

시각장애학생을 위한 수학 디지털 촉각 그래픽 개발

박진석¹ · 황기연^{2*} · 최운석³ · 김준영³¹이화여자대학교 특수교육연구소 박사후연구원 ^{2*}주식회사 닷 프로 ³주식회사 닷 사원

Development of Digital Math Tactile Graphics for Students with Visual Impairments

Jinseok Park¹ · Giyeon Hwang^{2*} · Unseok Choi³ · Junyoung Kim³¹Post-doc Researcher, Special Education Research Institute, Ewha Womans University, Seoul 03759, Korea^{2*}Professional, Dot Inc., Seoul 08591, Korea³Engineer, Dot Inc., Seoul 08591, Korea

[요약]

이 연구의 목적은 시각장애학생을 위한 디지털 수학 촉각그래픽을 개발하기 위함이다. 이를 위해 점형 기반 촉각그래픽 출력기 ‘닷패드’와 웹 기반 저작도구 ‘닷캔버스’를 활용하여 중·고등학교 수학 2학기 기하 영역에서 총 42종의 디지털 촉각그래픽을 제작하였다. 1차로 개발한 촉각그래픽에 대하여 3종의 국내외 가이드라인의 공통 요소를 포함한 15개 평가지표를 토대로 평가하고, 수정 권고를 바탕으로 최종 자료를 개발하였다. 본 논문을 통해 수학 촉각그래픽 제작에 있어서 디지털 입출력기기의 활용을 통해 제작의 편의성과 효율성을 확인할 수 있었다. 디지털화된 점형 기반 촉각그래픽을 제작할 경우 단순화 및 복잡한 그래픽을 표현할 경우 인쇄 촉각그래픽에 비해 상대적으로 낮은 해상도와 복수의 레이어 사용에 따른 추가적인 고려의 필요성을 발견하였다. 본 논문에서 결과 및 사례를 토대로 시각장애를 가진 학습자를 위한 촉각그래픽과 디지털 촉각그래픽을 위한 사용자 중심 제작 지침 개발이 필요하다.

[Abstract]

The purpose of this study is to develop digital math tactile graphics for students with visual impairments experiencing shortage and late provision of adapted tactile graphics. The researchers created 42 tactile graphics of middle- and high-school geometry items, using a digital tactile tablet entitled ‘DotPad’ and a web-based drawing tool entitled ‘DotCanvas.’ The draft version was evaluated according to 15 quality control criteria based on three tactile graphic guidelines. The researchers subsequently revised the draft based on the recommended standards for clear tactile discrimination and simplification. This study found that a braille-based digital tactile graphic device and its drawing tool were beneficial for convenience and efficiency of use. Additional considerations were required due to the relatively lower resolution and use of multiple layers. Based on the findings, providing sufficient math digital tactile graphics for students with visual impairments and developing user-centered creation guidelines specialized in digital tactile graphics is necessary.

색인어 : 디지털촉각그래픽, 대체학습자료, 접근성, 시각장애**Keyword** : Digital Tactile Graphics, Adapted Learning Materials, Accessibility, Visual Impairment<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2023.24.9.1965>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 25 July 2023; Revised 08 August 2023

Accepted 08 August 2023

***Corresponding Author: Giyeon Hwang**

Tel: +82-2-864-1113

E-mail: giyeon.hwang@dotincorp.com

1. 서론

4차 산업혁명으로의 전환에 따라 정보에 대한 공평한 접근을 위한 디지털 접근성 및 역량 교육의 중요성이 대두되고 있다. 학습자의 디지털 역량은 정보 및 데이터 접근을 가능하게 하는 디지털 리터러시를 시작으로 학습, 직업 및 사회활동에 참여할 수 있는 것을 전제로 한다. 디지털 역량을 총체적으로 포괄하는 많은 이론적 모델 중 유럽 연합(EU)가 제시한 DigiComp 프레임워크는 디지털 기술을 책임감 있게 주도적으로 활용할 수 있는 5개 역량, (1) 정보 및 데이터 리터러시, (2) 커뮤니케이션 및 협업, (3) 디지털 콘텐츠 창조, (4) 안전한 디지털 기술 활용, 그리고 (5) 문제해결로 정의하였다. 이 중 가장 먼저 제시한 정보 및 데이터 리터러시의 경우 정보 및 콘텐츠를 검색하고, 필요한 정보를 취합하여 관리 및 구성할 수 있는 능력을 의미한다[1].

현대사회에서 시각적 정보의 폭발적인 증가는 시각장애를 가진 학습자가 활용해온 기존의 텍스트 기반 정보접근 방식에 있어서 어려움을 야기한다. 특히 정보와 데이터에 접근하는 리터러시는 여타 디지털 역량 영역에 있어서 영향을 미친다. 공평한 정보접근은 다른 사람과의 동등한 수준의 의사소통 및 협업을 가능하게 하고, 궁극적으로 문제를 해결할 수 있는 근간이 된다. 그러나 점자나 음성으로 정보를 습득할 수 있는 시각장애인을 위한 정보 설명과 대체 텍스트 등 웹 접근성을 기반으로 하는 대체자료가 제공되지 않거나, 또는 제공 시기의 지연으로 인해 정보에 대한 공평한 접근이 어려워지고 있다. 문제 해결을 위해 제공되는 여러 그림, 차트, 그래프, 사진 등의 시각적 자료는 접근성을 위해 특별히 고안한 대체학습자료가 제공된다 고 하더라도 기존의 원자료를 대체하기 어렵다.

동등한 수준의 정보 접근이 어려움은 학교 현장에서 시각장애 학생의 성공적인 수학 및 과학 학습에 부정적인 영향의 주요 원인으로 지목되어 왔다. 국내외 연구결과에서 알 수 있듯이 과거부터 시각장애 학생의 수학 및 과학 학습성취도는 또래학생과 비교할 때 낮은 수준을 나타내고[2], 수학 및 과학 학습 동기와 같은 정의적 측면에서도 비장애학생과 비교할 때 상대적으로 낮은 것으로 나타났다[3],[4]. STEM 분야의 중요성과 산업 분야의 규모가 확대되면서 수학과 과학 성취도가 시각장애를 가진 학생의 고등교육 전공 선택과 향후 직업 분야의 선택, 미래 직업안정성에도 영향을 미치는 것으로 나타났다[5]. 연구 결과 이러한 어려움은 시각장애 학생의 개인 내적 요인으로부터 기인하는 것이 아니라 수학 및 과학 교육을 위한 정보 접근 또는 다양한 학습도구 및 자료에서의 접근이 어려움에 따른 것으로[6], 다양한 학습자료와 도구를 활용한다면 비장애 학생과 동일한 수준의 수학 과제를 해결할 수 있고[7],[8], 과제를 해결할 수 있는 자원과 지원이 주어진다면 충분한 수학 및 과학적 성취를 나타낼 수 있음을 연구결과는 보여준다 [9],[10]. 선행연구의 결과는 시각장애 학생을 위한 STEM 내용 영역을 학습하는데 있어서 공평한 정보 접근을 바탕으로 문제를 해결할 수 있는 과정을 배울 수 있는 적절한 기회 및 교육적 지원을 제공해야 함을 시사한다.

특히 촉각을 학습의 주요 감각매체로 활용하는 시각장애 학생 또는 성인의 경우 학습과 일상생활, 직업분야에서 비장애 학생 또는 동료가 활용하는 시각화된 정보에 직접적으로 접근하기 보다 비장애인이 구두로 제시하는 자료에 대한 언어적 설명에 의존하여왔다. 시각화된 원자료에 접근하기 위해 추가적인 편의제공 또는 주변인의 조력이 없이 독립적으로 자료를 검색하고 접근하는데 어려움이 있는 이유는 양질의 대체학습자료의 부족과 더불어 보급 시기의 지연 문제가 원인으로 지적되어왔다[11],[12]. 보편적 설계의 관점에서 시각적 정보에 대한 대체자료 접근의 권리를 보장하고 주요 원리를 제공하였으나, 학업 또는 일상생활의 실제에서는 비장애 학생이 접근하는 동등한 또는 비슷한 수준에는 미치지 못하고 있는 것이 사실이다[13].

디지털 촉각그래픽의 등장은 촉각을 주요 감각매체로 하는 시각장애 학습자가 시각화된 자료에 직관적인 접근할 수 있도록 함으로써 기존 대체자료의 부족과 보급 지연 문제를 개선하는데 기여할 수 있다. 입출력 하드웨어와 소프트웨어를 활용하여 간단하게 촉각그래픽을 제작할 수 있고, 실시간으로 이를 수정할 수 있다는 장점이 있다. 또한 미리 제작한 원자료를 사용자간에 공유 또는 개선할 수 있다는 측면에서 대체학습자료 제작 및 보급 시기의 지연 문제를 해결할 수 있다[14].

디지털 촉각그래픽을 학습 및 정보접근을 요구하는 분야에 활용하기 위해서는 여러 선행과제가 존재한다. 구체적으로는 1) 양질의 촉각그래픽 자료, 2) 양질의 자료를 제작할 수 있도록 돕는 저작 도구와 제작자를 위한 가이드라인, 3) 시각장애를 가진 학습자가 출력된 자료를 활용할 수 있는 선수기술에 대한 평가 및 관련 기술 지도, 그리고 4) 입력 및 출력기기 활용을 위한 사용자 교육 등이 필요하다. 특히 특수교육 현장에서는 2022년 고시한 개정 특수교육 교육과정의 중고등학교 전문교과 자립생활 내 보조공학 영역에서 디지털 촉각그래픽 기기 활용에 대한 성취기준을 처음으로 제시하였다 [15]. 이러한 변화는 향후 특수교육 현장에서 시각장애 특수 학교와 거점 특수교육 지원센터를 통해 디지털 촉각그래픽 기기를 도입 및 보급할 것이고, 이를 활용하기 추가적인 교육적 지원이 필요함을 의미한다.

시각장애 학생을 위한 촉각그래픽에 관한 연구는 꾸준히 수행되어 왔다. 핀매트릭스(pin-matrix)형태의 촉각 인터페이스와 오디오 출력을 결합한 BrailleDis 7200[16] 그리고 태블릿 어플리케이션 TPad와 점자 인쇄물 형태를 결합한 연구 [17]가 있었으나, 이러한 시도 모두 상업화된 모델로 이어지는 못했다. 또한 원형의 시각자료를 재구성하고 이를 디지털 형태로 변환하여 시각장애를 가진 사용자의 촉각 변별 및 콘텐츠 접근을 보장하기 위해서는 다양한 전문가의 간학문적 협력을 요구함을 보여준다[18]. 양각 또는 음각화한 선과 촉각 패턴을 활용하여 다양한 모양, 질감 및 기타 시각적 정보를 촉각 인식을 통해 탐색가능한 요소로 변환하는 촉각그래픽을 제작하기 위해 콘텐츠 전문가, 공학기기 전문가, 교육 전문가의 협업이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 중고등학교 수학 성취기준을 달성하기 위해 제공한 교과 학습 자료를 시각장애학생이 접근할 수 있도록 디지털 촉각그래픽 형태로 구현하고, 수학 그림자료를 촉각 자료로 변환하는데 있어서 특수교육과 공학, 촉각 대체 학습자료 전문가 간의 간학문적 협업 과정과 그 결과물을 제시하였다. 구체적으로 중학교 1학년에서 고등학교 1학년까지 2학기 수학교과 성취기준을 달성하기 위한 교과 내용 중 기하, 함수, 사분면 등을 포함하는 내용을 추출한 다음, 이를 디지털 촉각그래픽 저작 도구를 활용하여 변환하였다. 이후 국내의 촉각그래픽 관련 가이드라인에서 규정하는 공통 요소를 토대로 변환한 결과물에 대한 검토 과정과 최종 결과물을 제시하였다. 이를 통해 디지털 촉각그래픽의 보급과 함께 기존 시각장애학생교육 현장에서 제기되어온 촉각대체학습자료의 부족 및 보급시기 지연 문제를 완화하고, 향후 교육현장에서 디지털 촉각대체학습자료를 활용할 특수교사를 위한 기초자료 제공, 그리고 양질의 디지털 촉각그래픽 자료를 제작 및 보급하기 위한 가이드라인의 방향을 제안하고자 한다. 본 논문을 위해 설정한 연구문제는 다음과 같다.

시각장애 학생의 중고등학교 수학교과학습을 위한 점형 기반 디지털 촉각그래픽 대체학습자료 제작 단계와 검증 과정, 결과는 어떠한가?

II. 연구방법

2-1 내용 영역의 선정

본 논문에서는 중학교 1학년에서 고등학교 1학년까지 2학기 수학교과 성취기준을 달성하기 위한 교과 내용 중 기하, 함수, 사분면 등을 포함하는 내용을 일부 추출하였다. 구체적으로는 중학교 1학년은 좌표평면과 그래프, 수직선, 순서쌍과 좌표, 중학교 2학년은 삼각형/사각형의 성질과 피타고라스 정리를, 중학교 3학년은 이차함수를, 고등학교 1학년의 경우 도형의 방정식과 이동을 학습하기 위해 필요한 그림자료를 대상으로 하였다.

2-2 제작 도구 선정

본 논문에서는 웹 기반 디지털 촉각그래픽 저작 도구로 ‘닷 캔버스’를 이용하였다. 닷 캔버스는 그림판 형태의 ‘자유롭게 그리기’ 기능을 통해 다양한 형태의 점, 선, 면, 도형, 그림, 단어 등을 간편하게 제작할 수 있고, 출력기기를 통해 즉각적으로 출력할 수 있다. 이를 활용하여 사용자는 디지털 촉각 그래픽 콘텐츠를 제작하고 수정할 수 있으며 클라우드에 업로드 되어있는 촉각 그래픽 콘텐츠를 불러와 출력기에 포출할 수 있다. 화면 구성은 캔버스와 그리기 도구, 텍스트 입력으로 되어 있고, 캔버스 위에 점형으로 드래그하여 콘텐츠를 제작한다.

출력기기로는 디지털 촉각그래픽 태블릿 ‘닷패드’를 활용하였다. 닷패드는 점형 디스플레이를 통해 그래픽을 촉각 대체 학습자료로 표현할 수 있는 장치로서, 그래픽 영역과 텍스트 영역, 그리고 조작 키로 구성되어 있다. 그래픽 영역은 8점 셀이 가로 10행과 세로 30열, 총 300셀이 상하좌우 등간격으로 배치되어 그래픽 표현이 가능하며, 텍스트 영역은 가로로 긴 직사각형 모양의 프레임 안에 20개의 점자 셀이 표준 점자 간격으로 배치되어 있어 20개의 점형을 동시에 표현할 수 있다. 입출력기기의 기본 구성은 아래 그림 1과 같다.

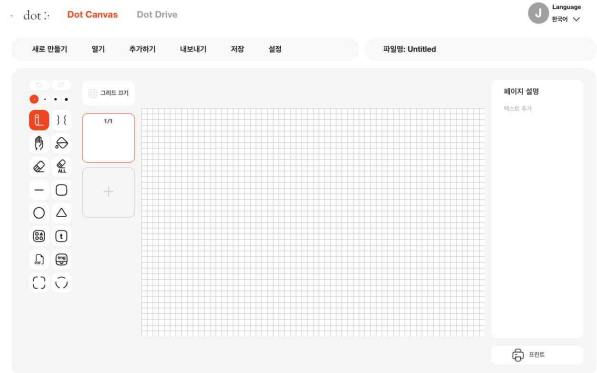


그림 1. 웹 기반 디지털 촉각그래픽 저작 소프트웨어 ‘닷 캔버스’와 점형 기반 출력기기 ‘닷패드’의 인터페이스
Fig. 1. Drawing software ‘Dot Canvas’ and Braille-dot-based refreshable device ‘Dot Pad’ for digital tactile graphic

2-3 디지털 촉각그래픽 제작 과정

제작을 시도한 수학 도안 자료의 제작 과정은 다음과 같다. 첫째, 개별 그림자료에서 포함되어야 할 내용을 파악하고, 문제 해결에 도움을 줄 수 없는 자료는 생략하였다. 둘째, 복잡한 이미지의 경우 이미지를 단순화하였고, 촉각 변별이나 문제해결을 위해 필요한 경우 원자료의 모양이나 형태를 확대, 축소, 변형하였다. 단, 거리나 크기의 관계를 측정해야 하는 과제인 경우 원자료의 의도를 유지하였다. 셋째, 내용의 변화를 순차적으로 이해해야 할 경우 복수의 레이어를 추가하여

상태의 변화를 파악할 수 있도록 하였다. 마지막으로 문제의 설명이나 안내가 필요한 경우 또는 개별 구성요소에 대한 명칭을 제시해야 하는 경우에는 텍스트 영역에 문제해결을 돕는 대체텍스트를 제공하였다.

2-4 제작 자료의 검증을 위한 평가 도구의 선정 및 공통 요소 추출

검증 및 개선과정에서는 디지털 촉각그래픽 제작자, 점자 촉각그래픽 디자이너, 시각장애교육을 전공한 연구자가 공동으로 참여하여 1차 결과물을 놓고 검증 및 개선과정을 진행하였다. 2023년 1월 기준 디지털 촉각그래픽 저작 도구를 활용하여 제작한 자료의 질을 검증할 수 있는 독자적인 평가도구는 존재하지 않으므로 기존 촉각그래픽 제작 국내외 가이드라인과 지침 중 디지털 촉각그래픽을 대상으로 적용할 수 있는 요소를 추출하여 검증 기준을 확정한 다음, 검증 결과에 따른 수정 권고사항을 토대로 초기 디자인을 수정 및 보완하였다.

사용한 국내외 가이드라인을 구체적으로 살펴보면, 시각장애인을 위한 영어점자 및 촉각자료에 관한 규정을 관장하는 북미점자위원회(BANA: Braille Authority of North America)의 촉각그래픽 스탠다드 및 가이드라인[19], 세계 최대 시각장애인 특수학교인 미국 퍼킨스맹학교(Perkins School for the Blind)의 가이드라인[20], 그리고 우리나라 교육부 직속기관인 국립특수교육원에서 개발한 시각장애학생 교과서 대체학습자료 제작 지침[21] 총 3종에서 공통적으로 규정하는 항목을 추출하였다. 이 가이드라인에서 공통적으로 요구하는 사항을 요약하면 1) 촉각그래픽 제작 여부 결정, 2) 수정 전략, 3) 촉각 변별의 확보, 4) 복잡한 그래픽의 표현이 있었으며 본 논문에서 활용한 최종 검증 기준은 다음 표 1과 같다.

2-5 제작 자료의 평가 결과를 바탕으로 수정 및 보완 절차

위의 내용을 바탕으로 시각장애 특수교육 전공 연구자와, 디지털 촉각그래픽 입출력장치 엔지니어, 촉각대체학습자료 제작사 디자인 전담인력이 2023년 1월부터 5월까지 5회의 대면 또는 비대면 회의를 통해 초기 디자인을 수정·보완하였다. 전반부 수정 및 보완 과정의 주요 논의 내용은 위의 검증 기준을 토대로 시각장애학생의 독립적인 수학 문제해결을 위한 자료 접근 보조 관점에서 교과 자료에 대한 촉각 그래픽 제작 필요성을 평가한 다음, 1) 필수 정보의 포함 여부, 2) 선과 형태, 기호 등 개별 구성요소 간의 촉각 변별의 명확성, 3) 낮은 해상도에 따른 정보의 단순화, 4) 복잡한 그래픽의 변환 등을 평가하였다. 평가 결과에 따라 수정·보완을 위한 권고사항 목록을 작성하였다. 후반부 2회 수정·보완과정에서는 직접 출력기기를 활용하여 제작한 자료에 대한 실물 자료를 확인하면서 최종 자료를 개발하였다.

표 1. 본 논문에서 활용한 촉각그래픽 검증 기준

Table 1. Evaluation criteria for digital tactile graphic draft

Category	Evaluation Criteria for Revision
1. Decision-making on Creating Tactile Graphics	1.1 Is the information a repeat of facts in the text?
	1.2 Would the information be more meaningful in text form?
	1.3 Is the actual object unavailable, too small, too large, or too dangerous to examine by touch and perceive details?
	1.4 Does the graphic require the reader to use visual discrimination or visual perception?
	1.5 Does the reader need the information from a map, figure, or graph to participate in discussions, answer questions, complete a task?
2. Modification	2.1 Are tactile elements simplified for tactile interpretation?
	2.2 Is each component arranged and explained in the same or as similar position as visual graphics?
	2.3 Is the information included presented in a logical sequence?
3. Tactile Discrimination	3.1 Is clear spacing between components ensured?
	3.2 Were four or less lines, planes, and shapes used in a single tactile graphic?
	3.3 Are the lines, dots, and symbols tactually easily recognizable?
	3.4 Do the different patterns present a clear tactile texture difference?
4. Complex Diagrams	4.1 Is each tactile symbol used for different types of information?
	4.2 Are symbols or alternative descriptions used where necessary?
	4.3 Are symbols and signs presented information concisely to understand?

2-6 완성한 결과물의 저장 및 클라우드-기반 스토리지 구축

최종 완성한 결과물은 저작 도구 '닷 캔버스'를 통해 로컬 컴퓨터에 저장하거나 개인 계정 또는 공용 드라이브에 보관하여 온라인으로 출력할 수 있도록 클라우드기반 스토리지를 구축하였다. 닷 캔버스에 내장된 닷 드라이브의 구축 결과는 다음 그림 2와 같다.

III. 연구결과

본 논문에서 제작한 수학 디지털 촉각그래픽 개체는 총 42종으로 내용영역 별 제작 과정과 검증 도구를 사용한 수정 내용을 서술하면 다음과 같다.

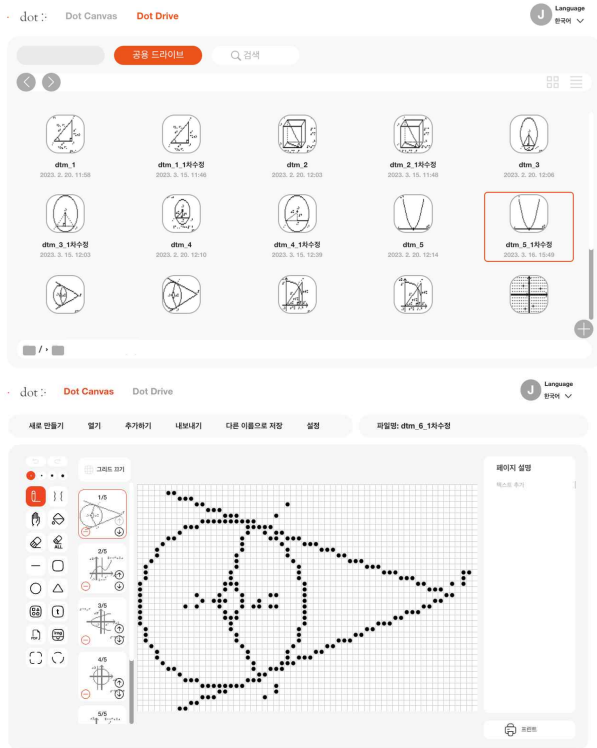


그림 2. 클라우드기반 디지털 촉각그래픽 스토리지 ‘닷 드라이브’의 인터페이스 스크린샷

Fig. 2. Screenshots of cloud-based digital tactile graphic storage ‘Dot Drive’

3-1 내용영역 별 촉각그래픽 제작 내용

좌표평면과 그래프, 수직선의 경우 초기 개발 단계에서는 각 좌표에 격자를 2×2 등간격으로 표기하였다. 좌표 평면 위의 점은 5개의 십자 무늬 점으로 표기하여 촉각 변별을 확보하였으며 교과서에서 제시하는 비율에 맞추어 제작하였다. 이후 X축과 Y축에 일정한 눈금을 만드는 방법에 따라 격자를 제거하고 대신 축에 눈금을 표시하는 방법을 차용하였다. 순서쌍과 좌표의 경우 순서쌍을 표현하는 표의 선은 기본적으로 한 줄로 표기하였다. 표 값이 정해져 있을 경우 상하좌우 표를 선으로 마감하였다.

삼각형의 성질 영역에서는 단일 그래픽에 여러 개의 삼각형이 포함되어 있을 경우 첫 번째 장에서 전체 삼각형의 윤곽을 제시한 다음 계층으로 나누어 장별로 제시하였다. 기호는 꼭짓점의 경우 해당하는 삼각형 밖에 점자로 표기하였으며, 내부의 각을 표기할 경우 삼각형 내각에서 출발하는 화살표를 밖으로 연장하여 해당 삼각형 밖에 제시하였다. 내각의 정보는 촉각 변별을 고려하여 보조 화살표를 활용하였고 등변 기호와 꼭짓점 정보를 표현하였다.

피타고라스의 정리를 포함하는 사각형의 성질을 나타내는 촉각그래픽의 경우 하나의 사각형 안에 여러 개의 도형이 포함되어 있으므로 한 페이지에 표출이 되는 범위까지는 첫 페이지에 출력할 수 있도록 하였다. 단일 촉각그래픽에서 출력

을 할 수 없는 부분은 계층으로 나누어 장별로 제시하였다. 기호의 경우 해당하는 도형 밖에 점자로 표기하였다. 한 문제에 여러 이미지가 제시된 경우, 왼쪽부터 오른쪽, 위에서 아래 차례로 순차적으로 표기하였다. 부분적으로 선분의 길이가 제시된 경우 해당 선 중간에 수치와 식을 제공하였고 부분적으로 선분이 제시된 경우 해당 선 중간에 수치를 기입하였다. 화살표는 점자 대체텍스트로 대체할 수 있음에 생략하였다.

곡선을 포함하는 이차함수는 좌표평면에 두 개 이상의 이차함수가 제시될 경우 전체 그래프에서 함수 표현 부분을 단계적으로 제시하였다. 포물선 함수가 두 개 이상 좌표 평면에 제시되고 값이 중첩되는 경우 먼저 전체 함수 모양을 출력하였다. 페이지를 설명하는 대체텍스트에는 그래프의 전체 제목과 함수의 식을 차례로 나열하였다 (예: 함수 1: $x+2$, 함수 2: $3x+1$). 축 화살표의 경우 함수 그래프와의 혼동을 피하기 위해 두 줄로 표기하였으며 영역 표기의 경우 패턴 채우기 기능을 활용하였다.

도형의 방정식을 표현하는 그래프에서는 단일 그래프에 두 개 이상의 함수가 제시될 경우 전체 그래프에서 함수 표현 부분을 단계적으로 제시하였다. 그래프 안에 화살표가 있을 경우 축을 점선으로 표기하였으며, 함수의 영역을 표기할 경우 계층을 나누어 단계적으로 제시하였다. 함수의 곡선은 원형을 유지하기 위해 비율과 크기를 유지하였다.

마지막으로 도형의 이동 영역에서는 단일 그래프에 두 개 이상의 함수가 제시될 경우 전체 그래프에서 함수 표현 부분을 단계적으로 제시하였다. 이동을 표현하는 경우 점선을 활용하여 축과 도형 그래프의 선을 촉각적으로 변별할 수 있도록 하였다.

3-2 검증 도구를 활용한 평가 및 수정

본 논문에서 제시한 연구방법을 거쳐 최종 완성한 결과물은 중·고등학교 수학교과와 2학기 기하영역 42종이다. 본 논문에서 제시한 검증 기준에 따라 1차 제작한 촉각 그래픽 도형을 평가하였고, 결과에 따라 수정 권고사항을 마련하였다. 검증 결과 개별 항목에 따른 수정 권고사항은 아래 표 2와 같다.

개별 수정한 내용을 구체적으로 살펴보면, 중학교 1학년 <좌표평면과 그래프>와 <수직선> 영역에서는 축의 경우 사분면에 위치하는 1차함수와 축의 촉각 변별을 위해 두 줄 화살표로 표기하였다. 격자의 경우 좌표간격에 따라 등간으로 표기하였으며, 좌표 평면 위의 점은 5개의 십자 무늬 점으로 나타내었다. 격자를 제거한 X와 Y축에는 각각의 좌표값을 표시하기 위해 눈금을 추가하였다. 또한 <순서쌍과 좌표> 영역에서는 표의 선은 한 줄로 표기하되, 표 값이 정해져 있을 경우 상하좌우 표를 선으로 마감하였다. 표가 한 페이지에 표시가 불가할 경우, 다음 페이지로 이어지는 방향을 열어두었다.

중학교 2학년 <삼각형의 성질> 영역에서는 삼각형 안에 여러 개의 삼각형이 포함되어 있을 경우 첫 번째 장에서 전체 삼각형의 윤곽을 제시하였다. 삼각형 내에 삼각형을 표현하는 경우 복수의 계층으로 나누어 개별 삼각형의 추가 여부를 명

표 2. 검증 기준에 따른 수정 권고 사항

Table 2. Recommendation of considerations for 1st Draft

Evaluation Criteria	Recommendation of Consideration
1.1	1.1.1 Avoid creating graphic items that presented as plain texts in textbooks.
1.2	1.2.1 Omit decorative pictures presented in sentence problems.
1.3	1.3.1 Use zooming or panning functions if an object is too large to present in a single layer. 1.3.2 Keep original graphics' shapes and outlines similar.
1.4	1.4.1 Provide multiple presentations available various age and tactile cognition development level. 1.4.2 Allow distortion unless tactile graphics do not impede the purpose that original graphics intend.
15	1.5.1 Use layers to present two or more digrams sequentially,
2.2	2.2.1 Present the entire object in the first layer then the partial objects sequentially if a single shape contains multiple sub-objects. 2.2.2 Present the entity first, then divide the partial entities into multiple layers.
2.3	2.3.1 Display information in a single diagram sequentially from left to right, top to bottom. 2.3.2 Provide the numerical value and expression in the middle of the line if its line partially presents,
3.1	3.1.1 Ensure spacing between row and column outlines and braille texts. 3.1.2 Mark at 3x3 equal intervals when using a grid.
3.2	3.2.1 Use multiple graphics layers for figures when using more than four objects. 3.2.2 Use braille symbols for tactile graphic keys.
3.3	3.3.1 Provide tactile discrimination to distinguish the axes and lines of graphs. 3.3.2 Extend the arrow as necessary when expressing an interior angle. 3.3.3 Provide tactile discrimination in outlines, vertices, and symbols of figures.
3.4	3.4.1 Use various tactile patterns such as diagonal, dotted, and filled ones. 3.4.2 Ensure discrimination between the outline and the filled pattern.

확하게 알 수 있도록 하였다. 기호는 꼭지점의 경우 해당하는 삼각형 밖에 표시하였고, 내부의 각을 표기할 경우 삼각형 내 각에서 출발하는 화살표를 밖으로 연장하여 해당 삼각형 밖에 제시하였다.

<사각형의 성질>과 <피타고라스 정리>에서는 부분적으로 선분이 제시되어 해당 선 중간에 수치를 기입하였고, 화살표는 대체텍스트로 대체할 수 있음으로 생략하였다. 도형의 윤곽, 꼭지점, 기호를 명확하게 표현하기 위해 점자 기호를 추가하였다.

중학교 3학년 <이차함수> 영역에서는 함수의 면적을 표현하

기 위해 계층을 추가하여 면적을 나타내는 질감의 유무를 명확하게 표현할 수 있도록 하였다. 고등학교 1학년 <도형의 방정식>과 <도형의 이동> 영역에서는 축의 경우 중학교 1학년 영역과 동일하게 두 줄의 화살표로 표현하였고, 곡선 그래프는 원자료와 가장 유사한 형태로 윤곽선을 표기하였다. 또한 등변 표시를 점자로 표기하여 이해를 돕고자 하였다. 함수를 표현하기 위해 계층을 나눈 세부보기로 단계적으로 제시하였다. 위에서 요약한 42종의 결과물의 대표적인 사례와 수정 내용을 그림으로 제시하면 아래 표 3과 같다.

IV. 논의 및 결론

본 논문은 중·고등학교 수학 교과에서 기하 영역에 해당하는 그림 자료를 시각장애학생이 촉각으로 접근할 수 있도록 디지털 촉각그래픽 형태로 구현하는 과정과 결과를 제시하였다. 또한 양질의 촉각그래픽을 제작하기 위해 국내외 가이드라인에서 규정하는 고려사항을 추출하여 검토하였고, 수정·보완 과정에 따른 최종 결과물을 웹 기반 클라우드 형태로 구축하였다. 본 논문의 결과를 토대로 한 구체적인 논의사항은 다음과 같다.

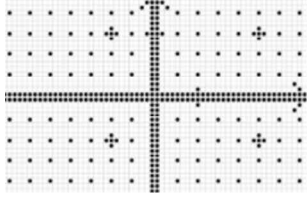
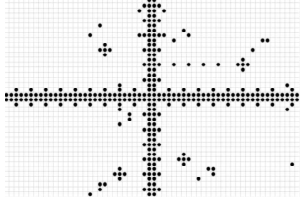
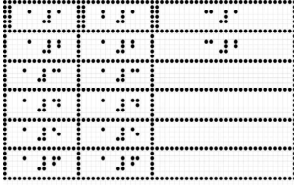
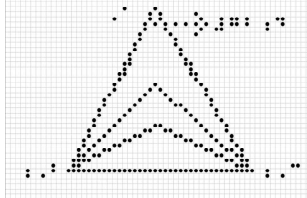
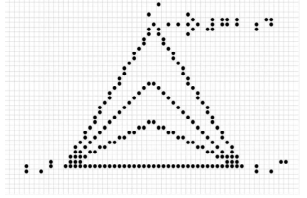
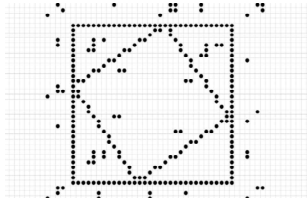
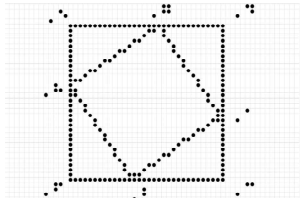
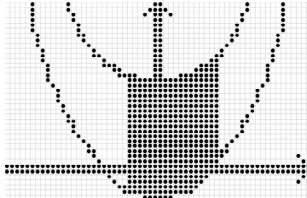
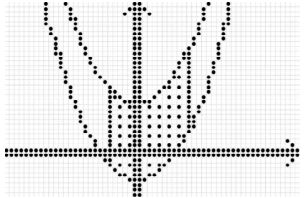
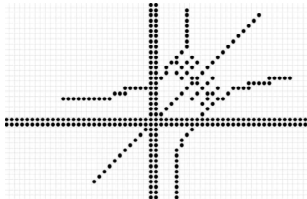
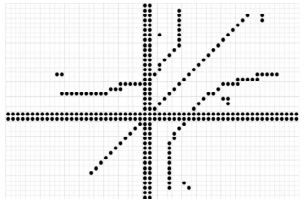
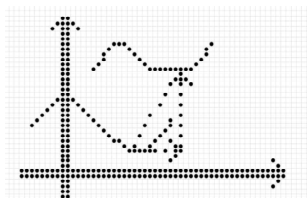
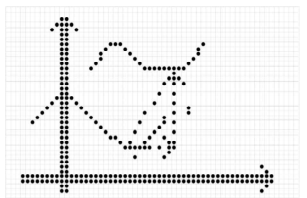
4-1 디지털 촉각그래픽 제작 및 검증 결과에 대한 논의

첫째, 시각장애학생을 위한 수학 촉각그래픽 제작에 있어서 디지털 입출력기기의 활용은 제작의 편의성과 효율성을 가져다 주었다. 저작도구와 출력기기의 직관적인 활용은 기존의 인쇄물 기반 촉각그래픽의 제작 시간과 비용보다 효율적인 산출이 가능함을 알 수 있었다. 제작 단계에서는 웹 기반 촉각그래픽 저작도구가 제공하는 다양한 도형과 질감 유형은 촉각 변별을 위한 고려사항을 손쉽게 적용할 수 있도록 도와주었다. 또한 단일 그래픽으로 표현하기에는 제시하는 정보가 많을 경우 계층을 나누어 분할하여 출력할 수 있다는 장점을 확인할 수 있었다. 동일한 내용영역에서 다양한 콘텐츠를 생산해야 하는 경우 기존 디자인을 복제 및 변형할 수 있으므로 높은 사용성을 확인할 수 있었다. 완성된 그래픽을 출력하는데 있어서는 직관적인 출력이 가능하므로 시각장애 학습자를 위한 대체학습자료 보급에 있어서 효과적인 방법임을 알 수 있었다.

둘째, 디지털 촉각그래픽의 범용성을 높이기 위해 기존의 인쇄물 촉각그래픽의 제작을 위해 고려하는 사항을 기본적으로 차용하되, 디지털 촉각그래픽을 위한 추가적인 고려사항이 필요함을 알 수 있었다. 촉각그래픽을 활용하는 시각장애학생 또는 성인의 경우 기존의 디자인 원칙과 내용 편집, 변환 과정에 따른 인쇄물 촉각그래픽에 대한 사전 경험이 있거나 인쇄물과 디지털 촉각그래픽을 병행하여 사용할 것으로 예상된다. 그러므로 인쇄물과 디지털 촉각그래픽의 범용성을 확보하기 위해 두 형태에서 공통적으로 활용할 수 있는 원칙을 유지하는 것이 필요하다.

표 3. 학년별 디지털 기하 촉각 그래픽의 내용

Table 3. Digital geometry tactile graphics by grade-level

Grade	Geometry Topic	Draft before Evaluation	Revision after Revision
7th	Coordinate Plain, Graphs, Perpendicular Line		
	Ordered Pair, Coordinates		No Revision
8th	Properties of Triangles		
	Properties of Quadrilaterals		
9th	Quadratic Function		
10th	Equation of Figures		
	Graph Equations		

그러나 디지털 축각그래픽에서 특별히 고려해야 할 사항에 대해서는 추가적인 접근이 필요하다. 본 논문결과에서 서술한 바와 같이 사분면의 중앙점, 축과 함수의 축각 변별을 위한 축의 두께 차이, 단일 그래픽에 복수의 계층 추가 등 디지털 축각그래픽의 특성을 고려한 별도의 고려사항이 필요함을 알 수 있었다.

구체적으로 살펴보면 중학교 1학년 <좌표평면과 그래프>와 <수직선> 영역에서 X축과 Y축을 함수의 그래프와의 축각 변별을 확보하기 위해 축의 두께를 다르게 한 다음 좌표축 처리하였다. 좌표의 등간을 표시하기 위한 방법으로는 좌표간격에 따라 등간으로 점으로 표기하는 방법과 축 위의 좌표에 추가적으로 점을 표기하는 방법이 있었는데, 가이드라인의 단순화 원리에 따라 축 위에 좌표값을 등간으로 표기하는 방법을 택하였다. 또한 표가 한 페이지에 표시가 불가할 경우 다음 페이지로 이어지는 방향을 열어두었다. 중학교 3학년 <이차함수> 영역에서는 함수의 면적을 표현하기 위해 복수의 계층을 추가하여 질감의 유무를 비교할 수 있도록 하였는데, 단일 그래픽이 아닌 계층의 추가로 인해 기존의 축각그래픽에서 제공할 수 없었던 그림 자료의 상태 변화를 실시간으로 출력력이 가능하다는 디지털 형식의 특성을 반영하는 것이 필요함을 알 수 있었다.

셋째, 제작 및 검증과정에서 점형 기반 출력기기의 특성을 고려하는 것이 필요하다. 2023년 기준 개발된 전제 2종의 디지털 축각그래픽 출력기기의 경우 가로세로 300~320셀을 가지므로 기존의 인쇄물 축각그래픽과 비교할 때 낮은 해상도(dot per cell)를 가진다. 현실적인 문제를 고려할 때 원형과 대각선을 디지털 축각그래픽으로 구현할 경우 시각화된 원자료의 간격이나 모양을 일부 왜곡하여 표현해야 하는 상황도 존재하는 것을 알 수 있었다. 그러나 본 논문에서 활용한 세 가이드라인[18]-[20]에서 공통적으로 언급하고 있듯이, 필요한 경우 그림의 목적이 훼손되지 않는 차원에서 원본 그림의 간격이나 모양을 일부 수정할 수 있고, 크기를 조정하거나 합병과 변형, 분할하는 방법을 활용할 수 있도록 하였다. 본 논문에서는 원자료의 형태를 변형해야 하는 경우 시각장애인 사용자가 이를 축각으로 명확하게 변별 가능하고 원자료가 전달하고자 하는 정보를 포함하였을 때 원자료를 일부 변형된 형태로 제작하였다. 이러한 복잡한 그래픽의 수정은 기본적으로 변환된 축각그래픽이 시각화 자료와 비교하여 수학적 과제를 해결하기 위해 동일한 정보에 접근할 수 있도록 하는 목적을 훼손하지 않는다는 전제하에 이루어져야 한다. 이는 후속연구에서 시각 또는 인쇄물 형태의 축각그래픽과 비교하여 디지털 축각그래픽의 변형 수준에 따라 사용자의 축각 인식 및 자료 이해 수준에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구가 필요함을 시사한다.

마지막으로 디지털 축각그래픽 콘텐츠를 제작할 사용자 중심의 제작 가이드라인과 체크리스트가 필요함을 알 수 있었다. 디지털 축각 그래픽을 구성하는 입출력기기의 활용 방법과 더불어 본 논문에서 다룬 축각 그래픽 제작 순서, 텍스트 설명,

다양한 도형과 기호의 활용, 표나 그래프와 같은 시각화 자료 제작 시 고려사항 등 향후 디지털 축각그래픽 콘텐츠를 생산하고 활용하는 사용자를 대상으로 한 추가적인 고려사항을 포함하여야 한다. 본 논문에서 활용한 기존 제작 지침과 가이드라인은 점역교정사, 축각 그래픽 전문가, 점자 출판물 전문가 등 전문 제작인력을 대상으로 한 인쇄물 축각그래픽을 위한 고려사항이 주로 다루어지고 있는데, 이는 인쇄물 축각그래픽의 경우 자료를 활용하는 사용자가 콘텐츠 제작·수정에 참여할 수 없는 특성에 기인한다. BANA 가이드라인의 경우 미국의 공인점역교정사를 위한 고려사항을 중심으로 제시하고, 퍼킨스맹학교 가이드라인의 경우 시각장애학생을 지도하는 특수교사를 대상으로 하였다. 국립특수교육원의 연구는 점자교과서 제작을 위한 지침으로, 이들 모두 축각그래픽을 전문으로 제작하는 인력들이 대상임을 알 수 있다. 따라서 디지털 축각그래픽에서는 사용자가 점형 기반 디지털 축각 그래픽의 특성을 고려하여 제작하고자 하는 콘텐츠의 유형에 따른 고려사항을 습득할 수 있는 별도의 자료 개발이 필요하다. 이러한 자료는 가이드라인과 함께 서식 파일을 활용할 수 있다. 예를 들어, 그래프, 수직선, 표, 차트 등을 표현하기 위해 사용해야 하는 텍스트 설명, 중앙점, 좌표, 계층 나누기, 원, 순서쌍 등이 포함된 서식을 클라우드 기반으로 보급한 다음, 해당하는 정보를 입력하는 경우 사용자가 추가적으로 고려하는 방법을 디지털 축각그래픽에서 옵션으로 제공할 수 있다.

4-2 후속 연구 제언

본 논문의 개발 결과를 바탕으로 양질의 디지털 축각그래픽을 제작 및 보급하기 위한 후속 연구 제언 사항은 다음과 같다.

첫째, 본 논문의 결과와 고려사항을 바탕으로 시각장애를 가진 사용자의 특성과 맥락을 고려한 사용성을 평가하는 것이 필요하다. 축각그래픽의 이해 수준은 시각장애를 가진 개인의 현재 축각 인지 기술과 선행지식, 탐색 기술 등에 따라 다를 수 있으므로 본 논문에서 수행한 가이드라인과 검증 기준 중심의 축각그래픽 콘텐츠 제작과 더불어 사용자의 현재 또는 연령별로 축각 대체학습자료 이해에 영향을 미치는 각각의 요인의 영향을 직접 검증하는 추가 연구가 필요하다.

둘째, 본 논문결과를 토대로 데이터시각화를 위한 원 전자 자료를 자동으로 디지털 축각그래픽으로 제작 및 변환해주는 저작도구 기능 개발에 관한 연구가 필요하다. 향후 수학 교과에서 활용할 표, 그래프, 차트, 함수 등을 표현하는 데이터 포맷을 이용하여 자동으로 디지털 축각그래픽을 생성할 수 있는 기초 가이드라인 및 알고리즘 개발이 이루어진다면 시각 장애 학생의 정보접근 및 문제해결을 위한 정보의 탐색과 활용 관련 디지털 역량 향상에 도움을 줄 것으로 기대한다.

4-3 결론

결론적으로 디지털 촉각그래픽 입출력기기는 시각장애를 가진 학습자가 원자료의 변형된 형태가 아닌 시각화된 자료에 직관적으로 접근할 수 있는 구체적인 방법을 제공하였다는 점에서 시각장애학생 또는 성인 시각장애인이 겪어왔던 대체자료의 부족과 보급 지연 문제를 개선하는데 기여할 수 있다. 그러나 본 논문에서 수행한 연구 과정과 결과를 통해 알 수 있듯이 점형 기반 촉각그래픽은 기존의 인쇄물 기반 촉각그래픽과 비교하여 다른 장점과 제한점이 동시에 존재한다. 그림 자료를 디지털 촉각그래픽으로 제작하는 경우 시각화된 원자료를 촉각 변별과 이해 특성에 따라 단순화하되, 시각장애학생이 독립적으로 정보에 접근하고 수학적 사고와 문제 해결을 도울 수 있는 다양한 대체학습자료를 제작하는 것이 필요하다. 본 논문의 결과가 양질의 디지털 촉각그래픽의 제작 결정 그리고 제작 과정의 고려사항을 포함하는 사용자 중심 가이드라인의 기초자료가 되길 기대한다.

감사의 글

본 연구는 보건복지부의 재원으로 한국보건산업진흥원의 보건의료기술연구개발사업 지원에 의하여 이루어진 것임(과제고유번호: HJ21C0037).

This research was supported by a grant of the Korea Health Technology R&D Project through the Korea Health Industry Development Institute (KHIDI), funded by the Ministry of Health & Welfare, Republic of Korea (grant number: HJ21C0037).

참고문헌

- [1] R. Vuorikari, Y. Punie, S. C. Gomez, and G. Van Den Brande, *DigComp 2.0: The Digital Competence Framework for Citizens*, Publications Office of the European Union, Luxembourg, Luxembourg, EUR 27948 EN, June 2016.
- [2] B. Beck-Winchatz and M. A. Riccobono, "Advancing Participation of Blind Students in Science, Technology, Engineering, and Math," *Advances in Space Research*, Vol. 42, No. 11, pp. 1855-1858, December 2008. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2007.05.080>
- [3] M. G. Jones, J. Minogue, T. Oppewal, M. P. Cook, and B. Broadwell, "Visualizing without Vision at the Microscale: Students with Visual Impairments Explore Cells with Touch," *Journal of Science Education and Technology*, Vol. 15, No. 5-6, pp. 345-351, December 2006. <https://doi.org/10.1007/s10956-006-9022-6>
- [4] F. Simui, S. Kasonde-Ngandu, A. M. Cheyeka, J. Simwinda, and D. Ndhlovu, "Enablers and Disablers to Academic Success of Students with Visual Impairment: A 10-Year Literature Disclosure, 2007-2017," *British Journal of Visual Impairment*, Vol. 36, No. 2, pp. 163-174, May 2018. <https://doi.org/10.1177/0264619617739932>
- [5] NCBYS (National Center for Blind Youth in Science). NCBYS Concept Paper [Internet]. Available: <https://www.blindscience.org/ncybs-concept-paper>.
- [6] O. G. Klingenberg, A. H. Holkesvik, and L. B. Augestad, "Research Evidence for Mathematics Education for Students with Visual Impairment: A Systematic Review," *Cogent Education*, Vol. 6, No. 1, 1626322, June 2019. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2019.1626322>
- [7] S. Amato, S. Hong, and L. P. Rosenblum, "The Abacus: Instruction by Teachers of Students with Visual Impairments," *Journal of Visual Impairment & Blindness*, Vol. 107, No. 4, pp. 262-272, January 2019. <https://doi.org/10.1177/0145482X1310700403>
- [8] L. P. Rosenblum and T. S. Herzberg, "Braille and Tactile Graphics: Youths with Visual Impairments Share their Experiences," *Journal of Visual Impairment & Blindness*, Vol. 109, No. 3, pp. 173-184, May 2015. <https://doi.org/10.1177/0145482X1510900302>
- [9] A. C. Rule, G. P. Stefanich, R. M. Boody, and B. Peiffer, "Impact of Adaptive Materials on Teachers and Their Students with Visual Impairments in Secondary Science and Mathematics Classes," *International Journal of Science Education*, Vol. 33, No. 6, pp. 865-887, 2011. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.506619>
- [10] G. K. Dabi and D. N. Golga, "The Role of Assistive Technology in Supporting the Engagement of Students with Visual Impairment in Learning Mathematics: An Integrative Literature Review," *British Journal of Visual Impairment*, March 2023. <https://doi.org/10.1177/02646196231158922>
- [11] Anti-Corruption and Civil Rights Commission. Recommendations for Knowledge and Information Access for Individuals with Visual and Hearing Impairments (No. 2014-149) [Internet]. Available: https://www.acrc.go.kr/board.es?mid=a10504030000&bid=1013&tag=&act=view&list_no=30314&nPage=45.
- [12] H.-R. Seo and E.-Y. Kang, "A Study on the Support System of Alternative Materials for College Students with Visual Impairment," *Journal of the Korean Biblia Society for Library and Information Science*, Vol. 26, No. 4, pp. 5-30, December 2015.

<https://doi.org/10.14699/kbiblia.2015.26.4.005>

[13] T. Lee, "Research the Actual Condition and Support Demand for Students with Visual Impairment of Special Education Support Center in South Korea," *Journal of Special Education*, Vol. 27, No. 1, pp. 23-50, June 2020. <https://doi.org/10.34249/jse.2020.27.1.23>

[14] Dot Inc. DotPad - Tactile Graphic Display for Individuals with Visual Impairments [Internet]. Available: <https://pad.dotincorp.com/>.

[15] Department of Education. Announcement of 2022 Revised Elementary-Secondary Education Curriculum [Internet]. Available: <https://ncic.re.kr/mobile.brd.ntc.view.do>.

[16] J. Bornschein, D. Prescher, and G. Weber, "Inclusive Production of Tactile Graphics," in *Proceedings of the 15th IFIP TC 13 International Conference: Human-Computer Interaction - INTERACT 2015*, Bamberg, Germany, pp. 80-88, September 2015. https://doi.org/10.1007/978-3-319-22701-6_7

[17] G. Melfi, K. Müller, T. Schwarz, G. Jaworek, and R. Stiefelwagen, "Understanding What You Feel: A Mobile Audio-tactile System for Graphics Used at Schools with Students With Visual Impairment," in *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '20)*, Honolulu: HI, pp. 1-12, April 2020. <https://doi.org/10.1145/3313831.3376508>

[18] J. Bornschein, D. Prescher, and G. Weber, "Collaborative Creation of Digital Tactile Graphics," in *Proceedings of the 17th International ACM SIGACCESS Conference on Computers & Accessibility (ASSETS '15)*, Lisbon, Portugal, pp. 117-126, October 2015. <https://doi.org/10.1145/2700648.2809869>

[19] The Braille Authority of North America. Guidelines and Standards for Tactile Graphics [Internet]. Available: <https://brailleauthority.org/tg/web-manual/>.

[20] American Printing House for the Blind, Inc. The Good Tactile Graphic: Guidelines, Resources, and Samples [Internet]. Available: <https://sites.aph.org/files/manuals/7-30006-00.pdf>.

[21] Y. I. Kim, S. J. Kang, J. S. Song, M. J. Lee, and B. H. Heo, *Manuals of Braille Transcription for Textbooks and Educational Materials*, National Institute of Special Education, Asan, 2012.

박진석(Jinseok Park)



2018년 : 대구대학교 석사 (특수교육)
2022년 : University of Arizona 박사 (특수교육-시각장애학생교육)

2015년~2018년: 대구광명학교 교사
2019년~2020년: University of Arizona 사범대학 강사
2023년~현 재: 이화여자대학교 특수교육연구소 박사후연구원
※관심분야 : 특수교육(Special Education), 특수교육공학(Special Education Technology), 3D 프린팅(3D Printing), 촉각그래픽(Tactile Graphics), 대체학습자료(Adapted Learning Resources) 등

황기연(Giyeon Hwang)



2011년 : 조선대학교 학사 (특수교육)

2018년~현 재: 정보접근사용성 포럼 대표
2020년~현 재: 주식회사 닷 프로
2019년~2020년: 주식회사 에스엔시랩 근무
2014년~2019년: 주식회사 엔비전스 근무
※관심분야 : 디지털 접근성(Digital Accessibility), 접근성 정책(Accessibility Policy), 시각장애인 수학교육접근(Math Learning Access of Students with Visual Impairments)

최운석(Unseok Choi)



2023년 : 건국대학교 학사 (기술경영)

2022년~현 재: 주식회사 닷 엔지니어
※관심분야 : 콘텐츠 응용 및 융합 서비스(Contents applications and convergence technology), 디지털 접근성(Digital accessibility), 촉각 그래픽(Tactile Graphics), 보조공학(Assistive Technology)



김준영 (Junyoung Kim)

2020년 : 홍익대학교 학사 (기계시스템
디자인공학, 디자인엔지니어링)

2022년 : 울산과학기술원 석사 (창의디
자인공학 전공)

2018년~2019년: ZIBOT Inc., 디자인 엔지니어

2022년~현 재: 주식회사 닷 UX Designer (Hardware)

※ 관심분야 : 사용자 경험 디자인(UX Design), 사물 인터넷
장치(Internet of Things Devices), 물리적
사용자 인터페이스/상호작용 설계(Physical User
Interface/Interaction Design),
인간공학(Technology for Humans)