

# 중학생의 진화 개념 이해 향상을 위한 단계별 글쓰기 프로그램의 효과

김예은<sup>1</sup>, 차희영<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>세종과학예술영재학교, <sup>2</sup>한국교원대학교

## Effects on Step-by-step Writing Program for Middle School Students' Understanding of Evolutionary Concepts

Yeeun Kim<sup>1</sup>, Heeyoung Cha<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Sejong Academy of Science and Arts, <sup>2</sup>Korea National University of Education

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 10 September 2024

Received in revised form

29 September 2024

Accepted 9 October 2024

#### Keywords:

step-by-step writing program, science writing, evolutionary concepts, assessment rubric

### ABSTRACT

The purpose of this study was to develop instructional programs aimed at enhancing middle school students' understanding of evolutionary concepts using a step-by-step writing strategies and an applicable evaluation rubric for evolutionary concepts. To achieve this, a step-by-step writing instructional model (PEECE) was devised as a method for scientific writing, and essential evolutionary core concepts were selected considering the middle school curriculum's coverage of biological evolution. Six evolutionary core concepts-variation, inheritance of variation, differential survival and reproduction, microevolution, and macroevolution-were chosen, with each serving as the focus of a lesson in a four-lesson program following the PEECE lesson model. The program was implemented with 16 students in a co-curricular middle school class. Pre- and post-lesson evolutionary concept checklists were administered to diagnose and compare the level of evolutionary concept understanding. Additionally, students' writing materials for each evolutionary core concept were collected, scored using an evolutionary concept evaluation rubric, and thoroughly analyzed. The results indicated that the step-by-step writing strategy effectively enhanced understanding of the six evolutionary core concepts and reduced cognitive biases and misconceptions about evolution. Contrasted with the optional evolution concept test, the descriptive writing activity provided a more tangible insight into students' scientific concepts, biases, and misconceptions, facilitating teachers' assessment of understanding and feedback provision. Moreover, the jointly developed evaluation rubric offered specific scoring criteria, enabling objective assessment without subjective influence, allowing analysis and scoring of students' writing materials across evaluation areas for collecting fundamental data.

## 1. 서론

생물학의 한 연구 분야이자 생물학의 모든 영역에서 생명 현상을 설명하는데 근간이 되는 진화론은 생물학의 중심 원리이다(AAAS, 1993; National Research Council[NRC], 2011). 진화론은 여러 개념이 유기적으로 연결되어야만 설명 가능한 복잡한 이론으로 많은 학생들이 학습에 어려움을 겪는다(Ahn, Cha, & Shin, 2023). 또한 학습 전부터 대중 매체의 노출로 많은 인지적 편향과 오개념을 갖고 있는 것을 확인하여 이를 개선시키기 위해 다양한 진화 교육에 대한 연구가 실시되어 왔다(Nehm & Schonfeld, 2007; Ha, M., & Cha, H. (2007). 그러나 Nehm, Ha, Rector, Opfer, Perrin, Ridgwat, & Mollohan(2010)에 의하면 학생들이 가지는 진화에 대한 인지적 편향은 인지구조에서 제거하기 어려우며, 적응, 경쟁, 압력, 필요와 같은 언어의 함의를 완전히 이해하지 못하고 사용하는 오개념의 표현이 여전히 높은 비율로 나타나고 있다. 학생들의 진화적 변화에 대한 설명에는 매우 다양한 설명 요소가 포함되어 있고, 이러한 요소가 어떻게 결합되어 진화적 설명을 구성하는지에 대한 분명한 설명이

필요함에도 이 분야에 대한 연구는 놀라울 정도로 거의 이루어지지 않고 있다(Nehm *et al.*, 2010). 생물의 진화 개념은 생물학적 현상을 설명하는 통합적 관점을 제공하는 생물 교육에서 중요한 영역이므로 인지적 편향과 오개념을 해소하고 과학적 개념을 바로 정립할 필요가 있다. 개념의 형성은 학습자가 지식을 습득하고 이해하는 과정에서 중요한 부분을 차지한다. 특히 진화 개념의 형성은 여러 개념 간의 관계를 이해해야 하므로 학생들이 진화 개념을 학습하는 과정의 사고 흐름과 개념 변화 과정이 어떠한지 교사는 눈으로 보지 않고는 알기 어렵다.

많은 선행 연구들(Lee, Cha, & Cheon, 2009; Moon & Shin, 2012; Jang, Nam, & Choi, 2012)에서 과학 글쓰기 수업이 학습자의 과학 개념 형성에 효과가 있음을 보고하고 있다. 또한 Lee & Choi(2004)는 과학 글쓰기에 나타나는 초등학교의 선개념 및 오개념을 확인하고, 오개념에 대해 인지 갈등을 일으켜 오개념을 수정하는 데에 과학 글쓰기 활동이 효과가 있음을 보였다. 과학 글쓰기는 복잡한 구조의 지식과 개념 간의 연결을 요구하는 수업 전략으로 학생의 사고 흐름과 개념 변화 과정을 가시적으로 확인할 수 있으며(Yeo, 2010), 오개

\* 교신저자 : 차희영 (hycha@knue.ac.kr)

본 논문은 김예은의 2024년도 석사학위논문 데이터 활용하여 재구성하였음.

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2024.44.5.531>

념을 발견하여 피드백을 주기에 용이하다(Kim, 2009; Lee & Choi 2004). 과학 글쓰기는 과학적 사실, 개념 및 원리, 법칙, 이론, 가설에 대해 사고하는 과정과 내용을 글로 표현하는 활동으로 정의(Owens, 2001)하며 글쓰기를 함으로써 학생들은 학습 내용을 내면화할 뿐만 아니라 글을 통해 표현하는 과정에서 새로운 사고의 확장도 가능하다(Raimes, 1983). Prain & Hand(1999)는 글쓰기를 활용한 수업을 하였을 때 학생들이 과학 개념에 더욱 애착을 갖게 되고 과학 수업에 대해 더욱 긍정적으로 인식이 변화했다고 보고했다. 하지만 이때 주의할 점은 글쓰기 과정 중에 활발한 의견 교환이나 논의를 통해서 애매했던 과학 개념을 명확히 하고, 정교화 할 수 있는 기회가 충분히 제공되어야 한다는 점이다(Lee, 2007). Lee & Park(2014)의 연구에서는 신문 기사 자료의 발굴 및 확보라는 측면을 강조하다보니 학습자로 하여금 신문 기사에 가려져 있는 과학 개념과 원리를 명료하게 이해시킬 수 있는 논의와 의사소통이 부족했던 점을 미진했던 학습자의 과학 개념 형성의 문제점으로 꼽았다. 이에 따라 학습자의 진화에 대해 인지적 편향과 오개념을 글쓰기를 통해 선개념으로 드러내고, 주어진 자료를 탐색하여 필요한 정보를 찾아 활용하며, 활발한 논의와 소통을 통해 과학 개념을 명확히 한 후 학습한 개념을 종합하여 글로 표현할 수 있는 단계를 포함한 새로운 단계별 과학 글쓰기 수업 모형을 고안해야 할 필요성을 느꼈다.

또한 학생들의 글쓰기 결과물을 채점하고 면밀하게 분석할 수 있는 평가 루브릭을 개발하여 함께 제공함으로써 실제 교육 현장에서의 실효성을 높이고자 하였다. 프로그램의 개발과 적용 과정에서 교육 내용-수업-평가가 일관성이 있게 구성되는 것은 중요하다(Kim & Kang, 2021). 학교 현장에서 과학 글쓰기가 활발하게 이루어지지 않는 이유 중 하나는 평가가 어렵다는 것인데, 학생들의 글쓰기 자료를 타당하게 평가하기 위해서는 글쓰기 평가에서 글쓰기 능력을 무엇으로 보고, 어떤 내용 요소를 중심으로 평가할 것인지 등의 기본적인 방향을 설정해야 한다(Park, 2020). 학교 현장의 과학 수업에서 과학 글쓰기를 실시할 때 믿을만한 평가 체계의 개발은 필수이다(Cha & Lee, 2017; Lee, 2010). 특히 구체적인 채점 기준이 없으면 채점자의 주관적인 판단이 평가에 개입될 우려가 매우 크고(Moon & Yang, 2014), 평가 루브릭을 제시하는 것이 학습자의 과학 글쓰기 수준 향상에 긍정적인 효과가 있음을 Yoon & Hong(2014)의 연구를 통해 알 수 있다. 또한 과학 글쓰기 활동은 학습자 중심 수행 수업의 형태를 띠므로, 그 수행 결과를 루브릭을 통해 분석하는 것은 다원적 평가의 기초 자료 제공에 기여할 수 있으며(Lee, 2010), 루브릭을 활용한 글쓰기 분석 결과는 평가 요소별로 점수 산출이 이루어지므로 글쓰기

자료에 대한 구체적인 피드백이 가능하다(Andrade & Boulay, 2003). 루브릭은 학교 현장에서 평가 도구일 뿐만 아니라 교사의 수업 지도 자료로 활용할 수 있으며 학습자 수행 활동에서 산출되는 과정적 데이터를 분석하여 기술된 최종적인 데이터를 피드백으로 제공함으로써 학습자의 성장을 돕는 역할을 하는 일련의 과정에서 기능할 수 있다(Yoon & Hong, 2014). 따라서 평가 척도인 루브릭에는 학습자들이 학습해야 할 수업의 모든 것이 담겨져 있다고 볼 수 있는 것이다(Im, 2020).

따라서 이 연구에서는 진화 개념 형성과 이해에 적합한 과학 글쓰기 수업 모형을 고안하고, 생물의 진화를 설명하는데 반드시 필요한 진화 핵심 개념을 선정하여 진화 개념 이해를 증진시킬 수 있는 단계별 글쓰기 프로그램을 설계하였다. 또한 프로그램의 효과를 평가하고, 중학생의 인지적 편향과 오개념을 진단 및 분석할 수 있는 진화 개념 평가 루브릭을 개발함으로써 평가를 위한 방법일 뿐만 아니라 수업 안내서로서 교사가 교육 내용을 조직하고 교수·학습 전략에 활용할 수 있도록 하여 교육 내용-수업-평가의 일체화에 기여하고자 하였다.

## II. 연구방법

본 연구는 단계별 글쓰기 전략과 평가 루브릭의 활용이 중학생의 진화 개념 이해 향상에 미치는 효과에 대해 알아보하고자 한 것이다. 이를 위해 Figure 1과 같이 개념 이해 향상 과정이 드러나는 단계별 글쓰기 수업 모형을 고안하고, 4회 8차시분 단계별 글쓰기 프로그램과 학생 글쓰기 자료를 채점 및 분석할 수 있는 진화 개념 평가 루브릭을 개발하였다. 개발한 단계별 글쓰기 프로그램은 중학교 공동교육과정 수업 학생 16명을 대상으로 적용하였다. 프로그램 적용 전후에 진화 개념 검사를 실시하여 비교 분석하였고, 프로그램 내 학생 활동을 수집하였으며, 적용 후 종합 글쓰기를 작성하도록 하여 자료를 수집하였다. 이후 수집된 자료를 평가 루브릭을 통해 분석하여 개발한 단계별 글쓰기 프로그램이 진화 개념 이해 향상에 미치는 효과를 알아보았다.

### 1. 진화 개념 이해 향상을 위한 단계별 글쓰기 수업 프로그램 개발

#### 가. 단계별 과학 글쓰기 수업 모형

진화 개념의 이해 증진을 위한 수업에서 과학 글쓰기를 학습의 전략으로 채택하고, 진화 개념의 이해 수준 향상과 효과를 분석하여

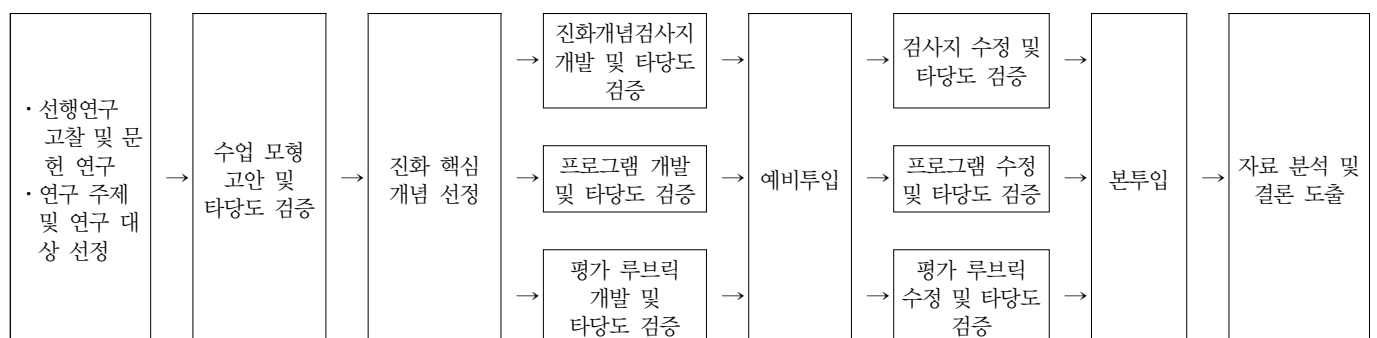


Figure 1. Research procedure

Table 1. The model of step-by-step writing instruction developed named as PEECE

단계	주요 활동
생각글쓰기 (Preconception)	· 글쓰기를 통해 문제에 대한 과학적 개념, 인지적 편향, 오개념의 선개념을 드러낼 수 있도록 적절한 문제를 제시함
디딤글쓰기 (Encouragement)	· 디딤 자료를 읽고 필요한 지식과 정보를 찾아서 글로 정리하여 작성함
설명하기 (Explanation)	· 교사는 문제의 의도와 디딤 자료에 가려져 있는 과학적 개념을 학생이 명시적으로 이해할 수 있도록 설명함 · 학습자간 또는 교사와의 활발한 논의를 통해 인지적 편향과 오개념을 해소 할 수 있는 기회를 가짐
정리글쓰기 (Consolidation)	· 학습한 과학적 개념을 종합하여 완성도 있는 글을 정리하여 작성함
평가하기 (Evaluation)	· 세 차례 작성한 글을 통해 학습자 스스로 자신의 개념 변화 과정을 발견하고 반성함 · 학생의 글쓰기 자료를 평가 루브릭을 활용하여 분석 및 채점하여 피드백을 제공함

Table 2. The six core extracted concepts of evolution

진화 핵심 개념	과학적 설명
변이	특정 종으로 구성된 한 세대의 개체군은 돌연변이, 재조합, 유성생식 등의 과정을 거치면서 개체군 내 개체들의 형질이 매우 다양해진다. 이처럼 개체들 사이에서 물리적, 정신적 그리고 행동적인 패턴 등에 차이가 생기는 현상을 ‘변이’라고 한다.
변이의 유전	진화의 기본이 되는 개체들 사이의 변이는 유전적으로 결정되어 부모로부터 자손에게로 유전이 되는데, 이것을 ‘변이의 유전’이라고 한다.
차등적 생존	주어진 환경에서 개체마다 서로 다른 유전적 형질들로 인해 생존에 차이가 나타나는데 이를 ‘차등적 생존’이라고 한다. 환경에 더 적합한 형질을 가진 개체들 즉, 차등적 생존율이 더 높은 개체들은 그렇지 않은 개체들보다 상대적으로 생존에 더 유리하여 살아남는데, 이를 ‘자연선택’이라고 한다.
차등적 생식	자손을 퍼뜨리는 데에 있어서 나타나는 차등적인 가능성을 ‘차등적 생식’이라고 한다. 차등적 생식력이 큰 개체들은 더 많은 자손을 남김으로써 다음 세대에 그들의 유전자를 더 많이 전달한다.
소진화	세대를 거듭하여 발생하는 개체군 내의 유전자 풀의 변화를 중 수준의 진화적 변화를 의미하는 ‘소진화’라고 한다.
대진화	중 수준 이상에서의 진화적 변화를 ‘대진화’라고 한다. 대진화는 아주 오랜 시간 동안 변화되어 온 진화의 양상으로, 한 종 내에서 생식적 격리가 생겨 두 종 이상의 종이 형성되는 종 분화와 종 분화 현상이 가지치기 형태로 이루어지는 분기 진화 등이 있다.

생물 교육에 적용 가능한 시사점을 탐구하였다. 이를 위해 단계별 글쓰기 수업 모형을 개발하여 진화 개념의 이해를 높이는 과정을 확 인할 수 있는 프로그램을 설계하였다. 개발한 단계별 글쓰기 프로그 램은 학생들이 진화 개념을 글로 표현함으로써 개념의 사용과 유기적 연결성을 스스로 파악하고 이해하는 것에 초점을 두었다. 이 단계별 글쓰기 수업 모형은 5E 순환 학습 모형, 과학 글쓰기를 문제 해결 과정으로 다루는 Park(2007)의 방법, 개념 변화 후 학생들이 글을 작 성하는 Lee(2009)의 과학 글쓰기 수업 모형을 기초로 하였다. 또한 과학 글쓰기 수업에서 적합한 읽기 자료의 개발뿐만 아니라, 읽기 자료에 담긴 과학적 개념과 원리를 명확히 이해할 수 있도록 충분한 설명과 논의를 제공해야 한다는 Lee(2014)의 조언을 고려하여 개발되 었다. 수업 모형은 수차례에 걸친 대학원 연구실 세미나 발표와 타당 도 검토 과정을 통하여 첨삭 수정이 되어 확정되었다. 이렇게 개발된 단계별 글쓰기 수업 모형의 이름은 PEECE이며, 이 모형의 구체적인 단계와 활동은 Table 1과 같다.

#### 나. 진화 핵심 개념 추출

중학교 과학 교육과정의 성취기준을 탐색하고, 진화 생물학을 연구 하는 연구자들 사이에서 중요한 진화 개념으로 인정받고 있는 변이, 변이의 유전, 차등적 생존과 차등적 생식, 소진화와 대진화를 진화 핵심 개념으로 선정하였다. 수업의 주제로 선정한 6가지 생물의 진화 핵심 개념은 Kwon(2015)과 Kim(2021)의 정리를 참고하여 수정하였 으며, 진화 핵심 개념의 구체적인 과학적 설명은 Table 2와 같다.

#### 다. 단계별 글쓰기 수업 프로그램을 위한 학생 글쓰기 자료 및 평가 루브릭 개발

생물의 진화를 설명하는데 필요한 6가지 진화 핵심 개념을 수업의 주제로 하여 단계별 글쓰기 프로그램을 구성하였다. 프로그램은 학생 활동지, 디딤 자료, 종합 글쓰기, 평가 루브릭으로 구성하였으며, 학생 활동지는 진화 핵심 개념에 대한 질문지로 학생들은 활동지에 글쓰기 를 할 수 있게 개발했다. 진화 핵심 개념별로 PEECE 수업 모형을 따르면서 학생들은 진화 핵심 개념을 이해하는 데 필요한 내용 요 소를 학습하며 과학적 개념을 형성하고, 인지적 편향과 오개념의 표현 을 줄여나가는 것을 목표로 하였다.

초기 6차시로 구성했던 프로그램을 예비 투입한 결과를 반영하여, 차등적 생존과 차등적 생식을 한 차시로 통합하고, 소진화와 대진화 를 하나의 차시로 묶어 재구성하였다. 학생 활동지는 8차시 프로그 램에 맞게 조정되었으며 중학교 45분 수업 시간의 제약을 고려하여 수 업 주제별로 90분 블록 수업으로 변경하였다. 차시별 수업 주제와 수업 시간, 내용 요소는 Table 3와 같다.

수집한 학생 글쓰기 자료를 분석하기 위해 진화 개념 평가 루브릭 을 개발하였다. 이 연구에서 개발한 진화 개념 평가 루브릭은 학생들 의 글쓰기 자료를 채점하여 서열을 매기려는 것이 아니라 학생들의 진화 개념에 대한 이해 수준을 진단하고 평가 영역에 따른 상세한 피드백을 제공하기 위한 기초 자료를 얻는 데 그 목적이 있다. 평가 루브릭의 초안으로 Nehm *et al.*(2010)의 7가지 핵심 개념의 채점 기준 표 설명과 주요 단어를 토대로 하였고, Kim(2021)의 연구를 참고하

Table 3. Overview of the developed step-by-step writing program

순서	차시	수업 주제	진화 내용 요소
1	1-2 (90분)	변이	변이와 형질
			유전 변이
			변이에 의한 생물다양성
2	3-4 (90분)	변이의 유전	획득형질(동물)
			획득형질(식물)
			유전형질의 유전
3	5-6 (90분)	차등적 생존과 차등적 생식	생식과 유전 그리고 환경 변화
			종내 경쟁
			종간 경쟁
			차등적 생존·차등적 생식(기본)
4	7-8 (90분)	소진화 대진화	차등적 생존·차등적 생식(심화)
			생물의 진화적 변화
			소진화
			진화의 방향
			대진화

Table 4. Structure of a developed evaluation rubric

	평가 영역	정의	점수
가점 요인 (연구자가 고안)	CC (Core concept)	생물의 진화를 설명하는데 있어서 해당 수업에서 반드시 필요한 개념	+2
	KC (Key concept)	생물의 진화를 설명하는데 있어서 반드시 필요하지는 않지만 해당 수업을 통해서 나타날 수 있는 개념	+1
감점 요인 (Nehm <i>et al.</i> 2010)	CB (Cognitive Biases)	인지적 편향으로 학교 교육을 받기 전에도 분명하게 나타나는 편견	-2
	MIS (Misconception)	언어의 의미와 함의를 완전히 이해하지 못한 채 혼용하여 사용하는 오개념	-1

여 진화의 과학적 개념, 인지적 편향, 오개념에 대한 진화 개념 평가 루브릭을 완성하였다. 평가 영역은 ‘CC(Core concept)’, ‘KC(Key concept)’, ‘CB(Cognitive Biases)’, ‘MIS(Misconceptions)’ 4가지로 구분하였고, CC와 KC는 연구자가 고안한 개념이며, CB와 MIS는 Nehm *et al.*(2010)의 연구를 참고하였다. 평가 영역인 CC, KC, CB, MIS가 가진 중요도에 따라 점수 배점을 달리 부여하였고 개발한 평가 루브릭의 구조는 Table 4와 같다.

완성한 루브릭은 생물교육전공 석사 1인, 생물교육전공 석사과정 2인과의 검토를 통해 그 내용을 수정 및 보완하여 5단계 리커트 척도 타당도를 의뢰하여 ‘매우 타당하다’를 5점, ‘타당하다’를 4점, ‘보통이다’를 3점, ‘타당하지 않다’를 2점, ‘전혀 타당하지 않다’를 1점으로 계산했을 때 3명의 평균 타당도 점수는 4.9점으로 타당도를 검증받았다.

#### 라. 단계별 글쓰기 수업 프로그램 검사 도구 개발

개발한 단계별 글쓰기 프로그램이 중학생의 진화 개념 이해 향상에 미치는 효과를 확인하기 위해 진화 개념 검사지를 고안하였다. 사용한 검사지는 타당도, 신뢰도가 검증되어 있어 다양한 선행 연구에서 사용되어 온 Anderson, Fisher, & Norman(2002)이 개발한 진화 개념 검사 도구인 CINS(conceptual inventory of natural selection) 문항이다. CINS는 자연선택 중심의 4지 선다형 문항으로 변이, 변이의 기원,

개체군 변화, 개체군 안정성, 과잉생산, 경쟁, 유전성, 제한된 자원, 차등적 생존 등의 진화 개념을 구성하는 10개 하위 개념별로 2문항씩 총 20문항으로 이루어져 있다. CINS는 성인용으로 개발되어 중학생이 이해하기에는 용어가 어렵고, 생물의 진화적 변화를 추론하는 문제 해결 방식으로 구성되어 있어 본 연구 대상인 중학생들의 수준에 적합하지 않다. 따라서 원문이 영어인 CINS 문항을 번역한 Yang, P., Cha, H., & Shin, G(2021)의 연구를 기초로 하여 중학생의 이해 수준에 맞게 용어를 수정하고, 긴 글로 설명된 생물의 진화적 변화의 과정을 화살표로 연결하여 제시하였다. 또한 진화 개념을 다차원적으로 분석해야 한다는 Shin(2005)의 조언을 토대로 CINS 20문항에서 변이, 경쟁, 적응, 진화 개념에 대한 문항을 기작, 대상, 시간, 결과, 유전, 기원 등 다차원으로 구분하여 12문항으로 구성된 진화 개념 검사지를 완성하였다. 수정·보완하여 완성한 진화 개념 검사지는 생물교육전문가 1인, 생물교육전공 박사과정 1인, 생물교육전공 석사과정 3인에게 내용 타당도를 의뢰하여 타당도 검증을 받았다.

#### 2. 진화 개념 이해 향상을 위한 단계별 글쓰기 수업 프로그램 적용

개발된 프로그램은 2022년 9월부터 10월까지 매주 1시간씩 6주에 걸쳐 예비 투입한 결과를 바탕으로 학생 활동지, 디딤 자료, 종합 글쓰기, 평가 루브릭을 수정하여 2023년 1월 겨울방학에 매일 3시간씩

5일에 걸쳐 본투입하였다. PEECE 수업 모형을 적용한 진화 핵심 개념별 프로그램은 매회 3시간 이내에 이루어졌으며, 연구자는 과학 글쓰기에 대한 경험이 없었던 학습자들에게 학생 활동지를 받기 전에 과학 글쓰기의 목적, PEECE 수업 모형 등에 대해 설명하였다.

프로그램 적용 전에 진화 개념 검사지를 배부하여 학생들이 검사지에 직접 표기하게 하였으며 프로그램 적용이 끝난 후 같은 검사지로 다시 직접 표기하게 하였다. 검사 시간은 사전 검사와 사후 검사 모두 45분씩 제공하였다. 프로그램의 각 차시별로 학생들이 개별적으로 작성한 글쓰기 자료를 수집하고, 8차시까지의 학습이 모두 끝난 후에 작성한 종합 글쓰기 자료를 수집하여 진화 개념 평가 루브릭을 토대로 채점하고 연구자에 의해 정밀하게 분석되었다.

매차시 학생 글쓰기 자료를 수집한 연구자는 PEECE 모형의 설명하기(E) 단계에서 학생 활동지의 모범답안을 제시하고 설명하였다. 순환적 개념 형성을 위해 연구자의 개념 정리 활동은 선행 학습 개념과의 유의성을 고려하여 진행하였다.

가. 연구 대상

개발한 단계별 글쓰기 프로그램은 세종시 공동교육과정 강좌를 수강 신청한 중학생 16명을 대상으로 적용하였다. 프로그램 적용 시기는 2023년 1월 겨울방학이며, 이 프로그램에 참여한 학생들은 예비중 2학년 3명, 예비중 3학년 3명, 예비고 1학년 10명으로 연구 대상 학생들은 중학교 1학년 교육과정에 포함된 ‘생물의 다양성’을 학습한 상태였다. 따라서 유전 변이, 자연선택, 생물학적 종의 개념, 지리적 격리와 이소성 종분화에 대한 학습 경험이 있었다.

나. 자료 수집

개발한 단계별 글쓰기 프로그램이 중학생의 진화 개념 이해를 향상시키는지 알아보기 위해 진화 개념 검사지를 프로그램 적용 전 후에 학생들이 검사지에 직접 표기하게 하였다. 또한 참여 학생들로부터 글쓰기 자료 수집 및 연구 사용에 대한 동의를 받은 후, 8차시에 걸쳐 학생들이 활동지에 직접 작성한 글쓰기 자료를 모두 수집하였다. 수집된 글쓰기 자료는 연구자가 직접 타이핑하여 컴퓨터 데이터로 이전되었고, 학생의 의도를 명확하게 이해하기 어려운 부분은 사후 면담을 통해 명확히 확인하고 타이핑하였다. 수집된 자료는 개발한 진화

개념 평가 루브릭을 기반으로 자료 분석에 사용하였으며, 질적 연구를 설계하면서 모든 학생들에게 고유번호를 부여하였다. Figure 2는 자료 수집 과정을 나타낸 것이다.

진화 개념 검사지 분석

개발한 단계별 글쓰기 프로그램이 중학생의 진화 개념 이해 향상에 미친 영향을 확인하기 위해, 고안한 진화 개념 검사지의 사전 검사 결과와 사후 검사 결과를 비교 분석하였다. 진화 개념 검사지는 CINS 문항을 수정하여 12문항으로 구성하였으며 각 문항당 1점씩, 12점을 만점으로 하여 사전 사후 평균 및 표준편차를 구하고 Wilcoxon signed rank test를 실시하여 집단 간의 차이를 비교함으로써 프로그램의 효과성을 살펴보았다. 이때, 통계 분석 프로그램은 SPSS 25.0를 사용하였다.

학생 글쓰기 자료 분석

개발한 진화 개념 평가 루브릭이 중학생의 진화 개념 이해 향상을 분석할 수 있는지 알아보기 위해 학생들 개개인의 개념 이해 향상을 질적으로 분석하였다. 차시별로 학생 글쓰기 자료에서 CC, KC, CB, MIS에 해당하는 개념들을 찾고, 글쓰기 자료에 대한 개념 이해 수준을 분류하여 진화 개념 이해 수준이 단계별 글쓰기가 진행됨에 따라 향상되는지를 살펴보았다. 또한 평가 루브릭을 토대로 점수를 부여하였는데 이때 학생 활동지의 질문 문항마다 필요로 하는 개념의 수가 다르므로 총점이 다르다. 따라서 모든 문항은 10점 만점으로 환산하여 분석에 이용하였으며 수업 전의 생각 글쓰기와 수업 후의 정리 글쓰기 점수의 평균 및 표준편차를 구하고 대응표본 t검정을 통해 집단 간의 차이를 비교함으로써 프로그램의 효과성을 살펴보았다. 그리고 적용한 프로그램의 단계별로 진화 핵심 개념에 대한 이해도 변화에 유의미한 차이가 있는지를 확인하기 위해 일원배치 분산분석(ANOVA)을 실시하였다.

마지막으로 글쓰기 자료에서 드러난 학생들의 인지적 편향과 오개념을 질적으로 분석하여 진화 핵심 개념별로 특징적인 사례들을 분류해보고 연관성을 찾고자 하였다. 분석 과정에서 생물교육 전문가를 포함한 대학원생들과 정기적인 세미나를 통해 분석의 타당성을 보완하였다. Table 5는 평가 루브릭을 적용하여 진화 개념 이해 수준을 다섯 단계로 구분한 것이고, Table 6은 Kim(2021)의 연구를 참고하여 평가 영역 ‘CB’와 ‘MIS’에 대한 분석 기준을 나타낸 것이다.

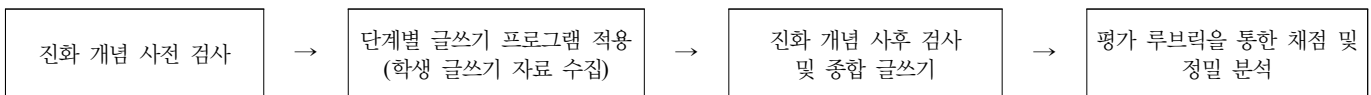


Figure 2. Data collection process

Table 5. Understanding level of evolutionary concepts applying an assessment rubric

수준	구분
5	CC와 KC를 모두 포함하여 설명함
4	CC를 모두 포함하여 설명함
3	CC를 일부 포함하여 설명함
2	CC는 없이 KC만 포함하여 설명함
1	CC와 KC를 모두 포함하지 않거나, 인지적 편향 및 오개념을 포함하여 설명함

Table 6. Analysis criteria for assessment areas CB and MIS

개념 구분		분석 기준
CB	본질주의	집단 내 개체들은 일관된 속성을 가진다고 설명하며, 종 다양성에 대해 고려하지 못한 경우
	내부의지	생물체의 정신적 요인이 진화적 변화를 일으킨다고 설명한 경우
	목적론	형질의 진화적 변화가 어떠한 목적이나 필연성을 가지고 일어난다고 설명한 경우
	예정된 방향	진화는 더 고등하고 완벽한 생물을 만들어내며 종은 항상 개선되는 과정에 있다고 설명한 경우
MIS	압력	환경이 생물체의 변화를 일으키는 강력한 힘으로 작용하다고 설명한 경우
	적응	생명체가 새롭게 변화된 환경에서 자신을 환경에 맞게 조정하거나 순응하는 것으로 설명한 경우
	필요	생물체가 생존을 위해서는 변화해야 한다는 근거로 '필요'를 사용한 경우, 이때 내부의지와 차별점은 필요의 경우 진화의 주체인 생물체의 내적 의지로 결정되는 것이 아니라, 외부의 시선에서 생물체의 진화적 변화를 설명할 때 사용하는 용어로 정의함

### III. 연구 결과 및 논의

중학생의 진화 개념 이해 향상을 위한 단계별 글쓰기 프로그램을 개발하고 그 프로그램의 효과를 분석하였다. 효과 분석 결과는 전반적인 프로그램의 적용 효과와 단계별 글쓰기를 통한 진화 개념 이해도 변화 분석 그리고 진화 핵심 개념별 인지적 편향과 오개념으로 구분하여 제시한다.

#### 1. 전반적인 프로그램 적용 효과

##### 가. 진화 개념 검사지 사전·사후 비교

단계별 글쓰기 프로그램 적용 후 진화 개념 이해 향상의 변화를 알아보기 위해 먼저 진화 개념 검사지를 통한 검사 결과를 분석하였다. 검사 결과의 정규성 검정을 실시한 후, Wilcoxon signed rank test를 실시하였다. 그 결과 Table 7과 같이 프로그램 적용 후의 점수가 적용 전보다 유의미하여 개발한 단계별 글쓰기 프로그램은 학생들의 진화 개념 이해를 향상시키는데 효과가 있었다.

##### 나. 수업 전·후 글쓰기 내용 수준 비교

수업 전에 작성한 생각글쓰기와 교사의 수업 후에 작성한 정리글쓰기를 비교 분석하였다. 5단계로 이루어지는 단계별 글쓰기 수업 모형에서 디딤 자료를 제공하는 디딤글쓰기 단계와 과학적 개념의 명시적 이해를 위한 교사의 설명하기 단계는 교사의 직·간접적인 개입이

있다. 반면 생각글쓰기 단계는 주어지는 진화적 상황에 대해 학생이 가지는 경험과 선개념을 바탕으로 글쓰기 답안을 작성하는 것이므로 프로그램 적용 전에 학생이 가지는 선개념 상태이며, 정리글쓰기 단계는 교사의 직·간접적인 개입이 있는 후이므로 프로그램 적용 후에 학생이 가지는 개념 이해 상태라고 볼 수 있다.

프로그램 적용 전·후의 개념 이해 상태를 비교하기 위해 생각글쓰기와 정리글쓰기의 점수를 비교하였다. 이때 생각글쓰기와 정리글쓰기의 점수는 진화 핵심 개념을 이해하는데 필요한 15가지 내용에 대한 생각글쓰기 점수의 평균과 정리글쓰기 점수의 평균을 의미한다. 점수의 정규성 검정을 실시한 후, 대응표본 t-검정을 실시하였다. 그 결과 개발한 프로그램은 Table 8과 같이 프로그램 적용 후의 점수가 적용 전의 점수보다 유의미하게 상승하여 중학생의 진화 개념 이해를 향상시키는데 효과가 있었다.

#### 2. 단계별 글쓰기를 통한 진화 개념 이해도 변화 분석

##### 가. 단계별 글쓰기를 통한 진화 개념 이해도 향상 효과

학생들은 PEECE 수업 모형에 따라 세 번의 글쓰기를 통해 진화 핵심 개념을 학습하였다. 적용한 프로그램을 통해 단계별로 진화 핵심 개념에 대한 이해도 변화에 유의미한 차이가 있는지 알아보기 위해 정규성 검정 후 대응표본 t-검정을 실시한 결과 프로그램은 진화 핵심 개념에 대한 이해도 변화에 효과적임을 확인하였다.

첫 번째 단계의 생각글쓰기 점수와 디딤 자료를 읽고 필요한 정보를 활용하여 작성한 디딤글쓰기 점수를 비교했을 때 진화 개념 이해

Table 7. Results of the Wilcoxon signed-rank test on the evolutionary concept assessment

	구분	N	평균 (12점 만점)	표준편차	정규성 검정		Wilcoxon signed rank test	
					자유도	p	p	
진화 개념 검사	사전	16	5.875	2.630	16	0.291	0.000	
	사후	16	10.562	1.548	16	0.008		

Table 8. Results of paired-sample t-tests on preconception writing and consolidation writing

	구분	N	평균 (10점 만점)	표준편차	정규성 검정		대응표본 t-검정	
					자유도	p	t	p
학생 글쓰기 점수	생각글쓰기	16	3.215	2.176	16	0.861	-11.801	0.000
	정리글쓰기	16	6.755	1.391	16	0.446		

Table 9. Results of paired-sample t-tests on preconception writing and encouragement writing

	구분	N	평균 (10점 만점)	표준편차	정규성 검정		대응표본 t-검정	
					자유도	p	t	p
학생 글쓰기 점수	생각글쓰기	16	3.215	2.176	16	0.861	-9.471	0.000
	디답글쓰기	16	5.242	0.972	16	0.280		

Table 10. Results of paired-sample t-tests on encouragement writing and consolidation writing

	구분	N	평균 (10점 만점)	표준편차	정규성 검정		대응표본 t-검정	
					자유도	p	t	p
학생 글쓰기 점수	디답글쓰기	16	5.242	0.972	16	0.280	-8.115	0.000
	정리글쓰기	16	6.755	1.391	16	0.446		

도에 유의미한 향상이 있었으며, 디답글쓰기 점수와 교사의 설명을 듣고 작성한 정리글쓰기의 점수를 비교했을 때 진화 개념 이해도에 유의미한 향상이 있음을 Table 9, Table 10과 같이 확인하였다. 개발한 프로그램은 단계별 글쓰기 수업으로 학생들이 수업 주제별로 세 번의 글쓰기를 했는데, 각 단계별 글쓰기마다 주어지는 자료와 설명들은 학생들의 진화 개념을 유의미하게 향상시킴을 알 수 있었다.

#### 나. 진화 핵심 개념별 단계별 이해 향상 분석

진화 핵심 개념으로 선정한 '변이', '변이의 유전', '차등적 생존과 차등적 생식', '소진화와 대진화'를 이해하기 위한 내용 요소는 전체 15가지이며, '변이'는 세 가지 내용 요소를 학습하고, '변이의 유전', '차등적 생존과 차등적 생식', '소진화와 대진화'는 네 가지 내용 요소를 학습하도록 하였다.

학생들은 진화 핵심 개념별로 내용 요소에 대해 묻는 활동지에 단계별 글쓰기를 했는데, '변이' 개념은 16명이 세 가지 내용 요소에 대해 작성한 48개의 글쓰기 과제를 분석한 결과이며, '변이의 유전', '차등적 생존과 차등적 생식', '소진화와 대진화' 개념은 16명이 네

가지 내용 요소에 대해 작성한 64개의 글쓰기 과제를 분석한 결과이다. Table 11은 내용 요소별로 단계별 글쓰기 점수의 평균을 표로 나타낸 것이고, Table 12는 진화 핵심 개념별 내용 요소에 따라 Table 5를 토대로 진화 개념 이해 1수준부터 5수준까지로 분류하여 글쓰기 단계별로 변화하는 이해 수준에 대한 백분율을 나타낸 것이다.

적용한 프로그램의 단계별로 진화 핵심 개념의 단계별 이해 정도에 유의미한 변화가 있었는지를 일원배치 분산분석(ANOVA)를 통해 확인하였다. ANOVA 실시 전 정규성 검정과 등분산의 가정 만족 여부를 확인하였다.

먼저 '변이' 개념에 대해서는 Table 13과 같이 생각글쓰기-디답글쓰기-정리글쓰기의 단계마다 변이에 대한 이해도 변화에 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났으며( $p \leq 0.001$ ), 사후 검정 결과를 나타낸 Table 14에서 알 수 있듯 생각글쓰기와 디답글쓰기, 생각글쓰기와 정리글쓰기 간의 개념 이해 변화가 두드러졌고, 디답글쓰기와 정리글쓰기 간의 개념 이해 변화 정도는 크지 않았다.

'변이의 유전' 개념에 대한 이해도 변화 분석 결과, 생각글쓰기-디답글쓰기-정리글쓰기의 단계마다 변이의 유전에 대한 이해도 변화에 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났으며(Table 13), 사후 검정 결과

Table 11. Writing scores (out of 10) based on steps for evolutionary concepts

수업 주제	내용 요소	생각글쓰기	디답글쓰기	정리글쓰기
변이	변이와 형질	4.17	5.73	6.78
	유전 변이	2.30	5.00	6.78
	변이에 의한 생물다양성	3.86	6.35	6.15
변이의 유전	획득형질(동물)	3.54	4.79	8.12
	획득형질(식물)	3.65	4.79	6.67
	유전형질의 유전	6.38	7.87	8.25
	생식과 유전 그리고 환경 변화	5.83	7.70	8.12
차등적 생존 차등적 생식	종내 경쟁	2.08	4.79	6.46
	종간 경쟁	2.88	7.00	7.50
	차등적 생존 및 생식(기본)	2.75	2.69	5.25
	차등적 생존 및 생식(심화)	1.25	3.44	5.06
소진화와 대진화	생물의 진화	2.41	3.66	6.07
	소진화	2.44	4.31	5.88
	진화의 방향	3.59	5.93	8.20
	대진화	0.89	4.11	6.25
<b>평균</b>		<b>3.20</b>	<b>5.21</b>	<b>6.77</b>

Table 12. Understanding levels by evolutionary concepts, step-by-step

		5수준	4수준	3수준	2수준	1수준	계(%)
생각글쓰기	변이	0	16.7	37.5	25	20.8	100
	변이의 유전	1.6	9.4	67.2	6.3	15.6	100
	차등적 생존과 차등적 생식	0	1.6	42.2	35.9	20.3	100
	소진화와 대진화	0	4.7	48.4	12.5	34.4	100
	평균	0.4	8.1	48.8	19.9	22.8	100
디답글쓰기	변이	8.3	33.3	41.7	10.4	6.2	100
	변이의 유전	9.4	28.1	50	1.6	10.9	100
	차등적 생존과 차등적 생식	3.1	18.7	50	17.2	10.9	100
	소진화와 대진화	3.1	6.3	70.3	9.4	10.9	100
	평균	6.0	21.6	53.0	9.7	9.7	100
정리글쓰기	변이	12.5	50	27	6.2	4.2	100
	변이의 유전	50	25	20.3	1.6	3.1	100
	차등적 생존과 차등적 생식	10.9	34.4	45.3	9.4	0	100
	소진화와 대진화	17.2	34.4	40.6	7.8	0	100
	평균	22.7	36.0	33.3	6.3	1.8	100

Table 13. The one-way analysis of variance (ANOVA) results for step-by-step writing scores on evolutionary concepts

진화 핵심 개념	분석 요소	N	평균	표준편차	F	p
변이	생각글쓰기	16	3.438	2.615	9.954	0.000
	디답글쓰기	16	5.694	1.703		
	정리글쓰기	16	6.563	1.675		
변이의 유전	생각글쓰기	16	4.849	1.785	13.265	0.000
	디답글쓰기	16	6.291	1.949		
	정리글쓰기	16	7.791	0.922		
차등적 생존과 차등적 생식	생각글쓰기	16	2.240	1.615	28.541	0.000
	디답글쓰기	16	4.479	1.327		
	정리글쓰기	16	6.067	1.361		
소진화와 대진화	생각글쓰기	16	2.334	1.582	35.494	0.000
	디답글쓰기	16	4.505	1.658		
	정리글쓰기	16	6.600	0.950		

에서 생각글쓰기와 디답글쓰기 간의 개념 이해 변화보다 디답글쓰기와 정리글쓰기 간의 개념 이해 변화가 두드러짐을 알 수 있었다(Table 14).

‘차등적 생존과 차등적 생식’ 개념에 대한 이해도 변화 분석 결과는 유의수준 0.05에서 생각글쓰기-디답글쓰기-정리글쓰기의 단계마다 차등적 생존과 차등적 생식에 대한 이해도 변화에 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 13). 사후 검정 결과를 통해 생각글쓰기와 디답글쓰기, 디답글쓰기와 정리글쓰기 간의 평균 차이도 0.05 수준에서 모두 유의함을 확인하였다(Table 14).

‘소진화와 대진화’ 개념에 대한 이해도 변화 분석 결과에서도 생각글쓰기-디답글쓰기-정리글쓰기의 단계마다 소진화와 대진화에 대한 이해도 변화에 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 13). Table 14의 사후 검정 결과에서 나타난 것과 같이 생각글쓰기와 디답글쓰기, 디답글쓰기와 정리글쓰기 간의 개념 이해 변화의 평균 차이가 모두 유의미했다.

프로그램의 글쓰기 단계에 따라 진화 핵심 개념별로 조금씩 다른 변화 추세를 확인할 수 있었다. ‘변이’ 개념은 학생들의 선개념을 드러내는 생각글쓰기 단계에서 평균 점수를 기준으로 개별 학생마다

다양한 점수가 나타났다. 생각글쓰기에서 ‘변이’ 개념은 학생마다 가지는 선개념에 개인차가 컸지만 주어진 디답 자료를 읽고 필요한 정보를 찾아서 글로 정리하는 디답글쓰기 단계에서 대부분의 학생이 ‘변이’ 개념을 바르게 이해함으로써 평균 점수가 향상되고 평균 점수를 기준으로 표준편차는 감소하였다. 따라서 교사의 설명이 있는 후 정리글쓰기 단계에서도 유의미한 점수 향상이 있었지만 큰 폭의 변화는 아니었다.

주목할 점은 ‘변이’ 개념의 인식과 그 기원에 대한 이해가 진화 개념 이해의 기본이 된다는 Wood-Robinson(1994)의 말처럼 생각글쓰기에서 변이에 대한 인지적 편향과 오개념을 드러낸 학생들은 사전 진화 개념 검사에서 낮은 점수를 받았다. 올바른 진화 개념 이해의 시작은 변이에 대한 올바른 이해부터임을 알 수 있다.

Lee(2014)는 과학 글쓰기 수업에 적합한 읽기 자료를 개발하여 제공하는 것도 중요하지만 읽기 자료에 대한 교사의 설명이 더해지지 않는다면 학생들은 자료에 숨겨진 과학적 원리와 개념을 스스로 이해하는 데에 한계가 있음을 설명했는데, ‘변이의 유전’과 ‘소진화와 대진화’ 개념 수업에서 이와 관련된 결과를 확인할 수 있었다. ‘변이의



Table 14. The post hoc analysis results of one-way analysis of variance (ANOVA) for step-by-step writing scores on evolutionary concepts (\* significant at the 0.05 level of significance)

진화 핵심 개념	분석 요소	평균 차이	p	
변이	생각글쓰기	디답글쓰기	-2.257*	0.012
		정리글쓰기	-3.125*	0.000
	디답글쓰기	생각글쓰기	2.257*	0.012
		정리글쓰기	-0.868	-0.492
	정리글쓰기	생각글쓰기	3.125*	0.000
		디답글쓰기	0.868	0.492
변이의 유전	생각글쓰기	디답글쓰기	-1.443	0.051
		정리글쓰기	-2.943*	0.000
	디답글쓰기	생각글쓰기	1.443	0.051
		정리글쓰기	-1.500*	0.040
	정리글쓰기	생각글쓰기	2.943	0.000
		디답글쓰기	1.500*	0.040
차등적 생존과 차등적 생식	생각글쓰기	디답글쓰기	-2.240*	0.000
		정리글쓰기	-3.828*	0.000
	디답글쓰기	생각글쓰기	2.240*	0.000
		정리글쓰기	-1.589*	0.012
	정리글쓰기	생각글쓰기	3.828*	0.000
		디답글쓰기	1.589*	0.012
소진화와 대진화	생각글쓰기	디답글쓰기	-2.170*	0.000
		정리글쓰기	-4.266*	0.000
	디답글쓰기	생각글쓰기	2.170*	0.000
		정리글쓰기	-2.095*	0.001
	정리글쓰기	생각글쓰기	4.266*	0.000
		디답글쓰기	2.095*	0.001

유전'과 '소진화와 대진화' 개념은 디답 자료를 제공한 후 평균 점수는 향상되었지만 평균 점수를 기준으로 한 개별 학생들의 점수 차이는 소폭 증가하였다. 주어진 디답 자료를 읽고 필요한 정보를 찾아서 글로 정리한 학생들도 있었지만 그렇지 못하고 디답 자료를 이해하는데 어려움이 있어서 디답 자료의 개념을 포함한 글을 쓰지 못한 학생들도 있었다. 교사의 설명 후에 정리글쓰기 단계에서 평균 점수가 향상되고 표준편차가 작아진 것으로 보아 대부분의 학생들이 교사의 설명을 듣고 충분한 논의를 거친 후에는 '변이의 유전', '소진화와 대진화' 개념과 디답 자료의 숨겨진 의미를 이해한 것을 알 수 있었다.

2회와 4회분의 디답 자료는 1회와 3회분에 비해 지문의 길이가 길고, 자료의 내용 또한 후성유전학, 자연선택의 방향, 중분화와 계통수에 대한 설명으로 구성되어 있다. 이러한 디답 자료의 내용들이 일부 학생의 경우 혼자서 이해하고 글에 녹여서 설명하기에는 어려움이 있었을 것으로 생각된다. 하지만 교사의 설명을 듣고 충분한 논의 과정을 거친 후에는 진화 핵심 개념과 글의 숨겨진 의도를 이해하고 자신의 글로 정리한 것으로 보아 해당 개념을 이해하기 위해서는 교사의 진화적 설명이 반드시 함께 제공되어야 하며, 충분한 소통과 논의의 시간이 뒷받침된다면 중학생이 진화 핵심 개념을 이해하도록 돕는 효과적인 진화 수업이 가능할 것이라고 생각된다. 또한 알지 못했던 개념을 새롭게 학습하는 데에 디답 자료를 제공하는 것이 개념 이해 향상에 유의미한 효과가 있음을 확인하였다.

### 3. 진화 핵심 개념별 인지적 편향과 오개념

#### 가. 인지적 편향

제한된 지식이나 시간 속에서 판단을 내릴 때 활용하는 직관적인 사고는 상황에 따라 효과적이지만 가끔은 잘못된 판단으로 이어질 수 있다(Kahneman, Slovic & Tversky, 1982). 이러한 잘못된 판단을 의미하는 인지적 편향은 모든 인간에게 공통적으로 나타나며, 교육을 받은 사람들이나 전문가들도 이에 영향을 받는 것으로 나타났다(Kelemen, Rottman & Seston, 2013). 생물 교육에서 인지적 편향은 학생들이 생물 학습에서 어려움을 겪는 근본적인 원인으로 지목되고 있다(Coley & Tanner, 2012). 교육을 받기 이전부터 대중 매체에 노출되는 학생들은 진화에 대한 인지적 편향이 드러남을 보고한 Nehm *et al.*(2010)의 연구를 토대로 학생 글쓰기 답안에서 드러난 중학생의 진화에 대한 인지적 편향을 분석하였다.

다음은 변이에 대한 48개의 글쓰기 자료와 변이의 유전, 차등적 생존과 차등적 생식 그리고 소진화와 대진화에 대한 64개의 글쓰기 자료에 대한 분석 결과이다. Table 15는 생각글쓰기 단계에서 진화 핵심 개념별 인지적 편향을 드러낸 학생 수를 나타낸 것이며, 두 가지 이상의 인지적 편향이 결합되어 동시에 나타난 경우 각 편향의 개수를 별도로 표시하였다. 글쓰기의 모든 단계에서 생물의 진화에 대하여 내부의지와 목적론의 인지적 편향이 가장 두드러지게 나타났으며,

Table 15. The number of students showing cognitive biases in evolutionary concepts

진화 핵심 개념	인지적 편향 유형	본질주의	내부의지	목적론	예정된 방향
변이 (48)		4	2	4	1
변이의 유전 (64)					
차등적 생존과 차등적 생식 (64)			10	9	
소진화와 대진화 (64)			2	4	8
<b>합계</b>		<b>4</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>9</b>

Table 16. Cognitive biases and misconceptions regarding evolutionary concepts

인지적 편향	글쓰기 답안	진화 핵심 개념
본질주의	<b>종이 같으므로 유전 변이 덕분에 형질이 모두 같지만</b> 사는 환경에 따라 환경 변이를 하여 형질이 바뀌기 때문에 털 색깔도 형질이 같지 않다.	변이
	생물학적으로 <b>같은 종이므로 털 색깔이 같다.</b>	변이
	<b>같은 종끼리는 형질이 거의 같을 것 같다.</b>	변이
내부의지	생식세포 분열을 통해 많은 유전자를 만들어내지만 그 유전자가 가지고 있는 유전정보는 서로 다르다. <b>환경에 맞게 자신의 형태를 변화시키고</b> 번식하였을 것이다.	변이
	모기가 점점 살충제에 <b>강해지도록 해서</b> 결국 살충제에 죽지 않는 모기가 생겨났다.	차등적 생존과 차등적 생식
	인디아 영양이 너무 빨라서 치타가 사냥하기 어려워서 사냥을 <b>잘 할 수 있도록 적응해서</b>	차등적 생존과 차등적 생식
	모기들이 <b>변이를 일으켜서</b> 다양한 형질이 나타나게 되는데, 그중에서 살충제에서 살아남을 수 있는 형질을 가진 모기들이 살아남아 자손을 만들게 되어서	차등적 생존과 차등적 생식
	살충제를 <b>이겨내도록</b> 적응했기 때문	차등적 생존과 차등적 생식
목적론	새하얀 토양에서는 그 환경에 맞추어 <b>변이를 일으킨</b> 흰색 딱정벌레가 상대적으로 차등적 생존률이 검정 딱정벌레보다 높아 흰색이 살아남게 되고 흰색이 적응하면서 대부분을 차지하게 될 것이다.	소진화와 대진화
	천적에게 공격을 받았을 때 <b>같은 종으로 보이지 않기 위해</b> 무당벌레 무늬가 모두 다르다.	변이
	서로 다른 유전자를 가졌다. 달팽이들끼리 무늬를 보고 <b>구별할 수 있게 하기 위해서</b>	변이
	포식자를 <b>잡아먹기 위해</b> 포식자보다 빨리 달리게 된 것이다.	차등적 생존과 차등적 생식
	아무 이유 없이 외관적 변화가 되면 진화는 아니고 환경에 <b>적응하기 위해</b> 외관이 달라지면 진화한 것이다.	소진화와 대진화
예정된 방향	대부분의 딱정벌레는 흰색일 것이다. 포식자로부터 몸을 <b>숨기기 위해서</b> 이다.	소진화와 대진화
	같은 종일지라도 서식 환경이 다르면 <b>그에 유리하게 변하기 때문에</b> 같지 않을 것이다.	변이
	처음에는 치타와 인디아 영양은 서로 다른 형질에 의해 차등적 생존을 하였지만 치타는 <b>살아남기 위해서</b> 점점 빨라진 것이다.	차등적 생존과 차등적 생식
	진화한다는 말은 ‘겉모습이나 속모습이 <b>좋은 쪽으로 변하는 것</b> ’이라고 생각한다. 피카츄가 라이츄의 모습으로 변해 더 귀여워졌으므로 진화가 맞다.	소진화와 대진화
	변이가 나타날 우연, 환경, 자연선택은 서로 상호작용한다. 따라서 완벽한 생물이 나오는 것은 불가능하지만 <b>진화가 완벽해지는 과정은 맞다고 생각한다.</b> 아직 진화가 뭘지 정확히는 모르겠다.	소진화와 대진화
	진화는 해당 환경에 맞추어 알맞게 변화하는 환경 변이로 <b>좀 더 유용하거나 효율적으로 변하는 것이다.</b>	소진화와 대진화
	진화라는 말을 들었을 때 <b>좀 더 효율적인 모습으로 변화하는</b> 느낌이 들기 때문	소진화와 대진화
내부의지 & 목적론	진화는 생명체가 <b>더 많이 살아남을 수 있는 방향으로</b> 일어난다. 변이로 인해 사는 환경에 적합한 형질을 가진 개체가 더 많아 살아남고, 번식하면서 진화가 일어나기 때문이다.	소진화와 대진화
	여러 생물들이 각자가 살고 있는 <b>환경에 적응하기 위해</b> 자신의 모습과 유전정보를 수 세대에 걸쳐 <b>변화시키고,</b> 자신이 살고 있는 환경에 맞는 특정 유전자를 자신의 자식에게 전달하기 때문이다.	변이
	포식자인 치타는 포식자인 빠른 속도의 인디아 영양을 <b>잡아먹기 위해</b> 점점 달리기 속도가 빨라지게 진화하게 되었다.	차등적 생존과 차등적 생식
	인디아 영양보다 느렸던 치타는 <b>사냥을 위해</b> 달리기 <b>속도를 늘려 나갔다.</b> 결과적으로 인디아 영양보다 빨라져 사냥이 수월해졌다.	차등적 생존과 차등적 생식
	치타가 인디아 영양보다 느려 차등적 생존율이 낮아 자연에서 살아남기 어려워서 <b>생존율을 높이기 위해</b> 더 빠르게 달리게 되었다.	차등적 생존과 차등적 생식
내부의지 & 예정된 방향	포식자보다 차등적 생존율이 낮던 치타들이 <b>살아남기 위해</b> 더 빨리 달리며 먹이를 사냥하게 되었고, 이결과 포식자가 포식자보다 더 빠르게 달릴 수 있게 되어 차등적 생존율이 높아졌다.	차등적 생존과 차등적 생식
	인간은 딱히 포식자가 없어 시각에 집중하지 않지만, 오징어는 포식자가 있어 그에 따라 <b>시각의 중요성이 높아 더 효율적인 구조로 진화한</b> 것이다.	소진화와 대진화
	생물은 <b>변이를 일으킨다.</b> 수많은 형질들 중에서 환경에 가장 적합한 형질을 가진 생물만 살아남기 때문에 <b>더 효율적인 구조를 가지는 방향으로</b> 일어난다.	소진화와 대진화

Table 16은 단계별 글쓰기에서 진화 핵심 개념에 대해 인지적 편향이 드러난 학생의 글쓰기 답안을 나타낸 것이다.

#### 본질주의

Gelman & Rhodes(2012)에 따르면 본질주의 편향은 사물이 어떤 범주에 속하게 하는 근본적인 속성, 본질을 가지고 있다고 생각하는 것으로 생물의 변이에 대한 이해를 방해한다. 이는 연구 결과, 본질주의 편향이 진화 핵심 개념 중 ‘변이’에서만 나타난 것에서 확인할 수 있다. 또한 학생5의 경우, 선개념을 드러내는 생각글쓰기에서 본질주의 편향이 나타났고, 디딤 자료를 제공하고 작성한 디딤글쓰기와 교사의 설명 후에 작성한 정리글쓰기에서도 본질주의 편향이 해소되지 않은 채 계속적으로 나타났다. 이는 Nehm *et al.*(2010)의 말처럼 진화에 대한 인지적 편향은 인지구조에서 제거하기 어려움을 보여준다. 그 외 생각글쓰기에서 본질주의 편향을 드러냈던 네 명의 학생 중 세 명은 제공받은 디딤자료의 제공만으로도 편향이 해소되었고 과학적 개념을 활용하여 글을 작성하였다.

#### 내부의지

내부의지는 생물체 스스로 의도를 가지고 진화적 변화를 일으킨다고 생각하는 사고방식이다(Gregory, 2009). 내부의지 편향은 ‘변이’, ‘차등적 생존과 차등적 생식’, ‘소진화와 대진화’에서 나타났으며, ‘차등적 생존과 차등적 생식’ 개념에서 두드러지게 나타났다. ‘차등적 생존과 차등적 생식’ 개념을 학습하는 문항에서 모기의 살충제 내성과 치타의 달리기 속도에 대해 내부의지와 목적론이 함께 나타난 학생이 다섯명이었다. 내부의지와 목적론적 사고는 서로 결합하여 생물체가 생물학적 필요를 충족시키기 위해 목표지향적으로 행동한다는 사고로 이어지며 서로를 강화시킬 수 있다는 연구 결과(Richard, Coley, & Tanner., 2017; Spiegel, Evans, Frazier, Hazel, Tare, Gram, & Diamond, 2012)들과 일치한다. 또한 인지적 편향인 내부의지와 오개념 적응이 결합되어 나타난 학생도 있었다. 생물체가 의지를 가지고 주어진 환경에 적응하도록 형질을 바꾼다는 사고로 진화적 변화에 대한 설명을 간편하게 할 수 있기 때문에 나타나는 것으로 보인다.

#### 목적론

목적론은 생물체의 형질이 생존에 도움이 되기 때문에 어떤 필요에 의해 생물체가 해당 형질을 가지고 있다고 믿는 사고 방식으로(Kelemen, 2012), ‘하기 위해서’, ‘그래서’와 같은 표현을 이용하는 것으로 나타난다(Nehm *et al.*, 2010). 목적론적인 편향은 학생들이 생물의 진화를 설명하는데 가장 많이, 가장 자주 사용했으며 ‘변이’, ‘차등적 생존과 차등적 생식’, ‘소진화와 대진화’에서 고루 사용되었다. 또한 목적론 편향은 생물의 필요에 의해 형질을 갖게 되었다고

생각하게 하기 때문에 진화에 대한 창조론적 사고를 하게 할 수도 있다(Sinatra, Brem, & Evans, 2008). Table 16의 목적론 답안 대부분은 창조론적 사고를 기반으로 작성했음을 알 수 있다.

#### 예정된 방향

예정된 방향은 진화는 더 고등하고 완벽한 생물을 만들어내는 방향으로 일어난다고 믿는 사고방식으로(Nehm *et al.*, 2010), 진화 핵심 개념인 소진화와 대진화의 내용 요소 진화의 방향에서 두드러지게 나타났다. 생각글쓰기 단계에서 8명이 예정된 방향 편향을 보였지만 디딤자료가 제공된 후 7명은 편향이 해소되었으며, 디딤글쓰기에서도 편향이 해소되지 않았던 한 명은 교사의 설명 후 예정된 방향 편향이 해소되어 과학적 개념을 활용한 정리글쓰기를 작성하였다.

#### 나. 진화 핵심 개념별 오개념

과학에서, 특히 진화생물학 분야에서 학생들은 종종 과학 용어를 사용하면서도 해당 용어의 의미나 함의를 정확히 이해하지 못하는 경향이 있다(Nehm *et al.*, 2010). 진화적 변화를 설명할 때 학생들은 ‘압력’, ‘적응’, ‘필요’와 같은 단어를 사용하는데, 이 용어들은 과학적 영역 안팎에서 서로 다른 의미를 가지기 때문에 이러한 용어는 학생들이 과학적으로 정확한 개념을 형성하는 데 방해가 될 수 있다. 일상에서 사용하는 용어와 생물학적 용어가 혼용되어 나타나는 문제점을 지적한 Geor, Cha, & Yang(2016)의 연구를 토대로 학생 글쓰기 답안에서 드러난 중학생의 진화에 대한 오개념을 분석하였다. 다음은 변이에 대한 48개의 글쓰기 자료와 변이의 유전, 차등적 생존과 차등적 생식 그리고 소진화와 대진화에 대한 64개의 글쓰기 자료에 대한 분석 결과이다.

Table 17은 생각글쓰기 단계에서 진화 핵심 개념별 오개념을 드러낸 학생 수를 나타낸 것이며, 두 가지 이상의 오개념이 결합되어 동시에 나타난 경우 각 오개념의 개수를 별도로 표시하였다. 글쓰기의 모든 단계에서 생물의 진화에 대하여 적응, 압력 그리고 필요의 순서로 많이 드러났으며, Table 18은 단계별 글쓰기에서 진화 핵심 개념에 대해 오개념이 드러난 학생의 글쓰기 답안을 나타낸 것이다.

#### 압력

진화론적 설명에서 압력은 유전자형 변화 메커니즘을 뜻하며 이를 바탕으로 자연선택 혹은 진화로 이어질 수 있지만, 학생들은 압력을 변화를 일으키는 물리적인 힘으로 생각하는 일반적 의미와 혼용한다(Nehm *et al.*, 2010). 대부분의 오개념 압력은 진화 핵심 개념 ‘변이’에 대한 설명에서 나타났으며, 환경에 알맞게, 환경에 맞추어 새로운 형질을 갖게 되었다는 설명이 대부분이었다.

Table 17. The number of students showing misconception in evolutionary concepts

진화 핵심 개념	오개념 유형	압력	적응	필요
변이 (48)		5		
변이의 유전 (64)		3	3	1
차등적 생존과 차등적 생식 (64)		1	12	
소진화와 대진화 (64)		3	2	
<b>합계</b>		<b>12</b>	<b>17</b>	<b>1</b>

적응

진화론적 설명에서 적응은 주어진 환경에 적합한 형질을 갖춘 개체는 다른 개체보다 현재 환경에서 더 유리한 생존과 생식의 기회를 가짐을 의미하지만(Nehm & Reilly, 2007), 일반적 정의로는 새롭거나 변화된 환경에서 자신을 조정하거나 적응하여 주어진 환경 조건에 더 적합하도록 만드는 것을 뜻한다(National Institute of the Korean Language Standard Korean Dictionary).

오개념 적응은 ‘변이의 유전’, ‘차등적 생존과 차등적 생식’에 대한 설명에서 두드러졌고, 변화된 환경에 더 잘 적응하기 위해 유리한 형질을 자손에게 전달한다 즉, 유전시킨다는 표현과 차등적 생존률을 높이기 위해 적응한다는 의미로 생물체 자신을 주어진 환경에 유리하게 조정하는 의미로 사용했다. 생물학적 정의의 적응은 수 세대에 걸쳐 주어진 환경에 적합한 형질을 나타내는 유전자가 다음 세대의 자손에게 전달되는 과정을 수반한다. 즉 집단 내 생물의 다양성, 변이의 유전 그리고 오랜 시간의 과정이라는 여러 개념이 유기적으로 연결되어야 하는 복잡한 의미의 용어인데 반해 학생들은 생물체의 내부적인 변화 그리고 의지로 변화시킬 수 있다는 생각으로 적응을 사용하는 경우가 많았다.

필요

진화론적 설명에서 필요는 진화생물학 전공자가 아닌 학생들이 흔히 사용하는 말이다(Nehm & Reilly, 2007; Nehm & Schonfeld, 2008). 이러한 설명에서 필요는 진화적 변화의 원인으로 쓰이는데, 이는 생물체가 생존을 위해 변화해야 한다는 근거로 작용한다(Nehm & Reilly, 2007). 이때 인지적 편향의 내부의지와 오개념의 필요를 구분할 명확한 기준이 필요하다. 본 연구에서는 인지적 편향은 진화의 주체인 생물체의 내적 의지로 결정되는 것이고, 오개념의 필요는 진화의 주체가 아닌 외부에서 진화적 변화를 설명할 때 사용하는 용어로 정의하였다. 예를 들어 ‘생존에 유리한 형질이 아니기 때문에 유전되지 않는다’는 학생의 설명은 진화의 주체가 아닌 외부의 시점에서 진화적 변화를 설명하고 있으므로 이때는 오개념 필요가 개입되었다고 볼 수 있다. 위와 같은 기준으로 인지적 편향 내부의지와 오개념 필요를 구분하다 보니 오개념 필요를 드러낸 글쓰기 답안은 단 한 건이었다. 즉 학생들은 생물의 진화적 변화를 설명할 때, 관찰자 시점이 아닌 생물체 시점에서 생물체의 입장으로 진화적 변화를 설명함을 알 수 있었다.

Yoon(2015)에 의하면 우리나라 중·고등학생들은 획득형질의 유

Table 18. Cognitive biases and misconceptions regarding evolutionary concepts

오개념	글쓰기 답안	진화 핵심 개념
압력	같은 종일지라도 서식 환경이 다르면 그에 유리하게 변하기 때문에 같지 않을 것이다.	변이
	종이 같으므로 유전 변이 덕분에 형질이 모두 같지만 사는 환경에 따라 환경 변이를 하여 형질이 바뀌기 때문에 털 색깔도 형질이 같지 않다.	변이
	유전변이의 경우의 수가 매우 크므로 유전적 다양성이 나타난다. 환경 변이에 따라 유전자가 변화하여 형질이 매우 다양해진다.	변이
	생식세포 분열을 통해 많은 유전자를 만들어내지만 그 유전자가 가지고 있는 유전정보는 서로 다르다. 환경에 맞게 자신의 형태를 변화시키고 번식하였을 것이다.	변이
	환경에 맞는 외형적 특징이 여러 개인 경우 다양한 무늬를 나타낼 수 있다.	변이
	살아가는 과정에서 생긴 획득형질로 서식 환경에 알맞게 난쟁이로 자랄 것이다.	변이의 유전
	주변 환경의 변화로 다음 자손은 목이 긴 모습으로 태어날 것이다.	변이의 유전
	옛날에 치타의 조상들이 32km/h로 달리고 인디아 영양은 97km/h로 달리면 조상들은 사냥하기 어려웠을 것이다. 그러므로 주어진 환경에 적합하게 지금의 치타가 되었다.	차등적 생존과 차등적 생식
	진화는 해당 환경에 맞추어 알맞게 변화하는 환경 변이로 좀 더 유용하거나 효율적으로 변하는 것이다.	소진화와 대진화
	유성생식은 속도가 느리고 태어나는 수도 적으므로 효율적이진 않다. 하지만 유전적으로 다양하여 환경 변화에도 적응할 수 있는 유전자가 있을 수 있다.	변이의 유전
적응	무성생식의 장점은 환경만 좋으면 짧은 시간 내 많은 자손을 만들어낼 수 있다. 그러나 단점은 부모의 유전자와 모두 똑같아서 자손들의 형질이 똑같아 다양하지 않고 환경 변화에 잘 적응하지 못해서 멸종할 수 있다.	변이의 유전
	획득 형질로 정상적인 나무도 분재에 적응하여 크기가 작아질 것 같다.	변이의 유전
	살충제에 적응한 모기들이 차등적 생식률이 높아 다음 세대에 그들의 유전자를 더 많이 남겨 처음과 같은 살충제를 뿌려도 죽지 않는 비율이 증가하였다.	차등적 생존과 차등적 생식
	모기들이 살충제에 적응했기 때문에	차등적 생존과 차등적 생식
	대부분의 먹잇감들보다 느렸던 치타들은 굶어 죽었을 것이다. 빠른 치타들과 느린 치타들은 차등적 생존을 했을 것이고, 또 차등적 생식력에 따라 빠른 치타들의 개체수는 증가하고 느린 치타들은 감소하여 결국 치타들은 속도에 적응했을 것이다.	차등적 생존과 차등적 생식
	몇몇 모기들은 살충제에 많이 노출되어 적응하고, 그 유전자를 자손에게 물려줬기 때문에	차등적 생존과 차등적 생식
	인디아 영양이 너무 빨라서 치타가 사냥하기 어려워 사냥을 잘 할 수 있도록 적응해서	차등적 생존과 차등적 생식
	모기들이 살충제를 뿌려도 죽지 않게 적응해서	차등적 생존과 차등적 생식
	살충제를 이겨내도록 적응했기 때문	차등적 생존과 차등적 생식
	아무 이유 없이 외관적 변화가 되면 진화는 아니고 환경에 적응하기 위해 외관이 달라지면 진화한 것이다.	소진화와 대진화
필요	생존에 유리한 형질이 아니기 때문에 유전되지 않는다.	변이의 유전
압력 & 적응	새하얀 토양에서는 그 환경에 맞추어 변이를 일으킨 흰색 딱정벌레가 상대적으로 차등적 생존률이 검정 딱정벌레보다 높아 흰색이 살아남게 되고 흰색이 적응하면서 대부분을 차지하게 될 것이다.	소진화와 대진화

전, 생물체 내부의지에 의한 진화에 대해 매우 높은 비율로 오개념을 가지고 있다. 획득형질이 유전된다고 이해하는 것은 형질이 어떤 요인에 의해 발현되어 나타나는지를 명확하게 이해하고 있지 못하기 때문일 것이다. 또한 미안마 카렌족 여성의 딸 역시 긴 목으로 태어나는지를 묻는 획득형질(동물) 문항과 분재 씨앗으로부터 자란 나무의 크기를 묻는 획득형질(식물) 문항의 점수 향상 정도에 차이를 확인할 수 있었다. 두 문항의 CC와 KC는 동일함에도 불구하고 동물을 소재로 한 문항의 점수 향상 폭이 더 컸다. 이는 동물과 식물의 진화적 기작이 동일하다는 사실을 알지 못하고, 식물에 대한 이해가 동물에 대한 이해보다 부족하기 때문으로 보이며 이러한 결과는 Ha, Lee, & Cha(2006)의 연구에서도 확인할 수 있다.

변이의 유전에 대해 필요, 압력, 적응의 오개념 모두가 고루 나타났지만 인지적 편향이 드러난 학생은 없었다. 본 연구에서는 진화에 대한 잘못된 설명 체계를 인지적 편향과 오개념으로 구분하였다. 이는 여러 선행연구에서는 인지적 편향과 오개념으로 구분하지 않고 변이의 유전에 대하여 획득형질의 유전과 생물체 내부의지에 의한 진화적 설명을 모두 오개념으로 범주화하여 설명한 것과 차이가 있다.

유전 개념에 대한 이해 부족이 변이에 대한 인지적 편향과 오개념으로 이어진다는 Kelemen(2012)의 말처럼 교육과정상 중학교 3학년에 배정된 유전 단원을 학습하기 전인 예비중 2학년, 예비중 3학년인 여섯명의 학생들은 변이에 대해 본질주의, 내부의지, 목적론, 예정된 방향의 네 가지 인지적 편향이 모두 나타났고, 오개념의 경우 압력이 나타났다. 반면 예비고 1학년 학생 열 명 중 두 명만이 변이에 대해 목적론적 편향이 나타났다. 인지구조에 강하게 박힌 편향은 디딤 자료의 제공만으로 해소되지 않았고, 학습 전에 방송에서 잘못된 진화적 표현을 접했지만 방송에서 잘못된 설명을 하지 않았을 거라는 강한 확신을 보인 학생의 경우, 디딤 자료를 읽고 교사의 설명을 들은 후에도 진화 핵심 개념에 대한 전체적인 이해 향상도가 매우 낮음을 확인하였다. 생각글쓰기에서 인지적 편향과 오개념이 드러난 학생들은 반드시 교사의 진화적 설명이 뒷받침되어야 하며 방송은 정확한 정보와 사실만을 전달한다고 생각하는 경향이 있으므로 방송에서는 해당 개념이 과학적으로 옳은지에 대한 검토 과정이 필요하다. 또한 학생들이 맹목적으로 방송의 내용을 받아들이지 않도록 방송의 내용을 합리적으로 받아들일 수 있는 연습도 필요해 보인다.

‘차등적 생존과 차등적 생식’ 개념에 대해 기본형 문항과 심화형 문항으로 구분하여 질문하였고 학생들은 심화형 문항에서 훨씬 더 다양하고 많은 수의 인지적 편향과 오개념을 드러냈다. 교사는 학생이 작성한 글쓰기에서 드러난 편향과 오개념을 확인하고 이에 관련한 질문을 던지고 학생의 생각을 다시 듣는 방법으로 해당 개념을 바르게 교정하기 위한 다양한 피드백을 제공했다. 그 결과 정리글쓰기 단계에서 인지적 편향과 오개념이 해소되는 것을 확인하였다. 이처럼 여러 개념들이 유기적으로 연결되어야 설명이 가능한 진화에 대해 학생의 개념 구조를 파악하고 수정할 수 있는 기회를 얻기 위해서는 복합적으로 고려해야 할 조건을 함께 제시하는 심화형 문항이 필요하다.

‘생물의 진화’를 설명하기 위해서는 변이에 의한 생물 다양성, 차등적 생존과 차등적 생식에 따른 다음 세대로의 유전자 전달 가능성을 모두 고려하고 개념 간의 관계를 고려하여 유기적으로 연결할 수 있어야 한다. 하지만 대부분의 학생들은 주어진 환경에 적합한 생물이 살아남아서 유전자를 전달했기 때문에 생물체의 형질이 지금과 같다

고 설명하는 한 세대 내에서의 기작만을 포함한 답안이 대부분이었다. 진화는 한 개체에서의 변화가 아니라 집단에서 일어나는 것이며 유전적 다양성이 있는 상황에서 생존 경쟁을 통해 특정 유전자가 선택되는 과정이 반복적으로 누적되어 새로운 종이 나타나는 과정으로 집단 개념이 필수적이다. 하지만 학생들은 한 개체 또는 한 세대에서의 적응 과정을 진화라고 인식하고 있음을 많은 연구에서 보고하고 있다 (Deadman & Kelly, 1978; Brumby, 1984). 따라서 교사는 유전적 변이와 돌연변이가 진화의 원동력이며, 차등적 생존뿐만 아니라 차등적 생식까지 이루어져야 유전자의 전달이 가능함을 강조하여 설명하고 학생들과 충분히 논의되어야 함을 인식해야 할 것이다.

#### IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 중학생의 진화 개념 이해 향상을 위한 단계별 글쓰기 수업 모형을 개발하고, 단계별 글쓰기 전략과 함께 고안한 평가 루브릭을 활용한 진화 개념 이해 향상 프로그램을 개발하였다. 개발한 프로그램을 적용하고 수집한 학생 글쓰기 자료를 진화 개념 평가 루브릭을 토대로 채점 및 분석함으로써 중학생의 진화에 대한 과학적 개념 이해 수준, 인지적 편향 그리고 오개념을 분석하였다. 이 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 진화 개념 이해 향상 단계별 글쓰기 프로그램을 통해 중학생의 진화 핵심 개념에 대한 이해가 향상되고, 진화 핵심 개념별 인지적 편향과 오개념의 표현이 감소한 것을 확인하였다. 진화 개념 검사 도구 즉 선택형 검사 도구와 프로그램의 글쓰기 답안 즉 서술형 검사 도구를 사용하여 사전과 사후의 평균 점수를 비교한 결과, 선택형 검사 도구에서는 유의미한 향상이 없던 학생이 서술형 검사 도구에서는 수업 전후의 유의미한 차이가 나타났다. 이는 선택형 검사 도구에서는 학생이 가장 그럴듯한 답안을 선택할 수 있어 실제 이해보다 높은 점수를 받았던 것으로 해석된다. 따라서 진화 개념의 실제 이해를 파악하기 위해서는 서술형 검사 도구를 사용하는 것이 필요하다.

둘째, 단계별 글쓰기 프로그램을 통해 진화 핵심 개념별 이해 수준 변화를 확인할 수 있었다. ‘변이’와 ‘변이의 유전’ 개념은 읽기 자료 제공만으로는 충분하지 않으며 교사의 개입이 이해 수준을 향상시키는데 중요한 역할을 했다. ‘차등적 생존과 차등적 생식’ 개념에서 학생들은 수업 단계가 진행됨에 따라 빠르게 이해 수준이 향상되었다. 수업 전 진화 핵심 개념 중 ‘소진화와 대진화’에 대한 개념 이해 수준이 가장 낮았다. 하지만 수업 단계가 진행됨에 따라 학생들의 개념 이해 수준이 크게 향상되었다. 현재 자연선택과 소진화를 중심으로 이루어진 교육과정을 보완하여 대진화를 학습할 수 있는 교육의 기회를 제공한다면 학생들은 대진화 개념을 충분히 이해하고 자신의 글로 정리할 수 있는 학습 능력이 있음을 시사한다.

셋째, 단계별 글쓰기 프로그램이 효과적인 진화 교육 방법임을 확인하였다. 단계별 글쓰기 프로그램을 통해 학생들은 진화에 대한 자신의 선개념을 드러내고, 주어진 자료에서 필요한 과학적 개념을 찾아 활용하며, 교사와의 논의를 통해 학습한 개념을 종합하여 글로 정리하는 활동을 수행했다. 이를 통해 자신의 개념 변화를 깨닫고 개념 이해 수준을 향상시켰다. 교사의 적절한 개입은 올바른 진화 개념 이해에 중요하며, 단계별 글쓰기 프로그램은 여러 개념 간의 유기적 연결을 필요로 하는 진화론을 이해하는데 적합하고 효과적인

방법임을 확인하였다.

넷째, 중학생의 진화 개념을 평가하기 위한 루브릭을 개발하고 이를 통해 정량화 및 정성적인 분석이 가능한 것을 확인하였다. 진화 개념 평가 루브릭을 통해 중학생의 진화 개념의 이해도를 측정하고 특히 진화에 대한 인지적 편향과 오개념을 분석하는데 효과적임을 밝혀냈다. 변이에 대한 글쓰기 답안에서는 본질주의, 내부의지, 목적론의 인지적 편향이 나타났고, 차등적 생존과 차등적 생식에서는 목적론과 내부의지의 편향이 돋보였으며, 소진화와 대진화는 예정된 방향의 편향이 두드러졌다. 반면 변이의 유전에 대한 인지적 편향은 나타나지 않았다. 과거 중·고등학생을 대상으로 한 연구에서 획득형질이 유전된다고 생각하는 비율이 높게 나타났던 것과는 달리 본 연구의 중학생들은 획득형질이 유전된다는 오개념을 거의 가지고 있지 않았으나, 형질이 환경에 맞추어 나타난다는 잘못된 개념을 갖고 있었다. 차등적 생존과 차등적 생식의 개념을 설명하는 데서 적응의 일반적 정의의 생물학적 정의를 혼용하는 경향이 강하게 나타났다. 글쓰기를 통해 학생들의 인지적 편향과 오개념을 드러내고, 루브릭을 사용하여 체계적으로 분석하고 피드백을 제공할 수 있었다. 믿을 만한 평가 체계의 개발을 통해 학생들의 진화 개념을 정확히 이해하고 개선하는데 도움이 될 것으로 보인다.

다음으로 이 연구를 통해 제안하고자 하는 후속 연구에 대한 제언은 다음과 같다.

첫째, 개발한 프로그램은 실험집단에만 적용하여 그 효과성을 확인한 것이므로 강의식 수업을 적용한 집단과 비교하여 프로그램의 효과를 확인하는 후속 연구가 필요하다.

둘째, 개발한 단계별 글쓰기 수업 모형인 PEECE 모형은 진화론과 같이 여러 개념 간의 유기적인 연결을 통해 이해해야 하고 인지적 편향과 오개념이 많은 이론 또는 개념을 학습하는 데에 효과적인 수업 모형이므로 이에 해당하는 다른 단원 또는 교과와 수업에도 적용하여 개념 형성 과정과 개념 이해 향상 효과를 확인하는 연구가 필요하다.

셋째, 유전자의 전달 가능성을 고려할 때에 대부분의 학생들은 ‘차등적 생존’ 개념은 쉽게 떠올리고 글로 정리하는 데에 어려움이 없었지만, ‘차등적 생식’ 개념은 유전자의 전달 가능성과의 관련성을 찾지 못하고 교사의 설명을 들은 후에도 생물의 진화를 설명하는 데에 해당 개념을 사용한 학생이 없었다. 이에 따라 ‘차등적 생식’ 개념을 이해하고 학생들이 내면화할 수 있는 효과적인 교수·학습 전략의 개발이 필요하다.

넷째, 진화 핵심 개념 중 ‘차등적 생존’과 ‘차등적 생식’에 대한 오개념 ‘적응’이 강하게 나타났다. 그 원인에 대한 분석과 오개념을 해소할 수 있는 프로그램의 개발이 필요할 것이다.

다섯째, 이 연구를 통해 밝힌 중학생의 진화에 대한 인지적 편향과 오개념은 새로운 진화 수업 자료와 교사 교육 프로그램을 개발하는데 참고가 될 수 있다.

## 국문요약

본 연구는 단계별 글쓰기 전략을 활용한 중학생 대상 진화 개념 이해 향상 프로그램과 프로그램에 적용 가능한 진화 개념 평가 루브릭을 개발하여 중학생의 진화 개념 이해 향상에 효과가 있는지를 알

아보고자 수행하였다. 이를 위해 과학 글쓰기의 한 방법으로 단계별 글쓰기 수업 모형(PEECE)을 고안하고, 중학교 교육과정을 고려하여 생물의 진화를 설명하는 데 필요한 진화 핵심 개념을 선정하였다. 선정된 진화 핵심 개념은 변이, 변이의 유전, 차등적 생존과 차등적 생식, 소진화와 대진화로 6가지이며, 각 진화 핵심 개념을 수업의 주제로 하여 매차시마다 PEECE 수업 모형에 따라 진행되는 8차시 4회분의 프로그램으로 개발했다. 이 프로그램은 중학교 공동교육과정의 수업 학생 16명을 대상으로 적용했다. 수업 전후에 진화 개념 검사지를 통해 진화 개념 이해 수준을 진단하고, 수업 후 같은 진화 개념 검사지로 진화 개념 이해 향상을 비교했다. 또한 수업을 통해 진화 핵심 개념별로 학생들의 글쓰기 자료를 수집하여 진화 개념 평가 루브릭을 활용하여 채점하고 면밀하게 분석했다. 연구 결과, 개발된 단계별 글쓰기 전략은 6가지 진화 핵심 개념 이해 향상에 효과적인 것으로 나타났으며 진화에 대한 인지적 편향과 오개념의 표현이 감소함을 확인했다. 선택형 검사 도구인 진화 개념 검사지보다 서술형 검사 도구인 글쓰기 활동지는 학생들의 진화에 대한 과학적 개념, 인지적 편향, 오개념을 가시적으로 드러낼 수 있어서 교사가 학생의 이해 상태를 확인하고 피드백을 주기에 용이했다. 또한 함께 개발한 평가 루브릭은 구체적인 채점 기준을 제공하므로 채점자의 주관이 개입될 우려 없이 객관적인 채점이 가능하며, 학생의 글쓰기 자료를 평가 영역별로 분석하고 점수를 산출하여 학생의 기초 자료를 수집할 수 있었다.

**주제어** : 단계별 글쓰기 수업 프로그램, 과학 글쓰기, 진화 개념, 평가 루브릭

## References

- Ahn, J., Cha, H., & Shin, D. (2023). Text mining analysis of evolutionary content in textbooks and online news articles. *Biology Education*, 51(1), 125-142.
- American Association for the Advancement of Science.(1993). *Benchmarks for science literacy: A Project 2061 report*. New York: Oxford University Press
- Anderson, D. L., Fisher, K. M., & Norman, G. J. (2002). Development and evaluation of the conceptual inventory of natural selection. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(10), 952-978.
- Andrade, H. G., & Boulay, B. A.(2003). Role of rubric referenced self-assessment in learning to write. *The Journal of Educational Research*, 97(1), 21-30.
- Brumby, M. N.(1984). Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students. *Science Education*, 68, 493-503
- Cha, K., & Lee, J. (2017). A study on types and content organization of scientific writing. *Journal of Korean Language Education Research*, 39, 225-260.
- Coley, J. D., & Tanner, K. D. (2012). Common origins of diverse misconceptions: cognitive principles and the development of biology thinking. *CBE—Life Sciences Education*, 11(3), 209-215.
- Deadman, J. A., & Kelly, P. J. (1978). What do secondary school boys understand about evolution and heredity before they are taught the topics? *Journal of Biological Education*, 12(1), 7-15.
- Gelman, S. A. & Rhodes, M. (2012). “Two-thousand Years of Stasis”: How Psychological Essentialism Impedes Evolutionary Understanding. In Rosengren, K. S., Brem, S. K., Evans, E. M., & Sinatra, G. M. (Eds.), *Evolution Challenges: Integrating Research and Practice in Teaching and Learning about Evolution* (pp.3-21), New York: Oxford University Press.
- Geor, G., Cha, H., & Yang, P. (2016). Prospective Biology Teachers’ Perceptions of Biological Competition and Adaptation. *Korean Journal of Science Education*, 36(5), 801-814.
- Gregory, T. R. (2009). Understanding natural selection: essential concepts

- and common misconceptions. *Evolution: Education and Outreach*, 2(2), 156-179.
- Ha, M., & Cha, H. (2007). A qualitative cross-sectional study on explanations of evolutionary mechanisms. *Biology Education*, 35(1), 106-116.
- Ha, M., Lee, J., & Cha, H. (2006). Description of a Cross-Sectional Study on Students' Evolution Concepts and Characteristics of Evolution Concept Formation According to the Object of Description. *Korean Association for Science Education*, 26(7), 813-825.
- Im, Y. (2020). Designing elementary history lessons with an integrated approach to curriculum, instruction, assessment, and technology using rubrics. *Social Studies Education*, 59(4), 83-96.
- Jang, K., Nam, J., & Choi, A. (2012). Analysis of the effects of inquiry-based science writing activities on the argumentative structures in students' writing. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(7), 1099-1109.
- Kahneman, D., Slovic, P., & Tversky, A. (1982). *Judgment Under Uncertainty: Heuristics and Biases*. (Eds.) New York: Cambridge University Press.
- Kelemen, D. (2012). Teleological Minds : How natural intuitions about agency and purpose influence learning about evolution. In Rosengren, K. S., Brem, S. K., Evans, E. M., & Sinatra, G. M. (Eds.), *Evolution Challenges: Integrating Research and Practice in Teaching and Learning about Evolution* (pp.66-92), New York: Oxford University Press.
- Kelemen, D., Rottman, J., & Seston, R. (2013). Professional physical scientists display tenacious teleological tendencies: Purpose-based reasoning as a cognitive default. *Journal of Experimental Psychology: General*, 142(4), 1074-1083.
- Kim, D. (2021). Analysis of teachers' cognitive biases in reading activities on biological evolution texts. Master's thesis, Korea National University of Education.
- Kim, H., & Kang, K. (2021). Analysis of prospective biology teachers' writing using evaluation rubrics applied to different types of science writing. *Journal of the Korean Association for Biological Education*, 49(4), 471-485
- Kim, K. (2009). The effects of scientific writing for guiding misconceptions and scientific thinking abilities. Master's thesis, Graduate School of Education, Kangwon National University.
- Kwon, J., & Cha, H. (2015). An analysis of the effects of an argumentation program to improve teachers' understanding of evolutionary concepts. *Journal of Korean Association for Science Education*, 35(4), 691-707.
- Lee, C., & Park, J. (2014). Development and application of science writing class strategies utilizing newspaper articles. *Elementary Science Education*, 33(4), 710-723.
- Lee, H., & Choi, K. (2004). Prior concepts and misconceptions of elementary students reflected in science writing. *Journal of Curriculum and Instruction Research*, 8(3), 421-435.
- Lee, I. (2010). The effect of rubrics on the improvement of college students' writing abilities. *Journal of Korean Language Literature*, 48, 29-53.
- Lee, K. (2007). The impact of constructivist learning strategies on middle school students' science conceptual learning and scientific attitudes - with a focus on scientific writing. Doctoral dissertation, Chonbuk National University.
- Lee, N., Cha, H., & Cheon, J. (2009). Analysis of the process of conceptual changes regarding bacteria through science writing. *Biology Education*, 37(4), 594-606.
- Moon, M., & Shin, A. (2012). The effects of science writing activities on elementary students' cognitive and affective aspects. *Elementary Science Education*, 31(4), 413-423.
- Moon, S., & Yang, I. (2014). Changes in the science writing proficiency of elementary students through continuous presentation of assessment rubrics. *Brain-Based Education Research Institute*, Korea National University of Education, 4(2), 25-45.
- National Institute of the Korean Language. (2023, December 25). Adaptation. Standard Korean Dictionary. Retrieved from [https://stdict.korean.go.kr/search/searchView.do?word\\_no=279654&searchKeywordTo=3](https://stdict.korean.go.kr/search/searchView.do?word_no=279654&searchKeywordTo=3)
- Nehm, R. H., & Reilly, L. (2007). Biology majors' knowledge and misconceptions of natural selection. *BioScience*, 57(3), 263-272.
- Nehm, R. H., Ha, M., Rector, M., Opfer, J. E., Perrin, L., Ridgway, J., & Mollohan, K. (2010). Scoring guide for the open response instrument (ORI) and evolutionary gain and loss test (ACORNS). Technical Report of National Science Foundation REESE Project 0909999.
- Nehm, R. H., & Schonfeld, I. S. (2007). Does Increasing Biology Teacher Knowledge of Evolution and the Nature of Science Lead to Greater Preference for the Teaching of Evolution in Schools?. *Journal of Science Teacher Education*, 18(5), 699-723.
- NRC (National Research Council) (2011). *A Framework for K-12 science education: practices, cross-cutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: The National Academics Press.
- Owens, C. V. (2001). Teachers' responses to science writing. *Teaching and Learning: The Journal of Natural Inquiry & Reflective Practice*, 15(1), Article 5.
- Park, E. (2007). Development and application of a science writing teaching and learning program. Master's thesis, Seoul National University of Education.
- Park, H. (2020). A study on the enhancement of writing abilities in elementary and middle school students using assessment (Part I): Development of evaluation criteria and sample items. Korea Institute for Curriculum and Evaluation.
- Prain, V., & Hand, B. (1999). Students perceptions of writing for learning in secondary school science. *International Journal of Science Education*, 83(2), 151-162.
- Raimes, A. (1983). *Techniques in teaching writing*. Oxford : Oxford University Press.
- Richard, M., Coley, J. D., & Tanner, K. D. (2017). Investigating undergraduate students' use of intuitive reasoning and evolutionary knowledge in explanations of antibiotic resistance. *CBE—Life Sciences Education*, 16(3), ar55.
- Shin, J. (2005). Analysis of high school students' cognitive status on the concept of evolution in the natural sciences. Master's thesis, Sungkyunkwan University.
- Sinatra, G. M., Brem, S. K., & Evans, E. M. (2008). Changing minds? Implications of conceptual change for teaching and learning about biological evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 1(2), 189-195.
- Spiegel, A. N., Evans, E. M., Frazier, B., Hazel, A., Tare, M., Gram, W., & Diamond, J. (2012). Changing museum visitors' conceptions of evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 5(1), 43.
- Wood-Robinson, C. (1994). Young people's ideas about inheritance and evolution. *Studies in Science Education*, 24, 29-47.
- Yang, P., Cha, H., & Shin, G. (2021). A study on high school students' overconfidence in the biological evolution concept. *Journal of Curriculum and Instruction Research*, 25(3), 234-247.
- Yeo, E. (2010). Analysis of high school students' writing in classes utilizing Scientific Writing Heuristic (SWH). Master's thesis, Graduate School of Education, Korea National University of Education.
- Yoon, M., & Hong, Y. (2014). Development and effects of elementary science writing rubrics. *Korean Journal of Elementary Education*, 25(3), 35-52.
- Yoon, Y. (2015). Analysis of Evolution Misconceptions among Middle and High School Students Based on the Level of Evolutionary Conceptual Understanding. Master's Thesis, Graduate School of Education, Korea National University of Education.

## 저자정보

김예은(세종과학예술영재학교 교사)  
차희영(한국교원대학교 교수)