

장애학생 고등교육을 위한 e-러닝 프로그램 개발 연구*

- 수학 미적분학을 중심으로 -

김 동 일

서울대학교 교육학과

손 지 영**

청주대학교 교직과

김 정 호

(주)엑스비전테크놀로지

《 요 약 》

본 연구에서는 장애학생 고등교육 환경에서 수학 영역을 중심으로 e-러닝 프로그램을 개발하고 사용성 평가를 실시하여, e-러닝 프로그램 개발의 실제적인 고려사항과 장애학생 평가를 통한 개발 전략의 개선점이 무엇인지를 탐색하고자 하였다. 이에 문헌연구를 통해 장애학생 대상의 e-러닝 설계 전략을 도출하고 수학 미적분학 내용에서 필요한 자료제시 전략을 실제로 구현하여 e-러닝 강좌를 개발하였다. 개발된 프로그램에 대해서는 5명의 장애학생들이 프로그램 구성과 인터페이스 등에 대해 사용성 평가를 실시하였다. 연구 결과, 수식을 디지털화하여 제시하는 특수 언어의 사용, 수식과 그래프의 대체텍스트 제공, 다양한 확대 및 설정 변경 기능, 동기화된 자막 제공, 중요 정보의 시각적 강조와 조작성 용이한 메뉴 크기 등이 실제적 고려사항으로 나타났다. 장애학생의 사용성 평가 결과, 수식과 그래프의 간결한 제시, 다양한 학습자 조절 기능 제공, 음성정보와 자막의 원활한 연동, 대체텍스트 제공의 보완, 단순한 화면 구성 등이 개선점으로 제시되었다.

주제어 : 장애학생, 고등교육, e-러닝, 수학 미적분

* 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 기술혁신사업의 일환으로 수행하였음.

[10036459, QoLT 산업기술기반 지원센터 구축사업]

본 연구의 e-러닝 프로그램 개발 과정에 고려대학교 수학과 황운재 교수, 김홍중 교수가 참여하였음.

** 교신저자(sonjy@cju.ac.kr)

I. 서 론

e-러닝은 웹 기술을 활용하여 다양한 유형과 범위의 학습활동 및 자원을 전달할 수 있는 장점을 가진다(Rosenberg, 2001). 이러한 e-러닝의 장점을 통해 교육 상황에서 개별 학생의 능력에 따라 학습 방법이나 형태를 조절할 수 있는 학습자 중심의 교육 환경을 제공해 줄 수 있다. 또한 e-러닝은 감각 및 신체 능력의 제한을 가진 장애학생이 교육 환경에 공평하게 접근할 수 있도록 해주고, 테크놀로지를 사용하여 쉽게 정보를 습득하여 다양한 학습 활동을 수행할 수 있도록 해준다(김동일, 손지영, 2008).

고등교육에 e-러닝을 도입할 경우, 저렴한 비용으로 더 높은 학습결과를 성취할 수 있는 비용효과성을 거둘 수 있다(임병노 등, 2005). e-러닝을 통해 더 많은 대학생들이 풍부하고 다양한 학습 기회를 가질 수 있으며, 교수 중심의 정형화된 교육에서 벗어나 학습자 중심의 자기주도적 학습을 할 수 있게 해준다(김동일, 이혜정, 손지영, 2005). 그리고 e-러닝은 감각 및 신체 능력의 제한을 가진 장애학생이 고등교육 환경에 공평하게 접근할 수 있도록 해주고, 테크놀로지를 사용하여 쉽게 정보를 습득하여 다양한 학습 활동을 수행할 수 있도록 해준다(김동일, 손지영, 2008). 따라서 이러한 e-러닝은 장애학생들에게 고등교육을 더욱 효과적으로 제공할 수 있는 잠재력을 가진다.

장애학생들이 이러한 e-러닝의 잠재력을 활용하여 효과적으로 학습하기 위해서는 e-러닝 콘텐츠가 장애에 상관없이 어떤 학생이나 편리하게 활용할 수 있도록 설계되어야 한다. Roh(2004)는 웹 뿐 아니라 e-러닝 콘텐츠에서도 장애 유무나 보조공학의 사용 여부에 상관없이 광범위한 사용자의 요구를 충족시킬 수 있도록 설계가 이루어져야 한다고 제안하고 있다. 즉, e-러닝 학습의 신체적 능력, 지적 상태, 보조공학 사용 여부, 사용 환경에 상관없이 학생에게 필요한 정보를 얻고 상호작용할 수 있도록 콘텐츠를 구성하는 것이 중요한 것이다. 이것은 웹 콘텐츠의 접근성(accessibility)이라고 할 수 있는데, 국제 표준화 기구 W3C(World Wide Web Consortium)에서는 장애인에게 필요한 웹 접근성 확보를 위해 WAI(Web Accessibility Initiatives)를 출범시켜 2007년에 웹 콘텐츠 접근성 지침 2.0(Web Contents Accessibility Guidelines 1.0: WCAG 1.0)을 발표하며 장애인을 포함하여 웹의 보편적 접근성을 강조하고 있다(<http://www.w3.org/TR/WCAG20/>). 이와 같이 장애인을 위한 웹 접근성 확보의 중요성을 부각되면서 웹을 기반으로 하고 있는 e-러닝에서도 접근성이 중요한 요소로 떠오르게 되었다. 최근의 선행연구들(김동일, 손지영, 2008; 김용욱, 2000; 손지영, 2009; 윤광보, 김용욱, 권혁철, 2002; Roh, 2004)에서도 e-러닝에서 접근성이 중요시 되어야 함을 제안하고 있다.

그런데 장애학생을 위한 e-러닝의 접근성을 고려할 때, 단순히 웹 접근성을 고려하는 수준이 아니라 실제적인 교수·학습 도구로서 사용될 수 있는 수준의 사용성을 보장하는 방향으로 개발이 이루어져야 한다. 이와 관련하여 최근에는 디지털교과서(digital textbook)를 중심으로 장애학생을 위한 콘텐츠 개발 전략에 대한 연구가 시작되었다. 구체적으로 디지털교과서를 어떻게 장애학생에게 적용할 것인가에 대한 기초 연구로서 장애유형별 디지털교과서 개발방안에 대한 연구(육주혜 외, 2008)가 진행되었다. 그리고 기초 연구에 이어 실제적으로 장애유형을 고려해 디지털교과서를 어떻게 설계하고 기능을 평가할 것인가에 관한 가이드라인을 제시하기 위해 특수교육용 디지털교과서 접근성 설계·평가 가이드라인 개발(김종무 외, 2009)이 최근 이루어졌다. 또한 한국정보화진흥원에서는 장애인과 노인을 대상으로 e-러닝 콘텐츠의 접근성을 개선하기 위한 추진 전략(안미리, 노석준, 김성남, 2009)에 대한 연구를 실시하였다.

이러한 선행연구들은 e-러닝이 아닌 디지털교과서를 중심으로 이루어졌거나 실제적인 지침이 아닌 추진 전략의 도출에 대한 연구였지만, 궁극적으로 디지털화된 학습 콘텐츠를 사용하여 장애학생들이 학습할 수 있도록 돕는 것에서 맥을 같이 하고 있다. 앞으로 선행연구들에서 제시하는 콘텐츠 개발 방안과 가이드라인, 추진전략 등을 토대로 하여 e-러닝 프로그램을 실제로 개발해보고 장애학생을 위해 어떻게 구현되어야 하는지에 대해 구체적으로 제시하는 것이 필요할 것이다.

국내에서 장애인을 위한 웹 접근성 확보가 중요시되고 웹 접근성 지침 등을 개발하면서 장애인을 위한 접근성을 확보하기 위해 노력을 기울이고 있지만, 현재 국내의 e-러닝 프로그램들은 장애학생을 거의 고려하고 있지 않은 상황(김동일, 손지영, 2008; 신승식, 2003; 이지선, 이병수, 장병옥, 2006)이다. 따라서 앞으로 장애학생들이 e-러닝을 효과적으로 활용할 수 있도록 콘텐츠를 개발하면서 개선해나가는 노력이 필요할 것이다.

더욱이 수학과 같이 복잡한 수식, 기호, 그래프 등이 중요한 내용 전달 수단인 특수한 개발 사례에서는 장애학생들이 e-러닝 환경에서 경험하는 접근의 제한이 더 클 것으로 예상된다. 수식과 기호를 e-러닝 콘텐츠에 제시하기 위해서는 MathML¹⁾이라는 World Wide Web Consortium(W3C)에서 제안한 수학 표기 XML 언어 체계를 사용해야 한다. MathML은 웹에서의 수학적 표현의 한계를 극복하기 위해 만들어진 XML의 응용으로서, 웹에서 수식을 표현하고 처리하고 공유하는 데 필요한 해결책을 제공하는 마크업 언어이다(홍은표, 이수현, 2003). 웹에서 수식과 기호를

1) MathML은 HTML(Hyper Text Markup Language)의 일종으로 수학적 기호를 표현하기 위한 HTML형식의 마크업 언어(makeup language)이다. 이러한 MathML은 웹이나 기타 소프트웨어 등에서 수식을 표현하기 위해 사용될 수 있는 기술 표준으로서 다양한 소프트웨어들이 개발되어 있으며, 여기에는 저작 도구, 웹 브라우저에서 MathML 콘텐츠를 표시하기 위한 플러그인 등이 있다(<http://www.w3.org/Math>).

이미지로 처리하여 제공하면 안 되며 이러한 MathML을 e-러닝 콘텐츠에 활용해야 한다.

수학 분야의 e-러닝 프로그램에 MathML을 사용하여 콘텐츠를 제공할 경우에 스크린리더와 같은 화면낭독 소프트웨어와 호환이 되는지를 고려해야 한다. 그런데 MathML 콘텐츠의 경우 시각장애인이 이용할 수 있도록 하기 위한 보조공학 기기가 국내에 아직 개발되어 있지 못한 상황이다. 다만, 국내에서 이용 가능한 스크린리더 중 죠스(JAWS) 한 종류만이 MathPlayer²⁾가 설치되어 있어서, 이를 통해 웹 페이지에 포함된 MathML 콘텐츠를 음성 출력과 점자 디스플레이로 표시할 수 있다. 그러나 MathPlayer와 호환되는 화면낭독 소프트웨어가 있다고 하더라도 국내에서 사용하기는 어렵다. 현재 개발되어 무료로 배포되고 있는 MathPlayer는 한국어를 지원하지 않아서 모든 메시지가 영어로 음성 출력된다. 그런데 수식을 읽는 체계가 한국어와 영어가 다르기 때문에 학습자가 이를 듣고 이해하기가 쉽지 않다. 즉, 한글과 영어의 언어적 특성에 따라 수식을 표현하는 방법이 다르기 때문에 수식의 음성 서비스 시 어려움을 겪게 되는 것이다. 단적인 예로 ‘분수’를 영어로 표현할 경우, 분자를 먼저 읽고 분모를 읽지만 한국어의 경우 분모를 먼저 읽고 분자를 나중에 읽는다. 이런 규칙을 배제하고 영어를 직역하게 되면, 학습자가 수식의 의미를 이해하기 어려울 수 있다(이재화, 2011). 또 다른 이유는 MathPlayer가 Nemeth Braille³⁾을 사용해 수학 기호를 점자로 표시하는데, 이것이 한글 점자와는 다른 체계이기 때문에 국내 점자 표기 체계와 전혀 호환성을 가지지 못하고 있다(김한규, 이해균, 2009). 따라서 화면낭독 소프트웨어를 사용하는 시각장애 학생이 MathPlayer를 사용해 수학 콘텐츠를 이용하기 위해서는 Nemeth Code를 새롭게 공부해야만 하는 어려움이 있다. 현재로서는 e-러닝 콘텐츠에 포함된 수학 및 기호를 화면낭독 소프트웨어가 접근할 수 있도록 하기 위해서는 대체 텍스트를 제공해 주는 방법을 사용할 수밖에 없다. 동시에 e-러닝 콘텐츠로 제공되는 학습 교재를 점자 도서로 제작해 시각장애 학습자들이 인쇄본으로 읽을 수 있도록 지원하는 방안도 고려해야 한다.

이와 같이 복잡한 수식, 기호, 그래프 등이 중요한 내용 전달 수단인 수학 영역의 e-러닝 콘텐츠 개발 전략에 대해서는 아직 구체적인 개발 방안이나 가이드라인을 제시해주지 못하고 있다. 김종무 외(2009)나 안미리, 노석준, 김성남(2009)의

2) 미국의 Design Science에서는 스크린리더 사용자가 MathML 콘텐츠를 웹에서 이용할 수 있도록 ‘MathPlayer’라는 인터넷 익스플로러용 플러그인을 무료로 제공하고 있다. MathPlayer는 인터넷 익스플로러 6.0 이상에서 동작하며, 웹 페이지에 포함된 MathML 콘텐츠를 음성 출력과 점자 디스플레이로 읽을 수 있도록 지원하고 있다(<http://www.dessci.com/en/products/mathplayer>).

3) Nemeth Braille은 미국의 Abraham Nemeth에 의해 창안된 수학 및 과학 분야 점자 표기 체계로서, 6점 점자 체계에 기초하고 있으며 미국에서 공식 수학 점자로 채택되어 사용되고 있는 것으로 한글 점자와는 다른 체계이다. 현재 국내에서는 수식을 점자로 표기하기 위해 ‘한글 점자 규정’의 수학 표기 방법을 사용하고 있으며, 국내 점자 표기 체계와 Nemeth Code와는 전혀 호환성이 없다.

연구에서 장애학생의 콘텐츠 접근성을 위한 전반적인 가이드라인과 추진 전략을 제안하고 있지만, 실제 개발 사례를 통해 구현 방안과 개발 전략을 구체적으로 제시해 주고 있지는 못하다. 특히, 미적분학과 같은 고등 수학은 많은 학습 내용을 복잡한 그래프와 수식을 통해 전달하므로 이러한 영역을 중심으로 e-러닝 프로그램 사례를 개발하면서 다양한 해결방안을 모색해보는 것은 의미가 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 복잡한 수식이나 그래프로 인하여 장애학생의 접근의 제한이 클 것으로 예상되는 수학 미적분학 내용을 중심으로 e-러닝 프로그램을 개발하면서 장애학생이 겪는 학습의 제한점에 대한 해결방안을 모색할 것이다. 이를 통해 궁극적으로 다양한 e-러닝 프로그램을 고려한 콘텐츠 개발 방안과 구체적인 전략이 제시될 수 있을 것이다.

이에 본 연구에서는 장애학생 고등교육에서 수학 미적분학을 중심으로 e-러닝 프로그램을 개발하면서 장애학생 교육이 효과적으로 이루어지도록 하기 위한 e-러닝 콘텐츠 개발의 실제적인 고려사항과 개발 전략의 개선점을 찾는 것을 목적으로 하였다. 또한 장애학생을 위한 e-러닝 설계 전략들의 실제적인 적용가능성을 탐색하고 장애학생 대상의 효과성을 평가하도록 하였다. 이에 다음과 같은 연구 문제를 설정하였다.

- 첫째, 장애학생 고등교육에서 수학 미적분학 내용의 e-러닝 프로그램을 개발할 때 실제적인 고려사항은 무엇인가?
- 둘째, e-러닝 프로그램에 대해 장애학생 평가를 실시하여 나타난 개발 전략의 개선점은 무엇인가?

II. 연구 방법

1. e-러닝 프로그램 개발

1) e-러닝 설계 전략 도출

장애학생 고등교육에 초점을 맞추어 e-러닝 설계전략을 도출하기 위해, 고등교육 환경의 시각, 청각, 지체장애 학생들을 중심으로 e-러닝 개발 전략과 지침을 제시하고 있는 선행연구들을 탐색하였다. 구체적으로 장애유형을 고려해 디지털교과서의 설계 가이드라인을 제공하고 있는 김종무 외(2009)의 연구, e-러닝 콘텐츠의 접근성을 개선하기 위한 추진전략을 제시하는 안미리, 노석준, 김성남(2009)의 연구, 장애

학생 고등교육 환경에서 보편적 설계를 e-러닝 콘텐츠 개발에 적용하여 개발 전략을 제시하고 있는 손지영, 김동일, 이기정(2008)의 연구들을 분석, 종합하여 e-러닝 설계 전략을 도출하였다. 각 선행연구들에서 시각, 청각, 지체장애인의 접근성을 확보하기 위해 제안하고 있는 e-러닝 설계 지침 및 전략들을 이미지, 텍스트, 동영상 등과 같이 콘텐츠의 구성 요소별로 분류하여 다음 <표 1>과 같이 정리하였다.

<표 1> 본 연구의 e-러닝 프로그램 설계 전략

e-러닝 구성 요소	설계 전략
이미지	<ul style="list-style-type: none"> • 화면낭독 프로그램과 같은 보조공학기기를 사용하여 읽을 수 있도록 이미지가 담고 있는 내용에 대해 구체적인 대체 텍스트를 제공해야 한다. • 이미지를 축소 또는 확대할 수 있어야 하며, 이 때 해상도에 차이가 없이 선명하게 제시될 수 있는 형태로 제공해야 한다.
동영상 및 음성	<ul style="list-style-type: none"> • 동영상정보에 대해서 동기화된 화면 해설을 구체적으로 제공해야 한다. • 동영상 화면 크기를 최대로 조절할 수 있도록 한다. • 음성의 재생 속도와 크기를 학습자가 조절할 수 있도록 해야 한다. • 동영상 및 음성에 동기화된 텍스트 자막을 눈에 잘 띄게 제공해야 하며, 자막의 가독성을 높여야 한다. • 동기화된 수화 자막을 제공해야 하며, 수화를 이해할 수 있을 정도로 충분히 크고 분명하게 제시해야 한다.
텍스트	<ul style="list-style-type: none"> • 텍스트의 모양, 색깔, 크기, 화면색 등을 사용자가 필요에 따라 변경할 수 있도록 해야 한다. • 텍스트의 정보는 색상을 배제하더라도 인지할 수 있도록 흑백모드에서도 프로그램이 실행될 수 있어야 한다. • 정확한 내용 전달을 위해 패딩이나 무늬가 있는 배경이 아닌 단색 배경에 제시하는 것이 좋으며, 깜박이는 텍스트를 사용하지 않도록 한다.
수식 및 기호	<ul style="list-style-type: none"> • 수식과 기호들은 해당 분야를 위해 개발된 마크업 언어를 사용해 표현해야 한다. • 수학 및 과학 분야 전문 마크업을 사용한 경우, 보조공학기기와 호환이 되도록 해야 한다.
도표	<ul style="list-style-type: none"> • 전체 구성 및 내용 흐름을 이해한 상태에서 도표 정보를 좀 더 체계적으로 파악할 수 있도록 도표 내용에 대한 요약 및 도표 구성에 대한 설명을 제시한다. • 셀 주소, 행과 열 제목, 병합여부 등 셀 간 이동 및 도표 정보 확인에 필요한 상세한 정보를 보조공학기기가 파악할 수 있도록 제작한다.
서식	<ul style="list-style-type: none"> • 서식을 구성하는 모든 제어 요소(예, 편집상자, 라디오버튼, 체크박스 등)는 표시 순서가 일정하도록 해야 하며, 서식 제어 요소 간 이동할 경우에 그 순서가 왼쪽 위에서 오른쪽 아래 부분으로 순차적인 이동이 가능하도록 해야 한다.
인터페이스 컨트롤	<ul style="list-style-type: none"> • 내비게이션 버튼이나 링크는 쉽게 클릭할 수 있도록 충분히 크게 개발해야 한다. • 모든 도구, 메뉴, 대화상자들은 키보드 및 다양한 입력 보조공학 기기로도 동등하게 사용할 수 있도록 해야 한다. • 어떤 부분에 초점을 맞추어야 하는지를 알리기 위해 중요한 정보를 강조하여야 한다. • 음향효과나 안내, 경고 등의 소리를 표현하기 위한 시각적 단서를 명확하게 제공해야 한다. • 학습 진행 방식의 조절 기능을 제공해야 한다.

2) 프로그램 개발

본 연구에서는 장애학생의 e-러닝을 위한 설계 전략들을 토대로 하여 고등 수학영역에 적합하게 설계 전략을 적용하여 e-러닝 프로그램을 개발하였다. e-러닝 개발은 조미현 외(2004)에서 제시하고 있는 단계를 근거로 하여 분석, 설계, 개발 과정이 이루어졌다. 우선, 공통적으로 반복되는 화면 작성 작업을 간략화하고 화면들 간의 일관성을 유지하기 위하여 화면의 구성요소 선정, 배치 및 설계, 레이아웃 설계 등의 스토리보드(storyboard) 작업이 이루어졌다. 그리고 온라인 학습의 각 단계별로 학습내용 제시방법, 평가 방식, 피드백 방식, 사례 제시 방법 등을 설계하고, 각 화면들의 텍스트, 그래픽, 멀티미디어, 음성 등의 설계가 이루어졌다. 각 학습 화면마다 장애학생들의 혼란을 줄이기 위해 메뉴 및 아이콘의 위치와 레이아웃을 항상 일관성 있게 유지했다. 그리고 학습내용 화면의 단계별 구성요소는 개인교수형(tutorial) 내용 전개의 순서대로 구성하였다.

e-러닝 프로그램은 ‘미적분학의 기초’ 라는 강좌 명으로 다음의 <표 2>와 같이 총 10차시가 개발되었으며 각 차시 단위별로 학습할 수 있도록 구현되었다. 학습내용은 학부 1, 2학년 학생들을 대상으로 학습할 수 있도록 난이도를 설정하였다. 또한 e-러닝 프로그램 개발에 사용된 기술 및 프로그램은 HTML과 Photoshop 및 MathML을 기반으로 하여 제작되었다. 최종적으로 교수 단계별 스토리보드 및 프로토타입(prototype)이 완성된 후, 설계전략 구현의 적절성에 대해 전문가 3인(특수교육 박사 1인, 교육공학 박사과정 1인, 수학교육 전문가 1인)이 평가를 실시하여 프로그램을 수정, 보완하였다.

<표 2> ‘미적분학의 기초’ 강좌의 10차시 구성

차 시	차 시 명
1	함수 I(functions I)
2	함수 II(functions II)
3	극한과 연속(Limits and continuity)
4	미분 I(differentiation I)
5	미분 II(differentiation II)
6	미분 III(differentiation III)
7	미분의 응용 I(Application of Derivatives I)
8	미분의 응용 II(Application of Derivatives II)
9	적분 I(Integration I)
10	적분 II(Integration II)

3) 초점집단토의

현재 국내 보조공학 기술의 한계로 인해 e-러닝 프로그램의 수학 콘텐츠를 시각장애 학생이 화면낭독 소프트웨어나 점자 디스플레이로 접근할 수가 없는 특이성을 고려하여, 수학 전문가와 시각장애인(학생)의 초점집단토의(focus-group discussion)를 실시하였다. 본 연구에서 e-러닝 콘텐츠 제작 시 MathML을 사용해 수학 콘텐츠를 표기하고 각 수식과 그래프에 대한 적절한 대체 텍스트 제공 방법을 도출하기 위해 초점집단토의를 2회 실시하였다. 첫 번째 토의에서는 4인의 수학 전공 시각장애인들로 초점집단을 구성하여 미적분학 강의 내용에서 사용하는 수식에 대한 대체 텍스트를 개발하였다. 이러한 전문가 집단은 전맹 시각장애인 중 학부에서 수학을 전공하고 현재 맹학교에서 수학 과목을 지도하고 있거나 EBS 수능 방송 중 수학과목 강의에 대해 화면 해설 원고를 집필해 온 4인의 현장 교사로 구성되었다. 두 번째 토의에서는 수학교육 전공 박사과정 1인과 공학을 전공하는 시각장애 대학생 1인, e-러닝 콘텐츠 개발 전문가 1인의 초점집단토의를 통해 그래프에 대한 적절한 대체 텍스트 제공방법을 도출하였다. 이러한 초점집단토의에서 수식과 그래프의 대체 텍스트 개발의 기본 원칙은 다음과 같았다.

- 수식과 그래프에 대한 대체 텍스트는 간결하게 읽힐 수 있도록 작성한다.
- 대체 텍스트는 수식이 기재된 순서와 동일하게 작성한다. 즉 이해를 돕기 위해 임의로 순서를 변경해 작성하지 않는다(분수식에서 분모와 분자의 순서를 바꿔서 기재하지 않는다).
- 수식이 복잡한 경우에는 괄호를 사용해 각 부분을 묶어서 구분지어 표기한다.
- 수식의 각 요소가 단항이 아닌 경우 그 시작과 끝을 명시적으로 표기해 준다.
- 대체 텍스트는 대상 수식과 그래프가 포함된 위치에서 사용되고 있는 언어로 작성한다. 만약 영문으로 작성된 문장 중에 포함된 수식인 경우 한국어가 아닌 영어로 대체 텍스트를 작성한다.

이와 같이 수식과 그래프에 대해 대체 텍스트를 작성하기 위한 기본 원칙을 수립한 후에, 각 초점집단토의를 통해서 e-러닝 콘텐츠에 포함된 모든 수식과 그래프에 대해 대체 텍스트를 작성하였다. 마지막으로, 시각장애 전문가들은 모든 대체 텍스트 내용을 검토하고 필요한 부분을 수정하였다.

2. 장애학생 사용성 평가

본 연구에서 개발된 e-러닝 프로그램이 장애학생들이 인식하기에 어떠한 강점

과 약점을 가지고 있고 개선점이 무엇인지를 파악하기 위해 장애대학생들을 대상으로 e-러닝 강좌를 평가하도록 하였다. 총 5명의 시각, 청각, 지체장애 대학생들이 온라인 평가에 참여하였다. 본 연구에서는 연구 목적에 적합한 평가 자료를 풍부하게 제공받을 수 있도록 e-러닝 활용 경험을 가지고 있으며 수학과 관련된 과목을 대학에서 수강한 경험이 있는 장애학생으로 선정하였다. 이에 서울 소재 대학에 재학 중인 시각장애 2명, 청각장애 2명, 지체장애(뇌병변장애) 학생 1명을 평가 참여자로 선정하였다. 평가에 참여한 장애학생들의 인적사항은 다음의 <표 3>과 같았다.

<표 3> 평가에 참여한 장애학생들의 인적사항

구분	장애등급	소속 / 학년	장 애 특 성
시각 장애	1	1급 A대학 사회과학대학 3학년	저시력 장애. 스크린 리더와 확대 소프트웨어, 확대기 등을 사용해야 함
	2	1급 B대학 공과대학 3학년	전맹. 스크린 리더를 사용하여 학습함
청각 장애	1	3급 A대학 사회과학대학 3학년	한 쪽 청력이 소실된 상태. 잔존청력과 독화로 의사소통함
	2	2급 C대학 공과대학 4학년	진행성 청각장애. 보청기 사용함. 독화와 보조 기기 사용하여 의사소통
지체 장애	1	2급 A대학 자연과학대학 2학년	뇌병변장애로 인해 손가락 사용이 불편하고 전동 휠체어 사용함

장애학생 평가방법은 발견적 평가(heuristic evaluation)가 실시되었는데, 이 평가 방법은 e-러닝 프로그램의 사용성 평가에서 흔히 사용되는 방법으로 주로 4-5명의 평가자가 개별적으로 평가 대상의 사용성을 평가하여 문제점을 도출하는 방법이다(Nielsen, 2000). 이 평가방법은 일련의 지침을 사용해서 사용성 문제를 찾아내는 가장 비형식적인 방법으로서, 각 프로그램의 요소들이 사용성 원리를 따르고 있는지를 판단하게 하는 방법이다(김동일, 손지영, 윤순경, 2008). 본 연구에서는 장애학생이 개발된 이러닝 강좌를 온라인으로 접속하여 개별적으로 학습해보고 콘텐츠 설계 전략의 사용성과 프로그램의 강점과 약점, 개선점에 대해 서술형으로 기술하는 방식으로 평가를 실시하였다.

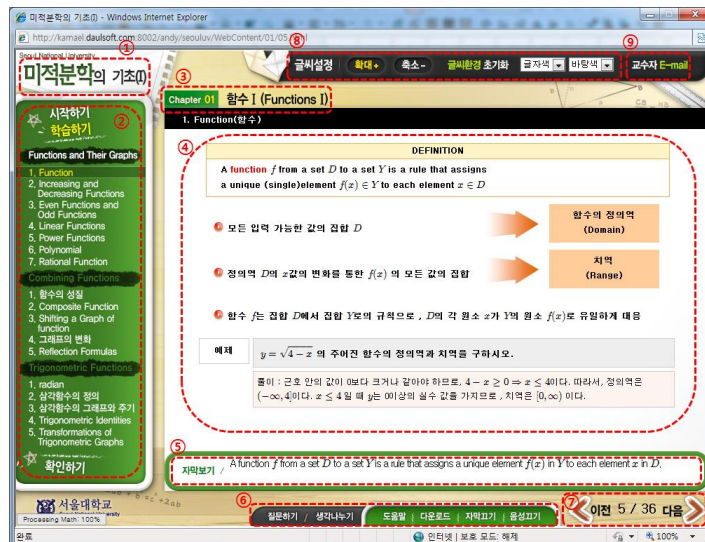
사용성 평가 항목은 Reeves와 Harmon(1994)이 개발한 상호작용적 멀티미디어 평가를 위한 인터페이스 평가 항목 중 본 연구의 상황에 맞게 6가지(내비게이션, 인지적 부담, 스크린 디자인, 사용자 조절, 정보의 제시방법, 심미성)를 선정하여 평가에 사용하였다. Reeves와 Harmon은 교육을 위한 상호작용적 멀티미디어 프로그램을 평가하기 위해 인터페이스 측면과 교육적 측면의 평가 지침을 제시하였는데,

김동일, 손지영, 윤순경(2008)의 연구에서는 이러한 평가 지침 중 인터페이스 측면을 평가하는 10문항으로 e-러닝 프로그램의 사용성을 평가하였다. 김동일, 손지영, 윤순경(2008)의 연구에서는 장애학생들의 행위 관찰(performance observation) 방법으로 사용성을 평가하기 위해 10개의 지침을 사용하였는데, 본 연구에서는 장애 학생의 발견적 평가 방법에 적합하게 평가 지침을 6가지로 간소화하여 평가를 실시하였다. 본 연구에서는 대상 장애학생들에게 사용성 평가 항목을 제시하여, 각 항목 별로 프로그램의 강점과 약점을 평가하여 기술하도록 하였다. 그리고 이러한 장애 학생들의 평가 결과는 평가 항목별로 분류, 범주화되었다.

III. 연구 결과

1. e-러닝 프로그램 개발의 실제적 고려사항

본 연구에서 e-러닝 프로그램이 어떻게 개발되었는지를 설명하면 다음과 같다. 우선, 학습화면은 다음 <그림 1>과 같이 과정명(①), 학습메뉴(②), 주차명(③), 학습내용(④), 자막(⑤), 부가기능(자막선택, 음성선택, 다운로드 등)(⑥), 화면이동(⑦), 텍스트 설정변경(⑧), 교수자이메일(⑨)로 구성되었다.



<그림 1> e-러닝 프로그램의 화면 구성

1) 수식의 MathML 표현

일반적으로 e-러닝 콘텐츠 제작 시 수학 기호들에 대해서 기존에 이미지로 표현되던 수식을 본 연구에서는 HTML형태의 일종인 MathML로 구현하였다. MathML을 사용해 수식을 표기하고 스크린리더 학습자를 위해 각 수식에 대해 대체 텍스트를 추가하는 방법으로 개발하였다. 학습화면 뿐만 아니라 자막 역시 MathML을 적용하여 구현하였는데, 제공되는 화면에 많은 수식이 존재할 경우 MathML 소스를 수식으로 변환하는데 시간이 소요되는 단점이 있었다. 하지만 HTML로 변환이 되었기 때문에 기존의 텍스트에 적용할 수 있었던 확대, 축소 등의 기능을 제공할 수 있었다.

2) 수식과 그래프의 대체텍스트 제공

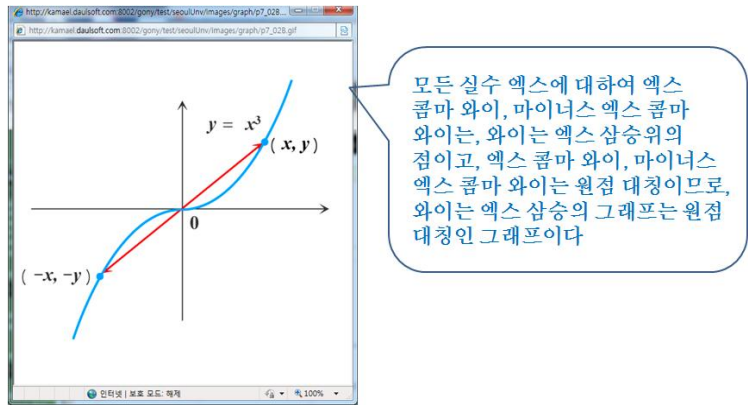
MathML로 구현된 수식 부분이 화면낭독 소프트웨어(스크린리더)에서 읽혀지지 않는 점을 보완하기 위해 수식에 대해 설명하는 대체 텍스트를 다음 <그림 1>, <그림 2>의 예시와 같이 제공하였다.

<그림 2> 수식에 대해 제공하는 대체텍스트의 예시 1

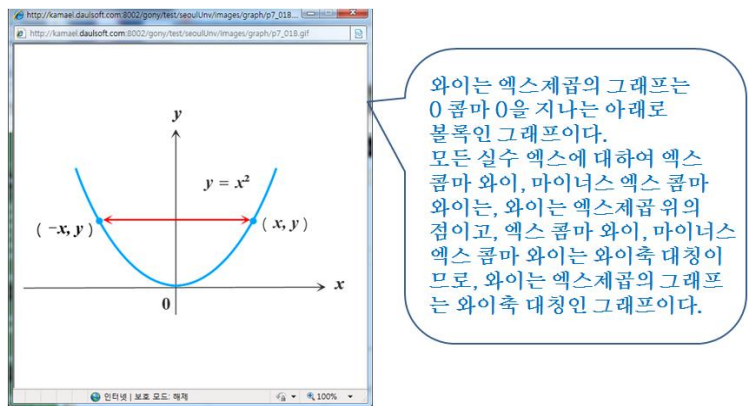
<그림 3> 수식에 대해 제공하는 대체텍스트의 예시 2

이것은 화면에는 보이지 않게 삽입하였고 스크린리더에서 순서대로 인식하고 읽어 줄 수 있도록 배치하였다. 이러한 수식에 대한 대체텍스트 개발은 본 연구의 초점집단토의를 통해서 이루어졌다.

본 연구에서 개발한 e-러닝 콘텐츠에서는 시각장애 학생이 스크린 리더를 사용하여 이미지 정보를 학습을 할 수 있도록 학습자료, 메뉴, 버튼 등의 모든 이미지 자료에 대체 텍스트(Alt-text)로 설명을 제공했다. 그리고 이미지로 제공되는 수학 그래프에 대한 설명을 대체텍스트로 제공하기 위하여 관련전문가와 장애학생의 초점집단토의를 실시하였으며, 이 결과 개발된 그래프에 대한 대체텍스트 설명의 예시는 다음의 <그림 4>, <그림 5>와 같다.



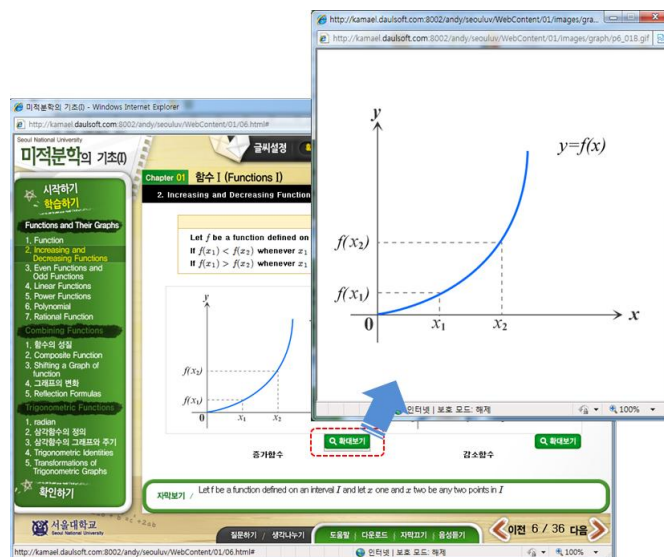
<그림 4> 그래프에 대한 대체텍스트 제공의 예시 1



<그림 5> 그래프에 대한 대체텍스트 제공의 예시 2

3) 그래프 및 도표의 확대 기능

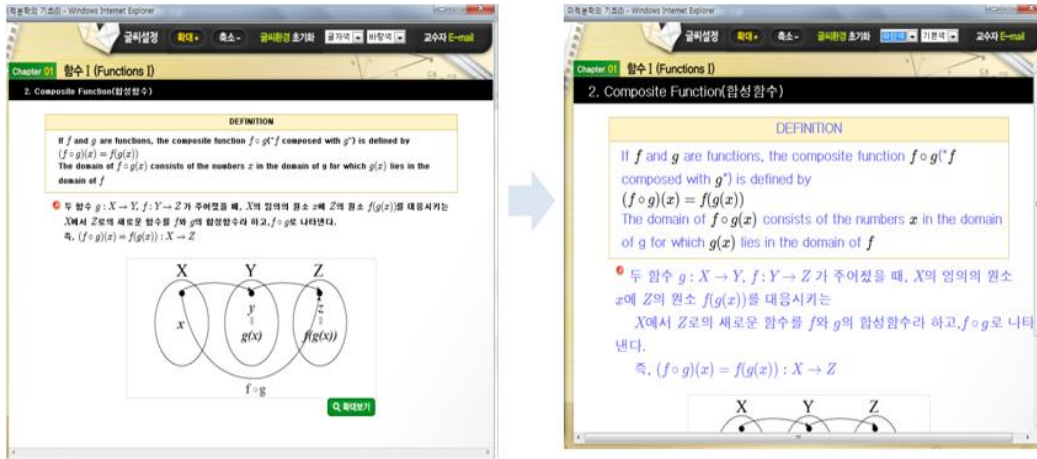
학습내용으로 제시되는 이미지 자료는 크기를 더 크게 제시하고 명확하게 보이도록 하면 저시력 학생들의 인지적 부담 및 정보처리에 필요한 별도의 노력이 줄어들게 된다. 따라서 본 연구에서는 개별 이미지를 최대로 확대해서 학습할 수 있는 기능을 제공하였다. 다음 <그림 6>과 같이 학습 내용에서 사용되는 이미지 자료(예, 사진, 그림, 표, 그래프 등)를 기존보다 크거나 전체 화면 크기로 쉽게 조절해서 학습할 수 있도록 개발하였다.



<그림 6> 그래프를 확대해서 학습할 수 있도록 하는 기능의 예시

4) 수식 및 텍스트의 설정 변경 기능

장애학생들이 학습내용의 수식이나 텍스트를 자신이 가장 잘 보이는 크기와 색상, 배경색으로 변경해서 학습할 수 있도록 텍스트 설정을 다음의 <그림 7>과 같이 선택할 수 있도록 하였다. 그리고 이러한 사용자 개인 설정은 인터넷 익스플로어 쿠키(cookie)에 저장되어 한 강좌에서 계속 유지되고 다시 로그인해서 들어와도 해당 텍스트 설정이 기억이 되어 자동적으로 처리되도록 하였다. 상단의 텍스트 설정에서 초기 설정보다 4배까지 확대할 수 있고 텍스트 색상 및 바탕색의 색상을 변경 가능하고, 이러한 사용자 개인 설정은 초기화 버튼을 통해 초기 설정으로 복귀 할 수 있는 기능을 제공하였다.



〈그림 7〉 수식과 텍스트 설정을 변경한 학습화면의 예시

5) 동기화된 자막 제공

본 프로그램은 내레이션과 동기화된 자막이 제시되도록 개발하였으며, 학습내용 부분과 분리해서 자막 공간을 아래에 만들었다. 이는 학습내용과 겹쳐서 제시되면 시각 정보를 가리게 될 가능성을 염두에 두었다. 그리고 ‘자막보기’ 아이콘을 만들어서 자막을 보기 원하지 않는 학생들을 위해서 자막을 선택할 수 있도록 했고, 자막을 보면서 학습하기에 편하도록 단순한 글씨체로 2줄씩 눈에 잘 보이는 곳에 제시하였다.

6) 학습 진행의 조절

본 강좌에서는 시각, 청각장애 학생들이 프로그램을 조작하거나 메뉴를 선택할 때에 따라가지 못하거나 놓치는 부분이 있을 수 있는데, 이러한 경우에 다시 듣거나 되돌아가서 학습할 수 있는 학습 진행의 조절 기능을 제공하였다.

7) 중요 정보의 시각적 강조

저시력 학생들은 e-러닝 콘텐츠를 학습할 때에 중요한 내용이 있는 부분에 주의집중을 하지 못하여 학습을 적절하게 못하고 넘어가는 경우가 있을 수 있다. 그러므로 학습 과정에서 가장 많이 사용하는 주요 기능(내비게이션, 목차 등)들은 크기, 모양, 색상을 뚜렷이 다르게 해서 그 위치를 강조했고, 필수적인 메뉴나 학습 정보들이 명확하게 구분 가능하도록 크기나 모양을 강조하였다.



<그림 8> 중요한 정보를 시각적으로 강조하고 조작성이 용이하게 구성한 메뉴 화면의 예시

8) 조작성이 용이한 메뉴 크기

마우스 사용이 불편한 지체장애 학생들이 세밀한 마우스 조작으로 인해 부가적인 노력을 하는 것을 막기 위해, 화면에서 선택하는 면적과 간격을 넓히도록 하였다. 내비게이션의 경우에 작은 버튼보다 텍스트로 설명과 함께 뚜렷이 구별되는 색과 이미지를 함께 사용해서 쉽게 구분이 가능하도록 했다.

2. 장애학생 사용성 평가 결과

본 연구에서 개발된 e-러닝 프로그램이 장애학생들이 인식하기에 어떠한 강점과 약점, 개선점을 가지고 있는지를 파악하기 위해 사용성 평가를 실시하였다. 총 5명의 시각, 청각, 지체장애 대학생들을 대상으로 온라인 평가를 실시하였다. 평가 결과, e-러닝 프로그램의 사용성 영역인 6가지 항목들에 대해 장애학생들이 강점으로 인식하고 있는 요소는 다음의 <표 4>와 같았다.

장애학생 평가 결과를 통해서 볼 때, 강사가 수식을 자세히 읽어주고 중요한 학습 내용을 강조해서 제시한 점, 장애학생들은 내비게이션 버튼이 적절한 크기와 텍스트로 되어 있어 눈에 잘 띄는 점, 단순하고 직관적인 사용이 가능한 점, 텍스트 및 이미지 확대 기능, 인식이 쉬운 그래프와 자막, 그래프에 대한 자세한 설명, 학습내용을 세분화하여 제시하는 점 등을 강점으로 제시하고 있음을 알 수 있었다.

<표 4> e-러닝 프로그램의 강점에 대한 장애학생 평가 결과

사용성 영역	학습자 평가 결과				
	시각장애 학생1	시각장애 학생2	청각장애 학생1	청각장애 학생2	지체장애 학생
내비게이션	다음 페이지 넘기는 버튼이 눈에 잘 띄	단순한 구조의 내비게이션이어서 학습이 편리함	메뉴가 텍스트로 구성되어 있어 사용이 편리함	학습하다가 다른 내용의 이동이 쉬움	내비게이션 버튼이 눈에 잘 띄고 크기가 큼
인지적 부담	강사가 수식을 자세히 읽어주어서 이해하기 쉬움	강사가 천천히 수식을 읽어주어서 학습하기 편함	자막에서 수식이 눈에 잘 보이게 제시하여 학습이 쉬움	학습내용 중 중요한 부분을 다른 색상으로 강조하고 있음	강좌 구성과 메뉴 사용이 단순하여 학습이 쉬움
스크린 디자인	직관적으로 사용할 수 있는 디자인	단순한 디자인이어서 좋음	일반적이고 단순한 디자인임		마우스 이동시에 색상이 변경되어 오류 방지함
사용자 조절	수식 확대가 전체적으로 잘 적용됨	학습내용이 자세히 나누어져 있어 중간에 복습하기 쉬움		그래프를 크게 확대해서 볼 수 있음	자막이나 음성을 조절할 수 있음
정보의 제시방법	이미지가 선명하게 잘 확대됨	그래프에 대한 대체텍스트 설명이 자세해서 이해가 쉬움	교수의 내레이션과 자막이 정확히 제시됨	자막이 읽기 편한 글자크기로 제시되어 있음	학습내용을 자세히 나누어 메뉴에서 곧바로 선택할 수 있음
심미성	색상이 선명해서 구분 잘 됨		눈이 피로하지 않은 편안한 색상임		

다음의 <표 5>에서는 평가에 참여한 5명의 장애학생들이 본 연구에서 개발된 e-러닝 프로그램의 단점으로 인식한 내용들을 제시하고 있다. e-러닝 프로그램의 단점에 대한 장애학생 평가 결과, 장애학생들은 목차 간격이 좁고 메뉴의 구분이 어려운 점, 학습내용에서 수식이 너무 많고 영어로 설명이 이루어진 점, 학습화면은 작고 내용이 많아서 복잡한 점, 기능에 대한 사전 설명의 부족, 텍스트 설정 메뉴 사용의 불편과 음성 속도 조절 기능이 없는 점, 초기에 자막의 로딩이 느린 점, 대체텍스트 설명의 부족, 디자인이 정적이고 지루한 점 등을 단점으로 제시하고 있었다.

<표 5> e-러닝 프로그램의 단점에 대한 장애학생 평가 결과

사용성 영역	학습자 평가 결과				
	시각장애 학생1	시각장애 학생2	청각장애 학생1	청각장애 학생2	지체장애 학생
내비게이션	아래의 메뉴가 같은 색상으로 이루어져 구분이 안 됨	전체적인 구조를 파악하는데 시간이 소요됨	다음 페이지 버튼을 너무 자주 눌러야 함		목차에서 제시된 메뉴들의 간격이 좁음
인지적 부담	수식들이 너무 많고 영어로 설명되어 있음	한 번에 제시된 학습내용 많음	자막에서 수식을 영어로 표기해서 이해가 어려움	교수가 수식을 영어로 설명해서 어려움	수식과 학습 내용이 너무 많음
스크린 디자인	학습목차의 메뉴 수가 많음	메뉴위치 및 기능에 대한 사전 설명이 없음	학습화면이 작고 내용 많음		텍스트 중심으로 이루어져 있어 역동성 부족
사용자 조절	텍스트 설정을 변경하는 아이콘의 간격이 좁아서 불편함		내레이션의 속도를 조절할 수 있는 기능 없음	자막이 제시되는 위치를 변경하거나 크게 확대할 수가 없음	음성 속도 조절이 없고 학습화면 자체를 크게 변경할 수 없음
정보의 제시방법	화면이 작고 학습 내용이 많아서 복잡함	메뉴에 대한 대체 텍스트 설명이 이루어지지 않은 부분이 있음	자막에서 영어로 된 수식이 많고 처음에 천천히 나옴	자막이 천천히 로딩되어 처음에 안 나옴	
심미성			주의를 끌거나 심미적이지 못함	전반적으로 비슷한 색상을 사용해 지루함	디자인이 정적이고 흥미롭지 못함

본 연구에서 장애학생들이 언급한 프로그램의 개선점을 토대로 하여 앞으로 수학 영역에서 장애학생을 위한 e-러닝 프로그램의 개발 방향에 대해 제시하면 다음과 같다.

첫째, 장애학생들의 인지적 부담을 줄이기 위해서는 학습내용을 한 화면에 많이 제시하지 말아야 할 것이며, 수식이나 그래프와 같이 특수한 내용의 학습이 이루어질 경우에는 학습내용이 더욱 간결하게 제시되어야 한다. 또한 영어로만 수식 설명이 제시되는 것은 지양해야 할 것이다. 본 연구에서는 수학 영역인 ‘미적분학’ 이하는

내용으로 수식과 그래프를 한 화면에 많이 사용하고 교수가 영어로 수식을 읽어주면서 수업이 이루어져서 장애학생들의 인지적 부담이 컸음을 알 수 있었다. 장애학생들 중 특히 청각장애 학생들은 영어 어휘를 이해하는 것이 다른 학생들보다 어려우므로 e-러닝 프로그램에서 영어 용어에 대한 사전 설명을 충분히 제공하는 것이 필요할 것이다.

둘째, 학습 속도 및 진행을 학습자가 조절할 수 있어야 하며 학습화면을 크게 하여 학습을 할 수 있도록 해야 한다. 즉, 장애학생이 학습과정과 제시화면을 조절할 수 있는 다양한 기능을 제공해야 한다. 장애학생 평가 결과, 청각장애와 지체장애 학생은 학습 속도 조절 기능이 없는 것을 단점으로 지적하였고, 시각장애와 지체장애 학생은 학습 화면을 크게 확대하는 조절 기능이 필요하다고 제시하였다. 따라서 학습을 진행하는 내레이션의 속도를 변경하여 학습 진행을 조절할 수 있도록 하고 학습 화면을 더욱 커지게 하거나 전체화면으로 확대되게 조절할 수 있도록 해서 장애 학생들이 편리하게 학습할 수 있도록 해야 할 것이다.

셋째, 수식을 자막에 사용할 때 음성과 자막의 연동이 원활하게 이루어져야 하며, 자막의 가독성을 높이기 위해 원하는 위치와 크기로 읽을 수 있도록 조절 기능이 필요하다. 본 연구에서는 자막에 있는 수식에 MathML을 적용하여 구현하였는데, 제공되는 화면에 많은 수식이 존재할 경우 MathML 소스를 수식으로 변환하는데 시간이 소요되어 초기에 음성정보와 자막의 연동이 원활하게 이루어지지 못했다. 이러한 기술적 문제점을 해결하고 자막이 적절하게 동기화될 수 있도록 해야 할 것이며, 청각장애 학생들이 자신이 원하는 곳으로 자막의 위치를 변경하고 자막 텍스트의 크기도 확대해서 볼 수 있도록 하는 기술적 구현이 필요할 것이다.

넷째, 시각장애 학생을 위해 학습에 필요한 주요 기능과 메뉴에 대체텍스트가 빠짐없이 제공되어야 하며, 학습을 시작하기 전에 프로그램의 기본 요소들을 설명하는 안내 및 지시를 시각, 청각적으로 제시해야 한다. 본 연구에서는 수식과 그래프에 대한 대체 텍스트 설명을 구체적으로 제공했지만, 시각장애 학생 평가 결과 학습에 필요한 주요 메뉴들에 대체텍스트 설명을 놓친 부분이 있음을 발견할 수 있었다. 그리고 대체텍스트 뿐만 아니라 메뉴 구성과 이용에 대한 설명을 미리 제공해주는 것이 시각장애학생의 학습을 위해 필요함을 알 수 있었다. 따라서 시각장애학생을 위해 주요 메뉴들에 대한 대체텍스트 제공과 적절한 사전 안내가 중요한 요소일 것이다.

다섯째, 장애학생을 위한 e-러닝 프로그램을 개발 시에 화면에 제시되는 아이콘의 수를 줄이고 크기와 간격을 늘려 단순하게 화면을 구성해야 한다. 그리고 가장 많이 사용하는 주요 기능이나 새롭게 나타난 요소들은 잘 보이는 곳에 배치하고 크기, 모양, 색상을 강조해야 한다. 본 연구에서 시각장애, 지체장애 학생들은 내비게이션과 스크린 디자인에 대한 평가 항목에서 메뉴가 복잡하고 간격이 좁은 점, 구분이 안 되는 점 등을 단점으로 지적하였다. 따라서 불필요하게 중복되는 아이콘이나

버튼의 수를 줄이고 꼭 필요한 기능을 중심으로 크기와 간격을 넓혀서 장애학생들이 사용하기 편리하게 구성해야 할 것이다. 또한 자주 사용하는 중요한 기능들은 눈에 잘 띄는 곳에 배치하고 다른 색상과 모양으로 강조해서 장애학생들이 효과적으로 사용할 수 있게 해야 할 것이다.

IV. 결 론

본 연구에서는 장애학생 고등교육 환경에서 수학 영역의 e-러닝 프로그램을 개발하여 장애학생이 효과적으로 학습하기 위한 e-러닝 강좌의 실제적 적용 예시를 보여주었으며, 장애학생 평가를 실시하여 프로그램 개발 전략의 개선점을 제시하고 있다. 구체적으로 MathML을 적용하여 수식을 제시하고 수식 및 그래프에 대한 대체 설명을 제공하면서 장애학생을 위한 수학 콘텐츠 개발의 구체적 적용 전략과 효과를 제시하고 있다. 고등교육 환경에서도 장애학생들이 장애를 극복하고 효과적으로 학습하기 위해 테크놀로지와 웹의 장점을 적극적으로 활용할 필요성이 더욱 높아지는 추세에 본 연구는 교수설계자, e-러닝 개발자들에게 장애학생을 위한 구체적인 설계 전략과 적용 방안을 제공해 줄 수 있을 것이다.

특히, 본 연구에서는 수학 미적분 내용과 같은 특수 콘텐츠에서 수식과 그래프를 접근성 있게 표현하기 위한 방법과 실제 구현 사례를 제시하였다는 데 의의를 들 수 있을 것이다. 본 연구 결과를 토대로 해서 향후 수학이나 과학 분야 교과목의 e-러닝 콘텐츠를 접근성 있게 표현하기 위한 방법에 대한 연구가 구체적으로 이루어져야 할 것이다. 그리고 더 다양한 수학 영역에서 장애학생들에게 e-러닝의 학습내용을 더 이해하기 쉽고 정확하게 전달할 수 있는 방법에 대해 체계적으로 연구되어야 할 것이다.

앞으로 장애학생을 위한 효과적인 e-러닝 프로그램 개발을 위해 더 많은 후속 연구가 뒤따라야 한다. 본 연구에서는 극히 소수의 장애학생을 대상으로 e-러닝 프로그램에 대한 사용성 평가를 실시하였기 때문에, 객관적 평가 자료로서는 제한점을 가진다. 따라서 앞으로는 좀 더 많은 장애학생들을 대상으로 학업성취도 및 만족도 등 다양한 학습결과 평가와 심층적인 사용성 평가를 실시하여 프로그램의 효과성에 대한 검증이 포괄적으로 이루어져야 할 것이다. 또한 본 연구는 장애학생의 고등교육 환경에 초점이 맞추어져 있는데 초·중등 교육까지 범위를 확장하고 다양한 장애 및 학습 특성을 가진 대상자로 확장하여 학습내용 전 영역에 걸쳐 실효성을 꾸준히 탐색하고 실제적 문제점을 해결해나가야 할 것이다.

마지막으로, 본 연구는 연구의 범위 측면에서 e-러닝 프로그램의 화면 설계 전략 및 정보 전달 방법에 초점을 두었다. 그래서 이 외에 온라인상에서 학습내용을 구조화하여 효과적으로 전달하는 구체적인 내용 설계 전략과 학습자 및 교수자의 상호작용 설계 전략 영역은 중점적으로 다루지 않았다. 또한 e-러닝 프로그램이 주로 시각, 청각, 지체장애 학생의 고등교육 상황을 중심으로 이루어진 것이 제한점이다. 따라서 앞으로는 e-러닝의 화면설계 전략 뿐 아니라 학습내용 및 상호작용 설계로 범위를 확장해나가서 적용 방안을 탐색하고 다양한 유형의 장애학생으로 대상자를 확장하는 것이 필요할 것이다.

참고문헌

- 김동일, 손지영 (2008). 장애 대학생의 효과적 학습 지원을 위한 e-러닝 설계 전략 연구. **특수교육학연구**, 42(4), 293-312.
- 김동일, 손지영, 윤순경 (2008). e-러닝에서 보편적 설계의 적용에 대한 사용성 평가 연구. **특수교육저널: 이론과 실천**, 9(2), 97-127.
- 김동일, 이해정, 손지영 (2005). 대학교육의 질 제고를 위한 Blended e-Learning 체제 정착 방안 연구-S대학교 사례를 중심으로. **아시아교육연구**, 6(4), 97-123.
- 김용욱 (2000). 장애대학생들을 위한 효율적인 가상강좌 연구. **난청과 언어장애연구**, 23(3), 193-211.
- 김종무, 금미숙, 김명호, 김성남, 김정호, 우이구, 육주혜, 이효자, 홍경순, 박선아 (2009). **특수교육용 디지털교과서 접근성 설계·평가 지침 개발 연구**. 교육과학기술부·한국교육학술정보원.
- 김한규, 이해균 (2009). 3개국 간 수학 점자의 비교-분석을 통한 체계 연구. **시각장애연구**, 25(4), 1-19.
- 손지영 (2009). **장애학생 고등교육을 위한 e-러닝과 보편적 설계**. 서울: 한국학술정보.
- 손지영, 김동일, 이기정 (2008). 장애학생을 위한 온라인 학습에서 보편적 설계 원리의 적용 효과 탐색. **2008년도 추계학술대회자료집**(pp. 109-133). 한국특수교육학회, 서울.
- 신승식 (2003). 국내 원격 교육 콘텐츠의 접근성 분석 사례. **2003년도 춘계학술대회자료집**(pp. 92-101). 한국콘텐츠학회.
- 안미리, 노석준, 김성남 (2009). **이러닝 콘텐츠 접근성 개선 추진 전략**. 한국정보화진흥원.
- 육주혜, 김성남, 금미숙, 고등영 (2009). 특수교육 디지털교과서에 대한 장애유형별 전문가 요구 분석. **특수교육재활과학연구**, 48(2), 139-157.
- 윤광보, 김용욱, 권혁철 (2002). 장애학생의 학습을 위한 보편적 설계의 실행 방안. **특수교육학연구**, 37(3), 263-282.
- 이재화 (2011). 국내 독서 장애인을 위한 수식의 음성 변환 기법에 대한 연구. 석사학위 논문, 숙명여자대학교 대학원.

- 이지선, 이병수, 장병욱 (2006). 사이버교육 콘텐츠의 웹 접근성 분석 및 평가. **교육정보미디어 연구**, 12(3), 177-195.
- 임병노, 김희배, 박인우, 임정훈 (2005). **e-러닝을 통한 대학교육 경쟁력 강화 방안 연구**. 한국교육학술정보원 연구보고 KR 2005-10.
- 조미현, 김민경, 김미량, 이옥화, 허희옥 (2004). **e-Learning 콘텐츠 설계**. 서울: 교육과학사.
- 홍은표, 이수현 (2003). MathML을 이용한 수학교과 ICT 활용 교육 개선방안. **정보교육학회 논문지**, 7(1), 11-26.
- Nielsen, J. (2000) *Designing Web Usability*. New Riders Publishing: Indiana USA.
- Reeves, T. C., & Harmon, S. W. (1994). Systematic evaluation procedures for interactive multimedia for education and training. In R. Sorel (Eds.), *Multimedia Computing: Preparing for the 21st Century*(pp. 472-505). Harrisburg, PA: Idea Group Publishing.
- Roh, S. Z. (2004). *Designing accessible web-based instruction for all learners: Perspectives of students with disabilities and web-based instructional personnel in higher education*. Unpublished doctoral dissertation, Indiana University, Bloomington.
- Rosenberg, M. J. (2001). *E-learning: Strategies for delivering knowledge in the digital age*. Mcgraw-hills.

e-Learning Program Development for Students
with Disabilities in Higher Education
- Focusing on the Calculus -

Kim, Dong Il

Seoul National University

Son, Ji Young

Cheongju University

Kim, Jeong Ho

XVision Technology Co., Ltd

<Abstract>

The purpose of the study is to develop and evaluate an e-learning program for college students with disabilities in the math area. An e-learning module of teaching calculus was developed according to design strategies for students with disabilities. Then, five college students with disabilities (vision, hearing, and mobility disability) evaluated the usability of the e-learning program. The e-learning contents were consisted of learning materials in a variety of formulation, graph, and media to support students with disabilities. The results of the study showed that the practical strategies of e-learning development are digitalizing formulas using MathML, providing alternative text, controlling various functions, synchronized captions, and usable interfaces. Additionally, through the results of usability testing a number of solutions to improve the e-learning program were suggested as follows: concisely representing of formulation and graph, multiple controls of size and pace, smooth linkage between voice and captions, alt-text descriptions of most image files, and simple user interface design.

Key Words

: college students with disabilities, e-learning, calculus, math

논문 접수: 2011. 08. 05 심사 시작: 2011. 08. 10 게재 확정: 2011. 09. 26