

생물 예비교사들의 진화 이론의 실용성에 관한 인식

하민수 · 이준기*

오하이오주립대학교 · ¹전북대학교

Pre-service Biology Teachers' Understanding of the Real-World Application of Evolutionary Theory

Ha, Minsu · Lee, Jun-Ki*

The Ohio State University · ¹Chonbuk National University

Abstract: The understanding of real-world application of scientific knowledge such as the evolutionary theory has been emphasized in science curriculum. Despite this, many students and biology educators misunderstand the use and practical application of the evolution theory. The purpose of this study is to explore variables related to the understanding of practical application of evolution. Methodologically, we employed large-scale survey that examined three independent variables (major, academic year, and religion) and five dependent variables (understanding of practical application of evolution, knowledge of, interest in, and acceptance of evolution, and religiosity). Two hundred and thirty three biology pre-service teachers and 405 non-biology pre-service teachers participated in the survey. The results demonstrate that the biology teacher education program does not help in increasing the understanding of the practical application of evolution. Rather, the understanding of practical application of evolution was associated with their religion. In addition, the understanding of the practical application of evolution was associated with the acceptance of and interest in evolution. The results of this study inform the development of new biology teacher education programs to improve their understanding of practical application of the evolution theory. We also suggest further areas of research for other scientific concepts that could be used to gauge teachers' understanding of the practical application of scientific knowledge.

Key words: evolution, pre-service biology teachers, practical application, science curriculum

I. 서 론

6차 교육과정부터 2009년 개정 교육과정에 이르기 까지 지속적으로 강조한 과학과 교육과정의 목표 중 하나는 학생들이 학교에서 배운 과학지식을 실생활의 문제를 해결하는데 활용할 수 있는 과학적 소양을 기르도록 도와주는 것이다(교육부, 1992; 교육인적자원부, 1997; 교육인적자원부, 2007; 교육과학기술부, 2009). 이와 같은 목표를 구현하기 위하여 평가 역시 학생들이 일상생활에서 생성되는 의문을 탐구 과정을 통하여 해결할 수 있도록 하였다. 최근 개정된 과학과 교육과정에서는 물리, 화학, 생물, 지구과학의 모든 각론에서 과학 지식이 일상생활에 어떻게 유용하게 활용되고 있는지를 학생들이 이해할 수 있도록 하는 것을 목표로 하고 있다. 이와 같은 교육과정이 궁극적

으로 추구하는 것은 학생들이 과학 지식의 유용함을 인식하고 우리 일상생활에 과학 지식을 활용하는 과학적 소양인으로 성장하는 것이다. 특히 11학년과 12학년에서 배우는 심화 교육 과정에서는 직업적 관심을 고취시키기 위하여 최근 연구 동향과 성과를 토대로 가르칠 것을 강조하였다(교육과학기술부, 2009). 예를 들어 생명 과학Ⅱ에서는 생명 과학의 최근 연구 동향을 소재로 가르치며 생활 주변 및 첨단 과학 관련 소재를 소재로 활용할 것을 강조하였다.

이와 같은 교육 과정의 노력은 과학 교육 연구 현장에서 이루어지고 있었다. 김수경 등(2005)은 탐구 능력을 강조한 실생활 소재 프로그램을 개발하면서 학생들이 스스로 생성한 탐구 지식을 일상생활의 문제 해결에 활용할 때 가장 이상적인 과학 수업이 될 수 있음을 강조하였다. 김수경, 김중복(2005)은 실생

*교신저자: 이준기(junki@jbnu.ac.kr)

**2011.09.09(접수) 2011.10.26(1심통과) 2011.11.15(2심통과) 2011.12.09(최종통과)

활 소재를 활용한 물리 탐구 수업이 학생들의 탐구 능력을 향상 시켰음을 보고하였다. 김혜심 등(2006)은 실생활 소재를 활용한 화학 수업에서 나타나는 학생들의 언어적 상호작용을 확인하였다. 또한 유상근, 김성하(2010), 하민수, 차희영(2010)은 실생활 소재를 활용한 생물 탐구 모듈을 개발하여 학생들이 실생활에서 생성한 문제를 생물학적 지식으로 해결할 수 있도록 하였다. 소재만을 실생활 소재로 하는 것에서 더 나아가 조미애, 문성배(2002)는 일상생활에서 화학탐구를 경험하는 교실 밖 화학체험학습 프로그램을 개발하고 그 효과에 대해 연구한 바 있다. 이와 같은 과학교육 연구자들의 노력과 과학교육과정 개발자들의 노력은 궁극적으로 학생들이 과학적 지식의 실용성과 우리 일상생활에서의 가치를 이해하는데 기여를 할 수 있을 것이다.

위와 같은 과학교육학자들의 노력에도 불구하고 여전히 많은 학생들은 과학 지식과 인간의 삶의 관계에 대한 의문을 가질 수 있다. 왜 천문학적인 비용을 들여서 지구에서 아주 먼 외계를 연구하는지, 인간이 먹지도 못하는 생물을 복원하기 위하여 엄청난 예산을 활용하는지 등을 이해하는 학생들은 많지 않을 수 있다. 또한 그런 의문에 대한 각자의 해답을 찾는 과정에서 많은 변인들이 작용할 수도 있을 것이다. 이 연구는 실용성에 대한 인식과 관련 변인을 찾는 것을 목표로 하며, 연구 목표를 달성하고자 많은 과학 개념 중 진화 개념을 선택하였다.

진화 개념의 실용성에 대한 논란은 오래되었다. 여전히 많은 사람들은 진화를 ‘단지 이론 일 뿐(just a theory)’ 이라 생각하며 우리 생활과 동떨어진 과학자들의 일로만 인식하고 있다(Cleaves & Toplis, 2008, Lombrozo *et al.*, 2008, Miller *et al.*, 2006, Miller, 2008). 이와 같은 일부 대중들의 오개념을 바로 잡고자 많은 과학자들은 진화 이론의 실용성을 강조하였다(Miller, 2008, Mindell, 2006). Mindell(2006)은 일상생활에서의 진화 이론을 소개한 책에서 진화 이론은 농업, 의학, 공중 보건, 환경 과학, 생물자원 관리학, 법의학 등에서 광범위하게 활용되는 매우 실용적인 이론임을 강조하였다. 예를 들어 의학에서는 2004년도 아시아 전역이 SARS(중증 급성호흡기증후군; Severe acute respiratory syndrome)로 인하여 많은 사망자가 발생할 당시 국제간 공동 연구로 출판된 He *et al.* (2004), Yeh *et*

al. (2004) 그리고 Song *et al.* (2005)의 연구 모두 바이러스의 돌연변이와 돌연변이의 자연선택에 영향을 주는 요인들을 탐구한 연구들이다. 또는 항생제 저항성 출현을 예상한 Orenca *et al.* (2001)의 연구, Levin *et al.* (2000)의 연구도 돌연변이와 자연선택을 키워드로 하는 연구이다. 또는 어업자원 고갈과 관련된 Conover & Munch (2002), 산림 자원의 고갈에 관한 Law & Salick (2005)의 연구 역시 자연선택을 키워드로 하는 산업 자원 관련 연구이다. Mindell (2006)은 진화 이론이 우리 생활에 광범위하게 활용되며 그것이 다양한 과학 저널로 출판되고 있음에도 불구하고 여전히 많은 대중들이 진화 이론의 실용성에 대해서 인식하지 못하는 이유로 그들이 진화 이론을 충분히 이해하고 있지 못하기 때문이라고 하였다. 또한 Miller (2008)는 종교적 신념에 따라 진화 이론을 과학적 관점으로 바라보지 못하고 신념 체계로 이해하고 과소평가하고자 하는 노력이 진화 이론의 실용성을 느끼지 못하게 하는 장벽이라고 하였다. 다시 말하면, 진화 개념에 대한 실용성에 대한 인식에서 지식, 수용과 같은 변인이 영향을 줄 수 있다는 것이다.

그럼에도 불구하고 국내·외 진화 개념 관련 연구들은 실용성에 관한 변인을 지나쳐 왔다. 국내에 비하여 상대적으로 진화 교육에 더 많은 관심을 보인 ‘Journal of Research in Science Teaching’, ‘Science Education’, ‘International Journal of Science Education’, ‘Research in Science Education’ 등 국외 논문집에서 진화 개념, 태도, 인식에 관한 84편의 연구들의 문헌 조사를 한 결과 한편의 연구에서도 진화 이론의 실용적 가치의 이해에 관한 탐색을 하지 않았다. 국내에서 출판된 연구 역시 진화의 오개념과 수용에 관한 대부분이며 진화 개념의 실용성이라는 관점으로 접근한 연구는 없었다. 하지만 서문에서 밝혔듯이 현행 교육과정에서 과학 개념의 실용성에 대한 인식은 중요한 학습 목표이며, 그동안 많은 과학교육학자들이 실생활에 활용되는 과학 지식을 가르치고자 노력하였다. 이와 같은 필요성에 의하여 이 연구는 진화 개념의 실용적 가치에 관한 생물 예비교사들의 인식과 관련된 변인을 탐색하고자 한다.

먼저 이 연구에서 관심을 가지고자 하는 부분은 생물 예비교사 양성 프로그램이 그들의 진화 개념의 발달과 함께 실용적 가치에 대한 인식을 향상 시키는가

하는 것이다. 만약 현행 교육과정 하에서 진화 이론에 대한 실용적 가치가 향상되지 않는다면 장차 생물 교사가 되어서 학생들을 지도할 시에도 현행 교육과정에서 추구하고자 하는 실용적인 측면에 대한 교육이 이루어지기 힘들 것이기 때문이다. 두 번째로 확인하고자 하는 것은 종교적인 관점이다. 진화 이론과 갈등을 보인 다양한 종교 단체들은 진화를 ‘단지 이론’이라는 관점으로 폄하해왔다 (Moore, 2007, 2008). 그와 같은 관점에서 진화 이론에 대한 실용적인 관점 역시 개인의 종교성에 영향을 받을 수 있을 것으로 추측할 수 있다. 이와 같은 필요성에 의하여 우리는 학년과 종교라는 두 변수를 중심으로 생물 전공자와 비생물 전공자를 조사하였다. 비생물 전공자에 관한 조사는 생물 교육 전공 프로그램의 효과를 확인하고자 하는 대조군의 역할을 담당한다. 만약 생물 교사 양성 프로그램이 비생물 교사의 양성 프로그램에 비하여 진화의 실용성의 이해를 향상 시키지 못한다면 과학 개념의 실용성에 관한 교육에서 잠재적인 문제점으로 지적될 수 있다.

종속변수를 결정함에 있어 먼저 이 연구의 연구 목적인 실용성에 관한 항목과 함께 진화 이론의 지식, 수용, 관심, 종교성을 측정하였다. 진화 이론의 지식, 수용, 관심, 종교성은 진화 교육에 있어서 가장 광범위하게 조사된 변인들이다(Ha *et al.*, 2012, 하민수 등, 2010). 이 종속변인들이 전공, 학년, 종교의 독립변인에 따라 변화하는 양상을 실용성에 관한 인식의 변화와 비교함으로써 현행 생물 교사 양성 과정이 어떤 역할을 담당하고 있는지 확인할 것이다. 또한 지식, 수용, 관심, 종교성 변수와 실용성 변수는 형태로 연관되어 있는지 상관관계와 경로분석을 통하여 확인하고 실

용성에 관한 인식을 높일 수 있는 수업 프로그램을 제안할 것이다. 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

1. 생물 교사 양성 프로그램은 비생물교사 프로그램과 비교하여 진화 이론의 실용성 인식에 어떤 영향을 미치는가?
2. 진화 이론의 실용성 인식에 관련 변수인 종교성, 진화 지식, 진화 관심, 진화 수용의 변수는 어떤 형태로 구조화 되어 있는가?

II. 연구 방법

1. 연구 참여자

이 연구를 위하여 5개 대학교 생물교육, 생물학 전공자와 비전공자(물리, 화학, 지구과학 전공) 638명이 참여하였다. 생물전공자는 233명이었으며 비전공자는 405명이었다. 자세한 참여자의 학년별, 종교별 분포는 표 1과 같다. 학년 간 비교에 있어서 종교는 통제 변인이며 종교간 비교에서도 학년은 통제 변인이다. 그러므로 학년과 종교의 동일한 분포를 만족해야 한다. 이것을 확인하기 위하여 카이 제곱 검정을 실시하였다. 학년과 종교 분포에 관한 카이제곱 검정 결과 생물 전공 $X^2[9]=13.7 (p > 0.05)$, 비전공 $X^2[9]=7.9 (p > 0.05)$ 로 집단 간 분포가 동일하다고 볼 수 있다.

2. 관련 변인 및 검사 도구

진화 이론의 실용성 인식 변수에 관련된 변수를 찾기 위하여 관련 문헌을 탐색하였다. 먼저 가장 중요한 요소는 진화 수용이다. 그 동안 진화 이론의 가치를

표 1
연구 참여자의 학년과 종교 분포

전공	학년	빈도	비율	종교	빈도	비율
생물 전공	1학년	69	29.6	불교	19	8.2
	2학년	36	15.5	개신교	48	20.6
	3학년	38	16.3	천주교	21	9
	4학년	90	38.6	무교	145	62.2
	전체	233	100	전체	233	100
비생물 전공	1학년	172	42.5	불교	32	7.9
	2학년	90	22.2	개신교	76	18.8
	3학년	76	18.8	천주교	40	9.9
	4학년	67	16.5	무교	257	63.5
	전체	405	100	전체	405	100

무시하고자 하는 노력은 진화 이론을 거부하는 사
람들에서 흔히 나타나는 현상이었다. 진화 이론과 자
신의 종교관이 배치되는 사람들이 진화 이론을 과소
평가하고 과학 영역에서 진화 이론이 가지는 실용
적인 측면을 거부하고자 하였다 (Miller, 2008). 단
지 이론 뿐이라 이해하며 과학자들의 추측이나 하
나의 가설로 생각하는 견해를 밝혀왔다 (Cleaves &
Toplis, 2008, Lombrozo *et al.*, 2008, Miller *et al.*,
2006, Miller, 2008). 진화 수용에 관련된 다양
한 연구에서 진화 수용에 결정적인 영향을 미치는
변수는 종교적 신념이라고 하였다 (Bergman, 1979;
Chuang, 2003; Cleaves & Toplis, 2008; Goldston
& Kyzer, 2009; Griffith & Brem, 2004; Moore,
2007, 2008; Moore, Kraemer, 2005; Moore *et al.*,
2006; Sanders & Ngxola, 2009; Tatina, 1989;
Van Koevering & Stiehl, 1989). 신과 과학 사
이에서 갈등하는 사람은 진화 수업에 적극적이지
못할 뿐만 아니라 진화 수업 자체를 거부하기도
한다. 그러므로 진화 지식이 상대적으로 낮고
관심이 낮을 수 있다 (Moore & Kraemer, 2005;
Moore *et al.*, 2006).

이 연구에서 확인하고자 하는 변수를 정리하
면, 진화 이론의 실용성에 관한 인식, 진화 지식,
진화 수용, 진화에 대한 관심, 종교성이다. 먼저
진화 이론의 실용성에 대한 인식 조사를 위하여
3문항의 리커트 척도를 활용한 문항을 개발하
였다. 문항 개발은 생물 교육 전문가, 생물교육
박사 과정생, 생물 교사가 참여하였다. 요인
분석 결과 3개 문항은 한 요인으로 분류되었
으며(0.781 ~ 0.884) 신뢰도(Cronbach alpha)는
0.838이었다. 5점 척도를 사용하였으므로 최
하점이 3점, 최대점이 15점으로 분석하였다.
진화 지식은 Anderson *et al.* (2002)이 개발
한 Conceptual Inventory of Natural Selection을
사용하였다. 10개 자연선택 개념 요소별 각 2
문항씩 총 20개 문항으로 구성된 검사도구
이다. 번역은 생물교육 전문가가 하였으며
영어전문가가 확인하였다. 각 문항은 4
지 선다형으로 구성되어 있다. 이 검사도
구의 신뢰도(Cronbach alpha)는 0.731이다.
최하점 0점에서 최고점 20점으로 분석
하였다.

진화 관심을 측정하는 검사 도구는 하민수
등(2010)이 사용한 검사 도구를 수정하여
사용하였다. 수정한 검사 도구는 생물 교육
전문가, 생물교육박사 과정생, 생물 교
사의 확인으로 타당도를 높였으며 요

인분석으로 타당도를 확인하였다. 요인
값은 0.794~0.842이었으며 검사도구의
신뢰도(Cronbach alpha)는 0.823이었다.
5단계 리커트 척도를 사용하였으므로
최하점 3점, 최고점 15점으로 분석하였
다. 진화 수용에 관한 검사 도구는 5
단계 리커트 척도로 구성된 Rutledge &
Warden(1999)이 개발한 Measure of
Acceptance of the Theory of Evolution
검사 도구를 번역하여 활용하였다. 번역
은 생물교육 전문가가 하였으며 영어
교육전문가가 문항을 확인하였다. 이
검사도구의 신뢰도(Cronbach alpha)는
0.917이었다. 5단계 리커트 척도를
사용하였으므로 최하점 20, 최고점
100점으로 분석하였다. 마지막으로
종교성에 관한 검사 도구는 Lombrozo
et al. (2008)이 사용한 도구 중 부정
문항을 제외한 3문항을 사용하였다.
번역은 생물교육전문가들이 하였
으며 영어 전문가가 확인하였다. 종
교성 문항의 요인 값은 0.604-0.881
이었으며 신뢰도는 0.717이었다.
5단계 리커트 척도를 사용하였으
므로 최하점 3점, 최고점 15점으로
분석하였다.

3. 분석 방법

생물교사 양성프로그램이 학생들의
실용성 인식 및 지식, 관심, 수용,
종교성의 변수에 전공, 학년, 종교의
세 독립변수가 어떤 영향을 주는데
확인하기 위하여 전공 별로 구분하여
학년, 종교를 중심으로 평균 분석을
실시하였다. 또한 전공, 학년, 종교
를 독립변수로 하여 5가지 종속
변수에 어떤 효과를 보이는지 삼원
변량 분석(Three-way ANOVA)으로
확인하였다.

두 번째 분석은 종속 변인간
관련성을 확인하기 위하여 경로
분석과 상관관계를 활용하였다.
경로 분석은 AMOS프로그램을
사용하였으며 상관관계는
Pearson방식을 활용하였다. 또한
중다회귀분석을 통하여 통계적
수준을 확인하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 비전공 프로그램과 비교하여 생물 교사 양성 프로그램의 효과

그림 1은 전공별, 학년과 종교에
따른 학생들의 진화 개념의 실용
성에 대한 인식, 진화 지식, 진화
관심,

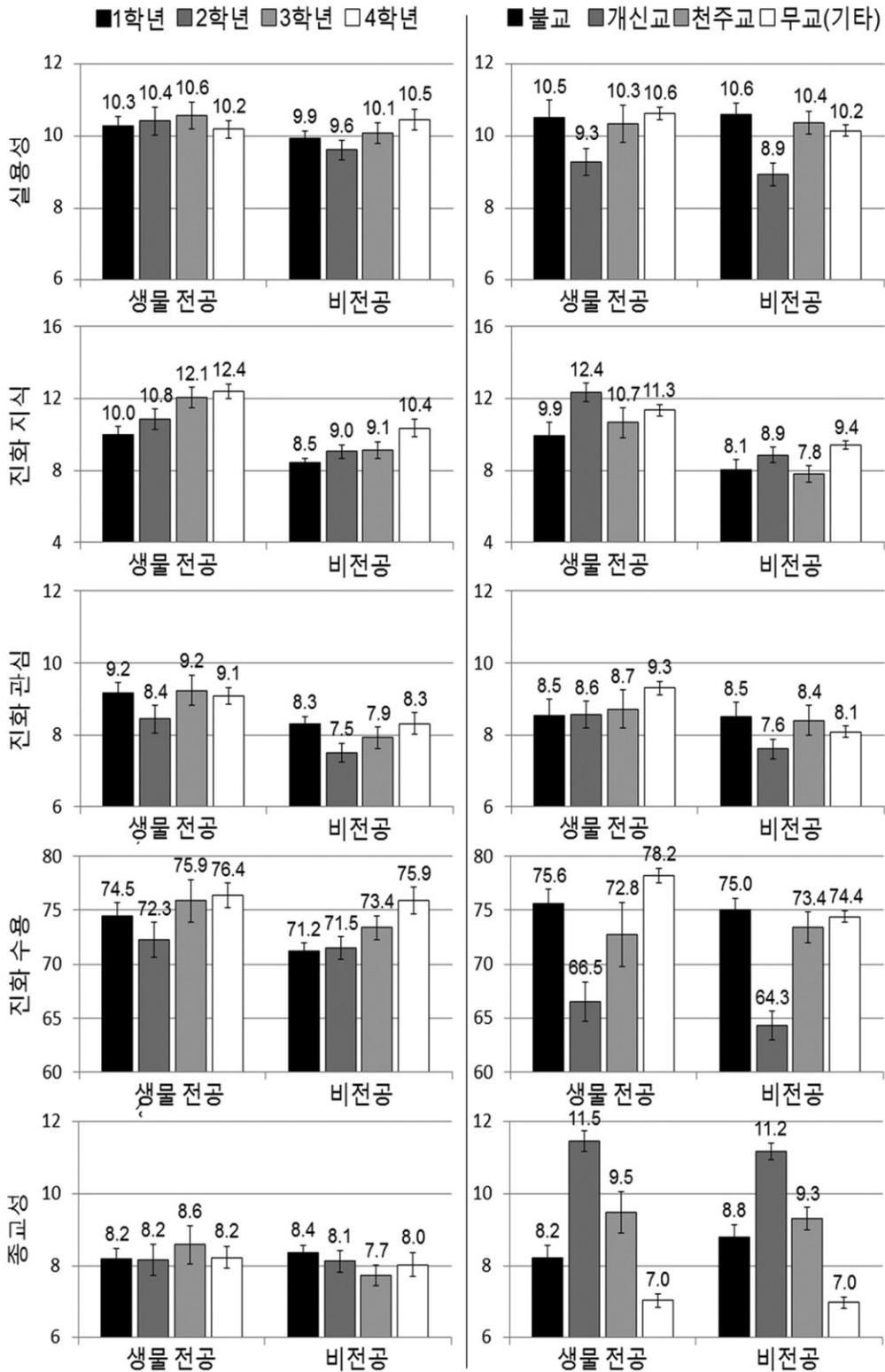


그림 1 전공에 따른 학년간, 종교간 5가지 변인에 관한 평균값 비교

진화 수용, 종교성에 관한 평균 비교 그래프를 보여준다. 먼저 진화 개념에 대한 실용성 인식에서 학년 간 차이를 보면 두 집단 모두 유의미한 차이가 나타나지 않았다($p < 0.05$). 진화 개념에 대한 실용성 인식에서 종교간 차이를 보면 두 집단 모두 유의미한 차이를 보였다(생물전공: $F[3,229] = 4.36, p < 0.01$; 비전공: $F[3, 401] = 6.35, p < 0.001$). 전공별, 학년과 종교에 따른 학생들의 진화 지식의 차이를 보면, 두 집단 모두 학년별 유의미한 차이를 보였으며(생물전공: $F[3,229] = 6.24, p < 0.001$; 비전공: $F[3,401] = 4.73, p < 0.01$), 종교별로는 생물 전공 집단은 유의미한 차이가 나타나지 않은 반면 비전공 집단에서는 종교별 진화 지식 점수의 차이가 나타났다(비전공: $F[3, 401] = 3.42, p < 0.05$). 전공별, 학년과 종교에 따른 학생들의 진화에 대한 관심의 차이를 보면, 두 집단 모두 학년별 유의미한 차이가 없었다($p < 0.05$). 또한 종교별로도 진화에 대한 관심에서는 유의미한 차이가 나타나지 않았다($p < 0.05$). 전공별, 학년과 종교에 따른 학생들의 진화 이론의 수용의 차이를 보면, 생물 전공에서는 학년별로 유의미한 차이가 나타나지 않은 반면($p < 0.05$), 비전공에서는 학년별 차이가 나타났다(비전공: $F[3, 401] = 4.02, p < 0.01$). 종교별로 보면, 두 집단 모두 유의미한 차이가 나타났다(생물전공: $F[3,229] = 17.58, p < 0.001$; 비전공: $F[3, 401] = 23.84, p < 0.001$).

마지막으로 종교성에 관한 전공별로 학년 간 차이를 보면, 두 집단 모두 학년 간 유의미한 차이가 없었다($p < 0.05$). 반면 두 집단 모두 종교간 유의미한 차이가 있었다(생물전공: $F[3,229] = 51.74, p < 0.001$; 비전공: $F[3, 401] = 76.32, p < 0.001$).

전공, 학년, 종교의 독립변수를 바탕으로 삼원변량

분석을 실시하였다. 표 2는 삼원 변량 분석의 F 값과 유의 수준을 보여준다. 진화 지식의 경우 전공, 학년, 종교 변수에서 모두 유의미한 차이가 나타난 반면 실용성은 종교 변인만 관련성이 나타났다 ($F[3,606] = 7.51, p < 0.001$). 종교 변인만 관련성이 나타난 경우는 진화 수용과 종교성이다(진화 수용; $F[3, 606] = 29.07, p < 0.001$; 종교성: $F[3, 606] = 95.01, p < 0.001$). 진화 관심의 경우 학년과 종교, 그리고 학년과 종교의 복합효과가 나타났다(학년: $F[3, 606] = 4.02, p < 0.01$; 종교: $F[3, 606] = 3.01, p < 0.05$; 학년*종교: $F[9, 606] = 2.28, p < 0.05$). 복합효과가 나타난 경우는 진화 관심 뿐인데 진화 관심 변인의 학년 간 변화가 종교별로 다르기 때문이다. 삼원 변량 분석 결과 실용성은 진화 수용과 종교성과 비슷한 패턴을 보여준다.

이 연구 결과는 우리의 생물 교사 양성 프로그램이 생물 예비교사들의 진화 지식의 향상에는 그 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 예비교사 프로그램과 현직교사 프로그램에서 학생들의 진화 지식의 향상은 여러 차례 보고되었다. Scharmann & Harris (1992)는 3주간 수업을 통하여 생물 교사들의 진화에 대한 지식 수준이 높아졌음을 보여주었으며, Scharmann (1994)의 2주간의 프로그램도 진화 지식은 향상시켰다. Firenze (1997)의 연구에서도 생물교사들은 2주간 수업 후에 진화 지식에 대한 높은 확신성을 가지게 되었다. Crawford *et al.* (2005)의 연구에서도 컴퓨터 기반 진화 수업 후 생물 예비교사들의 진화 지식이 향상됨을 보고하였다. Nehm & Schonfeld (2007)의 연구도 한 학기의 생물 수업을 통하여 생물 예비교사들이 진화 개념을 향상시키는 것을 확인하였다. 또한 생물 교사 양성 프로그램은 생물 예비교사들의 진화

표 2
전공, 학년, 종교에 관한 삼원 변량 분석 결과 (F 값과 유의 수준)

	실용성	진화 지식	진화 관심	진화 수용	종교성
전공	1.57	26.88***	3.15	1.68	0.00
학년	0.20	4.12**	4.02**	2.21	0.25
종교	7.51***	2.67*	3.01*	29.07***	95.01***
전공*학년	1.82	0.80	0.17	1.00	0.38
전공*종교	0.07	2.38	1.35	0.48	0.96
학년*종교	1.80	1.15	2.28*	1.18	0.75
전공*학년*종교	1.16	0.70	0.92	1.84	1.38

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

관심도 고취시키고 있다. 하민수 등(2010)은 생물 전공자가 비전공자에 비하여 진화 관심이 높다고 하였다. 반면, 생물 예비교사 양성 프로그램은 예비 생물 교사들의 진화 수용과 종교성에는 큰 영향을 못 미치는 것으로 나타났다. Scharmann & Harris (1992)의 연구와 Scharmann(1994)의 연구결과에서는 진화 수업 후에 진화 수용의 변화가 있었던 반면, Nehm & Schonfeld (2007)의 연구결과에서는 그런 변화가 나타나지 않았다.

‘진화 지식이 향상된다고 하여 진화에 대한 수용여부도 함께 변화되는가?’ 라는 문제는 여전히 논란의 여지가 있다(Sinatra *et al.*, 2003). 대신 많은 선행연구들은 상관관계 분석을 통하여 진화 지식과 수용의 관련성을 조사하고 있다. 생물 교사와 예비교사를 대상으로 한 연구들을 중심으로 살펴보면, 생물 현직교사를 조사한 Rutledge & Warden(2000)의 연구에서는 진화 지식과 수용의 상관관계를 0.71로 보고했고, Korte (2003)는 0.58로 보고하였다. 터키의 생물 예비교사를 대상으로 한 Deniz *et al.* (2008)의 연구는 0.20이었고, 생물 예비교사가 포함된 다른 터키 연구에서는 0.25이었다(Peker *et al.*, 2009). 이 연구에서 제시된 값은 0.23이다. 미국의 생물 교사와 달리 생물 예비교사를 대상으로 한 연구에서 약 0.2 정도의 상관관계를 보이는 것은 약 4% 정도의 참여자들이 지식과 수용의 관련성을 가지고 있음을 의미한다. 선행연구에서 밝힌 통계적 수준을 고려하였을 때 진화 지식이 향상된다고 진화 수용이 높아지는 것을 예측하기는 힘들 것이다.

마지막으로 이 연구에서 확인하고자 한 진화 이론의 실용적 가치는 진화 지식과 관심보다는 진화 수용과 종교성과 더 비슷한 패턴을 보인다는 것이다. 학생들의 진화 지식을 향상시킨 생물 교사 양성 프로그램은 학생들의 진화 이론의 실용성 인식은 향상시키지

못하였다. 오히려 학생들은 진화 이론에 대한 실용성을 자신의 종교관에 근거하여 이해하고 있다. 서론에서 언급하였듯이 여전히 많은 사람들은 진화를 ‘단지 이론 일 뿐’ 이라는 인식으로 그 가치를 이해하지 못하고 단지 오래된 과학 지식으로 이해하고 있다 (Cleaves & Toplis, 2008, Lombrozo *et al.*, 2008, Miller *et al.*, 2006, Miller, 2008). 또한 그런 인식에는 학습보다는 자신의 종교관에 더 큰 영향을 받고 있었다.

2. 진화이론의 실용성 인식 변수의 관련 변인 확인

진화 이론의 실용성 인식 변수와 관련 변수인 종교성, 진화 지식, 관심, 진화 수용의 관련성을 확인하기 위하여 먼저 상관관계 조사를 실시하였다(표 3). 종교성의 경우 진화 이론의 수용과 부적 상관관계를 보이며, 실용적 가치 변수와도 약한 부적 상관관계를 가진다. 진화 수용은 실용적 가치, 진화 지식, 진화 관심과 모두 정적 상관관계를 보인다. 진화 관심 역시 진화 지식과 진화 실용적 가치와 상관관계를 보인다. 이 연구에서 확인하고자 한 실용적 가치는 진화 지식, 진화 관심, 진화 수용, 종교성과 모두 상관관계를 보이고 있다.

그림 2은 실용성 인식에 관련된 가설적 모델을 보여 준다. 종교성은 가장 근본적인 원인이다. 종교성은 진화 수용과 밀접하게 관련되며 일부 진화 교육을 방해하여 진화 지식에 영향을 주기도 한다(Moore & Kraemer, 2005; Moore *et al.*, 2006). 진화 관심에 관한 선행연구의 부족으로 진화 지식과 관심에 관한 방향성을 결정하는데 어려움이 있으나 보편적인 상식에 근거하여 볼 때, 진화 지식은 외부에 의한 학습으로 인하여 형성되는 것이며 관심은 개인의 내재적인 심리적인 요인이다. 그러므로 지식에서 관심으로 방

표 3
변인 간 Pearson 상관관계

	실용성	진화지식	진화관심	진화수용	종교성
실용성 인식	1.000	0.148**	0.485**	0.514**	-0.148**
진화지식		1.000	0.207**	0.229**	-0.065
진화관심			1.000	0.361**	-0.051
진화수용				1.000	-0.383**
종교성					1.000

** $p < 0.01$

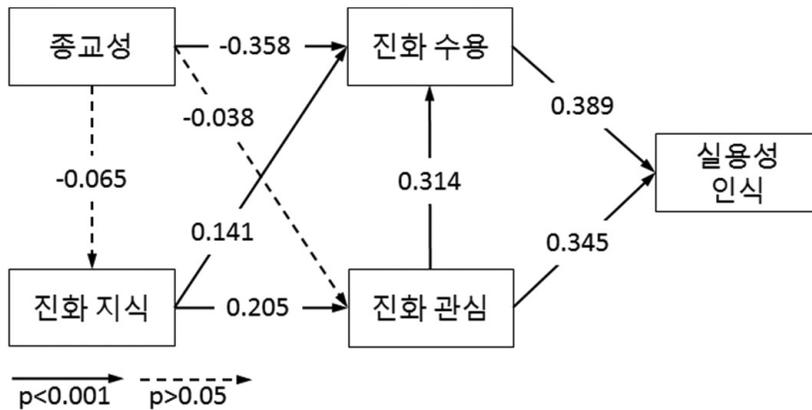


그림 2 진화의 실용성 인식에 대한 구조방정식 모델 [Chi square = 0.597 ($p = 0.742$), RMR = 0.044, GFI = 1.000, AGFI = 0.997, NFI = 0.999, TLI = 1.013, CFI = 1.000, RMSEA < 0.001]

향성이 주어질 것이다. 진화 지식과 진화 수용에 관한 방향성은 학습이 진화 수용을 변화시킬 수 있다는 선행연구를 근거로 지식에서 수용으로 방향성을 주었다 (Ha *et al.*, 2012; Nehm & Schonfeld, 2007; Scharmann & Harris, 1992; Crawford *et al.*, 2005).

이 가설적인 모델은 AMOS 프로그램을 통하여 검증하였다. 구조방정식 모델링을 통하여 모델의 적합도를 확인한 결과 이 모델은 타당한 모델로 확인되었다 [Chi square = 0.597 ($p = 0.742$), RMR = 0.044, GFI = 1.000, AGFI = 0.997, NFI = 0.999, TLI = 1.013, CFI = 1.000, RMSEA < 0.001] (김계수, 2007; Schumacker & Lomax, 1996). 변인간의 표준화 계수를 보면 종교성의 경우 진화 수요에만 영향을 주었으며 진화 지식과 관심에는 영향을 미치지 않았다. 진화 지식은 진화 수용과 진화 관심을 통하여 진화의 실용성 인식에 영향을 주는 것으로 확인된다. 진화 수용은 진화의 실용성 인식에 가장 중요한 설명 변수임을 확인할 수 있다.

마지막으로 확인한 것은 단계 입력 방식의 중다회귀분석이다. 진화 지식, 진화 관심, 진화 수용, 종교성

을 독립변수로 하며, 진화 이론의 실용성 인식을 종속 변수로 하여 확인한 결과 그림 1과 같이 진화 수용과 진화 관심만 유의미한 영향력을 보였다. 또한 약 36.5%의 설명력을 보였다 (표 4).

이 연구 결과를 토대로 진화의 실용성 인식을 강화할 수 있는 몇 가지 수업 모델을 제시하고자 한다. 연구 문제 1에서 확인한 바와 같이 생물 교사 양성프로그램은 진화 수용의 변화에 직접적인 영향력이 없다. 또한 앞서 논의하였듯이 여러 선행연구에서 진화 수용은 학습으로 변화되기 힘든 것으로 알려졌다. 진화 지식 역시 학습하기 어려운 개념으로 알려졌다 (Rutledge & Warden, 2000; Nehm & Schonfeld, 2007; 하민수, 차희영, 2007). 그러므로 진화 개념의 실용성 인식을 향상시키기 위해서는 마지막 변수인 진화 관심을 향상시키는 것이다. 서론에서 언급한 바와 같이 우리는 일상생활에서 진화 이론을 쉽게 접하고 있다. 질병, 공중보건, 산업 자원과 같은 많은 영역에서 진화 이론이 활용되고 있다. 또한 최근 신동훈 (2007)은 진화심리학 기반의 진화 학습프로그램을 예비교사를 위한 교육에 활용할 것을 제안하기도 하였다. 인간의 마음과 행동을 설명하는 진화 심리학에 관

표 4 단계입력 방식의 중다회귀분석 결과

변수	비표준화 계수		표준화 계수	t	수정된 R ²
	B	Std. Error	Beta		
상수	0.81	0.54	-	1.51	
진화 수용	0.09	0.01	0.39	11.49**	0.365
진화 관심	0.33	0.03	0.35	10.18**	

련된 교양 도서가 많이 출판되고 있으며 대중들의 관심도 매우 높다. 진화 이론이 우리 삶 속에 다양한 형태로 활용되고 있음을 이해한다면 진화에 대한 관심이 높아질 수 있으며 진화에 대한 실용적 인식 역시 향상 시킬 수 있을 것이다. 또한 그런 방향으로 생물 교사 양성 프로그램이 개발되어야 할 필요성도 있을 것이다.

IV. 결론 및 제언

이 연구는 최근 교육과정에서 중요하게 강조하고 있는 과학 개념의 실용적 가치에 대하여 진화 이론을 소재로 조사하였다. 생물 교사 양성 프로그램이 진화 이론의 실용적 가치의 인식에 어떤 역할을 하는지 확인하기 위하여 대조군으로 생물비전공을 선택하여 전공-비전공, 학년간, 종교간의 세 가지 독립변수를 기반으로 하여 실용성, 진화 지식, 진화 관심, 진화 수용, 종교성의 5가지 종속 변수를 조사하였다.

먼저 생물 교사 양성 프로그램은 진화의 실용적 가치에 대한 인식을 향상시키지 못하고 있다. 진화의 실용적 가치에 관한 인식은 전공이나 학년에 의한 것보다 개인의 종교에 의하여 결정되고 있다. 이와 같은 결과는 현재 교육과정이 진화 개념의 실용적 가치에 대한 인식을 제대로 반영하고 있지 못함을 보여주고 있다.

진화 이론에 대한 종교적, 역사적으로 뿌리 깊은 오해는 21세기에도 해결되지 않고 있다. 하지만 그와 같은 오해가 지속되고 있는 이유는 우리가 교육에서 진화 이론을 제대로 보여주지 않았기 때문일 수 있다. 최근 국제적인 관심사인 지속 가능성, 생물 다양성과 같은 주제를 포함하는 많은 수의 논문들이 자연선택 이론을 기반 하여 이루어지고 있음을 이해해야 된다. 하민수(2011)는 최근 2000년 이후 발표된 진화 관련 주제들의 논문들 중 교과서 개념을 설명하기 적합한 소재들을 설명하였다. 이와 같은 소재들로 진화 수업을 재편성하는 것이 요구된다. 현재 대부분의 교원양성 대학에서 활용 되는 일반생물학 교재를 분석한 결과 진화를 설명하는 소재로 다윈의 갈라파고스 핀치 부리 다양성, 코끼리의 종 분화 과정, 구피의 몸 색깔, 현생 고래와 화석증거의 비교, 대초원 닭의 개체 수, 그랜드 캐년의 다람쥐, 달팽이 껍데기의 나선방향, 말의 분기 진화 등이 있었다(Campbell & Reece, 2008

참조). 이러한 소재들은 학생들의 실생활과는 다소 거리가 있는 것으로 진화론의 실용적 가치를 이해하는데 큰 도움을 주지 못할 수 있다. 생물 예비교사들이 교재에 나오는 소재 뿐 만 아니라 다양한 소재에 접근할 수 있도록 하여 과학 교육과정에서 추구하는 실용적 가치에 대한 교육이 이루어질 수 있도록 해야 할 것이다.

두 번째로 진화의 실용성에 관한 인식이 진화 수용과 진화 관심과 밀접한 관련을 보이고 있다. 진화에 관한 실용성 인식을 향상시키기 위해서는 진화 수용과 진화 관심을 향상시킬 수 있는 방법도 제시될 수 있다. 진화 수용과 과학의 본성에 관한 연구들은 과학의 본성 수업이 진화 수용을 향상시킬 수 있음을 강조하였다(Lombrozo *et al.* 2008). 그러므로 과학의 본성과 흥미로운 소재를 활용한 진화 수업은 진화에 대한 관심과 진화 이론에 대한 실용성에 관한 인식을 향상시킬 수 있을 것이다.

마지막으로 제언하고자 하는 것은 진화 이론 뿐 만 아니라 다른 과학 개념에 관한 실용성 인식에 관한 연구의 필요성이다. 서론에서 밝혔듯이 많은 학생들과 대중들은 전문학적 비용이 들어가는 우주 탐사나 오래된 화석 연구를 이해하지 못하고 있을 수 있다. 특히 기초과학의 경우 그런 실용성에 대한 인식은 더 약할 수밖에 없다. 과학이라는 것이 단순한 삶의 기쁨을 위하여 하는 것이 아니라 궁극적으로 인간 생활의 발달을 위해 이루어지고 있기 때문에 우리는 그것을 이해해야 되며 교육에서 실현시켜야 된다. 교육과정이 개정되면서 실용성에 대한 인식을 향상시킬 것을 지속적으로 강조하고 있다. 그와 관련된 다양한 프로그램을 개발하기 위해서는 과학 지식의 실용성에 관한 인식에 관한 연구가 보다 많이 이루어져야 할 것이다.

국문 요약

과학교육과정에서 과학 지식의 실용성에 관한 인식을 점차 강조해 왔다. 진화 이론 역시 현대 과학에서는 실용적으로 활용되고 있음에도 불구하고 그에 대한 학생들의 인식은 낮을 것으로 예상된다. 이 연구는 진화 이론의 실용성에 관한 인식과 관련된 변인을 탐색하는 것을 목표로 한다. 방법론적으로 전공, 학년, 종교의 3가지 독립변수와 실용성에 관한 인식, 진화 지식, 진화 관심, 진화 수용, 종교성의 5가지 종속변

수를 설문조사 하였다. 총 233명의 생물 예비교사와 405명의 비생물 과학예비교사가 이 연구에 참여하였다. 연구 결과, 비생물 교사 양성 프로그램과 비교하였을 때 생물 교사양성 프로그램은 진화 지식과 관심을 향상시키는데 기여했을 뿐 진화 이론의 실용적 가치에 대한 인식을 향상시키지 못하였다. 진화 이론의 실용적 인식은 개인의 종교 변수, 진화 관심과 수용과 밀접한 관련성을 보였다. 이 연구를 토대로 진화 이론의 실용적 가치를 향상시키는 프로그램의 개발과 다른 과학 개념들의 실용성 인식 변인 조사를 제언한다.

참고 문헌

교육과학기술부(2009). 2009개정 과학과 교육과정. 서울: 대한교과서주식회사.

교육부(1992). 제6차 과학과 교육과정. 서울: 대한교과서주식회사.

교육인적자원부(1997). 제7차 과학과 교육과정. 서울: 대한교과서주식회사.

교육인적자원부(2007). 2007개정 과학과 교육과정. 서울: 대한교과서주식회사.

김계수 (2007). 구조방정식모형 분석. 서울: 한나래출판사.

김수경, 김중복 (2005). 실생활 소재 과학 탐구 모듈이 중학생의 과학 탐구 능력과 실험 활동에 대한 태도에 미치는 효과. 한국과학교육학회지, 25(7), 811-819.

김수경, 차희영, 김중복 (2005). 과학 탐구능력 향상을 위한 실생활 소재 모듈의 개발. 한국과학교육학회지, 25(7), 754-764.

김혜심, 이은경, 강성주 (2006). 실생활 소재 탐구 실험 형태에 따른 학생-학생 언어적 상호작용에서의 학습 접근 수준 분석. 한국과학교육학회지, 26(1), 16-24.

신동훈 (2007). 초등 예비 교사를 위한 생명의 역사와 진화 심리학 기반의 진화 학습 프로그램의 개발. 한국생물교육학회지, 35(1), 150-161.

유상근, 김성하 (2009). 실생활 소재를 이용한 중학생 생물 탐구 실험 모듈의 개발. 한국생물교육학회지, 37(2), 213-228.

조미애, 문성배(2006). 교실 밖 화학체험학습 프로그램이 과학 탐구 능력과 과학 관련 태도에 미치는

영향. 대한화학회지, 50(6), 506-514.

하민수(2011). 진화 개념 교육에 관한 이슈와 과학 교육적 활용. 교과교육연구, 4, 91-127.

하민수, 구슬애, 차희영 (2010) 생물 전공자와 비전공자의 진화에 관한 개념, 흥미, 수용 및 종교성에 관한 연구. 한국생물교육학회지, 38(3), 467-475.

하민수, 차희영 (2007). 진화 기작에 관한 설명의 질적 횡단 분석. 한국생물교육학회지, 35(1), 106-116.

하민수, 차희영(2010). 중학교 과학 수업에서 활용하기 좋은 조건을 고려한 생물탐구 모듈의 개발. 교원교육, 25(1), 256-274.

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.

Bergman, J. (1979). The attitude of university students toward the teaching of creation and evolution in the schools. *Origins*, 6, 60-70.

Brem, S. K., Ranney, M., & Schindel, J. (2003). Perceived consequences of evolution: College students perceive negative personal and social impact in evolutionary theory. *Science Education*, 87(2), 181-206.

Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2008). *Biology 8th Ed.* [전상학 등 공역(2008). 생명과학 8판. 서울: 바이오사이언스]

Chuang, H. C. (2003). Teaching Evolution: Attitudes & Strategies of Educators in Utah. *The American Biology Teacher*, 669-674.

Cleaves, A., & Toplis, R. (2008). In the shadow of Intelligent Design: the teaching of evolution. *Journal of Biological Education*, 42(1), 30-35.

Conover, D. O., & Munch, S. B. (2002). Sustaining fisheries yields over evolutionary time scales. *Science*, 297(5578), 94-96.

Crawford, B. A., Zembal Saul, C., Munford, D., & Friedrichsen, P. (2005). Confronting prospective teachers' ideas of evolution and

scientific inquiry using technology and inquiry based tasks. *Journal of Research in Science Teaching* 42, 613–637.

Deniz, H., Donnelly, L. A., and Yilmaz, I. (2008). Exploring the factors related to acceptance of evolutionary theory among Turkish preservice biology teachers: Toward a more informative conceptual ecology for biological evolution. *Journal of research in science teaching* 45, 420–443.

Firenze, R. F. (1997). The identification, assessment, and amelioration of perceived and actual barriers to teachers: incorporation of evolutionary theory as a central theme in life science class through a two-week institute and follow-up studies. Unpublished Doctoral dissertation, State University of New York.

Goldston, M. D., & Kyzer, P. (2009). Teaching evolution: Narratives with a view from three southern biology teachers in the USA. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(7), 762–790

Griffith, J. A., & Brem, S. K. (2004). Teaching evolutionary biology: Pressures, stress, and coping. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(8), 791–809

Ha, M., Haury, L. D., Nehm, R. H. (2012). Feeling of certainty: Uncovering a missing link between knowledge and acceptance of evolution. *Journal of Research in Science Teaching*. 49(1), 95–121.

He, J. F., Peng, G. W., Min, J., Yu, D. W., Liang, W. J., Zhang, S. Y., Xu, R. H., Zheng, H. Y., Wu, X. W., Xu, J., Wang, Z. H., Fang, L., Zhang, X., Li, H., Yan, X. G., Lu, J. H., Hu, Z. H., Huang, J. C., Wan, Z. Y., Hou, J. L., Lin, J. Y., Song, H. D., Wang, S. Y., Zhou, X. J., Zhang, G. W., Gu, B. W., Zheng, H. J., Zhang, X. L., He, M., Zheng, K., Wang, B. F., Fu, G., Wang, X. N., Chen, S. J., Chen, Z. Hao, P., Tang, H., Ren, S. X., Zhong, Y., Guo, Z. M., Liu, Q., Miao, Y. G., Kong, X. Y., He, W. Z., Li,

Y. X., Wu, C. I., Zhao, G. P., Chiu, R. W. K., Chim, S. S. C., Tong, Y. K., Chan, P. K. S., Tam, J. S., & Lo, Y. M. K. (2004). Molecular evolution of the SARS coronavirus during the course of the SARS epidemic in China. *Science*, 303(5664), 1666–1669.

Korte, S. E. (2003). The acceptance and understanding of evolutionary theory among Ohio secondary science teachers. Un published master's thesis, Ohio University, Lancaster, OH.

Law, W., & Salick, J. (2005). Human-induced dwarfing of Himalayan snow lotus, *Saussurea laniceps* (Asteraceae). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(29), 10218–10220.

Levin, B. R., Perrot, V., & Walker, N. (2000). Compensatory mutations, antibiotic resistance and the population genetics of adaptive evolution in bacteria. *Genetics*, 154(3), 985.

Lombrozo, T., Thanukos, A., & Weisberg, M. (2008). The importance of understanding the nature of science for accepting evolution. *Evolution Education and Outreach*, 1(3), 290–298.

Miller, K. R. (2008). *Only a theory: Evolution and the battle for America's soul*. New York: Penguin Group.

Miller, J. D., Scott, E. C., & Okamoto, S. (2006). Public acceptance of evolution. *Science*, 313(5788), 765–766.

Mindell, D. P. (2006). *The evolving world: evolution in everyday life*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Moore, R., & Kraemer, K. (2005). The teaching of evolution & creationism in Minnesota. *The American Biology Teacher*, 67(8), 457–466.

Moore, R., Froehle, A. M., Kiernan, J., & Greenwald, B. (2006). How biology students in Minnesota view evolution, the teaching of

evolution & the evolution-creationism controversy. *The American Biology Teacher*, 68(5), 35-42.

Moore, R. (2007). The differing perceptions of teachers & students regarding teachers' emphasis on evolution in high school biology classrooms. *The American Biology Teacher*, 69(5), 268-271.

Moore, R. (2008). Creationism in the biology classroom: What do teachers teach & how do they teach it? *The American Biology Teacher*, 70(2), 79-84.

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.

Orencia, M. C., Yoon, J. S., Ness, J. E., Stemmer, W. P. C., & Stevens, R. C. (2001). Predicting the emergence of antibiotic resistance by directed evolution and structural analysis. *Nature Structural & Molecular Biology*, 8(3), 238-242.

Peker, D., Comert, G. G., & Kence, A. (2009). Three decades of anti-evolution campaign and its results: Turkish undergraduates' acceptance and understanding of the biological evolution theory. *Science & Education*, 19(6), 739-755.

Rutledge, M. L., & Warden, M. A. (2000). Science and high school biology teachers: Critical relationships. *The American Biology Teacher*, 62, 23-31.

Rutledge, M. L., & Warden, M. A. (1999). Development and validation of the measure of acceptance of the theory of evolution instrument. *School Science and Mathematics*, 99, 13-18.

Sanders, M., & Ngxola, N. (2009). Identifying teachers' concerns about teaching evolution. *Journal of Biological Education*,

43(3), 121-128.

Scharmann, L. C., & Harris Jr, W. M. (1992). Teaching evolution: Understanding and applying the nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 375-388.

Scharmann, L. C. (1994). Teaching evolution: The influence of peer teachers' instructional modeling. *Journal of Science Teacher Education* 5, 66-76.

Schumacker, R. E., & Lomax, R. G. (1996). *A beginner's guide to structural equation modeling*. Mahwah, NJ: Erlbaum.

Sinatra, G. M., Southerland, S. A., McConaughy, F., & Demastes, J. W. (2003). Intentions and beliefs in students' understanding and acceptance of biological evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 510-528.

Song, H. D., Tu, C. C., Zhang, G. W., Wang, S. Y., Zheng, K., Lei, L. C., Chen, Q. X., Gao, Y. K., Zhou, H. Q., Xiang, H., Zheng, H. J., Chern, S. W. W., Cheng, F., Pan, C. M., Xuan, H. Chen, S. J., Luo, H. M. Zhou, D. H., Liu, Y. F., He, J. F., Qin, P. Z., Li, L. H., Ren, Y. Q., Liang, W. J., Yu, Y. D., Anderson, L. Wang, M., Xu, R. H., Wu, X. W., Zheng, H. Y., Chen, J. D., Liang, G. Gao, Y., Liao, M., Fang, L., Jiang, L. Y., Li, H., Chen, F., Di, B., He, L. J., Lin, J. Y., Tong, S., Kong, X., Du, L., Hao, P., Tang, H., Bernini, A., Yu, X. J., Spiga, O., Guo, Z. M., Pan, H. Y., He, W. Z., Manuguerra, J. C., Fontanet, A., Danchin, A, Niccolai, N., Li, Y. X., Wu, C. I., & Zhao, G. P. (2005). Cross-host evolution of severe acute respiratory syndrome coronavirus in palm civet and human. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(7), 2430.

Tatina, R. (1989). South Dakota high school biology teachers & the teaching of evolution & creationism. *The American Biology Teacher*, 51(5), 275-280.

Van Koevinger, T. E., & Stiehl, R. B. (1989).

Evolution, creation and Wisconsin biology teachers. *The American Biology Teacher*, 51(4), 200-202.

Yeh, S. H., Wang, H. Y., Tsai, C. Y., Kao, C. L., Yang, J. Y., Liu, H. W., Su, I. J., Tsai, S. F. Chen, D. S., Chen, P. J., & National Taiwan

University SARS Research Team. (2004). Characterization of severe acute respiratory syndrome coronavirus genomes in Taiwan: molecular epidemiology and genome evolution. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(8), 2542.