

## 악기별 인공지능 융합 기술 발전 연구

# Research on the development of artificial intelligence fusion technology for each instrument

권미혜<sup>1</sup>

Mi-Hye Kwon<sup>1</sup>

요 약

인공지능에 관한 국제특허분류(IPC)와 악기에 관한 국제특허분류(IPC)를 이용하여 악기 인공지능 관련 특허 288건을 선별하였다. 1989년 야마하에서 악기 인공지능 특허가 처음 출원된 이래 악기 인공지능 특허 수는 지속적으로 증가하였다. 2015년까지는 일본과 미국에서 주로 특허가 출원되었고, 2016년 이후에는 미국과 중국에서 주로 특허가 출원되었다. 악기 인공지능 특허는 미국 빅테크기업이 아닌 악기 제조사와 중국과 영국의 테크기업에서 주로 이루어지고 있었다. 2015년 이전까지는 악기 인공지능의 목적은 다양하였으나, 2016년 이후부터는 음악 생성에 대한 악기 인공지능 특허가 집중되었다. 약 80%의 특허는 특정 악기에 특화되지 않은 특허였으며, 나머지 약 20%의 특허 중 건반악기에 관한 인공지능 특허가 절반이었다. 건반악기에 관한 인공지능 특허는 연주를 보조하거나 평가하는 기술을 목적으로 하는 인공지능이었다. 관악기에 관한 인공지능 특허는 검색되지 않았다. 향후 어쿠스틱 악기와 인공지능 융합 기술에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

핵심어 : 악기, 인공지능, 음악 생성, 연주 보조, 전자 악보

### Abstract

Using the International Patent Classification (IPC) related to artificial intelligence and musical instruments, 288 patents concerning musical instruments AI were selected. Since Yamaha first filed a musical instruments AI patent in 1989, the number of such patents has steadily increased. Until 2015, patents were primarily filed in Japan and the United States, but since 2016, the majority of patents have been filed in the United States and China. Most musical instruments AI patents have been filed by musical instrument manufacturers and tech companies in China and the UK, rather than by major U.S. tech companies. Before 2015, the purposes of musical instruments AI were varied, but since 2016, patents have increasingly focused on AI for music generation. Around 80% of the patents were not specific to any particular instrument, while half of the remaining 20% involved AI for keyboard instruments. These patents primarily focused on technologies for assisting or evaluating performance. No patents related to AI for wind instruments were found. Future research on the integration of AI with acoustic instruments is considered necessary.

Keyword : musical instruments, artificial intelligence, music generation, performance assistance, electronic sheet music

<sup>1</sup> Department of Music Education, Seowon University, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, Korea [Professor]  
e-mail: mihkwon@gmail.com

Received(September 29, 2024), Review Result(1st: October 19, 2024), Accepted(December 11, 2024), Published(December 31, 2024)



© 2024 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

음악은 인간에게 정서(feeling)를 느끼게 해주는 언어이고 이는 악기를 통해 전달된다. 악기가 음악을 표현하는 방법은 기술과 함께 발전해왔다. 금속 기술이 발전하면서 피아노에 나무 프레임 대신 주철 프레임을 쓸 수 있게 되었고, 이는 보다 강한 장력의 현을 지지할 수 있게 해주어서 피아노의 음량이 커지고 울림이 풍부해지며 감정 전달의 폭이 넓어졌다. 트럼펫은 반음을 연주할 수 없는 악기였지만 19세기 초 개발된 밸브 기술이 적용되면서 트럼펫은 드디어 반음을 연주할 수 있게 되었고 음악적 표현의 한계를 극복하였다. 악기에 적용되어 있는 기술을 이해하는 것은 악기의 발음 원리를 단순히 알아내는 것이 아니라 악기의 음악적 표현의 가능성과 감정을 전달하는 방식을 살펴보는 것이다. 미래의 악기에 적용될 기술을 전망하는 것은 음악이 어떻게 표현되고 변화할지를 미리 가늠해보는 작업이다. 현재의 악기에 점차 적용되어 가고 있으며 미래의 악기에도 다양한 방식으로 적용될 것이 예상되는 중요한 기술은 인공지능이다.

피아노는 해머가 현을 때림으로써 소리가 발생하는 타현악기이자 건반을 사용하는 악기이다. 건반은 직관적인 인터페이스여서 조율이 잘 이루어져 있다면 연주자가 건반만 누르면 원하는 음고(pitch)의 소리가 정확히 발생한다. 동시에, 피아노는 약 2만 여개 부품으로 이루어진 복잡한 기계적 원리가 숨어 있는데, 이는 100년 이상 큰 변화 없이 정형화된 기계부품이다. 이처럼 피아노는 적용된 공학적 원리가 정형화되어 있으면서도 정확한 음의 발생이 쉽다는 특성을 갖기 때문에, 인공지능을 통한 자동 연주의 구현을 위한 최적의 어쿠스틱 악기로 평가된다[1]. 2019년에는 일본의 악기 전문회사인 야마하(Yamaha)가 작고한 피아니스트 글렌 굴드(Glenn Gould)의 기법을 모방하여 자동 연주가 가능한 인공지능을 만드는 ‘디어 글렌(Dear Glenn)’ 프로젝트를 진행한 바 있으며[2], 이 외에도 피아니스트의 음악적 표현을 따라하는 인공지능들이 개발되고 있다. 또한, 인공지능의 기술이 발전함에 따라 피아노에서 벗어나 다른 악기에도 인공지능을 적용하기 위한 다양한 시도가 이루어지고 있다.

저자는 2019년 교육용 건반악기에 대한 기술 동향을 분석하고, 이와 함께 인공지능을 활용한 피아노 교습 기술에 대한 발전 동향을 분석한 바 있다[3][4]. 건반악기를 어쿠스틱 건반악기와 디지털 건반악기로 구분하여 분석한 결과, 정보처리기기를 부착하는 기술, 교구를 부착하는 기술, 악보에 관한 기술 순서로 특허가 출원되고 있었으며, 기술 개발의 목적별로 보면 일반교육, 유아교육, 초·중등교육, 특수교육의 순서임을 확인하였다. 또한, 2022년에 인공지능을 활용한 교육용 피아노 기술의 개발 동향을 분석한 바 있다[5]. 자신의 연주를 돌아보는 자가 테스트 방식용 인공지능, 자가 학습에 관한 인공지능, 개인 맞춤 교습을 위한 인공지능, 시연 영상이나 음악을 제공하기 위한 인공지능이 있었으며, 특히 자가 테스트를 위한 인공지능 특허가 상당히 증가하고 있음을 확인하였

다. 위의 연구들은 피아노와 같은 건반악기에만 한정된 것이기에 악기 전체에 대하여 인공지능이 어떻게 적용되고 있는지를 알아보지 못하였다는 한계가 있었다.

어느덧 인공지능이 일상의 도구 수준으로 발전함에 따라 융합이 어렵다고 판단되던 다양한 기술과의 융합이 가속화되고 있다. 체스에서 인간을 이겼던 인공지능이 개발된 1990년대 후반에는 직관과 영감이 중요한 바둑에서 인간과 겨루는 인공지능 개발은 불가능할 것이라 여겨졌지만 우리는 인공지능이 바둑에서도 인간을 이기는 장면을 목도한지도 어느덧 8년이 경과하였다. 이제 바둑 인공지능은 인간을 이기는 것을 넘어 전문 바둑 기사를 맞춤형으로 교육시키기에 이르렀다[6]. 피아노가 아닌 예를 들어 기타나 바이올린과 같은 현악기는 인간의 미세한 손놀림에 따라 음가가 달라지기에 인공지능이 이를 따라하기 어려울 것이라 판단되지만 이와 관련된 인공지능 역시 조금씩 개발되고 있다.

본 연구에서는 피아노에 한정하지 않고 모든 악기에 걸쳐 인공지능 관련 기술이 어디까지 이르렀는지를 분석하고자 한다. 이를 통해, 악기별 인공지능 융합기술의 현재 위치를 살펴보고 문제점을 검토하여 이를 토대로 미래의 기술을 전망해보고자 한다.

## 2. 특허를 통한 기술동향 분석

### 2.1 분석 방법

특허에는 다양한 정보가 포함되어 누구라도 검색 가능한데, 공개되는 특허정보 중 하나는 기술 분야를 뜻하는 IPC(International Patent Classification)이다. 이는 세계지적재산권기구(World Intellectual Property Organization, WIPO)에서 수립한 기술분류 기준으로, 모든 기술분야를 7만 여개로 세분화한 것이다[7]. 주요 국가 특허청은 WIPO에서 설정한 기준에 따라 그 나라에 출원된 모든 특허의 기술을 분류하여 IPC를 할당하는데, 각 특허마다 2개 내지 10개의 IPC가 할당되어 있다. 본 연구에서는 주요 5개국(한국, 미국, 유럽, 일본, 중국)에서 2024년 8월 31일까지 공개된 특허를 대상으로 IPC를 활용해서 악기 인공지능 특허를 선별해 분석하였다. 조사 개요를 [표 1]에 정리하였다.

IPC는 상하위 개념이 있는 계층적 구조로서 가장 큰 대분류는 섹션 A부터 섹션 H까지 8개인데, 이중 ‘섹션 G’는 물리학에 관한 것이며 그 하위계층인 ‘G10’은 악기와 음향학에 관한 것이다. ‘G10’은 다시 8개의 하위계층을 포함하는데, ‘G10B’는 오르간, 풍금과 같이 건반을 포함하는 관악기, ‘G10C’는 피아노와 같이 건반을 포함하는 현악기, ‘G10D’는 현악기, 관악기, 타악기 및 별도 분류되지 않는 악기, ‘G10F’는 자동화된 악기, ‘G10G’는 음악적 표현이나 악보 형식으로 제공되지 않는 악세사리, ‘G10H’는 전자악기, ‘G10K’는 음향 기술, ‘G10L’은 음성 분석 기술이다[7]. 따라서, 악기를 (A)건반악기(피아노, 오르간 등), (B)현악기(건반이 있는 현악기 제외, 바이올린, 기타 등), (C)관악기(건반이 있는 관악기 제외, 플루트 등), (D)타악기의 총 4개 그룹으로 구분한다면, ‘G10B’

와 ‘G10C’는 A그룹, ‘G10D’는 B, C, D그룹, ‘G10F’와 ‘G10H’는 A, B, C, D 그룹의 악기를 뜻한다. ‘G10K’, ‘G10L’은 악기와는 별개로 볼 수 있는 음향 기술 및 음성 분석 기술의 IPC이기에 본 연구의 주제와 거리가 있어 제외하였다. ‘G10D’, ‘G10F’, ‘G10H’에 해당하는 특허는 A, B, C, D 그룹의 악기 중 어떤 악기에 관한 것인지를 IPC만으로 식별할 수 없기에 개별적으로 특허를 살펴보아 악기를 분류해야 한다.

[표 1] 특허 검색 방법

[Table 1] Patent search method

| 구분    | 내용                 |
|-------|--------------------|
| 검색 DB | WipsOn             |
| 검색 국가 | 한국, 미국, 유럽, 일본, 중국 |
| 검색 구간 | ~ 2024.8.31.       |
| 검색 대상 | 공개 특허 및 등록 특허      |
| 검색 방법 | IPC를 이용한 선별        |

한편, 악기에 적용될 수 있는 인공지능 기술과 관련된 IPC는 ‘G05D-101/10(인공지능 이용 제어/조정)’, ‘G05D-101/15(기계학습 이용 제어/조정)’, ‘G06F-030/27(기계학습 이용 디지털 데이터처리)’, ‘G06N-003(신경망 등 생체기반 컴퓨터시스템)’, ‘G06N-005(지식기반모델 이용 컴퓨터시스템)’, ‘G06T-005/60(기계학습 이용 이미지 데이터 처리)’, ‘G06V(이미지 또는 비디오)’, ‘H04L-041/16(기계학습 이용 디지털정보 전송)’이다[7].

따라서, 악기 관련 IPC와 인공지능 관련 IPC를 ‘동시(and)’ 조건으로 하여 특허를 검색하여, 악기 인공지능 특허를 선별할 수 있다. 해당 조건으로 검색하면 총 704건의 특허가 검색되는데, 이를 전수 확인하면서 악기와 기술 관련성이 적은 특허는 제외하였다. 예를 들어, 인공지능으로 동영상이나 게임에 어울리는 음악을 생성하는 기술, 텍스트를 입력하면 인공지능이 이에 어울리는 음악을 생성하는 기술, 오디오 인코딩 기술 등은 악기에 특화된 기술은 아니어서 제외하였다. 총 288건이 유효한 특허로 확인되었다. 검색에 활용된 IPC와 각각의 검색 결과를 [표 2]에 정리하였다.

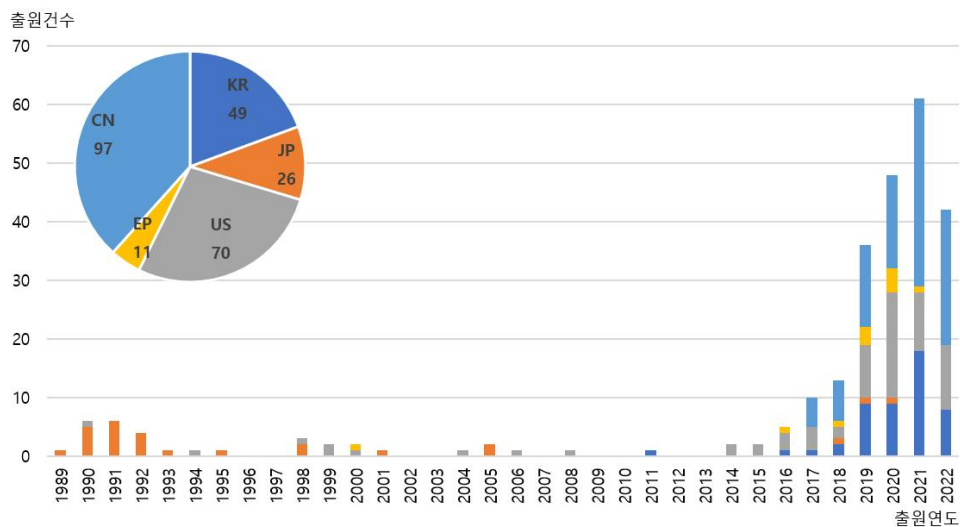
[표 2] IPC 및 특허 검색 결과

[Table 2] IPC and Patent search result

| 인공지능 IPC                                                                                  | 악기 IPC | 악기 IPC 내용                   | 특허건수 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-----------------------------|------|
| G05D-101/10, G05D-101/15, G06F-030/27, G06N-003, G06N-005, G06T-005/60, G06V, H04L-041/16 | G10B   | 건반악기                        | 2    |
|                                                                                           | G10C   | 건반악기                        | 1    |
|                                                                                           | C10D   | 현악기, 관악기, 타악기, 그 외 악기       | 2    |
|                                                                                           | C10K   | 건반악기, 현악기, 관악기, 타악기, 그 외 악기 | 7    |
|                                                                                           | C10H   | 건반악기, 현악기, 관악기, 타악기, 그 외 악기 | 276  |

## 2.2 분석 결과

출원 연도와 국가에 따라 악기 인공지능 특허의 출원 동향을 [그림 1]과 같이 정리하였다. 특별한 사정이 없는 한 특허는 출원 후 18개월이 경과해야 공개되기 때문에 통계적 오류 방지를 위해 2023년에 출원된 특허 25건과 2024년에 출원된 특허 10건은 그래프에서 제외하였다. 최초의 악기 인공지능 특허는 1989년에 출원된 일본 야마하(Yamaha)사의 “악기의 음의 파형 생성 방법”이다[8]. 이는 계층형 뉴럴 네트워크를 이용하여 악기음 파형 패턴을 학습시키고, 이를 통해 임의의 패턴을 입력하면 파형 진폭을 얻을 수 있는 기술이다. 신경망을 활용하여 악기의 파형을 자동으로 생성한다는 개념은 현재의 악기 패턴을 확인하는 방법과 유사하지만 당시의 인공지능 기술 수준을 생각해 보면 우수한 결과물까지 획득하였을지 의문이다.



[그림 1] 연도별 국가별 특허 출원 동향

[Fig. 1] Patent application trends by country and year

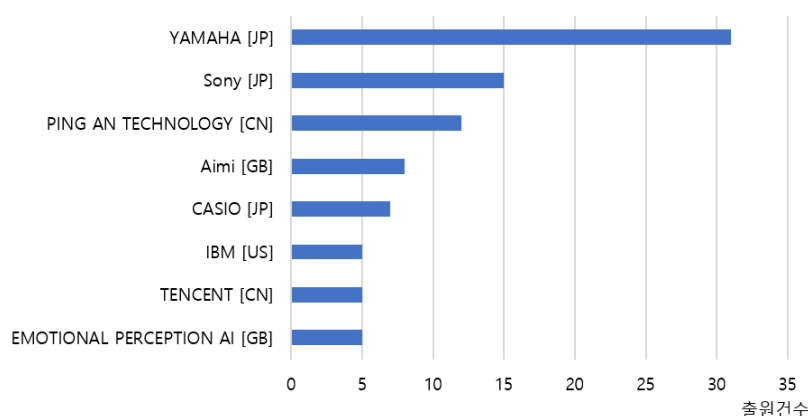
2016년부터 악기 인공지능 특허가 크게 증가하였다. 2016년은 알파고(AlphaGo)와 이세돌 기사와의 바둑 대결인 구글 딥마인드 챌린지 매치(Google DeepMind Challenge Match)가 있었던 해이다. 2016년을 기점으로 인공지능에 대한 관심과 투자가 크게 증가하였는데, 악기 인공지능 특허의 동향에서도 이러한 시기적 특징이 반영되었음을 확인할 수 있다.

2015년까지는 일본과 미국이 특허를 주도하였다. 1989년 이후 2015년까지의 특허의 94.7%가 일본과 미국에서 출원되었으며, 특히 일본의 야마하 등의 악기 제조사가 기술 개발을 주도하였다. 다만 일본은 2000년 이후 특허 출원 개수가 점차 감소하기 시작하는데, 이는 일본 버블 붕괴에 따른

기술 개발 투자 감소와 관련이 있을 것으로 보인다.

2016년부터 특허 출원수의 증가는 미국과 중국의 주도하는 것으로 확인되었다. 인공지능은 막대한 자본과 인력이 필요하여 국가를 기준으로 특허 출원을 구분한다면 악기 인공지능 특허 역시 미국과 중국의 출원이 많은 것으로 확인되었다.

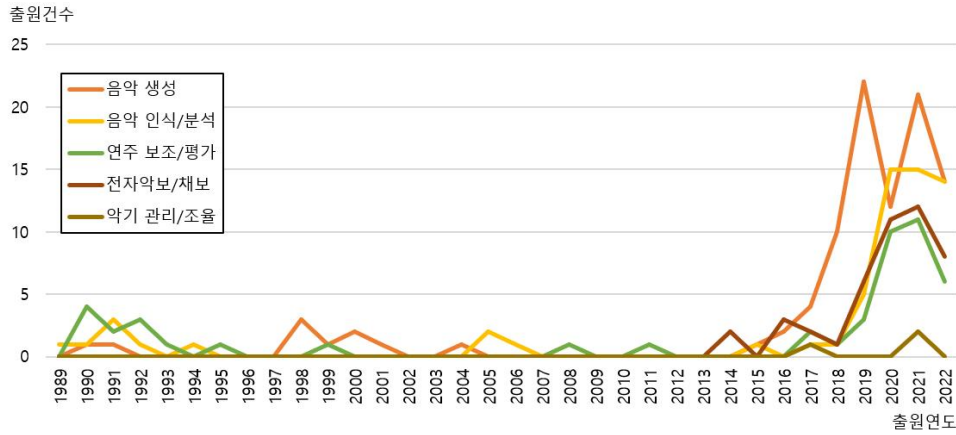
[그림 2]는 특허 다출원인 분석 결과를 나타낸다. 일본의 악기 제조회사인 야마하(Yamaha), 일본의 테크기업인 소니(Sony), 중국의 테크기업인 핑안기술(Ping An Technology), 영국의 소프트웨어사인 아이미(Aimi), 일본의 소프트웨어사인 카시오(Casio), 미국의 테크기업인 IBM, 중국의 테크기업인 텐센트(TENCENT), 영국의 인공지능 소프트웨어기업인 이모셔널 퍼셉션 에이아이(Emtional Perception AI)사가 악기 인공지능의 다출원인으로 확인되었다. 2016년 이후로만 한정한다면 소니의 특허는 검색되지 않으며 야마하의 특허수도 감소하는데, 이는 일본의 경제 상황과 관련이 있을 것이다. 한편, 현재 인공지능의 기술 개발을 선도하는 것으로 알려진 오픈에이아이(OpenAI), 구글(Google), 마이크로소프트(Microsoft) 등의 미국 빅테크기업은 악기 인공지능 특허를 많이 출원하지 않고 있으며, 오히려 야마하와 같은 악기 제조회사, 중국과 영국의 테크기업이 악기 인공지능 기술 개발에 많은 투자가 이루어지고 있는 것으로 판단된다.



[그림 2] 특허 출원인 분석

[Fig. 2] Patent Applicants Analysis

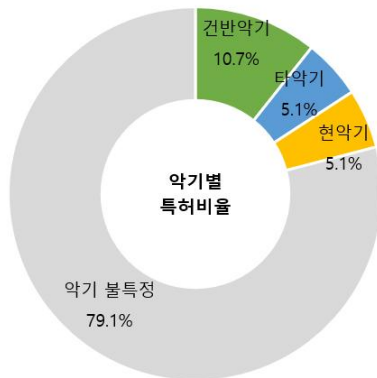
특허에서 인공지능을 사용하는 목적을 연도별로 정리하여 [그림 3]에 나타냈다. 음악 생성을 위한 인공지능, 데이터에서 음악이나 악기를 인식하거나 또는 MIDI 형식의 파일을 분석하여 악기를 구별하는 인공지능, 연주자를 보조하거나 연주를 평가하는 인공지능, 채보 등을 통해 악보를 만들고 관리하기 위한 인공지능, 악기의 관리나 조율을 위한 인공지능 등 5개 목적으로 분류하였다. 악기 인공지능 기술이 활발해지기 이전인 2015년까지는 5개의 목적의 특허가 비교적 고르게 확인되었으나, 2016년 이후 음악 생성을 위한 인공지능 특허가 집중됨을 확인하였다.



[그림 3] 연도별 특허의 목적 분석

[Fig. 3] Analysis of the object of patents by year

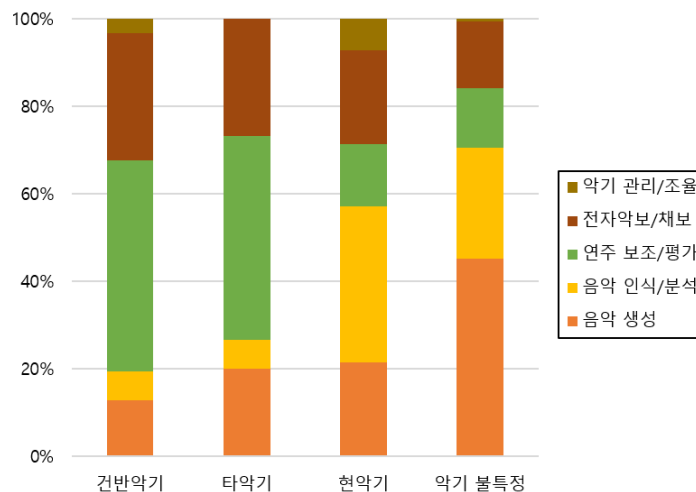
인공지능이 대상으로 하는 악기의 종류를 구분하여 [그림 4]와 같이 정리하였다. 건반악기, 현악기(건반악기가 아닌 것), 관악기(건반악기가 아닌 것), 타악기로 분류하였으며, 특별히 악기의 종류를 특정하지 않은 특허는 ‘악기 불특정’으로 정리하였다. 79.1%의 특허는 특정 악기를 대상으로 하지 않고 모든 악기를 대상으로 하는 인공지능 기술이었다. 예컨대, MIDI 파일에서 악기의 종류를 구분하는 특허, 어떠한 악기에도 활용 가능한 전자 악보에 관한 특허 등이다. 약 20%의 특허만이 인공지능이 사용되는 악기를 특정하였는데, 그 중 절반은 피아노나 키보드와 같은 건반악기에 관한 것이어서 이에 대한 인공지능 개발이 활발함을 확인하였다. 기타와 같은 현악기가 5.1%, 드럼과 같은 타악기가 5.1%로 나타났다. 관악기만을 대상으로 하는 인공지능 특허는 검색되지 않았다.



[그림 4] 악기 종류별 특허건수

[Fig. 4] Number of patents by instrument type

악기 종류별로 인공지능의 목적을 분석한 결과 [그림 5]와 같이 나타났다. 건반악기에 특화된 인공지능은 연주를 보조하거나 평가하는 목적으로 인공지능을 활용하는 특허가 가장 많았다. 앞서 분석한 바와 같이 음악을 생성하는 인공지능 특허가 가장 많았는데, 이는 건반악기, 타악기, 현악기와 같이 특정 악기를 대상으로 하는 인공지능이 아니라 모든 악기를 사용하여 음악을 생성하는 인공지능이 가장 많음을 확인하였다. 현악기에 특화된 인공지능은 건반악기나 타악기와 달리 음악을 인식하거나 분석하는 기술에 관한 것이었다.



[그림 5] 악기 종류별 특허의 목적 분석

[Fig. 5] Analysis of the purpose of patents by instrument type

### 3. 결론과 시사점

특허와 IPC를 활용하여 악기 인공지능 기술의 발전 동향을 확인하였다. 악기 인공지능 특허는 일반적 인공지능 특허와 유사하게 2016년 이후 크게 증가하였다. 2016년 이전에는 일본과 미국이 기술 개발을 선두하였다면, 2016년 이후부터는 미국과 중국이 기술 개발을 선두하고 있었다. 미국의 빅테크기업보다는 아마하와 같은 악기 제조사나 중국과 영국의 테크기업이 활발히 특허를 출원하고 있었다. 2016년 이전에는 다양한 목적으로 악기 인공지능이 개발되고 있었으나, 2016년 이후에는 음악 생성을 위한 인공지능 개발의 비중이 크게 높아진 것이 확인되었다. 약 80%의 특허는 특정 악기에 특화되지 않고 모든 악기에서 범용적으로 활용할 수 있는 인공지능에 관한 것이었으며, 악기가 특정된 약 20%의 인공지능 특허 중에서 건반악기에 특화된 것이 가장 많았다. 건반악기는 연주를 보조하거나 평가하는 인공지능을 중심으로 기술이 개발되고 있었다.



본 연구를 통해 관악기에 특화된 인공지능 특허가 아직 없음을 확인하였다. 건반악기나 현악기와 비교하여, 관악기는 호흡의 조절, 혀의 위치, 입술의 모양 등 음색에 영향을 주는 미세한 변수가 많고 이들을 정량화하거나 로봇 공학 등을 통해 기계적으로 구현하기 어려워 인공지능 학습이 쉽지 않을 것에 이유가 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서의 아쉬운 점과 향후의 연구 방향은 다음과 같다.

전체 악기와 관련된 인공지능 융합기술을 살펴보아, 악기별 세부적인 기술 발전 동향을 상세히 검토하지 못한 점은 본 연구의 아쉬운 부분이었다. 향후 인공지능과 어쿠스틱 악기에 특화된 심층 연구가 필요할 것으로 보인다. 검색된 288건의 특허 중 271건이 IPC ‘G10H’인 전자악기에 관한 것이어서, 상당수가 어쿠스틱 악기보다는 전자악기 관련 인공지능 특허였다. 전자악기는 연주 결과를 쉽게 MIDI와 같은 데이터 형태로 확보할 수 있고 편집이 쉬우며 연주를 위해 별도의 로봇 공학이 필요하지 않다. 그래서 인공지능을 활용한 전자악기의 연주와 음악 생성의 난이도가 어쿠스틱 악기 대비 낮다. 어쿠스틱 악기에서 음악을 연주하려면 기계 장치가 필요하다. 건반악기라면 건반을 직접 누르는 휴머노이드 또는 액션 부분을 동작시킬 수 있는 액츄에이터 등이 필요하기에, 어쿠스틱 악기를 이용한 음악과 인공지능의 융합 기술에는 기계공학도 필요하다. 그러나 어쿠스틱 악기는 전자악기 대비 연주자의 연주 기법에 따른 음악적 표현의 범위가 넓으며 감정 전달도 효과적이다. 전자악기는 인공지능과 융합되기 때문에 난이도가 낮아 현재 특허가 집중되는 것으로 보이는데, 어쿠스틱 악기의 음악적 표현을 고려하면 이와 관련된 인공지능 개발이 필요하며 실제 다양한 프로젝트가 진행되고 있다. 따라서, 어쿠스틱 악기와 융합되는 인공지능 기술 개발 동향을 살펴보는 것은 미래의 음악을 전망하는데 도움이 될 것이다.

본 연구가 음악과 인공지능의 융합 기술을 연구에 있어서 과거의 기술 동향을 반추하고 미래의 기술을 가늠해보는데 도움이 되기를 바란다.

## References

- [1] J. Nam, "The Present and Future of Music AI", youtube.com, <https://www.youtube.com/watch?v=NkoKH-mOIyo&list=LL&index=15>, (accessed August 1, 2024).
- [2] Yamaha, "Dear Glenn", yamaha.com, <https://www.yamaha.com/en/stories/new-values/dear-glenn>, (accessed August 1, 2024)
- [3] M. Kwon, "A Study of the trend and direction of keyboard instrument technology for education using patent information", *Journal of Next-generation Convergence Information Services Technology*, vol. 8, no. 3, September 2019, pp. 319-328, doi: 10.29056/jncist.2019.09.09.
- [4] M. Kwon, "Analysis and Prospect of Artificial Intelligence Piano Teaching Techniques", *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, vol. 9, no. 10, October 2019, pp. 1-10, doi: 10.35873/ajmahs.2019.9.10.001.
- [5] M. Kwon, J. Lee, "A Study on the Development Trend of Convergence Technology for Piano Teaching -Focusing on Patent Analysis-", *Journal of Digital Art Engineering & Multimedia*, vol. 9, no. 4, December 2022, pp. 341-350, doi: 10.29056/jdaem.2022.12.01.
- [6] H. A. Kissinger, E. Schmidt, D. Huttenlocher, *The Age of AI: And Our Human Future*, Little, Brown and Company, 2021.
- [7] WIPO, "International Patent Classification (IPC)", wipo.int, <https://www.wipo.int/classifications/ipc/en/>, (accessed August 1, 2024).
- [8] K. Ohya, J. Fujimori, "Method for generating a musical instrument's sound waveform", JP Patent 2522400, October 10, 1989.