

국내 독서장애인을 위한 Math Expression Reader의 구현 및 사용성 평가

이재화[†], 이종우^{**}, 임순범^{***}

요 약

국내에서 제작되는 전자도서들은 현재 문서 내에 작성된 수식 및 수학 기호들을 음성으로 변환하지 못하여 독서 장애인들에게 제약적인 음성서비스를 제공하고 있다. 본 논문에서는 국내 독서 장애인들을 위해 일반 문서에 삽입되어 있는 수식표현을 한글로 읽어줄 수 있는 'Math Expression Reader'를 구현하였다. 그리고 'Math Expression Reader'를 통해 생성된 한글 수식 독음을 일반인그룹과 시각장애인들에게 각각 들려줌으로써 생성된 한글수식독음을 얼마나 정확히 이해하고 알아들을 수 있는지 평가하고 그 결과를 비교 분석하였다.

Implementation & Usability Evaluation of Math Expression Reader for Domestic Reading Disabilities

Jae-hwa Lee[†], Jong-Woo Lee^{**}, Soon-Bum Lim^{***}

ABSTRACT

E-books produced in the country provide limited audio service for reading disables. The reason is that those books cannot translate the mathematical expressions and symbols in the context. In this paper, the 'Math Expression Reader' was implemented that can translate the expressions and symbols in the document into Korean speech for those who have reading disabilities. The math to speech generated by this program has been tested to both the public and reading disables and the results of this test has been compared whether they can exactly understand the speech and evaluated the reading rules.

Key words: Reading disables(독서 장애인), Math to speech(수식의 음성 서비스)

1. 서 론

현재 독서 장애인들의 정보 접근성을 높이기 위해 대부분의 독서 장애인 지원 기관들 및 도서관들은 음성 도서 서비스를 제공 받을 수 있는 디지털 파일 형태의 전자도서를 제공하고 있다. 그러나 대부분 국내에서 제작되는 전자 도서는 본문 텍스트만 음성

으로 변환하며, 전자 책 내에 있는 수식 및 수학 기호들은 음성으로 변환하지 못하고 아예 생략 해버리거나, 그림이나 이미지와 같이 간단한 텍스트로 제공하고 있다[1-4]. 이미 외국에서는 수식을 음성으로 변환하여 서비스하는 다양한 시스템들이 개발이 되어 있지만, 이러한 외국 시스템을 그대로 국내에 적용하게 될 경우, 언어 구조의 차이로 인해 영어로 표현된

※ 교신저자(Corresponding Author) : 임순범, 주소 : 서울시 용산구 청파동 2가 53-12 숙명여자대학교, 전화 : 02)710-9424, FAX : 02)710-9704, E-mail : sblim@sookmyung.ac.kr
접수일 : 2011년 7월 18일, 수정일 : 2011년 9월 28일
완료일 : 2012년 5월 29일

[†] 준회원, 숙명여자대학교 멀티미디어학과
(E-mail : envyviki@gmail.com)

^{**} 종신회원, 숙명여자대학교 멀티미디어학과 교수
(E-mail : bigrain@sookmyung.ac.kr)

^{***} 종신회원, 숙명여자대학교 멀티미디어학과 교수

※ 본 연구는 숙명여자대학교 2011학년도 교내연구비 지원에 의해 수행되었음.

수식을 다시 한국어 표현에 맞게 재가공해야 하는 문제가 발생한다.

이에 본 논문에서는 국내 독서 장애인들을 위해 일반 문서에 삽입되어 있는 수식표현을 한글로 읽어 주는 수식의 음성 변환 기법을 제안한다. 이를 위해 현재 중학교에서 사용되고 있는 20개의 수학교과서를 분석 및 분류하여, 각 영역에서 쓰이는 수학 기호를 정리하여 한글 독음 규칙을 정의하였으며 이러한 한글 독음 규칙을 바탕으로 일반 문서에 입력된 수식을 한글 표현으로 읽을 수 있는 'Math Expression Reader'를 구현하였다.

그리고 'Math Expression Reader'를 통해 생성된 한글 수식 독음을 일반인과 시각장애인들에게 각각 들려줌으로 생성된 한글수식독음을 얼마나 정확히 이해하고 알아들을 수 있는지 평가하고 그 결과를 비교 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 현재 외국에서 사용되고 있는 수식의 음성 서비스에 대해 알아보고 3장에서는 한글 독음 규칙을 이용한 Math Expression Reader 구현에 대해 설명한다. 4장에서는 이를 바탕으로 일반인그룹과 시각장애인들을 대상으로 실시한 평가 및 그 결과를 기술하며 5장에서 결론과 향후연구에 대한 정리로 본 논문을 끝맺도록 한다.

2. 관련연구

2.1 Design Science사의 MathDaisy & Math-Player

MathPlayer[5]는 웹브라우저에서 MathML[6]을

포함하는 웹 페이지를 브라우징 할 때, 해당 페이지의 수식을 디스플레이 해주며, 수식 읽어주기(speak expression) 기능을 통해 MathML로 표현된 수식을 읽어준다.

MathDaisy[7]는 MS Word에서 작성한 수식을 DAISY[8] 포맷으로 변환하여, 음성 서비스가 가능하도록 한다. MathDaisy는 수식 입력기인 MathType을 MS Word에 플러그인하여 수식을 표기하며, 작성된 수식은 DAISY 포맷으로 저장되어 DAISY 플레이어 혹은 DAISY 포맷을 지원하는 플레이어로 음성 서비스를 가능하게 한다.

2.2 Design Science 사의 Speech Style

현재 Design Science사의 MathPlayer의 최신 버전인 MathPlayer 3.0에서는 MathSpeak[9]와 SimpleSpeech의 두 가지 독음스타일을 제공하고 있다. MathSpeak는 수식 독음에 대한 표준의 부재로 많은 독서 장애인들이 수학 및 과학 공부에 어려움을 겪는다는 사실에 착안하여 gh사가 MathSpeak™프로젝트를 통해 고안한 독음스타일로 Braille Nemeth Code[10](수식을 점자로 나타내는 표준코드)를 바탕으로 수식의 독음을 정의하고 있다. MathSpeak는 수식을 구어로 표현 할 때 생기는 모호성을 최소화 하고 수식의 명확성을 제공하기 위해 명확성을 표현하는 구문들을 사용하며 미국에서 사용되는 대부분의 수식 음성 프로그램에서 채택하고 있는 독음 스타일로 현재 DAISY/NISO 표준에도 적용되고 있다. SimpleSpeech는 현재 MathPlayer 3.0의 기본 설정 독음 스타일로 MathSpeak의 룰을 대부분 적용하고 있지만 수식을 표현하는 부분에 있어 약간 다르다.

표 1. 수식의 일반구어체와 MathSpeak Rule을 적용시킨 예

	수식 독음	독음에 따른 수식
일반적 구어체	x equals a over b plus 1	$x = \frac{a}{b+1}$ 또는 $x = \frac{a}{b} + 1$ (모호성 발생)
Math Speak	x equals BEGIN FRACTION a OVER b END FRACTION plus1.	$x = \frac{a}{b} + 1$

표 2. 수식 $2^{x^{n+1}} - 1$ 을 MathSpeak Rule과 SimpleSpeech Rule을 적용시킨 예

수식	MathSpeak Rule	SimpleSpeech Rule
$2^{x^{n+1}} - 1$	2 superscript x super superscript n superscript plus 1 baseline minus 1	2 super x to the n plus 1 end super minus 1

표 3. 수식의 복수 독음 혼용의 예

수 식	수 식 읽 기	수학기호의 복수독음
$2x^2 + 3^2 - 1$	2엑스 제곱 더하기 삼의 제곱 마이너스 1	제곱 : 승 더하기 : 플러스 빼기 : 마이너스
	2엑스 제곱 더하기 삼의 이승 마이너스 1	
	2엑스 제곱 플러스 삼의 이승 빼기 1	
	:	

SimpleSpeech는 MathSpeak에서 사용하는 수식의 명확성을 표현하는 구문을(begin fraction/end fraction 등) 복잡하지 않은 간단한 수식 표현에서는 최소화 시켜 나타낸다.

3. 한글 독음 규칙을 이용한 Math Expression Reader 구현

3.1 한글 독음 규칙 정의

본 논문에서는 현재 중학교에서 사용하고 있는 20개의 수학교과서를 분석하여 크게 5영역(수와 연산, 문자와 식, 함수, 확률과 통계, 기하)로 분류하고 각 영역별로 수학 기호를 정리하여 이를 다시 연산자(Operator)와 기호(Symbol)로 구분하였다. 중학교 교과서에서 사용되는 수학기호는 대략 44개로 본 논문에서는 연산자 41개와 기호 3개(공집합, 파이, 콤마)로 정의하였다.

이렇게 분류된 수학기호는 수식을 정확하게 읽을 수 있도록 다음과 같은 규칙을 바탕으로 수식의 한글 독음 규칙을 정의 한다.

첫째, 중학교 수학 교과서에서 명시 하고 있는 수학기호의 독음을 적용하여 분류된 수학 기호의 독음을 정의한다.

둘째, 다양한 독음으로 읽혀지는 수식기호들은 대표 독음을 정의하여 수식의 음성 서비스시 혼란을 최소화 한다.

셋째, 수식을 읽을 시 모호성을 야기 시킬 수 있는 수식은 그룹핑(Grouping) 독음을 추가하여, 수식의 모호성을 제거한다.

수식을 한글로 읽을 경우 하나의 수학 기호에 여러 개의 독음들이 사용되는 경우가 발생한다. 이렇게 하나의 수학기호에 여러 개의 독음들이 혼용될 경우 하나의 수식에 여러 개의 수식 음성 표현이 가능하다. 다음은 표 3은 여러 개의 독음이 혼용되는 수식의 예를 보여준다.

이에 본 논문에서는 수식의 복수 독음 혼용을 최소화하기 위해 표 4에서와 같이 수식의 한글 독음 정의 시 복수 독음이 가능한 수학 기호에 대해 하나의 대표 독음을 정의하였다.

또한 수식을 일반적인 구어체로 표현 할 경우 하나가 아닌 다양한 식으로 나타낼 수 있다. 예를 들어 '루트 비 제곱 마이너스 사 에이 씨' 라는 수식의 음성 표현을 듣고 이를 수식으로 나타내면 $\sqrt{b^2 - 4ac}$ 혹은 $\sqrt{b^2 - 4ac}$ 로 나타낼 수 있다. 이는 수식을 한글로 읽을 경우 수식에 나타난 수학 기호의 범위가 어디까지 적용이 되는지 그 경계가 뚜렷하지 않아 나타나는 현상들이다. 이에 본 논문에서는 이렇게 하나의 수식에 대해 상이한 해석이 가능한 수식 유형들을 분류하여 이를 최소화하기 위해 그룹핑(Grouping) 독음을 정의하였으며, 표 5는 한글 독음 규칙 중 그룹핑 독음을 정의한 부분이다.

3.2 Math Expression Reader 구현[11]

현재 외국에서 사용 중인 음성 서비스 시스템들은 영어로 표현되는 수식독음을 독서 장애인에게 서비스 하고 있으며 이를 국내에 적용할 시 한글-영어간의 언어적 차이로 인해 영어의 수식독음을 다시 한글 독음에 맞게 재구성해야 하는 불필요한 과정을 거치게 된다. 이에 본 논문에서는 한컴 오피스, 워드, PDF

표 4. 한글 독음 규칙 중 복수 독음 혼용 방지를 위해 정의된 부분

수학기호	일반적인 독음	독음 규칙
a^2	에이 제곱/에이 이승	에이 제곱
a^n	에이 의 엔 승/ 에이의 엔 제곱	에이의 엔 승
A+B	에이 플러스/더하기 비	에이 플러스 비
A-B	에이 마이너스/빼기 비	에이 마이너스 비
-B	마이너스/음수 비	마이너스 비

표 5. 한글 독음 규칙 중 복수 그룹핑 독음 정의 부분

수식의상이한 해석이 가능한 수학기호 유형	수학기호 독음	독음 규칙
\sqrt{A}	루 트	루트시작 A루트 끝
B/A	분 에	분수시작A 분에 B분수 끝
(A)	괄 호	괄호열고 A 괄호닫고
{ A }	중괄호	중괄호열고 A 중괄호닫고

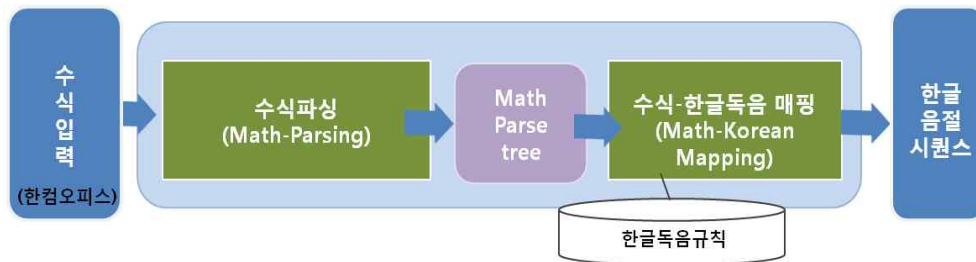


그림 1. 수식의 음성 변환 처리 과정

등과 같이 일반문서에 입력된 수식을 앞서 정의한 한글 독음 규칙과 적용시켜 국내 독서 장애인들에게 수식의 음성 서비스를 제공하는 수식의 한글 음성 변환 기법을 제안한다.

먼저 한컴 오피스에 입력된 수식은 수식 파싱(MathParsing)과정을 거쳐 Math Parse Tree를 생성하며 이러한 수식파싱 과정은 워드, PDF등 일반문서에서 거의 동일하다. 이때 생성된 Math Parse Tree는 일반적으로 계산을 목적으로 파싱될 때와는 달리, 입력된 수식에 연산자가 생략되어 있는 경우, 생략된 연산자와 변수를 하나의 토큰(token)으로 분해하여 수식 파싱 트리를 만든다. 이는 파싱 트리를 한글 독음 규칙과 매핑시킬 경우 반복되는 연산자로

인해 수식의 독음이 명료하지 않고 복잡해지는 것을 최소화 하고 수식의 독음을 명료하기 만들기 위함이다. 이렇게 생성된 Math Parse Tree는 앞서 정의한 한글 독음 규칙과 매핑(Mapping)되어, 입력된 수식의 한글 음절 시퀀스(Korean syllable sequence)를 생성한다. 이때, 루트와 분수의 경우, 생성된 파스트리에서 두 연산자(Operators)의 파스트리가 터미널(Terminal)인지 논터미널(Nonterminal)인지에 따라 매핑되는 독음 규칙이 다르다. 단순하게 노드 하나로 파싱 트리가 끝나는 경우 루트, 분수 모두 그룹핑(Grouping)단어를 사용하지 않고, 보통 수식을 읽을 때 쓰이는 독음 (예: ‘루트 2’, ‘3분에 4’)으로 매핑되지만, 그렇지 않을 경우에는 그룹핑(Grouping)단어를

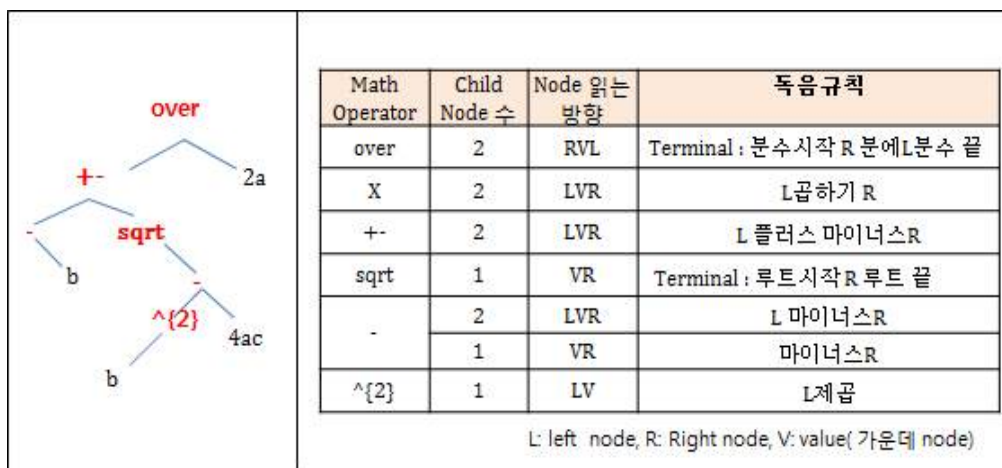


그림 2. 근의 공식의 수식-한글 독음 매핑의 예



그림 3. Math Expression Reader 실행 사례

적용하여 매핑한다. 이렇게 생성된 한글 음절 시퀀스는 음성 서비스가 가능한 음성 합성 마크업 언어인 SSML[12]파일로 변환되어 저장된다. 이렇게 저장된 SSML 파일은 향후 TTS(Text To Speech)엔진과 연동하여 국내 독서 장애인들에게 수식의 음성 서비스를 가능하게 한다.

3.3 구현 및 실행 사례

Math Expression Reader의 레이아웃은 크게 수식 입력창과 변환된 독음 창으로 구성된다. 수식 입력 창에 한글오피스에서 작성된 수식을 입력한 후 Read 버튼을 눌러 변환 하면 수식 파싱(Math Pars-

ing), 수식-한글 독음 매핑(Math-Korean Mapping) 과정을 거친 한글 음절 시퀀스가 독음 창에 나타난다. 변환 독음 창에 나타난 한글 음절 시퀀스는 SSML 파일로 저장된다. 다음은 실제 수식 몇 개를 실행해본 사례이며 그림 3은 실행 결과를 나타낸다.

$$A \cup B = B \cup A \tag{1}$$

$$\left\{ 2 - (2 - 7) \times \frac{2}{5} \right\} + (-5) \tag{2}$$

$$\triangle ABC \equiv \triangle DEF \tag{3}$$

이렇게 Math Expression Reader를 통해 실행된 수식의 한글 음성 시퀀스는 SSML 파일로 저장되며, 그 결과 파일은 표 6과 같다.

3.4 영역별 대표실행 사례

중학교 수학 교과과정의 영역별 대표 수식 및 예제들을 본 논문에서 구현한 ‘Math Expression Reader’로 모두 실행해 보았으며, 그 결과 모든 수식 및 예제들을 앞서 보여준 예제의 실행사례와 동일하게 한글 수식 독음으로 변환됨을 확인 할 수 있었다.

4. 생성된 한글수식독음의 이해도 평가

본 장에서는 이렇게 변환된 수식의 독음들을 직접 사용자들에게 들려줌으로 수식 독음으로 변환된 수식을 정확하게 이해하는지, 일반인 및 중학생들과 독

표 6. 앞 실행 사례의 SSML 결과 파일

```
<?xml version="1.0"?>
<speak version="1.1"
  xmlns="http://www.w3.org/2001/10/synthesis"
  xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
  xsi:schemaLocation="http://www.w3.org/2001/10/synthesis
    http://www.w3.org/TR/speech-synthesis11/synthesis.xsd"
  xml:lang="ko">
  <p>A 합집합 B 는 B 합집합 A</p>
  <p></p>
  <p>중괄호열고 2 마이너스 괄호열고 2 마이너스 7 괄호닫고 곱하기 5 분에 2 중괄호열고 플러스 괄호열고 마이너스 5 괄호닫고</p>
  <p></p>
  <p>삼각형 ABC 과 삼각형 DEF 은 합동이다</p>
  <p></p>
</speak>
```

표 7. 각 영역별 실행 사례

범위	대표 수식샘플	대표 수식샘플의 한글 독음
집합	$A \cup B = B \cup A$ $(A \cup B) \cup C = A \cup (B \cup C)$	A 합집합 B 는 B 합집합 A 괄호열고 A 합집합 B 괄호닫고 합집합 C는 A 합집합 괄호열고 B 합집합 C 괄호닫고
	집합 예제 17개 실행결과 중 대표예제 2개	
수	$1111_{(2)} = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2 + 1 \times 1$ $\left\{ 3 - (2-8) \times \frac{1}{3} \right\} + (-5)$ $\frac{\sqrt{a}}{\sqrt{b}} = \frac{\sqrt{a} \sqrt{b}}{\sqrt{b} \sqrt{b}} = \frac{\sqrt{ab}}{b}$ $2\frac{1}{2} + \frac{1}{3}$ $10^2 \times 10^3 = 10^5$	2진수 1111는 1 곱하기 2의 3승 플러스 1 곱하기 2 제곱 플러스 1 곱하기 2 플러스 1 곱하기 1 중괄호열고 3 마이너스 괄호열고 2 마이너스 8 괄호닫고 곱하기 3 분에 1 중괄호닫고 플러스 괄호열고 마이너스 5 괄호닫고 분수시작 루트 b 분에 루트 a 분수끝 는 분수시작 루트 b 루트 b 분에 루트 a 루트 b 분수끝 는 분수시작 b 분에 루트 ab 분수끝 2와(과) 2분에 1 플러스 3 분에 1 10 제곱 곱하기 10의 3 승 는 10의 5 승
	수 예제 20개 실행결과 중 대표예제 5개	
문자와 식	$\frac{(x^2-1)(x+1)}{-b \pm \sqrt{b^2-4ac}}$ $\frac{2a}{b^2-4ac} \leq 0$	괄호열고 x 제곱 마이너스 1 괄호닫고 괄호열고 x 플러스 1 괄호닫고 분수시작 2a 분에 마이너스 b 플러스마이너스 루트시작 b 제곱 마이너스 4ac 루트끝 분수끝 b 제곱 마이너스 4ac은 0 보다 작거나같다
	문자와 식 예제 19개 실행결과 중 대표예제 3개	
함수	$f(x) = 60x + 2$	함수 에프엑스는 60x 플러스 2
	함수 예제 8개 실행결과 중 대표예제 1개	
기하	$\overrightarrow{AB} \perp \overrightarrow{CD}$ $\angle APB = \frac{1}{2} \angle AOB$ $b = c \sin B$ 이고 $c = \frac{b}{\sin B}$ $V = \frac{4}{3} \pi r^3$	직선 AB과 직선 CD은 수직이다 각 APB 는 2 분에 1 각 AOB b는 c 사인 B이고 c 는 분수시작 사인 B 분에 b 분수끝 V는 3 분에 4 파이 r의 3 승
	기하 예제 20개 실행결과 중 대표예제 4개	

※ 위 15개의 수식은 이해도 1차 테스트에 사용되었음

서 장애인들을 대상으로 테스트를 실시 해 보았다.
4.1 1차 Test

중학교 수학 교과서의 다섯 영역에서 수식 15개 (표 7)를 선정하여 이를 본 연구에서 제안한 Math Expression Reader를 실행하여 한글 독음으로 생성한 뒤, 일반인 5명에게 들려주어 그 이해도를 측정하였다. 실험 방법과 측정 방법을 다음 표 8과 같다. 본 실험에서 사용한 수식 15개는 앞의 표 7의 영역별 실행 사례를 사용하였다.

표 8을 바탕으로 일반인 5명에게 실시한 1차 Test 결과는 표 9와 같다.

1차 Test결과 참여자들의 수식독음 이해도는 예

상과 달리 평균 80%의 저조한 이해도를 보였다. 이러한 테스트결과를 바탕으로 참여자들과의 심층 인터뷰를 진행 한 결과 대부분 참여자들은 다음의 두 가지 이유 때문에 수식독음 이해도 측정에 방해를 받았음을 알 수 있었다.

이에 한글 독음을 읽어주는 속도와 수학 기호 교

표 8. 1차 Test 실험 방법 및 측정 방법

실험 방법	한글 독음으로 생성된 수식 15개를 녹음하여 들려주고, 들은 수식독음을 다시 수식 기호로 쓰게 한다. (단 1회만 들려준다.)
측정 방법	한글 독음수식을 듣고 받아 쓴 수식기호와, 원래 수식기호를 비교하여 맞은 개수를 체크한다.

표 9. 1차 Test 결과 값

참 여 자	일반인1	일반인2	일반인3	일반인4	일반인5	평 균
맞은 개수	11	13	12	13	11	12/15
퍼센트(%)	73	85	80	86	73	80

표 10. 수식의 한글독음 이해도 측정의 방해 요인

속 도	수식을 읽어주는 속도가 너무 빨라서 쓸 수 없었다.
수학기호 인지여부	한글 수식독음을 이해했지만, 수학기호가 생각이 나지 않아 평가 시 쓸 수 없었다.

육여부에 따라 수식의 한글 독음의 이해도에 변화가 생기는지 알아보기 위해 이들을 독립 변수로 하는 2차 Test를 실시하였다.

4.2 2차 Test

1차 Test때 사용한 수식 15개를 각각 보통속도와 보통속도보다 25~30%빠른 속도로 녹음하여 일반인 5명(1차 테스트에 참여하지 않은 사람들)에게 들려준다. 또한, 다른 15개의 수식 샘플을 준비하여 실험에 앞서 간략하게 실험에 사용될 수식기호에 대해 알려주고, 각각 속도를 달리하여 그 이해도를 측정해 보았다.

일반인 5명에게 실시한 2차 Test 결과는 다음 표 13과 같다.

위 표 13과 그림 4에서 보여주듯이, 수식을 읽어주는 속도가 빠를수록 수식의 한글 독음의 이해도는 평균 9.2 (표준편차 2.4)와 10.8 (표준편차 1.4)로 개인적으로 차이가 있긴 하지만 속도를 천천히 했을 때 보다 수식독음 이해도에 뚜렷한 감소증상을 보였다.

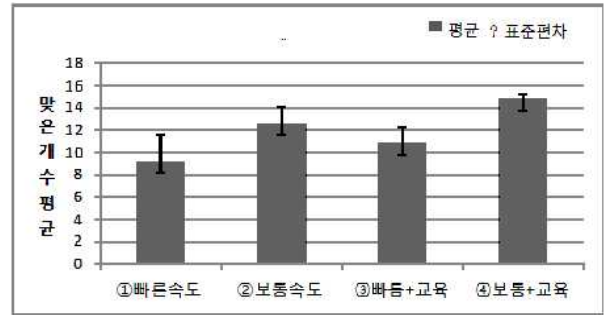


그림 4. 일반인 대상 2차 Test 결과 그래프

수식 기호를 미리 교육하였을 경우에도 속도가 빠를 경우 평균 10.8 (표준편차 1.4)로 사전 교육이전의 보통 속도로 읽어주었을 때 보다 이해도가 떨어졌으며, 대부분의 참가자들은 수학기호에 대한 사전교육과 보통속도로 수식을 읽어 줄 때, 평균 14.8과 표준편차 0.4로 수식의 한글독음에 대한 이해도가 가장 높았다.

이러한 2차 Test 결과를 보다 확실히 입증하기 위해 본 논문에서는 실험 표본 집단을 중학생 15명으로 확장하여 다시 동일한 실험을 진행해보았다. 실험에 참가한 중학생들은 중학교 수학 전 과정을 배운 중학교 3학년학생을 대상으로 실시되었으며, 실험 내용은 위의 일반인 실험 내용과 동일하게 진행 되었다.

중학생 15명을 대상으로 한 결과 역시 개인적인 차이는 있지만, 일반인을 대상으로 한 테스트 와 비슷한 양상을 보여줌을 알 수 있었다. 위의 표 14와 그림 5에서 알 수 있듯이, 수식을 읽어주는 속도가

표 11. 2차 Test 실험 방법 및 측정 방법 및 수식 샘플

실험 방법	1) 수식 15개를 <u>보통속도보다 25~30% 빠른 속도로</u> 녹음하여 들려주고, 자신이 들은 수식독음을 다시 수식 기호로 쓰게 한다. 2) 수식 15개를 <u>보통속도로</u> 녹음하여 들려주고, 자신이 들은 수식독음을 다시 수식 기호로 쓰게 한다. 3) 다른 15개의 수식 샘플에 대해, 미리 참여자들에게 <u>수학 기호에 대한 교육을 한 후 보통속도보다 25~30% 빠른 속도로</u> 녹음하여 들려주고, 자신이 들은 수식독음을 다시 수식 기호로 쓰게 한다. 4) 다른 15개의 수식 샘플에 대해, 미리 참여자들에게 <u>수학 기호에 대한 교육을 한 후 보통속도로</u> 녹음하여 들려주고, 자신이 들은 수식독음을 다시 수식 기호로 쓰게 한다. (* 모든 실험은 1회만 들려준다.)
측정 방법	녹음된 수식을 듣고 받아 쓴 수식기호와, 원래 수식기호를 비교하여 맞은 개수를 체크한다.

표 12. 사용된 수식샘플

범위	샘플 수식	샘플수식 (한글입력)
집합	$A \cap B = B \cap A$ $(A \cup B)^C = A^C \cap B^C$	A 교집합 B 는 B 교집합 A 괄호열고 A 합집합 B 괄호 닫고 여집합은 A 여집합 교집합 B 여집합
수	$101_{(2)} = 1 \times 2^2 + 0 \times 2 + 1 \times 1$ $\left\{ \frac{1}{3} - \left(5 + \frac{1}{4} \right) \times \frac{1}{3} - 2 \right\} + (-1)$ $10^3 \div 10^5 = \frac{1}{10^2}$ $\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{3}} = \sqrt{\frac{2}{3}}$	2진수 101은 1 곱하기2제곱 플러스 0 곱하기2 플러스 1곱하기 1 중괄호열고 3 분에1 마이너스 괄호열고 5 플러스 4분에1 괄호닫고 곱하기 3 분에 1 마이너스 2 중괄호닫고 플러스 괄호열고 마이너스 1 괄호닫고 10의 3 승 나누기 10의 5 승 는 분수시작 10 제곱 분에 1 분수끝 분수시작 루트 3 분에 루트 2 분수끝 는 루트시작 3 분에 2 루트끝
문자와 식	$x^2 + 5x + 6 = (x+2)(x+3)$ $\left(\frac{2}{3} \right)^2 = \frac{2^2}{3^2}$ $2x + 2 \geq 20$	x 제곱 플러스 5x 플러스 6 는 괄호열고 x 플러스 2 괄호닫고 괄호열고 x 플러스 3 괄호닫고 괄호열고 3 분에 2 괄호닫고 제곱 는 분수시작 3 제곱 분에 2 제곱 분수끝 2x 플러스 2은 20보다 크거나 같다
함수	$f(x) = \frac{1}{2}x + 1$	함수 에프엑스는 2분에1x 플러스 1
기하	$\overline{AD} : \overline{DB}$ $l // m$ $S = \pi r^2 \times \frac{x}{360}$ $S = \frac{1}{2} \arcsin B$ $\triangle ABC \equiv \triangle DEF$	선분 AD 대 선분 DB l과 m은 평행이다 S는 파이 r 제곱 곱하기 360 분에 x S는 2분에1 아크사인 B 삼각형 ABC 과 삼각형 DEF 은 합동이다

표 13. 일반인 대상 2차 Test 결과 값

방법\대상	일반인 1	일반인 2	일반인 3	일반인 4	일반인 5	평균	표준 편차
①빠른속도	11	10	11	9	5	9.2/15	2.48998
②보통속도	13	14	13	13	10	12.6/15	1.51658
③빠름+교육	11	9	13	10	11	10.8/15	1.48324
④보통+교육	15	14	15	15	15	14.8/15	0.44721

빠를수록 수식의 한글 독음의 이해도는 뚜렷한 감소
증상을 보였으며, 보통속도로 읽어 주는 수식에 대한
이해도가 높음을 알 수 있다. 또한 일반인과 동일하

게 보통속도로 읽어주고 수식에 대한 사전교육이 이
루어 졌을 때 평균 14.2 (표준편차 1.06)으로 수식의
한글독음에 대한 이해도가 가장 높았다.

이를 바탕으로 독서 장애인에게도 실험을 진행 해
보았다. 실험 방법은 앞서 실행한 방법과 동일한 4가
지 방법으로 행해 졌으며, 측정 방법은 일반인들과
달리 이해도를 3개의 범주로 나누어 측정하였다.

측정값이 범주 1일 경우, 일반인의 Test와 비교하
여 정확하게 수식을 받아 쓴 것으로 간주하며, 범주
2와 3일 경우는 받아 쓴 수식이 틀린 것으로 간주한
다. 이렇게 시각장애인 3명을 대상으로 실시한 Test
의 결과는 다음과 같다.

시각장애인의 경우, 수식의 한글독음을 읽어주는

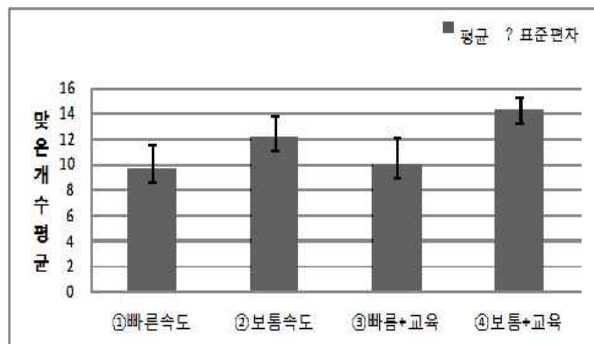


그림 5. 중학생 대상 2차 Test 결과 그래프

표 14. 중학교 3학년 학생 15명을 대상으로 실시한 2차 Test 결과 값

방법/대상	중1	중2	중3	중4	중5	중6	중7	중8	중9	중10	중11	중12	중13	중14	중15	평균	표준편차
①빠른속도	6	11	10	8	12	10	9	12	13	11	8	8	10	7	10	9.6/15	1.920648
②보통속도	9	13	11	11	14	13	13	15	15	13	11	11	11	10	13	12/15	1.720465
③빠름+교육	5	10	7	8	10	9	9	13	13	12	12	10	11	9	12	10/15	2.19089
④보통+교육	12	14	12	15	15	14	13	15	15	15	15	15	14	15	15	14.2/15	1.062492

표 15. 이해도의 3범주

범주	내용
1	수식을 듣고, 100% 이해하고 그 수식을 정확히 머리에 그릴 수 있음
2	수식을 듣고, 90~80% 이해하고 이해하는 만큼 수식을 머리에 그릴 수 있음
3	수식을 듣고, 무슨 말인지 이해 못하며 수식을 머리에 그릴 수도 없음

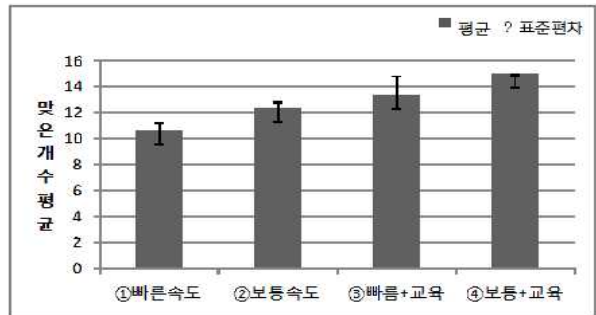


그림 6. 시각장애인을 대상으로 실시한 Test 결과 그래프

속도가 빠를 경우 평균 10.6 (표준편차 0.57)로 속도가 보통 일 때 (평균 12.3, 표준 편차 0.57)보다 이해도가 낮았으며, 수학기호의 사전 교육이 실시된 실험에서는 사전교육이 실시되기 전보다 모두 속도와 상관없이 이해도가 증가하는 것을 알 수 있었다. 그리고 실험에 참가한 모든 시각장애인들은 수학기호에 대한 사전 교육이 실시되고, 보통 속도로 수식이 읽어졌을 때, 15개의 수식을 모두 이해하는 100% 이해도를 보여주었다.

일반인과 중학생 그리고 시각장애인의 Test 결과

값을 비교해보면 다음 표 17과 그림 7과 같다.

표 17과 그림 7에 나타난 그래프에서 보여주듯 일반인과 중학생의 경우, 수식을 읽어주는 속도가 빠를 때 평균 수식독음의 이해도가 각각 61.3%와 72%, 64%와 66.6%로 수식을 읽어주는 속도가 보통일 때와 비교했을 때 (각각 84%, 81.3% 와 98.7%, 94.6%) 수식독음의 이해도가 전체 20% 가량 상승했음을 보여주고 있다. 즉 수식을 읽어주는 속도 차에 따라 수식독음의 이해도가 달라짐을 알 수 있다. 또한 시

표 16. 시각장애인을 대상으로 실시한 Test 결과 값

실험 방법	시각장애인 1	시각장애인 2	시각장애인 3	평균	표준 편차
①빠른속도	11	11	10	10.6/15	0.57735
②보통속도	13	12	12	12.3/15	0.57735
③빠름+교육	12	15	13	13.3/15	1.52753
④보통+교육	15	15	15	15/15	0

표 17. 일반인과 시각장애인의 Test 결과 비교

구 분	①빠른 속도	②보통속도	③빠른속도+사전교육	④보통속도 + 사전교육
일반인	61.3%	84%	72%	98.7%
중학생	64%	81.3%	66.6%	94.6%
시각장애인	71%	82%	88%	100%

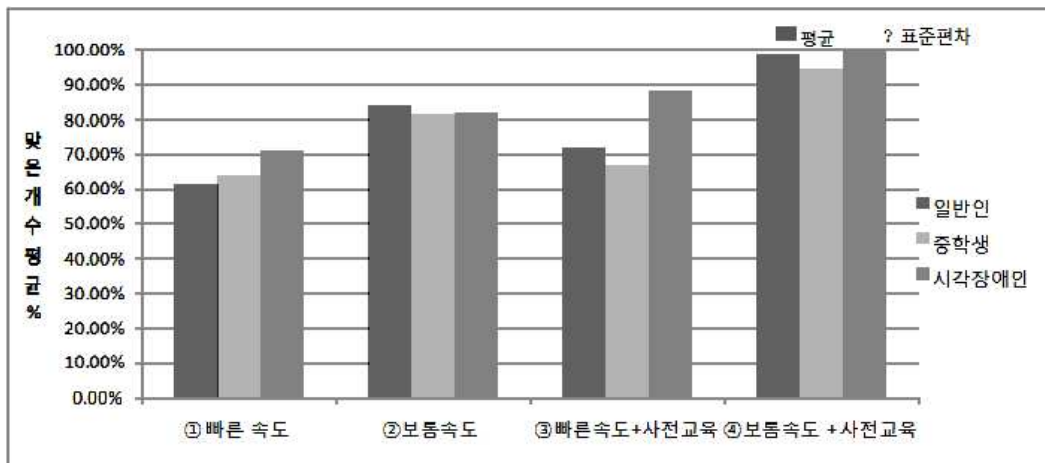


그림 7. 일반인, 중학생, 시각장애인의 Test 결과 비교 그래프

각장애인들의 경우, 수식 기호에 대한 사전 교육이 없을 때 수식의 독음 이해도는 평균 71%와 82%로 사전교육이 실시 된 후의 이해도(88%와 100%)와 비교했을 때 낮은 이해도를 보인다. 즉 수식 기호에 대한 사전 교육의 유/무에 따라 수식독음의 이해도에 차이 발생함을 알 수 있다.

일반인그룹 (일반인과 중학생)과 시각장애인간의 비교에서 알 수 있듯이 일반인그룹은 수식에 대한 사전 교육보다는 수식을 읽어주는 속도에 민감하게 반응하며 속도가 빠르지 않을수록 이해도가 높아졌다. 시각장애인의 경우 수식을 읽어주는 속도보다는 수식 기호의 사전 교육실시 여부에 따라 수식독음의 이해도가 달라지며, 사전교육을 실시 한 경우, 수식의 이해도가 더 높아지는 것을 알 수 있었다. 이에 본 논문에서 구현한 Math Expression Reader를 통해 생성된 한글 수식 독음을 정확하게 이해하기 위해서는 향후 수식독음 음성 서비스 시, 수학기호와 관련된 교육자료 (Help기능추가, 도움말)등이 추가로 제공되어야 할 것이며, 또한 적절한 음성 서비스를 제공하기 위해 향후 TTS 엔진과 연동 시 수식을 읽어주는 속도와 운율 등도 중요하게 연구 되어야 할 것이다.

5. 결론 및 향후 연구

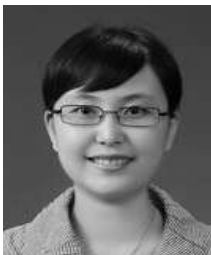
국내에서 제작되는 전자도서들은 현재 문서 내에 작성된 수식 및 수학 기호들은 음성으로 변환하지 못하여 독서 장애인들에게 제약적인 음성서비스를 제공하고 있다. 이에 본 논문에서는 다양한 케이스를

분석하여 한글 독음 규칙의 필요성을 제기 하고, 이를 바탕으로 중학교 수학 교과서를 분석하여 한글 독음 규칙을 정의하였으며, 수식을 한글 독음으로 생성해주는 ‘Math Expression Reader’를 구현하였다. 또한 생성된 수식의 한글 독음을 직접 사용자들에게 테스트 해봄으로 생성된 한글수식독음을 얼마나 정확히 이해하고 알아들을 수 있는지 평가하고 그 결과를 비교 분석하였다. 그 결과 수식을 읽어주는 속도와 수식기호의 사전 교육의 여부에 따라 한글 수식독음의 이해도에 영향을 받으며 수식 한글 독음의 정확한 이해를 위해서는 한글 수식독음의 서비스 부분(수학 기호와 관련된 도움말 및 Help기능) 및 수식을 읽어주는 속도 등에도 향후 지속적인 연구가 계속해서 이루어 져야 함을 알 수 있었다. 또한 본 연구는 중학교 교과서라는 한정된 범위 내에서 수식의 한글 독음을 정의 하였다. 따라서 향후 고등학교 수학 교과서를 바탕으로 수식의 한글 독음 규칙에 대한 정의도 계속해서 연구가 되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] 이성일, 국립장애인도서관지원센터 장애인 디지털정보 서비스 연구, 국립중앙도서관, 2007
 [2] 이해균, 김성애, 김정현, "장애인 독서환경 개선 방안II: 시각장애인 도서관 운영 실태와 독서환경 개선 방안," 특수교육저널 이론과 실천, 제8권, 제4호, pp. 699-720, 2007.
 [3] 박수홍, 장애우용 전자교과서 개발 방향 연구, 한국 교육 학술 정보원, 2007.

- [4] 손원성, 고승규, 이경호, 임순범, 최윤철, “한국 전자책 문서표준 및 관련 표준과의 변환 기법에 관한 연구,” 멀티미디어학회논문지 제6권, 제5호, pp. 876-888, 2003.
- [5] N. Soiffer, “MathPlayer V2.1: Web-based Math Accessibility,” *9th ACM SIGACCESS conference Phoenix, AZ*, 2007.
- [6] MathML, <http://www.w3.org/Math>, 2011.
- [7] Design Science, <http://www.dessci.com>, 2012.
- [8] DAISY, The DAISY Consortium: DAISY 3.0 Specification, <http://www.daisy.org>, 2012.
- [9] MathSpeak, <http://www.gh-mathspeak.com>, 2004-2006.
- [10] Braille Nemeth code, <http://www.gh-mathspeak.com/examples/NemethBook>, 2004-2006.
- [11] 이재화, 임순범, 이종우 “국내 음성 도서 서비스를 위한 수식의 음성변환 기법에 대한 연구,” 정보과학회 2011년 춘계학술발표대회, 2011.
- [12] SSML, Speech Synthesis Markup Language (SSML) Version 1.1, <http://www.w3.org/TR/speech-synthesis11>, 2010.



이 재 화

1998년 3월~2003년 2월 한남대학교 멀티미디어학과학과 학사(컨텐츠전공)
 2006년 6월~2008년 6월 University of Technology Sydney, Interactive of Multimedia 석사과정 수료
 2009년 9월~2011년 8월 숙명여자대학교 멀티미디어학과 석사
 2012년 6월~현재 LG 전자 MC 사업부 UI실 연구원
 관심분야: UI, UX, HCI



이 종 우

1986년 3월~1990년 8월 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
 1990년 3월~1992년 8월 서울대학교 컴퓨터공학과 석사
 1992년 3월~1996년 8월 서울대학교 컴퓨터공학과 박사
 1992년 3월~1998년 6월 (주)현대전자산업 정보시스템 사업부 과장
 1998년 7월~1999년 7월 (주) 현대정보기술 기술본부 책임연구원
 1999년 9월~2002년 8월 한림대학교 정보통신공학부 조교수
 2002년 9월~2003년 8월 광운대학교 컴퓨터공학부 조교수
 2003년 9월~2004년 7월 (주)아이닉스 소프트 개발이사
 2004년 9월~현재 숙명여자대학교 정보과학부 멀티미디어학과 부교수
 관심분야: Multimedia Storage System, Multimedia Embedded System, Multimedia Operating System



임 순 범

1977년 3월~1982년 2월 서울대학교 계산통계학과 학사
 1982년 3월~1983년 8월 한국과학기술원 전산학과 석사
 1983년 9월~1992년 2월 한국과학기술원 전산학과 박사
 1989년 2월~1992년 2월 (주)휴먼컴퓨터창업(연구소장)
 1992년 3월~1997년 2월 (주)삼보컴퓨터 부장(프린터개발부)
 1997년 3월~2001년 8월 건국대학교 컴퓨터학과 교수
 2001년 9월~현재 숙명여자대학교 정보과학부 멀티미디어학과 교수
 관심분야: 컴퓨터그래픽스, 웹/모바일 멀티미디어 응용, 디지털 방송, 전자출판, User Interface