

인지적 도제 모델 기반의 Rapid-cycling *Brassica rapa* 식물 프로그램의 개발 및 적용 효과

김재권 · 김성하^{1*}

인천과학고등학교 · ¹한국교육원대학교

Development of Rapid-cycling *Brassica rapa* Plant Program based on Cognitive Apprenticeship Model and its Application Effects

Jae Kwon Kim · Sung-Ha Kim^{1*}

Incheon Science High School · ¹Korea National University of Education

Abstract: This study was intended to develop the plant molecular biology experimental program using Rapid-cycling *Brassica rapa* (RcBr) based on the teaching steps and teaching methods of the cognitive apprenticeship model and to determine its application effects. In order to improve a subject's cognitive function and expertise on molecular biology experiments, two themes composed of a total 8 class sessions were selected: 'Identification of *DFR* gene in purple RcBr and non-purple RcBr' and 'Identification of RcBr's genetic polymorphism site using the DNA profiling method'. Research subjects were 18 pre-service teaching majors in biology education of H University in Chungbuk, Korea. The effectiveness of the developed program was verified by analyzing the enhancement of 'cognitive function' related to the use of molecular biology knowledge and technology, and the enhancement of 'domain-general metacognitive abilities.' The effect of the developed program was also determined by analyzing the task flow diagram provided. The developed program was effective in improving the cognitive functions of the pre-service teachers on the use of knowledge and technology of molecular biology experiments. It was especially effective to improve the higher cognitive function of pre-service teachers who did not have the previous experience. The developed program also showed a significant improvement in the task of metacognitive knowledge and in the planning, checking, and evaluation of metacognitive regulation, which are sub-elements of domain-general metacognitive abilities. It was found that the developed program's self-test activity could help the pre-service teachers to improve their metacognitive regulation. Therefore, this developed program turned out to be helpful for pre-service teachers to develop core competencies needed for molecular biology experimental classes. If the teaching and learning materials of the developed program could be reconstructed and applied to in-service teachers or high school students, it would be expected to improve their metacognitive abilities.

keywords: cognitive apprenticeship model, plant molecular biology experimental program, Rapid-cycling *Brassica rapa*, cognitive function, domain-general metacognitive abilities

I. 서론

분자생물학은 특정 분야의 전문가 또는 연구자에게만 필요한 것이 아니라 우리의 일상생활에도 과학적 소양으로서 요구된다고 할 수 있다. 특히 분자생물학 관련 분야로 진로를 결정한 학생의 경우에는 기초적인 전문 지식과 기술의 습득이 요구되며 이에 교사는 학생의 진로 결정과 과학적 소양을 지속해서 강화할 필요가 있다(Kang & Kim, 2005; Shim, 2011; Woo, 2015).

우리나라 중등교육과정 개정 때마다 이러한 요구가 반영되어 분자생물학 관련 내용도 개정을 거듭하면서 구체화 되었다(Woo, 2015). 교육과정상에 분자생물학 관련 내용이 강조됨에 따라 많은 연구자에 의해 다양한 교육용 분자생물학 실험프로그램이 개발되었는데, 예를 들면 인간의 구강상피세포를 사용한 뉴클레오솜 DNA 사다리 관찰 실험(Oh & Lee, 2011), 구강 상피 조직 세포 DNA를 사용한 분자생물학 실험(Woo *et al.*, 2011), 초파리를 이용한 유전자 발현 조절에 관한

* 교신저자: 김성하 (shkim@knue.ac.kr)

** 이 논문은 한국교육원대학교 2021학년도 연구년교수 학술지원비 지원을 받아 수행한 연구 결과임.

*** 김재권의 2018년도 석사학위논문을 기초로 보완 연구를 하여 수정한 것임.

**** 2023년 7월 7일 접수, 2023년 8월 13일 수정원고 접수, 2023년 8월 23일 채택

http://dx.doi.org/10.21796/jse.2023.47.2.192

탐구 활동(Park, 2012), *ALDH2* 다형성 중심의 분자생물학 탐구 실험(Woo, 2015) 등이 있다. 분자생물학 실험의 특징은 다른 생명과학 분야의 실험과 달리 긴 실험 시간, 다양한 실험기법, 시약의 안전성, 복잡하고 정밀한 실험기구 사용 등을 들 수 있다. 또한 DNA 추출, 중합효소 연쇄반응, 제한효소 처리, 젤 전기영동과 같은 분자생물학 실험기법이 과학과 교육과정상 명시되어 있지만 실험 기기나 실험기구의 부족, 수업 진도가 바빠서, 실험기법을 알지 못해서, 수행할 수 있는 실험 수업 프로그램을 알지 못해서 등 다양한 이유로 인해 여전히 학교 현장에서는 실험 수업보다는 동영상 시청, 자료 해석과 같은 수업으로 진행되고 있다(Kang & Kim, 2005; Kang *et al.*, 2008; Shim, 2011; Woo, 2015). 학교 현장에서 실험 수업이 이루어지기 위해서는 이러한 제약을 해결해야 하며 제약을 해결하기 위해서는 교사의 분자생물학에 관한 전문성을 향상할 필요가 있다. 교사를 위한 분자생물학 실험 연수 프로그램들이 진행되고 있지만, 일부 교사들만이 프로그램을 참여하고 있으며, 이에 교사를 위한 분자생물학 실험 연수에 앞서 교사로 임용되기 이전 예비교사의 전문성을 향상시킬 수 있다면 보다 근본적인 문제가 해결될 수 있을 것이다. 예비교사의 전문성 향상을 위해서 다양한 분자생물학 실험프로그램을 접할 기회를 제공해야 하나 대장균, 구강상피세포 등의 한정된 실험 소재에 국한되어 교육이 진행되고 있고, 소금과 주방세제, 에탄올 등을 사용하여 열매 속 DNA 추출이라는 식물 소재로 한 분자생물학 실험프로그램이 진행되는 하나 고등학교에서 다루어지는 분자생물학 실험기법을 전부 다루지 않는다는 한계점이 있다(Oh & Lee, 2011; Woo, 2015). 또한, 기존 선행연구는 안내서에 따라 한 번의 실험으로 분자생물학 실험기법을 익히는데 국한되어 있기에 전문성을 향상하기 위해서는 반복 실험의 필요성이 있으며, 예비교사 스스로 실험을 설계하고, 실험기구를 조작하고, 반성할 기회를 제공한다면 보다 체계적인 전문지식을 습득할 수 있으리라 생각된다. 또한, 분자생물학 실험에는 다른 생물학 실험보다 다양한 시약들이 사용되므로 고등학교에 적용되기 위해서는 안정성과 효율성이 고려되어야 한다(Shim, 2011; Woo, 2015). 하지만 앞서 설명한 교육용 분자생물학 실험프로그램들은 실험 교육에 초점을 맞춰져 있어 시약 구매부터 실험 준비 과정 및 기자재 사용 방법에 대해 구체적이지 못하여 예비교사에게 적용하기에는 무리가 있으리라 판단하였으며, 이를 보완하여 실제 도움이 될 수 있는 식물 프로그램을 개발하고자 하였다.

교사 양성 교육에서 학습자가 자기 경험에 대해 반성하며 검토할 때 교육이 더 효과적이며, 학습에 대한 반성의 기회 제공을 통해 학습자 스스로 지식을 구성

해 나갈 수 있도록 하는 수업이 더 좋은 수업이라 하였다(Seo, 2004; Korthagen, 2001). 반성적 고찰을 강조하는 인지적 도제학습은 전문가의 과제 수행과정을 관찰하고, 실제 과제 수행을 통하여 지식 상태의 변화를 경험하여 전문가의 지식 및 기술을 습득하고, 현실적 문제의 해결에 초점을 맞추어 학습자의 고차원적 인지발달을 도울 수 있다(Kim, 2018a). 단순히 정형화된 과정을 관찰하여 전문가의 지식과 기술을 습득하는 고전적 도제 학습과 달리 인지적 도제학습은 교수적 지원으로 전문가가 시범을 통해 인지 전략의 차이를 보여주어 학습자가 전문가의 전략을 습득하고, 인지적 기능뿐만 아니라 메타인지적 기능까지 습득할 수 있도록 해준다. 또한, 전문가 시범 관찰 과정과 안내된 실제 연습을 통해 학습자가 통합된 지식 및 기술을 익힐 수 있으며, 명료화 및 반성 단계에서 학습자가 전문가의 문제 해결 과정에 초점을 맞추고, 자신의 문제 해결 전략에 관해 인지하고 반성할 수 있도록 할 수 있다(Kang, 1996; Lave & Wenger, 1989; Kim, 2018a; Seo, 2023). 이에 모델링, 코칭, 스캐폴딩, 페이딩, 명료화, 반성, 탐구로 구성된 인지적 도제 학습의 교수 방법을 수업 상황에 적용한 인지적 도제 모델을 수업 프로그램 개발에 적용한다면, 학습자의 전문지식 및 실험 기술뿐만 아니라 교수 방법 및 기술을 배양시키는 데도 효과적일 것이다(Kim, 2013).

분자생물학 실험프로그램에서 분자생물학적 실험기법의 지식과 기술만을 가르칠 수 없으므로 특정 실험 주제가 필요하다. 실험 주제는 교육과정에 소개된 내용을 심도 있게 학습할 수 있어야 하고, 사회 문제와 관련된 내용도 가능할 것이다. 따라서 이 연구에서는 멘델 유전과 관련하여 식물의 특정 표현형의 차이를 유전자형으로 관찰할 수 있는 실험 주제와 개체별 유전적 다형성과 관련한 DNA 프로파일링에 대한 실험 주제를 선택하였다. 실험 소재로는 표현형의 차이를 눈으로 확인할 수 있어야 하며, 학교 현장에서 어렵지 않게 적용 가능해야 할 소재를 선택하였다. 이에 동물을 이용한 실험보다는 식물을 이용한 실험이 적절할 것이며, 선택한 식물은 표현형 관찰이 쉽고, 학교 교실에 적용 가능하며, 재배가 쉽고, 빠른 생장을 보이는 식물로 Rapid-cycling *Brassica rapa* (RcBr)를 사용하여 프로그램을 개발하고자 하였다(Williams & Hill, 1986; Kim, 2018b).

따라서 이 연구에서는 예비교사의 식물 분자생물학 전문지식 및 실험 기술을 함양할 수 있는 실제적 경험을 제공하고, 습득한 지식과 기술을 실제 수업환경에 어떻게 적용할지 자신의 경험에 대해 고찰할 수 있도록 인지적 도제 모델 기반의 RcBr 식물 프로그램을 구성하고, 예비교사에게 적용하여 분자생물학 실험

에 관한 인지기능과 영역 일반적 메타인지기능 향상에 어떠한 효과가 있는지, 수업흐름도 작성 과제의 분석과 심층면담을 통해 예비교사의 분자생물학 수업 구성 능력이 어떻게 달라졌는지 알아보하고자 하였다.

II. 연구 방법 및 절차

1. 인지적 도제 모델 기반의 RcBr 식물 프로그램의 개발

RcBr은 35~40일의 짧은 생활주기를 갖고, 종자의 암 처리 과정 없이 22~28°C의 온도와 연속 광이 주어진 환경에서 파종 후 빠른 성장을 보이기 때문에 식물의 생장, 굴성 운동, 꽃의 생식, 배 발생 등 식물 생리학 실험 재료로 사용되고 있다. 또한, RcBr 개체들이 다양한 표현형을 보이며 이러한 표현형의 차이는 대립유전자의 우성, 열성 차이에 따라 나타나기 때문에 학교 현장에서 멘델 유전을 가르치는 좋은 재료로써 사용되고 있다(Kim, 2018b). 또한, 다양한 표현형의 차이를 유전자 차이로 확인하는데 RcBr이 이용되기도 한다. 특히 Wendell & Pickard (2007)이 개발한 RcBr 실험 프로그램은 purple RcBr 개체와 non-purple RcBr 개체의 *DFR* (*dihydroflavonol-4-reductase*) 유전자 차이를 확인하는 실험과 *D9BrapaS1*, *D9BrapaS4*, *Park9-HaeIII* 마커를 이용한 유전적 다형성 부위를 확인하는 실험으로 구성되어 있는데 예비 실험에서 같은 실험 결과를 확인할 수 있었다. Figure 1에서 purple RcBr과

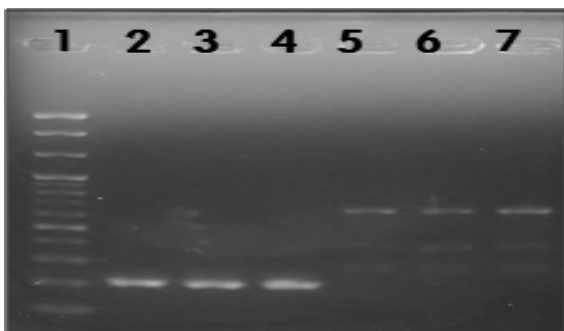


Figure 1. PCR products of *DFR* gene in purple and non-purple RcBr. 1, 100 bp marker; 2~3, PCR product of *DFR* gene of purple RcBr; 5~7, PCR product of *DFR* gene of non-purple RcBr

non-purple RcBr 개체의 *DFR* 유전자의 PCR 산물인 DNA 밴드 패턴의 차이는 볼 수 있다. Figure 2는 purple RcBr 4개체의 genomic DNA를 *D9BrapaS1*, *D9BrapaS4*, *Park9-HaeIII* 세 종류의 마커를 사용하여 DNA 밴드 차이를 비교한 결과인데, #1과 #2 개체는 서로 다른 개체이지만 DNA 프로파일은 같으며, #3과 #4 개체는 #1과 #2 개체와 다른 DNA 프로파일을 보여줌을 확인할 수 있었다. 이는 세 가지 마커로 RcBr 개체를 식별하는 데 문제가 없으며 이 연구의 프로그램에서 활용할 수 있을 것으로 판단하였다 (Kim, 2018b).

Purple RcBr 개체와 non-purple RcBr 개체의 *DFR* 유전자 차이 확인 실험과 *D9BrapaS1*, *D9BrapaS4*, *Park9-HaeIII* 마커를 이용한 RcBr 개체의 유전적 다형성 부위 차이 확인 실험의 개선사항을 알아보기 위해 중·고등학교에 재직 중인 교육대학원생 17명을 대상으로 2일간 파일럿 적용을 하였으며, 이때 RcBr은 교수자가 직접 키워 DNA 추출부터 실험 주제 1과 실험주제 2를 진행할 수 있도록 하였다. 예비 실험과정에서 받은 피드백으로 DNA 추출 단계에서 실험기자재 익히기라는 수업 과정을 추가하여 프로그램의 수업흐름도를 수정 보완하였으며 최종 수업흐름도는 Figure 3과 같다.

개발된 프로그램은 Table 1과 같이 수업흐름도에 따라 8차시로 구성하였으며, 각 차시는 100분으로 차시별 세부 교수 방법은 인지적 도제 모델을 적용하였다. 특히, 실험실은 분자생물학 지식 및 실험 기술, 교수 기술을 습득할 수 있는 학습공간으로 수업 준비 단계에서 SNS로 배부된 실험과 관련한 이론적 배경을 간단히 소개하고, 예비교사가 교수자 설명 내용 및

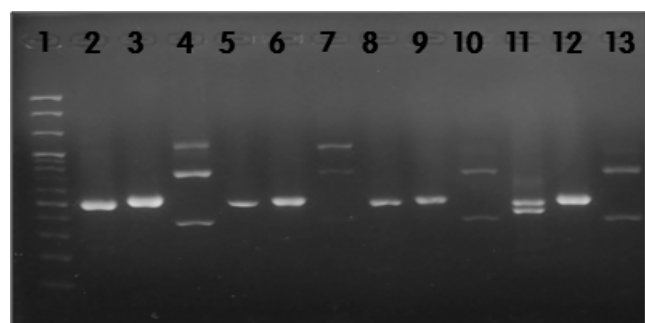


Figure 2. Genetic polymorphism of purple RcBr. 1: 100bp marker; 2~4, #1 purple RcBr; 5~7, #2 purple RcBr; 8~10, #3 purple RcBr; 11~13, #4 purple RcBr. *D9BrapaS1*, *D9BrapaS4*, and *Park9-HaeIII* markers were used in order for each plant.



Figure 3. Class flow chart for the developed RcBr plant program

문제 관련 내용 이해할 수 있도록 하였다. 시범 단계에서는 미리 제작한 실험 동영상을 제시하여 중요하다고 생각되는 부분이 무엇인지 기록할 수 있도록 하였다. 교수적 도움 제시 단계에서는 교수자의 도움이 필요할 수 있도록 실험 방법을 재구성하고, 학습자가 스스로 실험에 필요한 부분을 생각하여 실험을 설계할 수 있도록 하였다. 교수적 도움 중지 단계를 거쳐 적용 및 정리 단계에서는 학습한 지식과 실험 방법을 다른 상황에 적용해 볼 수 있도록 문제를 제시하였고, 이후 자신의 학습활동에 대해 점검해 볼 수 있는 시간과 분자생물학 지식, 자신의 학습에 관한 점검 사항을 기록할 수 있는 시간을 갖도록 하였다(Kim, 2018b).

2. 개발된 RcBr 식물 프로그램의 적용

1) 연구 대상

충북의 H 대학교 생물교육과 2학년 예비교사들에게 ‘식물교재탐구실험’ 교과목을 수강 신청하기 전, 연구 참여 동의를 2주간 공지한 후 참여 동의를 얻은 예비교사 총 18명(남자 5명, 여자 13명)에게 적용하였다.

‘연구 참여 동의서’는 연구 목적과 함께 수강 신청 안 내와 별도로 개인적 사유로 참여가 불가능한 경우 불이익이 따르지 않는다는 것을 명시하였으며, 18명 연구 참여자 모두 프로그램의 적용 대상이 되었다. 한편, 연구윤리 문제와 관련하여 H 대학교 생명윤리위원회(IRB)의 승인을 받았다.

연구참여자의 특성을 파악하기 위해 조사한 설문 결과, 고등학교 때 유전 단원이 포함된 생명과학 I을 모두 이수하였다고 응답하였으며, 분자생물학 단원이 포함된 생명과학 II는 18명 중 15명이 이수하였다고 응답하였다. 유전학과 분자생물학 관련 지식을 배울 수 있는 일반생물학 강좌는 대학교 1학년 때 모두 이수하였다고 응답하였으며, 이에 기본적인 분자생물학 관련 지식에 대한 학습이 이루어졌음을 알 수 있었다. 하지만 분자생물학 실험 경험 여부 응답 결과, 분자생물학 실험 경험이 있는 학생의 경우 DNA 추출 7명, PCR 4명, 제한효소 처리 4명, 아가로스 젤 제작 4명, 전기영동 실험은 8명이 경험이 있었다고 응답한 것으로 보았을 때, 다양한 분자생물학 실험과 관련하여 학습 경험의 차이가 있다고 볼 수 있다. 연구참여자의 특성을 파악한 후 연구자가 직접 수업을 진행하여 적용 효과를 분석하였다.

Table 1. Teaching steps and teaching methods of the cognitive apprenticeship model for the developed program

| 학습공간 | 교수단계 | 교수방법 | 세부 교수방법 |
|-----------------------------|-----------|-----------|---|
| 오프라인(실험실) : 안전한 실험 환경 제공 | 수업 준비 | 스캐폴딩 | • 학습 목표 제시 및 SNS로 배부된 차시별 첨부 자료 제시 |
| | | 코칭 | • 이론적 배경 부가 설명 및 실험에 필요한 이론적 배경 고찰 지도 |
| | | 명료화 | • 학습한 내용 중 중요한 내용 작성 지도 |
| | 시범 | 모델링 | • 제시된 전문가 시범 관찰 및 기록 안내 • 중요한 내용과 전문가와 초보자의 방법 비교 내용 기록 안내 |
| | | 교수적 도움 제시 | 스캐폴딩 |
| | 교수적 도움 중지 | 코칭 | • 실험과정, 주의 사항, 실험 설계 지도 |
| | | 페이딩 | • 실험 수행 안내 |
| | | 명료화 | • 실험 수행 결과 기록 안내 |
| | 적용 및 정리 | 탐구 | • 습득한 지식과 실험 방법을 다른 상황에 적용해 볼 수 있도록 안내 |
| | | 반성 | • 학습에 대한 반성 및 자기 평가 안내 |
| 온라인(SNS) : 원활한 상호작용상황 제공 | 교수적 도움 제시 | 스캐폴딩 | • 실험에 필요한 이론적 배경 소개 및 첨부 자료 제공 |
| | | 코칭 | • 차시별 첨부 자료 및 과제 수행에 대한 피드백 제공 |

2) 개발된 프로그램의 적용 방법

이 연구는 개발한 RcBr 식물 프로그램 수업이 학습자의 분자생물학 인지기능, 영역 일반적 메타인지 기능 향상에 미치는 영향을 알아보기 위하여 진행되었다. 인지적 도제 모델을 기반으로 개발된 RcBr 식물 프로그램은 총 8차시(차시 당 100분)로 구성되어 있다. 실험에 필요한 기자재를 2인 1조로 사용할 수 있도록 수업 전 준비한 후 프로그램 적용 당일 개인별 학습지와 자체 제작한 전문가 실험 동영상상을 준비하여 구성된 프로그램을 적용하였다. 프로그램의 적용은 인지적 도제학습 교수 단계인 ‘수업 준비(스캐폴딩, 코칭, 명료화), 시범(모델링), 교수적 도움 제시(스캐폴딩, 코칭), 교수적 도움 중지(페이딩, 명료화), 적용 및 정리(탐구, 반성)’에 따라 구성된 프로그램을 적용하였다. 효과 검증을 위해 Figure 4와 같이 분자생물학 인지기능 검사 및 영역 일반적 메타인지 기능검사를 사전사후 진행하였다. 사전검사는 연구 참여동의서를 받은 예비교사 18명을 대상으로 진행하였으며, 사후검사는 프로그램 적용 후 1주일이 지난 시점에 실시하였다. 이와 함께 과제 수행 시 습득한 지식과 실험 기술 및 교수 기술을 잘 활용하였는지 파악하기 위해 과제와 심층 면담 결과를 분석하였다. 과제는 개발된 프로그램을 통해 습득한 지식과 기술을 적절히 활용하여 학습자가 ‘RcBr 부계 찾기 수업흐름도’를 작성할 수 있도록 하였다. 심층 면담은 과제 수행 후 예비교사가 과제 문제 파악 여부, 과제 수행 시 중점적으로 생각한 부분, 느낀 점 및 향상 부분, 향후 분자생물학 수업 진행 방안에 관해 구조화된 4가지 질문지를 구성하였고, 과학교육 전문가 1인의 검토를 받아 수정 보완하였다. 심층 면담은 자연스러운 대화를 유도하여 면담 분위기를 조성하였고, 사전에 양해를 받아 고성능 녹음기로 대화를 녹취하여 이를 그대로 서술하였다.

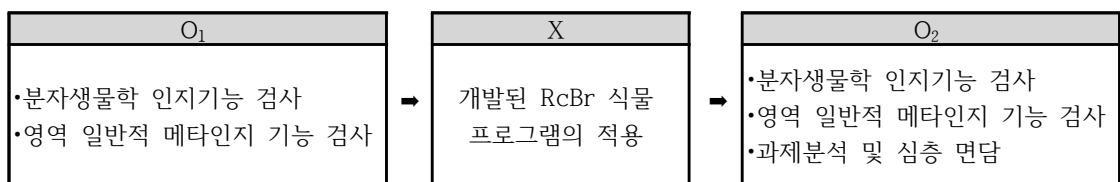
3. 검사 도구 및 자료 처리

개발된 프로그램이 예비교사들의 분자생물학 인지기능, 영역 일반적 메타인지 기능 향상에 미치는 효과

를 알아보기 위해 아래와 같은 검사 도구를 선정하였으며, 프로그램 처치 전후에 분자생물학 인지기능과 영역-일반적 메타인지 기능에 대한 사전검사와 사후검사를 하여 분석하였다. 또한, 과제 수행 시 습득한 지식과 실험 기술 및 교수 기술을 제대로 활용하였는지 조사하기 위해 과제와 심층 면담 결과를 분석하였다(Kim, 2018b).

검사 도구로 분자생물학 인지기능 검사지는 Kim (2013)이 개발한 일반적 인지기능과 고차적 인지기능을 측정할 수 있는 교과학습 성취도 지필 평가지를 바탕으로 분자생물학 지식을 선별하여 Table 2와 같이 일반적 또는 고차적 인지기능의 하위요소로 내용영역을 각각 구분하였다. 기억은 장기기억 속 유지하고 있는 정보를 회상할 수 있는 인지기능을 말하며, 이해는 외부에서 주어지는 언어, 글 등과 같은 기호의 의미 및 의사를 파악할 수 있는 인지기능을, 적용은 문제해결 장면에서 새로운 상황에 개념과 원리를 사용할 수 있는 인지기능을 말한다. 관련 내용을 각 하위요소의 의미에 맞게 문제를 제작하였다. 또한, 문제 해결기술 측정 문항은 문제를 우선 숙고하는 예비적 분석을 통해 문제를 구체적으로 개념화시킨 후 가능한 해결책을 구성하기 위해 기존 지식을 사용할 수 있도록 문항을 구성하였고, 메타인지의 문항은 인지과제를 수행하는 동안 자신의 사고와 행동을 탐지하고 평가하여 잘못을 수정할 수 있도록 구성하였다 (Anderson *et al.*, 2001). 수정한 검사지는 과학교육 전문가 1명과 분자생물학 실험 경험이 있는 중·고등학교 생물교사 8명에게 타당도 검사를 의뢰하였으며, 문항의 타당도 점수가 3점 이하인 문항은 수정 보완하여 완성하였다. 검사지의 행동 영역별 문항 구성은 서술형 17개 문항으로 분자생물학 일반적 인지기능을 평가할 수 있는 12개 문항과 고차적 인지기능을 평가할 수 있는 5개 문항으로 구성하였다(Kim, 2018b).

영역 일반적 메타인지 기능은 Park (2010)의 검사지를 사용하여 측정하였다. 이 검사지는 ‘메타인지적 지식’을 측정할 수 있는 18개 문항과 ‘메타인지적 조절’을 측정할 수 있는 18개 문항으로 구성되는데, 각 하위요소인 사람, 과제, 전략, 계획, 점검, 평가에 대하여 6문항씩 총 36개 문항이다. 한편 심층 면담지는



(O₁: 사전검사, X:프로그램 적용, O₂: 사후검사)

Figure 4. One-group pretest-posttest design

Table 2. Questions of behavioral domain of the cognitive function test on molecular biology

| 행동영역 (인지기능) | 내용 영역 (분자생물학 지식) | 문항번호 | 배점 | 문항 수 | 점수 |
|-------------|-----------------------|------|----|------|-----|
| 기억 | DNA 유전정보 위치 및 차이 | 1-1) | 2점 | 4문항 | 8점 |
| | PCR 시료 제작 필수 물질 | 3-1) | 2점 | | |
| | 로딩 염색약의 기능 | 5-2) | 2점 | | |
| | DNA 추출 시약의 기능 | 9-1) | 2점 | | |
| 일반적 인지기능 | 식물 DNA 추출 원리 | 1-2) | 3점 | 4문항 | 11점 |
| | DNA 복제에 관여하는 물질들의 역할 | 2-1) | 3점 | | |
| | DNA 반보존적 복제 원리 | 2-2) | 3점 | | |
| | DNA 전기적 성질 | 4 | 2점 | | |
| 적용 | PCR 기기 세팅 | 3-2) | 3점 | 4문항 | 14점 |
| | 젤 전기영동장치 원리 및 사용 방법 | 5-1) | 3점 | | |
| | DNA 프로파일링의 원리 | 6 | 4점 | | |
| | DNA 추출과정 | 9-2) | 4점 | | |
| 고차적 인지기능 | 제한효소 활성 및 불활성화시키는 방법 | 7-1) | 5점 | 3문항 | 13점 |
| | 제한효소 기능 및 활용 방법 | 7-2) | 4점 | | |
| | DNA 프로파일 결과 판정 | 8 | 4점 | | |
| | 동물과 식물의 DNA 추출 방법의 차이 | 9-3) | 5점 | | |
| 메타인지 | 아가로스 젤을 이용한 DNA 확인 방법 | 10 | 6점 | 2문항 | 11점 |
| | 총계 | | | 17문항 | 57점 |

과제 수행 후 학습자가 과제 문제 파악 여부, 과제 수행 시 중점적으로 생각한 부분, 느낀 점 및 향상 부분, 향후 분자생물학 수업 진행 방안에 관해 구조화된 4가지 질문으로 구성하였고, 과학교육 전문가 1인의 검토를 받아 수정 보완하였다. 심층 면담은 자연스러운 대화를 유도하여 면담 분위기를 조성하였고, 사전에 양해받아 고성능 녹음기로 대화를 녹취하여 이를 기술하였다.

검사에 사용된 분자생물학 인지기능 검사 및 영역 일반적 메타인지 기능 검사는 Microsoft excel 2007 과 SPSS WIN (ver.18.0)을 이용하여 통계 처리하였다. 분자생물학 인지기능 검사와 영역 일반적 메타인지 기능 검사의 경우 연구대상자 수가 18명으로 소규모 집단이기 때문에 통계 처리 시 사전·사후 점수 값을 이용하여 정규성 검정(Shapiro-Wilk Test)을 실시하여 정규분포 가정을 확인한($p > .05$) 후 모수 검정인 t -검정을 하였다. 분자생물학 인지기능 검사의 정성분석은 실험 수행 여부에 따라 학습자를 분류하였고, 분자생물학 인지기능 향상 점수가 가장 높고 낮은 학습자를 각각 선정하여 검사지 응답 내용을 분석하였다.

과제 및 심층 면담 결과 분석은 과학교육 전문가 1인과 함께 검토하여 정성 분석하였다. 특히 분자생물학 인지기능 향상 점수가 가장 높은 학습자의 수업흐름도 작성 과제를 선정하여 지식 활용, 실험 기술 활용, 교수 기술 활용의 세 가지 범주에서 분석한 후 과제 관련한 심층 면담 결과를 요약하여 분석하였다(Kim, 2018b).

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 인지적 도제 모델 기반의 RcBr 식물 프로그램의 개발 결과

개발된 인지적 도제 모델 기반의 RcBr 식물 프로그램은 Figure 3의 수업흐름도에 따라 총 8차시(차시당 100분)로 구성하였으며, 각 차시는 Table 1의 차시별 세부 교수 방법을 적용하여 프로그램을 완성하였다. 개발된 프로그램의 실험 주제에 따른 차시별 학습 내용 및 주요 실험기법은 Table 3과 같다.

1차시 실험에 사용하는 RcBr (purple stem, hairy/non purple stem, hairless/non purple stem yellow-green leaf)의 명칭을 확인하고, 표현형을 예상한 후 교수자의 설명을 통해 점검해 볼 수 있도록 구성하였다. 모든 과정은 학습자가 스스로 지식을 구성할 수 있도록 교수자는 안내자 역할을 하며, 습득한 지식 중 중요한 부분을 생각하여 활동지에 기록하고, 점검함으로써 전문지식을 습득하게 하였다. 특히 교수자의 시범 실험을 관찰하고, 식물 분자생물학 실험 재료의 준비 방법에 관한 실험 기술을 습득할 수 있도록 구성하였다. 학습자가 수행할 실험에 관해 시범을 보여주며, 제한된 시간에 실험과정을 보여주는 것은 불가능하므로 동영상 제작하여 제시하였다.

2차시는 RcBr 식물 분자생물학 실험을 통해 수행하게 되는 실험기법과 주요 실험기구 및 기기, 실험 시

Table 3. Learning contents and main experimental techniques of each class period according to the experimental theme of the developed program

| 실험 주제 | 차시 (100분) | 학습 내용 | 주요 실험기법 |
|--------------------------------------|--------------|---|-----------------------------------|
| RcBr을 어떻게 키울까? | 1차시 | RcBr 특징 이해, RcBr 재배 방법 및 분자생물학 실험 소재 파악 | RcBr 파종 및 재배 |
| 분자생물학 실험을 위해 알아야 할 것은 무엇일까? | 2차시 | 분자생물학 실험기구 및 기기의 명칭, 실험 용어, 실험 시 안전 수칙 이해, 마이크로피펫, 원심분리기, 혼합교반기 사용법 익히기 | 마이크로피펫 등 실험기자재 사용 |
| RcBr 잎 조직으로부터 genomic DNA를 어떻게 추출할까? | 3차시 | RcBr genomic DNA 추출과 추출한 DNA 농도 및 순도 확인 | 식물 DNA 추출 실험 |
| RcBr 줄기와 잎 색깔이 다른 이유는 무엇일까? | 4차시 | <i>DFR</i> 유전자 일부 DNA 증폭 | PCR 실험 |
| | 5차시 | 아가로스 젤 제작, 젤 전기영동 및 유전자 차이 확인 | 아가로스 젤 제작 및 젤 전기영동 실험 (유전자 차이 확인) |
| 동일한 표현형을 가진 RcBr 개체는 어떻게 구별할 수 있을까? | 6차시 | 프라이머 부착 온도 결정 및 <i>D9BrapaS1</i> , <i>D9BrapaS4</i> , <i>Park9</i> 유전자 DNA 증폭 | PCR 실험 |
| | 7차시 | <i>Park9</i> 유전자 HaeIII 제한효소 처리 | 제한효소 처리 실험 |
| | 8차시 | 아가로스 젤 보관 방법, 젤 전기영동 실험, DNA 프로파일 작성 및 결과 판정 | 젤 전기영동 실험 (유전적 다형성 확인) |

안전수칙을 익힐 수 있도록 수업을 구성하였으며, 실제 마이크로피펫, 원심분리기, 혼합교반기의 사용을 중심으로 원활한 실험이 이루어질 수 있도록 연습할 수 있게 수업을 구성하였다.

3차시에서는 plant DNA mini kit 사용 안내서를 제시한 후 각 실험 원리를 파악하고, 직접 RcBr DNA를 추출할 수 있도록 수업을 구성하였으며, DNA 정량 분석기 사용 방법을 통해 나노드롭으로 추출한 DNA의 흡광도를 얻어 농도를 예측하게 하여 실험 원리를 전체적으로 이해할 수 있도록 하였다. 특히 식물 세포와 구강상피세포 DNA 추출 방법 비교를 통해 문제 해결 상황을 점검하고 피드백할 수 있도록 구성하였다.

4차시 프로그램은 ‘RcBr 줄기와 잎 색깔이 다른 이유는 무엇일까?’라는 주제로 실험에 사용한 RcBr 개체의 유전자형과 표현형에 영향을 주는 안토시아닌의 생성 여부를 확인하고, 안토시아닌 생성에 관여하는 *DFR* 유전자의 특징, DNA의 구조 및 복제 원리와 DNA 이중나선의 특징, PCR 원리 및 방법을 학습할 수 있는 이론수업과 3차시에서 추출한 RcBr genomic DNA를 사용하여 *DFR* 유전자 일부 DNA를 증폭하는 실험 수업을 포함하고 있으며, 모둠별 수업으로 100분간 학습이 이루어지게 하였다. 이 차시의 PCR 실험은 다소 많은 시간이 소요되기 때문에 제한된 수업 시간을 효율적으로 사용하기 위해 PCR 기기 작동시간 동안 적용 단계를 같이 수행할 수 있도록 구성하였다.

이에 적용 단계는 교수적 도움 중지 단계와 함께 진행하였으며, 4차시 프로그램 내용은 Table 4와 같다.

5차시는 아가로스 젤 제작과 DNA 밴드를 확인 할 수 있는 실험 수업으로 구성하였다. 6차시는 ‘동일한 표현형을 가진 RcBr 개체는 어떻게 구별할 수 있을까?’라는 주제로 유전적 다형성의 개념, DNA 프로파일링의 개념 및 기법과 RcBr 개체를 구별할 수 있는 최적의 VNTR 및 PCR-RFLP 마커가 무엇인지 파악할 수 있는 이론수업과 3차시 때 추출한 RcBr genomic DNA를 사용하여 RcBr 개체의 유전적 다형성 부위를 증폭하는 실험 수업을 포함하고 있으며, 모둠별 수업으로 100분간 프로그램 수업이 이루어지도록 하였다. 이 차시의 PCR 실험은 다소 시간이 소요되기 때문에 제한된 수업 시간을 효율적으로 사용하기 위해 PCR 기기 작동시간 동안 적용 단계를 같이 수행할 수 있도록 구성하였다. 그러므로 적용 단계는 교수적 도움 중지 단계와 함께 진행되었으며, 6차시 프로그램 내용은 Table 5와 같다.

4~5차시에는 서로 다른 표현형을 가진 RcBr 개체를 사용하여 *DFR* 유전자의 차이를 확인하는 실험 내용으로 구성되었고, 6~8차시는 동일한 표현형을 보이는 RcBr 개체의 유전적 다형성에 근거하여 분자생물학적으로 구별할 수 있는 실험 내용으로 구성되어 있다. 이에 6차시에는 유전적 다형성, SNP, RFLP, STR, VNTR의 개념을 파악하여 개체마다 고유한 DNA 프로파일을 가지는 이유를 파악할 수 있도록 구

Table 4. Contents of the 4th period program according to the cognitive apprenticeship model

| 교수 단계(시간) | 교수 방법 | 교수 학습 내용 |
|---------------------|-------|--|
| 수업준비(30분) | 스캐폴딩 | <ul style="list-style-type: none"> SNS로 배부된 첨부 자료(DNA 구조 및 복제 원리와 DNA 이중나선의 특징, PCR 원리) 제시 교수자 제시 내용 및 활동지의 실험에 관한 이론적 고찰 파악 |
| | 코칭 | <ul style="list-style-type: none"> RcBr 개체의 표현형 관찰 및 RcBr 개체의 특징, 안토시아닌 색소의 특성 및 기능, <i>DFR</i> 유전자의 특성 설명 RcBr 표현형 차이 원인(<i>DFR</i> 유전자 차이에 따른 안토시아닌 색소 합성 차이) 파악 유도 및 피드백 제공 <i>DFR</i> 유전자 차이를 확인할 수 있는 적절한 프라이머 파악 유도 DNA의 구조 및 복제 원리, DNA 이중나선의 특징 파악 유도 PCR 실험 시 필요한 물질과 PCR 원리 파악 유도 |
| | 명료화 | <ul style="list-style-type: none"> 학습한 내용 중 중요하다고 생각한 부분의 활동지 기록 안내 및 점검 |
| 시범(10분) | 모델링 | <ul style="list-style-type: none"> PCR 시료 제작 시범 및 PCR 기기 사용 방법 동영상 제시 전문가 시범 관찰을 통한 중요 부분 활동지 기록 학습자 활동지 기록 내용 점검 |
| 교수적 도움 제시(15분) | 스캐폴딩 | <ul style="list-style-type: none"> 실험 전 준비사항 제시 Taq PCR smart mix 1의 구성 시약 및 장점 제시 PCR 기기 세팅 온도 제시 |
| | 코칭 | <ul style="list-style-type: none"> 실험 전 준비사항(준비물, 라벨링, 주의 사항) 파악 유도 Taq PCR smart mix 1의 구성 및 장점 파악 유도 PCR 기기 세팅 온도 설정 계획 수립 도움 |
| 교수적 도움 중지 및 적용(35분) | 페이딩 | <ul style="list-style-type: none"> 추출 genomic DNA를 사용한 PCR 시료 제작 PCR 기기 세팅 및 <i>DFR</i> 유전자 일부 DNA 증폭 실험 |
| | 명료화 | <ul style="list-style-type: none"> 실험 수행과정 기록 및 <i>DFR</i> 유전자 일부 DNA 증폭 여부 확인(DNA 정량분석기 사용: 본 차시 수업 시간 이후) |
| | 탐구 | <ul style="list-style-type: none"> PCR 설정 온도에 따른 DNA 증폭 과정 추론 Taq PCR smart mix 1을 사용하지 않을 때 추가로 첨가할 시료 추론 PCR 실험 후 DNA 증폭 여부 확인 실험 추론 문제 해결 상황 점검 및 피드백 제공 |
| 정리(10분) | 반성 | <ul style="list-style-type: none"> 학습에 대한 반성 및 자기 평가 안내 |

성하였다. 또한, VNTR 기법과 PCR-RFLP 기법의 DNA 프로파일링 기법을 이해하여 RcBr 개체를 구별할 수 있는 최적의 VNTR 마커(*D9BrapaS1*, *D9BrapaS4*)와 PCR-RFLP 마커(*Park9-HaeIII*)를 파악할 수 있도록 하였으며, 학습자가 RcBr 개체를 구별하는 방법과 원리를 인지할 수 있도록 구성하였다.

학습자는 실험을 위한 이론적 배경을 파악한 후 실험을 수행하고, 점검하는 과정을 통해 PCR 실험에 관한 전문지식과 실험 기술을 습득하게 된다. RcBr 식물 프로그램에서 PCR 실험은 4차시와 6차시에 두 번에 걸쳐 이루어진다. 6차시 수업에서는 PCR 기기 세팅 방법과 PCR 시료 제작 방법과 관련한 실험과정을 일부 제시하여 학습자가 직접 실험을 설계하고 수행할 수 있도록 하였으며, 교수자의 도움 제시는 최소화할 수 있도록 하였다. 이 과정을 통해 학습자는 PCR

실험에 관한 실험 기술이 더욱 향상될 수 있으며, 반복 실험 시 교수 방법이 달라져야 한다는 것을 인지할 수 있었다. 즉, 교수자는 학습자의 학습활동에 개입을 최소화하고, 학습자가 스스로 실험 설계하고 수행할 수 있도록 보조자 역할을 하도록 하였다(Kim, 2018b).

2. 개발된 인지적 도제 기반의 RcBr 식물 프로그램의 적용 결과

1) 분자생물학 인지기능 검사 결과

분자생물학 인지기능 검사는 학습자의 분자생물학 지식 활용 정도를 파악할 수 있는 검사로서 학습자의

Table 5. Contents of the 6th period program according to the cognitive apprenticeship model

| 교수 단계(시간) | 교수 방법 | 교수·학습 내용 |
|---------------------|-------|---|
| 수업준비(20분) | 스캐폴딩 | <ul style="list-style-type: none"> SNS로 배부된 첨부 자료(유전적 다형성 개념, DNA 프로파일링 기법, DNA 변성 확인 방법) 제시 교수자 제시 내용 및 활동지의 실험에 관한 이론적 고찰 파악 |
| | 코칭 | <ul style="list-style-type: none"> 유전적 다형성, SNP, RFLP, STR, VNTR의 개념 설명 개체마다 고유한 DNA 프로파일을 갖는 이유 파악 유도 DNA 프로파일 기법(VNTR, PCR-RFLP) 설명 RcBr 개체를 구별할 수 있는 최적의 VNTR 마커와 PCR-RFLP 마커 파악 유도 프라이머의 Tm 값 개념 설명을 통해 PCR 기기 세팅 시 프라이머 부착 온도 설정값의 의미 파악 유도 |
| | 명료화 | <ul style="list-style-type: none"> 학습한 내용 중 중요하다고 생각한 부분에 대한 활동지 기록 안내 및 점검 |
| 시범(10분) | 모델링 | <ul style="list-style-type: none"> PCR 기기 사용 방법 동영상 제시 및 새로운 PCR 기기 사용 방법 시범 전문가 시범 관찰을 통한 중요 부분 활동지 기록 학습자 활동지 기록 내용 점검 |
| 교수적 도움 제시(20분) | 스캐폴딩 | <ul style="list-style-type: none"> 실험 전 준비사항 제시 PCR 기기 세팅 온도 일부 제시 PCR 시료 제작 조건 제시 |
| | 코칭 | <ul style="list-style-type: none"> 실험 전 준비사항(준비물, 라벨링, 주의 사항) 파악 유도 PCR 기기 세팅 온도 설정 계획 수립 도움(프라이머 부착 온도 강조) PCR 시료 제작 계획 수립 도움 |
| 교수적 도움 중지 및 적용(40분) | 페이딩 | <ul style="list-style-type: none"> 3차시 추출한 genomic DNA를 사용한 PCR 시료 제작 PCR 기기 세팅 및 VNTR 마커를 사용한 유전적 다형성 부위 증폭 |
| | 명료화 | <ul style="list-style-type: none"> 실험 수행과정 기록 및 유전적 다형성 부위 증폭여부 확인(DNA 정량분석기 사용 : 본 차시 수업 시간 이후) |
| | 탐구 | <ul style="list-style-type: none"> 유전적 다형성 개념 이해 및 사람의 유전적 다형성 부위 확인 방법 추론 배추 속 식물의 진화상 근연관계 파악을 위한 프라이머 제작 방법 추론 문제 해결 상황 점검 및 피드백 제공 |
| 정리(10분) | 반성 | <ul style="list-style-type: none"> 학습에 대한 반성 및 자기 평가 안내 |

분자생물학 일반적 인지기능(기억, 이해, 적용)과 고차적 인지기능(문제해결기술, 메타인지)을 측정할 수 있으며, 개발된 RcBr 식물 프로그램이 학습자의 분자생물학 인지기능 향상에 도움을 주는지 분석하여 프로그램의 효과를 검증할 수 있다. 분자생물학 인지기능 검사 결과의 정량 분석 및 정성분석은 다음과 같다.

(1) 분자생물학 인지기능 검사 결과의 정량적 분석

분자생물학 인지기능의 영역별 향상 효과를 구체적으로 알아보기 위해 분자생물학 인지기능 검사 결과를 일반적 인지기능과 고차적 인지기능의 두 영역으로 구분하고 사전·사후 점수를 분석한 후 대응 표본 *t*-test를 실시한 결과는 Table 6과 같다.

Table 6. Paired *t*-test of pre-test and post-test scores for each domain of cognitive function in molecular biology

| 영역 | 구분 | <i>M</i> | <i>SD</i> | <i>t</i> | <i>p</i> |
|------------------------|----|----------|-----------|----------|----------|
| 일반적 인지기능 [†] | 사전 | 12.9 | 3.85 | -10.848 | .000* |
| | 사후 | 22.9 | 4.12 | | |
| 고차적 인지기능 ^{††} | 사전 | 6.2 | 3.35 | -12.788 | .000* |
| | 사후 | 18.1 | 2.59 | | |

[†]33점 만점, ^{††}24점 만점, **p* < .001

Table 7. Paired *t*-test of pre-test and post-test scores for each domain of cognitive function in molecular biology between two groups

| 그룹 | 영역 | 구분 | N | M | SD | t | p |
|------|-------------|----|---|------|------|---------|-------|
| 그룹 X | 일반적 인지기능 | 사전 | 9 | 12.9 | 3.82 | -7.079 | .000* |
| | | 사후 | 9 | 23.0 | 4.18 | | |
| | 고차적 인지기능 | 사전 | 9 | 7.8 | 2.44 | -11.857 | .000* |
| | | 사후 | 9 | 17.0 | 2.69 | | |
| 그룹 Y | 일반적 인지기능 | 사전 | 9 | 12.9 | 4.11 | -7.878 | .000* |
| | | 사후 | 9 | 22.9 | 4.31 | | |
| | 고차적 인지기능 | 사전 | 9 | 4.6 | 3.47 | -13.118 | .000* |
| | | 사후 | 9 | 19.2 | 2.05 | | |

**p* < .001

검사 결과, 일반적 인지기능과 고차적 인지기능 모두 유의미한 향상 효과를 보였으며, 과학 교과에서 인지적 도제학습이 일반적 인지기능과 고차적 인지기능의 향상에 더 도움을 준다는 Kim (2013)의 연구 결과와 일치하며, 특히 인지적 도제학습 적용 인터넷 기반 생물정보학 수업 프로그램이 전문과학자로부터 도제를 받은 과학영재 학생들의 분자생물학 지식, 탐구능력 및 문제해결능력과 메타인지능력의 고차적 인지기능이 향상하는 데 도움을 준다는 Charney *et al.* (2007)의 연구 결과와 일치한다. 이는 학습자가 교수자의 실험 주제에 관한 문제해결방법을 관찰하고, 스스로 문제 해결을 위한 실험 설계 및 점검, 평가하는 과정에서 분자생물학 지식 및 실험 기술을 내면화할 수 있었고, 습득한 지식과 기술을 사용하여 과제를 해결해 나가는 과정에서 고차적 인지기능이 향상되었다고 판단하였다(Kim, 2018b).

학습자의 사전 분자생물학 실험 경험 여부에 따라 영역별 인지기능 향상 효과 차이가 있는지 알아보기 위해 실험 수행 경험이 있는 학습자를 그룹 X, 실험을 수행 경험이 없는 학습자를 그룹 Y로 구분하고, 일반적 인지기능과 고차적 인지기능의 두 영역으로 구분하여 사전·사후 점수를 분석한 후 대응 표본

t-test를 실시한 결과는 Table 7과 같다.

검사 결과, 두 그룹 모두 영역별 인지기능에서 유의미한 향상 효과를 보이며, 사전·사후 분자생물학 인지기능 평균 점수의 차이가 비슷하고, 분자생물학 실험 경험 여부가 인지기능 향상 차이를 유발하지는 않는다고 판단할 수 있다. Jeon & Yu (2011)가 말하고 있는 축적된 풍부한 경험이 새로운 학습을 방해한다는 연구 결과와 다른 점은 예비교사의 분자생물학적 과거 실험 경험이 단순히 안내서만을 따라 하거나 반성적 고찰 없이 이루어져 있으므로 경험 부족을 시사한다고 할 수 있으며, Jarvis (2001)와 Merriam *et al.* (2007)의 연구 결과에서 보듯이 축적된 경험과 새로운 학습 경험의 불일치한 상황에서 자신에게 익숙한 것을 선택하지만 예비교사의 경험 부족의 상태는 분자생물학 프로그램의 효과 검증에 있어 신뢰성을 높인다고 판단할 수 있을 것이다.

(2) 분자생물학 인지기능 검사 결과의 정성적 분석

학습자의 분자생물학 인지기능 향상 효과를 구체적으로 알아보기 위해 4명의 정성분석 대상자를 선정하여 검사 결과를 분석하였다. 정성분석 대상자는 분자

Table 8. Subject characteristics based on the change of cognitive function test scores on molecular biology

| 구분 | 학습자 A | 학습자 B | 학습자 C | 학습자 D |
|---------------|----------------|----------------|---------------|----------------|
| 성별 | 여 | 남 | 여 | 여 |
| 분자생물학실험 경험 여부 | 경험 | 경험 | 경험 없음 | 경험 없음 |
| 인지기능 점수변화 | 25→48 (+23) | 21→34 (+13) | 9→42 (+33) | 18→39 (+21) |
| 일반적 인지기능 점수변화 | 14→28 (+14) | 15→20 (+5) | 6→24 (+18) | 10→18 (+8) |
| 고차적 인지기능 점수변화 | 11→20 (+9) | 6→14 (+8) | 3→18 (+15) | 8→21 (+13) |

생물학 실험 경험 여부에 따라 분자생물학 인지기능 사전·사후 점수의 변화량이 가장 큰 학습자 1명과 변화량이 가장 작은 학습자 1명을 각각 선정하였다. 정성분석 대상자의 학습자 특성은 Table 8과 같다(Kim, 2018b).

특히, 분자생물학 실험 경험이 없는 학습자 C의 경우 인지기능 점수변화 폭이 가장 컸으며, 상대적으로 고차적 인지기능 점수변화가 가장 크게 향상되었다. 학습자 C의 분자생물학 인지기능 사전·사후 점수의 변화는 Table 9와 같다.

학습자 C의 경우, 사전검사에서 9점을 받아 매우 낮은 점수를 보였으나 분자생물학 인지기능 점수 변화량이 13점으로 18명의 학습자 중 가장 높은 점수의 향상을 보였다. 사전검사 점수가 낮은 이유는 응답하지 못한 문항이 다른 학습자들보다 많았으며, 설사 응답했다더라도 그릇된 내용을 입력하여 낮은 점수를 받았기 때문이다. 하지만 인지기능의 하위요소에 대해 전반적

으로 향상된 모습을 보였으며, 특히 적용과 관련한 문항에서 12점, 문제해결기술과 관련한 문항에서 10점이 사전보다 매우 높게 향상하는 결과를 보였다. 메타인지 기능 관련 문항의 경우는 사후에 11점 만점 중 8점으로 상대적으로 높은 점수를 받았다. 이에 적용과 문제해결기술 문항 중 각 2개 문항과 메타인지 기능과 관련한 문항 중 1개 문항을 선정하여 응답 내용을 분석하였다. 학습자 C의 사전·사후 응답 내용은 Table 10과 같다.

응답 내용을 분석한 결과, 사전의 응답 내용이 미흡하거나 잘못 응답한 내용이 많았지만, 사후에는 응답 내용이 구체화하고 명료화되었으며, 문항에서 원하는 응답에 근접해 가고 있음을 알 수 있었다. 학습자 C는 분자생물학 이론 수업을 들었지만, 실험 경험이 없었고, 응답 내용을 살펴보았을 때 분자생물학 학습을 위해 이론 수업만을 진행하기보다는 실험을 같이하여 수업을 진행한다면 학습자의 분자생물학 인지기능

Table 9. Learner C's pre-test and post-test scores of cognitive function on molecular biology

| 구분 | 전체 | 기억 | 이해 | 적용 | 문제해결기술 | 메타인지 |
|-----|-----|----|----|-----|--------|------|
| 사전 | 9 | 3 | 3 | 0 | 0 | 3 |
| 사후 | 42 | 5 | 7 | 12 | 10 | 8 |
| 변화량 | +33 | +2 | +4 | +12 | +10 | +5 |

Table 10. Learner C's responses to questions of the cognitive function test on molecular biology

| 문항 | 지식 | 인지기능 | 학습자 C의 응답 | |
|------|-----------------------|---------|-----------|--|
| 3-2) | PCR 기기 세팅 원리 및 방법 | 적용 | 사전 | PCR에 대해 배웠는데, 각 과정에 대한 설명을 모르겠어요. |
| | | | 사후 | 94°C에서는 열에 의해 DNA의 이중가닥이 분리되고, 61°C에서 프라이머가 각 가닥에 부착한다. 72°C에서 Taq 중합효소가 활성화되어 DNA 합성이 이루어진다. 8 사이클을 돌리면 최종 증폭되는 DNA 분자 수는 2 ⁸ 개이다. |
| 5-1) | 젤 전기영동 장치 원리 및 사용 방법 | 적용 | 사전 | 전기영동 실험에 대해 잘 알지 못해 모르겠습니다. |
| | | | 사후 | 아가로스 젤 홈은 (-)극을 향하게 놓아야 한다. 그래야 젤 홈에 로딩된 DNA가 전기장을 따라 (+)극으로 전개될 수 있기 때문이다. 전류가 흐르면 DNA의 크기에 따라 전개 속도가 달라서 DNA가 분리된다. 이때 큰 분자는 느리게 전개되고 작은 분자는 빠르게 전개된다. |
| 7-2) | 제한효소 기능 및 활용 방법 | 문제해결 기술 | 사전 | 적절한 제한효소를 찾는 방법을 모르겠어요. |
| | | | 사후 | ATCGAT를 인식 절단하는 <i>Clal</i> I으로 Z개체를 구분하고, 이후 GGCC를 인식 절단하는 <i>Hae</i> III를 사용해 X와 Y개체를 구분한다. |
| 8 | DNA 프로파일 결과 판정 | 문제해결 기술 | 사전 | B일 가능성이 크다. 유전자좌 2를 보면 C의 밴드 중 M이 갖는 밴드 한 개와 B가 갖는 밴드 한 개를 갖는 것을 볼 수 있다. |
| | | | 사후 | A일 가능성이 크다. 유전자좌 1, 2에서는 어미의 DNA 밴드를 제외했을 때 A와 B 모두 C와 같은 DNA 밴드를 갖고 있어서 부계를 알 수 없다. 유전자 좌 3에서 B의 부계가 아님을 알 수 있다. |
| 9-3) | 동물과 식물의 DNA 추출 방법의 차이 | 메타인지 | 사전 | 식물 잎의 세포벽이 존재하기 때문에 세포벽을 제거하는 단계가 추가되어야 할 것 같다. |
| | | | 사후 | 식물세포의 세포벽 제거 단계가 필요한데, ①, ② 단계를 지우고, 막자사발과 액체질소를 이용하여 식물 세포벽을 제거할 수 있는 단계가 추가되어야 한다. |

향상에 도움 줄 것으로 판단되며, 개발된 프로그램은 학습자의 인지기능 향상에 도움을 준다고 판단할 수 있다.

한편, 인지기능 점수변화 폭이 가장 작은 학습자 B의 분자생물학 인지기능 사전·사후 점수의 변화는 Table 11과 같다. 학습자 B의 경우, 분자생물학 인지기능 점수 변화량이 13점으로 분자생물학 실험 경험이 있는 학습자 중 가장 낮은 점수의 향상을 보였다. 학습자 B의 경우, 학습자 A와 다르게 기억과 이해 문항에 대해서는 향상된 모습을 보이지 못하였으며, 이것이 결과적으로 전체 점수의 변화량이 작았던 것으로 판단된다.

기억에 관한 문항 중 2개 문항과 이해에 관한 문항 중 3개 문항을 선정하여 무엇이 문제였는지 응답 내용을 분석하였다. 학습자 B의 사전·사후 응답 내용은 Table 12와 같다. 기억에 관한 문항은 사전·사후 검

사에서 다른 문항들보다 응답을 많이 못 하였고, 응답하였더라도 그릇되게 응답한 내용이 많았다. 이해에 관한 문항의 경우, 사후 응답이 사전에 비해 다소 논리적으로 작성되었지만, DNA 중합효소와 프라이머의 역할에 관한 문항을 보면 복제 방향과 복제를 위한 프라이머의 역할을 잘못 기술하였으며, DNA 반보존적 복제 관련 문항에서는 사후 응답이 사전 응답과 똑같이 기술되어 있다. 이는 정량 분석 결과와 마찬가지로 Jeon & Yu (2011)의 연구 결과와 같이 단편적인 분자생물학 실험의 과거 경험이 새로운 학습을 방해하고 있다는 것을 확인할 수 있었으며, 이러한 결과는 학습자 B가 축적된 경험과 새로운 학습 경험의 불일치 상황에서 자신에게 익숙한 것을 선택하거나 일부분만 받아들여 부분적인 변화를 시도했기 때문으로 생각한다.

Table 11. Learner B's pre-test and post-test scores of cognitive function on molecular biology

| 구분 | 전체 | 기억 | 이해 | 적용 | 문제해결기술 | 메타인지 |
|-----|-----|----|----|----|--------|------|
| 사전 | 21 | 3 | 7 | 5 | 4 | 2 |
| 사후 | 34 | 3 | 6 | 11 | 6 | 8 |
| 변화량 | +13 | +0 | -1 | +6 | +2 | +6 |

Table 12. Learner B's responses to questions of the cognitive function test on molecular biology

| 문항 | 지식 | 인지기능 | 학습자 B의 응답 | |
|------|-------------------------|------|-----------|---|
| 3-1) | PCR 시료 제작 시 필요한 시료 및 시약 | 기억 | 사전 | - |
| | | | 사후 | TE buffer, DNA 염색약, 3차 증류수 |
| 9-1) | DNA 추출 시약의 기능 | 기억 | 사전 | 핵막 제거 |
| | | | 사후 | 계면활성제는 원형질막을 녹여 DNA가 핵막과 세포막으로부터 나올 수 있게 해준다. |
| 1-2) | 식물 DNA 추출 원리 | 이해 | 사전 | 식물세포의 DNA를 추출하기 위해서는 세포벽을 제거한 후 핵막을 제거해야 한다. |
| | | | 사후 | 식물세포의 DNA 추출을 위해서 먼저 세포벽을 파괴하고, 원형질막을 녹여서 DNA를 추출한다. 또한, 식물세포는 광합성을 통해 대사산물이 많으므로 좀 더 순도 높은 DNA를 원한다면 원심분리기를 이용해 spin down 시켜서 불순물을 제거하도록 한다. |
| 2-1) | DNA 복제에 관여하는 물질들의 역할 | 이해 | 사전 | DNA 중합효소는 DNA 복제 과정 중 한 가닥을 주형으로 반대편 가닥을 중합하는 역할을 한다. |
| | | | 사후 | DNA 중합효소는 한 가닥을 주형으로 3'→5' 방향 사슬을 신장시키며, 프라이머는 3' 말단을 제공한다. |
| 2-2) | DNA 반보존적 복제 원리 | 이해 | 사전 | 반보존적 복제 증명 실험 15N-14N 가닥 : 12.5% 14N-14N 가닥 : 87.5% |
| | | | 사후 | DNA가 반보존적 복제를 한다는 것을 증명한 실험이다. 15N과 14N으로 구성됨 : 12.5% 14N으로만 구성됨 : 87.5% |

2) 영역 일반적 메타인지 기능 검사 결과

영역 일반적 메타인지 기능 검사는 Park (2010)이 개발한 검사지를 사용했으며, Table 13과 같이 메타인지적 지식과 조절의 두 영역으로 구분하고, 사전·사후 점수 차이의 값을 이용하여 대응 표본 *t*-test를 실시하였다. 그 결과 영역 일반적 메타인지 기능은 유의미한 향상을 보였는데, 이는 인지적 도제학습에 근거하여 지도한 집단이 영역 일반적 메타인지 기능 향상에 효과적이라는 Jager *et al.* (2005)의 연구 결과와 일치하였다. 또한, 검사 결과 영역 일반적 메타인지의 하위영역인 지식과 조절 영역 모두에서 유의미한 향상 효과를 보였다.

아울러 메타인지적 지식의 하위요소인 사람, 과제, 전략과 메타인지적 조절의 하위요소인 계획, 점검, 평가로 구분하고 사전·사후 점수 차이의 값을 이용하여 대응 표본 *t*-test를 실시한 결과는 Table 14와 같다.

그 결과 메타인지적 지식의 하위요소 중 과제 부분

과 메타인지적 조절의 모든 하위요소에서 유의미한 향상을 보였다. 이러한 결과는 인지적 도제학습 적용 시 모든 영역과 하위요소의 메타인지 기능이 향상된다는 Park (2010)과 Jeong (2011)의 연구 결과와는 다를 수 있다. 이는 개발된 프로그램이 매 차시 학습자가 반성적 자기 평가를 할 기회를 제공하더라도 단시간에 모든 영역의 메타인지 기능을 향상시키는 데는 무리가 있으며, 영역 일반적 메타인지 기능이 오랫동안 연습을 통해 발달시켜야 한다는 Doran & Cameron (1995)의 의견과 일치한다. 하지만 총 8차시로 구성된 RcBr 식물 프로그램은 모든 영역은 아니지만, 교수가 제시한 문제의 중요성과 의미를 파악하고, 문제를 해결할 때 비슷한 문제를 해결해 본 적이 있는지 기억하는 과제 관련 메타인지적 지식과 문제를 해결하기 위해 계획하고, 점검하고 평가하는 메타인지적 조절의 영역 일반적 메타인지 기능을 향상할 수 있다고 판단된다(Lee, 2010; Flavell, 1976).

Table 13. Paired *t*-test result of pre-test and post-test scores for each domain of domain-general metacognitive abilities

| 영역 | 구분 | N | M | SD | t | p |
|-------------|----|----|-----|-----|--------|--------|
| 영역 일반적 메타인지 | 사전 | 18 | 3.5 | .34 | -4.039 | .001* |
| | 사후 | 18 | 3.8 | .48 | | |
| 메타인지적 지식 | 사전 | 18 | 3.7 | .34 | -2.493 | .023** |
| | 사후 | 18 | 3.9 | .43 | | |
| 메타인지적 조절 | 사전 | 18 | 3.3 | .37 | -4.797 | .000* |
| | 사후 | 18 | 3.7 | .55 | | |

p* < .01; *p* < .05

Table 14. Paired *t*-test result of pre-test and post-test scores for each sub-factor of two domains in domain-general metacognitive abilities

| 영역(하위요소) | 구분 | M | SD | t | p | |
|----------|----|----|-----|-----|--------|-------|
| 메타인지적 지식 | 사람 | 사전 | 3.7 | .35 | -1.678 | .112 |
| | | 사후 | 3.8 | .58 | | |
| | 과제 | 사전 | 3.8 | .37 | -3.683 | .002* |
| | | 사후 | 4.0 | .44 | | |
| 메타인지적 조절 | 전략 | 사전 | 3.6 | .50 | -1.457 | .163 |
| | | 사후 | 3.8 | .46 | | |
| | 계획 | 사전 | 3.6 | .41 | -3.080 | .007* |
| | | 사후 | 3.9 | .49 | | |
| 메타인지적 조절 | 점검 | 사전 | 3.3 | .47 | -3.921 | .001* |
| | | 사후 | 3.8 | .61 | | |
| | 평가 | 사전 | 3.1 | .47 | -2.855 | .009* |
| | | 사후 | 3.4 | .70 | | |

* *p* < .01

3) 과제 및 심층 면담 분석 결과

개발된 프로그램을 통해 습득한 지식과 기술을 적절히 활용하여 학습자가 RcBr 부계 찾기 수업흐름도를 올바르게 작성하였는지 알아보기 위해 과학교육 전문가 1인과 함께 18명의 과제를 분석하였다. 학습자 18명 중 14명이 작성한 과제는 자손 개체의 재배부터 수업을 시작할 수 있도록 수업흐름도를 작성했지만, 4명은 부계와 모계 개체의 재배부터 수업을 시작할 수 있도록 작성하였다. 자손 개체의 재배부터 수업을 시작한 14명 중 8명은 부계와 모계 개체의 DNA 프로파일을 제작한 후 결과를 판정할 수 있도록 하였지만, 그중 4명은 부계와 모계 개체의 DNA를 추출할 수 있도록 잎을 냉동 보관하여 사용할 수 있도록 구성하였다. 나머지 2명은 부계와 모계 개체의 DNA와 자손 개체의 DNA를 동시에 추출하는 방향으로 수업을 구성하였으며, RcBr 생활사에 따라서 부계와 모계 개체의 DNA 추출과 자손 개체의 DNA 추출을 동시에 이루어질 수 없으므로 잘못된 수업흐름도 작성이라 판단하였다. 부계와 모계 개체의 재배부터 시작한 4명의 수업흐름도를 분석한 결과, 3명은 RcBr의 생활사를 고려하여 차시를 구성하였고, 나머지 1명은 RcBr 개체의 수분과 종자를 수확하는 기간을 짧게 두어 수업흐름도를 올바르게 작성하지 못하였다. 수업흐름도의 실험 기술과 교수 기술 적용 측면에서 개인차가 존재하였으며, 가장 뚜렷한 차이는 전기영동 실험 구성 방법에서 찾을 수 있었다. 학습자 18명 중 11명은 시간상 아가로스 젤을 교수가 직접 제작하여 준비하는 데 반해, 7명은 학습자가 직접 아가로스 젤을 제작하도록 수업을 구성하였다. 수업흐름도를 올바르게 작성하지 못한 학습자 3명의 경우, 수업 흐름이 논리적이지 않았지만, 차시별 내용을 살펴보면 습득한 지식과 실험 기술 및 교수 기술을 적절히 사용하여 구성하였다.

분자생물학 인지기능 향상 점수가 33점으로 가장 높은 학습자인 학습자 C의 과제 수업흐름도는 Table

15에 제시하였고, 심층 면담 질문과 응답 내용은 Table 16에 제시하였다.

학습자 C의 과제 및 심층 면담 분석 결과는 Table 17과 같다. 과제 및 심층 면담 분석 결과, RcBr F₁ 개체의 부계 찾기에 관해 개발된 RcBr 식물 프로그램의 두 번째 실험 주제인 개체 구별과의 유사점과 차이점을 정확하게 파악하고 있었으며, 수업 흐름이 문제를 해결하는 방식으로 설계되어 있었다. RcBr F₁ 개체의 부계 찾기 수업흐름도 작성 시 고려해야 할 사항은 부모와 자손의 세대 간 시간 차가 존재하기 때문에 RcBr 부계와 모계 개체의 DNA를 교수자나 학습자 중 누가 추출한 것인가 중요한 문제인데 심층 면담 분석 대상자는 이 문제를 잘 파악하고 있었으며, 교수가 직접 부계와 모계 개체로부터 추출한 DNA를 사용하여 프로파일을 작성한 후 학습자에게 제공해줄 수 있도록 수업흐름도를 작성하였다. 또한, 과제 분석 결과, 교수가 사전에 준비할 사항과 실험 시 주의해야 할 사항에 대해 구체적으로 기록해 놓았으며, 차시별 지도방안에 대해서도 구체적으로 기록하고 있었고, 향후 학교 현장의 제약점을 파악하여 자신의 실험 방법을 변경하거나 실험 시 걸리는 시간을 적절히 활용한다는 심층 응답 내용을 종합해 볼 때 과제를 올바르게 수행했다고 판단할 수 있었다. 이러한 결과는 분자생물학 인지기능이 과제 수행에 도움을 준다고 판단할 수 있었다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 예비교사의 분자생물학 전문지식 및 실험 기술을 함양할 수 있는 실제적 경험을 제공하여 과학교사로서 갖추어야 할 실험 수업에 관한 핵심 역량을 함양시킬 것을 목표로 하였다. 이에 인지적 도제 학습의 교수 단계와 7가지의 교수 방법을 활용하여 개발된 RcBr 식물 프로그램을 적용하여 단순히 식물 분자생물학의 전문지식과 실험 기술만을 습득하는 것

Table 15. Class flowchart of the assignments performed by Learner C

| 차시 | 수업 주제 |
|----|---|
| 1 | 들어가기-오리엔테이션 및 F1 개체 RcBr 키우기 |
| 2 | 분자생물학 실험 기초 다지기-분자생물학 실험 기기 및 실험 용어 익히기 |
| 3 | RcBr 유전체 DNA 추출하기 |
| 4 | PCR 실험하기 - DNA 프로파일링에 사용할 유전자 증폭하기 |
| 5 | DNA 프로파일링(1) - DNA 프로파일링 개념 수업 |
| 6 | DNA 프로파일링(2) - 제한효소 처리 실험 |
| 7 | DNA 프로파일링(3) - 아가로스 젤 제작 및 전기영동 실험 |
| 8 | 정리하기-실험 결과 확인 및 쪽지 시험 |

Table 16. Learner C's responses to the in-depth interview questions

| 질문 | 응답 |
|---|---|
| <p>Q1. RcBr 식물 프로그램의 2번째 주제인 '동일한 표현형을 가진 RcBr 개체를 어떻게 구별할 수 있을까?'를 해결하는 방법과 'RcBr 부계 찾기 수업흐름도 작성' 과제를 해결하는 방법 사이 유사점과 차이점이 무엇이라고 생각하고 과제를 수행하였나요?</p> | <p>A1. 유사점은 두 과제 모두 유전적 다형성을 이용하여 DNA 프로파일을 만들어 분석한다는 점이고, 차이점은 DNA 프로파일을 분석하는 방법이 다. 개체 구별의 경우 서로의 DNA 밴드 차이를 보았지만, 부계 찾기는 차이점을 살피기보다는 모계-자손-부계 후보 간의 관계성을 보았다.</p> |
| <p>Q2. 'RcBr 부계 찾기 수업흐름도 작성' 과제를 수행할 때 어떠한 부분을 중점적으로 생각하여 수업흐름도를 작성하였나요?</p> | <p>A2. 문제해결 과정을 파악하고 해결 과정에 따라 수업 차시를 구성했습니다. 수업 시작 시 전체 흐름 중 어느 과정에 해당하는지를 언급해 학습자가 전체 실험의 의의와 흐름을 파악할 수 있게 설계하였습니다.</p> |
| <p>Q3. 'RcBr 부계 찾기 수업흐름도 작성' 과제를 수행하면서 느낀 점과 자신의 어떠한 부분이 향상되었다고 생각하나요?</p> | <p>A3. 가장 큰 것은 수업을 준비하는 데 단순한 교수 내용 외에도 준비해야 할 것이 상당히 많다는 것을 느꼈으며 이를 큰 흐름에서 찾아내고 대처하는 능력이 향상되었다고 생각합니다.</p> |
| <p>Q4. 본인이 RcBr 식물 실험 프로그램을 진행한다면 수업을 어떻게 진행할 건가요?</p> | <p>A4. 분자생물학 실험을 실제 학교에서 진행할 경우 가장 문제가 될 수 있는 것은 장비의 부족과 실험에 걸리는 시간이라고 생각합니다. 제가 다녔던 고등학교도 그랬고, 평범한 중고등학교라면 학교 내에 비싼 PCR 기기나 전기영동 기기, 향온기 등의 실험 기기가 비치되어 있지 않을 가능성이 클 것입니다. 이런 열악한 환경에서 실험을 진행하려면 대체할 수 있는 기기나 실험 방안이 필요할 것 같습니다. PCR 실험의 경우 DNA 합성 cycle을 30회에서 10회로 줄여 직접 행하는 방법이 있고, 제한효소 처리실험의 경우 향온기계 대신 향온 수조를 사용하는 방법이 있을 것 같습니다. 두 번째는 실험하는 동안 비는 시간이 생긴다는 점입니다. 한 차시에 전기영동과 DNA 밴드 확인을 함께 진행할 경우 DNA가 전개되는 데 약 30분의 시간이 걸리며, 제한효소 처리실험에서도 중간중간 몇십 분씩 간격이 생기게 되는데 이런 비는 시간을 잘 활용하여 학생들이 산만해지지 않도록 하는 것이 중요할 것 같습니다. 학습지를 나누어 주거나 실험 배경 이론을 복습하는 등의 활동을 통해 이러한 문제를 해결할 수 있도록 하는 것이 좋을 것 같습니다.</p> |

에 목적을 두지 않고, 전문가의 교수 전략과 방법을 익히고 반성할 수 있도록 하였다. 개발된 프로그램의 효과를 검증하기 위해 분자생물학 인지기능과 영역 일반적 메타인지 기능 향상 여부를 정량적으로 분석하고, 수업흐름도 작성 과제와 심층 면담 자료를 정성적으로 분석하였다. 이 연구를 통해 설정했던 연구 문제에 대한 결론과 제한점은 다음과 같다.

첫째, 인지적 도제 모델 기반의 개발된 프로그램은 RcBr 개체의 표현형 차이와 RcBr 개체 구별 방법의 두 가지의 실험 주제를 통합하여 RcBr 재배, 실험기자재 익히기, DNA 추출, DFR 유전자 증폭, 유전자 차이 확인, 다형성 부위 증폭, 제한효소 처리, 유전적 다형성 확인의 수업흐름도에 따라 실험기법의 복잡성과 다양성이 증가하는 방향으로 총 8차시로 구성하였다. 개발된 프로그램을 통해 학습자가 DNA 추출, PCR, 제한효소 처리, 아가로스 젤 제작 및 보관, 젤 전기영동, DNA 확인 및 결과 판정의 기본적인 분자생물학 기법과 이와 관련한 실험기구 및 기자재 사용

법을 습득할 수 있도록 구성하였으며, 차시별 전문가 시범 단계에서 피드백 제공이 쉽도록 동영상 제작하여 제시하였다. 차시별 프로그램은 학습자 스스로 지식을 구성하고, 점검하며, 평가할 수 있도록 단계를 구성하였고, 프로그램 적용 후 학습자가 습득한 지식과 기술을 활용하여 스스로 수업흐름도를 작성해 볼 수 있도록 하여 분자생물학 인지기능과 메타인지 기능의 향상을 도모하고자 하였다. 대학교 교육 특성상 기자재 보급에 어려움은 없더라도 블록 타임을 100분씩 8차시로 구성되어 있기에 분자생물학 실험의 단점인 긴 시간이 소요된다는 것에 한계점을 들 수 있으며, 시간 제약이 따른다면 각 프로그램을 재구성하여 투입되어야만 할 것이다.

둘째, 개발된 RcBr 식물 프로그램을 예비교사에게 적용하였을 때, 분자생물학 인지기능과 영역별 인지기능(일반적 인지기능 및 고차적 인지기능) 모두 유의미한 향상 효과를 보였다. 실험 경험 여부에 따라 두 그룹으로 구분한 후 영역별 인지기능의 향상 점수 차이

Table 17. Learner C's characteristics of tasks and in-depth interview

| 분석 | 구분 | 특징 |
|-------|-------------|---|
| | 지식 활용 | •부계 A와 B, 모계 C의 프로파일을 미리 만들어 놓고, 자손의 종자를 직접 파종한 후 DNA 추출, PCR, 제한효소 처리, 젤 전기영동의 실험과정을 통해 문제를 해결해 나갈 수 있도록 수업 흐름도를 작성함 |
| | 실험 기술 활용 | •문제 해결을 위한 DNA 추출, PCR, 제한 효소 처리, 아가로스 젤 제작, 젤 전기영동, 결과 판정으로 적절한 실험과정과 실험 재료 사용하여 수업흐름도를 작성하였음 |
| 과제 | 교수 기술 활용 | •동아리나 방과 후 시간 수업, 120분으로 차시 구성 •8차시 수업 동안 해결해야 할 문제 상황(RcBr F1 부계 찾기)을 1차시 때 제시 •문제의 초점에 맞춰 수업을 논리적으로 설계하였음 •실험 시 주의 사항 구체적으로 기록 •학생이 실험에 실패할 경우를 대비한 실험 시료 및 재료 구비 •1차시 때 부계 A와 B를 각각 모계 C에 수분 시킨 뒤 자손의 종자를 미리 채취해 놓음 •7차시 때 A, B, C의 DNA 프로파일을 미리 제작하여 제시 (자손의 RcBr 개체 준비, 아가로스 젤 여분 제작 등) •학생들이 학습지를 작성할 시간을 주고, 구술질문과 답변을 통해 중요한 내용을 강조한다는 등 구체적 지도방안 작성 |
| | 문제 초점 | •개체 구별 방법과 부계 찾기 유사점 : 유전적 다형성을 이용하여 DNA 프로파일을 만들어 분석한다는 점 •개체 구별 방법과 부계 찾기 차이점 : 개체 구별의 경우 서로의 DNA 밴드 차이를 보았지만, 부계 찾기는 차이점을 살피기보다는 모계-자손-부계 후보 간의 관계성 파악 |
| 심층 면담 | 과제해결 전략 | •문제해결과정을 파악하고 해결 과정에 따라 수업 차시 구성 •전체 흐름 중 어느 과정에 해당하는지를 언급하여 학습자가 전체 실험의 의의와 흐름을 파악할 수 있도록 설계 |
| | 향상 부분 | •수업 준비사항과 수업의 큰 흐름을 파악하고, 대처하는 능력향상 |
| | 향후 수업 진행 방법 | •실제 학습 현장의 장비 부족, 제한된 시간을 고려한 실험 방법 변경 •제한효소 처리 실험, 전기영동 실험 시 걸리는 시간 적절히 활용 |

를 확인해 본 결과, 과거 실험 경험 여부와 상관없이 두 그룹 모두 유의미한 향상 효과를 보여주었으며, 과거 실험 경험과 다르게 식물 프로그램이 제공하는 구체적인 실험 경험이 예비교사에게는 새로운 경험이 될 수 있으며, 이는 새로운 경험을 아무런 편견과 왜곡 없이 받아들이기 충분하다고 판단된다. 하지만 일반적 인지기능과 고차적 인지기능을 측정할 수 있는 교과학습 성취도 지필 평가지만으로 분자생물학 인지 기능이 향상되었다고 판단하는 데는 한계가 있으며, 18명의 소규모 집단의 결과만으로 일반화하려는 오류를 범할 수 있다는 제한점이 있기는 하지만 개발된 프로그램의 학습지에 제시된 '특정 문제 상황 해결방안 추론', '학습에 대한 자기 평가 및 반성'의 요소는 문제해결력과 메타인지를 나타내는 고차적 인지 기능 향상에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

셋째, 영역 일반적 메타인지 기능 중 메타인지적 지식의 하위요소인 과제와 메타인지적 조절의 하위요소인 계획, 점검, 평가 부분에서 유의미한 향상 효과를 보였다. 개발된 프로그램이 단시간에 모든 영역 일반적 메타인지 기능을 향상하는 데는 무리가 있을 수

있다. 하지만 8차시로 구성된 RcBr 식물 프로그램은 교수자가 제시한 문제의 중요성과 의미를 파악하고, 문제를 해결할 때 비슷한 문제를 해결해 본 적이 있는지 기억하는 과제 관련 메타인지적 지식과 문제를 해결하기 위해 계획하고, 점검하고 평가하는 메타인지적 조절의 영역 일반적 메타인지 기능을 향상할 수 있다고 판단된다.

넷째, 개발된 RcBr 식물 프로그램을 통해 습득한 지식과 기술의 활용 여부를 알아보기 위해 과제를 분석한 결과, 예비교사 대부분이 수업흐름도 작성 과제를 문제의 요구에 따라 올바르게 작성하였다. 개인차는 존재하였지만 적절한 실험 기술과 교수 기술을 사용하여 차시별 수업내용을 구성하였고, 특히 분자생물학 인지 기능 향상 점수가 높은 학습자의 과제 및 심층 면담 분석 결과 문제의 초점을 잘 파악하고 있었고, 향후 실험 수업을 진행할 때 학교 현장의 제약점들을 파악하여 수업을 진행한다고 응답하였다. 하지만 분자생물학 인지 기능 향상 점수의 향상 폭과 수업흐름도 작성의 상관관계를 정량적으로 밝히지는 못하였으나 과제 수행 결과를 분석한 결과 향상된 분자생물

학 인지기능이 과제 수행에 있어 도움을 줄 수 있다고 판단된다.

이 연구에서 인지적 도제 모델 기반의 개발된 RcBr 식물 프로그램은 학습자가 기본적인 분자생물학 지식 및 실험기법과 교수 기술을 익힐 수 있으며, 이는 예비교사가 분자생물학 수업을 위한 핵심 역량을 함양하는 데 도움을 줄 수 있을 뿐 아니라 교수 학습 자료를 재구성하여 현직 교사나 고등학생들에게도 적용한다면 분자생물학 학습의 효과를 기대할 수 있을 것으로 생각한다.

국 문 요 약

이 연구는 인지적 도제 모델의 교수 단계와 교수 방법을 적용하여 Rapid-cycling *Brassica rapa* (RcBr)를 활용한 식물 분자생물학 실험 프로그램을 개발하여 그의 적용 효과를 알아보고자 하였다. 개발된 프로그램은 예비교사의 분자생물학 실험에 관한 전문성 제고를 위하여 'purple RcBr과 non-purple RcBr 개체의 *DFR* 유전자 확인'과 'DNA 프로파일링 방법을 이용한 RcBr 개체의 유전적 다형성 부위 확인'의 두 가지 실험 주제를 선정하여 총 8차시로 구성하였다. 개발된 프로그램은 충북 H 대학교 생물교육 전공 2학년 18명을 대상으로 적용하여 분자생물학 지식과 기술 활용에 관한 인지기능과 영역 일반적 메타인지 기능의 향상 효과를 알아보았으며, 개발된 프로그램에서 제공된 수업흐름도 작성 과제의 분석을 통하여 프로그램의 효과를 검증하고자 하였다. 개발된 인지적 도제 모델 기반의 RcBr 식물 프로그램은 예비교사의 분자생물학 지식 및 기술 활용에 관한 인지기능 향상에 효과적이었다. 예비교사의 선행 실험 경험에 따라 고차적 인지 기능 향상에 차이를 보였는데, 선행 실험 경험이 없는 예비교사의 고차적 인지기능 향상에 특히 효과적이었다. 개발된 프로그램은 또한 영역 일반적 메타인지 기능 중 메타인지적 지식의 과제와 메타인지적 조절의 계획, 점검, 평가 부분의 하위요소에 있어 유의미한 향상 효과를 보여주었다. 이는 프로그램의 차시별 자기평가 활동이 예비교사의 메타인지적 조절 기능 향상에 도움을 주었기 때문으로 생각한다. 이 연구에서 개발된 인지적 도제 모델의 식물 프로그램은 예비교사의 분자생물학 실험에 관련된 핵심 역량을 키우는데 이바지한 것으로 나타났으므로 후속 연구에서 이 교수·학습 자료를 재구성하여 과학 교사 연수나 고등학생들에게 적용하여도 메타인지 기능의 향상 효과를 기대할 수 있을 것이다.

주제어: 인지적 도제 모델, 식물 분자생물학 실험 프로그램, Rapid-cycling *Brassica rapa*, 인지 기능, 영역 일반적 메타인지 기능

References

- Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., Airasian, P. W., Cruikshank, K. A., Mayer, R. E., Pintrich, P. R., Raths, J., & Wittrock, M. C. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. New York: Longman.
- Charney, J., Hmelo-Silver, C. E., Sofer, W., Neigeborn, L., Coletta, S., & Nemeroff, M. (2007). Cognitive apprenticeship in science through immersion in laboratory practices. *International Journal of Science Education, 29*(2), 195-213.
- Doran, C., & Cameron, R. J. (1995). Learning about learning. *Educational Psychology in Practice, 11*(2), 15-23.
- Flavell, J. H. (1976). Meta-cognitive aspects of problem solving. In L. Resnick (Ed.), *The nature of expertise*. Hillsdale, NJ: LEA.
- Jager, B. D., Jansen, M., & Reezigt, R. (2005). The development of metacognition in primary school learning environment. *School Effectiveness and School Improvement, 16*(2), 179-196.
- Jarvis, P. (2006). *Towards a comprehensive theory of human learning*. New York, NY: Routledge.
- Jeon, S. Y., & Yu, K. W. (2011). A qualitative study on resistance to learning in adult education contexts. *Korea University Institute of Educational Research, 41*, 93-119.
- Jeong, A. J. (2011). *The effects of metacognition strategy based on reflective self-assessment on the understanding of the genetic concept and meta cognitionability of high school students* (Unpublished master's thesis). Korea National University of Education, Chungbuk, Korea.
- Kang, I. A. (1996). Alternative constructivist models: cognitive apprenticeships, anchored

- instruction, and cognitive flexibility theory. *Educational Technology International*, 12(1), 1-19.
- Kang, K. M., & Kim, H. B. (2005). Preservice secondary biology teachers' understanding of biotechnology. *Journal of the Korean Society of Biology Education*, 33(1), 112-121.
- Kang, S. M., Lee, H. N., 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, J. I. (2018a). A study of class design for liberal arts computer convergence class using cognitive apprentice theory. *Journal of Convergence for Information Technology*, 8(1), 153-160.
- Kim, J. K. (2018b). *Development and application of RcBr plant molecular biology experiment program for pre-service teachers based on cognitive apprenticeship* (Unpublished master's thesis), Korea National University of Education, Chungbuk, Korea.
- Kim, J. S. (2013). *A study on the development and effect of instructional design model for e-learning by using cognitive apprenticeship* (Unpublished doctoral dissertation). Kwandong University, Gangwon, Korea.
- Korthagen, F. A. J. (2011). Making teacher education relevant for practice: the pedagogy of realistic teacher education. *Orbis Scholae*, 5(2), 31-50.
- Lave, J., & Wenger, E. (1989). *Situated learning: Legitimate peripheral participation*. NY: Cambridge University Press.
- Lee, E. J. (2010). *A study of direct teaching strategy of inquiry skills applying meta-cognition* (Unpublished doctoral dissertation). Ewha Womans University, Seoul, Korea.
- Merriam, S. B., Caffarella, R. S., & Baumgartner, L. M. (2007). *Learning in adulthood: a comprehensive guide*. San Francisco, CA: Jossey-Bass.
- 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, I. S. (2010). *Development and implementation of science programs enhancing creative problem solving skills applying meta-cognition* (Unpublished doctoral dissertation). Ewha Womans University, Seoul, Korea.
- Park, K. S. (2012). *A study on roles of spinster during embryogenesis of Drosophila and development of experimental inquiry activity on regulation of gene expression in Drosophila* (Unpublished doctoral dissertation). Seoul National University, Seoul, Korea.
- Seo, K. H. (2004). The perspectives and conceptions about good instructional practice: An interview study of teachers and students. *Journal of Korean Society for Curriculum Studies*, 22(4), 165-187.
- Seo, H. W. (2023). Cognitive apprenticeship learning-based media literacy education research - Focusing on the impact on academic achievement and learning attitudes of undergraduate international students. *Korean Journal of Literacy Research*, 14(2), 139-184.
- Shim, K. C. (2011). Study on perception of pre-service biology teachers about biotechnology. *Journal of Korean Society of Biology Education*, 39(1), 126-134.
- Wendell, D. L., & Pickard, D. (2007). Teaching human genetics with mustard: Rapid cycling *Brassica rapa* (Fast Plants Type) as a model for human genetics in the classroom laboratory. *CBE-Life Sci. Educ.*, 6, 170-185.
- Willams, P. H., & Hill, C. B. (1986). Rapid-cycling population of *Brassica rapa*. *Science*, 232, 1385-1389.
- Woo, J. I. (2015). *Development and application of the laboratory-oriented molecular biology inquiry program for coherent understanding of DNA, gene, and protein: Focusing on ALDH2 polymorphism*

(Unpublished doctoral dissertation). Seoul National University, Seoul, Korea.

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. *Journal of the Korean Society of Biology Education*, 39(3), 439-455.

저 자 정 보

김 재 권 (인천과학고등학교 교사)

김 성 하 (한국교원대학교 교수)