



## 교사들의 진화 개념 이해 향상을 위한 논변활동 프로그램 효과 분석

권지은<sup>1</sup>, 차희영<sup>2\*</sup>

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

### Analyzing the Effect of Argumentation Program for Improving Teachers' Conceptions of Evolution

Jieun Kwon<sup>1</sup>, Heeyoung Cha<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Sukwoo Middle School, <sup>2</sup>Korea National University of Education

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 21 July 2015

Received in revised form

4 August 2015

19 August 2015

Accepted 20 August 2015

##### Keywords:

argumentation activity,  
biological evolution,  
evolution education,  
biology teachers,  
teacher education program

#### ABSTRACT

This study aims to develop biology teachers' education program based on argumentation activity about core concepts of evolution and to analyze the characteristics of core concepts of evolution learned during the program. The eight core concepts of evolution in this study were variation, heritability of variation, competition, natural selection, adaptation, differential reproductive rate of individuals, changes in genetic pool within a population, and macroevolution. The performances of teachers participating in the program were compared before and after argumentation activities; consisting of seven sessions on the eight core concepts of evolution. The process of the program was specially designed by learning cycle model for teacher education, consisting of seven phases: identification of the task, production of a tentative argument, small group's written argument, share arguments with the other groups, reflective discussion, final written argument, and organization by an instructor. Participants in the study were two pre-service biology teachers and four in-service biology teachers. The results suggest that biology teachers reduced the teleological explanation for biological evolution and improve its adequacy after the intervention. Teachers lacked the opportunity to discuss variation, heritability of variation, competition, and macroevolution because science textbooks lack information on the concepts of biological evolution. The results of this study suggest that because the argumentation program developed for teachers helps to improve understanding the concepts of evolution and to reduce inadequate conceptions in biology, teacher education programs using argumentation activity and eight core concepts of evolution will play a role for efficient evolution education for biology teachers.

## 1. 서론

생물학에서 진화적인 관점을 제외하고는 설명될 수 있는 것이 없다(Dobzansky, 1973)고 할 만큼 생물학에서 진화론은 중요하고 생물학의 모든 영역에서 생명현상을 이해하는데 기초가 되므로, 많은 나라에서는 과학 교육과정을 개혁할 때 진화교육을 중요하게 다루어 왔다(AAAS, 1993; 2001; NRC, 2011). 그럼에도 불구하고 많은 학생들과 교사들은 목적론적 관점을 가지고 있고 진화론을 수용하기 어려워하므로 진화에 대한 오개념을 과학적 개념으로의 교정하기는 매우 어렵다(Nehm & Schonfeld, 2007; Park, Lee & Lee, 2003; Chung & Cha, 1994; Ha & Cha, 2007). 그러므로 최근 생물교육 연구들은 왜 진화가 교사와 학생들에게 어려움을 주는 지를 설명하는데 초점을 두어 왔으며, 이를 기반으로 효과적인 진화 교육을 위한 프로그램 개발 및 시험 모델 개발에 노력을 기울이고 있다(Smith, 2010).

Nehm & Schonfeld(2007)는 중등 생명과학교사들을 대상으로 사전 지식 수준에 맞게 다양한 상황에서 문제해결하기, 협력학습, 개념지도, 소집단 토론, 모델링, 비디오 학습 등을 하게 함으로써 진화개념에 대한 이해가 향상된 것을 확인하였다. 진화는 복잡하고, 전체가 부분의

합 이상인 창발적인 과정으로 나타나지만, 학생들이 자연선택과 같은 창발적인 현상을 설명하는 데는 어려움을 겪으므로(Chi, Kristensen, & Roscoe, 2012) 학생들의 경험과 진화개념 사이를 연결해 주기 위해 Heddy & Sinatra(2013)는 대학생 55명을 대상으로 TTES(Teaching for Transformative Experiences in Science) 모델을 활용하여 진화에 대한 이해를 높였다. 또한 DNA와 같은 명시적인 진화 증거에 기초하여 초기의 개념이나 오개념과 비교함으로써 비판적인 사고에 초점을 맞춘 교육은 진화에 대한 이해를 향상시킬 수 있다고 하여 증거를 활용한 진화교육의 가능성도 보여주었다(Nelson, 2008).

한편 Ha & Cha(2007)에 의하면 진화에 대한 오개념 중 용불용설은 대학교 3, 4학년 보다 생명과학교사들에서 더 많이 나타났는데 이를 통해 진화교육이 꾸준히 이루어지지 않으면 진화에 대한 개념이 퇴행할 수 있다고 하였고, 용불용설과 같은 오개념은 인지구조에서 제거하기 어렵다고도 하였다. 이는 진화교육이 단기적이고 일회적이기보다는 지속적으로 진화에 관한 특정 오개념을 스스로 비판적으로 인식할 수 있게 하는 프로그램이어야 함을 의미한다고 볼 수 있다. 이 관점은 교사교육에서도 유지해야 하는데, 교사의 이해와 관심은 그들의 수업에 영향을 미치고(Wenglinsky, 2000), 교육 경험이 많고 전문성이 큰

\* 교신저자 : 차희영 (hycha@knue.ac.kr)

\*\*이 논문은 권지은의 2015년도 석사학위논문의 데이터를 활용하여 재구성하였음.  
<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2015.35.4.0691>

교사들은 그렇지 않은 교사들보다 학생들의 개념적 어려움을 더 잘 인식(Anderson, Fisher & Norman, 2002)하기 때문이다. 그러므로 학생들이 생물학에서 진화의 중요성을 인식하고 진화개념을 올바르게 이해하기 위해서는 교사들의 꾸준한 진화교육이 이루어져야 하고 그에 필요한 프로그램도 제공되어야 한다.

증거를 기반으로 설명을 구성하고 정당화하는 논변활동은 관련 과학 주제에 대한 개념 이해를 증진시킨다(Bell & Linn, 2000; Driver, Newton & Osborne, 2000). 또한 논변활동은 복잡한 추론과 비판적인 사고력을 증진시키며(Lawson, 2003; Sadler, 2004), 과학에서 지식이 어떻게 생성되고 타당화 되는 지 이해할 수 있는 기회를 제공한다(Driver, Newton & Osborne, 2000; Osborne, Erduran & Simon, 2004). 새로 마련된 미국 과학교육을 위한 주요 목표에서도 증거를 기반으로 한 주장하기와 설명하기 등의 과정이 포함된 논변활동을 통한 과학 개념 이해가 강조되어 있다(NRC, 2013).

과학교육의 목적은 과학적 소양을 촉진하는 것이다(NRC, 1996; MOEST, 2011). 과학현상에 대한 설명을 지지하기 위해 이론적 생각이나 증거들 간의 관계를 평가하고 이들을 수용하거나 거절하는 것을 과학적 논변활동이라고 하는데, 많은 이들이 이를 통해 과학적 소양이 길러진다고 한다(Driver, Newton & Osborne, 2000; Duschl & Osborne, 2002; Jimenez-Aleixandre, Rodriguez & Duschl, 2000). 과학적 논변활동은 과학적 소양을 촉진해 줄 뿐만 아니라, 논변활동을 함으로써 과학 내용을 배울 수도 있고, 복잡한 추론과 비판적인 사고도 발달시킬 수 있다(Bell & Linn, 2000; Sadler, 2004). 즉, 논변활동은 학생들이 교실에서 기계적인 암기를 하는 것에서 벗어나 지식을 구성하고 정당화할 수 있는 복잡한 과학적 실천에 참여할 수 있도록 변화시킬 수 있다(Berland & McNeill, 2010). 하지만 일반적으로 학생들은 교실에서 논변활동을 할 기회가 거의 없으며, 전통적인 과학수업과정에서는 과학적 논변 활동의 참여를 증진시키지는 못한다(Driver, Newton & Osborne, 2000; Osborne, Erduran & Simon, 2004).

학습자들은 과학적 논변에 참여할 때 그들의 주장을 뒷받침할 증거로 사용할 자료를 선택하는데 어려움을 겪고, 충분한 증거를 제공하지 않으며 유용한 증거와 추론을 사용한 설명을 정당화하는데 어려움을 겪는다(Bell & Linn, 2000; Erduran, Simon & Osborne, 2004; Sadler, 2004; Sandoval & Millwood, 2005)고 한다. 또한 학습자들은 종종 주어진 현상에 대한 설명이 타당한 지를 유용한 방법으로 평가하지 않는다. 그들은 아이디어를 수락, 거절 또는 변경할지를 결정할 때 과학적인 기준을 사용하지 않으며 개인적인 신념과 같은 부적절한 기준에 의존하거나 증거를 왜곡하면서 오개념을 재확인하기도 한다(Hogan & Maglienti, 2001; Sampson & Clark, 2008). 그러므로 교육현장에서는 과학적 논변에 참여하는 것이 복잡하고 어려우므로, 일차적으로는 논변활동의 참여를 효율적으로 이끌어 내기 위한 학습 환경이 설계되어야 한다. 이런 학습 환경 설계는 학습자들이 복잡한 문제를 이해하고 조사할 수 있는 기회를 제공하는데 초점을 맞출 수 있기 때문이다(Berland & McNeill, 2010; Vries, Lund & Baker, 2002).

논변활동을 통해 진화교육을 한다면 진화개념의 이해 향상과 함께 증거들을 통해 오개념을 비판적으로 검토할 수 있는 기회가 제공될 수 있다. Jung & Kim(2010)은 논변활동을 이용한 증거 기반 설명활동을 통해 논변 구조의 수준과 진화개념 이해가 향상된 것을 확인하였으며, Tavares, Jimenez-Aleixandre, & Mortimer(2010)는 진화관련 논변

활동을 통해 공통조상과 점진진화와 같은 진화개념이 향상되었다고 하였고, Asterhan & Schwarz(2007)는 소집단 논변활동을 통해 문제를 협력적으로 해결해 가는 과정에서 진화에 대한 이해가 향상된 것을 확인하였다. 소집단 논변활동은 다른 구성원들과 다양한 생각들을 공유함으로써 새로운 지식 내용을 공동으로 학습하고 이를 개인의 것으로 내면화할 수 있는 기회를 제공하므로(Bennett *et al.*, 2010; Cohen, 1994) 의사소통기술의 향상에도 도움을 준다(Kuhn & Udell, 2003). 또한 논변활동에서 과학글쓰기는 과학 공동체의 기준과 규범을 반영하는 방법을 배울 수 있게 함으로써 다른 과학자의 글쓰기에 대해 읽고 평가할 수 있도록 한다(Sampson, Grooms & Walker, 2010). 그러므로 담화뿐만 아니라 글쓰기도 함께 강조된 소집단 논변활동이 교사 교육 전략에 활용될 수 있다고 본다.

Shin & Choi(2014)가 논변활동과 과학글쓰기에 관해 현직교사를 대상으로 한 연구를 분석한 결과는 연구자체가 부족하고, 현직교사를 대상으로 한 경우 실제 논변활동이나 과학글쓰기 활동을 제공하는 연구보다는 논변 및 과학글쓰기 활동에 대한 인식 조사, 교사의 수업에서 나타나는 논변활동 분석, 학생의 논변활동 중 나타나는 교사의 도움 특성 분석, 학생과 교사의 상호작용 분석에 대한 내용이 대부분이라고 하였다. Lee, Cho & Sohn(2009)은 교사들이 논변활동이나 과학글쓰기에 대한 중요성은 인식하나 논변활동에 대해서는 관련 지식이 부족하고 구체적으로 교육받아 본 적이 없다고 하였다. 그러므로 교사들을 대상으로 한 과학글쓰기가 포함된 논변활동 프로그램은 필요하다고 본다.

논변활동을 통해 진화 개념 변화가 이루어졌다는 연구 결과는 있지만 진화를 이해하는데 필요한 주요개념들을 체계적으로 학습할 수 있는 프로그램이 개발된 적이 없으므로 생명과학교사들을 위한 논변활동을 통해 진화 주요개념에 대해 과학적으로 이해할 수 있는 기회를 제공할 필요가 있다. 그러므로 이 연구에서는 생명과학교사들의 진화개념에 대한 이해 향상을 위한 논변활동 프로그램을 개발하고, 진화 주요개념에 대한 논변활동의 특성을 분석하여 프로그램의 효과를 확인하였다.

이 연구에서는 소집단 구성원들 간의 역동적인 상호작용을 통해 논변활동이 진행될 수 있도록 프로그램을 구성하였으므로 '논증활동'보다는 '논변활동'이란 용어를 사용했다. 특히, '과학적 논변활동'은 특정 관점을 정당화하거나 반박하기 보다는 과학개념에 대한 이해를 향상시키고 문제를 해결하기 위해 과학현상을 증거에 의해 뒷받침하여 인과적으로 설명하고 정당화하는 소집단 내에서의 사회적 활동을 의미한다. 이 연구에서 사용한 논변의 구성요소는 Sampson & Clark(2008)이 Toulmin(2006)의 틀을 이용하여 개념화 한 주장(claim), 증거(evidence), 정당화(justification) 세 가지다. 주장은 과학현상에 대한 질문의 대답으로 문제에 대한 해결, 인과적인 매커니즘 등을 제시하고 짐작, 결론, 설명으로 서술되는 진술문이다. 증거는 주장의 옳고 그름을 판단하고 주장을 뒷받침하여 보다 설득력 있는 주장을 하기 위해 사용하는 과학개념, 과학적 데이터, 과학적 사실 또는 예시 등을 말한다. 정당화는 증거를 과학적 이론에 연결함으로써 증거가 주장을 어떻게 지지하는지 그 관련성을 설명하고, 왜 증거가 증거로서 제공되어야 하는지를 합리적으로 보여주는 말과 글을 뜻한다.

Table 1. Cyclic Argumentation Model by the seven steps

단계	내용
1. 소집단 내 개인 글쓰기	질문지를 읽고 주장, 증거, 정당화에 대한 개인적으로 글쓰기를 한다.
2. 소집단 내 사전 논변활동	개인적으로 수행한 글쓰기를 토대로 주어진 질문에 대해 소집단 내 논변활동을 한다.
3. 소집단 별 논변 글쓰기	소집단 내에서 구성원들의 의견을 공유하고 비판함으로써 주장, 증거, 정당화한 내용을 소집단 논변 글쓰기로 정리한다.
4. 소집단 간 논변활동	소집단별로 정리한 내용을 소집단 대표가 발표하고, 이에 대해 소집단 간 논변활동을 함으로써 다른 소집단의 의견을 공유한다.
5. 소집단 내 반성적 논변활동	타소집단의 발표내용과 자신이 속한 소집단의 의견을 종합하여 주장, 증거, 정당화를 수정, 보완한다.
6. 소집단 내 개인 글쓰기	질문지에 자신의 생각을 정리하여 최종 글쓰기를 한다.
7. 교수자에 의한 개념 정리	교수자가 주요개념 이해를 돕기 위해 내용을 정리한다.

Table 2. Definitions of the eight core concepts of evolution and sources of them

진화주요개념	정의	근거
변이	특정 종으로 구성된 한 세대의 개체군은 돌연변이, 재조합, 유성생식 등의 과정을 거치면서 개체군 내 개체들의 형질이 매우 다양해진다. 이와 같이 개체들 사이에서 물리적, 정신적 그리고 행동적인 패턴 등에 차이가 생기는 현상을 '변이'라고 한다.	Ohlsson & Bee, 1992
변이의 유전	진화의 기본이 되는 개체들 사이의 변이는 유전적으로 결정되어 부모로부터 자손에게로 유전이 되는데, 이것을 '변이의 유전'이라고 한다.	Ohlsson & Bee, 1992
제한된 자원에 대한 경쟁	'경쟁'은 제한된 자원을 공유하는 개체들 사이에 발생하는 것으로 참여 개체 모두에게 해로운 상호작용이다. 같은 종 내의 개체 사이에 벌어지는 경쟁을 종내경쟁, 다른 종의 개체 사이에서 일어나는 경쟁을 종간경쟁이라고 한다.	Anderson, Fisher & Norman, 2002
자연선택	주어진 환경에서 개체마다 서로 다른 유전적 형질들로 인해 생존에 차이가 나타나는데 이를 차등적 생존율이라고 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.	Anderson, Fisher & Norman, 2002
적응	수 세대에 걸쳐 주어진 환경에 더 적합한 행동적, 형태적 또는 생리적 형질을 나타내는 유전자는 자연선택에 의해 다음 세대의 자손에게 전달되는 데 이것을 '적응'이라고 한다.	Anderson, Fisher & Norman, 2002
차등적 생식력	자손을 퍼뜨리는 데 있어서 나타나는 차등적인 가능성을 '차등적 생식력'이라고 한다. 차등적 생식력이 큰 개체들은 더 많은 자손을 남김으로써 다음 세대에 그들의 유전자를 더 많이 전달한다.	Ohlsson & Bee, 1992
개체군 내 개체분포의 변화	세대를 거듭하여 발생하는 개체군 내의 유전자 풀의 변화를 말한다.	Anderson, Fisher & Norman, 2002
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.	Cately, 2006

## II. 연구방법

### 1. 진화 개념 향상을 위한 논변활동 프로그램 개발

#### 가. 진화 개념 학습 모형

진화 개념 이해 향상을 위한 교사교육 프로그램을 개발하기 위해 이 연구에서는 Sampson, Grooms & Walker(2010)의 ADI(Argument Driven Inquiry) 모형을 수정하여 같은 질문에 대한 3회의 글쓰기 기회가 포함된 7단계의 '순환적 논변활동 모형(Cyclic Argumentation Model)'을 개발하였다. 개발한 모형의 구체적인 교수학습 단계는 배우된 논변활동지를 확인하고 소집단내 개인적인 논변글쓰기가 마무리되면 바로 소집단내에서 논변활동을 하면서 소집단별 글쓰기를 한다. 그 후에 소집단 간 논변이 이어지는데 소집단별로 진행되었던 논변 아이디어를 앞에 나와서 발표하고 다른 소집단 구성원들의 질문과 도전에 응답하거나 생각을 평가함으로써 관련 주제에 대해 더 많이 배울 수 있는 과정을 거친다(Duschl, 2007; Linn & Eylon, 2006). 소집단 간 논변 활동에서 논의되었던 내용을 바탕으로 소집단 내 반성적인 논변활동을 거친 후에 최종 개인별 논변 글쓰기로 개념을 정교화한다. 마지막으로 교수자가 개념을 정리해 준다. 이와 같은 논변활동 과정에서 교사들은 개념별로 3회에 걸친 소그룹내 또는 소그룹 간 논변활동을 거쳐 3회에 걸친 논변글쓰기 결과물을 생산한다.

#### 나. 진화 주요 개념 추출

선행연구와 문헌을 고찰하여 진화를 이해하는데 필요한 주요 개념들을 선정하였다. 진화에 대한 오개념, 진화내용 분석, 진화개념 형성, 진화교육 등을 키워드로 하여 선행 연구된 학위논문과 학술지내 논문을 검색하여 진화 개념 설명에 동원되는 개념 목록을 구성하였다. 목록에 나타난 개념들은 중 유사 개념들의 범주를 지속적으로 수렴해 가면서 범주화하였다.

예를 들어 변이의 원인(Anderson, Fisher & Norman, 2002), 유전적 변이(Andersson & Wallin, 2006), 변이의 기원(Opfer, Nehm & Ha, 2012) 등의 개념은 '변이'란 개념 범주에 포함시켰다. 또한 특정 유전 형질을 가지고 있는 개체의 분포 변화(Anderson, Fisher & Norman, 2002)와 소진화(Cately, 2006) 등은 '개체군 내 특정 유전형질을 가진 개체분포의 변화'란 개념범주에 포함시켰다. 또한 차등적 생존이란 개념은 따로 개념 범주를 구분하지 않고 '자연선택'에 포함시켰다. Shtulman(2006)에 의해 제시된 진화의 핵심개념 중 멸종이란 개념과 인간이 다른 생물들의 선택적 교배로 다른 종의 진화에 영향을 줄 수 있다는 가축화란 개념도 종 분화 개념을 포함하고 있으므로 '대진화'란 개념 범주에 통합시켰다.

최종적으로 진화론을 이해하는데 필요한 주요 개념으로 추출된 개념은 '변이', '변이의 유전', '제한된 자원에 대한 경쟁', '자연선택', '적응', '차등적 생식력', '개체군 내의 특정 유전형질을 가진 개체 분포의 변화', '대진화'의 8개였고, 해당 개념의 정의와 근거 문헌들은 Table 2와 같다.

다. 논변활동을 위한 질문지 개발

확정된 8개의 진화 주요 개념 학습을 위해 논변활동을 할 수 있는 7개의 논변 질문지를 개발하였다. 개발된 논변활동 질문 목록들은 <부록 1>에 요약해 첨부하였다. 질문지는 선정된 진화 주요 개념을 효과적으로 이해하기 위한 적합 소재와 내용으로 구성하였다. ‘자연선택’과 ‘적응’의 두 개념은 한 가지 질문지를 통해 두 가지 개념을 연계시킬 수 있도록 구성하였다. 이때 Ferarri & Chi(1998)가 자연선택과 관련하여 제시한 문항과 Nadelson & Southerland(2009)가 제시한 대진화 관련 문항, Reece *et al.* (2012)에 의한 멘델과 유전자, 변형된 혈통: 다윈주의 생물관, 집단들의 진화, 동물행동학, 군집생태학에서 소재로 했던 생명현상을 참고로 하여 문항을 개발하였다. 질문지는 수차례에 걸친 대학원 연구실 세미나 발표와 타당도 검토 과정을 통하여 첨삭 수정이 되어 확정되었다.

최초에 개발된 질문지는 변이(1문항), 변이의 유전(2문항), 경쟁(1문항), 차등적 생존율(3문항), 적응(1문항), 차등적 생식력(1문항), 개체군 내 개체분포의 변화(1문항), 대진화(1문항) 개념을 순차적으로 이해할 수 있도록 총 11개의 질문으로 구성했다. 이 11개의 질문지는 진화교육관련 주제로 10년 이상 연구해 온 대학원 내 생물교육 전공 교수 1인, 생물교육전공 박사과정 2인, 생물교육전공 석사과정 2인에게 안면 타당도와 내용 타당도를 검증받아 8개 진화 주요 개념별로 가장 적합하다고 판단되는 질문을 선정하여 1차 질문지를 완성하였다.

1차 질문지는 3인의 현직 생명과학교사들에게 개방적으로 의견을 작성할 수 있는 타당도 검토서를 의뢰하여 각 질문지 내용이 진화주요 개념을 확인하기에 적절하게 구성되었는지 재차 확인하여 2차 질문지를 완성하였다. 이 과정에 참여했던 3인의 현직 생명과학교사들은 예비 논변활동 및 글쓰기 과정을 직접 수행한 후 검토 의견을 주었고 이 의견을 받아들여 2차 수정하였다. 완성된 2차 질문지는 연구실 세미나 시간에 공개하여 앞서 최초 질문지의 타당도 검토에 참여했던 생물교육 전공 교수 1인, 생물교육전공 박사과정 2인, 생물교육전공 석사과정 2인에게 최종적으로 안면타당도를 검증을 받아 최종 질문지로 확정하였다. 리커트 척도로 수행된 이들 5인의 타당도 검토 결과 최종 질문지의 타당도는 5점 만점에 4.8이었다. 최종 질문지 수정과정에서 질문지는 7개로 확정했다.

다양한 생물학적 개념을 통합할 수 있는 진화개념 특성상 모든 개념들이 서로 연결이 되어 있기 때문에 한 질문으로 여러 개념들을 확인할 수 있었다. 차등적 생존율이란 개념을 ‘자연선택’ 개념에 포함시킬 수 있도록 하였고, ‘적응’을 설명하기 위해서는 자연선택 개념이 바탕이 되어야 하기 때문에 ‘자연선택’과 ‘적응’의 개념을 이해하기 위한 질문은 동일 소재로 기인된 질문으로부터 출발할 수 있었으므로, 이 두 개념 이해를 위한 질문지는 하나로 구성하였다. 나머지 개념들에 대한 내용과 소재도 수정, 보완하였다. 질문지를 구성하는 문항들은 진화의 주요개념을 순차적으로 형성하는 데 적합하게 구성하였다.

개발된 7개의 질문지들은 Table 1의 7단계 논변활동 모형을 통해 학습이 될 수 있는데, 각각의 개념마다 3회의 글쓰기를 기회를 포함한 논변활동을 통해 학습될 수 있다.

2. 논변활동 프로그램 적용

개발된 프로그램은 2014년 3월부터 5월까지 대학원 교과교육 수업에서 매주 3시간씩 7회에 걸쳐 적용하였다. 7개의 질문지는 매 회 3시간 이내에 논변을 할 수 있었다. 교수자는 논변활동에 대한 경험이 없었던 학습자들에게 7개의 논변활동 질문지를 받기 전에 논변의 의미와 구성요소, 순환적 논변활동 모형 등에 대한 강의를 하였다.

먼저 개별적으로 배부가 된 논변활동을 위한 사전질문지를 수강자들이 읽고 주어진 질문에 대한 잠정적 답인 주장과 그 주장을 정당화하기에 적합한 증거를 나열한 뒤 열거한 증거들을 사용하여 자신의 주장을 정당화하는 내용의 논변 글쓰기를 하였다. 개별적으로 작성한 글을 토대로 소집단 구성원들 간 논변활동을 하면서 배부된 소집단용 질문지에 논변글쓰기 결과물을 하나씩 생성하였다. 질문지는 사전질문지와 동일한 것이었다. 소집단별로 대표가 한 명씩 앞에 나와서 자신의 그룹에서 생성한 글쓰기 자료를 바탕으로 주장, 증거, 정당화 내용을 발표하고 다른 소집단과 의견을 공유하였다.

소집단 간 논변활동이 끝난 뒤, 소집단들은 최종적으로 반성적 논변활동을 하였다. 토론을 통한 의사교환 시간을 먼저 가진 뒤에 사전 질문지와 동일한 사후 질문지에 개인적으로 최종 글쓰기를 한 후 제출하였다. 논변활동 중 교수자는 순회 지도를 하면서 학습자들이 관련성이 없는 주장으로 시간을 많이 할애하거나 진화에 대한 오개념을 드러낼 경우 그것을 일깨워주기 위해 수시로 학습자들과 상호작용하였다.

모든 글쓰기 자료를 수령한 교수자는 마지막으로 진화 주요 개념별로 배부된 논변 질문지에 대한 모범답안을 제시하고 설명하였다. 순환적 개념 형성을 위해 교수자의 개념정리 활동은 선행 학습 개념과의 유의성을 고려하여 진행하였다.

가. 연구대상과 교수자

개발된 프로그램은 충청북도 K대학교 대학원에서 운영되는 ‘생물교육의 이론과 실제’라는 강좌에 적용되었다. 이 대학원 강좌의 수업목표 중 일부는 진화에 대한 올바른 개념을 형성하기 위한 것이었고 강좌를 담당할 교수는 이 프로그램 개발에 직접적으로 참여했던 생물교육 전공 교수로 10년 넘게 진화 교육 관련 연구를 진행해 오면서 논문을 발표해 왔다.

연구대상자들은 연구참여에 동의한 6명의 수강생들로 4명은 현직 생명과학교사였고 2명은 예비 생명과학교사들이었다. 그들은 여자(A그룹)와 남자(B그룹) 각각 3명씩으로 구성된 두 개의 소집단으로 논변활동을 했다. 연구대상자의 구체적인 배경은 Table 3과 같다.

진화를 올바르게 이해하기 위해서는 유전학과 생태학 등 생물학에

Table 3. Demographic information of the subjects participated in the program

식별코드	성별	교직경력	종교	비고
A-1	여	-	무교	예비교사
A-2	여	5년	무교	현직교사
A-3	여	4년	불교	현직교사
B-1	남	6년	무교	현직교사
B-2	남	-	무교	예비교사
B-3	남	3년	무교	현직교사

대한 전반적인 이해가 필요하고 논변의 본성은 내용 의존적이므로 (Sampson, Grooms & Walker, 2010) 학부에서 생물학을 전공한 대학원 과정의 교사들로 연구대상을 선정했다. 또한 연구대상자들 중 기독교나 천주교 신자는 없었고, 한명의 불교신자를 제외한 전원이 무교였다.

나. 자료 수집

논변활동 프로그램을 통한 진화 개념 변화 양상을 분석하기 위해 수집된 첫 번째 자료는 논변활동 중 생성된 글쓰기 자료였다. 7회의 진화 주요 개념에 대한 논변활동마다 글쓰기 자료가 수집되었는데, 소집단 내 논변활동을 하기 전 개인 논변 글쓰기, 소집단 내 논변활동 후 소집단 논변 글쓰기, 소집단 간 논변활동과 반성적 논변활동 후 최종 개인 논변글쓰기를 함으로써 주요개념별 3회에 걸쳐 글쓰기 자료가 수집되었다. 소집단 논변글쓰기를 위해서는 소집단 별로 활동지가 한 부씩만 배부가 되었으므로, 개인 논변글쓰기로 6명 모두에게 각각 제공된 사전, 사후 글쓰기 결과물들만 분석 자료로 활용했다.

소집단 별로 이루어진 논변활동 중 담화내용이 녹음되었다. 두 개의 소집단에 각각 동의를 받은 후 음성 녹음기를 설치했고, 논변활동이 시작되기 전에 각자의 이름을 말하게 함으로써 연구대상의 음성을 구분했다. 연구대상이 6명으로 음성 구분이 가능했으므로 따로 비디오 녹화는 하지 않았다. 녹음된 자료는 모두 전사하여 분석자료로 활용했다.

다. 자료 분석

프로그램의 표면적인 효과 분석을 위한 설문지는 문항별 범주별로 dots 분석을 하였다. 글쓰기자료는 정량화를 위해 평가 기준을 마련하고 루브릭을 개발하였다. 담화분석을 위해서도 평가기준을 마련하였다. 담화자의 연속적인 발화를 하나의 발언 마디로 정의하기 위해 다음 담화자의 발언이 시작되면 담화는 전환된 것으로 간주하였다. 정성적인 자료들을 범주화하거나 정량화하는 과정에서 글쓰기 내용 분석과 담화 전사본에 대해 두 연구자가 평가 분석하였는데, 평가자 간의 일치도는 100%였다. 먼저 두 연구자가 동일한 루브릭이나 분석틀을 사용하여 독립적으로 평가·분석하였다. 분석결과에서 차이가 난 자료들에 대해서는 일차적으로 두 연구자가 논의를 하여 범주를 일치시켰다. 그 과정을 거치면서도 일치할 보지 못한 자료들은 과학교육전문가 1인, 생물교육전공 박사과정 2인, 생물교육전공 석사과정 2인이 참여하는 대학원연구실세미나에서 발표하고 최종 합의를 거쳐 모든 자료의 범주 분류를 일치시켰다.

1) 논변 글쓰기 분석

논변활동 프로그램을 하기 전과 후의 생명과학교사들의 과학적 논변활동을 통한 진화개념에 대한 이해의 변화를 확인하기 위해 논변글쓰기의 질을 확인하였다. 논변글쓰기 질의 평가 기준은 Sampson & Clark(2008)이 사용했던 ‘설명의 충분성’, ‘설명의 개념적 수준’, ‘증거의 수준’, ‘정당화의 적절성’에 해당하는 4가지 범주로 구분하여 마련하였다. 4가지 범주별 3점 만점이며 총점으로는 12점 만점으로 채점할 수 있는 루브릭을 개발하여 분석하였다.

먼저 설명의 충분성 범주는 각 진화개념을 설명하는데 필요한 요소

Table 4. Factors to analyze the category of 'sufficiency of explanation' of eight core concepts of evolution

진화주요 개념	분석을 위한 내용 요소
변이	(a) 부모세대와 자손세대가 유전적으로 다름을 설명
	(b) 개체군 내 개체들 간의 유전자적 차이가 발생하게 된 원인 설명
	(c) 변이와 진화와의 관련성 설명
변이의 유전	(a) 획득형질은 유전되지 않음(유전자적 변이만 유전됨)을 설명
	(b) 특정 환경(꽃이나 잎만 있는 환경)에서 다음 세대 자손들의 표현형(애벌레들의 겉모습)에 대한 설명
	(c) 부모에서 자손에게로 전달되는 유전형질의 경우에만 진화에 영향을 미침을 설명
경쟁	(a) 개체군 내 개체들의 변이에 따른 경쟁(종내경쟁)의 결과에 대해 설명
	(b) 생태적 지위가 동일할 때 일어나는 중간 경쟁에 대한 설명
	(c) 경쟁과 자연선택 기작과의 관련성 설명
자연선택과 적응	(a) 자연선택 기작에 대한 설명
	(b) 특정환경(열매의 씨앗)의 변화에 따른 형질(부리의 길이)의 변화 관계 설명
	(c) 자연선택과 세대에 걸친 적응과의 관련성 설명
차등적 생식력	(a) 생식 적령기 변화 전후에 생식력이 달라짐을 설명
	(b) 특정조건(헌팅틴병)에 따른 개체군 내 유전자 풀의 변화 양상에 대한 설명
	(c) 개체군 내 유전자 풀의 변화 양상과 진화와의 관련성 설명
개체군 내 개체분포의 변화	(a) 자연선택과 개체군 내 특정 형질(먹이찾기 행동)에 대한 대립 유전자의 빈도 변화 설명
	(b) 특정환경(서로 다른 밀도 환경)에서 특정형질(먹이찾기 행동)에 대한 대립유전자의 빈도가 변화된 이유를 설명
	(c) 개체군 내 대립 유전자 빈도의 변화와 진화와의 관련성 설명
대진화	(a) 변이의 축적으로 생긴 생식적 격리에 의한 종 분화 기작에 대해 설명
	(b) 서식 환경의 변화(육상에서 수중환경)와 자연선택 기작과의 관련성 설명
	(c) 소진화와 대진화와의 관련성 설명

Table 5. Rubric to quantify argumentation writing by the subjects for the category of 'sufficiency of explanation'

수준	내용	점수
0	(a)~(c)에 해당하는 것이 없음	0
1	(a)~(c) 중 1개가 해당	1
2	(a)~(c) 중 2개가 해당	2
3	(a), (b), (c) 모두에 해당	3

들이 포함되어 질문에 대한 대답이 충분히 설명이 되었는지를 평가했다. 증거를 뒷받침하여 과학현상에 대해 인과적 설명을 하는 것을 논변과 같은 의미로 사용(Jung, Kim, 2010)하여 이 연구에서도 과학적 설명과 논변을 같은 의미로 보고 논변 글쓰기에서 주장, 증거, 정당화에서 제시된 모든 내용 중에 설명의 충분성에서 각 진화주요개념에 해당하는 요소들이 있는지 분석하였다. 특히 각 진화주요개념이 진화에서 어떤 의미를 갖는지에 대해 설명하고 있는지를 확인할 수 있도록 하였다.

설명 of 충분성 범주를 분석하기 위해 개발된 분석틀은 Table 4와 같다. Sampson, Grooms & Walker(2010)의 연구에서 설명의 충분성 범주에 해당하는 (a)~(c)가 논변활동의 주제나 개념에 맞게 개발이 되었던 방법을 참고하여 이 연구에서도 설명의 충분성의 분석요소에 해당하는 (a)~(c)를 각 진화개념에 맞게 개발하였다. 이 분석틀은 과학교육전문가 1인과 생물교육전공 박사과정 2인, 생물교육전공 석사과정 2인이 수차례 검토와 수정을 하여 완성하였으며, 5단계 리커트 척도에 의한 최종 타당도는 총점 5점 만점에 4.8점이었다. 이 분석틀을 활용하여 설명의 충분성 범주를 정량적으로 평가하기 위한 루브릭은 Table

Table 6. Example for the 'insufficient explanations' and 'incorrect explanations' for biological evolution

설명의 개념적 수준	개념	논변 글쓰기	그렇게 분석한 이유
불충분한 설명	변이	현재 환경보다는 안 좋은 상태에 처해진다는 것이므로 성장 속도가 느리고 개체의 크기가 작아질 것이다.	환경이 안 좋으면 성장속도가 느려지는 개체가 태어날 수도 있지만 다음 세대 자손들은 그 외에도 변이에 의해 다양한 형질을 가진 개체가 태어날 수 있음
부정확한 설명	경쟁	경쟁을 피하기 위해 좋은 선호하는 환경을 바꿀 수 있는 선택을 할 수 있다. 황금스파니취는 일반스파니취와의 경쟁을 피하기 위해 야행성에서 주간성으로 선택하였다.	쥐가 의지를 가지고 중간성을 선택했다는 내부의지적인 표현이 있으며, 중간성 행동을 쥐가 선택한 것이 아니라 중간성행동을 보이는 개체가 선택된 것임

Table 7. Rubric to quantify argumentation writing by the subjects for the category of 'conceptual level of explanation'

수준	내용	점수
0	부정확한 설명만 있음	0
1	부정확한 설명이 없고, 불충분한 설명이 정확한 설명보다 많거나 같음	1
	부정확한 설명이 있으나 정확한 설명도 있음	
2	부정확한 설명은 없고, 정확한 설명이 불충분한 설명보다 더 많음	2
	부정확하고 불충분한 설명이 없고, 정확한 설명이 하나만 있음	
3	부정확하고 불충분한 설명이 없고, 정확한 설명이 하나보다 많음	3

Table 8. Rubric to quantify argumentation writing by the subjects for the category of 'level of evidence'

수준	내용	점수
0	부적절한 증거만을 제시	0
1	부적절한 증거와 불충분한 증거만 있음	1
	부적절한 증거가 있으나 적절한 증거도 있음	
2	부적절한 증거는 없고, 불충분한 증거가 적절한 증거보다 많거나 같음	2
	부적절한 증거는 없고, 적절한 증거가 불충분한 증거보다 많음	
3	부적절한 증거가 없고, 적절한 증거가 하나 보다 많음	3

5와 같다. 0~3점 범위에서 구체적인 요소들이 존재하거나 존재하지 않는지에 기초하여 점수를 부여하는 방식이다.

두 번째 평가기준인 '설명의 개념적 수준' 범주는 진화개념에 대한 설명에서 정확한 설명과 불충분한 설명, 부정확한 설명에 따라 설명의 개념적 수준을 평가했다. Table 6은 불완전한 설명과 부정확한 설명을 구분하여 분석한 예시이다. 설명의 개념적 수준에 대한 루브릭은 Table 7과 같다. 세 번째로 증거의 수준을 평가하기 위해서는 주어진 주장을 지지하는데 사용된 증거가 적절하고 관련이 있는지 그렇지 않은지를 확인하였다. 적절한 증거는 주장을 지지하기에 분명하고 충분하며 주장과 관련이 있는 경우에, 불충분한 증거는 주장을 지지하기에 분명하고 충분하지는 않지만 주장과 관련은 있는 경우에 해당한다고 판단하였다. 증거가 가설적인 예시, 개인적인 경험이나 권위에 의존, 과학적이지 않은 추론, 오개념, 주장과 관련이 없는 개념에 해당하는 경우에는 부적절한 증거로 판단하였다. 증거의 수준에 대한 루브릭은 Table 8과 같다.

마지막으로 제시한 증거를 주장과 어떻게 잘 연결하고, 증거의 의미를 제시하는지에 의해 정당화의 적절성을 평가하였다. 정당화의 적절성은 (a)증거가 주장을 어떻게 지지하는지에 대한 명시적인 설명과 (b)왜 증거가 증거로써 포함되어야 하는지에 대한 명시적인 설명으로써 평가되며, 명시적이라는 것은 국어사전적 의미로 내용이나 뜻을 분명하게 내보이는 것을 말한다(The National Institute of The Korean Language, 2014). 이에 따라 (a)와 (b) 두 가지 요소들의 포함여부와 명시적인 설명 여부에 따라 정당화의 적절성을 분석하였다. 그러므로

Table 9. Rubric to quantify argumentation writing by the subjects for the category of 'adequacy of justification'

수준	내용	점수
0	(a), (b)에 해당하는 것이 없음	0
1	(a), (b) 중 1개에 해당하지만 명시적이지 않음	1
	(a), (b) 모두 해당하지만 둘 다 명시적이지 않음	
2	(a), (b) 중 1개가 명시적임	2
	(a), (b) 중 1개는 명시적이고 다른 하나는 명시적이지 않음	
3	(a), (b) 둘 다 명시적임	3
비고	(a): 증거가 주장을 어떻게 지지하는지에 대한 명시적인 설명 (b): 왜 증거가 증거로써 포함되어야 하는지에 대한 명시적인 설명	

이런 방식의 정당화를 포함하는 논변은 증거를 단순히 주장에 연결하는 논변보다는 더 높은 점수를 받을 수 있다. Table 9는 정당화의 적절성에 대한 루브릭이다.

이상으로 마련된 Table 5, Table 7, Table 8, Table 9의 4가지 루브릭을 사용하여 진화주요개념별 논변활동에서 수집된 자료들을 정량적으로 분석하였다. 개념별 만점은 12점이었다. 6명의 연구대상들의 사후 점수와 사전점수의 차가 의미있는 향상을 나타냈는지 알아보기 위해 비모수 통계로 Wilcoxon 검정을 하였다.

## 2) 담화 분석

과학적 논변활동 과정에서 생명과학교사들의 진화개념에 대한 이해의 변화와 논변의 특성을 분석하기 위해 아이디어에 대한 상호작용과 발언의 기능에 초점을 맞추었다. 이를 위해 논변활동에서 각각의 진화주요개념에 따라 어떤 정확한 아이디어와 부정확한 아이디어가 나왔는지 확인하고 참여자들의 발언이 담화에 어떤 기능을 하고 어떻게 영향을 미치는지 확인하였다. 발언의 기능은 Sampson, Grooms, & Walker(2010)에 의해 개발된 분석틀을 이용하여 분석하였다. 발언의 기능에 대한 분석틀은 Table 10과 같이 정보 찾기, 설명, 반대, 지지의 4가지 기준을 사용하였다. 분석 단위는 다음 발언으로 전환되기 전까지 연속된 발언을 한 단위로 보았다(Barron, 2000). 그 밖에 발언 단위를 정하기 위한 구체적인 분석기준은 다음과 같았다.

- 중간에 방해받아 말이 끊기게 되면 다음번에 같은 내용이 재개된다고 해도 이번 발언은 끝난 것으로 간주한다.
- 중간에 방해를 받아도 발화자가 말하는 것을 멈추지 않는다면 그 모든 내용은 같은 단위의 발언으로 간주한다.
- “어, 음”과 같은 반응도 하나의 발언으로 간주한다.

## III. 연구 결과 및 논의

진화개념 이해 향상을 위한 논변활동 프로그램을 개발하고 그 프로그램의 효과를 분석하였다. 효과 분석 결과는 전반적인 프로그램의

Table 10. Factors to analyze function of speaking(Sampson, Grooms, & Walker, 2010)

발언의 기능	정의
정보 찾기	(a) 주제에 대한 추가적인 질문
	(b) 그들의 견해를 구성원과 공유
	(c) 앞선 언급을 상대방이 분명히 하도록 함
	(d) 과제에 대한 정보를 요구하여 다른 사람들에게 더 많은 정보를 얻기 위한 발언
설명	(a) 자신의 생각이나 입장을 분명히 표현
	(b) 다른 구성원의 발언에 대한 반응으로 자신의 생각이나 논변을 분명히 하기
	(c) 자신의 생각을 확장
	(d) 자신의 생각을 지지하기 위해 사용
반대	(a) 다른 사람들에 비동의
	(b) 동의하지 않고 대안적인 생각을 제안
	(c) 동의하지 않고 비판
	(d) 다른 사람들의 생각을 다시 한 번 생각하게 하는 발언
지지	(a) 어떤 다른 사람의 의견을 정교화
	(b) 어떤 사람의 생각에 대해 동의를 표현
	(c) 더 넓은 정교화 여부와 관계없이 어떤 사람의 앞 선 발언을 바꾸어 말하기
	(d) 한 사람이 생각을 버리거나 바꾸었음을 가리킴
	(e) 하나의 생각을 두 개의 분명한 생각으로 분리, 생각들을 결합 또는 어떤 점에서 생각을 수정
	(f) 어떤 사람의 생각이나 견해를 정당화
	(g) 논의를 조직화하거나 안내 또는 어떻게 사람들이 논의에 참여 하는지에 사용

Table 11. Results of argumentation writing in terms of four categories before and after the program(Total score is 3)

범주	사전 평균 점수	사후 평균 점수	향상점수(백분율)
설명의 충분성	1.67	2.60	+0.93(31.00%)
설명의 개념적 수준	2.36	2.79	+0.43(14.33%)
증거의 수준	2.21	2.57	+0.36(12.00%)
정당화의 적절성	2.00	2.45	+0.45(15.00%)
합계	8.24	10.41	2.17(18.08%)

Table 12. Results of argumentation writing in terms of each subject before and after the program(Total score is 12)

연구대상	사전 평균 점수	사후 평균 점수	향상점수(백분율)
A-1	8.43	11.00	+2.57(21.42%)
A-2	10.14	11.29	+1.15(9.58%)
A-3	8.57	9.43	+0.86(2.17%)
B-1	5.85	9.85	+4.00(33.33%)
B-2	8.71	10.86	+2.15(17.75%)
B-3	7.57	10.00	+2.43(20.25%)
평균	8.24	10.41	+2.17(18.08%)

적용효과와 진화주요개념 변화를 통한 효과로 구분하여 제시한다.

### 1. 전반적인 프로그램 적용 효과

#### 가. 논변글쓰기 분석 결과

논변글쓰기의 질을 확인하기 위한 4가지 평가 기준인 설명의 충분성, 설명의 개념적 수준, 증거의 수준, 정당화의 적절성 범주에 따른 전체 논변 글쓰기 자료의 사전-사후에 분석 결과는 Table 11과 같다.

설명 범주에서 평균 31%가 향상되었으며, 나머지 3개 범주의 평균도 각각 14.33%, 12%, 15% 상승하였다. 논변글쓰기 분석

Table 13. Results of argumentation writing in terms of eight core concepts of evolution before and after the program (Total score is 12)

진화개념	사전 평균 점수	사후 평균 점수	향상점수(백분율)
변이	5.50	10.17	+4.67(38.92%)
변이의 유전	8.50	10.50	+2.00(16.67%)
경쟁	5.67	7.50	+1.83(15.25%)
자연선택과 적응	9.50	11.33	+1.83(15.25%)
차등적 생식력	10.33	11.17	+0.84(7.00%)
개체 분포의 변화	9.50	11.50	+2.00(16.67%)
대진화	8.50	10.67	+2.17(18.08%)
평균	8.24	10.41	+2.17(18.08%)

Table 14. Number of correct and incorrect ideas revealed in the discourses

개념	정확한 아이디어(%)	부정확한 아이디어(%)
변이	13(20.63%)	5(35.71%)
변이의 유전	10(15.87%)	2(14.29%)
경쟁	7(11.11%)	6(42.86%)
자연선택과 적응	8(12.70%)	0(0.00%)
차등적 생식력	6(9.52%)	0(0.00%)
개체군 내 개체분포의 변화	10(15.87%)	0(0.00%)
대진화	9(14.29%)	1(7.14%)
소계	63(100.00%)	14(100.00%)
합계	63(81.82%)	14(18.18%)
	77(100.00%)	

결과 전체 논변 글쓰기 점수는 소집단 논변활동을 하기 전 평균 8.24점에 비해 10.41점으로 2.17점이 향상된 것을 확인하였다. 이것은 전체 논변 글쓰기의 수준이 약 18%정도 증가했음을 나타내며, Wilcoxon 검정 결과 통계적으로  $p < 0.05$ 로 유의미하게 상승했음을 확인하였다. 연구대상과 7개로 구분된 진화개념에 따라라도 소집단 논변활동을 하기 전보다 하고 난 후에 논변글쓰기 수준이 향상된 것도 확인할 수 있었다. 이는 소집단 상호작용을 통해 진화개념과 논변구조에 대한 이해가 향상되었음을 보여주는 것이다.

연구대상에 따른 논변글쓰기의 소집단 상호작용 사전-사후 결과는 Table 12와 같으며, 진화개념에 따른 논변 글쓰기의 소집단 상호작용 사전-사후의 결과는 Table 13과 같다. 진화주요개념에 대한 글쓰기 논변활동에서 평균 점수가 가장 많이 향상된 교사는 B-1로 경력 6년의 현직 생명과학교사로 12점 만점에 평균 4점이 향상되어 33%의 향상을 보였다. 진화주요개념 중에는 최초로 이루어진 '변이' 개념에 대한 논변글쓰기의 향상점수가 38.92% 향상되어 진화주요개념 중 가장 많이 향상된 것을 알 수 있었다. 한편, 예비 생명과학교사와 현직 생명과학교사는 진화개념 이해 향상에 있어 큰 차이점을 나타내지 않았다. 이는 개발된 논변활동이 현직교사나 예비교사의 교육용 프로그램으로 모두 적합함을 의미한다고도 볼 수 있다.

#### 나. 담화 분석 결과

연구대상의 담화를 분석하여 논변활동 중 드러난 진화주요개념에 따라 나타난 정확한 아이디어와 부정확한 아이디어를 확인해 보았다. 담화분석을 통해 드러난 진화주요개념별 정확한 아이디어와 부정확한 아이디어의 수는 Table 14와 같다.



답화 내용 중 81.82%는 정확한 아이디어였고, 18.18%는 부정확한 아이디어였다. ‘변이’에 대한 부정확한 아이디어는 진화가 일어날 충분한 시간이 주어지지 않았으므로(한 세대) 환경 조건이 달라졌을 때 유전적인 변화가 아니라 생리적인 변화가 나타날 것이라든가 것이었다. 변이의 유전에 대한 부정확한 아이디어는 먹이에 따라서 형태가 달라지는 것은 포식자를 피하기 위한 진화적인 선택이라는 개념이었다. 경쟁에 대해 부정확한 개념은 경쟁을 최소화하기 위해서 황금스파니취는 나누어 살기를 선택하여 주간성인 행동을 보인다는 개념이었다. 마지막으로 대진화에 대한 부정확한 개념도 나타났었는데, 변이의 축적이 더 된 것은 살아남아 지금과 같은 고래가 되었고 변이가 덜 축적된 것은 화석종으로 남았다는 개념이었다.

‘변이’ 개념에 대해서는 단 한 세대만일지라도 돌연변이와 유전자 재조합, 무작위적 수정 등을 통해 변이가 발생할 수 있음을 이해하고 있지 못했으며, ‘변이의 유전’과 ‘경쟁’ 개념에서는 목적론적이고 내부의 지적인 변화로 진화 현상을 설명하는 담화가 나타났다. ‘대진화’에서는 단순히 변이의 축적이 많이 된 것이 최근의 종이라는 오개념을 나타냈다. 그러나 이런 오개념들 모두가 논변활동의 마지막 단계인 최종 논변글쓰기에는 진화에 대하여 개인적으로 가지고 있는 부정확한 아이디어들은 모두 사라졌다. 이것은 Table 15의 논변활동에서 나타난 발언의 기능에 따라 담화를 분석한 결과로 설명된다.

소집단 A와 B 모두 주제에 대한 추가적인 질문과 정보를 요구하는 ‘정보찾기’와 자신의 생각을 명료화하고 지지하는 ‘설명’의 비율이 상대적으로 높았다. 제시된 개념이나 상황에 대해 질문하고 답하고 명료화함으로써 개념을 정교하게 발전시켜 나가는 과정은 심층적인 상호작용이 나타났음(Hogan *et al.*, 1999)을 알려 준다. 두 소집단의 담화 내용에는 새로운 정보를 요구하거나 정확히 알지 못했던 내용에 대해서로 추가로 질문하고(예를 들면, ‘선택압이 정확히 뭐지?’), 자신의 생각을 분명히 하고 증거를 들어 지지하는 내용이 포함되어 있어 심층적인 상호작용이 활발하게 이루어졌음을 알 수 있다. 이를 통해 공동으로 찾아서 구성한 진화관련 정보들을 개인적으로 내면화하면서 진화 개념들을 과학적 개념으로 정교화할 수 있었던 것으로 보인다.

전체 발언 중 차지하는 비율은 낮지만 나타났으므로 반대 발언은 부정확하거나 불충분한 생각들에 대해 비판적인 검토를 함으로써 진화개념 이해에 도움을 줌을 알 수 있었다고 본다. 반대 발언들은 주장을 지지하는 정당화와 증거 또는 생각의 비판적인 검토로 이끌어 줌으로써 논의가 심층적으로 무르익어 나가는 데 중요한 역할을 한다(Osborne, Eduran & Simon, 2004; Sampson & Clark, 2009). 이 연구에서도 반대 발언이 개념의 정교화에 중요한 역할을 함을 확인하였다. 다음은 ‘개체군 내 개체분포의 변화에 대한 소집단 A 담화의 일부이다.

- A-1: 유전자의 차이 때문에 많이 움직여지고 적게 움직여지고 차이인데..
- A-3: 어느 환경에 놓여 있냐에 따라서 자기의 생존율이나 생식률이 달라지기 때문에 자기가 가지고 있는 형질이란 환경이랑 딱 맞아 떨어지면 계속 자손을 남겨가지고 그런 자손이 많아지는 거지.

Table 15. Percentages of discourses in terms of four functions (unit: %)

소집단	정보찾기	설명	반대	지지	합계
A	30	44	8	18	100
B	22	48	11	19	100

- A-2: 그럼 이건 변이하고는 좀 다른 거네.. 변이하고는 좀 더 달리..
- A-3: 어쨌든 변이도 베이스로 깔려 있으니까..
- A-2: 변이?
- A-3: 왜냐면 초파리들이 다양하잖아요. 뭐 활발히 움직이는 애. 다양한 환경에서 그렇게 행동이 되고 있는데 그 행동이 적합한 애들이 자손을 많이 남기니까 자연선택 되서.

개체군 내 개체분포의 변화에 영향을 미치는 차등적 생존율이나 생식률이 개체군 내 개체들의 변이에 기초하고 있음을 A-3가 반대발언을 통해 A-2의 생각을 비판적으로 검토를 할 수 있도록 기회를 제공하고 있음을 알 수 있다. 이처럼 반대발언은 관점의 양극화를 이끌지 않으면서 논변이 발전적으로 움직이는데 중요한 역할을 한다는 것을 알 수 있었다.

2. 진화의 주요개념별 논변활동 특성 분석을 통한 프로그램 적용 효과

논변글쓰기와 담화분석을 바탕으로 진화의 주요 개념별로 논변활동 특성을 분석하여 논변활동 프로그램 효과를 확인한 결과는 다음과 같다.

가. 변이

논변글쓰기에서 나타난 변이에 대한 정확한 설명, 불충분한 설명, 부정확한 설명은 Table 16과 같다. 유전적 변화와 관련하여 불충분하

Table 16. Examples of the correct, insufficient, and incorrect explanations of 'variations' conceptions revealed in the argumentation writings

범주	글쓰기 내용
정확	다음 세대 자손들은 실험실 베리와 유전적, 형태적, 생리적 차이를 보인다.
	돌연변이, 수정, 2가 염색체의 배열, 교차 등에 의해 다양한 유전적 변이를 가진다.
	다음 세대 자손은 형태적, 생리적, 유전적 차이를 보이지만 진화에 영향을 주는 것은 유전적 차이이다.
	유전자 변화가 형질의 변화로 나타나고 변화된 형질이 환경에 유리할 경우 개체가 자연선택 된다.
	유전자형 변화의 축적에 의해 특정 환경에 적응하기 유리한 개체가 생기고, 이 개체가 더 큰 생식력을 갖게 되어 진화가 일어난다.
	미세한 유전적 변이가 긴 시간동안 누적되고 결국 유전자 빈도의 변화를 가져와 진화를 촉진할 것이다.
불충분	유전적 변이가 오랜 기간 축적되면 생식적 격리로 이어져 종의 분화로 이어진다.
	환경의 변화가 진화의 속도를 촉진시킨다.
	다음 세대에 환경조건이 달라졌을 때 유전적 변화가 아닌 생리적인 변화가 나타나며 유전적 변이로부터 오는 적응도의 차이가 아니므로 진화에 큰 영향을 미치지 않는 것 같다.
	환경이 다른 조건에서 자랄 경우 당연히 식물의 대사량이나 생장률의 차이를 보일 수 밖에 없다.
부정확	현재 환경보다는 안 좋은 상태에 처해진다는 것이므로 성장속도가 느리고 개체의 크기가 작아질 것이다.
	동일한 클론 개체라도 자라는 환경적 조건이 다를 경우, 형태적, 생리적 특성이 다르게 나타날 것이다.
	한 세대 동안에 유의미한 유전적 변이는 일어날 확률이 극히 드물기 때문에 형질상의 차이가 없을 것이다.
	자연발생적으로 돌연변이에 의해서만 유전적 차이가 생기므로 돌연변이에 의한 영향만큼 실험실 베리와 차이를 보일 것이다.
	식물의 뿌리, 줄기, 잎 등 유전자의 변화와 독립적으로 전반적으로 형태적, 생리적 변화를 일으킬 것이다.



고 부정확한 설명이 많음을 알 수 있다. 다음 세대에서는 유전적 변화가 없고, 유전적 변화없이도 생리적이고 형태적인 형질은 변화될 수 있다고 하는 오개념들이 나타났다. 그러나, 소집단 논변활동 후 최종 논변글쓰기에서는 이 오개념은 사라졌고 변이의 개념이 명확해졌다. 또한 변이 개념에 대한 발언 수의 비율이 다른 개념들에 비해 가장 많아 소집단 구성원 간에 상호작용이 활발하게 이루어짐을 알 수 있다.

Park(2013)은 우리나라 교과서의 경우 자연선택의 단계를 설명할 때 변이의 중요성에 대한 설명이 누락되어 있다고 하였다. 이런 경우 변이와 진화의 관계에 대해 학습할 기회가 없어 변이에 대한 부정확한 개념을 갖게 되기 쉽다. 이 결과는 변이에 대한 오개념을 없애고 과학적 개념으로 정교화하기 위해서 논변활동이 긍정적인 역할을 했음을 알려준다.

변이 개념 이해를 위한 논변활동 시 소집단 내 ‘반대’ 발언을 통해 심도있게 논변활동이 이루어진 것을 확인할 수 있었다.

- A-1: 근데 이 베리나무가 클론이란 말이에요. 유전자가 완전 동일하단 말이에요. 생식세포 유전자도 완전 동일하단 말이에요.  
 A-3: 내 말은 이거야. 이게 베리나무에서 암, 수 라고 하면 암그루도 쌍을 가질 거고 수그루도 쌍을 가질 건데.  
 A-2: 잠깐, 여기서 모든 베리나무가 클론이니까 남녀 차이는 없는거야.  
 A-3: 그죠.. 이거끼리는 차이가 없는데..이거는 차이가..  
 A-1: 아.. A, a 이런 식으로.. AA Aa aa 이렇게 세 가지 종류가 나올 수 있다. 1번 염색체에서만..  
 A-3: 요런 상태라고 하면 생식세포를 만들 때. 다양한 조합이 나올 수 있고. 그게 아니면 자연적인 돌연변이 말고는 설명이 안되는 거야. 변이가.. 그럼 어떻게 해야 하지?  
 A-2: 엇. 왜냐면 유전자의 종류는 무지하게 많단 말이야. 너무 많기 때문에 그들이 교차되고,, 돌연변이가 흑사라도 되고.. 만들어진 생식세포는 다 다른 거야. 무지하게 많은 거야.  
 A-3: 이게 유성생식을 한다고 하면 변이가 어쩔 수 없이 생길 수 밖에 없고. 클론이라는 게. 실험실에서 클론을 만들 때 영양생식으로 클론이 만들어 지니까 유전적으로 동일하게 있을 것 같아.

담화를 보면 A-1이 ‘생식세포 유전자도 완전 동일하단 말이에요.’란 발언에 대해 A-3는 ‘생식세포를 만들 때, 다양한 조합이 나올 수 있고’ 라든지, A-2가 ‘만들어진 생식세포는 다 다른 거야’라는 등 한 사람이 아이디어를 제안하였을 때 다른 사람이 그 생각에 대해 반대발언을 통해 제시된 생각에 도전을 함으로써 개념을 정교화 해 나갔다. 생식세포의 ‘유전자가 동일할 것’이라는 생각을 제안했던 A-1의 논변활동 시작 전 개인적인 논변글쓰기 내용은 논변 후 최종 논변글쓰기에서는 ‘같은 유전자형을 가진 부모가 교배할 때 유전자 재조합, 교차, 돌연변이, 무수히 많은 자손 등의 기작에 의해 다양한 유전자형을 가진 자손들이 만들어짐으로써 다음 세대 자손들은 부모와 유전적 차이를 보인다’는 과학적 개념으로 정교화된 것을 볼 수 있었다.

한편, 이 연구에서 사용된 논변활동 학습 모형은 소집단 내의 잠정적인 논변활동 후 소집단 간 대표가 소집단 내의 논변결과를 발표함으로써 다른 소집단의 입장을 공유할 기회가 제공된다. 이는 과학적 논변활동의 사회적 측면에 참여하는 방법을 학습할 수 있게 하고, 서로 다른 소집단에서 생산된 논변을 평가하고 새로운 기준을 조율하여 선

택하는 것을 도와줌으로써 개념에 대한 이해를 증진시킨다. 다음은 소집단 A와 B 간의 담화 예시이다.

- A-1: 진화가 아뻏든 한 세대에서 다음 세대로 넘어가려면 형태적이나 생리적인 것은 전달이 안 되잖아요. 단백질이든 뭐든. 다음 세대로 넘어가려면 유전적인 변화가 있어야 한다고 생각을 하기 때문에 형태적, 생리적 측면만 보는 것은 무리가 있지 않을까.  
 B-2: 음.. 유전적 변이를 통해 진화가 일어나는 것은 맞는데 그게 변이라는 게 확률게임이잖아요. 확률적으로 돌연변이가 일어나고 그 돌연변이가 환경에 적합한지 보는 건데.. 한 세대를 걸친 변이가 얼마나 많이 또 환경에 적합하게 발생할 지 저희가 쉽게 추측할 수 없을 거 같고..  
 A-3: 저희는 유전적 차이가 진화에 필요하다고 보는 입장이고. 진정한 진화에 필요한 변이라는 게 유전적 변이라고 생각을 하는데. 그 형태적, 생리적 차이만으로 얘기하는 것은 조금 부족해 보이는..  
 B-2: 저희가 얘기하는 형태적, 생리적 차이는 바로 다음 세대 자손들을 얘기하는 거지 오랜 시간에 걸쳐서는 진화가 될 거라고 생각을 하거든요.  
 A-3: 그러면 오랜 시간을 놓고 봤을 때는 유전적 변화가 생긴다고 보시는 거예요?  
 B-2: 예.  
 A-3: 그럼 그런 유전적 변이는 어떻게 생긴다고 보시는 거예요?  
 B-3: 유전적 변이는 우리가 알다시피 돌연변이가 생기고 돌연변이가 생긴 개체들 중에서 환경에 가장 적합한 개체가 살아남게 되겠죠. 자연선택에 따라서.

소집단 B의 경우 소집단 논변글쓰기에서 ‘식물의 뿌리, 줄기, 잎 등 전반적으로 형태적, 생리적 변화를 일으킬 것이다. 이러한 차이가 진화의 속도를 촉진시킬 것이다.’라고 썼다. 이는 소집단 B 내의 잠정적인 논변활동에서는 진화의 기본이 되는 유전적인 변화보다는 베리나무의 생리적이고 형태적인 변화에 초점을 맞추어 논변활동을 하였고 유전적 변화와 진화의 관계에 대해서는 논의하지 않을 것을 알 수 있다. 그러나 소집단 간의 논변활동에서 소집단 A가 진화의 기본이 되는 유전적 변이가 있음을 발표한 뒤에 소집단 B가 그 아이디어를 공유하고 추가로 논의하여 어떠한 주장이 더 유의한지 검토할 수 있는 기회를 얻게 되었다.

### 나. 변이의 유전

변이의 유전에 대한 글쓰기 전체 자료 분석 결과에서 획득형질은 유전되지 않으며, 유전형질만이 자손에게 전달되어 영향을 미친다는 것과, 변이가 유전되어야 진화에 영향을 미칠 수 있다는 등의 정확한 설명들이 나타났다. 또한 부모의 표현형과 관계없이 먹이에 따라 유전자 동일해도 유전자 발현이 달라질 수 있는 상황에 대해서도 제시하고 있어 환경에 따라 애벌레의 겹모습에 대한 유전자의 발현이 조절될 수 있음도 정확히 설명하고 있었다. 변이의 유전에 대한 불충분한 설명은 없었으나, 차등적 생존율이 상대적으로 높은 개체들만 살아남았다는 개체군 내 개체 변이와 자연선택의 관계를 명확히 이해하지 못한 부정확한 설명이 있었고, 애벌레의 겹모습을 설명할 때 오개념인 목적론적 표현도 나타났다.

변이의 유전 개념에서는 획득형질은 유전되지 않고 유전자에 의한

형질만이 다음 세대 자손에게 유전되어 진화에 영향을 미친다는 것을 이해해야 한다. 획득형질이 유전되지 않는다는 점은 충분한 논변활동을 통해 연구 대상 전원이 최종 논변글쓰기에서 명확하게 기술했지만, 변이가 유전되는 것이 진화와 어떤 관계가 있는지에 대해서는 소집단 A의 3명만 분명하게 기술하였다. 소집단 B의 경우 3명 중 아래와 같이 두 명이 최종 논변글쓰기에서 변이의 유전과 진화의 관계를 명확히 나타내지 못했다. 그 두 교사의 담화 내용은 다음과 같았다.

- B-2: 재미있는 관점에서 보면 원래는 잎만 있던 환경에서 잎만 먹었는데 환경이 변하면서 우연찮게 꽃을 먹게 되거야. 그래서 원래 발현되지 않았던 유전자가 발현된 거지. 그 화합물에 의해서.
- B-3: 그럼 원래 유전자를 가지고 있었던 거잖아.
- B-2: 그렇죠. 갖고 있는데 표현형으로 표현을 안 했던 거지. 그때까지 정크 gene 이었는데.. 전사인자가 없었니까.
- B-3: 전사인자가 된 거야. 먹은 게?
- B-2: 그렇지 화합물이 전사인자가 된 거지.
- B-2: 그것도 진화라고 봐야 하나?
- B-3: 진화라고 하는 것은 어떤 유전자 변이로써 설명해야 하는데. 원래부터 있던 게 발현이 되고 안 되고, 그것도 결국 진화가 아니라는 말..
- B-2: 글썄요.
- B-3: 원래 있던 유전자가 발현이 안 되고 있다가 발현이 되는.. 유전자의 변화는 없는 거잖아.

소집단 B는 개체군 내 개체들의 유전적 변이가 진화의 기초가 됨을 이해하고는 있지만 특정 유전자가 변화되지 않으면 진화가 되지 않는다는 개념을 갖고 있다. 특정 유전자 자체는 변화되지 않더라도 생식세포의 다양성과 돌연변이 등에 의해 유전적인 변이가 발생하고, 그 변이가 유전됨으로써 진화가 일어나는 메커니즘은 이해하지 못했다. 특히 B-2와 B-3는 유전자의 전달과 진화와의 관계에 대해서는 심도 있게 생각하지 못하고 앞 시간에 배운 변이만을 고려해 진화를 설명하려고 하고 있었다. 그러나 6명 모두 논변활동으로 유전자적인 형질만이 유전되어 다음 세대에 영향을 미친다는 점은 명확히 이해했다.

#### 다. 제한된 자원에 대한 경쟁

경쟁에 대해서는 불충분하고 부정확한 개념들이 나타났다. 경쟁에 단순히 밀려서라는 표현만 있을 뿐 개체군 내 개체 변이에 의해 차등적 생존율이 발생하고 이로 인해 경쟁 관계에서 자연선택되는 기작을 설명하지 못하는 불충분한 설명이 있었다. 또한 경쟁관계에 있어 특정 형질을 가진 개체가 제한된 자원을 두고 차등적 생존율이 높아서 자연선택된 것이 아니라 의도 또는 목적을 갖고 행동을 선택을 했다는 부정확한 오개념이 많이 나타났다.

Jo(2014)는 예비 생명과학교사들의 79.2%가 경쟁의 생물학적 의미를 목적으로 이해하고 있다고 하였다. 이 연구에서도 경쟁 현상을 목적으로 설명하고 있었으며, ‘변이’와 ‘자연선택’ 등의 진화개념과 연결하지 못했다. 다음은 두 소집단 내 논변활동을 마친 후 소집단 별 논변글쓰기 내용의 일부이다.

소집단 A: 경쟁을 최소화하기 위한 다양한 전략이 있는데 황금스파니취는

나누어살기를 통해 중간성을 선택하여 일반스파니취와의 경쟁을 최소화하였다.

소집단 B: 여러 종이 같이 있게 되면 불필요한 경쟁이 발생하게 되고 자신에게 피해를 최소화하면서 불필요한 경쟁을 줄이는 선택을 하게 된다. 따라서 자신이 수용할 수 있는 한계 내에서 자신의 생태적 지위를 변경시킨다.

두 소집단 내에서 목적론적으로 설명하는 논변을 마친 후 두 소집단 간의 논변활동에서도 경쟁과 진화의 관계를 여전히 목적 또는 의도적인 표현으로 설명하는 담화를 하였다. 두 소집단은 다음과 같이 서로 주장이 비슷하다며 반대 발언도 없이 단순한 지지 담화만 보이면서 소집단 간 상호작용을 활발하게 하지 않았다.

- A-3: 중간성 행동 양상을 갖게 된 것을 진화적인 관점에서 좀 더 설명을 해주시면 좋겠어요.
- B-3: 진화적인 관점에서.. 중간성 행동을 안 보이고 계속 야간행동을 했다면 경쟁이 발생하게 되고 그 경쟁 결과 한 종이 멸종될 것이기 때문에 중간성을 보이게 된 것은 결국은 한 종이 멸종될 수 있는 상황에서 벗어나게 한 것이다. 이런 점에서 진화적인 관점을 볼 수 있는 것 같습니다.
- A-3: 비슷해요.

그러나 소집단 간 논변활동을 마친 후 반성적인 논변활동을 하기 전에 교수자는 적절한 질문을 제공하여 경쟁 개념에 대해 새로운 시각에서 다시 논변활동 해보도록 권유했다. 다음은 이 상황에서 교수자가 한 질문과 그에 대한 대답이다.

- 교수자: 내가 질문을 해 볼게요. 어떤 경쟁상황이 되자, 피하기 위해서..이런 설명을 했는데.. 더 먹고 살기 위해 거기서 살았다. 상당히 목적론적이고.. 능동적인..의도적인 주장을 하고 있거든요. (중략) 그런 표현이 저는 걸리고, 또 한 가지는 본인 자신이 그런 환경에 대한 그런 삶을 선택하였다는 식의 표현, 생태적 지위를 변경시켰다? 심하게는 그런 부분들은 진화적인 관점에서 설명한 것이 절대 아닐 수 있다. 그런 생각이 들어요. 그 부분에서는 어떻게 생각을 하세요?

A-2: 어떻게 보면 황금스파니취들 중에서 그럼에도 불구하고 일반스파니취들 처럼 야행성을 선택해서 살아가는 개체도 있을 수 있었을거라 생각이 드네요. 저희는 다 ~ 모두가 중간성을 선택했다고 생각을 했는데. 그럼에도 불구하고 야행성으로 서식한 애들도 있었을거라 생각이 드네요. 좀 더 대화를 해봐야 할 것 같아요.

교수자: 나의 질문은 이 개체들이 목적을 가지고, 의지를 가지고, 그와 같은 행동 패턴으로 움직이는 것이냐, 오개념 중 나의 의도대로 내가 원하는 형질이 얻어지는 것은 가장 고치기 어려운 잘못 설명하는 오류거든요. 개체들이 어떤 상태에 처해 있을까를 다시 한 번 생각해보죠.

교수자가 소집단 간의 설명이 진화적인 관점이 아닐 수 있다는 문제를 제기함으로써 생각을 전환할 수 있는 기회를 주었음에도 불구하고 A-2는 여전히 스파니취들이 생체리듬을 선택했다는 진화론에 대한 대안개념인 내부의지적인 과정으로 설명을 했다. 그러나 이후 교수자가 질문을 통해 경쟁을 설명할 때 개체군 내 변이도 영향을 미친다는 것을 인식시켰다. 교수자가 좀 더 명시적으로 진화의 오개념을 언급하

면서, 소집단 내 논변 활동을 다시 시도해 볼 것을 제안한 후, 두 소집단은 마지막 반성적인 논변활동을 통해 ‘경쟁’을 ‘변이’와 ‘자연선택’과 연결하여 설명하는 데 마침내 성공했고, 최종 논변글쓰기에서는 목적론적인 설명이 성공적으로 제거되었다. 다음은 두 소집단간 논변활동과 교수자의 개입이 끝난 뒤 반성적인 논변활동 시의 이루어졌던 담화이다.

A-3: 애초에 능동적으로 행동을 바꾼 게 아니라 그런 행동을 보이는 변이들 중에 그런 애들이 있어야지 선택을 당할 수 있는 거지. 평상시에 주간성도 가질 수 있고 야행성도 가질 수 있는데 일반 스파니취가 없는 상황이다 그러면 야행성으로 다니는 게 더 유리한 거고 근데 같이 있을 때 야행성으로 행동 할 때 일반 스파니취와 자꾸 경쟁이 있으니까 이거를 피하기 위해서 라기 보다 낮에도 돌아다녔는데 경쟁이 없었다. 낮에 많이 먹고 밤에 자기 생존했다가 그런 개체들이 자꾸 자꾸 생식을 하면 결국에는 주행성을 보이는 행동을 보이는 개체들이 개체군이 많아지지 않을까..

A-1: 두 가지 특성을 모두 가진 개체들이 선택이 돼서 살아남았다는 거죠.

B-2: 그렇죠. 야간 주간 모두 살 수 있는 능력이 가진 개체가 있었고 야간에만 살 수 있는 애가 있었고..

B-1: 그 중에서 선택이 된 거지..

B-2: 이 중에서 야간에만 사는 애들은 죽고 야간과 주간 모두 살 수 있는 애들은 야간에 살면 경쟁에 밀리니까. 낮에 살게 되었다. 라는 게 낫지 않을까요?

B-1: 그니까 이걸 변화시킬 수 있는 애도 있을 거고 변화시킬 수 없는 애도 있을 거고 다양한 종류가 있을 때..

B-3: 아~ 변이가 다양했을 것이다.

B-1: 그렇게 선택이 된 거지..

교수자가 구체적으로 오개념을 언급하긴 하였지만 두 소집단의 논변이 오개념으로 일치되면서 논변활동이 활발하지 않을 경우 또는 오개념이 많은 주제의 논변활동에서는 교수자의 적절한 개입이 필요함을 알 수 있었다. 특히 논변활동 프로그램의 목적이 진화개념에 대한 이해 향상인 만큼 진화에 대한 주요 개념들 올바르게 이해하기 위해서는 소집단 내의 논변활동을 방해하지 않은 선에서 교수자의 적절한 개입은 중요한 역할을 할 수 있음을 확인하였다.

결과적으로 이 논변활동 프로그램을 통해 경쟁과 진화의 관계를 생각할 수 있는 기회가 제공되면서 경쟁에 대한 오개념인 목적론적인 사고가 제거되었고, 성공적으로 경쟁에 대한 과학적 개념변화가 이루어졌다.

#### 라. 자연선택과 적응

자연선택과 적응에 대한 논변글쓰기 자료 전체에서 불충분한 설명, 부정확한 설명은 없었고 논변활동 전, 후에 특정 형질을 가진 개체가 특정 환경에서 차등적 생존율이 높아 자연선택됨을 명확히 제시했다. 지속적인 자연선택 과정을 통한 환경에 대한 적응과 오랜 시간 후의 종 분화에 개념까지 질문에서부터 출발한 자연선택과 적응 개념은 논변활동을 통해 정확하게 설명이 되었다.

#### 마. 차등적 생식력

차등적 생식력 개념은 소집단 논변활동에 앞서 사전 논변글쓰기 평균 점수가 10.33점(12점 만점)일 만큼 높은 편이었다. 최종 논변글쓰기 평균 점수도 11.16점(12점 만점)이었다. 다음은 소집단 논변활동을 하기 전에 A-3의 개인 논변글쓰기에 대한 예시이다.

A-3: 그러나 생식에 참여하는 시기가 늦어지면 자손을 낳기 전에 헌팅턴병이 발병할 수 있다. 이 병은 치명적인 질환이므로 생식과 생존에 불리해져서 헌팅턴병 유전자를 갖는 개체는 그 유전자를 후대에 전달할 수 없다. 헌팅턴병 유전자는 개체군 내에서 줄어들게 되고, 결국 개체군에서 헌팅턴병 출현빈도가 낮아진다.

차등적 생식력에 대해 부정확한 설명은 나타나지 않았다. 그러나 최종 논변글쓰기 자료에서 배우자로 선택되더라도 자손을 낳아 다음 세대에 특정 형질에 관한 유전자를 전달하지 못하면 개체군 내 특정 형질에 대한 유전형질의 분포에 영향을 미치지 못한다는 생식을 통한 유전자 전달 개념이 나타나야 정확한 설명인지 판단을 할 수가 있는데 개체군 내 특정 대립유전자 빈도의 변화를 차등적 생식력과 구체적으로 연결하지 못하고 성 선택만으로 설명하는 불충분한 설명이 나타났다.

차등적 생식력이라는 개념에 대해서는 헌팅턴병 이란 소재가 익숙하기도 했으므로 사전에 6명 중 5명은 명확히 이해하고 있었다. 7회의 진화주요개념 학습과정 중 발언 수의 비율이 4% 정도로 가장 낮았을 만큼 논변 상호작용이 활발하지 않았음에도 사전, 사후에 질이 높은 수준의 논변글쓰기를 유지하였다. 단, B-1의 경우만 최종 논변글쓰기에서 배우자의 선택만으로 개체군 내 유전자 빈도의 변화를 설명하면서 생식과의 직접적인 연결에 대한 설명은 없었는데, 이는 부정확한 설명은 아니었지만, 충분하지도 않은 설명이라고 볼 수 있다.

#### 바. 개체군 내 개체분포의 변화

개체군 내 개체분포의 변화에 대해서는 부정확한 설명과 불충분한 설명은 나타나지 않았다. 각기 다른 개체군 밀도 환경에서 제한된 먹이를 두고 개체들이 경쟁할 때 특정 대립유전자를 가진 개체가 차등적 생존율이 높아 자연선택 됨으로써 밀도 환경에 따라 개체군 내 특정 유전형질을 가진 개체의 빈도가 다르게 변화됨을 명확히 이해하고 있다. 또한 개체군 내 특정 유전형질의 분포 변화가 진화의 원동력이 됨을 이해하고 있어 진화와의 관계도 명확히 인식하고 있음을 확인하였다.

진화는 개체군이 아니라 개체에 작용한다는 오개념은 흔하다 (Alters & Nelson, 2002). 그러나 6명의 교사는 모두 밀도가 각각 다른 환경에서 초파리 개체군의 유전자 빈도가 변화되는 과정을 개체 수준이 아닌 개체군 수준에서 명확히 설명했다. 최종 논변글쓰기 평균 점수도 11.5점(12점 만점)으로 7개의 진화주요개념 중 가장 높았다. 발언 수의 비율이 6%로 활발한 논변이 없었는데도 사전에 이미 정확한 설명이 가능한 개념을 가지고 있었으므로 최종논변에 이르기까지 많은 논의가 필요치 않았던 것으로 보인다. 다음은 소집단 B의 담화와 글쓰기 논변활동 예시이다.

<답화 예시>

B-3: 빈도가 달라진다는 것뿐만 아니라 진화적으로 설명하려고 했으니까 집단이 진화한다. 집단의 진화를 써줘야 할 것 같아요. 집단 수준에서도 진화를 얘기할 수 있지 않아요?

B-2: 집단 진화라는 말이 있나요? 있긴 있네요.

B-1: 주장은 이렇게 마무리 할게요. 결국에 마지막에 이렇게 환경이 변했을 때 개체군 대립유전자 빈도가 변하고 이게 진화의 요인이 된다.

<논변글쓰기 예시>

B-2: 밀도가 높은 개체군에서는 한정된 먹이를 먹기 위해 많이 움직여야 하는 forR이 유리하고, 이들은 종내경쟁에서 유리하여 더 많은 먹이를 먹고 많은 자손을 낳아 결국 더 많은 개체가 남는다. 반면 밀도가 낮은 개체군에서는 많이 움직이는 forR은 에너지 효율이 안 좋고 부적절한 비용이 소요되므로 forR유전자 보다는 forS 유전자가 유리해진다. 그 결과 각 환경에 적합한 형질의 개체가 살아남고 대립유전자의 빈도가 증가한다. 이러한 대립유전자의 빈도 변화는 진화의 또 다른 요인이 된다.

밀도가 각기 다른 환경에서 초파리 개체군의 대립유전자 빈도의 변화를 에너지효율과 이득의 측면에서 ‘차등적 생존력’을 고려하여 설명하고 있으며, ‘제한된 먹이에 대한 종내경쟁’ 등 앞 차지에서 논변 활동을 했던 진화개념들을 동원하여 명확히 설명했다. 이를 통해 개발된 프로그램이 추구하는 순환적 진화개념학습이 성공적으로 진행된 것을 확인할 수 있었다. 또한, 진화개념들은 다양한 생물개념들을 통합할 수 있는 개념(NRC, 2011)인 것도 확인할 수가 있었다.

사. 대진화

대진화에 대한 논변글쓰기에서도 불충분한 설명과 부정확한 설명은 나타나지 않았다. 종은 공통조상에서부터 분화되었고, 가지치기 형태의 종 분화 과정에 대한 설명을 소진화와 대진화의 관계를 통해 정확하게 나타냈다. 또한 종 분화 과정의 계통발생학적인 측면에 대한 내용도 논변글쓰기에 나타났다.

진화는 짧은 기간의 소진화와 긴 기간의 대진화 과정으로 구분할 수 있는데, 특히 대진화에 대한 분명한 인식 없이 진화현상을 정확히 이해할 수 없다(Catley, 2006). 사람들은 주로 개체군 내 대립유전자의 빈도가 변하는 소진화는 쉽게 과학적 설명으로 받아들이지만 파충류와 조류의 유연관계가 가깝다는 등의 대진화는 유효한 과학적 설명으로써 받아들이기 어려워한다(Alters & Alters, 2001). 대진화를 과학적 설명으로 받아들이기 위해 필요한 핵심개념은 긴 시간, 계통학, 종분화, 화석, 과학의 본성 등이다(Nadelson & Southerland, 2010). 특히 대진화 개념은 시간 관련 변인들과 정적 상관관계를 나타내는데도 불구하고(Kim & Cha, 2014), 학생들에게 긴 시간에 대한 개념을 형성시키는 것은 어렵지만(Brumby, 1981). 대진화 개념 이해에 앞서 긴 시간에 대 이해할 수 있는 기회가 제공된다면 대진화와 관련된 핵심개념에 대한 이해도 증가될 수 있을 것이다.

이 연구 결과에서는 화석의 증거를 통해 공통 조상에서 개체군 내 변이의 축적으로 생식적인 격리가 일어나 종이 분화되는 기작은 대부분의 연구 대상들이 설명을 했지만, 고래의 계통도를 통해 오랜 시간에

걸쳐 고래가 진화되어 온 경로를 구체적으로 설명하는 데는 어려움을 겪었다. 대진화의 핵심개념 중 긴 시간과 계통학에 관련된 내용 이해에 특히 어려움을 나타냈다. 다음은 소그룹 A 담화의 일부이다.

A-2: 고래류가 아예 육상동물이란 말이 안되지않아. 고래는 수중생물이잖아. 육상동물이 수중동물로 넘어가기 위한 중간종이 파키세투스일 수 있던 거지. 이거에 대해 어떻게 생각해? 파키세투스까지는 육상동물인거고. 느낌상 여기는 나와 있지 않지만. 그 밑에는 왜냐면 노처럼 커졌다. 그러면 밑에는 수중동물이고. 고래는 수중동물이고.

A-1: 이렇게 딱 나눌 수는 없을 것 같은데..

A-2: 그지? 여기까지는 육상동물이고.. 고래는 수중동물이고..

A-3: 아.. 못하겠어요. 이해가 잘 안돼요.

A-1: 근데 하마랑 애를 육상동물로 보면 하마랑 애가 나눠진 것을 이소적 충분화다 말하기 힘들어질 것 같아요. 왜냐면..

A-2: 파키세투스가 고래류가 확실히 맞아?

A-1: 네 맞아요. 왜냐면 고래류 공통조상으로부터 뻗어 나갔으니까. 확실히 고래류가 맞는데.. 그래서 이소적 충분화라고 말하기는 힘들 것 같아요.

A-2: 아 그러네 초기 고래류네.

(중략)

A-1: 고래류 공통조상에서 파키세투스가 만들어지고 그게 수생환경에 적합한 변이들의 축적으로 현생고래류가 출현하게 되었고 나머지종들은 중간종으로.

A-2: 나머지는 다 중간 종으로 보는 것을 어떻게 생각해?

A-1: 아.. 모르겠다. 이후 수생환경에 적합한 변이들이..

A-2: 근데 하마들도 수중에 사면 수중에 사는 애들도 서로 다른 변이가 축적되었을 거 아니야? 수중에서 서식하던 육상동물에서 일부는 하마로 된거고 일부는 초기 고래류가 됐던 거지. 그 중에 더 많은 변이가 축적되면서 현재의 고래가 되었다. 괜찮아?

A-1: 좋아요.

A-3: 근데 나는 이런 연결고리가 궁금한 거지.

위의 담화에서도 볼 수 있듯이 교사들은 고래가 진화되는 동안에 나타난 중간 종들을 모두 알 수 없고 긴 시간동안의 진화과정을 추론해야 한다는 점에서 계통도를 해석하는데 어려움을 겪고 있었다. 하마와 고래의 공통조상이 육상동물에서부터 현재 수중에서 생활하는 고래까지 진화되어 온 경로를 설명하기 위해서는 매우 오랜 시간과 환경의 변화에 따른 공간 차원에서의 진화과정을 이해해야 한다. 고래의 계통도와 같이 긴 시간동안의 진화과정을 제대로 이해하기 위해서는 많은 중간 종들의 화석이나 증거들을 찾고, 그 자료들을 통해 소진화 과정과 대진화 과정을 연결하여 설명할 수 있는 능력이 필요하다. 다음은 A-2와 B-1의 최종 논변글쓰기에 대한 예시와 소집단 A의 담화 일부이다.

<논변 글쓰기 예시>

A-2: 육상동물의 공통조상에서 서로 다른 변이의 축적(소진화)으로 하마와 초기 고래류로 종이 분화가 되었다. 초기 고래류는 변이의 축적으로 현재와 같은 현생 고래류의 형질을 갖는 종이 되었다.

B-1: 고래가 원래의 육상의 공통조상에서 돌연변이, 생식세포의 무작위적 분배, 교차, 재조합 등으로 변이가 생기고 수중생활에 더 적응적인 형질을

가진 개체가 선택되어지는 과정에서 여러 중간 단계의 종이 출현하게 되고 결국 오늘날의 고래가 출현하게 되는데 이를 대진화하고 할 수 있다.

<답화예시>

A-1: 공통조상으로부터 소진화가 일어나서.. 소진화가 축적되어 대진화가 일어나서 현생고래류가 출현하게 되었다. 소진화랑 대진화를 쓸꺼면 어디서부터 출발점을 잡아야 할까요? 육상동물?

A-2: 어.. 육상동물.. 하마도 육상동물이니까..

A-1: 아니면 고래류 공통조상으로부터 출발을 할까요?

A-3: 생각이 비슷한 것 같은데.. 표현이..

A-1: 저는 소진화와 대진화..

(중략)

A-2: 소진화와 대진화 단어는 괜찮은거 같아. 변이의 축적.. 소진화가.. 어느 수준까지 말하는거야?

A-1: 종 내에서 일어나는 변이. 거기까지만 소진화

A-2: 그러면 육상동물의 어떤 종 내에서 소진화가 일어났는지. 소진화가 축적되어 하마가 종이 되는 대진화가 된거고, 고래류 공통조상으로 분화되는 대진화가 되고, 또 다른 변이가 축적되어 현재와 같은 고래가 되었다. 변이가 축적되는 것은 화석종을 통해 알 수 있었다.

이들은 하마와 초기 고래류의 공통조상이 있음을 이해하면서 직선형이 아닌 가지치기 형태의 종 분화 과정을 설명하고 있다. 또한 종 수준에서 세대를 거듭하여 나타나는 개체군 내 유전자 풀의 변화인 소진화와 이런 소진화의 축적으로 공통조상에서 종이 분화되는 대진화의 관계에 대해서도 이 논변활동을 통해서 서로 개념을 정교화시키면서 명확한 이해에 도달했음을 알 수 있었다. 따라서 이 연구에서 적용했던 논변활동 프로그램은 교사들의 대진화 개념 이해 향상에도 도움이 되었다고 볼 수 있다.

논변글쓰기와 담화분석 결과를 통해서 7개의 진화개념에 대한 이해가 향상된 것을 알 수 있으며, 그 중에서도 ‘변이’에 대한 개념 이해의 향상정도가 가장 높아 논변활동이 ‘변이’ 개념의 정교화에 효과적임을 확인하였다. 또한, ‘변이’, ‘변이의 유전’, ‘경쟁’, ‘대진화’ 개념들은 논변활동 시작 전에 부정확한 아이디어들이 나타났으며, 발언의 비율도 다른 개념들에 비해 상대적으로 많았던 개념들로, 이와 같이 부정확한 아이디어들이 과학적 개념으로 정교화 되는데 논변활동이 긍정적인 역할을 했고, 그 중에서도 반대 발언의 역할이 중요했음을 알려준다.

### 3. 진화개념 이해 향상을 위한 논변활동이 생물교육에 주는 의미

진화의 주요개념 중 논변글쓰기의 ‘설명의 개념적 수준’에서 부정확한 설명이 나타난 개념은 ‘변이’, ‘변이의 유전’, ‘경쟁’ 등 이었다. ‘대진화’에 대한 부정확한 아이디어는 담화에서는 나타났지만 논변글쓰기에서는 드러나지 않았다. 이는 위의 4개의 개념들과 관련된 내용을 생물 교과서에서 깊이 있게 다루고 있지 않아(Park, 2013) 지식을 쌓을 기회가 없었으므로 이에 대해서 부정확한 설명이 나타났던 것으로 보인다. 그러나, 많은 정보를 찾아 보충하고, 서로 깊이 있게 설명을 나누고, 일치하지 않는 의견에 대해서는 반대 의견을 내고 일치하는

의견에 대해서는 동의하는 이 논변활동 프로그램을 통해서 대부분의 부정확한 설명들이 중국에 가서는 사라지게 되었다.

부정확한 설명이 전혀 나타나지 않았던 ‘자연선택과 적응’, ‘차등적 생식력’, ‘개체군 내 개체분포의 변화’ 개념에 대한 논변활동은 활동 중에 발언의 수가 많지 않았어도 명확한 이해에 바탕을 두고 소집단 논변활동을 진행했음이 드러났다. 부정확한 설명은 없었지만 ‘적응’ 개념 수업에서는 수 세대에 걸친 자연선택 과정에 대해 명확히 논변글쓰기에 나타내지 못한 경우가 한 사례 있었다. ‘대진화’에서도 긴 시간 동안 중간종의 증거와 계통도 해석에 어려움을 겪는 경우도 이 연구에서 확인할 수 있었다.

논변활동 프로그램을 진행하는 동안 관련된 자료를 모두 논변질문지에 직접 제시하기에는 그 양이 많으므로 대진화와 같이 증거자료나 추가 정보의 양이 많이 필요한 개념 수업 시에는 스마트 기기 등을 활용해서 필요한 추가적인 자료들을 검색하는데 시간을 충분히 제공할 필요가 있다. 또한 진화적인 관계를 알 수 있는 계통도에 대해 명확히 이해하고 추론할 수 있는 능력을 기르기 위해 다양한 계통도를 접하고 해석할 수 있는 기회를 제공할 필요도 있다고 본다. 즉, 대진화 개념 이해만을 위한 확대된 논변활동 프로그램의 개발도 필요함을 알 수 있었다.

## IV. 결론 및 제언

### 1. 결론

진화론은 다양한 생물학 개념을 통합하고 생물학을 이해하는데 있어 중요한 이론임에도 불구하고 학생들과 교사들은 모두 진화론에 대한 오개념을 많이 가지고 있고 수용하기 어려워하는 것으로 알려져 왔다. 학생들의 진화교육을 위해서는 교사들의 진화에 대한 과학적인 개념이해가 선행되므로 이 연구에서는 생명과학교사들의 진화개념 향상을 위한 논변활동 프로그램을 개발하여 그 효과를 알아보았다.

연구를 위해 먼저 교사교육에서 논변활동을 통한 개념습득을 위한 7단계 순환적 논변활동 학습모형을 개발하였다. 문헌을 분석하여 7개의 진화주요개념을 추출하였고, 진화 주요 개념별 이해를 도모하기 위한 논변질문지를 개발하였다. 개발된 순환적 논변활동 학습모형에 따라 개발된 논변질문지를 예비 및 현직 생명과학교사들의 대학원 강좌에 적용한 결과 현직 생명과학교사와 예비 생명과학교사들은 논변활동 프로그램에 참여한 이후 전반적인 논변글쓰기 수준이 향상되었으며, 선정된 7개의 진화개념에 대해서도 논변글쓰기 수준이 향상되었음을 확인하였다.

논변글쓰기 분석 기준인 4가지 영역 모두 사전에 비해 점수가 향상되었으며, 그 중에서 ‘설명의 충분성’ 부분이 가장 많은 향상을 보였다. 담화분석을 통해 ‘변이’, ‘변이의 유전’, ‘경쟁’, ‘대진화’ 개념들이 다른 개념들에 비해 발언 비율이 상대적으로 높고 부정확한 아이디어가 나타났음을 확인할 수 있었다. 이는 교과서에서 이들 4개 주요개념들에 대한 내용이 부족하여 깊게 생각하고 논의할 수 있는 기회가 제공되지 않았기 때문에 다른 진화개념에 비해 부정확한 아이디어도 많고 개념을 정교화하는데 많은 발언 수가 필요했던 것으로 보인다. 그러나 최종 논변글쓰기에서는 위와 관련된 오개념이 나타나지 않아 개념에 대한 이해가 향상되었음을 확인할 수 있었다. 7개의 진화개념 중 ‘자연

선택', '차등적 생식력', '개체군 내 개체분포의 변화'에 대해서는 논변 활동 시작부터 개념에 대한 이해가 정확한 편이었으며, 논변활동을 통해 좀 더 정교화 되었음을 확인하였다. 그러나 생명과학교사들은 '적응'의 과정적인 의미와 '대진화'에서 계통도의 해석에 어려움을 느끼므로 생명과학교사 교육에서 이에 대한 보완도 필요할 것으로 보인다.

논변활동 프로그램의 구성 중 소집단 간 논변활동이나 교수자의 적절한 역할은 진화개념 이해 향상에 도움을 주는 것을 확인하였으며, 반대발언의 경우 부정확한 생각에 대해 비판적인 검토를 할 수 있는 기회를 제공하여 논변활동 프로그램을 통해 진화개념에 대한 목적론적인 사고의 감소와 올바른 진화개념의 형성에 도움을 주는 것을 알 수 있었다. 이 연구 결과는 생명과학교사들을 위한 효과적인 진화교육 프로그램과 학교현장에서 학생들을 위한 생물수업 프로그램 개발에 대한 방향을 제시할 수 있으며, 진화개념의 올바른 형성을 위한 교육과정 개선점을 제시하고 있다고 볼 수 있다.

## 2. 제언

이 연구에 이어서 첫째, 논변활동 프로그램은 진화개념과 논변구조에 대한 이해를 향상시키는데 도움을 주므로 진화개념을 올바르게 형성할 수 있도록 지속적인 논변활동을 할 수 있는 과학교사 교육 프로그램이 필요하다. 둘째, 연구 결과 부정확한 아이디어가 많았던 '변이', '변이의 유전', '경쟁', '대진화' 개념과 과정적 의미에 대해 명확히 이해하지 못했던 '적응'에 대해서도 좀 더 정교화할 수 있는 추가적인 논변활동 프로그램이 개발될 필요가 있다. 셋째, 차등적 생식력에 대한 논변활동은 시작할 때부터 대부분의 교사들이 명확히 이해하고 있었지만 성 선택과 유전자의 전달에 따른 차등적 생식력에 대해서도 명확히 이해할 수 있도록 다양한 소재와 내용 구성의 논변활동 프로그램 개발도 필요할 것으로 보인다. 넷째, 이 연구에서 개발된 논변활동 프로그램의 내용을 일부 수정한다면 중등학생들을 위한 진화교육 프로그램으로 활용이 가능할 것이라 본다. 학생들이 진화에 대한 오개념이 많은 만큼 진화를 올바르게 이해하기 위해서는 학교의 실정을 고려하여 시간을 조절하고, 소재와 내용은 학생들의 수준에 맞게 수정, 보완한 학생용 진화교육 논변활동 프로그램 개발이 가능할 것이다. 다섯째, 현재 사용 중인 교과서에는 진화와 관련된 간단한 탐구활동만 제시되어 있으므로 진화개념을 정교하게 형성시킬 수 있는 논변활동이 포함될 필요가 있다. 이를 위해서는 진화주요개념을 올바르게 형성시킬 수 있는 다양한 소재와 내용을 바탕으로 한 탐구활동으로서의 논변활동이 개발될 필요가 있다.

## 국문요약

이 연구는 생명과학교사들의 진화개념 향상을 위한 논변활동 프로그램을 개발하고 이를 교사교육에 적용하여 진화개념에 대한 논변활동 특성을 분석함으로써 효과를 알아보고자 하는 것이었다. 이를 위해 먼저 진화를 이해하는데 필요한 주요 개념들을 문헌 조사를 통해 추출하여 '변이', '변이의 유전', '경쟁', '자연선택과 적응', '차등적 생식력', '개체군 내 개체분포의 변화', '대진화'를 주요개념으로 선정하였고, 각각의 개념에 대한 논변활동 질문지를 개발하였다. ADI모형을

변형한 7단계로 이루어진 순환적 논변활동 학습모형도 개발하였다. 총 7회에 대학원 교과교육 수업에 적용하였다. 현직 생명과학교사 4명과 예비 생명과학교사 2명을 대상으로 남, 여 3명씩 두 개의 소집단으로 구성하여 논변활동을 진행하였다. 프로그램이 진행되는 동안 녹음을 통한 담화와 논변글쓰기의 자료를 수집하여 분석하였다. 논변글쓰기는 '설명의 충분성', '설명의 개념적 수준', '증거의 수준', '정당화의 적절성'의 4가지 범주를 기준으로 논변의 질 수준을 분석하여 사전 사후에 진화개념의 변화 정도를 확인하였고, 담화분석을 통해 진화주요개념에 대한 논변활동 특성을 분석하였다. 논변글쓰기와 담화를 분석한 결과 개발된 논변활동 모형과 프로그램은 생명과학교사들의 진화개념 이해 향상에 효과적이었다. 이 연구는 논변활동을 통한 교수학습 전략이 생명과학교사교육을 위한 효과적인 진화개념학습 전략이 될 수 있음을 보여주었다.

**주제어:** 논변활동, 생물진화, 진화교육, 생명과학교사, 교사교육 프로그램

## References

- AAAS(American Association for the Advancement of Science). (1993). Benchmarks for science literacy: A Project 2061 report. New York: Oxford University Press.
- AAAS(American Association for the Advancement of Science). (2001). Atlas of science literacy. Washington, DC: AAAS/National Science Teachers Association.
- Alters, B. J., & Alters, S. M. (2001). *Defending evolution: A guide to the creation/evolution controversy*. Sudbury, MA: Jones and Bartlett.
- Alters, B. J., & Nelson, C. E. (2002). Perspective: Teaching evolution in higher education. *Evolution*, 56(10), 1891-1901.
- 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.
- Andersson, B., & Wallin, A. (2006). On Developing content-oriented theories taking biological evolution as an example. *International Journal of Science Education*, 28(6), 673-695.
- Asterhan, C. S., & Schwarz, B. B. (2007). The effects of monological and dialogical argumentation on concept learning in evolutionary theory. *Journal of Educational Psychology*, 99(3), 626-639.
- Barron, B. (2000). Problem solving in video-based microworlds: Collaboration and individual outcomes of high achieving sixth grade students. *Journal of Educational Psychology*, 92(2), 391-398.
- Bell, P., & Linn, M. (2000). Scientific arguments as learning artifacts: Designing for learning from the web with KIE. *International Journal of Science Education*, 22(8), 797-817.
- Bennett, J., Hogarth, S., Lubben, F., Campbell, B., & Robinson, A. (2010). Talking science: The research evidence on the use of small group discussions in science teaching. *International Journal of Science Education*, 32(1), 69-95.
- Berland, L. K., & McNeill, K. L. (2010). A Learning progression for scientific argumentation: Understanding student work and designing supportive instructional contexts. *Science Education*, 94(5), 765-793.
- Brumby, M. N. (1981). The use of problem-solving in meaningful learning in biology. *Research in Science Education*, 11(1), 103-110.
- Bybee, R. W., & DeBoer, G. E. (1994). Research on goals for the science curriculum. In D. L. Gabel (Ed.), *Handbook of research on science teaching and learning (Volume II)*, (pp. 357-387). New York, NY: MacMillan.
- Catley, K. M. (2006). Darwin's missing link—a novel paradigm for evolution education. *Science Education*, 90(5), 767-783.

- Chi, M. T. H., Kristensen, K., & Roscoe, R. (2012). Misunderstanding emergent causal mechanisms in natural selection. In K. S. Rosengren, E. M. Evans, S. Brem, & G. M. Sinatra, (Eds.), *Evolution challenges: Integrating research and practice in teaching and learning about evolution*(pp. 145-173). New York: Oxford University Press.
- Chung, W., & Cha, H. (1994). High school students' misconceptions on genetics and evolution. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 14(2), 170-183.
- Cohen, E. G. (1994). Restructuring the classroom: conditions for productive small groups. *Review of Educational Research*, 64(1), 1-35.
- Dobzhansky, T. (1973). Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. *The American Biology Teacher*, 35(3), 125-129.
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287-313.
- Duschl, R. A., & Osborne, J. (2002). Supporting and promoting argumentation discourse in science education. *Studies in Science Education*, 38(1), 39-72.
- Duschl, R. (2007). Quality argumentation and epistemic criteria. In S. Erduran, & M. Jimenez-Aleixandre, (Eds.), *Argumentation in science education: Perspectives from classroom-based research*(pp.159-175). Dordrecht, The Netherlands: Springer Academic Publishers.
- Erduran, S., Simon, S., & Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's argument pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88(6), 915-933.
- Ferrari, M., & Chi, M. T. H. (1998) The nature of naive explanations of natural selection, *International Journal of Science Education*, 20(10), 1231-1256.
- Ha, M., & Cha, H. (2007). A Qualitative cross-sectional study on explanation about evolution mechanism. *The Korean Journal of Biology Education*. 35(1), 106-116.
- Heddy, B. C., & Sinatra, G. M. (2013). Transformative experience to promote positive affect and conceptual change in students learning about biological evolution. *Science Education*, 97(5), 723-744.
- Hogan, K., & Nastasi, B. K., & Pressley, M. (1999). Discourse patterns and collaborative scientific reasoning in peer and teacher-guided discussions. *Cognition and Instruction*, 17(4), 379-432.
- Hogan, K., & Maglienti, M. (2001). Comparing the epistemological underpinnings of students' and scientists' reasoning about conclusions. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), 663-687.
- Jimenez-Aleixandre, M., Rodriguez, M., & Duschl, R. A. (2000). "Doing the lesson" or "doing science": Argument in high school genetics. *Science Education*, 84(6), 757-792.
- Jo, J. (2014). Pre-service biology teachers' perspectives about biological meanings of competition and adaptation. Master's Thesis. Graduate School of Korea National University of Education.
- Jung, J., & Kim, H. B. (2010). Influence of ACESE on high school students' argumentative structure and evolutionary conception. *Biology Education*. 38(1), 168-183.
- Kang, N., & Lee, E. (2013). Argument and argumentation: A Review of literature for clarification of translated words. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*. 33(6), 1119-1138.
- Kim, H., & Song, J. (2004). The Exploration of open scientific inquiry model emphasizing students' argumentation. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*. 24(6), 1216-1234.
- Kim, J., & Cha, H. (2014). Association Analysis of Variables Affected for Macroevolution Conceptions of In-service and Pre-service Biology Teachers. *Biology Education*. 42(4), 428-438.
- Kuhn, D., & Udell, W. (2003). The development of argument skills. *Child Development*, 74(5), 1245-1260.
- Kwon, M. (2013). Development and application of immunity concept instruction program utilizing student generated role-playing analogy: Focused on 'defense action' chapter in life science. Graduate School Of Korea National Education.
- Kwon, J., Kim, B., Kang, N., Choi, B., Kim, H., Paik, S., Yang, I., Kwon, Y., Cha, H., Woo, J., & Chung, J. (2012). *Theories in science education*. Seoul: Kyoyookbook Publication Co.
- Lawson, A. (2003). The nature and development of hypothetico-predictive argumentation with implications for science teaching. *International Journal of Science Education*, 25(11), 1387-1408.
- Lee, H., Cho, H., & Sohn, J. (2009). The Teachers' view on using argumentation in school science. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*. 29(6), 666-679.
- Linn, M. C., & Eylon, B. S. (2006). Science education: Integrating views of learning and instruction. In P. Alexander, & P. H. Winne (Eds.), *Handbook of educational psychology*(pp. 511-544). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- McNeill, K. L., Lizotte, D. J., Krajcik, J., & Marx, R. W. (2006). Supporting students' construction of scientific explanations by fading scaffolds in instructional materials. *Journal of the Learning Sciences*, 15(2), 153-191.
- Min, B. (2000). Argument structure analysis of newspaper editorials. *Korean Language and Literature*, 127, 133-154.
- MOEST(Ministry of Education, Science and Technology) (2011). 2009 Revised Science Curriculum, Seoul Republic of Korea: Ministry of Education, Science and Technology.
- Nadelson, L. S., & Southerland, S. A. (2009) Development and preliminary evaluation of the measure of understanding of macroevolution: introducing the MUM, *The Journal of Experimental Education*, 78(2), 151-190.
- NRC(National Research Council) (1996). *National science education standards*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- NRC(National Research Council) (2011). *A framework for K-12 science education; Practice, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington D. C.: National Academy Press.
- NRC(National Research Council) (2013). *Next generation science standards*. Washington, D.C.: National Academy Press.
- 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.
- Nelson, C. E. (2008). Teaching evolution(and all of biology) more effectively: Strategies for engagement, critical reasoning, and confronting misconceptions. *Integrative and Comparative Biology*, 48(2), 213-225.
- Ohlsson, S., & Bee, N. V. (1992). The effect of expository text on students' explanations of biological evolution. OERI Report. University of Pittsburgh: Learning Research and Development Center.
- Opfer, J. E., Nehm, R. H., & Ha, M. (2012). Cognitive foundations for science assessment design: Knowing what students know about evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(6), 744-777.
- Osborne, J., Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in science classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994-1020.
- Park, J. (2013). Comparative study on the content elements and explanation way of evolution presented in science textbooks of Korea and the US. *Biology Education*. 41(3), 406-420.
- Park, J., Lee, M., & Lee, K. (2003). The effects of activity-centered instruction on understanding of natural selection concept. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*. 23(5), 505-516.
- Park, J. (2007). An Investigation into the relationship among cognitive presence, self-Efficacy, participation, satisfaction, and achievement in an e-Learning environment. Department of Educational Technology The Graduate School of Ewha Womans University.
- Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Jackson, R. B. (2011). *Campbell Biology*, 9th Eds. Pearson Education, Inc.
- Sadler, T. (2004). Informal reasoning regarding socioscientific issues: a critical review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(5), 513-536.
- Sampson, V. & Clark, D. (2008). The Impact of collaboration on the outcomes of scientific argumentation. *Science Education*, 93(3), 448-484.
- Sampson, V., & Clark, D. (2009). A Comparison of the collaborative scientific



- argumentation practices of two high and two low performing groups. *Research in Science Education*, 41(1), 63-97.
- Sampson, V., Grooms, J., & Walker, J. (2010). Argument-driven inquiry as a way to help students learn how to participate in scientific argumentation and craft written arguments: An exploratory study. *Science Education*, 95(2), 217-257.
- Sandoval, W. A., & Millwood, K. (2005). The quality of students' use of evidence in written scientific explanations. *Cognition and Instruction*, 23(1), 23-55.
- Shin, J., & Choi, A. (2014). Trends in research studies on scientific argument and writing in Korea. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*. 34(2), 107-122.
- Shtulman, A. (2006). Qualitative differences between naive and scientific theories of evolution. *Cognitive Psychology*, 52(2), 170-194.
- Smith, M. U. (2010). Current status of research in teaching and learning evolution: II. Pedagogical Issues. *Science & Education*, 19(6-8), 539-571.
- Tavares, M. L., Jiménez-Aleixandre, M. P., & Mortimer, E. F. (2010). Articulation of conceptual knowledge and argumentation practices by high school students in evolution problems. *Science & Education*, 19(6-8), 573-598.
- The National Institute of The Korean Language (2014). The Korean Standard Dictionary. Cited in Dec. 3, 2014, [http://stdweb2.korean.go.kr/search/List\\_dic.jsp](http://stdweb2.korean.go.kr/search/List_dic.jsp).
- Toulmin, S. (1958). *The uses of the argument*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vries, E., Lund, K., & Baker, M. (2002). Computer-mediated epistemic dialogue: Explanation and argumentation as vehicles for understanding scientific notions. *The Journal of the Learning Sciences*, 11(1), 63-103.
- Wenglinsky, H. (2000). *How teaching matters: Bringing the classroom back into discussions of teacher quality*. National Assessment of Educational Progress. Policy Information Center.

<부록 1> 개발된 7개의 논변활동을 위한 질문들(도표나 그래프 첨부 자료는 생략함.)

◆ 진화의 주요 개념에 대한 논변활동 질문을 읽고, 질문에 대한 주장과 증거 그리고 증거의 정당화에 대해 써 보세요.

논변 순서	진화주요 개념	논변활동을 위한 질문들
1	변이	한 연구자가 실험실 조건하에서 새로운 종의 berry(베리) 나무를 개발하였다. 연구자의 실험실에 있는 모든 베리 나무들은 서로에게 유전적으로 동일한 클론 개체들이다. 즉, 실험실 베리들의 각각의 형태, 생리적인 특성들이 서로 동일하다는 것을 의미한다. 만약 이 베리 나무들이 연구자의 실험실과는 다른 환경적 조건(예를 들어, 더 적은 물, 더 많은 기생생물, 기후 변화 등)에서 자랐을 때 이 베리 나무의 다음 세대 자손들은 실험실 베리들과 어떤 차이를 보이며, 이런 차이가 진화에 어떤 영향을 주는지 설명해 보자.
2	변이의 유전	참나무에 사는 자나방의 한 종류( <i>Nemoria arizonaria</i> )의 애벌레들은 먹는 먹이에 따라 겹모습이 다르다. 즉, 나방 애벌레의 서로 다른 겹모습은 먹이에 들어 있는 화합물에 따른 것이지 그들의 유전자형에 의한 것은 아니다. 참나무 꽃 위에서 꽃을 먹고 자란 애벌레들은 참나무 꽃을 닮고, 그들의 형제자매 애벌레들이 참나무 잎을 먹는다면 참나무의 가지를 닮는다. 만약 꽃을 먹고 자란 애벌레의 나방이 참나무 잎만 있는 조건에서 살고, 잎을 먹고 자란 애벌레의 나방이 참나무 꽃만 있는 조건에서 산다면 그 다음 세대의 애벌레들은 각각 어떤 모습을 보일지 진화적인 관점에서 설명해 보자.
3	경쟁	일반스파니쥐( <i>Acomys cahirinus</i> )와 황금스파니쥐( <i>Acomys russatus</i> )는 중동 및 아프리카 산악지역에서 서식하며 동일한 서식지와 먹이 자원을 공유한다. 이들이 공존하는 지역에서 일반스파니쥐는 야행성을, 황금스파니쥐는 주간성을 보인다. 그러나 실험실 연구에서 황금스파니쥐는 놀랍게도 원래 야행성이었음을 보여주었다. 또한 이스라엘 과학자는 일반스파니쥐를 제거한 지역에서는 황금스파니쥐가 야행성으로 변하는 것을 확인하였다. 공존하는 지역에서 황금스파니쥐가 주간성인 행동을 보이게 된 이유를 진화적인 관점에서 설명해 보자.
4	자연선택과 적응	무환자나무 벌레의 입 속에는 빈 주사기 같이 기다란 '부리' 입이 있는데, 무환자나무 벌레는 이 부리 입으로 열매 속에 있는 씨앗을 먹고 산다. 무환자나무 벌레는 그들의 부리 입 길이가 열매 속에 있는 씨앗까지의 깊이와 서로 잘 맞을 때 가장 효과적으로 섭식할 수 있다. 남부 플로리다에서 무환자나무 벌레는 이 지역 토착종인 풍선덩굴 식물의 씨앗을 먹고 산다. 그러나, 풍선 덩굴이 드문 중부 플로리다 지역에 사는 무환자나무 벌레는 35년 전 아시아에서 도입된 모감주나무 씨앗을 먹고 산다. 모감주나무 열매의 씨앗은 풍선덩굴에 비해 표피에 훨씬 더 가깝다. 모감주나무 열매 씨앗을 먹는 무환자나무 벌레의 부리 길이를 측정해 보니 풍선덩굴 씨앗을 먹는 벌레들 보다 더 짧았다. 중부 플로리다에 새로 모감주나무가 도입된 후 무환자나무 벌레의 부리가 짧아진 이유를 그래프를 참고하여 진화적인 관점에서 설명해 보자.
5	차등적 생식력	신경계의 퇴화를 초래하는 헌팅턴병은 뇌 손상이 악화되는 병으로, 오랜 기간에 걸쳐 진행되면 과다근육긴장 상태가 증가하다가 심한 경직상태에 이르게 되어 결국 죽게 된다. 다음은 헌팅턴병의 특징들이다. <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 5px 0;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 미국에서 이 유전병은 약 10,000명당 한 명 태어난다.</li> <li>• 환자의 부모들을 조사하였더니 적어도 부모 중 어느 한 쪽은 이 유전질환자였다.</li> <li>• 헌팅턴병 대립유전자를 갖는 부모로부터 태어난 아이는 그 대립유전자와 그 병을 물려 받을 확률이 50%이며, 남녀에 따른 차이는 없다.</li> <li>• 주로 35~45세가 될 때까지는 증세가 없으며, 증세가 나타난 후 사망에 이르기까지 15~20년 정도가 소요된다.</li> <li>• 헌팅턴병의 3대 증상: 무도증(불수의 운동이 신체의 여러 부분에서 불규칙한 방향으로 나타남), 정신증상 및 치매</li> <li>• 현재 헌팅턴 병에 대한 근본적인 치료법은 없다.</li> </ul> </div> 이처럼 발병하면 치명적인 질환임에도 불구하고 헌팅턴병은 인간 개체군에서 계속해서 출현하고 있다. 한편 과거 반세기 동안 사람들은 그들의 부모 세대나 조부모 세대에 비해 결혼하여 가족을 이루는 나이가 점점 늦어지는 경향을 보이고 있다. 이러한 경향이 헌팅턴병 출현에 어떠한 영향을 미칠지 진화적인 관점을 고려하여 설명해 보자.
6	개체군 내 개체 분포의 변화	초파리의 Forager(for)라고 불리는 유전자 변이는 초파리 유충의 먹이찾기 행동을 결정한다. 초파리 유충이 먹이를 먹을 때, 배회자(Rover)라고 불리는 대립유전자 $for^R$ 를 가진 초파리의 유충은 착석자(Sitter)라고 불리는 대립유전자 $for^S$ 를 가진 초파리 유충보다 평균적으로 거의 두 배 더 많이 움직인다. 또한 신호전달경로에 관여하는 forager 유전자에 의해 암호화된 효소는 $for^R$ 을 가진 유충에서 $for^S$ 을 가진 유충보다 더 활동적임을 실험을 통해 확인하였다. 초파리를 각각 낮은 개체군 밀도와 높은 개체군 밀도를 유지하여 각 세대마다 먹이의 양이 일정한 공간에서 74세대 동안 살게 하였더니 밀도가 낮은 개체군에서는 $for^S$ 대립유전자의 빈도가 증가한데 반해, 밀도가 높은 개체군에서는 $for^R$ 대립유전자의 빈도가 증가하였다. 그래프를 참고하여 개체군 밀도가 각각 다른 환경에서 자란 초파리 개체군의 변화를 진화적인 관점에서 설명해 보자.
7	대진화	계통도를 통해 현생 고래와 하마는 유연관계가 가까움을 알 수 있으며, 이 두 종의 공통조상은 육상동물이었다. 5000만년~6000만년 전의 초기 고래류인 화석종 파키세투스스 전형적인 육상동물로서의 두개골과 치아, 뼈들을 가지고 있지만 발견된 장소가 물가였으며, 고래의 특징적인 달팽이관을 가지고 포유류의 발과 같은 지느러미가 있어 고래의 조상으로 분류된다. 또 다른 화석종인 암블로세투스스에서 도루돈을 보면 짐차 다리는 짧아졌고, 팔과 발은 노처럼 더 커졌으며 꼬리가 길어지는 등의 형질 변화를 보이고 있다. 특히 현재 고래에서는 뒷다리뼈는 흔적기관으로만 남아 있다. 또한 고래들이 이동하는 모습을 보면 물고기처럼 꼬리지느러미를 좌우로 움직이지 않고 상하로 움직이는 것을 볼 수 있다. 개들이 달릴 때 앞으로 나아가기 위해 그들의 척추가 위아래로 물결치는 것과 같은 방식으로 고래는 이동하는 것이다. 이를 참고하여 육상동물이었던 고래의 공통조상이 수중환경에 적응하면서 현생 고래가 나타나게 된 진화과정을 설명해 보자.