



중국, 미국, 독일의 생물전공자와 비교한 한국 생물예비교사의 자연선택개념 이해 수준 분석

하민수*
강원대학교

Analyzing Korean Pre-service Biology Teachers' Understanding of the Concept of Natural Selection in Comparison with Chinese, American, and German Biology Majors

Minsu Ha*
Kangwon National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 22 July 2016

Received in revised form

15 September 2016

28 September 2016

Accepted 30 September 2016

Keywords:

international comparison,
natural selection,
pre-service biology teacher,
ecology concept,
genetics concept

ABSTRACT

Natural selection is the core idea of evolution that pre-service biology teachers need to understand to solve diverse biological problem. This study aims to investigate the level of Korean pre-service biology teachers' understanding of natural selection by comparing their knowledge with their Chinese, American, and German biology major undergraduate counterparts. In particular, this study focuses on two conceptual components of natural selection (i.e., ecology and genetics). This study used a total 1226 pre-service biology teachers and biology majors' data. The instrument measuring the understanding of natural selection concepts was Conceptual Inventory of Natural Selection, which consists of ten ecology concept items and ten genetics concept items. The Rasch model analysis, multivariate analysis of variance, and univariate analysis of variance were used for the statistical tests. The result reveals that the level of Korean pre-service biology teachers' understanding of natural selection were similar with Chinese undergraduates' understanding and significantly lower than American and German undergraduates. In the first year student data, the level of genetics concept of Korean pre-service biology teachers were significantly lower than Chinese and German students. In the fourth year student data, the level of ecology concept of Korean pre-service biology teachers were significantly lower than American and German students. Based on these results, the ecology concept education and balanced natural selection concept education are discussed.

1. 서론

진화개념은 과학교육에서 반드시 가르쳐야 되는 핵심개념이지만 학습하기 어려운 개념으로 알려져 왔다(Ha *et al.*, 2012). 이 점은 우리나라의 연구들뿐만 아니라 그리스, 미국, 호주 등 다양한 외국의 학생들의 진화 개념 연구에서도 확인되었다(Brumby, 1984; Ha, 2016a; 2016b; Kampourakis & Zogza, 2008; Meir *et al.*, 2007; Settlege, 1994). 또한 다양한 연구들에서 생물교사들의 진화 개념의 수준 역시 상당히 낮다고 알려졌다. Rutledge & Warden (2000)은 미국의 생물교사들이 70% 정도의 이해 수준을 보였다고 하였으며, Nehm & Schonfeld (2007)은 약 3달 이상의 진화 개념 교육 프로그램을 투입하여도 여전히 절반 이하 수준의 이해를 보였다. 우리나라 역시 Ha & Cha (2007)가 생물교사들의 진화 개념을 조사하였으나 대학생보다 더 낮은 수준의 이해를 보였고, Lee & Cha (2014)는 생물교사들이 진화 지식을 다른 생물개념에 적용하는데 큰 어려움을 보이는 것을 확인하였다. 생물교사들을 위한 진화 개념 프로그램(예를 들어 Kwon & Cha, 2015)을 개발하기 위해서 교사들의 진화 개념의 수준을 명확하게 이해할 필요가 있다. 우리나라 생물교사들, 특히 예비생물교사들의 진화 개념의 수준과 그 특징을 이해하는데 있어서 좋은 방법

중 하나는 국제비교연구일 것이다.

1950년대부터 학생들의 학습성취도에 관한 국제비교연구가 시작되었으나, 1980년대까지 큰 관심을 가지지는 못하였다(Husen, 1996; Organisation for Economic Co-operation and Development, 1992). 하지만 그 이후 교육학자들은 경제력, 교육의 질, 교육과정이나 교육정책 등의 상관관계를 확인하는 연구를 진행하면서 방법론적으로 국제비교연구에 관심을 가지기 시작하였다(National Research Council, 1993). 여러 과목 중에서도 수학과 과학 분야는 한 국가의 경제력과 그에 따른 교육의 질과 상관관계가 높아 국제비교연구에서 관심을 가지는 연구 분야이다. 이와 같은 필요성에 근거하여 다양한 국제협력기구들은 중등학생들을 대상으로 Trends in International Mathematics and Science Study와 Programme for International Student Assessment와 같은 국제성취도비교연구를 수행하고 있다. 이와 같이 우리나라 학생들의 성취도를 다른 국가의 학생들과 비교한다면 우리나라 교육을 개선할 수 있는 다양한 시사점을 얻을 수 있을 것이다.

이 연구에서 관심을 가지고 있는 진화개념, 그 중에서도 자연선택 개념은 생물학의 통합에 중요한 역할을 한다. '생물학(Biology)'라는 용어가 생기기 이전에는 동물학, 식물학 등 생물학이 여러 학문으로

* 교신저자 : 하민수 (msha@kangwon.ac.kr)
<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2016.36.5.0729>

분리되어 있었다. 본격적으로 생물학이라는 용어가 과학책에 널리 등장하기 시작한 것은 약 1850년으로 다윈이 종의 기원을 발표한 이후부터이다. 진화론이 등장하면서 생물학자들은 모든 생물은 유전과 생식 등의 공통의 특성을 공유하고 있으며, 이것을 통해 공동의 조상으로부터 기원했다고 생각하였다. 그래서 당대에 동물학, 식물학, 의학 등으로 다양하게 흩어져 있던 생물학의 영역들이 통합될 수 있었다(Mayr, 1998). 이와 같은 관점에서 진화론에 관한 교육은 진화론의 학문적(의학, 공중보건학, 산업자원관리학 등) 중요성뿐만 아니라 생물학을 통합하여 이해하는데 중요한 역할을 하는 점에 있어 중요하게 고려된다.

앞서 설명한 바와 같이, 우리나라의 학생들의 진화개념수준을 보다 객관적으로 이해하기 위해서 다른 나라의 학생들의 진화 개념 이해와 비교하는 국제비교연구는 효과적인 것이다. 특히 널리 활용되고 있는 타당도가 확보된 검사도구를 통하여 국제비교를 수행할 경우 우리나라 학생들의 진화개념수준을 비교하는데 효율적인 것이다. 안타깝게도 일부 연구에서 우리나라 학생들과 미국의 학생들의 진화개념을 조사한 연구가 있었지만(Ha *et al.*, 2012; Kim & Nehm, 2011), 사용한 진화개념 검사도구가 널리 활용되는 도구는 아니었다. Ha *et al.*(2012)은 네 가지 대안 설명과 자연선택의 과학적 설명을 보기로 하는 선택형 검사도구를 사용하여 한국과 미국의 학생들의 진화 개념을 비교하였다. 이 검사 도구에 우리나라에서 개발되어 영어로 번역되어 사용되어졌으며, 미국 학생들에 대한 타당도는 확인되지 않았다. Kim & Nehm (2011)이 사용한 도구 역시 진화개념의 수준을 확인하기에는 한계가 있는 도구를 사용하였다. 8문항으로 된 Evolution Content Knowledge(ECK)는 리커트 척도로 된 문항으로 진화세부개념을 측정하는 데에는 한계가 있는 도구이다. 진화개념에 관한 국제비교연구가 많이 이루어진 것도 아니며, 일부 이루어졌으나 사용한 검사도구의 한계로 인하여 그 해석이 매우 제한적일 수 있다. 특히 국제비교연구라 하였으나 미국학생들과만 비교하여 다른 국가와의 차이를 확인하지 못하였다. 이런 점에서 이 연구는 6개 사범대학의 예비생물교사의 진화개념, 특히 자연선택개념의 수준을 평가하는 문항의 자료를 중국의 예비생물교사, 미국의 생물전공 대학생, 독일의 예비생물교사들의 자료와 비교함으로써 우리나라 예비들의 진화개념의 수준을 비교 확인하기 위하여 진행되었다.

이 연구에서 주목하고자 하는 것은 다윈의 자연선택개념을 구성하고 있는 두 중심 개념들 간의 차이이다. 자연선택개념은 다양한 개념들을 포함하고 있는 복합개념으로 크게 두 개념영역으로 구성되어 있다. 첫 번째는 생태개념이다. 환경에 제한된 자원이 있을 경우 경쟁이 발생하고, 일부만 살아남는 환경이 되면 생존과 생식에 차별이 생기게 되는 과정들이 생태학적 원리에 근거한다(Nehm & Ha, 2011). 하지만 생태학적 원리만으로 자연선택개념을 설명할 수 없다. 기존의 형질과 다르게 생긴 형질은 최초 어떻게 생겼으며, 어떤 과정을 통해 형질이 다음 세대로 이어질 것인지 이해해야 된다. 이와 같은 개념들은 유전학적 원리에 기초한다. 그래서 자연선택개념을 명확하게 이해하기 위해서는 생태학적 원리(과잉생산, 제한된 자원, 경쟁 등)과 함께 유전학적 원리(돌연변이, 유전성, 집단유전)에 대한 이해가 필요하다. 진화 개념을 잘 이해하지 못하는 이유 중 하나로 추측되어지는 것이 진화 개념을 이해하기 위해서 유전학과 생태학의 주요 개념들을 통합적으로 이해해야 된다고 우리나라의 경우 유전학 중심의 교육과

정으로 생태개념에 대한 이해가 학생들이 부족할 수 있기 때문이다. 우리나라는 오랫동안 유전개념에 비하여 생태개념에 관한 문항을 중등교사 임용고시에서 소홀히 다루었다. 우리나라의 생물교사교육에서 유전학 중심으로 이루어졌다는 것은 그 동안의 선행연구를 통해서 확인할 수 있다. Ahn *et al.*(2014)는 2005년부터 2014년까지 10년간 중등교사임용시험의 생물 교과내용학 문항을 분석한 결과를 보면 이해할 수 있다. 약 10년간 235개의 생물 교과 내용학 문항을 분석한 결과 유전학은 14%, 세포생물학 11%, 분자생물학 18%이고 생태학은 11%이다. 돌연변이와 유전성에 관한 내용이 유전학과 분자생물학 두 영역에서 모두 포함되는 것이기 때문에 이 결과만 보더라도 예비 생물교사 교육과정에서 유전영역이 상대적으로 강조되고 있음을 확인할 수 있다. Kim *et al.*(2016)의 연구에서도 같은 결과를 보여준다. 2009개정교육과정에서 유전학의 비율은 22.5%인 반면 생태학의 비율은 7.4%에 그친다. 중등임용고시 분석에서도 유전학의 출제빈도는 2002-2008년, 2009-2013년, 2014-2015년 모두 가장 많다(2009-2013년은 동물생리와 공동으로 가장 많음). 그에 비해 생태학은 4~5번째 이었다. 이와 같은 현상은 이미 2006년에 Yoo & Kim (2006)의 연구에서 강조된 바이다. Yoo & Kim (2006)이 대학수학능력시험과 임용고시를 분석하면서 생물의 다양성과 환경(생태 단위)이 상대적으로 다른 단원에 비하여 소홀히 다루고 있음을 강조하였다. 특히 임용고시 문항에서는 생명의 연속성(유전 단위)이 가장 많이 출제되고 있다고 강조하고 있다. 2006년부터 생태학에 관한 상대적으로 낮은 관심에 대한 과학교육학자들의 지적이 있었음에도 2016년까지 그런 경향성은 지속되고 있다. 또한 생물교육연구자들의 관심도 유전개념에 더 집중되었는데, 현재까지 출판된 학회지 논문을 검색하면 생물교육(한국생물교육학회 학회지)에서는 유전개념관련 연구는 59편인데 비해, 생태 개념은 19편에 머문다. 한국과학교육학회지에서도 유전개념의 경우 9편, 생태 개념은 2편 밖에 출판되지 않았다. 비록 우리나라 생물교사교육과정에서 생태개념과 유전개념 모두 필수로 교육하고 있으나 유전개념이 상대적으로 강조되어 온 것은 사실인 것으로 보인다. 다른 국가와의 교육과정을 비교해 보면, 정해진 교육과정을 이수하고 교사자격증을 받는 독일의 경우 우리나라와 중국의 교육과정과 비교할 수 있는데, 독일의 예비생물교사 교육과정에는 생물다양성, 생태학, 지속가능한 발전의 세 과목이 필수로 포함되어 있다. 여러 가지 정황을 두고 고려하였을 때 우리나라의 학생들이 다른 나라에 비하여 유전개념에 높은 성취도를 보이고 생태개념에 낮은 성취도를 보일 수 있다. 또한 그렇다면 균형 있고 통합된 진화 개념에 대한 이해는 어려울 수 있다. 그래서 이 연구에서는 가장 널리 활용되고 있는 자연선택개념도구인 Conceptual Inventory of Natural Selection의 20문항에서 생태개념부분(10문항)과 유전개념부분(10문항)으로 구분하여 우리나라, 중국, 미국, 독일과 비교하고자 한다. 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

1. 우리나라 예비생물교사들의 자연선택개념의 수준은 다른 나라의 예비생물교사(또는 전공자)와 비교하였을 때 어떠한가?
2. 자연선택개념에서 생태개념과 유전개념 부분으로 구분하여 다른 나라의 예비교사와 어떤 차이가 나타나는가?

II. 연구방법

1. 분석 자료

이 연구는 1226명의 예비생물교사와 생물전공자(이하 학생)의 자료를 활용하여 분석하였다. 한국, 중국, 독일의 경우 예비생물교사의 교육과정이 사범대학에 입학하여 학년별로 정해진 교육과정을 이수하는 Cohort로 운영되는 반면 이 연구에서 자료를 수집하는 미국의 대학의 경우는 예비교사를 위한 대학원 과정을 운영한다. 그래서 한국, 중국, 독일의 경우 예비생물교사라 칭할 수 있지만 미국의 경우는 그렇지 않다.

Table 1. The number of participants in each country

	Year 1		Year 2		Year 3		Year 4		Total
	n	%	n	%	n	%	n	%	
Korea	100	26.6	70	18.6	74	19.7	132	35.1	376
China	118	27.3	106	24.5	109	25.2	99	22.9	432
USA	93	42.3	80	36.4	-	-	47	21.4	220
German	45	22.7	57	28.8	47	23.7	49	24.7	198
Total	356	29.0	313	25.5	230	18.8	327	26.7	1226

각 국가별로 참여자의 수는 Table 1에 제시되어 있다. 우리나라에서 수집된 자료는 전국의 6개 사범대학의 376명의 생물예비교사로부터이다. 중국은 두 개 사범대학 학생 432명의 자료를 활용하였다. 우리나라의 경우 사범대학간 입학점수의 차이가 크지 않는 반면 중국자료의 경우 입학점수의 차이가 있다. 두 개 사범대학에서 한 개 대학은 중국의 최상위권 대학인 반면 다른 대학은 상위 20%정도의 학생들이 입학하는 지방의 사범대학이다. 두 대학에 참여자 수가 거의 동등하기 때문에 평균적으로는 상위 10% 정도의 학생의 수준이라고 이해할 수 있다. 미국의 자료는 한 주립대의 생물전공 220명의 자료를 활용하였다. 한국, 중국, 독일과 같이 Cohort로 미국의 대학은 자신이 스스로 전공을 정하면서 과목을 선택하는 방식이기 때문에 각 학년에 대한 이해가 필요하다. 미국의 1학년은 일반생물학의 첫 강의를 개설된 반에서 수집된 자료를 사용하였다. 그래서 자료 수집 시점이 한국, 중국, 독일의 1학년과 같다. 미국의 2학년 자료는 일반생물학을 이수하고 그 다음 단계의 생물학 수업이 개설된 반에서 수집되었다. 한국, 중국, 독일의 3학년에 해당하는 미국 자료는 수집을 하지 못하였다. 4학년은 생물학 전공자들을 위한 마지막 학년들로 고급생물학 과목이 개설된 반에서 수집되었다. 독일의 경우 12개의 사범대학 캠퍼스(사범대학 지방 캠퍼스 포함)에서 수집된 자료를 활용하였다. 이 연구에서 사용한 자료들은 전부 학기가 시작하는 시점에서 수집된 자료들이다. 한국과 중국은 연구를 위하여 특별히 수집된 자료들이며, 미국과 독일 자료는 연구뿐만 아니라 수업 전 학생들의 진화개념의 수준을 진단하기 위하여 각 대학에서 수집한 자료를 허락 하에 사용하였다.

중국의 생물예비교사 교육과정은 우리나라와 유사하나 일부 차이가 있다. 2학년 동물학과 식물학, 3학년에는 유전학, 생태학, 미생물학 등, 4학년은 실습 중심으로 생물학 전공과목이 없다. 독일 예비생물교사 교육과정 역시 우리나라와 유사하다. 사범대학 학생들은 교과 내용학, 교과 교육학 및 교육학의 수업을 4년간(일부 3.5년 또는 5년

졸업도 있음) 수강한다(Großschedl *et al.*, 2015). 독일은 16개의 연방주(state)를 가지고 있으며 각 주마다 교사교육프로그램이 다르다. 따라서 일반적인 교육과정을 명시적으로 제시하기는 힘들다. 하지만 미국처럼 표준안은 제시되어 있다. 일반적인 과목을 가르치는 중등1교사와 심화된 과목을 가르치는 중등2교사로 구분되는데, 중등1교사는 세포 생물학, 식물과 동물 형태 및 생리학, 유전학, 분자 및 발달 생물학, 진화와 생물 다양성, 생태학, 생물 지리학과 자연의 지속 가능한 이용에 관한 학문, 인간 생물학이 필수과목이다. 중등2과목은 미생물학과 면역학이 추가된다. 한국과 중국과 달리 진화, 생물다양성, 생태학, 지속가능한 발전에 관한 학문 등이 필수과목으로 개설되어 있다. 한국, 중국, 미국, 독일의 국가마다 진화개념에 대한 전공과목개설이나 학년별 교육과정의 차이는 일부 존재하며, 그것은 이 연구의 제한점으로 고려될 수 있다.

2. 검사 도구

이 연구에서 사용한 검사도구는 진화개념, 특히 자연선택개념의 10개 개념요소별로 문항을 개발한 Conceptual Inventory of Natural Selection(이하 CINS)이다. Anderson *et al.*(2002)은 대학생들의 자연선택개념의 수준을 측정하고자 자연선택개념을 10개의 주요 개념으로 구분하고 각 개념별로 2개 문항씩 개발하였다. 10개 세부개념은 생태개념과 유전개념으로 크게 구분될 수 있는데, 차별적 생존/생식, 과잉 생산, 집단의 안정성, 제한된 자원, 제한된 생존은 생태 개념의 문항이며, 변이의 기원, 변이의 유전성, 집단 내 변이, 종의 기원, 집단의 유전자 변화는 유전개념의 문항이다. Anderson *et al.*(2002)의 논문의 부록에는 검사도구가 포함되어 있다. 원문에 포함된 검사문항의 문항번호는 Table 2에 제시되어 있다. 이 연구의 결과에는 각 문항별 학생들의 능력치가 각 국가별로 제시되어 있는데, 우리나라 학생들이 유독 낮은 정당률을 보이는 문항을 확인하고 싶다면 해당 문항의 번호를 Table 2에 있는 원문의 번호와 대조하여 문항의 내용을 확인할 수 있다.

이 연구의 분석을 위해서 먼저 20개 문항이 자연선택개념문항의 단일 차원으로 분석하는 것과 생태와 유전개념의 2 차원으로 분석하는 것 중 어느 분석이 더 타당한지 이분문항 라쉬 분석(dichotomous Rasch analysis)에서 Final Deviance와 Akaike Information Criterion(AIC)을 비교하였다(Neumann *et al.*, 2011). 1차원의 경우 Final Deviance가 28822, AIC가 28864인 반면 2차원의 경우에는 Final Deviance가 28568, AIC가 28614으로 그 값이 상대적으로 낮은 2차원 분석이 더 타당한 것으로 확인되었다. 최종적으로 2차원 이분문항 라쉬 분석의 결과를 활용하였다. Separation Reliability는 0.992 이며 생태개념문항의 EAP/PV Reliability는 0.644, 유전개념의 EAP/PV Reliability는 0.746이었다. 내적일관성신뢰도(Cronbach alpha)는 생태문항이 0.581, 유전문항이 0.745이었다. 라쉬분석에서 확인한 문항적합도(MNSQ)는 Wright & Linacre (1994)가 제시한 선택형이면서 고부담이 아닌 평가(형성 및 진단평가)의 경우에 적용하는 0.7-1.3기준을 활용하여 보면 유전 5번 문항(1.4)을 제외하고 모든 문항이 기준에 만족하고 있었다(Table 2). 유전 5번 문항의 경우 기준인 1.3을 크게 벗어나지 않으며, 내적일관성 신뢰도에 기여하고 있기 때문에 연구에 활용할 수 있다고 판단된다. 그래서 모든 문항을 토대로 분석하였다.

Table 2. Estimate, Unweighted and weighted MNSQ of items from Rasch analysis

Ecology Concept Item					Genetics Concept Item				
Item #	CINS item #	ESTIMATE	Unweighted MNSQ	Weighted MNSQ	Item #	CINS item #	ESTIMATE	Unweighted MNSQ	Weighted MNSQ
E1	P1	0.78	1.08	1.07	G1	P4	0.78	1.00	0.98
E2	P2	-0.39	0.93	0.96	G2	P6	0.08	0.92	0.95
E3	P3	-1.53	0.94	0.96	G3	P7	-0.41	0.97	0.98
E4	P5	-0.50	0.91	0.95	G4	P8	0.45	1.04	1.02
E5	P10	0.43	1.00	1.01	G5	P9	0.75	1.40	1.27
E6	P11	0.68	1.05	1.05	G6	P13	0.14	0.98	0.98
E7	P12	0.13	1.07	1.05	G7	P16	-1.87	1.06	1.02
E8	P14	-0.40	1.00	0.99	G8	P17	0.12	1.07	1.05
E9	P15	0.17	0.92	0.93	G9	P19	-0.01	0.80	0.85
E10	P18	0.63	1.05	1.05	G10	P20	-0.04	0.93	0.94

3. 분석 방법

학생들의 생태와 유전개념별 점수를 국가별로 학년별로 분석하기 위하여 이분문항 라쉬 분석의 결과물인 Wright Map을 제시하였다. 생태와 유전 개념별 라쉬점수는 두 점수를 종속변인으로 하는 다변량 이원분산분석을 통해 국가간, 학년간의 차이를 확인하였다. 다변량이 원분산분석에서 효과크기는 Partial Eta Squared(이하 PES)로 제시하였다. 문항별 개념점수를 국가별로 비교하기 위하여 선택형 평가의 관찰값(0점과 1점) 대신에 라쉬 분석의 기댓값(expected response value)을 사용하였다. 이 점수는 학생들의 능력과 문항의 곤란도를 바탕으로 각 문항별로 학생들의 능력치를 비율척도화 한 것이다. 이 값을 토대로 내적일관성 신뢰도를 확인하면 1에 가까운 값이 생성된다. 이 값은 비율척도이므로 F검정과 같은 모수검정을 실시할 수 있다. 이 연구에서는 1학년과 4학년 학생들의 자료만 선별적으로 국가별로 각

문항의 기댓값(expected response value)의 점수를 일변량 분산분석을 통해 비교하였다. 2차원 이분문항 라쉬 분석은 ConQuest4.5.0, 라쉬 분석의 기댓값은 WINSTEPS 3.68.2를 사용하였고, 그 외 통계분석은 SPSS 22버전을 사용하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 라쉬 모델 분석 결과

학생들의 생태와 유전개념별 점수를 국가별로 학년별로 분석하기 위하여 이분문항 라쉬 분석의 Wright Map을 확인하였다(Figure 1). Figure 1을 보면 생태개념 문항과 유전개념 문항의 문항 난이도(오른 쪽 패널)와 평가개념에 따라 국가별로 학생들의 분포를 보여주고 있다. 학생들의 분포가 가장 많은 곳을 살펴보면 생태 개념의 경우 우리나라

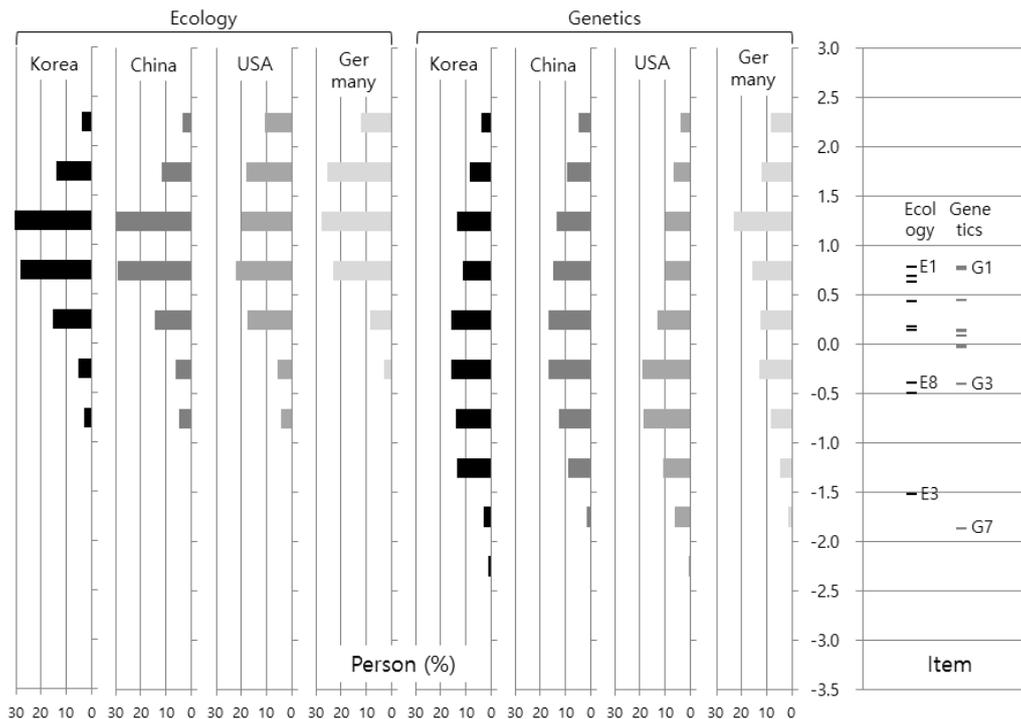


Figure 1. Wright map of 2-dimensional dichotomous Rasch analysis

학생들의 분포는 중국과 유사하였다. 미국학생의 경우에는 우리나라 학생들에 비하여 높은 수준에 많이 분포하였다. 독일학생의 경우 네 국가 중에서 가장 높은 능력범위에 학생들이 분포하고 있음을 확인할 수 있다. 유전개념의 경우에는 학생들의 분포가 좀 더 넓다. 우리나라 학생들 보다 중국의 학생들의 분포가 더 높은 능력 범위에 분포하고 있다. 미국학생들의 경우에는 우리나라와 비슷하였다. 독일학생의 경우 생태개념문항에서 보여준 것과 같이 가장 높은 수준을 보였다.

Figure 2는 학생들의 능력치를 의미하는 EAP/PV값의 각 학년별, 국가별 평균을 그래프로 나타낸 것이다. 통계분석은 다변량이원분산 분석을 사용하였다. 생태개념과 유전개념의 EAP/PV값을 종속변인으로, 학년과 국가를 범주형독립변인으로 입력하여 통계분석하였다. 생태개념의 평균값을 확인하면 우리나라의 1학년이 0.720, 2학년이 0.755, 3학년이 1.061, 4학년 1.046이었다. 중국학생은 1학년이 0.926, 2학년이 0.852, 3학년이 0.901, 4학년이 0.763으로 4학년으로 갈수록 생태개념이 낮아지는 경향성을 보였다. 미국학생의 경우 1학년이 0.655, 2학년이 1.086, 4학년이 1.340으로 1학년에서는 우리나라와 비슷하다 4학년의 경우 상당히 높은 수준의 생태개념을 보이고 있다. 독일학생의 경우 1학년이 1.126, 2학년이 1.081, 3학년이 1.447, 4학년이 1.446으로 학년간 변화하는 경향성은 우리나라와 매우 비슷하나 그 수치는 우리나라 학생들에 비하여 유의미하게 높았다.

2. 학년별 진화 개념 점수의 차이

유전개념을 확인하면 한국학생들의 평균값은 1학년이 -0.263, 2학년이 -0.040, 3학년이 0.341, 4학년이 0.426이었다. 중국학생들은 1학년의 경우 우리나라 학생들에 비하여 월등히 높았으나 학년이 증가하여도 변화가 없어 4학년에는 비슷한 수치이다. 중국학생들의 평균은 1학년이 0.455, 2학년이 0.275, 3학년이 0.227, 4학년이 0.250이었다. 미국학생들은 우리나라 학생들과 큰 차이가 없었다. 1학년이 -0.429, 2학년이 0.176, 4학년이 0.689이었다. 독일의 경우 1학년이 0.547, 2학년이 0.453, 3학년이 0.777, 4학년이 0.930으로 생태개념과 마찬가지로 가장 높은 수준이었으며, 학년간 점수 변화 과정 역시 우리나라와 유사하였다. 다변량이원분산분석 결과는 학년($F=[6,2420]=8.464, p=0.000, PES=0.021$), 국가($F=[6,2420]=21.705, p=0.000, PES=0.051$), 복합효과($F=[16,2420]=3.800, p=0.000, PES=0.025$) 모두 유의미하였다. 각 개념별로 보면 생태개념의 경우 학년($F=[3, 1211]=12.877, p=0.000, PES=0.031$), 국가($F=[3,1211]=20.604, p=0.000, PES=0.049$), 복합효과($F=[8, 1211]=5.817, p=0.000, PES=0.037$) 모두 유의미하였다. 유전개념의 경우 학년($F=[3,1211]=12.395, p=0.000, PES=0.030$), 국가($F=[3, 1211]=13.565, p=0.000, PES=0.033$), 복합효과($F=[8,1211]=6.045, p=0.000, PES=0.038$) 모두 유의미하였다. 효과크기(partial eta squared)를 비교해 보면 생태개념에서 국가간 효과크기의 차이가 가장 높았다($PES=0.049$).

한국, 중국, 미국, 독일의 생물예비교사 교육과정이나 생물전공자의 교육과정은 많이 다를 수 있다. 그래서 4년에 걸친 횡단적인 비교는 해석에 많은 제약이 따른다. 그래서 이번 분석에는 생물교육과정을 막 시작한 1학년과 대부분의 과정, 특히 이 연구에서 주목하는 유전과 생태 단원을 모두 마친 4학년을 따로 분리하여 비교하였다. Figure 3은 네 국가의 1학년 학생들의 생태개념문항(E₁~E₁₀)과 유

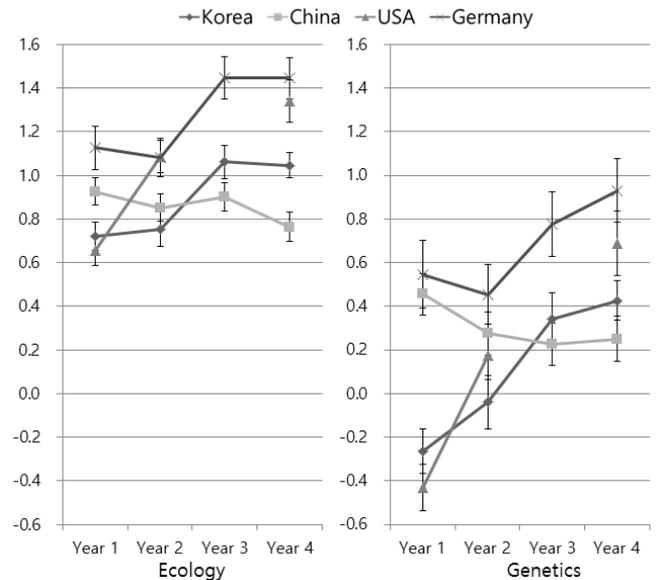


Figure 2. The change of Rasch measures across academic year

전개념문항(G₁~G₁₀) 점수(Expected response value)의 평균과 분산분석의 결과(F value, significant level, partial eta squared)를 나타낸 결과이다. Figure 4는 4학년 학생들을 대상으로 동일한 방법으로 만들어진 결과이다. 먼저 Figure 3을 보면, 생태개념의 점수에서는 네 국가에서 유의미한 차이가 거의 나타나지 않는다. 독일 학생들이 전체 문항에서 고르게 높은 점수를 보이나 분산분석에서 네 국가의 학생들의 유의미한 차이를 보여주는 문항은 없다. 반면에 Figure 3의 아래에 있는 유전개념문항을 살펴보면 한국과 미국의 학생들이 상당히 낮은 유전개념점수를 보이고 있음을 확인할 수 있다. 한국과 중국의 1학년 학생들의 유전개념 점수의 차이가 상당히 두드러진다. 10개 전 문항에서 한국의 학생들이 중국의 같은 학년 학생에 비하여 유전개념 점수가 유의미하게 낮음을 확인할 수 있다.

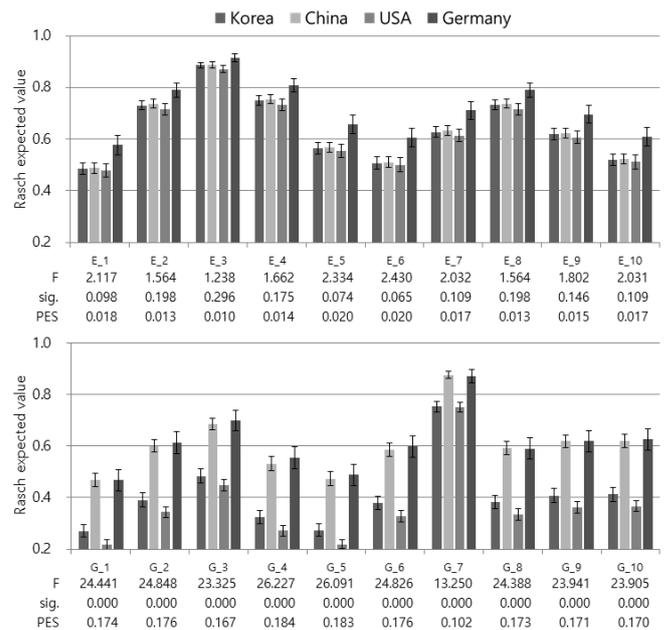


Figure 3. The averages of expected response values of 20 CINS items in first year students' data

Figure 4을 보면 그 상황이 Figure 3과 반대이다. 생태개념의 점수에서는 네 국가에서 유의미한 차이가 10개 전 문항에서 나타난다. 중국의 4학년 학생들의 생태개념점수는 가장 낮으며 그 다음이 한국 학생이다. 가장 높은 수준의 생태개념을 보인 국가는 독일이다. 한국 학생은 10개 문항 중에서 7개 문항에서 미국의 4학년 학생들에 비해서도 낮은 수준의 생태개념을 보이고 있다. 반면에 Figure 4의 아래에 있는 유전개념문항을 살펴보면 여전히 독일 학생이 가장 높은 수준을 보이지만, 한국, 중국, 미국 학생들의 점수 차이가 1학년과 비하여 상당히 좁혀졌음을 확인할 수 있다. 두 문항(G_9, G_10)을 제외하고 분산분석에서 유의미한 차이를 보이는 문항은 없다.

Figure 3과 4를 종합하여 설명하면, 한국의 학생들은 예비교사교육 과정에 입학할 당시 다른 국가(중국과 독일)에 비하여 유전개념 수준이 유의미하게 낮다. 하지만 그 차이는 4학년에서는 나타나지 않는다. 본 연구가 종단연구가 아닌 횡단연구이므로 1학년과 4학년을 동일집단이라고 할 수는 없다. 하지만 자료의 수 등을 고려하여 두 집단의 동질성을 가정하여 조심스럽게 해석하면 교사교육 동안 유전에 대한 개념의 이해수준은 1학년 때 다른 국가와 비교하여 생겨난 차이가 많이 줄어든 것으로 이해된다. 반면에 1학년에서는 나타나지 않던 생태개념의 점수의 차이는 4학년에서는 유의미한 수준으로 차이가 나타나고 있다. 우리나라 예비생물교사 4학년 학생들은 중국의 학생들에 비하여 생태개념수준은 높으나 미국과 독일의 학생들에 비하여 생태개념 수준은 유의미하게 낮다.

3. 우리나라 학생들이 상대적으로 어려워하는 문항

Table 3는 한국학생들이 유독 낮은 수준의 점수를 보인 문항을 선별하여 제시한 것이다. 생태개념의 경우 두 문항 모두 이상적 상황

에서 집단의 변화를 이해하는 문항이다. 생태계에서 먹이와 포식자 등 생존에 이상적 상황에 노출될 경우 집단의 크기는 무한정으로 성장할 수 있다. 가장 많은 오답을 보이는 문항은 생물이 의도적으로 자신의 집단을 조절할 수 있다는 인간중심적 사고에서 오는 오개념이다(Nehm & Ha, 2011; Opfer *et al.*, 2012). 우리나라 생물예비교사는 이와 같은 오개념을 미국과 독일의 학생들에 비하여 많이 보이고 있는 것이다. 유전개념에서는 새로운 종은 어떤 과정을 통해서 생기는 지에 대해 묻는 문항이다. 정답은 우연적으로 발생한 돌연변이가 포

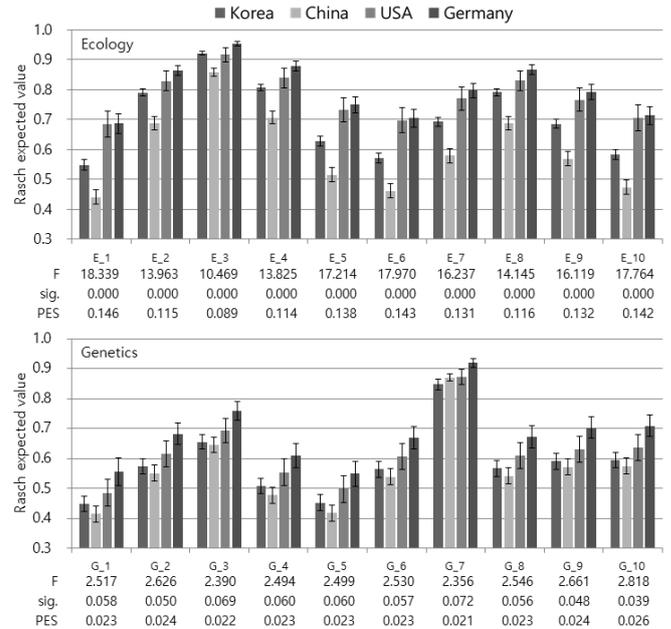


Figure 4. The averages of expected response values of 20 CINS items in fourth year students' data

Table 3. CINS items showing lowest Korean students' scores compared to students in other countries (Anderson *et al.*, 2002)

Item #	Questions	Answers
Ecology concept items	E_1. What would happen if a breeding pair of finches was placed on an island under ideal conditions with no predators and unlimited food so that all individuals survived? Given enough time:	A. the finch population would stay small because birds only have enough babies to replace themselves. B. the finch population would double and then stay relatively stable. C. the finch population would increase dramatically. (correct) D. the finch population would grow slowly and then level off.
	E_6. Assuming ideal conditions with abundant food and space and no predators, what would happen if a pair of guppies was placed in a large pond?	A. The guppy population would grow slowly, as guppies would have only the number of babies that are needed to replenish the population. B. The guppy population would grow slowly at first then would grow rapidly, and thousands of guppies would fill the pond. (correct) C. The guppy population would never become very large, because only organisms such as insects and bacteria reproduce in that manner. D. The guppy population would continue to grow slowly over time.
Genetics concept items	G_10. What could cause one species to change into three species over time?	A. Groups of lizards encountered different island environments so the lizards needed to become new species with different traits in order to survive. B. Groups of lizards must have been geographically isolated from other groups and random genetic changes must have accumulated in these lizard populations over time. (correct) C. There may be minor variations, but all lizards are essentially alike and all are members of a single species. D. In order to survive, different groups of lizards needed to adapt to the different islands, and so all organisms in each group gradually evolved to become a new lizard species.
	G_9. According to the theory of natural selection, where did the variations in body size in the three species of lizards most likely come from?	A. The lizards needed to change in order to survive, so beneficial new traits developed. B. The lizards wanted to become different in size, so beneficial new traits gradually appeared in the population. C. Random genetic changes and sexual recombination both created new variations. (correct) D. The island environment caused genetic changes in the lizards.

함된 응답이다. 학생들이 잘못 이해하고 있는 것이 이와 같은 돌연변이는 필요에 의하여 생길 수 있다는 믿음, 즉 목적론적 설명이다 (Nehm & Ha, 2011; Opfer *et al.*, 2012). Nehm & Ha (2011)와 Opfer *et al.*(2012)의 연구를 보면 의도(intentionality)와 목적론적 사고(teleology) 모두 과학적 진화 개념을 대체하는 오개념이다. 목적론적 설명에 비하여 의도적 설명의 과학적 문제점에 대한 학생들의 이해는 낮을 것으로 추측된다. 생물전공 임용고시를 준비하는 예비교사들의 주요 교재들(Cho *et al.*, 2014; Kim *et al.*, 2012)에서도 목적론적 설명은 진화개념과 관련된 대표 오개념으로 소개되어 있지만 의도에 관한 오개념은 소개가 없다. 환경과의 상호작용에서 다른 동물들도 인간과 같이 의도적으로 생물학적 현상(예를 들어 출산)을 조절할 수 있을 것이라는 오개념에 대한 이해가 부족한 것이 생태개념에 대한 낮은 이해의 원인 중 하나일 수 있다.

4. 논의

이상의 연구 결과를 바탕으로 논의하면 다음과 같다. 먼저 첫 번째 연구문제인 우리나라 예비생물교사들의 진화개념의 수준과 다른 나라 학생들과의 비교이다. 우리나라 학생들은 학년간 점수 변화가 생태개념과 유전개념 모두에서 나타난다. 반면에 중국의 학생들의 자연선택개념의 변화는 학년이 변화하더라도 변화가 없다. 비록 통계적으로는 유의미하지 않지만 점수가 약간 떨어지는 경향성을 보인다. 따라서 저학년의 경우에는 우리나라 학생들이 중국의 학생들에게 비하여 자연선택개념이 낮은 반면 고학년의 경우는 그 반대이므로 평균적으로는 비슷하다. 미국과 독일의 학생들은 우리나라 학생들의 진화개념에 비하여 상당히 높다. 미국의 경우 1학년에서는 우리나라 학생들과 큰 차이가 없는 반면 4학년의 경우 상대적으로 더 높다. 독일의 경우에는 1학년에서 4학년 모두 우리나라 학생들에 비하여 유의미하게 더 높다. 전체적으로 보았을 때 우리나라의 진화 개념의 수준은 미국과 독일의 학생들에 비하여 상대적으로 훨씬 낮다.

이 결과와 국가간 비교연구(PISA)의 연구 결과를 비교해야 된다. PISA의 국제비교연구를 보면 우리나라 학생들의 과학성취도는 미국과 독일에 비하여 월등히 높다(Organisation for Economic Co-operation and Development, 2012). 국가간 성취도 비교 연구 중 중국 학생들이 참여한 PISA 2009의 자료를 살펴보면 중국 상하이 학생의 경우 과학 점수가 575점으로 가장 높았고, 한국이 538점이었다. 미국이 502점, 독일은 520점이었다. 물론 PISA 2009에 참여한 중국학생은 상하이 지역 학생으로 이 연구에서 자료를 수집한 중국의 지역과는 다르다는 점을 명심해야 된다. 하지만 전체적인 경향성을 놓고 따졌을 때 일반적인 과학능력에 비하여 자연선택개념은 한국과 중국 학생 모두 미국과 독일학생들에 비하여 상대적으로 낮다고 할 수 있다.

그렇다면 이와 같이 일반적인 과학점수(PISA 점수)에 비하여 자연선택개념의 점수가 한국과 중국의 학생들이 낮은 이유는 무엇인가? 그 이유는 두 번째 연구문제의 답에서 확인할 수 있다. 두 번째 연구문제는 진화개념에서 생태와 유전 부분에 대한 차이이다. Figure 4에서 확인할 수 있듯이 생태개념에서 한국과 중국 학생들의 수준이 미국과 독일에 비하여 상당히 낮음을 확인할 수 있다. 유전개념의 경우 유의미한 차이가 거의 없는 반면 생태개념에서는 상당히 낮다. 우리나라와 중국학생들의 자연선택개념에 대한 이해 수준이 미국과 독일에

비하여 상당히 낮은 이유는 생태개념에 대한 이해가 부족하기 때문이다. 특이한 점은 중국학생들이 우리나라 학생들에 비하여 저학년(1학년, Figure 3)의 경우에는 유전개념이 상당히 높으나 고학년(4학년, Figure 4)의 경우에는 생태개념이 상당히 낮아 평균적으로 비슷한 점수 수준을 보이고 있다. 예비생물 교사교육과정이나 생물전공과정을 거의 마친 4학년은 실질적으로 해당 국가의 대학교육의 수준을 비교하기에 적합하다는 점에서 4학년의 자료를 놓고 보았을 때 우리나라는 유전개념에 대해서는 미국과 독일과 대등하나 생태개념에서는 많은 문항에서 유의미하게 낮은 점수를 보인다. 이와 같은 결과는 서론에서 언급한 바와 같이 우리나라 예비생물교사들을 대상으로 생태교육이 상대적으로 적게 이루어지고 있으며, 임용고시에서도 다른 생물개념에 비하여 상대적으로 낮게 출제되고 있는 과정과 관련이 있다고 이해할 수 있다. 서론에서 확인한 Ahn *et al.*(2014)의 연구, Kim *et al.*(2016)의 연구, Yoo, Kim (2006)의 연구에서 일관성이 있게 생태개념에 대한 교육이 유전개념에 비하여 낮음을 강조되어 왔다. 상대적으로 출제빈도가 낮다는 것은 유전개념에 비하여 생태개념이 학생들이 배워야 할 개념으로 덜 중요하다고 이해할 수 있다. 최근 전 지구적인 지속가능한 발전을 위한 교육에서 생태개념의 이해가 중요하게 고려되고 있다(Bogner, 1998). 특히 우리나라는 지속적인 경제성장을 이루고 있으며 지속가능한 발전에 국가적 관심이 높아지고 있기 때문에 우리나라 학생들의 생태개념의 이해를 높일 수 있는 다양한 논의가 이어져야 할 것이다.

IV. 결론 및 제언

이 연구는 우리나라 예비생물교사들의 자연선택개념의 수준은 다른 나라의 예비생물교사(또는 전공자)와 비교하였을 때 어떠한지 알아보기 위하여 진행되었다. 특히 생태와 유전개념으로 구분하여 개념 발달은 어떻게 이루어지고 있는지 확인하였다. 이 연구 결과 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다. 먼저 우리나라 예비생물교사들의 자연선택개념의 수준은 중국과 비슷하고 미국의 생물전공대학생, 독일의 예비생물교사들에 비하여 상대적으로 낮았다. 진화 개념, 특히 자연선택개념이 생물학의 다양한 문제들을 해결하는데 필요하며, 생물학을 통합적으로 이해하는데 중심이 될 수 있다. 우리나라 중등학생들의 미국과 독일의 학생들보다 국제성취도 비교평가연구에서 과학성취도가 더 높다는 점을 근거로 하였을 때 예비생물교사들의 자연선택개념의 이해를 낮다는 것은 자연선택개념교육이 상당히 많이 부족하다고 이해할 수 있다.

두 번째 우리나라의 예비생물교사 교육 초기(1학년)에는 중국과 독일에 비하여 유전개념이 부족한 반면, 학년이 올라가면서 유전개념의 차이보다 생태개념의 수준이 미국과 독일 학생들과 유의미하게 차이가 나고 있다. 이와 같은 결과는 생물교사 임용고시에서 생태개념에 대한 빈도가 유전개념이나 다른 개념에 비하여 상대적으로 낮았다는 선행연구들의 결과와 관계가 있을 것이라고 조심스럽게 판단해 본다. 생태개념에 대한 교육의 부재는 자연선택개념 속에 포함된 생태개념에 이해에도 영향을 미치며 궁극적으로 학생들의 자연선택개념 이해의 부재로 이어지고 있다.

결론을 바탕으로 제언을 하고자 한다. 예비생물교사들의 진화개념을 향상시키기 위해서 생태개념에 대한 교육을 더욱 강화해야 된다.

자연선택이론을 적용하여 해결해야 되는 중요한 생물학적 문제들은 대부분 생태개념과 관련이 있다. 새로운 형질이 출현하고 유전되는 것 역시 진화개념에서 중요한 부분이지만 그것은 생물학적 문제를 해결하는데 있어서는 큰 도움이 되지 않는다. 예를 들어서 인간이 큰 생선을 선호하여 작은 물고기가 선택되어 오랜 시간 동안 물고기의 크기가 줄어들고 있는 문제를 생물학자들이 인식했다고 하자 (Olsen *et al.*, 2004). 생물학자들이 물고기의 성장과 관련된 유전자를 인위적으로 통제할 수는 없다. 대신에 큰 물고기에 비하여 작은 물고기가 가지는 생태적 이점을 변화시켜야 되는 것이다. 슈퍼박테리아가 창궐하는 과정에서 우리는 유전적인 방법으로 슈퍼박테리아의 출현을 막을 수는 없다. 오히려 다양한 균들의 생태적인 관리를 통하여 슈퍼박테리아가 창궐할 수 없도록 그 환경을 조성하는 것이다. 의학, 공중보건, 농·수산 자원관리 등 진화론을 통하여 우리 삶의 다양한 문제를 해결할 수 있을 것이다. 그러기 위해서 특히 생태개념에 대한 이해는 필수이다.

또한 서론에서 언급한 바와 같이 우리나라 학생들이 과학개념의 이해 수준을 확인하기 위하여 다양한 국제 비교 연구를 수행할 필요가 있을 것이다. PISA나 TIMSS와 같은 국제성취도비교연구에서 우리나라 학생들이 우수한 성적을 거두고 있다고 하여 우리나라 학생들이 과학전반에 걸쳐 우수한 능력을 가지고 있다고 단정 할 수 없다. 이 연구에서 보여준 바와 같이 우리나라 학생들의 자연선택개념은 다른 국가들에 비하여 유의미하게 낮았다. 본 연구와 같이 중등학생이 아닌 대학생이나 예비교사들의 과학개념의 이해 수준은 최근 개발된 많은 개념검사도구들을 통하여 확인할 수 있을 것이다. 본 연구에서 활용한 미국과 독일의 자료들은 해당 대학에서 학생들의 자연선택개념의 수준을 확인하여 대학수업에 반영하고자 수집한 자료들이다. 국제적인 협력을 통하여 각 국가에서 수집된 자료들을 공유할 수 있는 환경만 구축된다면 보다 쉽게 국제비교연구를 수행할 수 있을 것이며, 우리나라 과학교육의 수준을 이해하기 위한 많은 정보를 얻을 수 있을 것이다.

국문요약

자연선택개념은 진화론의 핵심개념으로 다양한 생물학적 문제를 해결하기 위해 이해해야 될 필수 개념이다. 이 연구는 한국예비생물교사들의 자연선택개념의 이해 수준을 조사하기 위하여 중국, 미국, 독일의 생물전공자와 비교하는 것을 목적으로 한다. 특히 이 연구에서는 자연선택개념의 두 개념요소인 생태개념과 유전개념으로 구분하여 예비생물교사의 자연선택개념을 분석하였다. 우리나라 예비생물교사 376명을 포함하여 1226명의 한국, 중국, 미국, 독일의 생물전공 예비교사의 자료를 토대로 분석하였다. 검사도구는 생태개념과 유전개념문항 각 10개씩을 포함하고 있는 *Conceptual Inventory of Natural Selection*의 20문항을 라쉬모델, 다변량분산분석, 일변량분산분석을 활용하여 분석하였다. 그 결과 우리나라 예비생물교사의 자연선택개념 수준은 중국과 비슷하고 미국, 독일에 비하여 낮았다. 생태개념과 유전개념으로 구분하여 살펴보면, 우리나라 예비생물교사 1학년의 경우 중국과 독일에 비하여 유전개념이 유의미하게 낮았으며, 4학년의 경우 미국과 독일에 비하여 생태개념이 유의미하게 낮았다. 3년간의 예비생물교사 교육과정 동안 유전개념에 대한 교육은 성공

적이었으나, 생태개념의 교육은 성공적이지 못하였다. 이 연구결과를 토대로 자연선택개념의 이해를 위한 예비생물 교사교육에 대해서 논의한다.

주제어 : 국제비교연구, 자연선택, 예비생물교사, 생태개념, 유전개념

References

- Ahn, K. J., Oh, H. S., & Kang, K. H. (2014). Analysis according to evaluation contents item of problems related 'biology' subject contents knowledge in secondary school teacher certification examination. *Teacher Education Research*, 53(1), 143-161.
- 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.
- Bogner, F. X. (1998). The influence of short-term outdoor ecology education on long-term variables of environmental perspective. *The Journal of Environmental Education*, 29(4), 17-29.
- Brumby, M. N. (1984). Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students. *Science Education*, 68(4), 493-503.
- Cho, H. H., Kim, H. K., Yoon, H. S., & Lee, K. Y. (2014). *Theories of Science Education*. Seoul. Gyooyuk Gwahaksa.
- Großschedl, J., Harms, U., Kleickmann, T., & Glowinski, I. (2015). Preservice biology teachers' professional knowledge: Structure and learning opportunities. *Journal of Science Teacher Education*, 26(3), 291-318.
- Ha, M. (2016a). The comparative analysis of evolution conceptions in pre- and in-service biology teachers. *Biology Education*, 44(2), 277-288.
- Ha, M. (2016b). Examining the validity of history-of-science-based evolution concept assessment and exploring conceptual progressions by contexts. *Journal of Korean Association for Research in Science Education*, 36(3), 509-517.
- Ha, M., & Cha, H. Y. (2007). A qualitative cross-sectional study on explanation about evolution mechanism. *Biology Education*, 35(1), 106-116.
- Ha, M., Cha, H. Y., & Ku, S. (2012). Comparative study of Korean and United States college students' degree of religiosity, evolutionary interest, understanding and acceptance and their structure. *Journal of Korean Association for Research in Science Education*, 32(10), 1537-1550.
- Husen, T. (1996). Lessons from the IEA studies. *International Journal of Educational Research*, 25(3), 207-218.
- Kampourakis, K., & Zogza, V. (2008). Students' intuitive explanations of the causes of homologies and adaptations. *Science & Education*, 17(1), 27-47.
- Kim, B. M., Han, H. J., & Shim, K. C. (2016). Implications of teacher training for pre-service secondary biology teachers at the college of education through analyzing the examination for appointing secondary school biology teachers. *Biology Education*, 44(1), 179~189.
- Kim, S. Y., & Nehm, R. H. (2011). A cross-cultural comparison of Korean and American science teachers' views of evolution and the nature of science. *International Journal of Science Education*, 33(2), 197-227.
- Kim, Y. S., Kwon, Y. J., Kim, Y. J., Kim, H. B., Seo, H. A., Son, Y. A., Jeong, E. Y., Jeong, J. S., Cha, H. Y. (2012). *Theories of Biological Science Education*. Paju: Freedom Academy Pub. Co.
- Kwon, J. E., & Cha, H. (2015). Analyzing the effect of argumentation program for improving teachers' conceptions of evolution. *Journal of Korean Association for Research in Science Education*, 35(4), 691-707.
- Lee, S. N., & Cha, H. (2014). Qualitative case study of biology teachers' recognition process of evolutionary explanations included in teaching not the title of evolution in biology. *Biology Education*, 42(4), 450-466.
- Mayr, E. (1998). *This is Biology. The Science of the Living World*. (6th Ed.). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Meir, E., Perry, J., Herron, J. C., & Kingsolver, J. (2007). College students' misconceptions about evolutionary trees. *The American Biology Teacher*, 69(7), 71-76.
- National Research Council. (2012). *Framework for K-12 Science Education*. Washington, DC: National Academies Press.
- Nehm, R. H., & Ha, M. (2011). Item feature effects in evolution assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(3), 237-256.
- 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.
- Neumann, I., Neumann, K., & Nehm, R. (2011). Evaluating instrument quality in science education: Rasch-based analyses of a nature of science test. *International Journal of Science Education*, 33(10), 1373-1405.
- NRC (1993). *A collaborative agenda for improving international comparative studies in education*. Washington, DC: National Academy Press.
- Olsen, E. M., Heino, M., Lilly, G. R., Morgan, M. J., Brattey, J., Ernande, B., & Dieckmann, U. (2004). Maturation trends indicative of rapid evolution preceded the collapse of northern cod. *Nature*, 428(6986), 932-935.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (1992). *The OECD international education indicators: A framework for analysis*. Paris: OECD Publishing.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (2012). *PISA 2009 Technical Report*. Paris: OECD Publishing.
- Settlage Jr, J. (1994). Conceptions of Natural Selection: A Snapshot of the Sense-Making Process. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(5), 449-457.
- Wright, B.D. & Linacre, J.M. (1994). Reasonable mean-square-fit values. *Rasch Measurement Transactions*, 8(3), 370.
- Yoo, H. M. & Kim, J. G. (2006). A study on the biology II textbooks by analyzing questions for the college scholastics ability test and the biology teachers' appointment test - Focused on the chapters of taxonomy and ecology - . *Biology Education*, 34(3), 307-320.