

# 진화 교육을 위한 평가 도구 비교 분석

이희건<sup>1</sup>, 김원<sup>1</sup>, 박한선<sup>2\*</sup>

**요약:** 진화 이론은 아주 중요한 과학적 이론이다. 그러나 다른 과학적 이론에 비해서 진화 이론에 관한 대중의 수용 수준은 상당히 낮다. 진화 이론에 관한 낮은 수용도는 대중의 낮은 이해 수준에 의한 것으로 간주되어 왔다. 그러나 개인적 흥미나 세계관, 종교성도 중요한 영향을 미친다. 본 논문에서는 대학 진화 교육에 활용할 수 있는 유용한 평가 도구를 수용과 이해, 흥미, 종교성의 네 영역으로 나누어 제안하고, 여러 측면에서 각 척도의 장단점을 비교하였다. 이를 통해서 다양한 대상에게 제공되는 진화 교육의 성과를 객관적으로 평가하고, 여러 주제와 방식의 진화 교육이 가지는 효과성을 비교할 수 있을 것이다. 이를 통해서 근거 기반의 진화 교육 커리큘럼을 개발, 발전시킬 수 있을 것이다.

**키워드:** 진화 교육, 진화 이론, 진화 수용 평가, 진화 이해 평가

<sup>1</sup>서울시 노원구 동일로 1342 인제대학교 의과대학 상계백병원 정신건강의학과; <sup>2</sup>서울시 관악구 관악로 1 서울대학교 사회과학대학 인류학과 진화인류학 연구실

\*Corresponding author: hansonpark@snu.ac.kr

## 서론

진화 이론은 태양중심설, 상대성이론, 판구조론과 함께 과학사에서 가장 위대한 업적으로 인정된다. 진화 이론은 종의 불변이라는 기존의 개념을 대체하여, 오랜 종에서 새로운 종이 나타난다는 견해를 제시했다(Deniz and Borgerding 2018). 다윈의 진화 이론은 생물의 여러 형질에 관한 경험적 증거를 성공적으로 설명할 수 있을 뿐 아니라, 생물학을 넘어서 경제학, 심리학, 의학, 인류학 등 다양한 학문에 직간접적으로 관련되는 이론적 체계다(하민수 et al. 2012). 따라서 대학생 및 과학적 대중의 진화 이론에 관한 이해 수준을 향상시키는 일은 아주 중요하다. 2012년 이화여대 최경희 등의 연구에서는, 21세기 과학 교육을 위한 핵심적 콘텐츠로 에너지, 물질의 입자 특성, 생물학적 다양성, 변화 패턴, 시스템과 상호성, 지속가능성, 스케일과 구조 등에 이어 진화와 평형(Evolution and Equilibrium)을 제시한 바 있다(Choi et al. 2011).

그러나 진화 이론을 둘러싼 논란은 여전히 현재진행형이다. 앞서 언급한 여타의 과학적 패러다임에 비해서 진화 이론은 대중에게 충분히 수용되고 있지 않다. 미국인의 40%, 터키인의 25%만이 진화 이론을 수용한다. 물론 국가 간 차이가 상당하여 서유럽 국가의 진화 이론 수용 수준은 75%를 상회하지만, 여전히 성인 인구 집단의 적지 않은 비율이 진화 이론을 받아들이지 않고 있다(Miller et al. 2006; National Academy of Sciences (NAS) 2008).

흔히 진화 이론에 관한 대중의 낮은 수용도는 낮은 이해 수준에서 시작된다고 간주된다(Lombrozo et al. 2008). 따라서 진화 이론에 관한 과학적 수업을 강화하여 비과학적 편견을 줄일 수 있다는 것이다. 그러나 여러 연구에 의하면 진화 이론에 관한 이해 수준과 수용 수준 사이의 신뢰할 만한

상관관계는 없었다(Bishop and Anderson 1990; Brem et al. 2003). 오히려 종교나 세계관, 정치적 태도 등이 더 중요한 영향을 미쳤다(Miller et al. 2006).

한국 대학생의 진화 이론 이해 및 수용 수준에 관한 연구는 드물다. 2012년에 발표된 하민수 등의 연구에 의하면, 한국 대학생은 미국 대학생에 비해서 진화에 관한 흥미가 낮았다. 생물 전공 학생의 진화 수용 여부에 미치는 진화적 개념 이해의 역할이 미국 대학생에 비해 낮았다. 생물 비전공자의 경우, 종교성이 진화 수용 여부에 미치는 영향이 미국 대학생보다도 높았다(하민수 et al. 2012). 이는 한국 대학생 집단의 진화 이론에 관한 수용 여부와 이해 수준이, 심지어 생물 전공 학생의 경우에도, 과학 교육에 의해 좌우되기 보다는 개인적 믿음이나 태도에 의해 결정된다는 것을 시사한다.

한국의 과학교육에서 진화 이론의 비중은 빈약하고, 대학수학능력시험 및 심지어 생물교사 임용고사에서도 관련 문항의 출제 빈도가 낮다(김성환 2009; 김학현 and 장남기 2001; 유해미 and 김재근 2006; 이은경 et al. 2007). 한국인 집단을 대상으로 한 진화 이론 수용 및 이해 수준에 관한 대규모의 체계적 연구는 아직 없지만, 앞서 언급한 몇몇 연구 결과를 감안하면 미국인 집단보다 더 양호할 것으로 단언하기 어렵다. 미국의 진화 이론 수용 수준은 조사 대상 34개국 중 33번째였다(Miller et al. 2006).

정리하면 다음과 같다. 진화 이론은 다양한 영역에서 활용되는 아주 중요한 과학적 패러다임일 뿐 아니라 21세기 교육에서 그 중요성이 더 강조되고 있다. 그러나 진화 이론에 관한 이해 수준과 수용 수준은 전반적으로 기대에 비해 낮은 편이며, 한국의 상황도 크게 다르지 않을 것으로 추정된다. 진화적 개념의 이해와 진화 이론의 수용, 진화에 관한 개인적 흥미와 세계관, 종교성 등은 서로 밀접한 영향을 주고받는다(Deniz et al. 2008; Kampourakis and Zogza 2008; Nehm and Schonfeld 2008; 하민수 et al. 2010).

본고에서는 대학생 대상의 진화 교육을 진행할 때, 수강생의 진화 이론 이해 및 수용, 흥미, 종교성 등을 확인할 수 있는 몇몇 평가 도구를 제안하고 장단점을 비교, 제시할 것이다. 이를 통해서 수강생의 여러 특성을 객관적으로 사전 평가하고, 사후 성취 수준을 측정할 수 있을 것이다. 또한, 다양한 교육 내용 및 교수 방법의 차이에 따른 수업 효과를 선별하고, 대상자에 맞춘 커리큘럼을 개발하기 위한 과학적 근거를 제시할 것이다. 또한, 진화 교육을 받은 집단과 그렇지 않은 집단의 여러 차이를 정량적으로 비교하거나, 진화 교육의 장기적 효과를 추적 관찰하는 도구로도 활용할 수 있을 것이다.

## 본론

본 연구에서는 진화 이론에 관한 수용과 이해 수준 평가를 위해 개발된 검사 도구를 체계적으로 검토하고, 각 도구의 장단점을 평가하고자 한다. 그 밖의 진화에 관한 흥미 및 종교성을 확인하는 검증된 도구도 선별하였다. 구체적으로 다음 세 가지 연구 질문에 답할 것이다.

1. 진화 이론에 관한 수용 수준 평가를 위해 적합한 척도는 무엇인가?
2. 진화 이론에 관한 이해 수준 평가를 위해 적합한 척도는 무엇인가?
3. 개인적 특성(진화에 관한 흥미도 및 종교성 등)을 평가하기 위해 적합한 도구는 무엇인가?

첫번째 및 두번째 연구 질문에 답하기 위해 광범위한 과학적 논문을 검색하였으며, 최소 1회 이상 실증적 연구에 적용된 검사도구를 전수 조사하였다. 연구팀은 선행 연구를 진행한 연구자와의 이메일

의견 교환 및 구글 스칼라 논문 검색, 전문가 대면 회의 등을 통해서 기존에 최소 1회 이상 실증 연구에 활용된 총 12개의 평가 도구를 추출하였다.

각 평가 도구는 진화 이론에 대한 수용 수준 평가 도구, 진화 이론에 관한 이해 수준 평가 도구, 개인적 요인(흥미와 종교성 등)에 관한 평가 도구 등으로 나누어 분류하고, 각 척도의 특징 및 장단점을 비교하였다. 또한, 평가 도구를 조사, 취합한 후, 연구진이 고안한 다음의 네 가지 기준을 고안하여 각 척도의 장단점을 비교하였다. 마지막 기준은 개인적 요인에 관한 평가 도구 선별에만 적용하였다.

1. 과학적 신뢰성) 다른 준거 집단과의 비교가 가능할 정도로 충분한 연구 데이터가 축적된 도구인가?
2. 포괄성) 다양한 집단에 관한 포괄적인 평가를 제공할 수 있는 도구인가?
3. 온라인 대응성) 비대면 온라인 설문으로 진행할 수 있는가?
4. 개인적 요인 평가 가능성) 개인적 요인(진화에 관한 흥미, 종교성 등)을 정확하게 평가할 수 있는가?

## 1. 진화 이론에 관한 수용 수준 평가 도구

### 배경

2017년 보고된 조사에 따르면 미국 거주자의 62%만이 인간이 시간이 지남에 따라 진화했다는 것에 동의하며, 이중 절반만이 진화가 인간이 변화하는 유일한 이유라고 대답했다(Masci 2019). 2008년 또다른 보고서에 따르면 대학생 5명 중 1명이 인간이 진화한다는 데 동의한다고 했다(Lovely and Kondrick 2008). 진화 이론에 관한 낮은 수용 수준은 전 세계 생물교육에서 중요한 과제 중 하나다. 진화 지식과 수용 사이의 중간 관계에 대한 해석은 진화 수용 여부가 생물학적 지식과 실제로 세상에 관한 생각을 바꾸려는 의지 사이의 중요한 매개 요인임을 시사한다 (L. S. Nadelson and Southerland 2010; Romine et al. 2018).

진화 이론에 관한 수용 수준을 평가는 진화 수업 및 관련 강의 개발에 아주 중요하다. 수업 및 강의 전, 대상의 진화 이론 수용 수준을 파악하여 진화 이론에 관한 정서적 거부감이나 인지적 오해 등을 확인하며, 수업 중 혹은 수업 후 수용 수준의 변화를 확인하여 수업의 효과성을 검증할 수 있다.

본 연구에서는 1. Measure of Acceptance of the Theory of Evolution(MATE), 2. Inventory of Student Evolution Acceptance(I-SEA), 3. Evolutionary Attitudes and Literacy Survey (EALS), 4. the Generalized Acceptance of Evolution Evaluation(GAENE) 등 총 네 가지 선별도구를 선정하여 비교, 분석하였다.

### Measure of Acceptance of the Theory of Evolution (MATE)

약 20년 전, 진화에 관한 수용 수준을 객관적으로 평가하기 위해 처음으로 개발된 도구다(Rutledge and Warden 1999). 당시 생물 교사의 진화론 수용 여부가 고등학교 생물학 커리큘럼 실행에 미치는 중요성에 대한 문제 인식에서 시작하여, 진화론의 과학적 타당성과 실질적 진화 현상을 설명하는 능력을 평가할 목적으로 개발되었다. 즉, 처음에는 진화론에 관한 교사의 전반적 수용도를 측정하기 위하여 개발되었던 도구다.

본 도구의 유효성을 평가하기 위하여 진화 생물학, 과학 교육 및 과학 철학 분야에 전문성을 갖춘 5명의 대학 교수로 구성된 배심원이 참여하였고, 신뢰도를 확보하기 위해 공립 고등학교 교사 1,039명이 연구에 참여하였다(Rutledge and Mitchell 2002).

MATE는 긍정 문항과 부정 문항이 각각 10개씩 모두 총 20문항으로 이루어져 있다. 평가 내용은 모두 6개 개념으로 구성된다(표1). 각 문항은 5점 Likert 척도로 구성되어 있고, 역문항은 반대로 채점되도록 설계되어 있다. 따라서 최저 20점부터 최고 100점까지 점수가 부여되며, 점수가 높을수록 진화에 관한 수용도가 높다고 할 수 있다. 본 검사도구는 총점 기준으로 총 5개의 절단점을 제시하고 있다(표2).

표 1. Concepts addressed by the MATE

Concepts	Items
Process of evolution	1. Organisms existing today are the result of evolutionary processes that have occurred over millions of years. 9. Organisms exist today in essentially the same form in which they always have. 18. The theory of evolution brings meaning to the diverse characteristics and behaviors observed in living forms. 19. With few exceptions, organisms on earth came into existence at about the same time.
Scientific validity of evolutionary theory	2. The theory of evolution is incapable of being scientifically tested. 10. Evolution is not a scientifically valid theory. 12. Current evolutionary theory is the result of sound scientific research and methodology. 13. Evolutionary theory generates testable predictions with respect to the characteristics of life. 14. The theory of evolution cannot be correct since it disagrees with the Biblical account of creation. 20. Evolution is a scientifically valid theory.
Evolution of humans	3. Modern humans are the product of evolutionary processes which have occurred over millions of years. 15. Humans exist today in essentially the same form in which they always have.
Evidence of evolution	8. There is a significant body of data which supports evolutionary theory. 4. The theory of evolution is based on speculation and not valid scientific observation and testing. 6. The available data are ambiguous as to whether evolution actually occurs. 16. Evolutionary theory is supported by factual, historical, and laboratory data.

**표 2. Cut-off Score for Determining the Acceptance of Evolution on the MATE**

Scores	Acceptance
89 - 100	Very High Acceptance
77 - 88	High Acceptance
65 - 76	Moderate Acceptance
53 - 64	Low Acceptance
20 - 52	Very Low Acceptance

본 도구는 생물 교사를 위한 도구지만, 대학생에게도 적용할 수 있다. 2007년, 생물학 비전공 대학생 대상의 평가에서 0.94의 신뢰도를 보여주어, 진화 이론 수용 수준에 관한 유용한 일반 평가도구로 확인되었다. 개발 역사가 오래된 도구로 다양한 집단에서 적용한 연구 결과가 축적되어 있으며, 국내에서도 여러 번 연구에 활용된 바 있다(하민수 et al. 2010, 2012).

**Inventory of Student Evolution Acceptance (I-SEA)**

앞서 말한 MATE는 국내외 수많은 연구에서 진화론의 수용을 평가하는 도구로 가장 널리 사용되어 왔으나 일부 문항이 진화의 이해와 수용을 분명하게 구분하고 있지 않다는 단점도 있다(M. U. Smith 2010). 또한, 진화에 관한 수용 정도는 대진화, 소진화, 인간 진화 등에 따라 상이할 수 있다. 일반적으로 대진화보다는 소진화에 대해서(Alters and Alters 2001; Scott 2008), 그리고 인간 진화보다는 비인간 유기체의 진화에 대해서 더 수용적인 편이다(Vosniadou 2008).

I-SEA는 대진화와 소진화, 인간 진화에 관해 각각 8문항을 제시하는 총 24문항의 설문이다. 개발 단계에서 진화적 개념을 세분화하였다. 9개 문항은 부정형으로 제시되어 있다. 연구 결과에 따르면, 앞서 말한대로 대진화나 인간 진화보다는 소진화에 대해 거부감이 더 적게 나타났다(L. S. Nadelson and Southerland 2012). 예를 들어 ‘생물은 환경에 적응한다’는 소진화적 개념은 수용하지만, ‘생물은 다른 종으로 진화한다’는 대진화적 개념은 거부하는 경우가 흔했다. 그리고 특히 인간 진화에 관해서는 대진화와 소진화를 막론하고 거부하는 소집단이 있었다. 본 척도는 이러한 대상별 특성을 잘 반영하여 평가하는 장점이 있다.

**Evolutionary Attitudes and Literacy Survey (EALS)**

최근에 개발된 도구로 기존 도구가 다양한 변수를 포괄하고 있지 못한 점을 고려하여, 더 많은 변수를 포함, 여러 개의 하위 척도를 구성한 도구다(Hawley et al. 2011). 총 16개의 하위척도를 포함하고 있는데, 대략 표3과 같다.

**표 3. Evolutionary Attitudes and Literacy Survey (EALS)**

Subscale	Main content and relevant rationale	Number of Items
----------	-------------------------------------	-----------------

Political activity	<p>How active are you politically?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Since evolution does not ascribe meaning to human life nor offers prescriptions for living a good life, its acceptance might be expected to positively associate with liberalism and negatively associate with conservatism (Miller et al. 2006).</li> </ul>	6
Religious Identity and activity	<p>How does religion affect your daily life?</p> <p>Is God important to you?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– It is necessary to ask questions regarding the frequency of spiritual behavior in conservative Christian denominations because they have a low acceptance of evolution (Lombrozo et al. 2008).</li> </ul>	6
Conservative self-identity	<p>How would you describe your political self-identification in general?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Acceptance may be positively associated with liberalism and negatively associated with conservatism (Miller et al. 2006).</li> </ul>	5
Attitudes toward life	<p>Legal protection should be provided to all stages of human life, including the embryo, the fetus, the child, and the adult.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Ideological beliefs about when life began are relevant to religious and political ideology (Miller et al. 2006).</li> </ul>	3
Intelligent design fallacies	<p>The development of complex biological systems cannot be achieved through slight successive modifications.</p>	11
Young earth creationist beliefs	<p>There is insufficient time for evolution to have taken place on the Earth.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– An assessment of the extent to which young earth creation theories have been accepted at universities such as 'the earth was made by God over a period of six days less than 10,000 years.'</li> </ul>	9
Moral objections	<p>A person who accepts evolution does not believe in God.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– A moral objection may contribute greater explanatory power than religiosity, and 55% of Americans believe science and religion are at odds (Kohut 2009).</li> </ul>	5
Social objections	<p>There has been a contribution to racism from the theory of evolution.</p>	6
Distrust of the scientific enterprise	<p>The data used to support evolution is unreliable.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– An obstacle to acceptance of evolutionary theory could be one's general attitude toward science and its methods, particularly if it is associated with evolution (Lombrozo et al. 2008).</li> </ul>	7

Relevance of Evolutionary Theory	Evolutionary theory provides us with a better understanding of plants. - Evolution is readily applied to plants, biology, and animals, but not to humans (Richards 2008).	9
Genetic literacy	As of today, it is not possible to transfer genes between species of animals.	9
Evolutionary knowledge	The genetic variability of a population increases its resistance to extinction.	7
Evolutionary misconception	It is a random process that leads to natural selection.	6
Knowledge about the scientific enterprise	Feelings and beliefs are capable of supporting scientific ideas.	7
Self-exposure to evolution	I read science magazines about evolution (e.g., Discover, National Geographic, Nature).  - It has been shown that individuals who seek information about evolutionary theory may actually have a greater understanding of it and therefore have more positive attitudes towards it (Lombrozo et al. 2008).  - For instance, natural history museums provide information about evolution to the public. It has been observed that visitors to the Natural Museum have a better understanding of evolution and have a more positive attitude toward it (Diamond and Evans 2007).  - There is a need to assess the respondents' exposure to evolution in their youth (possibly due to high school education and/or parental influence) as well as their self-selected exposure in adulthood (Spiegel et al. 2006).	5
Youth exposure to evolution	What kind of training did you receive in high school regarding evolution?	4

EALS는 여러 전공의 학부생을 대상으로 그 타당성과 유효성을 확인하였다(Hawley et al. 2011). 그러나 총 104개라는 너무 많은 문항으로 구성되어 있어 실제 현장에서 활용하기 어렵다는 단점이 있다. 이에 따라 62개의 문항으로 줄인 단축형 척도(EALS short form, EALS-SF)도 개발되었다(Short and Hawley 2012).

### The Generalized Acceptance of Evolution Evaluation (GAENE)

가장 최근에 개발된 도구로 기존 도구의 여러 단점을 체계적으로 분석하고, 이에 대해 보완한 척도다. 진화에 대한 수용 수준과 믿음 수준에 관한 명확한 구분을 가장 중요한 원칙으로 삼았다(Romine et al. 2018). 저자는 기존 도구와 GAENE의 차이점을 체계적으로 비교하여 제시하였다(M. U. Smith et al. 2016). GAENE가 다른 척도와 다른 특징은 대략 다음과 같다.

첫째, 기존 척도의 유효성 검증의 불확실성을 개선했다. 예를 들어 MATE의 경우 개발 초기에 전문가 검증 패널의 유효성에 대한 통계 분석 보고가 되지 않았으며, 진화 지식을 측정하는 항목이 혼재되어 있으므로 유효성을 정확하게 평가하기 어렵다. 또한, MATE와 I-SEA는 개발 당시 전문가 패널에 관한 다른 정보가 불충분하다는 단점이 있다(Rutledge and Warden 1999).

둘째, 진화에 관한 수용 수준과 이해 수준을 명확하게 구분했다. 예를 들어 MATE의 문항 중 ‘지구의 나이는 2만 년이 안된다’ 라는 문항은 진화에 관한 수용을 묻는 문항인지 이해를 묻는 문항인지 불분명하다(Romine et al. 2018; Rutledge and Warden 1999). 피험자는 종교적 이유로 ‘젊은지구설(Young Earth Creationism, YEC)’ 을 믿을 수도 있지만, 단순히 지구의 나이에 대한 지식이 부족한 것일 수도 있다. 또한, EALS의 문항 중 ‘창세기에 등장하는 아담과 이브는 인류 전체의 보편적 조상이다’ 도 비슷한 이유로 수용 수준을 묻는 것인지 이해 수준을 묻는 것인지 불확실하다(Rutledge and Warden 1999).

실제로 EALS는 무려 16개의 하위 척도를 묻고 있으나, 정작 진화 이론에 관한 수용 정도를 직접적으로 묻는 문항이 없다(Hawley et al. 2011). GAENE는 ‘진화에 관한 수용이란, 현재의 진화 이론이 새로운 종의 기원에 관한 현존하는 가장 과학적인 설명이라고 가정하는 정신적 행위나 입장을 말한다’ 라는 정의 하에서 기존 도구의 문항 중 일부를 선별하여 수정 제시하였다(Romine et al. 2018). 또한, 중립적 응답을 방지하기 위해서 4점 척도((1= 매우 동의하지 않음, 4= 매우 동의함)를 사용하였다. 그리고 GAENE는 MATE와 달리 절단점을 지정하지 않고, 개인적 상황 및 맥락에 따라 점수를 평가하도록 하였다. GAENE는 버전 1에서 16개 문항으로, 버전 2에서 13개 문항으로 구성된 질문지를 제시하였다(M. U. Smith et al. 2016).

그러나 GAENE는 가장 최근에 개발된 도구로서 주로 고등학생을 대상으로 설계되어, 일반 인구 집단에서의 데이터가 부족하다는 단점이 있다(Romine et al. 2018). 아직은 연구 결과가 많이 축적되어 있지 않다.

## 2. 진화 이론에 관한 이해 수준 평가 도구

### 배경

진화 이론에 관한 수용 수준은 생물학이나 유전학 등에 관한 이해 수준과 깊은 관련이 있다(Carter et al. 2015; Mead et al. 2017; L. S. Nadelson and Southerland 2010; Walter et al. 2013; Yousuf et al. 2011). 그러나 단지 진화 이론에 관한 수용 수준이 높다고 해서 자동적으로 진화에 관한 이해도가 높아지는 것은 아니다. 또한, 진화 이론에 관한 단편적 지식으로 진화에 관한 전반적인 수용도를 가늠할 수도 없다. 특히 대학생 대상의 진화 관련 수업은 다른 유관 주제를 다루는 강좌와 연계되어 제공되는 경우가 많으므로, 진화 이론에 관한 이해 수준만 따로 평가, 측정할 필요가 있다.

본 연구에서는 1. Conceptual Inventory of Natural Selection (CINS), 2. the Measure of Understanding of Macroevolution(MUM), 3. ACORNS(Assessing COntextual Reasoning about Natural Selection), 4. Genetics Concept Assessment (GCA), 5. 진화생태검사지 등 총 다섯 가지 평가 도구를 선정하여 비교, 분석하였다.



### Conceptual Inventory of Natural Selection (CINS)

진화 이론에 관한 이해 수준을 평가하는 가장 보편적인 도구다(Anderson et al. 2002). 총 10가지의 생물학적 개념을 통해서 자연선택을 이해할 수 있다고 가정하여, 해당 개념에 관한 이해 수준을 묻는 문항을 설계하였다. 해당 개념은 표4에 정리하였다.

표 4. 10 Biologic Concepts of Evolution on CINS

Topic	Scientific concepts	CINS questions
Biotic potential	In all species, there is such a high potential for reproduction that their population size would increase exponentially if all individuals born reproduced successfully again	1C, 11B
Population stability	Except for seasonal fluctuations, most populations remain stable in size	3B, 12A
Natural resources	The availability of natural resources is limited	2A, 14D
Limited survival	Competition results in the death of some individuals.	5D, 15D
Variation within a population	Individuals within a population have a wide range of characteristics	9D, 16C
Variation inheritable	A great deal of variation is inherited	7C, 17D
Differential survival	Individuals who possess the characteristics that best suit their environment are likely to have a greater number of offspring than those who are less fit	10C, 18B
Change in a population	In a population with unequal reproductive abilities, the proportion of individuals with favorable characteristics will increase as generations pass	4B, 13B
Origin of species	Over time, a population isolated from other populations may evolve into a new species	8A, 20B
Origin of variation	Variations are produced by random mutations and sexual reproduction	6B, 19C

CINS는 10가지 생물학적 진화 개념에 관해 각각 두 문항으로 구성된 총 20문항의 평가 도구다. 각 문항은 갈라파고스 제도의 핀치, 베네수엘라의 구피, 카나리섬의 도마뱀 등 이미 과학적으로 잘 정립된 진화적 사건에 기반한 시나리오 및 관련 그림을 제시하고 있다. 최초 개발 문항은 일반 생물학 수강생(비전공 학생)을 대상으로 정답률 46.4%, 신뢰도 0.64의 결과를 얻었으며, 여러 국가에서 대학생의 자연선택 개념에 관한 이해 수준을 평가하는 도구로 널리 활용되고 있다(Athanasidou and Mavrikaki 2014; Großschedl et al. 2014; L. S. Nadelson and Sinatra 2009, 2010; Nehm and Schonfeld 2008).

### The Measure of Understanding of Macroevolution (MUM)

CINS는 진화의 가장 핵심적인 개념을 다루고 있지만, 소진화적 개념에 치우쳐 있다는 단점이 있다.

종 내 여러 개체의 변이에 의한 점진적인 자연선택 과정을 소진화라고 한다면, 환경 변화에 의한 생식적 격리 등에 의해 계통진화적 차원에서의 종분화가 일어나는 과정을 대진화라고 할 수 있다(K. M. Catley 2006). 따라서 소진화를 “동일한 ‘종’ 내에서의 단순 변화”로 정의하고 대진화를 “종 수준 이상에서 일어나는 분류군의 진화”로 정의할 수 있을 것이다(Alters and Alters 2001).

MUM은 바로 이러한 조작적 정의에 기반하여 대진화에 관한 이해 수준을 평가하는 도구다. 계통발생학, 종분화, 화석, 과학적 본성, 긴 시간이라는 다섯 가지 필수 개념을 바탕으로 5개의 시나리오를 제시하는 방식으로 평가한다. 시나리오 선별을 위해서 생물학 학부 커리큘럼을 검토하여 흔히 접하는 과학적 사례를 선별하였다. 총 27개의 사지선다형 문항 및 질적 분석을 위한 개방형 문항 1개로 구성되어 있다. 개발 당시 신뢰도는 0.86, 정답률은 약 50%였다(795명의 학부생 대상 연구)(L. Nadelson and Southerland 2009). 다섯가지 핵심 개념에 관한 설명은 표5에 정리했다.

표 5. 5 Core Concepts of MUM

Subscales	Explanation
Phylogenetics	Macroevolutionary cladograms or phylogenetic trees represent the relationships between species and their common ancestors, as well as the evolution of species divisions over time (L. S. Nadelson and Southerland 2010). To understand how living and extinct organisms are related, it is crucial to be able to interpret phylogenetic trees or cladograms that depict these classifications (K. M. Catley 2006).
Speciation	Over the course of deep time, speciation can lead to macroevolution (Wilkins 2006), which can result in the diversity of biology(K. Catley et al. 2005; Evolution 1998).
Fossils	The fossil record is one of the most important sources of evidence used to support our understanding of macroevolution. It helps in the interpretation of speciation(Evolution 1998), as well as in understanding the evolutionary mechanism and the phylogenetic tree (Nehm et al. 2009).
Nature of Science	A scientific approach is to accept various interpretations and provisional explanations of the scientific evidence. Since evolutionary science offers multiple competing explanations based on a variety of evidence, an understanding of the scientific nature is essential to explain macroevolution(Evolution 1998; L. S. Nadelson and Southerland 2010).
Deep time	Evolution has occurred over a geological time period of at least 500 million years. To understand deep time, it is usually divided into the primitive past and the recent past (Trend 1998), yet we do not understand how evolutionary events unfolded over such a long period. Consequently, macroevolution is poorly understood due to this lack of understanding about deep time (K. Catley et al. 2005; Dodick 2007).

### ACORNS (Assessing COntextual Reasoning about Natural Selection)

진화 이론에 관한 이해 수준은 제시되는 상황이나 맥락에 따라 크게 달라질 수 있다. 변이와 유전, 상이한 생존력에 관한 개념 이해는 어떤 대상의 어떤 형질에 관한 것인지에 따라 다른 결과를 보인다. 예를 들어 달팽이의 독성이나 가시가 없는 장미, 날 수 없는 펭귄, 날개가 달린 느릅나무의 씨앗 등

다양한 생물학적 맥락에서 피험자는 상이한 이해 수준 및 오개념 수준을 보일 수 있다. 그런데 기존 평가도구는 이러한 맥락적 요인을 분별하지 못하는 단점이 있다(Nehm and Ha 2011).

ACORNS는 기존 검사 도구에 기반하여 맥락적 변수를 분명하게 제시하고, 이에 대한 응답을 단답형 주관식으로 확인한다(Nehm, Beggrow, et al. 2012). 자연선택이라는 소진화적 개념에 관한 이해 수준을 식별할 수 있으며, 혼란 오개념도 분명하게 다룰 수 있는 장점이 있다. 중고등학교 학생에게 진화에 대한 개념을 교육하고 평가할 때 활용하기 편리하다. 그러나 단답형 문항을 채점하기 위해서 숙련된 평가자가 필요하며, 시간도 많이 걸리는 단점이 있다. 이에 대해서는 컴퓨터 기반의 채점 프로토콜도 제안되어 있으며(Nehm, Ha, et al. 2012; Nehm and Haertig 2012), 국내 연구도 진행된 바 있다(하민수 et al. 2019).

### Genetics Concept Assessment (GCA)

GCA는 유전학에 관한 아홉 가지 핵심 개념에 관한 이해 수준을 평가하는 척도다. 2008년 3개 기관의 600명 학생을 대상으로 표준화가 진행되었다. 본 검사는 대학 학부생을 대상으로 한 학습 수행 능력 혹은 수업의 적정성 평가를 목적으로 한 것이다(M. K. Smith et al. 2008). 진화적 개념을 포함하고 있지만, 유전학적 근연 기전에 관한 주제에 치우쳐져 있다는 단점이 있다. 핵심 개념 중 일부에 대해서 표6에 제시하였다(M. K. Smith et al. 2008).

표 6. Some Examples of GCA's Core Assessment Objectives(M. K. Smith et al. 2008)

- Analyze phenotypic data and deduce patterns of inheritance from family histories
- Describe the molecular anatomy of genes and genomes
- Extract information about genes, alleles, and gene functions by analyzing the progeny from genetic crosses
- Describe the processes that can affect the frequency of phenotypes in a population over time
- Compare different types of mutations and describe how each can affect genes and the corresponding mRNAs and proteins

### 진화생태검사지

진화생태검사지는 치타의 빠른 다리, 두더지의 작은 눈, 북극여우의 하얀털, 벼멸구의 농약 저항성, 인간의 대뇌화, 장미의 향기 등 총 여섯 종의 진화적 결과에 대해 제시하고, 이에 대해서 목적론, 용불용설, 자연선택 등의 개념에 대한 반응을 평가하는 척도다. 과학적 진화론을 비과학적 목적론이나 용불용설 등의 오개념과 구분하려는 목적으로 만들어진 도구다(하민수 2016).

## 3. 개인적 특성(흥미와 종교성)에 관한 평가 도구

### 배경

진화 이론에 관한 수용 수준에 영향을 미치는 요인으로 진화에 관한 지식 외에도, 종교성이 중요한 것으로 알려져 있다(Barone et al. 2014; Carter and Wiles 2014; Heddy and Nadelson 2013; Mazur 2004; Moore et al. 2011; Nehm and Schonfeld 2008; Rissler et al. 2014; Vosniadou 2008; Yousuf et al. 2011). 대개 서구에서 진행된 연구로, 여기서 종교성은 기독교에 관한 것으로 간주해도 무방하다.

한국은 개신교와 천주교를 포함한 기독교인의 비중이 31% 정도로 서구 사회에서 비해 낮은 수준이지만(이동한 2021), 적지 않은 교단이 축자영감설(verbal inspiration)을 받아들이므로 해당 종교인에게는 진화 이론에 관한 수용 수준이 크게 낮을 것으로 추정할 수 있다.

진화 수용과 연관성을 갖는 것으로 확인된 또 다른 변수로는 연령(Evans 2008), 성별, 학업 성적, 대학 전공, 생물학 또는 진화에 대한 사전 지식(Ingram and Nelson 2006; Rutledge and Mitchell 2002), 생물학 과목 이수 여부(Moore and Cotner 2009) 등이 있다. 연령과 성별, 학업 성적, 대학 전공 등은 단순한 인구사회학적 변수지만, 생물학이나 진화에 관한 사전 지식 및 생물학 과목 이수 여부는 평소 진화에 관한 개인적인 흥미와 관련될 것으로 추정된다. 특히 비생물학 전공 학생의 진화 관련 수업 수강 여부는 개인적 관심에 크게 좌우되므로, 이들의 진화 이론에 관한 이해 및 수용 정도도 개인적 흥미에 크게 좌우될 것으로 보인다.

연령, 성별, 성적, 전공, 사전 수강 여부 등은 단순한 인구사회학적 질문을 통해 얻을 수 있다. 그러나 진화에 관한 흥미 및 종교성에 관한 정보는 더 체계화된 척도가 필요하다. 이를 위해서 개발된 척도는 아직 드물다. 본 연구에서는 각각 한 개의 척도를 수집할 수 있었는데, 이에 대해서 아래와 같이 분석하였다.

### 진화 이론에 관한 수용 여부와 종교성 척도

진화 이론에 관한 수용 여부나 이해 수준에는 개인적인 종교성이 큰 영향을 미친다(Heddy and Nadelson 2013; Lombrozo et al. 2008; Nehm et al. 2009; Trani 2004). 종교적 이유로 진화 이론에 관해 거부적인 태도를 보이는 경우, 전반적인 진화 이론에 관한 수용 수준이 떨어진다(Lombrozo et al. 2008; L. S. Nadelson and Sinatra 2009; 하민수 and 이준기 2011). 또한, 종교적 원인에 의한 낮은 수용 수준은 진화 이론에 관한 이해 수준도 낮추는 효과를 보인다(Rutledge and Mitchell 2002).

가장 활발하게 활용되는 검사 도구로는 Lombrozo 등이 개발한 5단계 Likert 척도로 된 종교성에 관한 검사도구다(Lombrozo et al. 2008). 과학의 본성을 이해하는 것이 진화의 수용에 기여할 것이라는 가정 하에 진화 이론에 관한 수용, 과학에 대한 태도와 종교성 등에 관해 평가한다. 총 다섯 개의 문항을 사용한다(표 7). 국내에서도 번역, 소개되었으며, 신뢰도가 입증되었다(하민수 et al. 2010, 2012; 하민수 and 이준기 2011).

표 7. Five Items on the Evolution Theory Acceptance and Religiosity Scale(Lombrozo et al. 2008)

Theme	Item
theism	I believe in God
dualism	I believe in some kind of afterlife
Inner confidence	I personally feel a conflict between science and religion
The dichotomy between religion and science	I do not think religion can or should make claims about the natural world
Religious Identity	I do not consider myself a religious person

### 진화 흥미 검사지

진화 이론에 관한 수용과 이해 수준은 개인적인 진화에 관한 흥미 수준에 따라 달라질 수 있다. 따라서 진화에 관한 관심 수준의 평가도 필요할 수 있는데, 이에 관한 도구로는 하민수 등(2010)이 개발한 진화 흥미 검사지가 있다(하민수 et al. 2010). 여기서 말하는 진화에 관한 흥미란 다윈의 진화론에 관한 흥미만 의미하는 것이 아니다. 진화에 관한 평소 관심 수준을 묻는 직접적 질문과 진화에 관한 호기심, 얼마나 자주 관련 정보를 검색하는지를 묻는 문항 등 5점 리커트 척도를 적용한 세 문항으로 구성되어 있다(하민수 et al. 2010).

#### 4. 각 평가 도구의 장단점 분석

이상의 검사 도구에 관하여 앞서 언급한 다섯 가지 기준을 적용하여 비교 분석하였다(표8). 진화 생태 검사지를 제외한 다른 평가 도구의 경우, 짧지 않은 기간에 걸쳐 여러 집단을 대상으로 다양한 평가를 위하여 사용되었으며, 전반적인 신뢰도가 입증되었다. 대부분 자기 보고식 설문으로 되어있어 실행에 용이하다는 장점도 있다. 특히 MATE, CINS의 경우는 진화 수용과 소진화의 개념에 대한 내용을 충실하게 담고 있다.

표 8. Comparative Analysis of Each Rating Scale

	Scientific Reliability	Target Extensivity	Modifiability for Online Survey	Evaluability of Personal Variables
MATE	0	0	0	Not applicable
I-SEA	0	0	0	
EALS	0	0	X	
GAENE	0	X	X	
CINS	0	0	0	
MUM	0	X	0	
ACORNS	0	X	X	
GCA	0	X	0	
Evolutionary ecology scales	X	0	0	
Scales Related to Acceptance and Religion in Evolution Theory	0	0	0	0
Evolutionary interest scales	0	0	0	0

그러나 각각의 척도는 나름의 단점도 있다. GAENE나 MUM, ACORNS, CGA 등이 다양한 집단을 포괄할 수 있는지는 아직 불확실하다. GAENE의 경우는 최초로 고등학생을 대상으로 설계했는데, 다른 집단이나 국내 집단 대상의 연구가 부족하다는 단점이 있다. MUM, ACORNS의 경우도 다양한 집단에 대한 데이터가 충분하지 않다. EALS의 경우 지나치게 검사문항이 많으며, ACORNS의 경우 주관식 문항으로 되어있어 평가 진행의 객관성이 부족하고 시간과 비용이 많이 든다는 단점이 있다.

#### 결론

현재 국내외에서 사용되는 진화론의 검사도구는 주로 특정 영역만 평가하도록 편향되어 있으며, 특히 중고등학생을 대상으로 한 연구가 많다는 단점이 있다(황은영 and 차희영 2012). 본 연구에서는 현재까지 제안된 검사도구를 광범위하게 수집, 분석하였다. 그리고 총 다섯 가지 기준을 적용하여 비교하였다. 일반적인 목적을 위해서는 진화 이론에 관한 수용 수준의 평가에 MATE, 진화 이론에 관한 이해 수준의 평가에 CINS가 적당할 것으로 판단된다. 또한, 다양한 척도가 개발되어 있지 않으나, 종교성 및 진화에 관한 흥미 수준도 함께 평가하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 그러나 각 수업의 목적 및 대상, 평가 목적에 따라 적절한 평가도구를 개발하는 노력도 병행되어야 한다.

본 연구에는 몇 가지 제한점이 있다.

첫째, 본 연구는 주로 생물 교육학 분야 연구에서 자료가 수집되었다. 상당수 연구가 중고등학생이나 대학 학부생을 대상으로 하고 있어, 다양한 대상에 관한 연구가 부족하다. 또한 일부를 제외하면 국내 집단을 대상으로 한 연구가 부족하다. 일반 성인 집단을 대상으로 한 신뢰도와 타당도에 대해서는 추가적 연구가 필요하다.

둘째, 국내 연구 자료가 부족하거나 일부 연구자의 연구에 집중되어 있는 어려움이 있었다. 또한, 국내에서 시행된 연구 대부분은 국외의 검사도구를 번역하여 시행하였다는 제한점이 있다. 국내 자체 개발된 도구도 일부 있었으나, 후속연구가 드물어 신뢰성이 낮은 제한점이 있다.

2022년 9월, 한국진화학회가 창립되어 관련 연구자를 위한 학술적 교류의 장이 열렸다. 앞으로 진화 교육과 진화 연구라는 두 축이 서로 선순환하기 위한 다양한 논의가 이루어지기를 기대한다. 아직은 국내 대학의 진화 관련 교육 실태에 관한 조사도 제대로 이루어진 바 없다. 향후 대학생 대상의 진화 교육을 담당하는 교수진은 본 논문에서 제시하는 도구를 포함, 다양한 객관적 평가 도구를 활용하여 관련 수업 결과를 측정하고 그 결과를 공유해야 한다. 이를 통해서 대학 진화 교육의 확장 필요성을 학문적으로 뒷받침하고, 표준적인 강의 커리큘럼을 개발하고, 장기적인 진화 교육 및 연구 계획의 수립과 개선을 위한 증거기반의 데이터를 확보해야 할 것으로 생각한다.

## 감사의 글

본 논문은 2020년 9월 한국진화학회 창립을 기념하여 발표되었다.

## 참고문헌

- Alters, B. J. and Alters, S. 2001. *Defending evolution in the classroom: A guide to the creation/evolution controversy*. Jones and Bartlett Learning.
- Anderson, D. L., Fisher, K. M. and Norman, G. J. 2002. Development and evaluation of the conceptual inventory of natural selection. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(10): 952-978.
- Athanasiou, K. and Mavrikaki, E. 2014. Conceptual inventory of natural selection as a tool for measuring Greek University Students' evolution knowledge: differences between novice and advanced students. *International Journal of Science Education*, 36(8): 1262-1285.
- Barone, L. M., Petto, A. J. and Campbell, B. C. 2014. Predictors of evolution acceptance in a museum population. *Evolution: Education and Outreach*, 7(1): 1-11.

- Bishop, B. A. and Anderson, C. W. 1990. Student conceptions of natural selection and its role in evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5): 415–427. <https://doi.org/10.1002/tea.3660270503>
- Brem, S. K., Ranney, M. and Schindel, J. 2003. Perceived consequences of evolution: College students perceive negative personal and social impact in evolutionary theory. *Science Education*, 87(2): 181–206.
- Carter, B. E., Infanti, L. M. and Wiles, J. R. 2015. Boosting students' attitudes and knowledge about evolution sets them up for college success. *The American Biology Teacher*, 77(2): 113–116.
- Carter, B. E. and Wiles, J. R. 2014. Scientific consensus and social controversy: exploring relationships between students' conceptions of the nature of science, biological evolution, and global climate change. *Evolution: Education and Outreach*, 7(1): 1–11.
- Catley, K., Lehrer, R. and Reiser, B. 2005. Tracing a prospective learning progression for developing understanding of evolution. Paper Commissioned by the National Academies Committee on Test Design for K–12 Science Achievement: 67.
- Catley, K. M. 2006. Darwin's missing link—a novel paradigm for evolution education. *Science Education*, 90(5): 767–783.
- Choi, K., Lee, H., Shin, N., Kim, S. and Krajcik, J. 2011. Re-conceptualization of scientific literacy in South Korea for the 21st century. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(6): 670–697.
- Deniz, H. and Borgerding, L. A. 2018. Evolutionary theory as a controversial topic in science curriculum around the globe. In *Evolution education around the globe* (pp. 3–11). Springer.
- 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: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 45(4): 420–443.
- Diamond, J. and Evans, E. M. 2007. Museums teach evolution. *Evolution: International Journal of Organic Evolution*, 61(6): 1500–1506.
- Dodick, J. 2007. Understanding evolutionary change within the framework of geological time. *McGill Journal of Education (Online)*, 42(2): 245.
- Evans, E. M. 2008. Conceptual change and evolutionary biology: A developmental analysis. *International Handbook of Research on Conceptual Change*: 263–294.
- Evolution, N. A. of S. (US). W. G. on T. 1998. *Teaching about evolution and the nature of science*. Joseph Henry Press.
- Großschedl, J., Konnemann, C. and Basel, N. 2014. Pre-service biology teachers' acceptance of evolutionary theory and their preference for its teaching. *Evolution: Education and Outreach*, 7(1): 1–16.
- Hawley, P. H., Short, S. D., McCune, L. A., Osman, M. R. and Little, T. D. 2011. What's the matter with Kansas?: the development and confirmation of the Evolutionary Attitudes and Literacy Survey (EALS). *Evolution: Education and Outreach*, 4(1): 117–132.
- Heddy, B. C. and Nadelson, L. S. 2013. The variables related to public acceptance of evolution in the United States. *Evolution: Education and Outreach*, 6(1): 1–14.

- Ingram, E. L. and Nelson, C. E. 2006. Relationship between achievement and students' acceptance of evolution or creation in an upper-level evolution course. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(1): 7-24.
- Kampourakis, K. and Zogza, V. 2008. Students' intuitive explanations of the causes of homologies and adaptations. *Science and Education*, 17(1): 27-47.
- Kohut, A. 2009. Scientific Achievements Less Prominent Than A Decade Ago Public Praises Science; Scientists Fault Public Media.
- Lombrozo, T., Thanukos, A. and Weisberg, M. 2008. The importance of understanding the nature of science for accepting evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 1(3): 290-298.
- Lovely, E. C. and Kondrick, L. C. 2008. Teaching evolution: challenging religious preconceptions. *American Zoologist*, 48(2): 164-174.
- Masci, D. 2019. For Darwin Day, 6 facts about the evolution debate.
- Mazur, A. 2004. Believers and disbelievers in evolution. *Politics and the Life Sciences*, 23(2): 55-61.
- Mead, R., Hejmadi, M. and Hurst, L. D. 2017. Teaching genetics prior to teaching evolution improves evolution understanding but not acceptance. *PLoS Biology*, 15(5): e2002255.
- Miller, J. D., Scott, E. C. and Okamoto, S. 2006. Public acceptance of evolution. In *Science* (Vol. 313, Issue 5788, pp. 765-766). American Association for the Advancement of Science.
- Moore, R., Brooks, C. and Cotner, S. 2011. The relation of high school biology courses and students' religious beliefs to college students' knowledge of evolution. *The American Biology Teacher*, 73(4): 222-226.
- Moore, R. and Cotner, S. 2009. The creationist down the hall: does it matter when teachers teach creationism? *BioScience*, 59(5): 429-435.
- Nadelson, L. S. and Sinatra, G. M. 2009. Educational professionals' knowledge and acceptance of evolution. *Evolutionary Psychology*, 7(4): 147470490900700400.
- Nadelson, L. S. and Sinatra, G. M. 2010. Shifting acceptance of evolution: promising evidence of the influence of the Understanding Evolution website. *The Researcher*, 23(1): 13-29.
- Nadelson, L. S. and Southerland, S. 2012. A more fine-grained measure of students' acceptance of evolution: development of the Inventory of Student Evolution Acceptance—I-SEA. *International Journal of Science Education*, 34(11): 1637-1666.
- Nadelson, L. S. and Southerland, S. A. 2010. Examining the interaction of acceptance and understanding: how does the relationship change with a focus on macroevolution? *Evolution: Education and Outreach*, 3(1): 82-88.
- Nadelson, L. and Southerland, S. 2009. Development and preliminary evaluation of the measure of understanding of macroevolution: Introducing the MUM. In *Journal of Experimental Education* (Vol. 78, Issue 2).
- National Academy of Sciences (NAS). 2008. *Science, Evolution, and Creationism*. The National Academies Press.
- Nehm, R. H., Beggrow, E. P., Opfer, J. E. and Ha, M. 2012. Reasoning about natural selection: diagnosing contextual competency using the ACORNS instrument. *The American Biology*



- Teacher, 74(2): 92–98.
- Nehm, R. H. and Ha, M. 2011. Item feature effects in evolution assessment. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(3): 237–256.
- Nehm, R. H., Ha, M. and Mayfield, E. 2012. Transforming biology assessment with machine learning: automated scoring of written evolutionary explanations. *Journal of Science Education and Technology*, 21(1): 183–196.
- Nehm, R. H. and Haertig, H. 2012. Human vs. computer diagnosis of students' natural selection knowledge: testing the efficacy of text analytic software. *Journal of Science Education and Technology*, 21(1): 56–73.
- Nehm, R. H., Kim, S. Y. and Sheppard, K. 2009. Academic preparation in biology and advocacy for teaching evolution: biology versus non-biology teachers. *Science Education*, 93(6): 1122–1146.
- Nehm, R. H. and Schonfeld, I. S. 2008. Measuring knowledge of natural selection: A comparison of the CINS, an open-response instrument, and an oral interview. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 45(10): 1131–1160.
- Richards, R. A. 2008. Philosophical challenges in teaching evolution. *Evolution: Education and Outreach*, 1(2): 158–164.
- Rissler, L. J., Duncan, S. I. and Caruso, N. M. 2014. The relative importance of religion and education on university students' views of evolution in the Deep South and state science standards across the United States. *Evolution: Education and Outreach*, 7(1): 1–17.
- Romine, W. L., Todd, A. N. and Walter, E. M. 2018. A closer look at the items within three measures of evolution acceptance: analysis of the MATE, I-SEA, and GAENE as a single corpus of items. *Evolution: Education and Outreach*, 11(1): 1–20.
- Rutledge, M. L. and Mitchell, M. A. 2002. High school biology teachers' knowledge structure, acceptance and teaching of evolution. *The American Biology Teacher*: 21–28.
- Rutledge, M. L. and Warden, M. A. 1999. The development and validation of the measure of acceptance of the theory of evolution instrument. *School Science and Mathematics*, 99(1): 13–18.
- Scott, E. C. 2008. Evolution vs. creationism: an introduction: an introduction. ABC-CLIO.
- Short, S. D. and Hawley, P. H. 2012. Evolutionary attitudes and literacy survey (EALS): Development and validation of a short form. *Evolution: Education and Outreach*, 5(3): 419–428.
- Smith, M. K., Wood, W. B. and Knight, J. K. 2008. The genetics concept assessment: a new concept inventory for gauging student understanding of genetics. *CBE—Life Sciences Education*, 7(4): 422–430.
- Smith, M. U. 2010. Current status of research in teaching and learning evolution: II. Pedagogical issues. *Science and Education*, 19(6): 539–571.
- Smith, M. U., Snyder, S. W. and Devereaux, R. S. 2016. The GAENE—generalized acceptance of evolution evaluation: development of a new measure of evolution acceptance. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(9): 1289–1315.
- Spiegel, A., Evans, M., Gram, W. and Diamond, J. 2006. Museum visitors' understanding of evolution.

- Museums and Social Issues, 1(1): 69–86.
- Trani, R. 2004. I won't teach evolution; It's against my religion. And now for the rest of the story...  
The American Biology Teacher: 419–427.
- Trend, R. 1998. An investigation into understanding of geological time among 10-and 11-year-old children. International Journal of Science Education, 20(8): 973–988.
- Vosniadou, S. 2008. International handbook of research on conceptual change (Vol. 259). Routledge New York.
- Walter, E. M., Halverson, K. M. and Boyce, C. J. 2013. Investigating the relationship between college students' acceptance of evolution and tree thinking understanding. Evolution: Education and Outreach, 6(1): 1–8.
- Wilkins, J. 2006. Species, kinds, and evolution. Reports of the National Center for Science Education, 26(4): 36–45.
- Yousuf, A., bin Daud, M. A. and Nadeem, A. 2011. Awareness and acceptance of evolution and evolutionary medicine among medical students in Pakistan. Evolution: Education and Outreach, 4(4): 580–588.
- 김성환. 2009. 제7차 교육과정에 의한 대학수학능력시험 과학탐구 영역 생물 문항 분석 연구: 2007 학년도부터 2009 학년도까지. 중앙대학교 교육대학원석사 학위 논문.
- 김학현 and 장남기. 2001. 고등학교 생물교육과정에서의 진화내용 분석. 한국동물학회 학술대회, 2712.
- 유해미 and 김재근. 2006. 대학수학능력시험과 임용고사 분석을 통해 나타난 생물 II 교과서의 문제점에 관한 연구생태 단원을 중심으로. 생물교육, 34(3): 307–320.
- 이동한. 2021, December 8. [종교지표 - 2021년] 종교인구 현황과 종교 활동. 한국리서치.
- 이은경, 주동기, 조정일 and 유형빈. 2007. 중등학교교사 임용시험 생물문항과 고등학교 생물 I·II 와의 연계성 연구. 전남대학교 과학교육 연구지, 31(1): 93–109.
- 하민수. 2016. 예비생물교사와 현직생물교사의 진화 개념 비교 분석. 생물교육, 44(2): 277–288.
- 하민수, 이경건, 신세인, 이준기, 최성철, 주재걸, 김남형, 이현주, 이종호 and 이주립. 2019. 학습 지원 도구로서의 서술형 평가 그리고 인공지능의 활용: WA3I 프로젝트 사례. 현장과학교육, 13(3): 271–282.
- 하민수 and 이준기. 2011. 생물 예비교사들의 진화 이론의 실용성에 관한 인식. 한국과학교육학회지, 31(8): 1186–1198.
- 하민수, 차희영 and 구슬애. 2010. 생물 전공자와 비전공자의 진화에 관한 개념, 흥미, 수용 및 종교성에 관한 연구. 생물교육 (구 생물교육학회지), 38(3): 467–475.
- 하민수, 차희영 and 구슬애. 2012. 한국과 미국 대학생들의 종교성, 진화 흥미, 진화 개념, 진화수용의 수준과 구조 비교. 한국과학교육학회지, 32(10): 1537–1550.
- 황은영 and 차희영. 2012. 진화 개념 검사 도구 문항 분석. 청람과학교육연구논총, 18(1): 134–143.

## 영문초록

**Title:** A Comparative Analysis on the Measurement Tools for Evolution Education

**Abstract:** Evolution is one of the most important scientific theories. In contrast to other scientific theories, evolutionary theory does not enjoy a high level of public acceptance. It has been suggested that low public acceptance of evolutionary theory is due to a lack of public understanding. It is important to note, however, that personal interests, worldviews, and religious affiliations also play a significant role. We present here a useful tool for evaluating university evolution education that is divided into four categories: acceptance, understanding, interest, and religiosity, and we compare the strengths and weaknesses of each scale. This will allow for an objective evaluation of the performance of evolution education toward various targets, as well as a comparison of its effectiveness across different subjects and pedagogical systems. By doing so, an evidence-based evolutionary education curriculum can be developed.

**Authors:** HeeGun Lee, MD<sup>1</sup>, Won Kim, MD, PhD<sup>1</sup>, Hanson Park, MD, PhD<sup>2\*</sup>

**Affiliation:** <sup>1</sup>Department of Psychiatry, Inje University Sanggye Paik Hospital, 1342, Dongil-ro, Nowon-gu, Seoul, 01757 Republic of Korea; <sup>2</sup>Suite 242, Bldg. 16, Department of Anthropology, College of Social Science, Seoul National University, Gwanak-ro 1, Gwanak-gu, Seoul, 08826 Korea

**Corresponding author:** \*hansonpark@snu.ac.kr