

시청각장애인을 위한 공연예술의 촉각 인터페이스 연구

A Study on Tactile Interfaces for Individuals with Visual and Hearing Impairments in Performing Arts

김희수¹, 김승인^{2*}

Hee Soo Kim¹, Seung In Kim^{2*}

요약

글로벌 디지털 콘텐츠 산업 성장과 언택트 무대 등으로 문화예술 분야에서 새로운 시도가 활발해지면서 공연 접근성 문제도 대두되고 있다. 그러나 현재의 배리어프리 프로그램은 주로 시각과 청각에 대한 의존도가 높아, 관객의 사용자 경험에 한계가 있다. 이는 온·오프라인을 모두 아우를 수 있는 몰입형 장치의 필요성을 시사한다. 따라서 이 연구는 기존의 서비스 한계를 지적하고, 공연예술에서의 장애인 접근성 문제의 해결 방안을 제시한다. 먼저 극장 배리어프리 실태와 선행연구 분석을 진행하며 한계점과 개선점을 도출하여 기술의 융합을 시도하였다. 연구에서는 새로운 인터페이스를 구상하고, 시청각장애인의 공통 가용 감각인 촉각을 이용하여 아티스트의 움직임을 좌표화한 햅틱 글러브에 관한 아이디어를 제안하였다. 촉각센서를 활용한 ‘손 위의 무대’ 개발은 관객의 몰입감을 향상하고, 장애인과 비장애인 간의 정보 격차가 벌어지지 않도록 접근성을 확장할 수 있을 것으로 기대한다.

핵심어 : 공연예술, 배리어프리, 접근성, 햅틱, 촉각센서

Abstract

The growth of the global digital content industry have led to various innovative attempts in the field of performing arts. However, the issue of accessibility in performances has become prominent. Current barrier-free programs predominantly rely on visual and auditory elements, resulting in limitations in user experience. This underscores the need for immersive devices that can encompass both online and offline experiences. Therefore, this study identifies the limitations of existing services and proposes solutions to address accessibility issues for people with disabilities in the performing arts. Through an analysis of the current state of theaters' barrier-free and previous studies, this research highlights shortcomings and areas for improvement. By integrating technology, the study aims to provide a more comprehensive solution. The proposed interface envisions a haptic gloves that coordinates the movements of the stage and artists, utilizing the common available sense of touch for individuals with visual and auditory impairments. The development of a 'stage on the hands' using tactile sensors is expected to enhance audience immersion and broaden accessibility, ensuring that there is no information gap between people with and without disabilities.

Keyword : Performing Arts, Barrier-free, Accessibility, Haptics, Tactile sensors

1 Department of Digital Media Design, IDAS, Hongik University, Seoul, Korea [Graduate Student]

e-mail: hseeoo@naver.com

2 Department of Digital Media Design, IDAS, Hongik University, Seoul, Korea [Professor]

e-mail: r2d2kim@naver.com (Corresponding author)

Received(April 19, 2025), Review Result(1st: May 8, 2025), Accepted(June 9, 2025), Published(June 30, 2025)



© 2025 The Authors. Published by NCISS.
This is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

1. 서론

기술이 발전하고 미디어가 다양한 방식으로 활용되면서, 전 세계적으로 디지털 콘텐츠 문화산업이 나날이 성장세를 보인다 [1]. 더불어 메타버스 공연이나 온라인 극장 등 새로운 시도와 융합형 콘텐츠의 등장은 문화예술 분야에 커다란 반향을 일으키고 있다 [2]. 이렇듯 다양한 형태의 언택트(Untact) 무대가 등장하고 있지만, 현장감과 몰입감의 부재는 잔존하고 있다. 그 이유 중 하나는 온라인 공연에서의 사용자 경험이 대부분 시각을 중심으로 이루어지기 때문이다 [3]. 이는 또 다른 문제점을 낳게 되는데, 한두 가지의 감각에만 의존하게 될 경우, 배제되는 사용자가 생긴다는 것이다. 예를 들어 시각장애인은 다양한 시각적 표현 및 움직임, 청각장애인은 음악 및 목소리를 인식하는 데에 한계가 생겨 정보의 접근성 격차가 발생하게 된다. 극장은 장애인 등 문화 소외 계층의 접근성 확장을 위한 맞춤 프로그램을 제공할 필요가 있다 [4].

이에 대한 해결책으로 음성해설, 청각장애인용 자막 등의 기능이나, 입체음향이나 픽셀의 변화를 감지하여 시각에서 촉각으로 감각을 전이시키는 햅틱 장치 등의 연구가 진행되었다 [5]. 그러나 주로 시각과 청각 중 한쪽만 보완 가능한 장치가 대부분이며, 부수적인 기능으로 이용되기 때문에 무대나 공간에 대한 정보는 턱없이 부족한 실정이다. 따라서 이 연구는 기존 배리어프리 사례 및 공간 정보화 기술 사례, 촉각·사운드 시스템에 관한 연구를 토대로 새로운 인터페이스를 제안하는데 목적이 있다. 무대와 아티스트의 움직임을 좌표화하여, 햅틱 글러브를 통해 ‘손 위의 무대’를 구현하는 촉각센서가 개발된다면 앞으로의 배리어프리 기술로 활용될 수 있을 것으로 전망된다.

2. 공연예술의 장애인 접근성

2.1 배리어프리(Barrier-free) 공연 현황

팬데믹 이후, 공연 및 문화 예술 분야에서는 온라인이나 디지털 아카이빙 등으로 플랫폼의 범위를 확대하였다. 또한 세계적으로 차별금지법과 장애인의 문화권에 대한 인식과 관심이 높아짐에 따라, 국내 국립극장들은 일부 회차에 한/영 자막을 제공하는 등 접근성의 격차를 줄이기 위해 노력하였다. 그러나 국립극단을 예로 들면, ‘배리어프리 회차’라는 용어를 사용하며 수어 통역이나 음성해설 기기 등을 포함한 적극적 배리어프리 요소를 도입하기 시작한 것은 2021년부터이다 [6].

온라인 극장 활성화 방안으로써의 한글 수어 통역 및 화면해설 제공을 시작으로, 이후로 극장은 오프라인 공연으로까지 이를 확장하면서 장애인 접근성을 위한 배리어프리 요소를 꾸준히 발전시켜 왔다.

[표 1]은 2023년 오프라인 배리어프리 공연 중 국내 국립극장 3곳의 유형별, 배리어프리 회차 및

요소별, 사용 감각별로 특징이 드러나는 4개 작품씩을 선정하여 분석한 표이다.

[표 1] 2023년 국내 국립극장 배리어프리 공연 현황

[Table 1] The Current Status of Barrier-free Performances in the Republic of Korea's National Theaters in 2023

극장	공연	유형	접근성 회차	배리어프리 요소	사용 감각
국립극단 (NTCK)	만선	연극	3 (+ 매주 2회씩 한글, 영문 자막)	음성해설, 수어 통역, 한글 자막, 영문 자막	시각 청각
	영지		전 회차	음성해설, 한글 자막	
	스고파라갈		3	음성해설, 수어 통역, 한글 자막, 터치 투어	시각 청각 촉각
	이 불안한 집		3	음성해설, 수어 통역, 한글 자막, 무대 모형 터치 투어(전 회차)	
아르코·대학로 예술극장 (ARKO)	노스체	연극	전 회차	수어 통역, 한글 자막	시각
	새빨간 스피도		음성해설(3), 한국 수어 통역(2), 한글 자막(7)	시각 청각	
	Earthing	무용	전 회차		음성해설, 한글 자막, 음성 소개
	빨래방:쌈소리		전 회차	음성해설, 촉각 카드, 터치 투어	청각 촉각
국립정동극장	이것은 사랑이야기가 아니다	연극	7	한글 자막, 음성 소개	시각 청각
	이장		2	수어 통역, 한글 자막, 영어 자막	시각
	물고기로 죽기		전 회차	음성해설(1), 수어 통역, 한글 자막, 영어 자막	시각 청각
	쇼맨	뮤지컬	8	한글 자막	시각

휠체어 이용 관람객을 위한 ‘이동지원’은 모든 공연에서 제공되므로 제외하였다. 대부분의 배리어프리는 시각장애인을 위한 음성해설, 청각장애인을 위한 수어 통역과 자막 제공에 대한 논의로 이어진다 [7]. 국립정동극장은 이처럼 접근성 회차에 시각과 청각 장치를 주로 사용하였다 [8]. 반면, 국립극단과 아르코·대학로 예술극장은 실제 무대 배치를 사전에 체험하는 ‘터치 투어’와 이를 모형화한 ‘모형 터치 투어’, ‘촉각 카드’ 등 촉각을 활용한 배리어프리 요소를 제공함으로써 그 감각의 영역을 확장하였다 [9]. 이렇듯 배리어프리 공연은 점차 다양한 감각적 융합을 시도하고 있지만 아직은 촉각보다는 시각과 청각, 그중에서도 시각을 사용하는 장치가 주를 이루는 실정이다.

2.2 촉각 장치 접근성 이용 사례

2.2.1 터치 투어 (Touch Tour)

터치 투어는 촉각을 이용하여 공연 전 무대 및 소품, 의상 등을 직접 만져보며 작품 이해에 도움이 되는 설명을 듣는 투어로 [7], 장애 여부와 상관없이 모든 관람객이 신청할 수 있다. 홈페이지 사전 예약을 통해 공연 관람 전, 해당 공연의 실제 무대를 견학할 수 있다는 게 특징이다. 또한, 작품의 상징적인 장면들을 촉각적으로 연출하여 극의 흐름을 이해하는 데 도움을 주는 ‘촉각 전시’도 터치 투어에 해당한다. 공연 무대를 축소화하여 질감과 배치 등을 재현한 ‘무대 모형 터치 투어’도 자주 활용된다. [그림 1]은 두산아트센터에서 공연한 연극의 터치 투어 모형으로, 공연 시작 전 로비에서 실제 무대디자인에 사용된 재료와 배치, 극에 대한 음성해설도 함께 들을 수 있다.



[그림 1] 연극 <나의 왼손이 나의 왼손과 그의 왼손을 잡을 때> 무대 모형 터치 투어
[Fig. 1] <When Your Left Hand Holds My Left Hand and His Left Hand> Touch Tour Model

2.2.2 촉각 카드

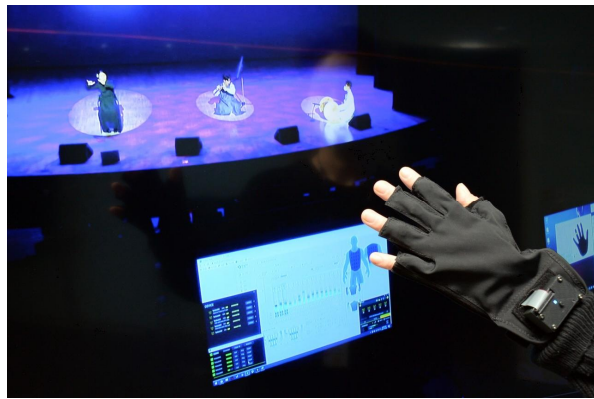
아동 및 특수 아동이 촉감 놀이를 통해 학습할 수 있도록 그림과 문자를 입체적으로 구현한 3D 책 등의 교구 개발이 적극적으로 이루어지고 있다 [10]. 이는 촉감 체험 및 점자 학습 이후에 QR 코드를 통한 청각 학습이 가능한 오감 활용 교구이다. 아르코·대학로 예술 극장의 무용극 <빨래방: 삿소리>에서는 이와 같은 시각 장애 아동을 위한 촉감 도서에서 영감을 받아 관람객에게 총 5장의 촉각 카드를 제공하였다.

[그림 2]는 해당 공연에서 사용된 촉각 카드 중 하나로, 무용수의 움직임 촉각적으로 표현하고 주요 장면을 상징화한 그림이 그려져 있다. 카드의 앞면에는 음·양각 출력을 활용하여 점자와 간소화된 그림을, 뒷면에는 음성해설 QR코드를 삽입하여 시각장애 관람객의 이해를 도왔다 [11].



[그림 2] 무용극 <빨래방:쌈소리> 촉각 카드
[Fig. 2] A Tactile Card of <laundrette:What The Fxxk>

2.2.3 촉각 음정 보조 시스템



[그림 3] 촉각 음정 보조 시스템을 적용한 국악 공연
[Fig. 3] Traditional Korean Music Performance Enhanced with Tactile Pitch Assistance System

한국전자통신연구원(ETRI)은 음정을 촉각으로 변환하기 위한 기술을 개발하였다. 촉각 음정 보조 시스템이란, 청각 정보로부터 음성 주파수를 뽑아내 촉각 패턴을 제작하고, 기기를 이용해 이를 전달하는 사용자 인터페이스 기술이다 [12]. ETRI는 실시간으로 소리가 음계로 치환되면, 이 음계가 촉각 패턴으로 변환되는 소프트웨어를 설계하였다. 이 장치를 장갑에 부착하고, 사용자는 장갑으로부터 전달되는 진동을 통해 음정을 구분할 수 있게 된다. 연구진은 알고리즘을 구현하기 위해 음계의 색상과 고저를 시각화하고, 촉각 위치를 배치하는 등의 변환 과정을 거쳤으며, 실제 공연에 이를 적용하였다. [그림 3]은 해당 시스템을 통해 실시간으로 악기의 음정을 청각장애인 관객에게 전달했던 2021년 국악 공연이다. 시스템 개발 과정에서 국악에서 사용되는 5개 음계를 맵핑

(Mapping)하여, 소리의 세기에 따라서 느껴지는 감각의 강도를 조절하였다.

2.3 공연예술 접근성의 한계

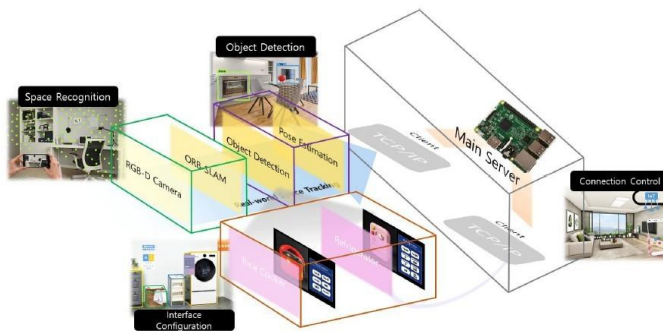
공연예술 분야에서의 접근성은 점차 새로운 방식을 도입하며 그 다양성이 확대되고 있다. 그러나 온·오프라인 배리어프리 공연에서 제공되는 서비스는 시각과 청각에만 의존하고 있는 경우가 많았고, 이는 장애인 관객에게 오히려 몰입감의 부재를 안겨주기도 하였다. 예를 들어 점자 해독이 가능한 시각장애인 인구가 약 10%에 불과한 데도 불구하고, 점자 해설을 배리어프리 서비스로 제시하는 것 등이 있다. 점자 해독이 어렵거나 잔존시력에 의존하여 글씨를 읽을 수 있는 시각장애인 인구를 위한 정보제공 방법 개선이 필요하다 [7]는 연구 결과도 있었다. 따라서 이 연구에서는 감각을 통한 정보가 직관적으로 관객에게 전달될 수 있도록, 촉각을 활용한 시스템을 통해 장애인의 공연 몰입감 부재에 관한 해결책을 제시한다.

3. 관련 연구

3.1 화면-공간 좌표

3.1.1 실내 공간 객체 인식 IoT

가상 객체와 실 객체 간 연결성 확대를 위해 증강현실에서 이용할 수 있는 IoT 시스템에 관한 연구가 진행되었다. 해당 연구에서는 증강현실의 폭넓은 구축을 위해 공간 인식 후 맵을 구성한 다음, 영상 정보를 기반으로 SLAM(Simultaneous localization and mapping) 기술 [13]을 활용한 카메라 트래킹(Tracking)을 진행하였다. 이후에는 연구에 이용된 공간 인식-객체 제어 다이어그램인 [그림 4]와 같이 딥러닝 알고리즘을 적용하여 최종 시스템 적용 대상인 객체를 인식하였다 [14].



[그림 4] 객체 제어 시스템 구조도

[Fig. 4] Diagram of Object Control System

3.1.2 영상과 공간 좌표

이병관은 두 대 이상의 카메라를 이용하여 다른 각도로 영상을 촬영한 뒤, 이를 공간 좌표로 추출하는 방법을 발명하였다. 우선 두 대의 카메라를 통해 영상을 획득하는 것이 첫 번째 단계이다. 이렇게 획득한 데이터를 바탕으로 채도를 이용한 목표 영상 선택, 목표 영상에서 경계 데이터를 추출한다. 마지막으로 경계 데이터에서 곡률 연산을 이용하여 꼭짓점과 함몰점의 좌표를 지정한 뒤, 삼각측량을 통해 정밀한 3차원 공간 좌표(X, Y, Z)를 도출하게 된다 [15]. (1)은 세부 공간 좌표를 획득하는 마지막 단계에서 사용되는 수식이다.

$$X = \frac{x_1 + x_2}{2} \quad Y = \frac{y_1 + y_2}{2} \quad Z = \frac{f}{|x_1 - x_2| \times s} B \quad (1)$$

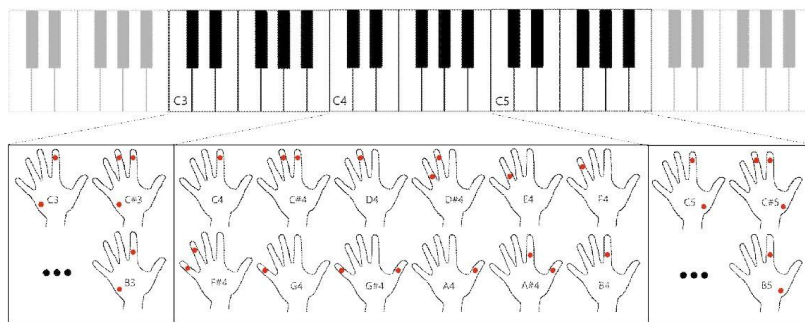
위 수식에서 B는 카메라 간 거리, s는 한 픽셀의 사이즈, f는 카메라와 초점까지의 거리, x_1, y_1 는 첫 번째, x_2, y_2 는 두 번째 카메라에 목표 영상이 맺힌 화소 위치로 계산된다.

3.2 진동 체감 시스템

3.2.1 촉각 음정 시스템의 패턴

ETRI는 2.2.3의 촉각 음정 보조 시스템에 9개의 진동 모터를 포함한 신축성 소재의 장갑 기구를 사용하였다. 장갑은 총 3옥타브를 커버할 수 있고, 반음을 포함한 36음계에 관한 패턴을 생성한다. 촉각 패턴의 설계 과정에서는 옥타브의 배치를 분리하기 위해 일정한 음계 패턴을 형성하고, 동시 발생 음정의 경우에는 다른 손가락에서 감각이 느껴지도록 거리를 두고 배치하였다 [12].

[그림 5]는 해당 연구에서 활용된 음계에 따른 패턴 설계에 관한 그림이다.

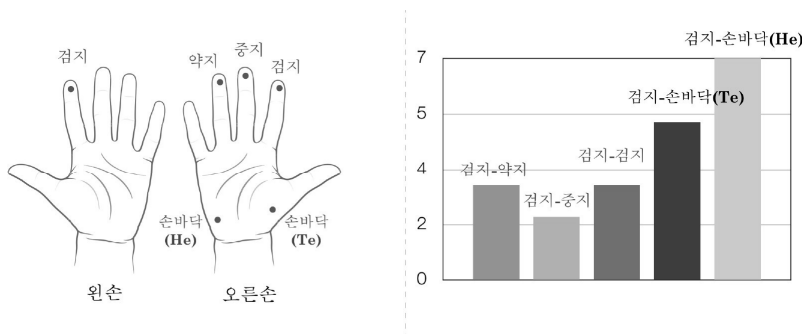


[그림 5] 음계에 따른 촉각 패턴 설계 [12]

[Fig. 5] Designing Tactile Patterns Based on Musical Scales [12]

3.2.2 촉각 음악

촉각 관련 연구에서 손을 이용한 시스템을 설계하는 이유는 손이 신체 부위 중 가장 자극에 민감하여 촉각 지각 능력이 뛰어난 부위이기 때문이다. 송은성은 촉각 음악의 감성 증진에 관한 연구에서 손의 자극 부위별 인식을 및 선호도 비교 실험을 진행하였으며, 이를 위해 서로 다른 2개의 부위에 동시에 진동을 느끼게 하였다. 관찰 결과, 인접한 손가락으로 진동 채널을 나누어 자극을 주는 것은 인지 능력을 떨어지게 하였으며, 손바닥보다는 손가락에서 전체적인 진동 패턴 인식이 향상되었다 [16]. [그림 6]은 해당 연구에서 진행한 자극 부위별 실험의 선호도 그래프이다. 인식률은 손가락이 더 좋았지만, 선호도가 높았던 건 손가락과 손바닥의 채널 조합이었는데, 연구에서는 그 이유를 손바닥이 손가락보다 감성에 더욱 영향을 주기 때문으로 분석하였다.



[그림 6] 자극 부위 선정 실험 결과

[Fig. 6] Experimental Results on Stimulus Part Selection

4. 촉각-좌표 연동 햅틱 장치



[그림 7] 촉각 좌표 연동 시스템 알고리즘

[Fig. 7] Haptic Coordinate Integration System Algorithm

화면-공간 좌표와 진동 체감 시스템에 관한 선행연구를 바탕으로, 무대 공간을 좌표로 인식하여

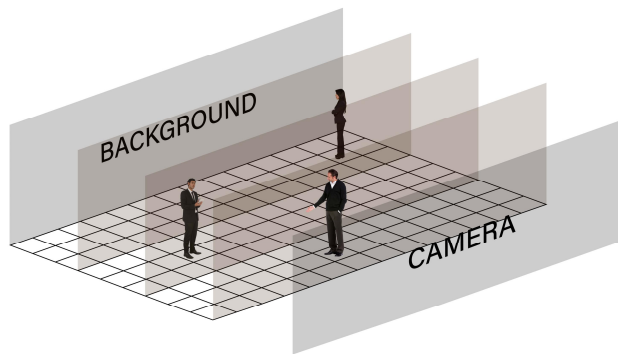
무대 위의 움직임이 촉각을 통해 감각되도록 하는 연동 햅틱 장치 아이디어를 구상하였다.

[그림 7]은 소리와 이동 경로를 트래킹하는 해당 시스템의 알고리즘을 나타냈다.

4.1 무대 공간 데이터 추출

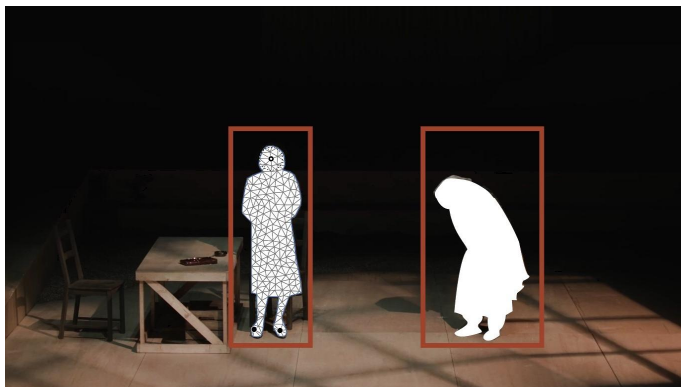
먼저 해당 무대를 촬영한 영상 혹은 이미지를 확보한 뒤, 바닥 면을 기준으로 좌표를 생성한다.

[그림 8]은 무대 위 인물이 좌표 위에 있는 영상의 구조도이며, [그림 9]는 영상 속 무대 위 인물을 객체로 인식하고, 트래킹 하기 위해 마커를 표시한 그림이다. 인물 간 마커 구분은 필요하지 않다.



[그림 8] 무대 바닥 좌표 및 구조도

[Fig. 8] Stage Floor Coordinates & Diagram



[그림 9] 객체 인식 및 마커

[Fig. 9] Object Recognition and Marker

인물 트래킹 과정에서 Z축이 변화하면 그 수치의 변화를 Y축에 적용한다. 이는 기존 Z축을 Y축으로 전환하여 3차원 무대 공간에서 2차원 평면 좌표로의 변환 과정을 거치는 것이다. 도출된 좌표를 기준으로 무대의 가용 공간을 12칸으로 분류한다. 12칸의 그리드로 분류하는 이유는 3.2.2의

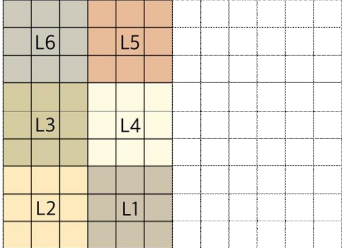
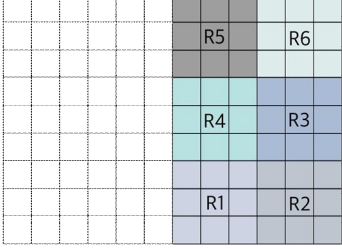
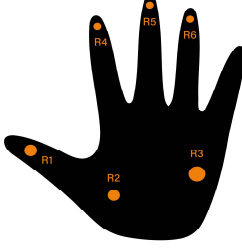
선행연구를 바탕으로, 손가락과 손바닥의 진동 부위를 12채널로 선정하였기 때문이다.

4.2 햅틱 글러브 인터페이스

무대 좌표를 12개의 그리드로 구분한 뒤, 왼손과 오른손을 각각 무대의 하수와 상수에 연동한다. [표 2]는 연동된 햅틱 글러브의 인터페이스를 나타낸다. 무대는 주로 가로로 넓은 형태이고, 관객은 양 손등을 위로 한 채 편하게 관람하기 때문에, 양손을 합치면 공연 무대와 대응하도록 설계하였다. 배우가 자주 등장하고 동선이 많은 무대 중앙에서부터 숫자가 시작되며, 소지를 무대와 대응할 경우, 무대 구석의 입·퇴장 통로와 겹치기 때문에 채널은 약지까지만 사용하였다. 표에 삽입된 손의 방향은 무대와의 연동을 직관적으로 표현하기 위해서 손등이 위로 갔을 때를 기준으로 하였으며, 실제 진동이 느껴지는 부분은 반대쪽인 손바닥 면과 지문이 있는 면이다.

[표 2] 햅틱 글러브 인터페이스

[Table 2] Haptic Gloves Interface

무대 좌표	진동 위치
 <p style="text-align: center;">하수</p>	 <p style="text-align: center;">왼손 (손등)</p>
 <p style="text-align: center;">상수</p>	 <p style="text-align: center;">오른손 (손등)</p>

시스템 구동 방식은 예를 들어 배우가 좌표상 L1의 위치에서 대사를 하면, 왼손등의 엄지 부근 L1 채널에 세기 2의 진동이 발생한다. R4에서 R1으로 배우가 이동하면, R4와 R1에 시간차를 두고 세기 1의 진동이, 대사를 주고받을 때는 해당 좌표와 대응하는 채널에서 동시에 진동이 발생한다.

4.3 향후 기술 발전 가능성

현재 일부 공연장 및 극장에서는 ‘폐쇄형 접근성 기기’라는 이름으로 스마트글라스를 제공하기도 한다. 스마트글라스는 AR(증강현실) 기술을 이용한 사례로, 이를 착용하고 화면을 보면 해당 작품의 자막이 안경을 통해 제공된다. XR(확장현실) 기술 및 스마트기기의 발전이 거듭되면, 문화 활동에 최적화된 자막 집중 보급형 스마트글라스의 등장도 기대해 볼 수 있다 [17]. 이렇듯 스마트기기가 많은 극장에 비치되는 날이 온다면 공연 자체가 실감형 미디어 콘텐츠로 자리 잡을 수 있을 것이다. 이 연구에서 제안한 장치는 영상 화면을 활용하기 때문에 현재는 오프라인 극장에서 사용하기 어렵다. 그러나 더 깊은 연구를 통해 집에서 메타버스 공연을 즐기기 위한 보조 수단, 더 나아가 XR 글라스와 함께 사용할 수 있는 가정용 햅틱 장치로의 개발이 가능해 질 것으로 보인다.

5. 결론

이 논문은 시·청각장애인의 공연예술 접근성 향상을 위해, 시각과 청각을 주로 사용하는 극장의 배리어프리 서비스의 실정과 선행연구 분석을 통하여 촉각을 이용한 새로운 접근법을 제안하였다. 터치 투어, 촉각 전시, 촉각 카드 등 오프라인 극장에서 제공되는 촉각 제공 서비스는 주로 공연 전에 일어나는 행위에 주목한다. 공연 전 무대를 체험하고, 극에 관한 소개를 들으며 상상을 통해 즐거움을 파악한다. 그러나 현장의 몰입감에 가장 큰 영향을 미치는 것은 공연 중에 일어나는 행위이다. 연극이나 뮤지컬, 무용 등의 공연예술은 시각이나 청각 등 한 가지의 감각만을 가지고는 온전히 그 현장감을 느끼기 어렵다. 촉각도 마찬가지이다. 따라서 이 논문에서 제안한 햅틱 글러브 시스템은 단독으로 사용되기보다는, 다른 접근성 프로그램과 함께 사용되었을 때 관객에게 가장 효과적인 몰입감을 줄 수 있을 것으로 예상된다.

이 연구는 기존 극장의 배리어프리 프로그램의 미비와 이에 따른 관객의 몰입감 및 현장감 부재라는 문제점을 발견하고, 다각적 접근을 시도하였다는 점에서 의의가 있다. 하지만 영상과 이미지를 기준으로 연구가 진행됨에 따라, 오프라인 공연에 적용하기에는 아직 기술의 발전이 더 필요하다는 것이 한계점이다. 따라서 XR 기술 및 보급형 스마트기기의 발전이 가속화된다면 새로운 기술 중심으로 후속 연구가 필요하다. 작은 아이디어와 연구가 모여 장애인과 비장애인 간의 장벽 없이 누구나 자유롭게 누릴 수 있는 접근성 프로그램 개발에 도움이 되길 기대한다.

References

- [1] J. E. Jung, N. Y. Son, H. J. Kim, “Case studies of cultural contents using metaverse”, *Journal of Culture Industry*, vol. 22, no. 1, March 2022, pp. 201-213, doi: 10.35174/jkci.2022.03.22.1.201.
- [2] I. S. Lee, “Performing Arts in the Age of Transmedia”, *Journal of the Acting & Arts*, vol. 17, February 2020, pp. 17-32, doi: 10.26764/jaa.2020.17.2.

- [3] J. Choi, J. S. Kim, H. W. Ka, "Analysis of the Accessibility of Metaverse Platforms from the Perspective of Screen Reader Users", *Journal of Digital Contents Society*, vol. 24, no. 3, March 2023, pp. 473-488, doi: 10.9728/dcs.2023.24.3.473.
- [4] S. H. Choi, "An exploratory study on the determinants of performance and exhibition viewing", *Journal of Next-generation Convergence Information Services Technology*, vol. 11, no. 2, April 2022, pp. 221-230, doi: 10.29056/jncist.2022.04.10.
- [5] S. H. Yoon, B. R. Choi, "A Research on the Development of Realistic Haptic Interaction Technology for Cultural Arts Performances", KAIST CT, Republic of Korea, TRKO202300005483, December 2022. [Online]. Available <https://scienceon.kisti.re.kr/commons/util/originalView.do?cn=TRKO202300005483&dbt=TRKO&rn=>.
- [6] National Theater Company of Korea, "NTCK Annual Programs Schedule", on.ntck.or.kr, <https://www.ntck.or.kr/ko/performance/year>, (accessed December 5).
- [7] C. A. Kim, "Enhancing Performing Arts Accessibility for the Visually Impaired: A Case Study of La Traviata - Opera for All", Master's thesis, The Graduate School of Arts, Chung-Ang University, Republic of Korea, 2023.
- [8] Jeongdong Theater, "Jeongdong Performance Information - Programs", jeongdong.or.kr, <https://www.jeongdong.or.kr/portal/bbs/B0000252/list.do?menuNo=200002>, (accessed December 5).
- [9] Art Council Korea, "Arko & Daehakro Arts Theater Annual Schedule of Performances", arko.or.kr, <https://theater.arko.or.kr/product/performance/year>, (accessed December 5).
- [10] H. Y. Kim, "A three-dimensional book that you read with your fingertips", KR Patent 1020190110145, December 11, 2019.
- [11] H. Y. Park, "[ARTISTREE] [Performance Recommendation] Introducing Barrier-Free Performance Works for a Diverse Audience", blog.naver.com, <https://naver.me/FrAJnmGU>, (accessed December 5).
- [12] H. C. Shin, J. W. Lee, S. J. Lee, W. H. Lee, J. H. Kim, H. M. Park, "Final Report on the Development of Foundational Technologies for Human Auditory and Muscular Enhancement to Overcome Abnormalities or Impairments in Physical Functions", ETRI, Republic of Korea, TRKO202200004813, February 2022. [Online]. Available <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchReport.do?cn=TRKO202200004813>.
- [13] R. Mur-Artal, J. D. Tardós, "ORB-SLAM2: An Open-Source SLAM System for Monocular, Stereo, and RGB-D Cameras", *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 33, no. 5, October 2017, pp. 1255-1262, doi: 10.1109/TRO.2017.2705103.
- [14] C. H. Jung, S. H. Seo, "A study on the real-world object control based on extended reality through indoor space and object recognition", *Journal of Digital Art Engineering & Multimedia*, vol. 11, no. 6, December 2022, pp. 575-586, doi: 10.29056/jncist.2022.12.01.
- [15] B. K. Lee, "Method for Extracting Spatial Coordinates Using Multiple Cameras Image", KR Patent 1020080064424, July 3, 2008.
- [16] E. S. Song, "A Study of Expression to Improve the Sensitivity of Vibrotactile Music", Doctoral Dissertation, The Graduate School of Metaverse, Sogang University, Republic of Korea, 2016.
- [17] J. H. Lee, "Development Multi Moving LED and Audience Interactive Solution for the Most Advanced Show Stage", CJ E&M, Republic of Korea, TRKO201800014225, September 2017. [Online]. Available doi.org/10.23000/TRKO201800014225.