

## 문제의 구성을 강조한 프로그램에서 나타난 탐구 문제와 과학적 추론의 관련성 탐색 —삼투 현상 탐구 활동을 중심으로—

백중호\*  
한국교육과정평가원

### Exploring the Relationships between Inquiry Problems and Scientific Reasoning in the Program Emphasized Construction of Problem: Focus on Inquiry About Osmosis

Jongho Baek\*  
Korea Institute for Curriculum and Evaluation

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 21 January 2020  
Received in revised form  
12 February 2020  
28 February 2020  
Accepted 29 February 2020

##### Keywords:

Scientific Reasoning, Problem finding, Osmosis, Inference to the Best Explanation(IBE)

#### ABSTRACT

Scientific inquiry has emphasized its importance in various aspects of science learning and has been performed according to various methods and purposes. Among the various aspects of science learning, it is emphasized to develop core competencies with science, such as scientific thinking. Therefore, it is necessary to support students to be able to formulate scientific reasoning properly. This study attempts to explore problem-finding and scientific reasoning in the process of performing scientific inquiry. This study also aims to reveal what factors influence this complex process. For this purpose, this study analyzed the inquiry process and results performed by two groups of college students who conducted the inquiry related to osmosis. To analyze, research plans, presentations, and group interviews were used. As a result, it was found that participants used various scientific reasoning, such as deductive, inductive, and abductive reasoning, in the process of problem finding for their inquiry about osmosis. In the process of inquiry and reasoning complexly, anomalous data, which appear regularly, and the characteristics of experimental instruments influenced their reasoning. Various reasons were produced for the purpose of constructing the best explanation about the phenomena observed by participants themselves. Finally, based on the results of this study, several implications for the development context of programs using scientific inquiry are discussed.

## 1. 서론

과학 탐구의 중요성은 과학 교육에서 빠질 수 없는 논의 중 하나이다. 탐구는 여전히 학생들의 학습을 위해 다양한 방식으로 활용되고 있고, 학생들로 하여금 성장을 가져올 것이라는 기대를 받고 있기 때문이다. 탐구가 이야기하는 이른바 ‘과학 하기’가 과학자들에게서는 과학 지식의 형성 및 발전과 연관이 있다면, 학습자들에게는 개인의 인지적 발달 및 과학 관련 역량 증진에 초점을 두고 있다(NRC, 2000; Deboer, 2006). 특히, 최근에는 탐구를 중심으로 탐구 능력뿐 아니라 과학적 사고력 및 문제 해결력과 같은 역량을 함양하는 것에 주안점을 두고 있다(MOE, 2015). 과학적 사고력 및 문제 해결력은 주장과 증거 간의 관계를 탐색하고, 이 사고 과정과 과학적 지식을 이용하여 문제를 해결하는 것이라고 할 수 있다(MOE, 2015). 이때, 이러한 일련의 과정은 과학적 추론과 별개로 설명할 수 없으며, 탐구를 통해 학습자들이 과학적으로 추론하고 있는지 살펴볼 필요성을 제기한다.

탐구를 수행하는 과정에서 학생들의 추론과 학습을 의도한다면, 학생들로 하여금 적절한 사고 과정을 경험할 수 있는 활동이 마련될 필요가 있다. 다만, 이러한 필요성에도 신중하고 정교한 접근을 요구

하는데, 과학자들과 전문가가 아닌 사람들이 현상에 대하여 추론하고 설명할 때 차이가 있다는 점을 고려해야 한다. 즉, 전문가들은 선지식과 경험들을 종합적으로 이용하고 직관적으로 판단한다. 하지만, 전문가로서 충분히 숙달되지 않은 사람들은 지식과 경험이 상대적으로 적고, 직관적인 사고를 통해 적절한 추론에 이르기 어려움을 선행 연구는 지적한다(Hmelo-Silver *et al.*, 2002). 따라서 적절한 추론의 과정으로 연계할 수 있도록 지원하는 체계가 필요하다(Chinn & Malhotra, 2002; Kirschner *et al.*, 2006). 실험과 질문을 연계하여 구성한 활동 중심의 수업에서 초등학생들도 제한적이거나 고차원적인 추론을 할 수 있다는 Lee *et al.*(2013)의 연구나, 추론을 중심으로 한 과학 수업에서 중학생들의 귀추적 사고를 분석한 Maeng *et al.*(2007)의 연구들은 어린 학습자들도 일정 수준 이상의 추론을 할 수 있음을 보여준다. 이외의 많은 연구들도 학교급이나 나이에 관계없이 탐구 과정에서 학습자들이 과학적 추론을 할 수 있음을 설명하고 있다(Joung, & Song, 2006; Lim, Kim, & Jeong, 2013; Kim *et al.*, 2018; Yun, & Kim, 2018).

과학적 추론이 탐구를 통해 일어난다는 것은 제한적으로나마 학습자들이 과학의 활동에 참여할 수 있음을 의미한다. 이는 탐구를 통해

\* 교신저자 : 백중호 (hill14@kice.re.kr)  
http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2020.40.1.77

학습자들이 과학 지식의 생성 과정에 참여할 가능성이 있음을 뜻한다(Fusco, 2001). 과학 지식의 생성 과정에 참여한다는 점은 과학 지식 구성의 핵심으로 평가할 수 있는 문제발견과 연관할 수 있다(Yoon, & Park, 2000). 드러난 갈등을 해결하기 위해 새로운 관점에서 문제를 형성하는 행동, 태도, 사고 과정을 의미하는 문제발견은 증거에 기반을 두고 사고하여 평가하는 과정을 요구한다(Runco, 1994; LaBanca, 2008). 특히 새로운 문제를 발견하는 것을 설명하기 위해서는 확인 중심의 탐구에서 주로 활용하는 방식이자 기존의 과학 개념으로 현상을 설명하는 연역이나 귀납과는 다른 양상의 추론을 필요로 한다.

문제발견의 과정을 포함한 학습자들의 탐구 과정을 전반적으로 설명하기 위해서는 연역과 귀납의 추론 방식에 귀추의 방식을 추가해야 한다. 이론의 생성 과정을 설명하는 귀추는 새롭게 관찰된 현상에 대해 임시적인 설명을 만들어내는 과정을 의미한다(Lawson, 2000). 과학에서 설명은 대부분의 경우 현상에 대한 원인이나 메커니즘을 제공하는 것(Lipton, 2004)임을 고려하면, 귀추란 관찰한 현상에 대한 인과관계를 임시적으로 만들어내는 일이라고 할 수 있다. 따라서 문제를 인식하여 가설을 생성하고, 실험을 수행해 자료를 해석하여 결론을 만드는 일련의 과정은 선행 연구들이 밝혀듯이 연역과 귀납의 사고 과정으로만 설명할 수 있는 것이 아니다. 두 추론의 방식에 귀추의 과정을 포함해야 비로소 완성된다고 할 수 있다(Park, 2000; Kim, & Kim, 2008; Lee et al., 2013). 따라서 기존의 연역과 귀납의 과정과 귀추의 과정을 포함한 종합적인 분석이 요구된다.

최근 국내에서도 과학 활동에 대해 귀추 추론의 관점에서 분석하는 것에 관심을 가지고 있다. 가설의 생성 과정 및 생성한 가설의 특징에 대해 분석하는 것을 시작으로 하여(Jeong, 2006; Jung, & Song, 2006), 귀추 추론을 활용하여 문제를 해결하거나 과학 개념의 학습 과정을 탐색하는 연구(Kim, 2017; Lee et al., 2018)들이 주로 추진된다고 할 수 있다. 이와 함께 귀추 추론 과정 자체에 대해 관심을 갖는 연구(Oh, 2016; Oh, 2017a)들도 있다. 다만, 귀추의 과정을 연역이나 귀납의 과정과 같이 연계하여 살펴본 연구는 그 수가 상대적으로 적다(Lee et al., 2013; Lim, & Kim, 2018). 또한 과학 탐구의 과정과 적극적으로 연계하여 탐색한 Yun, & Kim(2018)의 연구가 있으나, 이 연구는 주로 탐구 과정에서 드러나는 인식론적 실행에 관심을 두고 있어 초점이 다르다고 할 수 있다.

이러한 맥락에서 본 연구에서는 탐구 중에 나타나는 다양한 추론의 의미를 학습자들이 수행하는 탐구 과정으로부터 종합적으로 파악하고 분석하였다. 특히, 학습자들이 제시하는 탐구 문제와 해당 문제에 대한 탐구 수행 과정으로부터 그들이 무엇을 추론하였고, 추론의 이유와 근거는 무엇이었는지 살펴보고자 하였다. 이러한 목적에서 비교적 자유롭게 탐구 문제를 제안하여 자신의 문제를 해결할 수 있도록 구성한 수업의 참여 학생들을 대상으로 연구를 진행하여 학생들이 제안한 탐구 문제와 과정을 분석하였다. 이러한 신상에서 본 연구는 다음의 관점에서 진행하였다. 문제발견과 구성에 초점을 둔 탐구 과정 중에 일어나는 학습자들의 추론은 독립적으로 구분할 수 있는 것이 아니고, 다양한 요인들이 유기적으로 영향을 주고받기 때문에 종합적으로 추론 과정을 이해하고자 하였다. 이를 위해 ‘삼투 현상’ 관련 탐구 활동에서 참여자들의 탐구 문제 구성과 탐구 수행 과정 중에 드러난 추론의 양상을 살펴보고자 하였다. 그리고, 이 추론 과정의 특징과 어떠한 요인들이 영향을 끼치는지 파악하고자 하였다.

## II. 연구 맥락

본 연구는 사례 연구의 방식을 이용하여 삼투 현상과 관련된 탐구 활동을 수행한 대학생들의 탐구 경험을 살피고, 이때 드러난 추론의 과정과 추론 및 탐구 문제에 영향을 끼치는 요인을 탐색하였다.

### 1. 프로그램

본 연구는 문제발견과 구성, 수정 과정을 강조한 과학 탐구 프로그램을 구성하여 진행하였다. 학습자들이 자유롭게 자신들의 문제를 구성하여 해결할 수 있도록 구성된 교육과정은 비교적 자유롭게 편성하고 운영할 수 있는 학습의 맥락에서 진행되는 것이 필요하다. 따라서 해당 프로그램은 수도권 소재 사범대학 화학교육과에서 개설된 실험 강좌인 ‘물리화학실험’에서 이루어졌다. 프로그램은 일종의 정답과 같은 특정한 결론을 끌어내기 위한 활동을 강조하기보다 탐구가 진행되는 과정에서 학습자들이 자신의 문제를 발견, 고안하고 해결하도록 안내하는 것을 목표로 하였다. 이를 위해 고려한 프로그램의 특성은 다음과 같다. 첫째, 문제발견이 가능한 상황으로부터 탐구 문제를 발견하고 구성할 수 있도록 하였다. 참여자들이 자신의 문제를 발견하고 제안하는 것을 돕기 위해, 연구자는 구체적으로 탐구 문제와 과정을 제시하지 않고, 문제발견이 가능한 상황(Kolodner et al., 2003)을 제시하였다. 초기에 제시한 상황은 특히 획득한 자료를 기반으로 삼아 초기에 학습자들이 고려할 것으로 예상되는 이론들과 비교하고 평가하여 추가적으로 고려해야 할 사항들을 판단할 기회를 제공하는 것에 주안점을 두었다. 또한, 해당 상황이 실험과 조사가 가능한 형태로 제시하였다.

둘째, 자신의 문제가 무엇으로부터 도출되었고, 이를 탐색하기 위해 어떤 탐구 과정을 거쳐야 하는지 명확하게 표현하도록 안내하였다. 이러한 목적에서 각 차시가 시작하기 이전에 학습자들이 스스로 자신들의 탐구 문제 및 문제 설정 이유를 전 탐구와 관련하여 기술하도록 하였다. 이와 함께 문제에 근거한 탐구 과정, 예상하는 결과와 근거를 포함하여 기록하는 탐구 계획서의 형식을 마련하여 학습자들로 하여금 작성하게 하였다. 일련의 과정으로부터 자신의 탐구를 고안하고, 결과로부터 발생한 불만족을 해소하기 위해 새로운 탐구 문제를 구조화하거나 탐구 방법 및 과정에 대한 계획을 반복할 수 있도록 하였다.

셋째, 탐구의 자율성 수준(Schwab, 1962)을 확장하는 형태로 프로그램 전체를 조직하였다. 과학자가 아닌 학습자들이 자신의 문제를 발견하고 해결이 가능한 형태로 문제를 구조화하는 과정은 쉬운 일이 아니기에 이에 대한 적절한 안내가 필요하다(Shim, & Ryu, 2018). 따라서 학습자들의 자율성을 점차적으로 확대하는 형태인 Figure 1과 같이 구성하였다. 이처럼 구성된 프로그램에 대해 해당 강의 첫 시간에 학습자들이 탐구에서의 문제를 어떻게 결정하고 구조화해야 하는지 파악하도록 안내하였으며, 3단계 탐구에서는 학습자 본인의 탐구 문제를 제시해야 함을 강조하였다. 1단계에서는 탐구 문제 및 과정이 연구자에 의해 주어졌다면, 2단계에서는 탐구의 문제 혹은 상황만을 연구자가 제시하였다. 2단계에서는 1가지 주제에 대해 모든 모듈이 공통으로 탐구를 수행하고, 다음 차시부터는 교수가 제시한 3가지 문제 상황 중 각 모듈이 2가지를 선택하여 3주 동안 탐구를 수행하도록 구성하였다. 그리고 마지막 단계인 3단계에서는 앞서 수행했던

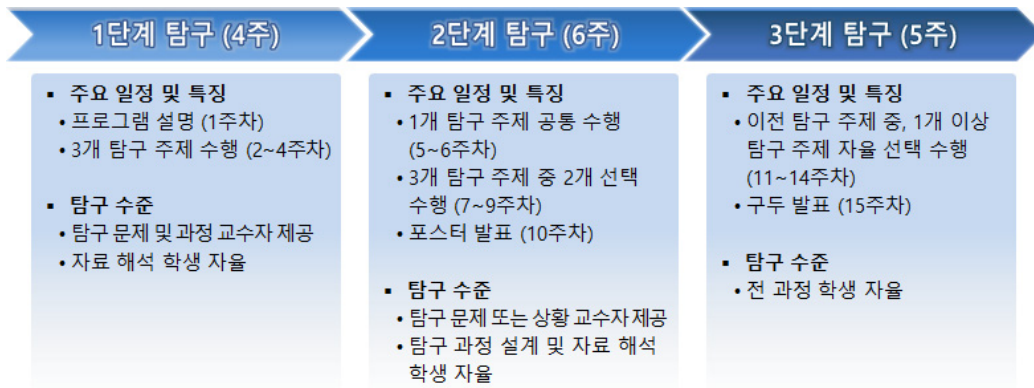


Figure 1. Process of the inquiry program for this study

탐구들 중, 각 모둠에서 희망하는 1개의 주제에 대해 4주 동안 자유롭게 탐구 문제를 제안하고 수행하도록 구성하였다. 마지막 단계에서 연구자와 보조 교사들은 학습자들과 토의하는 역할에 집중하였다. 이를 토대로 마지막 단계는 참탐구(Chinn & Malhotra, 2002; Schwartz & Crawford, 2004)와 유사한 형태가 될 수 있도록 프로그램을 조직하였다. 마지막 특징으로 본 연구에서 하나의 탐구 주제에 대하여 반복적으로 수행이 가능하도록 발표 차시를 제외하고 최대 7주간에 걸쳐 장기간 활동을 진행하였다. 이에 따라 한 차시에 탐구의 결론을 도출해야 한다는 부담에서 학습자들이 벗어나 활동을 진행할 수 있도록 하였다.

본 연구에서 초점을 둔 탐구 활동은 삼투 현상에 관한 것이다. 해당 주제는 Figure 1의 2단계에서 제시된 주제 중 하나로, 초기에 제시한 탐구 상황은 Figure 2와 같이 일반적으로 교과서에 제시된 삼투 관련 그림과 함께 ‘일정 시간이 지난 후, 어떠한 변화가 생겼을지 예측하고 검증하시오.’라는 문장으로 제시하였다. 삼투 현상은 교과서 수준에서 용액의 상대적 농도차를 중심으로 설명되고 있으며(Kim et al., 2006), 예비교사인 대학생들도 입자 관점의 명확한 이해를 하고 있지 못한 개념이다(Lee, Kim, & Paik, 2010). 고등학교 수준에서 제시된 삼투 현상 관련 활동은 주로 정성적인 수준에만 한정되어, 예상하거나 의도하지 않은 결과가 발생할 가능성이 큰 주제이다. 특히 삼투 현상을 관찰하거나 삼투압을 측정하여 검증하고자 하는 과정에서 변

인 통제, 이론이 포함하는 이상적인 조건들, 실험의 단순 오류와 같은 변수들이 예측과 다른 결과를 얻게 만든다. 이러한 불일치를 해소하기 위해 참여자들은 사전에 파악하지 못했던 문제점들을 인식하고, 수집한 결과를 설명하기 위한 새로운 탐구 문제를 제안하는 등 다양한 활동을 장기간 수행하였다.

## 2. 연구 참여자

본 연구의 참여자는 이 연구에서 초점을 둔 탐구 활동을 수행한 대학생들 중 2개 모둠의 3학년 학생 4인이었다. 참여자의 선정은 ‘삼투 현상’ 주제를 선택하여 2단계에서 수행한 학생들 중, 참탐구와 유사한 3단계까지 진행한 학생들로만 한정하여 이루어졌다. 이는 장기간에 걸쳐 탐구를 수행하며 자신들의 탐구 과정을 자유롭게 조직할 수 있었던 사례들로 본 연구의 초점을 한정하기 위함이었다. 해당 강좌에 참여한 학생들은 총 22명으로, 11개 모둠으로 구성되었으며, 이 중 6개 모둠이 2단계에서 삼투 현상을 주제로 탐구를 수행하였다. 총 6개 모둠 중 2개 모둠이 3단계까지 해당 주제로 탐구를 수행하였기 때문에, 2개 모둠의 학생 4인이 연구 참여자로 선정되었다. 이들은 프로그램이 진행된 실험 강좌가 필수 이수 과목이었기 때문에 참여하였으며, 사전에 연구 참여에 동의하였다. 모든 연구 참여자는 모두 해당 강좌가 기반으로 삼는 이론 강좌를 이수한 이후에 참여하였으며, 이전에 총 4개의 화학 관련 실험 강좌를 수강하였다. 참여자들의 개인적 배경 변인에 의한 영향을 고려하기 위하여 과학에 대한 태도 (Fraser, 1978), 학습 전략과 성취 동기(Vandewalle, 1997)에 관련된 설문을 기반으로 면담을 수행하였지만, 참여자들 간의 유의미한 차이는 없는 것을 확인하였다.

## 3. 자료 수집 및 분석

본 연구는 탐구를 수행하는 과정에서 참여자들이 형성했던 탐구 문제를 중심으로, 문제를 제안하기 전과 후에 진행했던 과정과 추론의 양상을 분석하는 것에 초점을 두었다. 이를 위해 수집한 자료는 참여자들이 매 차시 이전에 제출한 탐구 계획서와 발표용 결과 자료였다. 탐구 계획서에는 목표 및 목표 설정 이유, 필요 도구 및 탐구 과정, 결과에 대한 예상과 근거, 이전 탐구에서 드러난 결과에 대한 간략한 해석 및 이유가 포함되었다. 2단계와 3단계에서 각 모둠은 자율적으로 탐구의 횟수를 조절하였기 때문에 제출한 탐구 계획서의

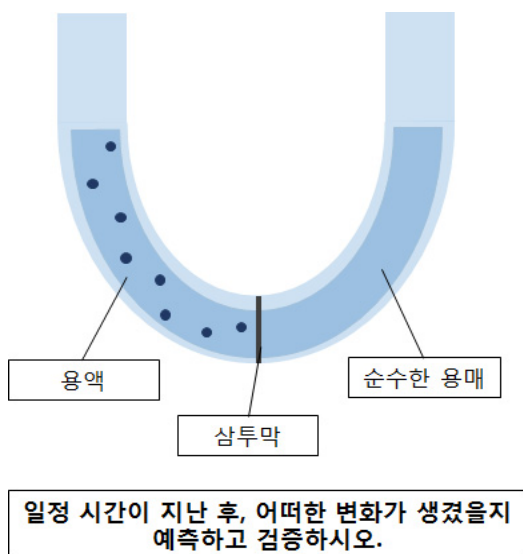


Figure 2. Contexts of inquiry related to 'osmosis'

수는 차이가 있었다. 발표용 결과 자료는 두 종류로, 포스터 자료와 구두 발표 자료이다. 이 자료들은 각각 프로그램의 10주차와 15주차에 모든 학생들이 참여하는 발표회에서 활용한 것이다. 포스터 자료는 2단계를 마친 이후 발표하였고, 구두 발표 자료는 3단계를 마친 이후 학생들이 발표하였다. 포스터 자료와 구두 발표 자료는 자율적인 형태로 제작되되, 포스터 발표의 경우에는 2단계에서 진행했던 전체의 탐구 과정과 결과 및 종합 결론을 포함하게 하였다. 구두 발표 자료에는 3단계에서 진행했던 탐구의 내용만을 포함하되, 본인들이 3단계에서 구성한 탐구 문제 형성 배경에 대해 설명하도록 안내하였다.

참여자와의 면담은 탐구의 모든 과정 및 해당 수업이 끝난 해당 학기 말에 모둠별로 진행하였다. 개인적인 배경, 탐구 경험으로부터 자신들이 경험했던 성과, 각 단계에서 참여자들의 모둠이 초점을 두고 진행했던 탐구의 내용들을 종합적으로 파악하고자 하였다. 약 1시간가량 진행한 면담은 참여자들의 동의를 구한 후 녹음하였고, 이후 전사하여 분석에 활용하였다. 이와 함께, 2단계까지 삼투 현상을 주제로 탐구를 진행했던 4개의 타 모둠이 제출하였던 보고서 및 계획서, 면담 내용, 탐구 진행 당시 연구자가 관찰했던 자료들을 분석에 추가적으로 활용하였다. 특히 타 모둠의 실험 수행 관련 자료와 면담 자료는 본 연구에서 초점을 두고 분석한 연구 참여자들이 경험할 수 있었던 당시의 전반적인 맥락을 파악하기 위한 목적으로 사용했는데, 그 중에서도 참여자들이 동일한 주제에 대해 어떠한 내용들을 공유할 수 있었고, 주변 동료들과 논의할 수 있었는지 파악하기 위한 용도로 활용하였다.

수집한 자료는 연구 목적에 따라 단계를 구분하여 분석하였다. 우선 참여자들의 활동을 탐구 계획서 제출 횟수를 기준으로 차시를 구분하였다. 참여자들은 탐구 수행 이전에 탐구 계획서를 필수로 제출하였으므로, 이를 기준으로 구분된 탐구로 간주하고, 구분한 각 차시별로 각 탐구에서의 목적과 그에 따른 결과를 나누어 해석하였다. 참여자들로부터 수집한 계획서 및 보고서들을 지속적으로 반복하여 읽으면서 대략적으로 참여자들의 탐구 경험을 파악하였다. 그리고 참여자들 각 모둠이 수행한 탐구 활동을 차시별로 구분하여 각 탐구 문제와 탐구 과정, 결과 및 이에 대한 참여자들의 설명을 확인하였다. 이때 탐구 문제는 참여자들이 현상에 대해 이해하고 설명하는 과정에서 자신이 느끼는 불일치를 해소하기 위한 목적에서 ‘설명적·인과관계적 지식’을 활용하여 진술한 것으로 구분하였다(Jonassen, 1997; Schmidt, & Moust, 2000). 그리고 동일한 탐구 문제에 대해 반복적으로 탐구를 계획하였으나 그 방법과 과정에 차이가 있는 경우들을 탐구 문제는 변화가 없되, 자신들이 수행해야 하는 과제(task)를 변경한 것으로 구분하였다(Jonassen, 2000; Kind et al., 2011). 주요 내용은 각 차시 이전에 제출하였던 탐구 계획서로부터 확인하였고, 참여자들이 중요하게 간주한 사항들은 발표용 결과 자료로부터 확인할 수 있었다.

다음으로 각 차시별로 구분하였던 탐구들을 하나로 연결하여 일련의 이야기로 이해하고자 하였다. 특히 탐구 문제를 형성하고 탐구 과정을 구성하는 중에 드러나는 추론의 특징을 파악하여, 이전 차시와 다음 차시가 어떻게 연결되는지 파악하고자 하였다. 각각의 추론은 Lee et al.(2013)의 연구에서 제시한 특징들을 활용하여 연역, 귀납, 귀추의 관점에서 구분하여 분석하고자 하였고, 이 중에서 다음 차시의 단계로 연계되는 것에 핵심이 된 추론의 결과들을 확인하였다. 다만, 일부 추론은 세 종류의 추론이 복합적으로 이루어질 수 있음을

감안하여 분석하였다. 이를 위해 탐구 계획서에 제시한 ‘탐구 목표’, 이전 차시의 탐구 계획서에 작성했던 ‘결과에 대한 예상과 근거’와 함께 발표용 결과 자료에 제시된 실제 결과들을 연결하였다. 분석한 결과를 토대로 참여자들이 무엇에 근거하여 자신들의 탐구 문제를 구성하였는지 면담 내용을 토대로 이해하고자 하였다. 마지막으로 이 과정에서 드러난 추론에 영향을 끼치는 요인을 앞서 분석한 탐구 과정을 다시 종합하여 탐색하였다. 분석한 추론의 양상과 결과는 4인의 과학교육 전문가의 검토를 통해 수정, 보완하여 확정하였다.

### III. 연구 결과

#### 1. 탐구 문제 변화 과정 및 추론의 양상

##### 가. A모둠 : 새로운 설명의 타당성 획득을 위한 정성적 수준의 현상 관찰하기

A모듬은 총 6회의 삼투 현상에 대한 탐구를 수행하였다. 각 단계별로 구분하면, 2단계 탐구 과정에서 총 5회, 3단계 탐구 과정에서 1회를 실시하는 형태로 이루어졌다. 3주간 진행된 2단계 탐구에서 5회의 탐구가 가능했던 것은, 정규 수업 시간이 아닌 별도의 시간에 용액의 종류만 변경하여 수행하였거나, 실험 도구의 가능성을 확인하기 위한 간단한 실험을 추가하여 진행하였기 때문이었다.

A모듬은 우선 시판 중인 학생용 삼투압 측정 실험 키트를 이용하여 정량적인 측면에서 삼투압이 이론에 부합한 실험 결과로 나타나는지 살펴보고자 하였다. Figure 2에 제시한 상황과 유사한 U자관의 중간에 반투막이 설치된 실험 장치를 이용하였고, 반투막을 경계로 양쪽에 수크로오스 수용액과 물을 넣고 관찰하였다. 이들은 반트호프식을 이용하여 먼저 삼투압을 계산하고, 상승한 물기둥의 높이를 이용하여 이를 검증하고자 하였다. 이외에도 정량적인 수치를 확인하는 것에 초점을 두고 실험을 계획하여 실시하였다.

하지만 실험 수행 결과 정량적인 측정을 통해 이론을 검증하는 것이 불가능하다는 결론을 내렸다. 우선, 이론적 수치로부터 구한 물기둥의 높이 차이는 실험 키트의 용량보다 커 실험으로 검증이 불가능함을 도중에 스스로 지적하고 실험을 중단하였다. 이와 함께 본인들을 제외한 5개 모듬의 결과를 “관심 있게 다 보니까” 모두 용질 역시 반투막을 경계로 이동했다는 결과를 공유하였다고 언급하였다. 5개 모듬이 활용했던 용질들은 염화 나트륨, 글루코오스, 수크로오스로, A모듬은 이를 종합하여 모두 용질이 이동하였음을 설명하였다. 즉, 이들은 물질의 종류와 무관하게 반투막을 경계로 용질도 이동할 수 있다는 귀납적 추론에 근거한 결론에 도달하였다. 실제로 삼투 현상에 활용하는 반투막들은 구멍의 크기에 따라 용질도 이동 가능하다(Jeong, & Jang, 2018). A모듬은 타 모듬의 결과로부터 도출한 결론을 끌어내는 맥락으로부터 용질의 이동과 관련하여 적절한 반투막의 탐색이 필요하다는 결론에 도달하였다. 이러한 결론에 도달하는 과정은 5모듬의 탐구 결과를 종합한 귀납의 추론 방식이 적용되었다고 할 수 있다.

A모듬은 자신들을 제외한 다른 모듬들에서 모두 유사한 결과가 나타났다는 점에 주목하였고, 이를 대체할 탐구 계획을 수립하는 과정에서 그 원인을 탐색하였다. 동일한 도구를 이용한 타 모듬의 결과

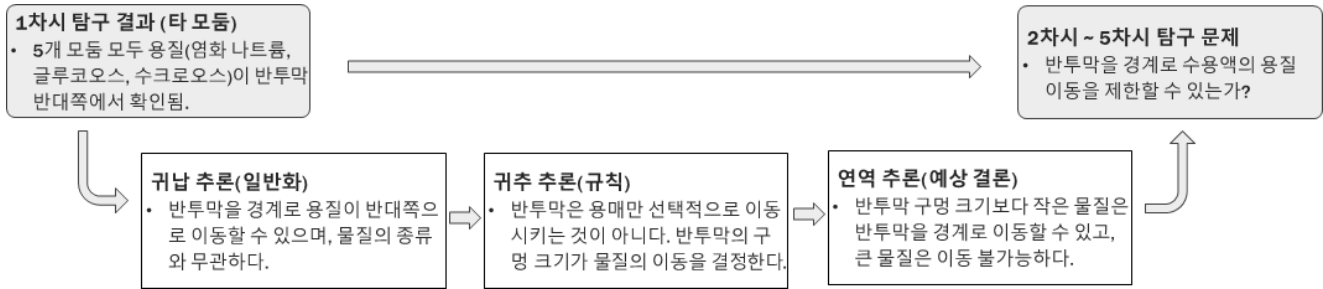


Figure 3. The case of problem finding process and scientific reasoning of group A

가 유사하였기 때문에 이들은 정교한 도구를 이용하여 탐구를 설계해야 한다는 판단을 내렸고, 과학적으로 정밀한 반투막을 탐색하는 도중 판매하는 반투막은 구멍의 크기를 기준으로 구분된다는 사실을 발견하였다. 즉, 자신들이 고려하지 못한 사항으로 반투막의 구멍 크기가 있었다는 판단을 내렸고, 이를 잠정적인 원인으로 간주하였다. 유사한 결과들이 발생한 것은 단순한 실험 실패가 아닌 자신들이 대전제로 삼고 있는 내용에 대해 근본적인 변화가 필요하다고 잠정적으로 결론을 내렸다. 이러한 과정은 명시적으로 드러나지 않지만, 자신들의 처음 탐구 문제가 포함하던 대전제인 ‘삼투 현상은 용매가 선택적으로 이동하는 것’이라는 사실로부터 변화를 일으키는 것이었다. 다시 말하면 Figure 3에 제시한 바와 같이 5개 모듬에서 동일한 결과가 나타났다는 사실로부터 반투막이 용매만 선택적으로 이동시키지 않으며, 이동에 대한 제한 요소를 새롭게 판단하는 과정에서 구멍의 크기라는 자신들의 새로운 규칙을 도출한 귀추 추론으로 연계하였다.

2차시의 탐구에서 A모듬은 삼투 현상에 관련한 실험을 정량적 결과를 얻기 위한 목적에서 수행하려면, 용질의 이동을 제한해야 한다는 판단을 근거로 ‘반투막을 경계로 수용액의 용질 이동을 제한할 수 있는가?’를 확인하는 것을 탐구 문제로 삼았다. 이는 최초로 수행했던 탐구의 결과인 용질의 이동에 대한 문제 인식으로부터 형성한 탐구 문제의 실현 가능성을 검증하고자 하는 추론의 결과에 해당한다. 우선 A모듬은 자신들의 탐구 문제 검증을 위해 반투막의 종류를 변경하고 그에 적합한 용질을 찾는 방식을 택했다. 이는 반투막에 존재하는 구멍의 크기가 물질의 이동 여부에 관여한다는 귀추 추론으로부터 도출된 가설을 검증하는 가설-연역적 탐구에 해당하였다. A모듬은 자신들의 가설을 검증하기 위해 “경제적인” 계란의 난각막을 활용한 새로운 실험 도구를 제안하고 활용 가능성을 확인하였다. 구체적으로 Figure 4와 같이 계란의 내용물을 비워 용액을 넣은 후 빨대로 막고 아래 부분에 난각막을 제외한 외부 껍질을 제거하여 반투막만 존재하도록 만들어 하단의 비커에서 계란 내부로 용매가 이동하는지 확인하

였다. 2차시의 탐구에서 빨대의 수면이 상승하였기 때문에 물이 계란 안으로 들어간 삼투 현상이 일어났으며, 용질의 이동을 제한하진 못했지만 삼투 현상은 관찰할 수 있다는 측면에서 도구를 앞으로 활용할 수 있다는 결론에 도달했다.

이후 3차시에서 5차시 탐구까지 다양한 용액들을 활용하여 어떤 용질이 반투막을 경계로 이동하지 않아 정량적인 목적에서의 삼투 현상 실험에 활용가능한지 살피는 탐구를 반복하였다. 이러한 접근은 2차시의 탐구 문제를 변경하진 않지만, 각 차시에서 수행해야 하는 과제를 변화시키는 사례에 해당하였다. 예를 들어, “우유의 성분 중, 어떤 물질이 계란 반투막을 투과하는지 확인”하는 것을 목적으로 용질의 관점에서 반투막을 넘어 이동할 수 있는지 여부를 확인하려고 하였다. 아래의 진술에서 볼 수 있듯이 A모듬은 7종의 용액을 대상으로 빨대의 수면의 상승 여부와 비커 안의 물로 계란 안의 용질에 해당하는 물질의 이동 여부를 확인하였다. 반복적인 이 과정을 통해 용질이 하단의 비커에서 검출되지 않는 사례를 찾는 것을 자신들의 목표이자 적합한 용질의 선택 기준으로 하였다. 이러한 활동은 입자의 크기를 중심으로 이동의 여부를 판별하는 일종의 가설-연역적 탐구 활동이라고 볼 수 있다.

*우유 속의 지방과 단백질은 고분자이므로 계란의 반투막을 통과하지 못할 것이다. 그러나 그 외에 작은 당류, 칼슘 이온, 염화 이온은 반투막을 통과할 것이므로, 사용한 용액 중에 황산, 질산은, 베네딕트 용액만 반응할 것으로 예상된다.*

(A모듬 4차 탐구 계획서에서 발췌)

최종적으로 A모듬은 본인들이 기대하는 용질을 찾지 못하였다. Figure 5에서 볼 수 있듯이, A모듬은 반투막의 구멍 크기를 기준으로 용질이 이동하지 않는 상황을 찾아낼 수 있을 것이라고 생각하였기 때문에 용질의 크기를 증가시키면서 탐구를 반복하였으나, 자신들의 예상과 다른 결과만을 실험을 통해 관찰하였다. 다만, 이러한 결과가 최초의 탐구의 결과로부터 변화했던 삼투 현상에 대한 설명에 대해 다시 귀납과 귀추의 과정을 거쳐 변화를 가져오지 않았다. 왜냐하면 3차시에서 5차시에 걸친 탐구의 결과가 이를 반박하는 결과로 이들에게 받아들여진 것이 아니고, 반투막의 구멍 크기가 자신들의 생각보다 크다고 판단했기 때문이다. 따라서 A모듬의 2단계 탐구는 비록 가설-연역적 활동이 중심이 된 탐구에서 뚜렷한 성과를 거두진 못했다고 스스로 판단했으나, 삼투 현상이란 능동 수송의 일종이 아니라 반투막을 경계로 물질이 자연스럽게 이동하는 것이라는 판단을 강화하는 결론에 이르게 되었다.

A모듬은 정량적인 삼투압 측정을 위한 조건에 해당하는 용질의

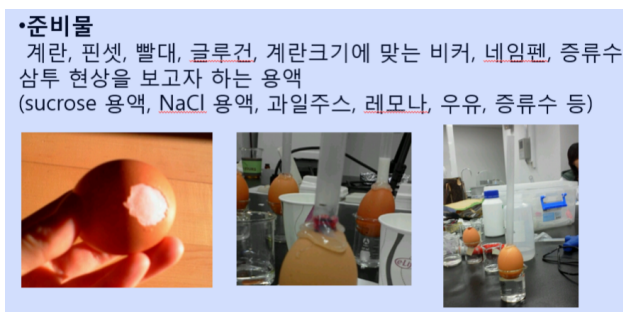


Figure 4. An experimental apparatus using egg designed by group A

	Sucrose (0.05물분율)	Sucrose (0.01물분율)	Ascorbic acid	포도 주스	우유	레모나	NaCl용액	증류수 (대조군)
결과 (사진)								
수면 변화	올라감	올라감	올라감	올라감	내려감	내려감	내려감	내려가다 멈춤
증류수의 성분 분석	베네딕트 반응 : O →sucrose검출	베네딕트 반응 : O →sucrose검출	BTB용액 결과 산성분 검출	밀의 용액의 색이 변함→ 다양한 성분이 빠져나왔을 것이라 예상	베네딕트 반응 : O 뷰렛 반응 : O AgCl 침전 → 당, 단백질, Cl-검출	색이 변했으므로 색소가 빠졌을 것이라 예상	AgCl 검출 → 용질, 용액 모두 빠졌을 것이라 예상	

Figure 5. Results of the 2nd~5th inquiry of group A

이동을 통제하는 것이 현실적으로 불가능하다고 판단하고 6차시의 탐구를 수행했다. 이들은 “농도와 삼투압을 연관”시킨 교과서의 기술대로 정량적인 측정을 하는 것은 본인들의 이전 결과로부터 불가능하다고 진단하고, 자체적으로 제작한 도구를 이용하여 정성적으로 삼투 현상을 관찰하기에 용이한 최적 실험 조건의 탐색을 목적으로 탐구 활동을 구성하였다. 특히, 단순히 물질의 이동을 살피기 용이한 조건을 탐색하는 것이 아니라, 고등학생들에게 적합한 조건의 탐색을 목표로 하였다. 이는 자신들의 1차시 탐구의 시작점이 되었던 교과서에 제시된 조건대로 학교에서 실험을 하는 것이 현실적으로 “한없이 긴 시간”을 요구하기 때문이라고 판단했기 때문이다. 최종적으로 A모둠은 넓은 반투막의 면적과 상대적으로 고농도의 조건을 최종적으로 제안하는 형태로 종료하였다. A모둠이 수행한 6회의 탐구에 대한 일련의 과정은 Figure 6과 같이 나타낼 수 있다. 최종적으로 이들의 탐구는 삼투에 대해 용매의 선택적 이동이라는 관점에서 반투막의 구멍 크기를 기준으로 물질의 이동이라는 관점에서의 변화와 정성적 수준의 삼투 현상 관찰 조건 탐색으로 정리할 수 있다.

나. B모둠: 용매의 이동을 정량적으로 가장 잘 이해할 수 있도록 설명 고안하기

B모둠은 삼투 현상에 대하여 총 4회에 걸쳐 탐구를 수행하였다. 첫 번째 탐구에서 이들은 A모둠과 같은 도구를 이용하여 이론적인 삼투압 수치와 측정된 결과를 비교하는 정량적 실험을 재현하고자 하였다. 이를 위해 시판용 실험 도구에 소금물과 순수한 물을 넣고, 실험을 진행하였다. 하지만 결과에서 실제 예상보다 너무 작은 수면의 높이 차이가 발생하여 자신들이 예상한 결과와 어긋난다고 판단하였다. 이에 타 모둠들이 사용한 용질인 글루코오스를 이용하고, 타 모둠이 정량적 결과를 확인하기 위해 부가적으로 실시한 방법들을 마찬가지로 도입하여 1주일 이후 결과를 관찰하였다. 하지만, 수면 높이의 변화가 “실제 이론값에 비해 터무니없게 작은 값”이라고 결론을 내리고 아래와 같이 진술하였으며, 용매의 이동에 따른 농도 차의 감소와 물기둥의 높이 차이로부터 발생한 압력이 용매 이동을 방해한다고 추론하였다. 이러한 추론은 농도의 차이가 있는 두 액체 사이에서 용질이 이동한다는 대전제로 도출한 연역적 추론을 변경하는 결과는 아니었다.

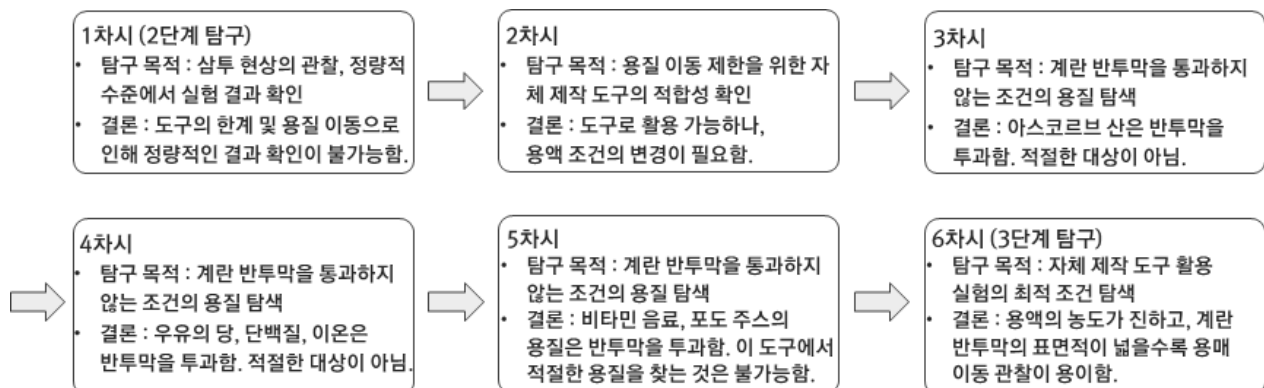


Figure 6. Summary of the group A's inquiry

본 실험은 정량성의 확보가 어렵고 속도가 느려 시간이 오래 걸리므로 학교 현장에서는 부적합 하다고 판단된다.

(B모둠 중간 포스터에서 발췌)

앞선 두 차례의 결과로부터 B모듬은 역시 자신들의 도구를 새롭게 제작하는 것을 전략으로 삼았다. B모듬의 3차시 탐구의 초점은 용매의 이동에 따른 용액 양의 변화를 빠른 시간 내에 관찰할 수 있도록 돕는 도구의 제작이었고, 이를 이용하여 삼투 현상을 정량적으로 확인하는 것이 가능한지를 확인하는 것을 탐구 문제로 제시하였다. 특히, 정량적 측면에서 삼투압을 이론적으로 계산한 값과 실제 측정값의 차이를 만드는 요인으로 간주한 농도 차의 감소와 물기둥의 압력이라는 인과적 요인을 제거하기 위한 목적에서 새로운 도구를 Figure 7과 같이 제작하였다. 이는 자신들이 현상을 바라보는 관점에 새로운 인과적 요인들을 추가하였다는 측면에서 탐구 문제를 새로이 구성하였다고 볼 수 있었다. 이들은 물질이 이동할 반투막의 면적을 최대화하고, 용매가 이동한 양을 관찰하기 위한 관의 두께는 가능한 얇게 하는 것을 목적으로 깔대기를 이용하였다. B모듬 역시 A모듬과 같이 용질의 이동을 인지하였지만, 단순한 오차의 요인으로 여기면서 “적은 양의 용매 유입만으로도 높이 변화를 관찰”할 수 있어 농도의 변화 문제도 같이 해소할 수 있다고 설명하였다. 3차시 탐구에서 B모듬은 새롭게 제안한 도구를 통해 삼투 현상을 빠른 시간 안에 관찰할 수 있음을 확인하였다. 특히, 물을 대조군으로 하여 글루코오스 수용액을 세 가지 농도로 변화시켜 실험을 실시하였을 때, 일정 농도 이상의 용액에서는 상승한 수면의 높이가 차이가 있음을 결과로 제시하였다. 또한 이와 함께 “용매의 이동속도를 통해 농도에 따른 삼투압의 차이를 (정량적으로) 비교할 수 있다”고 판단하였다.

B모듬은 자신들이 처음 제시했던 목표인 정량적인 결과 확인이 가능하다는 판단을 내렸고, 이는 앞서 언급한 “충분한 빠른 속도”로 용액의 수면이 상승한 결과에 근거하였다. 최종 3단계 탐구인 4차시에서 이들은 이전에 비해 상대적으로 다양한 농도의 용액을 이용하여 용액의 수면 상승 속도를 측정하는 과제를 수행하도록 탐구를 계획하였다. 즉, 삼투 현상을 정량적으로 분석하는 배경 이론을 수면의 높이 차이로부터 분석하는 반트호프식에서 속도에 관점을 둔 베르누이 방정식으로 변화시키는 것이 이들의 최종 단계에서의 주요 특징이었다. 이를 위하여 Figure 8과 같이 베르누이 방정식을 이용하여 정량적인 예상 결과를 검증하고자 하였고, 용매가 이동하여 관찰되는 수면의

상승 속도와 농도의 관계가 이차식으로 나타나는지에 대한 검증을 4차시 탐구의 목표이자 과제로 삼았다. 이들의 목표는 ‘삼투압은 농도에 비례한다’와 ‘삼투압이 커지면 용매의 이동 속도가 빨라진다’는 두 전제로부터 ‘농도가 커지면 용매의 이동 속도가 빨라질 것이다’라는 예측을 검증하는 연역적 추론에 근거하여 구성되었다. 즉, 삼투 현상에 대한 이론을 그대로 전제로 상정하되, 서로 다른 농도의 용액에서 발생하는 삼투 현상의 정량적 차이를 설명하는 배경 이론으로 베르누이 방정식을 추가하여 자신들의 추론을 강화한 가설-연역적 탐구를 수행했다고 볼 수 있다. 즉, B모듬은 일련의 과정에서 현상에 대한 자신들의 설명을 강화하기 위하여 다양한 이론들을 사용하는 모습을 보였다.

4차시 탐구의 결과로부터 B모듬은 용액의 농도와 삼투 현상에 의한 수면 상승의 관계는 이차식으로 나타날 것이라는 자신들의 예상과 동일하다는 결론을 내렸다. 즉, 자신들이 검증하고자 했던 가설의 타당성을 확보하였으며, 자신들의 탐구 결과에 한정하여 베르누이 방정식으로 삼투 현상에 의한 변화를 정량적으로 설명할 수 있음을 강조하였다. 다만, 용액의 농도가 진해질수록 예상했던 속도보다 용액의 수면 상승 속도가 감소하였는데, 이에 대해서는 부가적인 추가 설명을 더했다. 추가적으로 더한 설명은 용액의 이동 속도를 저해하는 요인으로 점성을 제시하는 것이었다. 다만 이들은 탐구를 지속할 수 있는 시간적 여유가 부족하여 추가적인 탐구를 통해 점성의 영향에 대한 가설을 검증하지는 못하였다. 자신들이 예상한 점성이라는 요인이 속도를 저해한다고 가정하고, 수용액의 농도가 진해질수록 점성이 높아져 이동하는 용매의 양이 감소하는 것으로 위의 Figure 8에 제시된 가장 하단의 수식에 임의의 변수를 대입하고 마무리하였다. 이러한 접근은 예상하지 않았던 결과인 수면 상승 속도의 감소에 대해 새로운 이론을 추가시켜 새로운 가설을 생성한 것이라고 할 수 있다. 즉, 물질의 이동 저해라는 결과를 설명할 수 있는 다양한 요인 중에 점성이라는 개념을 도입한 일종의 귀추 추론이라고 할 수 있다(Lee et al., 2013). B모듬이 삼투 현상에 대해 수행한 탐구의 과정은 Figure 9와 같이 나타낼 수 있다. B모듬은 일련의 탐구 과정을 통해 물질의 이동 측면에서 다루는 삼투 현상에 대해 물질의 이동을 저해하는 요인으로서 분자 간에 작용하는 힘 개념을 추가하여 자신들이 관찰한 현상을 설명하는 변화를 경험하였다.

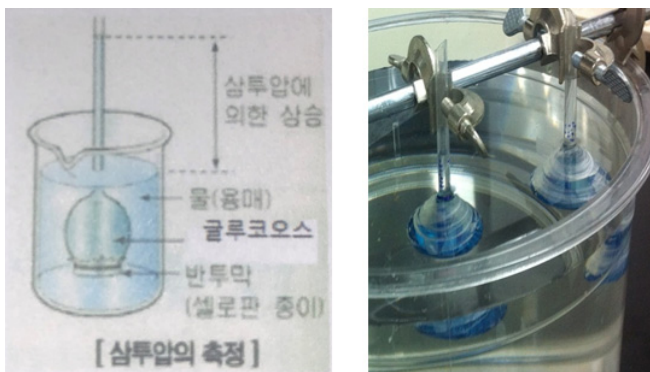


Figure 7. An experimental apparatus used by group B (Extract from the group B's experimental plan and poster for presentation)

### 가설



$$p_1 + \rho g y_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g y_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$P_1 - P_2 = \Pi = CRT, \quad V_1 = 0$$

$$Q = V_2 \times A \quad (Q = \text{유량}, A = \text{용매가 통과하는 면적})$$

$$= S \times (dh/dt) \quad (S = \text{깔때기 좁은 부분의 단면적})$$

식을 정리하면

$$C = a(dh/dt)^2 + b$$

즉, 속도와 농도의 관계는 이차식으로 나타날 것이다.

Figure 8. Hypothesis for the 4th inquiry of group B

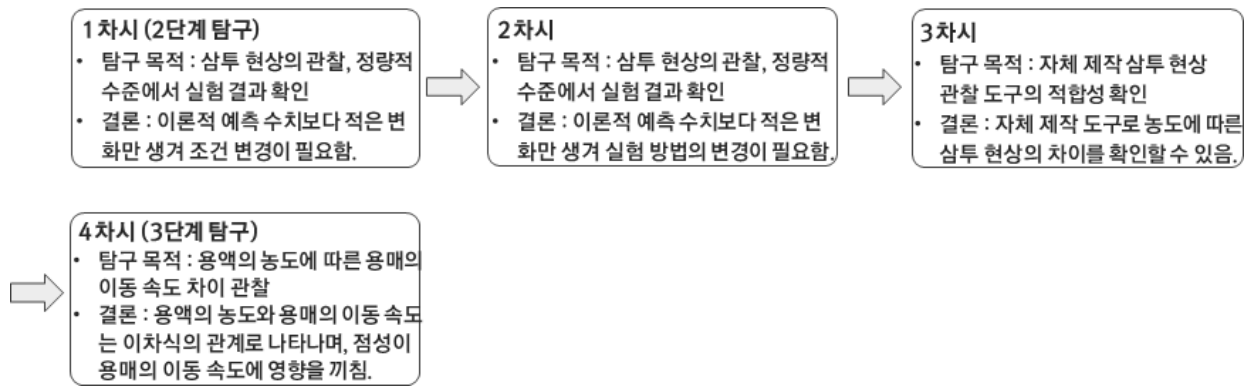


Figure 9. Summary of the group B's inquiry

2. 탐구 과정에서 드러난 탐구 문제와 추론 과정의 특징

가. 추론 과정에 영향을 끼친 요인

두 모둠은 처음에 예상했던 결과가 드러나지 않았기 때문에 탐구 문제를 변경하거나, 이전에 확인하였던 문제점들을 검증하기 위한 방식을 변경하는 다양한 탐구의 양상을 보였다. 변화시킨 사항들은 현상에 대해 영향을 끼치고 있을 것으로 예상되는 변인 혹은 요소에 해당하는 것들로, 현상이 일어나는 인과적인 구조를 규명하기 위한 목적에서 탐구를 추진하였다. 다만, 자신들이 얻은 탐구 결과와 전제가 되는 이론이 직접적으로 대응하지 않는 것만으로 새로운 탐구 문제를 형성하는 것이 아니고 다양한 맥락의 요인들이 같이 작용했을 때, 이러한 변화가 일어났다.

그렇다면 어떠한 요인들이 이러한 추론의 양상과 관련이 있었는지 살펴볼 필요가 있다. 우선, 변칙적인 측정 결과가 유사한 형태로 반복적으로 나타날 때 새로운 방식의 접근이 나타남을 확인할 수 있다. A모듬의 경우에는 자신들의 결과에서는 드러나지 않았지만, 다른 모듬들의 결과가 일치하게 나타난다는 사실로부터 가설의 전제를 변경하였다. 특히 아래 발췌문에 제시한 바와 같이 A모듬은 자신들이 사용했던 방식과 다른 모듬들의 방식을 모두 면밀하게 살피고 다른 모듬들과 지속적으로 논의하는 과정, 새로운 탐구 설계를 피하는 과정 중에 당시의 결과가 단순한 실수나 실험적 오류가 아니라는 결론에 도달하였다.<sup>1)</sup> 이들은 자신들 이외의 다른 모듬 결과를 참고하였던 이유에 대해 자신들의 실험에서는 ‘(예상하는 결론대로) 된 것이 없었기 때문에’ 어쩔 수 없이 택했던 방식이라고 답하였고, 실제 삼투 현상을 주제로 탐구를 수행했던 모든 모듬들은 같은 시판 도구를 활용하여 첫 번째 실험을 수행했기 때문에 결과를 공유하기에 용이하였다.

A 2(A모듬 구성원) : 저희는 항상 저희끼리만 보는게 아니라 다른 조는 어떻게 하고 어떤 결과가 나왔는지를 되게 많이 참고했던 것 같아요. 일단 저희는 어떤 조가 어떤 방법으로 어떻게 실험을 해서 무슨 결과가 나왔는지

는 다 알고 있었거든요. ... (중략)... 저희 대신 미리 이것저것 해보았다는 그런 느낌, 저희 대신 해줬다는 느낌으로 봤어요.  
(A모듬 면담 자료에서 발췌)

B모듬의 4차시 탐구에서 용액의 농도가 전해질수록 물질의 이동 속도가 이론값보다 더 느려진다는 일관적인 결과로부터 점성이라는 요인을 고려한 것은 A모듬과 유사한 사례라고 할 수 있다. 또한, B모듬은 1차시와 2차시 탐구 결과로부터 삼투 현상에 대한 전제를 변화시키지는 않았으나, 그 결과가 유사하다는 사실로부터 새로운 도구를 제안하는 변화가 있었다. 즉, 출처는 서로 다르더라도 참여자들이 인지하고 있는 결과들이 일관성이 있고, 타당하다고 인지한다면 처음 검증하고자 했던 탐구 문제에 대한 접근에 수정이 필요하다는 인식으로 나아갈 수 있었다. 참여자들은 이 과정에 대해 가설-연역적 관점에서 ‘자신들이 놓친’ 통제변인이 있나 검토하는 것이 우선이었음을 설명하면서도, 각 모듬은 아래 발췌문과 같은 자신들의 과정에서 수정의 필요성을 인지하였다고 말하였다. A모듬은 자신들의 탐구의 목적에 대해 계속 반성적으로 사고할 수 있었던 경험에 대해, B모듬은 교수자 혹은 자신들이 기대하는 결과 도출에 대한 부담으로부터 벗어나서 활동할 수 있었던 점에 대해 언급하면서, 자신들의 탐구 문제에 대해 고민할 수 있었던 경험의 중요성을 피력하였다.

(언제 실험 결과에 대한 의심을 갖게 되었는지 묻는 질문에 대해)  
A 2(A모듬 구성원) : 이거 실험 자체가 주제는 주되, 뭘 알고 싶은 것인지는 저기가 설정을 하게 되어 있잖아요. 그래서 저희가 이것저것 계획서를 써서 가면 (보조 교사가) 그래서 이거 해서 뭘 할건데? 결론이 뭐가 나올 수 있는건데? 그거 왜 하는건데? 항상 이렇게 질문 하셨거든요.  
(A모듬 면담 자료에서 발췌)

(3단계 탐구를 진행하면서 고려했던 점과 배웠던 점을 묻는 질문에 대해)  
B 2(B모듬 구성원) : 그때는(과거의 실험 수업에서는) 정말 실험 보고서를 당장 내야하니까 뭐라도 얻어볼까 이랬던 거 같은데, 그러면 안된다는 것(을 느꼈다).  
(B모듬 면담 자료에서 발췌)

1) 본 연구의 연구 참여자를 포함하여 2단계 탐구까지 삼투 현상을 주제로 선정하였던 모듬들은 모두 A모듬의 주도 하에 용질의 이동이라는 사안에 대해 공유하고 있었다. 관련하여 타 모듬의 한 학생은 연구자와의 면담에서 “그러니까 이게 일단 A1(A모듬 연구 참여자) 말대로 삼투압 실험이 넘어가니까 뭘 할 수가 없어요. 그거 안넘어갔으면... 이거 실험해보기 위해서 은 나노입자 이것도 한 번 해보고 싶었는데, 이게 (반투막을) 통과하기 시작하니까 밀도 끝도 없어서 (예상하는 결과를 확인)할 수가 없더라고요.”라고 진술하였다. 또한 본 연구의 참여자가 아닌 4개 모듬들 중 3개 모듬의 주제가 ‘용질 이동의 제한 조건 확인’이었다.

앞서 설명한 규칙적 변칙 사례로 인지하는 과정은 제한적이거나 참여자인 학습자들 역시 단순한 한 번의 실험 실패로부터 증거와 이론 간의 새로운 조정을 피하지 않는다는 점을 뜻한다. 실제 과학자들의 활동과 같이, 여러 번의 반복된 결과가 나타나되 그 결과들의 유사성이 드러난 경우야만 가설을 구성하는 요소들의 타당성을 살펴본다는 사실은 주목할 만하다(Noh et al., 2006; Kim, & Kim, 2008). 비록



본 연구의 참여자들이 대학생들이지만, 전문적인 과학 연구에 참여해 본 경험이 없음에도 결과들의 유사성과 규칙으로부터 변화를 꾀했다는 점이 두드러진다. 서론에서 기술한 선행 연구들이 밝혔듯이 학생들도 충분한 추론 능력을 갖추고 있음을 확인할 수 있는 결과이다.

다음으로 참여자들은 새로운 탐구 문제를 검증하기 위하여 새로운 도구를 제안하였고, 이는 이후의 탐구 문제를 설정하고 탐구를 수행하는데 큰 영향을 끼쳤다. 특히, 예상하지 못했던 결과로부터 두 모둠은 모두 새로운 실험 도구를 제안하였는데, 이 도구는 최종적인 3단계 탐구에게까지 직접적으로 영향을 주었다. 용매와 용질을 구분하여 이동시키고자 했던 A모둠은 자신들의 목적에 부합한다고 여긴 도구를 제안하였다. 하지만, 자신들이 새로이 제시한 도구를 이용했던 실험들에서도 모든 용질이 이동한 결과가 나타났기 때문에, 이들은 최종적으로 정량적인 접근은 불가능하다는 결론에 도달하였고, 이후 새로운 추론을 이끌어내지는 못하였다. 즉, 정성적인 접근에 초점을 맞춘 도구가 이들의 사고를 반투막의 구멍 크기와 용질 입자의 크기 간의 관계에만 관심을 갖도록 한정하였다.

반면, B모듬의 경우 정량적인 결과 확인을 목적으로 도구를 제안함에 따라, 새로운 개념을 도입한 결론에 도달하였다. 1차시와 2차시 탐구를 진행하는 과정 속에서 이들은 용액의 농도에 따라 서로 다른 결과를 가져오는 장치와 방법에 대해 고민하였고, 빠른 이동을 꾀한 도구를 제안하는 측면에서 용매 이동에 의한 용액 농도의 변화나 물기둥의 압력과 같은 요인은 현상을 설명함에 있어 주요한 요인으로 간주하였다. 반면, 용질의 이동이나 용매의 증발은 일종의 오차 정도로 여감을 확인할 수 있었다. 앞서 기술한 바와 같이 자신들의 도구를 이용하여 정량적인 차이를 확인할 수 있다는 한 번의 ‘성공’으로 여기는 결과 확인 이후에 베르누이 방정식의 도입과 같이 자신들의 설명 체계 변화를 적극적으로 고려하였다. 또한, 점성의 개념을 도입한 것은 삼투 현상의 정량적 해석을 장기간에 걸친 자료 수집이 아니라, 단기간에 실험 결과를 얻을 수 있는 도구를 이용하였기 때문이다. 물질의 이동을 저해하는 요인들은 다양할 수 있지만 실험 도구로부터 만들어진 순간의 변화에 자신들의 관심이 옮겨졌기 때문에, B모듬은 실험이 이루어지는 시간적인 요인에 관계없이 작용하는 분자 간의 힘을 요인으로 고려할 수 있었다. 이러한 점은 A모듬과 크게 대비되는 지점으로, A모듬은 자신들의 도구를 이용하여 용질의 이동을 제한하는 결과를 얻지 못했다고 판단한 반면, B모듬은 자신들의 목적에 부합하는 결론을 얻었다는 일종의 성공 경험이 이후의 자신들의 탐구를 구체화시키는 것에 영향을 끼쳤다고 볼 수 있다. 이처럼, 자신들이 제시한 실험 도구가 자신의 목적에 부합함을 확인한 이후부터 큰 영향을 끼친다는 점은 외적인 요인들이 학생들의 인지과 활동에 영향을 끼친다는 연구 결과와 관련성이 있는 것으로 보인다(Wilson, 2002; Tolentino *et al.*, 2009; Oh, 2017b).

#### 나. 탐구 문제의 특징과 추론 간의 관련성

본 연구의 결과로부터 확인할 수 있었던 것은 복잡하게 진행되는 탐구의 맥락 속에서 참여자들이 제시한 탐구 문제에 특징이 있다는 점이다. 실제, 탐구 문제의 형성은 매우 복잡하게 이루어지지만(Park, 2000), 이들에게 있어 새로운 탐구 문제는 앞선 현상에 대해 최선의 설명을 할 수 있도록 구성된 추론을 검증하기 위한 목적에서 제안되

었다. 즉, 참여자들이 경험한 일련의 과정은 각자의 맥락 속에서 관찰한 결과를 설명하기 위한 노력의 일환이다. 참여자들은 자신들의 탐구에서 경험하는 결과와 맥락들을 종합적으로 고려하여 삼투에 대한 자신들 나름의 추론을 거쳐 최선의 설명 체계를 구축하고자 하였다. 그리고 설명 체계는 한 번 형성된 이후 쉽게 변화하진 않았으나, 결과가 더해질수록 더 체계적인 형태를 갖추게 되었다.

참여자들에게 있어 체계적인 설명은 과학적으로 가장 타당한 것이라기보다, 자신들에게 가장 잘 이해될 수 있고, 가장 잘 현상을 설명할 수 있다고 판단하는 형태였다. A모듬이 1차시 탐구가 진행되었던 수업에서 확인할 수 있었던 대다수의 구성원들의 결과에서 동일한 용질의 이동 결과로부터 판단을 내린 것은 그들에게 가장 설득력 있고 이해가 잘되는 설명 체계이기 때문이다. 즉, 용질이 이동하였다는 원인으로 ‘반투막이 찢어졌다’와 같이 단순한 실험적 오차로 판단을 내리는 것은 우연에 의한 결과이기 때문에 다양한 모듬에서 같은 결과가 나타난다는 것을 설명하기에 적절하지 않다는 것이다. 오히려 반투막의 투과 방식이 반투막의 구멍 크기에 영향을 받는 것임을 잠재적인 원인으로 상정하는 것이 가장 그럴듯하면서 충분히 현상을 이해할 수 있는 설명이었다는 것을 유추할 수 있고, 문제발견 과정에서 귀추의 역할을 확인할 수 있는 결과라고 볼 수 있다. 이처럼 참여자들은 자신들이 고려하는 현상의 원인에 대해 추론하여, 이를 검증하기 위하여 탐구를 지속하였다.

마찬가지로, B모듬이 물리 개념에 점성 개념을 도입한 것은 실제 사용한 용질인 당이 일상생활에서 끈적이는 물질로 익숙하기 때문에, 끈적임과 점성 간의 연관성이 이들에게 쉽게 그럴듯한 설명 체계로 받아들여졌던 것이다. 용매의 이동을 저해할 수 있는 다양한 요인 중에 점성으로부터 도출할 수 있는 분자 간의 인력이 현상을 설명함에 있어 가장 타당하며, 그들에게 이해를 높여줄 수 있는 개념이었다. 또한, 귀추의 방식을 활용한 것은 아니지만 B모듬이 베르누이 방정식을 도입한 것은 모듬 구성원 중 하나가 대학 1학년을 물리교육 전공으로 보냈음을 상기시킨 점을 고려해야 한다. 즉, 이미 현상을 설명하기 위한 다양한 방법들 중, 충분한 설명력이 있으면서 자신에게 이해를 높여줄 수 있는 이론을 도입한 것이다.

이러한 추론의 양상은 비록 제한적인 결과이나 ‘가장 많은 이해를 가져다 줄 수 있는 잠재적인 설명으로의 추론’이라는 Lipton(2004)의 귀추 추론에 대한 설명과 궤를 같이 한다. 현상의 발생 원인에 다양한 요인들이 영향을 끼칠 수 있지만, 그 중에서 탐구를 수행하는 주체인 자신들에게 충분히 현상에 대한 이해를 가져올 수 있는 방식을 택했다고 볼 수 있다. 더불어, 참여자들의 설명은 다른 요인이 더 큰 영향을 끼치는 원인일 수 있고, 혹은 당장은 이해될 수 있으나 더 적절한 설명 체계가 있을 수 있었다는 점에서 잠재적인 설명이다. B모듬이 용매의 이동 속도 저해 요인으로 점성을 제기하였으나, 이는 얼마든지 분자 간 인력과 관련된 다른 개념이 추가되거나 대체될 수 있는 여지가 있다는 점이 그 사례이다.

#### IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 탐구 문제의 구성된 프로그램에서 삼투 현상과 관련한 탐구를 진행할 때 나타난 탐구 문제와 과학적 추론과의 관계를 살펴보고자 하였다. 특히, 참여자들 자신의 탐구 결과를 근거로 자유

롭게 탐구 문제를 구성하고 해결할 수 있도록 상황을 마련하여 종합적으로 학생들의 추론을 파악하고자 하였다. 특히 탐구 문제 구성 중에 드러난 추론의 양상과 특징을 살펴보고, 이때 어떠한 요인들이 학습자들에게 영향을 끼치는지 확인하여 기술하고 분석 결과를 논의하였다. 자유롭게 이루어지는 탐구의 양상 속에서 학습자들이 증거들과 자신들의 이론을 어떻게 조절하여 새로운 문제를 형성하는지 확인하고, 탐구를 통한 과학 교육에 대한 시사점을 탐색하고자 하였다.

연구의 결과로부터 다음과 같은 내용들을 확인할 수 있었다. 우선, 이 연구의 참여자인 대학생들이 다양한 추론의 방식을 활용하여 탐구의 결과를 해석하고 문제를 제안하는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 명시적으로 드러나지는 않지만, 귀납과 귀추, 연역 추론이 탐구 문제의 발견과 관련된 과정 중에 나타남을 확인할 수 있었다. 특히, 탐구의 결과가 처음의 예상과 다르게 나타나 새로운 문제를 제안하거나, 새로운 해석을 꾀하는 과정에서 자연스럽게 귀추 추론의 방식이 활용되었다. 귀추 추론은 문제나 가설을 형성하는 사고 과정이기 때문에, 이는 다음 탐구의 기반이 되는 연역 추론의 전제로서 활용되었다. A모둠의 경우에는 명시적으로 귀납으로부터 귀추와 연역의 과정이 드러났고, B모둠에서는 귀납 추론이 명시적으로 드러나 다른 추론 방식과 연결되지는 않았으나, 종합적으로 귀추와 연역의 추론 과정이 드러나는 탐구의 과정을 겪었다.

이들의 추론 양상은 관찰한 현상에 대해 최선의 설명을 구성하기 위한 탐구와 밀접하게 관련이 있었다. 자신들이 제기한 설명 체계에서 간주하는 원인을 검토하는 과정에서 다양한 추론이 나타났고, 이를 검증하기 위한 탐구를 지속하였다. 이 과정은 다양한 맥락들이 서로 상호 작용하며, 탐구와 현상에 대한 설명 체계 구성에 복잡하게 작용하고 있었으나, 두 모둠에서 유사하게 나타난 요인들을 본 연구에서 확인하였다. 하나는 규칙적으로 반복되는 변칙 사례의 발견이고, 다른 하나는 실험 도구의 특성이었다. 규칙적으로 나타나는 변칙 사례는 그 결과의 출처가 본인들의 결과이기도 하였으나, 타 집단에서 얻은 결과가 출처가 되기도 하였다. 실험 도구는 자신들이 새롭게 제안한 경우에 참여자들의 사고에 큰 영향을 미쳤다. 즉, 자신들이 제안한 도구는 자신들이 고려한 목적에 부합하는 것이었다고 판단했기 때문에, 자신들의 추론 결과를 실제 현상으로 드러내는 역할을 할 것으로 참여자들은 기대하였다. 특히, 자신들의 관점에서 성공이라고 여기는 결과를 획득하였을 때, 자신들의 탐구를 더욱 정교화시키는 모습을 확인할 수 있었다.

본 연구의 결과는 탐구의 경험을 통해 다양한 추론의 기회를 제공함에 있어 다음과 같은 시사점을 제기한다. 우선 탐구 활동을 통해 규칙적인 변칙 사례를 접하게 하는 것이 요구되나, 학습자들에게 제시하는 방안에 대해서는 심도 있는 고민이 필요하다. 즉, 규칙적인 변칙 사례로부터 자신들의 결과가 단순한 실험적 오차가 의한 것이 아님을 인지할 수 있도록 안내하는 것이 필요하다. 연구 참여자들은 이미 적지 않은 실험 수업의 경험을 통해 교과서 및 교육 과정에서 “안 되는 실험을 하지 않게 하고” 있다고 인지하고 있었다. 즉, 교수자가 요구하는 결과가 잘 나타나는 실험들로 커리큘럼이 구성되어 있기 때문에, “데이터가 잘못 나와도 그렇게 중요하지 않았으니까 보고서 쓸 때 오차 원인 쓰면 되는 것”을 당연하게 생각하고 있었다. 따라서 단순하게 학생들에게 변칙적인 자료를 제공하는 것은 기존의 경험을 답습하게 하는 효과만 제기할 수 있으며, 교수자는 반복적인 결과는

인지하지 못하는 규칙을 만들어 낼 가능성이 있는 것임을 학생들로 하여금 상기시키는 것이 필요하다.

두 번째로 탐구 과정에서 활용하는 다양한 실험 도구와 조건들과 같은 실험의 맥락이 자신의 목적에 부합하는지 파악할 수 있도록 안내할 필요가 있다. 이는 탐구 맥락 내에서 해당 도구들이 가지고 있는 한계가 무엇인지 명확하게 인지하도록 자극함으로써 가능할 것이다. 실제 자신이 손으로 다루고 있는 도구의 한계를 짚어내는 것은 이론과의 불일치가 무엇인지 반성적으로 사고하여, 이론으로부터 구성된 탐구 목적과 비교할 수 있는 기회를 제공할 수 있다. 하지만 이에 대한 구체적인 방안은 뚜렷하지 않다. 다만, 이와 관련하여 앞서 기술했던 바와 같이 학습자들은 실험 활동에서 ‘당장 실험 보고서를 내야한다’는 생각을 느끼고 있었을지 모르며, 학습자들에게 탐구가 진행되는 과정에서 충분한 고민의 노력과 시간이 필요함을 지적하였음을 고민해야 한다. 즉, 학습자들은 탐구 활동을 진행하는 과정에서 항상 보고서와 같은 산출물이 제작되어야 한다는 압박감을 이미 경험하고 있었을지 모른다. 다양한 교수학습 프로그램으로부터 경험해왔던 압박감으로부터 벗어나 자신의 학습 경험과 탐구를 수행하는 목적과 방향성에 대해 충분히 반추할 수 있도록 기회를 제공하는 방안에 대한 고민이 필요하다.

본 연구는 하나의 프로그램에 참여한 두 모둠의 사례를 살펴보았기 때문에 다음의 한계와 함께 추가적인 연구가 진행될 필요가 있다. 우선 2개 모둠에 한정하여 분석한 소규모 집단에 대한 사례 연구이기 때문에 학습자들의 추론 양상과 탐구, 탐구 문제와의 관계를 일반화하기 어렵다. 탐구의 과정 중에는 다양한 맥락들이 학습자에게 영향을 끼칠 수 있으나, 본 연구에서는 장기간의 탐구만 진행한 참여자들을 살펴보았다는 측면에서 결과에 대한 해석이 제한적이다. 즉, 본 연구에서 강조한 요인 이외의 다른 요인들이 학습자들의 탐구와 추론에 영향을 끼칠 수 있기 때문에, 다양한 주제와 맥락에서 이루어지는 탐구에 관심을 두고 어떠한 맥락들이 학습자들에게 영향을 끼치는지 살펴볼 필요가 있다. 두 번째로 본 연구는 자신들의 탐구 문제를 구성할 것을 강조한 맥락에서 이루어졌기 때문에, 자연스럽게 참여자들은 자신들만의 문제를 형성해야 한다는 인식하에 있었다. 비록, 본 연구의 참여자들은 오롯이 스스로 문제를 구성하였으나, 탐구 문제의 구성을 강조하지 않은 탐구 활동에서 유사한 경험을 할 수 있을지 추가적인 연구를 통해 밝힐 필요가 있다.

## 국문요약

과학 탐구는 과학에 대한 다양한 학습의 차원에서 그 중요성이 강조되고, 다양한 방법과 목적에 따라 운영되었다. 과학 학습에 대한 다양한 측면 중 과학적 사고력과 같은 과학과의 중요 역량 함양이 강조되고 있다. 따라서 과학적 추론이 적절하게 일어날 수 있도록 안내할 필요가 있다. 이 연구는 학습자들이 과학적 탐구를 진행하는 과정 중, 탐구 문제의 발견과 구성 과정에서 드러나는 과학적 추론을 살펴보고 그 의미를 탐색하고자 하였다. 또한 어떠한 요인이 이 복잡한 과정에 영향을 끼치는지 살펴보고자 하였다. 이러한 목적에 따라 ‘삼투 현상’ 관련 탐구를 수행한 대학생 2개 모둠의 탐구 과정과 결과를 분석하였다. 연구 참여자들의 탐구 계획서 및 발표 자료, 모둠 별 면담을 분석하였다. 그 결과, 이들은 ‘삼투 현상’에 대한 자신들의 탐구 문제를 구성하고 진행되는 과정에서 연역, 귀납, 귀추의 추론

방식을 다양하게 활용하는 것을 확인할 수 있었다. 탐구와 추론이 역동적으로 이루어지는 과정에서 규칙적인 변칙 사례와 실험 도구의 특징이 이들의 추론에 영향을 끼침을 살펴보았다. 다양한 추론들은 참여자들 스스로 관찰한 현상에 대해 최선의 설명을 구성하는 것을 목적으로 탐구를 지속하는 중에 이루어졌다. 끝으로 이 연구의 결과를 바탕으로 과학 탐구를 기반으로 삼는 프로그램들의 개발 맥락에 대해 제공하는 몇 가지 시사점을 논의하였다.

: 과학적 추론, 문제발견, 삼투 현상, 최선의 설명으로의 추론

## References

- Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86, 175-219.
- DeBoer, G. E. (2006). Historical perspective on inquiry teaching in schools. In L. Flick & N. Lederman (Eds.), *Scientific Inquiry and the Nature of Science: Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education* (pp. 17-35). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer.
- Fraser, B. J. (1978). Development of a test of science-related attitudes. *Science Education*, 62(4), 509-515.
- Fusco, D. (2001). Creating relevant science through urban planning and gardening. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(8), 860-877.
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235-266.
- Jeong, J. I., & Jang, N. H. (2018). Comparative analysis of the description of osmosis in Korean and American high school chemistry textbooks. *Teacher Education Research*, 57(4), 539-548.
- Jeong, J.-S. (2006). Role of hypothesizing abduction in high school students' generation of hypotheses about root-pressure. *The Korean Journal of Biological Education*, 34(3), 405-414.
- Jonassen, D. H. (1997). Instructional design models for well-structured and ill-structured problem-solving learning outcomes. *Educational Technology Research and Development*, 45(1), 65-94.
- Jonassen, D. H. (2000). Toward a design theory of problem solving. *Educational Technology Research and Development*, 48(4), 63-85.
- Joung, Y. J., & Song, J. (2006). The features of the hypotheses generated by pre-service elementary teachers using the form of Peirce's abduction. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 25(2), 126-140.
- Kind, P. M., Kind, V., Hofstein, A., & Wilson, J. (2011). Peer argumentation in the school science laboratory-Exploring effects of task features. *International Journal of Science Education*, 33(18), 2527-2558.
- Kim, D. H. (2017). The effects on particulate concept formation based on abductive reasoning model for elementary science class. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 37(1), 25-37.
- Kim, H., Kim, Y., Kim, D., & Wee, S. M. (2018). The case study of strategies for abductive reasoning in the process of solving earth science inquiry questions for middle school students. *Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 18(15), 799-820.
- Kim, J. H., Kim, J. W., Park, C. K., & Paik, S. H. (2006). Development of particle-level computer assisted instruction materials for the 'solution' chapter in high school chemistry textbook and analysis of the educational effects. *Journal of the Korean Chemical Society*, 50(2), 163-177.
- Kim, Y., & Kim, Y. (2008). Newton's scientific problem finding and abductive reasoning in his discovery of the light and color theory. *Sae Mulli*, 53(3), 162-170.
- Kirschner, P. A., Sweller, J., & Clark, R. E. (2006). Why minimal guidance during instruction does not work: An analysis of the failure of constructivist, discovery, problem-based, experiential, and inquiry-based teaching. *Educational Psychologist*, 41(2), 75-86.
- Kolodner, J. L., Camp, P. J., Crismond, D., Fasse, B., Gray, J., Holbrook, J., Puntambekar, S., & Ryan, M. (2003). Problem-based learning meets case-based reasoning in the middle-school science classroom: Putting learning by design™ into practice. *The Journal of the Learning Sciences*, 12(4), 495-547.
- LaBanca, F. (2008). Impact of problem finding on the quality of authentic open inquiry science research projects. Doctoral Thesis. Western Connecticut State University. UMI Number: 3411366.
- Lawson, A. E. (2000). How do humans acquire knowledge? and what does that imply about the nature of knowledge? *Science & Education*, 9, 577-598.
- Lee, S. K., Choi, C. I., Lee, G., Shin, M. K., & Song, H. (2013). Exploring scientific reasoning in elementary science classroom discourses. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33(1), 181-192.
- Lee, S. Y., Kim, S. H., & Paik, S. H. (2010). A case study of chemistry major pre-service teacher's understanding about the properties of dilute solutions and perception on teacher education curriculum. *Journal of the Korean Chemical Society*, 54(6), 787-798.
- Lim, O. K., & Kim, H. N. (2018). Scientific reasoning differences in science writing of elementary school students by grades. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 38(6), 839-851.
- Lim, S. C., Kim, J. H., & Jeong, J. W. (2013). Analysis of the scientific reasoning ability of science-gifted 2nd middle school students in open-Inquiry activities. *Journal of Science Education*, 37(2), 323-337.
- Lipton, P. (2004). *Inference to the Best Explanation* (2nd ed.). Abingdon, Oxon: Routledge.
- Maeng, S. H., Park, M., Lee, J. A., & Kim, C. J. (2007). A case study of middle school students' abductive inference during a geological field excursion. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 27(9), 818-831.
- Ministry of Education(MOE) (2015). 2015 revised science curriculum. Ministry of Education 2015-74 [issue 9].
- National Research Council(NRC) (2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington DC: National Academy Press.
- Noh, T., Yun, J., Kang, H., & Kang, S. (2006). A comparison of scientists' and students' responses to discrepant event and alternative hypothesis in the conceptual change processes from the phlogiston theory to the oxygen theory. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 26(7), 798-804.
- Oh, P. S. (2016). Roles of models in abductive reasoning: A schematization through theoretical and empirical studies. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 36(4), 551-516.
- Oh, P. S. (2017a). The roles and importance of critical evidence (CE) and critical resource models (CRMs) in abductive reasoning for earth scientific problem solving. *Journal of Science Education*, 41(3), 426-446.
- Oh, P. S. (2017b). An interpretation of modeling-based elementary science lessons from a perspective of distributed cognition. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 36(1), 16-30.
- Park, J. (2000). Analysis of students' processes of generating scientific explanatory hypothesis-Focused on the definition and the characteristics of scientific hypothesis -. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 20(4), 667-679.
- Runco, M. A. (1994). *Problem finding, problem solving, and creativity*. Ablex Pub. Corp.
- Schmidt, H. G., & Moust, J. (2000). Towards a taxonomy of problems used in problem-based learning curricula. *Journal on Excellence in College Teaching*, 11(2/3), 57-72.
- Schwab, J. J. (1962). The teaching of science as enquiry. In J. J. Schwab & P. Brandwein (Eds.), *The Teaching of Science* (pp. 1-104). Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Schwartz, R. S., & Crawford, B. A. (2004). Authentic scientific inquiry as context for teaching nature of science. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific Inquiry and Nature of Science. Implications for Teaching, Learning, and Teacher Education* (pp. 331-355). Dordrecht: Kluwer.
- Shim, H., & Ryu, S. (2018). Pre service chemistry teachers' understanding of science practices during open-inquiry chemistry laboratory activities. *Journal of the Korean Chemical Society*, 62(1), 52-63.
- Tolentino, L., Birchfield, D., Megowan-Romanowicz, C., JohnsonGlenberg, M., Kelliher, A., & Martinez, C. (2009). Teaching and learning in the mixed-reality science classroom. *Journal of Science Education and Technology*, 18, 501-517.
- VandeWalle, D. (1997). Development and validation of a work domain goal orientation instrument. *Educational and Psychological Measurement*, 57(6), 995-1015.
- Wilson, M. (2002). Six views of embodied cognition. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9, 625-636.
- Yun, H., & Kim, H.-B. (2018). Exploring science high school students' epistemic goals, epistemic considerations and complexity of reasoning in open inquiry. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 38(4), 541-533.
- Yoon, H. G., & Pak, S. J. (2000). The change of middle school students' motivation for investigation through the extended science investigations. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 20(1), 137-154.

## 저자 정보

백중호(한국교육과정평가원 부연구위원)