

# 즈비커의 음질 파라미터를 이용한 환상교향곡 표제성의 심리음향학적 분석

## Psycho-acoustical analysis of program feature of Symphonie Fantastique using Zwicker's sound quality parameters

정혜욱,<sup>1</sup> 정수란,<sup>2</sup> 정철웅<sup>3†</sup>

(Haewook Chung,<sup>1</sup> Soo-Ran Jeong,<sup>2</sup> and Cheolung Cheong<sup>3†</sup>)

<sup>1</sup>경주대학교 실용음악공연학과, <sup>2</sup>부산대학교 음악학과, <sup>3</sup>부산대학교 기계공학부  
(Received September 5, 2016; revised November 7, 2016; accepted January 25, 2017)

**초 록:** 본 논문에서는 심리음향학적 연구 방법론을 음악의 작품 분석에 적용하여 음악의 매개체인 소리에 내재된 주관성을 객관화하고자 한다. 먼저, 대표적인 표제음악인 베를리오즈의 ‘환상교향곡’에서 18개의 샘플음원을 추출한 다음 즈비커의 음질 파라미터(Loudness, Sharpness, Roughness, Fluctuation Strength)를 이용해서 샘플음원의 객관적 음질을 평가하였다. 주관적 음질 평가를 위하여 환상교향곡의 표제성을 기초로 9개의 대표 음질형용사를 추출한 다음 수치등급평가법과 쌍대비교법을 사용하여 1차 청음평가를 수행하였다. 1차 청음평가결과의 요인분석법을 통하여 “밝은”, “시끄러운”, “현실적인”의 세 가지 음질을 추출하였다. 세 가지 음질 형용사를 사용하여 2차 청음평가를 수행하고 그 결과를 객관적 음질 파라미터와 상관분석을 수행하여 음질지표를 개발하였다.

**핵심용어:** 음질, 즈비커의 음질파라미터, 환상교향곡, 표제음악

**ABSTRACT:** The goal of the present paper is to objectify the intrinsic subjectivity of sound as a media of music by applying psycho-acoustical methodology to the analysis of a musical work. First, 18 sound samples are extracted from 「Symphonie Fantastique」 written by Hector Berlioz, which is a piece of program music, and then the objective Zwicker's sound quality parameters such as: Loudness, Sharpness, Roughness and Fluctuation Strength are evaluated for each of these sound samples. For subjective sound quality evaluation, 9 representative sound quality adjectives are extracted on a basis of program feature of Symphonie Fantastique and the first jury test is carried out by using the numeric rating method and the paired comparison method. Three sound quality adjectives, “bright”, “noisy”, and “realistic” are extracted from the factor analysis of the first jury test result. On a basis of the computed sound metrics and the second jury test result for the three sound quality adjectives, three sound quality indexes are developed to represent the sound qualities of 「Symphonie Fantastique」.

**Keywords:** Sound quality, Zwicker's SQ parameter, Symphonie fantastique, Program music

**PACS numbers:** 43.75.Cd, 43.66.Mk

### 1. 서 론

고전주의 작곡가들은 소리의 아름다움을 추구하며 음악의 3요소인 리듬, 화음, 선율을 사용하여 작

품을 작곡하고 청중에게 작곡가의 의도를 전달하였다. 하지만 음악은 소리를 매개로 청중에게 전달되기 때문에 작곡가들이 작품을 통하여 표현하고자 하였던 의도 혹은 주제는 물리적으로 보면 소리에 대한 사람의 청각인지과정을 통하여 청중에게 받아들여지게 된다. 즉 청중은 소리의 3요소인 음량, 음고, 음색으로 표현되는 음악을 받아들인다. 소리의 3요

†Corresponding author: Cheolung Cheong (ccheong@pusan.ac.kr)  
Pusan National University, 2, Busandaehak-ro 63beon-gil,  
Geumjeong-gu, Busan 46241, Republic of Korea  
(Tel: 82-51-510-2311, Fax: 82-51-514-7640)

“이 논문은 2016년도 한국음향학회 춘계학술대회에서 발표하였던 논문임”

소는 소리를 물리적으로 정의할 수 있는 양이지만 비언어적인 소리는 비록 물리적인 양으로 객관화할 수 있다 하더라도, 듣는 사람에 따라 다르게 인지할 수 있는 주관성을 가지게 된다. 언어가 가지는 문자의 속성인 객관성으로 인하여, 작가가 소설이나 시를 통하여 전달하고자 하는 의도를 독자들과 함께 충분히 공유할 수 있다. 그에 반해 음향학적 소리인 음악에는 언어가 가지는 객관성이 부족하므로 작곡가의 의도와 청취자의 이해에 차이를 일으킬 수 있는 개연성이 존재하는 것이다. 현대음악에서는 음악의 재료가 소음의 영역으로까지 확대됨으로써 음향학적 분야에까지 관심을 가지게 되는 결과를 초래하였다. 하지만 현대음악에서 차지하는 음향학적 관심의 비중에 비하여 그에 대한 관련 연구는 매우 빈약하다. 반면에 음향공학 분야에서는 원하지 않는 소리 즉 소음을 중심으로 음향학적 연구를 활발히 진행하고 있다. 최근에는 이러한 소음에 대하여 기존에 사용해 왔던 소음의 크기에 대한 물리적 지표 대신에 인간의 소리에 대한 주관적인 반응을 수치적으로 반영할 수 있는 객관적인 음질 지표를 개발하기 위하여 심리음향학적 분석을 통한 연구들이 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 이러한 심리음향학적 연구방법을 음악의 작품분석에 도입함으로써 음악의 소리에 내재된 주관성을 객관화하고자 하는 연구를 진행하고자 한다. 이를 통해 청취자들의 감성적인 반응을 객관화 할 수 있는 음질지표를 찾아내고 이를 음악적 요소와 연계하여 소리에 최대한의 객관성을 부여함으로써 작곡가들과 청취자들 사이에 존재하는 음악의 인지과정에 대한 이해를 증진시키고자 한다. 또한, 최근에 관심이 증대되고 있는 공학 분야의 소리 디자인의 기본 자료로도 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문에서 진행하고자 하는 음악에 대한 심리음향학적 분석은 예술분야에 속하는 음악과 과학분야에 속하는 심리음향학이 융합되어야 하는 새로운 분야이다. 이러한 융합 연구는 기존에 음악과 음향에 대한 일반적인 정의로부터 사람들이 가지고 있는 음악과 음향의 차이점에 대한 인식을 재고하여 재정립하는 것부터 출발해야 한다. Lee<sup>[1]</sup>는 “괴물”이라는

영화에서 사용된 음향과 음악의 역할을 분석하였는데, 음향은 매체에 의한 소리를 뜻하는 것으로 주로 괴물 캐릭터의 목소리, 물과 불의 소리 등에 사용되었고, 음악은 주제 음악인 “한강찬가”의 여러 변주곡들과 인물의 감정을 묘사한 음악, 그리고 영화 후반부의 극적 긴장감의 효과를 높이기 위한 음악으로 분류하였다. 상기의 논문은 음향과 음악이 다르다는 전제, 즉 음향은 영화에서 사용하는 음향효과를 위한 소리이며 음악은 전통적인 음악의 3요소를 기초로 작곡된 소리라는 인식을 바탕으로 진행된 전형적인 연구이다. 이러한 차이에도 불구하고 Lee<sup>[1]</sup>는 음향과 음악이 영화의 캐릭터를 정의하는데 많은 도움을 주었고, 시각적인 영상으로 전달하기 어려운 부분을 음향과 음악이 감정적으로 전달하는데 많은 역할을 하였으며, 영화의 클라이맥스를 표현하는데 가장 적절한 수단으로 작용하였다고 결론 내리고 있다. 즉 관객에게 작곡가의 의도를 전달하는 매개체라는 입장에서는 음악과 음향의 차이가 무의미하다고 본 것이다. 이와 같이 본 논문에서는 음악과 음향이 본질적으로 동일하다는 것을 전제로 하여 심리음향학적 접근법을 음악작품 분석에 도입하였다. 음악의 심리음향학적 분석에 필요한 분석 방법론은 공학 분야에서 기계제품의 음질분석에 사용되는 연구방법들을 활용하였다.

공학 분야에서 심리음향학적 연구는 다양한 기계제품의 음질지표 개발과 관련하여 진행되고 있다. 이러한 심리음향학적 연구방법론의 이해를 위하여 비교적 최근에 수행한 관련 연구로 Shin *et al.*<sup>[2,3]</sup>의 자동차 실내 소음과 Jeong<sup>[4]</sup>의 비행기 소음에 대한 음질 연구를 예로 들 수 있다. 이와 같이 공학 분야의 심리음향학적 연구는 다양한 기계 제품에서 발생하는 소음의 음질분석에 대해서 적용되고 있지만 연구방법은 공통적으로 다음과 같은 순서를 따르고 있다. 먼저 대상 기계제품에서 발생하는 소리를 작동조건이나 위치에 따라 표본 추출한 다음 각 표본을 가지고 객관적 음질분석과 주관적 음질분석을 수행한다. 다음으로 분석결과 계산된 객관적 음질요소와 실험을 통하여 획득한 주관적 음질 지표 사이의 상관도를 분석하여 최종적으로 관련된 음질지표를 개발한다. 본 연구에서도 상기의 방법을 적용하였다.

먼저 II 장에서 심리음향학적 지표 개발을 위한 연구 방법론에 대해서 기술하였다. III 장에서는 분석 대상 작품인 환상교향곡에 대한 표제성과 표본음원에 대해서 기술하였다. IV 장과 V 장에서는 각각 객관적, 주관적 음질분석을 수행하였으며 이를 이용하여 VI 장에서는 관련 음질지표를 개발하고 환상교향곡의 표제성과의 상관성에 대해서 분석하였다.

## II. 음질 분석 및 평가 기법

인간이 청각을 통하여 소리를 듣고 인지할 때는 소리를 객관적으로 정의할 수 있는 물리적 변수 즉 소리의 세 가지 요소뿐만 아니라 주파수별 청감특성 및 여러 가지 감성적 인자에 의한 주관적 요소에 영향을 받는다. 따라서 본 논문에서는 이러한 인간의 소리에 대한 감성반응을 반영할 수 있는 평가모델을 만들기 위해 다음과 같은 순서로 연구를 진행한다. 먼저 선정된 작품에서 의미를 가지는 단위로 여러 가지 소리 표본을 만들고, 표본 추출한 소리에 대해서 객관적 음질 평가를 수행한다. 다음으로 청음평가를 통한 주관적 음질평가를 수행하고 마지막으로 객관적 음질평가 결과와 주관적 음질평가 결과의 상관성을 분석함으로써 음악적 소리에 대한 음질 지표를 제시하도록 한다.

표본 추출한 소리에 대한 객관적인 음질 평가를 위한 단계로 소리의 물리적인 특성을 조사한 다음 감성인자를 나타내는 인자를 도출하기 위해 평가음원의 음질인자(sound quality metrics) 값을 계산하고 분석한다. 본 연구에서는 음질인자로 쓰비커의 음질 파라미터를 사용하였다. 쓰비커 인자는 인간 청각기관의 소리인지과정중 시간적 마스크와 주파수 마스크의 영향에 관한 연구에 기초하여 제안된 인자로서 라우드니스(Loudness), 샤프니스(Sharpness), 러프니스(Roughness), 변동강도(Fluctuation Strength) 등이 있다.<sup>[5]</sup> 라우드니스(Loudness)는 물리적 음향 강도를 심리학적 상관관계로 나타내는 음질요소이다. 어떤 음에 대한 라우드니스 음압레벨( $L_L$ )은 그 음의 크기를 1 kHz 순음성분의 등가 음압레벨로 변환한 것이며, 단위는 ‘phon’을 사용한다. 또한 1 kHz 순음의 음압레벨 40 dB에 대한 음의 크기레벨(Loudness;  $N$ )은 1

some 이고 이들의 관계식은 다음과 같다.

$$N = 2^{(L_L - 40)/10}(\text{some}). \quad (1)$$

음질 샤프니스는 대상 소리의 주파수 구성 성분 중, 고주파 성분의 많은 정도를 나타내며, 라우드니스의 주파수 분포에 의해 결정된다. 단위로는 ‘acum’을 사용하며, 1 acum 은 1 kHz를 중심주파수로 하는 60 dB 순음의 청각 지각량을 의미하며 샤프니스 ‘ $S$ ’ 다음식으로 정의할 수 있다.

$$S = 0.11 \frac{\int_0^{24k} L' g(z) z dz}{\int_0^{24k} L' dz} (\text{acum}), \quad (2)$$

여기서  $g(z)$ 은 임계대역율에 따른 가중함수이다. 러프니스는 소리 거침 정도를 나타내며 저주파 영역에서의 변동요인이 클수록 높게 나타난다. 단위로는 ‘asper’이고 1 asper는 60 dB, 1 kHz tone의 70 Hz 변조 주파수로 100% 진폭변조 될 때 사람이 느끼는 러프니스이다. 러프니스( $R$ )는 시간적 마스크 형태의 변동 속도에 비례하며 다음식과 같다.

$$R \cong f_{\text{mod}} \Delta M, \quad (3)$$

여기서  $f_{\text{mod}}$ 는 변조 주파수이고  $\Delta M$ 는 시간적 마스크 깊이이다. 변동강도는 소리의 변화를 인간이 느끼는 특성에 대한 주관적인 지각량이라 할 수 있다. 20 Hz 미만의 주파수로 진폭 변조되는 소음의 경우, 정상 상태 소음보다 더 불쾌한 느낌을 갖는데 이와 같은 청감특성을 변동강도로 정의한다. 변동강도( $F$ )는 변조 주파수가 4 Hz 근방에서 최대가 되고 4 Hz 이상으로 증가하면 감소하게 되며 다음식과 같이 표현한다.

$$F \cong \frac{\Delta M}{(f_{\text{mod}}/4 \text{ Hz}) + (4 \text{ Hz}/f_{\text{mod}})}. \quad (4)$$

변동강도는 단위는 ‘vacil’을 사용하며, 1 vacil은 1 kHz의 순음이 4 Hz 변조 주파수로 100%의 크기 변조

시의 변동강도를 나타낸다.

음질연구에 대한 주관적 평가 방법으로는 청음 평가를 위한 설문조사를 수행한다. 평가방법으로는 의미 분화법, 수치 등급 평가, 쌍대 비교법, 요인 분석법 등을 사용하였다.<sup>16, 17</sup> 주관평가 결과와 객관적인 소음평가 결과와의 상관성 분석을 통하여 심리음향학적 객관 음질 지수를 개발하였다. 객관적 평가결과를 청감실험을 통해 얻은 변수들과의 상관성을 도출하기 위한 통계분석방법으로 다중회귀분석을 활용하였다.

### III. 환상교향곡과 표본음원

본 논문의 심리음향학적 분석 대상으로 베를리오즈(Hector Berlioz, 1803 ~ 1869)의 「환상교향곡(Op. 14)」을 선정하였다. 1830년에 작곡된 「환상교향곡」은 문학과 음악을 결합시키려는 그 시대의 경향을 반영하는 표제음악의 대표로 꼽힌다. 표제음악은 제목이나 줄거리로 작품의 음악 외적인 내용을 알려주는 기악 음악으로서 문학이나 회화적인 함축이 전혀 없이 음으로만 이루어진 절대음악 혹은 순수음악과는 대별된다. 표제음악의 내용은 주로 문학적 이야기의 줄거리·상황·광경·생각에 관한 것으로 작품의 표제는 작곡가의 상상력을 자극시켜 청중을 일정한 방향으로 이끌어 가게 한다. 이러한 문학적·회화적 함축성을 내포한 표제음악은 작곡가의 의도가 명확히 드러나기 때문에 심리음향학적으로 접근하는데 큰 이점을 가지고 있다.

음악적 아이디어와 음악외적 상념의 연관성으로 가득 차 있는 「환상 교향곡」은 ‘고정악상(Idee Fixes)’를 사용함으로써 19세기 후기 교향곡의 순환형식을 발전시키는데 있어서 중요한 추진력을 주었다고 할 수 있다. 이 교향곡 전체를 통하여 나타나는 고정악상은 그의 연인인 스미드슨을 나타내는 것이다. 이것은 서주 후에 처음으로 등장하여 소나타의 제시부의 주요 시작 주제 역할을 하며 다섯 개의 모든 악장에서 다양한 모양으로 재출현한다. 베를리오즈는 악장마다 서두에 주석을 붙여 줄거리를 기술했는데, 대략적인 내용은 “사랑의 번미에 빠진 어느 젊은 예술가가 아편을 먹어 자살을 기도했으나 치사량에 이

르지 못하고 괴기한 몽상에 빠진다.”라는 것이다.

본 장에서는 환상교향곡에 대한 심리음향학적 분석을 위하여 열여덟 개의 표본음원에 대한 추출을 수행하였다. Table 1에서는 추출한 표본음원 부분의 악보 상에서의 시작과 끝을 분석하여 각 표본에 번호를 제시하였다. 각 마디에 나타난 소수점은 박의 위치를 나타낸다(예를 들면, 표본음원 1번의 4.3은 4째 마디의 셋째 박을 의미한다).

다음으로 주관적 음질분석 방법 중 의미 분화법을 적용하기 위하여 필요한 의미론적 음질 형용사를 결정한다. 의미 분화법은 앞서 기술한 음질 형용사와 반대 형용사의 척도를 등급화하여, 평가자의 표본음원에 대한 주관적 느낌을 절대 평가하는 방법을 의미한다. 이러한 의미 분화법에 의한 방식을 적용할 때, 표본음원에 대한 감정 척도를 데이터화하기에 매우 용이하다. 이 방법을 사용할 경우, 감정의 유형이 다양하게 제시된 표본음원 선정 및 음질 형용사의 수를 적절하게 선택하는 것이 중요한데, 그렇지 못할 경우 편향된 소음원으로 평가의 혼돈을 줄 수 있고, 너무 많은 수의 음질 형용사는 피실험자에게 부담을 주어 평가능력이 떨어질 가능성을 초래할 수

Table 1. Selected sample sound sources.

Sample #	Movement	Starting bar	Ending bar
1	1	3	4.3
2		11	12.3
3		17.3	18
4		23	24
5	2	38.3	42
6	3	1.2	2.3
7		33	34
8		177	178
9	4	1	4
10		17	21
11		41	45
12		62	65
13		49	54.3
14		139	144.1
15	5	7	9.1
16		21	25.4
17		125	133
18		444	446

Table 2. Semantic adjective.

Representative means	Mean set	Opposite representative means	Opposite mean set
pleasant	pleasant, promising, excited, glad, happy	gloomy	gloomy, desperate, sad, distressed
quiet	quiet, silent	noisy	noisy
peaceful	comfortable, peaceful, pastoral, mild, idyll, stable	unstable	uncomfortable, unstable
smooth	smooth	rough	rough
realistic	realistic	dreaming	fantasy, dreaming, giddy
idle	slow, free, idle	nervous	premature, busy, urgent, nervous, pressing, upsurging, tense, fanatical
bright	bright, light	dark	dark, bleak, ominous, creepy, ghastly, heroic, gooseflesh
passionate	passionate, progressive, active, cheerful, rhythmical, elated, marching, amusing, dancing, cool, explosive, determining, brave, militant, fancy	stuffy	still, boring, sluggish, stuffy, hesitating, cautious, cowardly, simple
pious	pious, calm	flippant	flippant

있기 때문이다.

각각의 표본음원에 관련된 표제성과 표본음원에서 느껴지는 형용사적 느낌에 기초하여 음질형용사를 추출하였다. 각각의 음원에 대해서 추출한 음질형용사들을 유사개념으로 분류하여 대표 의미를 선택함으로써 의미 분화법에 기초한 청감실험에 사용할 음질형용사의 수를 최소화하였다. 열여덟 개의 음원 각각에 대해서 선정한 음질형용사를 분석하면 Table 2와 같이 종합할 수 있다. Table 2에서 비슷한 의미 집합과 반대 의미 집합을 소그룹별로 분류하여, 각 분류에 대한 대표 의미와 반대 의미 정리하여 나타내고 있다. 추후에 진행할 주관적 음질 분석을 위하여 추출한 음질형용사는 수치등급화의 정량적 평가를 위하여 그 의미와 반대되는 형용사와 함께 표기하였다.

#### IV. 환상교향곡의 객관적 음질분석

본 장에서는 인간의 청감반응을 잘 표현한 썬비커의 음질 요소 중 사람이 인지하는 소리에너지 크기를 나타내는 라우드니스, 소리의 날카로움 정도를 나타내는 샤프니스, 저주파 대역에서의 소리 거침 정도를 나타내는 러프니스, 소리 변화에 대한 주관적 지각량을 나타내는 변동강도를 이용하여 환상교향곡에 대한 객관적 음질 분석을 수행한다. 이를 위해



Fig. 1. Head and Torso simulation system and headphone.

헤드와 토르소 시뮬레이터(Head & Torso Simulator)와 음질분석 프로그램을 이용하였다. 대상 음원으로 Table 1에서 기술한 열여덟 개의 표본음원을 웨이브 파일로 저장한 음원을 사용하였다.

저장된 열여덟 개의 음원을 Fig. 1에서 나타난 것과 같이 헤드-토르소 시뮬레이터(B&K 4100D)와 마이크로폰(B&K 4189), 마이크로폰 프리앰프(B&K 2671), 헤드폰을 사용하여 바이노럴(Binaural)로 재생하였다. 실험실은 암소음 15 dBA의 반무향실(8×7×4 m, Cut-off Freq.; 125 Hz)의 확산음장 조건에서 진행하였다.

측정된 데이터는 다시 음질 분석시스템과 썬비커 음질요소를 적용하여, 각 표본음원의 음질 특성을 분석하였다. Table 3에서 각 표본음원을 B&K 7608 음질 분석시스템을 통해 계산한 음질요소와 음압레벨

Table 3. Zwicker SQ parameters and SPLs of sample sound sources.

Sample number	SPL (dBA)		Loudness (sone)		Sharpness (acum)		Roughness (asper)		Fluctuation strength (vacil)	
	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right	Left	Right
S1	54.2	52.1	6.49	5.58	1.40	1.34	0.72	0.65	1.61	1.48
S2	55.9	53.0	7.99	6.61	1.54	1.43	0.75	0.78	1.76	1.66
S3	55.9	52.2	8.49	6.97	1.58	1.45	0.72	0.69	2.19	2.23
S4	68.9	68.8	18.4	16.4	1.6	1.49	0.82	0.84	2.18	2.06
S5	61.5	58.3	12.7	10.4	1.42	1.27	0.80	0.81	2.53	2.42
S6	54.1	54.4	5.44	5.46	1.28	1.29	0.51	0.45	1.61	1.75
S7	63.1	60.2	12.0	9.55	1.35	1.29	<b>0.44</b>	<b>0.53</b>	1.68	1.48
S8	57.3	55.2	6.25	5.37	<b>0.75</b>	<b>0.76</b>	1.56	1.47	<b>1.36</b>	<b>1.29</b>
S9	<b>47.4</b>	<b>47.6</b>	<b>4.33</b>	<b>4.26</b>	0.96	0.93	0.65	0.66	1.42	1.61
S10	68.2	67.8	16.3	16.5	1.07	1.07	<b>1.29</b>	<b>1.33</b>	2.26	2.15
S11	72.8	71.4	22.8	21.1	1.3	1.23	1.29	1.26	2.29	2.93
S12	<b>75.6</b>	<b>73.7</b>	<b>32.4</b>	<b>30.0</b>	1.48	1.42	0.54	0.49	1.94	1.67
S13	62.0	60.8	10.4	10.0	0.85	0.83	0.78	0.77	<b>3.15</b>	<b>3.10</b>
S14	72.2	71.3	22.8	21.6	1.32	1.26	0.77	0.76	1.97	1.94
S15	64.3	62.0	12.4	11.1	1.16	1.12	0.81	0.82	2.00	1.87
S16	55.0	53.7	7.79	6.96	0.9	0.91	0.77	0.67	1.72	1.73
S17	64.3	65.1	10.8	11.3	0.91	0.85	0.57	0.56	1.61	1.56
S18	64.9	63.3	11.2	10.5	<b>1.69</b>	<b>1.58</b>	0.74	0.69	1.84	1.79

에 대한 결과를 나타내었다. 음압레벨의 크기로 보았을 때는 표본음원 제12번이 왼쪽 귀에 75.6 dBA로서 가장 크고 표본음원 제9번이 왼쪽 귀에 47.4 dBA로서 가장 작음을 확인할 수 있다. 최대, 최소의 차이는 28.2 dBA이다. 라우드니스도 음압레벨과 동일하게 표본음원 제12번이 가장 크고 표본음원 제9번이 가장 작음을 확인할 수 있다. 가장 큰 값이 32.4 sone, 가장 작은 값이 4.26 sone 으로서 차이가 28.14 sone이 된다. 샤프니스의 경우에는 표본음원 제18번이 1.69 acum으로 가장 크고 표본음원 8번이 0.75 acum으로 제일 작다. 최대값과 최소값의 차이는 0.94 acum이다. 러프니스의 경우에는 표본음원 제10번이 1.33 asper로서 가장 크고 표본음원 7번이 0.44 asper로서 가장 작다. 그 차이는 0.89 asper이다. 변동강도는 표본음원 13번이 3.15 vacil로서 가장 크고 표본음원 9번이 1.29 vacil로서 가장 작다.

### V. 환상교향곡의 주관적 음질분석

본 장에서는 III장에서 추출한 표본음원에 대해서

II장에서 설명한 평가기법을 사용하여 청감실험을 하였으며, 측정결과를 분석하여 다음 VI장에서 진행할 음질지표개발에 기본 자료를 제공한다.

먼저 분석한 열여덟 개의 표본음원에 대해서 제1차 주관평가를 실시하였다. 청감실험을 위한 소리 재생 방법으로 라우드 스피커와 헤드폰을 이용하는 방법이 일반적이며, 소음원의 특성에 따라 저주파수의 재현성을 높이기 위해 우퍼 및 각종 스피커를 사용하여 실제 음향조건과 동일한 환경을 맞춘다. 본 연구에서는 표본음원들의 주파수 분포가 대부분 200 Hz 이상에 위치하고 있음에 따라 정밀 헤드폰 (Sennheiser HT0017)과 음향 신호 증폭기를 사용하여 청감실험을 수행하였다. 청음 평가에 앞서 피실험자 집단을 아래와 같은 기준으로 한정하였다. ① 환상교향곡을 들어 본 적이 없는 사람, ② 청각능력이 건강 25~43세의 남녀. 이러한 평가집단 선정조건은 환상교향곡의 경우 음악 전공자에게는 매우 잘 알려져 있는 곡이기 때문에 한번이라도 들어본 사람은 소리에 대한 편견이 있을 수 있고 또한 고주파수에 대한 청각능력은 나이가 들면서 퇴화하기 때문이다.

	Adjective (A)	Extr-eme	Very	A little	Average	A little	Very	Extr-eme	Adjective (B)
		4	5	6	7	8	9	10	
Q1	gloomy								pleasant
Q2	quiet								noisy
Q3	unstable								peaceful
Q4	smooth								rough
Q5	dreaming								realistic
Q6	idle								nervous
Q7	dark								bright
Q8	stuffy								passionate
Q9	flippant								pious

Fig. 2. questionnaire for subjective evaluation of sound quality.

다음으로 표본음원을 잘 표현할 수 있는 질의어는 Table 2의 분석결과를 기초로 선정하였다. 청음평가는 기술한 바와 같이 의미분화법을 이용하여 주관평가를 진행하였다. 평가 방법은 Otto의 7단계(10점에서 4점)<sup>[6]</sup> 방식을 선택하였으며 각 요인별로 피실험자들이 신호를 듣고 느끼는 정도가 높은 신호일수록 높은 점수를 매기도록 하였다. Fig. 2에서 청음평가에 사용한 질문지를 제시하였다. 청감실험을 위한 음원 제시는 바이노럴로 재생하였다.

### 5.1 제1차 청음평가와 상관성 분석

총 열 명의 정상청력을 보유한 젊은 남녀(25~43세)를 대상으로 청감실험을 실시하였다. 음원은 표본음원 제1번에서 제18번의 순서로 첫 번째 실험을 진행하고, 10분 휴식 후, 순서를 변경하여 총 3회를 진행하였다. 이와 같은 이유는 청음평가 순서를 변화시켜 청음자가 특정 음원에 치우치는 것을 피하기 위함이다. 청음자들은 실험 전에 반응방법을 연습하도록 하고 심리적으로 안정된 상태일 때 실험을 하였으며, 장기간의 실험은 피실험자의 청각손상과 피로를 야기함에 따라 음압레벨, 지속시간, 순서 등을 고려하여, 1회당 10분 이내로 실시하였다.

Table 4에서 각각의 음질 형용사 질의어에 대하여 표준음원에 대한 제1차 주관 평가 점수의 평균값과 썬비커 인자의 레벨 사이의 상관계수를 나타내었다. 각각의 음질형용사에 대한 주관 평가와 음질요소 사이에 상관관계 평균값이 가장 높은 것은 라우드니스

Table 4. Correlation coefficients between the sound quality parameters and the first subjective evaluation results for each sound sample.

Question	L (sone)	S (acum)	R (asper)	F (vacil)
Q1	0.40	0.26	-0.08	0.38
Q2	0.72	0.14	0.40	0.39
Q3	0.09	0.27	-0.43	0.22
Q4	0.49	-0.12	0.47	0.01
Q5	0.50	0.09	0.18	-0.01
Q6	0.14	-0.32	0.49	-0.13
Q7	0.41	0.40	-0.23	0.49
Q8	0.76	0.45	0.14	0.52
Q9	0.29	0.26	0.07	0.44
평균	0.44	0.15	0.12	0.23

※ L: Loudness, S: Sharpness, R: Roughness, F: Fluctuation strength

(0.76)이며, 가장 낮은 평균 상관관계를 나타낸 것은 변동강도(0.01)이다.

제1차 청음평가 결과와 의미 분화법에서 사용된 질의어를 사용하여 요인 분석을 수행하였다. 요인 분석은 다수 변수들 간의 상관관계를 이용하여 변수들 간의 체계적인 구조를 밝히고 공통적인 변수끼리 묶어주는 일종의 다변량 통계기법이다. 요인 분석법은 변수를 종속 및 독립변수로 분리하지 않고 변수 전체를 대상으로 어떤 변수들끼리 서로 같은 분산 구조를 가지는가를 요인으로 분류한다. 일반적으로 분석하고자 하는 변수 중 종속변수와 독립변수의 형태로 나누는 다중회귀분석과는 달리 요인분석에서는 모든 변수가 하나로 같은 역할을 한다. 질의어는 높은 점수 쪽에 속하는 질의어군을 선택하여 요인분석을 실시하였다. 이러한 질의어군 선택의 이유는 총 열 명의 청음자가 열여덟 개의 소음원을 3회 평가한 각각의 질의어 쌍의 평균 값(7.14점)이 기준값(7점)보다 높기 때문이다. 따라서 “즐거움”에서 “경박함”까지의 질의어 총 아홉 개에 대해서 요인분석을 실시하였다. ‘매트랩’ 프로그램에서 요인분석을 수행하는 함수인 ‘Factoran’을 통해 실행하였으며, 질의어 사이에 상관관계가 높은 변수끼리 묶었다. 요인을 한 가지부터 가정하여 계산을 수행한 결과 요인이 세 가지 일 때 가장 적절한 값을 나타내었다. 요인

Table 5. Factor analysis results for each sound sample.

Question	Factor 1	Factor 2	Factor 3
Q1	<b>0.6282</b>	0.5427	0.0330
Q2	-0.1823	<b>0.7262</b>	0.3803
Q3	<b>0.8119</b>	0.0696	-0.1896
Q4	<b>-0.5519</b>	0.5164	0.3435
Q5	-0.2019	0.0507	<b>0.9755</b>
Q6	<b>-0.7935</b>	0.1749	0.1995
Q7	<b>0.7903</b>	0.4831	0.0162
Q8	0.2619	<b>0.6937</b>	0.1467
Q9	0.0287	<b>0.4926</b>	-0.1313

을 세 개로 가정하고 계산한 결과인 요인 적재값을 Table 5에서 나타내었다. Table 5의 요인 분석결과 아홉 개의 질의어는 총 세 가지 그룹으로 분류할 수 있음 알 수 있다. 즉 Table 4의 질의어 중 질의어 Q1, Q3, Q4, Q6, Q7을 첫 번째 그룹, 질의어 Q2, Q8, Q9를 두 번째 그룹, 그리고 질의어 Q5를 세 번째 그룹으로 분류할 수 있다. 따라서 “즐거움”, “평화로운”, “부드러운”, “한가한”, “밝은”을 첫 번째 그룹으로 해서 “밝은”으로, “시끄러운”, “열정적인”, “경박한”을 두 번째 그룹으로 해서 “시끄러운”으로, “사실적인”을 마지막 세 번째 그룹으로 분류한다. 다음에서 요인 분석을 통하여 분류한 질의어를 사용하여 제2차 청음평가를 수행하도록 한다.

### 5.2 제2차 청음평가와 상관성 분석

제2차 청감실험에서는 선정된 세 개의 질의어에 대해 각각의 표본음원에 대한 주관적 감성을 평가하였다. 총 열 명의 정상청력을 보유한 젊은 남녀(남자 아홉 명, 여자 한 명, 23~43세)를 대상으로 청음평가를 실시하였다. 청음평가 절차는 제1차와 동일하게 측정하였으며, 주관적 평가레벨은 수치 등급평가방법(4~10점)을 사용하였다. 제2차 청음평가 결과, 열여덟 개의 소음원에 대한 평가자 전원의 평균값과 개인의 평균값 사이의 상관관계가 70% 이상임에 따라 데이터 모두를 사용하였다. 각 음질요소와 주관적 평가의 상관관계를 이용해서 각각의 음질 허용사에 대하여 표본음원에 대한 피실험자의 평가 점수의 평균값과 쓰비커 음질 인자 레벨과의 상관계수를 계산하여 Table 6에서 나타내었다. 첫 번째 질의어인

Table 6. Correlation coefficients between sound quality parameters and second subjective evaluation.

Question	L (sone)	S (acum)	R (asper)	F (vacil)
Q1	0.48	0.37	-0.18	0.51
Q2	0.74	0.13	0.40	0.47
Q3	0.45	-0.35	0.52	0.03

“밝은·어두운”에 대해서는 섭동강도가 0.51로 가장 큰 값을 나타내고 라우드니스와 샤프니스가 각각 0.48와 0.37로 그 다음 순서를 이었다. 반면 러프니스가 -0.18으로서 가장 작은 상관계수를 나타내었다. 두 번째 질의어인 “시끄러운·조용한”에 대해서는 라우드니스가 0.74로 가장 큰 값을 나타내고 그 다음으로 변동강도가 0.47, 러프니스가 0.40값을 나타내며 샤프니스가 가장 작은 0.14값을 나타내었다. 세 번째 마지막 질의어인 “사실적인·꿈꾸는듯한”에 대해서는 러프니스가 0.52로 가장 높았으며, 라우드니스가 0.45, 샤프니스가 -0.35의 상관관계를 나타내었다. 반면 변동강도는 0.03으로 가장 작은 상관계수를 나타내었다. 이와 같이 질의어에 따라 상관관계가 높은 음질 요소가 달라짐을 확인할 수 있으며 이는 다음에 진행되는 각각의 질의어에 대한 음질지표 개발에 참고자료로 활용하도록 한다.

## VI. 환상교향곡의 음질 지표 개발

일반적으로 음질 지표를 모델링하기 위해 다중선형 회귀곡선과 인공신경회로망 방법이 많이 사용되고 있다. 인공신경회로망은 비선형 모델을 표현하기 위한 방법이며 모델링을 위해 많은 데이터가 요구되는 반면, 다중선형회귀분석은 상대적으로 작은 데이터의 수와 간단한 계산을 통하여 합리적인 결과물을 만들 수 있다. 또한 소리의 크기에 대한 인간의 감성 반응을 잘 표현하는 라우드니스는 음압레벨의 증가와 감각적 크기의 반응이 선형적 특성을 가지기 때문에 다중선형회귀모델의 적용이 가능하다. 따라서 본 연구에서도 18개의 표본음원 자료로 음질 지표를 개발하기 위해 다중선형회귀분석을 수행하였다. Table 6의 결과처럼 각각의 음질 질의어에 대하여 네 개의 쓰비커의 대표적인 음질 요소의 상대적 상관관



계가 다르게 나타났으며 각각의 질의어에 대하여 차례대로 러프니스, 샤프니스, 변동강도가 제일 작은 상관계수를 나타내었다. Lee *et al.*<sup>[8]</sup>의 연구에 따르면 주관적 평가레벨과 낮은 상관관계를 가지는 음질과 라미터는 음질 지표에 중요한 영향을 주지 않는 것으로 말하고 있다. 이를 통해 본 연구에서는 “밝은”, “시끄러운”, “사실적인”의 주관적 감성반응과 이에 대응하는 음질 지표의 개발을 위해 Table 6에서 상관관계가 높은 세 개의 음질 요소를 이용하여 관련 음질 지표를 개발하도록 한다. 제2차 청음평가를 통해 얻은 주관 평가결과와 상관도가 높은 음질요소를 이용한 음질 지표를 다음식과 같이 표현할 수 있다.

$$SQI_B = c_{0,B} + c_{L,B}L + c_{S,B}S + c_{F,B}F, \quad (5)$$

$$SQI_N = c_{0,N} + c_{L,N}L + c_{R,N}R + c_{F,N}F, \quad (6)$$

$$SQI_{Re} = c_{0,Re} + c_{L,Re}L + c_{S,Re}S + c_{F,Re}F, \quad (7)$$

여기서 SQI(Sound Quality Index)는 관련 음질 지표, B는 밝은(Bright), N은 시끄러운(Noisy), Re는 사실적인(Realistic)을 나타내는 약자이고, L, S, R, F는 차례대로 라우드니스, 샤프니스, 러프니스, 변동강도 레벨을 나타낸다. 각각의 음질지표에 대해서 상관계수가 높은 음질인자를 독립변수로 하고, 주관평가 결과는 종속변수로 하여 다중 선형회귀식을 이용하여 최소 제곱회귀분석을 실시하였다. 이를 통하여 Eq. (5)에서 Eq. (7)에 있는 계수를 결정하였다. 계산 결과를 이용하여 최종으로 유도한 식은 다음과 같다.

$$SQI_B = 2.77 + 0.0438L + 1.10S + 1.14F, \quad (8)$$

$$SQI_N = 3.84 + 0.109L + 1.45R + 0.608F, \quad (9)$$

$$SQI_{Re} = 6.93 + 0.059L - 1.10S + 0.955F. \quad (10)$$

“밝은”, “시끄러운”, “사실적인”의 음질 지표를 이용한 레벨과 실제 청감실험의 결과를 이용한 상관곡선을 Fig. 3에서 나타내었다. 이들 음질 지표와 주관평가와의 상관계수는 각각 차례대로 0.65, 0.85, 0.76

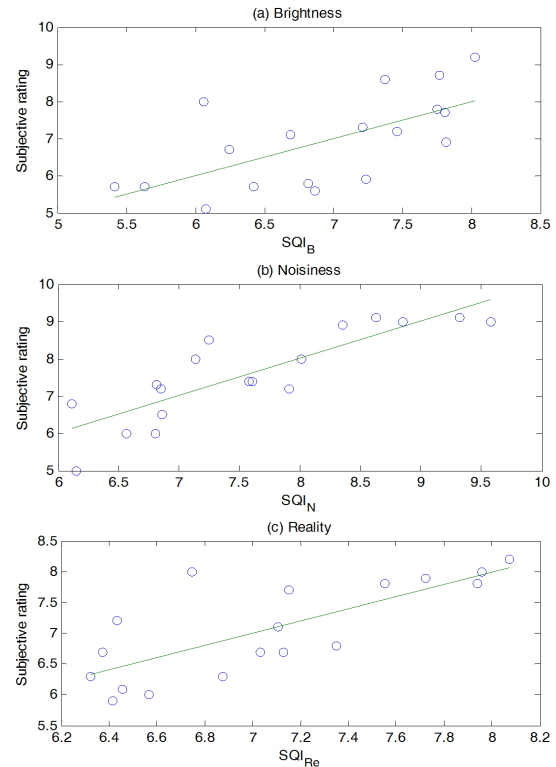


Fig. 3. Least square linear regression lines of sound quality index for 18 sound samples. The correlation coefficients are 0.65, 0.85 and 0.76 respectively.

으로 비교적 높은 값을 나타낸다. 개발한 음질지표를 기초로 「환상교향곡」의 표제성을 바탕으로 추출한 음질형용사를 크게 세 그룹으로 분류할 수 있음을 알 수 있다. 즉 「환상교향곡」은 심리음향학적 측면에서 분석하면 크게 세 그룹의 감성반응을 유도하고 있고 각 그룹안의 음질형용사가 표현하는 감성반응들은 높은 상관성을 가지고 있어 청중이 소리를 통해서 구별하기에는 어려움이 있다고 판단할 수 있다.

## VII. 결 론

본 논문에서는 심리음향학적 연구방법을 음악의 작품분석에 도입함으로써 음악의 소리에 내재된 주관성을 객관화하고자 하는 연구를 진행하였다. 작품 분석 대상으로 19세기 초 신고전주의의 표제음악의 대표인 베를리오즈의 「환상교향곡」을 선택하였다. 이것은 표제음악이 작곡가의 의도가 명확히 들어나기 때문에 심리음향학적으로 접근하는데 큰 이점을

가지고 있기 때문이다. 먼저 환상교향곡의 표제성을 고려하여 총 열여덟 개의 표본음원을 추출하고 관련 음질형용사를 도출하였다. 추출한 표본음원에 대하여 쓰비커의 음질 요소인 라우드니스, 샤프니스, 러프니스, 변동강도 값을 계산하였다. 다음으로 의미 분화법을 바탕으로 열여덟 개의 표본음원에 대하여 청감실험을 수행하고 주관적 음질분석을 수행하였다. 총 아홉 개의 음질형용사를 대상으로 제1차 청감 실험을 수행하고 요인분석을 통해 상관관계가 높은 변수끼리 묶어 세 가지 대표 음질 형용사 질의어 “밝은-어두운”, “시끄러운-조용한”, “사실적인-꿈꾸는 듯한”을 추출해 내었다. 마지막으로 추출한 세 가지 음질 형용사 질의어를 사용하여 제2차 청음평가를 수행하고 그 결과를 객관적 음질 요소와 다중회귀분석을 수행하여 각각의 질의어에 대한 음질 지표를 개발하였다. 다중회귀분석을 통하여 개발한 음질 지표가 주관평가와의 상관계수가 평균 0.75로서 비교적 높은 상관도를 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 음질 지표를 기초로 베를리오즈의 「환상교향곡」은 크게 세 가지 그룹의 감성반응을 청중에게 유도한다고 결론지을 수 있다. 본 논문에서 제시한 음질 지표는 청취자들의 감성적인 반응을 객관화할 수 있고 이를 음악적 요소와 연계함으로써 새로운 작곡 도구로 활용할 수 있을 뿐만 아니라 공학분야의 소리 디자인에도 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

## References

1. S.-Y. Lee, “Analysis of the feature film, “The Host” through the interpretation of sound and music,” *jkeia*, **7**, 1-13 (2013).
2. S.-H. Shin et al., “Experimental evaluation and improvement of BSR noise of automotive doors” (in Korean), *Transactions of the KSNVE*, **17**, 1217-1222 (2007).
3. S.H. Shin, *Development of BSR sound quality index with characterization of its noise sources in a vehicle cabin*, (Ph. D. thesis, Pusan National University, 2011).
4. J.-K. Jeong, *Development of sound quality index on aircraft noise for establishment of evaluation indicator*, (MS thesis, Pusan National University, 2012).
5. H. Fastl and E. Zwicker, *Psychoacoustics: Facts and Models* (Springer, New York & Berlin, 2006), pp. 203-264.
6. N. Otto, S. Amman, C. Eoton, and S. Lake, “Guidelines for

jury evaluations of automotive sounds,” *SAE Technical Paper* 1999-01-1822 (1999).

7. H.-K. Park and J.-T. Kim, “Evaluation of door closing sound by using semantic difference method” (in Korean), *Transaction of the KSAE*, **6**, 67-79 (1998).
8. S. Lee, H. Kim, and E. Na, “Improvement of impact noise in a passenger car utilizing sound metric based on wavelet transform,” *J. Sound Vib*, **329**, 3606-3619 (2010).

## 저자 약력

### ▶ 정 혜 옥 (Haewook Chung)



1996년 2월: 중앙대학교 음악학과 학사  
 2015년 2월: 부산대학교 음악학과 석사  
 2015년 3월 ~ 12월: 부산대학교 평생교육원  
 강의전담교수  
 2015년 12월 ~ 2016년 2월: 네오필하모닉  
 오케스트라 기획팀장  
 2016년 9월 ~ 현재: 경주대학교 외래교수

### ▶ 정 수 란 (Soo-Ran Jeong)



1990년 2월: 부산대학교 음악학과 학사  
 1992년 2월: 서울대학교 음악학과 석사  
 1997년 5월: 뉴욕 주립대학교 박사  
 1999년 3월 ~ 2001년 2월: 울산대학교  
 음악대학 객원교수  
 2003년 3월 ~ 현재: 부산대학교 음악학과  
 교수

### ▶ 정 철 웅 (Cheolung Cheong)



1997년 2월: 서울대학교 항공우주 학사  
 1999년 2월: 서울대학교 항공우주 석사  
 2003년 2월: 서울대학교 기계항공 박사  
 2003년 3월 ~ 2004년 8월: 서울대학교  
 기계항공 BK21 박사후연구원  
 2004년 9월 ~ 2005년 5월: University of  
 Southampton, ISVR, Post-Doctoral  
 Research Associate  
 2005년 6월 ~ 2006년 2월: 한국표준과학  
 연구원 선임연구원  
 2006년 3월 ~ 현재: 부산대학교 기계공학부  
 교수