



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

2011 년 2월
석사학위논문

예쁜꼬마선충(*Caenorhabditis*
elegans)을 이용한 멘델의
유전 법칙 탐구 모듈 개발

조선대학교 대학원

자연교육학과

임 용 운

예쁜꼬마선충(*Caenorhabditis
elegans*)을 이용한 멘델의
유전 법칙 탐구 모듈 개발

Development of Inquiry-Mendel's laws of
Inheritance Modules using *Caenorhabditis elegans*.

2011년 2월 25일

조선대학교 대학원

자연교육학과

임 용 운

예쁜꼬마선충(*Caenorhabditis
elegans*)을 이용한 멘델의
유전 법칙 탐구 모듈 개발

지도교수 조 정 훈

이 논문을 이학석사학위신청 논문으로 제출함

2010년 10월

조선대학교 대학원

자연교육학과

임 용 운

임용운의 석사학위논문을 인준함.

위원장 조선대학교 교수 이 용 보 (인)

위 원 조선대학교 교수 조 은 희 (인)

위 원 조선대학교 교수 조 정 훈 (인)

2010년 11월

조선대학교 대학원

목 차

표 목차	II
그림 목차	V
ABSTRACT	VII
I. 서론	1
A. 연구의 필요성과 목적	1
B. 연구 문제	3
C. 연구의 제한점	3
II. 이론적 배경	4
A. 순환학습모형	4
B. 멘탈의 유전 법칙 고찰	5
C. 예쁜꼬마선충(<i>Caenorhabditis elegans</i>)의 특성	10
III. 연구 방법 및 절차	17
A. 연구 절차	17
B. 탐구 모듈의 개발 과정	18
IV. 연구 결과 및 논의	21
A. 예비 탐구 모듈 개발	21
B. 최종 탐구 모듈 개발	41
V. 결론 및 제언	53
VI. 참고문헌	54
부록	56

표 목차

<표 1> 예쁜꼬마선충의 온도별 발달 차이	12
<표 2> 카이제곱 표	19
<표 3> 멘델의 유전 법칙 탐구 모듈 개발을 위해 확보된 돌연변이의 특징	22
<표 4> <i>dpy-5</i> 자웅동체 선충과 야생형 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과	25
<표 5> <i>dpy-5</i> 자웅동체 선충과 야생형 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과의 카이제곱 검정	25
<표 6> 잡종 제 2세대의 관찰 결과에 대한 야생형 표현형 선충과 <i>dpy-5</i> 표현형 선충의 비	25
<표 7> <i>dpy-13</i> 자웅동체 선충과 야생형 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과	26
<표 8> <i>lon-2</i> 자웅동체 선충과 야생형 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과	26
<표 9> <i>rol-4</i> 자웅동체 선충과 야생형 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과	27
<표 10> <i>dpy-13</i> 자웅동체 선충과 야생형 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과의 카이제곱 검정	27
<표 11> <i>lon-2</i> 자웅동체와 야생형 수컷의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과의 카이제곱 검정	27
<표 12> <i>rol-4</i> 자웅동체와 야생형 수컷의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과의 카이제곱 검정	28

<표 13> 잡종 제 2세대의 관찰 결과에 대한 야생형 표현형 선충과 <i>dpy-13</i> 표현형 선충의 비	28
<표 14> 잡종 제 2세대의 관찰 결과에 대한 야생형 표현형 선충과 <i>lon-2</i> 표현형 선충의 비	28
<표 15> 잡종 제 2세대의 관찰 결과에 대한 야생형 표현형 선충과 <i>rol-4</i> 표현형 선충의 비	29
<표 16> 독립의 법칙 예비 실험을 위한 이중돌연변이 형성에 사용 가능 여부	30
<표 17> 독립의 법칙 예비 실험을 위한 이중 돌연변이 조합 목록	31
<표 18> <i>dpy-5</i> 자웅동체 선충과 <i>bli-1</i> 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과	31
<표 19> <i>dpy-5</i> 자웅동체 선충과 <i>bli-1</i> 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과의 카이제곱 검정	32
<표 20> <i>dpy-13</i> 자웅동체 선충과 <i>bli-1</i> 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과	33
<표 21> <i>dpy-13</i> 자웅동체 선충과 <i>bli-1</i> 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과의 카이제곱 검정	34
<표 22> <i>bli-1</i> 자웅동체 선충과 <i>lon-2</i> 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과	35
<표 23> <i>bli-1</i> 자웅동체 선충과 <i>lon-2</i> 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과의 카이제곱 검정	36
<표 24> <i>bli-1</i> 의 발현 실험 결과	37
<표 25> <i>lin-15</i> 자웅동체 선충과 <i>bli-1</i> 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과	38

<표 26> <i>lin-15</i> 자용동체 선충과 <i>bli-1</i> 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과의 카이제곱 검정	39
<표 27> 학생들의 설문지 문항별 평가 결과	41
<표 28> 예쁜꼬마선충의 관찰 탐구 실험의 세부 활동	46
<표 29> 우성과 열성 형질의 판별 탐구 실험의 세부 활동	47
<표 30> 분리의 법칙 탐구 실험의 차시별 주제와 세부 활동	49

그림 목차

<그림 1> 순환학습모형	5
<그림 2> 둥근 완두(순종)와 주름진 완두(순종)의 교배 결과	7
<그림 3> 둥근 완두(순종)와 주름진 완두(순종)의 잡종 제 세1대(둥근 완두) 자화 수분 실험 결과	8
<그림 4> 둥글고 황색 완두(순종)와 주름지고 녹색 완두(순종)를 교배하고 잡종 제 1세대를 자화 수분 시킨 결과(이성묵 등, 2004)	9
<그림 5> 예쁜꼬마선충 자웅동체(크기 막대 0.1 mm)(Hall & Altun, 2008)	11
<그림 6> 예쁜꼬마선충 수컷(크기 막대 0.1 mm)(Hall & Altun, 2008)	11
<그림 7> 예쁜꼬마선충의 생활사(Hall & Altun, 2008)	13
<그림 8> 예쁜꼬마선충의 발달 단계 및 성별(크기 막대 0.1 mm)	15
<그림 9> wormbase	16
<그림 10> CGC	16
<그림 11> 연구 절차	17
<그림 12> 야생형 자웅동체와 수컷 예쁜꼬마선충	22
<그림 13> 돌연변이 자웅동체 예쁜꼬마선충	23
<그림 14> 자궁이 터져 밖으로 돌출된 <i>dpy-5</i> 와 동일한 표현형의 선충	32
<그림 15> <i>bli-1</i> 과 <i>lon-2</i> 돌연변이 선충의 이중 돌연변이	35
<그림 16> <i>bli-1</i> 과 <i>lin-15</i> 돌연변이 선충의 이중 돌연변이	38

<그림 17> 예비 탐구 모듈	40
<그림 18> 예쁜꼬마선충의 관찰(1~4쪽)	44
<그림 19> 예쁜꼬마선충의 관찰(5~8쪽)	45
<그림 20> 예쁜꼬마선충의 관찰(9쪽)	46
<그림 21> 우성과 열성 형질의 판별 탐구 실험(1~2쪽)	48
<그림 22> 분리의 법칙 탐구 실험(1~3쪽)	50
<그림 23> 예쁜꼬마선충과 노벨상(읽을거리)	52

ABSTRACT

예쁜꼬마선충(*Caenorhabditis elegans*)을 이용한 멘델의 유전 법칙 탐구 모듈 개발

Yong Un Lim

Advisor : Prof. Hoon Jeong Cho

Major in Science Education

Graduate School of Chosun University

The purpose of this study was to develop inquiry-Mendelian Genetics experiment module using *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*). First, we searched *C. elegans* mutants suitable for the module development by their phenotypes. In collaboration with CGC (*C. elegans* Genomic Center), the proper mutants were selected for the system and a preliminary module was developed. The preliminary module was evaluated by experts and by 12 college students in third years of science education in C University. After the trial, the module was revised and supplemented for the final inquiry experiment module. This module is consisted of 5 class hours, observation of *C. elegans*, identification of dominant and recessive trait, law of segregation. Advantages of the module are; 1. Overcome of lack of genetic experimental material, 2. Shorter class hours than a previous experiment module, and 3. Accomplishment of enhanced inquiry ability by the inquisition process as well as genetic concept. Even though this module is effective for Mendelian Genetics, there is still a progress of the module for the law of independence. Therefore, further research is required for improving the inquiry experiment and also effectiveness on the conceptual changes of genetics in school.

I. 서론

A. 연구의 필요성 및 목적

과학 지식은 과학적 실험을 바탕으로 구성되고 정당화된다. 실험은 새로운 사실의 발견과 기존 지식의 예증을 위한 활동이며, 가설의 검증을 위한 과정이다. 또한 실험은 과학의 고유한 탐구방법이면서 교육 현장에서 반드시 필요한 교수전략이자 학습수단이기도 하다. 대부분의 과학의 학습 주제는 그 실례나 관련된 현상을 직접 또는 간접적으로나마 보여주지 않고 말로만 전해서는 학생들이 이해하기 어렵다(김찬중 외, 2007). 조희형과 박승재(2001)는 실험을 통해 과학지식을 획득하고 이해하며, 과학의 본질에 대해 이해하며, 과학적 태도를 함양하고, 과학적 탐구력을 배양할 수 있다고 하였다. 이렇게 실험은 현대의 과학적 연구뿐만 아니라 교육 현장의 교수·학습을 위해서도 반드시 필요한 수단이 된 것이다.

그러나 현재 학교 실험에서 가장 많은 부분을 차지하고 있는 것은 확인실험으로, 대체로 과학 개념이나 법칙을 학습하고 이를 통한 구체적 경험만을 얻게 된 실험이다(김희경, 2003). 과학에 대한 올바른 이해와 효과적인 과학학습을 위해 학생들은 확인 실험 이외의 다양한 실험활동을 경험할 필요가 있다(김희경·송진웅, 2003). 과학의 본질적인 이해를 위해 탐구 중심의 과학 교육이 강조되고 있는 시점에서 무엇보다 과학자가 하는 탐구 활동을 직접 체험하면서 탐구 능력이 배양될 수 있는 탐구 과정의 필요성이 절실하다(장미영 등, 2007). 탐구 중심의 과학 교육이 구호로만 그칠 뿐 실제의 과학 교육 현장에서 제대로 이행되지 못하는 것은 개념 확인 실험에서 벗어나, 과학적 탐구 방법을 통해 과학을 이해하기 위해 수업에서 쉽게 활용할 수 있는 탐구 활동 자료가 부족하기 때문이다(문두호 등, 2006). 특히 최근 커다란 발전이 이루어진 유전 분야에서는 새로운 발견들이 모두 실험을 통해 이루어졌음에도 불구하고 고등학교 교과과정에는 초파리의 돌연변이 관찰 실험을 제외하고는 탐구 학습이 거의 없는 실정이다. 더구나 학교 실험 수업은 과학 탐구 요소를 위주로 한 단편적인 활동 혹은 지식 확인 실험에 국한된 경우가 대부분이다(정은영·심재호, 2007). 따라서 학생들이 직접 실험을 통해 과학의 지식과 과학적 탐구 방법, 과학적인 태도를 향상시킬 수 있는 모듈의 개발이 요구된다.

이와 같이 과학적 탐구의 중요성을 고려하여 최근에 생명과학 영역에서 실험을 통한 많은 탐구 모듈이 개발되었다. 이재기 등(2007)은 초파리를 이용한 탐구 모듈을 개발하여 초파리 돌연변이체를 이용한 유전 심화 학습 프로그램을 중학교 과학 영재에게 적용시켜 과학 탐구력과 창의성 향상에 효과가 있었고 학생들의 동기성 부분이 향상되었다는 것을 검증하였다. 장현숙과 김성하(2008)도 속성배추를 이용한 탐구 모듈을 개발하고 적용한 결과 학생들의 과학에 관련된 태도와 개념변화, 과학 탐구 능력이 모두 향상되어 유의미한 효과를 나타내었음을 확인했다. 또한 최선 등(2008)은 대장균 형질 전환 탐구 모듈을 개발하고 고등학생에게 적용하여 학생들이 내용에 대한 이해와 성취도가 향상된 것을 검증하였다. 그러나 이러한 탐구 모듈은 실험 소재가 학생들이 다루기 어려우며 생활사가 길어 실험에 많은 시간이 필요하고 관찰이 어렵다는 단점이 있다.

최근 다양한 생물학 연구에 이용되고 있는 모델동물인 예쁜꼬마선충 (*Caenorhabditis elegans*)은 이러한 단점을 극복할 수 있는 유익한 교육 실습 소재다. 예쁜꼬마선충은 토양에서 서식하고 박테리아를 먹이로 하는 선충의 일종으로 길이는 약 1 mm 정도이고 몸통이 투명한 동물이다. 예쁜꼬마선충의 생활사는 20℃의 환경에서 3일 정도로 완두나 속성배추보다 더 짧은 생활사를 가진다. 10일 정도의 생활사를 가진 초파리보다도 짧아 실험 기간이 많이 단축된다. 또한 예쁜꼬마선충은 실체현미경을 통해 관찰과 조작이 가능하며 학생들이 쉽게 다룰 수 있다. 그리고 자웅동체와 수컷의 두 가지 성을 나타내어 교배가 쉬어 유전학 실험 소재로 매우 좋다. 이렇게 다른 실험재료보다 많은 장점을 가지고 있는 예쁜꼬마선충은 생명과학 영역의 탐구 모듈 개발에 유용하게 이용 될 수 있을 것이다.

이 연구에서는 예쁜꼬마선충을 이용하여 멘델의 유전 법칙에 대한 탐구 모듈을 개발하였다.

B. 연구 문제

이 연구에서는 교육 현장에서 학생들이 스스로 과학적 탐구 과정을 통해 멘델의 유전 법칙 실험에 대한 올바른 개념을 학습하고 탐구 능력을 배양할 수 있는 예쁜꼬마선충(*Caenorhabditis elegans*)을 이용한 탐구 모듈을 개발하고자 다음과 같은 연구 문제를 설정하였다.

첫째, 탐구 모듈 개발에 필요한 야생형과 돌연변이 예쁜꼬마선충을 조사하고 확보한다.

둘째, 확보한 예쁜꼬마선충들을 이용하여 실험을 통해 멘델의 유전 법칙 탐구 실험에 적합한 돌연변이 선충을 선별한다.

셋째, 선별된 돌연변이 예쁜꼬마선충을 이용하여 순환학습모형을 기반으로 멘델의 유전 법칙 탐구 모듈을 개발한다.

C. 연구의 제한점

이 연구의 제한점은 다음과 같다.

첫째, 이 연구에서는 의해 개발된 예쁜꼬마선충을 이용한 멘델의 우성과 열성 형질의 판별과 분리의 법칙에 대한 탐구 실험은 개발되어 포함되어 있지만 독립의 법칙에 대한 탐구 실험은 아직 연구 중에 있어 포함되어 있지 않다.

둘째, 이 연구를 진행하는 과정에 예비 탐구 모듈을 교육 현장에 적용하고 설문지를 통해 학생들의 의견을 조사하였다. 그러나 이 조사는 최종 탐구 모듈을 개발하는데 완성도를 높이기 위해 실시된 것으로 적용 결과를 일반화하기에는 제한이 따른다.

II. 이론적 배경

A. 순환학습모형

순환학습모형은 피아제의 자율조절기능이론을 바탕으로 SCIS(Science Curriculum Improvement Study)의 카플러스가 처음 개발하였다. 이는 과학의 기본 개념학습과 인지발달의 촉진을 위해 도입한 학습모형이다. 순환학습은 학습자에게 인지적 갈등을 느끼게 하고, 학습자 스스로 관찰과 실험을 통한 탐구 활동에 의해 갈등의 해소로 새로운 지식을 학습할 수 있게 한다. 이러한 학습 과정은 학습자에게 창의적 사고를 경험하게 하고 탐구 능력의 신장에 기여할 수 있다.

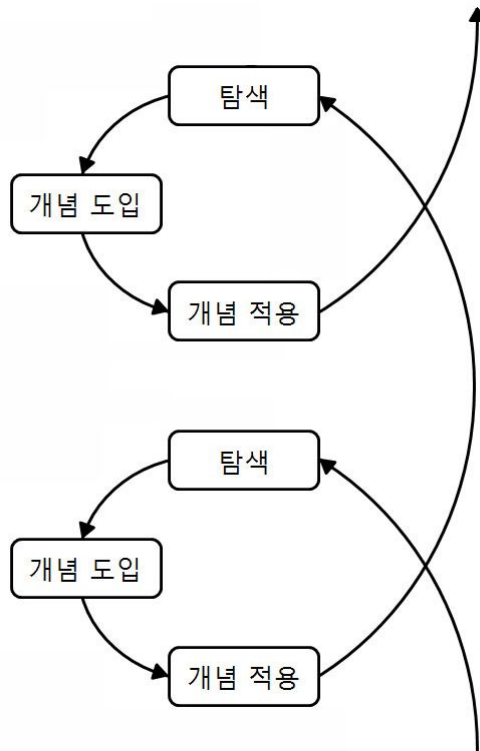
순환학습모형은 탐색과 개념도입, 개념적용의 세 단계로 구성되어 있다. 이 세 단계는 <그림 1>과 같이 탐구 - 개념도입 - 개념적용의 순서로 하나의 주기를 형성하고 여러 주기가 나선의 형태로 줄줄이 이어져 있다. 순환학습은 학습자가 스스로 탐색을 통해 새로운 개념을 발견하면 교사는 과학적 개념을 도입하여 학습자가 올바른 과학 개념을 학습 할 수 있도록 돕고 학습한 새로운 개념을 다양한 상황에 적용하여 안정화시키는 과정으로 되풀이된다.

탐색 단계는 순환학습에서 가장 중요한 단계로 학습자가 인지적 갈등을 느끼고 스스로 해결하며 자신의 언어로 기술하고 표현하는 과정을 거친다. 학습자는 인지적 갈등을 경험하면 이 갈등을 해소하기 위하여 강력한 내적 욕구를 가지게 된다. 따라서 학습자는 스스로 여러 탐구 활동을 통해 경향성을 발견하는 경험을 하게 되고 자신만의 언어로 표현하는 사고과정을 경험하게 된다. 이때 교사는 반드시 안내하는 역할만 해야 한다.

개념 도입 단계는 학습자의 인지적 갈등이 해소되는 단계로 교사의 역할이 중요하다. 탐색 단계를 바탕으로 학습자의 표현과 과학적 개념을 연계하여 다양한 교수 과정으로 올바른 개념이 도입될 수 있도록 한다. 그러나 학습자는 인지적 갈등이 완전히 해소되지 않고 비평형 상태로 지속 될 수 있다. 따라서 새로운 상황에 적용하여 완전해 해소해야 한다.

개념 적용 단계에서는 학습한 개념을 새로운 상황에 노출시켜 알지 못했던 현상을 설명하고 이해하는 심화과정이다. 학습자는 이 과정을 통해 다양한 상황이나 현

상을 이해하고 설명할 수 있다.



<그림 1> 순환학습모형

B. 멘델의 유전 법칙 고찰

오늘날의 유전학은 오스트리아의 수도사였던 멘델(Gregor Mendel, 1822~1884)의 유전 연구에서 시작되었다. 멘델은 1856년부터 8년간에 걸쳐 완두콩을 사용한 교배 실험을 수행했다. 이 결과를 1865년 학회에 발표했고, 그 다음해에 ‘식물 잡종에 관한 연구’(1866)라는 논문으로 출판하였다. 이 논문에 제시된 유전의 기본원리가 나중에 ‘멘델의 유전법칙(Mendelism)’이라고 불리게 된다. 이러한 노력에도 불구하고 멘델의 연구는 34년이 지난 1900년이 될 때까지 그 가치를 인정받지 못하였다.

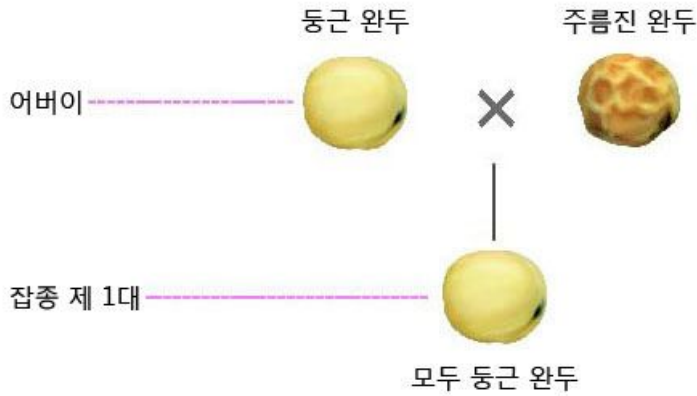
하지만 1900년에 3명의 식물학자인 네덜란드의 브리스(Hugo de Vries, 1848~1935)와 독일의 코렌스(Carl E. Correns, 1864~1933), 오스트리아의 자이제네크(Erich Tschernak von Seysenegg, 1871~1962)가 각각 연구를 하던 중 부모로부터

자식으로 형질이 전달되는 원리를 발견하고 비로소 멘델의 연구 결과가 매우 중요한 가치를 지니고 있음을 재발견하였다.

멘델이 유전 연구 결과를 발표했을 때, 멘델은 불연속적인 변이에 대한 원리를 제시하였지만, 많은 생물학자들은 주로 연속적인 형태로 나타나는 키와 머리의 크기, 수명에 관해 측정할 수 있는 특징의 유전을 설명하는데 관심이 있었다. 그리고 멘델이 주장한 유전물질로 생각되는 물질을 확인하지 못했으며 당시 서술적인 연구방법에 익숙해 있었던 생물학자들은 멘델이 제시한 수학적 연구 방법에 익숙하지 않았다. 이러한 이유들로 사람들은 그의 탁월한 연구에 관심을 보이지 않았던 것이다. 그러나 1900년대 멘델의 유전 법칙이 재발견되면서 많은 사람들이 멘델의 업적을 인정하고 과학 기술의 발달과 여러 연구가 활발히 진행되면서 멘델의 법칙을 입증하였다.

멘델은 완두를 연구 재료로 선택하여 8년에 걸쳐 실험을 수행하였다. 멘델이 연구 재료로 완두를 선택한 이유는 기르기 쉽고, 주위 환경에 강하고 성장이 빨라 상대적으로 짧은 생활사를 갖으며 불연속적인 특징을 가져 다른 변이들 간에 차이가 분명하여 유전 현상을 관찰하기 매우 수월하였다. 그리고 완두의 구조 때문에 자가수분과 타가수분을 인위적으로 조절하는 것이 쉬웠다. 이런 장점을 가진 완두를 2년 동안 동형을 확인할 때까지 교배하며 길러 7가지의 특징을 가진 순종 가계를 만들었다. 멘델이 관찰한 7가지 특징은 완두의 씨의 모양(둥근형과 주름진형)과 씨의 색깔(황색과 녹색), 씨 껍질의 색깔(갈색과 흰색), 콩각지 모양(매끈한형과 잘록한형), 콩각지의 색(녹색과 황색)꽃의 위치(잎겨드랑이와 줄기의 끝), 줄기의 키(큰 키와 작은 키)에 대한 것이다.

멘델의 유전 법칙은 분리의 법칙과 독립의 법칙으로 대별된다. 멘델이 선택한 7가지 특징에 각 형태는 교배를 통해 또 다시 두 분류로 나뉜다. 7가지 특징 중 한 가지 특징에 대한 서로 형태의 두 순종을 교배하면 잡종 제1세대(F1)가 나오는데 이때 잡종 제1세대에서 관찰이 되는 형태를 우성이라 하며, 관찰이 되지 않는 형태를 열성이라 하였다(그림 2). 즉, 짝을 이루고 있는 유전형질이 서로 다른 특징을 가지는 형질이 각각 하나씩 모여 짝을 이룰 때 우성의 형질이 표현이 되고 열성의 형질은 표현이 되지 않는 것이다.

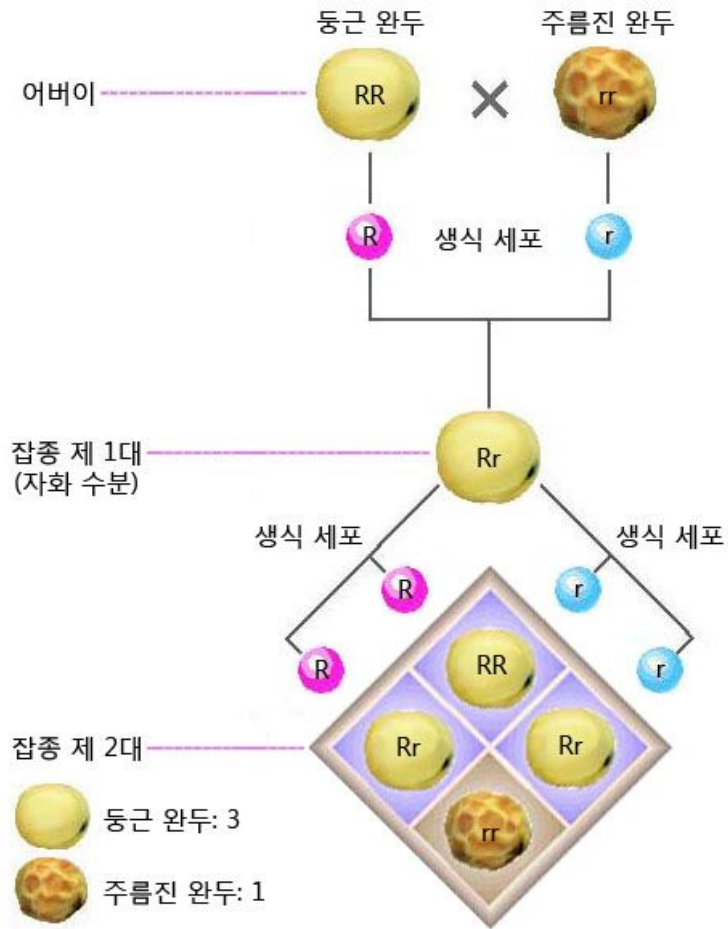


<그림 2> 동근 완두(순종)와 주름진 완두(순종)의 교배 결과

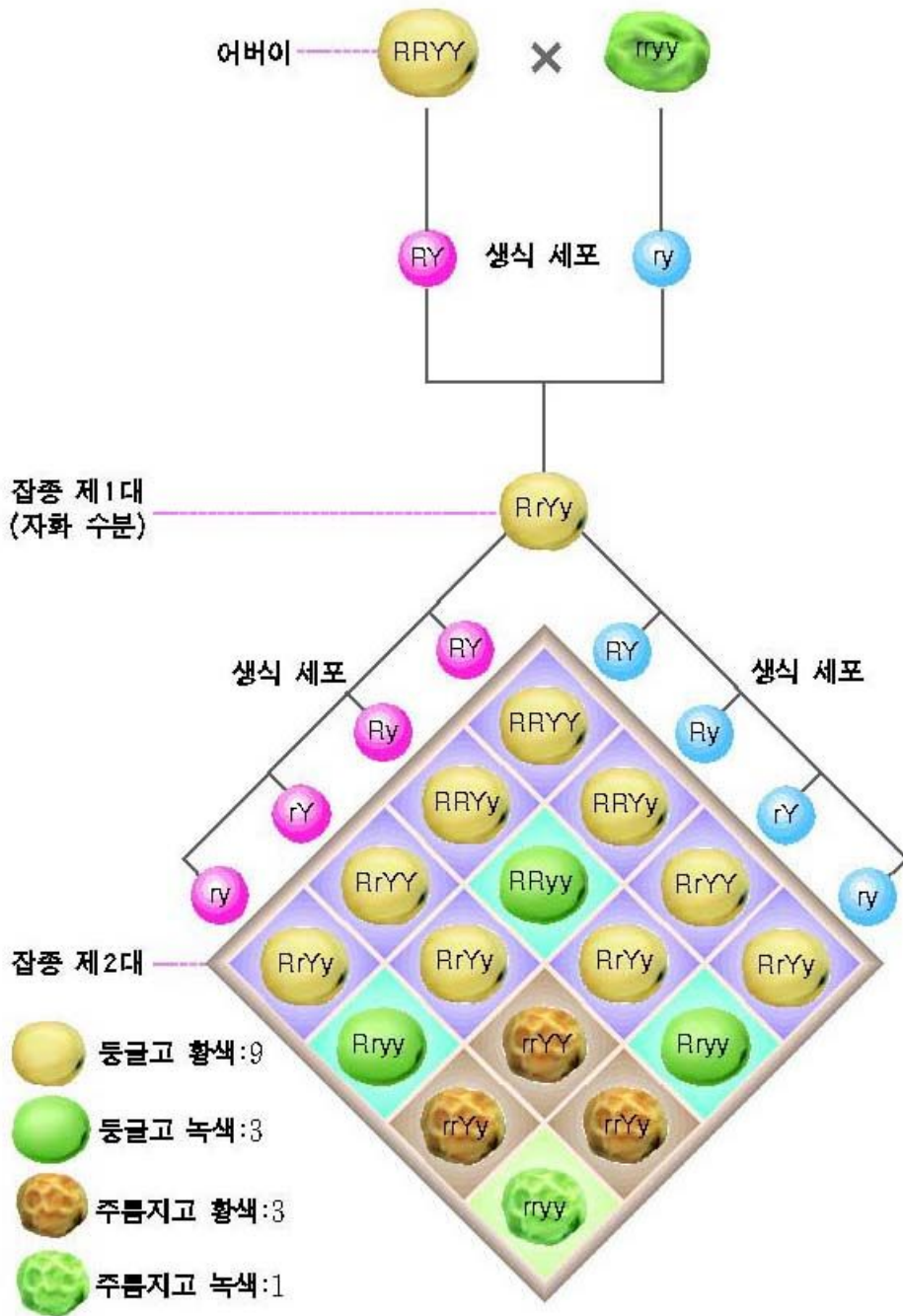
그리고 멘델은 이러한 교배 실험을 통해 각 식물은 두 개의 결정소(유전자)를 가지고 있다고 가정하였다. 두 순종을 교배하여 잡종 제1세대에서 1가지 형질만 나타났지만, 잡종 제1세대를 자가수분 시켰을 때 잡종 제 1세대에서 나타나지 않았던 다른 순종의 형질이 잡종 제 2세대에서 나타났다. 멘델은 이와 같은 현상은 아버지로부터 각각 한 쌍의 대립유전자 중 하나씩 물려받아 하나의 접합자를 형성하여 두 개의 대립유전자를 복원되고, 생식세포가 형성이 될 때는 쌍을 이루고 있던 대립유전자가 다시 하나씩 나누어져 분배가 된다고 하였다. 잡종 제2세대에서 열성 형질이 나타난 것은 잡종 제1세대가 자가 수분되면서 물려받은 2개의 대립유전자가 모두 열성 형질의 대립유전자이기 때문이다. 이와 같은 현상을 분리의 법칙이라고 한다(그림 3).

또한 여러 특징들이 다른 특징에 대해 서로 영향을 미치지 않고 독립적으로 다음 세대에 전달되는 것을 독립의 법칙이라 한다. 예를 들어 한 번에 완두의 씨앗 모양과 색깔에 대한 두 가지 형질의 유전양상을 분석한 결과 잡종 제1세대와 잡종 제2세대에서 나타난 각각의 두 가지 형질에 대한 비는 두 유전자가 독립적으로 유전될 때 기대되는 결과와 같았다(그림 4).

이와 같은 멘델의 연구결과는 유전학의 토대를 마련하였고, 멘델의 유전 법칙은 유전 과정에 대한 이해를 위해서는 반드시 알아야 하는 부분이 되었다.



<그림 3> 둥근 완두(순종)와 주름진 완두(순종)의 잡종 제 1세대(키 큰 완두) 자화 수분 실험 결과



<그림 4> 둥글고 황색 완두(순종)와 주름지고 녹색 완두(순종)를 교배하고 잡종 제 1세대를 자화 수분 시킨 결과(이성목 등, 2004)

C. 예쁜꼬마선충(*Caenorhabditis elegans*)의 특성

1. 예쁜꼬마선충(*Caenorhabditis elegans*)의 특징

예쁜꼬마선충은 흙 속에서 세균을 잡아먹고 사는 토양 자생 선충으로 1974년 영국의 생물학자 시드니 브래너에 의해 모델동물로 채택되었다. 다리나 눈, 체절이 없고 감각기관을 통해 온도와 촉감, 냄새를 감지한다. 예쁜꼬마선충은 작고 빠르게 크는 장점을 가지고 있고 실험실에서 쉽게 배양이 가능한 대장균을 먹이로 하여 기르기가 매우 수월하다. 예쁜꼬마선충은 자웅동체(그림 5)와 수컷(그림 6)의 두 가지 성을 가진다. 자웅동체는 자가 수정을 통해 약 300개의 알을 낳으며 수컷과 교미를 하면 약 600개의 알을 낳을 수 있다(Brenner, 1974).

예쁜꼬마선충은 5개의 상염색체(1~5번)와 1개의 성염색체(X 염색체)로 이루어진 6쌍의 염색체를 가진 2배체 동물이다. 자웅동체는 2개의 성염색체(XX)를 갖고 수컷은 하나의 성염색체(XO)를 갖는다. 수컷은 자웅동체보다 조금 작고 형질은 같으나 꼬리 끝에 뿔뿔한 생식기가 있어 구분이 쉽다. 성체의 크기는 약 1~1.5 mm 이고 평균 수명은 2~3주이다. 15~25 °C 환경에서 잘 자라지만 온도별로 성장속도와 낳은 알은 수가 차이가 난다(표 1). 예쁜꼬마선충은 수정된 알에서 다시 알을 낳을 수 있는 성체까지 20 °C에서 보통 3일정도가 소요된다. 꼬마선충은 자웅동체 성체는 체세포의 숫자가 959개에 불과하고 몸통이 투명하여 관찰이 용이하며 한 세대가 짧아 많은 연구에 유용한 모델 동물로 이용된다(Brenner, 1974).

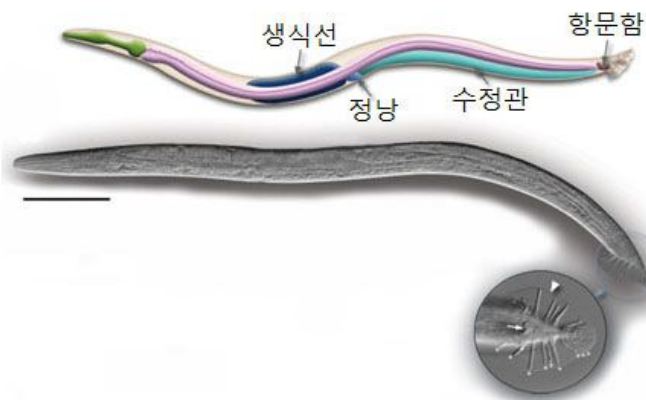
2. 예쁜꼬마선충의 생활사

예쁜꼬마선충은 20 °C의 환경에서 약 3일의 생활사를 갖는다(그림 7). 예쁜꼬마선충의 알은 난할 과정을 거쳐 깨어나 유충 1단계에서 유충 4단계를 거쳐 초기 성체가 된다. 그리고 초기 성체에서 완전한 성체가 되면 알을 낳기 시작한다. 만약 알에서 깨어난 지 얼마 되지 않았을 때 먹이가 떨어지게 되면 유충 1단계에서 유충 2단계와 유충 3단계로 가지 않고 휴면기 단계로 가게 된다. 이 단계에서 약 몇 달 정도 먹이를 먹지 않고도 생존할 수 있다. 이들은 먹이가 공급되면 다시 유충 4

단계로 편입된다. 자웅동체의 생식기(자궁)는 유충 4단계에서 빠르게 발달하여 형성이 된다. 수컷은 유충 3단계에서 꼬리가 약간 부풀어 오르기 시작하고 유충 4단계가 되면 더욱 부풀어 올라 수컷의 생식기를 형성한다. 자웅동체와 수컷 모두 성체가 되면 생식기가 완성이 되고 소화관이 확장되고 진해진다. 이렇게 몸통의 길이와 생식기의 형성 상태에 따라 예쁜꼬마선충의 단계를 알 수 있다(그림 8).



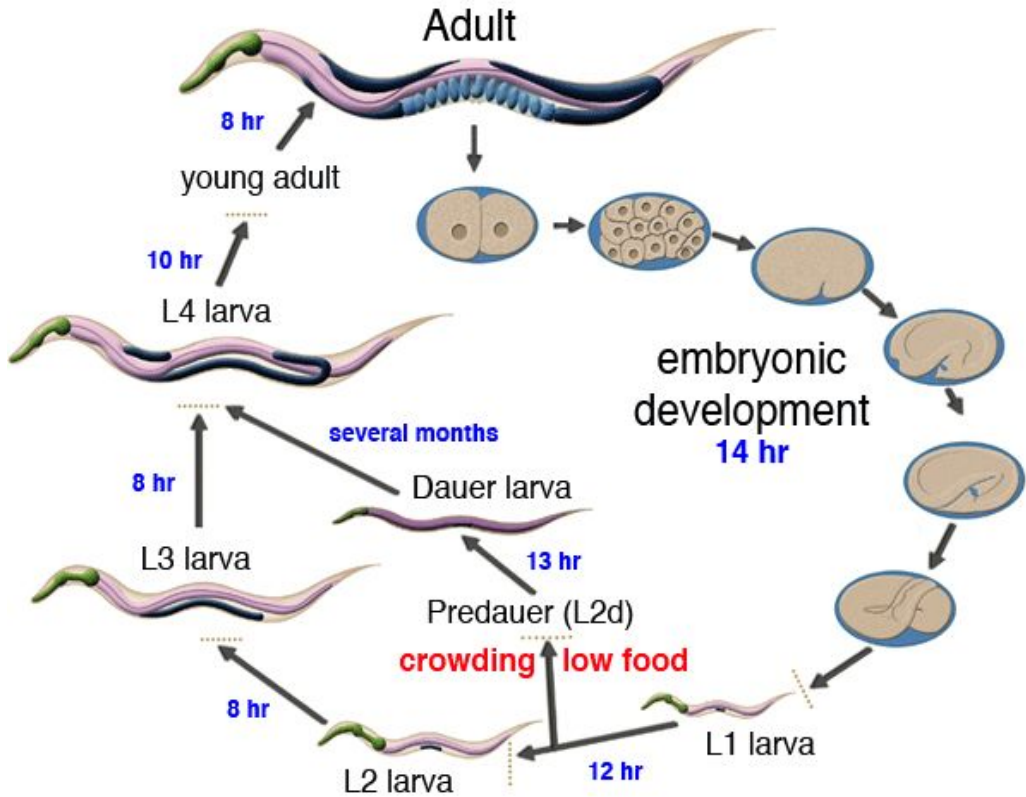
<그림 5> 예쁜꼬마선충 자웅동체(크기 막대 0.1 mm)(Hall & Altun, 2008)



<그림 6> 예쁜꼬마선충 수컷(크기 막대 0.1 mm)(Hall & Altun, 2008)

<표 1> 예쁜꼬마선충의 온도별 발달 차이

	16 °C (16.0±0.3 °C)	20 °C (19.5±0.5 °C)	25 °C (25.0±0.2 °C)
수정된 알	0 hr	0 hr	0 hr
알의 부화	16~18 hr	10~12 hr	8~9 hr
첫 번째 탈피	36.5 hr	26 hr	18.0 hr
두 번째 탈피	48 hr	34.5 hr	25.5 hr
세 번째 탈피	60.0 hr	43.5 hr	31 hr
네 번째 탈피	75 hr	56 hr	39 hr
알을 낳기 시작	~90 hr	~65 hr	~47 hr
알을 가장 많이 낳음	~140 hr	~96 hr	~62 hr
알을 낳는 것을 멈춤	~180 hr	~128 hr	~88 hr
첫 번째 탈피할 때 길이	360 μm	370 μm	380 μm
두 번째 탈피할 때 길이	490 μm	480 μm	510 μm
세 번째 탈피할 때 길이	650 μm	640 μm	620 μm
네 번째 탈피할 때 길이	900 μm	850 μm	940 μm
알을 낳기 시작할 때의 길이	1150 μm	1060 μm	1110 μm
알 낳은 최대 속도	5.4 / hr	9.1 / hr	8.1 / hr
낳은 알의 합계	275	280	170



<그림 7> 예쁜꼬마선충의 생활사(Hall & Altun, 2008)

3. 예쁜꼬마선충(*Caenorhabditis elegans*)의 특징

예쁜꼬마선충은 중등교육현장에서 실험재료로 사용하기에 좋은 특징을 지니고 있다.

첫째, 예쁜꼬마선충은 유지관리가 쉽다. 15 °C에서 25 °C 정도의 온도가 적정 온도로 일반 상온에서 유지되며 성체의 크기가 약 1 mm로 매우 작고 대장균을 먹이로 하기 때문에 공간과 유지비용이 매우 적게 든다. 또한 먹이가 고갈되면 휴면 상태로 전환되어 2~3달 정도 생존이 가능하며 먹이를 주면 정상상태로 돌아온다(그림 7). 또한 반영구적 냉동보관이 가능하므로 실험을 하지 않는 시기에는 얼려 놓으면 된다.

둘째, 다루기 쉽다. 초파리의 경우 마취작업이 필요하지만 선충의 경우 추가적

처리 없이 해부현미경하에서 백금선을 이용하여 쉽게 분리가 가능하여 관찰 및 선택적 교배 실험이 용이하다. 또한 선충은 대장균이 깔린 배지 위를 움직이며 지나간 흔적(발자국)을 남기기 때문에 온도에 대한 기억 실험 등의 이동 경로를 추적해야 하는 실험에 적합하다. 성체의 크기가 약 1 mm로 작지만 해부현미경 하에서 관찰이 용이하고 표현형들의 차이를 쉽게 구분할 수 있고 움직임이 빠르지 않기 때문에 숫자를 세야하는 멘델유전실험에서도 적합한 모델이다.

셋째, 유전학적 모델로의 장점을 갖는다. 예쁜꼬마선충은 성이 자용동체와 수컷으로 구성되기 때문에 이형접합돌연변이의 자가 수정을 통해 멘델법칙을 쉽게 검증할 수 있으며, 자가 수정을 통해 돌연변이 주를 유지할 수 있는 장점이 있다. 또한 예쁜꼬마선충은 많은 돌연변이들이 존재하기 때문에 실험에 적합한 돌연변이, 교차와 연관 실험 및 유전자 지도 작성에 필요한 표지유전자돌연변이 등을 쉽게 구할 수 있다. 자용동체와 수컷간의 교배를 시켰을 때 초기에는 수컷정자와 자용동체의 난자가 수정되며 자가 수정의 경우 약 300개, 교배를 할 경우 600개까지 알을 낳으므로 멘델유전 실험에서 표현형의 비율을 검증하기에 충분하다. 또한 생활사가 20 °C에서 약 3일로 발생속도가 매우 빨라 월요일 교배를 실시하면 금요일 이전에 다음 세대의 표현형 관찰이 가능하여 중등학교의 유전학 실험 모델로 매우 적합하다(Riddle et al., 1997).

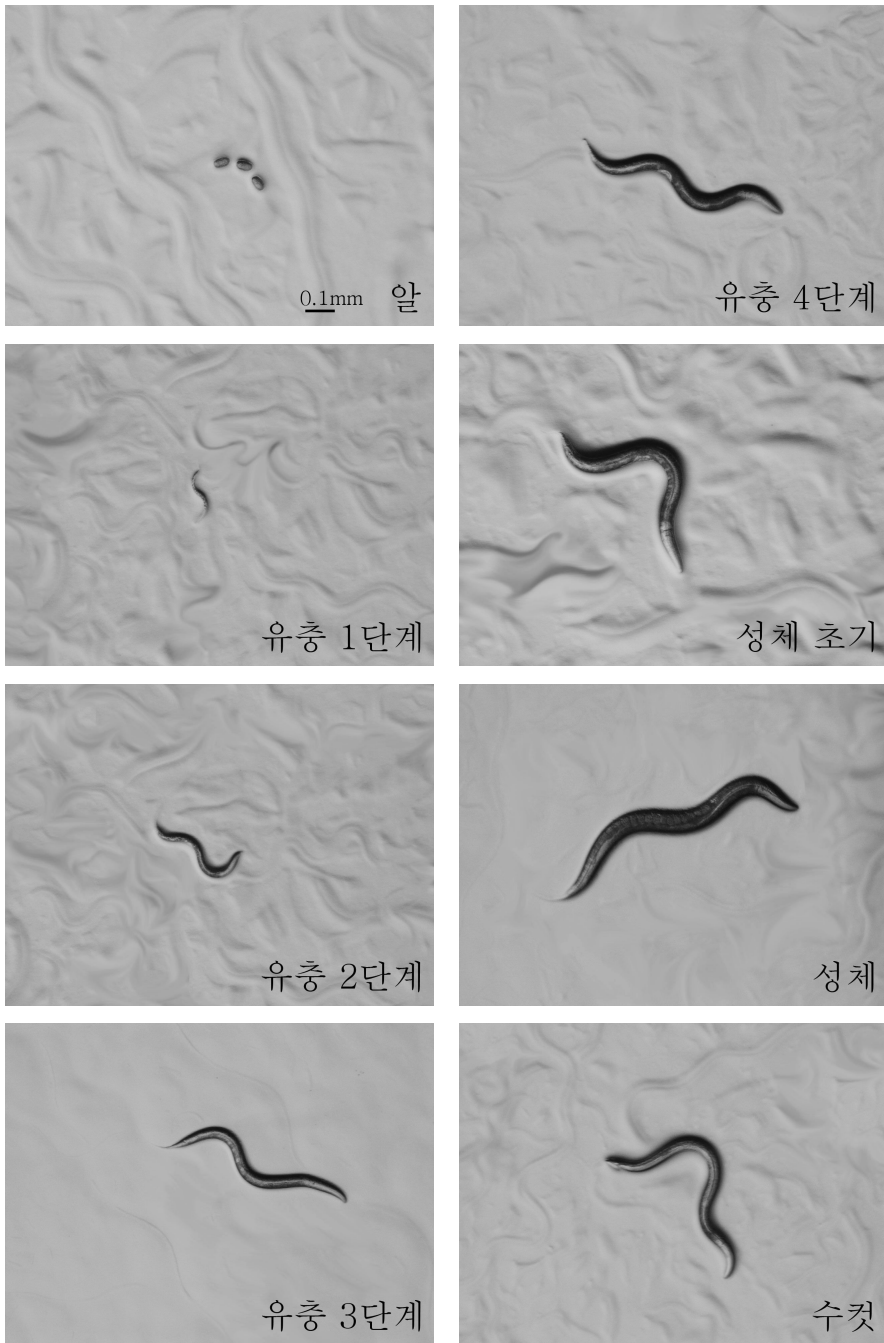
4. 예쁜꼬마선충 관련 웹사이트 소개

a. wormbase(<http://www.wormbase.org>)(그림 9)

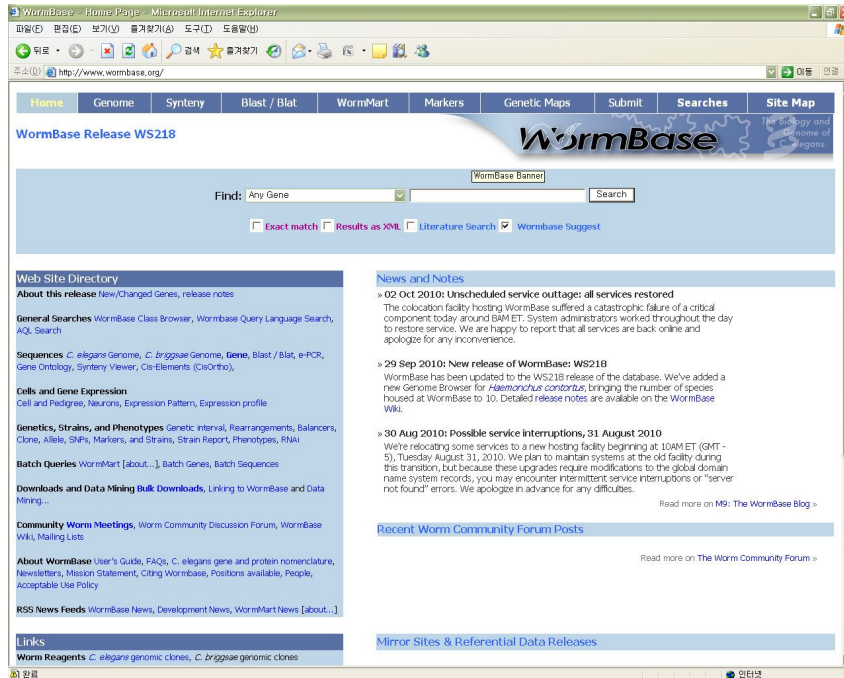
wormbase는 예쁜꼬마선충에 관련된 다양한 정보를 함유하고 있다.

b. CGC(<http://www.cbs.umn.edu/CGC/>)(그림 10)

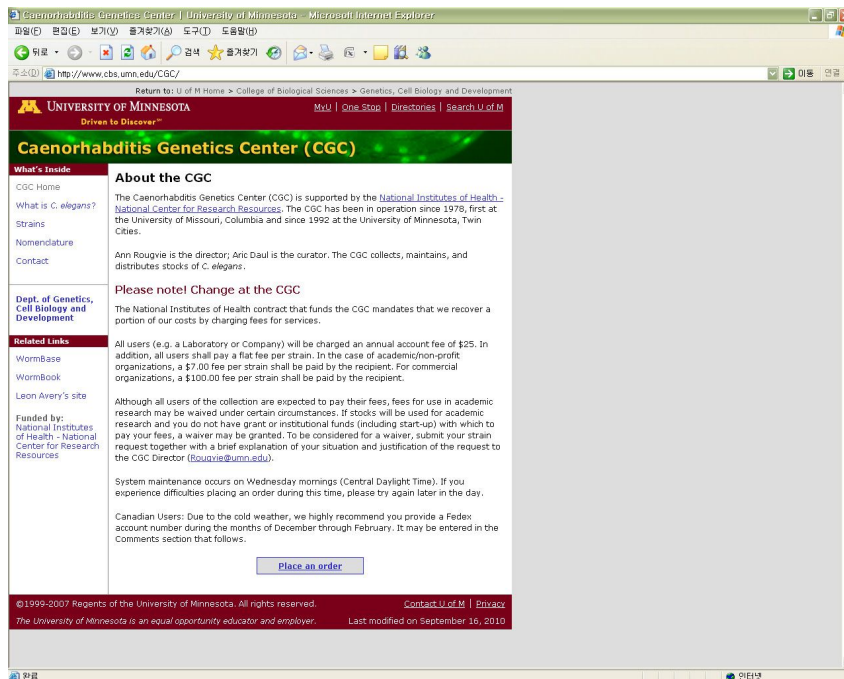
CGC는 예쁜꼬마선충 유전자센터이다. 다양한 예쁜꼬마선충들을 검색하고 요청할 수 있다.



<그림 8> 예쁜꼬마선충의 발달 단계 및 성별(크기 막대 1 mm)



<그림 9> wormbase



<그림 10> CGC

Ⅲ. 연구 방법 및 절차

A. 연구 절차

이 연구에서는 예쁜꼬마선충을 이용한 멘델의 유전 법칙 탐구 모듈 개발을 위하여 (그림 11)과 같은 연구 절차를 세웠다. 연구자는 중등학교 교과서와 대학 생물학 교재를 분석하고 예쁜꼬마선충에 대한 문헌 연구 및 조사를 하여 개발할 모듈의 주제를 선정하였다. 예비 탐구 모듈은 모듈에 적합한 예쁜꼬마선충 돌연변이를 조사하여 확보하고 연구자가 예비실험을 실시하여 개발하였다. 그리고 전문가 2인에게 예비 탐구 모듈의 내용에 대한 타당도를 검증받았다. C대학교 사범대학 과학교육학부 학생 12명에게 예비 탐구 모듈을 적용하고 설문지를 통해 모듈에 대한 효과와 유용성을 알아보고 미흡한 부분은 수정 및 보완하여 최종 탐구 모듈을 개발하였다.



<그림 11> 연구 절차

B. 탐구 모듈 개발 과정

이 연구에서는 예쁜꼬마선충을 이용한 순환학습모형을 기반으로 멘델의 유전 법칙 탐구 모듈을 개발하였다. 이를 통해 학생들이 스스로 창의적 탐구 과정을 경험하여 멘델의 유전 개념을 올바르게 이해하고 탐구 능력을 향상시키고자 하였다. 예쁜꼬마선충은 기존의 유전 실험 소재와 달리 다루기 쉬우며 한 세대가 짧아 빠른 시간 안에 실험의 전 과정을 마칠 수 있는 장점이 있다.

1. 탐구 모듈 개발에 적합한 예쁜꼬마선충 조사 및 확보

멘델의 유전 법칙 탐구 모듈을 개발하기 위해서는 다양한 표현형을 나타내는 예쁜꼬마선충이 필요하다. 따라서 wormbase의 유전 정보를 기반으로 모델 개발에 적합한 돌연변이들을 조사하여 확보하고 예비 실험을 통해 최적의 돌연변이를 선별하였다. 필요한 야생형 선충과 돌연변이 선충은 예쁜꼬마선충 유전자센터 (Caenorhabditis elegans Genetics Center, CGC)에 요청하여 확보하였다.

2. 예비 실험

예쁜꼬마선충 유전자센터를 통해 확보된 돌연변이들과 야생형을 유지 관리하면서 예쁜꼬마선충의 생활사와 특성, 돌연변이들의 특징을 관찰하고 각 실험에 활용 가능한 돌연변이를 선별하여 예비실험을 실시하였다. 분리의 법칙에 대한 예비 실험과 독립의 법칙에 대한 예비실험으로 나누어 실시되었다. 예비 실험을 대한 결과의 검증은 카이제곱 검정을 통해 이루어 졌다. 예비 실험을 통한 실험 결과는 과학자들이 판단 기준으로 이용하는 확률 0.05 수준에 의해 판단되었다. 카이제곱 값에 대한 확률을 카이제곱 표(표 2)를 이용하여 확인하고 0.05 보다 크거나 같다면 우연에 의한 것으로 적합하다고 판단하였다. 예비 실험 결과는 교과 내용 전문가 3인에게 타당도를 검증 받았다.

3. 예비 탐구 모듈 개발

예비 탐구 모듈은 예비 실험을 통해 검증된 돌연변이 선충을 이용하여 개발하였고 학생들이 처음 접하는 실험동물인 예쁜꼬마선충에 대해 알아보는 탐구 실험과 멘델의 유전 법칙에 대한 탐구 실험으로 구성하였다. 그리고 예비 탐구 모듈은 멘델의 유전 법칙을 학생들이 스스로 창의적 탐구 과정을 통해 개념의 올바른 이해와 탐구력을 향상시킬 수 있도록 순환학습모형을 기반으로 개발하였다. 개발된 예비 탐구 모듈은 과학교육 전문가 1인에게 타당도를 검증받았다.

<표 2> 카이제곱 표

자유도 \ 확률	0.995	0.975	0.9	0.5	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	0.000	0.000	0.016	0.455	2.706	3.841	5.024	6.635	7.879
2	0.010	0.051	0.211	1.386	4.605	5.991	7.378	9.210	10.597
3	0.072	0.216	0.584	2.366	6.251	7.815	9.348	11.345	12.838
4	0.207	0.484	1.064	3.357	7.779	9.488	11.143	13.227	14.860
5	0.412	0.831	1.610	4.351	9.236	11.070	12.832	15.086	16.750
6	0.676	1.237	2.204	5.348	10.645	12.592	14.449	16.812	18.548
7	0.989	1.690	2.833	6.346	12.017	14.067	16.013	18.475	20.278
8	1.344	2.180	3.490	7.344	13.362	15.507	17.535	20.090	21.955
9	1.735	2.700	4.168	8.343	14.684	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	3.247	4.865	9.342	15.987	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.816	5.578	10.341	17.275	19.675	21.920	24.725	26.757
12	3.074	4.404	6.304	11.340	18.549	21.026	23.337	26.217	28.300
13	3.565	5.009	7.042	12.340	19.812	22.362	24.736	27.688	29.819
14	4.075	5.629	7.790	13.339	21.064	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	6.262	8.547	14.339	22.307	24.996	30.578	30.578	32.801

4. 예비 탐구 모듈의 적용

이 연구에서 개발된 예비 탐구 모듈을 이용한 탐구 실험을 C대학교 사범대학 과학교육학부 3학년 12명과 실시하였다. 연구 대상은 남학생 4명과 여학생 8명으로 구성되었다. 실험 수업은 우성과 열성 탐구 실험과 분리의 법칙 탐구 실험을 연계하여 9일 동안 4차시를 실시하였다. 그리고 실험 수업 시간 외 새로운 배양 접시로 선충을 옮겨주어야 할 때는 조원의 일부가 잠깐 들려서 옮겨주도록 하였다. 탐구 활동 중 학생들이 자신의 의견을 자유롭게 표현하고 활동할 수 있도록 하였으며 특히 탐구 활동이 학생 스스로 주도하여 진행될 수 있도록 하였다. 탐구 활동을 마치고 이 탐구 모듈을 이용한 실험 수업이 쉬웠는지, 흥미로웠는지, 학습에 도움이 되었는지, 기존 수업에 비해 더 많은 생각을 요하는지, 창의적 사고능력 향상에 도움이 되는지를 설문지를 통해 학생들 의견과 그 이유에 대해 조사하였다.

5. 최종 탐구 모듈 개발

개발된 예비 탐구 모듈은 교육 현장에서 유용하게 활용이 가능하기 위해서는 실제적인 적용을 통하여 수정 및 보완하는 과정이 필요하다. 따라서 예비 탐구 모듈의 적용을 통해 알아보았던 학생들의 의견을 바탕으로 예비 탐구 모듈의 미흡한 부분을 수정 및 보완하여 최종 탐구 모듈을 개발하였다. 그리고 학생들이 탐구 실험을 수행하는데 필요한 학생용 탐구 모듈과 학생용 탐구 모듈에 교사가 학생들을 지도하는데 필요한 내용들을 첨부한 교사용 지도서로 나누어 개발하였다.

IV. 연구 결과 및 논의

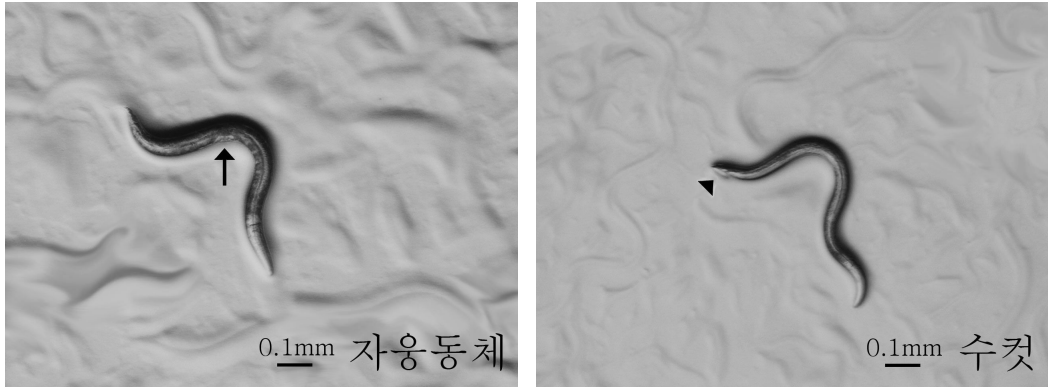
문헌 연구와 실험에 필요한 예쁜꼬마선충들을 확보하고 예비실험을 거쳐 먼저 예비 탐구 모듈을 개발하였다. 개발된 예비 탐구 모듈은 전문가 2인에게 타당도를 검증받고 실제 교육 현장에 적용하였다. 예비 탐구 모듈을 적용하고 나타난 문제점들을 보완하여 최종 탐구 모듈을 개발하였다.

A. 예비 탐구 모듈 개발

예비 탐구 모듈은 확보된 예쁜꼬마선충들을 이용하여 예비 실험을 실시하고 실험 결과를 바탕으로 개발되었다.

1. 탐구 모듈 개발에 적합한 돌연변이 조사 및 확보

예쁜꼬마선충 유전자센터에 요청하여 야생형 선충(그림 12)과 돌연변이 선충 7종(그림 13)을 확보하였다. 확보된 예쁜꼬마선충들의 생활사와 특성, 돌연변이들의 특징(표 3)을 관찰하고 각 실험에 활용 가능한 돌연변이를 선별하여 예비실험을 실시하였다. 예비 실험은 우성과 열성 실험과 분리의 법칙에 대한 실험과 독립의 법칙에 대한 실험으로 나누어 실시되었다. wormbase의 유전 정보를 바탕으로 각 실험에서 가장 적합한 돌연변이를 선별하고 각 실험을 통해 검증하였다.

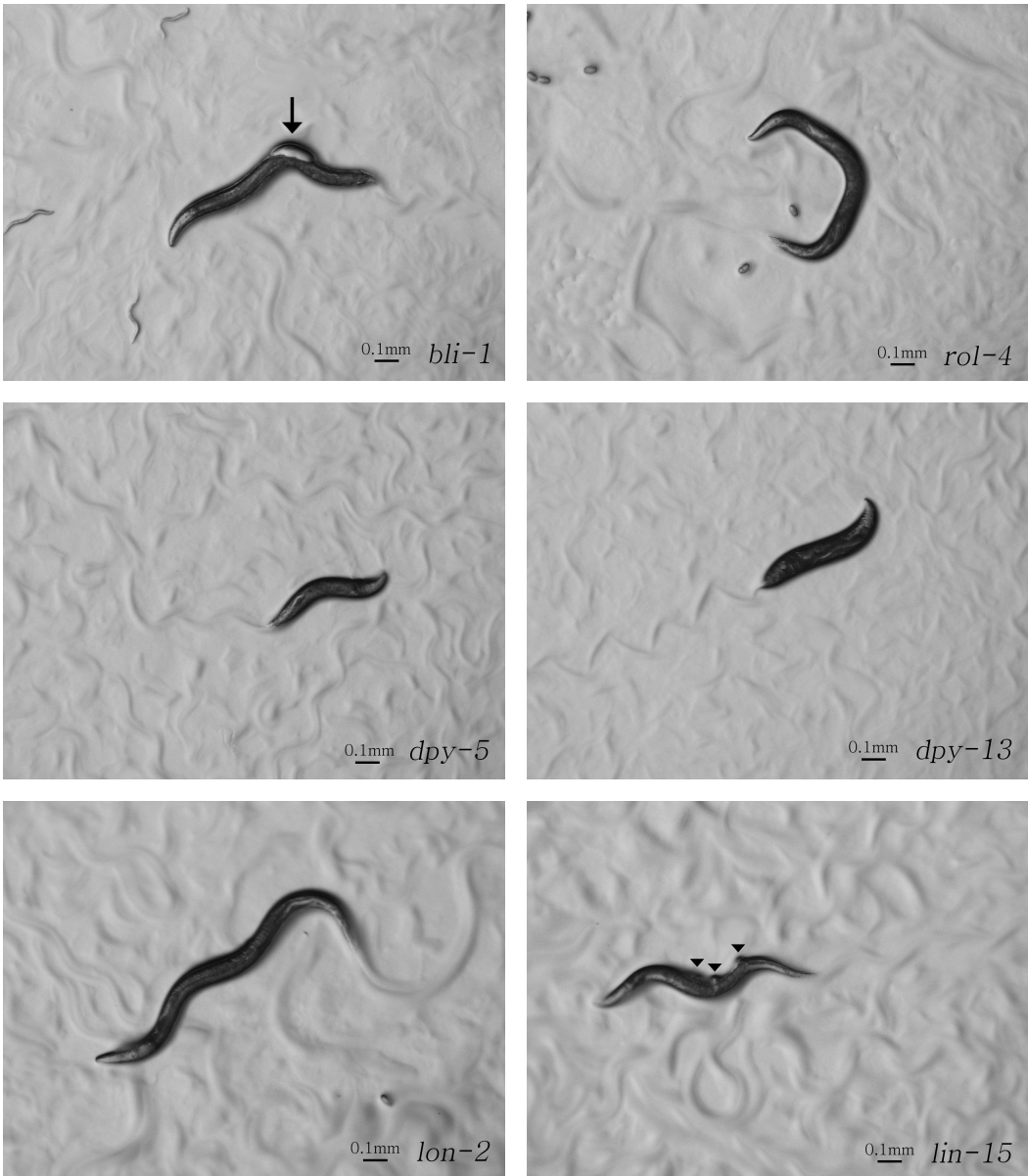


<그림 12> 야생형 자웅동체와 수컷 예쁜꼬마선충

화살표는 자웅동체의 생식기이고 화살표 머리는 수컷의 생식기이다. 크기 막대는 0.1 mm이다.

<표 3> 멘델의 유전 법칙 탐구 모듈 개발을 위해 확보된 돌연변이의 특징

돌연 변이	위치하는 염색체	표현형	수컷 교배능력	구별 용이성
<i>bli-1</i>	II	표피에 수포가 형성된다. 25 °C에서 수포 발현이 향상된다.	중	쉬움
<i>bli-2</i>	II	표피에 수포가 형성된다. 25 °C에서 수포 발현이 향상된다.	중	쉬움
<i>dpy-5</i>	I	길이가 매우 짧다(정상형의 약 0.5배).	하	쉬움
<i>dpy-13</i>	IV	길이가 매우 짧다(정상형의 약 0.5배).	중	쉬움
<i>rol-4</i>	V	반 시계방향 제자리에서 뱅글뱅글 돈다.	중	쉬움
<i>lon-2</i>	X	길이가 매우 길다(정상형의 약 1.5배)	상	보통
<i>lin-15</i>	X	생식기 형태가 2~6개이다(생식기능이 정상인 형태와 생식기능이 없는 형태로 존재함).	안됨	보통



<그림 13> 돌연변이 자웅동체 예쁜꼬마선충
 화살표는 수포이고 화살표 머리는 자웅동체 생식기의 형태이다. 크기 막대는 0.1 mm이다.

2. 예비 실험

a. 우성과 열성 형질의 판별과 분리의 법칙 예비실험

우성과 열성 형질의 판별과 분리의 법칙 실험은 예쁜꼬마선충 유전센터에서 확보한 돌연변이들에서 가장 관찰이 쉽고 야생형과 구분하기 쉬운 *dpy-5* 돌연변이를 선택하여 예비실험을 먼저 실시하였다. *dpy-5* 돌연변이 선충은 야생형 선충의 길이의 약 0.5배의 길이로 표현형의 구분이 쉽고 열성의 특징을 가지고 있어 우성과 열성 형질의 판별과 분리의 법칙 실험에 적합하였다.

dpy-5 자웅동체 선충 1마리와 야생형 수컷 선충 2마리를 교배 접시에 옮겨주고 12시간이 지나 *dpy-5* 자웅동체 선충을 배양 접시로 옮겨주었다. 3일이 지나고 교배된 *dpy-5* 자웅동체 선충이 들어있는 배양 접시를 관찰한 결과 야생형의 표현형과 같은 잡종 제 1세대만 관찰되었다. 잡종 1세대에서는 모두 야생형이 나타나 *dpy-5* 유전형질이 열성임을 확인할 수 있었다.

그리고 이 잡종 제 1세대의 유충 4단계 자웅동체 선충 1마리를 배양 접시로 옮겨주고 2일 동안 자가 수정을 통해 낳은 잡종 제 2세대를 관찰하여 분리의 법칙 예비 실험을 수행하였다. 잡종 제 2세대를 관찰한 결과 *dpy-5* 돌연변이 선충과 야생형의 표현형 선충이 모두 나타났다. 잡종 제 1세대의 유충 4단계 자웅동체 선충 4마리를 4개의 배양 접시에 각각 한 마리씩 옮겨주었다. 그리고 2일 동안 배양하여 낳은 잡종 제 2세대를 관찰하고 표현형별로 수를 세었다. 잡종 제 2세대를 관찰한 결과는 (표 4)과 같다. 표현형별 개체의 수를 바탕으로 4개체에 대한 카이제곱 검정을 하였고 검정 결과 모두 적합한 결과로 확인되었다(표 5). 또한 *dpy-5* 표현형으로 관찰된 개체수를 기준으로 단순계산을 통한 비를 확인한 결과 분리의 법칙의 비인 3:1에 가깝게 나타났다(표 6).

<표 4> *dpy-5* 자용동체 선충과 야생형 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과

NO.	표현형	야생형 표현형으로 관찰된 개체수	<i>dpy-5</i> 표현형으로 관찰된 개체수	관찰된 총 개체수
1번 배양 접시		182	59	241
2번 배양 접시		187	62	249
3번 배양 접시		194	66	260
4번 배양 접시		184	58	242

<표 5> *dpy-5* 자용동체 선충과 야생형 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과의 카이제곱 검정

NO.	표현형	야생형 표현형으로 관찰된 개체수의 카이제곱 값	<i>dpy-5</i> 표현형으로 관찰된 개체수의 카이 제곱 값	모든 표현형에 대한 카이 제곱 값의 합
1번 배양 접시		0.008645	0.025934	0.034578
2번 배양 접시		0.000335	0.001004	0.001339
3번 배양 접시		0.005128	0.015385	0.020513
4번 배양 접시		0.034435	0.103306	0.137741

<표 6> 잡종 제 2세대의 관찰 결과에 대한 야생형 표현형 선충과 *dpy-5* 표현형 선충의 비

NO.	표현형	야생형 표현형에 대한 비	<i>dpy-5</i> 표현형에 대한 비
1번 배양 접시		3.084746(182/59)	1.000000(59/59)
2번 배양 접시		3.016129(187/62)	1.000000(62/62)
3번 배양 접시		2.939394(194/66)	1.000000(66/66)
4번 배양 접시		3.172414(184/58)	1.000000(58/58)

야생형과 *dpy-5* 돌연변이를 교배하였을때 잡종 제 2세대에서 멘델의 분리의 법칙에 따른 분리비가 나온 것을 확인할 수 있었다. 다양한 돌연변이를 확보하기 위해 추가로 *dpy-13*과 *lon-2*, *rol-4* 돌연변이 선충으로 추가 실험을 실시하였다. 실험 과정은 *dpy-5* 돌연변이를 이용하여 실시한 예비 실험과 같았다. 실험 결과 잡종 제 1세대에서 세 종류의 돌연변이 형질이 모두 열성임을 확인할 수 있었다. 이후 잡종 제 2세대를 관찰한 결과(표 7~9)와 카이 제곱 검정(표 10~12)에서 모두 분리의 법칙에 적합한 결과를 나타내었다. 또한 각 표현형으로 관찰된 개체수를 기준으로 단순계산을 통한 비를 확인한 결과 분리의 법칙의 비인 3:1에 가깝게 나타났다(표 13~15).

<표 7> *dpy-13* 자용동체 선충과 야생형 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과

NO.	표현형 야생형 관찰된 개체수	표현형으로 <i>dpy-13</i> 관찰된 개체수	표현형으로 관찰된 총 개체수
1번 배양 접시	180	45	225
2번 배양 접시	134	42	176
3번 배양 접시	131	37	168
4번 배양 접시	158	60	218

<표 8> *lon-2* 자용동체 선충과 야생형 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과

NO.	표현형 야생형 관찰된 개체수	표현형으로 <i>lon-2</i> 관찰된 개체수	표현형으로 관찰된 총 개체수
1번 배양 접시	188	60	248
2번 배양 접시	141	48	189
3번 배양 접시	198	68	266
4번 배양 접시	192	74	266

<표 9> *rol-4* 자용동체 선충과 야생형 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과

NO.	표현형 야생형 관찰된 개체수	표현형으로 <i>rol-4</i> 관찰된 개체수	관찰된 총 개체수
1번 배양 접시	59	18	77
2번 배양 접시	66	19	85

<표 10> *dpy-13* 자용동체 선충과 야생형 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과의 카이제곱 검정

NO.	표현형 야생형 관찰된 개체수의 카이제곱 값	표현형으로 <i>dpy-13</i> 관찰된 개체수의 카이 제곱 값	모든 표현형에 대한 카이 제곱 값의 합
1번 배양 접시	0.750000	2.250000	3.000000
2번 배양 접시	0.030303	0.090909	0.121212
3번 배양 접시	0.198413	0.595238	0.793651
4번 배양 접시	0.185015	0.555046	0.740061

<표 11> *lon-2* 자용동체와 야생형 수컷의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과의 카이제곱 검정

NO.	표현형 야생형 관찰된 개체수의 카이제곱 값	표현형으로 <i>lon-2</i> 관찰된 개체수의 카이 제곱 값	모든 표현형에 대한 카이 제곱 값의 합
1번 배양 접시	0.021505	0.064516	0.086022
2번 배양 접시	0.003968	0.011905	0.015873
3번 배양 접시	0.011278	0.033835	0.045113
4번 배양 접시	0.281955	0.845865	1.127820

<표 12> *rol-4* 자웅동체와 야생형 수컷의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과의 카이제곱 검정

NO. / 표현형	야생형 표현형으로 관찰된 개체수의 카이제곱 값	<i>rol-4</i> 표현형으로 관찰된 개체수의 카이제곱 값	모든 표현형에 대한 카이제곱 값의 합
1번 배양 접시	0.027056	0.081169	0.108225
2번 배양 접시	0.079412	0.238235	0.317647

<표 13> 잡종 제 2세대의 관찰 결과에 대한 야생형 표현형 선충과 *dpy-13* 표현형 선충의 비

NO. / 표현형	야생형 표현형에 대한 비	<i>dpy-13</i> 표현형에 대한 비
1번 배양 접시	4.000000(180/45)	1.000000(45/45)
2번 배양 접시	3.190476(134/42)	1.000000(42/42)
3번 배양 접시	3.540540(131/37)	1.000000(37/37)
4번 배양 접시	2.633333(158/60)	1.000000(60/60)

<표 14> 잡종 제 2세대의 관찰 결과에 대한 야생형 표현형 선충과 *lon-2* 표현형 선충의 비

NO. / 표현형	야생형 표현형에 대한 비	<i>lon-2</i> 표현형에 대한 비
1번 배양 접시	3.133333(188/60)	1.000000(60/60)
2번 배양 접시	2.937500(141/48)	1.000000(48/48)
3번 배양 접시	2.911764(198/68)	1.000000(68/68)
4번 배양 접시	2.594594(192/74)	1.000000(74/74)

<표 15> 잡종 제 2세대의 관찰 결과에 대한 야생형 표현형 선충과 *rol-4* 표현형 선충의 비

NO.	표현형 야생형 표현형에 대한 비	<i>rol-4</i> 표현형에 대한 비
1번 배양 접시	3.277778(59/18)	1.000000(18/18)
2번 배양 접시	3.473684(66/19)	1.000000(19/19)

b. 독립의 법칙 예비 실험

독립의 법칙은 두 가지 대립형질에 대한 실험으로 확보된 돌연변이 2가지를 이용하여야 한다. 먼저 예쁜꼬마선충유전자센터에서 확보한 모든 돌연변이에서 이중 돌연변이 형성 가능성을 검토하였다(표 16).

독립의 법칙 예비 실험을 위해 예쁜꼬마선충 유전자센터에서 확보한 돌연변이들의 가능성을 검토한 결과 모든 돌연변이들은 자웅동체로 사용이 가능하였다. 그리고 *bli-1*과 *bli-2*, *lon-2*는 교배 능력이 높고 표현형이 수컷으로 사용하는데 문제가 되지 않았다. 따라서 수컷으로 사용이 가능한 돌연변이 선충을 기준으로 이중돌연변이 형성이 가능한 돌연변이들로 독립의 법칙 예비 실험에 대한 예비 실험 목록을 작성하였다(표 17). 그리고 이 목록에서 가장 관찰이 쉬운 조합부터 예비실험을 실시하였다.

독립의 법칙 예비 실험을 위해 가장 관찰이 쉬울 것 같은 *bli-1*과 *dpy-5*의 조합에 대한 실험을 실시하였다. *dpy-5* 자웅동체 선충 한 마리와 *bli-1* 수컷 선충 2마리를 교배 접시로 옮겨주고 12시간이 지나고 *dpy-5* 자웅동체 선충을 배양 접시에 옮겨주었다. 3일이 지나고 *dpy-5* 자웅동체 선충이 들어있는 배양 접시를 관찰한 결과 잡종 제 1세대 모두가 야생형과 같은 표현형이었다. 그리고 이 잡종 제 1세대의 유충 4단계 자웅동체 선충 1마리를 배양 접시로 옮겨주고 2일 동안 자가 수정을 통해 낳은 잡종 제 2세대를 관찰하여 독립의 법칙 예비 실험을 수행하였다. 잡종 제 1세대의 유충 4단계 자웅동체 선충 4마리를 4개의 배양 접시에 각각 한 마리씩 옮겨주었다. 그리고 2일 동안 배양하여 낳은 잡종 제 2세대를 관찰하고 표

현형별로 수를 세었다. 잡종 제 2세대를 관찰한 결과는 (표 18)와 같다. 잡종 제 2세대에서 야생형과 같은 표현형과 *bli-1*, *dpy-5* 돌연변이와 같은 표현형은 관찰되었지만 *bli-1*과 *dpy-5*의 이중 돌연변이에 대한 표현형은 관찰되지 않았다. 그러나 *dpy-5* 돌연변이 표현형과 같지만 자궁이 터져서 밖으로 돌출된 선충이 4개의 배양 접시에서 모두 관찰되었다(그림 14). 표현형별 개체의 수를 바탕으로 4개체에 대한 카이제곱 검정을 하였고 검정 결과 모두 적합하지 않게 확인되었다(표 19).

<표 16> 독립의 법칙 예비 실험을 위한 이중돌연변이 형성에 사용 가능 여부

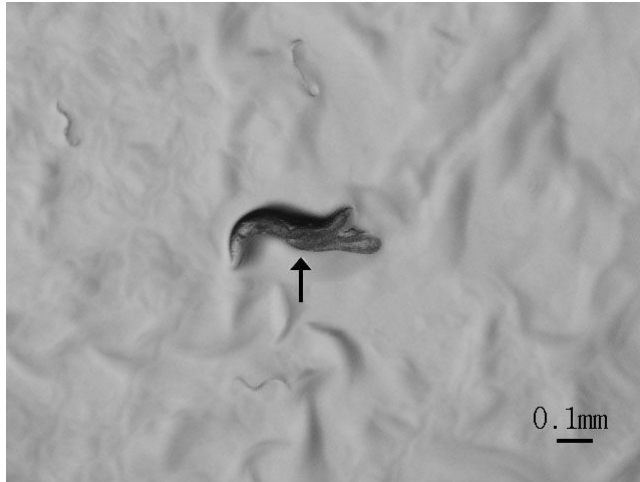
돌연변이	이중 돌연변이 형성에 사용 가능 여부
<i>bli-1</i>	수포가 발생하는 표현형으로 관찰이 용이하다. 수컷의 교배 능력이 '중'으로 자웅동체와 수컷 모두 사용이 가능하다.
<i>bli-2</i>	수포가 발생하는 표현형으로 관찰이 용이하다. 수컷의 교배 능력이 '중'으로 자웅동체와 수컷 모두 사용이 가능하다.
<i>dpy-5</i>	야생형에 비해 길이가 짧은(약 0.5배) 표현형으로 관찰이 매우 용이하다. 수컷의 교배 능력이 '하'밖에 되지 않고 표현형의 특성상 수컷의 교배가 어렵기 때문에 자웅동체만 사용이 가능하다.
<i>dpy-13</i>	야생형에 비해 길이가 짧은 표현형으로 관찰이 매우 용이하다. 수컷의 교배 능력이 '중'이지만 표현형의 특성상 수컷의 교배가 어렵기 때문에 자웅동체만 사용이 가능하다.
<i>rol-4</i>	이동할 때 뱅글뱅글 돌면서 이동을 하는 표현형으로 구분이 용이하다. 수컷의 교배능력은 '중'이지만 표현형의 특성상 수컷의 교배가 어렵기 때문에 자웅동체만 사용이 가능하다.
<i>lon-2</i>	야생형에 비해 길이가 긴(약 1.5배) 표현형으로 관찰이 용이하다. 수컷의 교배능력이 '상'으로 수컷의 교배가 매우 잘 이루어 질 수 있어 자웅동체와 수컷모두 사용이 가능하다.
<i>lin-15</i>	생식기 형태가 2개에서 6개가 나타나는 표현형으로 관찰이 용이하다. 수컷의 교배 능력이 없어 수컷의 기능은 할 수 없어 자웅동체만 사용이 가능하다.

<표 17> 독립의 법칙 예비 실험을 위한 이중 돌연변이 조합 목록

이중 돌연변이 예비 실험을 위한 돌연변이 선충의 조합		
<i>bli-1</i> × <i>dpy-5</i>	<i>bli-2</i> × <i>dpy-5</i>	<i>lon-2</i> × <i>rol-4</i>
<i>bli-1</i> × <i>dpy-13</i>	<i>bli-2</i> × <i>dpy-13</i>	<i>lon-2</i> × <i>lin-15</i>
<i>bli-1</i> × <i>rol-4</i>	<i>bli-2</i> × <i>rol-4</i>	
<i>bli-1</i> × <i>lon-2</i>	<i>bli-2</i> × <i>lon-2</i>	
<i>bli-1</i> × <i>lin-15</i>	<i>bli-2</i> × <i>lin-15</i>	

<표 18> *dpy-5* 자용동체 선충과 *bli-1* 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과

NO.	표현형	<i>dpy-5</i> 와				관찰된 총 개체수
		야생형 표현형으로 관찰된 개체수	<i>bli-1</i> 표현형으로 관찰된 개체수	<i>dpy-5</i> 표현형으로 관찰된 개체수	<i>bli-1</i> 의 이중 돌연변이 표현형으로 관찰된 개체수	
1번	배양 접시	111	11	49	0	171
2번	배양 접시	109	14	39	0	162
3번	배양 접시	133	12	52	0	197
4번	배양 접시	125	25	66	0	216



<그림 14> 자궁이 터져 밖으로 돌출된 *dpy-5*와 동일한 표현형의 선충
 화살표는 자궁이 터진 부분이다. 크기 막대는 0.1 mm이다.

<표 19> *dpy-5* 자용동체 선충과 *bli-1* 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과의 카이제곱 검정

NO.	표현형 야생형 표현형으로 관찰된 개체수의 카이 제곱 값	<i>bli-1</i> 표현형으로 관찰된 개체수의 카이 제곱 값	<i>dpy-5</i> 표현형으로 관찰된 개체수의 카이 제곱 값	<i>dpy-5</i> 와 <i>bli-1</i> 의 이중 돌연변이로 관찰된 개체수의 카이 제곱 값	모든 표현형에 대함 카이 제곱 값의 합
1번 배양 접시	4.632232	12.166810	2.244971	9.062500	28.106513
2번 배양 접시	14.183052	21.245234	0.016476	9.562500	45.007262
3번 배양 접시	3.002193	11.059211	3.480263	7.125000	24.666667
4번 배양 접시	5.223004	19.195502	4.824641	9.437500	38.680648

dpy-5 돌연변이와 *bli-1* 돌연변이를 사용한 독립의 법칙 예비 실험 결과가 예상과 다르게 나타나서 추가로 *bli-1* 돌연변이와 *dpy-13* 돌연변이 조합에 대한 독립의 법칙 예비 실험을 실시하였다. 실험 과정은 *dpy-5* 돌연변이와 *bli-1* 돌연변이를 이용하여 실시한 예비 실험과 같다.

dpy-13 돌연변이와 *bli-1* 돌연변이를 이용한 예비 실험의 관찰 결과(표 20)와 카이 제곱 검정(표 21)에서도 적합하지 않는 결과를 나타내었다. 그리고 이 예비 실험에서도 *dpy-13* 돌연변이와 *bli-1* 돌연변이에 대한 이중 돌연변이의 표현형은 나타나지 않았고 *dpy-13* 돌연변이의 표현형과 같지만 자궁이 터서 밖으로 돌출된 선충이 관찰되었다. wormbase에서 유전정보를 확인한 결과 두 돌연변이 모두 표피와 관련된 돌연변이로 상호 영향을 미친 결과 이중 돌연변이가 형성되지 않았다고 추측된다.

<표 20> *dpy-13* 자용동체 선충과 *bli-1* 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과

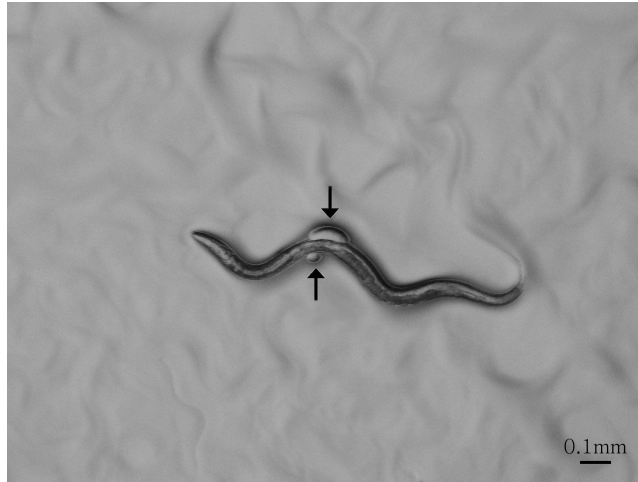
표현형 NO.	<i>dpy-13</i> 과 <i>bli-1</i> 의 이중 돌연변이				
	야생형 표현형으로 관찰된 개체수	<i>bli-1</i> 표현형으로 관찰된 개체수	<i>dpy-13</i> 표현형으로 관찰된 개체수	<i>dpy-13</i> 과 <i>bli-1</i> 의 이중 돌연변이 표현형으로 관찰된 개체수	관찰된 총 개체수
1번 배양 접시	101	9	35	0	145
2번 배양 접시	121	4	28	0	153
3번 배양 접시	78	6	30	0	114
4번 배양 접시	106	5	40	0	151

<표 21> *dpy-13* 자웅동체 선충과 *bli-1* 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과의 카이제곱 검정

NO.	표현형 야생형 표현형으로 관찰된 개체수의 카이 제곱 값	<i>bli-1</i> 표현형으로 관찰된 개체수의 카이 제곱 값	<i>dpy-13</i> 표현형으로 관찰된 개체수의 카이 제곱 값	<i>dpy-13</i> 과 <i>bli-1</i> 의 이중 돌연변이로 관찰된 개체수의 카이 제곱 값	모든 표현형에 대함 카이 제곱 값의 합
1번 배양 접시	4.632232	12.166810	2.244971	9.062500	28.106513
2번 배양 접시	14.183052	21.245234	0.016476	9.562500	45.007262
3번 배양 접시	3.002193	11.059211	3.480263	7.125000	24.666667
4번 배양 접시	5.223004	19.195502	4.824641	9.437500	38.680647

독립의 법칙 예비 실험의 돌연변이 조합 목록 중에서 *bli-1* 돌연변이와 *lon-2* 돌연변이 조합과 *bli-1* 돌연변이와 *lin-15* 돌연변이 조합에 대한 실험을 실시하였다. 실험 과정은 *dpy-5* 돌연변이와 *bli-1* 돌연변이를 이용하여 실시한 예비 실험과 같다.

bli-1 돌연변이와 *lon-2* 돌연변이에 대한 예비 실험 결과(표 22), 두 돌연변이에 대한 이중 돌연변이 표현형이 나타났다(그림 15). 하지만 1개의 배양 접시에 대한 카이 제곱 검정은 적합하게 나타났지만 3개의 배양 접시에 대한 카이 제곱 검정은 적합하지 않게 나타났다(표 23). 카이 제곱 검정 값을 분석한 결과 야생형과 *bli-1*의 표현형에 대한 카이 제곱 값이 많이 나타난 것을 알 수 있었다. 따라서 *bli-1*의 표현형의 발현 실험을 실시하였다.



<그림 15> *bli-1*과 *lon-2* 돌연변이 선충의 이중 돌연변이 화살표는 수포가 나타난 것이다. 크기막대는 0.1 mm 이다.

<표 22> *bli-1* 자웅동체 선충과 *lon-2* 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과

NO.	표현형	<i>bli-1</i> 과 <i>lon-2</i> 의 이중 돌연변이				관찰된 총 개체수
		야생형 표현형으로 관찰된 개체수	<i>bli-1</i> 표현형으로 관찰된 개체수	<i>lon-2</i> 표현형으로 관찰된 개체수	<i>bli-1</i> 과 <i>lon-2</i> 의 이중 돌연변이 표현형으로 관찰된 개체수	
1번	배양 접시	98	18	28	9	153
2번	배양 접시	127	18	36	12	193
3번	배양 접시	133	24	43	10	210
4번	배양 접시	163	23	37	12	235

<표 23> *bli-1* 자용동체 선충과 *lon-2* 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과의 카이제곱 검정

NO.	표현형	야생형	<i>bli-1</i>	<i>lon-2</i>	<i>bli-1</i> 과 <i>lon-2</i> 의 이중	모든
		표현형으로 관찰된 개체수의 카이 제곱 값	표현형으로 관찰된 개체수의 카이 제곱 값	표현형으로 관찰된 개체수의 카이 제곱 값	돌연변이로 관찰된 개체수의 카이 제곱 값	표현형에 대함 카이 제곱 값의 합
1번 배양 접시		1.655819	3.981618	0.016476	0.033088	5.687001
2번 배양 접시		3.131297	9.140868	0.000972	0.000324	12.273461
3번 배양 접시		1.873148	6.003571	0.333730	0.744048	8.954497
4번 배양 접시		7.182299	10.068174	1.132004	0.491755	18.874232

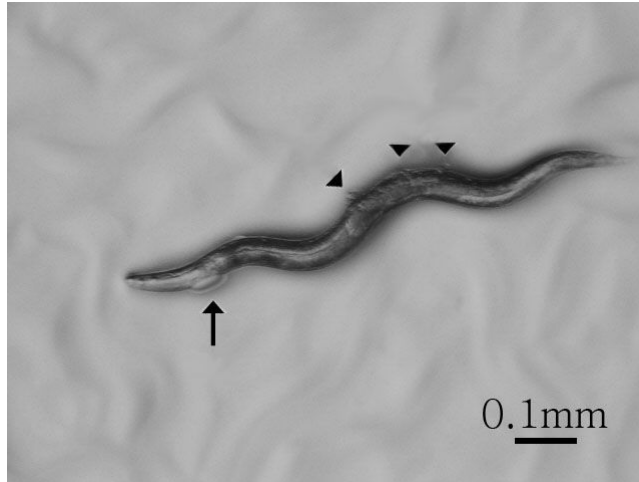
*bli-1*의 표현형 발현 실험은 *bli-1*이 4일 동안 온도별 발현 정도를 알아보기 위해 실시되었다. 먼저 *bli-1*의 성체를 락스와 수산화나트륨으로 처리하여 알을 채취하고 채취한 알을 총 10개의 배양 접시에 골고루 나누어 담았다. 각 2개의 배양 접시를 한 세트로 구성하여 1번에서 5번 세트로 나누었다. 1번은 처음부터 96시간 동안 25 °C에서 배양되었고 2번은 24시간동안 20 °C에서 배양하고 72시간은 25 °C에서 배양하였다. 3번은 48시간동안 20 °C에서 배양하고 48시간은 25 °C에서 배양하였다. 4번은 72시간동안 20 °C에서 배양하고 24시간은 25 °C에서 배양하였다. 5번은 96시간동안 20 °C에서 배양하였다. *bli-1*의 표현형 발현 실험 결과는 <표 24>과 같다.

<표 24> *bli-1*의 발현 실험 결과

		<i>bli-1</i> 이 발현되지 않은 개체의 수	<i>bli-1</i> 이 발현된 개체의 수	죽어있는 개체의 수
1번 세트	1	177	6	6
	2	272	4	9
2번 세트	1	375	3	7
	2	324	1	5
3번 세트	1	352	0	1
	2	297	0	2
4번 세트	1	288	3	0
	2	416	4	0
5번 세트	1	331	13	0
	2	451	17	0

*bli-1*의 발현 실험 결과 4일 안에 *bli-1*의 발현이 잘 일어나지 않음을 알 수 있었다. 그리고 1번과 2번, 3번 세트의 관찰 결과에서는 죽어 있는 선충도 발견이 되었는데 *bli-1*의 발현이 왕성하게 일어나 빨리 죽은 것으로 추측된다. 이렇게 *bli-1*의 표현형이 4일 안에 모두 발현이 되지 않게 되어 관찰이 지체되면 다음 세대가 자라 어버이 세대와 구분이 어렵게 된다. 따라서 *bli-1* 돌연변이와 *lon-2* 돌연변이 조합은 독립의 법칙에 적합하지 않다.

bli-1 돌연변이와 *lin-15* 돌연변이에 대한 예비 실험 결과 두 조합에 대한 이중 돌연변이 표현형(그림 16)은 발견되었지만 관찰 결과(표 25)와 카이 제곱 검정 결과(표 26)에서 적합하지 않게 나타났다. 카이 제곱 검정 값을 분석한 결과, *bli-1* 과 *lin-15* 돌연변이 표현형의 발현이 잘 안되어 카이 제곱 검정 값이 많이 나타난 것으로 추측된다.



<그림 16> *bli-1*과 *lin-15* 돌연변이 선충의 이중 돌연변이 화살표는 수포이고 화살표 머리는 자웅동체 생식기의 형태이다. 크기 막대는 0.1 mm이다.

<표 25> *lin-15* 자웅동체 선충과 *bli-1* 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과

NO.	표현형	<i>bli-1</i> 과 <i>lin-15</i> 의 이중 돌연변이				관찰된 총 개체수
		야생형 표현형으로 관찰된 개체수	<i>bli-1</i> 표현형으로 관찰된 개체수	<i>lin-15</i> 표현형으로 관찰된 개체수	<i>lin-15</i> 의 이중 돌연변이 표현형으로 관찰된 개체수	
1번 배양 접시	87	12	17	7	123	
2번 배양 접시	89	20	17	3	129	
3번 배양 접시	81	14	16	3	114	
4번 배양 접시	68	14	9	3	94	

<표 26> *lin-15* 자용동체 선충과 *bli-1* 수컷 선충의 교배에 대한 잡종 제 2세대의 관찰 결과의 카이제곱 검정

NO.	표현형	야생형	<i>bli-1</i>	<i>lin-15</i>	<i>bli-1</i> 과	모든
		표현형으로 관찰된 개체수의 카이 제곱 값	표현형으로 관찰된 개체수의 카이 제곱 값	표현형으로 관찰된 개체수의 카이 제곱 값	<i>lin-15</i> 의 이중 돌연변이로 관찰된 개체수의 카이 제곱 값	
1번	배양 접시	4.585874	5.306402	1.593665	0.061484	11.547425
2번	배양 접시	3.723568	0.724968	2.135820	3.178779	9.763135
3번	배양 접시	4.440789	2.544591	1.351608	2.388158	10.725146
4번	배양 접시	4.326537	0.745567	4.220745	1.406915	10.699764

이렇게 *bli-1*과 *dpy-5* 돌연변이 선충에 대한 조합과 *bli-1*과 *dpy-13* 돌연변이 선충의 조합, *bli-1*과 *lon-2* 돌연변이 선충 조합, *bli-1*과 *lin-15* 돌연변이 선충의 조합은 모두 적합하지 않게 나타났다. 나머지 이중 돌연변이 조합에 대한 예비 실험과 관찰이 쉬운 돌연변이 선충을 검색하는 연구가 추가로 진행되어야 할 것이다.

3. 예비 탐구 모듈

예비 실험을 통해 검증된 *dpy-5* 돌연변이 선충을 이용하여 우성과 열성 형질의 판별 탐구 실험과 분리의 법칙 탐구 실험에 대한 예비 탐구 모듈을 개발하였다. 독립에 법칙 탐구 실험에 대해 적합한 돌연변이 선충은 선별되지 않아 개발하지 못했다. 예비 탐구 모듈은 우성과 열성 형질의 판별과 분리의 법칙 탐구 실험에 앞서 처음 접하는 실험동물인 예쁜꼬마선충에 대해 알아보고 관찰하며 직접 다루어 볼 수 있는 예쁜꼬마선충의 특징 탐구 실험도 개발되었다(그림 17).

I. 예쁜꼬마선충의 특징

1. 예쁜꼬마선충의 소개

예쁜꼬마선충은 줄 속에서 세균을 잡아먹고 사는 토양 자생 선충으로 1974년 영국의 생물학자 시드니 브래너에 의해 모델동물로 채택되었다. 다리가 눈, 체절이 없고 감각기관을 통해 온도와 촉각, 냄새를 감지한다. 예쁜꼬마선충은 작고 빠르게 크는 강점을 가지고 있고 실험실에서 쉽게 배양이 가능한 대강균을 먹이로 하여 기르기가 매우 수월하다. 예쁜꼬마선충은 자충동체와 수컷의 두 가지 성을 가진다. 자충동체는 자가 수정을 통해 약 300개의 알을 낳으며 수컷과 교미를 하면 약 600개의 알을 낳을 수 있다. 수컷은 자충동체와 형질은 같으나 꼬리 끝에 특화된 생식기가 있어 구분이 쉽다. 성체의 크기는 약 1mm이고 평균 수명은 2~3주이다. 15~25℃ 환경에서 잘 자란다. 몸통이 투명하여 관찰이 용이해 많은 연구에 유용한 모델 동물로 이용된다(그림 1).



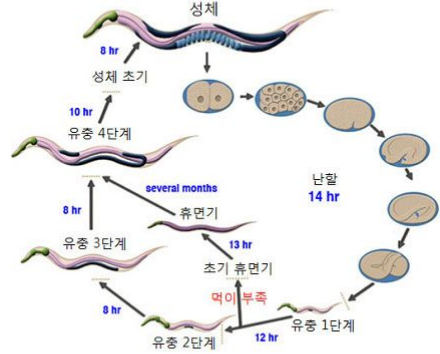
<그림 1> 예쁜꼬마선충 아성형 자충동체(좌) 수컷(우) 크기 막대 0.1mm

2. 예쁜꼬마선충의 생활사

예쁜꼬마선충은 20℃의 환경에서 성체 한 마리가 알을 낳아서 알에서 깨어나고 다시 성체가 되는데 3일밖에 걸리지 않는다(그림 2). 수정이 되어 14시간동안 난황 과정을 거쳐 부화되어 유충 1단계가 되고 이후 4번의 탈피를 거치며 성충의 된다. 유충 1단계를 12시간 거쳐 유충 2단계가 되고 8시간 후에 유충 3단계, 다음 8시간 뒤엔 유충 4단계가 되며 유충 4단계로부터 10시간 뒤에 완전한 성체가 된다. 유충

- 1 -

1단계에서 먹이가 부족하면 유충 2단계로 가지 않고 휴면기 단계로 가게 되는데 약 2~3달 정도 먹이를 먹지 않고도 견딜 수 있다. 휴면기 상태에서 이틀은 먹이가 공급되면 다시 유충 4단계로 편입된다. 자충동체는 유충 4단계에서 생식기(자궁)가 발달하여 형질이 된다. 수컷은 유충 3단계에서 꼬리가 약간 부풀어 오르기 시작하고 유충 4단계가 되면 더욱 부풀어 올라 생식기를 형성한다. 자충동체와 수컷 모두 성체가 되면 생식기가 완성되고 소화관이 확장되고 진해진다.



<그림 2> 예쁜꼬마선충의 생활사

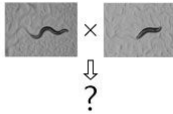
- 2 -

II. 우성과 열성 형질의 판별

1. 아성형 선충과 난쟁이형 선충을

교배시키면 어떤 표현형의 제 1세대 P 대가 나타날까?

① 의문에 대해 기대되는 여러 가지 결과를 예측해 보고 글로 적어보자.



② ‘왜?’ 그러한 예측 결과가 나올 수 있는지 생각해보고 글로 적어보자.

2. 예측한 결과를 확실히 하기 위하여 아성형 수컷 선충과 난쟁이형 자충동체 선충을 교배시켜 보자.

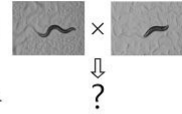
- 아성형 수컷 선충과 난쟁이형 자충동체 선충을 2:1의 비율로 교배 겹시에 옮겨주고 교배 겹시를 20℃ 배양기에 넣어준다.
- 12~24시간이 지나고 난쟁이형 자충동체 선충 1마리를 배양 겹시로 옮겨준다.
- 난쟁이형 자충동체 선충 1마리가 들어있는 배양 겹시를 3일 동안 20℃ 배양기에 넣어준다.
- 3일이 지나고 배양 겹시의 잡종 제 1세대 선충을 실험현미경으로 관찰하자.

- 1 -

III. 분리의 법칙 탐구 실험

1. 잡종 제 1세대를 자가 교배시키면 어떤 표현형의 제 1세대가 나타날까?

① 의문에 대해 기대되는 여러 가지 결과를 예측해 보고 글로 적어보자.



② ‘왜?’ 그러한 예측 결과가 나올 수 있는지 생각해보고 글로 적어보자.

2. ‘왜?’ 잡종 제 1세대 선충의 표현형이 그렇게 나타났는지를 알아보기 위해 제 1세대 선충을 자가 교배시켜보자.

- 잡종 제 1세대의 유충 4단계 자충동체 선충 1마리를 1번째 새 배양 겹시에 옮겨주고, 이 배양 겹시를 20℃ 배양기에 넣어준다.
- 24시간이 지나고 1번째 배양 겹시의 잡종 제 1세대 자충동체 선충을 2번째 배양 겹시로 옮겨주고 이 배양 겹시를 20℃ 배양기에 넣어준다.
- 또다시 24시간이 지나고 2번째 배양 겹시의 잡종 제 1세대 자충동체 선충을 제거한다.

- 1 -

<그림 17> 예비 탐구 모듈

B. 최종 탐구 모듈 개발

1. 예비 탐구 모듈의 적용 결과

예비 탐구 실험 모듈을 교육 현장에 적용하고 학생들의 의견을 알아보기 위해 설문조사를 실시하였다. 설문지의 응답 결과를 수량화하기 위하여 ‘매우 그렇다’는 5점, ‘그렇다’는 4점, ‘보통’은 3점, ‘그렇지 않다’는 2점, ‘매우 그렇지 않다’는 1점으로 점수를 부여하고 각 항목에 대한 총점을 백분율로 나타냈다(표 27). 설문지 분석 결과 대부분의 문항에서 높은 호응을 보였고 특히 학생들이 기존의 수업에 비해 많은 생각을 하게 하였다는 문항이 가장 높은 평가를 받았다. 높은 호응을 보인 이유로는 ‘이론으로만 배웠던 멘델의 유전 법칙을 실제 실험을 통해 경험해볼 수 있어 좋았다’, ‘멘델이 사용한 완두가 아닌 다른 실험생물로도 유전 법칙을 경험할 수 있어 좋았다’, ‘예쁜꼬마선충의 표현형이 구분이 쉬웠다’ 그리고 ‘멘델의 유전 법칙을 직접 실험을 통해 학습하면 더 잘 이해할 수 있고 기억에 오래 남을 거 같다’라고 응답하였다. 그러나 탐구 활동에 대한 수월성에서 선충의 조작과 발생 단계의 구분이 어렵다는 이유로 다소 낮은 평가를 받았다. 또한 ‘수업시간이 길어 집중력이 떨어지고 지루하였다’는 응답도 있었다. 학생들이 탐구 활동을 수행하면서 작성하였던 활동지와 탐구 활동을 마치고 작성하였던 설문지의 분석 결과를 바탕으로 예비 탐구 모듈을 수정 및 보완하였다.

<표 27> 학생들의 설문지 문항별 평가 결과

설문지 문항	점수
이 탐구활동은 쉬웠습니까?	63
이 탐구 모듈을 이용한 실험 수업은 흥미로웠습니까?	80
이 탐구 모듈이 멘델의 유전 법칙을 이해하는데 도움을 주었습니까?	80
이 탐구 모듈이 수업에 활용하면 개념학습에 도움이 될까요?	77
이 탐구 모듈을 이용한 수업이 기존의 수업에 비해 더 많은 생각을 하게 하였나요?	90
이 탐구 활동이 자신의 창의적 사고 능력 향상에 도움이 되었습니까?	77

2. 예비 탐구 모듈의 수정 및 보완

예비 탐구 모듈이 현장에서 유용하게 활용이 가능하기 위해서는 실제적인 적용을 통하여 수정 및 보완하는 과정이 필요하다. 따라서 예비 탐구 모듈의 적용을 통해 알아보았던 학생들의 의견을 바탕으로 예비 탐구 모듈의 미흡한 부분을 수정, 보완하고자 하였다.

먼저 학생들의 집중도와 교육 현장의 여건을 고려하여 각 차시별 소요 시간을 검토하였다. 예쁜꼬마선충의 관찰 탐구 실험 시간을 실제 교육 현장에 맞게 2차시 동안 진행 하도록 제시하였다. 그리고 모든 탐구 실험에 필요한 유충 4단계의 구분을 수월하게 하기 위해 선충의 발생 단계에 대한 내용을 추가하였다.

분리의 법칙 탐구 실험에서는 여러 표현형의 돌연변이 선충을 제공하고 조별로 골라 사용하여 다양한 탐구 실험을 접할 수 있도록 수정하였다. 예비실험을 통해 적합한 결과를 보여줬던 *lon-2* 돌연변이 선충과 *rol-4* 돌연변이 선충을 추가하여 *dpy-5* 돌연변이 선충을 포함한 3가지 표현형에 대한 선충 중에서 선택하여 탐구 실험을 수행할 수 있다.

3. 최종 탐구 모듈

이 연구를 통해 개발된 예쁜꼬마선충을 이용한 멘델의 유전 법칙 탐구 모듈은 순환학습모형을 기반으로 한다. 실험 과정을 자세히 설명하고 단순히 개념을 확인만 하는 기존의 실험과 달리 학생 스스로 가설을 세우고 실험 설계를 하여 문제를 해결하는 창의적 탐구 활동이 가능한 탐색과 개념 도입, 개념 적용으로 구성되었다. 탐구 모듈은 총 5차시로 개발되었으며 10일 걸쳐 실험이 진행된다.

멘델의 유전 법칙 탐구 모듈은 학생용 활동지와 교사용 지도서로 나누어 개발되었다. 학생용 활동지는 교사의 도움 없이 스스로 탐구 과정을 거쳐 수행할 수 있도록 하였고, 교사용 지도서는 수업에 필요한 여러 관련 지식과 지도 방법을 추가하여 모듈을 처음 접한 교사도 학생들을 지도하는데 어려움이 없도록 하였다. 그리고 각 실험 수업에 대해 관련된 지식과 실험 진행 스케줄을 첨부하여 실험 수업이 차질 없이 이루어 질 수 있도록 하였다. 교사용 지도서는 부록에 첨부하였다.

탐구 모듈은 예쁜꼬마선충 관찰과 우성과 열성, 분리의 법칙 탐구 실험으로 구성되었다. 예쁜꼬마선충의 관찰 탐구 실험은 예쁜꼬마선충의 기본 지식과 선충을 다루는 방법을 배우고 예쁜꼬마선충들을 실제현미경으로 관찰하는 시간으로 2차시에 걸쳐 진행된다. 우성과 열성과 분리의 법칙 탐구 실험은 총 3차시에 걸쳐 진행된다. 예쁜꼬마선충의 관찰 탐구 실험은 우성과 열성 형질의 판별 탐구 실험과 연계하여 진행이 되고 우성과 열성 형질의 판별 탐구 실험은 분리의 법칙 탐구 실험과 연계되어 진행된다.

a. 예쁜꼬마선충의 관찰

개발된 탐구 모듈의 첫 번째 실험인 예쁜꼬마선충의 관찰 탐구 실험에서는 학생들에게는 생소한 실험 소재인 예쁜꼬마선충에 대해서 알아보고 관찰하며 다루어 보는 수업이다.

예쁜꼬마선충의 관찰 탐구 실험에서는 먼저 탐구 실험에서 사용되는 실험동물인 예쁜꼬마선충의 특징과 생활사 등의 기본 지식을 학습한다. 그리고 실험을 수행하기 위해 필요한 유의사항을 숙지하고 예쁜꼬마선충을 실제현미경으로 관찰한다. 예쁜꼬마선충의 자웅동체와 수컷, 유충 4단계의 자웅동체, 여러 표현형의 돌연변이 선충을 관찰하고 각각의 특징을 익히며 직접 그려보고 글로 적어본다. 예쁜꼬마선충을 이용하여 유전 법칙에 대한 실험을 수행하기 위해서는 기술적인 과정도 필요하다. 따라서 전반적인 실험 과정에 대해 알아보고 예쁜꼬마선충을 다루는 방법에 대해 알아보며 실제로 다루어 본다(표 28, 그림 18~20).

이렇게 이 탐구 실험에서는 학생들이 탐구 모듈을 수행하는데 필요한 여러 사항을 습득하여 실험이 원활히 진행할 수 있도록 한다. 학생들이 탐구 모듈의 유전 법칙에 대한 탐구 실험을 수행하는데 기본 바탕이므로 바르게 습득이 되지 않으면 좋은 결과를 얻을 수 없기 때문에 매우 중요하다. 또한 부록에 수록된 읽을거리(예쁜꼬마선충과 노벨상)를 수업에 이용하여 학생들의 흥미를 유발하며 수업을 진행할 수도 있다.

<학성용 활동지>

I. 예쁜꼬마선충(*Caenorhabditis elegans*)의 관찰

1. 학습 목표

- 1) 지식
 - 예쁜꼬마선충의 특징과 유전 실험 재료로 사용하기에 좋은 점을 말할 수 있다.
- 2) 탐구
 - 예쁜꼬마선충의 자웅동체와 수컷, 유충 4단계의 자웅동체를 구분할 수 있다.
 - 아성형과 여러 플런변이 예쁜꼬마선충을 구분하고 차이점을 설명할 수 있다.
 - 예쁜꼬마선충을 다루는 방법을 익히고 피커를 이용하여 조작할 수 있다.
- 3) 태도
 - 예쁜꼬마선충의 관찰을 통해 다양한 표현형의 플런변이 예쁜꼬마선충에 흥미를 갖게 된다.

2. 실험 원리

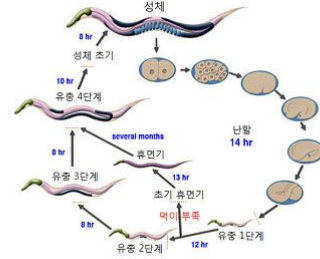
예쁜꼬마선충은 흙 속에서 세균을 잡아먹고 사는 토양 자생 선충으로 1974년 영국의 생물학자 시드니 브래너에 의해 모델동물로 선택되었다. 다리나 눈, 체절이 없고 감각기관을 통해 온도와 촉각, 냄새를 감지한다. 예쁜꼬마선충은 작고 빠르게 움직이는 장점을 가지고 있고 실험실에서 쉽게 배양이 가능한 대장균을 먹이로 하여 기르기가 매우 수월하다. 예쁜꼬마선충은 자가 수정을 하는 자웅동체와 수컷의 두 가지 성을 가진다. 자웅동체는 약 300개의 알을 낳으며 수컷과 교미 통해 더 많이 낳을 수 있다. 수컷은 자웅동체와 혈질은 같으나 꼬리 끝에 독특한 생식기가 있어 구분이 쉽다. 성체의 크기는 약 1mm이고 평균 수명은 2~3주이다. 15~25°C 환경에서 잘 자란다. 몸통이 투명하여 관찰이 용이해 많은 연구에 유용한 모델 동물로 이용된다(그림 1).

예쁜꼬마선충은 20°C의 환경에서 성체 한 마리가 알을 낳아서 알에서 깨어나고 다시 성체가 되는데 3일밖에 걸리지 않는다(그림 2). 수컷이 되어 14시간동안 난할 과정을 거쳐 부화되어 유충 1단계가 되고 이후 4번의 탈피를 거치며 성충의 된다. 유충 1단계를 12시간 거쳐 유충 2단계가 되고 8시간 후에 유충 3단계, 다음 8

시간 뒤엔 유충 4단계가 되며 유충 4단계로부터 10시간 뒤에 완전한 성체가 된다. 유충 1단계에서 먹이가 부족한 상황이면 유충 2단계로 가지 않고 휴면기 단계로 가게 되는데 약 2~3달 정도 먹이를 먹지 않고도 견딜 수 있다. 휴면기 상태에서 이들은 먹이가 공급되면 다시 유충 4단계로 편입된다. 자웅동체는 유충 4단계에서 생식기(자궁)가 발달하여 형성되다. 수컷은 유충 3단계에서 꼬리가 약간 부풀어 오르기 시작하고 유충 4단계가 되면 더욱 부풀어 올라 생식기를 형성한다. 자웅동체와 수컷 모두 성체가 되면 생식기가 완성되고 소화관이 확장되고 진해진다(그림 3).



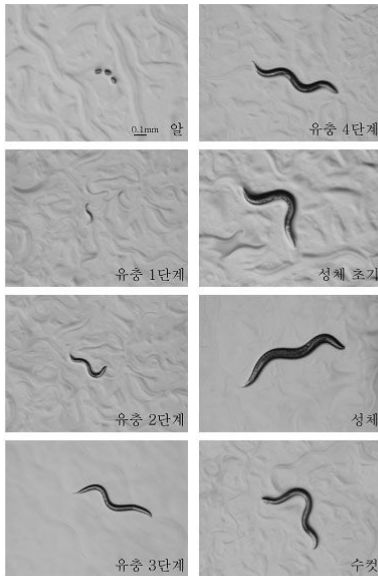
<그림 1> 예쁜꼬마선충 아성형 자웅동체(좌)와 수컷(우)(크기 막대 0.1mm)



<그림 2> 예쁜꼬마선충의 생활사

- 1 -

- 2 -



<그림 3> 예쁜꼬마선충의 발달 단계 및 성별(크기 막대 0.1mm)

- 3 -

3. 준비물

실체현미경(반사경이 설치된 것), 배양 접시, 교배 접시, 백금선 피커, 알코올램프, 계수기, 70% 알코올 분무기



<그림 4> 준비물

4. 실험 중 유의사항

- 1) 실험을 시작하기 전에 주변부와 손을 70%알코올 분무기로 멸균하고 피커는 알코올램프로 멸균한다.
- 2) 배양 접시의 뚜껑이 자주 또는 장시간 열리면 배지가 노출되어 오염될 수 있으니 불필요하게 열어두지 않도록 한다.
- 3) 피커를 조작할 때 알코올램프로 자주 멸균하고 피커 끝이 다른 물체에 닿게 되면 반드시 알코올램프로 다시 멸균하고 사용하여야 한다. 피커의 멸균을 소홀히 하면 오염될 가능성이 높다.
- 4) 피커로 예쁜꼬마선충을 옮길 때, 배양 접시의 배지가 패이지 않도록 조심한다. 배지가 패이면 예쁜꼬마선충이 배지 속으로 파고들어 정확한 실험 결과를 얻을 수 없다.

- 4 -

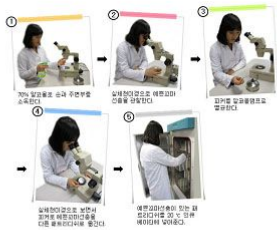
<그림 18> 예쁜꼬마선충의 관찰(1~4쪽)

- 5) 예쁜꼬마선충을 옮길 때 알이나 유충 등이 떨어지지 않게 섬세하게 조작한다. 만약 알이나 유충이 떨어지게 되면 정확한 실험이 이루어지지 않는다. 떨어진 경우에는 다시 피커로 제거한다.
- 6) 접시의 예쁜꼬마선충 수를 셀 때 반드시 다른 조절과 번갈아가며 2회 이상 세어 신뢰도를 높인다.
- 7) 배양 접시에 기입할 내용이 있을 때는 반드시 아랫면 가장자리에 기입한다. 만약 뚜껑에 기입할 경우, 다른 배양 접시의 뚜껑과 바뀌게 되면 실험이 계속 진행될 수 없다.

5. 탐구 과정

- 1) 성체의 야생형 예쁜꼬마선충의 자용동체와 수컷을 실체현미경으로 관찰하고 그려보자. 그리고 자용동체와 수컷을 비교하여 글로 적어보자.
- 2) 성체의 야생형 예쁜꼬마선충의 자용동체와 유충 4단계를 관찰하고 그려보자. 그리고 성체와 유충 4단계를 비교하여 글로 적어보자.
- 3) 성체의 돌연변이 예쁜꼬마선충들을 관찰하고 그려보자. 그리고 야생형 선충과 비교하여 글로 적어보자.

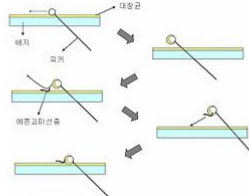
야생형 자용동체 선충	야생형 수컷 선충



<그림 5> 예쁜꼬마선충을 다른 배양 접시에 옮기는 과정

(2) 예쁜꼬마선충을 백금선 피커로 조작하는 방법(그림 6)

- ① 피커의 끝에 배양 접시의 대장균을 묻힌다.
- ② 대장균이 묻은 피커의 끝 부분으로 옮길 예쁜꼬마선충을 붙인다.
- ③ 예쁜꼬마선충이 붙은 피커의 끝 부분을 옮길 배양 접시의 배지 표면에 살짝 대고 기다리면 예쁜꼬마선충이 내려온다.



<그림 6> 예쁜꼬마선충 조작 방법

유충 4단계 야생형 자용동체 선충	돌연형 선충
키다리형 선충	회전형 선충

3) 예쁜꼬마선충을 다루는 방법에 대해 알아보고 피커를 이용하여 직접 옮겨보자.

- (1) 예쁜꼬마선충을 다른 배양 접시로 옮기는 과정(그림 5)
예쁜꼬마선충을 이용한 실험을 하기 위해서는 예쁜꼬마선충을 옮겨주는 과정이 필수적이다. 먼저 70% 알코올 분무기로 손에 뿌리고 비비면서 소독한다. 그리고 주변부도 뿌리고 닦아낸다. 소독을 마치고 실체현미경으로 배양 접시를 관찰하며 옮겨줄 예쁜꼬마선충을 찾는다. 알코올램프에 멸균한 피커를 이용하여 예쁜꼬마선충을 실체현미경으로 보면서 다른 배양 접시로 옮겨준다.

(3) 예쁜꼬마선충 교배 시키는 방법

교배 접시는 배양 접시와 달리 대장균이 가운데 부분에만 조금 깔려있다. 따라서 예쁜꼬마선충이 먹이를 얻을 수 있는 공간이 좁아 다른 선충들과 배양 접시에 교배시키는 것보다 더 자주 마구치게 되어 수월하게 교배시킬 수 있다. 그리고 교배시킬 때 자용동체는 유충 4단계를 사용하고 수컷은 성체를 사용해야 한다. 그리고 선충은 자용동체와 수컷을 1:2에서 1:3의 비율로 넣어주면 교배가 잘 이루어진다. 1개의 교배 접시에 자용동체 2~3마리와 수컷 4~9마리정도를 넣어주면 가장 좋다.

(4) 예쁜꼬마선충의 수를 세는 방법

예쁜꼬마선충을 이용한 실험에서 자료를 얻기 위해서는 선충의 혈집에 따라 구분하고 수를 세는 것이 필요하다. 수를 세는 과정은 (그림 7)에 자세히 설명하였다. 격자를 그릴 때 붉은 유성편으로 배양 접시의 아랫면에 격자를 그려야 예쁜꼬마선충을 관찰하기 쉽다. 격자의 크기는 현미경으로 관찰하기 쉬운 크기나 나누어 그린다(16~25등분으로 그리는 것이 좋다).



<그림 7> 예쁜꼬마선충의 수를 세는 방법

<그림 19> 예쁜꼬마선충의 관찰(5~8쪽)

- (5) 배양 접시에 살고 있는 예쁜꼬마선충을 다른 접시로 옮겨보자.
- ① 야생형과 여러 표현형의 돌연변이 예쁜꼬마선충을 연습용 배양 접시에 배지가 패이지 않게 조심하면서 최대한 많이 옮겨보자.
 - ② 야생형과 여러 표현형의 돌연변이 예쁜꼬마선충을 관찰하며 유충 4단계의 선충만 골라 연습용 배양 접시로 옮겨보자.
 - ③ 야생형 수컷 예쁜꼬마선충이 들어있는 배양 접시에서 야생형 수컷 선충만 골라 연습용 배양 접시로 옮겨보자.
 - ④ 선충을 옮긴 연습용 배양 접시의 아랫면에 붉은 유성켄으로 격자를 그리고 종류별로 수를 세어보자.

- 9 -

<그림 20> 예쁜꼬마선충의 관찰(9쪽)

<표 28> 예쁜꼬마선충의 관찰 탐구 실험의 세부 활동

실험 주제	차시	세부 활동	소요시간
예쁜꼬마선충의 관찰	1차시	<ul style="list-style-type: none"> · 예쁜꼬마선충의 특징과 생활사 등 학습 · 실험 중 유의사항 숙지 · 예쁜꼬마선충의 관찰 · 예쁜꼬마선충의 단계 및 성별 구분 	1시간
	2차시	<ul style="list-style-type: none"> · 예쁜꼬마선충의 다루는 과정 숙지 · 예쁜꼬마선충의 조작 연습 · 유전 법칙 탐구 실험을 위해 선충 교배 (추후 실시할 탐구 실험과 연계) <ul style="list-style-type: none"> - 돌연변이 자웅동체 선충과 야생형 수컷 선충 교배시키기(교배시키고 12~24시간이 지나면 돌연변이 자웅동체를 배양 접시로 옮겨준다.) 	1시간

b. 우성과 열성 형질의 판별 탐구 실험

예쁜꼬마선충 돌연변이가 우성 또는 열성 형질을 판별하는 실험은 예쁜꼬마선충의 관찰 실험 수업과 연계하여 실시한다. 예쁜꼬마선충의 관찰 실험 수업을 마치고 야생형 수컷 선충과 돌연변이 자웅동체 선충을 교배시킨다. 이렇게 예쁜꼬마선충의 관찰 실험 수업에서 교배시킨 자웅동체 선충은 잡종 제 1세대를 낳게 되고 잡종 제 1세대 개체의 표현형을 확인함으로써 돌연변이 형질의 우·열을 판정한다. 이 실험에서는 교배를 통해 낳은 잡종 제 1세대의 표현형을 예측하고, 또 왜 그러한 표현형이 나올 수 있는지 생각하며, 교배를 통해 낳은 잡종 제 1세대의 성체를 실제 현미경으로 관찰하고 예측했던 결과와 관찰 결과를 비교해볼 수 있다. 이러한 실험 과정들은 학생 스스로 수행하면서 과학적 사고과정을 유도하여 창의적 사고 능력을 배양시킬 수 있다. 그리고 조별로 발표와 토의를 통하여 여러 학생들의 의견을 들어본다. 교사는 학생들의 의견을 정리하고 우성과 열성의 개념을 도입한다. 그리고 멘델의 실험에서 완두콩에 나타만 우성과 열성 형질을 예로 들어 학생들의 개념을 명료화시켜준다(표 29, 그림 21).

<표 29> 우성과 열성 형질의 판별 탐구 실험의 세부 활동

실험 주제	차시	세부 활동	소요시간
우성과 열성 형질 탐구 실험	3차시	<ul style="list-style-type: none"> · 우성과 열성 형질 탐구 실험 - 우성과 열성 형질에 대한 가설 생성 - 잡종 제 1세대 관찰 - 우성과 열성 형질에 대한 가설 검증 - 발표 및 토의 - 정리 및 적용 	1시간

<학생용 활동지>

II. 우성과 열성 형질의 판별 탐구 실험

1. 학습 목표

- 1) 지식
 - 야생형과 표현형이 다른 돌연변이 예쁜꼬마선충의 교배 실험을 통해 우성과 열성 형질을 판별할 수 있다.
- 2) 탐구
 - 야생형과 표현형이 다른 돌연변이 예쁜꼬마선충의 교배로 어떤 표현형의 잡종 제 1세대가 나타날 것인지 예측할 수 있다.
 - 잡종 제 1세대를 관찰하고 예측한 결과와 비교하여 어떻게 잡종 제 1세대의 표현형이 나타났는지 설명할 수 있다.
- 3) 태도
 - 예쁜꼬마선충의 교배 실험을 통해 유전 원리에 흥미를 갖게 된다.

2. 탐구 과정

- 1). 야생형과 돌연변이 예쁜꼬마선충을 교배시키면 어떤 표현형의 제 1세대가 나타날까?(난쟁이형과 키다리형, 회전형 돌연변이 예쁜꼬마선충 중에서 하나를 선택하자.)
 - (1) 의문에 대해 기대되는 여러 가지 결과들 예측해 보고 글로 적어보자.

 - (2) '왜?' 그러한 예측 결과가 나올 수 있는지 생각해보고 글로 적어보자.
-
-
-

- 2) 예측한 결과를 확인하기 위하여 야생형 수컷 선충과 돌연변이 자동동체 선충을 교배시켜 보자.
 - (1) 야생형 수컷 선충과 돌연변이 자동동체 선충을 2:1의 비율로 교배 접시에 옮겨주고 교배 접시를 20℃ 배양기에 넣어준다.
 - (2) 12~24시간이 지나고 돌연변이 자동동체 선충 1마리를 배양 접시로 옮겨준다.
 - (3) 돌연변이 자동동체 선충 1마리가 들어있는 배양 접시를 3일 동안 20℃ 배양기에 넣어둔다.
 - (4) 3일이 지나고 배양 접시의 잡종 제 1세대 선충을 실험현미경으로 관찰하자.
- 3) 잡종 제 1세대 선충을 실험현미경으로 관찰하자.
 - (1) 잡종 제 1세대 선충과 어버이 세대(야생형과 돌연변이 예쁜꼬마선충)와 비교하여 글로 적어보자.

3. 실험 결과에 대한 의견을 조별로 발표하고 토의해보자.

- 1 -

- 2 -

<그림 21> 우성과 열성 형질의 판별 탐구 실험(1~2쪽)

C. 분리의 법칙 탐구 실험

분리의 법칙 탐구 실험을 위해 잡종 제 1세대를 새 배양 접시로 옮겨준다. 다음 분리의 법칙 탐구 실험 수업에서 자가 수정을 통해 나타날 잡종 제 2세대의 표현형을 예측해 본다. 그리고 두 번째와 세 번째 탐구 실험 수업에서는 잡종 제 2세대의 표현형을 관찰하고 표현형 별로 수를 세어보며 실험 결과에 대해 정리하고 자신이 예측한 결과와 비교하여 왜 이런 결과가 나왔는지를 고민하고 자신만의 표현으로 직접 적어본다. 이 실험 과정들 또한 학생들 스스로 수행하면서 과학적 사고과정을 유도하고 창의적 사고능력을 배양시킬 수 있다. 그리고 조별로 발표와 토의를 통하여 여러 학생들의 의견을 들어본다. 교사는 학생들의 의견을 정리하고 분리의 법칙 용어를 도입한다. 그리고 멘델이 완두콩을 이용하여 수행한 분리의 법칙 실험을 예로 들어 학생들의 개념을 명료화시켜준다(표 30, 그림22).

<표 30> 분리의 법칙 탐구 실험의 차시별 주제와 세부 활동

실험 주제	차시	세부 활동	소요시간
	3차시	<ul style="list-style-type: none"> · 분리의 법칙 탐구 실험 - 잡종 제 1세대를 1번째 새 배양 접시로 옮겨주기(1번째 배양 접시에 있던 잡종 제 1세대 자용동체 선충을 24시간이 지나면 새로운 2번째 배양 접시로 옮겨주고 48시간이 되면 2번째 배양 접시에서 제거한다.) 	1시간
분리의 법칙 탐구 실험	4차시	<ul style="list-style-type: none"> · 분리의 법칙 탐구 실험 - 분리의 법칙 가설 생성 - 1번째 배양 접시에서 잡종 제 2세대 관찰 - 1번째 배양 접시의 예쁜꼬마선충을 표현형 별로 수 세기 	1시간
	5차시	<ul style="list-style-type: none"> · 분리의 법칙 탐구 실험 - 2번째 배양 접시에서 잡종 제 2세대 관찰 - 2번째 배양 접시의 예쁜꼬마선충을 표현형 별로 수 세기 - 잡종 제 2세대의 관찰 결과를 분석하고 분리의 법칙 가설 검증하기 - 발표 및 토의 	1시간

III. 분리의 법칙 탐구 실험

1. 학습 목표

- 1) 지식
 - 아령형과 표현형이 다른 돌연변이 예쁜꼬마선충의 교배 실험을 통해 분리의 법칙을 설명 할 수 있다.
- 2) 탐구
 - 감중 제 1세대를 자가 교배시켜 감중 제 2세대에서 어떤 표현형이 나타날지 예측 할 수 있다.
 - 감중 제 2세대를 관찰하고 예측한 결과와 비교하여 어떻게 감중 제 2세대의 표현형이 나타났는지 설명할 수 있다.
- 3) 태도
 - 예쁜꼬마선충의 교배 실험을 통해 유전 원리에 흥미를 갖게 된다.

2. 탐구 과정

- 1) 감중 제 1세대를 자가 교배시키면 어떤 표현형의 제 2세대가 나타날까?
(1) 감중 제 2세대에서 어떠한 형질이 나타날지 예측해보고 글로 적어보자.

- (2) '왜?' 그러한 예측 결과가 나올 수 있는지 생각해보고 글로 적어보자.

- 4) 감중 제 2세대를 표현형별로 전체 개체의 수를 구하고 비교해보자.

표현형	총 개체의 수	비

3. 실험 결과에 대한 의견을 조별로 발표하고 토의해보자.

- 2) 예측한 결과를 확인하기 위해 제 1세대 선충을 자가 교배시켜보자.
 - (1) 감중 제 1세대의 유충 4단계 자동동체 선충 1마리를 1번째 배양 접시에 옮겨주고, 이 배양 접시를 20℃ 배양기에 넣어준다.
 - (2) 24시간이 지나고 1번째 배양 접시의 감중 제 1세대 자동동체 선충을 2번째 배양 접시로 옮겨주고 이 배양 접시를 20℃ 배양기에 넣어준다.
 - (3) 또다시 24시간이 지나고 2번째 배양 접시의 감중 제 1세대 자동동체 선충을 제거한다.
 - (4) 1번째 배양 접시에서 2번째 배양 접시로 감중 제 1세대 자동동체 선충을 옮긴 후 3일이 지나고 1번째 배양 접시의 감중 제 2세대를 실제현미경으로 관찰하자. 1번째 배양 접시의 아랫면에 붉은 유성편으로 격자를 그리고 실제현미경으로 관찰하며 표현형에 따라 구분하여 선충의 수를 세어보자.
 - (5) 2번째 배양 접시에서 감중 제 1세대 자동동체 선충을 제거한 후 3일이 지나고 1번째 배양 접시의 감중 제 2세대를 실제현미경으로 관찰하자. 1번째 배양 접시의 아랫면에 붉은 유성편으로 격자를 그리고 실제현미경으로 관찰하며 표현형에 따라 구분하여 선충의 수를 세어보자.

배양 접시	표현형		
1번째 배양 페트리디시의 개체의 수			
2번째 배양 페트리디시의 개체의 수			

- 3) 감중 제 2세대 선충을 관찰하고 예측한 결과와 관찰한 결과를 비교해보고, 감중 제 2세대에서 '왜?' 그러한 실험 결과가 나타났는지 생각해보고 글로 적어보자.

<그림 22> 분리의 법칙 탐구 실험(1~3쪽)

d. 읽을거리

탐구 실험이 들어가기에 앞서 학생들의 흥미와 관심을 유발하기 위한 읽을거리를 제공한다. 읽을거리의 주제는 ‘예쁜꼬마선충과 노벨상’으로 예쁜꼬마선충을 실험 소재로 이용한 연구를 통해 노벨상을 타게 된 이야기이다(그림 27). 예쁜꼬마선충을 이용하여 연구한 과학자들이 최근에 총 3번에 걸쳐 노벨상을 받았다. 첫 번째로 2002년에 ‘기관 발생 과정에서 세포자살의 유전학적 조절 기작의 발견’으로 노벨 생리 의학상을 수상하였다. 두 번째는 2006년에 ‘이중가닥 RNA에 의한 유전자 발현 억제 기작의 발견’으로 노벨 생리 의학상을 수상하였다. 세 번째는 2008년에 ‘녹색형광 단백질의 발견과 개발’로 노벨 화학상을 수상하였다(그림 23).

노벨상은 과학자들이 꿈꾸는 가장 위대한 상으로 매년 세계적으로 큰 이슈가 되어 소제가 된다. 따라서 학생들이 직접 다룰 탐구 실험 소재와 관련된 노벨상을 소개 함으로써 학생들에게 이 탐구 실험 수업을 받는 것에 대한 자긍심을 일깨워 주어 수업의 질을 향상 시킬 수 있게 될 것이다.

<읽을거리>

에른코마선충과 노벨상

에른코마선충을 실험 재료로 활용하여 연구를 한 사람들이 3번에 걸쳐 노벨상을 탔다. 어떠한 업적으로 노벨상을 타게 되었는지 알아보자.

1. 노벨 생리 의학상(그림 1)

2002년에 '기관 발생 과정에서의 세포자살의 유전학적 조절 기작의 발견'으로 3명이 공동 수상하였다.

1) Sydney Brenner

간단한 신경계를 가지고 있으면서 행동까지 이해할 수 있는 신경 생물학 분야를 연구하는 좋은 재료로 에른코마선충을 찾게 되었다.

2) John E. Sulston

선충의 수정란에서부터 성체에 이르는 모든 세포들의 분열순서와 이를 파악할 수 있는 방법을 개발하여 성체를 이루는 각 세포의 기원, 즉 세포 계보를 완전히 파악하였다.

3) H. Robert Horvitz

1986년에 선충을 이용한 실험에서 세포자살에 필수적으로 관여하는 유전자를 발견하고 사람에게도 선충에서 발견한 유전자와 유사한 유전자가 존재한다는 것을 입증하였다.

2. 노벨 생리 의학상(그림 2)

2006년에 '이중가닥 RNA에 의한 유전자 발현 억제 기작의 발견'으로 2명이 공동 수상하였다.

1) Andrew Z. Fire와 Craig C. Mello

1998년 Fire와 Mello는 에른코마선충을 대상으로 유전자 발현이 어떻게 조절되는지를 연구하여 최초로 에른코마선충에서 특정 유전자로부터 전사된 mRNA가 분해되는 기작인 RNA간섭(방해)을 밝혔다.

3. 노벨 화학상 (그림 3)

2008년에 '녹색형광 단백질의 발견과 개발'로 3명이 공동 수상하였다.

1) Osamu Shimomura

1960년대에 해파리에서 녹색 형광 단백질을 발견했다.

2) Martin Chalfie

1994년 녹색형광 단백질(GFP)을 에른코마선충에 적용하여 유전자의 발현을 추적할 수 있는 연구 결과를 발표하였다.

3) Roger Y. Tsien

녹색형광 단백질을 기반으로 노란색형광 단백질과 붉은색형광 단백질 개발하였다.



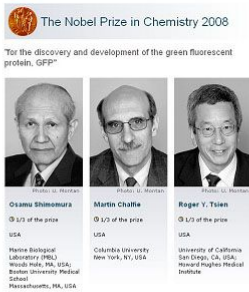
<그림 1> 2002년 노벨 생리 의학상

- 1 -

- 2 -



<그림 2> 2006년 노벨 생리 의학상



<그림 3> 2008년 노벨 화학상

- 3 -

<그림 23> 에른코마선충과 노벨상(읽을거리)

V. 결론 및 제언

이 연구에서는 생활사가 짧고 다루기 쉬우며 현재 다양한 생물학 연구에 이용되고 있는 모델동물인 예쁜꼬마선충을 이용하여 학생 스스로 의문점에 대해 과학적 탐구과정을 거쳐 멘델의 유전 법칙을 발견할 수 있는 탐구 모듈을 개발하였다. 탐구 모듈은 학생용 탐구 모듈과 이를 지도하기 위한 교사용 지도서로 구성하였다. 학생용 탐구 모듈은 학생 스스로 문제를 인식하여 그 현상에 대한 가설을 세우고 가설을 검증하기 위해 실험 방법을 고안하고 수행할 수 있도록 순환학습모형을 기반으로 구성되었다. 그리고 실험 결과가 도출되면 조별 토론과 발표를 실시하여 본인의 의견을 명료화하도록 하였다. 교사용 안내서는 학생들이 탐구 실험을 수행하는데 조력자로서의 역할을 수행하기 위해 필요한 제반 지식과 실험 수업 준비 방법, 유의사항 등을 첨부하였다.

개발된 탐구 모듈은 중등학교 교육 현장에서 실험 소재의 부족함으로 인한 실험 수업의 어려움을 해결할 수 있으며, 특히 멘델의 유전 법칙에 대한 기존의 실험 방법보다 더 짧은 기간에 실시할 수 있다. 또한 학생들 스스로 지식을 생성할 수 있는 창의적 탐구 과정을 수행하여 올바른 개념을 이해하고 탐구 능력 배양에 도움이 된다. 그리고 현재 다양한 생물학 연구에 이용되고 있는 모델 동물로 실험 소재를 이용함으로써 학생들의 생명과학에 대한 흥미를 유발하고 관심을 증진시켜 과학에 대한 긍정적인 태도를 갖게 할 수 있다. 이러한 장점으로 개발된 탐구 모듈은 교육 현장에서 매우 긍정적으로 이용될 수 있겠다.

이 연구 결과를 바탕으로 개발된 탐구 모듈은 멘델의 분리의 법칙에 대한 탐구 실험이 포함되어 있다. 독립의 법칙에 대한 탐구 실험은 적합한 표현형의 선충을 찾는 후속연구가 필요하다. 그리고 교육 현장에서 충분한 검증을 거쳐 학생들에게 어떤 효과를 나타내는지 알아보는 후속 연구가 필요하다. 또한 과학 탐구의 모델 동물로 매우 유용한 예쁜꼬마선충을 이용하여 다양한 실험 모듈의 개발이 필요하다.

VI. 참고문헌

1. 김찬중, 채동현, 임채성(2007). 과학교육학개론. 북스힐.
2. 김희경(2003). 중학생의 동료 간 논변활동을 강조한 개방적 물리 탐구: 조건, 특징, 역할을 중심으로. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
3. 김희경, 송진웅(2003). 과학실험의 목적에 대한 중학생의 인식 조사. 한국과학교육학회지, 23(3), 254-264.
4. 도복선(2006). 과학의 사기꾼. 시아출판사.
5. 문두호(2006). 중학교 과학에서 사람의 유전에 관한 탐구 지향형 실험 모듈의 개발. 한국생물교육학회지, 34(2):218-231
6. 박승재, 조희영(2001). 교수-학습 이론과 과학교육. 교육과학사.
7. 이성목외 11인(2004) 중학교 교과서 과학3 금성출판사
8. 이정임(2000). 인류사를 바꾼 100대 과학사건. 학민사.
9. 이재기, 박기석, 전미란, 김규태, 전상학(2007). 중학교 과학 영재를 위한 유전 심화 학습 프로그램의 개발과 적용-초과리(돌연변이체)를 중심으로-. 한국생물교육학회지, 35(2), 236-252.
10. 장미영, 차희영, 홍준의(2007). 빛의 성질과 눈의 구조와 기능에 대한 통합 모듈의 개발 및 적용. 한국생물교육학회지, 35(4): 582-600.
11. 장현숙, 김성하(2008). 속성 배추를 이용한 초등학생용 환경오염 탐구 모듈의 적용 효과. 한국생물교육학회지, 36(2), 135-150.
12. 전상학, 강성만, 권혁빈, 김남수, 김세재, 김영호, 나종길, 오범석, 유시욱, 이일하, 이임순, 이준규, 장연규, 정민걸, 조은희, 황수연(2009). 유전학의 이해(개념과 원리). 라이프사이언스
13. 전상학, 권혁빈, 나종길, 정민걸, 조은희(2005). 유전학의 이해. 라이프사이언스.
14. 정은영, 심재호(2007). 우리나라 제7차 생물 I, 생물 II 교육과정과 외국의 생물 선택 교육과정 비교 분석- 일본, 호주, 미국, 영국을 중심으로-. 한국생물교육학회지, 35(4), 552-556.
15. 조희형, 최경희(2008). 과학교육의 이론과 실제. 교육과학사.

16. 최선, 박보령, 한인섭(2008). 고등학생 교육용 대장균 형질 전환 실험 교재 개발 및 적용. 한국생물교육학회지, 36(2). 151-160.
17. 황신영(2005). 멘델이 들려주는 유전 이야기. 자음과 모음.
18. Brenner, S. (1974). The genetics of *Caenorhabditis elegans*. *Genetics*, 77(1), 71-94.
19. Riddle, D. L., Blumenthal, T., Meyer, B. J., Priess, J. R.(1997). *C. ELEGANS* II. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press.
20. Hall, D. H., & Altun, Z. F. (2008). *C. elegans* Atlas. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press.
21. <http://www.cbs.umn.edu/CGC/>
22. <http://www.nobelprize.org>
23. <http://www.wormatlas.org>
24. <http://www.wormbase.org>
25. <http://www.wormbook.org>

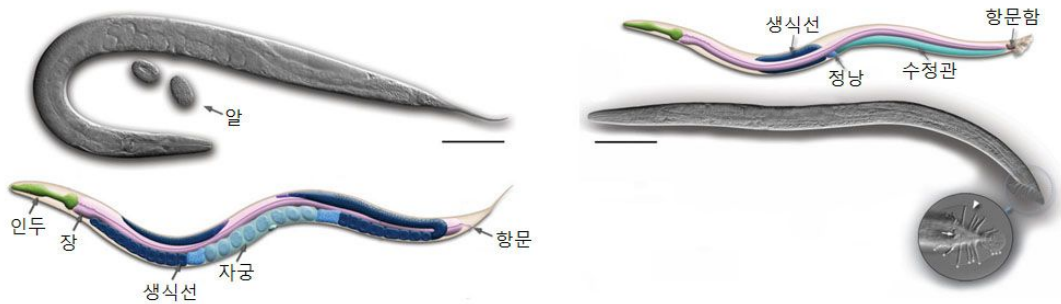
부 록

- 【부록 1】 예비 탐구 모듈
- 【부록 2】 학생용 설문지
- 【부록 3】 최종 탐구 모듈
- 【부록 4】 교사용 지도서

I. 예쁜꼬마선충의 특징

1. 예쁜꼬마선충의 소개

예쁜꼬마선충은 흙 속에서 세균을 잡아먹고 사는 토양 자생 선충으로 1974년 영국의 생물학자 시드니 브래너에 의해 모델동물로 채택되었다. 다리나 눈, 체절이 없고 감각기관을 통해 온도와 촉감, 냄새를 감지한다. 예쁜꼬마선충은 작고 빠르게 크는 장점을 가지고 있고 실험실에서 쉽게 배양이 가능한 대장균을 먹이로 하여 기르기가 매우 수월하다. 예쁜꼬마선충은 자웅동체와 수컷의 두 가지 성을 가진다. 자웅동체는 자가 수정을 통해 약 300개의 알을 낳으며 수컷과 교미를 하면 약 600개의 알을 낳을 수 있다. 수컷은 자웅동체와 형질은 같으나 꼬리 끝에 독특한 생식기가 있어 구분이 쉽다. 성체의 크기는 약 1 mm이고 평균 수명은 2~3주이다. 15~25 °C 환경에서 잘 자란다. 몸통이 투명하여 관찰이 용이해 많은 연구에 유용한 모델 동물로 이용된다(그림 1).

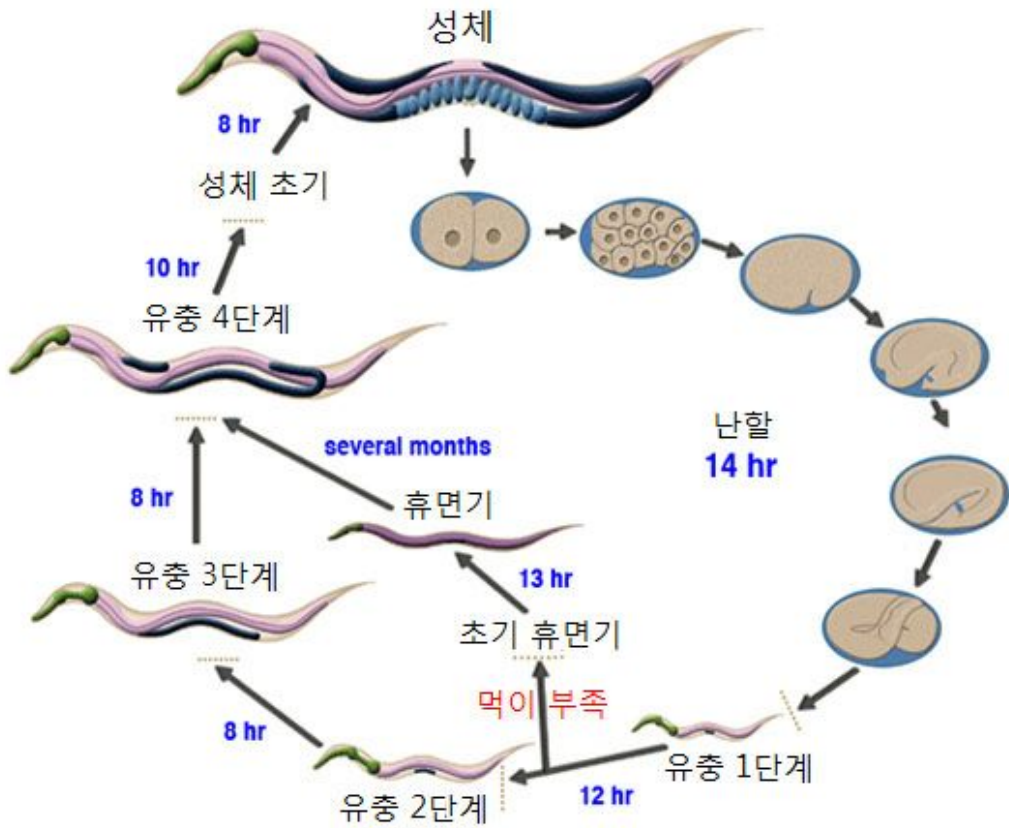


<그림 1> 예쁜꼬마선충 야생형 자웅동체(좌) 수컷(우)(크기 막대 0.1 mm)

2. 예쁜꼬마선충의 생활사

예쁜꼬마선충은 20 °C의 환경에서 성체 한 마리가 알을 낳아서 알에서 깨어나고 다시 성체가 되는데 3일밖에 걸리지 않는다(그림 2). 수정이 되어 14시간동안 난할 과정을 거쳐 부화되어 유충 1단계가 되고 이후 4번의 탈피를 거치며 성충이 된다. 유충 1단계를 12시간 거쳐 유충 2단계가 되고 8시간 후에 유충 3단계, 다음 8시간

뒤엔 유충 4단계가 되며 유충 4단계로부터 10시간 뒤에 완전한 성체가 된다. 유충 1단계에서 먹이가 부족한 상황이면 유충 2단계로 가지 않고 휴면기 단계로 가게 되는데 약 2~3달 정도 먹이를 먹지 않고도 견딜 수 있다. 휴면기 상태에서 이들은 먹이가 공급되면 다시 유충 4단계로 편입된다. 자웅동체는 유충 4단계에서 생식기(자궁)가 발달하여 형성이 된다. 수컷은 유충 3단계에서 꼬리가 약간 부풀어 오르기 시작하고 유충 4단계가 되면 더욱 부풀어 올라 생식기를 형성한다. 자웅동체와 수컷 모두 성체가 되면 생식기가 완성이 되고 소화관이 확장되고 진해진다.



<그림 2> 예쁜꼬마선충의 생활사

3. 예쁜꼬마선충의 형태 관찰

이 탐구 모듈에서 야생형과 돌연변이 3가지를 이용한다. 각 돌연변이의 표현형은 야생형에 비해 길이가 짧은 난쟁이형과 길이가 긴 키다리형 그리고 표피에 수포가 생겨 울퉁불퉁한 수포형으로 구분하였다.

4. 준비물

실체현미경(반사경이 설치된 것), 배양 접시, 교배 접시, 백금선 피커, 알코올램프, 계수기, 70% 알코올 스프레이



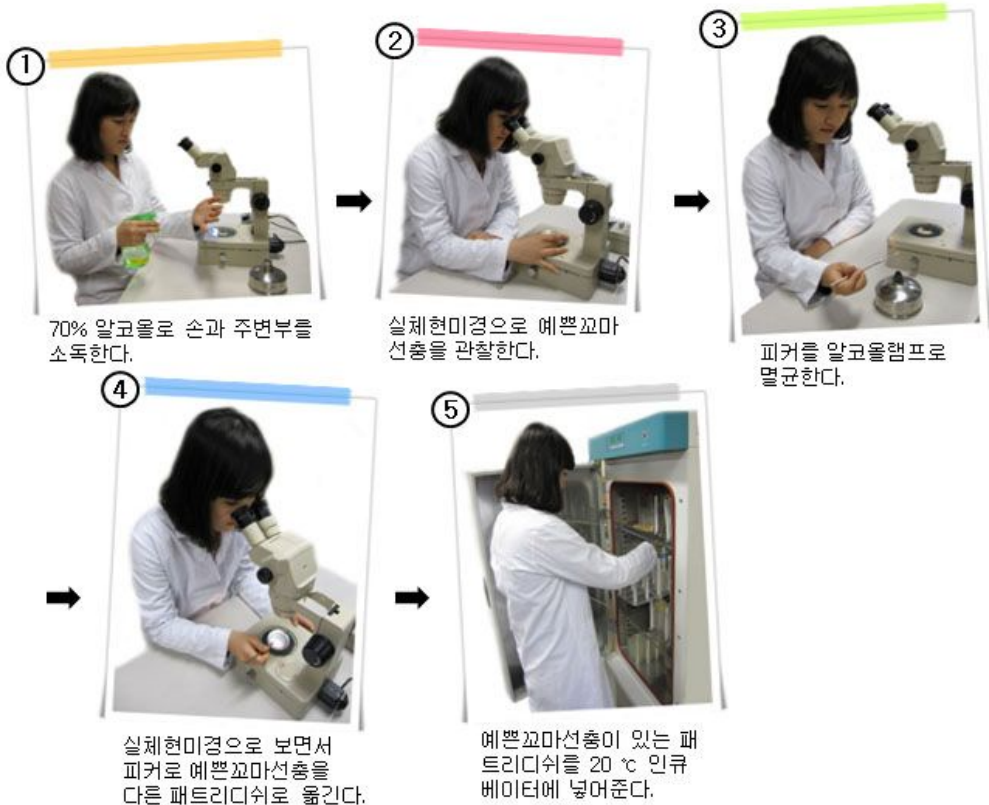
<그림 3> 준비물

5. 예쁜꼬마선충을 다른 배양 접시로 옮기는 과정

예쁜꼬마선충을 이용한 실험을 위해서는 예쁜꼬마선충을 옮겨주는 과정이 필수적이다. 자세한 과정은 <그림 4>에 설명되어있다.

6. 예쁜꼬마선충을 백금선 피커로 조작하는 방법(그림 5)

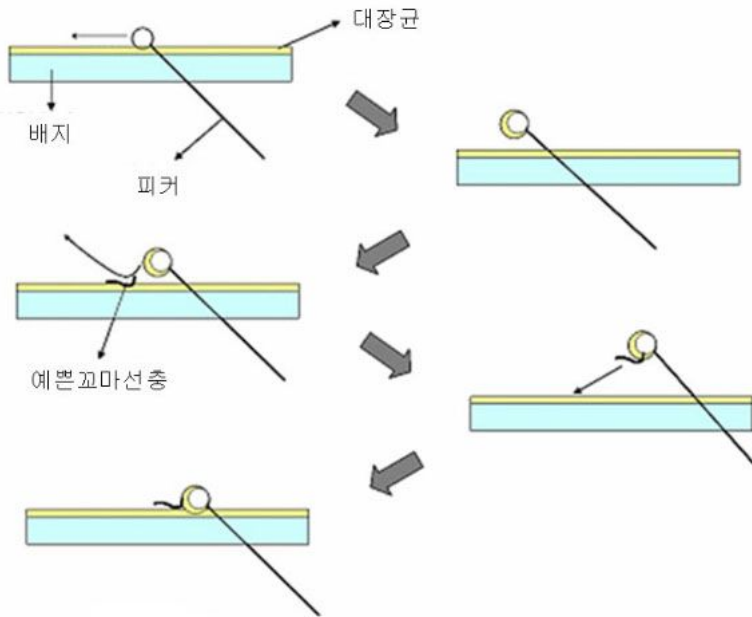
- ① 피커의 끝에 접시의 대장균을 묻힌다.
- ② 대장균이 묻은 피커의 끝 부분으로 옮길 예쁜꼬마선충을 붙인다.
- ③ 예쁜꼬마선충이 붙은 피커의 끝 부분을 옮길 배양 접시의 배지 표면에 살짝 대고 기다리면 예쁜꼬마선충이 내려온다.



<그림 4> 예쁜꼬마선충을 다른 배양 접시에 옮기는 과정

7. 예쁜꼬마선충 교배시키는 방법

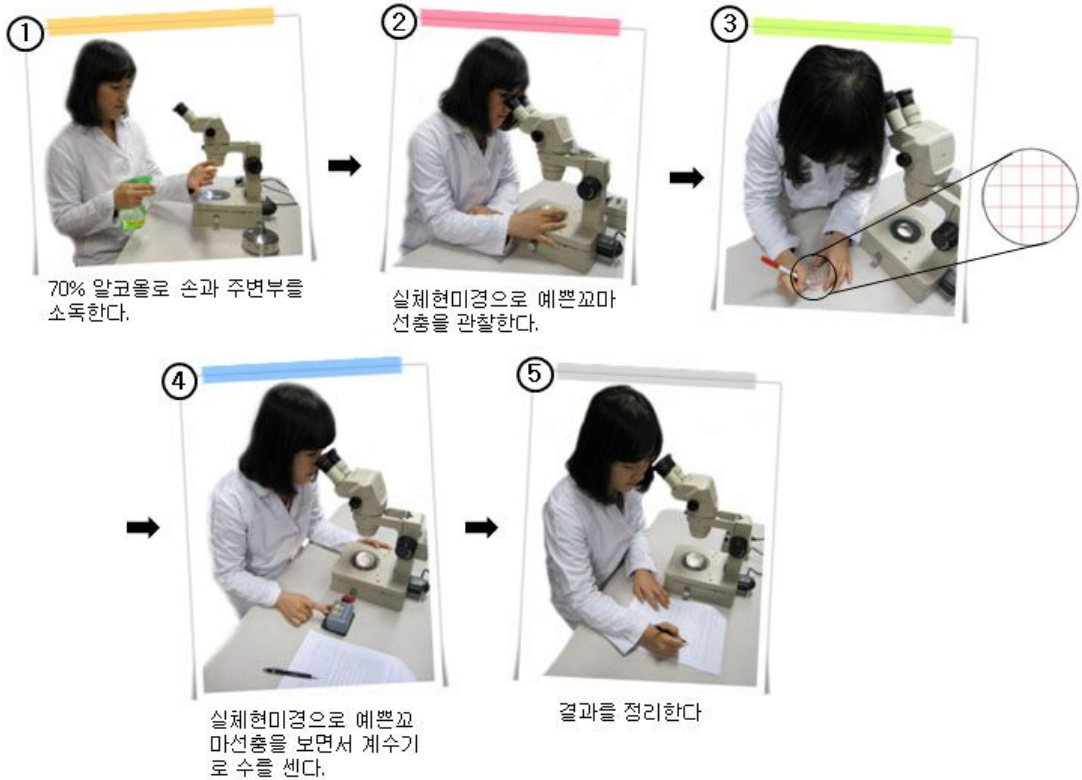
교배 접시는 배양 접시와 달리 대장균이 가운데 부분에만 조금 깔려있다. 따라서 예쁜꼬마선충이 먹이를 얻을 수 있는 공간이 좁아 다른 선충들과 배양 접시에서 교배시키는 것보다 더 자주 마주치게 되어 수월하게 교배시킬 수 있다. 그리고 교배시킬 때 자용동체는 유충 3~4단계를 사용하고 수컷은 유충 4단계에서 초기 성체를 사용해야 한다. 그리고 선충은 자용동체와 수컷을 1:3의 비율로 넣어주면 교배가 잘 이루어진다. 1개의 교배 접시에 자용동체 3~5마리와 수컷 9~15마리정도를 넣어주면 가장 좋다.



<그림 5> 예쁜꼬마선충 조작 방법

8. 예쁜꼬마선충의 수를 세는 과정

예쁜꼬마선충을 이용한 실험에서 자료를 얻기 위해서는 선충의 형질에 따라 구분하고 수를 세는 것이 필요하다. 수를 세는 과정은 <그림 6>에 자세히 설명하였다. 격자를 그릴 때 유성펜으로 배양 접시의 아랫면에 격자를 그려야 예쁜꼬마선충을 관찰하기 쉽다. 격자의 크기는 현미경으로 관찰하기 쉬운 크기로 나누어 그린다 (16~25등분으로 그리는 것이 좋다).



<그림 6> 예쁜꼬마선충의 수를 세는 과정

8. 실험 중 유의사항

- ① 실험을 시작하기 전에 주변부와 손을 70%알코올로 멸균하고 피커는 알코올 램프로 멸균한다.
- ② 배양 접시의 뚜껑이 자주 또는 장시간 열리면 배지가 노출되어 오염될 수 있으니 불필요하게 열어두지 않도록 한다.
- ③ 피커를 조작할 때 알코올램프로 자주 멸균하고 피커 끝이 다른 물체에 닿게 되면 반드시 알코올램프로 다시 멸균하고 사용하여야 한다. 피커의 멸균을 소홀히 하면 오염될 가능성이 높다.
- ④ 피커로 예쁜꼬마선충을 옮길 때, 배양 접시의 배지가 빠지지 않도록 조심한다. 배지가 빠지면 예쁜꼬마선충이 배지 속으로 파고들어 정확한 실험 결과를 얻을 수 없다.

- ⑤ 예쁜꼬마선충을 옮길 때 알이나 유충 등이 떨어져오지 않게 섬세하게 조작한다. 만약 알이나 유충이 떨어져오게 되면 정확한 실험이 이루어지지 않는다. 떨어진 경우에는 다시 피커로 제거한다.
- ⑥ 배양 접시의 예쁜꼬마선충 수를 셀 때 반드시 다른 조원과 번갈아가며 2회 이상 세어 신뢰도를 높인다.
- ⑦ 배양 접시에 기입할 내용이 있을 때는 반드시 아랫면 가장자리에 기입한다. 만약 뚜껑에 기입할 경우, 뚜껑이 다른 배양 접시와 바뀌게 되면 실험이 이루어 질 수 없다.

9. 배양 접시에 살고 있는 예쁜꼬마선충을 실체현미경으로 관찰해보자.

- ① 야생형 자웅동체와 수컷 선충의 표현형을 관찰하고 그려보자. 그리고 야생형 선충의 자웅동체와 수컷을 비교하여 글로 적어보자.

야생형 자웅동체 선충

야생형 수컷 선충

② 난쟁이형 선충과 수포형 선충, 키다리형 선충의 표현형을 관찰하고 그려보자.
그리고 각 돌연변이 선충을 야생형 선충과 비교하여 글로 적어보자.

난쟁이형 선충

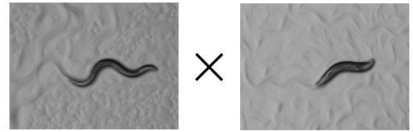
수포형 선충

키다리형 선충

II. 우성과 열성 형질의 판별

1. 야생형 선충과 난쟁이형 선충을

교배시키면 어떤 표현형의 제 1세대가 나타날까?



P



F1
?

- ① 의문에 대해 기대되는 여러 가지 결과를 예측해 보고 글로 적어보자.

- ② ‘왜?’ 그러한 예측 결과가 나올 수 있는지 생각해보고 글로 적어보자.

2. 예측한 결과를 확인하기 위하여 야생형 수컷 선충과 난쟁이형 자웅동체 선충을 교배시켜 보자.

- ① 야생형 수컷 선충과 난쟁이형 자웅동체 선충을 2:1의 비율로 교배 접시에 옮겨주고 교배 접시를 20 °C 배양기에 넣어준다.
- ② 12~24시간이 지나고 난쟁이형 자웅동체 선충 1마리를 배양 접시로 옮겨준다.
- ③ 난쟁이형 자웅동체 선충 1마리가 들어있는 배양 접시를 3일 동안 20 °C 배양기에 넣어둔다.
- ④ 3일이 지나고 배양 접시의 잡종 제 1세대 선충을 실체현미경으로 관찰하자.

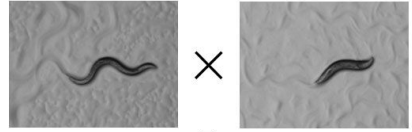
3. ① 잡종 제 1세대 선충을 실제현미경으로 관찰하고 어버이 세대(야생형 선충과 난쟁이형 선충)와 비교하여 글로 적어보자.

② 예측한 결과와 관찰 결과를 비교하고, 잡종 제 1세대의 표현형이 ‘왜?’ 나타났는지 글로 적어보자.

4. 조별로 발표하고 토론해보자.

III. 분리의 법칙 탐구 실험

1. 잡종 제 1세대를 자가 교배시키면 어떤 표현형의 제 1세대가 나타날까?



P



?



?

F1

F2

① 의문에 대해 기대되는 여러 가지 결과를 예측해 보고 글로 적어보자.

② ‘왜?’ 그러한 예측 결과가 나올 수 있는지 생각해보고 글로 적어보자.

2. ‘왜?’ 잡종 제 1세대 선충의 표현형이 그렇게 나타났는지를 알아보기 위해 제 1세대 선충을 자가 교배시켜보자.

- ① 잡종 제 1세대의 유충 4단계 자용동체 선충 1마리를 1번째 새 배양 접시에 옮겨주고, 이 배양 접시를 20 °C 배양기에 넣어준다.
- ② 24시간이 지나고 1번째 배양 접시의 잡종 제 1세대 자용동체 선충을 2번째 배양 접시로 옮겨주고 이 배양 접시를 20 °C 배양기에 넣어준다.
- ③ 또다시 24시간이 지나고 2번째 배양 접시의 잡종 제 1세대 자용동체 선충을 제거한다.

- ④ 1번째 배양 접시에서 2번째 배양 접시로 잡종 제 1세대 자웅동체 선충을 옮긴 후 3일이 지나고 1번째 배양 접시의 잡종 제 2세대를 실체현미경으로 관찰하자. 1번째 배양 접시의 아랫면에 붉은 유성펜으로 격자를 그리고 실체현미경으로 관찰하며 표현형에 따라 구분하여 선충의 수를 세어보자.
- ⑤ 2번째 배양 접시에서 잡종 제 1세대 자웅동체 선충을 제거한 후 3일이 지나고 1번째 배양 접시의 잡종 제 2세대를 실체현미경으로 관찰하자. 1번째 배양 접시의 아랫면에 붉은 유성펜으로 격자를 그리고 실체현미경으로 관찰하며 표현형에 따라 구분하여 선충의 수를 세어보자.

배양 접시 \ 표현형		
1번째 배양 접시의 개체의 수		
2번째 배양 접시의 개체의 수		

3. 잡종 제 2세대 선충을 관찰하고 예측한 결과와 관찰한 결과를 비교해보고, 잡종 제 1세대와 잡종 제 2세대에서 ‘왜?’ 그러한 실험 결과가 나타났는지 생각해보고 글로 적어보자.

4. 잡종 제 2세대를 표현형별로 전체 개체의 수를 구하고 비교해보자.

표현형	총 개체의 수	비

5. 조별로 발표하고 토론해보자.

소 속 _____ 이 름 _____

안녕하세요.

이 설문지는 여러분이 직접 수행한 예쁜꼬마선충을 이용한 탐구 모듈에 대한 여러분의 의견을 들어보기 위한 것입니다.

설문지에 대한 여러분의 의견은 이 탐구 모듈의 수정 및 학습용 탐구 모듈 개발 연구에 많은 도움을 줄 것입니다.

설문 결과는 반드시 이 연구를 위한 자료로만 사용할 것입니다.

여러분의 성의 있고 성실한 답변을 부탁드립니다.

1. 이 탐구활동은 쉬웠습니까?

- ① 매우 그렇다. ② 그렇다. ③ 보통이다. ④ 그렇지 않다. ⑤ 매우 그렇지 않다.

- 쉽지 않았다면 그 이유는 무엇입니까?

2 이 탐구 모듈을 사용한 실험 수업은 흥미로웠습니까?

- ① 매우 그렇다. ② 그렇다. ③ 보통이다. ④ 그렇지 않다. ⑤ 매우 그렇지 않다.

- 흥미로웠다면 어떤 부분이 가장 흥미로웠나요?

- 흥미롭지 않았다면 그 이유는 무엇입니까?

3. 이 탐구 모듈이 멘탈의 유전 법칙을 이해하는 데 도움을 주었습니까?

- ① 매우 그렇다. ② 그렇다. ③ 보통이다. ④ 그렇지 않다. ⑤ 매우 그렇지 않다.

4. 이 탐구 모듈이 수업에 활용하면 개념학습에 도움이 될까요?

- ① 매우 그렇다. ② 그렇다. ③ 보통이다. ④ 그렇지 않다. ⑤ 매우 그렇지 않다.

- 도움이 되지 않는다면 그 이유는 무엇입니까?

5. 이 탐구 모듈을 이용한 수업이 기존의 수업에 비해 더 많은 생각을 하게 하였나요?

- ① 매우 그렇다. ② 그렇다. ③ 보통이다. ④ 그렇지 않다. ⑤ 매우 그렇지 않다.

6. 이 탐구활동이 자신의 창의적 사고 능력 향상에 도움이 되었습니까?

- ① 매우 그렇다. ② 그렇다. ③ 보통이다. ④ 그렇지 않다. ⑤ 매우 그렇지 않다.

- 도움이 되지 않는다면 그 이유는 무엇입니까?

7. 이 탐구 모듈을 이용한 수업을 하면서 좋았던 점은 무엇입니까?

8. 이 탐구 모듈을 이용한 수업을 하면서 싫었던 점은 무엇입니까?

9. 이 탐구 모듈을 이용한 수업을 하면서 불편했던 점은 무엇입니까?

10. 기타 이 탐구활동에 대한 개인적인 의견이 있으면 적어 주십시오.

***** 수고하셨습니다. *****

I. 예쁜꼬마선충(*Caenorhabditis elegans*)의 관찰

1. 학습 목표

1) 지식

- 예쁜꼬마선충의 특징과 유전 실험 재료로 사용하기에 좋은 점을 말할 수 있다.

2) 탐구

- 예쁜꼬마선충의 자웅동체와 수컷, 유충 4단계의 자웅동체를 구분할 수 있다.
- 야생형과 여러 돌연변이 예쁜꼬마선충을 구분하고 차이점을 설명할 수 있다.
- 예쁜꼬마선충을 다루는 방법을 익히고 피커를 이용하여 조작할 수 있다.

3) 태도

- 예쁜꼬마선충의 관찰을 통해 다양한 표현형의 돌연변이 예쁜꼬마선충에 흥미를 갖게 된다.

2. 실험 원리

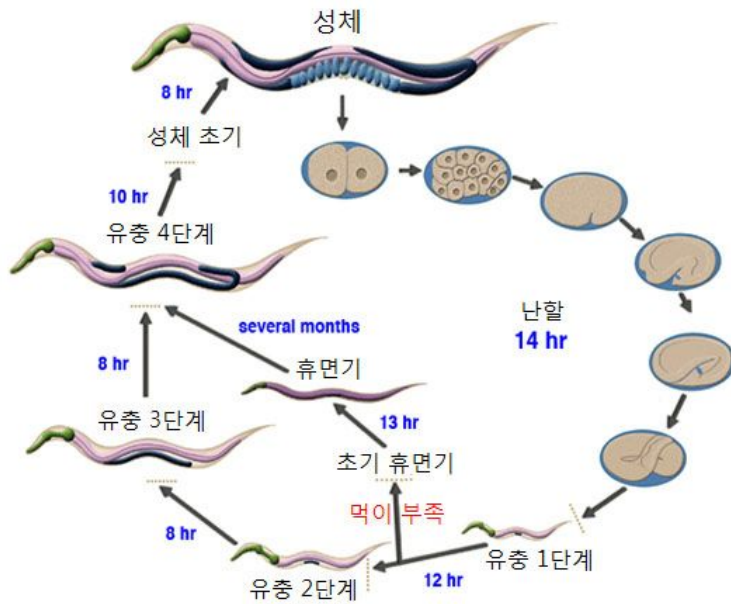
예쁜꼬마선충은 흙 속에서 세균을 잡아먹고 사는 토양 자생 선충으로 1974년 영국의 생물학자 시드니 브래너에 의해 모델동물로 채택되었다. 다리나 눈, 체절이 없고 감각기관을 통해 온도와 촉감, 냄새를 감지한다. 예쁜꼬마선충은 작고 빠르게 크는 장점을 가지고 있고 실험실에서 쉽게 배양이 가능한 대장균을 먹이로 하여 기르기가 매우 수월하다. 예쁜꼬마선충은 자웅동체와 수컷의 두 가지 성을 가진다. 자웅동체는 자가 수정을 통해 약 300개의 알을 낳으며 수컷과 교미를 하면 약 600개의 알을 낳을 수 있다. 수컷은 자웅동체와 형질은 같으나 꼬리 끝에 뚱뚱한 생식기가 있어 구분이 쉽다. 성체의 크기는 약 1 mm이고 평균 수명은 2~3주이다. 15~25 °C 환경에서 잘 자란다. 몸통이 투명하여 관찰이 용이해 많은 연구에 유용한 모델 동물로 이용된다(그림 1).

예쁜꼬마선충은 20 °C의 환경에서 성체 한 마리가 알을 낳아서 알에서 깨어나고 다시 성체가 되는데 3일밖에 걸리지 않는다(그림 2). 수정이 되어 14시간동안 난할 과정을 거쳐 부화되어 유충 1단계가 되고 이후 4번의 탈피를 거치며 성충이 된다. 유충 1단계를 12시간 거쳐 유충 2단계가 되고 8시간 후에 유충 3단계, 다음 8시간

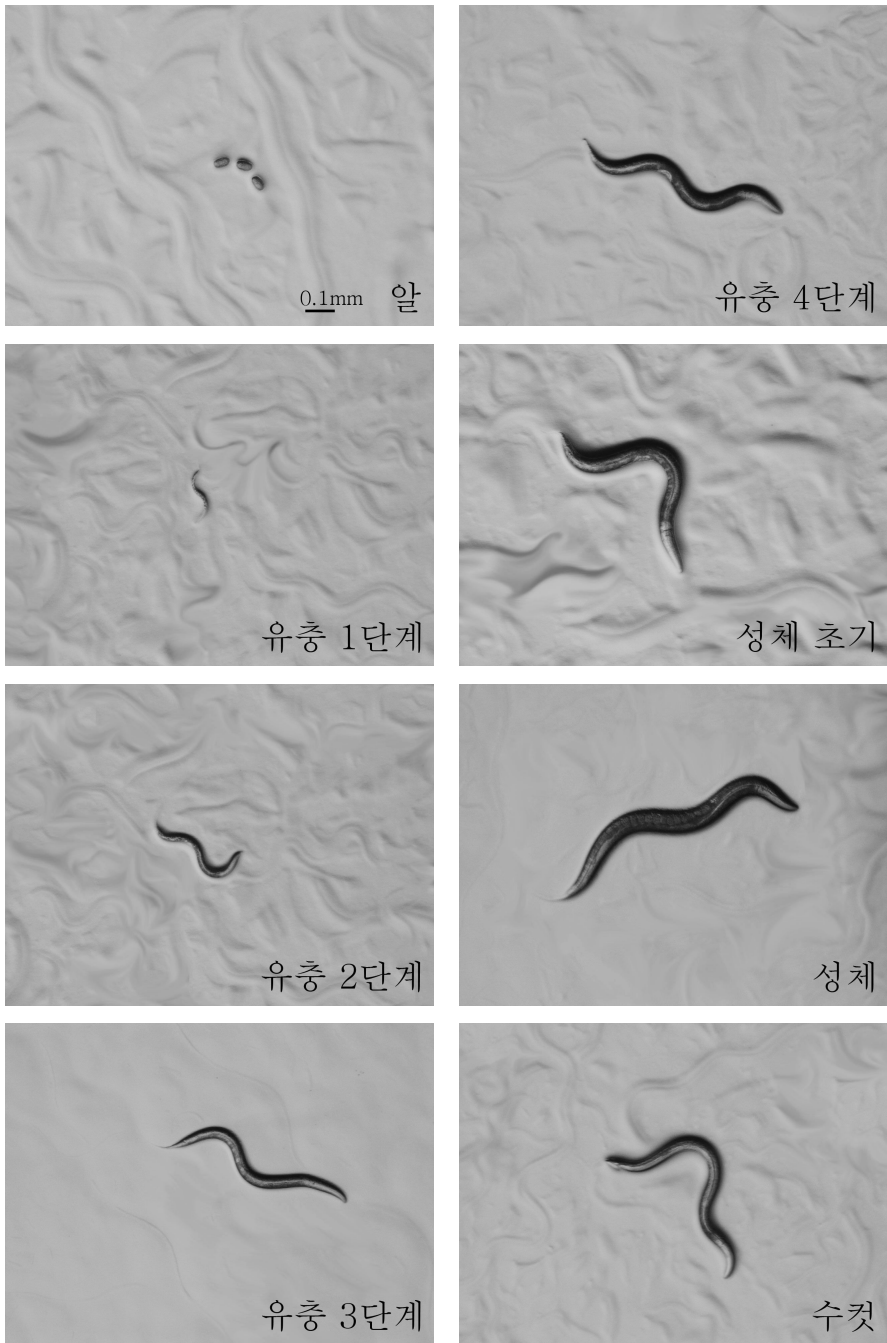
뒤엔 유충 4단계가 되며 유충 4단계로부터 10시간 뒤에 완전한 성체가 된다. 유충 1단계에서 먹이가 부족한 상황이면 유충 2단계로 가지 않고 휴면기 단계로 가게 되는데 약 2~3달 정도 먹이를 먹지 않고도 견딜 수 있다. 휴면기 상태에서 이들은 먹이가 공급되면 다시 유충 4단계로 편입된다. 자웅동체는 유충 4단계에서 생식기(자궁)가 발달하여 형성이 된다. 수컷은 유충 3단계에서 꼬리가 약간 부풀어 오르기 시작하고 유충 4단계가 되면 더욱 부풀어 올라 생식기를 형성한다. 자웅동체와 수컷 모두 성체가 되면 생식기가 완성이 되고 소화관이 확장되고 진해진다(그림 3).



<그림 1> 예쁜꼬마선충 야생형 자웅동체(좌)와 수컷(우)(크기 막대 0.1 mm)



<그림 2> 예쁜꼬마선충의 생활사



<그림 3> 예쁜꼬마선충의 발달 단계 및 성별(크기 막대 0.1 mm)

3. 준비물

실체현미경(반사경이 설치된 것), 배양 접시, 교배 접시, 백금선 피커, 알코올램프, 계수기, 70% 알코올 분무기



<그림 4> 준비물

4. 실험 중 유의사항

- 1) 실험을 시작하기 전에 주변부와 손을 70%알코올 분무기로로 멸균하고 피커는 알코올램프로 멸균한다.
- 2) 배양 접시의 뚜껑이 자주 또는 장시간 열리면 배지가 노출되어 오염될 수 있으니 불필요하게 열어두지 않도록 한다.
- 3) 피커를 조작할 때 알코올램프로 자주 멸균하고 피커 끝이 다른 물체에 닿게 되면 반드시 알코올램프로 다시 멸균하고 사용하여야 한다. 피커의 멸균을 소홀히 하면 오염될 가능성이 높다.
- 4) 피커로 예쁜꼬마선충을 옮길 때, 배양 접시의 배지가 꽤이지 않도록 조심한다. 배지가 꽤이면 예쁜꼬마선충이 배지 속으로 파고들어 정확한 실험 결과를 얻을 수 없다.

- 5) 예쁜꼬마선충을 옮길 때 알이나 유충 등이 떨어져오지 않게 섬세하게 조작한다.
만약 알이나 유충이 떨어져오게 되면 정확한 실험이 이루어지지 않는다. 떨어진 경우에는 다시 피커로 제거한다.
- 6) 접시의 예쁜꼬마선충 수를 셀 때 반드시 다른 조원과 번갈아가며 2회 이상 세어 신뢰도를 높인다.
- 7) 배양 접시에 기입할 내용이 있을 때는 반드시 아랫면 가장자리에 기입한다. 만약 뚜껑에 기입할 경우, 다른 배양 접시의 뚜껑과 바뀌게 되면 실험이 계속 진행될 수 없다.

5. 탐구 과정

- 1) 성체의 야생형 예쁜꼬마선충의 자용동체와 수컷을 실체현미경으로 관찰하고 그려보자. 그리고 자용동체와 수컷을 비교하여 글로 적어보자.
- 2) 성체의 야생형 예쁜꼬마선충의 자용동체와 유충 4단계를 관찰하고 그려보자. 그리고 성체와 유충 4단계를 비교하여 글로 적어보자.
- 3) 성체의 돌연변이 예쁜꼬마선충들을 관찰하고 그려보자. 그리고 야생형 선충과 비교하여 글로 적어보자.

야생형 자용동체 선충

야생형 수컷 선충

유충 4단계 야생형 자웅동체 선충

난쟁이형 선충

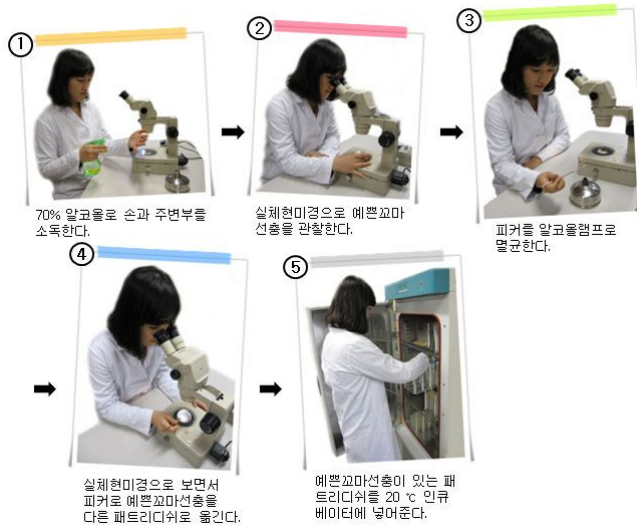
키다리형 선충

회전형 선충

3) 예쁜꼬마선충을 다루는 방법에 대해 알아보고 피커를 이용하여 직접 옮겨보자.

(1) 예쁜꼬마선충을 다른 배양 접시로 옮기는 과정(그림 5)

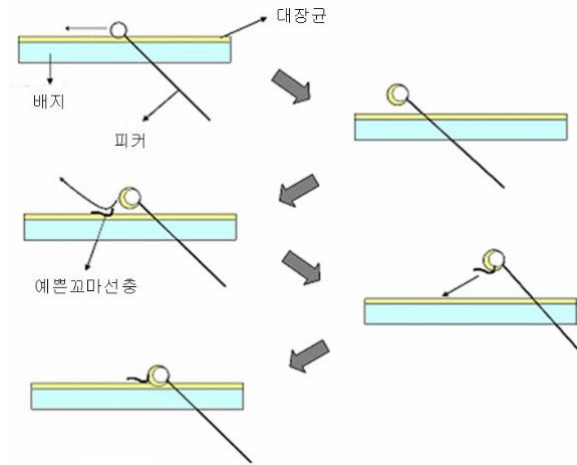
예쁜꼬마선충을 이용한 실험을 하기 위해서는 예쁜꼬마선충을 옮겨주는 과정이 필수적이다. 먼저 70% 알코올 분무기로 손과 주변부를 소독한다. 그리고 주변부도 뿌리고 닦아낸다. 소독을 마치고 실체현미경으로 배양 접시를 관찰하며 옮겨줄 예쁜꼬마선충을 찾는다. 알코올램프에 멸균한 피커를 이용하여 예쁜꼬마선충을 실체현미경으로 보면서 다른 배양 접시로 옮겨준다.



<그림 5> 예쁜꼬마선충을 다른 배양 접시에 옮기는 과정

(2) 예쁜꼬마선충을 백금선 피커로 조작하는 방법(그림 6)

- ① 피커의 끝에 배양 접시의 대장균을 묻힌다.
- ② 대장균이 묻은 피커의 끝 부분으로 옮길 예쁜꼬마선충을 붙인다.
- ③ 예쁜꼬마선충이 붙은 피커의 끝 부분을 옮길 배양 접시의 배지 표면에 살짝 대고 기다리면 예쁜꼬마선충이 내려온다.



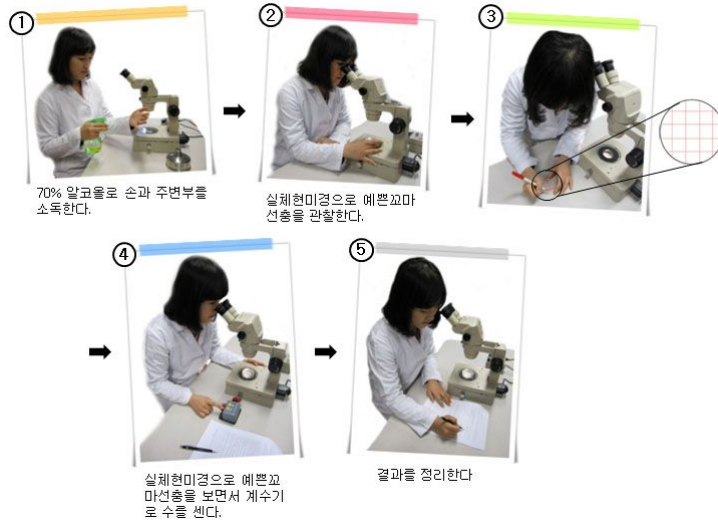
<그림 6> 예쁜꼬마선충 조작 방법

(3) 예쁜꼬마선충 교배시키는 방법

교배 접시는 배양 접시와 달리 대장균이 가운데 부분에만 조금 깔려있다. 따라서 예쁜꼬마선충이 먹이를 얻을 수 있는 공간이 좁아 다른 선충들과 배양 접시에서 교배시키는 것보다 더 자주 마주치게 되어 수월하게 교배시킬 수 있다. 그리고 교배시킬 때 자용동체는 유충 4단계를 사용하고 수컷은 성체를 사용해야 한다. 그리고 선충은 자용동체와 수컷을 1:2에서 1:3의 비율로 넣어주면 교배가 잘 이루어진다. 1개의 교배 접시에 자용동체 2~3마리와 수컷 4~9마리정도를 넣어주면 가장 좋다.

(4) 예쁜꼬마선충의 수를 세는 방법

예쁜꼬마선충을 이용한 실험에서 자료를 얻기 위해서는 선충의 형질에 따라 구분하고 수를 세는 것이 필요하다. 수를 세는 과정은 (그림 7)에 자세히 설명하였다. 격자를 그릴 때 붉은 유성펜으로 배양 접시의 아랫면에 격자를 그려야 예쁜꼬마선충을 관찰하기 쉽다. 격자의 크기는 현미경으로 관찰하기 쉬운 크기로 나누어 그린다(16~25등분으로 그리는 것이 좋다).



<그림 7> 예쁜꼬마선충의 수를 세는 방법

(5) 배양 접시에 살고 있는 예쁜꼬마선충을 다른 접시로 옮겨보자.

- ① 야생형과 여러 표현형의 돌연변이 예쁜꼬마선충을 연습용 배양 접시에 배지가 패이지 않게 조심하면서 최대한 많이 옮겨보자.
- ② 야생형과 여러 표현형의 돌연변이 예쁜꼬마선충을 관찰하며 유충 4단계의 선충만 골라 연습용 배양 접시로 옮겨보자.
- ③ 야생형 수컷 예쁜꼬마선충이 들어있는 배양 접시에서 야생형 수컷 선충만 골라 연습용 배양 접시로 옮겨보자.
- ④ 선충을 옮긴 연습용 배양 접시의 아랫면에 붉은 유성펜으로 격자를 그리고 종류별로 수를 세어보자.

II. 우성과 열성 형질의 판별 탐구 실험

1. 학습 목표

1) 지식

- 야생형과 표현형이 다른 돌연변이 예쁜꼬마선충의 교배 실험을 통해 우성과 열성을 판별할 수 있다.

2) 탐구

- 야생형과 표현형이 다른 돌연변이 예쁜꼬마선충의 교배로 어떤 표현형의 잡종 제 1세대가 나타날 것인지 예측할 수 있다.
- 잡종 제 1세대를 관찰하고 예측한 결과와 비교하여 어떻게 잡종 제 1세대의 표현형이 나타났는지 설명할 수 있다.

3) 태도

- 예쁜꼬마선충의 교배 실험을 통해 유전 원리에 흥미를 갖게 된다.

2. 탐구 과정

1. 야생형과 돌연변이 예쁜꼬마선충을 교배시키면 어떤 표현형의 제 1세대가 나타날까?(난쟁이형과 키다리형, 회전형 돌연변이 예쁜꼬마선충 중에서 하나를 선택하자.)

(1) 의문에 대해 기대되는 여러 가지 결과를 예측해 보고 글로 적어보자.

(2) '왜?' 그러한 예측 결과가 나올 수 있는지 생각해보고 글로 적어보자.

2) 예측한 결과를 확인하기 위하여 야생형 수컷 선충과 돌연변이 자웅동체 선충을 교배시켜 보자.

- (1) 야생형 수컷 선충과 돌연변이 자웅동체 선충을 2:1의 비율로 교배 접시에 옮겨주고 교배 접시를 20 °C 배양기에 넣어준다.
- (2) 12~24시간이 지나고 돌연변이 자웅동체 선충 1마리를 배양 접시로 옮겨준다.
- (3) 돌연변이 자웅동체 선충 1마리가 들어있는 배양 접시를 3일 동안 20 °C 배양기에 넣어둔다.
- (4) 3일이 지나고 배양 접시의 잡종 제 1세대 선충을 실체현미경으로 관찰하자.

3) 잡종 제 1세대 선충을 실체현미경으로 관찰하자.

- (1) 잡종 제 1세대 선충과 어버이 세대(야생형과 돌연변이 예쁜꼬마선충)와 비교하여 글로 적어보자.

- (2) 예측한 결과와 관찰 결과를 비교하고, 잡종 제 1세대의 표현형이 ‘왜?’ 나타났는지 글로 적어보자.

3. 실험 결과에 대한 의견을 조별로 발표하고 토의해보자.

Ⅲ. 분리의 법칙 탐구 실험

1. 학습 목표

1) 지식

- 야생형과 표현형이 다른 돌연변이 예쁜꼬마선충의 교배 실험을 통해 분리의 법칙을 설명 할 수 있다.

2) 탐구

- 잡종 제 1세대를 자가 교배시켜 잡종 제 2세대에서 어떤 표현형이 나타날지 예측 할 수 있다.
- 잡종 제 2세대를 관찰하고 예측한 결과와 비교하여 어떻게 잡종 제 2세대의 표현형이 나타났는지 설명할 수 있다.

3) 태도

- 예쁜꼬마선충의 교배 실험을 통해 유전 원리에 흥미를 갖게 된다.

2. 탐구 과정

1) 잡종 제 1세대를 자가 교배시키면 어떤 표현형의 제 2세대가 나타날까?

(1) 잡종 제 2세대에서 어떠한 형질이 나타날지 예측해보고 글로 적어보자.

(2) '왜?' 그러한 예측 결과가 나올 수 있는지 생각해보고 글로 적어보자.

2) 예측한 결과를 확인하기 위해 제 1세대 선충을 자가 교배시켜보자.

- (1) 잡종 제 1세대의 유충 4단계 자웅동체 선충 1마리를 1번째 배양 접시에 옮겨주고, 이 배양 접시를 20 °C 배양기에 넣어준다.
- (2) 24시간이 지나고 1번째 배양 접시의 잡종 제 1세대 자웅동체 선충을 2번째 배양 접시로 옮겨주고 이 배양 접시를 20 °C 배양기에 넣어준다.
- (3) 또다시 24시간이 지나고 2번째 배양 접시의 잡종 제 1세대 자웅동체 선충을 제거한다.
- (4) 1번째 배양 접시에서 2번째 배양 접시로 잡종 제 1세대 자웅동체 선충을 옮긴 후 3일이 지나고 1번째 배양 접시의 잡종 제 2세대를 실험현미경으로 관찰하자. 1번째 배양 접시의 아랫면에 붉은 유성펜으로 격자를 그리고 실험현미경으로 관찰하며 표현형에 따라 구분하여 선충의 수를 세어보자.
- (5) 2번째 배양 접시에서 잡종 제 1세대 자웅동체 선충을 제거한 후 3일이 지나고 1번째 배양 접시의 잡종 제 2세대를 실험현미경으로 관찰하자. 1번째 배양 접시의 아랫면에 붉은 유성펜으로 격자를 그리고 실험현미경으로 관찰하며 표현형에 따라 구분하여 선충의 수를 세어보자.

배양 접시 \ 표현형		
1번째 배양 접시의 개체의 수		
2번째 배양 접시의 개체의 수		

3) 잡종 제 2세대 선충을 관찰하고 예측한 결과와 관찰한 결과를 비교해보고, 잡종 제 2세대에서 ‘왜?’ 그러한 실험 결과가 나타났는지 생각해보고 글로 적어보자.

4) 잡종 제 2세대를 표현형별로 전체 개체의 수를 구하고 비교해보자.

표현형	총 개체의 수	비

3. 실험 결과에 대한 의견을 조별로 발표하고 토의해보자.

I. 예쁜꼬마선충(*Caenorhabditis elegans*)의 관찰

1. 학습 목표

1) 지식

- 예쁜꼬마선충의 특징과 유전 실험 재료로 사용하기에 좋은 점을 말할 수 있다.

2) 탐구

- 예쁜꼬마선충의 자웅동체와 수컷, 유충 4단계의 자웅동체를 구분할 수 있다.
- 야생형과 여러 돌연변이 예쁜꼬마선충을 구분하고 차이점을 설명할 수 있다.
- 예쁜꼬마선충을 다루는 방법을 익히고 피커를 이용하여 조작할 수 있다.

3) 태도

- 예쁜꼬마선충의 관찰을 통해 다양한 표현형의 돌연변이 예쁜꼬마선충에 흥미를 갖게 된다.

2. 실험 원리

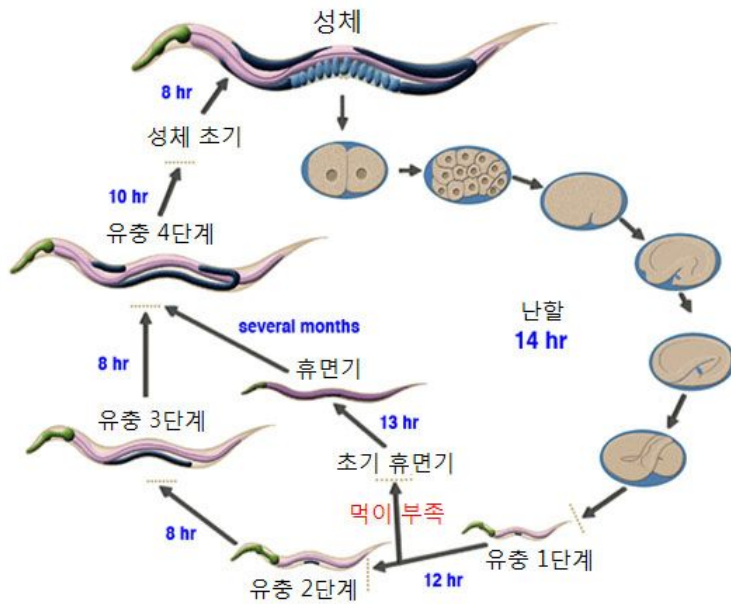
예쁜꼬마선충은 흙 속에서 세균을 잡아먹고 사는 토양 자생 선충으로 1974년 영국의 생물학자 시드니 브래너에 의해 모델동물로 채택되었다. 다리나 눈, 체절이 없고 감각기관을 통해 온도와 촉감, 냄새를 감지한다. 예쁜꼬마선충은 작고 빠르게 크는 장점을 가지고 있고 실험실에서 쉽게 배양이 가능한 대장균을 먹이로 하여 기르기가 매우 수월하다. 예쁜꼬마선충은 자웅동체와 수컷의 두 가지 성을 가진다. 자웅동체는 자가 수정을 통해 약 300개의 알을 낳으며 수컷과 교미를 하면 약 600개의 알을 낳을 수 있다. 수컷은 자웅동체와 형질은 같으나 꼬리 끝에 뿔뿔한 생식기가 있어 구분이 쉽다. 성체의 크기는 약 1 mm이고 평균 수명은 2~3주이다. 15~25 °C 환경에서 잘 자란다. 몸통이 투명하여 관찰이 용이해 많은 연구에 유용한 모델 동물로 이용된다(그림 1).

예쁜꼬마선충은 20 °C의 환경에서 성체 한 마리가 알을 낳아서 알에서 깨어나고 다시 성체가 되는데 3일밖에 걸리지 않는다(그림 2). 수정이 되어 14시간동안 난할 과정을 거쳐 부화되어 유충 1단계가 되고 이후 4번의 탈피를 거치며 성충이 된다. 유충 1단계를 12시간 거쳐 유충 2단계가 되고 8시간 후에 유충 3단계, 다음 8시간

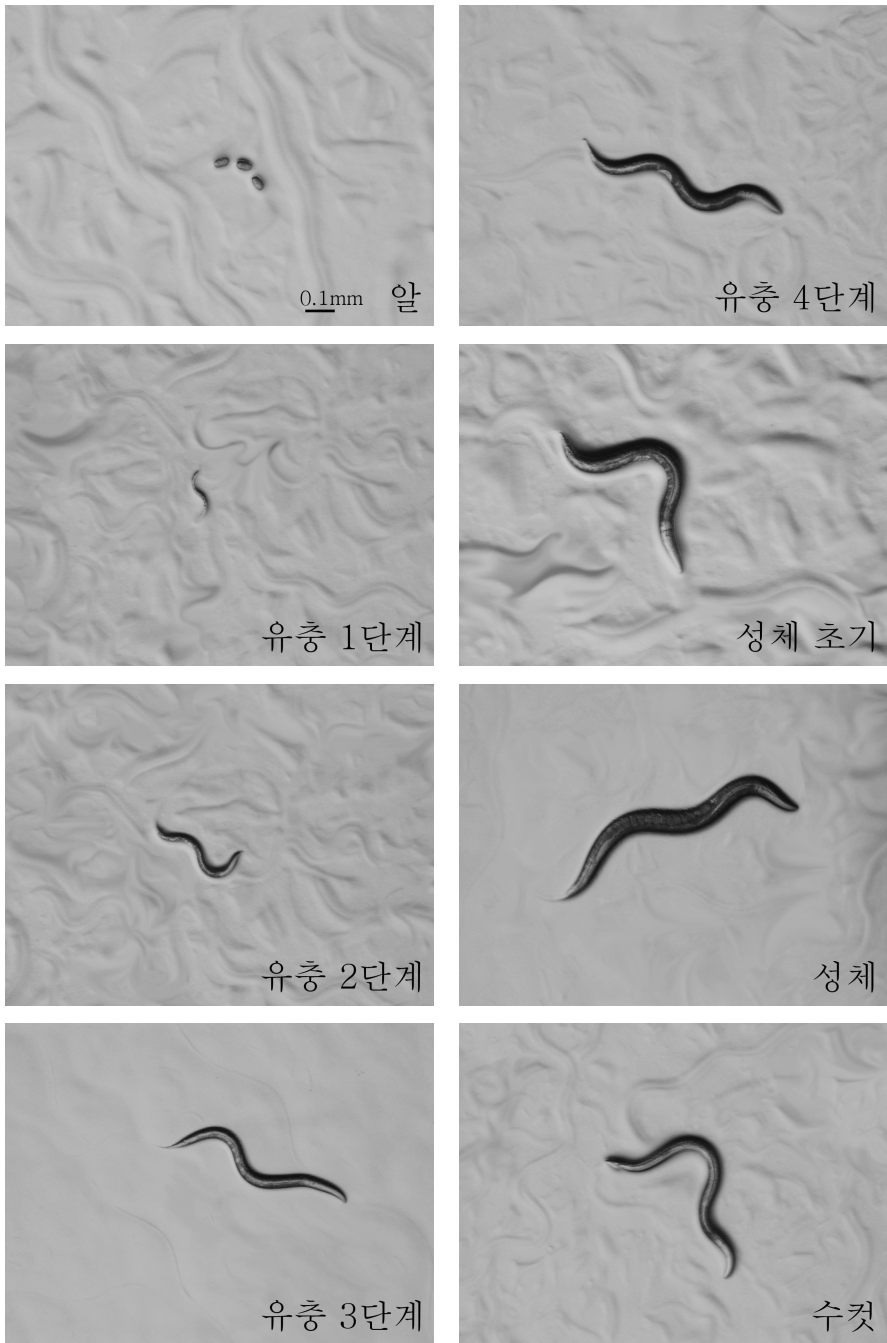
뒤엔 유충 4단계가 되며 유충 4단계로부터 10시간 뒤에 완전한 성체가 된다. 유충 1단계에서 먹이가 부족한 상황이면 유충 2단계로 가지 않고 휴면기 단계로 가게 되는데 약 2~3달 정도 먹이를 먹지 않고도 견딜 수 있다. 휴면기 상태에서 이들은 먹이가 공급되면 다시 유충 4단계로 편입된다. 자웅동체는 유충 4단계에서 생식기(자궁)가 발달하여 형성이 된다. 수컷은 유충 3단계에서 꼬리가 약간 부풀어 오르기 시작하고 유충 4단계가 되면 더욱 부풀어 올라 생식기를 형성한다. 자웅동체와 수컷 모두 성체가 되면 생식기가 완성이 되고 소화관이 확장되고 진해진다(그림 3).



<그림 1> 예쁜꼬마선충 야생형 자웅동체(좌)와 수컷(우)(크기 막대 0.1 mm)



<그림 2> 예쁜꼬마선충의 생활사



<그림 3> 예쁜꼬마선충의 발달 단계 및 성별(크기 막대 0.1 mm)

*** Teaching Tips

예쁜꼬마선충의 각 단계는 선충의 길이의 차이와 생식기의 발달 상태로 구분할 수 있다. 주로 이용하는 유충 4단계의 자웅동체 선충은 생식기가 빠른 속도로 발생하는 단계로 생식기 위치에 투명한 부분으로 선명하게 구분이 된다(그림 3).

선충의 성장 속도는 일반적으로 20 °C를 기준으로 유지되기 때문에 20 °C의 성장 속도로 언급되지만 생활하는 온도에 따라 약간의 차이를 갖는다. 온도별로 선충의 성장 속도와 낳는 알의 수가 다르다(표).

<표> 예쁜꼬마선충의 온도별 발달 차이

	16 °C (16.0±0.3 °C)	20 °C (19.5±0.5 °C)	25 °C (25.0±0.2 °C)
수정된 알	0 hr	0 hr	0 hr
알의 부화	16-18 hr	10-12 hr	8-9 hr
첫 번째 탈피	36.5 hr	26 hr	18.0 hr
두 번째 탈피	48 hr	34.5 hr	25.5 hr
세 번째 탈피	60.0 hr	43.5 hr	31 hr
네 번째 탈피	75 hr	56 hr	39 hr
알을 낳기 시작	-90 hr	-65 hr	-47 hr
알을 가장 많이 낳음	-140 hr	-96 hr	-62 hr
알을 낳는 것을 멈춤	-180 hr	-128 hr	-88 hr
첫 번째 탈피할 때 길이	360 μm	370 μm	380 μm
두 번째 탈피할 때 길이	490 μm	480 μm	510 μm
세 번째 탈피할 때 길이	650 μm	640 μm	620 μm
네 번째 탈피할 때 길이	900 μm	850 μm	940 μm
알을 낳기 시작할 때의 길이	1150 μm	1060 μm	1110 μm
알 낳은 최대 속도	5.4 / hr	9.1 / hr	8.1 / hr
낳은 알의 합계	275	280	170

3. 준비물

실체현미경(반사경이 설치된 것), 배양 접시, 교배 접시, 백금선 피커, 알코올램프, 계수기, 70% 알코올 분무기



<그림 4> 준비물

*** Teaching Tips

예쁜꼬마선충은 투명한 동물로 광원에 직접 노출되면 관찰하기가 매우 어렵다. 따라서 예쁜꼬마선충을 관찰하기 위해서는 현미경 밑 부분에 광원을 한번 반사시켜 빛을 산란시켜주는 반사경이 설치된 실체현미경을 사용해야 한다. 그리고 알코올램프는 피커를 멸균시키는 용도로 때에 따라서는 가스토치나 가스라이터를 사용해도 좋다.

4. 실험 중 유의사항

- 1) 실험을 시작하기 전에 주변부와 손을 70%알코올 분무기로 멸균하고 피커는 알코올램프로 멸균한다.
- 2) 배양 접시의 뚜껑이 자주 또는 장시간 열리면 배지가 노출되어 오염될 수 있으니 불필요하게 열어두지 않도록 한다.

- 3) 피커를 조작할 때 알코올램프로 자주 멸균하고 피커 끝이 다른 물체에 닿게 되면 반드시 알코올램프로 다시 멸균하고 사용하여야 한다. 피커의 멸균을 소홀히 하면 오염될 가능성이 높다.
- 4) 피커로 예쁜꼬마선충을 옮길 때, 배양 접시의 배지가 페이지 않도록 조심한다. 배지가 페이지면 예쁜꼬마선충이 배지 속으로 파고들어 정확한 실험 결과를 얻을 수 없다.
- 5) 예쁜꼬마선충을 옮길 때 알이나 유충 등이 떨어져오지 않게 섬세하게 조작한다. 만약 알이나 유충이 떨어져오게 되면 정확한 실험이 이루어지지 않는다. 떨어진 경우에는 다시 피커로 제거한다.
- 6) 접시의 예쁜꼬마선충 수를 셀 때 반드시 다른 조원과 번갈아가며 2회 이상 세어 신뢰도를 높인다.
- 7) 배양 접시에 기입할 내용이 있을 때는 반드시 아랫면 가장자리에 기입한다. 만약 뚜껑에 기입할 경우, 다른 배양 접시의 뚜껑과 바뀌게 되면 실험이 계속 진행될 수 없다.

*** Teaching Tips

실험 중 유의사항은 좋은 실험 결과를 얻기 위해서는 반드시 지켜야 하는 것들이다. 혹시나 방심하면 접시의 배지가 오염되거나 실험이 제대로 진행 될 수 없는 상황에 처하게 된다. 따라서 학생들이 실험하는 중간에도 자주 언급하며 주의를 기울여 확인해야한다.

5. 탐구 과정

- 1) 성체의 야생형 예쁜꼬마선충의 자웅동체와 수컷을 실체현미경으로 관찰하고 그려보자. 그리고 자웅동체와 수컷을 비교하여 글로 적어보자.
- 2) 성체의 야생형 예쁜꼬마선충의 자웅동체와 유충 4단계를 관찰하고 그려보자. 그리고 성체와 유충 4단계를 비교하여 글로 적어보자.
- 3) 성체의 돌연변이 예쁜꼬마선충들을 관찰하고 그려보자. 그리고 야생형 선충과 비교하여 글로 적어보자.

야생형 자웅동체 선충



야생형 수컷 선충



꼬리 부분에 생식기가 돌출되어 있다.

유충 4단계 야생형 자웅동체 선충



생식기의 위치가 투명하게 선명히 보인다.

난쟁이형 선충



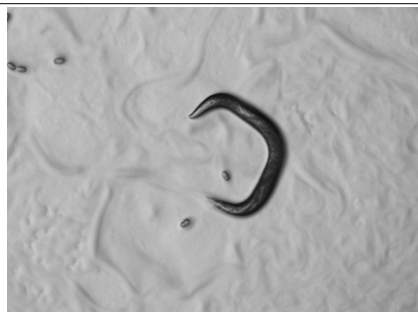
야생형에 비해 길이가 짧다. 야생형 길이의 약 0.5배이다.

키다리형 선충



야생형에 비해 길이가 길다. 야생형 길이의 약 1.5배이다.

회전형 선충

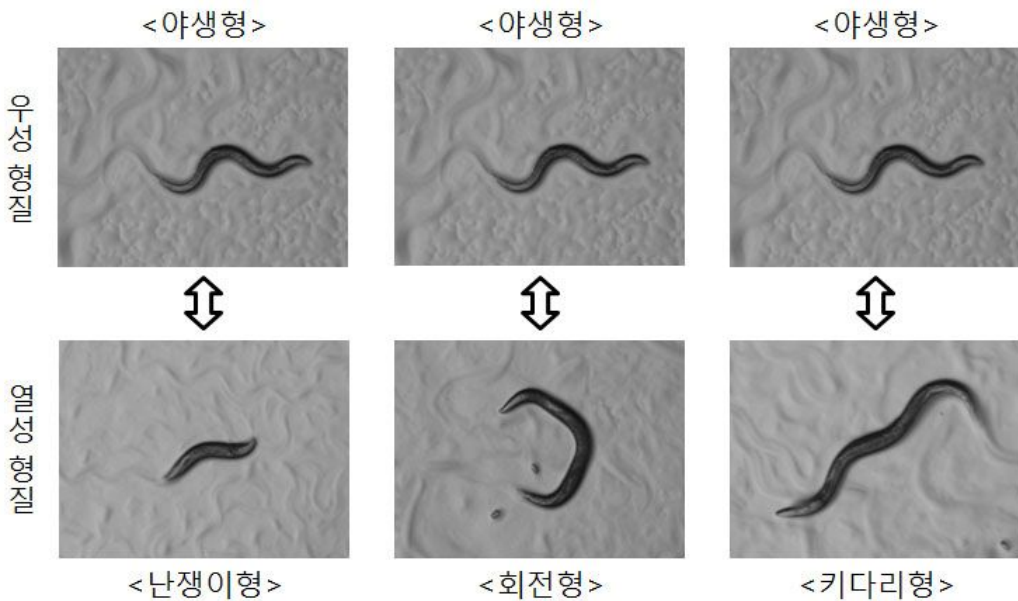


뱅글뱅글 돌면서 이동한다.

*** Teaching Tips

실체현미경을 관찰하며 직접 그려보고 선충의 특징적인 부분을 잘 익힐 수 있도록 유도한다. 야생형 수컷 선충은 꼬리 부분에 생식기가 돌출되어 있으므로 구분이 쉽다. 유충 4단계의 자웅동체는 그림을 보고 특징을 읽히고 생식기의 위치를 확인하여 구분하기 쉽다. 야생형과 다른 3가지 표현형의 돌연변이 선충은 비교적 쉽게 구분이 된다. 각각의 특징을 잘 묘사하여 그리고 표현하도록 지도한다. 될 수 있으면 교사가 찾아 주지 말고 학생 스스로 직접 찾도록 하며 학생이 진위여부를 물을 경우에만 답을 해주는 것이 좋다.

이 실험에서 사용되는 돌연변이 선충은 총 3가지로, 야생형에 비해 길이가 짧은 난쟁이형과 길이가 긴 키다리형 그리고 뱅글뱅글 돌면서 이동하는 회전형이다(그림).



<그림> 예쁜꼬마선충의 다양한 표현형

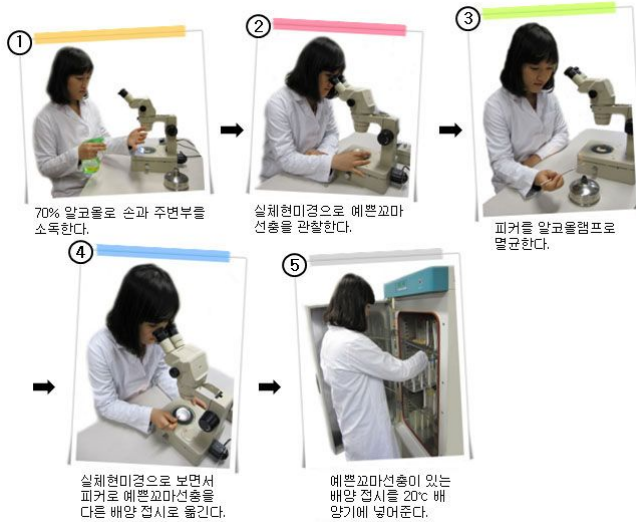
난쟁이형은 *dpy-5* 돌연변이 선충을 사용하고 회전형은 *rol-4* 돌연변이 선충, 키다리형은 *lon-2* 돌연변이 선충을 사용한다. 각 돌연변이 선충 표현형의 대립형질은 야생형의 표현형을 사용한다. 난쟁이형과 키다리형은 야생형의 보통 길이, 회전형은 야생형의 자연스러운 이동을 대립형질로 설정한다. 학생들에게 관찰용으로 주어

지는 선충은 항상 성체를 제공하고 여러 단계가 섞여있을 경우에는 성체에서 표현형의 관찰이 쉽기 때문에 크기가 큰 성체만 관찰하도록 안내한다.

3) 예쁜꼬마선충을 다루는 방법에 대해 알아보고 피커를 이용하여 직접 옮겨보자.

(1) 예쁜꼬마선충을 다른 배양 접시로 옮기는 과정(그림 5)

예쁜꼬마선충을 이용한 실험을 하기 위해서는 예쁜꼬마선충을 옮겨주는 과정이 필수적이다. 먼저 70% 알코올 분무기로 손과 주변부를 소독한다. 그리고 주변부도 뿌리고 닦아낸다. 소독을 마치고 실체현미경으로 배양 접시를 관찰하며 옮겨줄 예쁜꼬마선충을 찾는다. 알코올램프로 멸균한 피커를 이용하여 예쁜꼬마선충을 실체현미경으로 보면서 다른 배양 접시로 옮겨준다.



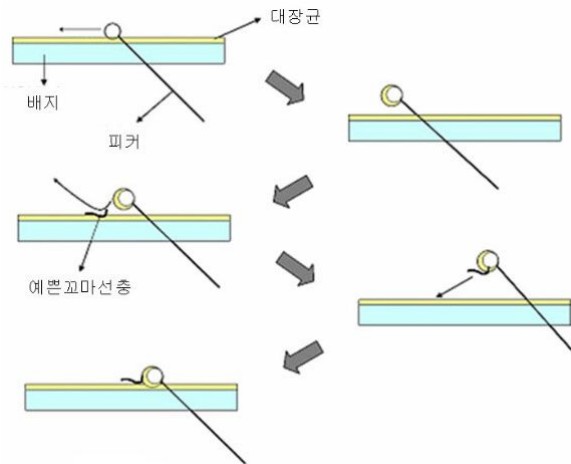
<그림 5> 예쁜꼬마선충을 다른 배양 접시에 옮기는 과정

*** Teaching Tips

알코올램프로 멸균한 피커는 뜨거운 상태이므로 바로 예쁜꼬마선충을 조작하게 되면 예쁜꼬마선충이 죽게 된다. 따라서 멸균한 피커를 5초정도 식혔다가 조작하도록 지도한다.

(2) 예쁜꼬마선충을 백금선 피커로 조작하는 방법(그림 6)

- ① 피커의 끝에 배양 접시의 대장균을 묻힌다.
- ② 대장균이 묻은 피커의 끝 부분으로 옮길 예쁜꼬마선충을 붙인다.
- ③ 예쁜꼬마선충이 붙은 피커의 끝 부분을 옮길 배양 접시의 배지 표면에 살짝 대고 기다리면 예쁜꼬마선충이 내려온다.



<그림 6> 예쁜꼬마선충 조작 방법

*** Teaching Tips

실체현미경을 보면서 피커로 예쁜꼬마선충을 조작하는 것은 섬세하게 이루어진다. 따라서 처음 접하는 사람은 어려운 과정이다. 하지만 이 탐구 모듈을 수행하는데 있어 기초적이며 꼭 필요한 조작이므로 매 실험마다 실제 실험이 시작되기 전에 학생들이 조작 연습을 자주 할 수 있도록 연습용 배양 접시를 제공하고 연습시간을 갖도록 한다.

(3) 예쁜꼬마선충 교배시키는 방법

교배 접시는 배양 접시와 달리 대장균이 가운데 부분에만 조금 깔려있다. 따라서 예쁜꼬마선충이 먹이를 얻을 수 있는 공간이 좁아 다른 선충들과 배양 접시에서 교배시키는 것보다 더 자주 마주치게 되어 수월하게 교배시킬 수 있다. 그리고 교배시킬 때 자웅동체는 유충 4단계를 사용하고 수컷은 성체를 사용해야 한다. 그리고 선충은 자웅동체와 수컷을 1:2에서 1:3의 비율로 넣어주면 교배가

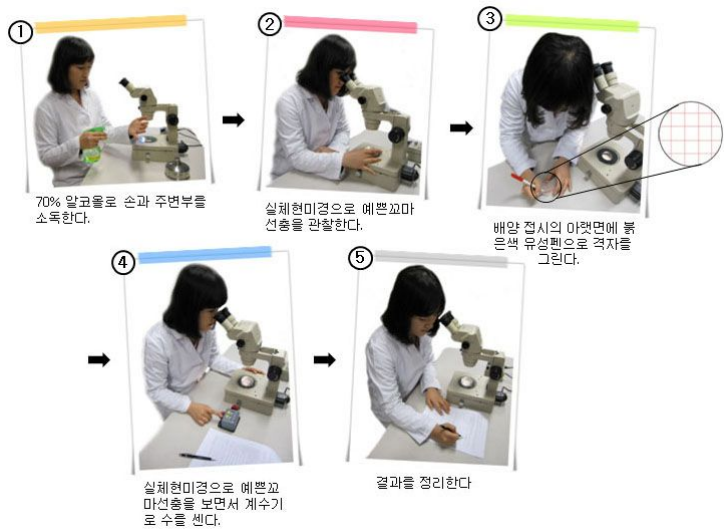
잘 이루어진다. 1개의 교배 접시에 자웅동체 2~3마리와 수컷 4~9마리정도를 넣어주면 가장 좋다.

*** Teaching Tips

예쁜꼬마선충을 교배시킬 때에는 선충의 단계가 매우 중요하다. 성체의 자웅동체 선충은 이미 자가 수정된 상태로 존재하고 너무 어린 자웅동체 선충은 교배가 되는데 많은 시간을 기다려야 한다. 따라서 성체가 되기 직전의 유충 4단계의 자웅동체 선충을 사용하는 것이 매우 좋다. 앞에서 설명했지만 유충 4단계의 자웅동체는 생식기가 활발하게 생성되고 있는 상태로 생식기 위치가 투명하게 선명히 구분된다. 성체의 자웅동체 선충을 사용했을 경우에는 실험 결과가 다르게 나와 학생들이 혼란스러울 수 있으므로 반드시 사용하지 말자.

(4) 예쁜꼬마선충의 수를 세는 방법

예쁜꼬마선충을 이용한 실험에서 자료를 얻기 위해서는 선충의 형질에 따라 구분하고 수를 세는 것이 필요하다. 수를 세는 과정은 (그림 7)에 자세히 설명하였다. 격자를 그릴 때 붉은 유성펜으로 배양 접시의 아랫면에 격자를 그려야 예쁜꼬마선충을 관찰하기 쉽다. 격자의 크기는 현미경으로 관찰하기 쉬운 크기로 나누어 그린다(16~25등분으로 그리는 것이 좋다).



<그림 7> 예쁜꼬마선충의 수를 세는 방법

*** Teaching Tips

이 탐구 모듈에서 사용하는 실체현미경은 빛이 아래쪽에서 나와 배양 접시를 통과하여 관찰이 되는 현미경이다. 따라서 배양 접시의 아랫면에 격자를 그리면 선충과 겹쳐 있는 위치도 생긴다. 따라서 많은 실험을 통해 관찰한 결과 선충을 관찰하는데 빨간색 유성펜이 가장 수월하게 관찰이 가능했다.

(5) 배양 접시에 살고 있는 예쁜꼬마선충을 다른 접시로 옮겨보자.

- ① 야생형과 여러 표현형의 돌연변이 예쁜꼬마선충을 연습용 배양 접시에 배지가 꽤이지 않게 조심하면서 최대한 많이 옮겨보자.
- ② 야생형과 여러 표현형의 돌연변이 예쁜꼬마선충을 관찰하며 유충 4단계의 선충만 골라 연습용 배양 접시로 옮겨보자.
- ③ 야생형 수컷 예쁜꼬마선충이 들어있는 배양 접시에서 야생형 수컷 선충만 골라 연습용 배양 접시로 옮겨보자.
- ④ 선충을 옮긴 연습용 배양 접시의 아랫면에 붉은 유성펜으로 격자를 그리고 종류별로 수를 세어보자.

*** Teaching Tips

선충을 옮기는 과정과 표현형 구분, 유충 4단계의 자웅동체의 구분은 실험의 질을 결정하는 매우 중요한 요소이다. 따라서 매 실험마다 옮기는 연습은 반드시 이루어져야 한다. 학생들이 너무 중압감을 받아 실험에 부담을 받을 수 있으니 편안한 분위기에서 진행이 되도록 하고 어느 조가 더 안전하게 많이 옮기는지 게임화 시켜 재미있게 진행이 되어도 좋다.

II. 우성과 열성 형질의 판별 탐구 실험

1. 학습 목표

1) 지식

- 야생형과 표현형이 다른 돌연변이 예쁜꼬마선충의 교배 실험을 통해 우성과 열성을 판별할 수 있다.

2) 탐구

- 야생형과 표현형이 다른 돌연변이 예쁜꼬마선충의 교배로 어떤 표현형의 잡종 제 1세대가 나타날 것인지 예측할 수 있다.
- 잡종 제 1세대를 관찰하고 예측한 결과와 비교하여 어떻게 잡종 제 1세대의 표현형이 나타났는지 설명할 수 있다.

3) 태도

- 예쁜꼬마선충의 교배 실험을 통해 유전 원리에 흥미를 갖게 된다.

2. 탐구 과정

1. 야생형과 돌연변이 예쁜꼬마선충을 교배시키면 어떤 표현형의 제 1세대가 나타날까?(난쟁이형과 키다리형, 회전형 돌연변이 예쁜꼬마선충 중에서 하나를 선택하자.)

(1) 의문에 대해 기대되는 여러 가지 결과를 예측해 보고 글로 적어보자.

(2) ‘왜?’ 그러한 예측 결과가 나올 수 있는지 생각해보고 글로 적어보자.

*** Teaching Tips

실험에 3가지 돌연변이 선충 가운데 한 가지를 학생들이 직접 선택해 실험을 할 수 있도록 하여 흥미를 가질 수 있도록 유도한다. 학생은 한 가지 돌연변이 만을 대상으로 실험을 마치고 조별 발표를 통해 선충의 다양한 표현형 선충에 대한 실험 결과를 접할 수 있다.

2) 예측한 결과를 확인하기 위하여 야생형 수컷 선충과 돌연변이 자웅동체 선충을 교배시켜 보자.

- (1) 야생형 수컷 선충과 돌연변이 자웅동체 선충을 2:1의 비율로 교배 접시에 옮겨주고 교배 접시를 20 °C 배양기에 넣어준다.
- (2) 12~24시간이 지나고 돌연변이 자웅동체 선충 1마리를 배양 접시로 옮겨준다.
- (3) 돌연변이 자웅동체 선충 1마리가 들어있는 배양 접시를 3일 동안 20 °C 배양기에 넣어둔다.
- (4) 3일이 지나고 배양 접시의 잡종 제 1세대 선충을 실체현미경으로 관찰하자.

3) 잡종 제 1세대 선충을 실체현미경으로 관찰하자.

- (1) 잡종 제 1세대 선충과 어버이 세대(야생형과 돌연변이 예쁜꼬마선충)와 비교하여 글로 적어보자.

- (2) 예측한 결과와 관찰 결과를 비교하고, 잡종 제 1세대의 표현형이 ‘왜?’ 나타났는지 글로 적어보자.

3. 실험 결과에 대한 의견을 조별로 발표하고 토의해보자.

*** Teaching Tips

발표와 토론은 학생들의 생각을 명료화시킬 수 있는 중요한 과정이다. 수업 시간이 여유가 있으면 되도록 많은 학생들이 참여하도록 유도한다.

5. 교사는 우성과 열성에 대한 개념을 도입한다.

6. 교사는 멘델의 실험에서 완두콩에 나타난 우성과 열성 형질을 예로 들어 학생들의 개념을 명료화시켜준다.

*** Teaching Tips

주변에 쉽게 접할 수 있는 우성과 열성 표현형의 예시를 들어주는 것도 좋다.

<표> 사람의 유전형질

	우성	열성
눈꺼풀	쌍꺼풀	외꺼풀
컹볼형태	둥글다.	길다.
혀말기	된다.	안된다.
이마선	V자형	—자형
머리카락	곱슬머리	직모
보조개	있다	없다
미맹	쓴맛을 느낌	쓴맛을 느끼지 못함
Rh 식 혈액형	Rh +	Rh -

Ⅲ. 분리의 법칙 탐구 실험

1. 학습 목표

1) 지식

- 야생형과 표현형이 다른 돌연변이 예쁜꼬마선충의 교배 실험을 통해 분리의 법칙을 설명 할 수 있다.

2) 탐구

- 잡종 제 1세대를 자가 교배시켜 잡종 제 2세대에서 어떤 표현형이 나타날지 예측 할 수 있다.
- 잡종 제 2세대를 관찰하고 예측한 결과와 비교하여 어떻게 잡종 제 2세대의 표현형이 나타났는지 설명할 수 있다.

3) 태도

- 예쁜꼬마선충의 교배 실험을 통해 유전 원리에 흥미를 갖게 된다.

2. 탐구 과정

1) 잡종 제 1세대를 자가 교배시키면 어떤 표현형의 제 2세대가 나타날까?

(1) 잡종 제 2세대에서 어떠한 형질이 나타날지 예측해보고 글로 적어보자.

(2) ‘왜?’ 그러한 예측 결과가 나올 수 있는지 생각해보고 글로 적어보자.

2) 예측한 결과를 확인하기 위해 제 1세대 선충을 자가 교배시켜보자.

- (1) 잡종 제 1세대의 유충 4단계 자용동체 선충 1마리를 1번째 배양 접시에 옮겨주고, 이 배양 접시를 20 ℃ 배양기에 넣어준다.
- (2) 24시간이 지나고 1번째 배양 접시의 잡종 제 1세대 자용동체 선충을 2번째 배양 접시로 옮겨주고 이 배양 접시를 20 ℃ 배양기에 넣어준다.
- (3) 또다시 24시간이 지나고 2번째 배양 접시의 잡종 제 1세대 자용동체 선충을 제거한다.
- (4) 1번째 배양 접시에서 2번째 배양 접시로 잡종 제 1세대 자용동체 선충을 옮긴 후 3일이 지나고 1번째 배양 접시의 잡종 제 2세대를 실체현미경으로 관찰하자. 1번째 배양 접시의 아랫면에 붉은 유성펜으로 격자를 그리고 실체현미경으로 관찰하며 표현형에 따라 구분하여 선충의 수를 세어보자.
- (5) 2번째 배양 접시에서 잡종 제 1세대 자용동체 선충을 제거한 후 3일이 지나고 1번째 배양 접시의 잡종 제 2세대를 실체현미경으로 관찰하자. 1번째 배양 접시의 아랫면에 붉은 유성펜으로 격자를 그리고 실체현미경으로 관찰하며 표현형에 따라 구분하여 선충의 수를 세어보자.

배양 접시 \ 표현형		
1번째 배양 접시의 개체의 수		
2번째 배양 접시의 개체의 수		

*** Teaching Tips

실험의 신뢰도를 높이기 위해서 조원 모두가 직접 세도록 한다.

3) 잡종 제 2세대 선충을 관찰하고 예측한 결과와 관찰한 결과를 비교해보고, 잡종 제 2세대에서 ‘왜?’ 그러한 실험 결과가 나타났는지 생각해보고 글로 적어보자.

4) 잡종 제 2세대를 표현형별로 전체 개체의 수를 구하고 비교해보자.

표현형	총 개체의 수	비

*** Teaching Tips

실험 결과 표현형별 총 개체수의 비를 구하면 정확히 3:1의 비율로 나타나지 않는다. 이 비율은 확률에 근거한 값이고 많은 실험 결과들에 대한 수렴되는 수치임을 학생들에게 충분히 설명해 준다. 학생들의 수준이 높을 경우에는 카이제곱검정을 실시하여 검증을 유도 할 수 있다.

3. 실험 결과에 대한 의견을 조별로 발표하고 토의해보자.

*** Teaching Tips

발표와 토론은 학생들의 생각을 명료화시킬 수 있는 중요한 과정이므로 반드시 이루어져야 하며 수업 시간이 여유가 있으면 되도록 많은 학생들이 참여하도록 유도한다.

5. 교사는 분리의 법칙 용어를 도입한다.

6. 교사는 멘델이 완두콩을 이용하여 수행한 분리의 법칙 실험을 예로 들어 학생들의 개념을 명료화시켜준다.

*** Teaching Tips

<표> 우성과 열성 형질의 관별과 분리의 법칙 탐구 실험 스케줄

차시		실험 스케줄
1일	1차시	· 아버지 세대 선충들을 교배시킨다. (우성과 열성 형질의 관별 탐구 실험 실시)
2일	수시	· 아버지 세대의 자웅동체 선충을 새 배양 접시로 옮겨준다.
3일	·	·
4일	·	·
5일	2차시	· 아버지 세대의 자웅동체가 들어있는 새 배양 접시에서 잡종 제 1세대를 관찰한다. · 잡종 제 1세대의 유충 4단계 자웅동체 선충을 1번째 새 배양 접시로 옮겨준다. (분리의 법칙 탐구 실험 실시)
6일	수시	· 1번째 배양 접시에 있는 잡종 제 1세대 자웅동체 선충을 2번째 새 배양 접시로 옮겨준다.
7일	수시	· 2번째 배양 접시의 잡종 제 1세대 자웅동체 선충을 제거한다.
8일	3차시	· 1번째 배양 접시의 잡종 제 2세대를 관찰하고 수를 센다.
9일	4차시	· 2번째 배양 접시의 잡종 제 2세대를 관찰하고 수를 센다. · 실험 결과를 검증한다.

<읽을거리>

예쁜꼬마선충과 노벨상

예쁜꼬마선충을 실험 재료로 활용하여 연구를 한 사람들이 3번에 걸쳐 노벨상을 탔다. 어떠한 업적으로 노벨상을 타게 되었는지 알아보자.

1. 노벨 생리 의학상(그림 1)

2002년에 ‘기관 발생 과정에서의 세포자살의 유전학적 조절 기작의 발견’으로 3명이 공동 수상하였다.

1) Sydney Brenner

간단한 신경계를 가지고 있으면서 행동까지 이해할 수 있는 신경 생물학 분야를 연구하는 좋은 재료로 예쁜꼬마선충을 찾게 되었다.

2) John E. Sulston

선충의 수정란에서부터 성체에 이르는 모든 세포들의 분열순서와 이를 파악할 수 있는 방법을 개발하여 성체를 이루는 각 세포의 기원, 즉 세포 계보를 완전히 파악하였다.

3) H. Robert Horvitz

1986년에 선충을 이용한 실험에서 세포자살에 필수적으로 관여하는 유전자를 발견하고 사람에게도 선충에서 발견한 유전자와 유사한 유전자가 존재한다는 것을 입증하였다.

2. 노벨 생리 의학상(그림 2)

2006년에 ‘이중가닥 RNA에 의한 유전자 발현 억제 기작의 발견’으로 2명이 공동 수상하였다.

1) Andrew Z. Fire & Craig C. Mello

1998년 Fire와 Mello는 예쁜꼬마선충을 대상으로 유전자 발현이 어떻게 조절되는지를 연구하여 최초로 예쁜꼬마선충에서 특정 유전자로부터 전사된 mRNA가 분해되는 기작인 RNA간섭(방해)을 밝혔다.

3. 노벨 화학상 (그림 3)

2008년에 '녹색형광 단백질의 발견과 개발'로 3명이 공동 수상하였다.

1) Osamu Shimomura

1960년대에 해파리에서 녹색 형광 단백질을 발견했다.

2) Martin Chalfie

1994년 녹색형광 단백질(GFP)을 예쁜꼬마선충에 적용하여 이웃하는 유전자의 발현을 추적할 수 있는 연구 결과를 발표하였다.

3) Roger Y. Tsien

녹색형광 단백질을 기반으로 노란색형광 단백질과 붉은색형광 단백질 개발하였다.



The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2002

"for their discoveries concerning 'genetic regulation of organ development and programmed cell death'"

		
Sydney Brenner	H. Robert Horvitz	John E. Sulston
🏆 1/3 of the prize	🏆 1/3 of the prize	🏆 1/3 of the prize
United Kingdom	USA	United Kingdom
The Molecular Sciences Institute Berkeley, CA, USA	Massachusetts Institute of Technology (MIT) Cambridge, MA, USA	The Wellcome Trust Sanger Institute Cambridge, United Kingdom
b. 1927 (in Union of South Africa)	b. 1947	b. 1942

<그림 1> 2002년 노벨 생리 의학상



The Nobel Prize in Physiology or Medicine 2006

"for their discovery of RNA interference - gene silencing by double-stranded RNA"



Photo: L. Cicero

Andrew Z. Fire

1/2 of the prize

USA

Stanford University
School of Medicine
Stanford, CA, USA

b. 1959



Photo: J. Møttern

Craig C. Mello

1/2 of the prize

USA

University of
Massachusetts Medical
School
Worcester, MA, USA

b. 1960

<그림 2> 2006년 노벨 생리 의학상



The Nobel Prize in Chemistry 2008

"for the discovery and development of the green fluorescent protein, GFP"



Photo: U. Montan

Osamu Shimomura

1/3 of the prize

USA

Marine Biological
Laboratory (MBL)
Woods Hole, MA, USA;
Boston University Medical
School
Massachusetts, MA, USA



Photo: U. Montan

Martin Chalfie

1/3 of the prize

USA

Columbia University
New York, NY, USA



Photo: U. Montan

Roger Y. Tsien

1/3 of the prize

USA

University of California
San Diego, CA, USA;
Howard Hughes Medical
Institute

<그림 3> 2008년 노벨 화학상

저작물 이용 허락서

학 과	자연교육학과	학 번	20107388	과 정	석사
성 명	한글: 임 용 운 한문 : 林 用 運 영문 : Lim Yong Un				
주 소	광주광역시 서구 화정3동 319-42				
연락처	E-MAIL : yulim81@gmail.com				
논문제목	한글 : 예쁜꼬마선충(<i>Caenorhabditis elegans</i>)을 이용한 멘델의 유전 법칙 탐구 모듈 개발 영어 : Development of Inquiry-Mendel's laws of Inheritance Modules using <i>Caenorhabditis elegans</i>				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의() 반대()

2011년 2월

저작자: 임 용 운 (서명 또는 인)

조선대학교 총장 귀하