

음악감상에서의 음질 평가를 위한 한국어 어휘의 의미론적 속성 분석

이은영*, 유가을**, 이영미***

본 연구는 음악감상 시 지각하는 음질(sound quality)을 평가할 때, 어휘를 통한 평가가 음악 유형에 따라 달라지는지 분석하여, 음질 평가 어휘의 의미론적 속성에 대한 기초 자료를 제공하고자 하였다. 평균 9.4년의 전문 훈련을 받은 20-30대의 음악 전공자 31명이 참여하였고, 각 참여자는 성부수와 악기의 소리 산출 방식(악기군)에 따라 구성된 9개 음악을 듣고 음질을 나타내는 18개 의미 단어 쌍을 평가하였다. 요인 분석을 통해 동일 요인에 영향을 받는 단어들을 그룹화하였고, 다변량 분산 분석을 통해 각 요인 그룹별로 성부수와 악기군에 따른 차이를 확인하였다. 또한, 유의한 차이를 보이는 의미 단어 세트를 사용해 레이더 차트를 그려 각 음악별 차이를 시각적으로 분석하였다. 연구 결과, 4개 요인이 추출되었으며, '부드러운-딱딱한', '둔한-날카로운', '지저분한-정돈된', '낮은-높은'의 단어 쌍이 음악 유형에 따라 유의한 차이를 보였다. 이 4개 단어 쌍을 바탕으로 작성된 레이더 차트는 각 음악에 대한 음질 평가를 구분하는 데 효과적이었다. 이 결과는 한국어 기반 음질 평가 어휘 개발 시, 국외 연구에서 보고된 범주와는 다른 구조의 체계가 필요하며, 언어적·문화적 요인의 반영이 중요함을 시사한다. 또한, 교차 감각 대응(cross-modal correspondence)에 기반한 어휘 범주 중에서도 음향적 속성에 민감한 범주가 존재함을 확인하였다. 본 연구는 언어적·문화적 속성과 더불어 음질에 영향을 미치는 음악 요인을 반영할 수 있는 음질 평가 어휘 개발에 필요한 기술자료를 제공할 것으로 기대된다.

핵심어: 음질, 음색, 음질 인식, 의미 단어

*주저자: 소리의원 음악치료사, 이화여자대학교 대학원 음악치료학과 박사과정, 음악중재전문가(KCMT)

**공동저자: 이화여자대학교 대학원 음악치료학과 조교수

***교신저자: 이화여자대학교 언어병리학과 부교수 (youngmcc@ewha.ac.kr)

I. 서론

음악을 경험하고 평가하는 과정에 대한 감상자의 인식은 음악을 구성하는 요소와 구조 등의 음악 내적인 특성(intramusical attributes)뿐만 아니라 소리의 질적인 측면과 관련된 음질(sound quality)에도 중요한 영향을 받는다. 음질은 음악의 내적 구성요소가 동일한 상황에서도 감상자가 한 소리와 다른 소리를 질적으로 다르게 지각하도록 하는 특성으로(American National Standards Institute, 2024), 음악 자체와 음악 경험에 대한 감상자의 주관적 인식, 만족도, 정서적인 평가에 핵심적인 영향을 미친다고 보고되었다(Lee & Müllensiefen, 2020; Łękowski, 2014; Patel, 2010). 음질에 대한 지각에는 실제 물리적, 음향적 요소의 질을 평가하는 것뿐만 아니라, 제시된 소리나 음악에 대한 기대의 충족과 만족도도 중요한 부분을 차지한다. 실제로 감상자들은 자신의 기대가 충족된 음악을 좋은 음질로 간주하는 경향이 있다는 점을 고려할 때(Łękowski, 2014), 음질은 음악 경험과 관련된 정서적 반응에 영향을 미치는 요인으로서 관련 분야에서 다각적으로 연구되어 왔다.

감상자가 음악의 질적인 측면을 주관적으로 평가하는 과정과 관련된 연구에서는 음질이란 용어가 음색(timbre), 음의 색깔(tone color) 등과 혼용되어왔다. 이는 음악의 질을 결정하는 데 소리를 발생시키는 악기의 특성, 소리가 재생되는 환경 및 장치, 이러한 물리적 속성에 대한 감상자의 주관적 인식 등 다차원적 요인들이 복합적으로 영향을 주고받기 때문이다. 또한, 사용되는 용어 간 개념과 범위를 명확하고 체계적으로 구분하기 쉽지 않다고 지적되었다(Łękowski, 2014). ‘음질’은 감상자 중심의 감각적, 음향적 및 주관적인 측면을 모두 포함하는 광범위한 범주로 자주 사용되며, 본 연구는 소리의 질적 측면을 주관적으로 인식하는 다차원적인 요인을 밝히는 데 그 목적이 있어 관련 개념을 포괄하는 용어로 ‘음질’을 사용하고자 한다.

음질에 대한 평가는 음악에 대한 지각적 정확성이나 인지적 정보 처리와는 구분되는 과정으로, 미학적 측면에서 음악감상과 경험의 즐거움에 중요한 영향을 미친다(Lee & Müllensiefen, 2020; Town & Bizley, 2013; Wallmark, Iacoboni, Deblieck, & Kendall, 2017). 음질에 대한 평가는 자동적인 반응에서부터 의식적 인식과 해석을 동반한 반응에 이르기까지 다양하게 연구되어 왔다. 이 과정에서 감상자의 생리학적 반응이나 행동적 반응을 분석하는 연구는 감상자의 자동적이거나 암묵적인 반응에 초점을 맞춘다. 이러한 시도는 음악에 대한 감상자의 즉각적이고 내적인 반응을 객관적으로 파악할 수 있다는 점에서 유용하다. 하지만 감상자가 무의식적으로 혹은 자동적으로 경험하는 반응을 의식적으로 알아차리는 과정 역시 중요하다. 감상자의 생리학적 반응과 의식적 반응이 일치하지 않는 경우가 있더라도, 감상자가 주관적으로 의미를 부여하고 명명하는 과정 자체가 중요하다는 점에서 감상자의 주관적 인식에 초점을 맞춘 연구가 활발하게 이루어지고 있다(Disley, Howard, & Hunt, 2006; Howard, Disley, & Hunt, 2007; Reymore, 2022; Zacharakis, Pasiadis, & Reiss, 2014). 특히, 감상자가 경험한 감정이나 인식을

언어화할 때, 자신의 반응을 의식적으로 알아차리고, 이를 적극적으로 확인하며 의미를 부여하는 과정은 명시적이고 외현화된 반응으로서 중요한 의미를 지닌다. 이러한 맥락에서 많은 연구들이 감상자들이 보고하는 언어적 표현이나 평가 어휘의 선택을 체계적으로 연구해왔다.

음질에 대한 인식은 개인에 따라 주관적이며 개별화된 패턴을 보인다는 점에서 이러한 주관적 패턴을 민감하게 포착할 수 있는 적절한 어휘의 사용은 관련 분야에서 중요한 과제라고 할 수 있다. 선행 문헌을 살펴보면, 음질 평가에 사용된 어휘의 범위가 매우 광범위함을 알 수 있다. 예를 들면, 음질 평가와 관련된 어휘들은 경험의 감각적 속성(예: 밝은, 따뜻한, 달콤한 등)과 추상적 구조와 관련된 비감각적 속성(예: 풍부한, 복잡한, 거친 등) 등으로 나누어진다(Dolan, 2013; Siedenburg, Saitis, & McAdams, 2019; Wallmark, 2014). 또한, 많은 연구자들은 음악 인식 과정에서 청각 외의 다른 감각 경험의 속성과 연결하는 교차 감각 대응(cross-modal correspondence)에 주목해왔다(Walker, 2016; Wallmark, Nghiem, & Marks, 2021). 많은 선행 문헌에서는 음질 평가 시 일반적으로 명도(brightness/sharpness 혹은 luminance), 질감(roughness/harshness 혹은 texture), 밀도(fullness/richness 혹은 mass)와 같은 범주를 설정한다(Zacharakis et al., 2014). 이와 같이 청각적 경험을 밝기나 선명함(시각), 매끄러움이나 거칠음, 단단함(촉각) 등 다른 감각 경험을 나타내는 어휘로 표현하고 설명하는 방법은 매우 일반적이다. 이러한 접근은 음악 경험이 본질적으로 다감각적인 속성을 가지고 있고, 정보 처리의 효과성 및 명료성 측면에서 신경학적 수준의 다차원적인 교차 감각 대응 기반 정보 처리가 이루어진다는 점(Evans & Treisman, 2010)을 반영한다. 마찬가지로 교차 감각에 기반한 음질 평가는 감상자의 음악 경험을 보다 다각적이고 유용하게 공유하는 것을 촉진할 수 있다.

여기서 주목할 점은 음질 평가에서 어휘의 범주화 양상이 다양한 문화권에서도 공통적으로 나타난다는 것이다. 영어와 그리스어를 모국어로 사용하는 성인을 대상으로 한 선행 연구(Zacharakis et al., 2014)에서는 음질(해당 연구에서는 음색으로 표현됨)을 나타내는 어휘가 밝기, 질감, 밀도의 세 가지 차원으로 분류되었으며, 이 분류가 양 언어 집단 간에 공통적으로 나타났다. 이는 어휘가 음질을 이해하고 설명하는 데 중요한 도구가 될 수 있음을 시사한다. 동시에 언어가 사회문화적 영향을 받는 본질적 특성을 가지고 있음을 고려할 때, 어휘를 통한 음질 평가에서 문화적 보편성과 고유성이 어떻게 적용될 수 있는지에 대한 체계적인 분석이 필요함을 보여준다.

나아가 연구자들은 평가 어휘나 요인 간 상호 관계를 좀 더 통합적인 구조 안에서 이해할 필요가 있음을 제안하며, 다차원적 지각 공간(multidimensional perceptual space)을 제안하였다(Elliott, Hamilton, & Theunissen, 2013; Reymore & Huron, 2020; Wallmark, 2019a; Zacharakis & Pasiadis, 2015). 이러한 접근은 단순히 강도나 주파수와 같은 단일 차원으로는 설명할 수 없는 복잡한 음향 특성을 스펙트럼, 시간적 특성, 에너지 분포와 같은 다양한 음향 신호를 포함하는 다차원적인 분석을 통해 음질에 대한 보다 상세한 표현을 가능하게 하였다(Lętowski,

2014; Wallmark, 2019b). 또한, 음질 평가 시 개별 어휘를 독립적으로 처리하기보다는 적용된 다양한 어휘 간의 관계를 바탕으로 구성된 다차원적 지각 틀을 제시함으로써, 개인이 각 음악 자극에 대해 지각하는 음질의 유사성과 차이점뿐만 아니라 개인 간, 그룹 간의 차이를 이해하는 데 필요한 공통적이고 체계적인 틀을 제시했다는 점에서 큰 장점이 있다.

이와 같이 음질 평가 연구는 어휘의 범주화, 평가 어휘를 담는 다차원적인 틀 개발 등 다양한 방법론을 제안하며 발전해왔다. 이러한 방법론의 개발은 감상자가 인식하는 음질의 복잡적이고 다면적인 속성을 포착할 수 있게 하며, 이를 일관적으로 소통하고 공유할 수 있는 틀을 제공하였다. 반면, 국내에서는 주로 국외 평가 도구를 한국어로 번안하는 방식으로 평가 어휘 개발이 이루어져 왔고(Cho & Kim, 2013), 국외에 비해 음질 평가 어휘 간 상호 관련성에 대한 연구는 활발하게 진행되지 않는 경향이 있었다. 음악 경험의 다감각적 속성과 이에 기반한 어휘의 범주화는 문화권 간에 공통적으로 관찰될 수 있는 반면, 구체적인 어휘 자체에는 사회적, 문화적, 언어적 고유성이 반영되므로(Dolan & Rehding, 2021; Siedenburg et al., 2019), 한국어를 모국어로 사용하는 감상자를 위한 고유한 어휘의 적합성 검증이 필요할 것이다.

선행 문헌에서는 음질 평가 어휘의 범주화나 세분화는 충분히 이루어졌지만, 이 평가 어휘들이 반영하는 음악의 다차원적 속성에 따른 차이에는 상대적으로 적은 초점이 맞추어졌다. 음악이 전달하는 전반적인 정서적 특질에 비해, 음향적 속성에 영향을 미치는 세부 음악 요소에 대한 체계적인 분석은 상대적으로 미비한 편이었다. 전체적인 음악의 정서를 전달하는 과정에서 음질 평가는 그 자체로도 유용하지만, 소리의 음향적 특성에 직접적인 영향을 받는 세부적인 음질 지각 특성의 분석은 보다 다각적인 기초 자료를 제공할 수 있다. 특히, 음악에 대한 주관적인 만족과 인식이 음악 경험의 질과 효과에 중요한 영향을 미친다는 점에서, 난청과 같은 장애인을 대상으로 한 음질 평가의 체계적 분석과 고유한 평가 도구 개발의 필요성이 강조되어 왔다(Bannister et al., 2024; Lassaletta et al., 2008). 소리 지각이나 청각적 경험이 제한된 대상자의 경우, 음악의 세부 구성요소에 따른 차이 인식이 중요한 임상적 시사점을 가지므로 음질 평가 어휘의 체계적 분석은 의미 있는 기초 자료가 될 것이다. 따라서 본 연구의 목적은 음악감상 시 음질을 평가할 수 있는 어휘를 체계적으로 분석하고 해당 어휘의 의미론적 속성을 분류하여 한국어 및 사회문화적 특성이 반영된 평가 어휘의 틀 개발에 필요한 기초 자료를 제시하는 데 있다. 이 연구 결과는 국내 음악감상자를 위한 음질 평가의 체계적 틀을 마련하고, 나아가 음악교육, 심리음향, 음악과 정서 인식 등 다양한 분야에 응용될 수 있는 기초 자료를 제공할 것이다. 이에 따라 본 연구 문제는 다음과 같다.

1. 선행 연구에서 음질 평가를 위해 사용된 평가 어휘 간에는 어떠한 관련성이 있는가?
2. 기존의 음질 평가 어휘는 음악의 유형, 즉 성부의 수(즉, 단일, 이중, 다중), 악기의 소리 산출 방식(타건 악기, 현악기, 관악기의 악기군)에 따라 유의한 차이를 보이는가?

3. 음질 평가 어휘를 바탕으로 작성된 시각적 차트는 개별 음악 자극 간 음질 평가 특성의 차이를 나타내는가?

II. 연구 방법

1. 연구 참여자

본 연구의 참여자는 서울 및 경기도 소재 대학교 홈페이지 게시판과 대학생들이 이용하는 온라인 플랫폼을 통해 모집되었다. 참여자 선정 기준은 (1) 19세 이상이며, (2) 대학에서 음악을 전공하고, (3) 최소 5년 이상의 전문적인 음악 훈련을 받았으며, (4) 자가청력검사 결과 정상 청력을 가진 자이다. 본 연구는 다양한 악기 구성에 따른 음질을 평가하는 과제를 포함하고 있어, 참여자는 악기 음색에 대한 집중적인 노출과 훈련이 요구되는 기악 및 작곡, 지휘 전공자로 제한하였다. 모집 공고문을 보고 자발적으로 참여 의사를 밝힌 이들은 연구자와의 개별 면담을 통해 연구목적, 절차, 참여 방법 등에 대한 설명을 들었으며, 설명 후 참여에 동의한 사람만 실험에 참여하였다. 모든 실험은 참여자가 온라인으로 접속하여 개별적으로 정보를 입력하는 방식으로 진행되었으며, 전자 동의를 완료된 후에만 참여할 수 있었다. 평균 연령 28.1세의 음악 전공자 31명이 본 연구에 참여하였고, 이들은 평균 9.4년의 음악 훈련을 받은 것으로 나타났다. 자세한 기본 정보는 <Table 1>에 제시하였다.

<Table 1> Demographic Information of Participants

Variable	N = 31
Sex, Male : Female	11 (35.5%) : 20 (64.5%)
Age(years), <i>M(SD)</i>	28.1 (5.0)
Category of music major	
Instrumental	24 (77.4%)
Composition	5 (16.1%)
Conducting	2 (6.5%)
Years of professional musical training, <i>M(SD)</i>	9.4 (4.3)
HHIA	
No handicap(0 - 16 points)	31 (100.0%)
Mild to moderate handicap(18 - 42 points)	0 (0.0%)
Significant handicap(44 - 100 points)	0 (0.0%)

Note. HHIA: Hearing Handicap Inventory for Adults.

2. 연구 도구

1) 음질 평가를 위한 단어 목록

본 연구에서는 음악감상 시 음질에 대해 개인이 어떻게 주관적으로 지각하는지 평가하기 위해, 관련 선행 문헌 분석을 통해 설문 문항에 사용되는 어휘를 선정하고자 하였다. 이에 국외 전자 데이터베이스인 PubMed, PsychInfo, Web of Science, CHINAL을 활용하여 분석 대상 논문들을 검색하였다. 검색 범위는 논문의 출간 연도가 1950년부터 2023년까지로 설정하였으며, 음질 및 음색과 관련된 용어인 ‘music’, ‘musical sound’, ‘sound quality’, ‘musical timbre’, ‘timbre spaces’, ‘timbre semantics’, ‘timbre acoustics’와 인식과 평가와 관련된 용어인 ‘perception’, ‘preferences’, ‘ratings’, ‘scales’, ‘multidimensional scaling’, 의미 단어와 관련된 용어인 ‘semantic description’, ‘timbre semantics’, ‘timbral adjectives’, ‘verbal attributes’을 조합하여 관련 문헌을 검색하였다.

검색된 문헌 중 음질 평가를 의미 범주(semantic category)를 활용하여 시행한 논문 총 28편을 선정하였다(<Appendix 1> 참조). 먼저 해당 문헌에서 사용된 모든 용어를 목록화한 후 사용 빈도수를 기준으로 3편 이상의 연구에서 3회 이상 사용된 단어를 추출하였다. 선정된 28편 중 18편(64%)의 연구가 의미 범주를 양극단의 속성을 가진 단어 쌍으로 제시하거나 분석하는 의미 변별 척도(semantic differential scale)를 사용함에 따라, 추출된 단어 역시 반대 성격을 가진 쌍으로 조합하였다. 또한, 조합된 의미 단어가 음질에 대한 기본적인 범주를 공통적으로 제안한 선행 연구(Moravec & Stephanek, 2005; Siedenburg et al., 2019; Zacharakis et al., 2014; Zacharakis & Pasiadis, 2015)를 참고하여 명도(luminance), 질감(texture), 밀도(mass)로 범주화하였다. 이 외의 단어들은 그 속성을 토대로 선행 문헌에서 제시한 정의에 따라 소리가 제공되는 공간의 속성(크기, 깊이, 넓이 등)과 관련된 범주(Bannister et al., 2024)인 공간감(spaciousness), 지각되는 속성의 강도나 순도, 즉 강렬함이나 명료함 등과 관련된 범주(Bannister et al., 2024)인 선명도(clarity)로 구분하였다. 나머지 단어들은 기존의 어떠한 범주에도 속하지 않으며, 다른 용어와도 공통된 속성을 보이지 않아 기타로 구분하였다. 마지막으로, 동일 범주에서 유사한 의미로 사용된 단어가 존재하는 경우, 사용 빈도수가 높은 용어를 선택하여, 각 범주별로 3개의 의미 단어 쌍이 포함되도록 하였다. 연구자 간 상호 검증을 통해 단어 쌍과 범주를 확인하였으며, 음질 평가에서는 총 18개의 의미 단어 쌍을 사용하였다(<Table 2> 참조).

<Table 2> Selected Semantic Words Based on Their Usage Frequency in the Literature

No	Term	Category	Frequency of occurrence*	Study number of referenced research**
1	dark - bright 어두운 - 밝은	Luminance 명도	13/19	1, 4, 5, 6, 10, 12, 14, 16, 17, 19, 20, 26, 27/ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 26, 27
2	dull - sharp 둔한 - 날카로운		11/11	1, 2, 4, 5, 9, 11, 17, 19, 20, 21, 22/ 1, 2, 4, 6, 10, 17, 18, 19, 20, 21, 27
3	dim - brilliant 희미한 - 빛나는		3/7	1, 10, 17/ 1, 2, 5, 17, 18, 20, 28
4	cold - warm 차가운 - 따뜻한	Texture 질감	6/14	2, 14, 16, 17, 19, 20/ 2, 3, 7, 9, 10, 11, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 27
5	soft - hard 부드러운 - 딱딱한		14/10	1, 4, 5, 10, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 27, 28/ 1, 4, 8, 14, 15, 16, 17, 19, 21, 22
6	smooth - rough 매끄러운 - 거친		9/11	1, 2, 4, 10, 17, 18, 20, 22, 26/ 1, 2, 4, 5, 10, 17, 18, 20, 22, 26, 27
7	empty - full 텅빈 - 꽉찬	Mass 밀도	5/12	1, 14, 16, 19, 20/ 1, 7, 8, 10, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 27
8	thin - thick 얇은 - 두꺼운		11/7	1, 4, 7, 8, 9, 11, 12, 31, 17, 20, 27/ 1, 4, 12, 13, 18, 20, 27
9	scattered - compact 흩어진 - 밀집된		3/5	1, 19, 21/ 1, 19, 20, 21, 28
10	low - high 낮은 - 높은	Spacious -ness 공간감	9/8	1, 12, 13, 14, 16, 19, 21, 25, 28/ 1, 10, 12, 13, 14, 16, 19, 21
11	narrow - wide 좁은 - 넓은		5/7	1, 4, 6, 10, 14, 22/ 1, 6, 10, 12, 13, 14, 22
12	shallow - deep 얕은 - 깊은		3/8	12, 13, 22/ 12, 13, 17, 18, 20, 22, 25, 27
13	muted - clear 흐릿한 - 선명한	Clarity 선명도	3/12	8, 17, 28/ 2, 3, 4, 7, 9, 10, 11, 17, 20, 22, 27, 28
14	muddy - clean 지저분한 - 정돈된		3/4	4, 6, 27/ 1, 2, 4, 17
15	weak - strong 얇은 - 짙은		5/4	1, 14, 16, 17, 22/ 1, 14, 16, 17
16	blunt - ringing 둔탁한 - 울리는	Other 기타	3/10	4, 6, 17/ 1, 3, 9, 10, 11, 17, 19, 21, 25, 28
17	light - heavy 가벼운 - 무거운		8/7	1, 4, 6, 14, 17, 18, 20, 22/ 1, 4, 6, 14, 17, 26, 27
18	colorless - colorful 무채색의 - 화려한		3/4	1, 14, 16/ 1, 2, 14, 16

*The numbers in the cell, formatted as 'a/b', respectively represent the frequency of using the left word (a) and the right word (b) in each semantic word pair within the selected literature.

**Study numbers are indicated in the literature list presented in <Appendix 1>.

2) 음악 자극

본 연구에서는 음악 자극을 구성하기 위해 선행 문헌을 바탕으로 음질에 영향을 미치는 두 가지 요인을 고려하였다(Lętowski, 2014; McAdams & Goodchild, 2017; Siedenburg et al., 2019; Zacharakis et al., 2014). 첫 번째 요인은 음악 내적인 요소의 조합 수준으로, 이는 음질 지각에 영향을 미치는 것으로 보고된다. 특히, 음악을 구성하는 성부의 수는 음악의 단순성이나 복잡성, 소리 간 관계에 영향을 미쳐 감상하는 음악 자극의 음질 지각에 영향을 미친다. 두 번째 요인은 선택된 악기가 소리를 산출하는 방식으로, 이는 소리의 음향적 특성(스펙트럼 구성, 공명, 어택과 감쇠 등)에 영향을 미친다. 구체적으로 악기의 몸체를 타격하거나, 공기를 불어넣거나 혹은 현을 마찰시키는 방식이 소리의 음색을 결정하는 데 중요한 역할을 하며 이로 인해 음질 지각에도 핵심적인 역할을 하는 것으로 보고된다.

이를 고려하여, 본 연구에서는 평가하는 음악의 성부 수와 악기의 소리 산출 방식에 따라 구성하였다. 성부 수에서는 단일 악기로만 성부를 구성하는 단일 성부에서부터, 두 가지 악기가 조합되는 이중 성부, 3개 이상의 악기가 함께 조합되는 다중 성부로 구분하였고, 또한 악기군에 있어서는 건반 타악기(타건 악기), 현악기, 관악기로 구분하였다. 각 악기군별로 가장 보편적으로 사용되는 악기로 피아노, 바이올린, 플룻, 트럼펫을 선정하였다. 이에 따라 3개의 성부 수, 3개의 악기군을 조합하여 총 9개의 음악 자극을 구성하였으며, 최종적으로 제작된 음악 자극의 구성은 <Table 3>과 같다.

<Table 3> Target Music Stimuli Based on Number of Voices and Instrument Type

No	Instrument	Number of voices	Instrument type
1	Piano	Single	Percussive
2	Violin	Single	Stringed
3	Flute	Single	Wind
4	Trumpet	Single	Wind
5	Piano, violin	Double	Multiple
6	Piano, flute	Double	Multiple
7	Piano, trumpet	Double	Multiple
8	String quartet (2 violins, viola, cello)	Multiple	Stringed
9	Piano quintet (piano, violin, cello, flute, trumpet)	Multiple	Multiple

평가에 사용된 음악은 음질의 영향을 강조하면서도 리듬과 선율적 변이가 적은 곡으로 선정하였으며, 이러한 기준에 따라 Pachelbel's Canon의 첫 4마디가 선택되었다. 해당 곡의 초반부는 규칙적인 리듬으로 구성되어 있으며, 모든 성부가 동일한 리듬으로 연주되어 화성을 이룬다. 선율 진행 또한 순차적인 패턴을 따르고 있어 리듬이나 선율적 특성이 두드러지지 않는다.

이를 통해 음질에 영향을 미치는 주요 요인 외의 다른 음악적 요소의 영향을 최소화하였다. 연주는 Logic Pro X(Apple, USA)에 내장된 가상 악기 음원을 사용하여 이루어졌다. 녹음 시 조성은 D 장조였으며, 주 선율은 B4 음(493 Hz)에서 F#5 음(739 Hz) 범위에 포함되었다. 단일 성부에서는 포함된 모든 악기가 동일한 선율을 연주하였고, 이중 또는 다중 성부에서는 악기의 음역대에 따라 원곡의 화성 패턴을 각 악기가 나누어 연주하도록 하여 다성으로 연주되었다. 모든 조건을 일관되게 유지하기 위해 각 음악은 60 BPM(Beats Per Minute)과 44.1 kHz의 샘플링 주파수로 녹음되었으며 재생 길이는 15초로 설정되었다. 녹음 음량도 일정하게 통제되었다.

3) 음질 평가척도

본 연구에서는 제시된 음악의 음질을 평가하기 위해 양 극단에 반대되는 속성의 형용사 한 쌍을 배치하는 의미 변별 척도(semantic differential scale)를 사용하였다. 의미 단어 선정 절차를 통해 최종 선정된 18개 의미 단어 쌍에 대해 각 단어를 양 극단에 배치하고 한 쪽 끝의 단어에 0점이 배정되고 다른 쪽 끝의 단어에 10점이 배정되어, 중앙 지점이 중립적인 평정값으로 설정된 총 11점 척도로 구성되었다(중앙값 5). 참여자들은 자신이 제시된 음악 자극에서 지각하는 음질의 수준에 따라 해당 단어 쌍 중 더 가깝게 느끼는 단어와 그 단어에 대해 느끼는 정도에 따라 11개 점수 중 1개 점수를 평정하였다. 각 음악 자극에 따라 18개의 의미 단어 쌍으로 평정한 후, 마지막 문항에서는 제시된 의미 단어 외에 해당 음악 자극의 음질을 표현할 수 있는 형용사를 기재할 수 있는 주관식 문항을 포함하였다. 따라서 9개의 음악 자극별로 18개의 평정 문항과 1개의 주관식 문항으로 구성되어, 총 171개 문항이 대상자에게 제시되었다.

3. 연구 절차

본 연구 참여자들은 서울 및 경기도 소재 대학교 내 공연이나 음악 작업 등을 목적으로 한, 기본적인 방음이 가능하고 주변 소음이나 특정 음향 현상이 나타나지 않는 독립된 공간에서 실험에 참여하였다. 참여자들은 온라인으로 접속하여 개별적으로 정보를 입력하는 방식으로 실험에 참여하였다. 자발적 참여 의사에 따라 연구 참여에 대한 전자 동의를 완료한 후, 청력 손실이 일상생활에 미치는 영향을 자가 보고하는 성인 청각선별검사(Hearing Handicap Inventory for Adults; HHIA)를 작성하였다. 청력에 이상이 없음을 확인한 참여자들은 이후 기본 인적사항 및 음악훈련 기간 등에 대한 기본 설문 작성을 작성하였다. 음악 자극의 감상 및 음질 평가 과정은 스테레오 채널로 20 Hz - 20 kHz의 주파수 대역대를 지원하는 개별 헤드셋(IM-H23, Korea)을 착용한 상태에서 진행되었다. 본 연구의 목적은 음악에 대한 개인의 주관적 인식에 초점을 맞추었기 때문에 참여자가 불편함 없이 편안하게 들을 수 있는 음량 수준으

로 재생 음량을 조절하도록 하였다. 개별 음량 조정이 완료되면 음악 자극을 재생하고 음질 평가척도를 작성하게 하였다. 총 9개의 음악 자극은 순서 효과를 배제하기 위해 임의로 배정된 그룹에 따라 서로 다른 순서로 제시되었으며, 참여자는 원하는 만큼 음악을 반복하여 재생할 수 있었다. 실험은 약 30분이 소요되었다.

4. 자료 분석

통계 분석은 SPSS Statistics 27.0(IBM SPSS, Armonk, NY, USA)을 사용하여 수행되었다. 먼저, 제시된 자극에 대한 의미 단어 평정 데이터 간의 관계를 분석하고, 이를 통해 의미 단어에 영향을 미치는 잠재 요인을 파악하여 관계 구조를 평가하기 위해 탐색적 요인 분석(Exploratory Factor Analysis)을 실시하였다. Kaiser-Meyer-Olkin 측정값과 Bartlett의 구형성 검정을 통해 데이터가 요인 분석에 적합한지 확인하였다. 이후 최대우도법을 통해 초기 요인을 추출하고, Scree plot을 통해 요인 수를 결정하였다. Promax 회전을 사용하여 요인 회전을 수행한 후, 패턴 행렬을 통해 요인 부하량이 0.55 이상인 변수를 바탕으로 각 요인에 부하된 변수(의미 단어)를 확인하였다.

다음으로, 각 의미 단어가 성부의 수와 악기군에 따라 참여자의 평정값에 차이를 보이는지 확인하기 위해 의미 단어 그룹별로 다변량 분석(Multivariate Analysis of Variance: MANOVA)을 실시하였다. 단어별로 일변량분석(ANOVA)을 반복할 경우 1종 오류를 범할 가능성을 고려하여, 요인 분석을 통해 확인된 각 요인에 함께 부하된 의미 단어, 즉 서로 상관관계가 높은 단어를 동시에 고려하고자 하였다. 이에 따라 성부 수(즉, 단일, 이중, 다중 성부)와 악기군(즉, 타건 악기, 현악기, 관악기)을 독립 변수로 설정하고, 의미 단어별 평정값을 종속 변수로 설정하여 분석하였다. Box의 공분산행렬 검정을 통해 동일성을 평가하고, Wilk's λ 값을 통해 종속 변수들 간 차이를 확인하였다. 이후에는 각 단어별로 개체 간 효과 검정을 실시하여, 자극 수준에 따라 차이가 나타나는 단어를 확인하였다. 특히 악기군에 따른 차이를 분석할 때는 이중 및 다중 성부에서는 2개 이상의 악기가 포함되어 있어, 각 악기군의 고유한 영향을 확인하기 어렵다는 점을 고려해 단일 악기로만 연주된 단일 성부의 음악 자극에 대해서만 MANOVA를 실시하였다.

마지막으로, MANOVA를 통해 성부 수와 악기군에서 유의한 차이를 보이는 의미 단어를 확인하고, 해당 단어에 대한 평정값을 조합하여 각 음악 자극에 따른 레이더 차트(radar chart)를 작성하였다. 레이더 차트는 각 의미 단어 쌍을 동일한 중심점을 공유하는 축에 위치하도록 하고 각 꼭지점에 단어 쌍의 한쪽 끝에 해당하는 단어를 배치한 후, 평정값을 표시하여 연결하는 방식으로 구성되었다. 생성된 차트의 형태를 비교함으로써, 선정된 의미 단어가 음악의 유형에 따른 차이를 보여주는 지표로서 적합한지 확인하였다.

III. 연구 결과

본 연구에서는 18개 의미 단어 쌍을 사용하여 성부 수와 악기군별로 구성된 9개 음악 자극에 대해 음악 전공자들이 평정한 값의 속성과 평정값 간 관련성을 분석하였다. 각 자극에 대해 제시된 의미 단어 쌍으로 평정한 값의 기술통계 결과는 <Table 4>와 같다.

<Table 4> Sound Quality Ratings for Each Music Stimulus

Semantic category	Semantic word pair	Characteristics of musical elements in each target stimuli								
		Single				Double			Multiple	
		pn	vl	fl	tp	pn+vl	pn+fl	pn+tp	sq _{ua}	pq _{ui}
Luminance	dark - bright	7.1 (2.1)	6.6 (2.1)	7.3 (2.2)	6.5 (2.1)	6.5 (1.8)	7.4 (1.7)	6.2 (1.9)	7.3 (1.7)	7.5 (2.0)
	dull - sharp	4.9 (2.1)	6.4 (2.7)	5.4 (2.4)	7.9 (1.6)	6.5 (1.8)	4.9 (1.6)	7.5 (2.3)	4.1 (2.6)	5.1 (2.3)
	dim - brilliant	6.5 (2.0)	6.0 (2.6)	6.9 (1.7)	5.9 (2.2)	6.4 (2.0)	6.7 (1.7)	5.8 (2.6)	7.3 (1.9)	7.0 (2.0)
Texture	cold - warm	5.1 (2.3)	4.1 (2.4)	6.5 (2.6)	3.3 (2.1)	4.6 (2.1)	6.7 (2.0)	3.8 (2.0)	7.8 (1.6)	6.7 (2.4)
	soft - hard	6.0 (2.2)	6.4 (2.9)	2.2 (2.8)	7.5 (1.6)	6.0 (2.2)	2.9 (1.7)	7.5 (1.7)	2.1 (1.6)	2.8 (2.7)
	smooth - rough	4.5 (1.8)	5.9 (2.7)	2.9 (2.3)	7.5 (1.7)	6.5 (2.2)	2.9 (1.6)	7.5 (1.7)	2.5 (2.0)	2.8 (2.4)
Mass	empty - full	5.0 (2.6)	5.4 (2.1)	5.8 (2.1)	5.2 (2.8)	5.0 (2.2)	5.4 (2.2)	5.5 (2.5)	8.6 (1.6)	7.8 (2.0)
	thin - thick	4.6 (2.1)	3.4 (2.5)	4.3 (2.4)	3.3 (2.6)	3.8 (2.1)	4.3 (1.9)	3.2 (2.4)	7.3 (1.8)	5.8 (1.8)
	scattered - compact	7.1 (1.9)	5.7 (2.7)	6.1 (2.7)	5.6 (3.0)	5.1 (2.3)	5.6 (2.3)	5.8 (2.7)	5.7 (2.9)	5.5 (2.7)
Spaciousness	low - high	6.5 (2.3)	7.8 (1.9)	7.5 (1.7)	8.3 (1.5)	8.0 (1.2)	7.5 (1.8)	8.1 (1.5)	6.5 (1.9)	7.4 (1.4)
	narrow - wide	4.5 (2.3)	3.9 (2.6)	4.9 (2.8)	1.8 (1.8)	4.8 (2.3)	5.2 (2.6)	2.7 (2.1)	9.2 (1.0)	7.4 (2.4)
	shallow - deep	4.2 (1.9)	3.7 (2.6)	5.0 (2.8)	3.0 (2.5)	4.0 (2.5)	5.3 (2.7)	3.3 (2.2)	8.5 (1.7)	7.1 (2.0)
Clarity	muted - clear	7.1 (2.1)	5.8 (2.8)	6.7 (2.4)	6.7 (2.5)	6.0 (1.8)	6.2 (1.9)	6.7 (2.4)	5.9 (2.4)	6.6 (2.1)
	muddy - clean	2.0 (1.9)	5.4 (2.6)	3.3 (2.5)	6.8 (2.8)	6.0 (2.1)	3.3 (2.2)	6.7 (2.4)	3.5 (2.9)	3.6 (2.6)
	weak - strong	4.6 (2.0)	5.2 (2.6)	5.2 (2.3)	5.3 (3.0)	4.7 (2.0)	5.2 (2.1)	5.8 (2.7)	7.0 (2.2)	6.7 (2.0)
Others	blunt - ringing	5.1 (2.2)	5.4 (2.9)	8.5 (1.3)	3.7 (2.4)	5.7 (2.5)	7.7 (1.4)	3.9 (2.4)	9.1 (1.2)	7.8 (2.1)
	light - heavy	3.8 (2.1)	3.5 (2.5)	3.3 (2.4)	3.0 (2.4)	3.9 (2.5)	4.0 (2.0)	3.8 (2.8)	7.0 (2.1)	5.5 (2.4)
	colorless - colorful	4.0 (2.1)	4.8 (2.6)	6.3 (2.1)	4.6 (2.6)	5.4 (1.9)	5.8 (2.1)	5.3 (1.9)	8.2 (1.5)	6.7 (2.3)

Note. Data in the table indicate $M(SD)$. pn: piano; vl: violin; fl: flute; tp: trumpet; sq_{ua}: string quartet; pq_{ui}: piano quintet.

1. 음질 평가를 위한 의미 단어의 요인 분석

제시된 18개 의미 단어 쌍이 동일한 잠재 요인의 영향을 받는 그룹으로 묶일 수 있는지 확인하기 위해 탐색적 요인 분석을 실시하였다. Kaiser-Meyer-Olkin 측정값은 0.87로 자료가 요인 분석에 적합함을 확인하였고, Bartlett의 구형성 검정 결과가 $p < .001$ 로 나타나, 변수 간 상관관계 행렬이 단위 행렬과 유의하게 다름을 보여 요인 분석 시행의 적합성을 확인하였다. 고유값이 1 이상이고 Screen plot에서의 변곡점이 확인된 4개 요인이 추출되었다. 추출된 4개 요인의 총 누적 변량은 70.64%이고 전체 분산의 7.88을 설명하는 것으로 나타났다. 요인 부하량 (factor loading)이 0.55 미만인 단어 쌍인 ‘좁은-높은’, ‘무채색의-화려한’은 다른 단어 쌍과 관련성이 낮아 이후 분석에서 제외되었다. 각 요인별로 부하된 단어쌍, 즉 동일한 잠재 요인에 영향을 받는 단어 쌍을 부하량이 높은 순서대로 <Table 5>에 제시하였다.

<Table 5> Extracted Factors for Semantic Word Pairs to Describe Sound Quality

No	Variable	Factors			
		1	2	3	4
1	smooth - rough	-.94	.17	.002	-.14
2	soft - hard	-.90	.01	-.08	.23
3	cold - warm	.69	.21	-.004	-.01
4	blunt - ringing	.65	.22	.19	-.16
5	dull - sharp	-.63	.01	.50	-.06
6	muddy - clean	-.61	.23	-.01	-.60
7	narrow - wide	.52	.36	-.02	-.21
8	weak - strong	-.22	.76	-.01	.12
9	light - heavy	-.03	.75	.36	.10
10	empty - full	.05	.68	.19	.14
11	shallow - deep	.24	.68	-.03	-.06
12	thin - thick	.19	.66	-.36	.12
13	colorless - colorful	.21	.46	.37	-.07
14	dim - brilliant	.19	.15	.64	.28
15	dark - bright	.31	-.16	.62	.09
16	low - high	-.21	-.11	.55	-.001
17	scattered - compact	-.17	.17	.01	.75
18	muted - clear	-.24	.19	.31	.62
	Eigenvalue	6.39	2.88	2.02	1.42
	% of variance	35.51	16.01	11.24	7.88
	% of cumulative	35.51	51.52	62.76	70.64

Note. Loadings ≥ 0.55 are presented in bold.

2. 성부 수 및 악기군에 따른 의미 단어 평정값 차이에 대한 다변량 분석 결과

요인 분석 결과를 바탕으로 동일한 요인에 부하된(loaded) 것으로 확인된 의미 단어 그룹별로 성부 수 및 악기군에 따라 평정값에 차이가 있는지 확인하기 위한 다변량 분석 결과는 <Table 6>에 제시하였다. Factor 1에 부하된 6개 단어 쌍, ‘매끄러운-거친’, ‘부드러운-딱딱한’, ‘차가운-따뜻한’, ‘둔탁한-울리는’, ‘둔한-날카로운’, ‘지저분한-정돈된’의 경우, 성부 수(Wilks’ $\lambda = .75$, $F = 7.09$, $p < .001$) 및 악기군(Wilks’ $\lambda = .59$, $F = 5.78$, $p < .001$)에 따라 유의한 차이를 보였다. Factor 2에 부하된 5개 단어 쌍, ‘열은-질은’, ‘텅빈-꽉찬’, ‘가벼운-무거운’, ‘얕은-깊은’, ‘얇은-두꺼운’은 성부 수(Wilks’ $\lambda = .64$, $F = 13.46$, $p < .001$)에서는 유의한 차이가 있는 반면, 악기군(Wilks’ $\lambda = .90$, $F = 1.26$, $p = .26$)에 따른 차이는 유의하지 않은 것으로 나타났다. Factor 3에 부하된 3개 쌍, ‘어두운-밝은’, ‘낮은-높은’, ‘희미한-빛나는’의 경우, 성부 수(Wilks’ $\lambda = .90$, $F = 4.80$, $p < .001$) 및 악기군(Wilks’ $\lambda = .84$, $F = 3.54$, $p = .002$) 모두에서 유의한 차이가 있었다. 마지막으로, Factor 4에 부하된 2개의 의미 단어 쌍, ‘흩어진-밀집된’, ‘흐릿한-선명한’에서는 성부 수(Wilks’ $\lambda = .99$, $F = 0.94$, $p = .44$) 및 악기군(Wilks’ $\lambda = .93$, $F = 2.20$, $p = .07$)에 따른 차이가 모두 유의하지 않았다.

유의한 차이를 확인한 3개 의미 단어 범주(Factor 1-3)에 대해 부하된 의미 단어 쌍별로 개체 간 효과 검정을 통해 성부 수 및 악기군에 따라 차이가 있는 단어 쌍을 확인하였다. Factor 1에 부하된 모든 단어 쌍은 성부 수에서 유의한 차이가 있었으며 악기군에서는 3개 단어(‘부드러운-딱딱한’, ‘둔한-날카로운’, ‘지저분한-정돈된’)에서 유의한 차이가 나타났다. Factor 2에 부하된 단어 쌍 모두 성부 수에서 유의한 차이가 있었지만, 악기군에 따른 유의한 차이가 나타나는 쌍은 없었다. Factor 3에 부하된 단어 쌍에 있어서는 성부 수에 따라 2개 단어 쌍(‘낮은-높은’, ‘희미한-빛나는’)이, 악기군에서는 1개 쌍(‘낮은-높은’)이 유의한 차이를 보였다.

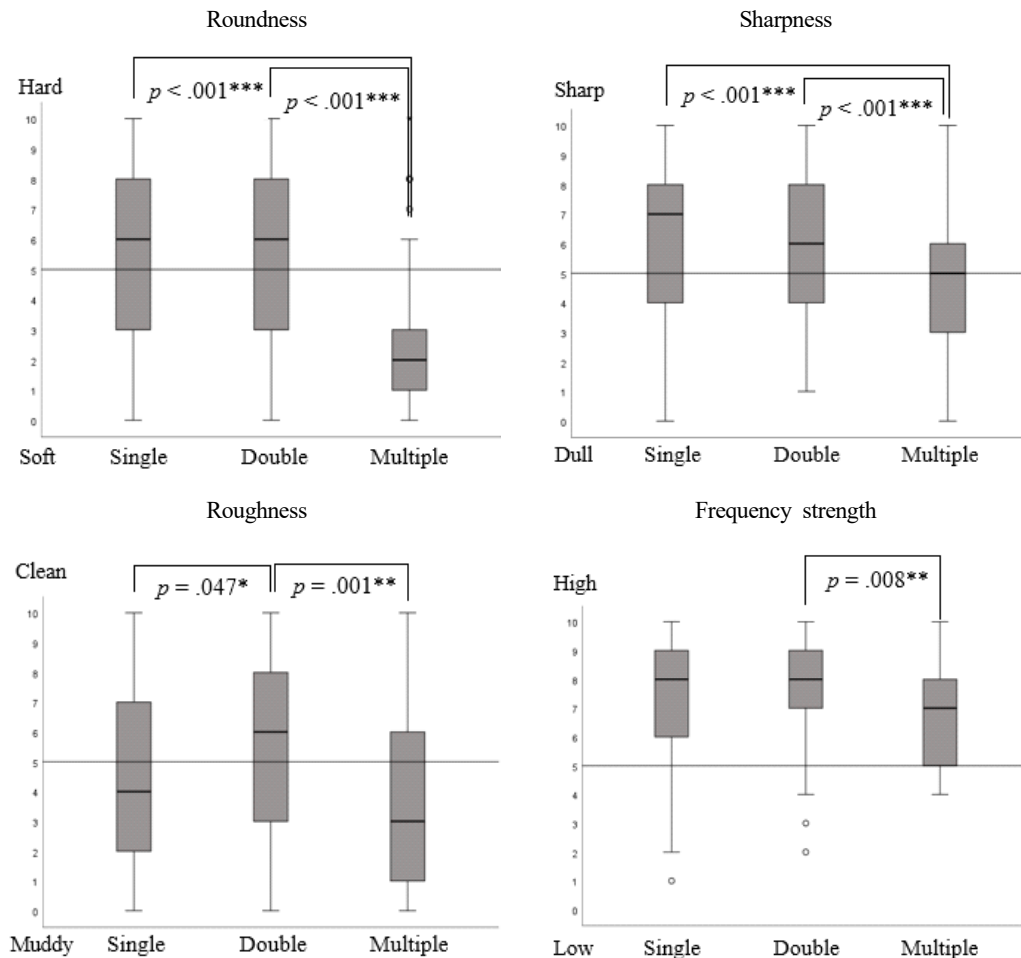
<Table 6> MANOVA Results on Variations in Semantic Ratings Depending on Number of Voices and Instrument Type in Music Stimuli

	Texture			Instrument type		
	Wilk's λ	F	p	Wilk's λ	F	p
Factor 1						
smooth - rough		26.99	< .001***		2.12	.12
soft - hard		30.33	< .001***		3.38	.04*
cold - warm	0.75***	24.19	< .001***	0.59***	1.29	.28
blunt - ringing		26.97	< .001***		1.47	.24
dull - sharp		11.83	< .001***		5.74	.004**
muddy - clean		7.45	.001**		15.10	< .001***
Factor 2						
weak - strong		13.23	< .001***		0.83	.44
empty - full		29.09	< .001***		0.49	.62
light - heavy	0.64***	21.87	< .001***	0.90	0.82	.44
shallow - deep		46.94	< .001***		0.29	.75
thin - thick		33.92	< .001***		1.93	.15
Factor 3						
dark - bright		2.38	.09		0.46	.63
low - high	0.90***	4.61	.01*	0.84**	6.05	.003**
dim - brilliant		4.23	.02*		0.58	.56
Factor 4						
scattered - compact	0.99	1.86	.16	0.93	2.94	.06
muted - clear		0.59	.56		2.23	.11

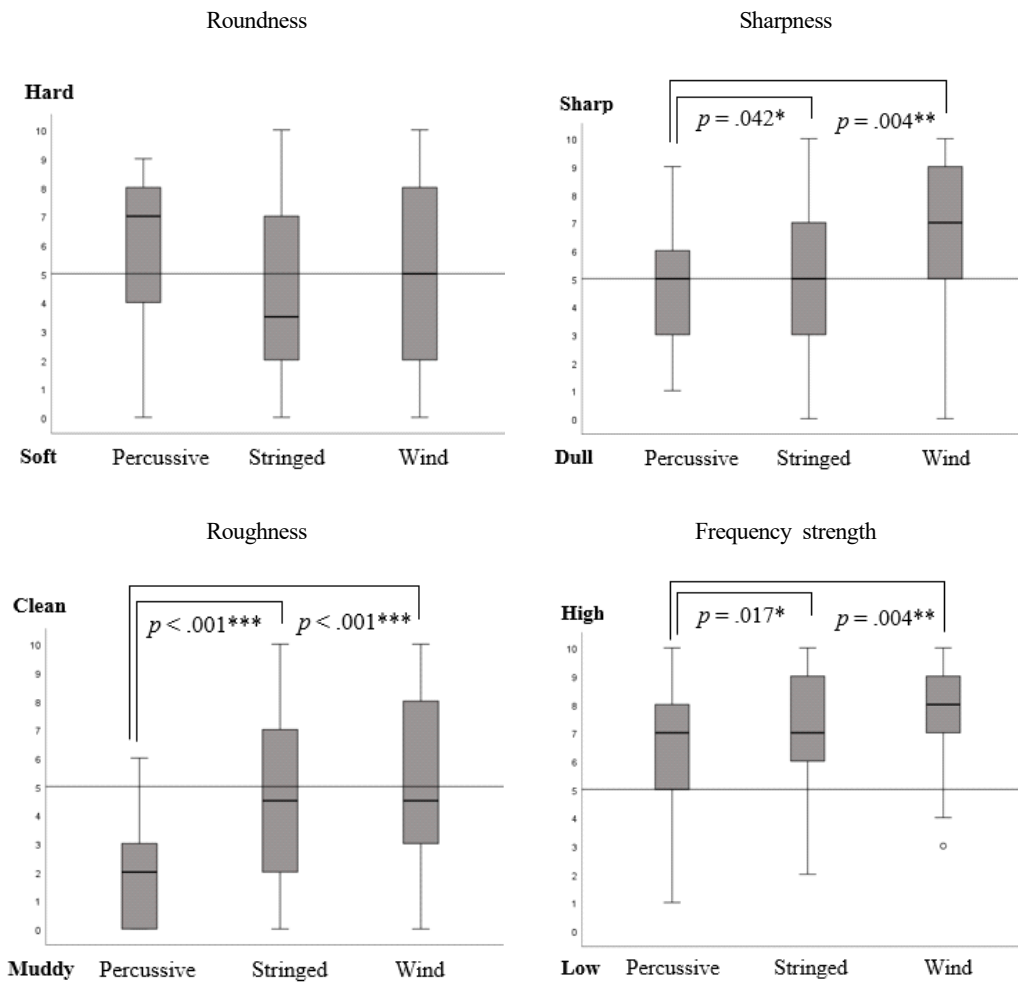
* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$.

성부 수와 악기군에 따라 유의한 차이를 보인 4개 의미 단어 쌍에 대한 사후 검정 결과는 <Figure 1>, <Figure 2>에 제시되었다. 음질의 부드러움(roundness)을 나타내는 ‘부드러운-딱딱한’의 용어를 사용했을 때, 참여자들은 다중 성부를 단일 성부($p < .001$)와 이중 성부($p < .001$)에 비해 유의하게 더 부드럽다고 평정하였다. 또한, 타건 악기를 가장 딱딱하게, 현악기를 가장 부드럽게 평가하였지만, 악기군 간의 차이가 유의한 수준에 도달하지는 못하였다. 음질의 날카로움(sharpness)을 나타내는 ‘둔한-날카로운’의 의미 단어 쌍에 대해, 참여자들은 다중 성

부를 단일 성부($p < .001$)와 이중 성부($p < .001$)에 비해 유의한 수준에서 덜 날카롭게 평가하였다. 또한, 관악기는 타건 악기($p = .004$)나 현악기($p = .04$)에 비해 유의한 수준에서 더 날카롭게 평가되었다. 세 번째 단어 쌍인 ‘지저분한-정돈된’은 음질의 혼탁함(roughness)에 대해 평가자들은 단일 성부를 이중 성부에 비해 더 지저분한 것으로($p = .05$), 또한 다중 성부를 이중 성부에 비해 더 지저분한 것으로($p = .001$) 평정하였다. 또한 타건 악기를 현악기($p < .001$)와 관악기($p < .001$)에 비해 더 지저분하다고 평가하였다. 마지막으로 음역대의 에너지(frequency strength)를 나타내는 ‘높은-낮은’의 단어 쌍에 대해, 평가자들은 다중 성부를 이중 성부($p = .008$)에 비해 낮은 에너지가 강한 것으로 평가하였다. 또한, 타건 악기를 현악기($p = .02$)와 관악기($p = .004$)에 비해 낮은 에너지가 강하다고 평가하였다.

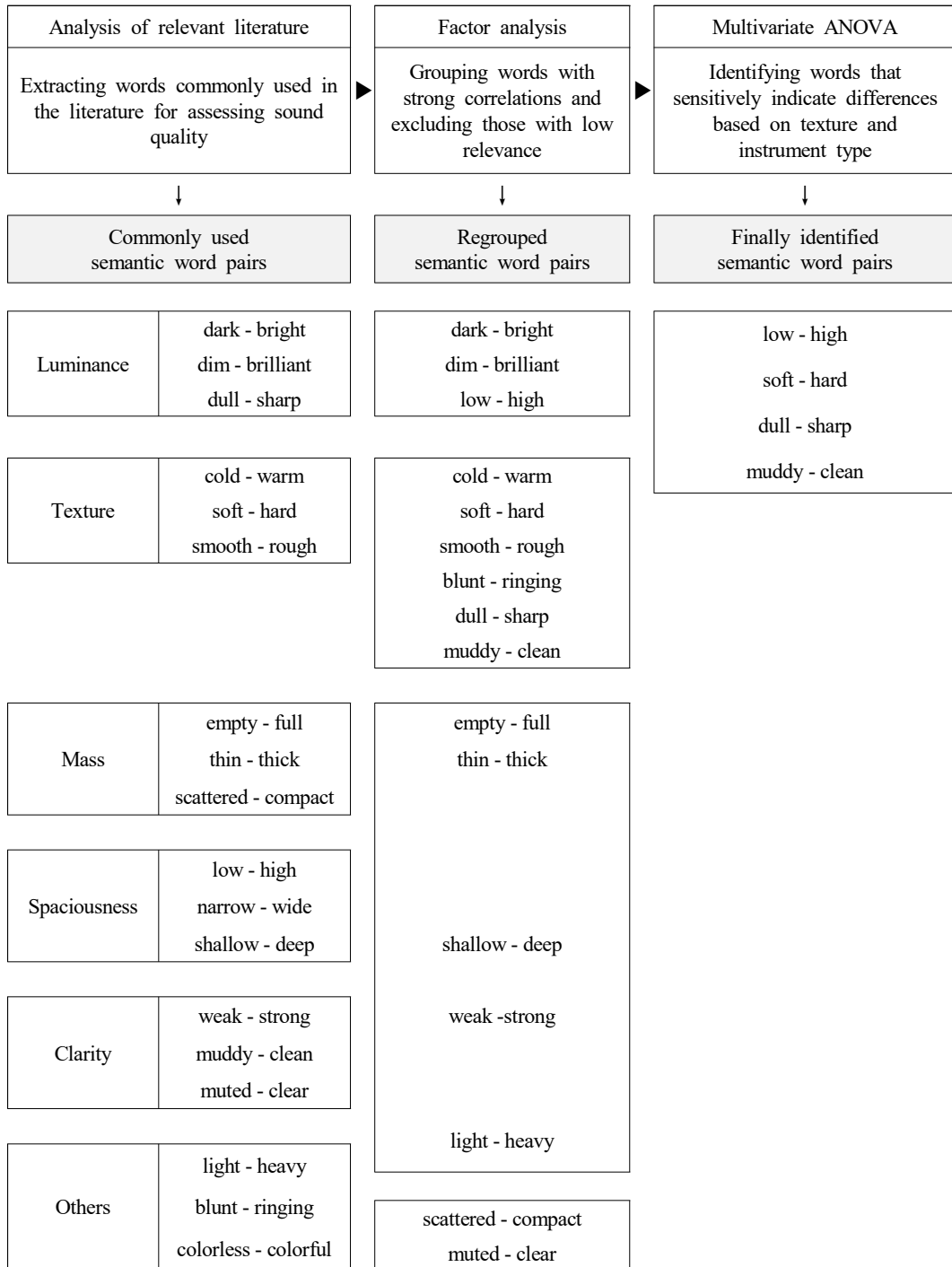


<Figure 1> Comparison of ratings on semantic word pairs across different number of voices levels



<Figure 2> Comparison of ratings on semantic word pairs across different instrument types

본 연구에서는 선행 문헌을 통해 음질 평가에 공통적으로 사용된 단어 쌍을 추출하고, 요인 분석을 통해 관련성이 낮은 단어 쌍을 제외하고 동일한 잠재 요인에 영향을 받는 단어들을 그룹화한 후, 다변량 분석을 통해 음악의 자극 수준, 즉 성부 수와 악기군에 따라 유의한 차이를 나타내는 단어 쌍을 확인하였다. 이러한 과정을 통해 음질 평가에 민감하게 활용할 수 있는 의미 단어 쌍을 최종적으로 선정하였고, 그 결과는 <Figure 3>에 제시되었다.

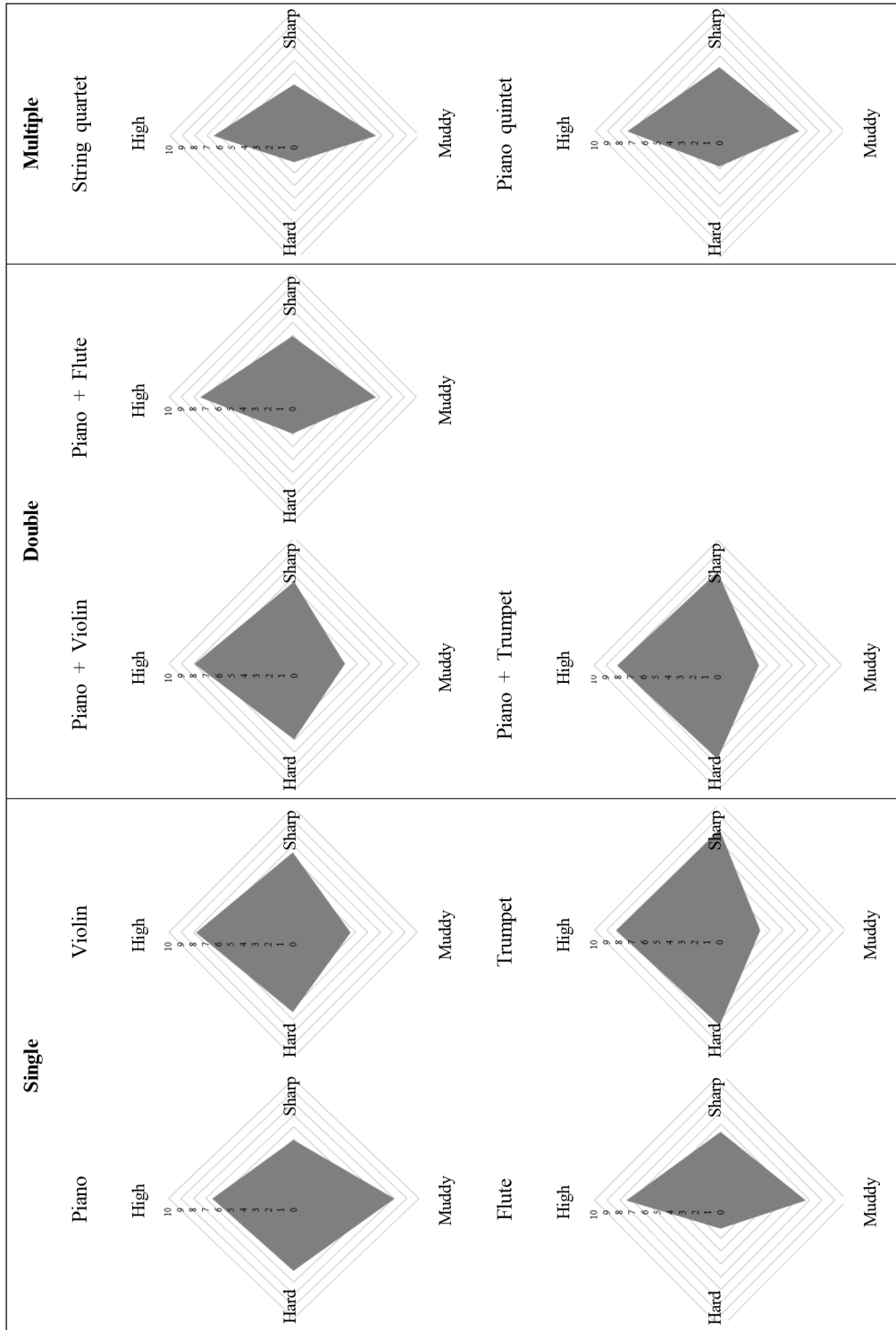


<Figure 3> Finally selected semantic word pairs to describe sound quality

3. 최종 선정된 의미 단어 쌍에 따른 각 음악 자극에 대한 레이더 차트

이전 단계에서 최종 선정된 4개의 의미 단어 쌍을 조합한 후, 다양한 수준의 음악 자극, 즉 성부 수와 악기군에 따른 차이를 효과적으로 구분할 수 있는지 확인하기 위해 레이더 차트를 구성하여 비교하였다. 생성된 시각적 형태가 음악 자극에 따라 충분히 변별력이 있는지 분석하였으며, 각 음악 자극별 차트의 예시는 <Figure 4>에 제시되었다.

음악 자극별로 구성된 차트는 음악 자극의 성부 수에 따라 시각적으로 명확한 차이를 보여주었다. 예를 들어, 성부의 수가 증가할수록 형태가 상하로 길어지고 가로 길이는 줄어드는 경향이 나타났는데, 이는 배치된 단어 쌍과 연관지어 볼 때 평가자들이 느끼는 음질의 딱딱함이나 날카로움이 감소하고 혼탁함이 증가하는 경향으로 해석될 수 있다. 또한, 동일한 성부 범주 내에서도 악기군이나 악기 조합에 따라 차트의 형태가 달라지는 것을 확인할 수 있었다. 예를 들어, 타건 악기인 피아노에 대해 참여자들은 다른 악기에 비해 혼탁함을 가장 많이 느끼고, 그에 비해 금관 악기인 트럼펫은 혼탁함이 적어 가장 깨끗하다고 평가하였다. 목관 악기인 플루트는 다른 세 악기에 비해 딱딱함에 대한 평가가 가장 적고, 가장 부드러운 것으로 평가되었으며, 이러한 평가는 세로로 길어지는 형태에 특징적으로 반영되었다. 이러한 시각적인 형태는 각 음악 자극의 음질에 대한 평가를 직관적으로 보여주며, 선정된 4개의 의미 단어 쌍이 자극 간 차이를 보다 다각적으로 드러낼 수 있는 가능성을 뒷받침한다.



<Figure 4> Examples of visualization of radar plot for perceptual differences in perceived sound quality of each stimulus

IV. 논의 및 결론

본 연구에서는 음악감상 시 음질을 평가하는 의미 단어와 관련하여 성부 수와 악기군 등 음악적 요소 변화를 민감하게 반영할 수 있는 한국어 평가 어휘에 대한 기초 자료를 수집하고자 하였다. 이를 위해 국외 선형 문헌에서 공통적으로 사용된 18개의 의미 단어 쌍을 활용해 20-30대의 성인 음악 전공자들이 제공된 음악 자극의 음질을 평가하도록 하였고, 평정값을 토대로 의미 단어 쌍 간의 관계와 음악 자극 수준에 따른 차이를 반영해내는 의미 단어 쌍을 도출하고자 하였다. 이에 따른 본 연구의 결과 및 논의점은 다음과 같다.

첫째, 본 연구에서는 기존에 음질 평가를 위해 사용된 의미 단어 쌍의 관계 구조를 설명할 수 있는 4개의 요인을 도출하였다. 기존에는 명도, 질감, 밀도를 음질 평가 어휘의 기본적인 범주로 설정하는 것이 가장 일반적이었지만(Moravec & Stephanek, 2005; Siedenburg et al., 2019; Zacharakis et al., 2014; Zacharakis & Pasiadis, 2015), 본 연구에서는 이와는 다른 요인 구조가 나타났다. 기존 범주의 단어와 새로운 단어가 결합하거나, 기존에 서로 다른 범주에 속했던 단어들이 새로운 범주를 형성하기도 하였다. 예를 들어, 명도를 나타내는 ‘어두운-밝은’과 공간감을 나타내는 ‘낮은-높은’이 결합하였고, 밀도에 속하는 ‘텅빈-꽉찬’과 ‘흩어진-밀집된’이 분리되어 다른 단어와 동일한 범주를 형성하였다. 이는 각 범주에 속한 의미 단어에 대해 국내 음악감상자가 다르게 인식하거나, 특히 국외 문헌에서 제안된 체계가 국내 음악감상자의 경험을 반영하는 데 제한적일 수 있음을 시사한다.

음악감상 시 각 의미 단어에 대한 감상자의 인식이 해당 단어의 원래 의미나 국외에서의 음질 분류와 다를 수 있다는 점은 ‘낮은-높은’의 의미 단어 쌍에서도 확인되었다. 국외 연구에서 이 단어 쌍은 주로 특정 주파수대나 음역대의 에너지와 관련하여 낮은 주파수(bass strength)나 높은 주파수(treble strength)의 에너지가 강하거나 두드러지게 지각되는 것을 의미하는 데 사용되었다(Bannister et al., 2024). 반면, 본 연구에서는 이 의미 단어 쌍이 ‘어두운-밝은’, ‘희미한-빛나는’과 같은 명도를 나타내는 단어와 함께 분류되었다. 이러한 평가에 대한 직접적인 설명이나 기술이 수집되지 않아 인과적 분석은 제한적이지만, 참여자들이 특정 음악 자극에 대해 제안한 형용사를 분석한 결과를 통해 참여자들이 해당 의미 단어와 어떤 속성을 연결했는지 부분적으로 추정할 수 있었다. 예를 들어, ‘낮은-높은’의 평정을 다른 의미 단어 쌍보다 가장 높게 평가한 자극은 트럼펫이 포함된 두 음원, 즉, 단일 트럼펫($M=8.3$)과 피아노와 트럼펫이 함께 연주된 자극($M=8.1$)이었다. 해당 자극에 대해 참여자들이 주관식 문항에서 제안한 형용사는 ‘파워풀한’, ‘진한’, ‘선명한’, ‘뜨거운’, ‘짙한’ 등이었다. 이는 명도에 속하는 ‘밝은’이나 ‘빛나는’과 연결지어 생각할 때, 높은 주파수 대의 에너지가 강한 특성을 물리적 음고보다는 자극의 심리적인 강도, 즉 선명도나 두드러지는 특성과 연결지어 느끼는 것으로 추측할 수 있다. 또한 일반적으로 ‘높은 음고’의 청각 정보는 ‘밝은’의 시각적 이미지와 연결되는 경향이

있다는 선행 연구 결과 역시(Walker, 2016; Wallmark et al., 2021) 이러한 추측을 뒷받침할 수 있다. 하지만 이러한 해석은 모든 참여자가 직접 설명한 것이 아니므로 유의할 필요가 있다. 그럼에도 이 결과는 한국어 기반의 음악 음질 평가에서 기존의 국외 분류와는 다른 새로운 분류 체계의 필요성을 시사하며, 후속 연구를 통해 보다 구체적인 범주 선택의 근거와 이에 대한 감상자의 인식을 뒷받침하는 체계적인 분석이 필요할 것으로 보인다.

선행 문헌에서는 음질은 청각적 속성(즉, 음고나 리듬)이 동일한 경우에도 두 소리를 구분하게 하는 질적인 측면이라는 점에서 음질 평가가 명도, 질감, 밀도와 같이 시각이나 촉각 등 다른 감각과 연결하는 교차 감각 대응에 기반하는 것이 매우 자연스러우며, 또한 경험을 표상하는 데 효과적이라고 제안한다(Di Stefano & Spence, 2023; Siedenburg et al., 2019). 또한, 음악 자극에 대한 반응 및 처리는 본질적으로 다감각적인 성격을 지니므로, 밝은-어두운(명도), 매끄러운-거친(질감), 텅빈-꽉찬(밀도)과 같은 물질의 보편적인 속성에 대한 일반 감각에 기반한 분류는 이해나 일관된 소통에 유용할 수 있다. 하지만 이러한 기존 분류가 음악의 세부적인 요소 변화를 포착하는 데 적합할지에 대한 결론은 제한적이다. 특히 음악에 대한 반응을 의미 단어로 처리하는 과정에서 문화적, 언어적 해석 과정이 필요하다는 점에서 음질에 대한 지각과 언어적 표현은 문화에 따라 달라질 수 있다(Alluri & Toiviainen, 2010; Jiang, Liu, Zhang, Wang, & Jiang, 2020; Zacharakis et al., 2014).

본 연구에서 도출된 요인은 음질을 나타내는 한국어 단어 쌍 중 어떤 단어 그룹이 동일한 잠재 요인의 영향을 받는지를 제시함으로써 각 단어의 다면적인 의미에 대한 단서를 제공한다. 이는 한국어 기반 음질 평가 어휘에 적합한 범주화를 위한 기초 자료를 제공하는 것이다. 하지만 본 연구에서 사용된 의미 단어 쌍은 기존의 영어 단어를 한국어로 변환한 것이므로 번역 결과에 따라 다른 결과가 도출될 가능성을 완전히 배제할 수는 없다. 그럼에도 본 연구의 주요 목적이 음질 평가 어휘의 선택이나 타당성 검증이 아니라 의미론적 속성의 분류를 위한 기초 틀을 제시하는 것이므로 그 범위 내에서 도출된 범주의 의미를 이해할 필요가 있다. 또한, 본 연구가 음악의 세부적인 속성에 대한 탐구 경험이 충분한 음악 전공자들에 한정되었고 표본 수가 제한적이었던 점을 고려할 때, 향후 음악 비전공자나 청각장애인을 포함한 보다 다양한 대상자를 목표로 한 연구가 필요하다. 이는 제안된 의미 단어의 실제 사용 용이성, 그 의미에 대한 동의 여부, 비언어적으로 지각한 음악의 질과 언어화된 단어 간의 관련성을 보다 체계적으로 연구할 기회를 제공할 것이다.

둘째, 본 연구에서는 음악의 성부 수와 악기군에 따른 음질에 대한 지각 차이를 민감하게 반영할 수 있는 의미 단어를 확인하는 과정에서, 기존의 명도와 질감, 밀도와는 다른 범주화를 제시하였다. 음악 자극 수준의 차이를 유의하게 반영하는 의미 단어로는 ‘부드러운-딱딱한’, ‘둔한-날카로운’, ‘지저분한-정돈된’, ‘낮은-높은’의 4쌍이 확인되었으며, 이는 Bannister et al. (2024) 및 Rosi, Houix, Misdariis, & Susini (2020)에서 사용된 범주인 부드러움(roundness), 선

명함(sharpness), 혼탁함(roughness), 주파수 강도(frequency strength)와 유사하다. 본 연구의 목적은 국내 음악감상자 및 청각적 경험이 제한된 대상자들이 경험하는 음악의 다각적 측면을 평가할 수 있도록 하는 어휘 개발에 필요한 기초 자료를 제공하는 데 있다. 이러한 측면에서 본 연구 결과는 어휘 개발 시 전체적인 음악 경험뿐만 아니라 음악의 각 요소 변화를 민감하게 반영하는 것의 중요성을 시사하며, 부드러움이나 선명함, 혼탁함, 주파수 강도 등은 음질 평가에 있어 중요한 요소로 작용할 수 있음을 뒷받침한다. 특히, 이러한 요소들은 소리를 구성하는 특정 주파수 대의 에너지, 특정 영역에서의 소리 압축 및 필터링 정도와 속도, 소리의 에너지가 최대 지점에 도달하거나 감쇠하는 속도 등과 같은 음향적 속성과 보다 직접적인 관련이 있다(Bannister et al., 2024; Moore, Füllgrabe, & Stone, 2011). 이러한 특성은 소리에 대한 심리적 이미지나 연상보다는 실제 청각적 지각과 경험에 관련된 지표로, 청각장애인에게 특히 유용한 시사점을 제공할 수 있다.

셋째, 본 연구를 통해 확인된 4개 의미 단어 쌍을 조합하여 시각적 차트를 구성하고, 성부수 및 악기군에 대한 음질 평가를 비교 분석함으로써, 이러한 지표와 시각적 분석이 각 음악 자극의 차이를 민감하게 보여주는 데 적절함을 확인하였다. 선행 연구에서는 음질을 다차원적 지각 공간(multidimensional perceptual space)을 통해 시각화하여 음질에 대한 언어적, 의미적 표현 간의 관계를 보다 명확하게 제시하고자 하였다(Thiering, 2014). 이러한 다차원적 시각화는 의미 단어를 사용할 때 언어적 의미에 대한 각 개인의 주관적인 이해에 바탕을 둘 수밖에 없다는 제한점을 보완하고, 구체적인 구조화를 통해 의미 단어 간 관계를 명확히 표현할 수 있는 틀을 제공함으로써(Siedenburg et al., 2019; Wallmark, 2014), 평가 어휘의 차원과 구조를 파악하는 데 중요한 장점이 있다. 또한 이는 다양한 문화권에서 음질을 어떻게 다르게 지각하고 설명하는지 비교 연구하는 데 공통적인 틀을 제공함으로써 유용하게 사용되었다(Alluri & Toiviainen, 2010; Zacharakis et al., 2014). 유사한 맥락에서 본 연구에서 제시된 시각적 차트는 연구 과정에서 도출된 의미 단어 쌍이 음질 평가에 있어 각 자극의 속성을 효과적으로 구분할 수 있음을 보여줄 뿐만 아니라, 향후 어휘 평가 시 어휘 간 관계를 통한 분석이 개별 어휘의 독립적 처리보다 유용할 수 있음을 시사한다.

References

- Alluri, V., & Toiviainen, P. (2010). Exploring perceptual and acoustical correlates of polyphonic timbre. *Music Perception, 27*(3), 223-242.
- Alluri, V., & Toiviainen, P. (2012). Effect of enculturation on the semantic and acoustic correlates of polyphonic timbre. *Music Perception, 29*(3), 297-310.

- American National Standards Institute (2024). *American National Standards Institute*. Retrieved from <https://www.ansi.org/>
- Bannister, S., Greasley, A. E., Cox, T. J., Akeroyd, M. A., Barker, J., Fazenda, B., ... Whitmer, W. M. (2024). Muddy, muddled, or muffled? Understanding the perception of audio quality in music by hearing aid users. *Frontiers in Psychology, 15*, 1310176.
- Cho, W., & Kim, J. (2013). Analysis of verbal expression for haegum and violin timbre. *Journal of the Science and Practice of Music, 30*, 101-116.
- Darke, G. (2005). Assessment of timbre using verbal attributes. *Proceedings of the Conference on Interdisciplinary Musicology*, 1-12. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Graham-Darke/publication/228675696_Assessment_of_timbre_using_verbal_attributes/links/5af01394aca2727bc0065c61/Assessment-of-timbre-using-verbal-attributes.pdf
- Di Stefano, N., & Spence, C. (2023). Perceptual similarity: Insights from crossmodal correspondences. *Review of Philosophy and Psychology*, 1-30.
- Disley, A. C., & Howard, D. M. (2003). Timbral semantics and the pipe organ. *Proceedings of the Stockholm Music Acoustic Conference*, 607-610. Retrieved from <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=7a56953c67c679b68410542ebd8b36ea50c7b03d>
- Disley, A. C., Howard, D. M., & Hunt, A. D. (2006). Timbral description of musical instruments. *Proceedings of the International Conference on Music Perception and Cognition*, 61-68. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Andy-Hunt-2/publication/242557004_Timbral_description_of_musical_instruments/links/0deec5293be34ded21000000/Timbral-description-of-musical-instruments.pdf
- Dolan, E. I. (2013). *The orchestral revolution: Haydn and the technologies of timbre*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Dolan, E. I., & Rehding, A. (2021). *The oxford handbook of timbre*. New York, NY: Oxford University Press.
- Elliott, T. M., Hamilton, L. S., & Theunissen, F. E. (2013). Acoustic structure of the five perceptual dimensions of timbre in orchestral instrument tones. *The Journal of the Acoustical Society of America, 133*(1), 389-404.
- Ethington, R., & Punch, B. (1994). Seawave: A system for musical timbre description. *Computer Music Journal, 18*(1), 30-39.
- Evans, K. K., & Treisman, A. (2010). Natural cross-modal mappings between visual and auditory features. *Journal of Vision, 10*(1), 1-12.
- Ferrer, R., & Eerola, T. (2011). Semantic structures of timbre emerging from social and acoustic descriptions of music. *EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing, 2011*, 1-16.

- Fritz, C., Blackwell, A. F., Cross, I., Woodhouse, J., & Moore, B. C. J. (2012). Exploring violin sound quality: Investigating English timbre descriptors and correlating resynthesized acoustical modifications with perceptual properties. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 131(1), 783-794.
- Howard, D. M., & Tyrrell, A. M. (1997). Psychoacoustically informed spectrography and timbre. *Organised Sound*, 2(2), 65-76.
- Howard, D. M., Disley, A. C., & Hunt, A. D. (2007). Towards a music synthesizer controlled by timbral adjectives. *Proceedings of the 14th International Congress on Sound & Vibration*, 9-12. Retrieved from <https://pure.york.ac.uk/portal/en/publications/towards-a-music-synthesizer-controlled-by-timbral-adjectives>
- Ishimitsu, S., Makino, A., Sakamoto, K., Sasaki, K., Sugawara, K., Yanagawa, H., & Yoshimi, T. (2007a). The study of audio equipment evaluations using the sound of music. *Proceedings of the 122nd Audio Engineering Society Convention* (Report No. 7120). Retrieved from <https://aut.ac.nz.libguides.com/APA6th/conferences#s-lg-box-13373657>
- Ishimitsu, S., Sakamoto, K., Sugawara, K., Yoshimi, T., Makino, A., & Sasaki, K. (2007b). Study on the Visualization of the Impression of Listening to the Music. *Proceedings of Second International Conference on Innovative Computing*, 122-122. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4427767>
- Iwamiya, S. I., & Zhan, M. (1997). A comparison between Japanese and Chinese adjectives which express auditory impressions. *Journal of the Acoustical Society of Japan (E)*, 18(6), 319-323.
- Jiang, W., Liu, J., Zhang, X., Wang, S., & Jiang, Y. (2020). Analysis and modeling of timbre perception features in musical sounds. *Applied Sciences*, 10(3), 789.
- Kanetada, N., Yamamoto, R., & Mizumachi, M. (2013). Evaluation of sound quality of high resolution audio. *Proceedings of the 1st IEEE/IIAE International Conference on Intelligent Systems and Image Processing*, 51-56. Retrieved from <https://pdfs.semanticscholar.org/adda/26f2189f5e2058653b0a6177e0e1bfab8926.pdf>
- Lassaletta, L., Castro, A., Bastarrica, M., Pérez-Mora, R., Herrán, B., Sanz, L., ... Gavilán, J. (2008). Changes in listening habits and quality of musical sound after cochlear implantation. *Otolaryngology-Head and Neck Surgery*, 138(3), 363-367.
- Lee, H., & Müllensiefen, D. (2020). The timbre perception test (TPT): A new interactive musical assessment tool to measure timbre perception ability. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 82(7), 3658-3675.
- Lee, S., & Müllensiefen, D. (2020). The timbre perception test (TPT): A new interactive test of musical timbre perception ability. *Behavior Research Methods*, 52(1), 8-25.

- Łęowski, T. (2014). Timbre, tone color, and sound quality: concepts and definitions. *Archives of Acoustics*, 17(1), 17-30.
- McAdams, S., & Goodchild, M. (2017). Musical structure: Sound and timbre. In R. Ashley, & R. Timmers (Eds.), *The routledge companion to music cognition* (pp. 129-139). New York, NY: Routledge.
- Moore, B. C., Füllgrabe, C., & Stone, M. A. (2011). Determination of preferred parameters for multichannel compression using individually fitted simulated hearing aids and paired comparisons. *Ear and Hearing*, 32(5), 556-568.
- Moravec, O., & Stepanek, J. (2005). Verbal descriptions of musical sound timbre and musician's opinion of their usage. *Fortschritte der Akustik*, 31(1), 231-232.
- Patel, A. D. (2010). *Music, language, and the brain*. Oxford, England: Oxford university press.
- Pratt, R. L., & Doak, P. E. (1976). A subjective rating scale for timbre. *Journal of Sound and Vibration*, 45(3), 317-328.
- Reymore, L. (2022). Characterizing prototypical musical instrument timbres with timbre trait profiles. *Musicae Scientiae*, 26(3), 648-674.
- Reymore, L., & Huron, D. (2018). Identifying the perceptual dimensions of musical instrument timbre. *Proceedings of the 15th International Conference on Music Perception and Cognition*, 372-377. Retrieved from <https://shorturl.at/LaGml>
- Reymore, L., & Huron, D. (2020). Using auditory imagery tasks to map the cognitive linguistic dimensions of musical instrument timbre qualia. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, 30(3), 124-144.
- Rosi, V., Houix, O., Misdariis, N., & Susini, P. (2020). Uncovering the meaning of four semantic attributes of sound: Bright, rough, round and warm. *Proceedings of Forum Acusticum*, 1039-1046. Retrieved from <https://hal.science/hal-03234057/>
- Shibuya, K., Koyama, T., & Sugano, S. (1999). The relationship between KANSEI and bowing parameters in the scale playing on the violin. *Proceedings of IEEE SMC'99 Conference Proceedings*, 4, 305-310. Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/812418>
- Siedenburg, K., Saitis, C., & McAdams, S. (2019). The present, past, and future of timbre research. In K. Siedenburg, C. Satis, & S. McAdams (Eds.), *TIMBRE: Acoustics, Perception, and Cognition* (pp. 1-19). Cham, Switzerland: Springer Cham.
- Stepánek, J. (2006). Musical sound timbre: Verbal description and dimensions. *Proceedings of the 9th International Conference on Digital Audio Effects*, 121-126. Retrieved from <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=27712b75db50612863a3bab04d16b7e2569304e4#page=131>

- Thiering, M. (2014). *Spatial semiotics and spatial mental models: Figure-ground asymmetries in language* (Vol. 27). Berlin, Germany: Walter de Gruyter GmbH & Co KG.
- Town, S. M., & Bizley, J. K. (2013). Neural and behavioral investigations into timbre perception. *Frontiers in Systems Neuroscience*, 7, 1-14.
- von Bismarck, G. (1974). Timbre of steady sounds: A factorial investigation of its verbal attributes. *Acta Acustica united with Acustica*, 30(3), 146-159.
- Walker, P. (2016). Cross-sensory correspondences: A theoretical framework and their relevance to music. *Psychomusicology: Music, Mind, and Brain*, 26(2), 103-116.
- Wallmark, Z. (2019a). Semantic crosstalk in timbre perception. *Music & Science*, 2, 1-18.
- Wallmark, Z. (2019b). A corpus analysis of timbre semantics in orchestration treatises. *Psychology of Music*, 47(4), 1-21.
- Wallmark, Z. T. (2014). *Appraising timbre: Embodiment and affect at the threshold of music and noise* (Unpublished doctoral dissertation). University of California, LA.
- Wallmark, Z., Iacoboni, M., Deblieck, C., & Kendall, R. A. (2017). Embodied listening and timbre: Perceptual, acoustical, and neural correlates. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 35(3), 332-363.
- Wallmark, Z., Nghiem, L., & Marks, L. E. (2021). Does timbre modulate visual perception? Exploring crossmodal interactions. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 39(1), 1-20.
- Zacharakis, A., Pasiadis, K., Papadelis, G., & Reiss, J. D. (2011). An investigation of musical timbre: Uncovering salient semantic descriptors and perceptual dimensions. *Proceedings of the 12th International Society for Music Information Retrieval Conference*, 807-812. Retrieved from <https://www.eecs.qmul.ac.uk/~josh/documents/2011/ZacharakisReiss-2011-ISMIR.pdf>
- Zacharakis, A., & Pasiadis, K. (2015). A confirmatory approach of the luminance-texture-mass model for musical timbre semantics. *Proceedings of the Audio Mostly 2015 on Interaction with Sound*, 1-5. Retrieved from <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/2814895.2814898>
- Zacharakis, A., Pasiadis, K., & Reiss, J. D. (2014). An interlanguage study of musical timbre semantic dimensions and their acoustic correlates. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 31(4), 339-358.

- 게재신청일: 2024. 07. 31.
- 수정투고일: 2024. 08. 15.
- 게재확정일: 2024. 08. 19.

Analysis of Semantic Attributes of Korean Words for Sound Quality Evaluation in Music Listening

Lee, Eun Young*, Yoo, Ga Eul, Lee, Youngmee*****

This study aims to classify the semantic words commonly used to evaluate sound quality and to analyze their differences in reflecting the level of musical stimuli. Participants were thirty-one music majors in their 20s and 30s, with an average of 9.4 years of professional training. Each participant listened to nine pieces of music with variations in texture and instrument type and evaluated them using 18 pairs of semantic words describing sound quality. A factor analysis was conducted to group words influenced by the same latent factor, and a multivariate ANOVA determined the differences in ratings based on texture and instrument type. Radar charts were also drawn based on the identified sets of semantic words. The results showed that four factors were identified, and the word pairs ‘soft-hard,’ ‘dull-sharp,’ ‘muddy-clean’ and ‘low-high’ showed significant differences based on the level of musical stimuli. The radar charts effectively distinguished the sound quality evaluations for each music. These results indicate that developing Korean semantic words for sound quality evaluation requires a structure different from the previous categories used in Western countries and that linguistic and cultural factors are crucial. This study will provide foundational data for developing a verbal sound quality evaluation framework suited to the Korean context, while reflecting acoustic attributes in music listening.

Keywords: sound quality, timbre, sound quality perception, semantic words

*First author: Music Therapist, Soree Ear Clinic; Doctoral Student, Department of Music Therapy, Graduate School, Ewha Womans University; Korean Certified Music Therapist(KCMT)

**Co-author: Assistant Professor, Department of Music Therapy, Graduate School, Ewha Womans University

***Corresponding author: Associate Professor, Department of Communication Disorders, Ewha Womans University (youngmee@ewha.ac.kr)

<Appendix 1> 본 실험에 사용되는 음질 평가 어휘 선정 시 참고한 논문 목록

Study #	Referenced study	
	Year	Author(s)
1	1974	von Bismarck
2	1976	Pratt & Doak
3	1994	Ethington & Punch
4	1997	Iwamiya & Zhan
5	1997	Howard & Tyrrell
6	1999	Shibuya et al.
7	2003	Disley & Howard
8	2005	Darke
9	2006	Disley et al.
10	2006	Stepánek
11	2007	Howard et al.
12	2007a	Ishimitsu et al.
13	2007b	Ishimitsu et al.
14	2010	Alluri & Toiviainen
15	2011	Ferrer & Eerola
16	2011	Zacharakis et al.
17	2012	Alluri & Toiviainen
18	2012	Elliott et al.
19	2012	Fritz et al.
20	2013	Elliott et al.
21	2013	Kanetada et al.
22	2014	Zacharakis et al.
23	2015	Zacharakis & Pasiadis
24	2017	McAdams & Goodchild
25	2018	Reymore & Huron
26	2019a	Wallmark
27	2020	Jiang et al.
28	2022	Reymore