

시각장애인을 위한 LaTeX 수식 음성 변환 기능 구현

Implementation of a LaTeX Math Expression Auditory Conversion System for People with Visual Disabilities

2116313 손수경, 2116309 최민영, 2114446 이예진

숙명여자대학교 공과대학 ICT융합공학부 IT공학전공
(2024년 10월, 지도교수 이종우)

요 약

기존에 수학 연산자에 대한 독음 규칙은 정의되어 있으나, 대체 자료를 제작하기 위해 관련 내용을 개별적으로 찾는 과정은 시간이 많이 소요되고 비효율적이다. 이에 본 연구에서는 효율적인 대체 자료 제작을 위한 음성변환 서비스를 개발하는 것을 목표로 한다. 본 서비스에서는 사용자가 입력하는 수식을 LaTeX 형식으로 제한하며, 이를 한글 독음 규칙에 맞게 변환한다. 이를 위해, 글로벌 표준인 MathSpeak 규격을 접목하여 한글화를 진행하고, 최신 2022 수학과 개정 교육과정을 기반으로 MathSpeak™ Core Specification Grammar Rules와 국립중앙도서관 2019 수학 독음 규정 v1.0 등을 분석하여 시각장애인에게 수식을 효율적으로 전달할 수 있는 방안을 규정한다. 또한, 기존 독음 규칙에서 시각장애인의 수식 이해도를 높일 수 있는 개선 방안을 고안하여, 이를 통해 수식의 복잡성을 줄이고 직관적인 독음을 제공하고자 한다. 이 과정에서 LaTeX 형식으로 입력받은 수식을 한글로 변환하여 보다 효율적인 사용 환경을 제공한다.

1. 서론

보건복지부에 따르면 2023년 말 기준 등록장애인은 2,641,896명으로 전체 인구 중 등록장애인의 비율은 5.1%로 집계되었다^[1]. 이에 시각장애인을 위한 정보 접근성은 개선의 필요성이 꾸준히 제기되고 있으며, 특히 수학과 같은 시각적 정보가 중요한 학문 분야에서는 이 문제의 해결이 더욱 절실하다. 정보 불균형을 해소하기 위해서 여러 연구가 진행되었으며, 중학교 수학 교과서에서 사용되는 수학 기호의 독음 규칙을 적용하여 기호의 독음을 정의하는 방식이 제안되었다. 특히 MathSpeak™ Core Specification Grammar Rules에서 제안된 그룹핑 독음을 한글화하여 수식에 대한 모호성을 제거하는 방식이 제안되었다. 이를 통해 수식의 복잡성에 그룹핑 독음을 적용하여 정확성을 높이려고 시도했다. 해당 연구 결과로 수식 독음의 이해도에 영향을 미치는 요인은 수식 낭독 속도와 수식 사전 교육 여부이며, 수식 낭독 속도는 후속 연구가 필요하다고 주장하였다^[2]. 수식 독음 속도의 경우 독음 속도가 빠를수록 이해도가 낮아진다는 연구 결과도 있었다^[3].

디지털 음성 도서에서 MathML 수식의 수준별 독음 변환 기법을 통해 처음 수식을 접하는 학습자와 반복 학습을 하는 학습자에게 각각 다른 독음 규칙을 적용하는 방식으로, 수학적 개념을 더 명확하게 전달할 수 있는 가능성을 제시하였다. 해당 연구

결과로 처음 수식을 듣는 경우 수식의 끝만 알리는 부분적 그룹핑 독음 규칙이 유용했고, 반복 학습의 경우는 그룹핑 독음을 제거한 규칙이 유용했다고 주장하였다^[4].

이러한 연구 결과를 바탕으로 본 연구에서는 시각장애인을 위한 수식 음성 변환 서비스를 구현하였으며, 특히 LaTeX 형식으로 입력을 받을 수 있는 시스템을 개발하였다. LaTeX를 사용한 이유는 수학교재의 특성상 웹 페이지보다는 종이 서적이나 PDF 파일로 제공되는 경우가 많기 때문이다. LaTeX는 이러한 형식의 교재 제작에 더 적합하며, 복잡한 수식을 효율적으로 편집하고 시각적으로 표현하는 데 탁월한 도구이다. 개발한 서비스는 대체 자료 제작을 위한 비장애인을 대상으로 하며, 수식 변환과 음성 변환 과정에서 LaTeX를 사용하는 것이 보다 실질적인 선택이라고 판단되었다.

물론, MathML은 수식의 의미적 정보를 포함하는 태그 구조를 가지고 있어 수식의 의미를 보다 명확하게 전달할 수 있다는 장점이 있다. MathML의 이러한 구조는 스크린 리더와 같은 접근성 도구에서 수식을 음성으로 변환할 때 매우 유용하다. 그러나 LaTeX는 수학교재 편집에서 널리 사용되며, 수식을 시각적으로 표현하는 데 있어 매우 직관적이고 강력한 도구이다. 특히, docx 파일에서는 LaTeX 형식을 입력받을 수 있는 기능이 제공되어, 한글 변환

작업에서 더 유용하게 사용될 수 있다. 이와 같은 이유로, 본 연구에서는 최신 2022 수학과 개정 교육 과정을 기반으로 MathSpeak™ Core Specification Grammar Rules와 국립중앙도서관 2019 수학 독음 규정 v1.0 등을 분석하여 시각장애인에게 수식을 효율적으로 전달할 수 있는 방안을 규정한다. 개선한 독음 규칙을 바탕으로 LaTeX 형식을 활용한 수식 음성 변환 시스템을 구축하였으며, 이를 통해 생성된 한글 수식 독음을 비장애인과 시각장애인들에게 각각 들려줌으로써 생성된 한글 수식 독음의 이해도를 평가하고 그 결과를 분석하였다.

2. 관련 연구 및 기술

2.1 Math Expression Reader

DesignScience의 MathPlayer는 MathML 수식을 웹 브라우저에서 시각적으로 렌더링하고, 화면 읽기 소프트웨어를 통해 수식의 음성 출력 기능을 제공하는 소프트웨어이다. 이 도구는 특히 시각장애인을 위한 접근성을 개선하며, 웹 페이지에 포함된 수식을 정확하게 읽을 수 있도록 지원한다. MathPlayer는 MathML 표준을 사용하여 수학 콘텐츠에 보다 쉽게 접근하고 학습할 수 있도록 돕는 역할을 한다^[5]. MathPlayer에서는 독음 스타일을 Clear Speak, MathSpeak, Simple Speech로 구분하여 제공하고 있다^[6].

2.2 국립장애인도서관

국립장애인도서관에서 대체 자료 제작 활용을 위한 수식의 한글 독음 서비스를 제공하고 있다. MathType을 통해 입력하고, 입력된 수식은 MathML과 대체 텍스트로 변환된다. 교육 과정은 초/중/고 선택이 가능하며, 독음 수준은 상세/기본/간략으로 나누어 결과를 제공한다^[7].

3. LaTeX 수식 음성 변환 기능의 설계 및 구현

3.1 한글 독음 규칙 정의

본 논문에서는 2022 개정 교육과정 기준으로 공통 수학 1, 2에서 사용되는 연산자 및 기호를 분석하여 크게 기본수식, 경우의 수, 집합과 명제, 행렬로 분류하였다. 영역별로 연산자 및 기호를 정리한 후, 독음 개선이 필요한 기호를 선정하여 다음과 같은 규칙을 적용하여 한글 독음 규칙을 정의하였다.

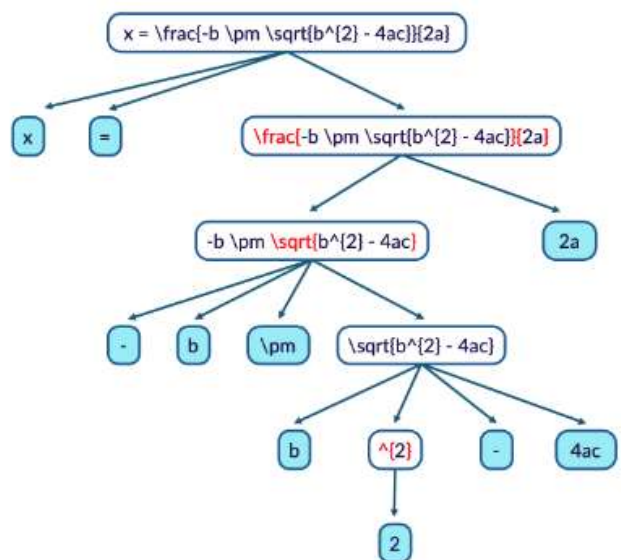
첫째, 단인수단항을 파악하여 자연스러운 독음을 제공한다. 둘째, 기본수식 중 부등호, 집합과 명제 유형의 연산자가 1개인 경우 의미 중심적 읽기 방식

을 채택하되, 2개 이상인 경우는 형태 중심적 읽기 방식을 채택한다. 그 외 다른 연산자는 의미 중심적 읽기 방식을 채택한다. 셋째, 간략 독음의 경우 부분 그룹핑 독음 방식을 사용한다.

3.2 LaTeX 수식 음성 변환 기능의 설계 및 구현

본 논문에서는 LaTeX 문법으로 입력된 수식을 정의한 한글 독음 규칙과 적용해 국내 시각장애인들에게 수식의 음성 서비스를 제공하는 서비스를 제안한다. 이를 통해 시각장애인이 LaTeX로 작성된 수학 수식을 보다 쉽게 이해할 수 있도록 돕고, 효과적인 독음 방법을 제안하며, 사용자 테스트를 통해 그 효과성을 판단하고자 한다.

우선, LaTeX 문법을 고려하여 수식을 파싱하고, 항목별 분류를 진행하였다. 수식은 재귀적으로 최소 단위까지 분리를 진행한다. 최소 단위란 연산자들을 분리하였을 때, 연산자 및 기호와 한글이 일대일 매칭이 되는 경우로 정의한다. 수식이 최소 단위로 분리를 한 후 트리 구조상 가장 내부에 있는 수식부터 한국어로 변환한다. 이렇게 생성된 한글 음절 시퀀스는 음성 서비스가 가능한 음성 합성 마크업인 SSML 파일로 변환되어 TTS 엔진을 통해 독음한다.



(그림 1) 근의 공식이 최소 단위로 분리된 트리 모습

특히, 국립장애인도서관에서 제공되는 기존의 수식 독음 서비스에서는 규정되어 있지 않은 영역인 순환소수, 제곱근, 공집합, 행렬, 집합과 명제에 대해 새로운 독음 규칙을 제안한다.

유형	LaTeX 수식	수학 기호	한글 독음(상세)	한글 독음(간략)
기본 수식	\dot{a}	$0.\dot{a}$	[0] 점 [a], 순환마디 [a] 가 반복되는 무한소수	[0] 점 [a], [a] 가 반복되는 무한소수
	$\sqrt[n]{a}$ (n은 1 또는 2가 아닌 수 또는 영문자, a는 분수꼴이 아닌 단인수단항인 경우)	$\sqrt[n]{a}$	[a] 의 [1/n] 승	[a] 의 [1/n] 승
	$\sqrt[n]{a}$	$\sqrt[n]{a}$	제곱근 시작 [a] 의 [1/n] 승 제곱근 끝	[a] 의 [1/n] 승
	$\frac{b}{a}$ (a와 b는 단인수단항인 경우)	$\frac{b}{a}$	[a] 분의 [b]	[a] 분의 [b]
	$\frac{b}{a}$	$\frac{b}{a}$	분수시작 분모 시작 [a] 분모 끝 분의 분자시작 [b] 분자끝	분수 [a] 분의 [b] 분수끝
집합과 명제	$x \in A$	$x \in A$	원소 [x] 가 집합 [A] 에 속한다	[x] 가 [A] 에 속한다
	$A \ni x$	$A \ni x$	원소 [x] 가 집합 [A] 에 속한다	[x] 가 [A] 에 속한다
	$x \notin A$	$x \notin A$	원소 [x] 가 집합 [A] 에 속하지 않는다	[x] 가 [A] 에 속하지 않는다
	$A \not\ni x$	$A \not\ni x$	원소 [x] 가 집합 [A] 에 속하지 않는다	[x] 가 [A] 에 속하지 않는다
	$A \subset B$	$A \subset B$	집합 [A] 가 집합 [B] 에 포함된다	[A] 가 [B] 에 포함된다
	$A \supset B$	$A \supset B$	집합 [A] 가 집합 [B] 를 포함한다	[A] 가 [B] 를 포함한다
	$A \not\subset B$	$A \not\subset B$	집합 [A] 가 집합 [B] 에 포함되지 않는다	[A] 가 [B] 에 포함되지 않는다
	$A \not\supset B$	$A \not\supset B$	집합 [A] 가 집합 [B] 를 포함하지 않는다	[A] 가 [B] 에 포함하지 않는다
	\varnothing	\varnothing	공집합	공집합
행렬	$\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix}$	행렬시작 [A1] [a], [A2] [c], [B1] [b], [B2] [d] 행렬끝	행렬 [A1] [a], [A2] [c], [B1] [b], [B2] [d] 행렬끝
	$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$	행렬시작 [A1] [a], [A2] [c], [B1] [b], [B2] [d] 행렬끝	행렬 [A1] [a], [A2] [c], [B1] [b], [B2] [d] 행렬끝

(표 1) 수준별 독음 규칙 제안

3.3 구현 및 실행 사례

LaTeX 수식 음성 변환의 레이아웃은 크게 수식 입력창과 변환된 독음 창으로 구성된다. 수식 입력창에 LaTeX 문법으로 수식을 입력하면, 2차원 변환된 수식이 동시에 입력된다. Convert 버튼을 눌러 변환하면 수식-한글 매칭 과정을 거친 한글 음절 시퀀스가 독음 창에 나타난다. 변환된 수식 옆 음성 버튼을 누르게 되면 TTS 엔진을 통해 독음해주며,

사용자의 의도에 맞게 배속 조절이 가능하다. 첫 번째 변환 수식의 경우 수준별 독음 중 상세 버전 변환 수식을 나타내고, 두 번째 변환 수식의 경우는 간략 버전 변환 수식을 나타낸다.

영역별 대표 수식 및 예제들을 LaTeX 수식 음성 변환기를 통해서 실행해 보았으며, 해당 결과는 [표 2] 와 같이 나타나는 것을 확인할 수 있다.

시각장애인을 위한 수식 리더기

기본 수식

경우의 수

집합과 명제

행렬

\sqrt{a} $\sqrt[n]{b}$ $+$ $-$ (a) $[a]$ x^a x_a $<$ \leq \sin \overline{AB} \vec{AB}

$\frac{b}{a}$ \hat{a} \times \div $|a|$ $\{a\}$ ∞ π $>$ \geq \cos \overleftarrow{AB} \overleftrightarrow{AB}

\pm \mp $|a|$ $\{a\}$ \triangle \square \angle \tan \overline{AB} \overleftrightarrow{AB}

$\sqrt{\frac{a}{5}}-1 < \sqrt{\frac{b}{3}}+2 \leq 4$

Convert

$$\frac{a}{5}-1 < \frac{b}{3}+2 \leq 4$$

분수시작 분모시작 오 분모끝 분자시작 에이 분수끝 마이너스 일 보다 크다 분수시작 분모시작 삼 분모끝 분자시작 비 분수끝 플러스 이 보다 크거나같다 사 배속: 1x

분수 오 분의 에이 분수끝 마이너스 일 보다 크다 분수 삼 분의 비 분수끝 플러스 이 크거나같다 사 배속: 1x

(그림 2) LaTeX 수식 음성 변환 실행 결과

유형	수식	한글 독음(상세)	한글 독음(간략)
기본 수식	$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$	엑스 는 분수시작 분모시작 이 에이 분모끝 분자시작 마이너스 비 플러스마이너스 루트시작 비 의 제곱 마이너스 사 에이 씨 루트끝 분수끝	엑스 는 분수 이 에이 분의 마이너스 비 플마 루트 비 의 제곱 마이너스 사 에이 씨 루트끝 분수끝
	$\sin(x+1) + \cos(\pi) = 1 - 3\sin(x)\cos(x)$	싸인시작 엑스 플러스 일 싸인끝 플러스 코싸인시작 파이 코싸인끝 은 일 마이너스 삼 싸인시작 엑스 싸인끝 코싸인시작 엑스 코싸인끝	싸인 엑스 플러스 일 플러스 코싸인 파이 는 일 마이너스 삼 싸인 엑스 코싸인 엑스
집합과 명제	$x \in A$	원소 엑스 가 집합 대문자 에이 에 속한다.	엑스 가 오른쪽에 속한다 대문자 에이
	$A \subset B \subseteq C$	대문자 에이 가 오른쪽에 포함된다 대문자 비 가 오른쪽에 포함된다 소문자 이 큐 대문자 씨	대문자 에이 가 오른쪽에 포함된다 대문자 비 가 오른쪽에 포함된다 소문자 이 큐 대문자 씨
	$A \cup B$	대문자 에이 합집합 대문자 비	대문자 에이 합집합 대문자 비
행렬	$\begin{pmatrix} 1 & x \\ 10 & y \end{pmatrix}$	행렬 2행 2열 시작 1행시작 일 엑스 2행시작 십 와이 행렬끝	행렬 2행 2열 행렬 1행 일 엑스 2행 십 와이 행렬끝

(표 2) 각 영역별 실행 사례

4. 사용성 평가

4.1 실험 설정

본 실험은 선행 연구의 수식 독음 방식과 본 연구에서 개발한 독음 규칙을 비교하기 위한 사용성 평가로 구성되었다. 먼저, 참여자들에게 프로젝트의 개요와 수식의 음성 변환 방식에 대한 간략한 설명이 제공되었다. 수식의 변환 방식은 간략 버전과 상세 버전으로 나뉘며, 각 버전에 대한 변환 규칙이 실험 전에 참여자들에게 설명되었다.

실험은 총 10개의 세트로 구성되었으며, 각 세트는 두 개의 수식으로 이루어져 있다. 한 세트 내에서는 하나의 수식이 본 연구에서 개발한 독음 방식으로 변환된 음성 파일로 제공되었고, 다른 수식은

선행 연구의 독음 방식으로 변환된 음성 파일로 제공되었다. 사용된 수식의 유형은 사칙연산, 분수, 위첨자, 제곱근, 부등식, 집합, 무한소수, 행렬 등 다양한 수학적 개념을 포함하도록 선정되었다. [표 3]은 테스트에서 사용된 수식의 대표적인 예를 보여준다.

실험 과정에서 참여자들은 각 수식의 음성을 듣고, 이를 받아쓰는 작업을 수행하였다. 이때 참여자들은 각 음성 파일이 본 연구에서 개발한 독음 방식인지, 혹은 선행 연구의 독음 방식인지 알지 못한 상태에서 실험에 참여하였다. 각 세트의 두 수식을 모두 받아쓴 후에는 정답을 공개하여, 참여자들이 자신의 답안을 검토할 수 있도록 하였다. 수식 하나당 피드백 작성 과정을 통해 참여자들은 수식의 독음이

유형	수식	독음 수준	한글 독음
기본수식	$\frac{a}{2} + b^2 + 5$	상세	분수시작 이 분의 에이 분수끝 플러스 비의 이 제곱 플러스 오
	$\sqrt[3]{x} + \left(\frac{x+1}{2} \times 5\right)$	상세	루트시작 엑스의 삼 에이 제곱근 루트끝 플러스 괄호열고 분수시작 이 분의 엑스 플러스 일 분수끝 곱하기 오 괄호닫고
	$\frac{a}{5} - 1 < \frac{b}{3} + 2 \leq 4$	상세	분수시작 오 분의 에이 분수끝 마이너스 일 보다 크다 분수시작 삼 분의 비 분수끝 플러스 이 보다 크거나같다 사
	$\frac{\sqrt[n]{x^2 + y^2}}{z} + \frac{1}{x} = 1$	간략	분수 지 분의 루트 엑스 의 이 제곱 플러스 와이 의 이 제곱 의 앤 제곱근 분수끝 플러스 분수 엑스 분의 일 분수끝 은 일
집합과 명제	$A \cap B \subset C$	상세	집합 대문자 에이 교집합 대문자 비 가 집합 대문자 씨 에 포함된다.
	$\{1, 2\} \cap B \not\subset C$	상세	집합 괄호 열고 일 콤마 이 집합 괄호 닫고 교집합 대문자 비는 대문자 씨에 포함되지 않는다.
무한소수	$0.\dot{3} = \frac{1}{3}$	간략	영 점 삼 , 순환마디 삼 이 반복되는 무한소수 는 분수 삼 분의 일 분수끝
행렬	$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}$	상세	대문자 에이 는 행렬 이행 이열 시작 일행시작 일 이 이행시작 삼 사 행렬끝

(표 3) 사용성 평가시 사용된 수식의 대표적인 예

얼마나 직관적이었는지, 또는 얼마나 수식을 정확히 전달하는지 이해도 체크를 진행하였으며 사용성 평가가 끝난 후 추가적인 의견을 남길 수 있도록 별도의 칸을 준비하였다. 사용성 평가에서 이해도를 판단하는 기준은 [표 4]와 같다.

점수	평가 지표
1점	수식을 듣고도 전혀 머릿속에 그려지지 않음
2점	수식이 거의 그려지지 않음
3점	보통 수준으로 수식이 머릿속에 그려짐
4점	수식이 머릿속에 그려짐
5점	수식이 완전히 명확하게 머릿속에 그려짐

(표 4) 사용성 평가 지표도

이 지표를 바탕으로 평가 대상자들은 수식을 듣고 이해한 정도를 평가했다. 이러한 과정을 통해 두 독음 방식의 이해도와 효율성에 대한 구체적인 데이터를 수집할 수 있었다.

4.2 1차 테스트 결과 분석

1차 테스트의 경우 일반인 6명을 대상으로 사용성 평가를 진행하였다. 교내 학우들로 테스트를 진행하였으며, 모두 수학 교육과 관련된 아르바이트 등의 경험이 있는 사람들로 모집하였다.

사용성 평가를 통해 다양한 중요한 피드백이 도출되었다. 제곱근과 루트가 함께 제시될 때 참여자들의 이해도가 낮아지는 경향이 있었는데, 이는 두 용어가 비슷한 맥락에서 사용되며 학습 과정에서 ‘루트’라는 표현이 자주 쓰인 영향으로 분석되었다. 또한, 괄호에 대한 선행 연구의 간략 버전 독음이 지나치게 축약되어 사용자들이 이를 충분히 이해하지 못하는 문제도 발견되었다.

무한소수의 경우, 반복되는 구조를 설명할 때 조사와 숫자가 혼동되어 ‘무한소수 삼, 순환마디 삼이 반복되는 무한소수’와 같은 표현에서 ‘이’가 조사를 의미하는지, 숫자 2를 의미하는지에 대한 모호성이 발생했다. 이로 인해 수식의 정확한 이해가 어려웠으며, 이를 해결하기 위해 순환마디의 범위를 명확히 제시하여 혼동을 줄이고자 하였다.

또한, 연속된 부등호의 경우, 앞의 수식부터 순차적으로 독음하는 방식이 참여자들의 이해도를 높이는 데 더 효과적이었다. 이는 형태 중심적 읽기 방식을 통해 수식의 구조를 더욱 직관적으로 전달할 수 있음을 시사한다.

수식의 간략 버전의 경우, 이해도가 현저히 낮아지는 경향이 확인되었다. 간략 버전은 반복 학습의 경우 유익할 것으로 예상되었으나, 사용성 평가를 진행하는 과정 특성상 처음 접하는 수식이기 때문에 정답률이 높지 않은 것으로 확인되었다.

복잡한 수식의 경우, 사전 설명을 제공한 후 독음하는 방식이 맥락 이해에 매우 효과적이라는 피드백이 나왔으며, 특히 ‘행렬 시작’과 같은 안내 문구가 참여자들의 이해도를 높이는 데 기여한다는 사실을 확인할 수 있었다.

독음 종류	자체 독음 규칙		선행 연구 독음 규칙	
유형	기본수식	집합과 명제	기본수식	집합과 명제
정답 개수	12/18	4/6	6/18	4/6
정답률(%)	66.7	80	33.3	90

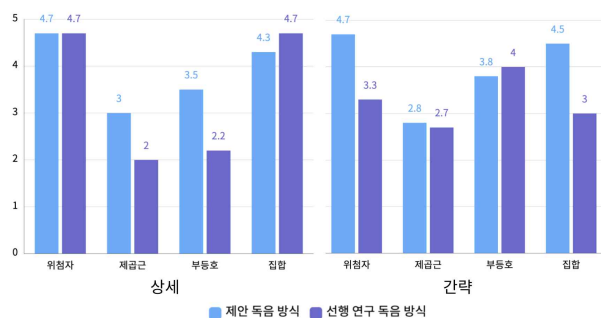
(표 5) 상세 버전에 대한 정답률 비교

독음 종류	자체 독음 규칙	선행 연구 독음 규칙
유형	기본수식	
정답 개수	9/18	6/18
정답률(%)	50	33.3

(표 6) 간략 버전에 대한 정답률 비교

독음 종류	자체 독음 규칙	
유형	무한소수	행렬
정답 개수	4/6	3/6
정답률(%)	66.7	50

(표 7) 상세 버전에 대한 정답률



(표 8) 1차 사용성 평가 이해도 점수 결과표

4.3 2차 테스트 결과 분석

1차 테스트와 동일한 조건으로 2차 테스트를 진행하였다. 1차 테스트는 일반인을 대상으로 수행되었으나, 2차 테스트는 시각장애인 3명을 대상으로 실시하였다. 단, 1차 테스트와는 달리 이번 테스트에서는 참가자들이 본인이 이해한 내용을 구술하고, 이에 대한 피드백을 제공하는 방식으로 진행하였다.

테스트 결과, 분수의 시작과 끝을 명시하는 것이

더 명확한 이해를 돕는 것으로 나타났다. 초기 독음 방식은 지나치게 많은 정보를 제공하려고 하여 사용자가 혼란을 느끼는 경우가 많았다. 따라서, 분수의 표기에서 시작과 끝에 대한 명확한 언급만으로 간소화하는 것이 필요하다. 제곱근과 루트에 대한 표현에서는, ‘~의 제곱’ 대신 ‘승’이라는 용어를 사용하는 것이 이해에 더 좋았다는 의견이 있었다. 부등호의 표현에서는 의미론적 접근보다 수식의 순차적인 독음 방식이 더 이해하기 쉽고 직관적이라는 피드백을 받았다. 따라서, 부등호와 관련된 수식은 순차적으로 읽어주는 방식을 적용하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

집합 수식에 대한 피드백에서는 원소 A와 집합 A와 같은 명시적 표현에 대해 긍정적인 의견이 있었다. 간략 버전으로 처리하더라도 이를 생략하지 않고 정식대로 표현하는 것이 중요하다는 점이 강조되었다. 행렬을 독음하는 방식에 대해서는 열부터 읽어주는 것이 더 효과적이라는 의견이 다수 제기되었다. 엑셀과 같은 문서 편집 툴이나 센스리더는 표의 특정 셀을 읽어줄 때 ‘열행’ 순서로 읽어주어, 이를 통일하면 사용자가 쉽게 이해할 수 있을 것이라는 피드백이 도출되었다. 결론적으로 열의 경우 대문자 알파벳으로 표기하고, 행의 경우 숫자로 표기하여 행렬을 전달한다. 마지막으로, 순환소수에 대한 독음 방식에 대해서는 ‘순환마디’ 용어를 사용한 접근이 긍정적인 반응을 얻었다. 이는 사용자가 순환소수의 반복되는 마디를 보다 쉽게 인지하고 이해할 수 있도록 돕는 방법으로 평가되었다.



(표 9) 2차 사용성 평가 이해도 점수 결과표

4.4 최종 결과

본 연구에서 제안한 수식 유형인 부등호, 제곱근, 무한소수, 행렬의 독음 방식이 기존 방식에 비해 더 직관적이며 명확한 독음을 제공할 수 있다는 가능성을 확인했다. 또한, 부등식을 독음하는 과정에서 의미 중심적 읽기 방식보다는 형태 중심적 읽기 방식을 채택하는 것이 이해도가 월등히 높았다. 특히, 무

한소수와 행렬과 같이 사전에 정의되지 않은 수식에 대한 독음 규칙을 새롭게 정의하고 이해도 평가를 통해 그 가능성을 확인할 수 있었다. 무한소수의 경우, 반복되는 구조를 설명할 때 발생하는 혼동을 줄이기 위해 명확한 표현과 규칙을 적용하였으며, 행렬은 ‘행렬 시작’과 같은 사전 안내를 통해 수식의 구조와 맥락을 더 쉽게 이해할 수 있도록 설계하였다.

전반적으로 복잡한 수식일수록 사전 설명을 제공한 후 독음하는 방식이 맥락 이해를 높이는 데 매우 효과적이었으며, 수식이 길어질수록 참여자들의 이해도가 감소한다는 사실을 확인할 수 있었다. 또한 수식의 간략 버전과 상세 버전의 수식의 길이나 상황에 따른 이해도가 달라짐을 확인할 수 있었다. 마지막으로, 발음 명료성 또한 중요한 요소로, 이를 개선함으로써 보다 효율적인 수식 독음 시스템을 개발할 수 있을 것이라는 결론에 도달하였다.

결론적으로 제안 독음 규칙에 대해 전반적으로 긍정적인 결과를 얻었다. 다만, 제공근의 경우 독음 규칙에 ‘제공근’을 넣기보다는 ‘승’을 사용하는 것이 좋겠다는 피드백과 시각장애인의 행렬 청음 방식을 토대로 독음 규칙을 수정하였다. 최종 독음 규칙표는 [표 1]과 같다.

5. 결론

본 연구는 시각장애인을 위한 효율적인 수식 음성 변환 서비스를 개발하고, 기존 독음 규칙에서 발생하는 문제점을 개선하는 것을 목표로 하였다. 기존의 수학 연산자에 대한 독음 규칙이 존재하지만, 관련 내용을 개별적으로 찾아 대체 자료를 제작하는 과정은 비효율적이며 시간이 많이 소요된다. 또한, LaTeX는 수학 교재 편집에서 널리 사용되며, docx 파일에서는 LaTeX 형식을 입력받을 수 있는 기능이 제공되기 때문에 LaTeX 형식으로 입력된 수식을 한글 독음 규칙에 맞게 변환하는 서비스를 제안하였다.

특히, 글로벌 표준인 MathSpeak 규격을 한글화하여 최신 수학 교육과정에 맞춘 독음 방식을 개발하여 기존 국립중앙도서관의 수학 독음 규정과 비교 분석하였다. 그 결과 본 연구에서 제안한 독음 방식이 기존 방식보다 명확하고 직관적인 전달을 가능하게 하며, 복잡한 수식을 보다 쉽게 전달할 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 무한소수와 행렬과 같은 복잡한 수식에 대한 독음 규칙을 새롭게 제시함으로써, 사용자의 수식 이해도를 높이는 데 기여할 수

있었다. 수식의 상황에 따라 간략 버전과 상세 버전의 독음 방식이 이해도에 미치는 영향도 확인되었으며, 수식의 길이나 복잡성에 따라 유연하게 독음 방식을 적용할 필요성을 확인하였다.

결론적으로, 본 연구에서 제안한 음성 변환 서비스는 시각장애인을 위한 수식 이해도를 향상시키고, 보다 효율적인 대체 자료 제작에 기여할 수 있는 가능성을 보여주었다. 앞으로 본 연구의 결과를 바탕으로 다양한 수식 환경에서 더 효과적인 음성 변환 서비스를 개발하고, 이를 실제 교육 현장과 자료 제작에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 보건복지부,
https://www.mohw.go.kr/board.es?mid=a10503000000&bid=0027&list_no=1481120&act=view
- [2] J.H.Lee, J.W.Lee and S.B.Lim, “Implementation & Usability Evaluation of Math Expression Reader for Domestic Reading Disableds” Journal of Korea Multimedia Society, Vol.15, No.7, pp.951-961, 2012
- [3] S.H.Seo, J.W.Lee and S.B.Lim “A Reading Technique of math expression in e-Book for Reading-disabled People”, 한국HCI학회 논문지 Vol.7 No.2, pp.57-64, 2012
- [4] J.S.Hwang and S.B.Lim, “A Study on Phased Reading Techniques of Mathematical Expression in the Digital Talking Book”, Journal of Korea Multimedia Society Vol.17, No.8, pp.1025-1032, 2014
- [5] Design Science, Inc.
<https://software-sources.com/solutions/design-science-inc/>
- [6] MathPlayer,
<https://docs.wiris.com/mathplayer/en/mathplayer-user-manual.html>
- [7] 문화체육관광부 국립장애인도서관,
<https://www.nld.go.kr/home/formula.do>