

생체모방 기반 융합 학습 모델을 적용한 '골격근의 구조와 수축'에 대한 디지털 교재 개발

김수연 · 권용주*

한국교육대학교

Development of a Digital Textbook on 'Structure and Contraction Mechanism of Skeletal Muscle' with the Learning Model for Biomimicry-Based Convergence

Soo-Youn Kim · Yong-Ju Kwon*

Korea National University of Education

Abstract : The purpose of this study was to develop a digital textbook on 'structure and contraction mechanism of skeletal muscle' with the learning model for biomimicry-based convergence. The unit of 'structure and contraction mechanism of skeletal muscle' is a part of Life Science I in high school. The convergence learning model was designed with three phases of biomimicry-based convergence (Exploration-Design-Implementation) including 3D modeling & printing. The developed digital textbook was composed of 8 sessions which contains the following learning contents : Exploration of skeletal muscle, creative designing of skeletal muscle using sketch application and 3D modeling, convergent implementing of the designed using 3D printing, exploration of muscle contraction, creative designing of muscle contraction using sketch application and 3D modeling, and convergent implementing of the designed using 3D printing. Each session is also involved in the contents of gallery widgets, media widgets, keynote widgets, sketch widgets, the cloud, polling widgets, and review widgets for interactive and mobile learning. After administering the developed digital textbook to 20 high school students, it was shown a positive effectiveness on life science learning for high school students. Moreover, the digital textbook was evaluated as to promote student's abilities on creative designs and implementation related to biomimicry-based convergence. The digital textbook was also shown a favorable response on students' interest and self-directed learning on life science.

keywords : skeletal muscle, muscle contraction, biomimicry-based convergence, digital textbook, life science.

I. 서 론

웹툰(webtoon)의 폭발적 성장에서 보듯이, 디지털 시대의 학습자는 종이로 제시된 활자 기반 콘텐츠

츠 보다는 디지털 디바이스에 제시된 멀티미디어 기반 콘텐츠를 훨씬 더 선호한다. 따라서 미래세대 학습자를 위해서 학습 콘텐츠를 디지털 교재(digital textbook)나 AR 및 VR 콘텐츠 같은 멀티

*교신저자 : 권용주(kwonyj@knue.ac.kr)

**2018년 6월 14일 접수, 2018년 7월 13일 수정원고 접수, 2018년 7월 13일 채택
<http://dx.doi.org/10.21796/jse.2018.42.2.95>

미디어 기반 디지털 학습 자료의 제공에 대한 요구가 점점 증가하고 있다. 이러한 멀티미디어 기반 디지털 콘텐츠는 학습자들에게 흥미와 동기의 증가 등 정의적 측면 뿐만 아니라, 학습 효과 상승 및 기억력 향상 등의 인지적 측면에서도 유의미한 교육적 효과를 보여준다고 보고되었다(Byun *et al.*, 2014; Kwon, Eom & Kwon, 2014). 특히, 최근의 연구에 따르면 디지털 교과서 등의 개선된 디지털 학습 콘텐츠는 학습 동기, 학습 만족도, 학습 효과 등의 측면에서 초등, 중, 고등학교 등의 학교교육에서 긍정적인 효과를 나타내고 있다고 보고되고 있다(Kim, Kwon & Kwon, 2017; Lee, Kwon & Kwon, 2016; Shin, Kim & Kwon, 2017).

이와 더불어 교육부(2015)는 4차 산업혁명 시대를 살아갈 미래인재들을 위해서 6개의 핵심 역량을 제안하고, 이 핵심 역량들을 기반으로 창의융합형 인재를 효과적으로 양성할 수 있는 교육과정을 제시하였다. 따라서, 이러한 창의융합형 인재를 양성하기 위해서는 다양한 지식의 융합을 토대로 새로운 지식을 생성해 낼 수 있는 융합형 수업 모델의 도입을 필요하다. 최근 생명과학 학습 역시 융합형 수업 모델의 하나로써 생명현상에 기반하여 일상생활에 대한 문제 발견과 해결 방안을 융합적으로 설계하고 구현하는 '생체모방 기반 융합 학습 모델'이 제시되고 있다(Byeon, Lee & Kwon, 2012; Kwon *et al.*, 2015). 구체적으로, Kwon *et al.* (2015)은 새의 비행을 모방하여 날개를 개발하는 Leonardo da Vinci의 생체모방 사고과정에 따르는 '탐색(Exploration)-설계(Design)-구현(Implementation)'의 과정으로 구성된 생체모방 기반 융합수업 모델을 제시하였다.

더 나아가, 이 연구에서는 3D 모델링과 프린팅 과정을 창의적 설계와 제작 과정에 포함하여 생체모방 기반 융합학습 디지털 교재를 구성하였다. 사실 융합수업에 관한 연구에 따르면 융합수업의 가장 큰 어려움 중 하나가 학생들이 산출물 제작에 어려움을 느끼고 있다는 것이다(Lee & Lee, 2014). 이렇게 산출물 제작에 어려움을 느끼는 이유는 산출물을 설계하고 제작할 때 공간 및 시간의 확보에 어려움이 많기 때문으로 보고되고 있다

(Kim, 2012). 이러한 어려움을 해결하는 하나의 방안으로 제시된 것이 융합학습 과정에서 3D 모델링과 프린팅을 활용하는 방안이다(Eom & Kwon, 2016). 3D 모델링은 컴퓨터상에서 원하는 입체구조를 구상, 표현, 수정하므로, 설계상의 시공간적 어려움을 획기적으로 줄여줄 수 있다. 3D 프린팅 역시 3D 모델링으로 만들어진 3차원 형상을 입체적인 구체물로 신속하게 제작해줌으로서(Moon, 2014), 수공으로 제작하기 어려운 입체구조물을 빠르고 간편하게 만들 수 있다.

한편, 생명과학에서 제시되는 거의 대부분의 학습 내용은 공간적 특성이 시간적 변인에 따라 변화하는 시공간적 요소가 융합된 특성을 함께 갖는 역동적인(dynamic) 구조이다. 이러한 시공간적 요소가 융합된 역동적 구조의 학습 내용은 서책형 교재에 제시된 2차원적 정적 구조로만 표현된다면 학습 내용의 많은 부분이 학습자에게 충분히 이해되지 못할 수 있다. 생명과학 학습 내용의 이러한 역동적 구조로 인하여 Apple의 'Life on Earth'같은 혁신적인 디지털 교재가 속속 출판되고 있다. 2015 개정 교육과정의 '생명과학 1'에 포함된 '골격근의 구조와 근 수축' 내용 역시 시공간적 요소가 융합된 대표적인 역동적 구조의 학습 내용이다. 따라서, '골격근의 구조와 근 수축'을 정적인 이미지인 서책형 콘텐츠 보다는 시공간적인 융합 특성을 풍부하게 표현되는 역동적 멀티미디어 기반 콘텐츠로 제시하는 것이 학습 효과에 훨씬 효과적일 수 있다.

그러므로, 이 연구에서는 고등학교 생명과학 1의 '골격근 구조와 근 수축'에 대하여 창의융합적 역량을 기를 수 있는 '생체모방 기반 융합학습 모델'을 적용하여 역동적 특성이 풍부하게 포함된 '디지털 교재'로 개발하였다. 개발된 디지털 교재는 근육의 구조와 움직임을 이해하는 단원이므로 디지털 교재에 2D 이미지는 물론이고, 3D 모형이나 동영상 등의 역동적 자료를 포함하여 학습자의 이해도 및 흥미도를 향상시키고자 하였다. 또한, 이 디지털 교재에는 3D 모델링 및 프린팅 기반 설계 및 구현을 포함하여 학습자의 창의적 문제 해결력과 학습 태도 및 동기 향상을 추구하였다.

II. 연구 방법

2. 학습 모델 및 디지털 교재의 개발 과정

1. 연구 절차 및 디지털 교재의 개발 과정

이 연구에서는 고등학교 ‘생명과학 I’의 ‘골격근의 구조와 근 수축’ 내용에 대하여 생체모방 기반 융합학습 모델을 적용한 디지털 교재를 개발하였다. 선행 연구 분석과 교육과정 분석을 통해 창의적 사고 역량을 키울 수 있는 교수 학습 모델 및 학습 단원을 선정하였으며, 개발 도구를 선정한 뒤 자료 개발 계획을 수립하였다. 교수 학습 모델에 맞춘 지도안 작성 후 세부 스토리보드를 작성하였으며, 필요한 자료를 수집하여 디지털 교재를 제작하였다. 디지털 교재 개발의 경험이 풍부한 3명의 전문가의 조언을 얻어 디지털 교재의 검토 및 수정이 이루어졌으며, 고등학교 1학년 20명을 대상으로 그 효과성을 확인하였다.

개발된 디지털 교재는 ‘골격근의 구조와 근 수축’ 주제에 대해서 ‘생체모방 기반 융합학습 모델’의 학습 단계에 따라 구성하였다(Table 1). 이 연구에 적용된 생체모방 기반 융합학습 모델은 ‘탐색(Exploration)-설계(Design)-구현(Implementation)’의 세 단계로 구성되었으며(Kwon *et al.*, 2015), 설계와 구현 단계에서 각각 3D 모델링과 3D 프린팅을 포함하여 적용하였다(Eom & Kwon, 2016). ‘탐색’ 단계에서는 일상생활에서 직면하는 문제를 발견하고, 이 문제에 대한 문제해결 방안과 관련된 생명과학 현상 및 공학적 사례에 대하여 디지털 기술을 활용하여 탐색하는 단계이다. ‘설계’ 단계에서는 탐색한 생체모방 기반 아이디어에 대하여 디지털 디바이스를 활용하여 창의적으로 융합하여 3D 모델링으로 고안하는 단계

Table 1. Phase of the learning model for biomimicry-based convergence on ‘Muscle Contraction Exercise’

Theme	Phase	Session	Goal of study
Structure of skeletal muscles	Exploration	1/8	· Problem finding in everyday life · Scientific exploration on the structure of skeletal muscle
	Design	2-3/8	· Designing applied the structure of skeletal muscle · 3D modeling of the designed creation using 3D modeling software
	Implementation	4/8	· 3D printing of the designed creation using 3D printer
Mechanism of muscle contraction	Exploration	5/8	· Problem finding in everyday life · Scientific exploration on the mechanism of muscle contraction
	Design	6-7/8	· Designing applied the mechanism of muscle contraction · 3D modeling of the designed creation using 3D modeling software
	Implementation	8/8	· 3D printing of the designed creation using 3D printer

이다. ‘구현’ 단계에서는 생체모방 아이디어를 3D 모델링으로 작성한 설계도에 따라서 3D 프린팅으로 창작물을 실제로 만들어내는 단계이다.

또한, 디지털 교재의 내용은 ‘골격근의 구조’와 ‘근 수축 기작’의 두 주제로 분리한 뒤, ‘생체모방 기반 융합학습 모델’에 따라서 각 주제를 세 단계로 각각 적용하였다(Table 1). 그리고, 차시별로 개발된 지도안을 토대로 모델의 각 단계에 해당하는 학습 내용을 구성한 뒤, 교재의 목적을 효과적으로 달성할 수 있도록 이 내용에 적절한 디지털 콘텐츠로 스토리보드를 작성하였다. 디지털 교재에 제시한 텍스트는 2015 개정 교육과정이 제안하는 학습 요소 및 성취 기준을 중심으로 재구성하였으며, 창의적 산출물 제작 과정 또한 학습자의 수준에 적절하게 안내하도록 제시하였다. 학습자의 이해를 돕고 디지털 교재의 디자인 요소를 고려하여 2D 및 3D 이미지, 동영상을 적절하게 구성하였으며, 위젯을 적용하여 학습자의 이해 및 학습을 돕고자 하였다. 이 디지털 교재에 사용된 모든 콘텐츠는 연구자가 직접 제작하였거나 저작권을 구입하여 사용하였다.

디지털 교재의 저장 도구로 Mac OS 기반의 ‘iBooks Author’를 이용하였다. iBooks Author로 개발한 디지털 교과서는 초보자도 쉽게 제작할 수 있으며, 초보자에 의해 개발된 콘텐츠의 수준이 매우 높은 것으로서 학습용 디지털 교재의 개발에 효과적인 저작도구로 평가받고 있다. 창의적 산출물의 설계 도구는 3D 이미지 제작 프로그램인 ‘Tinkercad’를 이용하였다. Tinkercad는 기본 3D 모형이 제공되며 조작이 간단하므로 학습 시간이 짧아도 초보자가 원하는 이미지를 쉽게 구현할 수 있다는 장점이 있다.

3. 디지털 교재의 적용 및 평가 과정

생체모방 융합학습 모델에 바탕으로 총 8차시의 ‘골격근의 구조와 근 수축’의 디지털 교재의 적용과 평가는 경기도 N시의 한 고등학교 수업에 모두 참여한 18명의 학생을 대상으로 이루어졌다. 수업에 참여한 학생들은 모두 이전에 디지털 교재를 사용

한 경험이 없었다. 수업은 2인 1팀으로 운영하였으며 무선 인터넷 환경에서 팀당 1대의 iPad를 사용하였다.

디지털 교재의 효과성 평가는 Jeong(2008)이 개발한 도구를 전문가의 검토를 거쳐 이 연구 목적에 적합하게 수정하여 사용하였다. 평가는 총 8차시의 수업 후, 네이버 폼을 이용하여 디지털 교과서 사용자 영역의 평가 요소인 ‘효과성’, ‘수업 만족성 및 학습 용이성’ 분야에 대하여 리커트 5점 척도로 응답하게 한 후 분석하였다.

또한, 이 연구에서 개발한 디지털 교재로 수행한 학습에 대하여 학생들의 생체모방 지식과 융합 지식, 그리고 디지털 교과서 이용에 의견 등에 대한 설문도 함께 실시하였다. 이 설문지는 디지털 교재 및 융합학습 전문가 3인의 수정 및 보완을 거쳐서 ‘수업에 사용한 생체모방 지식’, ‘수업에 사용한 융합 지식’, ‘디지털 교재에 대한 평가’ 등의 3가지 항목을 제시한 후, 학습자가 기술한 설문 내용을 분석하였다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 디지털 교재의 개발 결과

개발된 디지털 교재는 총 2개의 장으로 개발되었으며, 1장에서는 ‘골격근의 구조’를 4차시 수업으로, 2장에서는 ‘근 수축 기작’으로 4차시 수업으로 구성하였다. 각 장은 생체모방 기반 융합 학습 모델에 따라서 각각 생물학적 지식 탐색 및 이를 적용한 창의적 산출물의 설계와 제작으로 교재를 구성하였다.

먼저, ‘골격근의 구조’에 대한 디지털 교재에서는 일상생활에서 발견한 문제와 이에 대한 생체모방 대상으로 선정한 골격근의 구조에 대해서 사진과 텍스트로 소개하였다. 그런 다음, 골격근의 상세한 구조에 대해서 강조 위젯을 이용한 애니메이션과 갤러리 위젯을 이용한 다양한 이미지로 제시하여 학습자의 흥미와 이해도를 높였다. 또한, 탐색 위젯

을 사용하여 학습자가 골격근의 구조 및 이와 관련된 생체모방 아이디어에 대해서 자기주도적인 학습을 경험하도록 교재를 구성하였다. 이어서, 학습자는 골격근의 구조와 관련된 생체모방 아이디어를 스케치 위젯 등으로 구체화 한 후, 전체 동료들과 스케치를 공유하면서 의사소통 과정을 경험하도록 교재를 구성하였다. 그런 다음, 학습자는 생체모방 기반 문제해결 아이디어를 3D 모델링 소프트웨어를 통해서 설계도로 작성하도록 교재를 구성하였다. 3D 모델링을 통해 팀별로 작성한 생체모방 기

반 창작물의 설계도는 3D 프린터를 활용하여 실제 창작물로 구현하도록 교재에 안내하였다. 이러한 과정으로 구성된 디지털 교재의 일부 내용을 Figure 1에 제시하였다.

다음으로, '근 수축의 기작' 내용의 디지털 교재에서는 일상생활에서 발견한 문제에 대해서 근 수축 기작을 생체모방하여 고안한 융합적 해결 방안을 설계하고, 3D 프린팅으로 구현하는 과정으로 구성하였다. 문제 해결을 위한 생체모방 대상으로 선정된 근 수축 기작에 대해서 3D 이미지 위젯, 동

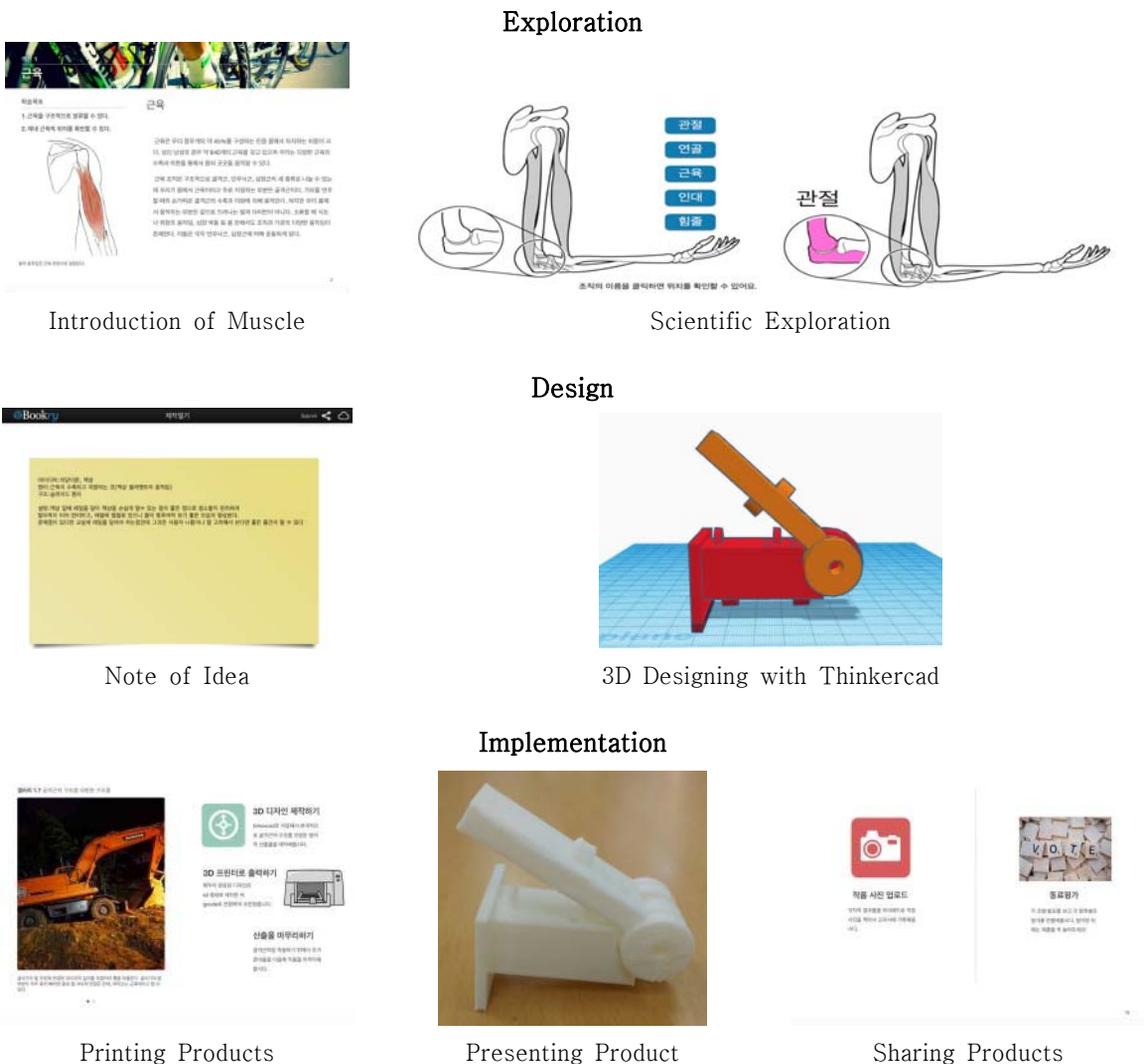
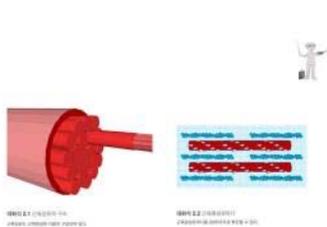


Figure 1. Contents of the digital textbook on the structure of skeletal muscle

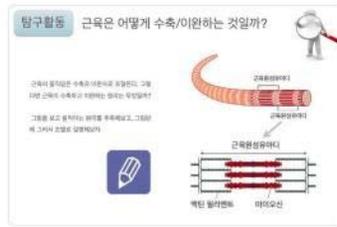
영상 위젯, 동료들과 의사소통을 할 수 있는 위젯 등으로 학습 내용을 제시하였다. 이를 통하여 발견한 문제의 해결과 관련된 생체모방 대상으로 근 수축 기작을 효과적으로 탐색할 수 있는 자기주도적 학습과 학습자의 흥미를 고려한 교재를 구성하였다. 이어서, 근 수축 기작을 생체모방한 문제해결 아이디어를 학습자가 고안하여 스케치 위젯 등으로 구체화 한 후, 전체 동료들과 스케치한 아이디어를

공유하면서 의사소통 과정을 경험하도록 교재를 구성하였다. 그런 다음, 학습자는 스케치한 문제해결 아이디어를 3D 모델링 소프트웨어인 Tinkercad를 통해서 3D 이미지로 작성하도록 교재를 구성하였다. 3D 모델링을 통해 작성한 3D 이미지 설계도는 3D 프린터를 활용하여 실제 창작물로 구현하도록 교재에 안내였다. 이러한 과정으로 구성된 디지털 교재의 일부 내용을 Figure 2에 제시하였다.

Exploration



3D Image of Muscle Contraction



Exploration of Muscle Contraction

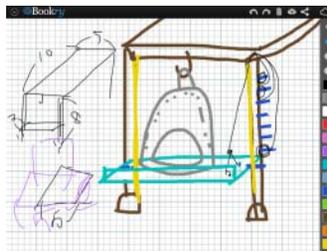


Video Clip of Muscle Contraction

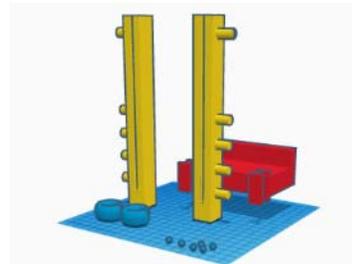
Design



Uploading Idea



Sketch of Idea



3D Designing with Tinkercad

Implementation



Printing Product



Sharing products

Figure 2. Contents of the digital textbook on the mechanism of muscle contraction

직접 제작한 스케치 이미지나 3D 이미지, 구현된 창작물의 이미지 등은 온라인에서 전송 및 수정이 가능하도록 URL을 연결하는 위젯을 활용할 수 있도록 교재에 제시하였다. 더 나아가, 이 교재는 학습 관리를 위해서 학습자가 최종 산출물을 업로드 할 수 있는 포토 위젯, 동료 평가를 위한 투표 위젯, 학습의 이해 정도를 파악하고 학습을 마무리할 수 있는 복습 위젯과 게임 위젯 등으로 교재의 구성을 마무리하였다.

2. 디지털 교재의 적용 및 평가 결과

개발된 디지털 교재의 학습 효과성에 대한 조사 결과는 Table 2와 같다. 학습자들은 특히 골격근의 구조와 근 수축 기작 같은 학습 내용을 이해하는데 있어서 10개항목 모두에서 4.6/5점 이상을 나타낼 정도로 디지털 교과서가 매우 효과적이었다고 응답

하였다. 이는 개발된 디지털 교재의 학습 내용이 역동적 구조라는 특성임을 고려할 때 서책형 교재의 정적인 표현보다 역동적인 멀티미디어를 활용한 표현이 학습 내용의 이해에 보다 효과적이라는 것을 제시하고 있다. 또한 학습자들은 생체모방 기반 융합 학습의 각 단계인 탐색-설계-구현의 과정을 학습하는데 디지털 교과서가 효과적이었다고 응답하였다. 이러한 결과는 최근의 디지털 교재의 학습 효과성에 대한 연구 결과와 일치하는 결과로서 (Eom & Kwon, 2016; Kim, Kwon & Kwon, 2017). 특히, 디지털 교재에서 제공된 다양한 역동적 멀티미디어 자료들이 학습자들의 학습 내용 이해도를 높이고, 디지털 기반 설계와 구현의 콘텐츠가 학습자들의 아이디어 적용 및 산출물 제작에 많은 도움을 준 것으로 판단된다(Lee, Kwon & Kwon, 2016). 다만 창의적 산출물 제작에서 창의성의 향상 여부에 대한 응답 결과가 다른 결과에

Table 2. Questionnaire results on the learning effectiveness of digital textbook

Questionnaire content [Learning effectiveness]	mean score/ 5 point
• Were you interested in learning about muscle contraction exercise when studying with the digital textbook?	4.78
• Did you continue to be interested in learning about muscle contraction exercise while studying with the digital textbook?	4.72
• Did the digital textbook help you learn on your own initiative?	4.72
• Did the digital textbook help you understand the various observation inquiry methods?	5.00
• Do you think that the digital textbook helped you understand muscle contraction exercise?	4.67
• Are you interested in design creative output when studying with the digital textbook?	4.78
• Are you interested in making creative output when studying with the digital textbook?	4.78
• Do you think that the digital textbook helped you design creative output?	4.72
• Do you think that the digital textbook helped you make creative output?	4.67
• Did you think that creativity has increased in the process of making creative output with the digital textbook?	4.48

비해 다소 낮은 것은 3D 프린팅으로 산출물을 제작하는 과정이 학생들의 창의적 역할을 많이 요구하지 않아서 나타난 결과로 분석된다.

디지털 교재의 만족성 및 용이성에 대한 조사 결과는 Table 3과 같다. 조사 결과에 따르면 학습자들은 디지털 교재를 이용한 학습 활동에 9/10 항목에서 4.6/5점 이상을 나타낼 정도로 만족도가 매우 높으며, 쉽고 편리한 학습이 이루어졌음으로 나타났다. 수업 도중 디지털 교재로 학습하는 자체에 흥미를 보인 학생들이 다수 관찰됐으며, 일부 학생의 경우 교사가 안내한 학습 방법 이외의 디지털 교재에 숨겨진 기능을 찾아내며(하이라이트 기능, 그림 회전 기능 등) 평소보다 적극적인 태도로 수업에 임하는 모습을 보였다. 이는 디지털 교재의 멀티미디어 다양성과 흥미도 및 자기주도적 학습 기능 등에서 효과적이라는 선행연구의 결과(Kim *et al.*, 2017; Shin *et al.*, 2017)를 지지하는 디지털 교재의 긍정적인 효과라고 할 수 있다. 다만, 일부

학습자들은 디지털 교재에서 필요한 자료를 찾는 것이 어렵다는 보였는데, 이는 처음 접하는 새로운 디지털 기기의 사용에서 나타날 수 있는 어려움으로서 만족도를 저하시킨 원인으로 판단된다(Lee, Kwon & Kwon, 2016). 앞으로 학습자들에게 디지털 교재를 탑재한 디지털 기기의 사용 기회가 많아진다면 자연스럽게 해결될 문제로 판단된다.

더 나아가, 이 연구에서는 생체모방 기반 융합 수업에서 지식을 사용하거나 융합했는지 여부에 대한 개방형 질문을 통해 학습 중에 창의적 사고를 자극하였는지 알아보았다. 이에 대해 A학생은 다음과 같은 창의적인 사고 발현을 보여주었다: ‘골격근이 움직이는 원리를 적용할 수 있는 산출물을 다양하게 탐색한 결과 자동 소등 장치를 구상하였다’(발산적 사고). ‘자동 소등 장치를 설계할 때 골격근의 운동 원리(과학적 지식)와 3D 프린팅 결과물(공학 지식)을 고려하여 아두이노로 소등을 조절하는 방식을 고안했다’(수렴적 사고). 또한 B학생도 다음

Table 3. Questionnaire results on the satisfaction and facility of digital textbook

Questionnaire content [Learning effectiveness]	mean score/ 5 point
• Are you satisfied with learning activities using the digital textbook?	4.94
• Do you want to continue to use the digital textbook in your future learning?	4.94
• Did multimedia materials(pictures, videos, etc.) in digital textbook help you learn?	4.83
• Did the communication with digital textbook help you learn?	4.67
• Are you satisfied with the amount of time or frequency of communication with digital textbook?	4.89
• Did you have enough feedback on your learning?	4.78
• Was it easy and convenient to use the digital textbook?	4.67
• Was it convenient to watch and read the contents presented on the screen of the digital textbook?	4.89
• Was it easy and convenient to find the contents you wanted in the digital textbook?	4.67
• Was it easy and convenient to find the materials you wanted in the digital textbook?	4.48

과 같은 창의적 사고 발현을 나타내었다: '근수축 운동 원리를 적용할 수 있는 게임을 탐색한 결과 (발산적 사고), 마이오신이 액틴 필라멘트로 슬라이딩하는 원리(과학적 지식)와 3D 설계도(공학적 지식)를 고려하여 축구 게임을 구상하였다'(수렴적 사고). C학생 역시 같은 방식으로 창의적 사고를 발현하여 골격근의 구조를 이용해 자동 도장 장치를 개발하였다. 이상으로 볼 때 이 연구의 디지털 교재 개발에 적용한 생체모방 기반 융합학습 모델은 학습자의 창의성 발현에도 적합한 수업 모델임을 알 수 있다.

디지털 교재와 생체모방 기반 융합 수업에 대한 개방형 질문에 대해 학생들은 대체적으로 긍정적인 반응을 보였다. 학습 내용을 응용하여 생체 모방을 통해 창의적 산출물을 제작할 때 학습자는 이해도가 높아졌다고 응답하였으며, 흥미가 생겼다고 반응하였다. 디지털 교재를 이용함으로써 보다 활동적이고 자기주도적인 학습이 가능하였으며, 자료의 접근성과 다양성이 좋아 학습의 용이성과 학습 효과 증진에 유용했다고 응답하였다.

반면, 전자기기 및 3D 모델링 소프트웨어에 익숙하지 않은 학생들은 다른 학생들보다 적응에 다소 추가적인 시간이 필요했으며, 느린 무선 인터넷 환경과 iPad에 스케치할 때 손으로는 세세한 표현이 어려워서 터치펜이 필요했다는 점에서 아쉬웠다고 응답하였다. 디지털 교재의 학습 방법과 3D 이미지 제작 프로그램 사용 방법을 충분히 숙지할 수 있는 사전 교육 시간을 가질 필요가 있으며, 학습에 iPad와 함께 호환되는 터치펜을 제공하는 방식이 하나의 개선 대안이 될 수 있다.

IV. 결론 및 교육적 함의

이 연구는 생체모방 기반 융합학습 모델을 적용하여 고등학교 생명과학 I의 '골격근 구조와 근 수축 기작'에 대한 디지털 교재를 개발하였다. 교육과정의 성취기준 분석을 통해 융합학습 모델의 각 단계인 '탐색-설계-구현'에 적합한 학습 목표 및 내

용을 구성한 뒤 교수·학습 지도안과 스토리보드를 작성하였다. 스토리보드를 기반으로 2D 및 3D 이미지와 동영상, 키노트 등의 멀티미디어 자료를 개발하였으며, 저작도구인 iBooks Author를 사용하여 학습자의 흥미와 학습 효과를 높일 수 있는 다양한 위젯을 포함하는 디지털 교재를 개발하였다. 특히, 설계와 구현 단계의 디지털 교재에서 3D 모델링과 3D 프린팅을 디지털 콘텐츠와 결합하여 적용함으로써, 학습 과정을 효과적으로 수행하도록 하였고 학습자의 학습 만족도를 향상시키고자 하였다. 개발된 디지털 교재는 전문가의 검토 및 조언을 얻어 수정, 보완한 후 고등학생을 대상으로 적용하였다. 학습에 참여한 학생들은 디지털 콘텐츠와 3D 모델링과 프린팅 및 생체모방 기반 융합 수업 등의 효과성, 수업 만족성, 그리고 학습 용이성에 전반적으로 긍정적인 평을 하였다.

이상의 결과를 바탕으로 얻은 본 연구의 결론은 다음과 같다.

첫째, 골격근의 구조와 근 수축 기작의 이해를 돕고 학습자의 흥미를 유발하며, 자기주도적으로 학습할 수 있는 이미지와 동영상 등 다양한 멀티미디어 콘텐츠를 활용한 디지털 교재를 제작하였다. 골격근 주변의 조직의 세부 위치를 표현한 키노트 위젯, 근육의 움직임을 시공간적 역동성이 포함된 동영상, 근육원섬유마디의 3D 구조 등의 자료는 학습자들의 흥미를 일으켜 자기주도적인 학습 기회를 제공하였다.

둘째, 근 수축 기작을 이용한 창의적 산출물 제작에 필요한 공학적 지식을 자발적으로 학습할 수 있는 탐색 위젯, 멀티미디어 자료 제공 위젯, 스케치 위젯 등을 활용한 디지털 교재를 개발하였다. 각 주제별 과학적·공학적 지식과 더불어 그 지식이 적용된 사례를 제공하거나 탐색하는 위젯을 포함하였으며, 노트 위젯과 스케치 위젯은 학생들의 아이디어를 자유롭게 표현할 수 있는 기회를 제공하였다. 각자의 아이디어는 클라우드 공유 및 발표를 통해 상호 피드백을 주고받았으며, 최종 보완된 아이디어로 창작물을 제작할 수 있었다.

셋째, 이 디지털 교재는 수업과정의 설계와 구현 단계에서 학생들의 아이디어를 손쉽게 체계적으로

설계하고 또 창작물로 구현할 수 있는 3D 모델링과 프린팅의 활용 방안을 디지털 콘텐츠로 제작하여 교재에 포함하였다. 이러한 3D 모델링과 프린팅의 활용은 학습자들에게 창의적 사고를 자극하고 학습의 용이성을 증진시킬 수 있는 기회를 제공하였다.

이상의 결론을 토대로 생체모방 기반 융합학습 모델을 적용한 ‘골격근 구조와 근 수축 기작’ 주제의 디지털 교재 개발은 다음과 같은 교육적 함의를 제공할 수 있다.

첫째, 이 디지털 교재는 골격근과 근 수축 기작의 학습에 효과적으로 이용할 수 있다. 학습에 필요한 2D 이미지는 갤러리 위젯의 형태로 다수 담아낼 수 있으므로, 학습자가 학습내용에 손쉽게 접근할 수 있는 자기주도적 학습교재의 제작이 서책형 교재에 비해 용이할 수 있다. 디지털 콘텐츠로 구현 가능한 동영상과 3D 이미지 등의 역동적 멀티미디어 자료는 학습자의 흥미와 학습동기를 진작시켰으며, 쉬운 조작으로 다양한 범위의 학습을 가능하게 해줌으로서 학습자의 수준에 적합한 맞춤형 학습을 제공할 수 있다.

둘째, 이 연구에서 개발된 디지털 교재는 학습 공간 및 학습 도구의 일치와 클라우드 공유를 통한 즉각적인 아이디어 피드백이 가능하며, 학습 활동의 온라인 제출이 용이하다. 또한 학습자 사이의 수월한 의사소통은 물론이고, 집단지성 활동도 가능하게 하여 공동체의 창의적 사고를 확장할 수 있어 4차 산업혁명 시대의 학습자 역량 증진에 효과적인 도구가 될 수 있다.

셋째, 개발된 디지털 교재에 활용된 생체모방 융합 전략은 생명과학 영역 및 융합교육 영역에서 활용 가능한 하나의 유용한 학습전략이 될 수 있다. 생체모방은 생명현상에 관련된 지식을 창의적 디자인을 위한 공학적 지식에 융합하는 전략으로서, 창의융합적 문제해결 역량을 증진시킬 수 있는 전략이다. 따라서, 이러한 생체모방 기반 융합학습 전략을 생명과학 수업 또는 융합교육 수업에 적용한다면 학습자의 창의융합적 문제해결 역량 증진에 효과적인 수업 전략으로 활용될 수 있을 것이다.

넷째, 학습 모델의 단계 중 ‘설계’와 ‘구현’ 단계

에서 적용한 3D 모델링 및 3D 프린팅은 현재 융합교육의 교실적용에서 당면한 어려움의 하나인 창작물 설계 및 제작의 시공간적 제한을 해결해 줄 수 있는 유용한 대안의 하나가 될 수 있다. 실제로 수업에서 창출해내는 학습자의 다양한 아이디어는 창작물로 구현되기에는 시공간적으로 여러 가지 제한이 따른다. 그러나, 3D 모델링 및 3D 프린팅은 이러한 제한을 컴퓨터와 3D 프린터가 갖추어진 교실 환경에서 손쉽게 극복할 수 있다. 따라서, 이 연구에서 제시한 3D 모델링과 3D 프린팅의 적용은 4차 산업혁명 시대가 요구하는 학교 교육 목표를 효과적으로 달성하게 해주는 유용한 도구로 제시될 수 있다.

참 고 문 헌

- Byeon, J., Lee, I., & Kwon, Y. (2012). Development of biomimicry convergence instruction model based on creative problem solving process. *Biology Education*, 46(3), 327-343.
- Byun, H. S., Cho, W. Y., Kim, N. G., & Ryu, J. H. (2009). The effects of ARCS components in the instructional media motivational survey and perceived usefulness on achievement using K-6 mathematics digital textbook. *The Korean Journal of Educational Methodology Studies*, 21(1), 47-67.
- Eom, J., & Kwon, Y. (2016). Development of the biomimicry-focused convergence teaching program using 3D modeling & printing in life science. *Biology Education*, 44(4), 658~673.
- Jeong, Y. S. (2008). Development of evaluation criteria on digital text-book. *The Journal of Korean Association of Computer Education*, 11(3), 13-20.
- Kim, B., Kwon, S., & Kwon, Y. (2017). Development and application of a digital

- textbook on the scientific observation for inquiry of biological phenomena in elementary science. *Biology Education*, 45(2), 259~267.
- Kim, S. (2012). A study on the pre-teachers' satisfaction at design product manufacturing class for enhancing creativity. *The Korean Journal of Technology Education*, 12(2), 139-159.
- Kwon, S., Eom, J., & Kwon, Y. (2014). Analysis of scientific questions generated by types of digital contents in learning biology. *Brain & Learning*, 4(2), 1-11.
- Kwon, S., Eom, J., Lee, Y., & Kwon, Y. (2015). Convergence thinking process in the invention of flight machine based on bio-mimicking flight of bird: Focused on the analysis of Leonardo Da Vinci notes. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 15(10), 447-466.
- Lee, H., Kwon, S., & Kwon, Y. (2016). Development of a convergence-centered digital textbook on hearing organ using iBooks author. *Biology Education*, 44(1), 49-59.
- Lee, S., Kwon, S., Choi, S., & Kwon, Y. (2016). Development of a digital textbook on hormone and homeostasis regulation based on convergence learning model for high school students. *Biology Education*, 44(3), 477~486.
- Lee, Y., & Lee, H. (2014). The effects of engineering design and scientific inquiry based STEAM education programs on the interest, self-efficacy and career choices of middle school students. *Journal of Research in Curriculum & Instruction*, 18(3), 513-540.
- Ministry of Education [MOE]. (2015). *2015 Revised Curriculum Introduction*. Sejong: Author.
- Moon, H. (2014). 3D printing of the wind instruments. *Journal of Music Education Science*, 18, 105-118.
- Shin, H., Kim, D., & Kwon, Y. (2017). Development of a digital textbook on blood circulation in junior high school science. *Biology Education*, 45(1), 117~124.

국 문 요 약

이 연구의 목적은 생체 모방 기반 융합 학습 모델을 이용하여 골격근의 구조 및 수축 메커니즘에 대한 디지털 교과서를 개발하는 것이다. 골격근의 구조 및 수축 메커니즘 단원은 고등학교 생명과학 I에 포함된 내용이다. 융합 학습 모델은 3D 모델링 및 프린팅을 포함하는 3단계의 생체 모방 기반 융합 학습(Exploration-Design-Implementation)으로 설계되었다. 개발된 디지털 교재는 8차시로 구성되어 있는데, 골격근 탐색, 스케치 앱과 3D 모델링을 이용한 골격근 모방 창의적 설계 2개 차시, 3D 프린팅을 이용하여 설계안의 융합적 구현, 근수축의 탐색, 스케치 앱과 3D 모델링을 이용한 근수축 모방 창의적 설계 2개 차시, 3D 프린팅을 이용하여 설계안의 융합적 구현 등으로 구성되었다. 각 차시는 대화 형 및 모바일 학습을 위해 갤러리 위젯, 미디어 위젯, 프레젠테이션 위젯, 스케치 위젯, 클라우드, 설문 위젯 및 평가 위젯의 콘텐츠를 포함하고 있다. 개발된 디지털 교과서를 고등학생 20 명에게 투입한 결과 학생들의 생명과학 학습에 효과가 긍정적인 것으로 나타났다. 또한 이 연구에서 개발된 생체 모방 기반 융합 학습 디지털 교재는 학생들의 창의적 설계 및 구현 능력의 향상에서 효과적인 학습자료로 평가되었다. 이러한 결과를 볼 때 디지털 교재는 학생들의 흥미와 생명과학에 대한 자기주도적 학습에 유용한 자료임을 보여주었다.

주제어: 골격근, 근수축, 생체모방 기반 융합, 디지털 교재, 생명과학