[UCI]I804:24011-200000233152

2006년 2월

교육학석사(생물전공) 학위논문

제7차 교육과정의 과학교과서에 수록된 멘델유전학 및 생명공학 관련 내용 분석

조선대학교 교육대학원

생 물 교 육 전 공

정 은

제7차 교육과정의 과학교과서에 수록된 멘델유전학 및 생명공학 관련 내용 분석

Content Analysis of Genetics and Biotechnology in Science Textbooks in the 7th Curriculum

2006년 2월

조선대학교 교육대학원

생 물 교 육 전 공

정 은

제7차 교육과정의 과학교과서에 수록된 멘델유전학 및 생명공학 관련 내용 분석

지도교수 조 은 희

이 논문을 교육학석사(생물교육)학위 청구논문으로
제출합니다.

2005년 10월

조선대학교 교육대학원

생 물 교 육 전 공

정 은

정은의 교육학 석사학위 논문을

인준합니다.

심사위원장 조선대학교 교수 인

심사위원 조선대학교 교수 인

심사위원 조선대학교 교수 인

2005년 12월

조선대학교 교육대학원

목 차

ABSTRACT …… ii

Ⅰ. 서론 …… 1
1. 연구의 배경 및 목적 …… 1
2. 멘델 유전학 …… 4
3. 생명 공학…… 11

Ⅱ. 재료 및 방법 …… 14
1. 재료 ……14
2. 방법 …… 15

Ⅲ. 결과 …… 18
1. 9학년 교과서에 설명된 멘델의 유전법칙…… 18
2. 과학 교과서별 생명 공학 관련 주제 …… 28

Ⅳ. 논의 ……37
1. 9학년 교과서에 설명된 멘델의 유전법칙…… 37
2. 생명공학 …… 48

참고문헌 …… 51
감사의 글

표 목 차

<표 1> 멘델의 유전법칙에 관한 분석 대상 과학 교과서 …… 16
<표 2> 생명 공학 기술에 관한 분석 대상 과학 교과서 …… 17
<표 3> 생물 관련 단원의 교과서 구성 체계 1…… 19
<표 4> 생물 관련 단원의 교과서 구성 체계 2…… 20
<표 5> 돌연변이에 대한 내용 유무와 서술 형태…… 21
<표 6> 교과서에 재시된 멘델 유전 법칙의 지면활용 정도 …… 23
<표 7> 중간유전 단원의 제목 …… 24
<표 8> 모형을 이용한 유전자의 분리현상 설명 …… 25
<표 9> 교과서에 재시된 멘델 유전학의 내용 전개 분석 …… 27
<표 10> 교과서별 생명공학 관련 주제 …… 29
<표 11> 생명공학 관련 내용의 주제별 분류…… 33
<표 12> STS 구성 요소 분포 …… 35
<표 13> STS 활동 영역 분포 …… 36

ABSTRACT

Content Analysis of Genetics and Biotechnology in Science Textbooks in the 7th Curriculum

Eun Jeong
Advisor : Prof. Eun Hee Cho
Major in Biology Education
Graduate School of Education Chosun University

Genetics is one of the central themes in biology education. According to the 7th Curriculum, the basic concepts of genetics are first introduced into the science class at the 9th grade. The part titled as "Heredity and Evolution" in the science curriculum is composed of three major chapters including Mendelian Genetics, Human Genetics, and Evolution. Biotechnology based upon the application of modern genetics is also covered in the science textbooks at various levels.

In this study I examined whether the textbook materials described Mendelian Genetics well enough to have the student understand the important ideas of both Mendelian and modern genetics. The parts of "Heredity and Evolution" in nine science textbooks currently available were subjected to investigation. Although all the textbooks included the Mendelian genetics as one of the major chapters, the content was limited

to a simple introduction of Mendel's experimental results. Futhermore, most of the textbooks inclined to emphasize excessively on the relation between dominant and recessive alleles by naming the relationship as the "Rule of Dominance" and by describing a partial dominance as an exceptional case of the rule. These parts covered more than half of the content in the chapter of Mendelian Genetics. For students to better understand the basic genetic concepts, I recommend to emphasize the Mendel's critical experiments on the segregation of genes.

The second part of this thesis was on investigating how biotechnological issues were integrated in the secondary school science textbooks in the 7th Curriculum. Four different kinds of science textbooks from the 7th to the 10th grades were examined in this study. The result showed that biotechnology was presented mostly as a new breakthrough in medicine. Most cases were focusing on the application of science and not much attention was payed on the ethical aspects. Although all the issues were presented as parts of STS materials, they failed to encourage diverse activities in the class. Discussion and information search were the two major activities described in the text. For biotechnology education, various kinds of inquiry activities and teaching materials need to be developed.

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

고대부터 사람들은 부모의 형질이 자손에게 전달되는 현상을 이해하고자 노력하였다. 이러한 노력은 멘델의 유전현상에 대한 연구 및 유전학의 연구 성과를 토대로 한 생명공학의 발전으로 이어졌다. 유전학은 세포, 개체, 집단에서의 유전 원리와 개체의 성장, 발달 및 형태를 분자 수준의 유전자 조절 과정으로 이해하려는 분자생물학 분야를 포함한다.

유전 개념은 현대 생물학의 핵심을 이루고 있다. 멘델은 생물의 유전현상이 분리 가능한 입자로 되어 있다는 것을 추론하였고 이 분리 가능한 유전인자의 개념에서 오늘날의 분자생물학, 집단유전학, 생명공학 등의 다양한 분야가 발전하게 되었다. 오늘날 멘델의 연구 성과를 토대로 인간을 비롯한 다양한 생물계의 유전현상에 대한 연구가 진행되고 있다. 또한 유전학의 발달에 힘입어 실생활에 널리 개발, 적용되고 있는 생명공학기술은 생명에 대한 새로운 가치문제를 야기하기도 한다.

이러한 맥락에서 전통적으로 생물교육에서는 멘델 유전학이 가장 중요한 주제 가운데 하나로 다루어져 왔다(Stewart, 1982; Tolman, 1982; Moll & Allen, 1987; Collins & Stewart, 1989). 그러나 동시에 유전개념은 그 구조가 복잡하고 이 복잡한 지식이 문제 해결 과제로 학생에게 부과되었다. 때문에 유전 단원은 학생들이 학습하기 어려운 단원으로 알려져 있다(박종석・조희형, 1986; 정환호・차희영, 1994; Collins & Stewart, 1989). 미국의 고등학교 생물교사들 또한 가장 중요하면서도 어려운 생물학습 주제로 멘델의 유전을 지목한 바 있다(Finley *et al.*. 1982).

학생들이 가지고 있는 유전의 오개념을 수정하고 유전에 대한 올바른 개념을 전달하기 위한 방법에 대한 연구가 진행되었다. 유전에 관한 실험은 시간이 오래 걸리고 실험 재료의 재배나 사육이 어려우며 살아 있는 생명체를 다루므로 실험이 의도한 대로 통제되기 어렵기 때문에 거의 행해지고 있지 않다(김영수, 1989). 대신

실제적인 유전실험을 대신하여 구체적인 경험을 제공함으로서 그 추상성을 감소시킬 수 있는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 멘델 유전 학습 방법이 유전학의 기본 개념을 효과적으로 전달할 수 있다는 연구가 보고 되었다(이미숙・김성하・정완호・이길재, 2001). 김희백 등(2002)은 유전 개념은 본질적으로 동적, 확률적 속성을 지니기 때문에 모형을 활용하면 개념 이해에 도움을 줄 것으로 생각하여 감수분열 과정과 수정 시의 상동염색체의 행동을 유전자와 관련지어 이해할 수 있도록 염색체 모형을 이용한 동적, 확률적 속성을 지닌 유전 모형을 개발하고 교사 수업과 학생의 유전개념 이해에 효과적인지 알아보았다. 이 결과 학생들이 직접 조작할 수 있는 염색체 모형을 이용한 수업은 유전 개념의 이해에 효과적이며, 특히 유전 현상을 감수분열과 수정 시의 염색체 행동과 관련지어 이해하는데 도움을 준다는 결과를 얻었다.

우리나라 제7차 과학과 교육과정에서는 과학 활동의 산물인 지식 자체보다도 그 지식을 창출해 내는 과학적 활동 과정을 강조하고 있으며, 학생들에게 개념이나 원리를 발견하는 과정을 터득하게 하는 것이 중요한 목표가 되고 있다. 또한 과학적 소양을 가진 책임감 있는 민주시민을 양성하며 올바른 가치판단능력과 의사결정능력을 향상시키고 과학과 기술, 사회와의 관계를 인지할 수 있는 능력을 제공하고자 하는 것이다(교육부, 1998). 이와 관련하여 생물교과서에서는 과학자들의 실제 실험 내용과 결과를 제시하여, 그 지식을 창출해내는 과학적 활동과정을 학생들이 이해하고 학습할 수 있도록 하고 있다. 그러나 교과서에 과학자가 한 일을 모두 기술하는 것은 불가능하기 때문에 발췌하여 요약한 내용을 소개하게 된다. 이 때에 교과서 저자는 소개하려는 과학자의 실험내용을 충분히 이해하고 발표된 논문을 연구분석한 후, 사실에 입각하여 쉽게 이해할 수 있도록 정리하여 제시하여야 한다.

교과서는 교육과정에서 학교에서 사용하는 여러 가지 교육 자료 가운데 가장 기본적인 학습 자료이다. 대부분의 교사들이 교수-학습에 있어서 교과서에 의존하고 있다고 밝혔으며, 학생들의 교과서 의존도도 매우 높은 것으로 나타났다(최경희・김숙진, 1996).

본 연구에서는 제7차 교육과정의 9학년 과학교과서에 소개되고 있는 멘델의 유

전법칙과 7학년부터 9학년까지의 과학교과서 4종에 제시된 생명공학기술에 대한 내용을 분석하였다. 이를 통하여 국민공통기본교육과정인 과학교과서에서 오늘날 우리 사회에 널리 적용되고 있는 유전학의 기본 개념과 생명공학관련 내용이 어떤 방식으로 구성되어 있으며 서술되어 있는지 살펴보았다. 그리고 그 구성과 내용이 과학적 개념과 원리를 발견하는 과학적 활동 과정의 이해와 과학적 소양을 가진 민주시민의 양성이라는 제7차 교육과정이 추구하는 목표와 적합한지 살펴보고자 한다.

2. 멘델 유전학

1) 멘델 이전의 유전개념

1856년 멘델에 의해 현대 유전학의 기초가 정립되기 이전의 유전학을 대략 살펴보면 다음과 같다. 고대 그리스 사회에서는 자식이 부모를 닮는 이유는 남성과 여성의 분비현상이 생명체를 형성할 것이라고 짐작하였고 히포크라테스의 범생설과 아리스토텔레스의 전생설이 일반적이었다. 히포크라테스의 범생설(pangenesis)은 각 개체가 부모의 형질을 갖는 이유는 부모의 신체 각 부분에서 나온 미세한 입자들이 부모의 정액 물질 내로 들어가 거기서부터 새로운 개체가 형성된다는 이론이다. 그리고 전생설(preformationist)은 정자가 이미 다 형성되어 단순히 자라기만 하면 되는 미소 인간(homuculus)을 포함하고 있다는 이론이다. 그러나 19세기 초 현미경이 개량되면서 정충이나 난자를 아무리 들여다봐도 미소 인간(homuculus)를 찾아 볼 수 없었다. 그로부터 한 세기가 지나 아리스토텔레스는 또 다른 이론을 주장했다. 그는 새로운 생물체가 될 신체의 각 부분들은 아버지의 정액 안에 포함되어 있다가 어머니의 월경액에 영향을 끼쳐 새로운 개체를 만들어 낸다고 했다.

19세기 멘델과 동시대를 살았던 다윈은 범생설을 주장하였다. 다윈이 주장한 범생설에 의하면 제뮬(gemmule)이라고 하는 작은 입자는 몸의 각 부분에서 만들어지며 그것의 모체가 되는 부분과 닮은 부분을 만들어 내고 이 제뮬(gemmule)이 생식세포에 축척됨으로써 다음 세대로 전달된다고 하였다(최기철 등, 1971).

다윈의 범생설은 19세기에 유전에 대한 일반적 견해인 혼합 유전설을 뒷받침하는 입장이었다. 부모 양쪽에서 제공된 유전물질이 파란색 물감과 노란색 물감을 섞으면 초록색이 나오듯이 부모 양쪽에서 제공된 유전물질이 섞여서 자손이 만들어진다는 것이다. 그러나 혼합 유전설은 한 세대에서 없어졌던 특성이 그 다음 세대에서 어떻게 다시 출현할 수 있는지를 설명하지 못하여 현재에는 잘못된 가설로 간주된다. 그 당시 유전현상을 연구하는 많은 생물학자들은 혼합 유전설의 개념적인 바탕위에서 그 이론에 초점을 두고 실험을 설계하고 연구하였기 때문에 유전

형질의 전달 양식을 찾아내기가 어려웠다.

2) 멘델의 연구

(1) 유전자의 분리와 우성과 열성의 관계(유전자의 분리의 법칙)

멘델은 순종 둥근 완두에서 생긴 식물을 순종의 주름진 종자에서 자란 식물과 교배하였다. 그 결과 생긴 잡종종자(F_1세대, 잡종 제1세대)는 모두 둥근 모양 이었다. 다시 말하면 그들은 둥근 종자의 어버이에게서 그 형태를 이어받은 것이다. 배주(胚珠)와 제공된 화분에 상관없이 그 결과는 같았다. 다음 계절에 멘델은 둥근모양의 잡종 종자를 심어 자가 수분으로 F_1세대에 5,474개의 둥근모양의 종자와 1,850개의 주름진 모양의 종자를 얻었다. 그는 나머지 여섯 가지 실험에서도 양친의 형질이 비슷하게 3:1로 분리되는 것을 발견하였다. 잡종 종자(F_1)는 둥근모양의 어버이와 구별되지 않았다. 그러나 F_2세대에서 주름진 모양이 다시 나타났다. 멘델은 주름진 모양의 형질이 잡종에 잠재해 있으나 둥근 모양의 형질과 섞이거나 손상되지 않고 존재한다고 결론을 내렸다.

식물의 형질은 잡종에서 혼합되지 않았고 그들은 독립적 요소로부터 분리되어 전달된다는 멘델의 실험은 혼합 유전의 개념을 결정적으로 타파하는데 기여하였다(Orel, 1984). 다음 해에 멘델은 F_2세대에서 얻은 둥근 모양과 주름진 모양의 종자를 재배하면서 자가 수분하여 제3세대(F_3)의 종자를 얻었다. 이 종자들을 분석하여 주름진 모양의 종자에서는 예외 없이 주름진 모양만이 나온다는 것을 알게 되었다. 둥근 모양의 F_2종자의 3분의 1에서는 예외 없이 둥근 모양만 나왔으나 나머지 3분의 2에서는 둥근 모양과 주름진 모양의 종자가 다시 3:1의 비율로 나타났다.

멘델은 그의 논문에서 개체는 각각의 형질에 대해 두 개의 유전자를 가지고 있다. 이 두 개는 같을 수도 있고 다를 수도 있는데 보통 한 가지 형태 이상으로 존재한다. 이와 같이 서로 다른 대립적 형태의 유전자를 대립 유전자라 한다. 유전자

에 따라 한 가지, 두 가지 혹은 더 많은 대립 유전자가 존재할 수 있다. 그러나 멘델은 그 중에서 양자 택일할 수 있는 두 개의 대립 유전자만 존재하는 것을 선택하였다. 멘델은 그의 잡종 식물이 각 양친에서 한 개의 요소(유전자)를 얻었다고 추론하였다.

다른 유성 생식을 하는 생물과 같이 식물도 배우자의 결합을 통하여 생식한다. 생식에서 양친의 두 대립 유전자는 반분되어 각 배우자는 한 개의 대립 유전자만 소유한다. 멘델의 실험에서 한쪽 어버이에서 유래된 A를 가진 배우자가 다른 어버이에서 온 a를 가진 배우자와 결합함으로써 잡종을 만들어 낸다. 그들은 모두 Aa로 이형 접합체이다. 이 잡종은 모두 둥근 모양이므로 둥근 모양이 우성이다. Aa의 유전자형을 가진 이형 접합체에서 둥근 모양을 나타내는 대립 유전자 A는 우성이므로 이 유전자형은 유전자형이 AA와 같은 표현형을 나타낸다. 잡종이 자가수분이 될 때 같은 수의 대립 유전자 A와 a는 무작위로 결합하므로 종자의 유전자형 AA, Aa, aa는 1:2:1의 비율로 나타난다. 둥근 모양은 주름진 모양에 대해 우성이므로 AA와 Aa는 둥근 모양이 된다. 따라서 둥근 모양과 주름진 모양의 표현형은 3:1로 나타난다. 평균해서 둥근 모양 종자의 3분의 2에 해당하는 Aa의 유전자형을 가진 종자에서는 또다시 둥근 모양과 주름진 모양이 3:1의 비율로 생긴다. 멘델은 그의 논문에서 실제로 수식을 $A + 2Aa + a$ 로 표시하였다. 이 표현은 3:1의 표현형의 분리와 1:2:1의 유전자형(AA, Aa그리고 aa)의 분리를 내포하고 있다.

(2) 두 가지 이상의 대립형질의 유전현상(독립의 법칙)

멘델은 모양과 색이 다른 순계의 완두 변종을 교배하고 그 잡종 형질을 A, a, B, b로 표시하였다. F_1에서 모두 둥글고 황색인 것을 발견하였다. 그리고 이 잡종 종자를 재배하여 모두 556개의 종자를 얻었는데, 양친형 뿐만 아니라 그들이 조합된 종자도 있었다. 실험결과 얻어진 표현형은 다음과 같았다.

둥글고 황색인 것, 315개

주름지고 황색인 것, 101개

둥글고 녹색인 것, 108개

주름지고 녹색인 것, 32개

멘델은 이를 두 개의 간단한 조합으로 표현하였다.

A+2Aa+a

B+2Bb+b

그 결과 다음과 같은 일련의 조합이 생긴다.

AB+Ab+aB+ab+2ABb+2aBb+2AaB+2Aab+4AaBb

유사한 방법으로 멘델은, 3종의 대립형질이 조합될 경우에-종자의 모양, 색깔, 그리고 종자껍질-에 대해서도 설명하였다. 식물의 개개 형질은 반복되는 수정과정을 통해 유전자의 조합 법칙에 따라 일정한 비율로 나타난다고 그는 결론지었다. 그는 그의 논문 중 '잡종 식물들의 생식세포'라는 장에서 "잡종 개체를 지배하는 서로 다른 형질들의 조합 법칙이란 잡종 식물체가 동수의 배주 세포나 꽃가루 세포를 만들고, 수정에 의해 다시 모인 형질들은 조합에 의해 각각 특정한 형태의 잡종 식물체로 발현한다는 사실에 근거를 둔다."라고 결론지었다(Mendel, 1866). 이러한 몇 가지 형질의 무작위적인 조합에 대한 멘델의 설명은 오늘날 멘델의 독립 유전 법칙으로 알려지고 있다.

멘델은 실험 결과를 바탕으로 한 세대에서 다음 세대로 형질을 전달하는 데 관여하는 결정 인자의 존재를 수정 과정과 연계시켜 설명하려고 하였다. 그는 이 결정 인자를 잠재적 형성 인자들(potentially formative elements)이라 표현하였다. 현재 우리는 이것을 유전의 단위인 '유전자'라고 부른다. 멘델은 물리적 기작을 설명할 수는 없었지만 "이 과정은 일정한 법칙을 따르며, 또한 이것은 생명의 단위체로서 세포에서 만난 인자들의 물리적 구성과 배열에 바탕을 두고 있다"고 말하였다. 따라서 멘델은 유전의 기초적 이론을 공식화하였고, 후에 이 이론은 폭 넓게 수용되었다.

(3) 다른 식물로 수행한 실험들(중간 유전 현상)

완두콩 논문에서 강낭콩을 재료로 한 멘델의 실험이 간단하게 언급되어 있다. 이 논문은 완두콩에서 확립한 법칙이 다른 식물의 잡종에도 적용 가능한지 그 여부를 밝히기 위한 것이었다. 강낭콩의 키, 익은 콩까지의 모양에서 멘델은 '잡종의 생성은 완두콩과 동일한 법칙을 따른다.'는 결론을 얻을 수 있었다. 그러나 꽃의 색깔에서에서는 진홍색 꽃을 가진 강낭콩간의 잡종 자손에서 부모의 꽃보다 덜 진한 진홍색 꽃이 피었으나, 흰색은 변화 없이 다시 나타났다. 잡종 중 나머지는 진홍색에서 옅은 보라색의 변이를 나타내는 꽃을 피웠다. 미성숙한 종자의 꼬투리들도 비슷한 범위의 색깔 변이를 보였다. 이 현상에 대해서 멘델은 만약 꽃과 종자의 색깔이 식물체의 다른 특정 형질들처럼 독립적으로 행동하는 두 개 또는 그 이상의 독립적인 요인으로 구성된다면, 완두콩에서 얻은 법칙으로 설명이 가능하다고 생각했다. 그는 우성인 진홍색 빛깔은 두개의 색깔인 A(1)과 A(2)로 구성되었으며, 이들 인자들은 같이 존재하여 진홍색을 낸다고 제안하였다. 열성인 흰색과의 교배 결과 얻은 잡종들은 유전자형이 A(1)a+A(2)a가 되어, 이것을 심었을 경우는 다음식과 같다.

A(1)+2A(1)a+a

A(2)+2A(2)a+a

A(1)과 A(2)는 각각 다른 조합을 만들고, 이렇게 만들어진 조합은 여러 가지 색깔을 만들 수 있는 원인이 된다. 이 이론은 이를 실증할 만한 자료가 부족하였기 때문에 멘델 자신도 '단순한 가정'에 불과하다고 주석을 달았다. 그리고 그는 여러 종의 색깔을 지배하는 독립적인 형질들의 조합을 통해 재배 식물의 색깔이 지배된다고 확신하게 되었다.

멘델은 꾸준한 관찰을 통하여 조밥나물의 자손에서도 유전 형질의 분리를 관찰할 수 있었다. 멘델은 각 잡종 형질은 두 부모 형질의 범위 안에서 다른 변이 정도를 나타내는 많은 수의 변이체들에게서 나타난다고 결론을 내렸고, "아마도 다른 형질을 나타내는 변이 식물체는 모든 가능한 조합의 경우에서 나타날 수 있다"라

고 하였다. 즉, 멘델은 조밥나물과 강낭콩 연구를 통해서 분명하게 정리하지는 않았지만 유전형과 표현형의 관계를 예상하고 있었다. 이 결론으로부터 멘델은 조밥나물의 실험 결과는 완두의 실험에서 나온 이론과 일치한다고 하였다.

3) 멘델 연구의 현대적 의의

멘델이 논문을 발표했을 때, 그의 논문에 관심을 가진 사람이 거의 없었을 뿐 아니라 그의 논문에 대하여 완전히 이해하는 사람이 없었다(Orel, 1999). 그로부터 30여년이 지난 뒤 1900년에 드브리스, 코렌스 그리고 체르마크에 의하여 멘델의 유전법칙이 재발견됨으로서 멘델의 유전현상에 대한 연구와 그 결과가 인정을 받게 되었다.

멘델의 유전현상의 발견은 오늘날 집단유전학, 공중보건의학, 분자생물학, 인간유전체학 및 생명공학기술의 발전을 가져왔다.

20세기 초에 드브리스(Hugo de Vries), 모건(Thomas Hunt Morgan), 뮐러(Joseph Muller) 세 사람에 의해서 유전자의 돌연변이 현상이 발견되었다. 그래서 돌연변이에 의한 종의 다양성과 진화를 설명할 수 있게 되었다. 이러한 연구를 통하여 멘델의 유전법칙은 오늘날 집단유전학의 기초가 되었다. 집단유전학자들은 진화적 변화가 실제적으로 일어나는 방식을 설명함으로써 진화이론은 급속한 발전을 보게 되었다.

집단유전학은 어떤 생물집단이 어떠한 유전자를 얼마만큼 가지고 있으며, 어떻게 변화하는지에 관하여 유전적 성질을 조사하여 그것들을 지배하는 법칙을 연구하는 유전학의 한 분야이다. 집단유전학을 이해하기 위해서는 멘델의 유전학에 대한 이해가 필요하다. 집단유전학은 어떤 개체군 내에서 대립유전자의 상대적인 빈도가 여러 세대를 거치는 동안 달라지는 유전자 풀에서 대립유전자의 빈도가 변화하는 과정을 설명할 수 있다. 배우자를 형성할 때 감수분열이 일어나 대립유전자가 분리되고 수정이 될 대 이들이 무작위로 합쳐지는 과정이 수없이 일어나지만 유전자 풀에서 각각의 대립유전자가 차지하고 있는 비율은 다른 요인이 작용하지 않는 한

일정하다. 즉 부모의 세대와 유전자 빈도가 일치하므로 이 개체군의 유전자 풀은 평형 상태에 있다고 한다. 우리는 오늘날 하디-와인버그 평행을 이루고 있다고 말한다.

하디-와인버그법칙은 공중보건의학에서 특정한 유전병을 나타내는 대립유전자의 빈도를 구하기 위하여 널리 사용한다. 이 법칙을 이용하여 특정한 유전병을 앓고 있는 집단의 유전자 풀을 구할 수 있고 그리고 대립유전자의 빈도를 구하여 다음 세대에 이 질병을 가지고 태어나는 환자가 어느 정도의 확률로 발생하게 될지 그 발생빈도를 분석하고 예측할 수 있다.

분자생물학은 사람에 따라 그 정의가 달라지기도 하지만 유전자와 유전자의 전사, 번역, DNA복제 등을 분자수준에서 연구하는 것 이라 정의할 수 있다. 분자생물학의 발달은 생명현상의 기초를 이해하는데 큰 역할을 했다. 뿐만 아니라 오늘날 세계적인 큰 반향을 일으키고 있는 생명 복제, 유전자 조작 등 거의 모든 생명공학 기술은 기본적으로 분자생물학에서 얻어진 연구 결과들에 그 기반을 두고 있다.

또한 분자생물학의 발달은 인간 유전체학의 발전을 가져왔다. 인간 유전체학은 인간의 변이에 중심을 둔 유전자의 연구이며 인간 유전체학의 주요 분야는 염색체의 연구, 각 유전자의 구조와 기능을 밝히는 연구, 환자의 진단과 치료에 유전학을 적용하는 분야로 분류할 수 있다. 특히 인간의 유전체 연구에 따른 구조 유전체학과 기능 유전체학은 인간의 유전병에 대한 예방과 치료에 많은 기여하고 있다.

3. 생명공학

생명공학(biotechnology)은 일반적으로 동물이나 식물 등 생물을 구성하는 모든 기관을 세포 수준에서 다루어 생물이나 그 일부분을 변형시켜서 인간에게 이로운 생산물을 만드는 것을 의미한다. 그리고 유전학적 측면에서 생각해 볼 때, 생명공학은 유전자 재조합 기술을 이용하여 유전자 재조합 생물을 만들어 생물의 형질을 변화시키는 것을 의미한다.

오늘날 특히 인간 유전체 연구 과제(Human Genome Project)가 인간의 각 종 유전질환과 난치병 등을 치료한다는 명분 아래 대중적 반향을 불러일으키면서 완성되었다. 또한 '유전자 검사'와 '유전자 치료'라는 개념이 널리 일반화되고 있는 현 시점에서 돌아볼 때 생물학의 발전 과정은 결국 유전 현상의 이해로부터 이루어져 왔다고 할 수 있다. 이렇게 볼 때, 유전자의 전달에 의한 유전현상을 완두 교배 실험을 통해 최초로 발견한 멘델의 업적은 생물학사에서 차지하는 비중과 의미가 크다(양재섭・구미정, 2005).

생명공학기술이 우리의 일상생활과 아주 밀접하게 관련되어 있는 내용을 의학적, 생태학적인 측면에서 살펴보면 다음과 같다.

먼저 DNA를 자르거나 연결하여 재조합 플라스미드를 만들고 이를 이용하여 원하는 유전자를 클로닝 할 수 있다. 이런 유전자 재조합 기술은 이미 아미노산 서열이 알려져 있는 당뇨병 치료제인 인슐린과 성장 호르몬 등을 대량으로 생산해 내 인간의 질병을 치료하는데 유용하게 사용되고 있다.

클로닝 된 유전자를 유전자 도서관에 보관할 수 있으며 분자 탐지자를 사용하여 특정 유전자를 갖고 있는 클론을 찾을 수 있다. 이를 통해 원하는 유전자를 갖고 있는 클론을 알아내면 그 유전자를 대량으로 분리할 수 있게 된다. 뿐만 아니라 DNA 마이크로어레이(microarray)로 많은 유전자의 발현을 일시에 알아 낼 수 있다. DNA 마이크로어레이라는 새로운 기술은 어떤 유전자가 어느 세포에서 발현되는지 빠르게 검색해 준다. 그래서 어떤 한 조직이나 건강상태가 다른 조직에서 발현하는 유전자를 알아낼 수 있다. 예를 들면 암조직의 유전자 발현 상태를 분석하

여 암의 전이 가능성을 분석할 수 있는 것이다.

그리고 인간 유전체 프로젝트(human genome project)를 통하여 인간의 염기서열을 완전히 분석하였다. 이 결과로 현재 1000여개에 해당하는 질병과 연관된 유전자가 밝혀졌고 알츠하이머 병, 당뇨병 그리고 암과 같은 질병의 진단과 치료 및 예방에 기여 할 것으로 기대하고 있다. 그리고 DNA 분석 기술은 'DNA지문법'을 이용해 장기 이식의 공여자와 수여자 사이의 조직일치 정도를 알아낼 수 있을 뿐 아니라 범인을 검거하는 방법으로 오늘날 폭넓게 사용되고 있다.

생태학적인 면을 살펴보면, 중요한 동식물의 생산성을 향상시키기 위해 DNA 기술을 이용하여 유전자를 변형시킴으로 쉽게 상하지 않고 질병과 해충에 저항성이 강한 많은 농작물을 만들 수 있다. 이런 농작물을 우리는 유전자 변형식품(Genetically Modified Organism, GMO)이라 부른다. 또한 생물체를 이용하여 토양이나 물에 있는 오염 물질이나 독성 폐기물을 분해하여 정화시킬 수 있는 생물환경정화(bioremediation)에도 생명공학은 중요한 영역으로 자리 잡고 있다.

위에서 살펴본 바와 같이, 유전자 조작에 의한 생명공학 기술은 인간의 질병의 예방과 치료 및 인류의 식량난 해소, 그리고 환경 정화에 이르기까지 여러 방면에서 긍정적인 측면을 가지고 있다. 그러나 이러한 사실에도 불구하고 생명공학은 수많은 걱정과 윤리적인 쟁점을 가지고 있다. 유전자의 기능파악, 검사, 조작을 통해 유전질환을 차단하거나 또는 원하는 형질을 강화하는 기술은 오용될 경우 인간의 생식과 관련하여 심각한 사회적·윤리적·법적 문제를 야기할 수 있다(박희주, 2000). 사람의 유전자와 관련된 윤리적인 문제는 가장 어려운 문제 중 하나이다. 질병의 예방과 치료를 목적으로 한 개인의 유전정보의 노출로 인한 사회적 차별은 개인에게 많은 불이익을 가져다 줄 수 있기 때문이다. 그리고 GMO의 경우 질병에 강하고 소출량이 많아 식량난을 해소할 수 있다는 장점이 있으나 GMO 식품을 장기간 섭취할 경우에도 인간에 무해하다는 점이 분명하게 검증된 바가 없다. 따라서 GMO에 대한 불안감과 거부감이 있을 수 있으며, GMO 품종으로 인해 생태계가 교란될 위험성을 안고 있다.

과거에는 과학기술이 한 사회에서 운용될 때에 그 분야의 해당 과학자나 소수의

정책 결정자만이 참여하는 것으로 충분하였다. 그러나 현대에 와서 과학지식은 더 이상 특정인에게만 필요한 지식이 아니라 한 사회 구성원 전체가 알아야 되는 보편성을 갖게 되었다(최경희・조희형, 2000). 따라서 과학교육은 학생들이 이러한 시대적 상황에서 과학적인 정보나 증거들을 바르게 판단할 수 있는 능력을 개발할 수 있도록 해야 하며, 이를 위해서는 과학적 개념을 올바르게 이해하는 것이 중요하다.(Lewis & Wood-Robinson, 2000).

멘델의 유전현상의 발견으로부터 시작한 현대 유전학의 발전은 단순한 생명현상에 대한 관찰연구에 국한되던 생물학이 생명체 자체의 유전자를 인위적으로 조작하여 생물을 복제할 뿐만 아니라 유전체학의 발달로 생명체를 인위적으로 탄생시킬 가능성도 갖고 있다. 따라서 유전현상에 관한 과학적 지식의 올바른 이해는 생명공학기술이 우리사회에 미치는 영향을 객관적인 시각으로 바라볼 수 있는 의사결정능력을 함양하는데 도움이 될 것이다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 재료

현대유전학의 창시자로 일컬어지고 있는 멘델이 발견한 유전현상이 교과서에 어떻게 수록되어 있으며 학생들에게 멘델이 발견한 유전현상의 의미가 정확히 전달될 수 있는 구성인지 그리고 멘델의 유전법칙이 역사적으로 어떤 의미가 있으며 현대 유전학의 발전에 미친 영향을 이해할 수 있는 구성인지 살펴보았다. 그리고 유전학 및 분자생물학의 발달로 인해 발전해온 생명공학기술 관련 주제들이 무엇이며 어떤 방법으로 소개되어 있는지 제7차 교육과정의 과학교과서를 다음과 같은 내용을 중심으로 살펴보았다.

1) 멘델은 '식물 잡종에 관한 실험'이라는 그의 논문에서 유전현상의 분리의 법칙과 독립의 법칙 그리고 우성과 열성의 관계에 대해서 설명하고 있다. 따라서 분리의 법칙과 독립의 법칙 그리고 유전자의 우성과 열성의 관계에 대해서 멘델이 말하고자 했던 의미가 무엇인지 해석하고 과학 교과서에 그 의미가 분명하게 전달되고 있고 멘델의 유전법칙에서 가장 중요한 개념과 내용인 분리의 법칙의 의미가 정확하게 학생들에게 전달될 수 있는 구성인지를 분석하였다.

2) 교과에서는 대부분 멘델의 법칙에 어긋나는 유전현상의 예로 중간유전을 소개하고 있다. 그러나 중간유전은 멘델의 유전현상에 어긋나는 것이 아니라 멘델이 제시한 유전인자의 분리로 충분히 설명이 가능한 현상이다. 따라서 각 교과서별로 중간유전과 멘델의 유전법칙과의 관계를 어떻게 설명하고 있는지 분석하여 유전형과 표현형의 다양한 관계를 이해할 수 있는 구성인지 살펴보았다.

3) 멘델의 유전법칙을 설명하는데 있어서 유전현상의 개념을 좀 더 정확히 이해할 수 있도록 그 역사적 의미가 전달될 수 있는 구성인지 그리고 멘델의 유전현상에 대한 발견이 현대 유전학의 발달에 미친 영향을 충분히 논의하고 있는지를 분석하였다.

4) 각 교과서에 생명공학에 관련된 내용들이 어느 정도 수록되어 있고 교과서에 수

록된 생명공학 관련 주제가 어느 영역을 주로 포함하고 있는지 살펴보았다. 그리고 교과서의 생명공학 관련 주제의 내용이 STS 내용의 주제영역 중 어느 영역을 포함하고 있으며 생명공학 관련 주제의 내용이 어떠한 STS 활동 영역을 포함하고 있는지를 제7차 교육과정에 의해 편찬된 7학년에서 10학년까지의 4종의 교과서를 선택하여 분석하였다.

2. 방법

제7차 교육과정에 의하여 출판된 검인정 9학년 과학교과서 중 9종(두산, 동화사, 대일도서, 교학사(정), 도서출판 디딤돌, 금성출판사, 지학사, 교학사)을 선택하여 멘델의 유전법칙에 대한 설명이 교과서별로 어떤 체계를 가지고 설명하고 있는지 분석하였다(표1). 교과서는 A, B, C, D, E, F, G, H, I로 구분하였다.

생명공학 관련 내용을 분석하기 위해서는 제7차 교육과정에 의하여 출판된 검인정 중・고등학교 과학교과서 중 4종(금성출판사, 도서출판 디딤돌, 교학사, 지학사)을 선택하였다(표2). 각 학년별, 출판사별로 전 단원에 걸쳐 생명공학 관련 내용을 수집, 분석함으로써 멘델의 유전현상에 대한 발견이 현대유전학 및 생명공학의 발달에 미친 영향을 살펴보고자 하였다. 본 논문에서는 이들 교과서를 특정하지 않고 A, B, C, D교과서로 구분하였으며, 7학년 과정의 A교과서의 경우 7A와 같은 방법으로 표기하였다.

<표1> 멘델의 유전의 법칙에 관한 분석 대상 과학 교과서

교 과 서	출 판 사	저 자	출판연도
9학년 과학 (9종)	(주)금성출판사	이성묵 외 11인	2003
	(주)도서출판 디딤돌	김찬종 외 11인	2003
	(주)교학사	강만식 외 11인	2003
	(주)지학사	이광만 외 16인	2003
	(주)교학사	정완호 외 9인	2004
	동화사	박봉상 외 10인	2004
	도서출판대일도서	최돈형 외 11인	2003
	(주)블랙박스	김정률 외 9인	2003
	(주)두산	소현수 외 11인	2004

<표2> 생명공학기술에 관한 분석 대상 과학 교과서

교 과 서	출 판 사	저 자	출판연도
7학년 과학 (4종)	(주)금성출판사	이성묵 외 11인	2001
	(주)도서출판 디딤돌	김찬종 외 11인	2001
	(주)교학사	강만식 외 11인	2002
	(주)지학사	이광만 외 16인	2001
8학년 과학 (4종)	(주)금성출판사	이성묵 외 11인	2002
	(주)도서출판 디딤돌	김찬종 외 11인	2003
	(주)교학사	강만식 외 11인	2002
	(주)지학사	이광만 외 16인	2002
9학년 과학 (4종)	(주)금성출판사	이성묵 외 11인	2003
	(주)도서출판 디딤돌	김찬종 외 11인	2003
	(주)교학사	강만식 외 11인	2003
	(주)지학사	이광만 외 16인	2003
고등학교 과학 (4종)	(주)금성출판사	이문원 외 13인	2002
	(주)도서출판 디딤돌	김찬종 외 7인	2002
	(주)교학사	정완호 외 9인	2002
	(주)지학사	이면우 외 11인	2003

Ⅲ. 결과

1. 9학년 과학 교과서에 설명된 멘델의 유전법칙

1) 9학년 과학교과서의 생물 단원 구성

멘델의 유전법칙이 9학년 과학 교과서의 어느 단원에서 어떤 내용과 연결되어 편성되었는지 알아보기 위해서 생물 관련 단원의 구성체계를 살펴보았다. 제7차 교육과정에 따르면 9학년 과학에서 '생식과 발생' 그리고 '유전과 진화' 라는 두 부분으로 생물 관련 단원은 구성되었다(표3, 4).

교과서 구성체계를 보면 A, B, C, E, F, G 교과서는 대단원을 중심으로 중단원과 소단원의 3단 구성으로 되어 있다(표3). 생식과 발생 단원은 세포분열, 생물의 생식과 발생, 사람의 생식기와 발생의 세 개의 중단원으로, 유전과 진화 단원은 유전과 진화의 대단원 아래 멘델의 유전법칙, 사람의 유전현상, 그리고 진화라는 세 개의 중단원으로 나누어져 있다. 각 중단원은 다시 몇 개의 소단원으로 나누어져 있다. 또 다른 유형으로 D, H, I 교과서는 중단원과 소단원의 구분 없이 2단 구성으로 되어 있다(표4). 생식과 발생 및 유전과 진화의 대단원 아래 중단원과 소단원의 구분 없이 생식과 발생은 세포분열, 생물의 생식과 발생, 사람의 생식과 발생이 연결되어 있고 유전과 진화는 멘델의 유전법칙과 사람의 유전현상 그리고 진화 단원이 연결되어 있다(표4). 생식과 발생은 유전과 진화보다 먼저 배울 수 있도록 앞 단원에 편성되어 있다.

대단원의 제목에서 유전과 진화는 내용상 서로 연결되어 있다는 것을 암시하고 있다. 교과서 구성 전개에 있어서 유전현상과 진화를 연결할 수 있는 유전자 돌연변이에 대한 설명이 있는지 살펴보았다(표5). 그 결과 B, C, E, F, I 교과서에는 읽을거리 및 보충 자료 형태로 돌연변이를 소개하고 있고 A, D, G, H 교과서에는 돌연변이에 대한 언급이 없었다.

<표3> 생물 관련 단원의 교과서 구성 체계 1

대단원	중단원	소단원
생식과 발생	1. 세포 분열	1. 생물이 자라는 이유는 무엇일까? 2. 세포 분열은 어떻게 일어날까? 3. 생식 세포는 어떻게 만들어질까? 4. 생식 세포 분열의 특징은 무엇일까?
	2. 생식	1. 무성 생식에는 어떤 종류가 있을까? 2. 유성 생식에는 어떤 종류가 있을까? 3. 사람의 생식 기관은 어떤 일을 할까?
	3. 발생	1. 속씨식물은 어떻게 발생을 할까? 2. 동물은 어떻게 태어날까? 3. 사람은 어떻게 태어날까?
유전과 진화	1. 멘델의 유전 법칙	1. 멘델은 어떤 유전연구를 하였을까? 2. 멘델의 유전 법칙에도 예외는 있을까?
	2. 사람의 유전	1. 사람의 어떤 유전 형질이 관찰될까? 2. 사람의 유전은 어떻게 연구할까? 3. 사람의 형질은 어떻게 유전될까?
	3. 진화	1. 생물이 진화해 왔다는 것을 어떻게 알 수 있을까? 2. 생물의 진화는 어떻게 일어날까?

<표4> 생물 관련 단원의 교과서 구성 체계 2

대단원	중단원
생식과 발생	1. 생물은 어떻게 생장할까? 2. 염색체는 어떤 역할을 할까? 3. 생식세포는 어떻게 만들어질까? 4. 생물을 어떤 방법으로 자손을 남길까? 5. 속씨식물의 자손은 어떻게 만들어질까? 6. 척추동물의 자손은 어떻게 만들어질까? 7. 사람의 생식 기관은 어떤 일을 할까? 8. 우리는 어떻게 태어났을까?
유전과 진화	1. 어버이를 닮는 데에도 법칙이 있을까? 2. 멘델의 법칙에도 예외가 있을까? 3. 사람은 어떤 형질을 가지고 있을까? 4. 사람의 형질은 어떻게 유전될까? 5. 생물은 어떻게 변해 왔을까? 6. 생물은 어떻게 진화할까?

<표5> 돌연변이에 대한 내용 유무와 서술 형태

교과서	제목(제시 형태)
A	없음
B	돌연변이(읽을거리)
C	변이(보충자료)
D	없음
E	변이와 유전(읽을거리)
F	돌연변이(보충자료)
G	없음
H	없음
I	변이란 무엇일까?(보충자료)

2) 우열의 법칙, 중간유전현상, 분리의 법칙

모든 교과서에서 멘델의 유전법칙을 소개하면서 제일 먼저 우열의 법칙을 소개하고 있다. 다음으로 멘델의 단성잡종 실험을 통한 유전자의 분리의 법칙과 양성잡종 실험을 통한 유전자의 독립의 법칙 그리고 중간유전 현상을 차례로 설명하고 있다.

A, E, F, G, I 교과서는 분리의 법칙을 설명하는데 가장 많은 지면을 할애하고 있으며, C, D 교과서는 우열의 법칙과 분리의 법칙을 설명하는데 거의 같은 지면을 할애하고 있다(표6). B, C, D, E 교과서는 독립의 법칙을 설명하는데 가장 많은 지면을 할애하고 있다. H 교과서는 우열의 법칙을 설명하는데 가장 많은 지면을 활용하고 있다. 평균적으로 우열의 법칙에 대한 지면과 중간유전현상을 설명한 지면은 전체 지면의 40% 이상을 차지하고 있다(표6).

한 쌍의 대립유전자 사이의 우열의 관계가 불완전하여 F_1 세대에 부모의 중간형질을 나타내는 중간유전 현상에 대해서는 대부분의 교과서가 멘델의 유전의 법칙에 어긋나는 현상으로 소개하고 있다(표7).

A, B, D, F, G 교과서에서는 바둑알이나 윷가락 모형을 통해서 유전자가 분리되어 잡종을 형성할 때의 유전자 모형과 표현형의 관계를 설명하고 있다(표8).

<표6> 교과서에 재시된 멘델 유전 법칙의 지면 활용 정도{단위:(%)}

교과서 / 교과서 내용	A	B	C	D	E	F	G	H	I	계(%)
우열의 법칙	16	10	14	21	16	14	22	32	14	18
분리의 법칙	39	29	14	21	32	38	34	14	36	29
독립의 법칙	25	43	45	29	32	29	22	27	29	31
중간유전	20	18	27	29	20	19	22	27	21	22

<표7> 중간유전 단원의 제목

교과서	분꽃의 유전현상에 대한 제목
A	멘델의 유전법칙에도 예외는 있을까?
B	멘델 이후의 연구
C	분꽃은 멘델의 법칙대로 유전되는가?
D	멘델의 법칙은 항상 적용되는가?
E	멘델의 유전 법칙은 반드시 적용되는가?
F	우열 관계가 불완전한 대립 유전자는 어떻게 유전될까?
G	중간유전
H	중간유전
I	멘델의 법칙에도 예외가 있을까?

<표8> 모형을 이용한 유전자의 분리현상 설명

교과서	유전자의 분리에 대한 모형
A	한 쌍의 대립형질 유전(바둑알 모형)
B	유전자 조합과 우연(바둑알 모형)
C	없음
D	모형을 이용한 유전실험(바둑알 모형)
E	없음
F	분리의 법칙(윷가락 모형)
G	멘델의 유전법칙에 대한 모의 실험(바둑알 모형)
H	없음
I	없음

3) 멘델 법칙의 역사적 의미에 대한 내용

멘델의 완두 교배 실험을 통한 유전현상에 대한 발견은 그 당시의 유전에 대한 혼합 유전설과는 전혀 다른 결과를 가져왔다. 때문에 멘델의 유전현상에 대한 발견이 역사적으로 어떤 의미가 있는지 살펴보는 것은 오늘날 멘델이 유전학의 기초를 세우는데 어떤 역할을 했는지 이해할 수 있을 것이다.

A, D, F, G, I 교과서에 멘델에 대한 소개와 더불어 멘델의 법칙이 재발견되기까지의 과정은 소개 되어 있었다. B, C, E, H 교과서에는 멘델에 대한 간단한 소개는 있지만 멘델의 법칙이 재발견되기까지의 역사적인 과정은 서술되어 있지 않았다. 멘델의 유전현상에 대한 발견이 역사적으로 어떤 의미가 있는지 그 당시의 유전개념의 배경과 비교하여 설명해 놓은 교과서는 H 교과서뿐이었다.

멘델의 연구는 그 당시 생물학을 연구하는데 있어서 체계적인 연구 방법을 도입한 것으로도 높이 평가되고 있다. 멘델이 완두의 특정 형질에 대한 순종을 만들고 자신이 추론한 유전현상에 대한 가설을 검증하기까지의 과학적 탐구방법을 학생들이 이해할 수 있도록 구성되었는지 살펴보았다(표9). 순종이 만들어지기까지의 과정은 B 와 E 교과서에 탐구 과정으로 수록이 되어 있고 나머지 교과서에는 생략이 되어 있으며 유전자의 행동에 대한 가설은 분리의 법칙을 소개하는 곳에서 대부분의 교과서에 수록이 되어 있으나 C, G 교과서에는 수록이 되어 있지 않았다.

<표9> 교과서에 재시된 멘델 유전학의 내용 전개 분석

교과서 / 교과서 내용	A	B	C	D	E	F	G	H	I
멘델 실험의 재발견 과정	○			○		○	○		○
멘델 연구의 역사적 의미								○	
순종 만들기 실험		○			○				
실험에 대한 가설 소개	○	○		○	○	○		○	○

2. 과학 교과서별 생명 공학 관련 주제

1) 과학 교과서에 소개된 생명공학 기술의 종류

국민공통기본교육과정인 7학년에서 10학년까지의 과학 교과서에 수록된 생명공학 관련 기술에 대한 내용을 살펴보았다.

7학년 과학 교과서에 수록된 생명공학기술은 인공심장 및 신장이식 등 모두 질병치료와 관련된 내용이었다. 8학년 교과내용에는 작물유전공학과 질병의 치료에 대한 내용이 수록되어 있었다. 그리고 9학년과 10학년 내용에는 작물유전공학, 질병치료, 인간유전체 사업, 인공수정 등 다양한 생명공학기술을 수록하고 있었다.

<표10> 교과서별 생명공학기술 관련 주제

교과서	생명공학기술	단원	주제영역	STS 구성요소	STS 활동 영역
7A	인공 피부 배양	생물의 구성	질병의 치료	과학의 응용성	토론
	인공 심장 자동박동기	소화와 순환	질병의 치료	과학의 응용성	토론
	신장병과 신장이식	호흡과 배설	질병의 치료	과학의 응용성	토론, 역할놀이
7B	심장병에 도전하는 사람들	소화와 순환	질병의 치료	과학의 응용성	기타
	정복되는 신장병	호흡과 배설	질병의 치료	과학의 응용성	기타
7C	인공 피부	생물의 구성	질병의 치료	과학의 응용성	기타
	혈액 은행	소화와 순환	질병의 치료	지역사회와의 관련성	기타
	신장병 환자의 희망“신장 투석기”	호흡과 배설	질병의 치료	과학의 응용성	조사활동
7D	몸속의 무법자 암세포	생물의 구성	질병의 치료	정보의 선택 및 이용	실제활동
	신장질환과 치료법	호흡과 배설	질병의 치료	과학의 응용성, 과학의 다차원성	토론, 조사활동
8A	식물로부터 얻어지는 의약품	식물의 구조와 기능	작물유전공학	과학의 다차원성, 정보의 선택 및 이용	토론, 문제해결 및 의사결정, 조사활동
	치매	자극과 반응	질병의 치료	실제 문제의 협동 작업	토론, 문제해결 및 의사결정, 조사활동
8C	인공 수정체	자극과 반응	질병의 치료	과학의 응용성	기타
	뇌사와 식물인간	자극과 반응	질병의 치료	사회적 문제	기타
9A	인간 배아 간(줄기)세포	생식과 발생	질병의 치료	과학의 응용성	토론, 문제해결 및 의사결정

<표10> 교과서별 생명공학기술 관련 주제(계속)

교과서	주제	단원	주제영역	STS 구성요소	STS 활동 영역
9B	새로운 품종을 만들어낸다	생식과 발생	작물유전공학	과학의 응용성, 직업에 대한 인식	기타
	줄기세포로 불치병을 치료한다.	생식과 발생	질병의 치료	과학의 응용성, 과학의 다차원성	기타
	인간게놈 프로젝트와 맞춤의학	유전과 진화	인간유전체 사업	과학의 다차원성	기타
9C	정자 은행	생식과 발생	인공수정	과학의 응용성	기타
	불임여성의 희망“시험관 아기”	생식과 발생	인공수정	사회적 문제	기타
9D	인간 게놈 프로젝트	유전과 진화	인간유전체 사업	과학의 다차원성	기타
10A	생명 복제의 윤리성	과학이 인간생활에 미치는 영향	생명복제	사회적 문제	토론
	당뇨병	자극과 반응	질병의 치료	과학의 응용성	조사활동
	치매	자극과 반응	질병의 치료	사회적 문제	토론
	인공수정에 관해 조사하여 발표하기	생식	인공수정	사회적 문제	토론, 문제해결 및 의사결정, 조사활동
10B	효소를 이용한 제품 만들기	물질대사	기타	과학의 응용성, 직업에 대한 인식	사례연구
	인공수정의 영향	생식	인공수정	사회적 문제	토론, 자료분석, 사례 연구

<표10> 교과서별 생명공학기술 관련 주제(계속)

교과서	주제	단원	주제영역	STS 구성요소	STS 활동 영역
10B	뇌속을 들여다본다.	생명	기타	과학의 응용성	기타
	‘미생물 농약’개발꿈틀	환경	기타(환경)	기타	기타
	인공수정	부록	인공수정	기타	기타
10C	생체 시계와 멜라토닌 호르몬	자극과 반응	질병의 치료	과학의 응용성	토론, 조사활동
	인간 복제는 가능한가?	생식	인간복제	사회적 문제, 과학의 다차원성	문제해결 및 의사결정
	인공수정	생식	인공수정	사회적 문제, 의사결정력 함양 연습, 과학의 다차원성	토론
10D	유전자 조작에 따른 문제점	탐구	질병의 치료	사회적 문제	토론, 조사활동
	사람의 코를 대신하는 전자코	자극과 반응	기타	과학의 다차원성	조사활동
	양수검사	생식	기타	정보의 선택 및 이용	토론, 조사활동
	인공수정에 대하여 조사 · 토의하기	생식	인공수정	사회적 문제	토론, 조사활동

2) 생명공학기술의 주제별 분류

교과서에 수록된 생명공학기술 관련 내용 중 주로 다루고 있는 내용을 중심으로 하여 6개의 항목(질병의 치료, 생명 복제, 인간게놈 프로젝트, 인공 수정, 식물을 이용한 유전공학, 기타)으로 나누어 보았다(표11). 질병의 치료 48.7%, 인공 수정 18.9%, 인간게놈 프로젝트 5.4%, 생명 복제 5.4%, 작물 유전공학 5.4%, 기타 16.2%로 나타났다. 생명공학기술 관련 내용 중 대부분이 질병의 치료(48.7%)에 집중되어 있으며 또한 생명 복제, 인간게놈 프로젝트, 인공 수정 등의 기술도 인간의 질병의 치료와 관련된 것으로 볼 수 있어 과학 교과서의 생물 관련 내용에서 소개된 생명공학기술은 주로 질병의 치료와 연관된 것으로 나타났다. 또한 질병 치료로 분류된 기술의 대부분은 인공장기를 이용한 치료에 집중되었다. 예를 들어 7A와 7B 교과서는 모두 인공장기에 관한 내용만을 수록하고 있다. 그러나 환경과 농업 그리고 산업분야에서 응용되고 있는 생명공학기술에 관한 내용은 작물유전공학(5.4%)이외에는 거의 수록되지 않았다.

<표11> 생명공학 관련 내용의 주제별 분류

{단위:횟수, (%)}

교과서 / 주제영역	A				B				C				D				계
	학년				학년				학년				학년				
	7	8	9	10	7	8	9	10	7	8	9	10	7	8	9	10	
질병의 치료	3	1	1	2	2		1		2	2		1	2			1	18(48.7)
생명 복제				1								1					2(5.4)
인간유전체사업				1			1								1		2(5.4)
인공 수정								2			2	1				1	7(18.9)
작물 유전공학		1					1										2(5.4)
기타								3	1							2	6(16.2)
계	3	2	1	4	2	0	3	5	3	2	2	3	2	0	1	4	37(100)
(%)	8.1	5.4	2.7	10.8	5.4	0	8.1	13.6	8.1	5.4	5.4	8.1	5.4	0	2.7	10.8	

3) STS 구성 요소 분포 및 활동 영역 분포

각 교과서에 수록된 생명공학기술 관련 내용을 Yager가 제시한 'STS 교육 과정의 필수 구성 요소'를 기준으로 분석하였다(표12). 결과 STS 구성 요소 중에서 과학의 응용성을 다룬 내용(37.0%)이 가장 많았고, 다음으로는 사회적 문제(21.7%), 과학의 다차원성(15.2%)의 순서로 나타났다. 그 외에 정보의 선택 및 이용(8.7%), 직업에 대한 인식(6.5%), 기타(4.6%), 지역사회와의 관련성(2.2%), 실제문제의 협동작업(2.2%)을 다루고 있었다. 8가지 구성 요소 중 한번도 다루지 않은 요소는 존재하지 않지만 과학의 응용성, 사회적 문제, 과학의 다차원성을 제외한 나머지 구성 요소에 대한 언급은 대단히 미흡하였다.

각 교과서에 수록된 생명공학기술 관련 내용을 영국의 STS 프로그램인 SATIS의 활동 영역을 기준으로 분석하였다(표13). 이 자료를 통해 분석해 본 결과 STS 활동 영역 중에서 토론(31.3%)과 기타(29.4%), 조사 활동(21.6%)이 가장 많았다. 여기서 기타에 해당하는 내용은 교과서에 단순히 생명공학기술에 대해 서술해 놓은 경우이다. 다음으로 문제 해결 및 의사 결정(7.8%), 사례 연구(3.9%), 역할 놀이(2.2%), 자료 분석(2.2%), 실제 활동(2.2%)순으로 나타났다. 모의 실험과 연구 설계에 관한 내용은 전혀 없었다.

<표12> STS 구성 요소 분포

{단위:횟수(%)}

교과서 / STS구성요소	A				B				C				D				계
	학년				학년				학년				학년				
	7	8	9	10	7	8	9	10	7	8	9	10	7	8	9	10	
지역사회와의 관련성									1								1(2.2)
과학의 응용성	3		1	1	2		2	2	2	1	1	1	1				17(37.0)
사회적 문제				3				1		1	1	2				2	10(21.7)
의사결정력 함양연습												1					1(2.2)
직업에 대한 인식		1					1	1									3(6.5)
실제문제의 협동작업		1															1(2.2)
과학의 다차원성							2					2	1		1	1	7(15.2)
정보의 선택 및 이용		1		1									1			1	4(8.7)
기타								2									2(4.3)
계	3	3	1	5	2	0	5	6	3	2	2	6	3	0	1	4	46(100)
(%)	6.5	6.5	2.2	10.9	4.3	0	10.9	13.1	6.5	4.3	4.3	13.1	6.5	0	2.2	8.7	

<표13> STS 활동 영역 분포

{단위:횟수(%)}

교과서 / STS 활동영역	A				B				C				D				계
	학년				학년				학년				학년				
	7	8	9	10	7	8	9	10	7	8	9	10	7	8	9	10	
토론	3	2	1	3				1				2	1			3	16(31.3)
역할 놀이	1																1(2.0)
모의 실험																	0(0.0)
문제해결 및 의사결정		2	1									1					4(7.8)
자료 분석									1								1(2.0)
조사 활동		2		2				1				1	1			4	11(21.6)
실제 활동													1				1(2.0)
연구 설계																	0(0.0)
사례 연구								2									2(3.9)
기타					2		3	3	2	2	2				1		15(29.4)
계	4	6	2	5	2	0	3	7	3	2	2	4	3	0	1	7	51(100)
(%)	7.8	11.8	3.9	9.9	3.9	0	5.9	13.7	5.9	3.9	3.9	7.8	5.9	0	2.0	13.7	

Ⅳ. 논의

1. 9학년 과학 교육과정에서의 멘델 유전법칙

1) 유전학 교육의 목적과 필요성

제7차 교육과정의 9학년 생물단원 중 “유전과 진화” 단원에서 포함하고 내용은 다음과 같다. ‘멘델 유전학’ 에서는 멘델의 유전 법칙을 통해 유전의 기본 원리를 이해하고, 중간유전 현상과 멘델의 법칙의 차이점을 이해하는 것을 내용으로 하고 있다. ‘사람의 유전’ 단원에서는 사람의 유전을 연구하는 방법과 여러 가지 유전 현상의 예를 가계도를 이용하여 알아보고 각 개인의 유전자형을 추리하는 것이다. 그리고 ‘진화’ 단원에서는 생물이 진화해 왔다는 증거를 조사하고, 생물이 진화해 온 원인이나 과정에 대한 학자의 학설을 비교하고 종합하여 이해하는 것을 내용으로 하고 있다(과학과 교육 과정, 1998).

생물의 형질이 다음 세대로 전달되는 과정은 생명현상에 대한 연구의 기본이 되어왔다. 19세기까지의 많은 학자들 역시 부모의 형질이 다음 세대로 전달되는 과정에 대해 관심을 가졌고 그 원인에 대해 알아내고자 하였다. 생물의 형질이 전달되는 방식을 가장 먼저 이해하고 체계적으로 실험을 설계했던 사람이 바로 멘델이다. 멘델이 발견한 유전요소는 오늘날 유전자라고 일컬어지고 있다. 유전자에 대한 많은 연구와 실험 결과 오늘날 현대유전학은 생물의 유전체를 분리, 분석하여 특정 유전자의 구조와 기능을 발견하게 되었고 의학과 생태학 및 다양한 분야에 활용할 수 있는 단계에 이르렀다.

생물학에 있어서 유전자는 유전학 및 분자생물학 그리고 진화학 등의 다양한 학문을 연결해주는 고리역할을 하고 있을 뿐 아니라 생명공학기술 분야에서도 연구의 대상으로 핵심이 되는 위치에 있다.

유전학을 처음 배우는 학생들은 멘델의 유전법칙 중 가장 중요한 분리의 법칙에 대해서 이해할 수 있어야 한다. 유전자의 분리 현상은 현대유전학을 비롯하여 분자

생물학, 진화학 및 생명공학기술을 이해하는데 필수적이다. 교과서 구성에서도 알 수 있듯이 사람의 유전현상과 진화의 개념을 올바르게 이해하기 위해서는 멘델 유전학은 정확하게 학습이 되어야 한다. 멘델의 유전법칙 중에서 유전자의 분리의 법칙은 가계도를 통한 사람의 유전현상에 대한 예측과 집단의 유전자 빈도의 변화에 의한 진화를 학습하는데 중요한 개념이다. 따라서 멘델 유전학의 핵심이 되는 유전자의 분리의 법칙에 대한 내용을 강조할 수 있는 내용 전개가 필요하다.

2) 9학년 과학 교과서의 생물관련 단원 구성체계

9학년 과학 교과과정에는 생물 관련 대단원으로 '생식과 발생' 및 '유전과 진화' 두 단원이 포함되어 있다(표3, 4). '생식과 발생'의 대단원에서 중단원인 생식부분에서는 감수분열에 대한 내용을 소개하고 있어 생식에 있어서 감수분열이 중요하게 부각되어 있다. '유전과 진화' 단원의 구성을 살펴보면 멘델의 유전법칙의 이해와 사람의 유전현상, 그리고 진화의 순서로 서술되어 있다(표5, 6). 이는 사람의 유전현상과 진화의 개념을 이해하는데 멘델의 유전법칙에 대한 이해가 선행되어야 함을 의미한다.

유전자와 염색체의 발견과정을 살펴보면 다음과 같다. 멘델에 의해서 유전요소에 대한 발견이 먼저 있었고 그 이후에 현미경의 발달로 인해서 세포내의 염색체를 발견할 수 있었으며 서턴은 멘델이 말한 유전요소와 염색체의 행동변화가 같음을 발견하였다. 그 이후로 모건은 초파리의 염색체를 발견하면서 멘델이 말한 유전요소가 염색체상에 존재한다는 것을 발견할 수 있었다. 그러나 제7차 교육과정에 의하면 9학년 과학교과서에 염색체와 감수분열에 대한 단원이 멘델 유전학 단원 앞에 있어 학생들이 먼저 학습할 수 있는 구성이다.

학생들의 과학개념의 인지 발달 과정은 과거에 과학자들이 가지고 있었던 과학개념의 변천 과정과 유사하다는 보고가 있다(고정호 등, 1997). 따라서 교과서의 구성이 이러한 과학적 발견과정과 일치할 때 이해가 쉬울 것이다. 그러나 염색체에 대한 단원이 멘델 유전학 단원의 앞에 제시됨으로써 분리 가능한 형태의 유전인자

가 존재한다는 사고가 멘델 실험을 통하여 역사적으로 새롭게 제시된 것이라는 것을 쉽게 알기 어렵다. 그 결과 멘델 유전학 단원의 뚜렷한 학습 목표와 단원에서 꼭 익혀야 할 내용이 무엇인지 알지 못하여 내용의 난이도에 비해 이해하기 어려운 단원으로 간주되는 경향이 나타나는 것 같다.

또한 현대진화론에 대한 견해는 유전적 변이인 돌연변이와 이들이 자연선택 되어 집단의 진화를 이끌어 왔다고 보는 것이 일반적이다. 따라서 현대의 진화론을 설명하는데 있어서 유전자와 유전자의 돌연변이에 대한 이해가 반드시 필요하고 유전자와 돌연변이 그리고 진화의 과정은 통합적이고 유기적으로 서로 연결시켜 이해되어야 할 개념이다. 제6차 교육과정에서는 유전과 진화 단원에 돌연변이와 개체변이에 대한 설명이 있었고 이를 통해서 집단 내에 발생한 유전자 돌연변이가 다음 세대로 전달된다는 것을 배울 수 있었다. 그러나 제7차 교육과정의 과학 교과서에는 돌연변이에 대한 설명이 읽을거리 및 보충자료로 제시되어 있다. 그리고 A, D, G, H 교과서는 돌연변이나 개체변이에 대한 언급이 전혀 없이 진화단원에서 현대 진화론을 소개하고 있었다. 이처럼 형식상으로는 멘델의 유전 법칙과 사람의 유전현상 그리고 진화가 연결되어 있으나 내용상으로는 서로 연결 지어 생각할 수 있는 구성이라 보기 어렵다. 따라서 유전과 진화의 개념이 연결된 현 교과 과정 체계의 장점을 살리면서 유전과 진화의 관계를 더욱 명확히 설명할 수 있는 학습 구성이 필요하다. 유전 현상에 대한 올바른 개념 이해의 부족은 유전개념을 기초로 하여 이해될 수 있는 돌연변이와 진화와의 관계를 이해하는데 실패하고 있다(정완호・차희영, 1994; 민진선・박지영・김희백, 2004; 이미숙 등, 2005; Cho et al., 1985). 유전과 진화에 대한 올바른 이해를 돕기 위해서는 먼저 유전현상에 대한 올바른 개념전달이 필요하다. 그리고 유전과 진화를 내용상으로 서로 연결할 수 있는 돌연변이에 대한 설명이 좀 더 구체적으로 제시되어야 한다. 그래서 집단내의 유전자의 돌연변이가 무엇이며 이들이 어떻게 다음 세대로 전달이 되어 자연선택 되었는지에 대한 설명이 제시되어야 할 필요가 있다.

3) 우성과 열성의 의미

유전자형과 표현형의 관계는 간단하지 않다. 멘델이 실험에 사용한 완두의 7가지 형질의 유전양식은 가장 단순한 완전 우·열의 관계를 보였다. 모든 교과서에서 귓불 유전이나 미맹에 대한 유전, 그리고 색맹 등 한 쌍의 대립유전자의 우열의 관계로 이해할 수 있는 형질들을 예로 들어 인간의 유전현상을 소개하고 있다. 그러나 생물의 표현형은 이렇게 한 쌍의 대립유전자로 결정되는 경우도 있지만 대부분 여러 유전자가 상호 작용하는 동시에 이러한 유전자들이 환경요인 등과 서로 복잡하게 관계를 맺음으로 인해 형질이 나타나는 경우가 대부분이다.

그러나 하나의 대립유전자가 다른 대립유전자에 대해 완전한 우열의 관계를 나타내지 않는 경우도 많으며, 하나의 유전자가 여러 가지 표현형의 발현에 영향을 미치는 다면발현(pleiotropy), 두 개의 대립유전자가 동시에 나타나는 공동우성(codominant))의 경우도 있다. 닭의 볏모양과 옥수수 낟알의 색깔, 그리고 쥐의 털색 유전에서 볼 수 있는 유전자의 상위성(epistasis)은 비대립 유전자간에 나타나는 유전자의 상호작용으로 한 유전자의 대립유전자 활동이 다른 유전자의 대립유전자 활동에 영향을 주어 나타난다. 이처럼 대립유전자가 상호작용 하는 양상에 따라 표현형의 수준이 달라진다.

이상에서 살펴본바와 같이 표현형은 유전자가 생식세포가 형성될 때 분리되어 자손에게 전달되는 과정에서 새로운 유전자 조합에 의해 유전자 사이의 다양한 상호작용으로 나타나는 것이다. 따라서 유전형과 표현형의 관계는 환경요인 등 복잡한 관계를 바탕으로 이해해야 한다. 멘델의 완두 실험에서 나타난 완전한 우열의 관계는 오히려 여러 유전현상과는 예외적인 현상이라 할 수 있다. 사람의 성격, 지능, 키, 질병 등의 발현은 유전자와 환경 상호간의 다중적인 상호작용에 의해 발현된다.

우성과 열성의 개념은 멘델이 실험을 통해 알아낸 법칙이 아니라 유전형과 표현형의 관계를 설명하기 위하여 사용한 정의에 해당된다. 멘델은 쌍을 이룬 유전자가 서로 다른 대립유전자일 경우, 하나의 대립유전자는 완전히 표현되는 데 반해 다른

대립유전자는 개체의 표현형에 영향을 미치지 못한다는 것을 발견하고 이러한 전자를 우성 대립유전자로 후자를 열성 대립유전자로 정의하였다. 그리고 그는 완두 이외의 식물들을 관찰한 결과 쌍을 이룬 서로 다른 대립유전자가 반드시 우성과 열성의 관계로만 표현되는 것이 아님을 암시하고 있다. 멘델 논문에서 우성과 열성의 개념을 정의하고 있는 부분을 살펴보면 다음과 같다(Mendel, 1866).

> 지금부터 이 논문에서는 잡종실험에서 완전한 형태로 또는 변함없이 전해지는 형질, 즉 잡종의 형질로 나타나게 되는 형질을 **우성**이라고 부를 것이며, 잠복되어 있는 형질을 **열성**이라 할 것이다. 열성이라는 이름을 붙인 이유는 잡종 세대에서 전혀 나타나지 않으나, 후에 후손에서 변하지 않은 채로 다시 나타나기 때문이다. 이 사실은 뒤에서 보여줄 것이다.

따라서 잡종 제1세대에서 나타나는 표현형이 우성이고 나타나지 않는 표현형이 열성이라는 것은 법칙이라기보다 유전형과 표현형의 관계를 정의한 것으로 받아들여야 할 것이다. 이런 의미에서 우성과 열성의 개념은 조작적 정의(operational definition)에 해당된다(Mayr, 1982; Moore, 1993).

그러나 현행 교과서에서는 모두 대립유전자간의 우성과 열성의 관계를 '우열의 법칙'으로 소개하고 멘델의 유전법칙 중 첫 번째 법칙으로 일반화하고 있는 구성을 보이고 있다(표8). 또한 부분우성의 형태로 나타나는 중간유전을 우열의 법칙에 어긋나는 사례로 소개하는 것에 소단원의 하나를 할애하고 있다(표5, 6). 교과서 내용에서 우열의 법칙과 중간유전 현상을 설명하는 부분이 멘델 유전학 단원의 40% 이상을 차지하고 있다.

이러한 단원의 편성은 대부분의 유전현상이 대립유전자간의 우열의 법칙에 의해 표현된다는 잘못된 개념을 학생들에게 심어주고 멘델 유전학의 중요한 의미를 효과적으로 전달하기에 어려운 면이 있다. 실재로 많은 학생들은 멘델 유전현상을 형질의 우열관계를 중심으로 이해하려는 경향이 강하게 나타나고 있다는 보고가 있는데(강혜정 등, 2005), 이는 이러한 교과서 혹은 교육과정의 편재에 기인한 것일 수 있다.

두 대립유전자 사이의 관계를 우열의 법칙으로 일반화하여 명명해 놓은 교과서 구성은 유전형(genotype)과 표현형(phenotype) 사이의 다양한 관계를 이해하는 것을 오히려 저해할 수 있다. 대학에서 사용되고 있는 유전학 교재를 살펴보아도 우성과 열성의 관계를 우열의 법칙으로 설명한 교재는 없으며 멘델의 제1법칙으로 우열의 법칙이 아닌 분리의 법칙을 소개하고 있다(Campbell et al., 2004; Tamarin, 2003; Hartl et al., 2004).

많은 유전자들이 서로 완전히 우성과 열성의 대립유전자 상태로 존재하지는 않는다. 분꽃의 유전현상을 보면 순종의 붉은 꽃과 흰 꽃을 교배하면 F_1에서 모두 부모의 중간 형질인 분홍 꽃이다. 언뜻 보아 이 현상은 멘델 당시의 유전현상에 대한 일반적 견해였던 혼합 유전설을 말하는 것 같다. 그러나 혼합 유전설과는 완전히 다르다. 혼합 유전설에 따르면 F_1의 분홍 꽃을 순종의 흰 꽃과 교배하면 모든 자손은 보다 밝은 분홍 꽃이 나와야 한다. 그러나 분홍 꽃과 흰 꽃이 1:1의 비율로 나타난다. 이처럼 혼합 유전설은 부모의 형질이 다음 세대에 혼합되지 않고 분리되어 나오는 현상을 설명하지 못했다. F_1을 자가교배하면 F_2에서는 붉은 꽃과 분홍 꽃, 그리고 흰 꽃의 분리비가 1:2:1로 나타난다. 이 결과로 비추어 볼 때 분명히 유전입자인 유전자는 서로 섞이지 않고 분리됨을 알 수 있다. 이처럼 계속된 교배를 통해서 중간유전 현상은 멘델의 유전양상으로 설명될 수 있다. 멘델은 완두 이외의 강낭콩과 조밥나물의 유전현상을 관찰하면서 부모의 형질과 다른 중간형질과 그 밖의 여러 변이체들을 발견하였고 이들 변이체들은 부모의 유전자의 조합의 범위 내에서 나타날 수 있다고 하였다. 다시 말하면 멘델은 완두 이외의 식물의 잡종형태에서 분명하게 정리하지는 않았지만 유전형과 표현형의 관계를 예상하고 있었다.

따라서 교과서에서는 유전자의 분리로 인하여 잡종 세대에 여러 유전자 조합이 일어나게 되고 그 유전자들 사이의 상호 작용으로 우성과 열성의 관계도 있고 불완전 우성의 관계도 있다는 것을 설명하는 것이 바람직하다. 이러한 과정을 통하여 학생들은 다양한 유전형와 표현형의 관계를 이해할 수 있을 것이다.

유전현상에 있어서 멘델의 유전법칙을 따르고 있지 않은 예를 소개할 필요가 있다면 달팽이의 나선 패각 방향의 결정 및 나방의 색소 결정 등과 같이 자손의 표

현형이 모계유전자에 의해 결정되는 모계유전(maternal effects), 핵 이외의 미토콘드리아, 엽록체, 플라스미드에 있는 유전자에 의해 조절되는 유전양상인 세포질 유전(cytoplasmic inheritance) 그리고 특정 대립유전자가 어떤 부모로부터 왔느냐에 따라 표현형이 결정되는 각인의 사례 등을 드는 것이 적절할 것이다.

4) 유전자의 분리

멘델은 완두의 형질들이 세대를 거듭하면서 어떻게 전달되는가를 분석하였고, 형질의 전달과정을 최초로 수학적인 기호로 표현하였다. 완두의 유전현상을 연구한 결과 부모의 형질이 자손에게 전달되는 것이 부모의 형질이 혼합되어 나타나는 것이 아니라 분리 가능한 물리적 실체인 유전요소에 의한 것이라는 것을 추론하였다. 이는 부모의 형질이 자손에게 전달될 때 부모의 형질이 혼합되어 전달된다는 당대의 일반적인 유전개념을 변화시키는데 결정적인 역할을 하였다.

부모의 표현형 중 이형접합자인 F_1 세대에서 사라졌던 특성이 F_2 세대에서는 $\frac{1}{4}$의 비율로 다시 나타난다. 여기서 유전형질을 결정하는 유전자는 짝수 개로 존재하며 생식세포 형성 시 분리되었다가 수정할 때 다시 결합하여 분리 가능한 형태로 쌍을 이루어 존재하며 다음 세대로 변함없이 계속 전달되어지는 물리적 실체라는 것을 멘델이 단성잡종실험을 통해서 처음으로 제안하였다. F_2에서 분리된 표현형의 비는 F_1의 표현형에는 관여하지 않고 숨어있던 유전자가 생식세포 형태로 다음 세대로 전달되어지면서 새로운 유전자 조합이 형성되었기 때문에 나타난다. 이를 우리는 유전자의 분리의 법칙이라 부른다.

현행 교과서는 유전자의 분리를 통한 유전형과 표현형의 관계를 설명하기 위해서 모형을 이용하고 있다(표8). 그리고 유전자의 분리의 법칙을 설명하는데 멘델 유전학에 대한 전체 지면의 29% 정도를 할애하고 있다(표6). 이는 유전형과 표현형의 관계를 나타내는 대립유전자의 우열의 관계와 중간유전에 대한 내용에 대하여 40% 정도가 할애되고 있는 것에 비하면 적은 비중을 차지하고 있다. 이러한 구성은 멘델 유전학의 핵심개념이 유전자의 분리현상이 아닌 대립유전자의 우열의

관계로 오해할 수 있다.

많은 학생들은 염색체의 행동과 멘델이 추론한 유전요소의 분리에 대해 잘 이해하지 못하고 있다. 때문에 유전자의 분리의 법칙에 대한 개념이나 의미를 이해하는데 어려워하고 있다. 현장에서 학생들을 지도하는 교사들은 과학개념을 전달하는데 있어서 가장 어려움을 느끼고 있는 단원의 하나가 멘델 유전학이라고 한다(Fineley et al., 1982). 학생들은 유전현상과 관련하여 가장 많은 오개념을 지니고 있으며(이경숙 등, 1994), 대부분의 학생들이 유전자의 분리 현상을 감수분열 시의 대립형질이나 상동염색체 분리에 대해서는 거의 인식하지 않은 채 유전학적이라기보다는 수학적 접근법에 의해 문제를 해결하고 있는 사실(이경숙 등, 1994)도 멘델 유전학의 핵심적인 개념인 분리의 법칙에 대한 의미가 확실하게 전달되지 않기 때문일 것이다. 또한 유전현상에 대한 입자설 개념보다 혼합설 개념이 많으며(강혜정 등, 2005; 이미숙 등, 2000) 멘델 유전현상을 형질의 우열관계를 중심으로 이해하려는 경향이 강하게 나타나고 있다는 연구결과(강혜정 등, 2005) 역시 교과서에서 분리의 법칙보다 우열의 법칙 중심으로 설명하고 있기 때문이라고 판단된다.

현대 유전학에서 볼 때 유전자가 생명체에서 분리 가능한 물리적 실체이기 때문에 이 성질을 이용해서 가계도를 통한 유전병의 성질을 분석해 낼 수 있었으며 이를 분리해 내서 복제도 하고 재조합 DNA 기술을 이용해서 인슐린과 인터페론 그리고 호르몬 등을 만들 수 있었다. 그리고 여러 생물들의 유전체를 발견하여 인간 유전체의 구조와 비교 분석하여 유전자의 구조와 기능을 밝혀 낼 수 있어 분자생물학의 발전을 가져왔다. 뿐만 아니라 개체군 내의 유전자 연구는 개체군 내의 유전자 분포 및 염색체의 변이를 분석하는 데 이용되고 있는 등 집단 유전학의 발전에도 기여를 하였다. 이러한 관점에서 볼 때 멘델 유전학 중에서 현대유전학의 발전에 가장 중요한 계기를 마련한 내용은 바로 유전자의 분리에 관한 것이다. 유전자의 분리 현상은 오늘날 인간의 질병의 유전 양상을 이해하고 인간 유전체를 분석하고 연구하는데 유효하고 중요한 기본적 개념이다.

멘델 유전학의 핵심 내용인 분리의 법칙이 학생들에게 잘 전달되기 위해서는 교과서의 내용이 우열의 법칙이 아닌 유전자의 분리를 중심으로 전개되어야 할 필요

성이 있다. 그리고 유전자의 분리에 대한 발견이 역사적으로 유전현상에 대한 개념의 발달과정에서 어떤 중요한 위치를 차지하고 있는지 그 역사적인 의미와 함께 멘델이 유전자의 분리에 의한 유전현상을 발견하기까지의 과학적인 탐구과정을 서술하는 것은 멘델 유전학에서 핵심 내용이 유전자의 분리현상이라는 것을 학생들에게 전달하는데 도움이 될 것이다.

5) 멘델 법칙의 의미

고대 그리스시대에서부터 멘델이 살았던 당시까지 유전현상에 대한 의문은 사람들의 관심을 끌어왔다. 하지만 유전현상에 대해서 실험으로 입증된 정확한 개념이 없었다. 멘델이 살았던 시대에는 혼합 유전설이 지배적이었다. 멘델이 완두의 특정 형질의 유전현상을 연구하여 얻어낸 결론은 형질을 지배하는 어떤 물리적인 실체가 존재하고 그 입자가 혼합되지 않고 변함없이 독립적으로 부모에서 자손세대로 전달된다는 것이었다. 이러한 멘델의 발견은 당시까지 지배적이었던 혼합 유전의 관념을 뒤집었고 생물의 유전현상에 대해 새로운 개념을 제시하였다.

또한 멘델이 살았던 당시까지 생물학은 생물 전체의 형질을 관찰하는 관찰과학에 국한되었다. 그러나 멘델은 완두의 특정 형질의 유전현상에 대한 연구를 거듭하는 과정에 원하는 방식으로 대상에 개입하여 실험을 고안하였고, 실험 결과들을 수학적으로 통계적 처리를 하여, 이를 바탕으로 생물의 형질을 결정하고 다음 세대로 전달해주는 것이 분리가능한 입자라는 것을 추론하였던 것이다. 이러한 탐구 방법은 생물현상에 대한 과학적 태도를 전환시켰을 뿐 아니라 오늘날 생명공학기술의 기초를 이루었다.

이 후 멘델이 이야기한 분리 가능한 입자가 염색체 위에 있으며 염색체를 구성하고 있는 DNA 분자라는 것이 발견되었다. 그리고 DNA의 분자 구조가 규명되었고 생물의 DNA를 분리하여 재조합함으로써 실험실에서 생물의 형질을 변형시킬 수 있는 단계에까지 이르렀다. 멘델이 추론한 유전자의 분리현상은 오늘날 집단유전학, 인간유전체학, 분자생물학, 공중보건위생학 및 생명공학 등 여러 분야의 학문

의 발달에 영향을 주었다. 이러한 의미를 살펴 볼 때, 교과서의 멘델 유전학 단원에서는 멘델 연구의 역사적 의미, 멘델이 수행한 실험 및 추론 과정, 멘델 연구의 현대적 의미 등이 중요하게 다루어질 필요가 있다.

과학 개념의 발달 역사와 학습자의 인지 발달과는 유사성이 있음이 많은 연구자들에 의해서 확인되었다(Nussbaum & Novick, 1982; Fisher, 1983; Kass & Lambert, 1983; McCloskey, 1983; Nussbaum, 1983). 고대 그리스 시대부터 19세기 멘델 시대를 거쳐 20세기말까지 유전개념의 변천 과정과 설문 조사에서 초·중·고 학생들이 유추한 유전개념을 비교 분석해 보면, 학령별 학생들의 생각과 각 시대별 과학자들의 생각과 유사함을 볼 수 있다(고정호 등, 1997). 현장 연구에서도 과학사를 접목한 수업은 학업 성취도에 매우 좋은 효과를 보인 것으로 나타났으며 학업 성취도를 지식·탐구사고력으로 분류하여 분석한 결과 지식뿐만 아니라 탐구사고력 향상에도 좋은 효과를 보인 것으로 나타났다(정배현·김희백, 2003; 강혜정 등, 2005).

과학사적 개념 발달 과정에 따른 유전개념에 대한 교수·학습 수업모형은 '유전자'에 대한 '혼합설'개념을 갖고 있던 학생들에게 개념의 오류를 스스로 확인하고 수정할 수 있는 기회를 자연스럽게 갖게 한다. 그리고 과학사를 이용한 교수·학습에서는 개념의 변천 과정을 제시하므로 학생들의 오개념을 학생 스스로 치료하게 할 수 있다(길학균·이길재, 1998). 뿐만 아니라 새로운 학설이나 개념을 보다 과학적으로 이해할 수 있게 함으로써 학습효과를 높이는 데에도 효과적인 방법이라 할 수 있다(Nussbaum, 1997).

그러나 유전현상에 대해서 처음 배우고 있는 9학년 교과서 내용에는 멘델의 유전현상에 대한 발견의 역사적 의미나 현대유전학의 발달에 미친 영향에 대하여 거의 언급하고 있지 않았다. H 교과서를 제외한 대부분의 교과는 당시의 유전개념에 대한 배경 설명이 없다(표9). 멘델이 유전현상을 발견하기까지의 과정과 멘델의 연구 결과가 코렌스, 드브리스, 체르마크에 의해 재발견되어 인정되기까지의 과정에 대한 설명만이 대부분의 교과서에 자료실 및 읽을거리 형태로 서술되어 있다(표9). 그러나 그 당시의 유전현상에 대한 사람들의 일반적인 생각인 혼합유전에 대한 역

사적인 배경에 대한 설명이 거의 없다. 또한 멘델의 탐구실험 자체의 과학적 의미를 설명하기보다 결과를 소개하는 데 치중하고 있으며, 멘델의 연구가 현대 생명과학에 미친 영향에 대한 언급도 찾아볼 수 없었다.

멘델 이전의 혼합유전에 대한 일반적 개념과 내용을 설명하고 멘델의 탐구실험 과정 및 그 결과를 통한 분리 가능한 유전자의 개념을 추론한 과정, 그리고 그것이 현대 생물학의 방향을 어떻게 바꾸었는가를 중심으로 멘델 유전학이 서술된다면 큰 분량을 차지하지 않고도 학생들이 멘델 유전학의 의미를 파악할 수 있게 될 것이다. 이러한 서술 방식은 과학적 개념과 이론을 전달하는 데 효과적일 뿐 아니라 과학 교육을 통해서 단순한 과학 지식의 전달보다는 지식을 얻기까지의 탐구 과정의 중요성과 의미를 파악하게 하는 좋은 수단이 될 것이라고 생각한다. 또한 과학 활동의 산물인 지식 자체보다는 그 지식을 창출해 내는 과학적 활동 과정을 강조하여 학생들에게 개념이나 원리를 발견하는 과정을 터득하게 하는 것을 목적으로 하는 제7차 교육과정의 과학교과의 목표에도 부합되는 것이다.

2. 생명공학

1) 과학 교과서에서의 생명공학 관련 주제

유전자 치료와 인간 복제 등 생명공학기술의 발달로 인해 야기된 윤리적인 물음에 대한 문제는 이제는 가히 세계인의 공통화두가 되었다. 우리나라에서도 1997년 '복제양 돌리' 탄생 사건 이래로 이 문제와 본격적으로 씨름하게 되었고, 현재는 황우석 박사팀에 의해 인간배아줄기세포 복제까지도 가능하게 되면서 생명공학기술로 야기될 수 있는 윤리적, 사회적 문제에 대해 많은 국민이 관심을 기울이고 있다.

생명공학 기술은 오늘날 유전자 조작 기술로 생물 더 나아가서는 인간 자체까지도 변화시킬 수 있는 단계에 이르렀다. 생명공학기술의 발달로 인하여 인간의 질병을 치료하고 삶을 연장하는 등 인류에게 많은 혜택을 주었다. 유전자 변형식품(Genetically Modified Organism, GMO), 의약품개발, 난치병 치료, 개인 신원 확인, 산전 진단, 시험관 아기, 장기 이식이 그 예이다. 그러나 이런 기술의 활용으로 인해 야기될 수 있는 윤리·사회적 문제 또한 결코 간과할 수 없는 것이 사실이다. 심각한 미숙아의 치료 및 중증장애아의 치료의 경우에는 단지 최첨단 기계적 장치와 치료에 의해 중환자의 생명은 연장되고 있지만 삶의 질과 의료비 지원 등 본인과 사회를 위해서 과연 유익한 것인가 하는 문제와 삶과 죽음에 대한 결정 문제가 적지 않은 논쟁을 일으키고 있다.

현재 우리나라는 급격히 발전하고 있는 생명과학기술에 있어서의 생명윤리 및 안전을 확보하여 인간의 존엄과 가치를 보장하고, 국민의 건강과 삶의 질 향상을 위하여 생명과학기술을 질병 치료 및 예방 등을 위하여 개발·이용할 수 있는 제도적 장치를 마련하려는 것을 이유로 생명윤리 및 안전에 관한 법률안이 통과된 상태이다. 생명공학기술이 야기하는 생명윤리 문제를 해결하기 위한 노력은 인간존엄의 '윤리'와 과학연구를 통한 '복지'를 조화시키는 방향의 사회적 합의를 바탕으로 합리적인 법적 규제책을 마련하는데 목표를 두고 있다. 과학연구의 자유를 보장

하고 생명공학을 육성해야 한다는 과학계 및 산업계와, 인간존엄의 윤리와 안전문제를 소홀히 해서는 안 된다는 종교계, 여성계 및 시민단체 사이의 간극이 여전히 상당히 벌어져 있는 등 사회적 갈등 상황이 야기되고 있다.

따라서 과학을 배우는 학교교육현장에서 이 문제들에 대해 심도 있게 생각하고 의논할 수 있는 분위기가 조성되어야 할 것이다. 또한 자신의 일이 될 수도 있는 예기치 않은 상황을 사전에 방지하기 위해 생명공학의 현재를 진단하고 미래를 예측해 봄으로써 그것이 미칠 윤리, 사회적 문제의 파장과 영향을 토론하고 그에 대한 대책을 숙고해 볼 수 있는 교육의 기회가 학교 교육 현장에서 적극적으로 제공되어야 한다. 이를 통하여 현재의 과학 기술 내용을 이해하는 동시 합리적 의사 결정 능력을 배양할 수 있을 것이다.

제7차 교육과정에 따른 국민공통기본교육과정에서 중・고등학교 과정에 해당하는 7학년에서 10학년까지의 과학 교과서 4종에서 생명공학기술 관련 내용을 조사하였다(표2). 국민공통기본교육과정의 과학교과에서는 최근의 생명공학 연구 성과나 그 활용에 대한 내용을 직접 소개하는 단원은 없었으며 생물 관련 단원에서 주로 STS 교육관련 보충 자료의 형태로 생명공학 내용을 다루고 있었다(표10).

생명공학기술 중에서 유전현상의 이해로부터 출발한 인간 배아 줄기 세포의 연구 및 질병치료, 유전자 재조합 기술(새로운 품종 개발), 인간게놈 프로젝트 및 맞춤의학 등이 9학년 과학 교과과정에 집중적으로 소개되어 있다(표10).

이들 STS 자료에서 생명공학과 관련된 자료를 모아 제시된 주제, STS 구성 요소와 활동 유형별로 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 중・고등학교 과학 교과서에 제시된 생명공학 관련 주제를 종합하면 질병의 치료(48.7%), 인공 수정(16.2%), 인간게놈 프로젝트(8.1%), 생명 복제(5.4%), 식물을 이용한 유전공학(5.4%), 기타(16.2%) 순으로 나타났다(표11). STS 구성요소의 분포를 보면 과학의 응용성을 다룬 내용(37.0%)이 가장 많았고, 다음으로는 사회적 문제(21.7%), 과학의 다차원성(15.2%)의 순서로 나타났다(표12). 그 외에 정보의 선택 및 이용(8.7%), 직업에 대한 인식(6.5%), 기타(4.6%), 지역사회와의 관련성(2.2%), 실제문제의 협동작업(2.2%)을 다루고 있었다(표12). STS 활동 영역 가운데에는 결과 토론(31.3%)과

조사활동(21.6%)이 가장 많았으며 단순히 생명공학기술의 유용성을 소개하는 내용이 29.4%에 달하였다. 그 밖에 문제 해결 및 의사결정(7.8%), 사례 연구(3.9%), 역할 놀이, 자료 분석, 실제 활동(2.2%)순으로 나타났다(표13). 모의 실험과 연구 설계에 관한 내용은 전혀 없었다.

종합하면, 중・고등학교 과학 교과서에 수록된 대부분의 생명공학 관련 STS 자료의 내용이 인간의 질병 치료과정에 중복・집중되어 있어 학생들에게 폭넓은 생명공학기술의 응용분야를 소개하지 못하고 있었다. 또한 생명공학기술이 인간의 질병을 치료하고 수명을 연장하는 등의 긍정적인 효과에 관해서는 구체적인 사례를 제공하면서 비교적 자세한 내용을 기술하고 있는 반면, 기술이 적용되는 과정에서 선결되어야 할 과제 혹은 부정적인 측면에 대해서는 '문제점을 논의해 보자' 또는 '조사해 보자' 정도로 다루는 것에 그치고 있었다.

생명공학 관련 단원이 따로 편성되어 있지 않은 상황에서 STS 자료의 형태로나마 현실 생활과 밀접한 관계가 있는 생명공학 분야의 다양한 모습을 소개하고, 기술의 긍정적인 측면뿐만 아니라 부정적인 측면도 구체적으로 생각해 볼 수 있는 기회를 제공하는 것이 중요하다. 그러나 교과서에 수록된 생명공학기술 관련 내용은 대부분 토론과 단순한 서술, 그리고 조사활동이 대부분이었다. 학생들이 생명공학관련 기술에 대해 정확히 이해하고 올바른 판단과 가치관을 정립할 수 있도록 하기 위해 그 밖의 실제 활동, 문제 해결이나 의사 결정, 사례 연구, 역할 놀이 등의 다양한 교육활동을 첨가시켜야 하겠다. 이러한 노력을 통하여 학생들이 과학 교과과정을 이수하는 동안 자유로운 의사결정능력과 가치판단능력을 함양하고 첨단과학기술사회를 합리적이고 현명하게 살아갈 수 있는 능력을 향상시킬 수 있을 것이다.

참고문헌

강만식, 정창희, 이원식, 한인섭, 박은호, 이창진, 김일회, 장병기, 정병훈, 윤용, 이태욱, 한천옥(2004). 중학교 과학3. (주)교학사.

강혜정, 동효관, 김경호, 이길재(2005). 과학사를 이용한 교수 학습 전략이 유전 개념 이해에 미치는 효과. 한국생물교육학회지, 33(2), 223-234.

고정호, 길학균, 이길재(1997). 유전개념의 역사적 변천과 학생들의 유전개념 발달의 비교 연구. 학국생물교육학회지, 25(2), 127-142.

교육부(1997). 과학과 교육과정 해설. 대한교과서(주).

교육부(1997). 과학과 교육과정. 제7차 교육과정 교육부 고시 제1997-15호(별책9).

김정률, 고현덕, 김재현, 김남일, 임용우, 동효관, 김선주, 남철주, 김영순, 이준용(2003). 중학교 과학3. (주)블랙박스.

김찬종, 김희백, 박시진, 오차환, 양재철, 장홍식, 정진문, 조현수, 최후남, 한송희, 현종오, 홍경희(2003). 중학교 과학3. (주)도서출판 디딤돌.

김찬종, 서만석, 김희백, 심재호, 현종오, 한인옥, 권성기, 박성식(2002). 고등학교 과학. (주)도서출판 디딤돌.

김희백(2004). 초・중등 생물교육과정의 발전적 접근:초・중등 생물교육과정의 내용과 조직 체계를 중심으로. 2004년도 한국생물교육학회 하계학술대회.

민진선, 박지영, 김희백(2004). 유전과 진화에 관한 학생의 대안 개념 분석. 한국생물교육학회지, 32(2), 158-172.

박봉상, 김윤우, 홍달식, 박문수, 정대영, 심국석, 심중섭, 최진복, 장정찬, 최병수, 진만식(2004). 중학교 과학3. (주)동화사.

박희주(2000). 새로운 유전학과 우생학. 한국생명윤리학회지, 1(2), 113-121.

이경숙, 이길재, 정완호(1994). 중학교 학생들의 멘델유전에 관한 오개념 연구. 한국생물교육학회지, 22(1), 25-35.

이면우, 장병기, 고재덕, 윤상학, 이진승, 여상인, 김홍석, 임채성, 배진호, 백승용, 이성진, 최변각(2003). 고등학교 과학. (주)지학사.

이문원, 전성용, 최병수, 권석민, 노태희, 허성일, 김출배, 강석진, 박희송, 김경호, 김규상, 채광표, 김진만, 정대영(2002). 고등학교 과학. (주)금성출판사.

이미숙, 김경호, 이길재(2005). 과학사적 진화 개념 변화 촉진 요소에 대한 학생들의 개념 분석. 한국생물교육학회지, 33(3), 291-321.

소현수, 안태인, 최승언, 박건식, 목창수, 김종권, 김득호, 구수길, 박완규, 김완섭, 김영산, 이미하(2004). 중학교 과학3. (주)두산.

정배현, 김희백(2003). 과학사 프로그램의 개발 및 고등학교 과학 수업에의 적용 효과. 한국생물교육학회지, 31(1), 94-104.

정완호, 권재술, 김대수, 김범기, 신영준, 우종옥, 이길재, 정진우, 최병순, 황원기(2002). 고등학교 과학. (주)교학사.

조희형(1995). STS의 의미와 STS 교육의 속성. 한국과학교육학회지, 15(3), 371-378.

최경희, 김숙진(1996). 과학교과서 선정과 평가에 관련된 교사들의 인식 조사와 과학 교과서 평가틀 개발에 관한 연구. 한국과학교육학회지, 16(3), 303-313.

최경희(1997). 중학교 과학 교과서에 포함된 과학-기술-사회(STS) 내용, 활동 유형 및 포함 정도 분석. 한국과학교육학회지, 17(4), 425-433.

최경희, 조희형(2000). 과학의 윤리적 특성 교수-학습의 절차와 주제. 한국생물교육학회지, 28(4), 418-424

최기철, 강영선, 이영노, 주일영, 하두봉(1971). 일반생물학. 향문사(주), 서울.

최돈현, 김동영, 김봉래, 김재영, 노석구, 신영준, 이기영, 이대형, 이면우, 이명제, 이상인, 전영석(2003). 중학교 과학3. (주)도서출판 대일도서.

Campbell et al(2004). Biology-concepts & connections. Life Science Publication Co, 131-135.

Cho, H., Kahle, J.,& Nordland, F.(1985). An Investigation of High School Biology Textbooks as Sources of Misconceptions and Difficulties in Genetics and Some Suggestions for Teaching Genetics. *Science Education*, 69(5), 707-719.

Daniell. Hartl et. al(2004). Essential Genetics A Genomics Perspective. World Science, 39-43.

Finley, F. N., Stewart, J., & Yarroch, W. L.(1982). Teachers' perception of important and difficult science content. Science Education, 66(4), 535-538.

Fisher, K. M.(1983). Amino acids and translation: A misconception in biology. In H. Helm and J. D. Novak(Chairs), *Proceedings of the Intermational Seminar on Misconceptions in Science and Mathematics,* Cornell University, 407-419.

Kass, H. and Lambert, P.(1983). Student preconceptions in introductory high physics as related to course achievement. In H. Helm and J. D. Novak(Chairs), *Proceedings of the International Seminar on Misconcepions in Science and Mathematics,* Cornell University, 374-387.

Mayr E. The Growth of Biolocal Thought: Diversity, Evolution, and Inheritance. Harvard University Press, USA, 1982.

McCloskey, M. (1983). Intuitive physics. *Sceintific American*, 248-130.

Mendel, G. (1866) Versuche uber Plfanzenhybriden. Verhandlungen des natruforschenden Vereines in Bmunn, Bd. IV fur das Jahr 1865, Abhandlungen, 3-47. [English translation by Bateson, W. & Blumberg R. Experiments in Plant Hybridization. http://www.netspace.org/MendelWeb/].

Moore, J, A. Science as a Way of Knowing: The Foundations of Modern Biology. Harvard University Press, USA, 1993.

Nussbaum, J. and Novick, S.(1982). A study of conceptual change in the classroom. A paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Reacher in Science Teaching, Lake Geneva, Wisconsin

Nussbaum. J.(1983). Classroom conceptual change: The lesson to be learned from the history of science. In H. Helm and J. D. Novak(Chairs), Proceedings of the International Seminar on Misconceptions in Science

and Mathematics, Cornell University, pp. 272-281.

Nussbaum, J.(1997). History and philosophy of science and the preparationfor constructivist teaching:the case of particle theory. In Teaching Science for Understanding. Mintzes, J.J., Wandersee, J.H and Novak, D.(Eds). New York:Academic Press.

Hunt, A. (1988). SATIS approaches to STS. International Journal of *Science Education*, 10(4), 409~420.

Robert H. Tamarin(2003). Principles of genetics. Life Science Publication Co, 18-27

Robert H. Tamarin(2003). Principles of Genetics. Life Science Publication Co, 18-39.

Yager, R. E. (1984). Toward new meaning for school science. *Educational Leadership*, 41(4), 12-18.

Yager, R. E. (1989). A rationale for using personal relevance as a science curriculum focus in schools. *School Science and Mathematics*, 89(2), 144-156.