기대감’이라고 알려져 있으며, 일반적으로 의미 있는 (소리) 대상물이 가지고 있는 주어-술어의 관계에 의해 구성되는 것으로 생각된다. 음악에서도 이와 같은 구조는 일종의 규범 혹은 원칙이라고 할 수 있는데, 특히 서양 음악의 감상에서 일반적인 것으로 간주되고 있다(Tullmann et al. (2000)). 이에 우리는 언어와 음악의 소리사건 대상이 기대감에 들어맞을 때 의미 있는 것(meaningful)이라고 간주하며, 그렇지 않은 경우 그러한 사건 대상들은 소음으로 여긴다.

다시 말하면 소리 흐름 사건을 인식 가능한 대상으로 만들어주는 것은 언어와 음악의 연장적 구조이다. 음악의 경우 감상 주체는 선율 내지

화음이 진행되는 과정에서 예측하는 바가 있고, 그것은 긴장감의 해소가 되기를 바라는 기대감과 연관된다. 그리고 이러한 과정을 ‘음악적 긴장 지각(perception of musical tension)’이라고 부른다(Bigand et al. (1996, 1999); Steinbeis et al. (2006)). 인식 가능한 음악적 위계구조를 갖춘 ‘음악 작품 혹은 악구(musical work or phrase)’에는 순수 선율과 그 선율의 배후에 내재하는 화성적 진행구조가 있으며, 이에 따라서 종지에 의하여 해소 가능한 화성진행, 즉 일반적으로 한 작품 내지 악구의 구성에 의해 규정되는 연장적 구조를 갖추어지게 된다. 이에 관하여 다음과 같은 두 가지 점이 강조될 필요가 있다.

1) 소리의 흐름은 규칙에 의한 종지감(rule of cadence)에 의해 음악적으로 선율적인 연장구조를 갖춘 작품이 될 수 있다. 이때 종지감이란 악곡의 마지막 부분에서 곡의 구성에 맞는 가능음(possible notes)에 의해 구성된 느낌을 말한다. 모든 음악작품은 일반적으로 고유의 조성을 갖고 있고, 그 작품의 구성이 허용하는 음이 그 작품을 선율적인 음악으로 만들어준다. 이러한 음들을 ‘가능음’이라 부른다. 반면 한 악구 내지 작품이 ‘불가능음(avoid notes)’, 말하자면 그 곡의 구성이 허용하지 않는 음으로 끝나게 되면, 그 작품은 음악적으로 여겨지지 않는다. 이러한 특성은 언어에서 주어-술어의 통사론적 구조가 일치하는 형식적 조응(formal correspondence)에 따라 의미 있는 문장이 완성되는 것과 유사하다. 만약 종지와 조응이 적절히 이루어지지 않으면, 우리는 그것을 음악적 혹은 언어적이라고 부르지 않는다.

2) 음악작품들은 고유의 장식체계를 갖고 있는데, 이를 일컬어 화성이라 부른다. 음악작품은 화성적 구조를 통해 보다 복잡하고 논리적인 의미, 즉 이해 가능한 화성적 종지를 갖추게 되는데, 이것은 선율 진행의 확장된 것으로 여겨진다. 음악의 화성적 연장구조는 언어상의 특정한 구절을 그 형식적 조응을 통해 의미 있게 만들어주는 의미론적 구조와 유사하다. 그런데 음악작품의 화성 진행은 화성학적 틀에서 곡의 구성이 허용하는 규칙에 의해 규정된다. 서양음악의 작품들은 딸림화음에 뒤이어 나오는 으뜸화음만을 화성적으로 허용한다. 언어에 있어 주어-술어의 의미론적 조응 관계가 주어의 의미에 의해 제시된 기대예측의 긴장에 의해 규정되는 것과 마찬가지로, 악구상의 화성적 구조 역시 조성상의 화성진

행 규칙에 따라 결정된다. 이러한 규칙은 버금딸림화음(조성상의 제2음을 근음으로 하는 화음), 딸림화음(조성상의 제5음 근음으로 하는 화음), 그리고 으뜸화음(조성상의 제1음을 근음으로 하는 화음)의 순서로 화음이 진행될 때를 말한다. 이러한 화성 진행은 음악작품을 의미론적으로 이해 가능하게 만들어주며 기대예측의 긴장감을 해소시켜 준다.

음악에 관한 이러한 관점에 따라 우리 연구는 선율작품과 화성작품 각각을 의미 있는 자극과 그렇지 않은 자극으로 조작하였다. 그리고 실험 디자인을 만드는 과정에서 우리는 다음과 같은 연구 주제들을 선정했다.

- Q1. 선율로 이루어진 음악작품에서 기대하지 않은 음을 들었을 때 뇌의 ERP반응은 무엇인가?
- Q2. 화성이 덧붙여진 음악작품에서 기대하지 않은 화음을 들었을 때 뇌의 ERP반응은 무엇인가?
- Q3. 음악작품에서 어색한 선율과 화음에 대한 뇌의 ERP반응에서 공통점과 차이점은 무엇인가?

이에 따라 우리는 작곡된 작품들에 대한 신경 반응을 EEG를 통해 수집했고, 선율과 화성에 대한 우리 뇌의 반응에서 나타나는 유사성과 차이점을 이해하기 위해 ERP를 분석했다. 여기서 우리는 우리 뇌에서 벌어지는 음악 고유의 인식 과정상의 특성들을 확인할 수 있었다.

1) 선행연구 요약

앞에서 언급한 것처럼 우리 뇌는 연장적 위계구조를 의식함으로써 음악작품 내지 언어 문장의 끝부분에서 특정한 음악적, 언어적 요소들을 예감한다. 따라서 기존의 연구들은 음악의 마지막 음, 혹은 언어상의 술어에 있는 마지막 단어에 초점을 맞추었다. 음악에 있어 이 시간적인 지점에서 우리 뇌는 음악의 의미와 음악적임을 즉각적으로 지각하여 결정한다. 그래서 우리 연구는 뇌가 자극물에 대해 즉각적 신경반응을 추출하는데 매우 유용한 ERP 실험 패러다임을 선택했다(Brattico et al. (2010)). ERP 실험을 활용한 기존의 연구들은 P600이 음악과 언어 모두에서 대상

물이 기대감을 위배한 경우의 반응에서 나타난다고 보고하고 있다(Patel et al. (1998); Steinbeis et al. (2008)). 반면 음악에 대한 ERP 연구에서 긴장-해소의 종지감에 대한 뇌반응, 즉 의미 있는 음악작품에 대한 뇌반응은 두 개의 서로 다른 결과를 보고하고 있다. 즉 음악적 종지감에 대해서는 N500(Koelsch et al. (2000); Koelsch and Siebel (2005)) 과 N400 (Besson M et al. (1995))이 동시에 보고되어 있다.

1) 우리는 음악의 선율에 대한 최근의 연구들 중에서 다음의 것들을 주목했다.

먼저 EEG(뇌전도, electroencephalogram)를 기반으로 한 켈쉬와 엔츠키의 최근의 연구(2010)에서는 선율과 화성의 위배에 대한 ERP 반응이 각기 다르게 보고되었다. 해당 연구는 선율과 화성 진행이 모두 125ms의 시간대에서 전두엽 상의 부적 성향(negative deflection at frontal sites around 125 ms)을 보여주었지만, 화성진행의 경우에는 약 180ms에서 늦은 반응, 즉 이른 우측두엽 부적 성향(the early right anterior negativity, ERAN)을 보고했다. 이 연구는 계속해서 예측되지 않은 선율 요소, 그리고 화성 진행에 포함된 선율 요소들 역시 화성적 위배에 비해 앞선 결과들을 불러일으킨다는 점을 보고했는데, 그것은 앞서 발견된 결과물들, 즉 예측된 음과 예측되지 않은 음이 모두 100ms에서 부적 최저점 (N1)을 보여주며, 특히 예측되지 않은 음에서는 부적 성향이 더 연장된다는 점을 보고하고 있다(Pearce et al. (2010)). 자기장뇌파검사(magnetoencephalogram, MEG)를 이용한 다른 연구에서는 예측하지 않은 음에 대한 반응으로서 이른 부적 성향이 나타나기도 했다(Herholz et al. (2008); Yasui et al. (2009)). 한편 화성규칙이 위배된 때에는 늦은 반응들, 가령 P600과 N500 등과 같은 통합과정에서 나타나는 반응들이 보고되었다(Koelsch et al. (2005); Patel et al.(1998)).

하지만 무엇보다 카루스(Carrus et al., 2013)의 연구는 언어와 음악을 결합한 위배 자극물들이 언어상의 통사론 및 의미론상의 부조화에 대한 신경 반응과 유사한 결과물들을 보여주었다. 그러한 결과물들은 언어의 통사적 위배가 나타날 때 LAN 진폭이 줄어드는 것을 보여주는데, 이것은 음악에 있어 조음성이 높은 음이 나타날 때에 비해 조음성이 낮은 음이 제시될 때 일어나는 진폭의 변화와 유사하다. 이것은 언어와 음악의 인지

과정에서 벌어지는 신경반응이 얼마만큼 유사한지를 보여주는 매우 중요한 발견이다. 그리고 여기에는 또한 선율적 예측에 대한 기계적 조작에서는 발견할 수 없는 선율 진행에 대한 새로운 증거들이 포함되어 있다.

하지만 카루스의 연구와는 달리 우리의 연구는 언어-음악의 결합된 위배 자극물 패러다임을 채용하지 않고, 언어와 음악이 각기 독립적으로 주어질 때 나타나는 분리 위배 자극물 패러다임을 채용했다. 말하자면, 우리는 피실험자들에게 언어의 조화/부조화, 음악의 중지/비중지 자극물들을 각기 독립적으로 제시하는 실험을 펼쳤다. 우리가 이용한 패러다임은 언어와 음악의 개별 결과물들을 비교 검토할 수 있으며, 언어 음악의 상호혼재에서 벌어지는 부수효과를 최소화할 수 있는 것이라고 할 수 있다.

2) 음악의 화성에 대한 선행 연구들에 있어서는 다음의 것들을 주목했다.

화성적으로 조화롭지 않은 화음이 제시될 때에는 두 가지의 ERP 결과반응이 보고되었는데, 하나는 600ms 경에 일어나는 양적 성향이고, 다른 하나는 500ms 경에 일어나는 부적 성향이다. 심리언어학계의 연구에서 잘 알려진 것처럼 이 두 ERP 결과반응은 매우 유사한데, 가령 통사적으로 예측되지 않은 단어가 제시되었을 때 600ms 어간에 벌어지는 양적 성향 (예를 들어, The horse ran past the barn *fell); 그리고 의미론적으로 예측되지 않은 단어가 제시되었을 때 400ms 경에 나타나는 부적 성향 (예를 들어, The man bettered his bread with his *socks). 언어와 음악에서 공히 벌어지는 이러한 반응들의 유사성은 우리가 언어적 통사론과 의미론적인 뇌반응 과정을 비교하는 아이디어로 이끌어 주었다. 하지만 이러한 ERP 결과반응들에서 우리는 음악의 화성상의 부조화에 해당하는 설명을 이끌어낼 만한 만족스러운 결과물을 얻어낼 수는 없었다.

한편 파텔의 1998년 연구의 결론을 보면 늦은 양적 성향 P600이 조화로운 화음 보다 부조화로운 화음이 출현했을 때 음악을 훈련받은 피실험자들에게 더 잘 나타났다. 파텔의 연구에서 사용된 부조화 화음은 조화로운 화성진행에 포함되어 있는 것이었는데, 이것은 다시금 원래의 조성으로 되돌아가 ‘화성적인 해소’의 진행으로 편곡된 것이었다. P600이라 불리는 이러한 결과는 관계절상에서 만들어진 통사적 위배 때문에 통사구조에서 적절해 보이지 않는 단어가 주어졌을 때 나타나는 P600의 결과와

통계적으로 구분되지 않는다. (가령, ‘Some of the senators promoted endorsed.’에서 ‘endorsed’) (Patel et al. (1998)) 따라서 언어에서 통사적으로 잘못 제시된 단어에 의해 유발된 P600의 유사성들은 언어적 통사 및 음악적 화성의 과정에 포함된 인식 메카니즘에서도 일치하는 특성으로 파악할 수 있을 것이다.

보다 최근에는 N500에 관한 결과들도 보고되었는데, 그것은 켈쉬의 2011년 연구로 음악적 의미론을 조망한 것인데, 화성적 부조화 과정에 대한 주요 연구로 널리 받아들여지고 있다. 이 연구의 결과는 부적절한 화음이 주어진 후 380ms 혹은 400ms에서 부적 성향이 유발되고 550ms 혹은 570ms에서 최저점을 기록한다고 보고하고 있다(Koelsch et al. (2005); Koelsch et al. (2003)). 이러한 반응결과는 부조화 화음이 악곡 자극물의 맨 끝에 제시되는 경우 화성적 조화 반응으로 반복해서 보고되었다(Koelsch et al. (2005); Jentschke et al (2005)). 연속체 자극물의 맨 뒤에 등장하는 부조화는 소리의 연속이 여전히 끝나지 않은 채(unfinished)인 것으로 혹은 “화성적으로 해소되지 않은 채”인 것으로 여겨지며, 이것은 어른과 아이를 막론하고, 음악을 훈련받지 않은 감상자들에게도 마찬가지로의 “해소되지 않은” 느낌으로 지각된다.(Jentschke et al. (2005)).

이러한 최근의 선행 연구들에 기초하여 음악 자극물을 제작하는 데 있어 우리는 언어상 의미론적/통사론적으로 수용할 만한(조응적인)/수용할 수 없는(비조응적인) 자극물을 각각 제작하는 것처럼 수용할 만한 작품(종지감이 있는 작품, acceptable/ key following)과 수용할 수 없는 작품(종지감이 없는 작품, unacceptable/ key breaking)으로 나누어 제작했다. 일반적으로 언어에 있어 문장상의 수용가능성은 그 문장 구성 요소들 사이의 배열 내지 조응성에 의해 결정된다. 만약 문장상의 배열이나 조응이 적절치 못하면, 귀결된 문장은 위배(violation)가 일어나 것이 된다. 반면 음악에서 음악작품의 수용가능성은 조성에 의해 규정된 종지 형식에 맞추어 화성 내지 선율 진행이 이루어졌는가에 따라 결정된다. 만약 선율이나 화성 진행이 조성의 규정을 따르게 되면 그 작품은 종지감을 갖는 음악적 작품이 된다. 이와 같은 일반적인 이론들에 따라 우리는 종지를 갖춘 것과 그렇지 않은 것으로 8마디짜리 짧은 작품들을 조작하여 각각 제작했다.

2. ERP 실험

1) 참여자

실험에 참여한 피실험자들은 17명(남성: 9명, 19-26세의 범위)의 한국인 대학생으로, 학교 교육에서 받은 음악 지식은 있지만, 음악에 관련한 특별교육을 받은 적은 없다. 또한 참여자들은 떠오르는 멜로디나 리듬을 악보에 옮겨 적을 수 있는 능력은 없었다. 참여자들은 정상적인 청각을 보유하고, 신경학적 증세는 없었다. 참여자들은 실험에 참여하는 동의서를 작성하였고 일정한 금액을 받았다.

2) 실험 자료

ERP 실험 연구를 위한 실험 자료는 [그림 1]과 같은 악구로, 각 실험이 조화와 위반의 두 조건으로 구성된 두 종류 실험을 형성하였다.

실험1의 두 조건은 각 악구의 종지가 채택한 음조를 유지하거나 위반하는 음표를 사용하여 각 조건당 30개씩 구성하였다. (A)의 조화로운 종지감에서는, 음조 순서가 조화롭게 구성된 악보의 마지막 종지 마디에 C장조로 구성하였다. (B)의 부조화로운 종지감에서는, 마지막 마디에서는 D장조로 음조 순서를 위반한 것으로 구성하였다.

실험2의 두 조건은 각 악구의 종지에서 선택된 음조가 화음적으로 조화롭거나 위반하는 화성을 사용하여 각 조건당 30개씩 구성하였다. (A)의 조화로운 종지감에서는, 마지막 마디에서 C장조의 화음이 조화로운 화성으로 구성하였다. (B)의 부조화로운 종지감에서는, 마지막 마디에서 G 3rd장조로 화성이 부조화로운 화음으로 구성하였다.

[그림 1] 실험 자료 구성 (분석 영역은 중지)

실험1: 선율(Melody)

(A) 조화 (✓MEL)



(B) 부조화 (*MEL)



실험2: 화성(Harmony)

(A) 조화 (✓HAR)

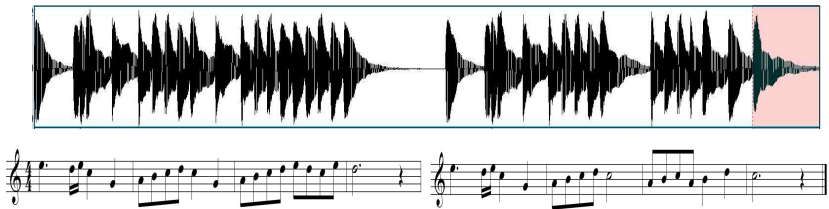


(B) 부조화 (*HAR)



작곡된 실험 자료들은 피아노곡으로 Finale 소프트웨어(음악연주 프로그램)를 이용하여 WAV 파일로 디지털로 녹음되었다. 조화로운 조건과 부조화 조건의 두 조건이 한 세트로 구성된 실험자극은 각각 녹음되었다. [그림 2]처럼 Praat 소프트웨어(Paul Boersma & David Weenink, 2013)를 사용하여 각 자극물은 분석지점인 종지 마디를 분리하여 스테레오 WAV 파일로 전환되었다(sampling rate of 44.1 kHz).

[그림2] 악보와 웨이브 폼

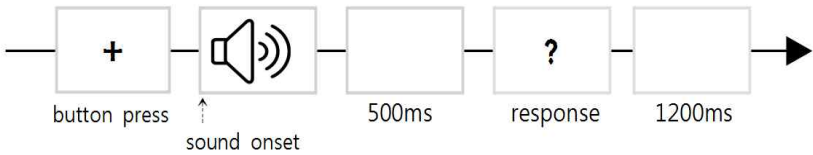


각각 실험에서 60세트의 목표 자료들은 라틴 스퀘어 디자인(Latin Square design) 방식에 의해 두 리스트로 나누어지고, 각 리스트는 각 조건당 30개씩 포함되고 방해자극물 60개가 포함된다. 120개의 자극물이 포함된 각 리스트는 3개의 하위 리스트로 나뉘어진다. 각 피험자는 두 리스트중 하나의 리스트 음악만 듣게 된다. 각 자극물은 피험자들이 목표 자극의 구조를 파악하지 못하게 무작위로 제시된다.

3) 실험 절차

피실험자는 헤드폰을 착용후 처음된 실험실의 편안한 의자에 앉아서, 각 자극물을 자신의 속도에 맞게 버튼을 누르면서 진행하는 방법을 듣는다. 각 자극물은 [그림 3]에서 보듯이 컴퓨터 모니터에 “+” 제시되면서 시작된다. 피험자는 버튼을 누른 후 E-prime(Psychology software tools Inc.)으로 제시되는 각 자극물을 듣는다. 각 자극물 후 500ms 후에 들었던 곡이 조화로운지 부조화로운지에 대한 반응을 “예” 또는 “아니오”의 버튼 박스를 누른다. 실험이 진행되면 피험자들은 8개의 자극물을 들으면서 연습 시간을 갖는다.

[그림 3] 실험 자극물 제시 절차



각 리스트는 40개의 자극물을 갖는 3개의 하위리스트로 분리되어 제시되며, 일정한 순서에 따른 효과의 가능성을 제거하기 위하여 피험자들에게 무작위 순서로 하위리스트를 제시한다. 피험자들은 하위리스트 간에 약간의 휴식시간을 갖으며, 실험진행은 약 30분정도 소요된다.

4) EEG 기록

EEG 신호는 32 Ag/AgCl 전극이 부착되어 있는 Quik cap(Neuroscan Inc.)을 통해서 기록되었다. 기준점(reference)으로 양쪽 유양돌기(mastoid)를 연결하고 중심선의 Fz, FCz, Cz, CPz, Pz, Oz과 편측성의 FP1/2, F3/4, F7/8, FC3/4, FT7/8, C3/4, T7/8, CP3/4, TP7/8, P3/4, P7/8, O1/2의 전극을 기록하였다. 눈의 움직임을 기록하기 위하여 VEOG로 왼쪽 눈의 위와 아래에 전극을 부착하고, HEOG로 양쪽 눈의 옆에 전극을 추가로 부착하였다. EEG와 EOG의 기록은 SynAmps2(Neuroscan Inc.) EEG 증폭기로 band-pass 0.3-100 Hz와 빈도 1,000Hz로 추출하였다. 저항값(impedance)은 5kΩ을 유지하였다.

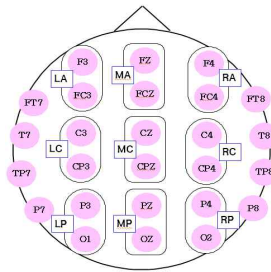
5) 데이터 분석

ERP 분석하기 전에 시각화 검사(visual screening)로 심한 눈 깜박이와 심한 전기적 잡음을 제거한다. 이 과정에서 일부가 제거되어 80.5%가 남았다. 시간폭(epoch)을 1,000ms로 하고 자극 제시 전 100ms를 기준선을 잡는다. 각 개인별 조건별로 평균화하는 작업은 30Hz의 저주파 통과 필터링(filtering)을 하였다.

통계적 분석에 있어서, 9개 영역의 관심 영역(regions of interest: ROIs)

으로 나누어서 반복 측정 분산분석(repeated measured ANOVA)으로 통계 값을 측정하였다. [그림 4]에서 보듯이, 각 영역은 2개의 전극으로 구성되었다. 좌전두 (left anterior(LA): F3, FC3), 전두중심선(anterior midline(MA): Fz, FCz), 우전두 (right anterior(RA): F4, FC4), 좌중앙 (left center(LC): C3, CP3), 중앙 중심선 (midline center(MC): CZ, CPZ), 우중앙 (right center(RC): C4, CP4), 좌후두 (left posterior(LP): P3, O1), 중앙후두선 (posterior midline(MP): PZ, OZ), 우후두(right posterior(RP): P4, O2).

[그림 4] 9개의 관심영역 (ROIs)



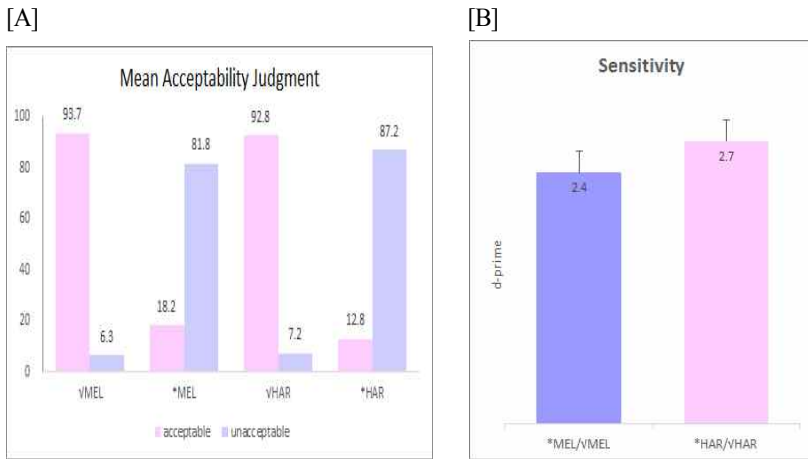
이 영역들은 통계분석에서 2개의 뇌지형 요인인 편측성 (laterality: left, midline, right)과 전-후 (anterior-posterior: anterior, central, posterior) 요인으로 곡 형태 (piece type)와 함께 피험자내의 요인으로 반복측정 변량분석 (repeated measures ANOVA)으로 분석된다. 즉 각 요인의 주효과, type*laterality, type*anterior-posterior, type*laterality*anterior-posterior의 상호작용으로 분석되었다. 모든 p-값(p-value)은 구형성 가정(Greenhouse and Geisser 1959)의 위반을 조절하기 위하여, Greenhouse-Geisser의 자유도를 기본 자유도로 보정하였다. 분석 중점 영역인 중지에서 N400 영역 시간 간격 (350-450 ms)과 P600 영역 시간 간격 (600-700 ms)의 전압 평균값으로 통계분석이 이루어졌다. 진폭의 차이 분석을 위하여 파형간의 차이를 추가 분석하였다. 각 실험의 각 관심영역에서의 진폭 차이 분석은 3.2.3에서 볼 수 있다.

3. 결과

1) ERP 실험에서의 수용성 판단

온라인으로 자극물이 제시되는 동안 피험자는 목표 자료를 듣고 수용성 판단을 한 결과는 [그림 5]에 제시되었다. 선율의 조화와 부조화를 포함한 실험 1에서는 조화로운 것으로 예측한 조건에서는 93.7%의 수용적 반응을 보였고, 부조화로 예측한 조건에서는 비수용적으로 81.8%로 응답하여 수용성에는 차이가 있음을 보였다, $F(1,18)=16.56$, $p=0.001$. 화성의 조화와 부조화를 포함한 실험 2에서는 조화로운 것으로 예측한 조건에서는 92.8%의 수용적 반응을 보였고, 부조화로 예측한 조건에서는 비수용적으로 87.2%로 반응을 보여 수용성에는 차이가 없음을 보였다, $p>0.1$.

[그림 5] (A) 평균 수용성 판단. (B) 부조화에 대한 민감도



부조화 조건에 대한 민감도를 측정하기 위하여 민감도 지표인 d' (d -prime)를 사용하였다. 위반 조건에 대한 재인율(hit)과 헛경보율(false alarm)은 [표 1]에서 볼 수 있다. 화성 위반에 대한 재인율이 선율보다 더 큰 반응을 보였다, $t(18)=2.4$, $p<0.05$. 헛경보율은 선율 조화와 화성 조화에 대한 헛경보율 사이에는 차이가 없음을 보였다, $t(18)=-0.6$, $p=0.55$. 선율 부조화 (*MEL)에서 위반 탐지에 대한 민감도는 유의미 하였고,

$d'=2.4$, $t(11)=10.7$, $p<0.001$), 화성 부조화 (*HAR)에 있어서도 민감도는 유의미하였다, $d'=2.7$, $t(12)=11.8$, $p<0.001$, ([그림 5B] 참조). 선율 조건보다 화성 조건에 대한 수행이 더 우수한 것으로 나타났다. $t(7)=2.85$, $p<0.05$.

[표 1] 부조화 조건에 대한 재인율(hit)과 헛경보율(false alarm)의 평균과 표준오차(SE)

violation	Hit rate (SE)	False alarm rate (SE)
*MEL	0.82 (0.03)	0.06 (0.02)
*HAR	0.87 (0.02)	0.07 (0.02)

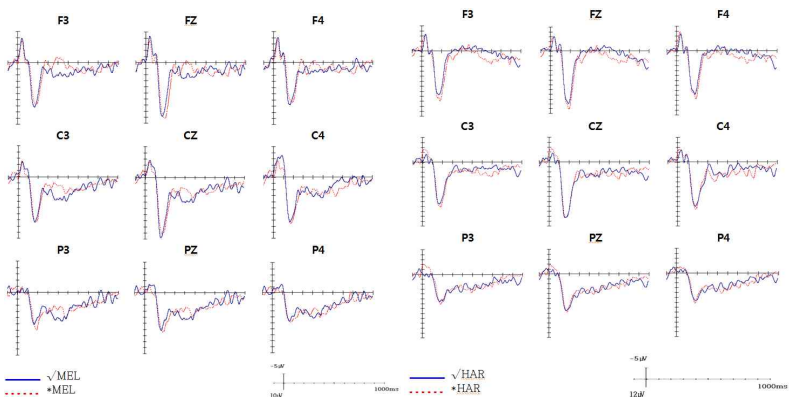
2) ERP (Event-related potentials) 결과

분석 영역인 종지에서서의 총평균 파형 (A)와 부조화와 조화의 차이에 의해 보여지는 뇌지형도 (B)는 [그림 6]에서 볼 수 있다.

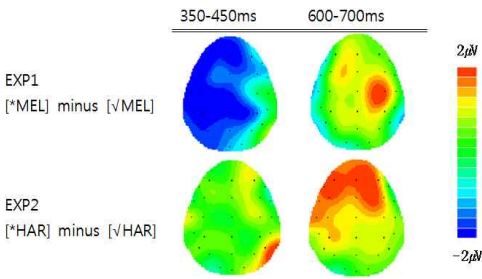
[그림 6] (A) 종지 영역에서 실험1과 실험2의 ERP 반응 총평균 파형. 간격은 100ms 단위로 나누어져있고, 수직선의 위가 음의 방향을 보인다. (B) 부조화 조건 (*MEL 또는 *HAR)에서 조화 조건(√MEL 또는 √HAR)을 빼기하여 두 조건을 비교하는 뇌지형도.

(A) 실험 1: 선율(Melody)

실험 2: 화성(Harmony)



(B)



(1) 실험 1에서의 ERP 결과

[그림 6]에서 보듯이, 중지에서 총평균 파형을 시각적으로 관찰해 보면, 350-450ms 시간 간격에서 선율 조화에 비해 선율 부조화 파형이 좌전 두 영역에서 더 부적 성향을 보이고 있으며, 이것은 (B)의 뇌지형도에서 LAN의 성향으로 볼 수 있다. 게다가, 600-700ms 시간 간격에서는 우중앙 영역에서 약하게 양적 성향을 보이고 있다.

선율의 부조화와 조화의 평균 전압을 이용하여 전체 ANOVA 통계분석을 실시하였다. 음악 형태(piece type: satisfaction, violation conditions), 편측성(laterality: left, midline, right), 전-후두(anterior-posterior: anterior, central, posterior)을 3 요인으로 한 반복 측정 ANOVA 값은 [표 2]와 같다.

[표 2] 실험1의 중지에서 전체 ANOVA 값 비교

time window factor	350-450 ms	600-700 ms
piece type (1,18)	2.94*	-
lat (2,36)	-	-
an-pos (2,36)	3.89*	-
type*lat (2,36)	8.53***	-
type*an-pos (2,36)	-	-
type*lat*an-pos (4,72)	-	-

* $p < 0.1$; ** $p < 0.05$; *** $p < 0.01$; **** $p < 0.001$

통계 분석에서 350-450ms 시간 간격에서 piece type 요인의 미미한 효과 ($F(1,18)=2.94, p=0.10$)와, anterior-posterior 요인의 미미한 효과 ($F(2,36)=3.89, p=0.06$)를 보인 반면에 type*lat 상호작용은 유의미한 효과 ($F(2,36)=8.53, p<0.01$)를 보였다. 그러나 600-700ms 시간 간격에서는 어떠한 효과도 없었다, $F_s<1$. 위의 결과는 뇌지형도의 영역별 추가적인 분석을 유도하였다. 관심영역 (ROI)의 통계분석의 결과는 [표 3]에서 볼 수 있다.

[표 3] 실험 1의 9 영역별 ANOVA 값

pair region time window	melody violation vs melody satisfaction								
	LA	LC	LP	MA	MC	MP	RA	RC	RP
350-450 ms	5.43 **	4.89 **	-	-	3.29 *	-	-	-	-
600-700 ms	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* $p<0.1$; ** $p<0.05$; *** $p<0.01$; **** $p<0.001$

뇌지형도에서 보았듯이 좌측에 넓게 형성된 부적 성향의 반응은 관심영역 (ROI)의 통계분석에서 유의미한 효과를 보여주었다. 350-450ms 시간 간격에서 좌전두 영역에서 유의미한 효과를 보였고 (LA: $F(1,18)=5.43, p<0.05$; LC: $F(1,18)=4.89, p<0.05$), 중앙에서는 미미한 효과를 보였다 (MC: $F(1,18)=3.29, p=0.086$). 좌전두 영역에서의 효과는 ERP 성분의 LAN 효과로 본다. 이와 대조적으로 600-700ms 시간 간격에서는 어떠한 영역에서도 효과가 없었다, $F_s<1$.

(2) 실험 2에서의 ERP 결과

[그림 6]에서 보듯이, 중지에서 총평균 파형을 시각적 관찰로 보면, 600-700ms 시간 간격에서 화성 조화에 비해 화성 부조화 파형이 전두 영역에서 더 양적 성향을 보이고 있으며, 이것은 (B)의 뇌지형도에서 P600의 성향으로 볼 수 있다.

화성의 부조화와 조화의 평균 전압을 이용하여 전체 ANOVA 통계분석을

실시하였다. 음악 형태(piece type: satisfaction, violation conditions), 편측성 (laterality: left, midline, right), 전-후두(anterior-posterior: anterior, central, posterior)을 3 요인으로 한 반복 측정 ANOVA 값은 [표 4]와 같다.

[표 4] 실험2의 종지에서 전체 ANOVA 값 비교

time window factor	350-450 ms	600-700 ms
piece type (1,18)	-	6.34**
lat (2,36)	3.48*	-
an-pos (2,36)	19.09****	4.21**
type*lat (2,36)	-	-
type*an-pos (2,36)	-	7.40***
type*lat*an-pos (4,72)	-	-

* $p < 0.1$; ** $p < 0.05$; *** $p < 0.01$; **** $p < 0.001$

350-450ms 시간 간격에서 유의미한 anterior-posterior의 주효과 ($F(2,34)=19.09$, $p < 0.001$)와 laterality의 미미한 효과 ($F(2,34)=3.48$, $p=0.07$)를 보였다. 대조적으로 시간 간격 600-700ms에서는 piece type의 유의미한 주효과 ($F(1,18)=6.34$, $p < 0.05$)와 anterior-posterior의 유의미한 주효과 ($F(2,34)=4.21$, $p < 0.05$), type*an-pos 상호작용의 유의미한 효과 ($F(2,34)=7.40$, $p < 0.01$)를 보였다. 이러한 결과는 뇌지형도의 영역별 추가적인 분석을 유도하였다. 관심영역 (ROI)의 통계분석의 결과는 [표 5]에서 볼 수 있다.

[표 5] 실험 2의 9 영역별 ANOVA 값

pair region time window	harmony violation vs harmony satisfaction								
	LA	LC	LP	MA	MC	MP	RA	RC	RP
350-450 ms	-	-	-	-	-	-	-	-	-
600-700 ms	15.77 ****	8.35 ***	-	11.58 ***	3.03 *	-	7.99 **	3.23 *	-

* $p < 0.1$; ** $p < 0.05$; *** $p < 0.01$; **** $p < 0.001$

□ 남 정 우·정 원 일·박 명 관·조 의 연—선율(note melody)과 287
화성(chord harmony)을 통한 인간 뇌의 음악 인식

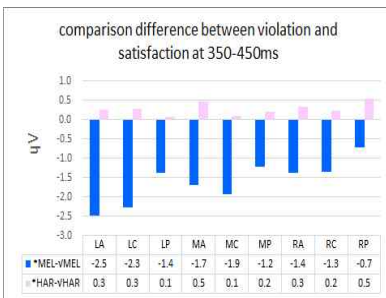
시간 간격 350-450ms에서는 어떠한 관심영역 (ROI)에서도 효과가 없었다. 이와 반대로, [그림 6]의 뇌지형도에서 600-700ms 시간 간격에서는 부조화와 조화에 비하여 전두 영역에서 더 양적 성향을 보이듯이 통계분석에서도 전두에서 유의한 효과 (LA: $F(1,18)=15.77, p<0.001$; LC: $F(1,18)=8.35, p<0.01$; MA: $F(1,18)=11.58, p<0.01$; RA: $F(1,18)=7.99, p<0.05$)를 보였다. 이것은 ‘전두 P600’으로 본다.

(3) 실험 1과 실험 2의 비교

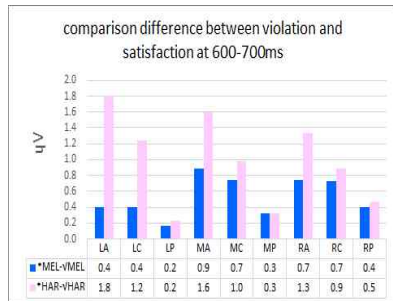
실험 1과 실험 2의 관심 영역별 진폭의 크기를 비교하기 위하여 추가적 분석을 시도하였다. 이를 위하여 실험 1의 부조화와 조화의 차이와 실험 2의 부조화와 조화의 차이를 각 영역별의 평균 진폭으로 비교하였다 ([그림 7] 참조).

[그림 7] 9개의 영역에서 부조화와 조화의 평균 진폭 차이의 비교. (A)는 350-450ms의 시간 간격에서의 실험1과 실험2의 차이 비교. (B)는 600-700ms의 시간 간격에서의 실험1과 실험2의 차이 비교.

(A)



(B)



350-450ms의 시간 간격에서는 실험 1의 부조화 조건의 처리 비용이 실험 2보다 좌전두 영역에서 부적 성향으로 더 크게 처리되는 것을 볼 수 있다. 이것은 실험 1의 LAN 효과를 입증한다. 600-700ms의 시간 간격에서는 실험 2의 부조화 조건의 처리 비용이 실험 1보다 전두 영역에서 양적 성향으로 더 크게 처리되는 것을 볼 수 있다. 이것은 실험 2의 전두 P600(anterior P600) 효과를 입증한다.

4. 결과분석

실험 1에서 사용된 선율 위배 조작된 자극은 통제 만족조건에 대해 LAN 반응의 특성을 갖고 있는, 350-450ms 사이 좌전두엽 영역에서 부적 성향을 보고하였다. 또 600-700ms에서는 우측 중앙부에서 약간의 양적 성향이 나타났다. 반면 실험 2에서는 350-500ms 사이에서 어떠한 반응도 나타나지 않았고, 그에 비해 화음을 조작한 화성 위배 조건은 만족 조건 조작에 대해 600-700ms 사이에서 매우 주목할 만한 반응이 나타났는데, 그것은 P600으로 알려진 양적 성향이다.

우리 연구의 음악에 대한 결과물들과 기존 언어 연구 결과물들을 비교해 보면 언어와 음악 사이의 유사한 뇌반응이 나타나고 있다는 점을 확인할 수 있다. 언어와 음악 자극에 대한 ERP 반응 결과에 초점을 맞추어 보면 기대감의 연장적 구조 효과 면에서 유사성이 매우 극명하게 나타난다. 한편 언어와 음악에 있어서 청각적 자극물에 대한 구조 형식이 진행되는 과정에서 어떠한 기대감이 지각되었는지에 대한 뇌반응은 서로 일치하지 않는다는 것이 드러났다. 음악에 대한 기존의 ERP 연구들은 언어에 대한 연구와 다음과 같이 대비할 수 있다. (i) 위배된 (기대되지 않은) 음의 등장은 기대된 음이 등장할 때에 비해 보다 일찍 부적 성향을 일으킨다(Koelsch et al. (2010)). (ii) 통사적으로 결합된 위배는 LAN이나 P600과 같은 반응을, 의미론적 위배는 N400과 같은 눈에 띄는 특징적인 ERP 반응을 일으킨다(Gunter et al. (1997)). (iii) 기대되지 않은 음은 언어에서의 위배에서처럼 N400이 아닌 LAN이 관찰된다(Koelsch et al. (2005)).

언어와 음악을 ERP 결과로 비교해 보면 음악의 기대감에 대한 뇌반응과 언어 기대감에 대한 뇌반응이 ERP 구성 결과상 서로 일치하지 않는다는 것이 드러난다. 음악작품에 대한 ERP 뇌반응은 N400이 아닌 LAN과 P600에만 연관된다는 점이 그러하다. 우리 실험을 통해 밝혀진 중요 사실은 선율의 위배와 화성의 위배에 대해 뇌가 서로 다른 반응을 보인다는 점이다.

우리 연구에서 선율과 화성이 위배된 음악자극물들에 대한 뇌반응은 언어 위배에 대한 반응과 다른데, 그것은 N400과 같은 이른 부적 성향이 나타나지 않는다는 점이 그러하다. 결과적으로 선율에서는 LAN이 화성에

서는 P600이 나타났다는 것은 분명하게 확인되었다. 우리는 이러한 차이가 음악 인식에 있어서의 직관적이고 본능적인 속성에서 언어와 구별되는 것이 아닌가 의심하고 있다.

음악과 언어에 대한 뇌의 지각 과정 및 반응이 동일한 것이라고 할지라도 각 인식능력의 발달은 범주적으로 차이가 나는 것으로 생각된다. 일반적으로 말하면 인식 주관의 언어 능력은 (표현에서나 지각에서도) 학습을 통한 발달이 이루어지는 반면, 인식주관의 음악적 능력은 (적어도 지각의 측면에서) 학습을 통해 그 발달이 이루어지는 것이 아니라 본능적인 것이라고 할 수 있다. 위배된 음악 자극물에 대한 아동 뇌반응 연구 보고서들은 이러한 [본능상의] 발달 과정에 관심을 둔다(Jentschke et al. (2008)). 엔츠키 연구팀은 “언어 발달상의 심각한 장애를 지닌 특수 언어 장애(SLI) 5세 아동들이 통사 위배 음악 자극물에 대해 이른 우측 전두엽 부적 성향을 보여준다”고 보고했다(Carrus et al. (2012)). 또 SLI 아동들의 경우 언어 발달 장애가 음악 훈련을 통해 개선되었다는 것을 보고한다. 이러한 결과가 나타나는 이유는 언어를 훈련 받는 아동들에게서 언어 지각에서의 ELAN 반응이 관찰되기 때문인 것으로 생각된다.

따라서, 학습과 기억을 통한 언어 능력이 발달하기 때문에, 우리 뇌가 언어 사용 능력을 습득하면 할수록 학습 및 기억을 통한 기대감에 의해 보다 빠른 목표 술어가 예측되는 것이다. 이는 언어가 사고와 추리의 능력이기 때문에 우리 [언어의] 인식능력은 지적인 개념 조작 능력과 연관되어 있다. 그래서 우리가 언어 능력을 훈련하게 되면, 우리는 언어의 통사적 의미를 보다 효과적으로 말하고 이해할 수 있게 된다. 따라서 ERP 반응상의 초기 부적성향(ELAN)은 개념조작의 익숙도에서 유래하는 것일 수 있다.

그러나 이러한 점은 음악 지각에서는 사정이 다르다. 음악은 감각에 자극을 주는 것이지 지성에 (즉 사고에) 영향을 미치는 것이 아니다. 우리의 [음악에 대한 미감적] 감성은 개념들의 능력인 지성이 상상력과 놀이하는 데에서 기능하는 것이다(Kant, KU, S. 28f). 따라서 감성적 음악 지각이 이루어지는 인식주관은 기대감 작용을 갖기 위해 학습이나 기억의 과정을 요구하지 않는다. 음악작품을 지각하는 우리의 감성적 뇌는 고정적인 개념 작용으로부터 자유로워야 하며, 마지막 음이나 화음이 실제로 등장할 때를 기다리기만 하면 되는 것이다. P600 반응이 나오는 이유

는 아마도 우리 뇌의 자유로운 놀이에서 유래하는 감성적 기대감과 연관되어 있는 것이라고 생각된다.

한편 실험 2에서 드러난 P600은 실험 1의 LAN 반응과 같은 방식의 결과로 개념화할 수 있을 것이다. 그러나 이러한 결과 상응 부분이 선율 실험에는 적용되지 않는다. 음악 실험 2의 경우를 살펴보면 우리는 해당 조성에 화성적으로 들어맞는 음과 그렇지 않은 음을 사용하여 (조성에 맞는 것과 그렇지 않은) 종지의 조작을 만들어 냈다. 조화 종지로 이루어진 작품 (A)에서 화성적으로 적절한 음 C는 조성의 진행에 따라 작품의 맨 끝 마디에서 사용되었다. 반면 부조화 종지로 이루어진 작품 (B)에서 화성적으로 부적절한 음 D는 조성의 진행을 위배하는 방식으로 작품의 맨 끝 마디에 사용되었다. 이 두 곡은 모두 C 장조 곡이기 때문에 마지막 마디의 화성은 C major로 마쳐야 하며, 이 화성은 (도, 미, 솔)의 음으로 구성될 때 적절한 것일 수 있다. 따라서 음악의 조화로운 종지와 위배된 종지로 이루어진 각각의 조작물들은 작품의 조성에 맞는 음들로 이루어져 있는가 여부에 따라 결정된다.

앞의 표에서 반복되어 나타난 것처럼 선율 연속에서 기대되지 않은 음의 등장은 350-450ms 에서 전두엽 좌측에서 LAN을 발생시킨다. 이제껏 이 선율상의 음악-통사 과정을 신경반응으로 연구한 논문은 몇 개 되지 않는다. 다섯 개의 ERP 연구 논문 (Miranda and Ullman (2007); Besson and Faita (1995); Paller et al. (1992); Verleger (1990); Besson and Macar (1987))만이 출판되었는데, 이것들은 모두 (“생일 축하합니다”)와 같이 익숙한 선율로 이루어진 자극물들을 사용한 것이었고, 원리 음들을 그대로 사용하거나 한 음만을 조작해서 (가령 C음 대신 D나 D#을 사용하는 것과 같이) 기대하지 않은 음이나 음악-통사적으로 다소 불규칙적인 자극물을 사용한 것이었다. 이 연구들은 모두 (기대하지 않은 음을 쓰지 않은 연구들도) 임무 수행(task relevant) 결과를 보여준 연구들이었다(Paller et al. (1992)의 실험 2는 제외). 예를 들어 실험 참가자들이 조화롭지 않은 음을 듣거나 (Miranda and Ullman (2007)), 선율에 관한 질문들에 답해야 하는 (Besson and Faita (1995)) 것이었다. 모든 실험에서 (Paller et al. (1992)의 실험 2는 제외) 기대되지 않은 음은 P300은 유발했고, 실험 참가자들이 익숙한 선율을 사용하는 실험 패러다임에서 선율 음을 듣는 순간 기대하지 못한 음에서 P300 전위가 유발되었다.)

선율에 대한 우리의 ERP 연구가 기존의 연구와는 왜 다른 결과를 보여주게 되었을까? ERP 반응이라는 것이 재료, 임무 수행, 주제 등과 같은 여러 요소들에 영향을 받기 때문에 우리는 이 질문에 대해 다음과 같이 추측하고 있다. 1) 우리는 우리 연구에서 사용된 음악 재료들을 기존의 연구들과는 달리 익숙하지 않은 선율로 구성된 것으로 하였다. 선율에 대한 반응을 확인하기 위하여 우리는 잘 알려진 곡이 아니라 새롭게 작곡된 곡들을 실험 자극물로 사용했다. 같은 맥락에서 Miranda와 Ullman의 실험 (2007)이 익숙하지 않은 선율에 위배를 가한 자극을 제시하면 부적 성향의 ERP 반응이, 익숙한 선율에 위배를 가한 자극을 제시했을 때 양적 성향의 반응이 유발된다는 것을 발견한 것을 주목해 볼 수 있다. 2) 우리 실험에 적용된 임무는 P300이 아니라 LAN을 유발시킨 원인이라고 여겨진다. 우리는 소위 수용성 과제에서, 방금 들려준 작품이 음의 연속체라는 점에서 평범한 것인가 아닌가를 질문했다. 아마도 수용성 결정이 P300이 아닌 LAN 반응을 나타내는, 말하자면 언어와 같은 고도의 질서를 기대하는 반응을 불러온 것이 아닌가 여겨진다. 3) 카루스의 2013년 연구에서 한 가지 주목할 만한 점이 있는데, 그는 적합 가능성이 적은 음을 제시했을 때에 가능성이 높은 음을 제시했을 때보다 언어의 통사적 위배에 가까운 반응으로서의 LAN 효과가 나타난다고 보고했다. 그러나 N400은 제시된 음의 적합성 여부에 영향을 받지 않는다. 카루스의 이러한 발견은 언어와 음악의 인지과정에서 신경계의 상호작용이 벌어지고 있다는 것을 확인해주며, LAN 반응이 음악의 선율 진행 과정에 대한 신경 반응으로 발생한다는 것을 맥락상 간접적으로 보여주고 있다.

한편 실험 2에서 이루어진 두 번째 주제(600-700ms 사이에서의 양적 성향)는 실험 1의 첫 번째 결과와 같은 경향으로 개념화할 수 있을 것 같다. 그리고 이러한 점은 음악의 화성 진행의 측면과 연관되어 있다.

1) 하지만 이 연구들은 모두 (Miranda and Ullman (2007); Besson and Faita (1995); Paller et al. (1992); Verleger (1990); Besson and Macar (1987)), 자극이 주어졌지 약 100ms 근처에서 전두엽 부적 성향의 ERP 반응이 나타났다(Verleger, 1990의 연구에서는 150ms에서 최저점이, Paller et al. (1992)의 연구에서는 100ms 근처에서 최저점이 보고되었다). 이러한 ERP 결과들은 빠른 전두엽 우측에서의 부적성향(ERAN)과 유사한 것으로 (물론 비록 일반적인 ERAN에 비해 그 반응상 짧은 최저 점 곡선과 진폭상 작은 곡선이 나오지만), ERAN은 조성에서 벗어난 화음에도 또 조성에 맞는 화음에도 모두 나타날 수 있는 것으로 알려져 있다.

실험 2에서 이루어진 뇌반응 결과는 실험 1의 선율 주제와 동일한 방식으로 개념화될 수 있다. 물론 실험 2의 초점은 음악의 화성 진행과 관련되어 있다. 실험 2를 확인해 보면, 우리는 조성에 따르는 협화음 vs. 조성에 따르지 않는 불협화음을 사용해서 종지 부분의 적합성을 조작했다. 가령 실험 2의 ‘수용할 만한(acceptable)’ 작품 (A)에서 종지 화음이 등장하는 자리에 C major, 즉 곡의 전체 조성에 맞는 화성을 악곡상의 마지막 마디에 사용함으로써 적절한 종지감을 유발하는 작품이 되었다. 반면 ‘수용할 만하지 않은(unacceptable)’ 작품 (B)에서는 종지 화음을 G major로, 즉 전체 조성에 부적절한 화음으로 사용하여 적절한 종지감이 없는 악곡이 되게 만들었다.

위의 표에서 다시금 반복되어 나타난 것처럼 화성적으로 부적절한 종지 악곡은 600-700ms 사이에서 벌어지는 전두 P600(소위 anterior P600)을 유발한다. 기존의 논문들은 화성적으로 부적절한 자극물이 주어질 때 화성적으로 적절한 자극물이 주어지는 것에서와는 달리 두 개의 서로 다른 ERP 결과가 나타나곤 하는 것으로 보고해 왔다. 그것은 부적절한 화음이 주어진 후 600ms 즈음에서 양적 성향이 나타나는 것이 그 중 하나이고, 그렇지 않으면 500ms 즈음에서 부적 성향의 반응이 나타나는 것이 또 다른 하나이다. 우리는 이 두 반응이 심리언어학의 영역에서 매우 유사한 ERP 반응으로 여겨지고 있다는 점을 기억할 필요가 있다. 통사적으로 예상되지 않은 단어가 주어진 직후 (가령 *The horse ran past the barn *fell*) 600ms 경에 양적 성향이 나타나는 것, 그리고 의미론적으로 예상되지 않은 단어가 주어진 직후 (가령 *The man buttered his bread with his *socks*) 400ms 경에 부적 성향이 나타나는 것이 그러한 예다. 서로 무관해 보이는 이러한 두 ERP 결과가 왜 일어나는지에 관한 만족할 만한 설명이 아직 제시되지 않았지만, 이러한 성향이 나타나는 이유가 (음악의) 화성상의 적절성과 연관된 것이 아닌지 생각해볼 수 있다. 실제로 연관 논문의 저자들은 조화롭지 않은 것이라는 용어를 사용하곤 한다.

이러한 의문에 대해 페더스톤 (2013)의 연구에서 악곡의 조성에 화성적으로 부적절한 화음이 그 곡의 처음과 끝에 등장하는 방식으로 조작되었을 경우 P600과 유사한 늦은 양적 성향이 나타난다는 것을 보여주고 있다(Featherstone et al. (2013)). 곡의 본래 조성으로 돌아와 곡이 끝나지 않는 경우 (악곡을 화성적으로 해소시키지 않은 채 남겨두는 경우) 음악

가들에게는 특히나 P600이 많이 나타난다. 반면 음악가들이 아닌 경우에는 N500이 나타났다. 이러한 결과는 늦은 양적 성향 뇌반응(P600)이 맥락 상 부적절한 특정 요소를 의식적으로 지각하는 것, 그리고 음악가들의 분석적 감상 유형의 경우에는 부적절한 화성 진행을 적절한 진행 맥락으로 총괄하려 하는 노력을 나타내고, 반면 늦은 부적 성향(N400)은 음악가가 아닌 보통의 청취자가 일상적인 감상 유형으로 음악을 들으면서 해소감이 없다는 것을 발견한다는 것을 보여준다.

화성 진행 자극물에 대한 우리 실험의 ERP 결과 ‘anterior P600’은 기존의 연구에서 잘 알려진 N500 혹은 P600과는 매우 다른 결과이다. ‘anterior P600’의 본질을 이해하기 위해서는 언어에서 통사 위배의 반응으로 처음 P600이 관찰되었을 때의 연구들을 살펴볼 필요가 있다(Freiderich et al. (1993)| Hagoort et al. (1993); Osterhout and Holcomb (1992); Osterhout and Swinney (1993)). 이러한 반응이 이후에는 애매한 문장의 하위 범주 동사들에 대한 반응에서도 발견되었다. 이러한 문장들은 위배조작이 가해진 것이 아니라 초기의 이해에 교정이 요구되는 경우의 문장들이었다 (Friederici et al. (1998)). 이후 칸의 연구는 (Kaan et al., 2000) P600을 통사상의 난해성(syntactic-processing difficulty)에 대한 일반적인 반응으로 해석해야 한다고 제안한다. 이러한 반응은 문장의 복잡성에서 뇌 전두엽 부위의 반응 작용이 일어나고, 교정의 과정에서는 전두엽 부위의 반응 작용이 일어나면서 이루어지는 일이다(Kaan and Swaab (2003)). 반면 음악과 억양이 있는 언어 문장을 적절한 선율/음높이, 혹은 부적절한 선율/음높이로 끝나도록 조작된 자극물을 제시한 실험에서 난의 연구는 (Nan et al. (2009)) 언어에서 단어의 음높이와 음악에서 선율의 음높이에 대해 ERP 반응이 서로 일치한다는 점을 발견했다. 한편 중국 여성 음악가들의 경우 언어 보다는 음악에서 우측으로 편향된 전두엽에서 늦은 양적 성향(즉 ‘anterior P600’)이 발생되는 것이 보고되었다.

이러한 기존의 ERP 결과들에 기반하여 우리 실험에서 화성적으로 부적절한 화음을 제시하였을 때 나타나는 ‘anterior P600’은 단순히 복잡한 것으로서의 부적절한 화성을 지각하는 음악가가 아닌 평범한 사람들을 피실험자로 삼아 나타난 결과이다. 파텔의 1998년 연구에서는 (Patel et al. (1998)) 음악을 훈련 받은 피실험자들은 화성적으로 부적절한 자극물을 P600의 전두엽 부위 작용이 일어나는 교정 과정으로서의 변칙적 상태로

지각한다. 이러한 설명은 페더스톤이 2013년 연구에서 화성적으로 부적절한 자극물이 ‘anterior P600’에 보다 잘 들어맞는다는 설명과 부합한다.

그리하여 우리는 다음과 같이 결론내릴 수 있다. 1) 후기 전두엽 양적 성향, P600은 화성적으로 부적절한 자극물을 그 맥락상의 부적절성으로 지각하는 경우 및 분석적인 청취 유형을 가진 음악가들이 잘못된 화음을 통합적으로 들으려는 시도에서 나타나는 것이다. 2) 늦은 부적 성향은 (N500) 전문 음악가가 아닌 보통의 사람들이 부적절한 화음 자극물의 총괄적인 방식으로 들으면서 곡의 마무리에 해소감이 없다는 것을 발견하는 경우에 나타나는 것이다. 3) 우리의 실험과 페더스톤 연구의 결정적 차이는 전혀 다른 ERP 결과반응이 발견되었다는 점이다. 우리의 연구에서는 ‘anterior P600’이, 그들의 연구에서는 ‘N500’이 추출되었다. 이러한 차이점에 있어서는 보다 깊이 있는 가설과 연구가 필요해 보인다. 나아가 ‘anterior P600’의 기능적 의미가 P600이나 N500과 어떻게 구별되는가에 대해서도 추가적인 연구가 요구되고 있다.

참고문헌

- Besson, Mireille & Faïta, Frédérique, “An event-related potential (ERP) study of musical expectancy: Comparison of musicians with nonmusicians”, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21(6), 1995.
- Bigand, Emmanuel, François Madurell, Barbara Tillmann and Marion Pineau, “Effects of global structure and temporal organization on chord processing”, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 25, 1999.
- Bigand, Emmanuel, Richard Parncutt, and Fred Lerdahl, “Perception of music tension in short chord sequences: the influence of harmonic function, sensory dissonance, horizontal motion, and musical training”, *Percept Psychophys*, 58, 1996.
- Carrus, Elisa, Marcus T. Pearce, and Joydeep Bhattacharya, “Melodic pitch expectation interacts with neural responses to syntactic but not semantic violations”, *Cortex* 49, 2013.
- Greenhouse, Samuel W. and Seymour Geisser, “On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika*, 24, 1959.
- Featherstone, Cara R., Catriona M. Morrison, Mitch G. Waterman, Lucy J. MacGregor “Semantics, Syntax or Neither? A Case for Resolution in the Interpretation of N500 and P600 Responses to Harmonic Incongruities”, *Journal of Cognitive Neuroscience*, November 5, 2013.
- Jentschke, Sebastian, Stefan Koelsch, Stephan Sallat, and Angela D. Friederici, “Children with specific language impairment also show impairment of music-syntactic processing”, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(11), 2008.
- Kant Immanuel, *Kritik der Urteilskraft*, Felix Meiner Verlag, Hamburg. 1924.
- Koelsch, Stefan, Thomas C. Gunter, and Daniela Sammler, “Interaction between Processing in Language and in Music: An ERP Study”, *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17, 2005.

- Koelsch, Stefan, Thomas C. Gunter, Angela D. Freiderici and Schroeger Erich, "Brain indices of music processing: "nonmusicians" are musical", *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12, 2000.
- Koelsch, Stefan and Walter A. Siebel, "Towards a neural basis of music perception", *Trends in Cognitive Science*, 9, 2005.
- Levitin, Daniel. *This is Your Brain in Music: The Science of a Human Obsession*, New York: Dutton. 2006.
- Paul Boersma and David Weenink, Praat: doing phonetics by computer [Computer program]. Version 5.3.51, retrieved 2 June, 2013. from <http://www.praat.org/>
- Patel, Aniruddh D., "Language, Music, Syntax, and the Brain", *Nature Neuroscience*, 6, 2003.
- Patel, Aniruddh D., Edward Gibson, Jennifer Ratner, Mireille Besson, and Phillip J. Holcomb. Processing syntactic relation in language and music: An event-related potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(6), 1998. 717-33.
- Peretz, Isabelle, and Robert J. Zatorre. *The Cognitive Neuroscience of Music*, New York: Oxford University Press. 2003.
- Steinbeis, Nikolaus, and Stefan Koelsch. Shared neural resources between music and language indicate semantic processing of musical tension-resolution patterns. *Cerebral Cortex*, 18, 2008.
- Steinbeis, Nikolaus, Stefan Koelsch, and John A. Sloboda. The role of harmonic expectancy violations in musical emotions: evidence from subjective, physiological and neural responses. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 2006.
- Tillmann, Barbara, Jamshed J. Bhurcha and Emmanuel Bigand, "Implicit learning of tonality: a self-organizing approach", *Psychological Review*. 107, 2000.

Abstract

**Music Recognition of the Human Brain through
Note Melody and Chord Harmony**

- Based on the Results of Event-Related Potentials (ERP)

Experiments -

**Nam, Jung Woo·Jeong, Won Il
Park, Myung Gwan·Cho, Eui Yon**

The music we listen to everyday contains a formal element that makes a sound stream musical or nonmusical. While recognizing such a formal arrangement of music we can get a musical emotional feeling out of it. But the musical feeling of a sound stream has long been regarded as a result from undergoing a listener's tension-resolution which is attributed to the melodic and harmonic cadent process pattern of the sound stream. Assuming that the point of the resolution, the musical cadence, complies with the resolution pattern, and that the feeling of musical resolution occurs in the listener's brain, we can shed some lights on what the musical cognition is by observing the brain responses at such a point of musical resolution. Using event-related potentials (ERP) experiments we probed into the syntactic formality of music in order to compare it with the syntactic formality of language. In our study we manipulated musical notes and chords, and collected the ERP data of the neural responses to them to ascertain how the musical cognition is characterized.

【Keywords】 Music, Cognition, Prolongational Hierarchical Structure, Notes, Chords, Event-Related Potentials, N400, LAN, Anterior P600