

설명대상에 따른 학생들의 진화 개념과 진화 개념 형성의 특성에 관한 횡단 연구

하민수 · 이준기 · 차희영

한국교원대학교

A Cross-Sectional Study of Students' Conceptions on Evolution and Characteristics of Concept Formation about It in Terms of the Subjects: Human, Animals and Plants

Ha, Minsu · Lee, Junki · Cha, Heeyoung

Korea National University of Education

Abstract: The purpose of this study was to identify students' conceptions and their conceptualization traits in terms of the explanation of subjects: human, animals, and plants. A questionnaire was specially developed to make sure students' conceptions of evolution, students' explanation patterns with the five evolutionary explanations: creationism, internal will explanation, theological explanations, use and disuse explanation and natural selection after mutation and perceived ideas of evolution in terms of the genetic characters of human, animals and plants. 1,540 elementary, middle and high school students participated in responding to the questions. The data was collected and analyzed cross-sectionally by age. Results showed that students' evolutionary explanations were different among each subject: human, animals and plants. Students had concentrated with more 'theological explanations' than 'internal will explanation' and 'use and disuse explanation' about plant evolution. 'Natural selection after mutation explanation' was less represented in explaining human characters. This result showed that the anthropocentric thoughts had influenced students' evolution conceptions. Accordingly, as student's age, 'theological explanation' and 'internal will explanation' became least used in explaining the theory of creation. 'Use and disuse explanation' attained more representation in their explanation. In addition, the diversity of students' evolutionary explanations was getting less attention as age increases. Among youngsters, 'theological explanation', 'internal will explanation' and 'use and disuse explanation' showed an even number of responses. The elders responded with more 'use and disuse explanation'. This result let us infer that 'use and disuse explanation' was strongly adhered to by student cognitive structures. Many students recognized that evolution was a kind of scientific hypothesis with little evidence. They have had a little interest in evolution and conceptualized it through informal educational sources. This study mentions that to teach evolution more effectively, teachers should make 'use and disuse explanation' adhere strongly to students' cognitive structure.

Key words: evolution, explanation subjects, conceptual change, creationism, natural selection, mutation, use and disuse. explanation of evolution.

I. 서론

생물의 다양성을 논리적으로 설명하는 '진화'는 생물학은 물론 생물학습에서 꼭 필요한 개념이며 과학적 사고이다(Kennedy *et al.*, 1998; Rutledge & Mitchell, 2002; Rutledge & Warden, 2000). 미국의 경우,

NSTA(National Science Teachers Association)에서는 초·중·고 교육과정에서 필수적으로 진화 내용을 포함시킬 것을 강조하고 있고(NSTA, 2003), NSES(National Science Education Standards)에서도 생물 영역에서 진화 교육과정을 강조한다(NRC, 1996). 초등학생, 중학생, 고등학생, 대학생, 예비교사, 초

* 교신저자: 차희영(hycha@knu.ac.kr)

** 2006.08.22(접수) 2006.12.05(1심통과) 2006.12.18(2심통과) 2006.12.19(최종통과)

등교사 등 다양한 대상으로 실시한 진화의 대안 개념 조사 결과를 보면 학생들이 가지고 있는 진화 개념은 대부분 과학적 개념이 아닌 오개념이다(이미숙 등, 2004; 이미숙 등, 2005; 이미숙과 이길재, 2006; Bishop & Anderson, 1990; Brumby, 1984; Settlage, 1994; Sinclair *et al.*, 1997). 학생들이 가지고 있는 진화의 대안개념은 거의 대부분 목적론과 용불용설들이며 이런 개념들은 학습에 의해서 쉽게 교정되지 않는다. 진화는 학생들에게는 어려운 과학 개념이다. 진화 개념을 쉽게 습득하게 하기 위해 특별히 수업을 설계할 지라도 잘 이해시키기에는 한계가 있다(Demastes *et al.*, 1995; 김위경 등, 2003). 그래서 대안개념을 극복하고 과학적 개념을 형성하기 위한 다양한 교수-학습 전략이 많이 연구되어 왔다. 이미숙과 이길재(2006)는 학생들의 진화 개념 발달이 과학사적으로 유사하다는 데 착안하여 과학사적으로 학생들의 진화 개념을 조사하고 그것을 수업에 반영할 수 있는 모듈을 개발하여 성공적으로 가르쳤다. 또한 역할놀이를 활용하여 학생들에게 진화를 가르치거나(Duveen & Solomon, 1994) 탐구적으로 접근하여 학생들의 진화에 대한 개념을 이해시키고자 한 사례도 있다(Hilbish & Goodwin, 1994; 박종분 등, 2003)

진화교육에 관련된 많은 선행연구에도 불구하고 학생들의 진화 개념에 대해서는 아직도 모호한 점들이 있다. 먼저 학생들의 진화 개념을 조사하기 위해 사용한 검사지의 소재에 관한 문제이다. 최근 이미숙(2004)의 연구에서 사용한 검사지를 보면 검사 문항에 사용된 진화 관련 소재가 딱따구리, 메뚜기, 도마뱀, 치타, 두더지 등 대부분이 동물이었다. 이는 오리, 모기, 개, 치타, 도롱뇽 등을 소재로 한 송창민(2003)의 연구도 마찬가지이다. 그 외의 선행연구에서도 검사지의 문항은 주로 동물 중심으로 구성되어 검사가 이루어졌다.

Thanukos(1999)는 소재에 따라 학생들의 진화에 대한 믿음과 사고가 다를 수 있다고 하였다. 인간의 경우는 진화론과 창조론이 대립되는 중심에 서있는 소재로 독특한 위치에 있고, 다른 동물과 식물 등도 각 형질에 따라 인간이 가지고 있는 선입견이 다를 수 있기 때문이다. 실제 그녀의 연구 결과를 보면 식물과 인간, 동물의 진화적 설명의 수용이 달랐다. Bizzo(1994)의 연구에도 비슷한 내용이 있다. 학생들은 진화가 무엇이라는 물음에 「유인원이 인간이 되는 과정과 같이...」라는 말로 시작하는데, Bizzo는 이런 현상을 학생들의 진화 개념의 중심에 인간이 있기 때문이라고 분석하였다. 또한 그는 이런 현상을 인간중심적인 사고의 영향으로 생각하고 그에 대한 다른 증거의 예로 식물을 들었다. 학생들은 생물의 의지로 진화

할 수 있다는 오개념을 나타내는데, 이런 오개념의 대상은 식물보다 동물과 인간에서 더 많다는 것이다. 이는 식물이란 존재가 움직이지 못하는 피동적인 존재라고 학생들이 인식하고 있기 때문에 동물이나 인간과 비교할 때 식물에서는 다른 개념이 형성되어 있다고 분석하였다.

또한 많은 학생들이 진화를 설명할 때 바이러스에서 점차 인간이 되는 과정이라고 설명하는데 이런 설명으로부터 진화를 진화이나 성장, 개선의 의미로 생각하는 경향이 있음을 알 수 있다. 그리고 이런 개념에서 인간은 완전히 진화된 존재, 더 이상 진화하지 않는 존재, 인간의 형질은 모두 진화적으로 가장 완벽한 형질로 인식된다. 이 문제는 아리스토텔레스가 언급한 바 있는 자연사다리(Scala Natura)의 개념(Mayr, 2000)과 비슷한 것이다. 이와 같은 생각은 과학사에서도 많이 찾아볼 수 있으며, 인간중심적 사고를 유발하는 원천으로 오랜 세월 작용해 왔다(Moore, 1993). 또한 철학에서 말하는 목적론적 인간 중심주의적 설명에 따르면, 인간이 최종 목적으로서 전체 자연체계의 정점이며, 인간은 자신의 능력에 의해 자신의 목적 설정에 따라 자연을 수단으로 이용하고 변화시킬 수 있다(김양현, 1998). 그러므로 진화적 사고에서 학생들은 본인이 인간이기 때문에 인간의 진화는 동물 및 식물의 진화와는 다르게 설명할 수 있으며 인간에 대한 진화적 설명이 다른 대상과 차이가 있다면 그것이 학생들의 진화 개념에 영향을 미칠 수 있다고 생각된다. 이런 측면에서 볼 때, 최근 진화 개념 검사에서 검사지 문항이 동물을 중심으로 제작된 연구만으로는 학생들의 진화 개념의 경향을 논의하기에는 부족한 면이 있을 수 있다.

또한 국내·외 진화 개념 연구들은 연구 대상을 횡단으로 구성한 사례가 드물다. Lawson과 Thompson(1988)은 유전과 자연선택 개념과 논리적 사고력이 상관관계가 있다고 하였다. 논리적 사고력이 낮은 학생들일수록 비과학적인 개념을 많이 가지고 있고, 형식적 조작기의 학생일수록 비과학적 개념을 가진 학생이 상대적으로 적었다. 이 연구는 후속연구에서 다시 한 번 확인되었는데(Lawson & Weser, 1990), 이것은 진화 개념이 학생의 인지적 발달 수준에 따라서도 다르게 나타날 수 있다는 것을 보여준다. 연령은 학생의 인지적 발달 수준과 밀접한 관련이 있으므로 연령에 따라 진화 개념을 조사할 필요가 있다. 국내 연구를 살펴보면, 신영준 등(1996)의 연구는 자연선택 개념에 대해서 중학생부터 대학생까지 광범위한 횡단 연구를 실시하였다. 또한 이춘승(2003)은 중학교 2학년, 고등학교 2학년, 3학년을 대상으로 진화 개념을

연구하였으며, 이미숙과 이길재(2006)은 중학교 3학년, 고등학교 3학년, 대학교 1학년을 대상으로 연구하였다. 이런 연구를 제외하고는 대개 초등학생, 예비교사 등 특정 집단에 대한 진화 개념을 알아보는 연구가 많았다. 진화 개념에 대한 횡단 연구라 할지라도 연구 대상에서 초등학생을 제외시켜 진화 개념의 초기 형성과정과 그것의 변화를 논의할 수 없었다. 그러므로 진화 개념 연구를 횡단적으로 계획함과 동시에 초등학생까지도 연구 대상에 포함시킬 필요가 있다.

개념형성에 관한 연구에서는 인식과 개념과의 관계 분석도 중요하기 때문에 진화 개념에 대한 인식의 특성도 조사할 필요가 있다. 진화 개념은 종교와 밀접한 관계가 있기 때문에 인식에서 거부감이 있는 학생들이 있을 가능성이 많다. 또한 초등학생들의 진화 개념을 조사한 연구(이미숙 등, 2005)가 있는데 교육과정 내용 중 진화 교육은 중학교 3학년에서 처음 이루어진다. 그러므로 초등학생들의 진화 개념은 대부분 비정규 교육과정에서 형성된 것으로 추측된다. 그러므로 정규교육과정이 아닌 어느 곳에서 진화 개념을 가장 많이 습득하는지에 대한 조사도 필요하다.

위와 같은 이유에 의하여 본 연구에서는 다음의 세 가지 연구 문제를 설정하였다. 먼저 인간·동물·식물 소재에 따른 진화 개념과 학생들의 관심이 어떠한지 알아보는 것이다. 두 번째는 초, 중, 고등학생에게 동일 검사지를 투입하여 연령별 진화 개념의 추이를 알아보는 것이다. 세 번째는 학생들의 진화에 대한 인식을 알아보는 것이다. 본 연구 결과는 진화 개념 형성의 특성을 심도 있게 이해하거나 진화에 관한 수업을 설계할 때 효과적으로 활용할 수 있는 기초 자료가 될 수 있다.

II. 연구 방법

1. 검사도구

본 연구에 사용된 검사 도구는 두 가지이다. 먼저

인간, 동물, 식물 소재에 따른 진화 개념을 알아보기 위한 개념 검사지로서 인간, 동물, 식물의 각각 여섯 가지 형질을 소재로 한 여섯가지 문항씩 총 18문항으로 구성하였다(Table 1). 각 문항의 답지는 다섯 가지로 구성하였는데 창조론, 목적론, 내부 의지, 용불용설, 돌연변이 후 자연 선택으로 구성하였다(Table 2). 다섯 가지 설명 범주는 선행연구(이미숙, 2004)를 바탕으로 나누고 일부 수정하였다.

다섯 가지 답지가 모두 필요한 이유는 다음과 같다. 먼저 창조론의 경우 종교적 신념으로 창조론을 수용하는 학생이 많기 때문에 포함시켰다. 목적론의 경우는 인과적 설명이 아니므로 내부의지와 용불용설과 차이가 존재한다. 용불용설도 라마르크가 개체의 내부 의지에 대해서 논의하였지만(Gribbin, 2002), 용불용설에서 핵심은 ‘사용-사용하지 않음’이기 때문에 내부 의지와 구별되어 답지를 분리하였다. 돌연변이 후 자연선택은 과학적 개념이므로 답지에 포함시켰다. 이렇게 구성된 다섯 가지 답지로 이루어진 18개 문항으로 검사도구를 구성하였다.

검사지는 3차에 걸쳐 생물교사와 생물교육 전공 대학원생들과 함께 R&D 과정에 의해 지속적으로 수정·보완 하였다. 특히 초등학생들에게도 동일 검사지를 활용하여 검사해야 하므로 초등학교 교사들과의 R&D 과정이 있었다. 초등학교 교사는 학생들이 진화에 대한 이해가 부족할 뿐 아니라 인지 수준이 진화에 대해서 이해할 수 있는 연령이 아니라고 하여 설문 대상을 초등학교 4학년으로 한정하였고, 검사지의 내용도 초등학생이 이해할 수 있도록 구성하였다. 최종 완성된 검사지는 생물교육전공 박사과정 2인, 생물교육 전문가 1인에 의해 최종적으로 내용 타당도 검사를 실시하였다. 본 검사 도구의 내용 타당도 지수는 4.5이며 내적 신뢰도(Cronbach's alpha)값은 0.861이었다. 각 문항별 문항 내용은 Table 1과 같다.

진화에 관한 인식을 알아보고 인식에 따른 진화 개념을 조사하기 위하여 진화에 대한 인식검사를 실시

Table 1

Categories and objects using construction of a questionnaire to identify concepts of evolution in terms of human, animals and plants.

Subjects	Human	Animals	Plants
Characters	· Human vertebras	· Giraffe's neck	· Fragrances of a rose
	· Erect posture	· Hawk's eyes	· Thorns of cactus
	· Human hands	· Fatty tissue of Polar bear	· Stomata of a water lily
	· Human brain	· Body color of chameleon	· Wide leaves
	· Anti-cholesterol	· Resistance for insecticide of Leafhopper	· Seed of cocklebur
	· Human vocal cords	· Running speed of Cheetah	· Xylem of ferns

Table 2
Five evolutionary explanations in each question

Categories of explanations	Definition	Examples
Creationism	· It is an explanation that everything was created by God's own will.	· God created chameleon who can have various body color.
Goal-directed	· It is an explanation that there were necessary or unnecessary organs.	· Chameleon has an ability to make its own body color change for being not conspicuous condition.
Internal will	· It is an explanation that the development of an organism's organs was caused by each intention.	· Because chameleon hates to be found to predators, it wants to being its body color changed.
Use and disuse	· It is an explanation that some organs were more developed by more use and was degraded by less use.	· Because chameleon has used frequently its body color changing ability, it can make its body color change well.
Natural selection after mutation	· It is an explanation that mutant comes out by chance and then if it is made a success of reproduction, it will be survived.	· The chameleon that can be come out various body color was born by chance and then it makes a success of offspring reproduction.

Table 3
Construction of the questionnaire to identify students' evolutionary perception.

Question Number	Viewpoint of a question
1	· Degree of interest in evolutionary theory.
2	· Opinion of evolutionary theory.
3	· Sources listening to evolutionary theory in their lives.
4	· Opinion of creationism
5	· Degree of interest in evolutionary theory of human, animals and plants.
6	· Degree of one's belief in evolutionary theory of human, animals and plants.
7	· Degree of one's belief-bias about evidence of evolution
8	· Definition of evolution by students.

하였다. 이 검사지는 진화에 대한 관심, 견해, 비정규 교육과정에서의 진화 개념형성의 경로, 인간·동물·식물의 진화에 대한 관심과 믿음 등으로 구성하였다 (Table 3).

2. 검사 대상

본 연구는 서울 소재 E 초등학교, 대구 소재 S 초등학교, 경기 소재 Y 중학교, 서울 소재 G 중학교, 충남 소재 H 중학교, 대전 소재 M 고등학교, 충남 소재 Y 고등학교, 충남 소재 C 고등학교에 검사지를 배포하였다. 초등학생의 경우는 4-5학년이며, 중학생은 2-3학년이다. 고등학생은 1-3학년이 포함되었다. 총 1,540명을 대상으로 검사를 실시하였다(Table 4). 초등학생의 경우에도 중학생, 고등학생과 동일한 검사지를 사용하였다. 문장에 대한 국어적인 이해가 부족한 초등학생들을 위해 담당 교사와 연구자가 사전에 충분히 협의하여 문장을 작성하였다.

Table 4
Subjects information

School level	Girls	Boys	Total
Elementary school (above 4th grade)	157	150	307
Middle school	267	239	506
High school	245	482	727
Total	669	871	1540

3. 자료 수집

인간·동물·식물 등의 소재에 따른 진화 개념 검사지와 진화에 대한 인식 검사지의 문항을 섞어서 하나의 검사지로 제작한 뒤 학생들에게 투입하였다. 그 이유는 위 18개의 검사 개념 문항의 다섯 가지의 답지를 학생들이 보고 경향성을 파악하여 하나의 설명 형태를 임의로 고르는 것(response set)을 방지하기 위함이었다.

4. 자료 처리 및 해석

수집된 자료는 SPSS 10.0 프로그램에 입력하여 각 설명 별로 집단별 평균분석, 이변량 상관관계 분석을 하였다. 특히 인간·동물·식물 소재에 따른 진화 개념 검사지에서의 응답의 다양함을 수치화하기 위하여 생태학에서 종들의 상대 풍부도와 종 풍부도를 가늠하기 위해 사용되고 있는 Shannon-Weaver의 다양도 지수(H)를 사용하였다(Fig. 1). Shannon-Weaver의 다양도 지수에서 Pi는 각 설명의 전체 비율이다. 예를 들어 18문항의 검사지에 어떤 학생이 창조론을 9문항 선택하였다면 이 학생의 창조론에 대한 Pi는 0.5가 된다. 그러므로 Pi의 전체 합은 1이다.

$$H = -\sum P_i \ln P_i$$

Fig. 1 Shannon-Weaver index of diversity (H)

다섯 가지의 설명 형태가 있는 본 연구에서의 최소 H값은 0이다. 다양성 지수가 0인 것은 어느 학생의 설명이 하나의 설명 형태에 모두 밀집해 있을 때이다. 5가지의 설명 형태가 각기 20%씩 모두 동일할 때 H 값이 최대값이 되며 그 수치는 1.61이다. 학생들의 진화 개념의 다양성 지수는 학년별로 평균을 비교하였다.

III. 연구 결과 및 교육적 함의

1. 인간, 동물, 식물의 설명 대상에 따른 진화 설명 차이 분석

학생들이 보여주는 진화적 설명에서 인간과 동물, 식물 소재에 따른 설명 형태의 차이 Fig. 2와 같다.

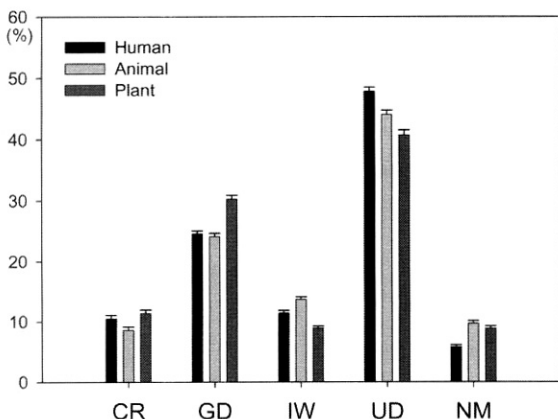


Fig. 2 Percentages of students' evolutionary explanations in terms of human, animals and plants. CR: Creation, GD: Goal-directed, IW: Internal will, UD: Use and disuse, NM: Natural selection after mutation

진화에 대한 목적론적 견해는 식물을 소재로 한 문항에서 가장 많이 나타났다. 용불용설은 인간, 동물, 식물로 갈수록 점차 줄어들었다. 또한 내부 의지도 식물이 가장 적었다. 돌연변이 후 자연 선택은 인간 소재 문항에서 가장 적었다. Bizzo(1994)는 학생들이 인간 중심적인 사고를 가지고 있고 인간 중심적 사고가 식물 진화에서도 나타난다고 하였다. 그에 따르면 동물이나 인간에 비해서 식물은 진화적 설명에 대해서 개체의 의지에 관한 설명이 약하다고 하였다. 동물은 자신의 의지로 노력하면 진화할 수 있다는 설명이 식물에 비해 상대적으로 많다고 하였다. 본 연구 결과는 Bizzo(1994)가 연구했던 결과와 유사하게 나타났다. 목적에 의해서 어떤 형질이 존재한다는 목적론에 비해서 노력에 의해서 진화한다는 내부 의지, 자주 사용해야 진화한다는 용불용설이 식물에 있어서 상대적으로 약하게 나타나는 것은 식물이 능동적이지 못한 존재라는 인식이 반영되어 있음을 알 수 있고, 인간 중심적 사고의 영향으로 생각할 수 있다. 또한 돌연변이 후 자연 선택의 경우 인간은 다른 설명 대상에 비해 가장 낮다. 인간에 대해서는 돌연변이의 가능성을 약하게 생각하고 있는 것으로 해석된다.

Table 5는 학생들의 진화 개념이 인간, 동물, 식물 간에 관계를 설명하고 있다. Table 5를 보면 전반적으로 인간과 동물, 인간과 식물에 비하여 동물과 식물의 상관관계가 더 높은 것을 알 수 있다. 이것은 학생의 진화 개념이 동물과 식물 사이에 더 유사하다는 것으로 인간의 진화와 동·식물의 진화 개념은 약간 다르다는 것을 의미한다.

Table 5

Correlation coefficients among evolutionary explanations in term of human, animals and plants.

	CR	GD	IW	UD	NM
Human & Animal	0.796	0.353	0.241	0.647	0.475
Human & Plant	0.773	0.397	0.265	0.640	0.530
Animal & Plant	0.805	0.495	0.351	0.666	0.601

P < .001

CR: Creation, GD: Goal-directed, IW: Internal will, UD: Use and disuse, NM: Natural selection after mutation

Table 6과 Table 7은 인간, 동물, 식물에 대한 관심과 신념의 정도에 대한 조사 결과이다. Table 6을 보면 진화에 대한 관심은 인간을 소재에서 가장 높았다. 학생들은 식물보다 자신과 더 유사한 것에 관심을 보인다는 Wandersee(1986)의 연구도 진화에 관한 관심은 인간을 소재로 한 내용에서 더 클 수 있다고 하였다. 그리고 각 설명 대상별 진화에 대한 신념에서는

인간을 소재로 했을 경우는 ‘매우 그렇다’와 ‘매우 아니다’와 같은 극단적인 신념이 다른 소재에 비해 상대적으로 높았다.

Table 6
Interest level about evolutionary theory of human, animals and plants.

(Unit : %)

	Strongly disagree	Disagree	Neutral	Agree	Strongly agree
Human	17.2	17.9	34.6	19.4	10.9
Animal	18.2	24.3	40.3	11.8	5.4
Plant	18.0	27.3	40.4	9.9	4.4

Table 7
Belief level about evolutionary theory of human, animals and plants.

(Unit : %)

	Strongly disagree	Disagree	Neutral	Agree	Strongly agree
Human	16.0	15.7	32.3	24.2	11.7
Animal	12.7	17.6	46.2	16.7	6.8
Plant	10.2	19.6	51.8	14.5	3.9

2. 연령별 진화 개념 형성과정

인간, 동물, 식물을 소재로 한 진화 개념 검사지의 총 18문항을 모두 합하여 초,중,고등학생들의 진화 개념의 추이를 분석한 결과는 Fig. 3이다. 고등학교로 갈수록 목적론과 내부 의지가 감소하고 용불용설이 증가함을 볼 수 있다. 이런 현상에 관해서 이미숙과 이길재(2006)의 연구에서는 학생들의 개념이 과학사와 유사하게 발달한다는 주장과 함께 목적론이나 내부 의지가 용불용설에 비해 과학사적으로 더 이전의 개념이라고 제시하면서 용불용설 단계로 진화하는 이유에 대해서 논의하였다.

또한 목적론이 훨씬 더 저학년들에게 이해하기 쉽다는 것을 의미한다. Southerland 등(1996)의 연구에 의하면 생물학적인 현상에 대한 설명 방식으로 어린 아동들일수록 주로 목적론이나 의인화된 설명을 사용하고 과학자들은 근인적 또는 원인적 가설을 주로 쓴다고 한다. 진화 기작에 관한 설명에서 목적론의 형태는 ‘~를 위해서 ~가 있다’라는 형태이고 내부 의지는 ‘~가 ~를 위해서 ~를 만들었다’라는 설명 형태이다. 이런 설명은 단순하며 특히 저학년에게는 호소력이 있다. 반면 용불용설은 ‘~를 자주 사용했기 때문에 ~

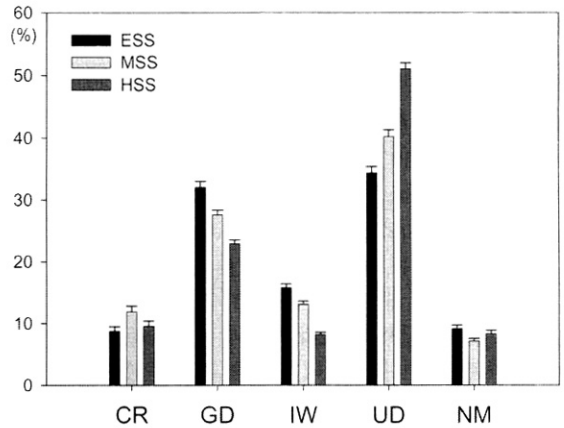


Fig. 3 Percentages of students' evolutionary explanations in terms of their ages. ESS: Elementary School Students, MSS: Middle School Students, HSS: High School Students, CR: Creation, GD: Goal-directed, IW: Internal will, UD: Use and disuse, NM: Natural selection after mutation

가 점점 발전한다.’라는 형태로 근인적 가설과 매우 유사하다. 따라서 용불용설은 목적론이나 내부 의지에 비해 상대적으로 더 과학적 설명 형태라고 할 수 있다.

진화 개념의 특이성은 전체 연구 대상을 진화에 대한 관심별로 두 집단으로 나누어 비교하면 알 수 있다. 진화에 대해 무관심한 집단은 진화에 대한 인식 검사에서 ‘진화에 대해서 들어본 적이 없다.’고 응답한 집단과 ‘진화에 대해서 들어봤지만 전혀 관심이 없다.’고 응답한 집단으로 초등학생이 184명, 중학생이 255명, 고등학생이 238명으로 1,540명 조사 대상 중 667명이다(Fig. 4). 진화에 관심이 있는 집단은 진화에 대한 인식 검사에서 ‘진화를 들어봤고 약간의 호기심이 생긴다.’고 응답한 집단과 ‘진화를 들어봤고 매우 많이 알고 싶다.’라고 응답한 집단으로 초등학생이 116명, 중학생이 227명, 고등학생이 445명으로 전체 1,540명 중 788명이다(Fig. 5).

Fig. 4와 Fig. 5를 보면 평소 진화에 대해서 관심이 전혀 없는 집단도 진화에 관심이 있는 집단과 연령별 추이가 비슷하게 나타난다. 이 결과는 목적론과 내부 의지가 감소하고 용불용설이 증가하는 것은 학생들의 관심이나 평소 진화론을 접하는 것 보다 학생들이 연령이 증가하는 것과 더 관계가 밀접한 것으로 판단된다.

Fig. 4와 Fig. 5의 두 그래프로부터 두 가지를 생각해 볼 수 있다. 첫째로 용불용설은 학생들이 성장하면서 자연스럽게 가지게 되는 설명방식이라는 것이다.

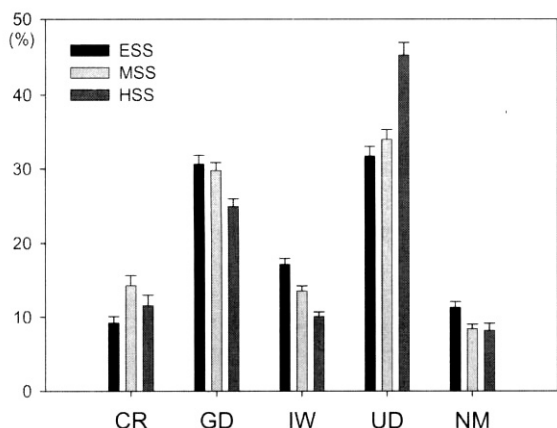


Fig. 4 Percentages of students' evolutionary explanations in terms of their ages in the groups who had not heard about 'evolution' and who had heard about it but had no interest in it. ESS: Elementary School Students, MSS: Middle School Students, HSS: High School Students, CR: Creation, GD: Goal-directed, IW: Internal will, UD: Use and disuse, NM: Natural selection after mutation

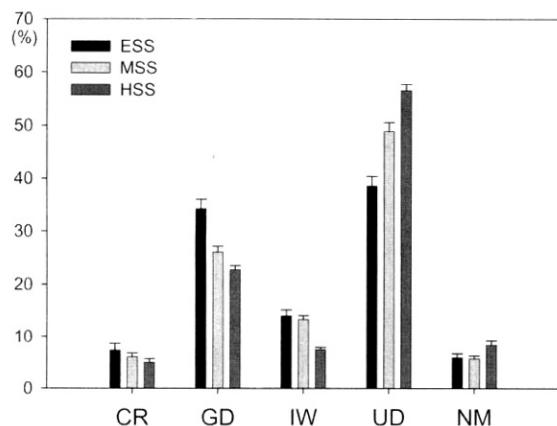


Fig. 5 Percentages of students' evolutionary explanations in terms of their ages in the groups who had not only heard about 'evolution' but also had some curiosity about it and who had wanted to see it. ESS: Elementary School Students, MSS: Middle School Students, HSS: High School Students, CR: Creation, GD: Goal-directed, IW: Internal will, UD: Use and disuse, NM: Natural selection after mutation

이것은 Lawson과 Thompson (1988)의 연구에서 제시된 유전과 자연선택 개념이 논리적 사고력과 관계 있다는 것처럼 용불용설도 학생들의 논리적 사고력과 관계있을 것으로 생각된다. 진화에 무관심한 집단에서

의 응답에서도 목적론과 내부 의지가 감소하고 용불용설이 증가하는 것은 용불용설이 학습에 의한 것보다는 연령의 증가와 더 밀접한 관계가 있다는 것을 의미하고 용불용설은 자연스럽게 형성된 설명체계라는 것이다. 이것은 용불용설이 학생의 인지 구조에 다른 설명들보다 더 자연스럽게 포섭될 수 있기 때문에 다른 설명으로 대체되기 힘들다.

그러므로 두 번째 생각할 수 있는 것이 돌연변이 후 자연 선택으로 진화 개념을 대체시켜주기 위해서는 학생들의 인지 구조 내에서 자연스럽게 형성된 용불용설을 제거해 주어야 한다는 점이다. 만약 용불용설이 학생들의 인지 속에 남아 있게 된다면 돌연변이 후 자연선택의 개념 형성에 방해가 될 수 있다. 이는 Brumby(1979)의 연구에서도 제시되는데, 그녀의 연구에서도 학생들의 진화 개념이 라마르크의 용불용설을 가지고 있을 때 다윈의 진화론 학습에 장애가 된다고 하였다. 그러므로 강력한 인지갈등 전략으로 학생들이 가지고 있는 용불용설을 없애주는 교수 학습 방법이 개발될 필요가 있다.

Fig. 6은 초·중·고등학생들의 진화 개념의 다양도 지수이다. 총 18문항으로 학생들의 진화 개념을 알아보았을 때, 모든 학생이 18개 문항을 특정한 설명적 관점을 보이는 답지로 일관성 있게 표시했는지를 알아보기 위한 것이다. 어떤 학생은 한 가지 진화 개념을 가지고 일관성 있게 답을 했을 수도 있지만, 다섯 가지의 관점 중 여러 가지의 진화 설명을 다양하게 나타낼 수도 있다. 18가지 문항의 각 비율을 Shannon-Weaver의 다양도 지수(H) 공식에 의거하여 각 학생이 나타낸 설명간의 다양도 지수가 분석해 보았다. 다양도 지수가 높을수록 설명 대상에 따라 다양한 관점으로 설명을 한다고 볼 수 있으며, 다양도 지수가 낮을수록 설명 대상과 관계없이 일관성있는 진화적 설명을 한다고 볼 수 있다.

Fig. 6에서 초등학생의 다양도 지수는 1.16으로 고등학생으로 갈수록 0.85로 다양도 지수가 낮아지고 있었다. 즉, 초등학생일수록 진화 개념이 다양하고 고등학교로 갈수록 진화 개념이 특정 설명체계로 굳혀지는 것을 알 수 있다. 평균적으로 학생들의 설명 형태의 다양성 지수는 0.98이다. 연령이 증가할수록 진화 개념의 다양도 지수가 감소하는 것은 학생들의 진화 개념이 저학년일 때는 다양한 개념이 혼재되어 있다가 점차 몇 가지 개념으로 수렴된다는 것을 보여 준다. 이것은 학생들의 인지 구조 내에서 다양한 진화 개념이 성장하면서 특정 진화 개념으로 변화한다고 해석할 수 있으며, 이 과정에서 특정 진화 개념이 학

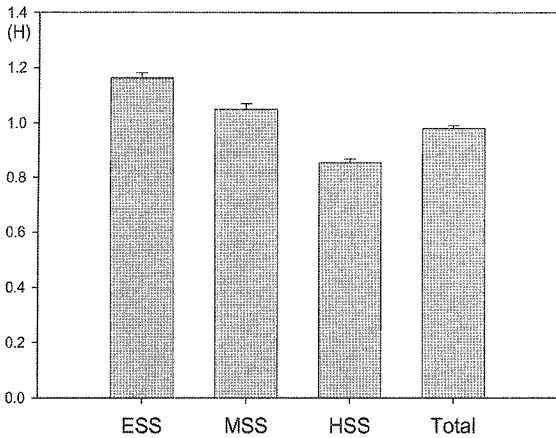


Fig. 6 Diversity of students' evolutionary explanations in terms of their ages. ESS: Elementary School Student, MSS: Middle School Student, HSS: High School Student

생들의 인지 구조 내에서 선택되어 간다는 것으로 생각할 수 있다. 물론 그 진화 개념은 고등학생들이 가장 많이 가지고 있는 용불용설일 것이다. 용불용설은 여러 가지 진화에 관한 개념 중에서 학생들의 인지 구조에 가장 잘 맞는 진화 개념인 것이다. 그러므로 지금까지 진화 학습에서 어려운 이유를 용불용설이 매우 강력하게 학생들의 인지 구조에 있기 때문이라는 추측이 가능하다. 학생들에게 진화에 대한 과학자적 개념인 돌연변이 후 자연선택을 학습시키기 위해서는 용불용설을 제거해 주는 학습전략이 필요하다. 특정 개념을 없애주는 강력한 인지 갈등 전략을 포함한 진화 개념 교수 전략이 필요하다.

3. 형질에 따른 진화 개념의 다양성

본 연구에 사용한 검사지에는 18가지의 인간·동물·식물의 진화 형질들이 있다. 각 형질에 따른 진화 설명 빈도는 매우 다양하였다(Fig. 7.)

인간의 뇌 용량 형질의 경우는 용불용설이 가장 많았으며 카멜레온의 체색변화 형질은 목적론이 가장 많았다. 특히 학생들의 진화 개념에서 가장 높은 빈도를 나타낸 목적론, 내부 의지, 용불용설은 각 형질에 따라 편차가 매우 컸다. 그러므로 학생들의 진화 개념 검사에서 특정 소재를 활용하여 일부 문항으로 검사를 할 경우 학생들의 진화 개념을 적절히 검사하기 어렵다. 만약 예를 들어서 용불용설이 높은 비율을 차지하는 인간의 뇌, 치타의 스피드와 비슷한 유형의 문항들로 진화 개념 검사지를 구성한다면 학생들의 진화 개념은 거의 대부분 용불용설일 것이다.

그리고 위의 자료는 학생들의 진화 개념 수업을 계획할 때 효과적으로 활용할 수 있다. 만약 학생들에게만면되어 있는 용불용설을 선개념으로 하여 인지갈등을 일으켜 준다면 인간의 뇌나 치타의 스피드와 같은 것을 소재로 했을 때 효과적일 수 있을 것이다. 또는 내부 의지에 인지갈등을 주기 위해서는 인간의 성대나 카멜레온의 체색변화 등의 소재를 활용하는 것이 좋다. 이와 같이 학생들의 진화 개념은 생명체의 형질에 따라 다르게 나타날 수 있으며 이 점은 학생들의 진화 개념 연구나 수업 계획 시 응용될 수 있다.

4. 진화에 관한 인식

진화 개념에 대한 다양한 인식을 보기위해 먼저

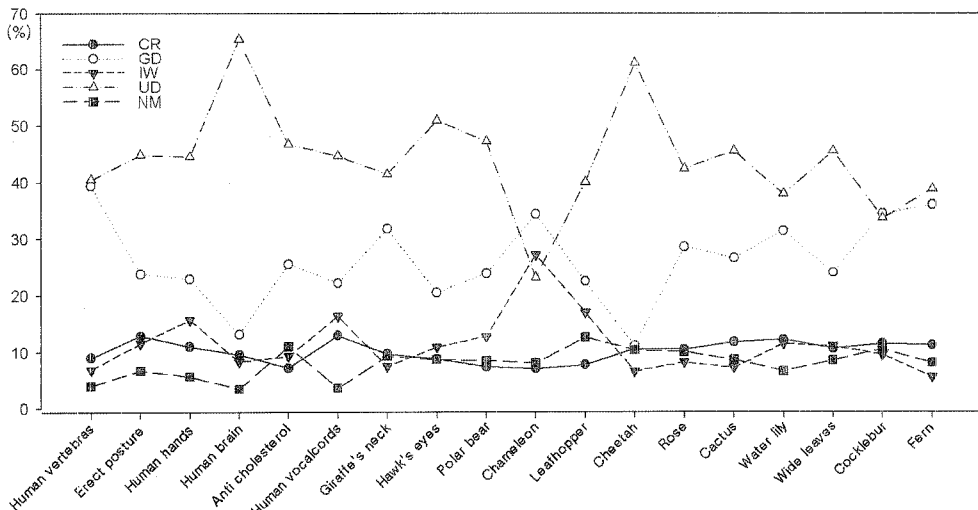


Fig. 7 Percentages of students' evolutionary explanations in term of characters in each question. CR: Creation, GD: Goal-directed, IW: Internal will, UD: Use and disuse, NM: Natural selection after mutation

Table 8
Students' interests in evolution

(Unit : %)

Answer	Elementary school	Middle school	High school	Total
I have never heard about evolution.	41.4	21.7	9.9	20.1
I have heard about evolution but I don't have interest in it	18.6	28.7	22.8	23.9
I have heard about evolution and I have a little interest.	28.3	37.2	51.0	41.9
I have heard about evolution and I want to know it in detail.	9.4	7.7	10.2	9.2
I have heard about evolution but I am disgusted it	2.3	4.7	6.1	4.9
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

Table 9
Students' opinions of evolution

(Unit : %)

Answer	Elementary school	Middle school	High school	Total
It is fake.	16.0	10.1	8.4	10.5
It is a scientific hypothesis which has no validity.	27.7	27.5	12.2	20.3
It is a scientific hypothesis which has a little evidence.	36.5	40.9	55.2	46.8
It is a scientific theory which has much evidence.	16.6	18.2	21.0	19.2
It is a fact which is never denied.	3.3	3.4	3.2	3.2
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

‘진화에 대한 관심 정도’를 분석한 결과는 Table 8과 같다. 학생들은 고등학교로 갈수록 진화에 대해서 많이 들어봤으며 호기심이 더 생긴다고 응답하였다. 진화에 전혀 관심이 없거나 들어본 적 없다는 학생의 비율이 진화를 정규교육과정에서 배운 경험이 있는 고등학생들에게서 급격히 감소하는 것은 매우 바람직하다. 하지만 고등학생에서도 진화에 큰 관심이 없는 학생이 30%가량 되며 이 학생들을 위해서 재미있고 관심을 향상시킬 수 있는 소재를 발굴하여 진화에 대한 교육에 활용한다면 가치있을 것이다. 진화에 대한 학생들의 견해에 대한 비율은 Table 9와 같다.

전반적으로 초등학교에서 고등학교로 갈수록 진화를 과학적 가설, 과학적 이론으로 인정하는 비율이 높다. 하지만 고등학생의 경우에도 50%가 넘는 학생이 진화를 약간의 증거가 있는 과학적 가설로 인식하고 있다. 비록 진화론이 완벽한 이론인지에 대해서는 의견이 분분할 수 있지만 생물학에서는 이론으로 인식하고 있으며, 대부분의 생물학에 그 뿌리를 진화론으로 하고 있는 시점에서는 학생들이 진화론을 이론으로 접할 필요가 있을 것이다.

Table 10은 보면 학생들이 평소 진화의 증거라고 보는 것의 개인적 믿음 정도를 나타낸 것이다. 약 38% 가량의 학생들이 평소 진화의 증거의 대한 믿음이 보

Table 10
Students' belief in evolutionary evidence

(Unit : %)

Answer	Elementary school	Middle school	High school	Total
Strongly disagree	10.1	10.3	10.2	10.2
Disagree	9.4	12.1	9.2	10.2
Neutral	47.2	39.5	33.4	38.2
Agree	23.8	27.5	36.0	30.8
Strongly agree	9.4	10.7	11.1	10.6
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

통이라고 하였다.

학생들의 경우 학습이 효과적으로 이루어지려면 학생들이 수용하고 믿을 수 있는 진화 증거를 학습소재로 삼는 것이 유리할 것이다. 만약 그렇지 않다면 학생들은 진화라는 것이 단지 일부 과학자들만이 주장하는 증거가 불충분한 가설로 생각할 수 있기 때문이다.

학생들이 진화 개념을 어디에서 가장 많이 접했는지 알아보았다(Table 11). 초등학교에서 고등학교로 갈수록 선생님의 비중이 커지고 TV의 비중이 작아졌다. 선개념은 어릴 때 형성되기 때문에 초등학교에서

Table 11
The sources of information about evolution

							(Unit : %)
Levels of School	Book	Teacher	Colleague	TV	The others	Never heard	Total
Elementary school	20.5	5.2	2.6	44.6	11.1	16.0	100.0
Middle school	20.6	20.9	2.8	39.7	9.7	6.3	100.0
High school	16.8	34.1	1.0	33.3	12.8	2.1	100.0
Total	18.8	24.0	1.9	37.7	11.4	6.2	100.0

Table 12
Students' definition of evolution

Answer	Levels of School	Elementary school	Middle school	High school	Total
Gradual improving along with better shapes.		45.9	26.5	22.3	28.4
Changing into shapes that an organism want to be by its intention		10.1	8.5	5.1	7.2
An organism is changed by chance and it remains various.		16.6	14.4	11.7	13.6
While necessary thing comes out unnecessary one is disappeared.		20.2	34.8	49.7	38.9
Changing into God's will.		3.3	7.7	6.2	6.1
There is no evolutionary phenomenon in the world.		3.9	8.1	5.1	5.8
	Total	100.0	100.0	100.0	100.0

가장 많은 비중을 차지하는 TV가 진화 개념 형성에 가장 중요한 매체일 수 있다고 생각된다. 기타 응답으로도 역시 ‘포켓몬스터’와 ‘디지몬어드벤처’와 같은 TV만화프로그램이 가장 많았다. 그러므로 이런 프로그램에서 진화 개념을 어떻게 가르치고 있는지 조사해 볼 필요도 있다.

학생들이 정의하는 진화는 Table 12와 같다. ‘점점 좋아지는 모양으로 발전하는 것’의 응답은 고등학교로 갈수록 감소하고 ‘필요한 것은 생기고 필요 없는 것은 사라지는 것’이란 응답은 점차 증가하였다. 한편 과학적 개념인 ‘우연한 계기로 한 종류의 생물이 변하여 다양해지는 것’이란 응답이 고등학교로 갈수록 감소하였다. 또한 같은 창조론이지만 ‘신의 섭리대로

변해 가는 것’의 지적 설계론과 ‘진화란 존재하지 않는다.’는 전통적 창조론이 비슷한 비율을 보였다.

창조론에 대해서 얼마나 수용하는지에 대한 물음에 응답은 Table 13과 같다. 고등학교로 갈수록 창조론에 대해 중립적인 의견이 감소하고 부정적인 의견이 증가한다. 상대적으로 창조론을 긍정적으로 생각하는 집단의 비율 변화는 크지 않다.

IV. 결론

이 연구는 학생들이 설명대상에 따라 진화 개념이 다른지 여부와 연령에 따른 진화 개념에 변화 과정, 진화에 관한 인식의 특성을 알아보기 위하여 검사지를 제작하고 초·중·고등학생 1,540명을 대상으로 조사하였다. 이 연구 결과를 종합하여 결론을 내리면 다음과 같다

첫째, 인간과 동물, 식물 소재에 따라 학생들의 진화 개념과 인식에 차이가 있었다. 특히 식물에서 목적론이 동물과 인간에 비해 많았으며 용불용설이 적었다. 또한 인간의 경우 돌연변이 후 자연 선택의 비율이 낮았다. 이 점은 학생들의 진화 개념에 인간중심적 사고가 많이 영향을 미쳤다는 것을 의미한다. 또한 18가지의 형질에 따라 진화 개념의 편차가 매우 높았다. 그러므로 학생들의 진화 개념을 검사하거나 진화 수업을 계획한다면 가급적 다양한 소재를 활용하는 것이 효과적일 것이다. 또한 진화에 관한 인식조사에

Table 13
Opinion of creationism

Levels of School	Elementary school	Middle school	High school	Total
Strongly disagree	16.6	20.8	26.5	22.7
Disagree	14.0	21.1	23.1	20.6
Neutral	35.5	27.7	22.3	26.7
Agree	16.3	15.2	14.3	15.0
Strongly agree	17.6	15.2	13.8	15.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

서 알 수 있듯이 학생들은 인간에 대해서 가장 많은 관심을 보였다. 인간 진화에 대한 믿음은 다른 설명대상에 비하여 많이 달랐다. 이 점을 통하여 학생들의 진화 학습을 계획할 때 인간 진화에 대한 소재를 사용하는 것이 학생들의 관심을 높일 수 있을 것이다. 특히 최근 연구에 의하면 인간의 뇌(Mekel-Bobrov *et al.*, 2005), 인간의 턱(Steadman *et al.*, 2004) 언어 관련 유전자(Enard *et al.*, 2002)와 같은 인간 형질의 진화에 대한 다양한 논문이 나오고 있다. 이런 것들은 학생들의 개념 변화를 촉발할 수 있는 강력한 인지갈등소재가 될 수 있으며 또한 학생들의 진화에 대한 관심도 크게 향상시킬 수 있을 것이다.

둘째, 학생들의 진화 개념은 성장하면서 용불용설로 나아간다. 저학년의 경우에는 목적론, 내부 의지, 용불용설을 고루 가지고 있으나 학년이 올라가면서 목적론과 내부 의지의 비율이 낮아지고 용불용설이 학생들의 인지 구조에서 선택되어 자리 잡는다. 그러므로 용불용설은 학생들의 인지 구조에 매우 고착화되어 있어 돌연변이 후 자연 선택 개념을 학습하는 것을 방해할 수 있다. 그러므로 과학적 오개념이지만 학생들의 입장에서 가장 합리적으로 보이는 진화 개념인 용불용설을 제거하기 위해서는 강력한 인지갈등 전략을 활용해야 한다. 셋째, 진화 개념의 효과적인 학습을 위해서는 진화 개념의 관심을 높이고 진화 개념이 생물의 다양성을 이해하기 위한 과학적 설명임을 보여야 한다. 최근에 제시되는 다양한 분자 진화 연구 결과는 진화론의 결정적 증거로서 가치가 높다. 최근 생물 계통 연구에서 나타나는 유전자 변이와 자연 선택의 현상을 수업 모듈에 활용하는 것은 돌연변이와 자연선택 개념 학습에 좋은 소재가 될 수 있을 것으로 기대한다. 또한 학생들은 진화 개념을 형식적 교육과정뿐만 아니라 많은 비형식적 교육을 통해 접할 수 있다. 그러므로 그런 비형식적 교육 매체가 진화 개념 형성에 미치는 영향도 연구할 필요가 있을 것이다.

생물학에서 과학적 진화 개념의 이해는 매우 중요하다. 학생들이 과학적 진화개념을 가지는 것은 매우 바람직하다. 하지만 진화 개념은 학생들이 자발적으로 습득하기 어려운 과학적 개념이고 수업 전 많은 대안 개념을 가지고 있어 교수-학습 전략을 마련하기 매우 어려운 주제이다. 하지만 진화 개념의 특성에 관한 연구가 축적 된다면 충분히 효과적인 수업 전략을 마련하는데 도움이 될 수 있을 것으로 생각된다. 이 연구도 그런 성공적인 수업 전략을 위한 기초자료가 될 수 있을 것으로 기대한다.

V. 국문 요약

이 연구는 설명 대상에 따른 학생들의 진화 개념의 특성을 알아보기 위하여 인간, 동물, 식물의 소재에 따른 진화 개념과 연령별 진화 개념의 추이, 진화에 관한 인식의 특성에 대해 조사하였다. 인간, 동물, 식물을 소재로 한 진화 개념 검사지와 진화에 관한 인식 검사지를 개발하여 8개 초·중·고 학교 1,540명에게 투입하여 분석하였다. 연구 결과 학생들의 진화 개념이 인간, 동물, 식물에서 다르게 나타났다. 식물은 목적론명이 많았으며 내부 의지와 용불용설이 적었다. 인간은 돌연변이 후 자연 선택이 적었다. 이것은 학생들의 진화 개념에 인간중심적 사고가 영향을 미쳤다고 판단된다. 학생들의 연령이 증가하면서 목적론과 내부 의지가 감소하고 용불용설이 증가하였다. 또한 진화 개념의 다양도 지수가 고등학교로 갈수록 감소한다. 저학년일수록 목적론, 내부 의지, 용불용설을 고루 가지고 있다가 고학년으로 갈수록 용불용설이 가장 많은 비율을 차지한다. 용불용설은 연령이 증가하면서 자연스럽게 획득되는 개념인 것이며, 학생들의 인지에 강하게 고착화되어 있다고 판단된다. 학생들은 진화가 약간의 증거가 있는 과학적 가설로 인식하는 경우가 많았으며 진화에 대한 관심이 부족하였다. 그리고 진화개념이 비형식적 교육매체를 통해 많이 형성되고 있다. 본 연구 결과를 토대로 보았을 때 과학적 진화 개념의 형성을 위해서는 먼저 학생들의 인지 구조에서 강하게 자리 잡고 있는 용불용설을 제거해 주어야 한다. 이때 사용하는 진화 학습 소재는 인간 중심주의적 사고를 극복할 수 있는 소재를 사용하면서, 흥미 있으며 진화 증거에 대한 학생들의 신뢰가 높은 것을 활용해야 한다.

참고 문헌

- 김양현 (1999). 칸트의 목적론적 자연관에 나타난 인간중심주의-목적론적 판단력 비판을 중심으로-. 한국철학회, 55, 97-120.
- 김위경, 이미숙, 이길재 (2003). 집단유전 개념학습에서 귀납적-연역적인 수업효과. 한국과학교육학회지, 23(2), 190-199.
- 박종분, 이미숙, 이길재 (2003). 자연 선택 개념의 이해를 위한 활동 중심 수업의 효과. 한국과학교육학회지, 23(5), 505-516.
- 송창민 (2003). 과학사를 도입한 교수학습 모듈이 고등학생의 진화 개념 변화에 미치는 효과. 한국교원대학교 대학원 박사학위 논문.

- 신영준, 김성하, 정완호 (1996). 자연선택 개념의 이해에 대한 횡단적 연구. *한국생물교육학회지*, 24(1), 65-85.
- 이미숙 (2004). 과학사에 근거한 학생들의 진화 개념 변화 분석. 한국교원대학교 대학원 박사학위 논문.
- 이미숙, 동효관, 신영준, 김경호, 이길재 (2004). 예비 초등 교사들의 진화 현상 설명에 관한 연구. *한국생물교육학회지*, 32(4), 360-369.
- 이미숙, 오세평, 이길재 (2005). 과학사적 진화개념 발달 단계에 기초한 초등학생들의 진화 개념 분석. *한국초등과학교육학회지*, 24(2), 145-159.
- 이미숙, 이길재. (2006). 과학사에 근거한 학생들의 진화 개념 분석. *한국과학교육학회지*, 26(1), 25-39.
- 이춘승 (2003). 진화에 관한 중고등학생의 오개념 유형과 유형별 원인 분석. 한국교원대학교 대학원 석사학위 논문.
- Bishop, B. A., & Anderson, C. W. (1990). Student conceptions of natural selection and its role in evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 415-427.
- Bizzo, N. M. V. (1994). From Down house landlord to Brazilian high school students: What has happened to evolutionary knowledge on the way? *Journal of Research in Science Teaching*, 31(5), 537-556.
- Brumby, M. (1979). Problems in learning the concept of natural selection. *Journal of Biological Education*, 13(2), 119-122.
- Brumby, M. N. (1984). Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students. *Science Education*, 68, 493-503.
- Demastes, S., Good, R., & Peebles, P. (1995). Students: conceptual ecologies and the process of conceptual change in evolution. *Science Education*, 79(6), 637-666.
- Duveen, J., & Solonom, J. (1994). The great evolution: Use of role-play in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 575-582.
- Enard, W., Przeworski, M., Fisher, S. E., Lai, C. S. L., Wiebe, V., Kitano, T., Monaco, A. P., & Paabo, S. (2002). Molecular evolution of FOXP2, a gene involved in speech and language. *Nature*, 418, 869-872.
- Gribbin, J. (2002). *Science: a History 1543-2001*. London: Allen Lane.
- Hibish, T., & Goodwin, T. M. (1994). A simple demonstration of natural selection in the wild using the common dandelion. *The American Biology Teacher*, 56, 286-289.
- Kennedy, D., Moore, J., Alberts, B., Scott, E., Ezell, D., Singer, M., Goldsmith, T., Smith, M., Hazen, R., Suiter, M., Lederman, N., & Wood, R. McInerney, J. (1998). *Teaching about evolution and the nature of science*. Washington, DC: National Academy Press.
- Lawson, A. E., & Thompson, L. D. (1988). Formal reasoning ability and misconceptions concerning genetics and natural selection. *Journal of Research in Science Teaching*, 25, 733-746.
- Lawson, A. E., & Weser, J. (1990). The rejection of nonscientific beliefs about life : Effects of instruction and reasoning skills. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, 589-606.
- Mayr, E. (2000). *The growth of biological thought: Diversity, Evolution and Inheritance 11* (Ed.), Cambridge, MA. Harvard University Press.
- Mekel-Bobrov, N., Gilbert, S. L., Evans, P. D., Valender, E. J., Anderson, J. R., Hudson, R. R., Tishkoff, S. A., Lahn, B. T. (2005). Ongoing adaptive evolution of ASPM, a brain size determinant in Homo sapiens. *Science*, 309(5741), 1662-1663.
- Moore, J. A. (1993). *Science as a way of knowing - The foundations of modern biology*. Cambridge, MA. Harvard University Press.
- National Research Council (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Science Teachers Association (2003). *NSTA position statement: The teaching of evolution*. Arlington, VA. Wilson Boulevard.
- Rutledge, M. L., & Mitchell, M. A. (2002). Knowledge structure, acceptance and teaching of evolution. *The American Biology Teacher*, 64(1), 21-28.
- Rutledge, M. L., & Warden, M. A. (2000). Evolutionary theory, the nature of science and high school biology teachers: critical relationships. *The American Biology Teacher*, 62(1), 23-30.
- Settlage, J. (1994). Conceptions of natural selection: A snapshot of the sense making process. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 449-457.
- Sinclair, A., Pendarvis, M. P., & Baldwin, B. (1997). The relationship between college zoology students' beliefs about evolutionary theory and religion. *Journal of Research and Development in Education*, 30, 118-125.
- Southerland, S. A., Abrams, E., Cummins, C. L., & Anzelmo, J. (2001). Understanding students' explanations of biological phenomena: conceptual frameworks or p-prims? *Science Education*, 83(3), 328-348.
- Stedman, H. H., Kozyak, B. W., Nelson, A., Thesier, D. M., Su, L. T., Low, D. W., Bridges, C. R., Shrager, J. B., Purvis, N. M., & Mitchell, M. A. (2004). Myosin gene mutation correlates with anatomical changes in the human lineage. *Nature*, 428, 415-418.
- Thanukos, A. (2002). Acceptance of evolutionary explanation as they are applied to plants, animals, and

humans. Unpublished doctoral dissertation, University of California, Berkeley.

Wandersee, J. H. 1986. Plants or animals: Which do junior high school students prefer to study? *Journal of Research in Science Teaching*, 23(5), 415-426.