

과학사에 근거한 학생들의 진화 개념 분석

이미숙 · 이길재*

부평고등학교 · 한국교원대학교*

Analysis of Student Conceptions in Evolution Based on Science History

Lee, Mi Sook · Lee, Kil Jae*

Bu-Pyung Technical High School · Korea National University of Education*

Abstract: Most student misconceptions about evolution are similar to misconceptions and disputes which early scientists had in science history. The aim of this study was to analyze student evolution conceptions based on science history, there by revealing for effectively teaching strategies on evolution. A test was developed according to Lee's three dimensional framework (2004) on evolution concept changes. Lee's framework had been constructed according to 4 stages of evolution concept changes in history in three-dimensional aspects such as mechanism, time, and subject: before Lamarck (stage 1), Lamarck (stage 2), Darwin (stage 3), and after Darwin (stage 4). Major results were as follows. First, the evolution conceptions of students appeared fixed to stage 2 regardless of grade. Moreover, students usually possessed Lamarckian thought and did not show consistency in evolution concepts among the three dimensional aspects of mechanism, time, and subject. Therefore, students were found to apply different conceptions of evolution to each different situation.

Key words: science history, evolution, misconception, conceptual changes.

I. 서 론

진화 개념은 생물학의 이해에 있어서 가장 중심이 되는 개념으로 여겨지고 있다(Dobzhansky, 1973). 생물학에 있어서 진화 이론은 많은 다양한 사실들을 융합하고 설명해주는 하나의 통합적 틀을 제공해준다. 따라서 진화에 대한 이해가 부족한 상태에서는 현대 생물학에 대한 이해는 불완전할 수밖에 없다(Bishop & Anderson, 1990).

생물학에 있어서 어떤 문제들은 진화의 언급이 없이도 대답할 수 있다. 새들은 어떻게 비행하는가? 어떤 식물은 왜 사막에서 자랄 수 있는 것인가? 왜 아이들은 부모를 닮는가? 이러한 질문들에 대한 응답은 진화의 개입 없이도 설명이 가능하다. 그러나 그 질문이 깊이를 더하여 왜?, 그리고 어떻게 이렇게 되어왔는가? 이것이 그 생물에게 어떤 의미를 지니는가?라는 질문을 하게 되면 이것은 역사적인, 즉 시간의 흐름을 따라 변화해온 과정과 원인을 이해할 수 있도록

해주는 틀, 즉 진화라는 설명이 꼭 필요하게 된다(National Academy of Sciences, 1998). 즉 생물학에 있어서 진화를 고려하지 않고는 명확하게 답할 수 있는 “왜” 라는 인과적 질문은 존재할 수 없는 것이다(Mayr, 2001).

그러나 이러한 진화 개념에 대한 이해의 중요성과는 달리 학생들은 생물의 다양한 개념들 가운데 진화를 가장 어려운 개념의 하나로 인식하고 있다. 또한 이 어려움을 극복하기 위한 다양한 수업 방식이 적용되었지만 많은 학생들은 항상 진화개념에 대한 이해에 큰 어려움을 겪고 있다(김위경 등, 2003). 이러한 어려움을 겪는 이유들 중의 하나로서 학생들이 가지는 오개념의 영향이 매우 크다고 알려져 있다(Bishop & Anderson, 1990; Brumby, 1984; Demastes *et al.*, 1995, Tamir & Zohar, 1991).

여러 연구를 통해서 학생들에게서 나타나는 오개념의 대부분은 역사적으로 선행되었던 생각들이라고 보고되고 있다. Fisher(1985), Wandersee(1985), 신영준

*교신저자: 이길재(kjee@knue.ac.kr)

**2005.6.10(접수) 2005.11.10(1심통과) 2005.12.27(2심통과) 2006.1.11(최종통과)

***본 연구는 2003년도 한국학술진흥재단 연구조성비의 지원에 의한 것임(KRF-2003-002-C00261)

(1996)은 학생들이 갖고 있는 많은 오개념들이 과학 사적으로 보여지는 전례들과 일치하고 있다고 하였다. Jensen과 Finley(1997)는 대학 생물학 연구반 1, 2학년을 대상으로 진화에 대한 지식을 평가한 결과 공통적으로 나타났던 오개념들은 목적론적인 생각, 라마르크적인 생각, 자연 신화적인 생각 등으로 다윈 이전에 생각했던 진화 개념의 역사적 변천과정과 학생들의 반응 사이에 강한 연관 관계가 있음을 밝혔다. 이러한 결과는 박남이와 이길재(2000), 이춘승(2003)의 연구에서도 나타난 바 있다. 전태식(1987), 고정호 등(1997)은 초, 중, 고등학교 학생들의 오개념의 유형분석에 대한 연구를 통해서 저학년의 학생일수록 과학 사적으로 고대에 존재하였던 개념을 많이 보유하고 있으며 학년이 올라가면서 과학사적으로 좀 더 최근에 존재하던 개념이 나타나고 있다고 하였다. 따라서 과학 개념의 발달 역사와 학습자의 개념 발달간의 유사성이 존재하며 과학사적으로 나타났던 개념 발달의 과정이 학생들의 개념 발달 과정상에 나타난다고 볼 수 있다.

이렇게 보았을 때, 과학사는 학생들의 개념 분석 및 교정에 대한 심층적인 도구로서 사용될 수 있음을 알 수 있다. Wandersee(1985)는 학생들이 가지고 있는 오개념이 과거 과학자들이 가졌던 개념과 많은 유사성이 있기 때문에, 과학 개념의 발달사를 통해 오개념 치료를 위한 과학적인 방향을 제시받을 수 있다고 하였다. Matthews(1994)는 과학사적 접근은 개인적 사고 발달을 과학적 사고 발달에 접목시켜 준다고 밝힌 바 있다. 즉, 개념의 과학사적인 발달 과정을 반영하여 분석도구를 개발하고 그것을 활용하여 학생들의 개념 상태를 분석한다면 그들의 개념 상태를 심층적으로 이해할 수 있을 뿐 아니라, 그들이 왜 그런 오류에 빠져있는지 그리고 그것으로부터 어떻게 빠져나올 수 있는 지에 대한 힌트를 얻을 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 학생들이 지니는 진화에 대한 개념 분석에 과학사를 이용하고자 하였다. 이에 따라 이미숙(2004)의 과학사 분석을 통해서 개발된 진화 개념 변화의 3차원 틀을 기초로 하여 그에 적절한 개념 검사지를 제작하고 9학년, 12학년, 대학교 1학년의 여러 학년의 학생들을 대상으로 진화 개념의 상태를 분석하였다. 이를 통해서 학년이 올라가면서 학생들이 보이는 진화 개념의 상태는 과학사적으로 어떤 과정과 유사한지를 비교하였다. 이러한 비교를 바탕으로 학생들이 보이는 오개념에 대한 해결책을 과학사적 진화 개념 발달과정에 근거하여 그 실마리를 찾고 보고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 조사대상

학생들의 학년별 진화 개념을 분석하기 위하여 9학년 110명, 12학년 120명, 대학교 1학년(이후 13학년으로 표시) 188명을 대상으로 조사를 실시하였다. 이때 13학년의 경우 124명은 교육대학교 1학년 학생이었고 64명은 사범대학의 과학교육과 학생이었다.

학년이 올라가면서 학생들의 진화 개념이 어떻게 변화해 가는지를 알아보기 위해서 진화개념 수업을 받기 전인 9학년 학생과 진화 개념을 중학교 과정에서 학습하고 고등학교 과정에서는 학습하지 않은 12학년의 학생, 그리고 중, 고등학교 과정에서 진화학습을 받았으나 대학교 과정에서는 진화수업을 받지 않은 13학년 학생들을 대상으로 하였다. 12학년 학생들의 경우는 인문계열 2개반, 자연계열 2개반을 대상으로 하여 계열선택에 따른 학습량의 차이가 학년별 비교에 영향을 주지 않도록 하였다. 13학년의 경우 역시 교육대학교 1학년 학생의 경우 80%가 인문계열 출신이었음을 감안하여 사범대학교 과학교육과 학생들을 조사대상에 포함시켜 인문계열과 자연계열의 비율을 조정하여 대상을 선정하였다.

2. 개념 검사 도구 - 진화, 적응, 변이(퇴행변이)에 대한 3차원 개념검사지

3차원 개념 검사지는 이미숙(2004)의 과학사 분석을 통해서 얻어진 진화 개념 변화의 3차원 틀을 기준으로 제작하였다. 개념 변화의 3차원 틀이라는 것은 진화, 적응, 변이 개념의 과학사적 변화 과정을 3차원적으로 나타내는 틀로서 시간을 한 축으로 하고 나머지 2축은 방향성(기작), 대상으로 구성된 틀이다. 그림 1은 진화, 적응, 변이에 대한 3차원 틀 중 진화에 대한 틀을 나타낸 것으로서 각 축은 방향, 대상, 시간에 대해서 과학사적인 단계로 구분되어 있다. s1에서 s4(단계 4, 다윈 이후의 시대)쪽으로 가면서 고대의 개념에서 현대에 받아들이고 있는 과학적 개념으로 변화되도록 구성되어 있다. 이미숙(2004)은 적응과 변이에 대한 개념 역시 과학사적 발달과정을 반영할 수 있도록 각각의 3차원 틀이 구성하여 제시하고 있다.

이미숙(2004)의 분석에 의하면 과학사적으로 진화 개념이 변해가면서 방향(기작), 대상, 시간을 바라보는 관점이 제 각각 달라졌고 시대별로 나타난 여러 가지 진화 이론들이 이 세 가지의 관점에서 차이를 보였다. 따라서 학생들의 개념 상태 역시 3차원적으로 구분하여 분석함으로써 과학사적인 개념 변화와 비교해보는

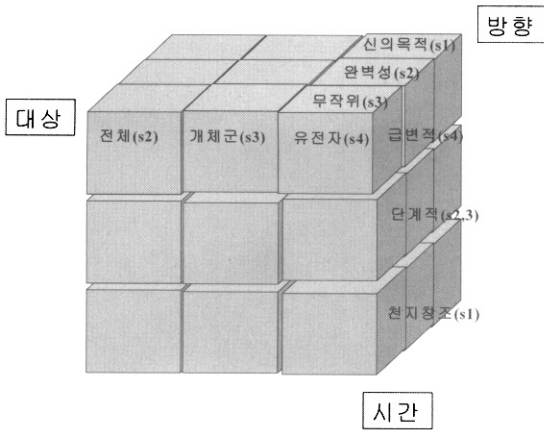


Fig. 1 3-dimensional framework of evolution concept change in science history (s1 : stage 1, s2 : stage 2, s3 : stage 3, s4 : stage 4)

것이 필요하다고 하였다. 따라서 본 연구에서는 진화, 적응, 변이, 퇴행변이의 개념에 대해서 3차원적(시간, 대상, 기작)인 관점을 따로 구분하여 개념 검사지를 제작하였다(부록 1). 이미숙(2004)의 분석틀은 진화, 적응, 변이에 대한 틀로 구성되어 있고 퇴행변이에 대한 것은 따로 구분하지 않았다. 그러나 퇴행변이 현상은 과학사적으로 일반적인 변이 현상보다 더 강하게 라 마르크적인 사고와 연계되어 있었고 다윈 조차도 퇴행변이 현상에 대해서는 사용하지 않아서 퇴화된다는 설명을 하였었다(Mayr, 1982). 따라서 검사지는 학생들의 퇴행변이 현상에 대한 개념 조사를 포함시켜 진화, 적응, 변이, 퇴행변이의 4영역을 대상으로 하였다.

개발된 검사지는 진화, 적응, 변이, 퇴행변이에 대해서 각각을 방향(기작), 대상, 시간의 3차원적으로 구분하여 물어보는 12문항으로 구성되었다. 개발한 문항은 기존의 Brumby(1984), Bishop과 Anderson(1990), Settlage(1994)등의 선행연구에서 사용하였던 진화의 상황적 예를 이용하여 재구성하였다. 기존의 문항을 세부적으로 다시 구분, 분석하여 기작, 대상, 시간을 따로 따로 물어보는 문항지로 재구성하였다.

문항은 모두 객관식으로 구성하였다. 객관식에서 제시한 보기 문항은 각 문항별로 4~7개의 보기로 제작되었다. 각 보기 들은 과학사적 단계별로 등장하였던 개념들을 대표할 수 있도록 구성하였다. 제작된 문항은 강원도 소재 고등학교 학생과 충남 소재 대학교 1학년 학생을 대상으로 예비 검사를 실시하였다. 예비 검사의 결과를 통해 얻은 학생들의 응답에 따라서 보기 문항을 수정, 삭제, 추가 하는 과정을 거쳤고 검사 문항 자체도 수정하여 재구성하였다. 재구성한 검사지는 과학교육 전문가 1인, 생물학 전문가 1인, 현장교사 4인에게 각 문항의 내용이 원하는 목표 개념을 제대로 묻고 있는가와 그 문항이 특정 학년의 학생에게 적합한지를 묻는 내용 타당도를 점검 받았고 지적된 사항을 수정하여 최종적으로 개발하였다. 검사지의 신뢰도는 Cronbach's α 값은 0.73이었다.

3. 과학사적 개념 변화 과정과의 비교 분석

3차원 개념 검사지의 경우 과학사적 개념 변화 과정과 학생들의 학년별 횡적 개념 상태를 비교하기 위하여 각 문항에 대한 보기를 과학사 개념 변화 단계인 단계 1에서부터 단계 4까지로 구분하였다. 각 보기 문항에 대한 과학사 개념 변화 단계 할당은 부록 2와 같다.

III. 결과 및 논의

1. 진화, 적응, 변이, 퇴행변이의 방향(기작)에 대한 3차원적 사고분석

진화의 방향성과 적응, 변이, 퇴행변이의 기작에 대한 학년별 개념 분포를 보기 위해서 각각에 대하여 학생들의 응답비율을 살펴보았다(표1, 표2, 표3). 다음 표 1은 진화의 방향성에 대한 각 학년 학생들의 응답 분포이다.

진화의 방향성에 대해서 9학년의 경우는 65.5%의 학생들이 고등하고 완벽을 향해 가는 것을 진화라고 여기고 있으며 13학년 쪽으로 갈수록 그 비율이 낮아

Table 1
The comparison of students' concept about direction of evolution

Response type	9th		12th		13th		Total	
	Num.	%	Num.	%	Num.	%	Num.	%
determined goal	7	6.4	3	2.5	2	1.1	12	2.9
for perfect	72	65.5	53	44.2	67	35.6	192	45.9
random	18	16.4	42	35.0	77	41.0	137	32.8
the others	13	11.8	22	18.3	42	22.3	77	18.4
total	110	100	120	100	188	100	418	100

지고 있다. 학년이 높아질수록 더 많은 학생들이 진화의 방향성에 대한 올바른 개념을 소유하고 있음을 알 수 있다. 이는 진화 학습을 통해서 어느 정도 진화의 무작위적인 특성을 이해하게 되었다고 볼 수 있다. 그러나 13학년의 35.6%의 학생들은 중학교, 고등학교 과정을 통해서 진화에 대한 학습을 받았음에도 불구하고 진화를 고등하고 완벽을 향해가는 것이라고 생각하고 있는 것이 문제로 나타났다. 고대 시대부터 자연에는 쓸데없이 만들어진 것은 하나도 없다고 아리스토텔레스가 말한 바와 같이 세계에 존재하는 모든 것은 하나의 목적을 반드시 지니고 있다고 널리 믿어져 왔다. 이러한 목적론적인 세계관은 1800년대까지 전 세계를 지배하고 있었고 다윈 역시 이러한 세계관의 소유자였으나 자연선택설을 생각하면서 목적론을 버리게 되었다(Mary, 1991). 따라서 다윈의 이론은 그 당시에 매우 혁명적인 영향을 줄 수밖에 없었던 것이다. 그만큼 목적론적인 사고는 일반인들의 사고를 강하게 지배하였었다. 이러한 사고는 우리 학생들에게 있어서도 강한 지배력을 지니고 있음을 알 수 있다. 진화의 자연선택설을 배웠음에도 불구하고 일부의 학생들은 여전히 목적론적인 사고를 하고 있다. 학습한 자연선택이 과학사에서 그랬던 것처럼 그들의 관점을 바꾸어야 하지만 그것과는 상관없이 별개의 것으로 학습되고 있다고 볼 수 있다.

적응의 기작의 경우는 사용에 의한 기관의 발달로 적응(단계 2)이 이루어진다고 응답한 비율이 매우 높았으며 13학년으로 갈수록 오히려 그 비율이 높아지고 있는 것을 볼 수 있다. 적응현상을 자연 선택적(단계 3)으로 보고 있는 경우는 12학년 학생들이 가장 많았으며 돌연변이에 의해서 일어나는 것으로 보는 경우(단계 4)는 12, 13학년에서 비슷한 비율을 보이

고 있다. 적응의 기작에 대해서 현재 인정되고 있는 과학적 개념인 자연선택이나 돌연변이에 대한 개념을 지닌 학생들은 9학년에서는 11.8%, 12학년에서는 24.2%, 13학년에서는 14.8%로 12학년에서 가장 높게 나왔다.

자연선택 및 돌연변이 개념은 진화 개념 이해에 매우 핵심적인 요소이다. 그러나 이러한 중요성과는 달리 학생들은 진화 방향의 무작위성에 대해서는 어느 정도 이해를 보이고 있으나(표 1) 그 무작위성이 자연선택과 돌연변이에 의한 적응의 결과라는 것은 이해하지 못하고 있다(표2). 과학사적으로 단계 2의 사고는 내적의지나 사용에 의해서 기관이 발달하고 그것이 적응현상이며 완벽함을 향해서 생물이 진화한다는 것이었다. 그에 비해서 단계 3에서는 자연선택이 생물의 의지와는 상관없이 무작위적으로 일어나고, 진화의 방향은 정해져 있지 않다는 사고이다. 학생들은 진화에 방향성에 대해서는 단계 3의 사고를 하고 있으면서 적응현상에 대해서는 단계 2의 사고를 하고 있으면서도 그것이 논리적으로 모순되어 있음을 깨닫지 못하고 있다.

Deadman과 Kelly(1978)는 적응의 개념이 실제로 모든 학생들이 제시한 진화 설명의 중심이 되었으며 학생들은 적응을 '환경변화에 대응하여 일어나는 어떤 것'이라고 정의하였다고 하였다. Hallden(1988)은 학생들은 적응을 환경에 대한 반응으로 생각한다고 하면서, 대부분의 학생들이 개체는 생존을 위해서 환경에 맞추어 스스로 개조한다는 생각을 갖고 있다고 보고한 바 있다. 이렇게 보았을 때 학생들은 진화와 적응을 동일하게 보고 있으며 이러한 적응은 환경에 맞춘 의지적 변화라는 생각을 품고 있는 것이다.

학생들의 이러한 환경에 알맞게 생물이 변화해 간

Table 2
The comparison of students' conception about mechanism of adaptation

Response type	9th		12th		13th		Total	
	Num.	%	Num.	%	Num.	%	Num.	%
creation	10	9.1	9	7.5	5	2.7	24	5.7
teleology*	9	8.2	6	5.0	1	0.5	16	3.8
internal volition	18	16.4	9	7.5	13	6.9	40	9.6
use**	60	54.5	66	55.0	127	67.6	253	60.5
natural selection	8	7.3	20	16.7	14	7.4	42	10.0
mutation	5	4.5	9	7.5	14	7.4	28	6.7
the others	0	0	1	0.8	14	7.4	15	3.6
total	110	100	120	100	188	100	418	100

*teleology- it had to evolve in order to
**use-use and disuse caused organs to develop

Table 3
The comparison of students' conception about mechanism of variation

Response type	9th		12th		13th		Total	
	Num.	%	Num.	%	Num.	%	Num.	%
creation	5	4.5	3	2.5	1	0.5	9	2.2
teleology	8	7.3	8	6.7	4	2.1	20	4.8
need*	44	40.0	48	40.0	65	34.6	157	37.6
use**	39	35.5	45	37.5	79	42.0	163	39.0
mutation	9	8.2	15	12.5	28	14.9	52	12.4
the others	5	4.5	1	0.8	11	5.9	17	4.1
total	110	100	120	100	188	100	418	100

*teleology- it had to evolve in order to
**use-use and disuse caused organs to develop

다는 사고는 변이의 기작에 대한 물음에서 더 명확하게 들어나고 있다(표 3). 표 3에서 나타난 바와 같이 변이의 기작에 대해서 과학사적 단계의 단계 2에 해당하는 필요의 욕구와 사용에 대한 응답비율이 3개 학년에서 모두 70~80%를 차지하고 있으며 단계 4에 해당하는 돌연변이에 의해서 일어난다고 응답한 비율은 그에 비해 매우 적은 수치를 나타내었고 어느 정도 학년이 올라갈수록 증가하는 추세를 보이고 있다. Jensen과 Finely(1995)는 학생들이 새로운 형질의 기원을 설명할 때 “필요”라는 말을 자주 사용한다고 하면서 그들이 변이를 설명할 때 큰 곤란을 겪는다고 하였다.

과학사적으로 단계 2에서는 환경의 변화로 인한 적응적 변이(adaptational variation)를 진화의 기작으로 여겼다(이미숙, 2004). 즉 진화는 적응이며 적응은 곧 환경 변화에 맞추기 위한 변이현상으로서 여겼던 것이다. 그에 비해서 단계 3의 다윈적 사고에서는 적응과 변이를 구분하여 이미 존재하는 변이체 중에서의 선택의 결과로 적응된 생물이 살아남는 것을 진화라고 여겼다. 학생들의 사고는 진화, 적응, 변이의 관계를 알지 못하고 있으며 환경 변화로 인한 적응적 변이를 진화로서 바라보는 단계 2의 전형적 사고를 하고 있는 것이다. 또한 이러한 사고가 학년을 막론하고 동일하게 나타나고 있다. 정규 교육과정을 통해서 진화 학습을 받았음에도 불구하고 이러한 사고는 오히려 더 강하게 나타나고 있는 것이다.

학생들이 단계 2에 해당하는 사고를 하고 있는 것으로 보아 그들은 단계 3과 4로의 이전에 있어서 어떠한 장애를 겪고 있다고 판단된다. 이것을 과학사에 비추어 해석해 보면 과학사적으로 단계 2에서 단계 3, 4로 넘어가는 과정에서 가장 큰 장애가 되었던 것은 획득형질의 유전에 대한 믿음과 변이의 기작에 대

한 해명이었다(이미숙, 2004). 다윈 역시 일부 획득형질의 유전을 인정하고 변이의 기작에 대해서 설명하지 못하였고 이것이 다윈 이론에 있어서 큰 걸림돌로 작용하였던 것이다(Mary, 1991). 진화이론은 이 두 걸림돌이 제거되면서 단계 4의 진화의 종합설로서 명확한 발전이 가능하게 되었다. 반면, 현 교육과정 상에서 획득형질의 유전을 부정하는 것에 대한 내용과 변이의 기작에 대한 내용은 명확히 제시되고 있지 않으며, 제시되어 있다 하더라도 자연선택에 의한 진화와는 별개의 것처럼 제시되어 연계성이 매우 부족한 실정이다. 또한 단계 3에서 단계4로 이전되는 내용이 불분명하고 소홀히 다루어져서 학생들의 개념은 단계 2에서 3으로 이전되는 중간의 혼돈 상태로 고착화되고 있는 것으로 여겨진다.

다음 표 4는 퇴행변이 현상의 기작에 대한 각 학년 별 응답 분포를 나타낸 것이다. 표 3의 변이의 기작에 대한 질문의 경우 원래 없던 특성이 나타나는 현상에 대한 질문인데 반해 퇴행변이의 경우는 동굴 속 도마뱀의 시력에 대한 문항을 통해서 특정 형질이 사라지게 되는 현상에 대해서 질문하였다.

퇴행변이에 대한 응답을 표 3의 변이에 대한 것과 비교해보면 필요성에 대한 응답 비율이 많이 줄고 사용하지 않아서 퇴화되었다고 하는 응답이 매우 압도적으로 나타났다. 그러한 경향은 13학년에서 가장 두드러졌다. 다만 돌연변이를 통한 퇴행변이의 기작을 생각하고 있는 비율은 단순 변이에 대한 것과 유사한 분포를 나타내었다. 즉, 사용하지 않으면 퇴화된다는 개념이 매우 강하게 작용하고 있는 것으로 볼 수 있다.

이러한 결과는 새로운 특성의 기원보다는 특성의 퇴화라는 현상이 진화적으로 설명되기가 훨씬 더 어렵다는 것을 말해주고 있는 것이다. 선행연구에서는 이러한 결과는 보고 된 바 없었는데 그것은 퇴행변이

Table 4

The comparison of students' conception about mechanism of degenerated variation

Response type	9th		12th		13th		Total	
	Num.	%	Num.	%	Num.	%	Num.	%
creation	5	4.5	6	5.0	2	1.1	13	3.1
need	19	17.3	36	30.0	23	12.2	78	18.7
use*	71	64.5	60	50.0	132	70.2	263	62.9
mutation	12	10.9	18	15.0	28	14.9	58	13.9
the others	3	2.7	0	0	3	1.6	6	1.4
total	110	100	120	100	188	100	418	100

*use-use and disuse caused organs to develop

에 대해서 따로 연구하지 않았기 때문이다. 학생들은 진화 개념이 불안정한 상태이기 때문에 주어진 상황에 따라서 서로 다른 응답을 보이고 있다. 따라서 비율 비교를 통해서 보았을 때 일반 변이 현상에 대해서는 올바른 응답을 하고 있는 학생도 퇴행변이에 대해서는 전형적인 단계 2에 해당하는 응답을 보이고 있다. 실제로 다윈 역시 퇴화에 대한 설명에 있어서 두더지 같이 굴을 파고 살아가는 포유동물 종류의 눈의 크기가 작아진 것은 사용하지 않음에 따른 단계적 퇴화일 것이나, 아마도 자연선택의 도움을 받았을 것이라고 말했다. 동굴 속에서 살아가는 동물들의 경우를 들어 눈의 퇴화에 대해 이야기할 때는 전혀 눈을 쓰지 않았기 때문이라고 말했다(Mayr, 1991). 다윈은 변이의 기원과 유전의 특징에 대해 대단히 우유부단함을 보였다. 그 이유는 다윈이 변이의 기원을 알지 못했고 또한 유전적 개념에 있어서 범생설과 혼합설적인 가변성 유전(soft-inheritance)을 믿고 있었기 때문이다(Mayr, 1982).

이렇듯 퇴행변이는 변이의 기원을 명확하게 알지 못하는 한 일반적인 다른 변이 현상에 비해서 훨씬 더 사용의 효과 등에 의한 설명이 더 그럴 듯 하게 여겨지게 된다. 따라서 학생들도 퇴화되는 현상은 당연히 사용하지 않기 때문이라고 여기고 있고 특성의 생성과 퇴화에 대해서 서로 다른 논리를 적용하고 있

으면서도 그 문제점을 인식하지 못하고 있다.

2. 진화, 적응, 변이, 퇴행변이의 대상에 대한 사고분석

다음은 진화, 적응, 변이, 퇴행변이의 대상에 대한 각 학년 별 학생들의 사고를 분석하였다.

표 5는 진화의 대상이 누구라고 생각하는가에 대한 학생들의 응답 분포이다. 표에서 나타난 바와 같이 진화의 대상에 대해서 학년별로 별다른 차이를 보이지 않고 있다. 각 학년의 48.2%, 54.2%, 59.0%의 학생들이 진화는 전체 집단 중 일부의 생물에게 일어나는 일(단계 3)이라고 여기고 있다. 그에 비해서 각각의 학년에서 27.3%, 23.3%, 22.3%의 학생들이 진화는 전체의 생물이 변해가는 것이라는(단계 2) 오개념을 보유하고 있는 것으로 나타났다.

표 6은 적응의 대상에 대한 학생들의 응답 분포이다. 적응의 대상에 대해서 9학년의 경우는 61.8%의 학생이 집단 전체에게 일어나는 것으로 보고 있는 반면 12, 13학년의 학생의 경우는 각각 27.5%, 18.6%의 분포를 보였다. 반면에 유전자를 적응의 대상으로 보고 있는 경우는 12학년에서 가장 낮은 비율을 나타내고 있다. Bishop과 Anderson(1990)은 집단에 대한 학생들의 이해는 현대의 진화 이론과는 크게 다르다고 보고한 바 있다. 본 연구에서 많은 9학년 학생들

Table 5

The comparison of students' conception of subject of evolution

Response type	9th		12th		13th		Total	
	Num.	%	Num.	%	Num.	%	Num.	%
whole group	30	27.3	28	23.3	42	22.3	100	23.9
a part of group	53	48.2	65	54.2	111	59.0	229	54.8
gene	23	20.9	25	20.8	22	11.7	70	16.7
the others	4	3.6	2	1.7	13	6.9	19	4.5
total	110	100	120	100	188	100	418	100

Table 6
The comparison of students' concept about subject of adaptation

Response type	9th		12th		13th		Total	
	Num.	%	Num.	%	Num.	%	Num.	%
whole group	68	61.8	33	27.5	35	18.6	136	32.5
a part of group	28	25.5	79	65.8	116	61.7	223	53.3
gene	11	10.0	4	3.3	27	14.4	42	10.0
the others	3	2.7	4	3.3	10	5.3	17	4.1
total	110	100	120	100	188	100	418	100

이 이러한 전형적인 오개념을 보이고 있고 다른 학년에서는 강하게 나타나고 있지는 않지만 20% 이상의 학생들이 전체 집단의 개개의 생물이 변해가는 것이라고 인식하고 있었다. 이들에게 있어 전체 중 일부의 선택이라는 개념은 존재 하지 않으며 그들은 모든 생물이 점차적으로 변해간다고 여기고 있다. Jensen과 Finely(1995)는 학생들이 집단 개념을 이해하지 못하고 오히려 전체 세대의 변화에 초점을 맞추고 있어서 여러 세대에 걸친 집단 내 개체의 비율 변화로서의 진화를 전혀 이해하지 못한다고 하였다. 이와 마찬가지로 우리 학생들의 경우 일반적인 의미로서 진화는 일부의 대상에게서 일어난다고 보는 비율이 우세한 반면 구체적 상황에서의 적응 현상에서는 전체의 생물이 변한 것이라고 응답하고 있음을 알 수 있다.

변이의 대상의 경우는 이러한 경향이 더 강하게 나타난다(표 7). 전체의 생물이 변해가는 것이라고 응답한 경우가 9학년의 경우 50%를 차지하고 있고 12, 13학년의 경우에도 매우 높은 비율로 나타나고 있다. 그에 비해서 이미 변이체가 집단 내에 존재하고 있다고 응답한 경우는 그 비율이 10% 이하로 극히 적었다. 과학사적으로 단계 2에서는 한 집단 내에서 존재하는 변이체에 대해서 일시적인 현상으로 치부하고 의미를 두지 않거나 완벽함을 향해서 가는 중간단계로 여겼다(Mayr, 1982). 따라서 집단 전체가 완벽함을 향해서 변하고 있다고 여겼던 것이다. 그에 비해서 다윈은 변이체는 집단 내에서 항상 존재하고 있다는

것을 인식하고 이러한 사소한 차이가 생존에 어떠한 영향을 미치는지에 대해서 잘 알고 있었다. 이러한 사고가 자연스럽게 자연선택이라는 이론으로 이어지게 된 것이다. DDT에 내성이 강한 메뚜기의 진화에 대해서 표 6에 나타난 바와 같이 그러한 특성을 가진 변이체는 이미 존재하고 있었다고 생각하는 학생들은 매우 적었다.

Bishop과 Anderson(1990)은 학생들이 변이와 자연선택을 구분하지 못한다고 언급하였다. 그들은 “학생들은 한 집단에서 형질의 출현과 시간이 흐름에 따른 그들의 생존을 구분하지 못한다. 오히려 그들은 종의 특성이 점차 변화하는 단일한 과정이 있다고 생각한다”고 보고 한 바 있다. 따라서 학생들은 이미 변이체가 존재하고 있다고 생각하기 보다는 환경에 의해서 전체의 생물이 혹은 일부의 생물이 조금씩 변하는 것을 변이라고 생각하고 있는 것이다. 그러므로 이러한 개념 하에서는 변이체 중의 선택이라는 개념은 성립될 수가 없는 것이다.

변이 대상에 대한 인식의 부족은 퇴행 변이에 대한 학생들의 응답 분포에서 더 명확하게 나타난다(표 8).

퇴행변이의 대상에 대해서 집단 전체의 변화(단계 2)라고 응답한 경우가 새로운 특성의 형성에 대한 변이(표 7)에 비해서 두드러지게 높았다. 각 학년에서 각각 77.3%, 81.7%, 70.7%의 비율을 차지하였다. 원래 있던 특성이 사라지게 되는 것은 결국 환경변화에 의해 필요 없거나 사용하지 않아서이고(퇴행변이 기작

Table 7
The comparison of students' conception about subject of variation

Response type	9th		12th		13th		Total	
	Num.	%	Num.	%	Num.	%	Num.	%
whole group	55	50.0	51	42.5	79	42.0	185	44.3
a part of group	39	35.5	55	45.8	87	46.3	181	43.3
already existence	11	10.0	10	8.3	12	6.4	33	7.9
the others	5	4.5	4	3.3	10	5.3	19	4.5
total	110	100	120	100	188	100	418	100

Table 8

The comparison of students' conception about subject of degenerated variation

Response type	9th		12th		13th		Total	
	Num.	%	Num.	%	Num.	%	Num.	%
new creation	9	8.2	4	3.3	0	0.0	13	3.1
originally*	0	0.0	1	0.8	4	2.1	5	1.2
whole group	85	77.3	98	81.7	133	70.7	316	75.6
a part of group	13	11.8	17	14.2	44	23.4	74	17.7
the others	3	2.7	0	0.0	7	3.7	10	2.4
total	110	100.0	120	100.0	188	100.0	418	100.0

*originally- all of them originally be born with degenerated body

Table 9

The comparison of students' conception about time of evolution

Response type	9th		12th		13th		Total	
	Num.	%	Num.	%	Num.	%	Num.	%
creation	20	18.2	12	10.0	7	3.7	39	9.3
gradually*	81	73.6	97	80.8	170	90.4	348	83.3
sudden change	5	4.5	8	6.7	5	2.7	18	4.3
the others	4	3.6	3	2.5	6	3.2	13	3.1
total	110	100.0	120	100.0	188	100.0	418	100.0

* gradually - gradually for a long time or for many generations

참조- 표 4) 이러한 것은 전체 집단에게 해당된다고 생각하고 있었다. 이러한 사고는 학년이 올라가도 매우 강하게 나타나고 있었다.

(3) 진화, 적응, 변이, 퇴행변이의 시간에 대한 사고분석

다음은 진화, 적응, 변이, 퇴행변이의 시간에 대한 각 학년 별 학생들의 사고를 분석하였다.

진화의 시간에 대한 학생들의 응답 분포는 표 9와 같다.

진화의 시간에 있어서는 대부분의 학생들이 단계적

이라고 응답하고 있다. 또한 학년이 올라갈수록 더 많은 학생들이 올바른 응답을 하고 있다. 과학사적으로 단계 2로 넘어가면서 생물이 오랜 시간에 걸쳐 변하는 것을 인정하게 되었고 그것을 진화라는 것으로서 받아들여지게 되었다. 9학년의 학생들의 18.2%에 해당하는 학생들이 단계 1상태의 창조된 후 변하지 않거나 창조와 멸망을 반복한다는 창조론적인 개념을 가지고 있는 것으로 나타났다.

다음 표 10은 특정 적응 현상이 일어날 때까지 시간이 얼마나 걸리겠는가라는 질문에 대한 학생들의 응답 분포이다.

Table 10

The comparison of students' conception about time of adaptaion

Response type	9th		12th		13th		Total	
	Num.	%	Num.	%	Num.	%	Num.	%
determined by God	7	6.4	7	5.8	3	1.6	17	4.1
contemporary *	12	10.9	7	5.8	5	2.7	24	5.7
gradually**	89	80.9	102	85.0	174	92.6	365	87.3
sudden change	2	1.8	4	3.3	3	1.6	9	2.2
the others	0	0.0	0	0.0	3	1.6	3	0.7
total	110	100.0	120	100.0	188	100.0	418	100.0

*contemporary- change within the lifetime of an individual or one generation

**gradually - change gradually for a long time or for many generations

진화의 시간에 대한 응답과 마찬가지로 적응의 시간에 대해서도 각 학년에서 모두 80% 이상의 학생들이 오랜 세월 동안 단계적으로 일어나는 일(단계 3)이라고 응답하고 있다. Brumby(1979)는 많은 학생들이 적응을 수 세대에 걸친 집단의 변화가 아닌 개인이 그 수명 동안 겪는 변화로 잘못 이해하고 있다고 하였다. 본 연구에서는 적응, 변이, 퇴행변이의 대상에 대한 응답에서 나타난 바와 같이 많은 학생들의 경우 선행연구에서 보고된 것처럼 전체 집단의 개체들이 각자 환경에 반응하여 변해가는 것이라는 인식이 강하게 나타났다. 그러나 이러한 현상이 당대에서 일어난다고 생각하는 비율은 낮았으며 오랜 세대를 거쳐 차츰 변해가는 것이라는 인식은 강하게 가지고 있는 것으로 나타났다. 나머지 학년에서도 적응의 시간에 대해서는 오랜 세대를 거쳐서 일어나는 일이라고 생각하고 있다. 학생들은 잠재적으로 진화와 적응현상은 아주 오랜 세월이 걸쳐서 차츰 일어나는 일이라는 생각을 강하게 가지고 있음을 알 수 있다.

다음은 변이의 시간에 대한 학생들의 생각을 알아보기 위해서 DDT에 내성을 지닌 메뚜기에 대해 예시를 들고 이러한 변이체가 나타날 때 까지 걸린 시간에 대하여 질문하였다. 각 학년 별 응답은 다음 표 11과 같다.

변이의 시간에 대해서 각 학년의 학생들이 62.7%, 74.2%, 80.9%의 비율로 오랜 세월 점차적으로 변하는 것으로 인식하였고 학년별로 점차 증가하는 추세를 보여주고 있다. 9학년의 경우에는 20%에 해당하는 학생들이 DDT에 의해서 그 세대에서 바로 변이가 발생하여 해를 입지 않는 메뚜기들로 변한다고 생각하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 개념은 환경 변화에 적응하기 위해서 생물이 변하게 되고 그것이 유전되어 다음세대로 전달된다는 단계 2에 해당되는 전형

적인 개념이라고 볼 수 있다.

전반적으로 보았을 때 많은 학생들이 진화와 적응 현상과 마찬가지로 변이과정 역시 오랜 세대를 거쳐 점차적으로 진행된 것이라고 보고 있다. 진화와 적응 현상과는 달리 변이의 경우 돌연변이 현상을 생각하고 있는 학생이라면 어느 순간의 변이체의 출현에 대해서 떠올릴 수도 있었을 것이다. 그러나 표에 제시된 바와 같이 갑작스러운 변화에 대한 것을 생각하는 학생들은 극소수에 불과하였다. 돌연변이는 진화가 일어날 수 있는 근원을 제공해 준다. 이러한 돌연변이 개념은 과학사적으로 단계 3에서 단계 4로 넘어가면서 진화와 바른 연계를 맺을 수 있었다. 이를 통해서 진화 개념은 현대의 종합설로 다듬어지게 된 것이다. 따라서 학생들에게 있어서도 돌연변이 개념은 진화 개념의 완성을 위해서 꼭 필요한 개념이라고 볼 수 있다. 그러나 앞의 적응, 변이의 기작에 대한 학생들의 응답에서 돌연변이 개념이 거의 사용되지 않았음을 볼 수 있었다. 그들에게 있어서 돌연변이와 진화는 별개의 것으로 여겨지고 있다고 판단된다. 실제로 학생들이 돌연변이에 대해서 명확하게 어떠한 개념을 보유하고 있으며 그것이 진화개념의 이해에 어떠한 영향을 미치는지를 밝히기 위해서는 더 세부적인 연구가 필요하다. 그러나 이 연구를 통해서 나타난 학생들의 응답과 과학사적 진화 개념 발달과정을 비교해 보았을 때 이러한 돌연변이 개념의 부재가 학생들의 진화 개념 형성에 있어서 큰 장애로 작용할 것이라는 것은 분명하다. 따라서 진화 학습에 있어서 돌연변이 개념과 진화 개념간의 연계를 좀 더 고려되어야 할 것이다.

퇴행변이가 일어나기까지의 시간에 대해서 역시 비슷한 결과를 보여주고 있다(표 12).

퇴행변이의 시간에 대해서 바로 그 세대에 일어난

Table 11
The comparison of students' concept about time of variation

Response type	9th		12th		13th		Total	
	Num.	%	Num.	%	Num.	%	Num.	%
creation	3	2.7	1	0.8	0	0.0	4	1.0
contemporary*	22	20.0	16	13.3	13	6.9	51	12.2
gradually**	69	62.7	89	74.2	152	80.9	310	74.2
already existence	12	10.9	10	8.3	14	7.4	36	8.6
sudden change	3	2.7	4	3.3	3	1.6	10	2.4
the others	1	0.9	0	0.0	6	3.2	7	1.7
total	110	100.0	120	100.0	188	100.0	418	100.0

*contemporary- change within the lifetime of an individual or one generation

**gradually - change gradually for a long time or for many generations

Table 12
The comparison of students' conception about time of degenerated variation

Response type	9th		12th		13th		Total	
	Num.	%	Num.	%	Num.	%	Num.	%
contemporary change	13	11.8	9	7.5	1	0.5	23	5.5
gradual (long time)	85	77.3	103	85.8	172	91.5	360	86.1
sudden change	12	10.9	7	5.8	6	3.2	25	6.0
the others	0	0.0	1	0.8	9	4.8	10	2.4
total	110	100.0	120	100.0	188	100.0	418	100.0

다(단계 2)는 개념은 일반적인 변이에 비해서 낮게 나타나고 있고 그 비율이 학년이 올라갈수록 점차 감소되고 있으며 오랜 세월 점차 일어나는 일이라는(단계 3) 개념이 학년이 올라갈수록 점차 증가하고 있었다.

(4) 과학사적 개념변화 단계와 학생들의 학년별 개념 변화의 비교

학생들의 진화, 적응, 변이, 퇴행변이 개념의 학년별 변화를 과학사적 개념변화단계에 비추어 비교해 보면 다음 표 13과 같다. 각 응답에서 단계 1, 2, 3, 4에

해당하는 학생들의 비율을 제시하였으며 무응답이나 기타응답에 대한 비율은 제시하지 않았다. 두 단계의 개념이 동일한 경우의 비율은 두 단계의 중간에 제시되어 있다. 예를 들어 진화의 방향성의 경우 단계 3에서 진화는 무작위적으로 일어난다고 생각하였고 이러한 생각은 단계 4까지 지속되었다. 따라서 학생들의 무작위적인 변화라는 응답은 단계 3과 단계 4 모두에 해당하므로 단계 3과 4의 중간에 값을 제시하였다. 또한 변이의 기작의 경우 과학사적으로 단계 3에서는 설명하지 못하였던 부분으로 뚜렷한 대표 개념이 존

Table 13
The comparison students' conception with historical concept change(%)

concept	grade	stage 1 (before Lamark)	stage 2 (Lamark)	stage 3 (Darwin)	stage 4 (after Darwin)
direction of evolution	9	6.4	65.5		16.4
	12	2.5	44.2		35.0
	13	1.1	35.0		41.0
subject of evolution	9		27.3	48.2	20.9
	12		23.3	54.2	20.8
	13		22.3	59.0	11.7
mechanism of adaptation	9	9.1	79.1	7.3	4.5
	12	7.5	67.5	20.0	9.0
	13	2.7	75.0	7.4	7.4
subject of adaptation	9		61.8	25.5	10.0
	12		27.5	65.8	3.3
	13		18.6	61.7	14.4
mechanism of variation	9	4.5	82.8		8.2
	12	2.5	84.2		12.5
	13	0.5	78.7		14.9
subject of variation	9		50.0		45.5
	12		42.5		54.1
	13		42.0		52.7
mechanism of degenerated variation	9	4.5	81.8		10.9
	12	5.0	80.0		15.0
	13	1.1	82.2		14.9
subject of degenerated variation	9	.2	77.3		11.8
	12	4.1	81.7		14.2
	13	2.1	70.7		23.4

재하지 않았다. 따라서 학생들의 응답의 분류에서도 공란으로 남겨두었다. 또한 진화, 적응, 변이의 3차원적 분석 중 시간에 대한 개념은 분석에서 제외하였다. 기작과 대상에 대한 개념이 달라지면 시간에 대한 해석이 서로 달라지기 때문이다. 예를 들어서 시간 차원에 있어서 급변의 개념은 돌연변이에 의한 진화에 대한 생각이 등장하는 단계 4에 해당되기도 하지만 창조에 의한 급변인 단계 1에도 해당되기 때문이다.

진화의 방향에 있어서 13학년으로 올라갈수록 단계 3이나 단계 4에 해당하는 학생들의 비율이 점차로 증가하고 있는 것을 볼 수 있다. 그러나 13학년 이후에도 여전히 단계 2에 머물러 있는 학생들의 비율이 매우 높은 것을 알 수 있다. 그와 관련하여 적응의 기작과 변이의 기작에 있어서 단계 3이나 4에 해당하는 학생들의 비율이 모든 학년에서 15~20% 정도인 반면, 단계 2에 해당하는 라마르크적인 설명이 모든 학년에서 60% 이상에 해당하고 있다. 또한 적응의 기작에서 13학년의 학생들이 다른 학년과 비교하였을 때 단계 2에 해당하는 응답의 비율이 높거나 거의 같게 나타나고 있다. 이러한 현상이 퇴행변이의 기작으로 가면 더욱 심각한 문제로 나타나고 있다.

즉, 적응, 변이, 퇴행변이의 개념에서 학생들은 학년과는 상관없이 강하게 단계 2의 사고를 보유하고 있다. 단계 2의 사고에 강하게 고착되어 있는 현상은 학년이 높아짐에 따라 더 나아지는 것이 아니라 오히려 더욱 심해지는 경향도 보이고 있다(퇴행변이의 기작에 대한 경우). 이러한 점을 통해서 보았을 때 현재 제공되고 있는 진화 학습은 학생들이 지니고 있는 오개념의 교정에 도움이 되고 있지 않음을 알 수 있다. 교육과정상 자연선택 개념은 다윈의 진화 이론으로서 다루지고 있으며 라마르크의 진화 이론의 경우는 획득형질의 유전이 불가능하다는 점이 문제라는 것으로 다루지고 있다. 또한 라마르크의 이론과 다윈의 진화 이론을 비교하고 있다. 그러나 학생들은 라마르크적 사고에서 다윈적 사고로 넘어가는 중간단계에서 혼란을 겪고 있으며 어떤 경우는 단계 2의 사고에 더 강한 고착을 보이기도 하는 것이다. 그들은 과학사적으로 혁명적이기까지 한 다윈의 이론이 어떤 의미를 지니는지 알지 못하고 있다. 학생들에게는 단계 2의 사고가 단계3의 사고보다는 좀 더 쉽고 그럴듯해 보이며 유용한 것으로 여겨지고 있는 것이다. 학생들에게서 단계 3과 단계 4로의 개념변화가 확실히 일어나기 위해 필요한 여러 가지 과학 교육학적인 배려가 교육 과정상에 반영되어야 할 것이다.

진화 개념의 변화를 과학사적으로 보았을 때 단계

2에서 단계 3으로의 변화에 있어서 개체군에 대한 인식이 형성되었다는 점이 개념 변화의 큰 요소라고 볼 수 있다(Mayr, 1991). 즉, 개체군에 대한 인식으로 인해서 적응을 위한 생물 전체의 변이라는 단계 2의 개념에서 개체군 중의 일부의 선택이라는 단계 3의 개념으로 넘어가게 되었다. 그러나 학생들의 경우 대상에 대한 개념은 학년이 높아질수록 단계 3, 4에 해당하는 비율이 조금씩은 높아지고 있으나 기작에 있어서는 학년에 상관없이 단계 2의 개념을 지니고 있었다. 즉 기작과 대상에 대한 사고가 비논리적인 상태로 혼합되어 잘못 연결되어 있는 것이다. 따라서 학생들에게 있어서는 개체군 개념이 존재하고 있으나 이것이 자연선택적인 적응과 연계되는 것이 아니라 필요나 사용에 의한 생물의 적응이라는 단계 2의 개념과 부적절하게 연결되어 있는 상태라고 볼 수 있다. Mayr(1991)에 의하면 개체들의 지닌 차이점의 중요성을 발견한 사실이 다윈이 자연선택 이론을 구성하는 것의 초석이 되었다고 하였다. 그러나 학생들에게 있어서는 개체군 사고가 자연선택이론으로 자연스럽게 연결되지 못하고 진화현상들의 기작적인 측면에 대해서만 유독 단계 2의 사고를 고집하고 있는 것이다.

이러한 적응, 변이 등등의 진화 현상의 기작에 대하여 학생들이 단계2에 고착되어 있는 현상을 깨고 다음 단계로 넘어가기 위해서는 필요나 사용에 의해서 생물이 변하게 되는 것이 아니라는 것을 인식해야 한다. 즉, 변이의 기작에 대한 명확한 이해를 통해서만이 필요나 사용에 의한 생물의 변화라는 개념을 포기하는 것이 가능하게 되는 것이다. 과학사적으로 변이의 원인을 명확히 설명하지 못한 다윈이 후기에 획득형질의 유전을 일부 받아들이기도 하였다. Mayr(1991)에 의하면 1880년이 시작될 때까지는 획득형질에 대한 믿음이 사실상 보편적이었고 이러한 믿음은 유전학과 그 이후의 분자생물학의 발달로 인해서 가능하게 되었다고 할 수 있다. 이미숙(2004)의 연구에서 학생들은 학년을 막론하고 40%이상의 학생들이 획득형질의 유전가능성을 인정하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 나타난 학생들의 단계 2에의 고착현상을 깨고 단계 3, 4로 이전하기 위해서는 획득형질의 유전 불가능성과 변이의 기작에 대한 명확한 인식이 있어야 할 것으로 판단된다.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 이미숙(2004)의 과학사 분석을 근거로 하여 9학년, 12학년, 13학년의 학생들의 진화 개

념의 상태를 조사, 분석하였다. 이미숙(2004)은 과학사 분석을 통해서 진화 개념 변화 과정을 4단계로 구분하였고 진화, 적응, 변이 개념에 대한 3차원(기작, 대상, 시간)적 개념 변화틀을 구성하였다. 이러한 개념 변화 틀을 활용하여 진화, 적응, 변이(퇴행 변이 포함)의 기작, 대상, 시간에 대한 개념 검사를 개발하고 각 학년의 학생들을 대상으로 개념 조사를 실시하였다. 학년이 올라가면서 학생들이 보이는 진화 개념의 상태는 어떻게 다른지를 분석하고 과학사적 진화 개념 변화 과정과 비교하였다. 과학사적으로 나타났던 오류들이 해결된 과정에 비추어 학생들의 오개념 해결에 대한 시사점을 얻고자 하였다.

본 연구를 통해서 내려진 결론은 다음과 같다.

첫째, 학생들은 진화, 적응, 변이, 퇴행변이 개념에 대해서 과학사 단계 중 단계 2(라마르크적 사고)에 고착되어 있었다. 학년을 막론하고 대부분의 학생들은 라마르크시대의 사고를 보유하고 있으며 진화이론의 핵심인 무작위적인 변이와 그에 따른 선택의 효과에 대한 생각은 전혀 하지 못하고 있었다. 이러한 현상을 교정하기 위한 방법을 과학사적인 측면에서 살펴보고 과학사적으로 진화 개념이 발달하기 위해 필요하였던 여러 가지 조건들이 학생들의 학습에서도 충분히 충족되어 자연스러운 개념의 변화가 일어날 수 있도록 해야 한다. 단계 3의 다윈이 그러하였던 것처럼 학생들 역시 개체군에 대한 개념을 자연선택 개념과 명확하게 연결시키고 이것이 라마르크적인 개념과 어떤 차이가 있는가를 더욱 명확히 학습해야만 한다. 또한 학생들의 개념을 단계 4의 개념으로 발달하기 위해서 변이의 기작을 명확히 이해시키고 획득형질의 유전이 불가능하다는 점을 더욱 강조하여 학습시켜야 한다.

둘째, 학생들은 기작, 시간, 대상에 대한 관점에서 논리적인 일관성을 지니지 못하였고 특히, 대상을 바라보는 관점에서 그러한 특징이 두드러졌다. 즉 학생들은 진화, 적응, 변이의 기작에 대해서 단계 2에 강하게 고착되어 있었던 반면에 그 대상에 있어서는 상황에 따라서 다른 개념을 적용시키고 있었다. 이러한 점은 집단 내 개체가 가지는 개개의 특성(변이)이 자연선택을 받는 대상이 된다는 것을 명확히 알지 못하기 때문에 나타난 현상이라고 볼 수 있다. 과학사적으로는 개체군에 대한 명확한 인식이 본질주의적인 사고를 끌어내고 자연선택 개념을 자연스럽게 이끌어주는 역할을 하였으나(Mary, 1991) 학생들에게 있어서는 그러한 역할을 하지 못하고 있다. 따라서 진화 학습 시에 개체군에 대한 인식과 자연선택의 개념이 명확하게 연결될 수 있도록 고려되어야 할 것이다.

셋째, 학생들은 진화, 적응, 변이에 대한 개념에 구분이 없으며 오히려 진화와 적응과 변이를 동일한 것으로 여기고 있었다. 이러한 개념은 과학사적으로 단계 2에서 적응적 변이가 진화라고 생각하였던 것과 유사하다고 볼 수 있다. 단계 3, 4로 넘어가면서 비로소 변이에 대한 개념이 명확해 지고(단계 2에서는 변이를 의미 없는 현상으로 여겼다) 변이의 기작이 규명되어 진화론이 완성되었듯이 학생들의 사고 역시 이러한 과정을 거쳐야 하나 그렇지 못하고 있는 것이다. 이것은 그들에게 있어 변이와 진화에서의 변이의 중요성이 제대로 인식되어 있지 않아서 생기는 문제라고 볼 수 있다. 따라서 앞으로는 이러한 점이 고려되어 학습이 진행되어야 할 것이다.

넷째, 학생들의 변이에 대한 개념의 경우 새로운 형질의 등장보다는 형질의 퇴화에 대해서 더 강하게 단계 2의 고착현상이 나타났다. 퇴행변이 현상의 경우 명확히 설명되기까지 과학사적으로도 일반 변이 현상보다 더 극심한 논쟁을 겪었다. 이것은 학생들에게 역시 동일할 것이다. 그러나 현 교육과정에서 제시되고 있는 진화 현상이나 예시들은 모두 새로운 형질의 등장에 관련된 것이다. 따라서 교육과정상에서 진화현상을 좀 더 폭 넓게 다루어야 하며 특히 퇴행진화 현상에 대한 설명이 포함되어야 할 것이다.

현 교육과정 상에서의 진화 개념의 학습은 진화가 생물학에서 차지하고 있는 중요성과는 대조적으로 매우 소홀히 다루지고 있다. 선택 중심 교육과정이 시행되면서 생물 II를 선택하지 않는 학생들은 중학교 3학년 과정에서 진화를 처음이자 마지막으로 배우게 된다. 또한 학생들의 입시에서 많이 누락되는 부분이어서 선택한 학생들이라 할지라도 체계적이고 심도있는 학습을 하지 않는 경우가 더 많을 것이다. 본 연구 결과를 통해서 보았을 때 이러한 교육을 통해서 얻어진 학생들의 진화개념이 라마르크 시대에서 벗어나지 못하고 있음을 말해주고 있다. 점차 진화를 배우게 되는 기회도 적어지고 진화에서 다루어져야 할 내용들은 학생들이 지니고 있는 오개념을 전혀 고려하지 않은 상태로 단순히 진화 관련 지식의 나열로서 구성되어 있다.

따라서 학생들의 올바른 진화 개념 습득을 위해서는 우선 진화가 가지는 생물학에서의 중요성이 교육과정상에도 반영되어야 할 것이다. 또한 학생들의 오개념 상태를 고려하여 교과서 내용이 재구성되어야 할 것이다. 그 내용상에는 변이의 중요성, 개체군내에서의 선택의 효과, 유전과의 연계(획득형질의 비유전성, 변이의 원동력으로서의 유성생식과 돌연변이의 역

활동등) 개념을 더 강조해야 하고 이것에 대해서 학생들이 쉽게 이해할 수 있도록 여러 가지 학습 전략들이 개발되어야 할 것이다.

국문 요약

진화에서 학생들이 보이는 대부분의 오개념들이 과학사적으로 진화 개념이 발달해오면서 나타났던 오류와 논쟁들과 매우 유사하다. 이러한 점에 착안하여 본 연구에서는 이미숙(2004)의 과학사 분석을 근거로 하여 9학년, 12학년, 대학교 1학년 학생들의 진화 개념의 상태를 조사, 분석하는 것을 목적으로 하였다. 이미숙(2004)의 과학사적 진화 개념 발달의 3차원 틀을 토대로 하여 진화, 적응, 변이(퇴행 변이 포함)의 기작, 대상, 시간에 대한 개념 검사지를 개발하고 각 학년의 학생들을 대상으로 개념 조사를 실시하였다. 학년이 올라가면서 학생들이 보이는 진화 개념의 상태는 어떻게 다른지를 분석하고 과학사적 진화 개념 변화 과정과 비교하였다. 학생들은 진화, 적응, 변이, 퇴행변이의 기작에 대한 개념이 학년에 관계 없이 과학사 단계 중 단계 2(라마르크적 사고)에 고착되어 있었다. 학생들은 기작, 시간, 대상에 대한 관점에서 논리적인 일관성을 지니지 못하였고 특히, 대상을 바라보는 관점에서 그러한 특징이 두드러졌다. 또한 학생들은 진화, 적응, 변이에 대한 개념에 구분이 없으며 오히려 진화와 적응과 변이를 동일한 것으로 여기고 있었다. 학생들의 변이에 대한 개념의 경우 새로운 형질의 등장이라는 상황과 형질의 퇴화라는 각 상황에 대해서 다르게 반응하고 있었다. 학생들의 올바른 진화 개념 습득을 위해서 학생들의 오개념 상태를 고려하여 변이의 중요성, 개체군내에서의 선택의 효과, 유전과의 연계(획득형질의 비유전성, 변이의 원동력으로서의 유성생식과 돌연변이의 역할 등등) 개념을 더 강조해야 하고 이것과 관련된 여러 가지 학습 전략들이 개발되어야 할 것이다

참고 문헌

고정호, 길학균, 이길재 (1997). 유전개념의 역사적 변천과 학생들의 유전개념 발달의 비교 연구. 한국생물교육학회지, 25(2), 127-139.

김위경, 이미숙, 이길재 (2003). 집단유전 개념학습에서 귀납적-연역적인 수업효과. 한국과학교육학회지, 23(2), 190-199.

박남이, 이길재 (2000). 과학사를 이용한 진화 개념의 교수 학습 효과에 관한 연구. 한국생물교육학회지,

28(2), 85-100.

신영준 (1996). 자연선택 개념의 이해에 대한 횡단적 연구. 한국교원대학교 석사학위논문.

이춘승 (2003). 진화에 관한 중·고등학생의 오개념 유형과 유형별 원인 분석. 한국교원대학교 석사학위논문.

이미숙 (2004). 과학사에 근거한 학생들의 진화 개념 변화 분석. 한국교원대학교 박사학위논문.

전태식 (1987). 광합성과 진화에 대한 학생들의 개념과 오인에 관한 연구. 한국교원대학교 석사학위논문.

Bishop, B., & Anderson, C. W. (1990). Student conceptions of natural selection and its role in evolution. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(5), 415-427.

Brumby, M. N. (1984). Misconceptions about the concept of natural selection by medical biology students. *Science Education*, 68(4), 493-503.

Brumby, M. N. (1979). Problems in learning the concept of natural selection. *Journal of Biological Education*, 13(2), 119-122.

Deadman, J. A., & Kelly, P. J. (1978). What do secondary school boys understand about evolution and heredity before they are taught the topics? *Journal of Biological Education*, 12(1), 7-15.

Demastes, S. S., Settlage, J., & Good, R. G. (1995). Students' conceptions of natural selection and its role in evolution: Cases of replication and comparison. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5), 535-550.

Dobzhansky, T. (1973). Nothing in biology makes sense except in the light of evolution. *The American Biology Teacher*, 35(3), 125-129.

Fisher, K. M. (1985). A Misconception in biology : amino acids and translation. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(1), 53-62.

Hallden, O. (1988). The evolution of species: Pupils' perspectives and school perspectives. *International Journal of Science Education*, 10(5), 541-552.

Jensen, M. S., & Finley, F. M. (1995). Teaching evolution using historical arguments in a conceptual change strategy. *Science Education*, 79(2), 147-166.

Jensen, M. S., & Finley, F. N. (1997). Teaching evolution using a historically rich curriculum & paired problem solving instructional strategy. *The American Biology Teacher*, 59(1), 208-212.

Matthews, M. R. (1994). *Science teaching : The role of history and philosophy of science*. Routledge.

Mayr, E. (1982). *The growth of biological thought*. The Belknap Press of Harvard University Press.

Mayr, E. (1991). *One long argument : Charles Darwin and the genesis of modern evolutionary thought*. Harvard University Press.

Mayr, E. (2001). *What evolution is*. New York:

Basic Books.

National Academy of sciences (1998). Teaching about evolution and the nature of science. National Academy Press.

Settlege, J. (1994). Conceptions of natural selection: A snapshot of the sense-making process. Journal of Research in Science Teaching, 31(5), 449-457.

Wandersee, J. H. (1985). Can the history of science help science educators anticipate student's misconceptions? Journal of College Science Teaching, 23(7), 581-597.

Tamir, P., & Zohar, A. (1991). Anthropomorphism and teleology in reasoning about biological phenomena. Journal of Biological Education, 75(1), 57-67.

부록 1

3차원적 개념 검사지

번호	목표 영역	문항 내용	보기 문항*
1	적응의 기작	딱따구리 부리 모양의 적응은 어떻게 가능하게 되었을까?	① 창조자에 의해 적합하게 창조 ② 목적에 알맞게 설계 ③ 살아남기 위한 내부 의지 ④ 사용에 의한 기관의 발달 ⑤ 우연한 변이체의 존재 및 그중에서의 선택 ⑥ 돌연변이 중 선택 ⑦ 기타
2	적응의 대상	갯벌지대 환경의 딱따구리의 집단에서 적응의 대상이 되는 것은 누구인가?	① 유전자 ② 집단내의 일부 ③ 집단 전체 ④기타
3	적응의 시간	딱따구리가 갯벌지대에서 적응하기까지의 시간은 얼마나 걸리는가?	① 창조자의 결정 ② 수많은 세대 점차 ③ 그 세대 바로 ④ 바로 다음 세대부터 ⑤ 변화 없다가 어느 순간
4	변이의 대상	DDT에 노출된 메뚜기 집단에서 최근 메뚜기들이 보이는 내성에 대한 대상은?	① DDT 내성 메뚜기들이 일부 이미 존재 ② 모든 메뚜기들이 점차 ③ 일부의 메뚜기들의 변화
5	변이의 기작	내성을 보이는 메뚜기가 존재하게 된 기작은?	① 창조가가 창조 ② 내부 목적 표출 ③ 살아남기 위한 욕구 ④ 필요에 의해서 ⑤ 우연한 돌연변이가 살아남음 ⑥ 기타
6	변이의 시간	내성을 보이는 메뚜기가 존재하게 되기까지의 시간은?	① 갑자기 창조 ② 이미 존재 ③ 그 세대 ④ 다음 세대 ⑤ 수십 세대 ⑥ 어느 순간
7	퇴행변이 대상	동굴속의 시력을 상실한 도마뱀 집단의 경우 누가 시력을 상실했겠는가?	① 원래 모두 ② 창조 ③ 전체집단 ④ 우연한 시력 상실체의 생존 ⑤ 일부의 시력 상실
8	퇴행변이 시간	시력을 상실한 도마뱀이 되기까지의 시간은?	① 바로 상실 ② 다음 세대 ③ 점차 ④ 어느 순간 ⑤ 기타
9	퇴행변이 기작	정상눈 도마뱀 집단에서 시력 상실 도마뱀 자손이 태어나게 된 기작은?	① 돌연변이 ② 사용하지 않아서 ③ 필요가 없어 퇴화 ④ 창조 ⑤ 기타
10	진화의 방향성	진화가 일어나는 방향성은?	① 방향이 없다 ② 고등, 완벽 ③ 신이 정한 목적 ④ 기타
11	진화의 시간	진화가 일어나는 시간은?	① 단계적 누적 ② 급변적 ③ 창조 후 불변 ④ 창조와 멸망 반복 ⑤ 기타
12	진화의 대상	진화가 일어나는 대상은?	① 전체 ② 집단 내 일부 ③ 유전자 ④ 기타

*보기 응답의 내용은 축약하여 기술하였음

부록 2

진화개념검사지 문항별 보기 문항에 대한 과학사 단계 할당

진화 개념	단계1 (라마르크이전)	단계2 (라마르크)	단계3 (다윈)	단계4 (다윈 이후)
진화의 방향	정해진 목적	고등, 완벽	무방향	
진화의 대상	전체		전체 중 일부	유전자
진화의 시간	창조	오랜 세월		급변
적응의 기작	창조	목적 내부의지, 사용	자연선택	돌연변이
적응의 대상	전체		전체 중 일부	유전자
적응의 시간	창조	그 세대 바로, 다음세대	점차	어느 순간
변이의 기작	창조,	내부목적, 필요, 사용	언급 없음	돌연변이
변이의 대상	전체		전체 중 일부, 이미 존재	
변이의 시간	창조	그 세대 바로, 다음 세대	이미 존재 점차,	어느 순간
퇴행변이 기작	창조, 원래부터	필요성, 사용	언급 없음	돌연변이
퇴행변이 대상	창조, 원래부터	전체	전체 중 일부	
퇴행변이 시간		바로, 다음 세대	점차	어느 순간