

Development and Application of Molecular Biology Inquiry Program using ABO gene

Jae-Hyoung Jo¹⁾ · Jung-Wook Roh²⁾ · Dan-Bi Seo²⁾ · Wan-Yeon Kim^{*2)}

¹⁾Geumchon High School · ²⁾Korea National University of Education

ABO식 혈액형 유전자를 활용한 분자생물학 탐구 프로그램의 개발 및 적용

조재형¹⁾ · 노정욱²⁾ · 서단비²⁾ · 김완연^{*2)}

¹⁾금촌고등학교 · ²⁾한국교원대학교

<ABSTRACT>

In this study, after developing and applying a molecular biology inquiry program using the ABO blood type gene, the effect of the inquiry program on the concept achievement related to molecular biology and genetics and scientific attitudes of students was investigated. Twenty 2nd grade students attending a general high school in Gyeonggi-do participated in the research. Each of them was divided into an experimental group and a control group, and the developed inquiry program was put into the experimental group, and an explanatory class composed of the same contents was put into the control group. Before and after class input, a concept achievement test and a scientific attitude test were conducted, the results of the tests were compared between two groups, and an interview was conducted with the students in the experimental group on the effectiveness of the class. As a result of the research, a 6-hour molecular biology inquiry program was developed that can be easily applied in school. As a result of applying the inquiry program to the students, both concept achievement and scientific attitude showed higher improvement in the mean score of the post-test compared to the pre-test in the experimental group than in the control group, and the score difference was statistically significant. In addition, the positive effect was confirmed in the interview on the effectiveness of the class. On the other hand, among the sub-areas of concept achievement and scientific attitude, the areas that did not show any significant effects were analyzed in depth. Finally, the educational implications of this and the necessity of follow-up studies were discussed.

Key words : Molecular biology inquiry program, ABO gene, single nucleotide polymorphism

※ 이 논문은 조재형의 2021학년도 석사학위 논문의 일부를 수정, 보완한 것임.

* Corresponding Author : Wan-Yeon Kim, wykim82@knue.ac.kr

Received December 10, 2020; Reviewed December 14, 2020 Corrected December 21, 2020; Accepted December 25, 2020

© 2020. Institute of Brain based Education, Korea National University of Education

I. Introduction

1. Necessity and Purpose of Research

과학은 과학적 지식과 과학적 탐구로 이루어져 있는데(NRC, 2000), 그중 탐구는 과학자가 자연 세계를 이해하기 위해 과학적 방법을 이용하여 지식을 생성하고 연구하는 과정이다(Gallagher, 2007). 과학 개념 학습은 고등한 인지학습 과정(Jang & Yang, 2020)으로, 행동주의와 실증주의의 영향 때문에 탐구중심 과학교육의 중요성이 1960년대에 대두되기 시작하였으며, 이후 우리나라에서도 제3차 과학과 교육과정을 탐구 중심 교육과정으로 개정함에 따라 탐구는 과학의 핵심 요소이자 과학적 지식을 형성하기 위한 중요한 학습 방법이 되었다.

현행 2015 개정 과학과 교육과정에서는 ‘탐구 중심의 과학 학습’을 강조하면서, 탐구의 수단이 되는 과학적 탐구의 방법으로 실험, 조사, 토론 등을 제시하고 있다(MOE, 2015b). 특히 실험은 지식의 생성 측면에서 과학을 다른 교과와 차별화시킬 뿐만 아니라, 다양한 교육적 효과를 기대할 수 있으며, 특히 개념을 올바르게 전달할 수 있는 학습 방법 중 하나라는 점에서 중요하다(Jo et al., 2020). 실험은 이론과 법칙의 발견을 경험하게 함으로써 사실, 원리, 개념 등의 과학 지식의 생성 과정을 배울 수 있게 하며, 이러한 활동 경험은 과학 학습에 대한 동기를 높이는 등 과학적 태도의 긍정적인 변화에 기여한다. 또한 실험 활동에서 실험 기구 및 기기를 다루는 것은 조작 기능을 습득할 수 있는 강력한 방법이며, 실험 수행 과정에서 자연스럽게 일어나는 동료 간 상호작용을 통해 의사소통 및 협동 능력을 향상시킬 수 있으므로 과학 수업에 적극적으로 적용할 필요가 있다(Park, 2013).

한편 1950년대 초 DNA 이중 나선 구조의 규명과 동시에 탄생한 분자생물학은 생명 현상을 분자 수준에서 이해하고 분석할 수 있게 해줌으로써 생명과학 분야의 새 지평을 열었다. 현대 생명과학은 분자생물학 및 생화학 이론과 실험 기법의 발전에 힘입어 의학, 화학·에너지, 식품, 환경, 의료기기 등의 다양한 산업 분야와 접목되어 크고 빠르게 발전하

고 있으며, 생명과학기술에 의한 여러 분야의 혁신은 경제적 성과와 더불어 인류 복지 향상에 기여할 것으로 기대된다(House, 2012; Osborne, 2010). 이에 따라 우리나라도 생명과학기술 전문 인력의 양적·질적 확보를 위한 노력이 절실하며, 이는 학생의 적성과 소질에 맞게 진로 개척과 전공 선택에 도움을 주어야 할 고등학교 생명과학 교육에서도 예외가 아니다(Choi, 2019; MOE, 2015a).

우리나라에서는 4차 교육과정(1981-1987) 시기부터 DNA를 필두로 한 분자생물학 관련 내용이 본격적으로 다뤄지기 시작했으며, 이후 기초적인 분자생물학 관련 이론 및 실험과 생명공학 기술을 중등 교육현장의 상황과 학습자의 인지 수준에 맞게 반영하기 위해 노력해왔다(MOE, 1981; Chung, 1985). 생명과학 교과서에 실린 분자생물학 관련 내용은 교육과정이 개정될 때마다 조금씩 변화하여 왔는데, 학습 내용 측면에서는 분자생물학 분야의 새로운 과학적 사실의 발견에 의한 기존 이론의 수정과 과거보다 진보된 생명공학기술의 발달로 최신화 되었고, 학습 방법 측면에서는 과학실 현대화와 각종 실험 기구 및 시약의 보급 등 교육환경의 개선으로 단순한 이론 중심적 내용 설명에서 학생 중심의 실험, 조사, 토론 등을 포함한 탐구 활동 비중이 높아지는 방향으로 변모하여 왔다. 특히 2009 개정 과학과 교육과정의 생명과학Ⅱ에서는 대학 교육과의 연계성 향상이라는 취지에 맞게(MEST, 2009) ‘DNA 염기서열 분석법’, ‘DNA 젤 전기영동’, ‘중합 효소 연쇄 반응(Polymerase Chain Reaction, PCR)’ 등 생명과학 기술과 구체적인 실험 기법을 자세하게 다루어 분자생물학의 중요성을 강조하였다. 또한 2015 개정 과학과 교육과정에서도 진로 선택 교과인 생명과학Ⅱ에서 학생들의 전공 기초 소양을 함양하기 위해 ‘유전자 재조합 기술’, ‘중합 효소 연쇄 반응(PCR)’, ‘유전자 치료 기술’ 등의 내용을 담고 있으며, 특히 전문 교과 I의 생명과학실험에서는 ‘전기영동을 통한 DNA의 분리 및 확인 실험’, ‘중합 효소 연쇄 반응 실험’, ‘제한효소로 절단한 DNA 조각의 크기 비교 실험을 통한 유전자 분석’ 등 분자생물학 실험 기법을 다수 포함하고 있다(MOE, 2015b).

그러나 분자생물학을 효과적으로 가르치려는 노력과 생명과학 교육과정의 변천과는 별개로, 우리나라

라 고등학생들의 유전 및 분자생물학 관련 개념에 대한 이해도는 비교적 낮은 편인데(Kim & Lee, 2016), 유전 현상에 대한 분자 수준의 실제적 경험의 부재와 교육과정 상 유전 내용의 구성 측면의 문제가 개념 이해도를 낮추는 두 가지의 요인으로 알려져 있다(Jung & Chun, 2019).

먼저 우리나라 고등학생들이 분자생물학 실험을 직접 경험할 수 있는 기회는 매우 적은 실정이다(Woo et al., 2011). 이러한 현상이 발생하는 원인으로서는 첫째, 2015 개정 과학과 교육과정 생명과학Ⅱ 교과에 실린 분자생물학 관련 내용은 직접적인 실험의 수행이나 관련 개념의 정립에 관한 탐구보다는 조사·토의 및 발표, 자료 해석 등의 탐구 방법을 활용해 과학·기술·사회의 측면을 강조하는 쪽으로 교과서가 집필(Nam & Cho, 2017; Shim & Song, 2019)되어있기 때문에 분자생물학 교육의 가장 적극적인 형태인 실험 수업을 하기 어려울 것으로 판단된다. 둘째, 과학영재학교, 과학고등학교, 일부 과학중점고등학교를 제외한 일반계 고등학교 현장에서는 여전히 실험실 교육환경이 열악하여 분자생물학 실험을 수행하기 위한 장비가 부족하다. 셋째, 생명과학 교사의 실험중심의 학습 방법 적용 및 분자생물학 실험 기술에 대한 전문성 부족(Kang & Kim, 2005; Kang et al., 2008; Shim, 2011; Song, 2013), 그리고 대학 입학 전형의 다양화에도 불구하고 수업에서 그들의 최우선 과제를 대학수학능력시험과 학생부 내신산출을 위한 지필평가를 대비하는 것으로 인식하고 있는 것도 분자생물학 실험 교육의 장애 요인으로 생각된다(Ha, 2019).

또한 교과서의 내용 구성 순서대로 유전 및 분자생물학 관련 내용을 가르치는 것은 학습자의 유전에 관한 핵심 개념 형성과 유전 현상의 폭넓은 이해를 어렵게 만드는 것으로 여겨진다. 즉, 현행 과학과 교육과정의 내용 요소 및 단원의 배치가 유전 및 분자생물학 관련 개념을 효과적으로 이해하는데 적절하지 않을 수 있다는 것인데(Jung & Chun, 2019), 예를 들어 고전 유전학인 멘델 유전과 분자유전학 학습 시기의 괴리나, 분자생물학 관련 내용의 학습을 위해 배경 지식으로 알고 있어야 할 유전자와 단백질과의 관계에 대한 개념의 부재는 분자생물학 관련 개념 형성을 방해하는 것으로 파악

되고 있다(Duncan et al., 2009; Kim & Lee, 2016). 이러한 이유로 학교 현장 및 생명과학 교육계에서는 유전 및 분자생물학 개념의 통합적 이해를 위한 분자생물학 탐구 프로그램 개발의 필요성을 지속적으로 제기하여 왔다.

2000년대 중반, 과학실 현대화 사업과 더불어 교육현장에서는 분자생물학 실험 기법을 적용한 실험중심의 탐구 프로그램 개발을 위한 노력이 가속화되어 왔다. 인간의 구강 상피 세포를 사용한 뉴클레오솜 DNA 사다리 관찰 실험의 개발에 관한 연구(Oh & Lee, 2011)에서는 유전체 DNA를 쉽고 빠르게 추출하기 위해 기존의 실험 방법이 아닌 변형된 방법으로 실험을 수행하여 DNA를 관찰하였으며, 학생들의 실험에 대한 흥미도가 높아짐을 확인하였다. 구강 상피 세포 DNA를 사용한 고등학교 분자생물학 실험 모듈 개발에 관한 연구(Woo et al., 2011)에서는 아세트알데히드 분해효소 2 유전자(acetaldehyde dehydrogenase 2, ALDH2)를 활용하여 DNA 전기영동, PCR 등 교육과정에 포함된 분자생물학 실험 전반을 직접 경험할 수 있는 실험 수업을 개발 및 적용하였고, 분자생물학 관련 개념형성과 실험 기구조작 능력, 진로 탐색 등에 효과가 있음을 보고하였다. 자기주도적 학습능력 향상을 위한 분자생물학 실험 디지털교재 개발 및 적용에 관한 연구(Park & Lee, 2017)에서는 분자생물학 실험 관련 디지털 콘텐츠를 개발하여 고가의 실험 기기 없이도 분자생물학 실험을 간접적으로 경험할 수 있게 하였으며, 해당 콘텐츠가 학생들의 흥미와 실험 수행 능력 유지에 효과가 있음을 확인하였다.

이에 본 연구에서는 유전 및 분자생물학 관련 개념의 통합적 이해와 과학적 태도의 긍정적인 변화를 이끌어내기 위한 분자생물학 탐구 프로그램을 개발하고, 적용하여 그 효과를 알아보고자 하였다. 탐구 프로그램은 실험 활동 중심으로 개발하여 학생들이 PCR, 제한효소 반응 등 DNA 수준의 조작을 통해 분자생물학 연구실에서 수행되고 있는 실험을 직접 경험해 볼 수 있게 디자인하였다. 또한 본 연구의 탐구 프로그램은 과학과 교육과정에서 유전의 내용 요소를 선별하여 멘델 시기의 고전 유전학에서부터 분자생물학을 필두로 한 현대 유전학까지 연속적인 학습이 가능하도록 내용을 구성하는

데에 초점을 맞춰, 기존에 개발된 분자생물학 탐구 프로그램과 차별화하고자 하였다. 이를 위해 ABO 식 혈액형 유전자를 수업 및 실험의 소재로 사용하였는데, 해당 유전자는 학생들에게 친숙한 유전자일 뿐만 아니라 분자생물학적인 탐구가 가능하면서도 멘델 유전을 따르는 유전 형질이기 때문에 유전 및 분자생물학 개념의 통합적 이해에 효과적일 것으로 판단하였다. 즉, 멘델 시기의 고전 유전학에서부터 현대의 분자유전학의 이론과 이를 구성하는 내용요소를 연결하여 학습함과 동시에 분자생물학 실험을 통해 유전과 관련된 실체적 경험이 제공된다면 학습자는 유전 개념을 이해하기 쉬워질 것이다.

이후 개발한 분자생물학 탐구 프로그램이 적용된 수업을 학생들에게 투입하여 개념 성취도와 과학적 태도의 양적인 변화를 확인하였고, 수업의 효과를 설문 조사 및 면담을 통해 파악하였다.

2. Research Problems

본 연구의 연구 문제는 다음과 같다.

첫째, 유전 및 분자생물학 개념의 통합적 이해와 과학적 태도의 긍정적 변화를 위한 분자생물학 탐구 프로그램을 어떠한 구성으로 개발할 것인가?

둘째, 개발한 분자생물학 탐구 프로그램이 고등학생의 개념 성취도, 과학적 태도 변화 등에 어떠한 효과가 있는가?

II. Materials and Methods

1. Subjects of Research

본 연구는 경기도 소재 일반계 고등학교 2학년 20명의 학생을 대상으로 실험 집단 10명과 통제 집단 10명으로 나누어 진행하였다. 각 집단의 학생들은 공통적으로 모두 생명과학 혹은 화학 계열의 진로를 희망하고 있었으며, 교과학습발달 상황의 2학년 1학기 생명과학 I 교과 성취도에서 실험 집단은 성취 수준 A, B, C, D, E가 각각 4명, 3명, 3명, 0명, 0명, 통제 집단은 4명, 2명, 3명, 1명, 0명으로 큰 차이를 보이지 않았다. 각 집단의 학생들이 진로선

택과목인 생명과학Ⅱ를 이수하고자 하는 비율 또한 비슷하였는데, 실험 집단에서는 10명의 학생 모두 이수를 희망하였으며, 통제 집단에서는 9명의 학생이 이수를 희망하는 것으로 나타났다. 실험 집단과 통제 집단의 진로희망, 생명과학 I 교과의 성취도, 생명과학Ⅱ 선택자 수는 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Summary of research object

		Experimental Group	Control Group
Career Hope	Biology Related	8	9
	Chemistry Related	2	1
Life Science I Course Achievement		A(4), B(3), C(3), D(0), E(0)	A(4), B(2), C(3), D(1), E(0)
Life Science II Selectors		10	9

한편, 실험 집단과 통제 집단이 유전 및 분자생물학 개념 성취도와 과학적 태도 측면에서 동질 집단임을 가정하기 위해 실험 집단과 통제 집단의 개념 성취도 및 과학적 태도 검사의 사전 검사 결과로 각각 독립표본 t-검정과 윌콕슨 부호 순위 검정을 수행하였다. 각각의 통계 분석 결과, 집단 간 개념 성취도와 과학적 태도 사전 검사 평균 점수가 통계적으로 유의미한 차이를 보이지 않으므로($p>0.5$), 두 집단이 동질 집단임을 확인할 수 있었다. 개념 성취도 및 과학적 태도의 집단 간 사전 검사 결과의 독립표본 t-검정 결과와 윌콕슨 부호 순위 검정 결과는 각각 <Table 2>와 <Table 3>과 같다.

<Table 2> Independent sample t-test results of pre-test results between groups of concept achievement

Domain	Groups	N	M	SD	t	p
Concept Achievement	Exp. Group	10	44.5	4.45	-0.256	0.801
	Cont. Group	10	45	4.27		

<Table 3> Wilcoxon signed ranks test results of pre-test results between groups of scientific attitudes

Domain	Groups	N	W	p
Scientific Attitude	Exp. Group	10	56.5	0.649
	Cont. Group	10		

2. The Strategy for Developing a Molecular Biology Inquiry Program using ABO Blood Type Gene

1) The Focus of Content Composition

현행 2015 개정 과학과 교육과정의 공통 교육과정 및 선택 중심 교육과정에서 ‘유전’ 관련 내용 체계상에는 다른 교과 및 생명과학의 다른 단원 내용 영역과의 균형을 위한 단원 구성으로 인해 <Table 4>에서와 같이 멘델 유전학부터 분자유전학에 이르는 연속적인 유전 내용이 시기별, 교과별로 분산되어 있다. 학생들은 유전 및 분자생물학 개념 학습 상황에서 서로 관련된 개념을 유목화하고, 함께 제시되는 개념을 범주화하여 학습하는 경향이 있다는 점에서(Lim et al., 2013), 정규 교육과정을 통해 이산적으로 ‘유전’ 개념을 학습하는 것은 효과적이지 않을 수 있다.

이에 본 연구에서 개발한 탐구 프로그램은 과학과 교육과정에서 제시하고 있는 ‘유전’ 내용 요소를 선별하고, 이를 연속적으로 구성하여 학습자가 유전 및 분자생물학 관련 개념을 통합적으로 배울 수 있도록 내용을 구성하고자 하였다.

2) The Strategy for Inquiry Activity

탐구 프로그램에 포함된 탐구 활동은 단백질 암호화 유전자인 ABO식 혈액형 유전자(ABO, alpha 1-3-N-acetylgalactosaminyltransferase and alpha 1-3-galactosyltransferase)를 멘델 유전학 및 분자생물학적 관점에서 탐구할 수 있도록 하였으며, 실험, 관찰, 예상, 추리 등의 다양한 탐구 방법을 통해 고등학교 생명과학과 교육과정에서 제시하고 있는 유전 및 분자생물학 관련 개념을 효과적으로 형성할 수 있도록 구성하고자 하였다.

학생들에게 친숙한 유전 형질을 탐구의 소재로 선택하여 쉽고 재밌게 실험을 수행할 수 있도록 하였다. ABO식 혈액형은 사람의 유전 형질이며 혈청을 이용한 혈액형 판정 실험을 통해 표현형을 확인할 수 있다. 또한 ABO식 혈액형은 생명과학 I, 대단원 ‘항상성과 몸의 조절’에서 ‘혈액형 판정’ 탐구 활동으로, 중단원 ‘유전’에서 ‘ABO식 혈액형 유전 가계도’, ‘시스(cis)-AB형’이라는 탐구 활동으로 다

<Table 4> The system related to contents of ‘Heredity’ in the 2015 revised science curriculum

Subject	Domain	Key Concept	Contents
Science	Continuity of Life	Heredity	The Significance of Mendelian Genetic Experiments / Mendelian Genetic Principle
			Human Genetic Traits / Pedigree Analysis Method
Integrated Science	Interacting with the System	Life System	Genes (DNA) and Proteins
Life Science I	Continuity of Life	Heredity	Chromosome Structure / DNA and Genes / Genome / Chromosome Combinations
			Autosome Inheritance / Sex Chromosome Inheritance / Pedigree Analysis / Types and Characteristics of Genetic Diseases
Life Science II	Continuity of Life	Heredity	Genome Composition and Gene Structure / Semi-Conservative DNA Replication / Transcription and Translation / Gene Expression and Regulation / Transcription Regulation of Prokaryotic and Eukaryotic Cells

양하고, 빈번하게 다루어져 학생들에게 충분히 친숙한 소재이기도 하다(MOE, 2015b; Song, 2018).

또한 자신의 ABO식 혈액형을 확인하고 가계도를 분석해 봄으로써 멘델이 제시한 한 세대에서 다음 세대로 이어지는 유전의 기본 원리를 생각해볼 수 있도록 하였으며, 중심 원리의 학습 및 생물 정보학 자료 탐색을 통해 유전자의 기능이 무엇인지 간접적으로 확인해보고, DNA 추출, PCR, 제한효소 반응, DNA 전기영동 등의 분자생물학 실험을 직접 수행하여 분자 수준의 유전자 분석을 함으로써 한 개체에서의 유전자 발현에 의한 유전 현상을 분자 수준에서도 이해할 수 있도록 하였다.

한편, 질문 중심으로 탐구 프로그램을 구성하여 학생들이 능동적으로 탐구 활동에 대한 의미를 부여하고 개념을 형성할 수 있도록 하였다. 분자생물학 실험은 대기 시간이 길며 실험 과정에서 눈으로 변화를 관찰할 수 있는 부분이 적기 때문에, 실험 활동이 자칫 기구 조작에 그치지 않도록 활동지에 의미 있는 질문을 넣어 자발적으로 개념을 습득하고, 자료를 해석하여 지식을 구성할 수 있도록 하였으며, 더 나아가 과학적 태도의 긍정적인 변화를 이끌 수 있도록 하였다(Ryu & Yang, 2018; Kim & Lee, 2019).

3) The Strategy for Experimental Activity

실험은 ‘ABO식 혈액형 판정 → 유전체 DNA 추출 → ABO식 혈액형 유전자의 특정 염기서열 PCR → 제한효소 처리 → DNA 전기영동을 통한 제한단편 확인’ 순서로 구성하고자 하였으며, 탐구 목표 및 내용과 실험이 유기적으로 연계될 수 있도록 활동지의 적절한 위치에 실험 자료를 배치하고자 하였다. 다만 고등학교 1차시 수업은 50분인데, PCR과 제한효소 처리 등은 실험 결과를 관찰하기 위해 일정 길이 이상의 처리시간이 필요하므로, 실험 수행 시기를 수업 시간을 고려하여 탄력적으로 결정하고자 하였다. 또한 시간의 제약을 극복하고 안전한 시약 사용을 위해 검증된 실험 키트의 사용을 계획하였다. 실험 방법은 여러 번의 예비실험을 반복하여, 수업 상황에서 큰 어려움 없이 실험 결과를 얻을 수 있게 수시로 수정·보완하고자 하였다. 또한 실험 방법을 학생들이 쉽게 이해할 수 있도록 자세하게 서술하고, 실험 목적과 실험 방법을 체계적으로 정리하여 학생들이 사용할 활동지에 수록하고자 하였다.

<Table 5> Evaluation area and evaluation questions of the validity evaluation sheet

Evaluation Area	Evaluation Questions
The Reachability to the Inquiry Goals	Does this inquiry program faithfully include the content elements related to genetics and molecular biology proposed in the 2015 revised national science curriculum for an integrated understanding of the concepts of genetics and molecular biology?
	Does the learning contents that constitute this inquiry program reflect the sequence and integration of the educational contents?
	Are the molecular biology experiments applied to this inquiry program suitable for students to perform?
	Is this inquiry program composed of various inquiry activities besides experiment?
	Does this inquiry program include elements that can develop the affective domain?
Applicability to the School Field	Are the subsequent composition and time allocation of this inquiry program appropriate for application in the school field?
	Are the molecular biology experiments covered by this inquiry program suitable for conducting in the school field?
	Is this inquiry program structured so that life science teachers can easily input it in their classes?

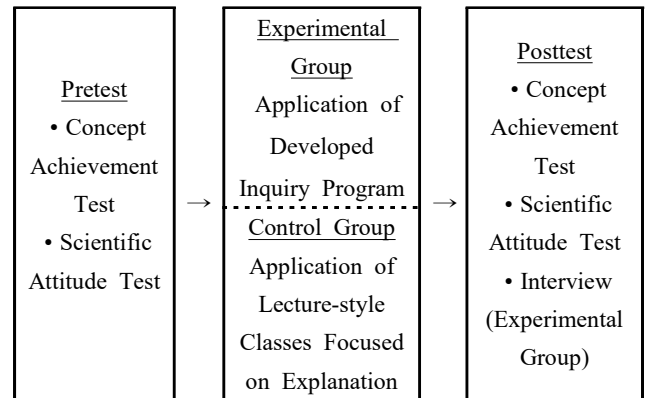
4) The Validity Evaluation for the Developed Inquiry Program

개발한 탐구 프로그램이 개발 목적, 즉 학생들의 유전 및 분자생물학 관련 개념의 통합적 이해와 과학적 태도의 긍정적 변화를 이끌어내는 데 타당한지 알아보기 위해, 분자생물학 전문가 1인과 석사급 연구원 2인에게는 실험 수행에 관한 자문을 받았으며, 고등학교에 재직 중이면서 분자생물학 실험 수업 경험이 있는 생명과학 교사 5인을 대상으로는 타당도 평가를 의뢰하였다. 타당도 평가지는 탐구 목표의 도달 가능성, 학교 현장에의 적용 가능성 등 2가지 평가영역으로 나누어 5단계의 리커트 척도로 구성된 총 8개의 문항을 개발하였다. 타당도 평가 의뢰 시에는 타당도 의뢰서, 탐구 프로그램 지도안, 학생용 탐구 활동지, 실험 프로토콜 등을 고려하여 타당도 평가가 이뤄질 수 있도록 하였으며, 3점 이하의 평가를 내린 문항에 대해서는 평가자의 의견을 적도록 하여 탐구 프로그램을 수정·보완하는 데에 참고할 수 있도록 하였다. 타당도 평가를 위해 개발한 평가지의 평가 영역 및 평가 문항은 <Table 5>와 같다.

3. Screening Tool and Method of Analysis

개발한 분자생물학 탐구 프로그램의 효과를 알아보기 위해 [Figure 1]과 같이 실험 집단에는 본 연구에서 개발한 탐구 프로그램을 적용하여 총 6차시의 수업을 진행하였고, 통제 집단에는 개발한 탐구 프로그램과 같은 학습 목표 및 내용 요소로 구성된 설명 위주의 강의식 수업을 6차시에 걸쳐 투입하였다. 통제 집단에 적용한 수업의 학습 목표는 개발한 탐구 프로그램의 탐구 목표와 대조하여 일치시켰고, 읽기 자료, 영상 자료, 탐구 문제 등 다양한 형태의 학습 자료를 구성하여 실험 활동의 부재로 인한 학습의 결손이 생기지 않도록 하였다. 각 집단에 투입한 수업 내용은 <Table 6>과 <Table 7>에 정리하였다.

개념 성취도와 과학적 태도의 변화는 개발한 검사지를 사용하여 정량적으로 측정하였고, 측정 값을 독립표본 t-검정, 대응표본 t-검정, 선형회귀분석,



[Figure 1] Input process of testing tools and inquiry programs

윌콕슨 부호 순위 검정 등의 통계 방법을 통해 분석하고자 하였다. 또한 실험 집단 학생을 대상으로 사후 면담을 실시하여 개발한 탐구 프로그램을 적용한 수업의 효과를 확인하고자 하였다.

1) Concept Achievement Test

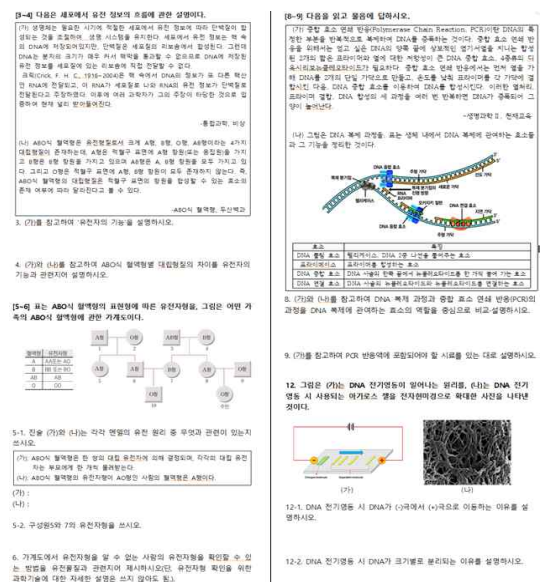
유전 및 분자생물학 관련 개념의 성취도를 측정하기 위해 탐구 목표와 관련된 개념 형성에 대한 검사지를 사전 검사와 사후 검사 각각 12문항으로 개발하였다. 검사 문항은 Bloom의 인지적 영역 목표의 6가지 영역 중 이해, 적용, 분석, 종합에 해당하는 4개의 영역을 적용하여 개발하고자 하였고, 평가 요소의 성격에 따라 탐구 프로그램을 통해 학습한 과학적 사실·원리·법칙·이론에 해당하는 ‘유전 개념의 통합적 이해’ 영역과 분자생물학 실험을 수행하는 절차와 원리에 대한 지식에 해당하는 ‘분자생물학 실험 원리의 이해’ 영역 등 두 가지 하위영역으로 범주화하여 제시하였다. ‘유전 개념의 통합적 이해’ 영역에서는 멘델의 유전 원리, 유전자의 기능과 중심 원리, 유전물질의 구조와 특성 등을 평가 내용에 담았으며, ‘분자생물학 실험 원리의 이해’ 영역에서는 DNA 추출 실험의 원리, PCR과 DNA 복제, 제한효소 반응 실험의 원리 등을 평가 문항으로 구성하였다. 개발한 평가 문항의 예시는 [Figure 2]와 같다.

Periods

Unit	Topic	Learning Objectives
1	Inquiry Goals	·The phenotype through a blood type determination experiment can be determined and it can be explained that the ABO blood type is a genetic trait. ·The relationship between genes (DNA) and proteins can be explained. ·The basic principles of heredity through family tree analysis can be understood.
	Applied Experiments	·Blood Type Determination Experiment
	Content Elements	·Genes and Proteins, Human Genetic Traits, Mendelian Inheritance Principles, Pedigree Analysis, Gene Expression
2	Inquiry Goals	·The structure and location of chromosomes and DNA can be explained. ·The DNA from the oral epithelial cells can be extracted and observed. ·The DNA extraction process and the function of experimental reagents can be described.
	Applied Experiments	·DNA Extraction Experiment
	Content Elements	·Chromosome Structure, Genome Composition and Gene Structure
3~5	Inquiry Goals	·A way to isolate only the desired genes from the genome can be devised. ·The PCR processes can be compared to DNA replication. ·The specific DNA sequence by PCR can be amplified. ·The primers required for PCR can be designed. ·The principles of gene analysis using restriction enzymes can be explained and restriction enzyme reaction experiments can be performed.
	Applied Experiments	·PCR Experiment ·Restriction Enzyme Reaction Experiment
	Content Elements	·Genome, DNA and Genes, Semi-Conservative DNA Replication, Biotechnology
6	Inquiry Goals	·The genotype by observing and analyzing the results of DNA electrophoresis can be determined.
	Applied Experiments	·DNA Electrophoresis Experiment
	Content Elements	·DNA and Genes, Gene Expression, Biotechnology

검사 문항의 유형은 서술형으로 하였고 문항 당 배점은 5점으로, 성취 수준을 상, 중, 하 3단계로 나누어 각각 5점, 4점, 3점을 부여하여 총 60점 만점으로 채점하였다. 개념 성취도 검사지는 생명과학 교사 5인에게 타당도를 검증받고, 채점자 3인의 채점 결과로 평가자 간 신뢰도 분석을 한 후, 수정·보완하여 최종적으로 완성하였다. 개발한 개념 성취도 검사 문항의 타당도 검사 결과는 60점 만점에 52점이었으며, 평가자 간 신뢰도 검사 결과는 Fleiss' Kappa 계수로 0.84로 측정되었다. 검사 문항에 대한 평가 기준표는 <Table 8>과 같다.

최종 완성된 개념 성취도 검사지로 수업 전과 수업 후에 실험 집단과 통제 집단에 각각 사전 검사와 사후 검사를 진행하였으며, 검사 시간은 30분으로 하였다. 이후 각 집단의 사전 검사와 사후 검사



[Figure 2] Examples for the questions of concept achievement test

<Table 7> Structure of classes for control group

Periods	Contents
1	Learning Goals ·It can be explained that the ABO blood type is a genetic trait. ·The relationship between genes and proteins can be explained. ·A person's genetic phenomena can be explained by pedigree analysis.
	Learning Materials ·ABO Blood Type Pedigree Inquiry Questions ·Reading Materials on the Expression of Genetic Traits and the Central Dogma
	Content Elements ·Genes(DNA) and Proteins, Human Genetic Traits, Mendelian Inheritance Principles, Pedigree Analysis, Gene Expression
2	Learning Goals ·The structure and location of DNA and chromosomes can be explained. ·The principle of DNA extraction experiments using oral epithelial cells can be explained. ·The types and functions of reagents required for DNA extraction can be described.
	Learning Materials ·Reading Materials Describing DNA Extraction Experiments
	Content Elements ·Chromosome Structure, Genome Composition and Gene Structure
3~4	Learning Goals ·The DNA replication process can be explained. ·The principle of PCR can be compared to DNA replication. ·Primers required for PCR can be designed.
	Learning Materials ·Reading and Video Materials on DNA Replication ·Reading and Video Materials on PCR ·A Worksheet for Comparing PCR and DNA Replication Processes and Designing Primers
	Content Elements ·Genome, DNA and Genes, Semi-Conservative DNA Replication
5	Learning Goals ·The principle of gene analysis using restriction enzymes can be explained. ·The results of restriction enzyme reaction experiments can be analyzed.
	Learning Materials ·Materials that Summarizes the Description of Restriction Enzymes and Methods of Analyzing Restriction Fragments
	Content Elements ·Genome, DNA and Genes, Biotechnology
6	Learning Goals ·The principle of DNA electrophoresis can be explained. ·DNA electrophoresis results can be analyzed to determine genotype.
	Learning Materials ·A Worksheet Containing Inquiry Questions for DNA Electrophoresis Experiments and Results Analysis
	Content Elements ·DNA and Genes, Gene Expression, Biotechnology

<Table 8> Evaluation criteria table of concept achievement test paper

Evaluation Area	Evaluation Factor
Integrative Understanding of Genetic Concepts	Do you understand the relationship between genes, DNA, chromosomes, and cell nuclei?
	Can you explain where DNA exists and how it exists?
	Can you explain the function of a gene in relation to central dogma?
	Can you explain differences in traits as differences in gene function?
	Can you explain Mendelian inheritance principles used in pedigree analysis?
Understanding the Principles of Molecular Biology Experiments	Have you devised a way to determine the genotype of a person whose genotype is unknown on the pedigree?
	Did you explain the function of reagents used in the DNA extraction experiment in relation to the structure and chemical properties of DNA?
	Can you compare the PCR process and the DNA replication process?
	Do you know the functions of reagents contained in the PCR reaction solution?
	Can you explain the function and principle of restriction enzymes?
	Can you explain why restriction enzymes are used in gene analysis?
	Can you explain the reason why DNA fragments are separated during agarose gel electrophoresis in relation to the chemistry of DNA?

간 평균 점수의 차이가 유의미한지 대응표본 t-검정을 통해 확인하였고, 실험 집단과 통제 집단 사이에 평균 점수의 변화 정도에 유의미한 차이가 있는지 알아보기 위해 독립표본 t-검정을 수행하였다. 또한 각 집단의 사전 검사와 사후 검사 결과로 선형회귀 분석을 실시하여 탐구 프로그램의 효과를 확인하고자 하였다. 끝으로 ‘유전 개념의 통합적 이해’, ‘분자생물학 실험 원리의 이해’ 두 영역의 점수를 분리하여 통계 분석을 실시함으로써 개발한 탐구 프로그램이 두 영역 중 어느 영역에 더 큰 효과를 발휘하는지 확인하고자 하였다.

2) Scientific Attitude Test

과학적 태도 검사 도구는 TOSRA(Test of Science-Related attitude)를 탐구 프로그램의 내용에 맞게 변형하여 사용하였다. TOSRA는 Klopfer (1971)의 과학적 태도 평가 요소 분류 체계를 바탕으로 ‘과학의 사회적 의미’, ‘과학자의 특성’, ‘과학적 탐구에 대한 태도’, ‘과학적 태도의 수용’, ‘과학 수업의 즐거움’, ‘과학에 대한 흥미와 관심’, ‘과학 관련 직업에 대한 관심’ 등 7개의 평가 영역으로 되어있으며, 평가 척도로 5단계의 리커트 척도를 사용하고 있다(Fraser, 1978). 본 연구에서의 검사 도구는 7가지의 평가 요소 당 3문항씩 총 21문항으로 구성되어 만점에 해당하는 최고점은 105점, 기본 점수에

해당하는 최저점은 21점이었다. 과학적 태도 검사는 생명과학 교사 5인에게 타당도를 검증받고, 내적 일관성 신뢰도 분석을 한 후 수정·보완하여 최종적으로 완성하였는데, 개발한 과학적 태도 검사 문항의 타당도 검사 결과는 35점 만점에 32.8점이었으며 신뢰도 검사 결과는 Cronbach's α 지수로 전 영역 평균 0.76으로 측정되었다. 과학적 태도 검사지의 평가 영역별 평가 요소 및 문항 구성에 대한 구체적인 정보와 7개의 평가영역별 내적일관성 신뢰도를 나타내는 Cronbach's α 지수는 <Table 9>에 정리하였다.

최종 완성된 과학적 태도 검사지로 실험 집단과 통제 집단에서 사전 검사와 사후 검사를 차례로 실시하였으며, 검사 시간은 10분으로 하였다. 이후 각 집단의 사전 검사와 사후 검사의 평균 점수의 변화 양상을 확인하였고, 실험 집단과 통제 집단 사이에 평균 점수의 변화 정도에 유의미한 차이가 있는지 알아보기 위해 윌콕슨 부호 순위 검정을 수행하였다. 또한 과학적 태도 변화를 더욱 심층적으로 분석하기 위해 TOSRA의 7개의 평가 영역을 따로 분리하여 평균 점수를 산출하고, 이를 통계 처리하여 유의미한 차이가 있는지 확인하였다.

3) Interview about the Effectiveness of the Class

개발한 탐구 프로그램의 투입으로 인한 효과 중

<Table 9> Evaluation areas and evaluation elements of the scientific attitude test paper

Evaluation Area	Evaluation Factor	Cronbach's α	
		Pretest	Posttest
The Social Meaning of Science	H.1: Manifestation of Favourable Attitudes towards Science and Scientists	0.87	0.83
Character of the Scientist	H.1: Manifestation of Favourable Attitudes towards Science and Scientists	0.79	0.42
Attitude toward Scientific Inquiry	H.2: Acceptance of Scientific Inquiry as a Way of Thought	0.81	0.61
Acceptance of Scientific Attitudes	H.3: Adoption of 'Scientific Attitudes'	0.81	0.72
The Pleasure of Science Class	H.4: Enjoyment of Science Learning Experiences	0.79	0.76
Interest and Attention in Science	H.5: Development of Interest in Science and Science Related Activities	0.73	0.78
Interest in Science-related Professions	H.6: Development of Interest in Pursuing a Career in Science	0.88	0.81

정량적으로 측정되지 않는 효과를 알아보기 위해 학생 면담을 실시하였다. 면담은 실험 집단을 대상으로 반 구조화된 면담을 실시하였고, 이를 분석하여 탐구 프로그램의 장·단점 및 보완점을 알아보고자 하였다.

III. Results

1. Development and Application of an Inquiry Program using ABO Blood Type Genes

개발한 탐구 프로그램은 총 6차시 수업으로 유전 및 분자생물학 개념을 통합적으로 이해할 수 있는 내용으로 구성하였으며, 총 다섯 가지의 실험이 적용되었다.

1) Flow of Contents of Inquiry Program

1차시에는 자료 탐구를 통해 ABO식 혈액형의 대립 형질의 종류와 대립 형질에 따른 적혈구 표면에서 관찰되는 응집원의 종류를 알아보게 하였다. 혈액형 판정 실험을 통해 ABO식 혈액형의 대립 형질이 개체마다 다르게 나타날 수 있음을 확인하고, 가계도 분석을 통해 ABO식 혈액형이 부모에서 자손으로 전달되는 유전 형질이며, 더 나아가 유전자의 기능이 무엇인지에 대해 사고하도록 하였다. 이를 통해 중학교 때 배운 멘델 유전 원리에 관한 개념을 상기시켰다. 한편, ABO식 혈액형 유전자의 구조, 위치, 기능에 관한 자료를 제시하여 유전자와 단백질의 관계 즉, 생명 중심 원리(Central Dogma)를 정립하게 하였다. 이후 유전자형을 특정할 수 없는 사람의 유전자형을 밝히는 방법에 대해 토의를 시킴으로써 유전자 분석의 필요성에 대해 생각해보게 하였다.

2차시에는 유전자 분석의 첫 단계인 유전체 DNA 추출 실험의 원리를 이해시키기 위해 읽기 자료를 활용하여 염색체의 특성과 DNA의 화학적 성질을 알게 하였다. 이후, 마이크로피펫, 원심분리기, PCR 기기 등 분자생물학 실험에서 사용되는 실험 도구의 사용법과 주의사항 등을 지도한 다음, 각자의 구

강 상피 세포를 채취하여 유전체 DNA 추출 실험을 수행하게 하였다. 실험 도중에는 활동지 상의 질문을 통해 실험 과정과 처리하는 시약의 역할을 DNA의 위치와 화학적 성질과 관련지어 사고할 수 있도록 지도하였다.

3차시에는 2차시의 유전체 DNA 추출 실험을 통해 얻은 DNA에서 원하는 특정 유전자만을 분리하는 방법을 생각해보게 하면서 시작하였는데, 다만, 약 3시간의 시간이 소요되는 PCR 실험의 특성상 먼저 실험을 수행해 놓고 그 이후에 PCR 관련 이론에 대한 수업을 진행하였다. 이어지는 활동에서는 영상 및 읽기 자료를 활용하여 DNA 복제 과정과 PCR을 간략히 소개한 후, 두 과정을 비교하게 함으로써 PCR의 원리를 정확하게 이해하게 하였고, 이를 통해 PCR을 표적 유전자 선별에 이용함을 유추할 수 있도록 지도하였다.

4차시에는 ‘프라이머 제작하기’ 활동을 수행하였다. DNA의 역평행 구조, 염기 간의 상보적 결합, DNA 중합 효소의 5' → 3' 중합 활성화에 관한 읽기 자료를 토대로 주형 DNA 염기서열에서 특정 DNA 염기서열만을 증폭시킬 수 있는 프라이머를 제작할 수 있게 지도하였다. 그 후 탐구 프로그램에서 사용한 두 종류의 프라이머를 제시하고 주형 DNA에서 증폭될 부위를 직접 표시하는 활동을 통해 PCR 산물의 염기서열을 확인하였다. 해당 차시의 마지막 부분에는 실험 소요시간을 고려하여 PCR로 증폭한 ABO식 혈액형 유전자의 일부 염기서열에 제한효소 *Kpn*I를 처리하여 효소 반응을 진행하였다.

5차시에는 제한효소의 기능과 특성을 설명한 후, 이어서 ‘제한효소를 이용한 유전자 분석 방법 이해하기’ 활동에서는 제한효소와 유전자 분석에 관한 읽기 자료와 탐구 문제를 제시하여, DNA의 제한자리 존재 여부를 활용하여 유전자 분석을 할 수 있음을 알게 하였다. 또한 해당 차시의 마지막 부분에는 DNA 전기영동의 원리 및 아가로스 겔 제작 방법을 설명하고 DNA 전기영동을 위한 아가로스 겔을 제작하였다.

6차시에는 제한효소 반응으로 얻은 제한 단편의 DNA 밴드를 확인하기 위해 DNA 전기영동을 진행하였다. 이어서 ABO식 혈액형 유전자 종류별 PCR

산물에 제한효소를 처리하였을 때 관찰되는 DNA 단편의 길이를 예상하게 하였고, 전기영동 결과 각자의 DNA 밴드를 확인한 후, 해당 수업의 모든 실험 결과를 종합하여 ABO식 혈액형의 유전자형을 특정하였다.

2) Experiments Applied to the Inquiry Program

1차시에 적용된 ABO식 혈액형 판정 실험에서는 항 A혈청과 항 B혈청을 사용하여 혈액형을 판정하며, 채혈기를 이용해 혈액을 채취하여 실험을 수행하였다. 채혈 시에는 소독용 알코올 솜을 2개 이상씩 충분히 사용해 감염을 예방하였다.

2차시에 적용된 유전체 DNA 추출 실험을 통해 유전자 분석에 사용할 유전체 DNA 샘플을 얻게 된다. 구강 상피 세포를 채취하여 유전체 DNA 추출의 재료로 사용하였고, 실험 시간의 절약과 순도 높은 DNA 추출 및 DNA의 수율을 높이기 위해 검증된 유전체 DNA 추출 시약인 Invitrogen™사의 DNAzol® Reagent를 사용하였다. 또한 PCR 산물을 충분히 확보하고, 최적의 제한효소 반응 결과를 얻기 위한 세포와 시약의 양의 비율을 여러 번의 예비실험을 통해 결정하였고, 이를 실험 방법에 제시하였다.

<Table 10> Primer used for PCR

Gene	Forward Primer	Reverse Primer
ABO Gene	5'-GCTTTCTCTGA CTTGCGTCT-3'	5'-CCACGTGAGCT CAGTAAGAT-3'

3~4차시에는 유전자 분석 시 필요한 ABO식 혈액형 유전자의 일부 염기서열을 얻기 위한 PCR 실험

이 진행된다. 증폭할 부위는 ABO gene (alpha 1-3-N-acetylgalactosaminyltransferase and alpha 1-3-galactosyltransferase)의 6번 엑손 일부와 그 앞의 인트론 서열 일부를 포함하는 686bp 길이의 염기서열이다. PCR 수행에 필요한 두 종류의 DNA 프라이머는 <Table 10>과 같이 20bp의 길이로 디자인하였으며, 엠바이오택사에서 주문·제작하여 사용하였다. 학생별로 PCR을 수행 시 200μl PCR tube에 반응액을 생성하기 위해서는 6종의 시료를 각각 1~2μl 용량으로 소량 첨가하는 과정이 포함되므로 매우 긴 시간이 필요하다. 따라서 시간 절약을 위해 BIONEER사의 AccuPower® PCR PreMix & Master Mix라는 제품을 사용하였다. 해당 제품에는 dNTPs, 10× PCR buffer, Taq DNA polymerase가 포함되어있기 때문에 학생들은 주형 DNA, 두 종류의 프라이머, 멸균 증류수 등 총 네 종류의 시료만 첨가하면 된다. PCR은 94℃에서 5분간 처리하여 초기 DNA 변성을 일으킨 후, 94℃에서 30초, 58℃에서 30초, 72℃에서 30초씩 총 30회 증폭시킨 후, 마지막 DNA 중합에서 72℃로 7분간 처리하였다. PCR 반응액의 조성과 반응 조건은 <Table 11>에 정리하였다.

한편, 1990년에 최초로 ABO식 혈액형 유전자의 염색체 내 위치와 염기서열이 밝혀짐과 동시에, 대립유전자 A, B, O 사이에 단일 염기의 치환, 결실 등의 현상에 의해 나타나는 단일 염기 다형성 (Single Nucleotide Polymorphism, SNP) 부위의 대립유전자별 차이점이 규명되었다(Yamamoto et al., 1990a). cDNA 기준으로 대립유전자 A와 대립유전자 B의 염기서열 사이에는 7개의 SNP 부위가 존재하여 서로 다른 종류의 전이효소가 만들어진다. 대립유전자 O는 대립유전자 A와 염기서열이 대부분

<Table 11> Composition of PCR reaction solution and reaction conditions

Composition of Reaction Solution		Reaction Conditions	
		Step	Temp. Treatment
dNTPs (2.5 mM)	1μl	1. Early DNA Denaturation	94℃, 5 min
10× Buffer	2μl	2. DNA Denaturation	94℃, 30 sec
Taq Polymerase (2 Unit/μl)	1μl	3. Primer Annealing	58℃, 30 sec
Forward Primer (10 ng/μl)	1μl	4. DNA Polymerization	72℃, 30 sec
Reverse Primer (10 ng/μl)	1μl	5. Final DNA Polymerization	72℃, 7 min
Template DNA	1μl		
Distilled Water	13μl		
Total Volume	20μl	Steps 2-4 Repeat 30-Times	

일치하는데, 단지 여섯 번째 엑손(exon)의 261번째 염기인 구아닌(Guanine, G)의 결실에 의한 틀이동으로 염기서열이 앞당겨져 종결 코돈(stop codon)이 생성되므로 전이효소가 만들어지지 않는다(Yamamoto et al., 1990b; Cho et al., 2005). 즉, 본 연구에서 개발한 탐구 프로그램의 PCR 실험 수행 결과 얻어낸 대립유전자 O의 DNA 단편에는 [Figure 3]과 같이 염기 G의 결실 부위가 포함되어 있다.



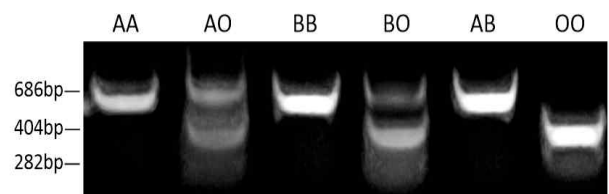
[Figure 3] Single nucleotide polymorphism (SNP) in exon 6 of ABO blood type gene

5차시에는 PCR 산물에 제한효소 *Kpn*I를 처리하여 DNA를 단편화하는 실험이 진행된다. *Kpn*I의 제한 자리는 5'-GGTACC-3'이다. 대립유전자 A, B의 PCR 산물은 404번째 염기에서부터 존재하는 염기서열이 5'-GGT~~G~~ACC-3'인 반면, 대립유전자 O의 PCR 산물은 404번째 염기에서부터 존재하는 염기서열이 5'-GGTACC-3'로 염기 G의 결실로 인한 SNP 부위가 존재한다. 즉 *Kpn*I의 효소 반응 결과 대립유전자 O의 PCR 산물은 DNA 절단에 의한 2조각의 제한 단편이 생기지만, 대립유전자 A와 B의 PCR 산물은 제한 단편이 발생하지 않는다. 제한효소 반응액은 <Table 12>와 같이 ABO gene DNA 단편이 포함된 PCR 반응산물 20μl에 *Kpn*I을 2μl(2 Unit) 첨가하여 총 부피 22μl로 만들었으며, 항온수조에서 37℃로 1시간 동안 반응시켰다. 제한효소 *Kpn*I은 ㈜빔스바이오사에서 주문하여 사용하였다.

<Table 12> Composition for restriction enzyme reaction

Composition of Reaction Solution	
PCR Products (ABO Gene DNA Fragment)	20μl
<i>Kpn</i> I	2μl (2 Unit)
Total Volume	22μl

6차시에는 제한효소를 처리한 DNA 시료를 DNA 전기영동으로 확인하는 실험을 수행한다. 제한효소 반응을 마친 시료를 겔 전기영동 하면 대립유전자 A와 B가 포함된 시료의 경우 길이가 686bp인 1개의 DNA 밴드가 나타나며, 대립유전자 O가 포함된 시료의 경우 404bp와 282bp의 2개의 DNA 밴드가 관찰된다. 즉, [Figure 4]와 같이 ABO식 혈액형의 유전자형이 AA, BB, AB인 경우 686bp인 1개의 DNA 밴드가, 유전자형이 AO와 BO인 경우 686bp, 404bp, 282bp인 3개의 DNA 밴드가, 유전자형이 OO인 경우 404bp, 282bp인 2개의 밴드가 관찰된다. 학생들은 DNA 전기영동 결과와 혈액형 판정에 의한 응집 반응 결과를 조합하여 자신의 ABO식 혈액형 유전자형을 특정할 수 있다. ABO식 혈액형의 유전자형 별 응집 반응 결과와 *Kpn*I 처리 시 관찰되는 DNA 단편의 종류는 <Table 13>에 정리하였다. DNA 전기영동 시 아가로스 겔은 1%로 만들어 사용하였고, DNA 염색시료는 BIOFACT사의 Ecodye™ DNA Staining Solution을 사용하였다. 끝으로 탐구 프로그램에 적용된 5개의 실험에 필요한 시약과 실험 기구 <Table 14>에 정리하였다.



[Figure 4] The example of DNA fragmentation results by agarose gel electrophoresis for each genotype of ABO blood type

<Table 13> Agglutination reaction results and DNA fragmentation results based on each genotype

Phenotype	Genotype	Agglutination Reaction		DNA Fragments after <i>Kpn</i> I Treatment
		anti-A	anti-B	
A	AA	○	×	686bp
	AO	○	×	686bp, 404bp, 282bp
B	BB	×	○	686bp
	BO	×	○	686bp, 404bp, 282bp
AB	AB	○	○	686bp
O	OO	×	×	404bp, 282bp

<Table 14> Reagents and Instruments necessary for experiments applied to the inquiry program

Experiments	Reagents	Instruments
Blood Agglutination Reaction	Anti-A Serum, Anti-B Serum	Blood Sampler
Genomic DNA Extraction	DNAzol® Reagent, Ethanol (70%, 100%)	Centrifuge, Micropipette
PCR	Primer, Distilled Water, PCR premix	PCR Machine, Centrifuge, Micropipette
Restriction Enzyme Reaction	<i>Kpn</i> I	Centrifuge, Water Bath, Micropipette
Agarose Gel Electrophoresis	DNA marker, Agarose, 1X TAE Buffer, Ecodye™ DNA Staining Solution	Electrophoretic Device, Water Bath, Micropipette, UV Transilluminator

3) Results of The Validity Evaluation for the Developed Inquiry Program

개발한 탐구 프로그램은 분자생물학 전문가 1인과 석사급 연구원 2인의 실험 수행에 관한 자문을 반영하고, 고등학교에 재직 중이면서 분자생물학 실험 수업 경험이 있는 생명과학 교사 5인에게 타당도를 검증받은 후 완성하였다. ABO식 혈액형 유전자를 활용한 분자생물학 탐구 프로그램의 타당도 평가 점수는 5점 만점에 4.7점이었고, 5명의 타당도 평가자에게 4점 혹은 5점을 획득한 문항 수를 전체 문항 수로 나누어 구한 타당도 지수는 0.94로 측정되어 긍정적인 평가를 받은 것을 확인하였다.

2. Analysis of the Effectiveness of the Molecular Biology Inquiry Program

1) Concept Achievement Test Results

개발한 탐구 프로그램의 적용이 유전 및 분자생물학 개념 성취도에 미치는 영향을 알아보기 위해 실시한 사전 검사와 사후 검사의 결과는 <Table

15>와 같다. 60점 만점에 사전 검사에서 측정된 평균 점수는 각각 실험 집단 44.5점, 통제 집단 45점이었으며, 사후 검사에서는 실험 집단이 53.7점, 통제 집단이 49.4점이었다. 사전 검사 대비 사후 검사에서 실험 집단은 평균 점수가 9.2점이 향상되었으며 통제 집단은 4.4점이 향상된 것으로 나타나, 통제 집단에서보다 실험 집단에서 점수가 더 큰 폭으로 향상된 것을 알 수 있었다.

<Table 15> Concept achievement test results of experimental group and control group

Groups	Test	N	M	SD	Mean Difference
Exp.	Pretest	10	44.5	4.45	9.2
Group	Posttest	10	53.7	5.01	
Cont.	Pretest	10	45.0	4.27	4.4
Group	Posttest	10	49.4	3.95	

통제 집단에 대하여 실험 집단의 개념 성취도 향상 정도가 더 효과가 있는지를 확인하기 위해 t-검정을 수행하고자 먼저, 실험 집단과 통제 집단에서 측정된 개별 학생들의 검사 점수가 정규분포를 따르는지 확인하였다. 정규성 검정은 샤피로-윌크 검

정(Shapiro-Wilk Test) 방법을 사용하였다. 정규성 검정 결과 <Table 16>과 같이 실험 집단과 통제 집단의 사전 및 사후 검사 결과와 사후 검사 결과에서 사전 검사 결과를 뺀 값 모두에서 p 값이 0.05 보다 큰 것으로 나타나, 정규분포를 따르는 것을 확인할 수 있었다.

<Table 16> Shapiro-Wilk test results of concept achievement test score

Groups	Test	N	W	p
Exp. Group	Pretest	10	0.935	0.494
	Posttest	10	0.936	0.514
	(Pre-Post)	10	0.900	0.217
Cont. Group	Pretest	10	0.931	0.462
	Posttest	10	0.846	0.052
	(Pre-Post)	10	0.924	0.393

개발한 탐구 프로그램의 투입으로 학생들의 개념 성취도가 유의미하게 증가하였는지 알아보기 위하여 실험 집단과 통제 집단 각각의 사전 검사 및 사후 검사 평균 점수의 대응표본 t-검정을 수행한 결과, <Table 17>과 같이 두 집단 모두에서 사전 검사와 사후 검사 결과 간에 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이를 통해 개발한

<Table 17> Results of the paired sample t-test between Pretest and Posttest within each group of concept achievement.

Groups	Test	N	M	SD	p
Exp. Group	Pretest	10	44.5	4.45	0.000*
	Posttest	10	53.7	5.01	
Cont. Group	Pretest	10	45	4.27	0.001*
	Posttest	10	49.4	3.95	

*p<.05

탐구 프로그램이 개념 성취도를 높이는 데 효과가 있었을 뿐만 아니라 설명 위주의 강의식 수업도 개념 성취도 향상에 긍정적인 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

실험 집단과 통제 집단 사이에 개념 성취도 평균 점수의 변화 정도에 유의미한 차이가 있는지 알아

보기 위해 각 집단의 평균 점수 증가분 사이에 독립표본 t-검정을 수행한 결과, <Table 18>과 같이 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다(p<.05). 또한 실험 집단과 통제 집단에서 사전 검사 결과에 따른 사후 점수 결과에 대한 선형회귀분석 결과, <Table 19>에서와 같이 회귀 계수가 실험 집단에서는 0.893, 통제 집단에서는 0.731로 나타났다. 즉, 이 두 가지 통계 분석을 통해 개발한 탐구 프로그램을 적용한 수업이 설명 위주의 강의식 수업보다 유전 및 분자생물학 관련 개념 성취도 향상에 더욱 긍정적인 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 이는 앞서 Woo et al.. (2011)의 연구에서 확인한 바와 같이 분자생물학 실험을 적용한 수업으로 인해

<Table 18> Results of the independent sample t-test between two groups of the increase in the mean score of concept achievement tests

Groups	N	M	SD	t	df	p
Exp. Group	10	9.2	3.084	3.718	17.64	0.002
Cont. Group	10	4.4	2.675			

*p<.05

<Table 19> Results of linear regression analysis for posttest according to pretest in experimental group and control group

Groups		Estimate	SE	T	p
Exp. Group	Intercept	13.937	10.814	1.289	0.234
	Pretest	0.893	0.241	3.694	0.006*
Cont. Group	Intercept	16.473	9.046	1.821	0.106
	Pretest	0.731	0.200	3.655	0.006*

*p<.05

유전 및 분자생물학 관련 개념을 습득하는 것에 대한 학생들의 학습태세가 긍정적으로 바뀌었을 뿐만 아니라, 개발한 탐구 프로그램이 유전자와 단백질 등 개념 간 의존도가 큰 학습 내용을 시간적으로 분리하지 않고 통합적으로 제시한 점이(Kim & Lee, 2016) 학생들의 효과적인 개념 형성에 도움을 준 것으로 생각된다.

한편 개념 성취도 검사지의 평가 문항은 탐구 프로그램을 통해 학습한 과학적 사실·원리·법칙·이론에 해당하는 ‘유전 개념의 통합적 이해’ 영역과 분자생물학 실험을 수행하는 절차와 원리에 관한 지식에 해당하는 ‘분자생물학 실험 원리의 이해’의 두 가지 평가 영역으로 범주화하였으며, 개발한 탐구 프로그램이 두 가지 평가 영역 중 어느 영역에 더 큰 효과가 있는지 실험 집단을 대상으로 알아보았다. <Table 20>과 같이 ‘유전 개념의 통합적 이해’ 영역에서는 25점 만점에 사전 검사에서 측정된 평균 점수가 19.8점이었고 사후 검사에서는 20.5점으로 사전 검사 대비 사후 검사에서 평균 점수가 0.7점이 향상된 것으로 나타났다. 반면 ‘분자생물학 실험 원리의 이해’ 영역에서는 35점 만점에 사전 검사에서 측정된 평균 점수가 24.7점이었고 사후 검사에서는 33.2점으로 사전 검사 대비 사후 검사에서 평균 점수가 8.5점 증가한 것으로 나타났다. 이를 통해 개발한 탐구 프로그램이 ‘유전 개념의 통합적 이해’ 영역보다 ‘분자생물학 실험 원리의 이해’ 영역에서 더 큰 효과를 보인다는 것을 알 수 있었다.

<Table 20> Concept achievement test results by each domain of experimental group

Domain	Test	N	M	Mean Difference
Integrative Understanding of Genetic Concepts	Pretest	10	19.8	0.7
	Posttest	10	20.5	
Understanding the Principles of Molecular Biology Experiments	Pretest	10	24.7	8.5
	Posttest	10	33.2	

즉, 실험 중심의 탐구 프로그램이 적용된 수업이 설명 위주의 강의식 수업에 비해 과학적 원리·법칙·이론 등의 지식 습득에서는 큰 이점이 없었으나, 실험을 포함하여 과학적 탐구를 수행하는 절차에 관한 개념의 성취에서는 매우 큰 효과를 보였다. 이는 앞서 언급한 바와 같이 과학은 과학적 지식과 과학적 탐구로 이루어져 있다는 점(NRC, 2000)과, 2015 개정 과학과 교육과정에서 제시하고 있는 과학과 교과역량과 그에 따른 성취기준 속에서 과학적 탐

구 능력이 강조되고 있다는 점(Lee et al., 2017)에서 의미가 있는 결과로 판단된다. 그러므로 학생들이 분자생물학 영역의 내용을 지식적인 측면과 탐구적인 측면에서 종합적으로 이해하기 위해서는 실험 중심의 탐구 수업을 적극적으로 활용할 필요가 있을 것으로 생각된다.

2) Scientific Attitude Test Results and Analysis

개발한 탐구 프로그램의 적용이 과학적 태도 변화에 미치는 영향을 알아보기 위해 TOSRA를 탐구 프로그램의 내용에 맞게 변형하여 실시한 사전-사후 과학적 태도 검사결과는 <Table 21>과 같다. 105점 만점에 사전 검사에서 측정된 평균 점수는 각각 실험 집단 81.7점, 통제 집단 80.8점이었으며, 사후 검사에서는 실험 집단이 89.5점, 통제 집단이 82.9점이었다. 사전 검사 대비 사후 검사에서 실험 집단은 평균 점수가 7.8점이 향상되었으며, 통제 집단은 2.1점이 향상된 것으로 나타나 실험 집단에서 과학적 태도에 관한 평균 점수가 더 큰 폭으로 향상됨을 알 수 있었다.

<Table 21> Scientific attitude test results of experimental group and control group

Groups	Test	N	M	SD	Mean Difference
Exp. Group	Pretest	10	81.7	7.17	7.8
	Posttest	10	89.5	6.84	
Cont. Group	Pretest	10	80.8	8.09	2.1
	Posttest	10	82.9	9.49	

실험 집단과 통제 집단 사이에 과학적 태도 검사의 평균 점수 변화 정도에 유의미한 차이가 있는지 알아보기 위해, 각 집단의 평균 점수 증가분으로 윌콕슨 부호-순위 검정을 수행하였다. 윌콕슨 부호-순위 검정 결과 <Table 22>와 같이 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다($p < .05$). 그러므로 개발한 탐구 프로그램을 적용한 수업이 설명 위주의 강의식 수업보다 과학적 태도를 긍정적으로 변화시키는데 더 큰 효과가 있다는 것을 확인할 수 있었다.

<Table 22> Results of the Wilcoxon signed ranks test between two groups of the increase in the mean score of scientific attitude tests

Groups	N	W	p
Exp. Group	10	87.5	0.005*
Cont. Group	10		

*p<.05

한편, TOSRA는 ‘과학의 사회적 의미’, ‘과학자의 특성’, ‘과학적 탐구에 대한 태도’, ‘과학적 태도의 수용’, ‘과학 수업의 즐거움’, ‘과학에 대한 흥미와 관심’, ‘과학 관련 직업에 대한 관심’ 등 7 가지의 개별적인 평가 영역을 가지며, 각각의 평가 영역 목표의 달성 여부는 각각의 평가 영역의 항목을 독립적으로 검토함으로써 명확하게 파악할 수 있다(Fraser, 1978). 그러므로 실험 집단과 통제 집단의 과학적 태도에 관한 검사결과를 7 가지의 평가 영역별로 분리하여 윌콕슨 부호-순위 검정을 수행하였다. 과학적 태도의 영역별 분석 결과는 <Table 23>과 같다.

개발한 탐구 프로그램의 적용은 ‘과학적 태도의 수용’ 영역과 ‘과학에 대한 흥미와 관심’ 영역의 과학적 태도 변화에 유의미한 효과가 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 실험 중심의 분자생물학 탐구 프로그램의 적용이 분자생물학 관련 내용에 대한 흥미를 높인다는 Woo et al. (2011)의 연구 결과 및 분자생물학 실험 수업의 투입이 학생들의 분자생물학에 대한 관심을 높이는 데 크게 기여한다는 Oh & Lee (2011)의 연구 결과와 일치하는 것인데, 이는 분자생물학 실험 활동을 통해 연구자들이 하는 것과 같은 실험을 직접 경험해 볼 수 있었고 (Woo et al, 2011), 이것이 정의적 영역에 긍정적인 영향을 주었기 때문일 것으로 생각된다. 그러나 ‘과학의 사회적 의미’, ‘과학자의 특성’, ‘과학적 탐구에 대한 태도’, ‘과학 수업의 즐거움’, ‘과학 관련 직업에 대한 관심’ 등 과학적 태도의 나머지 5개 영역에서는 실험 집단과 통제 집단 결과 간에 통계적으로 유의미한 차이가 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 과학적 태도는 선천적인 것이 아니라 경험과 교육을 통해 형성된다는 점에서(Martin et al., 2001) 아쉬운 점이라고 볼 수 있는데, 이는 개발한 탐구 프로그램이 6차시로 짧았고(Lee et al., 2013), 탐구

<Table 23> Results of the Wilcoxon signed ranks test between two groups of the increase in the mean score by each domain of scientific attitude tests

Domain	W	p
H.1 The Social Meaning of Science	57.000	0.588
H.1 Character of the Scientist	45.000	0.721
H.2 Attitude toward Scientific Inquiry	73.500	0.060
H.3 Acceptance of Scientific Attitudes	76.000	0.047*
H.4 The Pleasure of Science Class	46.500	0.806
H.5 Interest and Attention in Science	95.000	0.000*
H.6 Interest in Science-related Professions	71.000	0.102

*p<.05

프로그램 내용의 구성이 분자생물학 실험에 편중된 점이 원인으로 작용하였을 것으로 생각된다.

3) Survey and Interview Results on the Effectiveness of Classes

본 연구에서 개발한 분자생물학 탐구 프로그램의 수업 적용 효과를 알아보기 위해 실험 집단을 대상으로 한 설문 조사 응답 결과는 <Table 24>와 같다.

먼저 ‘수업이 진행되는 동안 수업목표를 잘 인식할 수 있었습니까?’라는 문항에서는 각각 5명의 학생들이 ‘매우 그렇다’와 ‘그렇다’에 답을 하였으므로, 본 탐구 프로그램이 수업을 통해 학생들이 성취하도록 기대하는 바를 효과적으로 제시한 것으로 볼 수 있었다.

해당 문항과 관련된 학생들의 면담 내용은 다음과 같다.

- **의견1** : 수업 시간마다 다른 내용을 배웠는데 활동지에 그날 배울 것에 대한 주제가 잘 나와 있어서 무엇을 배우고 있는지 헛갈리지 않았어요. 그리고 지금 하는 실험이 무엇을 위한 실험인지 선생님께서 정확하게 알려주셔서 수업목표를 확인하는 데 도움이 됐습니다.

- **의견2** : 활동지에 수업 목표가 제시되어 있어서 수업

<Table 24> Survey results on the effectiveness of classes

Questions about the Effectiveness of Classes	The Number of Respondents (Persons)				
	A	B	C	D	E
Have you been well aware of the learning goal during the class?	5	5	0	0	0
Do you think the order of learning throughout the course of the class was structured?	7	2	0	1	0
Have you been able to learn the inquiry processes and methods from the class to acquiring knowledge rather than outcome-oriented knowledge acquisition?	7	3	0	0	0
Do you think the class was able to learn how scientists were able to solve problems?	7	2	1	0	0
Have you been able to categorize the several ideas, alternatives, or possibilities you have created and to develop your thinking skills such as analysis, synthesis, and evaluation of the data?	5	4	1	0	0
Was it a class that interests you?	7	3	0	0	0
Was it a class to help you understand the concept of genetics?	6	2	1	1	0
A: Completely Likely / B: Very Likely / C: Moderately Likely / D: Not Likely / E: Absolutley Not Likely					

목표를 잘 인식할 수 있었어요.

- **의견 3** : 수업 ppt와 프린트에 실험 목표가 잘 나와 있던 것 같아요. 예전 수업에서는 실험을 할 때 지금 하는 게 뭘 위해 하는 것인지 모를 때가 많았는데, 이번 수업에서는 지금 무엇을 위해 뭘 하고 있는지를 확실하게 파악할 수 있었어요.

‘수업의 전체과정을 통한 학습 순서가 체계적이었고다고 생각합니까?’라는 문항에서는 7명이 ‘매우 그렇다’, 2명이 ‘그렇다’, 1명이 ‘그렇지 않다’로 응답하여, 정규 교육과정 순서를 재구성한 본 탐구 프로그램의 내용 구성 순서가 학습에 효과적임을 알 수 있었다. 학생들은 ABO식 혈액형 유전자를 활용한 분자생물학 탐구 프로그램을 통해 실생활에서 관찰 가능한 유전 현상을 분자생물학 실험으로 분석해 볼 수 있었고, 멘델 유전과 분자유전을 연속적으로 배울 수 있었던 점을 본 탐구 프로그램의 장점으로 꼽았다. 그러나 Lee et al. (2013)의 연구 결과와 같이 6차시라는 제한된 시간 동안 기초적인 멘델 유전에서부터 분자생물학 이론 전반을 다루기엔 분명한 한계점도 있는 것으로 나타났다.

해당 문항과 관련된 학생들의 면담 내용은 다음과 같다.

- **의견 1** : 단계적으로 쉽고 간단한 내용부터 배운 점이 좋았습니다. 특히 가계도를 가지고 ABO식 혈액형 유전 현상을 배운 후에 ABO식 혈액형 유전자를 이용한 분자생

물학 실험을 할 수 있어서 매우 흥미로웠고, 덕분에 내용 이해도 잘 되었습니다.

- **의견 2** : 유전 이론과 실험을 함께 배울 수 있어 지루하지 않고 흥미롭게 수업에 참여할 수 있었습니다. 쉬운 내용부터 점점 어려운 내용을 한 번에 배우니까 앞에서 이해되지 않았던 내용이 이해되기도 하고, 뭔가 학습 내용이 자연스럽게 연결되는 것 같은 수업이었습니다.

- **의견 3** : 대부분의 실험 수업에서는 실험 방법만 알려주고 실험만 하는데, 유전 이론을 배우는 활동을 병행한 점이 매우 좋았습니다. 하지만 실험 중간 중간에 선생님이 추가 설명을 해주셔도 쉽게 이해할 수 없는 부분이 많았습니다. 특히 PCR이랑 제한효소 부분은 아직도 잘 모르겠습니다.

과학적 탐구 능력 함양과 관련된 3가지 설문 조사 질문 응답 결과는 다음과 같았다. 먼저 ‘수업에서 결과 중심의 지식 습득보다 지식의 얻기까지의 탐구 과정 및 탐구 방법을 배울 수 있었습니까?’라는 문항의 응답 결과는 ‘매우 그렇다’ 7명, ‘그렇다’ 3명으로 나타났다. 다음으로 ‘수업을 통해 과학자들이 수행했던 문제해결 방법을 배울 수 있었다고 생각합니까?’라는 문항의 응답 결과는 ‘매우 그렇다’ 7명, ‘그렇다’ 2명, ‘보통이다’는 1명으로 나타났다. 마지막으로 ‘생성해 낸 여러 가지 아이디어, 대안, 또는 가능성을 분류하고 자료의 분석, 종합, 평가 등과 같은 사고기능을 기를 수 있었습니까?’라는 문항의 응답 결과는 ‘매우 그렇다’ 5명, ‘그렇다’ 4명, ‘보

통이다' 1명으로 나타났다.

이러한 결과는 실험중심의 본 탐구 프로그램이 학생들의 과학적 탐구 능력과 문제해결 능력 향상에 큰 효과가 있다는 것을 뒷받침해 준다. 학생 면담에서는 활동 중심의 수업이면서, 평소 접하기 어려웠던 분자생물학 실험을 직접 수행해 볼 수 있었다는 점이 기존 수업과의 차이점으로 나타났는데, 이는 Lee et al. (2013)의 연구와 Woo et al. (2011)의 연구에서 밝혀진 바와 같이 연구자들이 수행하는 실험 과정의 재현 또는 교과서에 서술된 과학적 사실을 실험적으로 확인하는 과정이 학생의 인지적 영역과 정의적 영역에 긍정적인 영향을 미친다는 점에서, 본 탐구 프로그램에서의 생소한 유전 관련 개념 및 이론과 실험의 병행이 학생들의 과학적 탐구 역량을 함양시킬 수 있었던 것으로 생각된다.

이와 관련된 학생 면담 결과는 다음과 같다.

- **의견 1** : 다른 실험 수업과 다르게 실험을 진행하면서 실험과 관련된 이론을 알기 쉽고 자세하게 가르쳐주신 점이 좋았어요. 덕분에 실험 과정에 적용되는 이론과 원리를 제대로 알 수 있는 기회가 되었습니다. 그리고 모든 실험 과정을 직접 경험해 볼 수 있어서 적극적인 수업 참여가 가능했던 점이 인상적이었습니다. 하지만 실험결과가 기대했던 것만큼 정확하고, 뚜렷하게 나오지 않아 그 점이 어렵고 아쉬운 점 중 하나입니다.
- **의견 2** : 가계도 분석과 ABO식 혈액형 유전자 자료를 보면서 중심 원리를 비롯한 유전자의 기능을 확실히 이해할 수 있었습니다. DNA 추출, PCR, 제한효소 반응, DNA 전기영동 실험을 하면서 DNA의 특성과 유전자 분석에 활용되는 원리를 정확하게 파악할 수 있었습니다. 또 질병 진단, 범죄 수사 등 수업 시간에 배운 지식과 원리를 다양하게 응용할 수 있다는 점이 매우 흥미로웠습니다.
- **의견 3** : 수동적으로 설명을 듣는 것이 아니라, 능동적으로 참여할 수 있는 수업 방식이라 좋았고, 실험 기구들의 사용 방법을 익힐 수 있어서 많은 도움이 되었습니다.
- **의견 4** : 생명공학의 기초 실험을 직접 해볼 수 있어서 큰 도움이 되었습니다. 실험의 비중이 크고, 직접 참여하는 형식의 수업이라 재밌었습니다. 활동지에 실험과 이론이 자세하게 설명되어 있어 이해하기 쉬웠고, 무엇보다 실험 기구를 다루는 데에 어려움이 많이 해소되어서 좋았습니다.

‘흥미를 유발하는 수업이었습니까?’라는 질문에서

는 7명이 ‘매우 그렇다’, 3명이 ‘그렇다’로 응답하여, 학생들이 대체로 본 수업에 재밌게 참여하였다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과가 나타난 이유는 학생들은 실험 활동 자체에 흥미가 있었고, 평소 접할 수 없었던 분자생물학 실험 기구에 대해 큰 관심을 보였으며, 분자 수준에서 DNA를 조작하고 실험 결과를 확인할 수 있다는 점이 재미있었다는 반응을 통해 확인할 수 있었다. 특히 생명과학 분야로 진로를 설정한 학생들은 실험 활동 경험이 진로 탐구에 큰 도움이 되었다는 반응을 보이기도 하였는데, 이는 다양한 진로 교육 방법 중에서 직접적인 체험 활동으로 구성된 교육 방법이 학생들의 진로 탐구에 더욱 긍정적인 영향을 미친다는 점(Cho & Ju, 2010)에서 매우 고무적인 결과로 볼 수 있다.

이와 관련된 학생 면담 결과는 다음과 같다.

- **의견 1** : 교과서나 과학 잡지에서만 봤던 분자생물학 실험을 직접 해볼 수 있었던 것이 제일 좋았어요.
- **의견 2** : 자유롭게 실험을 하는 것이 즐거웠고, 친구들과 친목을 나누면서 여러 지식을 함께 알아갈 수 있어서 더 재밌었습니다.
- **의견 3** : 실험 위주의 수업이라 이론만 알고 있을 때보다 이해가 쉬웠고, 실험결과를 눈으로 볼 수 있어서 매우 흥미로웠습니다. 실험은 생각보다 어렵지 않았고, 재밌어서 생명과학 연구원이 꼭 되고 싶어졌습니다.
- **의견 4** : 기존의 수업 형태는 이론만 알고 넘어가는 경우가 많았는데, 본 수업 프로그램은 사용해 보지 못했던 실험 도구를 사용하면서 실험을 직접 해볼 수 있는 점이 효과적이었습니다. 또 제가 희망하는 진로가 생명과학 연구원 쪽인데, 생명과학 연구원들이 저희가 다뤘던 기기를 가지고 실험을 하고 있다고 하니깐 뭔가 더 신기하고 친숙하게 느껴졌습니다.

‘유전 개념 이해에 도움이 되는 수업이었습니까?’라는 질문에 대한 응답 결과는 ‘매우 그렇다’ 6명, ‘그렇다’ 2명, ‘보통이다’ 1명, ‘그렇지 않다’ 1명으로 나타났다. 이러한 결과를 통해 본 연구의 탐구 프로그램이 가지는 유전 개념 학습에 대한 유용성을 다시 한 번 확인할 수 있었다. 학생들과의 면담에서는 그 동안 추상적인 개념으로 받아들였던 ‘유전자’, ‘DNA’ 등을 실험을 통해 실체적으로 경험할 수 있었던 것에 큰 의미를 두고 있으며, 실제로 개념을 이해하는 데에도 큰 도움이 되었다는 것을 확인할

수 있었다. 다만 실험 과정이 너무 복잡하여 수업을 따라가기가 힘들다는 의견도 있었는데, 이를 통해 과학 실험 수업에 적용할 실험의 형태는 학생들의 인지 수준과 수업 방법 및 목적에 따라 교사가 신중하게 결정해야 한다는 점에서(Pella, 1961), 개발한 탐구 프로그램의 자료 제시 방식을 적절하게 조절해야 할 필요성을 확인할 수 있었다.

이와 관련된 학생 면담 내용은 다음과 같다.

- **의견 1** : 원래 유전자나 DNA 같은 단어를 생각해보면 뜬구름 잡는 느낌이 들었는데, 이번 수업에서는 실험으로 직접 DNA를 확인하고, 실험 원리를 자세히 배울 수 있어서 유전 개념을 이해하는 데 도움이 됐습니다.
- **의견 2** : 혈액형 가계도 분석을 하고 나서 알아낸 유전자형을 실험으로 직접 확인할 수 있다는 게 정말 신기했어요. 덕분에 유전물질과 유전자의 기능을 확실히 이해할 수 있었습니다.
- **의견 3** : 실험을 통해 얻은 지식이라 기억에 오래 남을 것 같습니다. 특히 DNA 추출, 전기영동, PCR 실험에서 시약의 기능과 작용 원리를 자세히 알 수 있어서 분자생물학 개념을 이해하는 데 큰 도움이 되었습니다.
- **의견 4** : 실험에서 이론적인 내용을 배울 땐 용어가 너무 생소해서 어려웠지만, 실험 과정이 조금씩 이해되면서 유전물질의 구조와 유전자의 기능을 좀 더 정확하게 알 수 있게 된 것 같습니다.
- **의견 5** : 실험을 따라가는 게 어려웠지만, 그냥 수업할 때보다 새롭고 많은 것이 기억에 남는 것 같습니다.
- **의견 6** : DNA의 구조와 기능을 글로 배울 때는 막 외우면서 공부했었는데, 실험 과정에서 DNA를 직접 조작해 보니까 조금 더 구체적으로 이해할 수 있었습니다.
- **의견 7** : 실험을 해보니까 지식이 더 와 닿긴 했습니다. 그렇지만 실험 과정은 너무 복잡해서 어려웠습니다.

IV. Conclusions

본 연구에서는 ABO식 유전자를 활용한 분자생물학 탐구 프로그램을 개발하고, 수업에 투입하여 그 효과를 확인하였다. 탐구 프로그램 개발은 분자생물학 실험 활동을 중심으로 하되, 교육과정을 재구성하여 멘델 유전부터 분자 수준의 유전까지 유전 및 분자생물학 관련 개념을 통합적으로 이해하도록 하는 데에 주안점을 두었다. 개발한 탐구 프로그램에 포함된 실험은 분자생물학 전문가 1인과 석사급 연

구원 2인에게 수업 투입 가능성을 확인하였고, 탐구 프로그램의 타당성은 생명과학 교사 5인의 타당도 평가를 통해 검증하였다. 최종적으로 완성된 탐구 프로그램은 고등학교 2학년 학생들을 대상으로 한 수업에 투입하여 개념 성취도와 과학적 태도의 변화를 양적으로 분석하였고, 그 이외 설문 조사와 반구조화된 면담을 통해 수업의 효과를 알아보았다.

분자생물학 탐구 프로그램은 DNA 추출 실험, PCR 실험, 제한효소 반응 실험, DNA 전기영동 실험 등 분자생물학 실험을 중심으로 실험 방법과 관련 이론을 포함하여 기초 분자생물학 실험을 수행할 수 있는 능력뿐만 아니라 관찰, 조사, 토론, 수집, 해석, 평가 등 전반적인 과학적 탐구 능력을 배양할 수 있도록 개발되었다. 또한 ABO식 혈액형 유전자를 탐구 프로그램의 소재로 활용하여 멘델 유전학 기반의 가계도 분석과 분자생물학 기반의 유전자 분석을 모두 해봄으로써 우리나라 고등학생들이 낮은 이해도를 보이는 것으로 나타난 유전 및 분자생물학 개념을 통합적으로 이해하는 것을 도울 수 있도록 개발되었다.

분자생물학 탐구 프로그램을 적용한 수업을 일반 고등학교 2학년 학생들에게 투입한 결과, 일반적인 이론 중심의 수업을 투입했을 때보다 유전 및 분자생물학 관련 개념 성취도와 과학적 태도의 향상도가 더 큰 것으로 나타났으며, 이는 수업 효과에 관한 면담에서도 확인할 수 있었다. 개념 성취도 측면에서 살펴보면 개발한 탐구 프로그램은 분자생물학과 관련된 과학적 탐구를 수행하는 방법에 관한 개념의 성취에서 큰 효과를 보였으므로, 이를 통해 분자생물학 영역의 핵심 개념을 종합적으로 형성하기 위해서는 실험중심의 탐구 프로그램의 적극적인 도입이 필요함을 확인할 수 있었다. 또한 본 연구에서 개발한 탐구 프로그램의 개념 성취도에서의 유의미한 효과의 확인과 더불어, 학생들의 과학 교과에서의 개념 성취 향상 경험이 이공계열 진로선택에도 영향을 미친다는 선행 연구 결과(Cho & Kim, 2015)와 관련하여 분자생물학 실험 활동을 통한 학생들의 개념변화 과정 분석에 관한 후속 연구가 필요할 것으로 생각된다. 예를 들어, 분자생물학 탐구 프로그램의 투입으로 인해 학생들의 인지구조 내에서 개념이 형성 과정을 추적할 수 있는 명시적인

측정 도구가 개발된다면, 개념 성취도가 높아질 수 있었던 동기 및 요인이 무엇인지 정확하게 분석할 수 있을 것으로 생각된다.

과학적 태도 측면에서 살펴보면 개발한 탐구 프로그램이 6차시의 짧은 수업이었음에도 학생들의 과학적 태도 변화에 긍정적인 영향을 미친 것으로 나타났다. 다만 과학적 태도에 관한 하위영역별 심층 분석에서 ‘과학적 태도의 수용’ 영역과 ‘과학에 대한 흥미와 관심’ 영역에서는 효과의 유의성을 확인하였으나, ‘과학의 사회적 의미’, ‘과학자의 특성’, ‘과학적 탐구에 대한 태도’, ‘과학 수업의 즐거움’, ‘과학 관련 직업에 대한 관심’ 등의 영역에서는 별다른 효과를 확인할 수 없었으므로, 이를 개선하기 위한 노력이 필요하다고 볼 수 있다. 예를 들어 과학적 태도의 향상에 대한 관점에서 분자생물학 이론 및 실험과 관련된 내용 요소를 심층적으로 분석하고, 이를 통한 탐구 활동 개선 및 수업 콘텐츠를 개발하기 위한 연구를 수행할 수 있다. 또한 과학적 태도의 하위영역이 고루 향상된 학생들을 대상으로 추가 검사나 심층 면담 등을 실시하여, 탐구 프로그램에서 과학적 태도를 변화시킨 주된 내용 혹은 실험이 무엇이었는지를 조사할 수도 있다.

수업의 효과에 관한 면담에서는 수업 목표 인식의 수월성, 학습 순서의 체계성, 과학적 탐구 역량 함양, 수업의 흥미도, 개념의 통합적 이해에 관한 기여도 측면에서 대체로 긍정적인 반응을 보였다. 학생들은 분자생물학 실험이 탐구 기능 습득과 유전 개념 형성에 도움이 되었다는 공통적인 의견을 나타냈으며, 진로 탐구에 도움이 되었다는 의견도 확인할 수 있었다. 그러나 면담에서 얻은 진술들이 다소 추상적이었다는 점은 본 연구 결과의 한계라고 볼 수 있으므로, 탐구 프로그램의 효과를 더욱 구체적으로 조사하기 위한 면담 틀의 개발을 통한 추가 연구가 필요할 것으로 생각된다. 가령 탐구 프로그램이 과학과 교육과정의 핵심 역량 배양에 기여하는 바에 대한 구체적인 평가 준거를 포함한 면담 틀을 개발한다면 교과 역량과 관련하여 종합적인 영향 검증이 가능할 것으로 생각된다.

개발한 탐구 프로그램을 학교 현장에 적용하기 위해서는 많은 노력이 요구된다. 먼저 단위 학교에 분자생물학 실험 운영에 필요한 실험 장비가 구비

되어야 한다. 최근 분자생물학 관련 기기를 갖춘 학교의 수가 늘어나고 있기는 하지만 그 규모가 작거나 제한되어 있으며, 특히 일부 고가 실험 장비의 경우 여전히 대부분의 학교에서는 구비하기 어려운 실정이다. 따라서 이를 지원하기 위한 예산 편성, 실험 기기 대여 사업 등의 제도적 장치의 마련이 절실하며, 이러한 어려움이 해결된다면 탐구 프로그램이 생명과학 수업에서 유용하게 사용될 것으로 기대한다. 또한 탐구 프로그램은 멘텔 유전학부터 분자유전학을 아우르는 연속적인 내용으로 구성하였으나, 차시마다 적용된 실험은 앞 차시와 뒤 차시의 실험 수행 여부와 관계없이 독립적으로 운영할 수 있다. 그러므로 학생들의 성취 수준, 수업 목적, 수업 시수, 과학실 환경 등을 고려하여 탐구 프로그램의 실험 순서를 재구성 및 편집하여 활용한다면 생명과학 수업에 더욱 효과적으로 적용할 수 있을 것이다. 끝으로, 향후에는 분자생물학 실험이 익숙하지 않은 교사들을 위한 추가적인 수업전략 및 실험 키트 등이 개발되어 본 연구의 탐구 프로그램이 교육 현장에서 광범위하게 활용되기를 기대한다.

References

- Cho, H. I., & Kim, Y. J. (2015). The discrimination analysis of career choice by gender, subject difficulty, and science achievement in integrated science of high school 1st year. *Brain, Digital & Learning*, 5(2), 25-31.
- Cho, S. S., & Ju, S. J. (2010). Study on the analysis of effects of experience activity-based career education program on career preparation behaviors of high school students. *The Journal of Career Educational Research*, 23(3), 47-64.
- Choi, S. H. (2019). National bioinnovation strategy and major policy tasks. *The Korean Journal of Bioeconomy*, 2(2), 69-114.
- Chung, W. H. (1985). On the curriculum of biology course in high school. *Biology Education*, 13(1), 43-49.
- Duck Cho, D., Jeon, M. J., Oh, B. J., Song, J. W.,

- Shin, M. G., Shin, J. H., Suh, S. P., & Ryang, D. W. (2005). A simplified abo genotyping by allele-specific polymerase chain reaction. *Annals of Laboratory Medicine*, 25(2), 123-128.
- Duncan, R. G., Rogat, A. D., & Yarden, A. (2009). A learning progression for deepening students' understandings of modern genetics across the 5th–10th grades. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 46(6), 655-674.
- Fraser, B. J. (1978). Development of a test of science-related attitudes. *Science Education*, 62(4), 509-515.
- Gallagher, J. J. (2007). *Teaching science for understanding: A practical guide for middle and high school teachers*. Prentice Hall.
- Ha, M. S. (2019). Biology teacher's perception of value of biology learning. *Brain, Digital & Learning*, 9(2), 31-38.
- House, T. W. (2012). National bioeconomy blueprint, April 2012. *Industrial Biotechnology*, 8(3), 97-102.
- Jang, J. Y., & Yang, I. H. (2020). Learning science concept words: p300. *Brain, Digital & Learning*, 10(2), 167-176.
- Jo, Y. M., Ha, M. S., & Park, E. J. (2020). Concept status analysis of per-service science teachers on life science concepts related to disease. *Brain, Digital & Learning*, 10(1), 93-106.
- Jung, Y. J., & Chun, J. S. (2019). Development and application of modeling program to improve integrated understanding of genetic concepts for high school students. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 19(1), 511-539.
- Kang, K. M., & Kim, H. B. (2005). Preservice secondary biology teachers' understanding of biotechnology. *Biology Education*, 33(1), 112-121.
- Kang, S. M., Lee, H. Y., Kim, Y. S., & Kim, K. D. (2008). The perception of in-service and pre-service science teachers of the training program, and the practical use of advanced science laboratory equipment. *Journal of the Korean association for science education*, 28(8), 880-889.
- Kim, H. K., & Lee, J. K. (2016). Analysis of high school students' understanding about genetics and molecular biology concepts. *Biology Education*, 44(1), 87-99.
- Kim, J. Y., & Lee, S. H. (2019). The effect of lesson with generated questions application in clinical practice education for nursing students. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 19(6), 985-1006.
- Lee, J. S., Kim, E. J., & Kim, D. H. (2017). Relationship between key competences and subject competences, and subject competences and achievement standards in revised national common basic curriculum of science in 2015. *Journal of Curriculum Integration*, 11(2), 1-25.
- Lee, M. H., Kim, H. Y., & Kim, S. H. (2013). Application effects experimental instruction of mendelian dihybrid cross using rapid-cycling brassica rapa. *School Science Journal*, 7(1), 38-53.
- Lim, S. M., Park, M. J., & Kim, Y. S. (2013). Analysis of concept's diversity and proximity for genetics by learning process in high school students. *Biology Education*, 41(4), 589-600.
- Martin, R. E., Sexton, C. M., & Gerlovich, J. A. (2001). *Science for all children: Methods for constructing understanding* (2nd ed.). Boston, MA: Allyn and Bacon.
- MEST, Ministry of Education and Science Technology. (2009b). *2009 revised national science curriculum*. MEST Announcement 2009-41.
- MOE, Ministry of Education (1981). *Education course manual for national high school curriculum*. MOE Announcement 422.
- MOE, Ministry of Education (2015a). *Education course manual for national elementary and secondary*

- school curriculum*. MOE Announcement 2015-74
MOE, Ministry of Education (2015b). *2015 revised national science curriculum*. MOE Announcement 2015-74.
- Nam, K. B., & Cho, E. H. (2017). Analyses on high-school life science II ‘Genetics and Biotechnology’. *School Science Journal*, 11(3), 368-381.
- NRC, National Research Council. (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. National Academies Press.
- Oborne, M. (2010). The bioeconomy to 2030: designing a policy agenda. *Organisation for Economic Cooperation and Development. The OECD Observer*, (278), 35.
- Oh, H. S., & Lee, J. K. (2011). Development of nucleosome dna ladder preparation experiment from epidermal cells of human oral cavity. *School Science Journal*, 5(2), 84-91.
- Park, H. J. (2013). A study of middle school science teachers’ perceptions on science lessons with experiments. *Journal of Science Education*, 37(1), 79-86.
- Park, S. H., & Lee, K. J. (2017). Development and application of digital textbook in molecular biology experiments. *School Science Journal*, 11(1), 21-36.
- Pella, M. O. (1961). *The laboratory and science teaching. The Science Teaching*, 28(5), 29-31
- Ryu, Y. M., & Yang, Y. M. The effect of team-based learning, student generated questions, and lecture-based learning in physiology course. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 18(9), 79-97.
- Shim, K. C. (2011). Study on perception of pre-service biology teachers about biotechnology. *Biology Education*, 39(1), 126-134.
- Shim, K. C., & Song, S. C. (2019). Analysis of inquiry activity types in the high school life science II textbooks based on the 2015 revised science national curriculum. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 19(22), 165-184.
- Song, S. C. (2018). Analysis of inquiry activity types in the high school life science i textbooks according to the 2015 revised science curriculum. *Biology Education*, 46(2), 187-201.
- Song, J. (2013). The disparity between achievement and engagement in students’ science learning: A case of east-Asian regions. In *Valuing assessment in science education: Pedagogy, curriculum, policy*. 285-306. Basel, switzerland: Springer, Dordrecht.
- Woo, J. I., Cho, W. H., & Lee, J. K. (2011). Development of instruction modules of molecular biology experiment for high school students using the dna of epithelial cells in human oral cavity. *Biology Education*, 39(3), 439-455.
- Yamamoto, F. I., Clausen, H., White, T., Marken, J., & Hakomori, S. I. (1990a). Molecular genetic basis of the histo-blood group ABO system. *Nature*, 345(6272), 229-233.
- Yamamoto, F. I., Marken, J., Tsuji, T., White, T., Clausen, H., & Hakomori, S. I. (1990b). Cloning and characterization of DNA complementary to human UDP-GalNAc: Fuc alpha 1----2Gal alpha 1----3GalNAc transferase (histo-blood group A transferase) mRNA. *Journal of Biological Chemistry*, 265(2), 1146-1151.

[저자의 소속과 직위]

조재형 : 금촌고등학교, 교사, 제1저자

노정옥 : 한국교원대학교, 대학원생, 공동저자

서단비 : 한국교원대학교, 대학원생, 공동저자

김완연 : 한국교원대학교, 교수, 교신저자