

학습접근방식에 따른 고등학생들의 유전 문제 해결 과정 분석

이신영, 변태진*
한국교육과정평가원

Analysis of Genetics Problem-Solving Processes of High School Students with Different Learning Approaches

Shinyoung Lee, Taejin Byun*
Korea Institute for Curriculum and Evaluation

ARTICLE INFO

Article history:

Received 13 July 2020

Received in revised form

19 August 2020

Accepted 26 August 2020

Keywords:

genetic problem-solving,
learning approaches, conceptual
framing, problem-solving
reasoning, think-aloud interview

ABSTRACT

This study aims to examine genetics problem-solving processes of high school students with different learning approaches. Two second graders in high school participated in a task that required solving the complicated pedigree problem. The participants had similar academic achievements in life science but one had a deep learning approach while the other had a surface learning approach. In order to analyze in depth the students' problem-solving processes, each student's problem-solving process was video-recorded, and each student conducted a think-aloud interview after solving the problem. Although students showed similar errors at the first trial in solving the problem, they showed different problem-solving process at the last trial. Student A who had a deep learning approach voluntarily solved the problem three times and demonstrated correct conceptual framing to the three constraints using rule-based reasoning in the last trial. Student A monitored the consistency between the data and her own pedigree, and reflected the problem-solving process in the check phase of the last trial in solving the problem. Student A's problem-solving process in the third trial resembled a successful problem-solving algorithm. However, student B who had a surface learning approach, involuntarily repeated solving the problem twice, and focused and used only part of the data due to her goal-oriented attitude to solve the problem in seeking for answers. Student B showed incorrect conceptual framing by memory-bank or arbitrary reasoning, and maintained her incorrect conceptual framing to the constraints in two problem-solving processes. These findings can help in understanding the problem-solving processes of students who have different learning approaches, allowing teachers to better support students with difficulties in accessing genetics problems.

1. 서론

생물학에서 유전은 생명의 연속성과 관련된 핵심 개념이며, 학생들이 과학적 소양을 갖추기 위해 알아야 하는 필수 개념이다(AAAS, 1993; Lewis & Wood-Robinson, 2000; NRC, 2012). 유전은 분자 수준에서 개체 수준까지 다양한 생물학적 수준에서 일어나는 생물학적 사건을 다루고 직접적 관찰이 불가능한 확률적 개념을 포함하기 때문에 학생들이 이해하기 어려운 생물학 개념이다(Venville, Gribble, & Donovan, 2005). 학생들은 유전 개념 학습과 마찬가지로 유전 문제 해결에서도 어려움을 겪는다. 학생들이 유전 문제를 해결하기 위해서는 문제와 관련된 개념을 암기하여 풀어나기보다, 관련된 다양한 개념을 동시에 적용하고 확률 개념과 같은 수학적 원리를 이용해야 하기 때문이다(Hackling & Lawrence, 1988). 여러 연구자들은 유전 개념을 소재로 생물학 문제 해결 연구를 해왔다(Karagöz & Çakir, 2011; Simmons & Lunetta, 1993; Smith & Good, 1984).

문제 해결에 영향을 미치는 개인 특성으로는 명제적 지식과 과정적 지식이 있다(Byun, 2013). 명제적 지식은 특정 학문 영역에 대한 개념

이해를 반영하며 문제와 관련된 내용 지식, 원리, 공식, 법칙 등을 말한다(Alexander & Judy, 1988). 명제적 지식은 해결자가 문제 해결을 하기 위해 갖추어야 할 필요조건으로 문제 해결 성공 여부를 결정하는 1차적 요건이 될 수 있다(Bransford & Stein, 1984; Camacho & Good, 1989; Staver & Lumpe, 1995). 문제 해결에서 개념 이해가 충분한 학생들은 새로운 문제 상황에서 기존에 알고 있는 개념을 탐색하여 자신의 개념 지식을 심화시켜 학습할 수 있고, 문제 해결 과정에서 적절한 개념 지식을 선택적으로 사용할 수 있다.

대부분의 학생들이 문제 해결에서 어려움을 겪는 원인은 문제와 관련된 개념에 대한 이해가 부족하기 때문이다(Carey, 1986; Clement, 1982). 하지만 일부 학생들의 경우 문제와 관련된 개념을 잘 이해하고 있음에도 불구하고 과정적 지식의 부족으로 문제 해결에 실패하기도 한다. 과정적 지식은 명제적 지식과 함께 문제 해결의 성공을 결정짓는 요소이다. Hackling & Lawrence(1988)은 문제 해결에 필요한 명제적 지식을 모두 갖추고 있지만 문제 해결자에 따라 문제 해결 전략이나 문제 해결 과정에서 차이가 나타나는 것에 주목하였다. Hackling & Lawrence(1988)의 연구에서 유전 가계도 문제를 해결할 때에 전문가

* 교신저자 : 변태진 (tjbyun@kice.re.kr)

<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2020.40.4.385>

로 볼 수 있는 유전 전공 교수들과 초보자로 가정한 학부생들 사이에 정답에 차이가 없지만, 전문가들은 분석적으로 문제에 접근하고 초보자에 비해 체계적으로 문제 해결 전략을 수립하며 문제와 관련된 기반 지식을 광범위하게 사용하는 것으로 나타났다. 이와 유사한 맥락에서 본 연구에서는 유전 문제 해결을 위한 충분한 개념 지식이 있지만 과정적 지식의 차이가 나타난 고등학생들의 문제 해결 과정을 살펴보고자 하였다.

문제 해결의 과정적 지식은 학습접근방식과 관련이 있다(BouJaoude & Barakat, 2003; Cavallo, 1996). 학생들이 학습을 하거나 문제를 해결할 때에 개념 이해도 외에 학생들의 인식론이 중요한 역할을 하는데(Hofer & Pintrich, 2002; Redish & Smith, 2008), 학생들의 학습 접근방식에는 학생들의 인식론이 투영되어 있기 때문이다(Chiou *et al.*, 2013). 학습접근방식이란 연관된 개념이나 관계성을 의미 있게 이해하려는 의도를 가지고 학습 과제에 접근하려는 학생들의 경향이나 학습 자세를 의미한다(Entwistle, 1981). 심층적 접근방식을 가진 학생들은 내적 흥미나 내적 동기를 가지고, 학습 자료와 이미 알고 있는 지식을 적극적으로 연결해서 이해하려는 심층적인 전략을 사용하지만, 피상적 접근방식을 가진 학생들은 사실을 암기하는 경향이 있으며 배우고 이해해야 할 필요보다 실패에 대한 두려움에 의해 외적으로 동기부여 된다(Biggs, 1993; Entwistle, 1981). 학습접근방식은 학습을 통해 얼마나 많이 기억하고 있느냐가 아닌 무엇을 어떻게 학습하느냐에 관련된 것으로 학습의 질적인 속성을 설명하고 있는데(Ramsden, 1995), 문제 해결 측면에서도 문제 해결자가 문제를 온전히 이해하려고 하는지에 관한 태도에도 영향을 줄 수 있다(Cavallo, 1996). 심층적 학습접근방식을 가진 학생들은 새로운 개념을 개인의 경험 및 사전 지식과 관련지어 내적 동기에 의해 학습을 하려는 특성을 지니기 때문에 개념 학습을 하거나 문제 해결을 할 때에 정보 저장과 프로세싱 능력이 더 효율적이다(Ramsden, 1995).

성공한 문제 해결자는 심층적 학습접근방식의 학습자와 유사한 특성을 지닌다(Cavallo, 1996; Karagöz & Çakir, 2011). Karagöz & Çakir(2011)의 연구에서 성공적인 문제 해결자는 최종적인 문제를 해결하기 위해 하부 하위 목표를 세우고 단계적으로 해결하는 수단-목표 분석(means-end analysis)을 사용하고 메타인지적으로 문제 해결 과정을 살펴봄에 지속적으로 문제 해결의 각 단계에서 반성하고 수정해가면서 답을 확정지었다. 하지만 실패한 문제 해결자는 가능한 문제 해결 시나리오나 알고리즘을 체계적으로 검토하지 않고 즉흥적으로 문제 해결책을 차용하여 답을 얻었다. Cavallo(1996)는 학습접근방식과 유전학 문제 해결 과정 사이에 유의미한 관련이 있다고 주장하였다. 문제 해결에서 아이디어, 사실, 정보 사이의 관련성을 찾으려고 노력하는 학습접근방식을 가진 학생들은 문제 해결의 성공 확률이 높다. 실제 유전 문제에서도 감수분열과 퍼넷스퀘어와 같이 독립된 개념을 연결지어 문제에 적용시키려고 하는 노력이 추론 능력의 향상으로 이어질 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 서로 다른 학습접근방식을 가진 고등학생이 고난도의 유전 문제 해결을 하는 과정을 분석하기 위해 Goffman(1974)이 제시한 ‘프레이밍(framing)’을 이용하였다. 프레이밍은 일반적으로 참여자들이 활동에 대해 이해하는 방식으로 무엇이 일어났는지에 대한 답변에 해당한다(Goffman, 1974). 문제를 해결하는 과정에서 학생들이 주어진 개념적 정보를 어떻게 조직하는지에 대한 해석은 개념적

프레이밍 개념을 적용할 수 있다(van de Sande & Greeno, 2012). 개념적 프레이밍은 사람들이 본인의 경험에서 근거하여 새로운 상황을 이전의 상황과 유사하게 인식하도록 하는 스키마의 한 종류이다(Tannen, 1993). 문제 해결자는 개념적 프레이밍을 통해 문제에서 주어진 상황을 정의하고 문제에 제시된 정보를 인지한다. 문제 상황에서 문제 해결자의 문제 해결을 방해하는 요소를 제한 요인(constraint)이라고 하며, 문제 해결자는 제한조건을 만족하는 상황으로 프레임을 변화시키면서 문제를 해결한다(van de Sande & Greeno, 2012). 따라서 개념적 프레이밍은 문제 해결 상황에서 문제 해결자가 문제 상황을 인지하고 문제를 어떻게 해결해 나갈지에 대해 안내하는 역할을 하게 된다.

지금까지 문제 해결과 관련된 선행연구를 살펴보면 주로 문제 해결의 전문가와 초보자, 문제 해결에 성공한 학생과 실패한 학생으로 나누어 문제 해결 행위나 추론 방식에 초점을 두고 그 차이를 비교하여 제시하였다. Smith & Good(1984)는 문제 해결 전문가는 지식 발달적 접근방식을 사용하고 심층적으로 문제를 분석하며 유전 내용에 특성화된 문제 해결 절차를 적용하지만 문제 해결 초보자는 심층적으로 문제의 구성 요소를 분석하지 않고 빈번한 시행착오를 통해 문제를 해결한다고 주장하였다. Slack & Stewart(1990)에 따르면, 문제 해결 초보자는 비체계적인 방식으로 문제 해결을 하려고 시도하지만, 문제 해결 전문가는 자료 재정의, 가설 설정, 해결책 생성, 해결책 점검의 문제 해결 과정을 지속적으로 반복하는 체계적인 문제 해결 아젠다를 가지고 문제를 해결한다고 하였다. Simmons & Lunetta(1993)은 성공한 문제 해결자는 가설을 세우고, 가설이 증명되고 옳은 결론에 도달하기 위해 체계적인 문제 해결 과정을 따르지만, 실패한 문제 해결자는 본인이 세운 가설이 잘못되었다는 것이 드러나도 과학적 설명이 아닌 대안 개념으로 현상을 설명하고 결론에 도달하는 비체계적인 과정을 따른다고 하였다. 이들 연구는 문제 해결의 성공 여부에 영향을 미치는 요인을 문제 해결자의 개인 특성으로 알아보았지만 학습접근방식과 연결 짓지는 못하였다.

가계도 문제는 가설의 생성과 검증을 통해 문제에서 제공한 정보를 파악해야하기 때문에(Hackling & Lawrence, 1988), 학생들의 문제 해결 과정을 심층적으로 관찰하기에 용이하다. 가계도 문제와 같이 고난도 문제의 경우, 심층적 학습접근의 학생일지라도 개념 이해나 문제 해결 전략을 수립하는 데에 있어서 어려움을 겪을 수 있으며, 반대로 문제 풀이에 고도로 훈련되었다면 학습접근방식과 관련 없이 문제 해결에 쉽게 성공할 수 있다(BouJaoude & Barakat, 2003).

본 연구에서는 서로 다른 학습접근방식을 가진 학생들이 유전학(가계도) 문제를 해결하는 과정을 분석함으로써 학습접근방식과 문제 해결 과정 중에 나타난 인지적 추론과의 관계를 심층적으로 들여다 볼 것이다. 본 연구의 목적은 문제 해결의 성공 여부를 확인하는 것이 아니라 문제 해결과정에서 어려움을 겪을 때 학생 본인이 가지고 있는 명제적 지식과 과정적 지식을 문제 해결 상황에서 어떻게 스스로 활용하는 지를 관찰하는 데 있다. 문제 해결에 실패한 학생들이 서로 유사한 학습성취수준을 나타내지만 다른 학습접근방식을 가지고 있다면 문제 해결 과정상의 차이가 존재할 수 있다고 가정하였다. 선행 연구 결과를 바탕으로 서로 다른 학습접근방식을 가지면서 문제 해결에 실패한 학생들의 유전 가계도 문제 해결 과정상의 차이를 개념적 프레이밍 변화에 초점을 두고 인지적 추론 과정을 자세히 살펴보고자 하였다.

II. 연구 방법

본 연구에서는 유전 문제 해결에 실패한 학생들의 문제 해결 과정을 심층적으로 살펴보기 위해 사례 연구 방법을 선택하였다. 고난도의 유전 문제를 실패한 학생들은 서로 유사한 학업성취수준을 가지고 있음에도 불구하고 다른 인지적 추론을 하며 문제를 해결하는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구와 같이 개인을 분석 단위로 문제 해결 과정을 심도 있게 탐색하기에 사례 연구가 적합하다(Merriam, 1998). 더불어 다양한 자료의 수집과 분석을 통해 사례 연구의 타당성과 신뢰성을 높이고자 하였다.

1. 연구 대상

본 연구는 학생들이 고난도의 유전 문항 해결의 과정을 심층적으로 들여다보고 문제 해결 과정에서 나타나는 현상을 이해하는 것을 목적으로 삼고 있다. 따라서 검사 문항 해결에 필요한 유전학 분야에 대한 기본 소양을 갖추고 있고, 인터뷰 과정에서 문제 해결 과정을 충분히 설명할 수 있는 적극성을 갖춘 참여자가 필요하였다. 연구진은 유의 표집(purposive sampling)의 방법으로, 서울 소재 고등학교 생물 교사에게 본 연구의 목적과 내용을 설명하여 성취수준이 비슷하고 생명과학 I 을 이수한 4명의 학생을 추천받았다. 본 연구에서는 검사 문항을 풀이하는 데에 참여한 학생들 중 가계도 유전 문제 해결에 실패한 고등학교 학생 2명을 선택하였다. 이 학생들은 고등학교 2학년으로 학교에서 학업성취수준이 상위권에 속하고 모두 유전 문제 해결에 실패하였다는 공통점이 있었지만 문제 해결 이후 사고 구술 인터뷰(think-aloud interview)를 통해 다른 방식으로 문제 해결에 실패하였다는 것을 발견하게 되어 이들을 본 연구의 최종 참여자로 선택하게 되었다.

Table 1은 참여자들의 정보를 나타낸 것이다. 참여자들은 모두 학교에서 생명과학 학업성취도가 2등급으로 상위권에 속하였지만, 고난도 유전 문제 풀이에 대한 경험이 많지 않았다. 학생 A와 학생 B는 본 연구에서 실시한 유전 개념 검사지의 정답률이 각각 64.0%, 76.4%로 학생 B가 12.4%p 정도 높은 것으로 나타났다. 유전 개념 검사지는 Smith, Wood, & Knight(2008)의 Genetics Concept Assessment (GCA)와 생명과학 I 의 유전학 내용에서 교육학적으로 의미 있는 내용(pedagogical emphasis)이라고 판단되는 멘델의 유전 법칙, 중간 유전, 연관 유전, 가계도, 상염색체 유전, 성염색체 유전, 염색체 이상 등의 내용을 반영하여 총 17개의 진위형 문항으로 구성되었다. 해당 검사지는 1명의 유전학 전공 전문가와 2명의 생물교육 전문가의 검토를 통해 타당도를 검증 받고, 검토 의견을 반영하여 최종 검사지를 제작하였다.

학습접근방식은 학업성취의 다양성을 해석하는 방법 중 하나로 연구 참여자들의 평소의 학습전략이나 태도를 이해하기 위해 실시하였다. 학습에 대한 실행 과정은 학생들의 학습동기와 학습전략의 성향으로 표현되는 학습접근방식에 따라 다르게 나타난다(Biggs 1993; Entwistle 1981). Entwistle(1981)는 목적지향적으로 암기 위주의 학습 전략을 취하는지 아니면 학습 그 자체에 의미를 부여하며 학습을 심층적으로 접근하는지에 따라 심층적 접근방식과 피상적 접근방식으로 학습접근방식을 범주화하였다. 검사지는 심층적 접근방식과 피

Table 1. The Description of participants

구분	학생 A	학생 B
생명과학 학업성취도	2등급	2등급
유전 개념 검사지 정답률	64%	76%
학습접근방식	심층적	피상적

상적 접근방식을 구별할 수 있는 20개의 문항으로 리커트 척도로 구성되어 있으며, 본 연구에서는 Biggs(2001)가 개발한 Revised Study Process Questionnaire(R-SPQ-2F)를 사용하여 본 연구에 참여한 학생들의 학습접근방식을 조사하였다. 조사 결과 학생 A는 심층적 접근방식, 학생 B는 피상적 접근방식으로 나타났다.

2. 검사 문항

본 연구에서는 학생들의 유전 문제 해결 과정에서 경험하는 어려움을 심층적으로 들여다보고자 하는 목적이 있기 때문에 고난도의 유전 가계도 문항을 검사 문항으로 채택하였다. 검사 문항은 신뢰도와 타당도가 이미 검증되었다고 판단된 2017학년도 대학수학능력시험(이하 수능) 생명과학 I 문항에서 선택하였고 연구진이 연구 목적에 맞게 선택형 문항을 서술형 문항으로 수정하였다(Figure 1 참고). 검사 문항은 유전 가계도와 관련된 고난도의 유전 문항으로 유전과 관련된 여러 개념을 통합적으로 적용하여야만 문제를 성공적으로 해결할 수 있다. 검사 문항은 3가지 측면에서 일반적인 유전 문항에 비해 학생들이 해결하기에 까다로운 측면을 지닌다. 첫째, 본 연구의 검사 문항은 원인-결과(cause-effect) 유형과 결과-원인(effect-cause) 유형이 복합적으로 적용되었다. 일반적인 가계도 문항은 가계도 구성원의 특정 형질에 대한 표현형을 알려주고 이에 대한 유전 원리를 밝혀내도록 하여 결과-원인 유형을 따르는데, 본 문항은 이에 더해 유전 원리를 적용하여 특정 형질을 가진 2세대의 표현형이 나타날 확률을 구해야 하는 원인-결과 방식도 포함되어 있다. 둘째, 일반적인 유전 문항은 가계도를 제시하고 적용된 유전 원리나 특정 가계도 구성원의 유전자

다음은 영화네 가족의 유전 형질 ④, ⑥와 적록 색맹에 대한 자료이다.

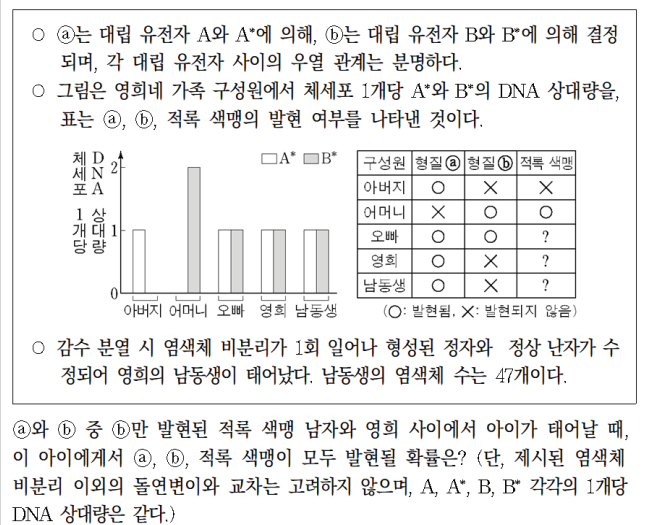


Figure 1. Test item concerning a genetic pedigree (revised 2017 CAST Biology I No. 11)

형이나 표현형을 물어보지만 본 검사문항은 학생들이 일부 가계도 구성원의 일부 대립 유전자의 세포 1개당 가지는 DNA 양과 표현형을 바탕으로 스스로 가계도를 그리도록 유도하고 있다. 셋째, 가계도 문항에서는 보통 1-2가지의 형질에 대한 유전 원리를 적용하지만 본 문항은 3가지 형질에 대한 유전 원리를 적용하고 있다.

학생들이 본 문항을 용이하게 해결하기 위해서는 표와 그래프를 해석하여 영희네 가족 구성원의 3가지 유전 형질에 대한 표현형과 유전자형을 모두 파악하여 가계도로 표현해야 한다. 문항에서 주어진 정보에서는 3가지 유전 형질의 유전자가 성염색체와 상염색체 중 어디에 존재하는지, 어떤 대립 유전자가 우성인지 열성인지 명시적으로 알려주고 있지 않는다. 그림에서 가족 구성원의 일부 대립 유전자의 체세포 1개당 DNA 상대량을 알려주고, 표에서 일부 가족 구성원의 3가지 형질의 표현형을 알려주고 있기 때문에 문제를 해결하기 위해서는 다양한 단계의 추론과 사고 과정이 필요하다. 특히, 본 문항을 해결하기 위기 위해 학생들이 개념적으로 파악해야 할 문제의 제한 요인은 3가지-유전 형질 ①과 ②의 유전 원리, 대립 유전자의 우열 관계, 염색체 비분리 조건이다. 이러한 제한 요인을 파악하기 위해 학생들은 문제의 자료에서 제시한 정보를 바탕으로 가계도를 완성하고 가계도의 정확성을 지속적으로 확인해야 한다. 이를 통해 학생들은 본인이 완성한 가계도를 이용하여 가계도의 구성원인 영희와 특정 조건의 남자가 결혼하여 아이가 태어났을 때, 이 아이가 특정 형질을 가질 확률을 구해야 한다.

3. 자료 수집 및 분석

본 연구에서는 고등학생들의 고난도 유전 문제 해결 과정을 알아보기 위해 다양한 자료를 수집하여 연구의 신뢰도와 타당도를 확보하고자 하였다. 참여자들은 문제 해결 전에 유전 개념 검사, 학습접근방식 검사와 일반 배경 정보에 대한 인터뷰를 한 후, 유전 문제 해결에 참여하였고, 문제를 다 해결한 이후 사고 구술 인터뷰(think-aloud interview)에서 문제 해결 과정에 대해 상세히 설명하였다. 사고 구술 인터뷰는 연구자의 개입이 거의 없이 참여자가 문제 해결 과정을 본인의 의식의 흐름대로 구두로 설명하는 것으로(Charters, 2003), 문제 해결 연구에서 참여자들의 문제 해결 과정을 파악하기 위해 주로 사용하는 연구 방법이다.

모든 문제 해결 과정과 인터뷰 과정은 비디오 녹화되었고, 발화 부분에 대해서는 전사본을 제작하였다. 학생들의 유전 문제 해결 과정을 분석하기 위해 문제 해결 과정 비디오 녹화 전사본과 학생들이 작성한 답안지, 사고 구술 인터뷰 전사본을 이용하여 문제 해결 과정 기록지를 제작하였다. 문제 해결 과정 기록지에는 시간대에 따라 검사지 읽기, 밑줄 치기, 표상 그리기 등의 외적 행동 변화를 기록하는 것은 물론 학생들의 문제 해결 중 인지적 사고 과정을 자세히 기술하였다.

본 연구에서는 문제 해결 과정을 분석하기 위해 수학과 과학 문제 해결 과정에서 오랫동안 사용한 Polya(1957)의 문제 해결 단계를 활용하였다. Polya(1957)의 문제 해결 단계를 사용한 이유는 생물 문제 해결 전략에 관한 종류가 많지 않고, Polya(1957)의 문제 해결 단계가 이미 개발된 생물 문제 해결 전략보다 수학적 사고가 요구되는 고난도 유전 문제 해결 과정 분석의 용도에 적합하기 때문이다. 더불어

20세기 후반 이후로 개발된 많은 문제 해결 전략이 Polya(1957)에서 분화되었기에 여전히 유효하게 활용할 수 있을 것으로 판단되었다. Polya(1957)의 문제 해결 전략은 이해, 계획, 수행, 검토 단계로 이루어져 있다. 각 단계에 대해 부연하면 이해 단계는 문제 해결자가 문제에서 제시된 변수, 조건, 문제 상황을 확인하고, 문제에서 요구하는 값을 확인하는 단계이다. 계획 단계는 이해 단계에서 알아낸 여러 변수와 조건 중에서 문제 해결에 필요한 정보를 정련하고 문제 해결책을 마련하기 위해 하위 목표를 설정하며, 적용할 원리와 법칙을 사고하는 과정을 포함한다. 수행 단계는 계획 단계에서 수립한 하위 목표 단계에 따라 관련된 내용 지식을 적용하고 계산을 수행하는 단계이다. 마지막 검토 단계는 구한 답을 확인하고 문제 해결 과정을 반추하고 오류가 없는지 확인하는 과정이다.

본 연구의 검사 문항은 다양한 유전 개념을 포함하며 복잡한 추론을 요구하는 고난도의 문항이기 때문에, 학생들이 Polya(1957)의 문제 해결 단계의 순서를 일방적으로 따라가며 문제를 해결하지 않고, 일부의 문제 해결 과정을 앞뒤로 반복 순환하는 것을 확인할 수 있었다. 검사 문항의 자료에서 제시한 내용은 4가지로 다양한 유전 형질과 가계도 구성원의 유전자형과 표현형에 대한 정보를 담고 있기 때문에 학생들은 자료의 각 내용을 하위 문제 해결 목표로 수립하여 접근해야 문제 해결이 가능하다. 각 하위 목표를 해결하는 과정에서 일어나는 복잡한 추론 과정을 살펴보기 위해 가로축은 Polya(1957)의 문제 해결 단계로 세로축은 문제 해결 내용으로 설정하는 2차원적인 도표를 개발하여 나타내었다. 문제 해결 내용으로는 문항에서 주어진 자료의 내용의 순서에 따라 유전 형질 ①과 ②의 유전 원리, 표와 그래프, 남동생의 유전 원리, 아이에게서 ①, ②, 적록색맹이 모두 발현될 확률이다.

학생들의 문제 해결 과정을 분석한 이후, 학생들의 개념적 프레이밍 변화를 분석하였다. 검사 문항의 제한 요인에 대한 개념적 프레이밍은 문제를 해결하기 위해 문제 해결자가 가지고 있는 문제 해결 스키마라고 볼 수 있다(van de Sande & Greeno, 2012). 학생들이 문제 해결을 위한 개념적 지식을 어떻게 활용하고 있는지를 살펴보기 위해 검사 문항의 제한 요인인 대립 유전자의 우열 관계, 유전 형질 ①과 ②의 유전 원리, 염색체 비분리 조건에 대한 개념적 프레이밍을 문제 해결 과정 기록지, 검사지, 사고 구술 인터뷰 전사본을 바탕으로 분석하였다.

학생들의 추론 방식은 Sevia *et al.*(2015)의 추론 유형 분석틀을 참고하여 분석하였다. Sevia *et al.*(2015)의 추론 유형 분석틀은 문제 해결을 위해 기존의 지식을 바탕으로 새로운 표상을 어떠한 추론 유형으로 나타내었는지 알아보는 것으로 기존에 존재하는 지식과 새로운 문제 상황과의 차이점을 인지하고 있는지의 여부와 기존의 지식을 그대로 새로운 문제 상황에 적용하였는지의 여부로 나뉜다. Sevia *et al.*(2015)은 추론 유형을 유사성 기반 추론(similarity-based reasoning), 기억 장치 추론(memory bank reasoning), 원형 기반 추론(prototype reasoning), 원리 기반 추론(rule-based reasoning)으로 분류하였다. 본 연구에서는 연구 참여자에게서 유사성 기반 추론이 나타나지 않아, Sevia *et al.*(2015)의 3가지 추론에 유사성 기반 추론 대신 수학이나 과학 문제 해결에게 자주 나타나는 임의적 추론(Arbitrary reasoning)으로 교체하여 이를 분석틀로 사용하였다(Table 2).

Table 2. Framework for problem-solving reasoning (modified version of Sevian *et al.*(2015)'s)

추론 유형	설명
원리 기반 추론	기준에 존재하는 지식과 새로운 문제 상황의 차이점을 인지하고 원리를 적용하여 추론함
원형 기반 추론	문제 상황과 기준에 존재하는 지식의 차이점을 인지하였으나 유사한 원리를 적용하여 추론함
기억 장치 추론	문제 상황에 기준에 존재하는 지식을 그대로 적용하여 추론함
임의적 추론	문제 상황에 기준에 존재하는 지식을 자의적으로 적용하여 추론함

III. 연구 결과

학생 A와 학생 B는 가계도에 적용되는 2가지 형질의 유전 원리를 확정짓기가 어렵다보니, 문제 상황을 파악하는 과정에서 유사한 오류가 나타났다. 하지만 학생 A는 3차례의 문제 해결 과정을 반복한 결과 오류를 수정하며 성공적인 문제 해결 과정에 근접한 문제 해결 과정을 보여준 반면, 학생 B는 2차례의 문제 해결 과정을 반복하였지만 처음 나타난 오류를 수정하지 않았다. 본 섹션에서는 이와 같은 과정을 학생들의 개념적 프레이밍 변화와 인지적 추론을 분석하며 자세히 살펴볼 것이다.

1. 학생 A의 문제 해결 과정

학생 A는 유전 가계도 문제를 다양한 오류를 나타내며 해결하였지만, 추가적으로 2번 반복하여 문제를 해결하면서 오류를 수정하는 모습을 보여주었다. 검토 단계에서 자료와 본인이 그린 가계도 사이의 일치성을 점검하고, 문제 해결 이후에도 끊임없이 고민하면서 문

항의 3가지 제한 요인에 대해 점차 원리 기반 추론을 하며 개념적 프레이밍을 변화하였다. 마지막의 문제 해결 과정에서는 성공적인 문제 해결 알고리즘에 근접한 문제 해결 과정을 나타내었다.

가. 1차 문제 해결 과정

Figure 2는 학생 A가 유전 가계도 문항을 처음 해결하는 과정을 2차원적인 도표로 나타낸 것이다. 문제의 발문에서 요구하는 2세대에서의 아이에게서 특정 형질이 나타날 형질을 구하는 최종적인 목표를 수행하기 위해 여러 소목표의 과제를 해결해야 한다. 이로 인해 문제 해결 단계는 이해, 계획, 수행, 검토의 순으로 순차적으로 진행되었으나, 각 소목표에 해당하는 문제 해결 내용을 해결하기 위해 이해와 계획 사이나 수행과 검토 사이 등과 같이 각 문제 해결 단계 사이를 되돌아가는 절차를 나타내기도 하였다. 음영 처리된 점선 박스는 오류를 나타낸 문제 해결 과정을 나타낸다. Figure 2에서 보면, 학생 A는 이해(U), 계획(P), 수행(E), 검토(C) 단계에서 다양한 오류를 보여 주었고(U-1, U-2, P-1, E-1, E-2, E-3, C-1), 3가지 제한 요인에 대해

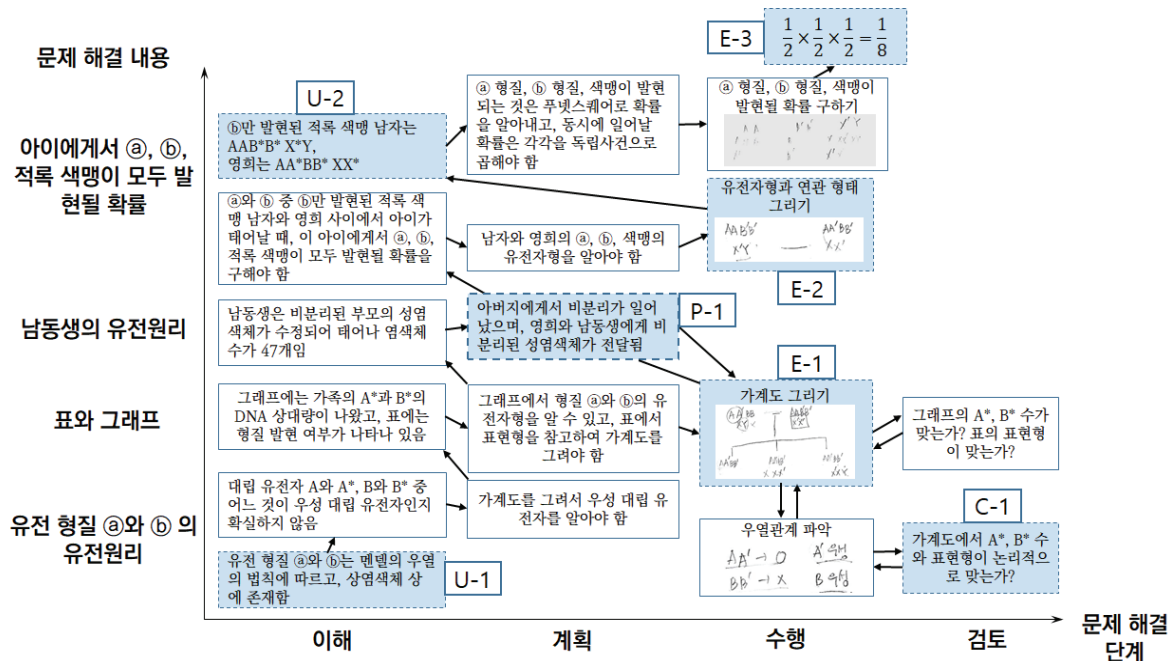


Figure 2. Student A's genetic problem-solving 1st process

Table 3. Student A's conceptual framing and reasoning type of the first problem-solving process

제한 요인	개념적 프레이밍	추론 유형
유전 형질 ①과 ②의 유전 원리	유전 형질 ①, ②는 상염색체 유전임	기억 장치 추론
대립 유전자의 우열 관계	A < A* B > B*	원리 기반 추론
염색체 비분리 조건	남동생에게 비분리된 성염색체(XY)가 전달됨	원형 기반 추론

각각 기억 장치 추론, 원리 기반 추론, 원형 기반 추론을 하였으며, 유전 형질 ㉠과 ㉡의 유전 원리와 염색체 비분리 조건의 제한 요인에 대해서는 잘못된 개념적 프레이밍을 한 것을 확인할 수 있었다(Table 3).

먼저, 학생 A는 유전 형질 ㉠과 ㉡의 유전 원리를 교과서에서 주로 배우는 멘델의 유전 법칙을 적용하여 상염색체 유전으로 파악하는 기억 장치 추론을 하였다(U-1). 문제에서는 유전 형질 ㉠과 ㉡의 유전 원리를 명시적으로 알려주지 않았기 때문에 각 형질에 대한 유전 원리를 가정한 채 문제에서 주어진 정보를 확인하면서 풀어나가야 가계도 문항을 풀기가 쉽다. 유전 문항에서 유전 원리를 명시적으로 제시되지 않은 한, 가정한 유전 원리를 적용하면서 가계도 구성원의 표현형을 분석하여 유전자가 상염색체나 성염색체 중 어디에 연관되어 있는지 시행착오를 통해 파악해야 한다. 하지만 학교에서 유전 원리를 학습할 때 멘델의 유전 원리를 가장 먼저 접하고 학교 시험에서 주로 상염색체 유전을 다루기 때문에 학생 A는 ‘가계도 문항을 풀 때에는 상염색체 유전이라고 가정하고 풀어야 한다.’고 기억 장치 추론에 의해 개념적 프레이밍을 설정하고 수정하지 않았다.

하지만 유전 형질 ㉠과 ㉡의 대립 유전자의 우열 관계에 있어서는 기억 장치 추론에서 벗어나 가계도 구성원의 ㉠과 ㉡에 대한 표현형과 유전자형 정보를 바탕으로 우열 관계를 논리적으로 파악하는 원리 기반 추론이 나타났다. 학생 A는 가계도를 그리고(E-1), 가계도에서 A*와 B*의 수가 문제에서 제시한 그래프와 일치하는지와 가계도 구성원의 표현형과 문제에서 제시한 표와 일치하는지 검토하는 과정을 거쳤다. 그런 후에 AA*의 유전자형에서는 ㉠ 형질이 나타나지만 BB*의 유전자형에서는 ㉡ 형질이 나타나지 않는 것을 보고 A*과 B가 우성 대립 유전자인 것으로 개념적 프레이밍하여 ㉠과 ㉡의 대립 유전자의 우열 관계를 논리적으로 파악하였다.

학생 A는 문제의 자료에서 마지막으로 제시한 비분리 조건에 대해서는 비분리된 염색체는 성염색체로 파악하고 아버지로부터 영희와 남동생이 XY형인 성염색체를 물려받는 것으로 분석하였다. 문제 해결 초반에 유전 형질 ㉠과 ㉡의 유전 원리를 상염색체 유전이라고 개념적 프레이밍을 한 것과 독립적으로 비분리 염색체를 성염색체로 설정함으로써 원형 기반 추론이 나타났다. 학생 A는 본인이 파악했던 유전 형질 ㉠과 ㉡의 유전 원리와 대립 유전자의 우열 관계를 적용하고 문제 해결을 안정적으로 지속시키기 위해 비분리된 염색체를 성염색체로 설정한 것이다. 문제에서 성염색체 유전인 색맹에 대한 오빠, 영희, 남동생의 표현형을 알려주고 있지 않기 때문에 가능한 추론이다. 학생 A는 1차 사고 구술 인터뷰에서 비분리 조건에 대해 적절히 추론하고 문제에 적용하지 못한 것에 대해 아쉬움을 나타내었다.

학생 A: 네. 그래서 사실 비분리를 생각해야 되는 거 같은데, 그 적록색맹은 엄마가 같이 나타났다고..

연구자: 이거?

*학생 A: 네. 엄마가 나타났다고 해서 XX*로 놓고 오빠 안 나타났다고 해서 XY로 설정하고 그 다음 이것도 간단하게 (그래서) 영희를 놓고 그 다음에 이 조건. 이 적록색맹 남자랑 그 다음에 A, B면 B만 발현되는 사람을 놓고 해서 다 그냥 곱했어요.*
- 학생 A 1차 인터뷰

하지만 학생 A는 가계도에서 A*, B*의 수와 표현형이 본인이 파악한 우열 관계와 논리적으로 일치하는지 검토하는 과정을 거쳐야 하나

그렇지 못한 오류를 보여주었다(C-1). 가계도 문항에서 학생들은 본인이 파악한 유전 원리를 확정짓기 위해서 여러 가계도 구성원 사이에서 유전자형 패턴과 표현형 패턴이 동일하게 나타남을 확인해야 한다(Smith, 1988). 그래프에서 A*와 B*의 대립 유전자의 체세포 1개당 DNA 상대량이 오빠와 영희가 동일하고 학생 A는 염색체 비분리가 남동생에게만 성염색체에서 나타난 것으로 파악하였기 때문에 학생 A의 가계도 상에서는 오빠와 영희의 ㉠과 ㉡ 표현형이 동일해야 한다. 하지만 표에서는 오빠와 영희의 ㉡ 표현형이 다르기 때문에 학생 A의 추론에 모순이 생긴다는 결정적 단서(critical cue)를 발견하지 못했다. 학생 A는 가계도를 그리면서 그래프에서 제시된 A*, B*의 DNA 상대량을 바탕으로 가능한 유전자형을 오빠, 영희, 남동생에게 할당하지만 표현형을 확인하지 못한 검토 단계에서 오류가 발생하면서 가계도가 부정확하게 되었다. 이는 연쇄적으로 영희와 ㉡, 적록색맹이 발현된 남자 사이의 아이에게서 ㉠, ㉡, 적록색맹이 모두 발현될 확률을 구하는 문제 해결 과정에서 오류가 발생하게 되었다. 학생 A는 부정확한 가계도를 바탕으로 영희와 ㉡, 적록색맹이 발현된 남자의 유전자형을 각각 AA*BB*XX*, AAB*B*X*Y 라고 잘못 설정하였기 때문에(E-2, U-2), 최종적인 문제 해결 수행 단계에서도 잘못된 계산을 하게 되었다(E-3).

학생 A는 유전 형질 ㉠과 ㉡의 유전 원리를 기억 장치 추론에 의해 상염색체 유전으로 설정한 채 수정하지 않고, 염색체 비분리 조건에 대해 원형 기반 추론에 의해 성염색체로 설정한 것에 대해 검토 과정을 충분히 거치지 않았으므로 최종적으로 1차 문제 해결을 실패하게 되었다. 하지만 학생 A는 1차 문제 해결 후 사고 구술 인터뷰를 하며 자신의 문제 해결 과정을 설명하다가 본인의 문제 해결 과정에서 자신의 문제 해결 오류를 발견하였다. 심층적 접근방식의 학생은 학습을 개인의 경험과 연결하여 의미 있게 구성하려는 학습 경향을 지니며 문제 해결에서도 본인이 생성한 해결책이 정당화가 되는지 객관적으로 설명이 되는지 고민하게 된다(Finkel, 1996). 심층적 접근방식의 학생 A는 문제 해결 과정에서 자신의 해결책이 문제의 정보와 일치하는지 확인하는 검토 과정을 충분히 거치지 않았지만, 인터뷰를 통해 본인의 해결 과정을 설명하면서 자신의 해결책이 불완전하다고 인식하고 있음을 드러내었으며, 새로운 개념적 프레이밍을 통해 문제를 해결해야 한다고 전략을 수정하였다. 학생 A는 유전 형질 ㉠과 ㉡를 모두 상염색체 유전이라고 개념적 프레이밍을 하였으나, 그래프의 대립 유전자 DNA 상대량과 표의 가계도 구성원의 표현형 사이의 괴리를 인지하였다. 상염색체 유전을 적용해서는 안 된다고 인지를 한 뒤, 사고 구술 인터뷰에서 유전 형질 ㉠과 ㉡를 성염색체 유전이라고 이전의 가정의 오류를 수정해야 한다고 말하였다. 학생 A는 1차 사고 구술 인터뷰 직후 바로 2차 문제 해결을 시작하였다.

나. 2차 문제 해결 과정

Figure 3에서 학생 A의 2차 문제 해결 과정을 살펴보면, 1차 문제 해결 과정과 마찬가지로 이해, 계획, 수행 단계에서 오류를 그대로 나타내었지만(U-1, U-2, P-1, E-1, E-2) 검토 단계에서 오류가 수정된 것을 확인할 수 있다(C-1, C-2, C-3). 3가지 제한 요인 중 ㉠과 ㉡의 유전 원리와 염색체 비분리 조건의 제한 요인에 대해 잘못된 개념적 프레이밍을 하고 있었지만, ㉠과 ㉡의 유전 원리에 대한 추론이 원형

기반 추론으로 다르게 나타나면서 1차 문제 해결 과정과 다른 측면에서 잘못된 개념적 프레이밍을 하였다(Table 4). 학생 A는 추론을 달리 하여 제한 요인에 대한 개념적 프레이밍을 변화시켰음에도 불구하고 오류를 보여주었지만 이전과는 다른 문제 해결 과정을 나타내었다(U-1, U-2, P-1, E-1, E-2).

1차 사고 구술 인터뷰 후, 학생 A는 유전 형질 ④와 ⑥의 유전 원리를 파악하면서 1차 문제 해결과는 다르게 원형 기반 추론에 의해 ④는 Y염색체에, ⑥는 X 염색체에 연관되어 있는 성염색체 유전이라고 개념적 프레이밍을 하였다. ⑥의 유전 원리는 X 염색체 연관 유전이라고 파악을 했지만 ④의 유전 원리에 대해 확신이 없었다. 학생 A는 ④에 대한 가계도 구성원의 유전자형과 표현형이 상염색체 유전 원리에 의해 설명되지 않으면서 상염색체 유전이 아니라고 파악하였기 때문에, ⑥의 유전 원리가 X 염색체 연관 유전인 것과 유사하게 ④의 유전 원리는 Y 염색체 연관 유전이라고 원형 기반 추론을 하였다. 이는 다음의 2차 사고 구술 인터뷰에서 드러난다.

학생 A: 이번에는 A랑 B가 성염색체에 있다고 보고 풀었는데요. 어~ 근데 여기서 어머니가 이제 B가 두 개, 상대량이 2가 나왔잖아 요. B'가 그래서 B'B'로 놓았어요.
 연구자: 그러니까 B를 먼저 집중을 한 거네요?
 학생 A: 네. 근데 이거를 봤더니 그러면 B가 X에 있어야 되니까 그럼 반대로 A는 Y에 있지 않을까 생각을 했어요. 그래서 이 가계도를 그려봤는데. 네~ 그래서 XYA' 그 다음에 XB'로 했고 그 다음 적록색맹까지 해서 이 위에 있는 것. 적록색맹 ... (하략) ...
 -학생 A 2차 인터뷰

학생 A는 유전 형질 ④는 Y 염색체에 연관되어 있고, ⑥는 X 염색체에 연관되어 있는 성염색체 유전이라고 가정한 이후, 새롭게 2차 문제 해결을 시작하였다. 이를 통해 가계도를 새롭게 구성하고(E-1), 동시에 영희와 ⑥, 적록색맹이 발현된 남자의 유전자형을 적고 가능한 생식 세포의 유전자형을 생각만 하고 있었다. 구체적으로 자손의 유전자형이나 표현형에 대해 계산을 이어서 하지는 않았다. 검토 단계에서 원리 기반 추론에 의해 ④와 ⑥의 대립 유전자가 A*과 B가 우성 대립 유전자라고 개념적 프레이밍을 한 것을 다시 한 번 확인하여 확신을 하였다(C-1). 하지만 가계도 구성원의 유전자형과 표현형이 그래프와 표의 정보와 일치하지 않음을 확인한 것이다(C-2). 학생 A는 ⑥가 X 염색체 연관 유전이라고 파악한 것은 문제에서 제시한 정보와 일치하였으나, ④가 Y 염색체 연관 유전이라고 원형 기반 추론한 것은 문제에서 제시한 정보와 일치하지 않음을 발견하였다(C-3). 이와 같은 불일치를 해결하기 위해 염색체 비분리가 일어난 정자에 의해 남동생만 태어난 것이 아니라 영희도 염색체 비분리가 일어난 정자에 의해 수정이 된 것으로 원형 기반 추론을 하며 개념적 프레이밍을 수정하는 전략을 세웠다(P-1). 이는 다음의 2차 사고 구술 인터뷰에서 드러난다.

학생 A: 네. 표시를 했어요. 네. 그랬는데. 그래서 두 가지 어~ 약간 (난관에 빠졌는데) 비분리가 되서 남동생이 47개라고 그랬잖아요. 그래서 XX'Y라고 놓고 그 다음에 이렇게 밑에를 두었어요. 그리고 했는데 한 가지 의문은 여기 이렇게 만약에 했으면 A'가 X에는 원래 없어야 되는데 애는 지금 있잖아요. 그래서 그게 왜 그럴까 의문이 들었고 그 다음에 두 번째는 이렇게

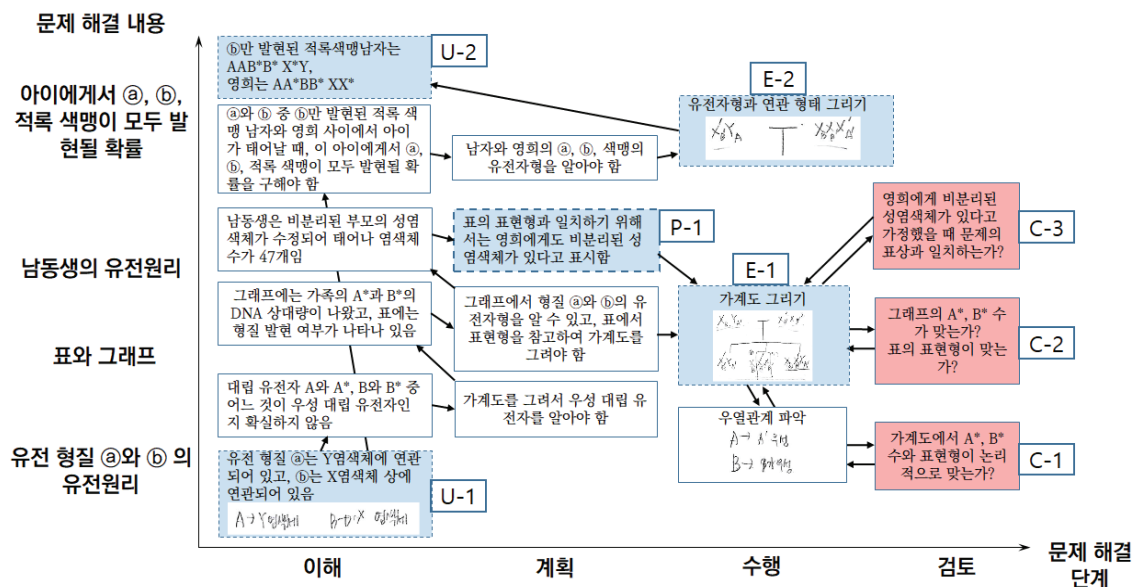


Figure 3. Student A's genetic problem-solving 2nd process

Table 4. Student A's conceptual framing and reasoning type of the second problem-solving process

제한 요인	개념적 프레이밍	추론 유형
유전 형질 ④와 ⑥의 유전 원리	유전 형질 ④는 Y염색체에 연관되어 있고, ⑥는 X염색체 상에 연관되어 있는 성염색체 유전임	원형 기반 추론
대립 유전자의 우열 관계	A[*] B>B [*]	원리 기반 추론
염색체 비분리 조건	영희와 남동생에게 비분리된 성염색체가 전달됨	원형 기반 추론

※ 진하게 표시한 부분은 이전 문제 해결 과정에 비해 변화된 부분을 표기한 것임.

놓고 이제 지금 문제에서 한 것이 지금 적록색맹 남자와 영희 사이에서 애가 태어났잖아요. 그래서 이렇게 봤는데 그 다음에는 뭔가 어떻게 해야 할 지 모르겠어가지고.

연구자: 난관에 부딪혔죠? 그러면 다시 돌아가서 처음에 본인이 가정한 이 과정이 맞다고 생각하세요?

학생 A: 아니요. A는~ 그러면 A는 상염색체일 것 같아요.

연구자: 그렇게 해서 다시 풀다면?

학생 A: 다시 풀어도 되요?

연구자: 그런[다시 풀어야 한다는] 생각이 들었어요?

학생 A: 네.

- 학생 A 2차 인터뷰

학생 A는 C-1, C-2, C-3와 같은 검토 단계를 통해 이전의 문제 해결 과정에서 나타난 오류를 수정하려는 노력을 하게 되었다. 학생 A는 검토 단계에서 문제에서 주어진 표와 그래프 상의 특정 대립 유전자의 DNA 양과 가계도 구성원의 표현형이 가계도에서 표시한 유전자형과 표현형에 일치하는지의 여부를 검증하고 원형 기반 추론에 의해 ⑥가 X 염색체 연관 유전자이며 대칭적으로 ⑤는 Y 염색체 연관 유전자라고 가정했던 것을 수정하였다. 심층적 접근방식의 학생은 메타인지적 측면에서 자신의 아이디어를 평가하고, 어려움에 부딪혔을 때 스스로 질문하고 자신의 오류를 찾으려고 애쓰며, 변칙 데이터에 주목을 하고, 가능한 대안을 적극적으로 검토하는 특징을 가진다(Chin & Brown, 2000). 심층적 접근방식인 학생 A는 문제 해결 측면에서 자신의 문제 해결 과정을 되돌아보며 자신의 개념적 프레임링을 검토하고 반성하여 문제 해결 전략을 수정하는 모습을 보여준

것이다. 학생 A는 2차 문제 해결 과정에서 검토 단계를 거치면서 오류를 수정하려는 노력을 하였으며 이는 3차 문제 해결 시도로 이어졌다.

다. 3차 문제 해결 과정

학생 A의 3차 문제 해결 과정을 살펴보면(Figure 4), 이해, 계획, 수행 단계에서의 오류가 수정되었다(U-1, U-2, P-1, E-1). 이는 원리 기반 추론에 의해 이전의 옳지 않은 개념적 프레임링을 수정하면서 3가지 제한 요인에 대해 옳게 개념적 프레임링을 하였기 때문이다. 3가지 제한 요인 중 유전 형질 ⑤와 ⑥의 유전 원리와 염색체 비분리 조건에 대한 추론 유형과 개념적 프레임링이 변화하였다(Table 5). 하지만 학생 A는 2가지 유전 형질에 대한 대립 유전자가 X 염색체에 연관되어 있으면 독립사건이 아닌 종속사건으로 확률을 계산해야 한다는 개념을 문제에 적용하지 못하여, 아이에게서 ⑤, ⑥, 적록색맹이 모두 나타날 확률을 구하는 문제 해결 내용의 계획, 수행, 검토 단계에서 오류를 보여주면서(P-2, E-2, E-3, C-1) 문제 해결을 실패하게 되었다.

먼저, 학생 A는 2차 문제 해결을 마친 뒤 이어진 3차 인터뷰에서 자신이 유전 형질 ⑤와 ⑥의 유전 원리에 대해 개념적 프레임링을 잘못 하고 있었음을 드러내었다. 하지만 2번의 문제 해결 과정을 거치면서 문제의 표와 그래프를 바탕으로 그린 자신의 가계도와 3가지 제한 요인에 대한 개념적 프레임링이 일치하도록 생물학적 개념을 적용하여 수정하는 원리 기반 추론을 하게 되었다. 다음의 3차 사고 구술 인터뷰에서 드러났듯이, ⑤가 상염색체 연관 유전, Y 염색체 연관 유전자라고 가정했던 이전의 문제 해결 과정에서는 학생 A가

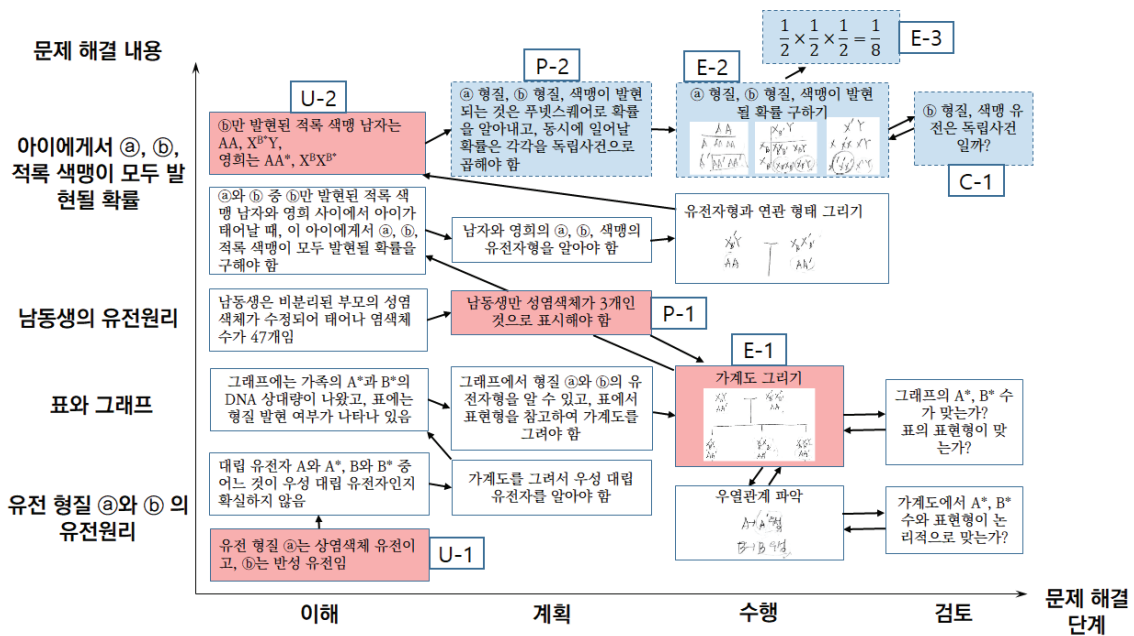


Figure 4. Student A's genetic problem-solving 3rd process

Table 5. Student A's conceptual framing and reasoning type of the third problem-solving process

제한 요인	개념적 프레임링	추론 유형
유전 형질 ⑤와 ⑥의 유전 원리	유전 형질 ⑤는 상염색체 유전이고, ⑥는 반성 유전임	원리 기반 추론
대립 유전자의 우열 관계	A < A* B > B*	원리 기반 추론
염색체 비분리 조건	남동생에게만 비분리된 성염색체(X ^B Y)가 전달됨	원리 기반 추론

※ 진하게 표시한 부분은 이전 문제 해결 과정에 비해 변화된 부분을 표기한 것임.

그린 가계도와 문제의 표와 그래프 정보가 일치하지 않았다. 학생 A는 자신이 개념적 프레이밍 한 것과 문제의 정보가 일치하도록 논리적인 검토를 하면서 ㉠을 상염색체(X 염색체) 연관 유전으로 설정하여 문제 해결을 하면서 해결책을 마련하였다.

학생 A: 처음에는 뭔가 그냥 막막해가지고

연구자: 네. 처음에 상염색체를 아예 생각을 못했죠?

학생 A: 네. 그래서 했는데~ 상염색체(Y 염색체)로 해서 했는데 여기서도 여기가 안 풀렸잖아요. 그래서 하다 보니까 아, 그럼 상염색체... 다시 돌아와서, 아니 A 상염색체, 아니 'A는 상염색체(X 염색체)일 수 있겠다.' 해서 다시 풀었어요.

- 학생 A 3차 인터뷰

이와 같이 학생 A는 메타인지적 활동 측면에서 심층적 접근방식의 학생이 나타내는 특징인 반복적인 검토를 통해서 가능한 대안을 마련하여 문제 해결에 계속 도전하는 모습을 보여주었다. 대립 유전자의 우열 관계를 명시적으로 알려주지 않고 염색체 비분리 현상 등의 변칙 사례를 적용해야 하고 일부 가계도 구성원의 표현형을 알려주지 않는 등의 적용해야 할 개념과 법칙들이 불확실한 문제를 해결하는 것은 보통 학생들에게는 쉽지 않은 일이다. 학생 A는 개념 검사를 통해 염색체 비분리에 대한 불완전한 개념을 나타내었지만 문제의 정보를 자의적 해석이 아닌 원리 기반 추론을 하면서 가계도 완성을 위한 퍼즐을 맞추어 나갔다.

2차 문제 해결 과정에서 본인이 설정한 ㉠과 ㉡의 유전 원리와 대립 유전자의 우열 관계가 논리적으로 타당하도록 염색체 비분리가 일어난 정자에 의해 남동생뿐만 아니라 영희도 태어난 것으로 원형기반 추론을 하며 잘못된 개념적 프레이밍을 하였다. 3차 문제 해결 과정에서는 ㉠이 X 염색체 연관 유전이라고 옳은 개념적 프레이밍으로 변화하였기 때문에 가계도 구성원의 유전자형과 표현형이 논리적으로 일치하게 됨을 확인하는 원리 기반 추론에 의해 염색체 비분리 조건에 대해서도 염색체 비분리된 정자는 남동생에게만 전달되었다는 옳은 개념적 프레이밍을 하게 되었다(P-1). 이와 같이 제한 요인에 대한 개념적 프레이밍을 변화함으로써 본인이 그린 가계도와 문제의 표와 그래프 정보가 일치하게 됨으로써 가계도의 완성도가 높아졌다(E-1).

하지만 아이에게서 ㉠, ㉡, 적록색맹이 모두 나타날 확률을 구하기 위해서 ㉠은 X 염색체 연관 유전이라고 설정하였기 때문에 ㉠ 대립 유전자와 적록색맹 유전자는 연관되어 있다는 개념을 적용하여 계산을 해야 한다. 하지만, 학생 A는 ㉠ 유전과 적록색맹 유전을 독립 사건으로 분류하여(P-2), 아이에게서 ㉠, ㉡, 적록색맹이 나타날 확률을 각각 구해서(E-2), 최종적인 답을 $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{8}$ 로 계산하였다(E-3). 문제의 제한 요인에 대해 옳은 개념적 프레이밍으로 변화했음에도 불구하고 ㉠의 대립 유전자가 적록색맹 대립 유전자와 동일한 염색체에 연관되어 있는 개념을 적용하여 이들이 서로 독립 사건인지 검토하는 과정(C-1)을 놓친 것이다. 이와 같은 오류는 문제의 추론 단계가 많아서 나타난 현상으로 볼 수 있다. 동일한 구조의 문제일지라도 문제 해결을 위한 정보 처리량이 많아지면 문제 해결자의 작업 기억 용량에 부담을 주기 때문에 문제 해결에 실패할 확률이 높아진다(Niaz, 1989). 학생 A는 3가지 제한 요인에 대한 옳은 개념적 프레이밍을 했음에도 불구하고 문제의 추론 단계가 많아 오류가 나타났다.

학생 A: 저는 어쨌든 암기보다는 이해, 암기를 사실 잘 못해요. 다른 사람보다는. 그래서 저는 일단 이해하는 편이고, 그 다음에 생명과학은 보통, 생명과학 특성상 과목 특성상, 또 엄청 막 달달 달 또 외워야 되는 건 아니어서, 어느 정도 이해해서 풀고, 그 다음에 문제 풀 때 좀 하나 하나 집중해서 푸는 것 같고...

- 학생 A 사전 인터뷰

사전 인터뷰에서 학생 A는 평소 학습할 때 암기를 지양하고 문제 해결에서도 암기에 의한 기계적 풀이가 아닌 문제에서 내제된 개념을 이해하여 문제를 해결해 가려는 성향을 가진다고 하였다. 실제로 학생 A는 학습접근방식 검사에서도 심층적 접근방식을 나타내었으며, 본인이 가지는 특정 개념 지식을 문제에 적용하여 해결책을 마련하며 오류가 발생했을 때 스스로 질문하고 다른 해결책을 고안하여 오류를 수정하려는 노력을 보여주었다. 문제 해결의 마지막 과정에서 연관과 관련된 독립 사건을 고려하지 못하여 최종적으로 정답을 구하지 못하였지만, 문제 해결 과정은 문제 해결에 성공한 문제 해결자의 문제 해결 과정 알고리즘과 유사하게 나타나게 되었다.

2. 학생 B의 문제 해결 과정

학생 B는 학생 A와 마찬가지로 이해, 계획, 수행, 검토 단계에서 다양한 오류를 나타내면서 문제 해결에 실패하였다. 하지만 2차례의 문제 해결 과정에서 문제의 제한 요인에 대해 기억 장치 추론이나 임의적 추론을 통해서 옳지 않은 개념적 프레이밍을 하였고, 이를 수정하지 않고 유지하는 모습을 나타내었다.

가. 1차 문제 해결 과정

Figure 5에서 학생 B의 1차 문제 해결 과정을 살펴보면, 학생 A와 동일한 문제 해결 단계와 문제 해결 내용에서 오류를 나타내었다. 학생 A와 B의 동일한 문제 해결 오류는 가설의 생성 및 검증, 유전학 메커니즘에 대한 결정적 단서의 탐색, 대안 가설의 생성 등의 문제 해결 행위가 요구되는 유전학 가계도의 문제 요인으로 발생한 것으로 보인다(Hackling & Lawrence, 1988). 학생 B는 문제의 제한 요인에서 유전 형질 ㉠과 ㉡의 유전 원리와 대립 유전자의 우열 관계를 각각 기억 장치 추론, 원리 기반 추론에 의해 개념적 프레이밍을 하였으며, 염색체 비분리 조건은 임의적 추론에 의해 문제 해결에서 활용하지 않았다(Table 6).

먼저, 학생 B는 학생 A와 동일하게 유전 형질 ㉠과 ㉡의 유전 원리를 기억 장치 추론에 의해 ㉠과 ㉡가 모두 상염색체 유전이라고 개념적 프레이밍을 하였다(U-1). 그 이유는 학생 A의 경우와 마찬가지로 교과서 가계도 문제에서 유전 원리를 상염색체 유전으로 가장 많이 접했고, 이것은 가장 쉽게 적용할 수 있는 프레이밍이기 때문이다. Stewart & Dale(1989)은 학생들이 일반적으로 암기 기억 때문에 문제 상황에서 개념을 적절히 적용하지 못했다고 보고하였다. 학생 B도 기억 장치 추론에 의해 ㉠과 ㉡가 모두 상염색체 유전이라고 가정함으로써 옳지 않은 가계도를 표상화하였고 연쇄적인 추론 과정에 영향을 미쳐 아이에게서 특정 형질이 나타날 확률을 잘못 구하게 되었다.

대립 유전자의 우열 관계 제한 요인에 대해 학생 B는 원리 기반 추론에 기반하여 A*와 B가 우성 대립 유전자라는 것을 파악하였다.

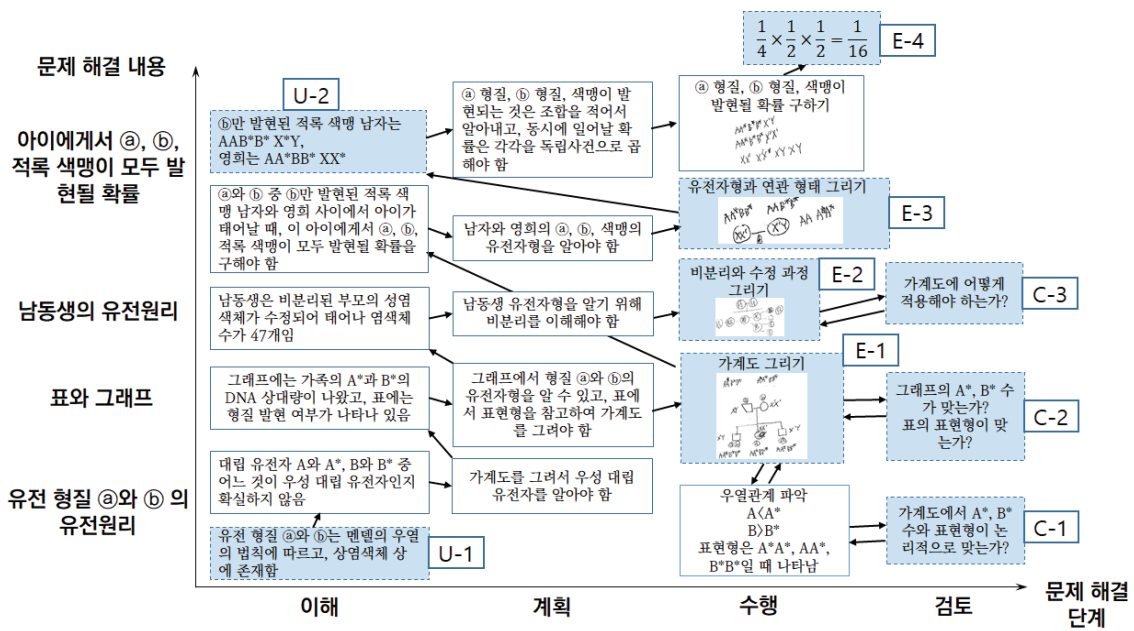


Figure 5. Student B's genetic problem-solving 1st process

Table 6. Student B's conceptual framing and reasoning type of the first problem-solving process

제한 요인	개념적 프레이밍	추론 유형
유전 형질 ㉔와 ㉕의 유전 원리	유전 형질 ㉔, ㉕는 상염색체 유전임	기억 장치 추론
대립 유전자의 우열 관계	A < A* > B > B*	원리 기반 추론
염색체 비분리 조건	남동생 유전자형을 알기 위해 비분리를 이해해야 하지만 알 수 없음	임의적 추론

이는 다음의 1차 사고 구술 인터뷰에서 알 수 있다.

연구자: 읽고 뭘 파악했어요?
 학생 B: 네, A*는 한 개만 있어도 발현된다. B형질은*가 하나만 있어도...
 연구자: 응. 하나만 있어도 (발현된다구요)?
 학생 B: 아. B는 아니구요... (중략) ... 그리고, 음~ 이것을 보고
 연구자: 응. 표를 보고? 그래프를 보고?
 학생 B: 어머니는 (DNA) 상대량이 하나. 하나만 있는데도 발현된 것, B형질이 발현된 것을 보고...

- 학생 B 1차 인터뷰

학생 B는 표의 표현형 정보를 읽은 후에 대립 유전자를 하나만 가지고 있어도 형질이 발현된다는 과학적 개념을 적용하여 A*와 B가 우성 대립 유전자임을 파악하였다. 어머니와 관련된, 그래프의 B*의 DNA 상대량과 표의 표현형을 동시에 고려한 것으로 원리 기반 추론에 해당한다. 이와 같은 개념적 프레이밍을 바탕으로 학생 B는 표와 그래프 정보를 참고하여 불완전한 가계도를 완성하였다(E-1). 학생 B는 형질 ㉔와 ㉕의 대립 유전자의 우열 관계에 대해 옳은 개념적 프레이밍을 하였으나, 가계도 내에서 구성원의 대립 유전자 수가 본인이 적용한 유전 원리에 의한 표현형과 일치하는지의 여부 및 그래프의 대립 유전자 정보와 표의 표현형의 일치하는지의 여부를 검토하지 않았다(C-1, C-2).

학생 B는 마지막 제한 요인인 염색체 비분리 조건에 대해서 학생 A와 다르게 접근하였다. 학생 B는 염색체 비분리 조건에 대한 문제의 정보를 읽고 염색체 비분리 과정과 수정 과정을 연결하여 그림으로 그려서 파악하려고 하였으나 증도에 포기하였고(E-2), 가계도에 어떻

게 적용해야 하는지에 대한 검토가 이루어지지 않았다(C-3). 문제를 해결하기 위해 염색체 비분리 조건을 이해해야 한다고 인식하고 있었으나 문제에 활용하지 않는 임의적 추론이 나타났다. 학생 B는 가계도 문항에 대한 1차 사고 구술 인터뷰에서 염색체 비분리 조건에 대한 아쉬움을 먼저 드러내면서 문제 해결 과정을 설명하였다. 학생 B는 염색체 비분리 조건을 문제 해결 과정에서 이용해야 하지만 그렇지 못한 아쉬움을 표현하였지만 실제 문제 해결 과정에서는 이용하지 않았다고 하였다.

학생 B: 2번은 근데 제가 비분리를 잘 기억이 안 나서...
 연구자: 비분리를 이용했어요?
 학생 B: 이용을 못했던 것 같아요.
 연구자: 이 문항을 푸는데 (비분리 조건을) 이용을 해야 돼요?
 학생 B: 굳이 이용할 필요 없다고 생각했어요.

- 학생 B 1차 인터뷰

학생 B는 형질 ㉔와 ㉕의 대립 유전자의 우열 관계에 대해 원리 기반 추론을 통해 옳은 개념적 프레이밍을 하였지만, 학생 A와 유사한 문제 해결 중의 오류를 나타내며 기억 장치 추론에 의해 잘못된 개념적 프레이밍을 하였고, 임의적 추론에 의해 염색체 비분리 조건을 활용하지 않았다. 하지만 학생 A와는 달리 문제 해결 과정 중 혹은 문제 해결 이후 사고 구술 인터뷰에서 자신의 추론 방식이나 개념적 프레이밍을 한 것에 대해 변화하려고 하는 모습을 보여주지 않았다. 자신이 그린 가계도와 문제에서 제시한 표와 그래프 정보의 일치성을 확인하는 검토 단계에서 문제에서 제시한 정보와 일치하는 일부 가계도 구성원의 유전자형과 표현형만을 확인하는 오류가 두드러지게 나

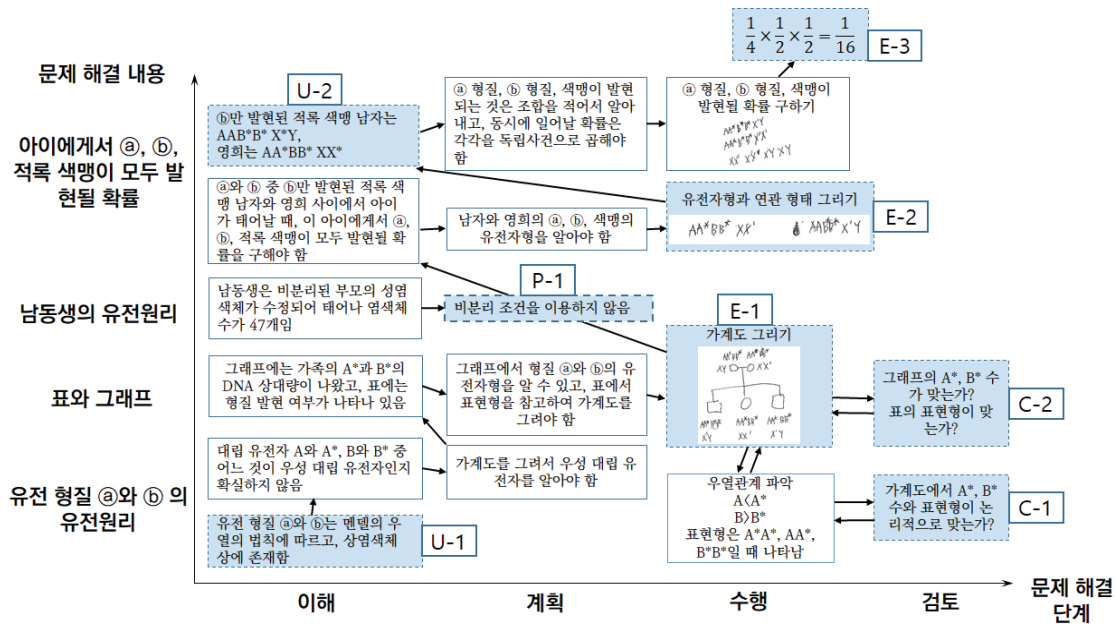


Figure 6. Student B's genetics problem-solving 2nd process

Table 7. Student B's conceptual framing and reasoning type of the second problem-solving process

제한 요인	개념적 프레이밍	추론 유형
유전 형질 ④와 ⑥의 유전 원리	유전 형질 ④, ⑥는 상염색체 유전임	기억 장치 추론
대립 유전자의 우열 관계	$A < A^* > B > B^*$	원리 기반 추론
염색체 비분리 조건	비분리 조건을 이용하지 않음	임의적 추론

타났으며, 문제에서 제시한 염색체 비분리 조건이 문제 해결 과정에 필요없다고 판단하는 임의적 추론을 보여주기도 하였다. 이와 같은 모습은 문제 자체를 이해하려고 하지 않고 문제 해결을 실패할 것을 두려워하여 외적 동기가 두드러지게 나타나는 피상적 학습접근방식의 학습자의 특성이다(Ramsden, 1995).

다음의 1차 사고 구술 인터뷰에서 학생 B는 수동적으로 2차 문제 해결에 참여하는 모습을 보여주었다. 학생 B는 자신의 문제 해결 과정을 설명하던 중 어머니의 유전자형을 AA라고 적어야 하나 AA*라고 잘못 표상화하였다고 하였다. 학생 B는 ④와 ⑥의 대립 유전자의 우열 관계에 대해서는 옳은 개념적 프레이밍을 하였기 때문에 표상화를 하는 과정에서 실수를 한 것으로 보인다. 이에 대해 연구자가 다시 풀어볼 것을 권유하자 망설이다가 2차 문제 해결을 시도하였다.

학생 B: 그래서 이게 어머니랑 아버지가 될 수 있는. 나타낼 수 있는 이 유전자형을 써봤어요.
 연구자: 응. 어머니는 AA고 어머니 AA*라고 적혔네.
 학생 B: 아, 이게 아마도 반대일 것 같아요.
 연구자: 잘못 적은 거야?
 학생 B: 네. 잘못 적었어요. 이거로 보고 이게 B로 생각했나봐요.
 ... (중략) ...
 연구자: 다시 한 번 풀어볼래요? 그러면?
 학생 B: 네.

- 학생 B 1차 인터뷰

⑥, 적록색맹이 발현된 남자의 유전자형을 명료하게 표상화하였으나, 1차 때와 동일한 문제 해결 과정에서 오류를 보여주었다(Figure 6 - U-1, U-2, P-1, E-1, E-2, E-3, C-1, C-2). 이와 더불어 3가지 제한 요인에 대한 추론 유형과 개념적 프레이밍도 동일하게 나타났다(Table 7).

학생 B의 제한 요인에 대한 개념적 프레이밍을 살펴보면, 유전 형질 ④와 ⑥의 유전 원리는 상염색체 유전이라는 1차 문제 해결에서의 개념적 프레이밍을 그대로 유지하였다. 이는 다음의 2차 사고 구술 인터뷰에서 알 수 있다.

연구자: B* B*를 그려준 이유가 뭐예요? 오빠는 (유전형이 어떻게 되는 것이예요)?
 학생 B: 오빠는 두 개 다...
 연구자: 오빠는 형질이 있어서?
 학생 B: 네...
 연구자: 그리고 애(아이)는?
 학생 B: 안 나타나서...
 연구자: 그러니까 처음 과정이 B*가 두 개가 있으면 형질이 나타난다고 가정했네요. 열성으로 본 것이네요?
 학생 B: 네.
 연구자: 그럼 이거랑 맞춰볼 생각은 안 해봤어요? 이거랑은 안 맞잖아요? 지금. 아빠도 안 맞고. 오빠도 안 맞네요.
 학생 B: 이게...

- 학생 B 2차 인터뷰

나. 2차 문제 해결 과정

2차 문제 해결 과정에서 학생 B는 1차 때에 비해 가계도 및 영희와

위의 2차 사고 구술 인터뷰에서 살펴보면, 학생 B는 ⑥ 형질의 유전 원리가 상염색체 열성 유전이라고 개념적 프레이밍을 하였고

표에서 오빠와 영희의 표현형이 다르기 때문에 오빠는 B*B*, 영희는 BB*라고 유전자형을 다르게 표시한 것으로 답변하였다. 하지만 학생 B가 설명한 문제 해결 과정에 따르면, 표에서 오빠와 영희의 ⑥ 표현형이 다른 것을 설명할 수 있으나 그래프에서 오빠와 영희가 ⑥에 대해 동일한 유전자형을 가지고 있어야 하는 것은 설명하지 못한다. 연구자는 학생 B가 초기에 설정한 가정을 수정할 수 있는 결정적 단서(critical cue)에 대해 검토나 반성이 이루어졌는지 확인하기 위해, 학생 B가 오빠는 B*B*, 영희는 BB*이라고 적은 것이 그래프와 일치하지 않는 것을 지적하자, 학생 B는 이에 대한 답변을 하지 못하였다. 학생 B는 본인이 설정한 상염색체 유전 프레이밍을 검증하는 것이 아니라 표의 일부 정보만 이용하고 그래프의 일부 정보를 무시하는 모습을 보여주었다. 메타인지는 학습접근방식을 구분하는 중요한 기준이다(Biggs, 1993). 학생 B가 본인이 그린 가계도와 표와 그래프 정보를 모두 활용하여 검토 과정(C-1, C-2)이 제대로 이루어지지 않아, ⑥ 형질의 유전 원리에 대한 잘못된 프레이밍을 변화시킬 수 없었다.

또한, 1차 문제 해결 과정에서 나타내었던 염색체 비분리 조건에 대한 임의적 추론은 2차 문제 해결 과정에서도 변하지 않았다. 실제로 다음의 2차 사고 구술 인터뷰에서 학생 B는 염색체 비분리 제한 요인에 대해 파악하지 못하였고 문제 해결 과정에서 이를 활용하지 않았다고 답하였다.

연구자: 문제를 풀면서 어려움은 없었나요?

학생 B: 이것(가계도 문항)은 그냥 놓치는 게 좀 많았어요.

연구자: 어떤 걸 놓쳤죠?

학생 B: 비분리가 뭔지 잘 몰라서...

연구자: 근데 비분리를 놓쳤다고 생각하는 건 막연하게 생각하는 거예요? 아니면 이 문항을 푸는데 필요하다고 생각하는 거예요? 근데 어쨌든 답이 나왔잖아.

학생 B: 네. 이것(비분리)을 고려를 안 해도 답이 나왔어요.

연구자: 비분리가 언제 필요할 것 같은데요?

학생 B: 비분리가 어디에 쓰이는지 기억이 잘 안 나서...

- 학생 B 2차 인터뷰

학생 A와 B는 모두 개념 검사에서 비분리에 대한 문항에서 모른다고 답하여 염색체 비분리 개념에 대해 부족한 것으로 드러났다. 학생 A는 1차와 2차 문제 해결 과정에서는 염색체 비분리 조건을 무시하거나 잘못 적용하였지만 3차에서는 오빠와 남동생이 동성이고, A*와 B*에 대한 DNA 양이 동일함에도 형질 ③과 ④의 표현형이 다를 수 있음을 인지하는 단서로 활용하였다. 염색체 비분리 조건 정보는 형질 ③과 ④의 유전 원리가 상염색체와 성염색체의 차이에 있다는 것을 인지하는 데에 필요한 단서이다. 학생 B는 이러한 결정적 단서를 이용하지 않고(P-1), 유전 형질 ③, ④는 상염색체 유전이라고 기억 장치 추론에 의한 결론을 유지하였다. 주어진 정보에 대한 세심한 관심을 쏟지 않는 비성공적인 문제 해결자의 특성과 유사하게(Smith & Good, 1984), 학생 B는 본인의 가계도 완성도를 꼼꼼하게 확인하지 않고 문제에서 제시한 단서를 활용하지 않고 무시하였다.

IV. 결론 및 제언

본 연구에서는 심층적 접근방식의 학생 A와 피상적 접근방식의

학생 B의 유전 가계도 문제 해결 과정상의 차이를 심층적으로 들여다 보고자 하였다. 학생 A와 B는 유전 형질 ③과 ④의 유전 원리, 표와 그래프, 남동생의 유전 원리, 아이에게서 ③, ④, 적록색맹이 모두 발현될 확률의 문제 해결 내용을 차례로 해결하였다. 유전 가계도 문제의 특성상 가계도 구성원들에게 있을 유전 형질에 대한 가설을 생성하고 가설을 검증하는 시행착오 과정이 나타난다. 본 연구의 검사 문항은 3가지 제한 요인-형질 ③과 ④의 유전 원리, 대립 유전자의 우열 관계, 염색체 비분리 조건을 가지고 있었다. 참여자들은 문제의 제한 요인에 대해 원리 기반 추론 외의 다른 추론 방식을 사용하여 옳지 않은 개념적 프레이밍을 하기도 하였다. 이에 따라 참여자들은 1차 문제 해결 과정에서 유사한 오류를 나타내었으며, 문제의 3가지 제한 요인 중 대립 유전자의 우열 관계에 대해서만 원리 기반 추론을 하며 옳은 개념적 프레이밍을 하여 최종적인 답을 구하는 데에 실패하게 되었다.

하지만 1차 문제 해결 뒤의 학생 A와 B의 대응은 다르게 나타나게 되어 최종적으로 다른 문제 해결 과정을 나타내었다. 우선, 학생 A는 사고 구술 인터뷰를 통해서 자신의 오류를 확인하고 자발적으로 문제 해결을 다시 할 것을 요청하였다. 염색체 비분리와 같이 본인이 잘 알지 못하는 개념일지라도 문제에서 주어진 정보에 대해 완전한 이해를 추구하여 문제 해결에 이용하려고 노력하였다. 문제 해결 단계 중 검토 단계에서 형질 ③과 ④의 유전 원리와 대립 유전자의 우열 관계에 대해 개념적 프레이밍한 내용에 대해 점검하였는데, 본인이 그린 가계도 내에서 유전 원리가 가계도 구성원에게 적용되는지, 표와 그래프의 정보가 가계도 구성원의 유전자형과 표현형에 일치하는지의 여부를 확인함으로써 메타인지적 활동이 두드러지게 나타났다. 이에 따라 제한 요인에 대해 기억 장치 추론과 원형 기반 추론에 의해 옳지 않은 개념적 프레이밍한 것을 원리 기반 추론을 하게 되면서 옳은 개념적 프레이밍으로 변화하였다. 문제 해결의 마지막 단계에서 연관과 관련된 독립 사건을 검토하지 못하여 최종적으로 정답을 구하지 못하였지만, 학생 A의 마지막 문제 해결 과정은 문제 해결에 성공한 문제 해결자의 문제 해결 과정 알고리즘과 유사하게 나타났다.

이에 반해 학생 B는 연구자의 권유로 비자발적으로 문제 해결 과정을 반복하였고, 문제에 대해서 완전한 이해 없이 답을 구하려는 목적 지향적인 문제 해결 태도가 두드러지게 나타났다. 2차 문제 해결 과정에서도 검토 단계에서 가계도 내에서 유전 원리가 논리적으로 일관되는지의 여부와 가계도 구성원의 유전자형과 표현형이 표와 그래프 정보와 일치하는지의 여부를 확인하는 과정이 부족한 것으로 드러났다. 이는 본인이 설정한 제한 요인에 대한 개념적 프레이밍을 유지하려는 목적으로 본인이 표상화한 가계도의 유전 원리와 가계도 구성원의 유전자형과 표현형을 정당화할 수 있도록 문제에서 제시한 일부 정보만을 확인하는 모습을 보여주었다. 결과적으로 학생 B는 반복된 문제 해결 과정에서도 형질 ③과 ④의 유전 원리와 염색체 비분리의 제한 요인에 대해 각각 기억 장치 추론과 임의적 추론을 그대로 유지하여 옳지 않은 개념적 프레이밍하여 최종적으로 문제 해결에 실패하였다.

본 연구에서 심층적 접근방식과 피상적 접근방식의 학생들은 서로 다른 문제 해결 과정을 보여 주었다. 학생 A는 학습 과정에서 메타인지적 활동이 두드러지는 심층적 접근방식을 나타내었는데 문제 해결 과정의 검토 단계에서 자기 스스로에게 질문하고 반성하는 모습을 보여주었다. 학생 A는 검토 단계에서 문제 해결 과정을 반복하면서

문제점이 있다고 발견했다면 다시 문제 공간으로 돌아와 문제를 다시 프레이밍하여 문제를 재정의하면서 문제를 해결하기 위한 다른 방법을 생성하고 실행에 옮긴 것이다. 메타인지적 활동에 의해 기억 장치 추론이나 원형 기반 추론으로부터 원리 기반 추론으로 변화하였고 최종적으로 옳은 개념적 프레이밍을 하였다. 일부 선행 연구에서는 학습접근방식의 차이를 통해 학생들이 동일한 선지식을 가지고 있음에도 불구하고 다양한 학습성취 결과를 나타내는지를 설명해줄 수 있다고 하였으나(Biggs, 1993; Chiou, Lee, & Tsai, 2013) 본 연구에서는 이를 확장하여 문제 해결 과정의 질적인 차이도 설명이 가능함을 확인하였다. 본 연구 결과를 통해 문제 해결 과정에서 심층적 접근방식의 학생이 보여주는 메타인지적 활동과 반성적 태도는 학습에서의 심층적 접근방식과 유사하다는 것을 확인하였다.

또한, 심층적 접근 방식을 주로 사용하는 문제 해결자라 할지라도 주어진 환경에 따라 접근 양식이 다르게 나타날 수 있음을 확인하였다. 1차 문제 해결 과정에서 심층적 접근방식을 가진 학생 A는 여러 단계의 추론을 요구하는 고난도의 검사 문항을 처음 접해보고 제한된 시간 안에 문제를 해결해야 하기에 목적 지향적인 피상적 접근방식의 문제 해결 태도를 보여주었다. 하지만 문제 상황에 대해 충분히 생각할 수 있는 시간적 여유가 주어짐으로써 학생 본래의 학습접근방식이 작동하였다. 학생들의 학습접근방식은 개인이 지니는 동기, 가치, 태도, 선지식, 학습 개념에 의해 지속적으로 드러나는 학습 지향(learning orientation)이지만(Entwistle, 1981), 과제의 본성과 같은 상황적 요인에 따라 정도의 차이가 나타날 수 있는 것이다(Biggs, 1993). 이는 학생들에게 처음 유전 문제를 제공할 때에 난도가 낮은 것부터 제공하고 충분히 생각할 수 있는 시간을 부여함으로써 문제 해결 과정에서 심층적 접근방식을 발달할 수 있도록 해야 함을 시사한다.

일반적인 학교 시험에서 주는 폐쇄형 문항은 원인-결과(cause-effect) 유형으로 특정 형질에 대한 유전 원리의 정보를 주고 특정 형질을 가진 부모의 자손이 특정 형질이나 유전자형을 가질 확률을 구하도록 하는 것이 일반적이다. 이에 반해 가계도 문항은 유전 문항 중에서 독특한 특성을 지닌다. 일반적인 가계도 문항은 일부 가계도 구성원의 유전자형이나 표현형을 알려주고 이들이 가지고 있을 다양한 형질에 대한 유전 원리를 밝혀내도록 하여 결과-원인(effect-cause) 유형을 따르기 때문이다. 본 연구의 검사 문항은 원인-결과 유형과 결과-원인 유형이 복합적으로 적용되어 학생들이 최종적인 답을 구하는 것이 어려웠을 것이다. 학생 A와 B 모두 유전 형질 ①과 ②가 상염색체 유전일 것이라고 기억 장치 추론에 의해 잘못된 개념적 프레이밍을 함으로써 이어진 일련의 문제 해결 추론 과정에서도 오류를 나타나게 하였다. 옳은 과학적 개념을 적용하여 문제를 해결할 기회를 상실한 것이다. 가계도 문항을 포함한 유전 문항의 특성상, 유전 원리와 대립 유전자의 우열 관계가 불확실한 문제 상황이 제시될 수 있으므로 학생들이 다양한 문제 유형을 접함으로써 기억 장치 추론에 의한 개념적 프레이밍을 지양할 수 있도록 해야 한다.

하지만 참여자들의 이러한 기억 장치 추론에 의한 개념적 프레이밍은 유전 문제의 접근조차 어려워하는 중하위권 학생들이 문제를 해결하는 데에 도움을 줄 수 있을 것이다. 미지의 유전 형질에 대해 상염색체 유전 원리가 적용된다고 가정하는 것과 같이 문제 해결자가 문제 해결을 용이하게 하여 해결책에 가장 잘 접근할 수 있도록 하는 전략을 휴리스틱(heuristic)이라고 한다(Stewart, 1988). 참여자들이 제한

요인에 대해 기억 장치 추론에 의한 개념적 프레이밍을 하는 것은 가계도 문제 특이 휴리스틱이라는 것을 확인할 수 있었다. 미지의 유전 형질이 나왔을 때에는 먼저 상염색체 우성 유전으로 가정한다는 것이다. 학교에서 교사는 참여자들은 3가지의 유전 형질이 복합적으로 적용된 가계도 상에서 각각의 유전 형질을 독립적으로 확인했듯이, 유전 문제에 2가지 이상의 유전 형질이 내제된 경우에 한 번에 하나의 유전 형질 원리를 밝히려는 식의 유전 문제 특이 휴리스틱 개발과 안내가 필요하다.

본 연구는 특정 고등학생들의 유전 가계도 문제 해결 과정을 심층적으로 분석한 사례 연구이므로 일반적 사례로 확대 해석할 수 없지만, 심층적 접근방식과 피상적 접근방식의 학생이 문제 해결에 대해 어떻게 다르게 인식하고 문제 해결 과정에서 추론 방식과 개념적 프레이밍의 변화가 어떻게 다르게 일어나는지 구체적으로 살펴볼 수 있었다. 후속 연구에서는 많은 수의 학생들을 대상으로 유전 문제 휴리스틱과 유전 문제 해결 과정 중 자주 나타나는 오류에 대해 연구함으로써 유전 문제 해결에 어려움을 겪는 학생들이나 이들을 지도하는 교사들에게 도움을 줄 수 있을 것이다.

국문요약

본 연구에서는 서로 다른 학습접근방식의 학생이 유전 가계도 문제 해결 과정상에서 어떠한 차이를 보여주는지 심층적으로 들여다보고자 하였다. 연구 대상은 고등학교 2학년 학생으로 생명과학 I 을 이수한 학생으로 학업성취수준은 비슷하였으나 학습접근방식이 각각 심층적 접근방식과 피상적 접근방식을 나타내었다. 각 학생의 문제 해결 사례를 심층적으로 분석하기 위해 문제 해결 과정은 비디오 녹화되었고, 문제 해결이 종료된 후에 학생들의 문제 해결 과정에 대한 사고 구술 인터뷰를 실시하였다. 연구 결과, 학생들은 2가지 형질의 유전 원리가 불확실한 문제 상황을 해결하는 과정에서 유사한 오류를 보여주었다. 하지만 심층적 학습접근방식의 학생 A는 자발적으로 2번 반복하여 문제를 해결하면서 3가지 제한 요인에 대해 원리 기반 추론을 하며 옳은 개념적 프레이밍을 나타내었다. 검토 단계에서 자료와 본인이 그린 가계도 사이의 일치도를 점검하고, 문제 해결 이후에도 끊임없이 본인의 문제 해결 과정을 점검하였다. 마지막의 문제 해결 과정에서는 성공적인 문제 해결 알고리즘에 근접한 문제 해결 과정을 나타내었다. 하지만 피상적 학습접근방식의 학생 B는 연구자의 권유로 비자발적으로 문제 해결 과정을 반복하였고, 답을 구하려는 목적 지향적인 문제 해결 태도로 인해 문제에서 제시한 일부 정보만을 검토하였다. 문제의 제한 요인에 대해 기억 장치 추론이나 임의적 추론을 통해서 옳지 않은 개념적 프레이밍을 하였고, 이를 수정하지 않고 유지하는 모습을 나타내었다. 본 연구 결과를 통해 심층적 접근방식과 피상적 접근방식의 학생이 문제 해결 과정에서 추론 방식과 개념적 프레이밍의 변화가 어떻게 일어나는지 구체적으로 살펴봄으로써 유전 문제의 접근을 어려워하는 학생들이나 이들을 지도하는 교사들에게 도움을 줄 수 있을 것이다.

주제어 : 유전 문제 해결, 학습접근방식, 개념적 프레이밍, 문제 해결 추론, 사고 구술 인터뷰

References

- Alexander, P. A., & Judy, J. E. (1988). The interaction of domain-specific and strategic knowledge in academic performance. *Review of Educational Research*, 58(4), 375-404.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS) (2011). *Vision and change in undergraduate biology education: A call to action*. Washington, DC.
- Biggs, J. (1993). What do inventories of students' learning processes really measure? A theoretical review and clarification. *British Journal of Educational Psychology*, 63(1), 3-19.
- BouJaoude S., & Barakat, H.(2003). Students' problem solving strategies in stoichiometry and their relationships to conceptual understanding and learning approaches. *Electronic Journal of Science Education*, 7(3), 1-42.
- Bransford, J., & Stein, B. (1984). *The ideal problem solver*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Byun, T. (2013). A literature review on variables influencing physics problem solving. *Journal of Educational Studies*, 44(1), 63-95.
- Camacho, M., & Good, R. (1989). Problem solving and chemical equilibrium: successful versus unsuccessful performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(3), 251-272.
- Carey, S. (1986). Cognitive science and science education. *American Psychologist*, 41(10), 1123-1130.
- Cavallo, A. M. L. (1996). Meaningful learning, reasoning ability, and students' understanding and problem solving of topics in genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(6), 625-656.
- Charters, E. (2003). The use of think-aloud methods in qualitative research: an introduction to think-aloud methods. *Brock Education Journal*, 12(2), 68-82.
- Chin, C. & Brown, D. E. (2000). Learning in science: A comparison of deep and surface approaches. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(2), 109-138.
- Chiou, G. L., Lee, M. H., & Tsai, C. C. (2013). High school students' approaches to learning physics with relationship to epistemic views on physics and conceptions of learning physics. *Research in Science and Technological Education*, 31(1), 1-15.
- Clement, J. (1982). Students' preconceptions in introductory mechanics. *American Journal of Physics*, 50(1), 66-71.
- Entwistle, N. J. (1981). *Styles of learning and teaching*. Chichester: Wiley.
- Finkel, E. A. (1996). Making sense of genetics: Students' knowledge use during problem solving in a high school genetics class. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 33(4), 345-368.
- Goffman, E. (1974). *Frame analysis: An essay on the organization of experience*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Hackling, M. W., & Lawrence, J. A. (1988). Expert and novice solution of genetic pedigree problem. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(7), 531-546.
- Hofer, B. K., & Pintrich, P. R. (Eds.). (2002). *Personal epistemology: The psychology of beliefs about knowledge and knowing*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Karagöz, M., & Çakir, M. (2011). Problem solving in genetics: Conceptual and procedural difficulties. *Educational Sciences: Theory & Practice*, 11(3), 1668-1674.
- Lewis, J., & Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance-Do students see any relationship? *International Journal of Science Education*, 22(2), 177-195.
- National Research Council. (2012). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Niaz, M. (1989). Translation of algebraic equations and its relation to formal operational reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 26(9), 785-793.
- Ramsden, P. (1995). *Learning to teach in higher education*. London: Routledge.
- Redish, E. F., & Smith, K. A. (2008). Looking beyond content: Skill development for engineers. *Journal of Engineering Education*, 97(3), 295-307.
- Sevian, H., Bernholt, S., Szejnberg, G. A., Auguste, S., & Pérez, L. C. (2015). Use of representation mapping to capture abstraction in problem solving in different courses in chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 16(3), 429-446.
- Simmons, P. E., & Lunetta, V. N. (1993). Problem-Solving Behaviors during a Genetics Computer Simulation: Beyond the Expert/Novice Dichotomy. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(2), 153-173.
- Slack, S. J., & Stewart, J. (1990). High school students' problem-solving performance on realistic genetic problem. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(1), 55-67.
- Smith, S. U.(1988) Successful and unsuccessful problem solving in classical genetic pedigrees. *Journal of Research in Science Teaching*, 25(6), 411-433.
- Smith, M. U., & Good, R. (1984). Problem solving and classical genetics: Successful versus unsuccessful performance. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(9), 895-912.
- Smith, M. K., Wood, W. B., & Knight, J. K. (2008). The genetics concept assessment: A new concept inventory for gauging student understanding of genetics. *CBE-life sciences Education*, 7, 422-430.
- Staver, J. R., & Lumpe, A. T. (1995). Two investigations of students' understanding of the mole concept and its use in problem solving. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(2), 177-193.
- Stewart, J. (1988). Potential learning outcomes from solving genetics problems: A typology of problems. *Science Education*, 72(2), 237-254.
- Stewart, J., & Dale, M. (1989). High school students understanding of chromosome/ gene behavior during meiosis. *Science Education*, 73(4), 501-521
- van de Sande, C. C., & Greeno, J. G. (2012). Achieving alignment of perspectival framings in problem-solving discourse. *Journal of the Learning Sciences*, 21(1), 1-44.
- Venville, G., Gribble, S. J., & Donovan, J. (2005). An exploration of young children's understanding of genetics concepts from ontological and epistemological perspectives. *Science Education*, 89(4), 614-633.

저자정보

이신영(한국교육과정평가원 부연구위원)

변태진(한국교육과정평가원 부연구위원)