



생물학적 경쟁과 적응에 대한 예비 생물 교사의 인식

조지선¹, 차희영^{2*}, 양필승²

¹청주성화중학교, ²한국교원대학교

Pre-service Biology Teachers' Perspectives about Biological Competition and Adaptation

Jiseon Jo¹, Heeyoung Cha^{2*}, Pilseung Yang²

¹Cheongju Sunghwa Middle School, ²Korea National University of Education

ARTICLE INFO

Article history:

Received 23 September 2016

Received in revised form

27 October 2016

Accepted 27 October 2016

Keywords:

biology teacher education,
evolution, competition,
adaptation, natural selection

ABSTRACT

The purpose of this study is to find out whether pre-service biology teachers' biological meanings of competition and adaptation is the same as everyday meanings to understand natural selection and evolution. Fifty three pre-service biology teachers answered written tests and thirteen of them were interviewed. The tests on general meanings on competition and adaptation, tests on biological meanings on competition and adaptation and tests on natural selection were administered. Questions on semi-structured interviews were composed of only biological meanings about competition and adaptation. Analyzing data through four steps, pre-service biological teachers' general meanings on competition and adaptation were compared with the definitions of Korean dictionary and compared with biological definitions. Pre-service teachers' alternative conceptions about biological competition and adaptation were classified and the alternative conceptual types were checked when explaining natural selection and evolution. They realized competition is battle for intention or purpose like everyday meaning of competition. However, they didn't realize adaptation happen in the population level. They thought that adaptation, like in everyday life meaning, is getting suitable to environment for survival on an individual level. By relating adaptation to evolution, they thought that long-lasting adaptation become evolution. This study has significance with respect to suggesting the alternative concepts of competition and adaptation based on effective evolution teaching from constructivism viewpoint and highlighting the importance of the concepts of biological competition and adaptation, which have been concerned rarely for a long time.

1. 서론

구성주의자들은 학습 이전에 학습과 관련된 선개념이 학습자의 인지구조 속에 이미 형성되어 있고 학습은 그것을 변화시키거나 더욱 발전시키는 형태로 이루어진다고 주장해 왔다. 따라서 학습이 이루어지기 전에 학습자의 선개념을 파악하는 것은 매우 중요하다(Kim *et al.*, 2012). 선개념은 학습자 개인의 문화적 경험을 통해 형성된 것이므로 과학자들에 의해 밝혀진 과학적 개념과 다를 수 있으며 학습자의 인지구조 내에 매우 그럴듯하게 자리 잡고 있어서 학습자 스스로 잘못된 개념으로 인식하지 못하는 경향이 있다. 학습자의 선개념은 변화에 대해 강한 저항성을 나타낸다. 학습자가 가지고 있는 선개념이 당대 과학자들에 의해서 만들어진 생물학적 개념과 다를 때 과학 교육 연구자들은 오개념 혹은 아이들의 과학, 대안개념, 대안체계라고 하면서 학습자들에게 형성되어 있는 비과학적인 개념을 어떻게 과학개념으로 변화시킬 수 있는가라는 연구 문제에 관심을 가져왔다(Kwon *et al.*, 2012).

진화는 생물학에서 생명체의 유사성과 다양성을 설명하는 통합적 원리를 제공해 왔다(Mayr, 1982; NRC, 2011). 현대 생물학에서 진화론은 가장 중심이 되는 이론이므로(Bishop & Anderson, 1990), 생물

학적 주제에 대한 논쟁뿐만 아니라 생물학 영역과 관련된 사회적 문제 해결을 위해 진화론의 이해는 필수적이다(Futuyma, 2005). 진화를 이해하기 위해서는 유전 가능한 표현형적 변이, 무작위, 종내 변이의 원인과 그 역할, 적응, 제한된 자원에 의한 개체들의 경쟁, 개체들의 차등적 생존률, 개체들의 차등적 번식률, 개체군 안에서 유전 가능한 특정 형질을 가진 개체들의 분포 변화, 생물지리적 분포, 종분화와 대진화, 멸종 등과 같은 주요 개념들에 대한 이해가 수반되어야 한다(Smith, 2010). 그 중에서도 '경쟁'은 자연선택 기작을 이해하기 위한 핵심 개념이며, '적응'은 진화론 전반을 이해하기 위한 핵심적인 개념이므로(Choi, 2012), NRC(2012)는 차세대 과학기준(Next Generation Science Standards)을 통해 경쟁과 적응을 과학 학습 내용 중 핵심 개념으로 선정한 바 있다.

경쟁을 생물학적으로 정의하기 위해서는 생명체가 살아가는 환경이 갖는 조건(condition)과 자원(resource)이라는 두 가지 속성을 염두에 두어야 한다. 조건은 온도와 습도, 삼투압이나 pH와 같이 생물이 살아가는 환경의 물리화학적 특징이다. 조건은 연주기, 일주기처럼 반복적으로 되풀이되기도 하지만 시시때때로 변하기도 한다. 그러나 조건은 생물에 의해 소비되지 않으며 고갈되지도 않는다. 반면에 자원은 생물이 성장하고 유지하면서 소비된다. 한번 소비된 자원은 다

* 교신저자: 차희영 (hycha@knu.ac.kr)

** 본 논문은 조지선의 2014년도 석사학위논문 데이터 활용하여 재구성하였음.

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2016.36.5.0801>

시 이용될 수 없다. 그러므로 자원은 생존, 성장 그리고 생식을 위해 필수불가결하며 본질적으로 생명체 간 경쟁의 근원이 된다(Townsend *et al.*, 2002).

생명체는 어떤 환경 조건과 자원에 따라 삶과 죽음이 결정되므로 이 둘을 구별하는 것은 중요하다. 자원이 풍부하여 개체들의 생존과 성장, 번식을 방해하지 않으면 경쟁은 일어나지 않는다. 필요에 비해 공급이 부족한 공통 자원을 이용할 때라야 개체들 사이에서 경쟁이 일어난다(Smith & Smith, 2009). 동물의 경우에는 보통 먹이가 경쟁의 대상이 된다. 숲을 이루는 식물의 경우에는 빛이 경쟁의 대상이 될 수도 있다. 저서생물에서 볼 수 있듯이 바닥에 붙어사는 생물의 경우에는 공간이 문제가 된다. 물리적 요인이든 생물적 요인이든 생명체에 필수적이나 한정된 자원이라면 그것이 무엇이든지 경쟁의 대상이 된다(Mayr, 1997).

많은 경우에 경쟁하는 개체들은 직접 상호작용하지 않는다. 오히려 이용할 수 있는 자원을 서로 빼앗는다. 예를 들어, 아프리카 사바나에서 섭식하는 얼룩말 같은 대형 초식동물은 직접 상호작용하지 않고 각자 섭식행동을 함으로써 먹이로 사용할 풀의 양을 감소시켜 서로에게 영향을 미친다. 이와 같이 자원을 선점해서 다른 개체가 이용할 자원을 빼앗는 경쟁을 착취(*exploitation*)라고 한다. 반면에 다른 개체들이 어떤 서식지를 차지하지 못하게 하거나 서식지 내의 자원에 접근하지 못하도록 하는 경우도 있다. 예를 들어, 대부분의 조류들은 번식기에 자신의 둥지 주변지역을 적극적으로 방어하여 다른 개체들이 그 장소와 그곳의 자원에 접근하지 못하도록 한다. 이렇게 개체들이 상호작용하여 다른 개체의 행동을 직·간접적으로 방해하는 경쟁을 간섭(*interference*)이라고 한다(Smith & Smith, 2009).

경쟁에 참여한 개체들은 유전적으로 서로 다르므로 종내 경쟁은 자연선택의 주요한 기제가 되며 진화생물학의 핵심 주제이다. 반면 상이한 종에 속하는 개체들 간의 경쟁 즉, 종간 경쟁은 생태학의 주요 관심사다(Mayr, 1997). 종간 경쟁은 개체군의 크기를 조절하는 요인 가운데 하나이고, 극단적인 경우에는 경쟁하던 다른 생물 종의 멸종을 불러일으킨다. 그러나 많은 생물종들은 한 가지 자원에만 전적으로 의존하지 않으므로, 주 자원이 고갈 조짐을 보이면, 그것의 대안 자원 쪽으로 옮겨가서 산다. 또한 어떤 자원에 대해 서로 다른 종들이 경쟁 관계에 놓이면, 경쟁을 피할 다른 자원을 찾는다. 통상적으로 경쟁은 환경에 대해 유사한 요구를 가진 근친관계 내에서 가장 극심하게 나타난다(Mayr, 1997). 종간 경쟁도 진화에서 중요한 의미를 갖는다. 종간 경쟁은 방향성 선택압으로 작용하며, 그 결과 같은 지역에 사는 종간에 형태적인 차이가 벌어지는 현상이 초래된다. 자원을 분배함으로써 종들은 다른 종들과의 직접적인 경쟁을 감소시킨다(Mayr, 1997; Smith & Smith, 2009). 다윈은 경쟁이 자원 사용의 분화에 대한 선택을 부과한다고 가정했으며, 이것을 종의 기원과 종분화의 주된 원인으로 여겼다. 경쟁에 반응한 진화가 적응 방산의 주요 원인들 중 하나라는 많은 증거가 있으므로(Futuyma, 2005) 이 연구에서는 특히 종내 경쟁과 자연선택에 초점을 맞추고자 한다.

진화 생물학에서 말하는 적응은 우리가 일상생활에서 흔히 말하는 적응, 즉 한 개체가 새로운 환경에서 서서히 익숙해지는 과정과는 다르다(Choi, 2012). 생물철학에서는 적응의 정의를 과정으로서의 의미와 그 과정의 결과물인 형질로서의 의미로 구별한다. 형질로서의 적응은 형질이 성립해 온 인과적 역사를 고려하느냐 그렇지 않느냐에 따라

‘역사적 정의’와 ‘비역사적 정의’로 나뉜다. 역사적 정의를 주장하는 생물철학자들은 어떤 형질이 적응인지 아닌지 판별하기 위해서는 역사적 과정의 분석이 필요하다고 한다. 어떤 형질이 현재 그것을 지닌 개체군에 유용성을 주는지 여부는 상관이 없다. 하나의 형질이 수행성이 있고 그 기능이 자연 선택되어 개체군 내 널리 퍼져 있다면 그 형질은 적응이라 할 수 있다(Kampourakis, 2013; van Dijk & Reydon, 2010). 역사적 정의에 따르면 생명체의 모든 형질이 다 적응은 아니다. 생명체의 적응과 무관한 형질들에 대해서 여러 가지 다른 설명이 가능하다. 예를 들어, 첫째, 헤모글로빈은 왜 피가 붉은 색인지에 대한 원인인데, 이 붉은 색은 적응이라고 생각할 수 없다. 붉은 색은 헤모글로빈의 구조에 의한 물리, 화학적 부산물일 뿐이기 때문이다. 둘째, 형질은 자연선택보다 유전적 부동에 의해 진화했을 수 있다. 셋째, 형질이 개체군의 적응도를 높여주기 때문이 아니라 적응도를 높여주는 다른 형질과 상관되어 있기 때문에 진화했을 수도 있다. 이러한 유전적 편승은 상관의 한 원인인데, 또 다른 예로 다면발현현상(*pleiotropy*)이 있다. 넷째, 형질은 계통적 역사의 결과일 수 있다. 다윈이 “어린 포유류의 두개골에 있는 봉합선이 분만을 돕는 것에 대해 의심의 여지가 없으며, 분만을 위해서 필수적일 것이다. 그러나 봉합선은 어린 새나 파충류의 두개골에서도 나타나며, 조류나 파충류는 단지 알을 깨고 나오기만 한다. 그렇다면 봉합선은 생장의 법칙에 의해 만들어진 것이며, 고등동물들은 분만 시에 이 봉합선을 이용해 왔을 뿐이다.”라고 했듯이, 어떤 형질은 서로 다른 계통의 공통조상으로부터 단순히 유전되어 온 형질일 수 있다(Futuyma, 2005). 이렇듯 형질이 단지 유용하다고 해서 적응으로 간주될 수 없다.

역사적 과정의 중요성에도 불구하고 과거를 알기 어렵다는 현실적인 문제가 있어 어떤 학자들은 비역사적 정의를 선호하기도 한다(van Dijk & Reydon, 2010). 비역사적 정의에서는 형질의 현재 기여를 강조할 뿐, 그것의 역사를 강조하지 않는다. 어떤 형질이 그렇게 되기 위해 즉, 목적을 위해 진화되어 온 것은 아니다. 다른 형질에 비해 현재 자연 선택 결과 선호되는 형질이라면 그것이 적응으로 간주된다. 비역사적 정의에서 중요한 점은 선택적 역사가 아니라 현재의 이점이다(Kampourakis, 2013; van Dijk & Reydon, 2010).

한편 적응 개념의 재정식화를 위해 *adaptation*이라는 용어를 제시하였다. *adaptation*은 적응과 굴절적응(*exaptation*)을 하위 항목으로 한다. 적응은 어떤 기능을 가진 형질에 대해 과거에 자연선택이 이루어졌고 현재에도 같은 기능을 하는 형질을 말한다. 굴절적응은 과거에 자연선택에 의해 진화된 형질이 새로운 기능을 갖는 것 혹은 자연선택의 직접적인 작용을 받지 않은 형질이 현재의 기능을 갖는 것이다. 새의 깃털은 체온 유지 때문에 자연 선택되었는데 현재는 체온 유지뿐만 아니라 비행에도 유용하다. 새의 깃털과 태아의 두개골 봉합선은 굴절적응의 예이다(Futuyma, 2005; Smith, 2010; van Dijk & Reydon, 2010).

과정으로서의 적응은 적응이라고 불리는 형질이 성립해 온 과정, 진화적 변화, 진화적 수정, 진화적 과정으로 정의된다. 비역사적 관점에서는 적응이 자연선택뿐만 아니라 단순히 우연에 의해 일어날 수도 있는 것으로 생각한다. 반면에 역사적 관점의 경우에는 자연 선택 과정이 곧 적응의 과정이다. 왜냐하면 자연선택은 적응을 가져오는 유일한 과정이기 때문이다. 개체군 내 유전자형 분포의 변동을 가져오는 과정으로는 자연선택, 돌연변이, 이주 및 유전자 부동이 있다.

따라서 네 과정 모두가 진화의 요인으로 작용한다. 그러나 자연선택을 제외한 다른 세 과정(돌연변이, 이주, 유전자부동)은 적응의 진행을 가속하거나 감속시킬 수 있다(Smith & Smith, 2009; Strickberger, 2000; van Dijk & Reydon, 2010). 본 연구에서 적응의 정의는 형질로서의 의미와 역사적 관점을 모두 따를 것이다.

통상 경쟁과 적응은 일상적으로 목적, 고군 분투, 의도를 내포하므로, 사람들로 하여금 개체군이 아닌 한 개체가 환경에 대해 적응하는 개념을 갖게 한다(Moore *et al.*, 2002). 이렇듯 일상생활로부터 얻은 보편 지식이 과학적 지식과 혼합될 때 오개념이 형성되는 경우가 종종 있으므로, 일상적 지식과 과학적 지식에 대한 차이를 비교하여 연구할 필요가 있다(Cummins *et al.*, 1994). 일상생활에서 흔히 사용하는 용어인 경쟁과 적응은 ‘의도’ 또는 ‘목적’의 의미를 포함하고 있지만, 진화생물학에서 사용하는 용어는 그와 다르다. 경쟁과 적응은 엄밀한 생물학적 의미를 가지고 있는 개념이므로 과학교사들이 생물 수업에서 이 개념들을 잘못 사용하면 오개념이 생길 수 있다(Smith, 2010; Moore *et al.*, 2002). 학생들은 다양한 생물학적 개념들 가운데 진화를 가장 어려운 개념 중 하나로 인식하고 있다(Lee *et al.*, 2007). 게다가 경쟁과 적응은 생물학적 지식이기도 하지만, 일상생활 중에도 사용하는 언어이기도 하다. 이런 유연성은 학생들이 경쟁과 적응의 생물학적인 의미를 잘못 이해할 가능성을 불러일으킬 수 있다(Moore *et al.*, 2002; Smith, 2010).

Bizzo(1994)는 고등학생들이 경쟁을 직접적인 폭력으로 생각하며 때로는 불가피한 현상으로 생각하고 있다고 하였다. 경쟁에 대한 대안 개념 연구 결과를 보면, 먼저 학생들은 일반적인 경쟁의 의미와 생물학적 경쟁의 의미를 혼동하여 생물학적 경쟁을 일상적인 경쟁과 같은 의미로 생각하게 될 것이라고 하는 추정(Bizzo, 1994; Moore *et al.*, 2002; Reece *et al.*, 2011; Smith, 2010)만 있을 뿐, 진화 현상을 설명하는 핵심 개념인 생물학적 경쟁에 관한 체계적인 연구 결과는 없다. 적응에 대한 학생들의 대안개념도 단독으로 연구되기보다 자연선택과 진화에 대한 오개념 연구 중에 부수적으로 밝혀졌다. 연구에서 나타난 적응에 대한 대안개념들로는 ‘적응은 개체들이 스스로의 노력에 의해 자신의 형질을 변경시키는 과정이다.’, ‘유기체는 주어진 환경에 완벽히 적응했다.’, ‘적응과 자연선택, 진화를 동일시한다.’, ‘적응을 목적론적으로 설명한다.’, ‘적응을 목표지향적으로 설명한다.’, ‘적응을 용불용설로 설명한다.’(Lee *et al.*, 2007; Opfer *et al.*, 2012; Smith, 2010; van Dijk & Reydon, 2010)는 것들이다.

이와 같이 자연선택과 진화에 대한 오개념 연구가 국내·외에서 많이 연구되는 가운데, 적응 개념을 단독 주제로 한 생물학적 오개념 연구는 많지 않다. 특히 생물 진화를 설명하는 핵심 개념으로서 경쟁에 대한 대안 개념 연구는 찾아 볼 수 없었다. 따라서 이 연구는 진화

생물학에서 차지하는 개념적 중요성에 비해 그동안 교육학적으로 연구가 미진했던 경쟁과 적응에 대하여 예비 생물 교사들이 어떤 개념을 가지고 있는지 질적으로 조사를 하여 생물 교사들을 위한 진화교육 프로그램을 개발하거나 진화 교육을 위한 교재를 개발할 때 활용할 수 있는 기초 자료를 제공하고자 한다. 특히, 예비 생물교사들이 경쟁, 적응과 자연선택 및 진화와의 관계를 어떻게 인식하는 지도 심층면담을 통해 알아보하고자 한다.

II. 연구 방법

1. 검사 도구

예비 생물교사들의 경쟁과 적응에 대한 인식을 조사하기 위해 경쟁과 적응에 관한 지필검사로 일반 용어 검사지와 생물학 용어 검사지 그리고 반구조화된 면담을 위한 문항 등을 연구자가 직접 개발했다. 지필검사 문항들은 생물교육전문가 1인과 생물교육전공 박사과정 1인, 생물교육전공 석사과정 2인이 참여한 정기적인 세미나를 통해 반복적으로 검토하고 수정하는 과정을 거쳐 완성했다. 면담 대상자 선발을 위해 사용한 검사지는 자연선택 검사지 중 많은 연구자들 사이에서 신뢰를 받아 오고 있다고 보고 되어 온(Furtak, 2012; Smith, 2010) Anderson *et al.*,(2002)이 개발한 자연선택개념 검사지(CINS;Conceptual Inventory of Natural Selection)를 사용했다. CINS는 자연선택 개념 이해 정도를 평가하는 시나리오 형식의 20개 선택형 문항으로 구성되어 있는데, 문항 당 1점씩 20점 만점으로 채점한다.

가. 경쟁과 적응에 대한 일반 용어 검사지 개발

경쟁과 적응에 대한 일반 용어 검사지는 연구 목적에 맞는 일반적인 질문들로 먼저 초안을 구성한 후, 교육대학원 상담심리전공 석사과정 23명을 대상으로 1차 예비 조사를 거쳤다. 초안 검사문항은 총 6문항으로 Table 1과 같았다. 1차 예비 투입 결과, 경쟁과 적응을 연결 짓는 문항(5번 문항)과 경쟁, 적응, 진화를 연결짓는 문항(6번 문항)의 경우 일상생활의 예 뿐만 아니라 생물학적 예를 드는 경우가 많았다. 생물학적 예를 드는 경우에는 경쟁과 적응의 일반적 의미를 생물학적 의미와 동일하게 생각하고 있다고 판단할 수 있었으나, 이는 일반적인 의미만을 알아보하고자 하는 일반 용어 검사지의 목적에 부합하지 않은 것을 알았다. 생물학적으로는 경쟁과 적응, 진화 사이에 인과 관계가 있지만, 일상적인 의미에서는 그렇지 않으므로 부적절한 문항으로 최종 판단하여 본 투입에 사용한 검사지는 5번, 6번 문항을 제외한 1-4번 문항만 사용하였다.

Table 1. First draft for developing instrument to investigate conception about competition and adaptation in everyday life

Questions
1. “경쟁(competition)”이란 무엇인지 한 문장으로 정의해 보세요.
2. “경쟁”이 일어나는 상황의 예를 하나만 들어보세요.
3. “적응(adaptation)”이란 무엇인지 한 문장으로 정의해 보세요.
4. “적응”이 일어나는 상황의 예를 하나만 들어보세요.
5. “경쟁”과 “적응”이라는 용어를 포함시켜서 어떤 구체적인 상황을 한 문장으로 표현해 보세요.
6. “경쟁”과 “적응” 그리고 “진화”라는 용어를 포함시켜서 어떤 구체적인 상황을 한 문장으로 표현해 보세요.

나. 경쟁과 적응에 대한 생물학적 용어 검사지 개발

경쟁과 적응에 대한 생물학적 용어 검사지는 2차에 걸친 수정 과정을 거쳤다. 초안으로 개발한 문항은 자연선택에 관한 주관식 서술형 지필검사 문항인 Nehm & Reilly(2007)가 개발했던 ORI(Open-Response Instrument essay questions)를 기초로 하였고, Bloom의 인지적 영역 6단계에 맞춰 경쟁과 적응 개념을 각각 묻는 12개 문항으로 개발했다.

질문에는 기존에 경쟁과 적응에 관한 오개념 연구 결과들을 반영하였다. 경쟁이 개체들 간의 직접적인 경쟁을 뜻하는 것으로 해석되면 자연선택을 이해하는 데 오해를 가져오게 된다는 선행 연구 결과에 따라 “오랜 세월이 지나면 경쟁에 우월한 한 종만 지구상에 남게 되는가?”라는 문항을 삽입하였다. 만일 연구 대상들이 생물학적 의미의 경쟁을 싸워서 이기는 것으로 이해하고 있다면, 이 문항에 대해 힘이 세고 강한 종이 남게 될 것이라고 답할 것이기 때문이었다. 적응의 가장 대표적인 오개념은 생물이 자기가 사는 환경에 완벽하게 적응했다고 생각하는 것(Bishop & Anderson, 1990; Brumby, 1984)이라는 오개념을 갖고 있는지 확인하기 위해, “지구상의 모든 생명체들은 각자의 환경에 어느 정도로 적응했는가?”라는 질문도 포함시켰다.

검사지 초안은 생물교육전공 석사과정 6명에게 투입하여 문항들이 적절한지 타당도를 검토받았다. 문항의 적절성 의견 수집 결과에 의하면 적용, 분석, 종합 단계에 해당하는 문항은 질문의 주제와 수준에 있어 차이가 나는 것으로 판명이 났다. 그러나 초안의 예비검사 결과 응답자들은 세 가지 질문들을 비슷한 문항으로 인식했다. 또한 경쟁, 자연선택, 적응이란 개념을 명시적으로 구분하여 사용해 응답하는 경우가 거의 없어 분석에 어려움이 있었다. 이는 예비교사들이 경쟁, 자연선택, 적응이란 개념을 구분해서 형성시키고 있지 못했기 때문이다. 그러므로, 이 연구를 위한 검사지에서는 Bloom의 인지적 영역 6단계 중 지식, 이해, 평가 단계에 해당하는 문항들만 남기고 적용, 분석, 종합 단계에 해당하는 문항은 경쟁과 적응을 포괄하여 기술할 수 있게 한 문항으로 제작하였다. 그 결과 최종 검사지는 총 7문항으로 Table 2와 같다. 문항 중에는 Bishop & Anderson(1990)의 자연선택개념 검사 도구에 포함된 사례를 활용하기도 있고, 수정 과정은 Nieswandt & Bellomo(2009)의 검사 문항 개발 과정을 따랐다.

생물학적 현상에 대한 원인은 근인(proximate cause)과 원인(ultimate cause)으로 나누어 볼 수 있다. Mayr(1997)는 ‘어떻게?’ 라는 물음에 대한 답은 근인으로 주로 생리적, 발생적, 해부적인 측면에서의 원인을 말하며, ‘왜?’ 라는 물음에 대한 답은 원인으로 진화적인 이점이나 중요성을 의미한다고 하였다. 따라서 최종 검사지는 진화적

원인을 묻고자 하므로 ‘어떻게?’ 라는 질문보다 ‘왜?’ 라는 질문으로 수정했다. 이렇게 하여 1차 예비 검사지 12문항으로부터 최종 수정된 경쟁과 적응에 대한 생물학적 용어 검사지는 총 7문항이었다. 수정된 검사지는 생물교육전공 석사과정 5명에게 투입하여 문항의 적절성이 긍정적인임을 확인한 후 최종 투입했다.

다. 반구조화 면담 문항 개발

지필검사 예비 투입 결과를 통해 경쟁과 적응은 추상적인 개념이므로 지필검사만으로 예비 생물 교사의 인식을 충분히 이끌어내기 힘들다는 결론을 얻었다. 이에 따라 반구조화 면담을 위한 면담 문항을 개발하였다. 면담 문항은 경쟁과 적응의 일반적 의미가 아니라 생물학적 의미를 알아보는 데 초점을 두었다. 생물학 용어 검사지 예비 조사에서 ‘순응’과 ‘적응’을 혼동한 경우가 있어 면담 문항에 순응과 적응을 구별하는 질문도 추가했다. 면담 문항은 생물교육전문가 1인과 생물교육전공 박사과정 1인, 생물교육전공 석사과정 2인과의 수차례에 걸친 검토를 통해 수정했다.

2. 연구 대상

두 가지 지필 검사지는 충북 소재 C대학교 76명의 예비 생물교사들에게 배부하여 61명의 응답을 받았다. 중간에 답을 하지 않은 8명의 검사지를 제외한 53명의 검사지를 최종 분석 대상으로 하였다. 이들은 진화학을 수강한 적이 없었고, 4학년 학생들은 생태학을 수강한 상태였다. 이들의 CINS 검사 신뢰도는 Chronbach α 값으로 0.749였는데, 신뢰로운 수준이었다. CINS의 전체 평균 점수는 20점 만점에 14.5점이었고, 학년이 높아질수록 평균 점수가 증가하는 경향을 나타냈다. 면담 대상자는 CINS 점수가 고르게 분포되도록 했을 뿐만 아니라, 검사 결과 다양한 응답 유형을 나타낸 대상을 목적표집했다. 1-3학년 20명에게 요청했고, 검사 결과 평균 점수(14.5점) 이하 6명, 평균 점수 이상 7명으로 총 13명이 동의를 했는데, 그들을 연구대상으로 하였다.

3. 자료분석

검사결과 분석을 위해 경쟁과 적응에 관한 일반 용어 검사지 분석을 위한 일반적 의미 분석틀과 생물학 용어 검사지 분석을 위한 생물학적 의미 분석틀 그리고 면담 내용 분석틀을 각각 개발하였다. 면담은 30분에서 1시간 정도가 소요되었다. 면담 대상자들의 면담 내용은

Table 2. Instrument to investigate biological conceptions of competition and adaptation

Questions
1. 생물학적 의미의 경쟁(competition)이란 무엇인지, 한 문장으로 답하세요.
2. 생물학적 의미의 경쟁의 예를 들어보세요.
3. 생물학적 의미의 적응(Biological adaptation)이란 무엇인지, 한 문장으로 답하세요.
4. “적응”이 일어나는 상황의 예를 하나만 들어보세요.
5. 치타는 먹이를 잡을 때 시속100km 이상 빠르게 달릴 수 있습니다. 치타의 조상은 시속 30km로 달렸다면, 치타의 달리기 속력은 왜 빨라졌을까요? 경쟁, 적응(Biological adaptation), 자연선택 개념을 포함시켜서 설명해 보세요.
6. 생물들은 각자 자기가 사는 환경에 완벽하게 적응했을까요? O, X로 표시하고 왜 그렇게 생각하는지 설명해 보세요.
7. 지구상의 모든 생명체들은 끊임없는 경쟁 상황에 놓여있습니다. 오랜 세월이 지나면 경쟁에 우월한 한 종만이 지구에 남아있게 될까요? 왜 그렇게 생각하는지 설명해 보세요.

Table 3. Frameworks to analyze general meanings of competition and adaptation

구분	분류 항목	국어 사전적 정의
경쟁	공통으로 추구하는 대상이나 목표	같은 목적에 대하여
	목적 또는 의도	이기거나 앞서려고
	서술어	서로 겨룸
적응	대상	일정한 조건이나 환경 따위에
	서술어	맞추어 응하거나 알맞게 됨

녹음하여 전사를 해 불변적 비교법에 의해 분석하였다. 분석 단위는 면담 의미를 기준으로 하여 ‘구’나 ‘문장’을 단위로 하였다. 구분된 구나 문장 분석을 위한 면담 내용 분석틀을 개발했다.

생물학 용어 검사지 그리고 면담 전사 자료는 개발한 생물학적 의미 분석틀로 1차 분석한 뒤, 일반 용어 검사지 분석틀로 2차 분석하였고, 분석틀로 분석이 어려운 다른 대안 개념이 유형화될 수 있는 지도 확인하였다. 한 명의 연구자가 이와 같은 분석 과정을 3차례에 걸쳐 반복하여 분석한 다음 생물교육전문가 1인이 재검토하면서 일치 여부를 확인하였다.

경쟁과 적응에 관한 일반적 의미 분석틀은 국립국어원의 표준국어대사전(National Institute of Korean Language, 2013)에 제시된 경쟁과 적응의 정의를 기초로 하였다. 표준국어대사전에서는 경쟁과 적응을 일반적 의미와 생물학적 의미로 구분해서 정의하고 있어서 생물학적 의미와 일반적 의미가 차이가 있음을 보여 준다. 사전에서 일반적 인 정의는 경쟁을 ‘같은 목적에 대하여 이기거나 앞서려고 서로 겨룸’ 이라고 하며, 적응을 ‘일정한 조건이나 환경 따위에 맞추어 응하거나 알맞게 됨’이라고 하는 등 목적론적 입장에서 기술을 하고 있으므로 현대 생물학에서 사용하는 정의와는 합치되지 않았다. 그러므로 이 사전의 사전적 정의는 경쟁과 적응에 대한 일반적 의미의 분석틀로만 사용했다(Table 3).

경쟁과 적응의 생물학적 의미를 분석하기 위한 분석틀을 개발하기 위해 경쟁과 적응의 생물학적 정의를 바탕으로 핵심 개념을 선정하였다. 경쟁과 적응의 생물학적 정의는 논문 3편(Kampourakis, 2013; Smith, 2010; van Dijk & Reydon, 2010), 생물학 사전(Iwanami Shoten, 1996) 1종, 브리태니커 백과사전, 일반생물학(Freeman, 2011; Reece et al., 2011; Russell, 2008; Sadava et al., 2012; Starr et al., 2011), 진화학(Futuyma, 2005; Strickberger, 2000), 생태학(Kim et al., 2007; Smith & Smith, 2009; Townsend et al., 2002), 생리학(Fox,

2001; Sherwood, 2004; Silverthorn, 2010) 등 대학에서 사용되는 생물학 전공 교재 13종을 포함한 총 18종의 문헌에 제시된 정의를 수집하여 최종 결정하였다. 참고한 논문 3편 중 1편은 적응에 대한 문헌연구 논문이었고, 2편은 진화 교수·학습에 관한 문헌연구 논문으로 적응의 생물학적 정의에 대한 설명이 자세하게 서술되어 있다. 이들 논문 에 제시된 적응의 생물학적 정의는 서론에서 소개한 바 있다.

조사한 18종의 문헌 중 10종에서 경쟁의 생물학적 정의를 찾아볼 수 있었다. 이를 바탕으로 경쟁을 “제한된 자원을 공유하는 개체들 사이에 발생하며 상대의 적응도에 대해 마이너스적 영향을 주는 상호 작용”으로 정의하였다. 경쟁의 생물학적 정의로부터 경쟁의 핵심 개념을 선정하였다. 경쟁의 핵심 개념을 ‘제한된 자원’, ‘개체 수준’, ‘상호작용’의 세 가지로 선정했고, 생물학적 의미를 분석하기 위한 분석틀로 활용하였다. ‘제한된 자원’에 대해 ‘생태적 지위의 중복’으로 설명한 경우에는 대안개념으로 분류하였다. ‘개체 수준’에 대해 ‘개체 또는 종’과 같이 개체와 다른 수준을 함께 제시한 경우에는 중복코딩하지 않고 대안개념으로 분류하였다.

한편, 조사한 18종의 문헌 중 16종의 문헌에서 적응의 정의를 참고 하였다. 적응은 감각·신경 생리학에서 사용되는 정의와 생태학·진 화학에서 사용되는 정의로 구분할 수 있다. 감각·신경 생리학에서의 적응은 원근조절(accommodation) 또는 순응(adaptation)과 동의어로 사용되고 있었다. 생태학·진화학에서 사용되는 적응(adaptation)의 의미를 참고하여 “적응이란 주어진 환경 조건에서 한 개체군 내에 널리 퍼져 있으며, 적응도를 증가시키는, 자연선택 과정에 의해 수 세대에 걸쳐 성립된 유전가능한 모든 행동적, 형태적 또는 생리적 형질을 말한다. 이런 형질이 발달해 온 과정 또한 적응이라 한다. 즉, 적응은 과정으로서의 의미와 결과물로서의 의미 모두를 포함하는 개념이다”로 적응을 정의하였다. 이를 바탕으로 적응의 핵심 개념을 선정하였는데, 선정된 적응의 핵심 개념은 ‘개체군 수준’, ‘과정으로

Table 4. Frameworks to analyze biological competition and adaptation

구분	핵심개념	내용	
경쟁	제한된 자원	· 자원이 제한되어 있기 때문에 경쟁이 일어난다. 자원이 무한정 공급된다면 경쟁은 일어나지 않을 것이다.	
	개체 수준	· 종내 경쟁과 종간 경쟁 모두 개체들 사이에서 일어난다.	
	상호작용	· 경쟁은 개체 간 상호작용의 한 종류일 뿐, 이것이 항상 싸움을 의미하는 것은 아니다. 먼저 먹이를 먹어서 없애으로써 다른 개체가 먹을 기회를 박탈하는 것도 경쟁한 형태(이용경쟁, exploitation)이다.	
적응	개체군 수준	· 적응은 개체군의 특성이다. 개체 수준의 변화 혹은 개체가 가지는 형질은 적응이 아니다. 개체는 적응하지 않는다.	
	과정으로서의 의미	· 적응은 개체의 일생 동안에 일어난 변화가 아니라, 자연선택에 의해 수세대에 걸친 과정이다.	
	형질로서의 의미	자연 선택된 형질	· 적응은 자연 선택된 형질이다.
		유전 가능한 형질	· 적응 형질은 유전된다. 획득형질은 적응이 아니다.
	적응도를 증가시키는 형질	· 어떤 형질이 그것을 지니지 않은 개체군에 비해 적응도를 높일 때 적응이라 한다.	

서의 의미’, ‘형질로서의 의미’ 등 세 가지로 구분했고, ‘형질로서의 의미’를 ‘자연선택된 형질’, ‘유전가능한 형질’, ‘적응도를 증가시키는 형질’로 세분화하였다(Table 4). ‘개체군 수준’에 대해서 “개체나 개체군”과 같이 개체군과 다른 수준을 함께 제시한 경우에는 중복코딩하지 않고 대안개념으로 분류하였다. “생물”이라고 한 경우에는 개체인지 개체군인지 종인지 구분할 수 없었으므로 코딩하지 않았다.

연구결과 논의를 위해서 2007 개정 생명과학 I 교과서 중 5종에 기술되어 있는 적응의 정의와 적응에 대한 다양한 사례를 분석하였다.

III. 연구 결과 및 논의

생물학적 경쟁과 적응 개념에 대한 예비 생물교사들의 인식을 다양한 검사도구들을 통해 확인한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 경쟁에 대한 인식

가. 경쟁에 대한 일반적인 의미에 대한 인식

예비 생물 교사가 생각하는 경쟁의 일반적 의미가 국어사전에 제시된 경쟁의 정의와 비교하여 차이가 있는지 확인하기 위해 국어사전을 참고하여 개발한 분석틀(Table. 3)을 사용하여 분석하였다. 분석 결과 예비 생물교사들은 경쟁의 일반적인 의미 세 항목 중 ‘공통으로 추구하는 대상이나 목표’, ‘목적 또는 의도’ 항목에서는 국어사전에 제시된 경쟁의 정의와 크게 다르지 않은 인식을 나타냈으나, ‘서술어’ 항목에서 국어사전의 ‘서로 겨루는 것’에 비해 더 직접적인 행동과 적대적 관계와 폭력을 의미하는 서술어로 표현한 경우가 많았다.

구체적으로 75.5%의 응답자들은 공통으로 추구하는 대상이나 목표를 “부나 권력, 지위, 한정된 자원, 특정한 대상”으로 기술한 경우도 있지만, 대부분은 “같은 목적”이나 “어떠한 목적”과 같은 포괄적인 단어로 기술하였다. 나머지 24.5%는 “이기기 위해 싸운다”와 같이 답함으로써 공통으로 추구하는 대상이나 목표를 제시하지 않았다. 목적 또는 의도를 기술한 경우는 52.8%였으며, 이들 중 약 절반이 “차지하기 위해 혹은 갖기 위해”라고 기술하였다. 그 밖에 국어사전에 제시된 정의와 마찬가지로 “이기거나 앞서려고”의 의미로 기술한 경우는 15.1%였으며, 기타 의견으로는 “생존을 위해, 이익을 위해, 승부나 우열을 가리기 위해” 등이 있었다. 서술어를 제시한 경우 대부분(88.7%) 중 국어사전에 제시된 정의와 같이 “겨루다”로 표현한 경우는 17%였고, “겨루다” 보다 더 적극적인 의미의 서술어인 “싸우다, 다투다, 노력하다”로 기술한 경우가 많았다(72.3%). 기타 의견으로는 “살아남는 것, 맞붙는 것, 경합하는 것” 등이 있었다.

경쟁의 일반적 의미에 해당되는 경쟁 상황의 예로 성적, 입시, 취업, 학점과 같은 시험과 관련된 예를 가장 많이 들었고(52.8%), 달리기, 운동경기와 같이 체육 관련 예를 든 경우가 15.1%, 생물학적 예를 든 경우가 5.7%, 기타 의견이 26.4%였다. 생물학적 예로는 “먹이를 두고 다투다”, “같은 먹이인 가젤을 놓고 사자와 표범의 싸움”, “한 서식지를 두고 두 개체/개체군이 맞닥뜨려 싸울 때” 등이 있었다. 이러한 표현은 일상생활에서 흔히 쓰는 표현으로 경쟁에 대한 일반적인 인식으로는 아무 문제가 되지 않는다. 그러나 생물학에서도 이런 표현을 사용한다면 경쟁을 동물에서만 일어나는 직접적인 싸움으로 잘

못 이해하는 것으로 분석해야 할 것이다.

나. 경쟁에 대한 생물학적 의미에 대한 인식

예비교사들의 경쟁의 생물학적 인식을 분석하기 위한 분석틀에서 경쟁의 핵심 개념은 ‘제한된 자원’, ‘개체 수준’, ‘상호작용’ 세 가지다(Table 4). 분석 결과 세 가지 핵심 개념을 모두 포함하여 경쟁을 정의한 예비 생물 교사는 한 명도 없었다. 각 핵심 개념에 대해 생물학적 개념으로 응답한 비율은 ‘개체 수준’(24.5%), ‘제한된 자원’(13.2%), ‘상호작용’(7.5%) 순으로 나타났다.

예비 생물 교사가 생각하는 경쟁의 생물학적 의미는 일반적 의미와 유사했으므로 ‘공통으로 추구하는 대상이나 목표’, ‘목적 또는 의도’, ‘서술어’ 세 가지 항목으로 분류할 수가 있었다. 67.9%가 공통으로 추구하는 대상이나 목표로 “한정된 자원, 먹이, 서식지, 암컷, 생태적 지위”를 제시하였는데, 이는 생물학적 경쟁 개념과 어긋나지 않는 것이었다. 목적 또는 의도를 기술한 경우는 79.2%였는데, 이는 경쟁의 일반적 의미에서 차지하는 비율(52.8%)보다 오히려 훨씬 높았다. 그들은 경쟁의 생물학적 의미를 비과학적 설명인 목적론적으로 인식하고 있었다. 특히 생물학 수업을 더 많이 수강한 3, 4학년이 1, 2학년보다 의도 또는 목적으로 설명한 비율이 더 높았다. 이는 목적론적 설명과 과학적 설명을 구분하지 못하는 데서 오는 결과로 간주된다. 일반적 의미와 생물학적 의미 모두에서 ‘차지하기 위해’가 가장 높은 비중을 차지하였고, ‘우위를 점하기 위해’도 비슷한 응답률을 보였다. 일반적 의미에서는 2명(3.8%)만이 ‘생존하기 위해’라고 응답했지만, 생물학적인 의미에서는 13명(24.5%)으로 나타났고, ‘번식을 위해’(13.2%), ‘도태되지 않기 위해’(3.8%)가 있었다. 따라서 예비 생물 교사들의 경쟁에 대한 생물학적 의미는 일반적 의미와 비슷하다고 생각하고 있고, 경쟁의 일반적 개념보다 생물학적 개념에 있어서 더 생존과 번식에 치중해 인식하고 있었음을 알 수 있었다. 경쟁의 생물학적 의미에서 나타난 서술어의 종류는 일반적 의미에서 나타난 것과 동일했다. 일반적 의미와 생물학적 의미 모두 ‘싸우다’와 ‘다투다’의 비중이 가장 높게 나타났다. 생물학적 의미에서 나타난 ‘기타’ 응답으로는 “대립하다, 맞서다, 견제하다”가 있었다.

이 연구 결과 경쟁에 대한 일반적인 인식이 생물학적 정의에 대한 인식과는 차이가 있었다. 경쟁의 생물학적 의미를 왜곡할 가능성(Moore *et al.*, 2002; 2010)도 있었다. 그리고 경쟁의 대안개념에 대한 Bizzo(1994)의 연구처럼 경쟁을 직접적인 폭력으로 생각하며 때로는 불가피한 현상으로 생각하고 있었다. 경쟁의 핵심 개념 각각에 대해 예비 생물교사들이 생물학적 개념으로 응답한 비율이 25%를 넘지는 않고 있지만, 경쟁의 생물학적 예에 대한 응답에는 오류가 없었다. 이는 경쟁의 일상적 의미가 생물학적 의미와 다르기 때문에 예비교사들의 경쟁에 대한 생물학적 예를 명확히 들 수 있다고 하여도 경쟁에 대한 일반적인 의미가 교정되지는 않을 수 있음을 알려주는 것이다.

예비 생물 교사가 제시한 경쟁의 생물학적 예를 경쟁 형태와 경쟁 주체로 나누어 분석해 보니, 경쟁의 형태에 대해서 34.0%는 종내 경쟁에 대한 예를 들었고, 47.2%는 종간 경쟁에 대한 예를 들었다. 따라서 종내 경쟁보다는 종간경쟁을 더 쉽게 떠올린다는 것을 알 수 있다. 경쟁 주체에 대해서 75.5%는 동물로 예를 들었으며, 5.7%는 식물로, 13.2%는 짙신벌레를 예로 들었고, 나머지 13.2%는 뚜렷한 언급이

없었다. 따라서 미생물이나 식물보다는 동물 간의 경쟁을 더 쉽게 떠올린다는 것을 알 수 있다. 경쟁을 가르칠 때 동물 간의 경쟁을 통해 경쟁 개념을 이해시킨다면 쉽다는 장점은 있으나, 싸우거나 다투는 일반적인 폭력 상황을 쉽게 연상시킬 수 있으므로 식물과 미생물 간의 경쟁에 대한 예로 대체하거나 보충하여 가르칠 필요가 있다고 본다.

다. 경쟁의 핵심 개념에 대한 대안개념

예비 생물 교사가 생각하는 경쟁의 생물학적 의미에 대한 대안개념 유형을 경쟁의 핵심 개념별로 정리하였다. 많은 예비 생물 교사들이 '제한된 자원'의 대안개념인 '생태적 지위', '의도 또는 목적'으로 설명하였다(Table 5). '생태적 지위' 대안개념 유형은 생태적 지위가 중복되면 사용할 수 있는 자원이 감소하기 때문에 경쟁이 일어난다고 생각하는 것과 관련이 있다. 그러나 생태적 지위는 중간 경쟁의 원인을 설명할 때 사용되는 용어이며, 종내 경쟁에서는 생태적 지위가 동일하므로 경쟁의 원인으로 설명되지 않는다. 또한 서로 다른 두 종의 생태적 지위가 서로 동일하더라도 자원의 공급량이 수요량을 초과한다면 경쟁은 일어나지 않는다. 이렇게 경쟁을 생태적 지위로 설명하는 이유는 종내 경쟁을 경쟁으로 확대해석하기 때문인 것으로 보인다. 이는 종내 경쟁과 종간 경쟁의 학습량 차이로부터 기인하는 것 같다. 생명과학 교과서 및 생물학 교재에서 종내 경쟁은 소단원으로 할당되어 있을 정도로 많이 다루지만, 종내 경쟁은 종간 경쟁을 배울 때 혹은 자연선택을 배울 때 언급되는 정도이다. 동물뿐만 아니라 식물과 미생물의 경쟁에 대해서도 '의도 또는 목적'으로 설명하는 대안개념 유형이 나타났다. 이는 경쟁의 일반적 의미에 의도나 행동이 포함되어 있는데 생물학에서의 경쟁에 대해서도 같은 의미로 해석했기 때문으로 보인다. 경쟁을 가르칠 때 생물학적 현상에 의도 또는 목적이 없음을 특히 강조할 필요가 나타났다.

'개체 수준'에 대한 대안개념에서는 종내 경쟁뿐만 아니라 종간 경쟁도 개체들 사이에 나타나지만 예비 생물 교사들은 '개체 수준'보다는 '개체군이나 종 수준'과 같은 집단으로 인식하거나 '개체 수준을 벗어난 경우'에도 경쟁이 일어난다고 생각하고 있었다. '상호작용'의 경우, 경쟁은 참여 개체들이 서로 상대방의 적응도에 대해 부정적 영향을 주는 상호작용이지만, 예비 생물 교사들은 '상호작용'보다는

경쟁의 일반적 의미를 정의할 때와 동일한 서술어를 사용한 경우가 많았다. 일부는 포식-피식 관계도 경쟁으로 인식했다.

2. 적응에 대한 인식

가. 적응의 일반적 의미에 대한 인식

예비 생물 교사가 생각하는 적응의 일반적 의미가 국어사전에 제시된 적응의 정의와 비교하여 차이가 있는지 Table 3의 분석들에 따라 '대상'과 '서술어'로 구분해서 분석했다. '대상' 항목에 대해 예비 생물 교사들은 '조건이나 환경'보다는 '상황이나 환경'이라고 표현하였고 '조건'이라는 단어를 사용한 경우는 없었다. 또한 국어사전에는 조건이나 환경의 변화를 의미하는 말이 없지만, 예비 생물 교사들은 "새로운, 낯선 또는 변화된 환경이나 상황"으로 기술한 경우가 34.8%를 차지하였다. '서술어' 항목에 대해서는 국어사전적 정의보다 더 다양한 서술어를 사용하였고, "익숙해진다"고 표현한 경우가 가장 많았다(38.2%). 응답에 사용된 서술어가 "변하는 것, 조절하는 것, 살아남는 것" 등으로, 사전적 정의와 크게 다르지는 않았다. 한편 일부 예비 생물 교사(3명)의 경우 적응의 목적으로 "살아남기 위해"라고 기술하여 목적론적 사고를 나타냈다.

예비 생물 교사가 생각하는 적응의 예는 '환경', '상황', '기타' 항목으로 나누어 볼 수 있었다. "낯설거나 변화된 환경 또는 상황에 맞춰진다, 익숙해진다"는 내용이 많았다. '환경'에 대한 것으로는 전학, 학기 초, 대학생활과 같은 학교와 관련된 예시 및 군대, 이사, 이민, 이직 등 낯선 환경에 대한 예를 들었다(71.7%). '상황'에 대한 것으로는 많은 과제, 친구의 술버릇, 분위기 등이 있었다.

나. 적응의 생물학적 의미에 대한 인식

적응의 생물학적 의미는 Table 4의 분석들에 의거하여 적응의 핵심 개념 세 가지인 '개체군 수준', '과정으로서의 의미', '형질로서의 의미'로 나누어 분석하였고, '형질로서의 의미'는 다시 '자연 선택된 형질', '유전성 있는 형질', '적응도를 증가시키는 형질'로 세분화하여 분석하였다. 분석결과 예비 생물 교사들은 '개체군 수준'과 '형질로서

Table 5. Examples of the types of alternative conceptions for key concepts consisted in competition

경쟁의 핵심개념	응답 유형	응답 예시
제한된 자원	생태적 지위	· 생태적 지위가 유사한 종 사이에 일어나는 것 · 경쟁이라는 게 같은 대상을 두고 서로 싸우는 거잖아요. 그래가지고 일단 생태적 위치가 같아야 된다고 봤어요
	의도 또는 목적	· 개체군 내에서 생존이나 번식을 위해 개체들끼리 노력하는 것이다. · 같은 환경에 존재하는 서로 다른 두 개체군이 우위를 선점하기 위해 일어나는 것
개체 수준	개체군이나 종 수준	· 생태적 지위가 유사한 두 종간의 자원획득을 위한 다툼 · 어느 것을 차지하기 위해 종 혹은 개체군 사이에서 싸우는 것
	개체 수준을 벗어난 경우	· 민들레씨들도 서로 경쟁을 하지 않나? · 꽃가루가 많이 만들어지잖아요. 그런데 암술이 붙어서 수정되는 거는 얼마 안 된단 말이에요. 그런 것도 경쟁의 일종이라고 생각하고요
상호작용	일반적 의미와 동일한 서술어	· 다른 개체군과 같은 먹이를 가지고 싸우는 것 · 개체간이나 종간에 먹이나 생존권을 두고 다투는 것
	포식-피식 관계	· 포식하고 피식은 경쟁 하다면은 자연스럽게 나오지 않나. 그니까 이것도 일종의 경쟁이라 생각하거든요. 포식자랑 피식자랑 생존 경쟁이라는 생각이 들어서 썼어요

의 의미'에 대해 생물학적 개념으로 응답한 경우가 없었다. 자연선택, 유전, 적응도를 언급한 경우는 있었지만 '형질로서의 의미'는 나타나지 않았다. '과정으로서의 의미'에 대해서 15.1%의 응답률을 보였지만 이는 "수 세대에 걸친 자연선택 과정"이라는 생물학적 개념이 아니라, 단지 "세대를 거듭하여"라고 언급한 비율이다.

예비 생물 교사가 생각하는 적응의 생물학적 의미도 적응의 일반적 의미와 유사했다. 국어사전에 의거한 적응의 일반적 의미는 '대상'과 '서술어'의 두 항목으로 나뉘었는데, 분석을 위한 적응의 생물학적 의미는 '대상'과 '서술어'뿐만 아니라 '목적'을 포함하여 세 가지 항목으로 세분화 하여 분석했다. '대상' 항목에 대해 예비 생물 교사들은 일반적 의미에서는 '환경이나 상황'을 제시했었는데, 생물학적 의미에서는 '상황'에 대한 언급은 하지 않았다. 일반적 의미에서는 국어사전에 제시된 정의와 달리 "새로운, 낯선, 변화된 환경이나 상황"을 언급한 비율이 34.8%였는데, 생물학적 의미에서는 그 비율이 22.6%로 다소 낮아지긴 했지만 동일한 언급이 나타났다. 차후 면담에서 환경이 변하지 않아도 적응이 일어나는지 묻는 질문에 한 명을 제외한 모든 대상자가 적응이 일어나지 않고 멈춘다고 답변하였다. 이는 예비 생물 교사들이 적응을 일반적 의미로 이해하고 있으며, 유전적 변이를 바탕으로 한 자연선택 과정에 의해 적응이 일어난다는 것을 인식하지 못하고 있음을 보여준 것이었다. '서술어' 항목에 대해 일반적 의미에서는 '익숙해진다'(38.2%), '맞추어 가는 것'(21.8%), '기타'(40%)순으로 나타났었는데, 생물학적 의미에서는 '익숙해진다'는 응답은 나타나지 않았고, '맞추어 가는 것'(54.7%), '기타'(45.3%) 순으로 나타났다. '기타' 응답으로는 "잘 사는 것, 살아남는 것, 환경에 적절하게 대응할 수 있는 능력, 순응이 오랜 시간 지속되는 것, 계속 번식하는 것, 자연 선택되는 것, 진화하는 것" 등이 있었다.

'목적' 항목에 대해 일반적 의미에서는 3명(5.7%)이 "살아남기 위해"라고 답하였지만, 생물학적 의미에서는 17명(32.1%)이나 되는 응답자들이 목적론적 견해를 나타냈다. 목적론적 표현 중 대부분은 "살아남기 위해"였고, "환경에 유리하도록", "도태되지 않기 위해서"라는 응답도 있었다. 경쟁과 마찬가지로 적응도 생존을 위해 일어난다고 한 것으로 보아 경쟁과 적응을 생존과 직결시켜 인식했다. 일부는 "경쟁에서 지면 죽고, 이기면 산다", "환경에 적응하지 못하면 죽고, 적응하면 산다"와 같이 이분법적 사고를 보이기도 했다. 선행연구에 따르면, 목적론은 선천적으로 나타나는 것으로 보이며, 생물의 진화를 이해하는 데 방해될 뿐만 아니라 적응 개념과 보다 직접적으로 이 목적론이 관련되어 있는 것으로 보인다(Anderson & Wallin, 2006;

Cheng-Wai Yip, 2009; Kampourakis et al., 2008; Moore et al., 2002; Opfer et al., 2012; Smith, 2009).

Choi et al.(1995)은 5차 교육과정 중학교 과학 교과서에서 적응이 목적론적 설명으로 기술되어 있음을 다음과 같이 보고하였다.

“...어떤 섬의 멧새는 나무 열매를 쪼아 먹기에 알맞은 부리를 가지게 되었고, 또 다른 섬의 멧새는 곤충을 잡아먹는데 알맞은 부리를 가지게 되어 자연히 멧새가 여러 가지 종류로 나뉘어졌다.”

위의 예는 어떻게 해서 부리가 먹이를 먹기에 알맞다는 것인지 독자가 알 수 없고, 다만 생존에 유리하도록 새들이 자신의 부리의 구조를 변화시킨 것 같다는 의미를 포함시키고 있다. 이와 같은 설명 형태는 2007개정 생명과학 I 교과서에서도 쉽게 찾을 수 있다. Table 6은 5종의 생명과학 I 교과서에서 기술된 적응의 정의와 적응의 다양한 사례이다. 일부 교과서의 사례만을 소개했지만, 대부분의 적응의 일반적 의미와 생물학적 의미를 혼용하거나 목적론적 설명으로 서술되어 있다. 이러한 설명은 예비생물 교사의 응답에서 나타나는 목적론적 설명 형태와 다르지 않으므로 인간에게서 생득적으로 나타나는 목적론적 설명이 교과서를 통해 강화될 가능성이 있다. 그러므로 적응을 '가르칠' 때는 목적론적이 아닌 진화론적으로 적응을 명확히 정의해 주어야 한다.

예비 생물 교사들이 적응의 핵심 개념에 대해 생물학적 개념으로 응답한 비율은 저조했지만, 적응의 생물학적 예에 대해서는 4명(7.5%)을 제외하고 모두 적합한 예를 들었다. 잘못된 예를 든 4명 중 3명은 "어떤 생물은 기후 변화로 먹이를 구하기 힘들어지자 적응하여 더 찾기 쉬운 먹이를 찾는다", "황소개구리는 외래종이지만 우리나라 환경에 잘 적응했다", "미국에서 도입된 황소개구리는 빠른 속도로 번식하여 적응하였다"는 설명을 했다. 그들은 소재만 생물일 뿐 생물학적인 적응의 예가 아닌 일반적 의미의 적응의 예를 들었다. 나머지 한 명은 암순을 예로 들었다.

응답자들이 제시한 적합한 적응의 생물학적 예는 '적응 주체'와 '환경'으로 분류할 수 있었다. '적응 주체' 항목에 대해 69.8%는 동물로, 28.3%는 식물로 예를 들었으며, 미생물에 대해서는 지의류를 예로 든 경우가 하나 있었다. 경쟁의 생물학적 예와 마찬가지로 동물을 소재로 한 응답 비율(69.8%)이 식물에 대한 비율(28.3%)보다 높았다. 동물 소재에 대한 예는 주로 여우, 나방, 핀치새였으며, 식물에 대한 예는 주로 선인장이었다. '환경' 항목에 대해서는, '온도에 적응한

Table 6. Contents for adaptation described in Biological Science I based on Korea National Curriculum revised in 2007

교과서 종류	해당 페이지	기술된 내용
A	204	생물이 서식지의 환경에 따라 그 구조와 기능이 알맞게 변화되는데, 이러한 변화를 생물의 적응이라고 한다.
B	196	많은 생물들은 자신이 살고 있는 환경 조건에 알맞게 몸의 구조와 기능을 변화시키며 적응하여 살아가고 있다.
	197	생물은 자신의 체온 범위를 벗어난 온도 조건에서도 나름대로 적응을 하며 살아간다.
C	188	생물은 빛, 온도, 물, 토양 등과 같은 비생물적 요인의 영향을 받으며, 이러한 요인에 알맞게 몸의 구조나 생리 기능 등을 변화시켜 적응하며 살아간다.
D	193	여러 가지 비생물적 요인은 생물의 생활에 큰 영향을 미치고 있으며, 생물도 그 환경에 적응하여 살아가고 있다.
	195	건조한 지역의 식물은 증발되는 물의 양을 줄이기 위해 잎의 크기가 줄어들거나 선인장처럼 잎이 가시로 변화했다.
E	210	생물은 환경 조건에 따라 몸의 형태, 기능, 생활 습성 등이 변하는데 이를 적응이라고 한다. 오랜 시간 환경에 적응한 생물의 형질은 자손에게 전달된다.
	214	식물은 서식 장소의 수분 조건에 따라 적절하게 몸의 구조를 변형시켜 적응해 왔다.

예'(28.3%), '건조에 적응한 예'(26.4%), '기타'(37.7%)로 분류할 수 있었다. 온도에 적응한 예로는 사막여우와 북극여우, 북극곰, 털갈이에 대한 것으로 모두 동물에 대한 예시였다. 건조에 적응한 예로는 선인장, 육상식물 등 모두 식물에 대한 예였다. 기타의 예로는 핀치새의 부리, 후추나방, CAM식물, 염생식물 등이 있었다.

예비 생물 교사가 제시한 적응의 생물학적 예는 기존의 생물학 교재에 나와 있는 예와 크게 다르지 않았다. 적응의 생물학적 정의를 명확하게 이해하고 있다면 보다 다양한 예를 들 수 있었을 것으로 생각된다. 적응의 생물학적 예를 들 때 경쟁의 생물학적 예를 들 때보다는 식물을 소재로 한 비율은 더 높았다. 그러나, 식물보다는 동물에 대한 예를 훨씬 많이 들었다. 경쟁과 적응의 일반적 의미에 의도와 행동이 포함되어 있으므로 식물이나 미생물보다는 동물 소재의 예를 생각해 내게 되는 것 같다.

다. 적응의 핵심 개념에 대한 대안개념

예비 생물 교사가 생각하는 적응의 생물학적 의미에 대한 대안개념 유형을 적응의 핵심 개념인 '개체군 수준', '과정으로서의 의미', '형질로서의 의미' 세 가지로 구분하여 분석해 보았다. 응답자들은 생물학적 적응을 세 가지 핵심 개념보다는 대안개념으로 설명하는 경우가 있었는데, '형질로서의 의미'에 대한 대안개념은 나타나지 않았다 (Table 7).

적응은 개체군의 특성인데, 예비 생물 교사들은 적응이 개체나 종 수준에서 일어나는 것으로 인식하고 있었다. 또한, 자연선택에 의해 수세대에 걸친 과정이라는 생물학적 적응 개념 대신, 적응의 일반적 의미를 정의할 때와 동일한 서술어를 사용하였다(75.5%). 일부는 자연선택(1.9%), 진화(7.5%), 적응도(9.4%)를 적응과 동일시하기도 했다. '일반적 의미와 동일한 서술어'를 사용한 경우, 주로 "환경에 맞추는 것, 환경에 적합해지는 것, 환경에 맞게 변하는 것"이라고 응답하였다. 이는 적응을 인과적이 아닌 목적론적으로 잘못 이해하고 있음을 보여준다. 왜냐하면 생물은 자신의 형질을 의도적으로 환경에 맞추는 것이 아니며, 환경에 적합한 형질을 갖게 되는 것은 원인이 아니라 변이와 자연선택에 의한 결과이기 때문이다. '일반적 의미와 동일한 서술어'로 응답한 경우를 다시 형질변화를 언급한 경우와 형질변화를 언급하지 않은 경우로 나누어 볼 수 있었다. 형질변화를 언급한 경우는 전체 53명 중 16명(30.2%)이었지만 적응 자체를 형질로 생각

하고 있지는 않았다.

예비 생물 교사가 예로 든 적응의 사례 중에는 순응과 항상성이 포함되어 있었다. 적응의 생물학적 예에서도 순응이 나타났다. 적응과 순응을 혼동하고 있는지 알아보기 위해 면담에서 순응과 적응을 구별해보라는 질문을 했다. 면담 대상자의 절반 정도는 순응을 "지속적인 자극에 의한 감각의 둔화"로 이해하면서, 적응과 순응은 다르다고 답하였다. 나머지 절반은 순응과 적응의 차이점을 제시하면서도 순응을 적응의 일종이라고 하거나, 적응의 선행조건이라고 하였다. 이에 대한 응답 예시는 다음과 같다.

예비 생물 교사 H : *순응은 제가 지금 아는 대로 설명하면 짧은 시간의 적응? 아주 짧은 시간. 아주 작은 범위에서. 순응도 결국에는 그 환경에 맞추려고 하는 거잖아요. 제가 배운 지식으로 하면 순응은 아주 짧은 시간에 일어나는 걸로 알거든요. 적응은 길게는 몇 천만년 이러잖아요. 바퀴벌레, 고사리나.*

예비 생물 교사 L : *환경이 변했을 때 그 특징이 변화된 환경에 맞춰지는 거라면 감각순응도 그 어두워진 환경에 적응을 하게 되는 거잖아요. 결국은 어둠이라는 변화된 환경에 좀 더 잘 보이게 해서 그 특징이 맞춰지는 거잖아요. 감각순응도 적응의 일종이 아닌가. 이런 뜻으로 봤을 때.*

응답에서 보이듯이 "환경에 맞추는 것"이라는 적응의 일반적 의미로 생물학적 의미를 이해하게 되면 적응과 순응을 혼동할 수 있다. 생물학 전공 교재에서도 적응과 순응은 동일한 의미로 사용되고 있다. 생물학 전공 교재에는 적응과 순응 뿐 만 아니라 순응과 순화도 혼용되고 있다. 적응, 순응, 순화에 대한 혼동을 줄이기 위해서는 용어의 재정의가 필요하다. 제인하겐대 accommodation은 원근조절로, 감각·신경 생리학에서의 adaptation은 순응으로, acclimation과 acclimatization은 순화로 사용하면 혼동을 피할 수 있을 것 같다(Table 8).

한편, 적응은 '형질로서의 의미'와 '과정으로서의 의미' 모두를 가지고 있기 때문에 자연선택, 진화와 혼동된다. 따라서 '형질로서의 의미'를 '적응 형질'로 '과정으로서의 의미'를 '적응 진화'라는 용어로 구분하여 사용하고, 그냥 적응이란 용어는 일반적인 의미의 적응을 의미할 때만 사용한다면 혼동을 피할 수 있다. '적응 형질'(Russell, 2008; Starr, 2011)과 '적응 진화'(Reece et al., 2011)는 이미 생물학 교재에서 사용이 되고 있는 용어들이다.

Table 7. Examples of the types of alternative conceptions for key concepts consisted in adaptation

적응의 핵심개념	응답 유형	응답 예시
개체군 수준	개체 수준	<ul style="list-style-type: none"> · 환경에 맞게 자신을 변화하는 것 · 개체가 환경에 의해 도태되지 않기 위해 환경에 자신을 맞춘다.
	종 수준	<ul style="list-style-type: none"> · 생물 종이 환경에서 잘 살아남도록 형질을 변화시키는 것
	일반적 의미와 동일한 서술어	<ul style="list-style-type: none"> · 생물이 환경에 적합하게 자신을 변화시키는 것을 말한다. · 새로운 환경에서 잘 사는 것
과정으로서 의미	형질변화 언급없음	<ul style="list-style-type: none"> · 생물체가 자신의 형질을 환경에 적합하게 바꾸어 나가는 것 · 주어진 환경에서 맞춰 형질을 바꾸는 행동
	진화와 동일시	<ul style="list-style-type: none"> · 생물이 잘 살아남을 수 있게 되는 '진화 과정' · 변화된 환경에서 살아남을 수 있도록 진화하는 것
	자연선택과 동일시	<ul style="list-style-type: none"> · 주어진 환경에 유리한 개체가 자연선택되는 것
	적응도와 동일시	<ul style="list-style-type: none"> · 자식의 수가 많고 자손들이 오래 살아남는 것 · 현재 환경에서 생존력과 번식력을 가진 것

Table 8. Biological definitions of accommodation, adaptation, acclimation and acclimatization

영어	한글	정의
accommodation	순응	눈에서 수정체 두께를 조절하여 초점을 맞추는 것
	적응	
	원근조절	
adaptation	순응	지속된 자극으로 수용기 세포의 탈분극 크기 감소
	적응	
acclimation	순응	변화하는 환경 조건에 대한 한 생물 개체의 가역적 표현형 변화
	순화	
acclimatization	순응	
	순화	

라. 적응의 개념화 과정

수집된 면담 자료들을 분석한 결과, 연구 대상들에게 형성된 적응 개념 양상은 Figure 1과 같이 단계별로 3가지 수준으로 구별이 가능하다. I 수준은 적응의 생물학적 의미를 일반적 의미와 동일하게 생각 하는 경우이다. II 수준은 적응의 일반적 의미와 생물학적 의미가 혼재되어 있는 경우인데, 이를 다시 3가지 수준으로 세분화할 수 있다. II-1 수준은 적응을 획득 형질로 생각하는 경우이며, II-2 수준은 적응을 유전자가 변이와 관련지어 인식하는 경우이고, II-3 수준은 적응의 메커니즘이 자연 선택임을 알고 있는 경우이다. III 수준은 적응에 대한 생물학적인 의미를 알고 있는 경우로, 적응이 개체가 아닌 개체군의 특성이자 과정으로서의 의미와 형질로서의 과학적 의미 모두를 이해하고 있는 경우다. 본 연구 참여한 예비 생물 교사들이 III 수준에 해당하는 응답을 한 경우는 없었다. 장차 생물교사가 될 예비 생물교사들은 생물학의 근간이 되는 진화론을 정확하게 이해하기 위해 진화론을 구성하는 핵심 개념 중 하나인 ‘생물학적 적응’ 개념을 Figure 1의 III 수준에 해당하는 생물학적 의미로 이해하도록 생물교사교육 프로그램은 반영할 필요가 있다.

3. 경쟁, 적응, 자연선택, 진화 개념 사이의 관계에 대한 인식

경쟁과 자연선택, 적응과 자연선택, 경쟁·적응·자연선택의 관계는 경쟁과 적응에 대한 생물학 용어 검사지 5번 문항(치타는 먹이를 잡을 때 시속 100km 이상 빠르게 달릴 수 있습니다. 치타의 조상은 시속 30km로 달렸다면, 치타의 달리기 속력은 왜 빨라졌을까요? 경쟁, 적응(Biological adaptation), 자연선택 개념을 포함시켜서 설명해 보세요)에 대한 답변과 심층 면담을 통해 알아 냈다. 특히, 경쟁과 진화, 적응과 진화와의 관계에 대한 인식은 검사지가 아닌 심층 면담 자료 분석을 통해 알아 냈다.

가. 경쟁과 자연선택의 관계에 대한 인식

이 연구에서 기준으로 삼은 경쟁과 자연선택의 관계에 대한 과학적 설명은 “한 개체군 내에는 유전적 변이를 가진 여러 개체들이 있고 개체마다 적응도가 서로 다르다. 이들이 필요로 하는 자원의 요구량에 비해 자원의 공급량이 적으면 개체군 내에 경쟁이 일어난다. 경쟁이 일어나면 서로 간의 적응도를 낮추게 되는데, 다른 개체에 비해 적응도가 더 높은 개체는 그 환경에 더 적합하여 더 많이 살아 남아 자연선택이 일어난다.”이다. 이 설명을 기준으로 하여 연구에 참가한 예비 생물 교사들이 경쟁과 자연선택의 관계를 생물학적 개념으로 인식하고 있는지 여부를 확인하였다. 경쟁의 핵심 개념은 ‘제한된 자원’, ‘개체 수준’, ‘상호작용’이었고, 각 핵심 개념마다 유형별 대안개념이 나타났으므로, 이를 기준으로 분석한 결과는 다음과 같다.

‘제한된 자원’에 대한 대안개념 유형으로는 ‘생태적 지위’와 ‘의도 또는 목적’ 유형이 있다. ‘생태적 지위’ 대안개념 유형과 관련하여, 예비 생물 교사들은 제한된 자원을 직접 언급하기보다 먹이라는 공통 대상을 두고 경쟁한다고 응답한 경우가 많았다. 개발된 문항에 대해 종내 경쟁과 자연선택으로 설명할 것으로 기대하였지만 종내경쟁도 생태적 지위가 같기 때문으로 생각하거나 종간 경쟁으로만 자연선택을 설명한 경우가 있었다. ‘의도 또는 목적’ 대안개념 유형과 관련하여, 예비 생물 교사들은 자연선택과 경쟁을 연결 지어 설명할 때도 경쟁의 의도나 목적을 서술하기는 하였으나 자연선택을 의도나 목적에 의한 선택이라고 생각하는 경우는 없었다.

‘개체 수준’에 대한 대안개념 유형으로는 ‘개체군이나 종 수준’, ‘개체 수준을 벗어난 경우’가 있었다. 경쟁을 종 수준으로 생각하여 자연선택도 종이 선택되는 것으로 설명한 경우가 있었고, 개체 이하 수준에도 차등적 생존을 적용하여 설명하기도 하였다. 즉, 예비 생물 교사들은 차등적 생존 자체는 쉽게 이해하지만 개체 수준에만 적용된다는 것을 모르는 경우도 있었다.

‘상호작용’에 대한 대안개념 유형으로는 ‘일반적 의미와 동일한

I 수준	II 수준			III 수준
일반적 의미	일반적 의미와 생물학적 의미의 혼재			생물학적 의미
	II-1	II-2	II-3	
	획득형질	유전	자연선택	

Figure 1. Levels of conceptualizing adaptation

서술어, '포식-피식 관계'가 있었다. 예비 생물 교사들이 경쟁의 생물학적 의미를 주로 '싸우다, 다투다'로 정의하였는데, 자연선택과 연결지어 설명할 때는 '싸워서 이기는 것이 선택된다'고 하지 않고, "빠른 치타가 선택된다", "귀가 큰 여우가 선택된다"와 같이 형질 차이로 인한 차등적 생존으로 설명하였다. 심층 면담에서도 경쟁의 생물학적 의미를 '싸우다, 다투다'로 표현하기는 했지만, 직접적으로 싸운다고 인식하지는 않았다. "힘이 세고 강한 개체가 싸워서 이긴다"고 대답한 명을 제외하고, 우월한 쪽이 경쟁에서 이긴다고 응답하였으며, 우월하다는 의미를 형질 차이로 쉽게 받아 들었다. 이에 대한 응답 예시는 다음과 같다.

예비 생물 교사 J : *우월하다는 게 여러 가지 의미가 있는데 공작같은 경우는 더 화려할수록 좋은 암컷을 차지할 수 있니까. 또 초식동물 같은 경우는 육식동물의 위협을 피하기 위해서 남들보다 빨리 달릴 수 있는 근력이 높으면은 우월하다.*

예비 생물 교사 L : *그 환경을 최대한 잘 활용할 수 있게 그런 적응을 갖춘 또 그런 식으로 진화된 개체는 살아남을 거고 그렇지 못한 개체는 죽을 거니까 그런 것까지 포함해서 싸운다고 쓴 거예요.*

'포식-피식 관계' 대안개념 유형과 관련하여, 치타의 속력이 왜 빨라졌는지에 대해 치타끼리의 경쟁에 의한 자연선택이라고 설명하기 보다는 포식자와 피식자 간의 군비 경쟁으로 인한 공진화로 설명하는 경우도 있었다.

나. 적응과 자연선택의 관계에 대한 인식

적응과 자연선택의 관계에 대한 인식을 분석하기 위해 기준으로 삼은 과학적 설명은 "적응은 그것을 지니지 않은 개체군에 비해 지니고 있는 개체군의 적응도를 증가시키는 수세대에 걸친 자연선택에 의해 성립된 형질이며, 그 형질이 성립된 과정 역시 적응이라 한다."이다. 이와 같이 적응은 형질로서의 의미뿐만 아니라 과정으로서의 의미도 포함하고 있기 때문에 자연선택, 진화, 적응을 혼동할 수가 있다. 예비 생물 교사들이 적응과 자연선택의 관계를 생물학적 개념으로 인식하고 있는지, 적응의 대안개념 유형으로 이해하여 자연선택을 잘못 이해하고 있는지 확인하였다. 적응의 핵심 개념은 '개체군 수준', '과정으로서의 의미', '형질로서의 의미'로 크게 나누었고, '형질로서의 의미'를 제외한 각 핵심 개념에 따라 대안개념 유형이 있다. '개체군 수준'에 대한 대안개념 유형으로는 '개체 수준', '종 수준'이 있었고, '과정으로서의 의미'에 대한 대안개념 유형으로는 '일반적 의미와 동일한 서술어', '진화와 동일시', '자연선택과 동일시', '적응도와 동일시' 등 있다. 적응을 진화, 자연선택, 적응도와 동일시 한 경우, 적응을 자연선택과 연결하여 설명할 때 그 대안개념 유형이 그대로 나타났다. 이들은 면담에서 적응, 진화, 자연선택을 구분지어 설명해 달라는 질문에 답을 못하고 혼란스러워 했다.

적응을 진화와 동일하게 생각하고 있는 예비 생물 교사의 응답 예시는 다음과 같았다.

연구자 : *지필검사에서 적응의 정의를 이렇게 적었는데 생각의 변화가 있나요?*

예비 생물 교사 H : *적응이 더 큰 의미인데 여기에서는 진화를 더 큰 의미로 써봤네요. 이걸 아니예요. 진짜.*

연구자 : *다시 정의를 해 본다면요?*

예비 생물 교사 H : *환경에 살아남기 위해. 우와 어렵네. 제가 잘못 배웠나? 적응이 더 큰 건 맞는데. 이때도 되게 헛 같았나 봐요. 적응이란 진화가 뭐가 더 큰 범주에 있는 건지.*

적응을 자연선택과 동일하게 생각하고 있는 예비 생물 교사의 응답 예시는 다음과 같았다.

예비 생물 교사 G : *저는 항상 적응과 진화를 같이 썼잖아요. 맨날 헛갈려 가지고 따따따로 생각을 했어요. 그러니까 (적응을) 자연선택 되는 것. 이렇게 하잖아요. 근데 막상 적응, 진화를 들고 나면은 어떤 게 어디까지가 진화고 적응인지 되게 많이 헛갈려요. 적응하고 진화는 같이 볼 수 밖에 없는 개념이지만은 굳이 이렇게 구별을 해서 보게 된다면 이게 어떤 게 적응이고 어떤 게 진화인지 좀 많이 헛갈렸었어요.*

적응을 적응도와 동일하게 생각하고 있는 예비 생물 교사의 응답 예시는 다음과 같았다.

예비 생물 교사 J : *적응해서 그 개체군이 자연선택이란 적응이 좀 헛갈리는 것 같은. 계속 부딪히는 것 같아서... 그래서 계속 같은 말 쓰게 되는 느낌...*

연구자 : *자연선택이 뭐죠?*

예비 생물 교사 J : *지금 그걸 머릿속에서 헛갈려서... 그 개념이 없어서 계속 부딪히는 것 같은데 계속 적응. 자연선택이 머리 속에서... 생존, 번식, 개체군, 살아남은 개체군. 이런 거(적응)면 또 이거(자연선택)랑 겹치니까 계속 부딪히면서 말이 반복되는 느낌... 정리가 안되는 것 같아요.*

그 밖에 '자연선택과 적응은 관련지을 수 없다'고 응답한 경우도 있었는데, 다음과 같다.

예비 생물 교사 K : *자연선택은 자연적으로 됐다 보는 거죠. 적응은 왠지 그게 제가 맞춰가는 느낌. 좀 자연적인 것 같지는 않아요. 적응은 뭔가 변화해 가는 과정 같고 애(자연선택)는 그냥 그 있는 자체에서 더 많이 살아남고 적게 살아남는.*

예비 생물 교사 K의 경우는 CINS 점수가 만점이었으므로 자연선택에 대한 이해 수준이 높다고 할 수 있는데도 불구하고 적응과 자연선택을 연관시켜 설명하지 못했다. 적응은 '형질로서의 의미'를 가지고 있으며, 형태적 형질뿐만 아니라 생리적, 행동적 형질도 포함이 되므로 '치타의 빠른 달리기 속력'은 형질이자 적응인 것이다. 그러나, 이 연구에 참여한 모든 예비 생물 교사들은 '치타의 빠른 달리기 속력'이라는 형질 자체가 적응이라는 인식을 나타내지 못했다.

Table 9. How to make the orders among competition, natural selection and adaptation during explaining with the three concepts

응답 유형	응답 예시
경쟁-자연선택-적응	· 치타는 초식동물을 사냥하는 포식자인데, 달리기가 빠른 치타가 다른 치타들과 경쟁에서 유리해서 먹이를 더 많이 얻을 수 있었고 이들이 생식적 성공에 유리하여 자손을 많이 남겼다. 이러한 자연선택에 의해 치타 개체군은 먹이를 잡기에 유리한 방향으로 적응하게 되었다.
경쟁-적응-자연선택	· 먹이 경쟁을 하다가 빠른 치타가 먹이를 더 잘 잡고 적응을 잘해서 느린 치타는 도태되어 빠른 치타가 자연선택을 받는다.
적응-경쟁-자연선택	· 초원이라는 탁 트인 공간에서 먹이를 잡기 위해 시속100km로 달릴 수 있도록 치타는 적응하였다. 그 후 초원에서의 치타 조상과 현생 치타와의 경쟁을 통해 현생 치타가 자연선택으로 다수를 차지하게 되었다.
자연선택-적응-경쟁	· 치타의 조상들 중 속력이 빠른 종들 사이에서 교배가 일어나 자연선택되어 속력이 빠른 개체들이 태어났다. 그 결과 환경에 잘 적응하여 경쟁배타의 원리에 의해 먹이를 쉽게 잡을 수 있는 핵심종이 되었다.

다. 경쟁, 자연선택, 적응의 관계에 대한 인식

경쟁과 자연선택, 적응은 서로 연관된 개념이므로 이들을 별개의 사건으로 보고 절대적인 순서를 매길 수는 없다. 그러나 이들의 관계를 과학적으로 설명하기 위해서는 경쟁-자연선택-적응의 순서로 설명해야 논리적이다. 치타의 달리기 속력이 왜 빨라졌는지에 대해 경쟁, 자연선택, 적응의 순서로 과학적 설명을 한다면 “한 치타 개체군 내에는 유전적으로 다양한 치타들이 있었다. 이들 중 달리기 속력이 빠른 치타는 느린 치타에 비해 적응도가 높았으므로 제한된 먹이에 대한 치타들끼리의 경쟁에서 더 많이 살아남아 자연선택 되었을 것이다. 이 과정이 수 세대에 걸쳐 반복되어 이 치타 개체군은 지금과 같이 빠른 달리기 속력이란 적응을 갖게 되었다. 이 치타 개체군의 후손이 지금까지 이어져왔으므로 현존하는 치타들은 달리기 속력이 빠르다. 또한 달리기 속력이 빨라진 과정 역시 적응이라고 할 수 있다.”이다. 치타의 빠른 달리기 속력을 경쟁-자연선택-적응의 순서로 설명한 예비 생물 교사 중 일부는 비록 완전한 개념은 아니지만 적응이 자연선택에 의해 이루어진다고 생각하고 있었다(Table 9).

그 외에 “경쟁 후 자연선택에 의해 살아남은 빠른 치타가 적응을 한다”, “경쟁하다보니 적응하여 빨라진 치타가 자연선택된다”, “빠른 치타가 경쟁에 유리하고 잘 적응하여 자연선택된다”, “적응하여 빨라진 치타가 경쟁에 유리하여 자연선택된다”, “자연선택에 의해 살아남은 빠른 치타가 적응을 잘하여 경쟁에 유리하다”로 이해하는 경우가 있었다. 이 경우는 모두 적응을 생물학적 의미보다는 일반적 의미로 인식하고 있었다. 치타의 달리기 속력이 왜 빨라졌는지 묻는 질문은 적응의 생물학적 메커니즘을 묻기 위한 것이었는데, 이에 대해 예비

생물 교사들은 적응의 생물학적 의미를 일반적 의미로 이해하여, 자연선택보다는 용불용설로 설명하거나 그 과정에 어떤 과학적 설명이 가능한 메커니즘이 있다는 것조차 인식하지 못했다. 경쟁과 자연선택의 관계에 대해서는 “빠른 치타가 살아남는다”고 응답하여, 형질차이로 인한 차등적 생존이라는 과학적 설명을 하고 있었으며 오개념은 나타나지 않았다.

라. 경쟁과 적응 그리고 진화의 관계에 대한 인식

경쟁과 진화의 관계에 대한 과학적 설명인 “진화는 한 개체군 내의 유전자 풀의 변화로 정의된다. 진화는 제한된 자원에 의한 경쟁으로 자연선택이 일어남으로써 이루어지거나, 유전적 부동, 유전자 흐름과 같은 무작위적 과정에 의해서도 일어난다.”를 기준으로 예비 생물 교사들의 경쟁과 진화의 관계에 대한 인식 분석 결과 일부만 “유리한 형질을 가진 개체가 경쟁에서 더 많이 살아남는 과정이 오랜 세월 반복되어 진화가 이루어진다”고 설명함으로써 경쟁과 진화 사이에 차등적 생존에 의한 자연선택을 포함시켜 과학적으로 설명을 했을 뿐, 나머지는 Table 10과 같은 대안개념을 나타냈다.

적응과 진화의 관계에 대한 과학적 설명은 “특정 형질이 성립되어 온 과정은 적응이지만, 그 과정에서 개체군의 유전자풀이 변하므로 진화라고 할 수 있다. 그렇지만 적응은 특정 형질에 대해서 쓰이는 용어인 반면 진화는 그렇지 않다. 또한 진화는 자연선택뿐만 아니라 유전적 부동, 유전자 흐름과 같은 무작위적 과정에 의해서도 일어난다.”이다. 예비 생물 교사들은 적응과 진화의 관계에 대해서는 과학적 설명을 제시하지 못했다. 면담 대상자 중 대부분이 적응이 오랜 세월

Table 10. Examples of the types of alternative conceptions for association between competition and evolution and between adaptation and evolution

구분	응답 유형	응답 예시
경쟁과 진화의 관계	경쟁하고 적응하다 보면 진화가 된다	· 만약에 경쟁에서 쫓겨나는 종이 있다면 개들은 다른 곳에 가서 살아야 되니까 오랜 시간에 걸쳐서 거기서 적응할 것 같고 적응했으면 거기에 또 오랜 시간 걸쳐 맞게 진화할 것 같고요
	경쟁에 이기기 위해 진화 한다	· 진화라는 게 자기가 좀 더 편리한 방법이나 이익을 취득할 수 있는 방법으로 변하는 거잖아요 경쟁에서 이기기 위해서 진화를 한다. 이렇게 생각을 하는 거죠
	경쟁과 진화는 연결지을 수 없다	· 경쟁이라 함은 진화가 일어나는 데 걸린 시간만큼을 적용시킬 수는 없을 것 같아요 비교적 짧은 시간에 결정이 되는건데 진화는 기간이 긴 얘기니까 서로 연결 지을 수 없을 것 같아요
적응과 진화의 관계	적응이 계속되면 진화	· 학교에서는 적응과 진화를 묶어서 배웠잖아요 그래서 적응이 계속 되면은 그게 진화로 이어 진다 이렇게 해서 그게 떠올랐어요
	적응 중 유전가능성 과 진화	· 진화랑 연결 지으려고 한다면은 이 적응을 하게 된 요인이 유전자 내에서의 변화라는 거를 가정을 해야지 진화가 될 수 있는 것 같아요
	진화된 것 중 살아남으면 적응	· 진화는 했는데 환경에 잘 적응을 못한 경우는 없어지는 거고 진화인데 환경에 잘 적응을 하면 살아남고 그런 게 아닐까요?

지속되거나, 적응이 쌓이고 쌓이면 진화가 일어난다고 답했다(Table 10). 이런 설명은 생명과학 I 교과서에서도 쉽게 찾아볼 수 있다. 대부분의 생명과학 I 교과서에는 적응과 진화의 관계가 명시적으로 설명되어 있지 않다. 예비 생물 교사들의 답변처럼 적응이 오래 진행된다 보면 진화가 일어난다는 설명은 있다. 교과서의 이런 불분명한 설명은 학생들의 적응과 진화의 관계에 대한 명확한 개념 형성에 부정적 영향을 미칠 수 있다고 본다.

IV. 결론 및 제언

이 연구의 목적은 경쟁과 적응의 생물학적 의미에 대한 예비 생물 교사의 인식을 조사하는 것이다. 경쟁과 적응의 일반적 의미와 생물학적 의미는 서로 다르므로 이 둘을 구분해서 사용할 필요가 있기 때문이다. 이를 위해 예비 생물 교사들이 경쟁과 적응의 생물학적 의미를 일상생활에서의 의미와 동일하게 이해하고 있는지 지필검사를 통해 확인하였으며, 경쟁과 적응개념을 자연선택, 진화 개념과 관련지어 설명할 수 있는지를 심층 면담을 통해 확인하였다. 이 연구의 결론 및 제언은 다음과 같다.

연구 결과 예비 생물 교사들은 경쟁과 적응의 생물학적 정의 및 경쟁, 적응, 자연선택, 진화의 관계를 명확히 이해하지 못했다. 이는 고등학교 생명과학 I 교과서와 생물학 전공 교재에서 경쟁, 적응, 자연선택, 진화 개념의 정의 및 이들 개념 간 관계가 정확하게 설명되어 있지 않기 때문일 수 있음이 제안되었다. 아울러 진화 교육에서 그동안 큰 관심을 가져오지 않았던 경쟁과 적응 개념에 대한 교수학습의 중요성을 부각시켰다. 또한 적응이란 용어가 순응 및 순화 등의 용어와 차이가 있으나, 예비 생물 교사들은 구분에 어려움을 나타냄을 밝힘으로써 적응, 순응, 순화 등에 대한 생물학적 용어 정리의 필요성도 강조했다.

한편, 예비 생물 교사들은 경쟁과 적응의 생물학적 의미를 일반적 의미처럼 '의도 또는 목적'으로 설명하였다. 생물학적 현상은 의도나 목적이 없음을 특히 강조할 필요가 있다. 경쟁과 적응에 대한 교수학습시 이를 명시적으로 강조할 필요가 나타났다. 또한, 예비 생물 교사들은 경쟁과 자연선택의 관계에 대하여 '개체 수준', 적응과 진화의 관계에 대하여는 '개체군 수준'이라는 것을 명확히 구분하여 이해하고 있지 않았다. 진화에 대한 생물 교사 교육 프로그램 개발 시에는 이 결과가 반영될 필요가 있다.

예비 생물 교사들은 경쟁과 자연선택, 진화를 연결 지어 이해할 수는 있었다. 경쟁의 생물학적 의미를 일반적 의미처럼 "싸우는 것, 다투는 것"으로 이해하고 있더라도 경쟁을 자연선택이나 진화 개념과 관련을 지을 때는 형질 차이로 인한 차등적 생존으로 설명하기도 했다. 그러나, 그들은 적응의 생물학적 의미를 일반적 의미의 적응으로 이해하여 자연선택과 진화를 이해하는 데 어려움이 있었다. 그들은 적응의 생물학적 의미를 "환경에 맞추는 것"이라는 일반적 의미의 적응으로 이해하여 적응이 자연선택에 의해 일어난다는 것을 인식하지 못했고, 적응이 계속되면 진화가 일어난다고 생각하고 있었다.

이 연구는 예비 생물 교사 53명을 통한 결과이므로 이를 일반화하기에 제약이 있을 수는 있다. 많은 후속 연구가 진행되어 본 연구에서 제시한 경쟁과 적응의 생물학적 의미에 대한 대안 개념 유형을 좀 더 정교하게 확인할 필요가 있다. 또한 학교급을 달리한 학생들을

대상으로 한 횡단연구 및 종속연구가 진행되어 본 연구에서 제시한 적응의 개념 형성 수준에 대한 근거가 더 많이 확보되고, 적응의 개념 발달 단계와 개념 형성 수준이 일치하는지 여부도 확인이 되었으면 한다.

국문요약

본 연구는 예비 생물 교사들이 경쟁과 적응의 생물학적 의미를 일상생활에서 쓰이는 의미와 동일하게 이해함으로써 자연선택과 진화를 인식하는데 어려움이 있는지 알아보려고 하였다. 이를 위해 예비 생물 교사 53명을 대상으로 지필검사를 하였고, 13명을 면담하였다. 지필 검사지는 세 종류로 경쟁과 적응의 일반적 의미를 묻는 검사지와 생물학적 의미를 묻는 검사지, 자연선택개념 검사지였다. 면담은 반구조화 면담으로 진행하였다. 자료 분석은 4단계로 진행하였다. 먼저, 예비 생물 교사가 생각하는 경쟁과 적응의 일반적 의미를 국어 사전에 제시된 정의와 비교하였다. 두 번째로, 예비 생물 교사가 생각하는 경쟁과 적응의 생물학적 의미를 생물학적 정의와 비교하였다. 세 번째로, 예비 생물 교사가 생각하는 경쟁과 적응의 일반적 의미와 생물학적 의미를 비교하였다. 이를 바탕으로 생물학적 경쟁과 적응에 대한 예비 생물 교사의 대안개념 유형을 제시하였다. 마지막으로, 이 대안개념 유형이 자연선택과 진화를 설명할 때도 나타나는지 확인하였다. 연구 결과 예비 생물 교사들은 경쟁의 생물학적 의미를 일반적 의미와 혼용하여, 경쟁은 의도 또는 목적을 위해 싸우거나 다투는 것으로 인식하고 있었다. 적응은 개체 수준에서 생물이 살아남기 위해 환경에 맞춘다는 목적론적으로 인식하고 있었다. 즉 적응을 일반적 의미와 혼동하였고, 적응을 진화와 연결지어 설명할 때도 적응을 일반적 의미로 이해하여 적응이 계속되면 진화가 이루어진다고 생각하고 있었다. 이 연구는 그동안 국내 연구자들의 관심을 받지 못했던 경쟁과 적응 개념에 대한 중요성을 부각시키고, 효율적인 진화 교수·학습의 밑바탕이 되는 경쟁과 적응의 선개념 유형을 분석하여 제시했다는 데 의의가 있다.

주제어 : 생물교사교육, 진화, 경쟁, 적응, 자연선택

References

- 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.
- Bishop, B. A. & Anderson, C. W. (1990). Student conceptions of natural selection and its role in evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 415-427.
- Bizzo, N. M. V.(1994). From down house landlord to brazilian high school students: what has happened to evolutionary knowledge on the way. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(5), 537-556.
- Brumby, M. N.(1984). Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students. *Science Education*, 68(4), 493-503.
- Cheng-Wai Yip (2009). Causal and teleological explanations in biology. *Journal of Biological Education*, 43(4), 149-151.
- Choi, J. (2012). *Darwin intelligence: Darwin's wisdom for era of compassion*. Seoul: Science books.
- Cummins, C. L., Demastes S. S. & Hafner, M. S.(1994). Evolution: Biological education's under-researched unifying theme. *Journal for Research in Science Teaching*, 31(5), 445-448.

- Fox, S. I.(2001). Human Physiology.(7th Ed.) (Park, I. *et al.*, Trans.). Seoul: Life Science.
- Furtak, E. M.(2012). Linking a learning progression for natural selection to teachers' enactment of formative assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(9), 1181-1210.
- Freeman, S.(2011). Biological Science.(4th ed.) (Ahn, J. *et al.*, Trans.). Seoul: Life Science Publishing co.
- Futuyma, D. J.(2005). Evolution. (Kim, S. *et al.*, Trans.). Seoul: Life Science Publishing co.
- Iwanami Shoten (1966). Biology Dictionary, Seoul: Academy Book.
- Kampourakis, K. & Zogza, V.(2008). Students' intuitive explanations of the causes of homologies and adaptations. *Science & Education*, 17, 27-47.
- Kampourakis, K.(2013). Teaching about adaptation: Why evolutionary history matters. *Science & Education*, 22, 173-188.
- Kim, J., Suh, K., Jung, Y., Koh, S., Lee, J., Lim, B., Moon, H., Lee, H., Min, B. & Oh, K.(2007). Modern ecology, Seoul: Kyomunsa.
- Kim, Y., Kwon, Y., Kim, Y., Kim, H., Seo, H., Son, y., Chung, Y., Chung, J. & Cha, H.(2012). Theory of life science education, Paju: Freedom academy.
- 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.
- Lee, C., Lee, M. & Lee, K. (2007). Types of the misconception in 'evolution' by secondary school students and their cause. *The Korean Journal of Biological Education*, 35(4), 611-621.
- Mayr, E.(1982). The growth of biological thought: Diversity, evolution and inheritance. Cambridge, MA: Harvard University.
- Mayr, E.(1997). This is biology, Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Moore, R., Mitchell, G., Bally, R., Inglis, M., Day, J. & Jacobs, D.(2002). Undergraduates' understanding of evolution : ascriptions of agency as a problem for student learning. *Journal of Biological Education*, 36(2), 65-71.
- National Institute of Korean Language(2013). Standard Korean language dictionary. National Institute of Korean Language.
- National Research Council(2011). A framework for K-12 science education, Practice, crosscutting concepts and core ideas. Washington D.C.: National Academy Press.
- National Research Council(2012). Next generation science standards. Washington, D.C.: National Academy Press.
- Nehm, R. H. & Reilly, L.(2007). Biology majors' knowledge and misconceptions of natural selection. *BioScience*, 57(3), 263-272.
- Nieswandt, M. & Bellomo, K.(2009). Written extended-response questions as classroom assessment tools for meaningful understanding of evolutionary theory. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(3), 333-356.
- Opfer, J. E., Nehm, R. H. & Ha, M.(2012). Cognitive foundations for science for science assessment design: knowing what students know about evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(6), 744-777.
- Russell, P. J., Hertz, P. E. & McMillan, B.(2008). Biology: The Dynamic Science. (Hong, Y. *et al.*, Trans.). Seoul: Life Science Publishing co.
- Reece, J. B., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V. & Jackson, R. B.(2011). Campbell Biology.(9th ed.) (Chun, S. *et al.*, Trans.). Seoul: BIOSCIENCE.
- Sadava, D., Hillis, D., Heller, C. & Berenbaum M.(2012). Life: the science of biology. (9th ed.) (Kang, H. *et al.*, Trans.). Seoul: Life Science Publishing co.
- Sherwood, L.(2004). Human physiology. (5th ed.) (Kang, Y. *et al.*, Trans.). Seoul: Life Science Publishing co.
- Silverthorn, D. U.(2010). Human physiology.(5th ed.) (Kho, Y. *et al.*, Trans.). Seoul: Life Science Publishing co.
- Smith, T. M. & Smith, R. L.(2009). Ecology.(7th ed.) (Kang, H. *et al.*, Trans.). Seoul: Life Science Publishing co.
- Smith, M. U.(2010). Current status of research in teaching and learning evolution: II. Pedagogical issues. *Science & Education*, 19, 539-571.
- Strickberger, M. W.(2000). Evolution. (Kim, C. *et al.*, Trans.). Seoul: World Science Publishing.
- Starr, C., Evers, C. A. & Star, L.(2011). Biology.(8th ed.) (Lee, K. *et al.*, Trans.). Seoul: Life Science Publishing Co.
- Townsend, C. R., Michael. B. & Harper, J. L.(2002). Essentials of ecology.(2nd ed.) (Kim, J. *et al.*, Trans.). Seoul: Life Science Publishing co.
- van Dijk, E. M. & Reydon, T. A. C.(2010). A conceptual analysis of evolutionary theory for teacher education. *Science & Education*, 19, 655-677.