



중학생의 과학 그래프 구성에 관한 문제 해결 과정 연구

이재원, 박가영, 노태희*
서울대학교

A Study on Middle School Students' Problem Solving Processes for Scientific Graph Construction

Jaewon Lee, Gayoung Park, Taehee Noh*
Seoul National University

ARTICLE INFO

Article history:

Received 5 October 2019

Received in revised form

28 October 2019

30 October 2019

Accepted 30 October 2019

Keywords:

graph construction, problem solving, representation, think-aloud

ABSTRACT

In this study, we investigated the middle school students' processes of scientific graph construction from the perspective of the problem solving process. Ten 9th graders participated in this study. They constructed a scientific graph based on pictorial data depicting precipitation reaction. The think-aloud method was used in order to investigate their thinking processes deeply. Their activities were videotaped, and semi-structured interviews were also conducted. The analysis of the results revealed that their processes of scientific graph construction could be classified into four types according to the problem solving strategy and the level of representations utilized. Students using the structural strategy succeeded in constructing scientific graph regardless of the level of representation utilized, by analyzing the data and identifying the trend based on the propositional knowledge about the target concept of the graph. Students of random strategy-higher order representation type were able to succeed in constructing scientific graph by systematically analyzing the characteristics of the data using various representations, and considering the meaning of the graph constructed in terms of the scientific context. On the other hand, students of random strategy-lower order representation type failed to construct correct scientific graph by constructing graph in a way of simply connecting points, and checking the processes of graph construction only without considering the scientific context. On the bases of the results, effective methods for improving students' ability to construct scientific graphs are discussed.

1. 서론

그래프는 자료를 시각화하여 표현하는 하나의 방법으로, 과학 교과에서는 실험을 통해 얻은 자료의 전체적인 특징과 경향성을 분석하거나 그래프의 목표 개념을 이해하는 도구로서 중요한 역할을 한다(Dori & Sasson, 2008; Kim, Ko, & Kim, 2005). 그래프의 활용 방식은 크게 그래프의 의미를 이해하는 해석과 자료를 그래프로 표현하는 구성으로 나눌 수 있다(Seçken & Yörük, 2012). 이 중 그래프의 구성은 과학 탐구의 기본이 되는 자료의 측정, 분류, 예측, 전환 등의 활동을 수반하며, 공간지각력, 논리적 사고력, 과학적 사고력, 추론 능력 등의 종합적인 활용을 요구하므로 그래프의 해석보다 고차원적인 활동이라 할 수 있다(Berg & Smith, 1994; Canham & Hegarty, 2010; Friel, Curcio, & Bright, 2001; Hipkins, 2011). 이에 학생들의 그래프 구성 수준(Kim & Kim, 2002; Lim, Kim, & Kim, 2010; Ploetzner *et al.*, 2009; Yang & Jang, 2012) 및 그래프 구성에 영향을 주는 인지적, 정의적 변인(Beaumont-Walters & Soyibo, 2001; Potgieter, Harding, & Engelbrecht, 2008) 등에 관한 조사가 이루어졌으며, 다수의 선행 연구에서 학생들은 과학 그래프의 구성에 어려움을 겪는 경우가 많고, 학생들이 구성한 그래프에서도 여러 가지 오류가 나타나

는 것으로 보고하고 있다(Beichner, 1994; Kim & Kim, 2002; Kim, Choi, & Noh, 2009; Kim *et al.*, 2009; Lapp & Cyrus, 2000).

과학 교과에서 그래프 구성의 목적은 주어진 자료를 단순히 점과 선으로 바꿔 표현하는 것이 아니라 그래프를 통해 자료의 과학적 의미를 나타낸다는 데 있다(Gültepe, 2016). 학생들은 과학 그래프를 구성할 때 주어진 자료의 특징 및 관련된 과학 개념을 고려해야 하고, 이를 바탕으로 그래프의 유형, 축의 변수와 단위, 눈금의 간격과 범위, 점찍기와 추세선 구성 방식 등에 관하여 구체적으로 생각해야 한다(Brasell, 1990). 즉, 그래프 구성 문제는 주어진 자료로부터 그래프 구성이라는 최종 목표에 즉시 도달하기 어려운 문제 상황(Byun, 2012; Park, 2018)이라 할 수 있고, 과학 그래프를 구성하는 과정은 문제 상황과 관련 있는 지식을 체계적으로 도출하고 활용하여 최종 목표를 향해 점진적으로 나아가는 문제 해결 과정(Hong & Park, 1994; Park & Kwon, 1994)이라 할 수 있다. 이러한 문제 해결 관점에서의 접근은 주어진 문제를 성공적으로 해결한 학생들이 거치는 일련의 문제 해결 과정을 이해에서 검토에 이르는 단계에 따라 체계적으로 분석하고, 실패한 학생들과 비교함으로써 효과적인 문제 해결 방안을 도출할 수 있다는 장점이 있다(Kwon & Lee, 1988).

지금까지 과학 교과에서 이루어진 문제 해결 관련 연구에서는 기체

* 교신저자 : 노태희 (noth@snu.ac.kr)
<http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2019.39.5.655>

법칙, 화학양론, 밀도, 용해도, 역학 등 학생들이 필요한 개념이나 공식 등을 상기한 후 계산 과정을 거쳐 문제를 해결하는 정량적 문제가 주로 제시되었다(Atwater & Alick, 1990; Byun, 2012; Gabel, Sherwood, & Enochs, 1984; Hong & Park, 1994; Noh *et al.*, 1996; Park & Cho, 2005). 이러한 정량적 문제에서는 학생들이 개념을 이해하지 못하더라도 암기한 공식에 값을 대입하는 경우와 같이 간단한 알고리즘을 이용하여 문제를 해결하는 경우가 많았다(Chiu, 2001; Jeon 1999; Zoller, Dori, & Lubezky, 2002). 그러나 과학 그래프 구성 문제는 문제와 관련된 원리, 공식, 개념 등에 관한 명제적 지식과 축, 기울기, 변수 등 그래프 구성 요소에 관한 절차적 지식을 아우르는 통합적 문제 해결력을 요구하므로(Park, 2002), 정량적 문제와는 달리 단순히 알고리즘을 이용해서는 문제 해결에 성공하기 어렵다. 이는 학생들이 과학 그래프 구성 문제를 해결할 때 정량적 문제 해결 과정과 다른 특징을 나타낼 수 있음을 의미하나, 문제 해결 관점에서 과학 그래프 구성 과정을 분석한 연구는 매우 부족하다. 따라서 학생들의 과학 그래프 구성 과정을 문제 해결의 단계에 따라 심층적으로 조사함으로써 과학 그래프 구성 과정에서 나타나는 특징을 분석하고 그들의 그래프 구성 능력을 함양하기 위한 시사점을 얻을 수 있다.

한편, 문제 해결 과정에서 학생이 활용하는 표상은 문제에 제시된 정보나 상황을 알기 쉽게 표현하거나 재조직하고 사고를 구조화하는데 도움을 주므로 문제 해결에 매우 중요한 것으로 여겨진다(Hong, 1995; Madden, Jones, & Rahm, 2011). 특히 과학 그래프 구성 문제는 정량적 문제 해결 과정에서 자주 활용되는 용어나 수, 그림, 화학식 등의 표상 외에도 순서쌍, 표, 부등호, 방정식 등 보다 다양한 표상의 활용 능력을 요구한다(Choi & Heo, 2013). 따라서 문제 해결 단계에 따른 학생들이 활용한 표상 및 표상의 전환 과정을 체계적으로 분석하면 그래프 구성 문제의 해결 과정에서 나타나는 특징을 더욱 잘 이해할 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 선행 연구에서는 문제 해결 과정에서 전문가와 초보자가 활용하는 표상의 유형 및 표상이 활용되는 순서와 방식의 차이(Kohl & Finkelstein, 2008), 동일한 과제를 서로 다른 형태의 표상으로 제시할 때 학생들의 문제 해결 방법 비교(Ibrahim & Rebello, 2012), 학생의 표상 사이의 전환 능력과 과학적 이해 수준 사이의 관계(Cooper *et al.*, 2010; Vermaat *et al.*, 2003)에 대한 분석이 이루어졌다. 이상의 선행 연구는 과학 그래프가 과제를 수행하기 위해 활용할 수 있는 다양한 표상 중 하나인 상황에서 이루어진 것으로, 과학 그래프 구성 과정에서 학생들이 사용하는 표상 및 표상의 전환 과정을 분석한 연구는 매우 부족한 실정이다.

이에 이 연구에서는 학생들의 그래프 구성 과정을 조사하고자 학생들이 과학 그래프 구성 과정에서 떠오르는 생각들을 그대로 소리 내어 직접 드러내도록 하는 발성사고법(think-aloud method)을 활용하였다. 발성사고법은 학생들의 사고 과정에 관한 정보를 회상에 의존하지 않고 직접적으로 풍부하게 얻을 수 있는 장점이 있다(Ferguson, Braten, & Stromso, 2012). 하지만 자동화된 사고 과정의 경우 발성사고법을 통해 표현되기 어렵다는 제한점이 있으므로 그래프 구성 과정에 대한 보다 심층적인 분석을 위하여 반구조화된 사후 면담을 함께 실시하였다. 이를 통해 학생들의 그래프 구성 과정을 문제 해결 단계에 따라 조사하여 학생들이 사용한 문제 해결 전략 및 활용한 표상의 수준을 분석하고자 한다. 이 연구의 목적은 중학생의 과학 그래프 구성 과정을 문제 해결 관점으로 분석하여 유형을 분류하고, 이를

바탕으로 교사에게 학생들의 그래프 구성 능력의 함양과 효과적 지도를 위한 구체적 교수 방안을 제공하기 위함에 있다.

II. 연구 방법

1. 연구 참여자

서울특별시 소재한 중학교 3학년 학생 10명(남학생 5명, 여학생 5명)이 연구에 참여하였다. 과학 교사에게 평소 수업에서 발표 또는 토론에 적극적으로 참여하는 등 언어 능력이 뛰어나 발성사고를 효과적으로 수행할 수 있고 과학 성적이 평균 정도인 학생들을 추천받았다. 그 후 연구자는 추천받은 학생들에게 연구를 안내하여 그 중 자발적으로 연구 참여에 동의한 학생들을 연구 참여자로 선정하였다. 모든 연구 참여자는 무작위로 S1-S10으로 표기하였다.

2. 연구 절차 및 방법

과학 그래프 구성 문제를 개발하기 위해 연구 참여 학교가 사용하는 과학 교과서를 수집하고 과학 교사를 통하여 실제 수업 내용을 확인하였다. 2009 개정 교육과정에 따른 중학교 3학년 과학 교과서의 ‘화학 반응의 법칙’ 단원에서 다루는 양금 생성 반응은 반응물의 양에 따라 생성된 양금의 양을 그래프로 표현하기에 적절한 개념이다. 교사는 자료 수집 시점을 기준으로 약 2주 전에 해당 단원에 대한 수업을 하였으며, 양금 생성 반응과 기체 발생 반응을 예시로 질량 보존 법칙과 일정 성분비 법칙, 화학 반응식을 만드는 방법에 관한 개념 수업을 주로 하였다. 이때 양금 생성 반응에 관한 실험 활동이나 그래프 구성 활동은 하지 않았고 교과서에도 양금 생성 반응과 관련한 그래프는 직접 제시되어 있지 않았다. 즉, 자료 수집 당시 학생들은 비교적 최근 양금 생성 반응에 대한 개념 학습을 하였으나 이를 주제로 과학 그래프를 접하거나 구성한 경험은 없었다. 이에 양금 생성 반응을 과학 그래프 구성 문제의 목표 개념으로 선정하고, 학생들이 양금 생성 반응 실험을 묘사한 그림의 눈금을 읽고 그래프를 구성하도록 그래프 구성 문항을 개발하였다(Kim *et al.*, 2009). 구체적으로, 탄산나트륨과 염화칼슘 용액을 혼합하여 탄산칼슘 양금이 생성되는 상황을 묘사한 그림 세 개를 그래프 구성에 필요한 자료로 제시한다. 지문을 통하여 눈금 실린더로 제시된 그림을 보고 염화칼슘의 양을 일정하게 하였을 때 탄산나트륨의 양에 따라 생성되는 탄산칼슘 양금의 양을 그래프로 나타내도록 하였다. 먼저 연구 참여 학교가 아닌 다른 중학교 3학년 학생 26명을 대상으로 예비연구를 시행하였다. 예비연구 결과, 학생들은 문제에 제시된 지문만으로는 각 눈금 실린더에 어떤 물질이 들어있는지 파악하는 데 어려움을 겪었고, 물질의 화학식을 혼동하는 경우도 있었다. 또한, 그래프를 너무 작게 그리거나 그래프 구성 의도를 파악하기 어려운 경우도 있었다. 이에 이 연구에서 최종 개발한 과학 그래프 구성 문제(Appendix 1)에서는 각 눈금 실린더 그림 아래에 눈금 실린더에 들어있는 물질의 종류와 반응 전후 상태를 구분할 수 있는 기호를 추가하였고, 지문에는 각 물질의 화학식을 괄호 안에 제시하였다. 그리고 그래프 구성 공간에는 1 사분면에 x축과 y축만 표현된 그림을 제시 한 후 학생들이 축과 눈금을 포함하여 그래프를 자유롭게 구성할 수 있도록 하였으며, 학

생들이 그래프를 구성할 때 중점적으로 고려한 점을 파악하고자 그래프 아래에 그래프를 위와 같이 그린 이유를 자세히 적도록 하였다. 또한, 과학교육 전문가와 현직 과학교사가 참여한 세미나를 거쳐 지시문과 그림 자료의 명료성을 점검받았다.

자료 수집 과정에서는 그래프 구성에 앞서 학생들이 발생사고법에 익숙해질 수 있도록 연습을 실시하였다. 연구자는 먼저 이 연구와 무관한 문제로 연구자가 직접 발생사고를 하는 시범 영상을 제작하여 학생들에게 보여주었다. 이후 다른 문제를 제시하여 학생들이 직접 수행하는 발생사고 연습을 두 차례 실시하였다. 학생들이 본 문제 해결을 수행할 때는 연구자가 학생을 한 명씩 전담 관찰하면서 학생이 그래프를 지우거나 수정할 때, 활동지에 그래프 외에 다른 내용을 기록할 때, 사고 과정이 발생사고로 잘 드러나지 않았다고 판단될 때와 같이 특징적인 점들을 관찰 노트에 기록하고 추후 면담에 활용하였다. 또한, 학생이 오랜 시간 동안 발생사고 없이 생각만 할 때는 학생의 주의를 환기함으로써 학생의 발생사고를 촉진하였다. 발생사고법을 활용한 학생의 과학 그래프 구성에는 5-20분(평균 10분)이 소요되었으며, 모두 녹음 및 녹화하였다.

과학 그래프 구성이 끝난 직후, 각 연구자는 자신이 관찰한 학생을 대상으로 반구조화된 면담을 실시하였다. 면담에서는 학생들에게 그래프 구성 과정을 다시 한 번 자세히 설명하도록 함으로써 구체적인 의도를 파악하였고, 이때 연구자가 관찰 노트에 기록한 내용에 대해서 질문하였다. 또한, 과학 교과에서의 그래프 구성 경험, 목표 개념인 양극 생성 반응에 관한 이해 정도와 오개념 여부, 그래프 구성 과정에서 양극 생성 반응에 관한 명제적 지식을 고려하였는지 여부와 고려한 시점 등을 구체적으로 조사하였다. 그래프 구성 과정에서 겪었던 어려움과 교육 요구에 대해서도 질문하였다. 면담에는 25-40분(평균 30분)이 소요되었으며 모든 과정은 녹음하였다. 모든 자료 수집은 발생사고법과 면담법을 활용한 연구 경험이 있는 과학교육 전공 박사 과정 1인과 예비연구 및 예행연습을 통하여 추가로 연습을 실시한 석사과정 2인이 함께 수행하였다.

발생사고 및 면담 과정을 녹음한 자료는 모두 전사하였다. 이후 연구자는 그래프 구성 과정을 녹화한 영상과 발생사고 전사 자료를 함께 보면서 그래프 구성 과정에서 나타난 주요 행동들을 전사본의 해당 위치에 추가적으로 기록하였다. 예를 들어, 학생이 그래프의 추세선을 구성하는 경우 발생사고 전사본의 해당 위치에 '(원점부터 외삽으로 추세선을 그리며)'와 같이 괄호를 넣고 구체적인 행동을 기록하였다. 이를 통해 과학 그래프 구성 과정에서 나타난 발생사고와 행동을 종합적으로 분석하였다.

3. 분석 방법

이 연구에서는 학생들의 과학 그래프 구성 과정을 순차적 문제 해결 단계에 따라 조사하고 문제 해결 과정에서 활용한 표상 및 표상의 전환 과정을 분석하였다. 이를 바탕으로 학생들이 사용한 문제 해결 전략 및 활용한 표상의 수준을 자료 해석의 방향으로 설정하였다.

가. 자료 분석

학생들의 과학 그래프 구성 과정을 문제 해결의 관점에서 분석하고자 과학 교과의 일반적인 순차적 문제 해결 과정인 '이해-계획-수행-검토'의 네 단계(Byun, 2012; Noh *et al.*, 1996)를 설정하였다. 연구자 1인이 문제 해결 과정에 관한 선행 연구(Byun, 2012; Hong & Park, 1994; Kwon & Lee, 1988; Larkin, 1978; Noh *et al.*, 1996)의 분석틀을 참고하여 모든 학생의 전사본을 예비 분석하였고, 이를 통해 단계별 하위 요소를 그래프 구성 문제 유형에 맞게 수정 및 보완한 예비 분석틀을 개발하였다. 이후 2인의 연구자가 학생 3인의 전사본을 무작위로 추출하여 각각 분석한 뒤 분석 결과에 대한 이견을 좁히는 과정을 반복하며 최종 분석틀(Table 1)을 확정하였다. 분석자 간 일치도가 .93에 도달한 후에 1인의 연구자가 모든 전사본을 분석하였다. 과정 요소의 분석 단위는 개별 발화 단위가 아닌 학생의 사고 과정에 따른 하나의 의미 단위로 하였으며, 발생사고만으로 명확하게 분류하기 어려운 과정 요소의 분류는 면담 전사본을 함께 분석하여 보완하였다. 축에 관한 행동은 x축과 y축에 대하여 각각 한 번씩 나타났으므로 작은 첨자 x와 y를 추가하여 구분하였고, 축에 숫자를 표기하면서 곧바로 점을 찍는 경우와 같이 행동이 연달아 나타난 경우는 대괄호로 묶어서 표시하였다.

다음으로 과학 그래프 구성 문제 해결 과정에서 학생이 활용한 표상 및 표상의 전환 과정을 분석하였다. 1인의 연구자가 학생들의 문제 해결 과정 분석을 완료한 발생사고 전사본 자료와 녹화 영상, 활동지를 함께 보면서 학생들이 이 연구의 문제에서 제공한 표상인 그림을 최종 표상인 그래프로 전환하기까지 어느 단계에서 어떤 표상을 활용하였는지 기록하였다. 이때, 학생이 활동지나 연습지에 필기한 것만을 분석 대상으로 하였으며, 이들이 활용한 표상은 표상 관련 선행 연구(Larkin, 1981; Rau, 2015)에 제시된 것을 참고하여 기록하였다. 그래프 구성 과정에서 앞에 썼던 표상을 뒤에서 다시 읽거나 계산 등에 활용한 경우에는 점선으로 표상을 연결하여 이러한 연계 활동을 표시하였다. 2인의 연구자가 분석 기준을 합의한 후 1인의

Table 1. Components of problem solving process in the scientific graph construction

<p>A Understanding</p> <ul style="list-style-type: none"> A1 Reading the problem A2 Rereading the problem A3 Retrieving information A4 Writing value of variables A5 Paraphrasing a self-term <p>B Planning</p> <ul style="list-style-type: none"> B1 Setting graph type B2 Finding the relationship between variables B3 Thinking about concepts, principles, and laws B4 Finding the relationship between value of variables 	<p>C Implementing</p> <ul style="list-style-type: none"> C1 Plotting dots C2 Selecting axes variables C3 Scaling axes C4 Constructing a trend line C5 Plotting an origin <p>D Revising</p> <ul style="list-style-type: none"> D1 Checking the scientific meaning of graph D2 Checking the processes of graph construction
---	--

연구자가 모든 학생의 응답 원인을 분석하였으며, 이후 다른 연구자가 응답 원인과 표상 분석 결과를 모두 검토한 후 이견이 있을 경우에는 논의를 거쳐 수정 및 보완하였다.

타당도와 신뢰도를 확보하기 위하여 과학 그래프 구성 과정에 관한 학생의 발성사고 및 면담 전사본, ‘그래프를 위와 같이 그린 이유’를 포함하여 학생이 활동지에 작성한 내용, 활동 영상 등을 종합적으로 비교 분석하는 삼각측정법(triangulation)을 활용하였다. 또한 과학 교육 전문가와 현장 과학 교사가 참여한 세미나를 수차례 실시하여 연구 방법 및 결과 해석의 타당도를 점검받았다.

나. 자료 해석

학생의 과학 그래프 구성 과정을 순차적 문제 해결 단계와 활용한 표상 및 표상의 전환 과정을 바탕으로 분석한 결과, 학생들이 사용하는 문제 해결 전략과 활용하는 표상의 수준에서 과학 그래프 구성에 나타난 특성을 파악할 수 있었다.

문제 해결 과정에서 학생들이 사용하는 문제 해결 전략은 문제 해결 방향과 성공 여부에 영향을 미치는 중요한 요인으로 작용하며 (Atwater & Alick, 1990; Byun, 2012; Hong & Park, 1994), 일반적으로 목표 개념에 대한 명제적 지식의 활용 여부에 따라 구조적 전략과 임의 전략으로 구분할 수 있다(Hong, 1995). 또한, 적절한 표상의 활용도 문제 해결의 성공 여부에 큰 영향을 미치는 핵심적인 활동 중 하나로 볼 수 있다(Hong, 1995).

과학 그래프 구성 문제에서 구조적 전략(structural strategy)은 목표 개념에 대한 명제적 지식과 그래프 자체의 구성 과정에 관한 절차적 지식을 모두 활용하며 문제를 해결해 나가는 전략으로 정의하였다. 구조적 전략의 경우, 학생이 명제적 지식을 활용하는 시점에 따라 지식-개발(knowledge-development) 전략과 수단-목적(mean-end) 전략의 두 가지로 세분할 수 있다(Hong & Park, 1994; Larkin et al., 1980; Park & Cho, 2005). 지식-개발 전략은 수행 단계 이전에 충분한 이해와 계획 단계를 거치면서 그래프 구성에 필요한 목표 개념과 관련 개념을 추출한 후, 개념과 그래프 구성 요소 간의 관계를 맺어줌으로써 순차적으로 문제를 해결하는 일명 전진 전략이다. 수단-목적 전략은 최소한의 이해 및 계획 단계를 거친 후 바로 수행을 시작하고 이후 필요에 따라 다시 이해 또는 계획 단계로 돌아와 필요한 목표 개념과 관련 개념을 하나씩 차례로 찾아 나가며 문제를 비순차적으로 해결하는 일명 역진 전략이다. 임의 전략(random strategy)은 도움이 되리라 여겨지는 지식을 임의로 떠올리거나 제시된 자료만 보면서 그래프를 구성 문제를 해결해 나가는 전략으로 정의하였다.

한편, 학생들이 과학 문제 해결 과정에서 활용하는 표상은 문제의 지문 및 문제 해결과 관련된 핵심어를 숫자나 문자로 나타내는 언어적 표상, 문제에 제시된 상황을 그림으로 나타내는 그림 표상, 문제에서 추출한 정보 또는 개념 사이의 관계를 나타내는 물리적 표상, 문제 해결에 관련된 반응식이나 방정식 등을 만드는 수리적 표상의 네 단계로 나눌 수 있다(Larkin, 1981). 이를 바탕으로 이 연구에서는 학생들이 과학 그래프 구성에서 활용한 표상을 그 수준에 따라 고차원 표상과 저차원 표상으로 구분하였다. 고차원 표상은 문제에 제시되지 않거나 숨어있는 정보를 드러낼 때 활용하는 표상을 의미하며, 주로 물리적 표상과 수리적 표상이 이에 해당한다. 문제의 목표 개념에

관한 정보를 정리하거나 표시하는 방정식, 반응식, 부등식 등의 표상, 수학적 계산 과정에서 활용되는 순서쌍, 부등호, 등호, 기울기 등을 고차원 표상의 예로 들 수 있다. 반면 저차원 표상은 문제에 이미 제시된 표상을 그대로 또는 일부만 변형하여 반복하는 수준에서 활용되는 표상을 의미하며, 주로 언어적 표상과 그림 표상이 이에 해당한다. 문제에 제시된 화학식이나 용어, 단어나 문장 형태의 진술문 중 핵심어를 그대로 쓰는 언어적 표상, 문제에 포함된 그림을 그대로 또는 일부만 수정하여 다시 그릴 때 활용하는 그림 표상 등을 저차원 표상의 예로 들 수 있다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 과학 그래프 구성에서 나타난 문제 해결 단계별 하위 요소

학생의 문제 해결 과정은 문제의 유형에 따라 단계별 하위 요소의 특징이 다르게 나타날 수 있다. 과학 그래프 구성 문제 해결 과정도 정량적 문제 해결 과정에 관한 선행 연구(Hong & Park, 1994; Kwon & Lee, 1988; Noh et al., 1996)에서 공통적으로 나타났던 단계별 하위 요소의 종류 및 빈도에서 차이가 있었다.

이해 단계에서는 주어진 문제와 지시문 등을 읽는 문제 읽기(A1), 문제의 약 60% 이상을 그대로 다시 읽는 문제 다시 읽기(A2), 문제에서 핵심어나 문장을 추출하고 의미를 파악하는 정보 끌어내기(A3), 그림으로 제시된 자료의 눈금을 읽는 변인의 값 적기(A4), 화학식이나 물질의 이름 등을 자신에게 편한 용어로 바꿔 사용하는 자기 용어로 의역하기(A5)의 다섯 가지 하위 요소가 나타났다. 이는 모두 정량적 문제 해결 과정의 이해 단계에서도 대체로 동일하게 나타났던 과정 요소이다. 정량적 문제 해결 과정에서는 추가로 미지수 확인하기 요소가 포함된 경우가 많았는데, 그래프 구성 문제는 주어진 자료를 그래프로 전환하는 문제로서 별도의 미지수를 확인하는 과정은 불필요하므로 해당 요소가 나타나지 않았다.

이해 단계에서 나타났던 하위 요소의 특징을 구체적으로 살펴보면, 문제 읽기(A1)와 변인의 값 적기(A4)의 두 가지 하위 요소는 각각 문제와 그림에서 그래프 구성에 필요한 정보를 추출하는 핵심적인 과정이었기 때문에 모든 학생에게서 나타났다. 정보 끌어내기(A3)는 문제 읽기나 변인의 값 적기 과정이 나타난 직후, 문제에 제시된 정보를 요약하는 형태로 다섯 명에게서 나타났다. 다음은 S6이 문제를 읽은 후, 문제에 제시된 그림의 의미를 파악하고 그림의 눈금을 읽으며 수를 추출하기까지 거쳤던 이해 단계의 과정을 나타낸다.

(문제를 그대로 읽으며) 철수는 일정한 양의 염화칼슘 수용액에 탄산나트륨 수용액을 넣는 양금 생성 반응을 하고 있다. 철수는 왼쪽 그림과 같이 왼쪽 그림과 같이 넣은 탄산나트륨 수용액의 양에 따라 생성되는 탄산칼슘의 양을 측정하였다. 철수의 실험결과를 그래프로 나타내 보자(A1). (그림을 보며) 염화칼슘 수용액에 탄산나트륨 수용액을 넣었더니 반응한 결과가 3가지인데(A3), (변인의 값을 적으며) 염화칼슘 수용액이 80mL 있을 때와 탄산나트륨 수용액이 50mL가 있을 때, 반응한 게 50mL가 됐어. 그리고 음 염화칼슘 수용액 80mL, 탄산나트륨이 20mL일 때는 반응은 25mL가 됐고 염화칼슘 수용액이 80mL일 때는 탄산나트륨 40mL 둘을 더해서 반응하면 50mL가 되었네(A4-A4-A4).

[S6의 발성사고 내용 중에서]

그러나 문제 다시 읽기(A2)와 자기 용어로 의역하기(A5)는 각각 한 명, 두 명에게서만 제한적으로 나타나 이해 단계에서 주로 활용된 요소는 아니었다. 정량적 문제 해결 과정에서도 이 요소들은 드물게 나타났으며, 문제 다시 읽기는 문제 읽기에, 자기 용어로 의역하기는 정보 끌어내기에 각각 통합된 예도 있었다(Hong & Park, 1994). 즉, 이해 단계의 하위 요소는 종류 및 빈도가 정량적 문제 해결 연구와 대체로 유사하였다.

계획 단계에서는 막대그래프, 선 그래프 등 그래프의 유형을 선택하는 그래프 유형 설정하기(B1), 여러 가지 변인들의 종속, 독립, 통계 관계를 분석하는 변인 사이의 관계 찾기(B2), 그래프의 목표 개념에 관한 지식을 고려하는 적용할 개념, 원리, 법칙 생각하기(B3), 구체적인 자료 사이의 관계와 경향성 등을 종합적으로 분석하는 변인의 값 사이의 관계 찾기(B4)의 네 가지 하위 요소가 나타났다. 이 중에서 그래프 유형 설정하기는 그래프 구성 문제에서 새롭게 발견된 하위 요소이다. 그러나 대부분의 학생은 문제를 읽는 즉시 또는 암묵적으로 그래프의 유형을 선 그래프로 결정하였기 때문에 그래프 유형 설정하기는 한 명의 학생에게서만 나타났다.

그러면 꺾은선 그래프를 그리면 될 것 같으니까(B1). (중략) 그러니까 나는 이것을 꺾은선 그래프로 그릴 거기 때문에. 아니 꺾은선 그래프로 그릴 필요가 없나?(B1)

[S1의 발생사고 내용 중에서]

그래프 유형 설정하기를 제외한 하위 요소는 정량적 문제 해결 과정에서도 거의 유사하게 나타났지만, 문제의 유형에 따른 특징이 반영되어 요소의 의미나 명칭이 조금씩 다르게 정의되었다. 예를 들어 변인 사이의 관계 찾기(B2)의 경우, 정량적 문제 해결 과정에서는 문제에 제시된 조건 사이의 비례 또는 대응 관계를 분석할 때 주로 나타났지만, 그래프 구성 문제 해결 과정에서는 변인들의 독립, 종속 관계를 분석하는 과정에서 나타났다. 적용할 개념, 원리, 법칙 생각하기(B3)는 정량적 문제 해결 과정에서도 같게 나타난 과정 요소이다. 학생들은 그래프의 목표 개념인 양금 생성 반응을 올바르게 고려하는 때도 있었지만, 일반적인 화학 반응식 등 주변 개념만 고려하거나 포화/불포화 개념 등 목표 개념과 무관한 개념을 잘못 고려하는 때도 있었다. 이에 그래프에 제시된 구체적인 양금 생성 반응의 상황 즉, 염화칼슘의 양이 일정하므로 탄산나트륨의 양에 따라 생성되는 탄산칼슘 양금의 양이 어느 지점을 지나면 일정해진다는 것에 대해 올바르게 고려한 경우를 밑줄(B3)로써 구분하였다(Cho, 1993). 변인의 값 사이의 관계 찾기(B4)는 자료의 구체적인 수치를 비교하며 관계를 찾는 것으로, 정량적 문제 해결 과정에서 나타났던 ‘유도해 낸 물리량 사이의 관계 찾기’에 대응한다고 볼 수 있다. 다음은 계획 단계의 하위 요소별 특징이 잘 드러난 S7의 예시이다. S7은 염화칼슘, 탄산나트륨, 탄산칼슘 수용액이라는 세 변인 사이의 관계를 생각하는 변인 사이의 관계 찾기 과정을 거쳤고, 각 수용액의 구체적인 양 사이의 관계를 비교하는 변인의 값 사이의 관계 찾기 과정도 거쳤다. 또한, 이때 양금 생성 반응에 관한 명제적 지식을 고려함으로써 적용할 개념, 원리, 법칙 생각하기 과정도 함께 나타났다.

(그림을 보며) 염화칼슘 수용액과 탄산나트륨 수용액을 합하면 반응 후엔 양금이 생성 돼. 탄산나트륨 양을 좀 적게 하면 반응 후가 이렇게 되고...

탄산나트륨 수용액 양을 계속 변화하면서 양금이 생성되는 총량을 보는 거니까(B4-B2) (중략) (그래프 옆에 단서 조항을 쓰며) 단, 염화칼슘 수용액은 80mL로 고정되어 있음(B4). (다시 그림을 보며) 양금의 양이 두 쪽 다 영향을 받으니까 한쪽만 고정을 해놓은 거지(B2). 염화칼슘 수용액에 탄산나트륨 수용액을 넣으면 나트륨이온은 염소랑 반응하지 않고 탄산칼슘 양금이 생성 되겠지(B3).

[S7의 발생사고 내용 중에서]

수행 단계는 학생들이 직접 그래프를 구성하는 단계로서 정량적 문제 해결 과정의 수행 단계와는 달리 그래프 구성 문제 유형에 맞는 새로운 하위 요소 설정이 필요하였다. 이에 그래프 구성에 관한 선행 연구(Kim, Choi, & Noh, 2009; McKenzie & Padilla, 1986)에 제시된 축, 점, 추세선 등의 그래프 구성 요소를 바탕으로 점찍기(C1), 축 변수, 단위 표기하기(C2), 축의 숫자, 간격 표기하기(C3), 추세선 그리기(C4), 원점 표시하기(C5)의 하위 요소를 설정하였다. 추세선 그리기는 학생들이 예상하는 자료 사이의 경향성을 나타내는 것으로 점과 점 사이만을 연결하는 내삽과 주어진 자료 범위를 넘어서 추세선을 확장하는 외삽으로 나누어 분석하였다(Kim, Choi, & Noh, 2009).

수행 단계에서 대부분의 학생은 축을 설정하고 축에 숫자 및 간격을 표기한 후 점을 찍고 추세선을 그리는 순서로 수행 단계를 거쳤으며, 1명의 학생은 추세선을 먼저 그리고 축을 설정한 후 점을 찍고 축의 숫자 및 간격을 설정하였다. 다음은 전형적인 수행 단계 과정을 거쳤던 S5의 예시이다.

(축 변수를 쓰며) 그래프의 가로축을 탄산나트륨 수용액이라고 하고 세로 축을 양금의 양이라고 잡으면(C2x-C2y), (x축 척도 및 숫자를 쓰며) 20, 40, 50mL가 있을 때(C3x), (y축 척도 및 숫자를 쓰고 점을 찍으며) 두 번째 그림 탄산나트륨 20mL일 때 양금은 25mL 세 번째 그림 40mL일 때, 양금의 양은 50mL, 첫 번째 그림 50mL일 때 50mL(C3y-C1-C1-C1). (외삽으로 증가하다 일정해지는 형태의 추세선을 그리며) 이 그래프는 증가하다가 평행을 이루는 그래프인 것 같다(C4).

[S5의 발생사고 내용 중에서]

한편, 원점 표시하기는 두 명의 학생들에게서만 나타났으며, 모두 추세선을 외삽으로 표현하는 과정에서 추가 좌표의 의미로 함께 표현된 경우였다.

(원점부터 증가하다가 내삽으로 일정해지는 반외삽 형태의 추세선을 그리며) 그러기 때문에 이제 0 콤마 0에서 20 콤마 25로 가서, 거기서 40 콤마 50으로 가야지(C5-C4).

[S9의 발생사고 내용 중에서]

마지막으로 검토 단계에서는 그래프가 양금 생성 반응을 잘 나타내고 있는지 검토하는 그래프의 과학적 의미 확인하기(D1)와 그래프에서 점찍기, 축의 숫자와 간격 설정하기, 추세선 그리기 등이 잘 수행되었는지 검토하는 그래프의 구성 과정 확인하기(D2)의 두 가지 하위 요소가 나타났다. 검토 단계에서도 문제의 유형에 따른 특징이 반영되어 정량적 문제 해결 과정에서 나타난 하위 요소와 비교할 때 그 의미나 명칭이 조금씩 다르게 정의되었다. 그래프의 과학적 의미 확인하기(D1)는 ‘유도해 낸 물리량의 의미 파악하기’에, 그래프의 구성 과정 확인하기(D2)는 ‘계산 과정 훑어보기’에 각각 대응한다고 할

수 있다. 공통적으로 전자의 경우는 자신이 수행했던 내용을 과학적 측면에서 검토하는 과정이고, 후자의 경우는 절차적 측면에서 검토하는 과정이라 할 수 있다.

(증거하다 일정해지는 형태의 추세선을 그리며) 양금이 생성되는 것을 보면(C4), 우선은 탄산나트륨 수용액을 일정량을 더하면 양금의 양이 많아질 순 있지만, 일정 한도를 초과하면... 아, 이게 일정 한도를 초과하면 이제 더 이상 양금이 더 생성되진 않는 걸 알 수 있지(D1).

[S10의 발생사고 내용 중에서]

(구성한 그래프를 보며) 염화칼슘 수용액이 80mL(D2x), 근데 y축은 양금의 높이야(D2y).

[S1의 발생사고 내용 중에서]

이 연구에서 검토 단계를 거친 학생은 모두 8명이었고 이중 그래프의 과학적 의미를 확인한 학생은 2명, 구성 과정을 확인한 학생은 4명, 두 가지 하위 요소가 모두 나타난 학생은 2명이었다. 이와 관련하여 정량적 문제 해결 과정에서는 학생이 수행 단계에 이른 다음 다시 이해 또는 계획 단계로 돌아가는 경우는 있었지만 검토 단계로 이동하는 경우는 드물고, 검토 단계를 거치더라도 단순히 계산상의 오류가 있는지 확인하는 정도에 그치는 경우가 많았다(Jeon, 1999; Park & Cho, 2005; Park & Kwon, 1994). 이와 같은 상반된 결과가 나타난 이유는 정량적 문제에서 도출된 정답은 문제 해결의 목표로서만 기능하는 반면, 과학 그래프 구성 문제에서 구성된 그래프는 문제 해결의 목표일 뿐 아니라 자료를 파악하고 목표 개념을 이해하기 위한 도구의 기능을 동시에 수행하기 때문이다(Bing & Redish, 2006, 2009; Meredith & Marrongelle, 2008; Tuminaro & Redish, 2004). 즉, 학생들은 그래프를 구성한 다음 자연스럽게 그래프가 자료의 경향성이나 과학적 의미를 잘 나타내고 있는지 확인하였으며 이 과정에서 검토 단계가 활발하게 나타난 것으로 해석할 수 있다.

2. 과학 그래프 구성 문제 해결 유형

과학 그래프 구성 문제에서 학생들이 사용한 문제 해결 전략과 활용한 표상의 수준은 문제 해결 과정 및 결과에 매우 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 그래프 구성 문제 해결 과정에서는 3명의 학생이 구조적 전략을 활용하였으며, 이 중 2명은 지식개발 전략을 사용하였고, 1명은 수단-목적 전략을 사용한 것으로 나타났다. 구조적 전략은 체계적인 문제 해결 전략으로서 문제 해결에 성공할 가능성이 큰 전략이다(Hong, 1995). 이 연구에서도 구조적 전략을 사용한 3명의 학생은 모두 문제 해결에 성공하였다. 임의 전략의 경우, 명제적 지식을 고려하고자 시도하였으나 성공하지 못하여 그래프 자체의 구성 과정에 관한 절차적 지식만을 활용하거나, 처음부터 절차적 지식만을 활

용하여 그래프를 구성한 경우가 나타났다. 임의 전략을 사용할 경우 대체로 시행착오를 함께 겪으며 문제 해결에도 실패할 가능성이 큰데 (Park & Cho, 2005), 이 연구에서도 임의 전략을 사용한 7명의 학생 중 2명은 문제 해결에 성공하였으나 5명은 문제 해결에 실패하였다.

한편, 표상 측면에서 저차원 표상 수준을 넘어 고차원 표상을 활용한 학생은 3명이었는데, 이들이 활용한 고차원 표상은 순서쌍, 기울기, 반응식, 계수비, 계산식, 부등호 등으로 매우 다양하였다. 또한 이들은 모두 그래프 구성에 성공하였다. 반면, 7명의 학생은 그래프 구성 과정에서 저차원 표상만 활용한 것으로 나타났으며, 이들이 활용한 표상은 수와 문장 표상이었다. 이들 중 2명은 올바른 그래프를 구성하여 문제 해결에 성공하였으나, 5명의 학생은 올바른 그래프를 구성하지 못하였다.

이를 바탕으로, 학생들의 과학 그래프 구성 문제 해결 유형을 구조적 전략 및 고차원 표상 유형, 구조적 전략 및 저차원 표상 유형, 임의 전략 및 고차원 표상 유형, 임의 전략 및 저차원 표상 유형의 4가지로 분류하였다.

가. 구조적 전략 및 고차원 표상 유형

1명의 학생(S3)이 구조적 전략 및 고차원 표상 유형에 해당하였으며, 이 학생의 과학 그래프 구성 문제 해결 과정과 활용한 표상은 Table 2와 같다.

S3는 이해 단계에서 문제를 읽은 후(A1), 그림 자료의 눈금을 읽으면서(A4) 각 그림 옆에 ‘50mL 양금’과 같이 수와 수의 단위, 과학 용어를 함께 기술하며 처음 제시된 그림 표상을 수와 단어 표상으로 전환하였다. 계획 단계에서는 먼저 양이 일정한 염화칼슘 수용액이 통째 변인에 해당함을 확인하였다(B2). 그리고 수와 단어 표상으로 전환했던 자료 사이의 관계를 분석하는 과정에서 염화칼슘 수용액의 양이 변하지 않기 때문에 탄산나트륨 수용액의 양이 계속 증가해도 양금의 양은 증가하다 어느 시점 이후에는 일정해진다는 점을 파악하였고, 이를 양금 생성 반응이 멈춘 것으로 해석함으로써 목표 개념에 관한 명제적 지식을 활용하였다(B4-B3). 이를 바탕으로 S3는 탄산나트륨 수용액의 양을 독립 변인으로, 탄산칼슘 양금의 양을 종속 변인으로 결정하는 축 설정을 하며(B2) 계획 단계를 마쳤다. 다음은 S3가 계획 단계에서 명제적 지식을 고려하여 자료를 분석하고, 이를 바탕으로 축을 설정하기까지의 과정이다.

그러면 이게 염화칼슘 수용액이 다 같고(B2), (써놓은 눈금 값들을 위에서 아래로 손으로 훑으며) 탄산나트륨 수용액 양만 변화한 뒤 탄산나트륨 수용액이 40mL와 50mL일 때 변화가 없으니깐, 40mL일 때 반응이 멈췄었다(B4-B3). 그럼 탄산나트륨 수용액의 양이 변해서 양금의 양도 변하니깐 이걸 x와 y로 놓으면 되나(B2)?

[S3의 발생사고 내용 중에서]

Table 2. Problem solving processes of the student with structural strategy-higher order representation type

Student	Problem solving processes & utilized representations					
S3	A	B	C	D	C	D C
	A1-[A4-A4-A4]-B2-[B4-B3]-B2-C2-C3x-[C3y-C1-C3y-C1-C3y-C1]-[C2y-C2x]-C4-D2-D2-C5-C4-D1-C4					
	그림[수+단어]-----[순서쌍-그래프]-----기울기-----반응식-					

A: Understanding, B: Planning, C: Implementing, D: Revising

수행 단계에서는 축의 변수와 단위를 지정하고(C2) x축의 눈금을 지정한 다음(C3x), y축의 눈금을 지정하면서 한 번씩 점을 찍는 과정(C3y-C1)을 반복하였다. 이때, S3은 점을 찍을 때마다 '(40, 50)'와 같이 점의 좌표를 함께 표시하였고, 이 과정에서 수 표상이 순서쌍 표상으로 전환되었다. 이후 S3는 점과 점 사이만을 연결하는 내삽으로 추세선을 구성하였다(C4). 그러나 바로 이어진 검토 단계에서 S3는 순서쌍을 이용해 각 직선의 기울기를 계산하고 해당 양금 생성 반응의 화학 반응식을 쓴 다음 자신이 그린 그래프의 과학적 의미를 파악하는 검토 단계(D1)를 거쳤고, 이때 내삽만으로 표현했던 추세선을 자료 범위 바깥까지 연장하는 외삽을 하며(C4) 올바른 그래프를 구성하였다. 다음은 추세선을 내삽으로 표현했던 S3가 검토 단계에서 앞으로 계속해서 양금의 양이 일정할 것임을 파악한 후 추세선을 외삽으로 수정하는 과정이다.

(내삽으로 추세선을 그리며) 이런 그래프가 생겼다(C4). 탄산나트륨 수용액 (점의 좌표를 순서쌍으로 빈 곳에 다시 쓰면서) 탄산나트륨 수용액을 하나도 안 넣었을 때는 0일 텐데(D2). 그러면 기울기를, (순서쌍을 이용해 기울기를 계산하며) 세 점이 한 직선에 있는 기울기를 구해보면(D2), 한 직선 위에 있다. 그러니까 (추세선의 왼쪽을 영점과 연결되게 외삽으로 나타내며) 직선으로 나타내야 해(C5-C4). (화학 반응식을 쓰며) 양금 이게 탄산나트륨 수용액을 40mL 위로 계속 넣어도 변화가 없으니까(D1) (추세선의 오른쪽을 외삽으로 나타내며) 앞으로 계속 직선으로 나타낼 것이다(C4).

[S3의 발생사고 내용 중에서]

문제 해결 전략 측면에서 나타난 S3의 주요 특징은 계획 단계에서 자료를 분석할 때 자료에서 나타나는 특징을 그래프의 목표 개념(B3)과 연결지어 생각하였다는 점이다. S3는 제시된 자료 분석과 축 변인 설정, 목표 개념의 고려에 이르는 충실한 계획 단계를 거쳐 수행 및 검토 단계로 넘어간 다음에는 다시 계획 단계로 돌아오지 않았다. 따라서 S3의 문제 해결 전략은 구조적 전략 중 지식-개발 전략에 해당한다고 볼 수 있다. 또한, 검토 단계에서도 그래프의 절차적 구성 과정을 확인하는 것과 더불어 그래프의 과학적 의미를 생각하였다는 특징이 있었다.

표상 측면에서는 그림으로 제시되었던 정보를 그래프로 나타내기까지 수와 단위, 순서쌍 표상을 활용하였고, 검토 단계에서도 기울기, 반응식 등 다양한 표상을 활용하였다. 이때 수와 단위 표상은 문제에서 그림의 설명과 눈금을 통해 나타난 정보를 정리하여 표현한 것으로 저차원 표상에 해당하고, 순서쌍과 기울기, 반응식 표상은 문제에 제시되지 않은 정보를 표현한 것이므로 고차원 표상에 해당한다. 또한, 기울기는 여러 순서쌍 사이의 관계를 계산하여 나타낸 표상이고,

순서쌍은 서로 관련이 있는 수를 묶어서 나타낸 표상이라 할 수 있다. 즉, 기울기 표상은 수 표상을 순서쌍 표상으로 전환하지 않으면 나타나기 어려운 표상이다. 그러므로 S3의 표상 전환 과정은 전 단계의 표상이 계속해서 다음 표상으로 전환되는 의도적이고 연속적인 과정이었으며, S3가 문제를 충분히 이해하고 성공적으로 그래프를 구성하는 데 도움이 된 것으로 해석할 수 있다.

나. 구조적 전략 및 저차원 표상 유형

구조적 전략 및 저차원 표상 유형에는 2명의 학생(S5, S7)이 해당하였으며, 이들의 과학 그래프 구성 문제 해결 과정과 활용한 표상을 Table 3에 제시하였다.

S5는 그림 자료의 눈금을 읽으면서 그림 표상을 수 표상만으로 전환하였다(A4). 이어서 계획 단계에서는 수 표상으로 전환한 자료의 수치를 비교하였고(B4), 이때 명제적 지식을 활용하여 수가 가지는 의미를 목표 개념과 연관 지은 후(B3) 이를 바탕으로 축의 변수를 추출하였다(B2). 다음은 S5가 자료의 수치를 비교하며 탄산나트륨의 양에 따라 탄산칼슘 양금의 양이 바뀌는데, 어느 지점 이후로는 양금의 양이 일정하게 제한됨을 파악하고 축을 설정하기까지의 과정이다.

세 그림 모두 전부 염화칼슘 수용액은 80mL로 같고(B4), 첫 번째 그림과 세 번째 그림은 양금의 양이 같고(B4), 그러니까 이거는 탄산나트륨 수용액 변화에 따라 양금의 양이 바뀌는 것 같은데(B3-B2)? (축 변수 쓰며) 그래프의 가로축을 탄산나트륨 수용액이라고 하고, 세로축을 양금의 양이라고 잡으면(C2x-C2y).

[S5의 발생사고 내용 중에서]

이처럼 S5는 계획 단계에서 그래프 구성에 필요한 명제적 지식을 고려하였고, 수행 단계에서는 축의 변수와 단위를 지정하고(C2) 축의 눈금과 수를 표시한 다음(C3), 점을 찍고(C1) 내 외삽을 하여 올바른 추세선을 구성함으로써(C4) 그래프 구성을 완료하였다. 수행 단계 이후 검토 단계는 거치지 않았다. 즉, S5는 계획 단계에서 그래프 구성에 필요한 목표 개념을 추출한 후, 개념과 그래프 구성 요소 간의 관계를 맺어줌으로써 문제를 해결하는 지식-개발 전략을 사용하였다.

S7은 문제를 읽으면서 독립 변수와 종속 변수를 파악하고 축 변수를 추출한 다음(B2), 곧바로 그래프 축의 변수를 지정(C2)하였다. 그리고 다시 계획 단계로 돌아와 그림을 보면서 'CaCl₂의 양은 80mL로 고정되어 있음'과 같이 그림에서 파악되는 내용을 문장 표상으로 정리하였으며(B4), 이때 S5와 유사하게 이를 양금 생성 반응과 연결 짓는 과정(B3)을 거쳤다. 이후 각 그림의 눈금을 읽으면서 곧바로

Table 3. Problem solving processes of the student with structural strategy-lower order representation type

Student	Problem solving processes & utilized representations
S5	A B C A1-[A4-A4-A4]-B4-B4-[B3-B2]-[C2x-C2y]-[C3x-C3y]-[C1-C1-C1]-C4 그림·수-----그래프-----
S7	A B C B A B C D A1-B4-B2-[C2x-C2y]-B4-B2-B3-B3-[A4-A4-A4]-B4-B3-B3-[C3x-C3y]-C1-C1-C4-C1-C4-D1 그림-----그래프-----문장-----그래프-----

A: Understanding, B: Planning, C: Implementing, D: Revising

그래프 축의 눈금 구성과 점찍기를 수행하였고, 다른 학생과 달리 그림 표상을 수 표상으로 전환하는 과정은 나타나지 않았다. 검토 단계에서는 그래프의 추세선에서 외삽의 과학적 의미를 파악하는 과정을 거쳤다(D1).

(점을 찍고, 원점부터 외삽으로 추세선을 그리며) 20에서 25까지는 계속 넣어주고(C1-C1-C4) (점을 찍고, 추세선을 연장해서 그리며) 40까지는 넣어 주면 계속 증가하다가 (점을 찍고 추세선의 오른쪽을 외삽으로 나타내며)(C1-C4) 40이 넘으면 그 다음부터는 더 이상 양금이 생성되지 않는다(D1).

[S7의 발생사고 내용 중에서]

즉, S7은 문제에서 그래프 축 설정에 필요한 정보만을 찾아 먼저 축을 구성하고, 다시 이해 단계로 돌아와 그래프 구성에 필요한 목표 개념과 관련 개념을 하나씩 차례로 찾아 나가는 수단-목적 전략으로 그래프를 구성하였다.

면담 결과, 이들은 목표 개념인 양금 생성 반응을 올바르게 이해하고 있었으며 문제에 제시된 상황도 충분히 이해하고 있었다.

그림을 비교했을 때 처음에 염화칼슘 수용액은 딱 용량이 같고 탄산나트륨 수용액만 50mL, 20mL, 40mL로 다른데, 반응 후에는 이 더한 값이 당연히 용액이 되었고 양금의 양이 변한 것을 보았을 때, 탄산나트륨 수용액과 양금의 비교하려고 해서 탄산나트륨 수용액이 변함에 따라서 양금의 양도 변하기 때문에 가로축을 탄산나트륨 수용액 잡고 세로축을 양금으로 잡아서 넣었어요.

[S5의 사후면담 내용 중에서]

애는 양금의 양, 여기 염화칼슘을 보면 염화칼슘의 양은 변하지 않아요. 여기서 지금 애는 탄산나트륨이 50mL, 애는 40mL인데 양금 나온 게 45mL로 똑같아요. 그러면 이때 칼슘이 없어졌단 얘기고 이다음부터는 양금의 양이 똑같겠죠. 이 전까지는 더 많이 부어주면 그만큼 더 늘어나니까 점점 정비례 하는 그래프가 나올 거고 나머지는 양금의 양이 변화가 없겠죠. 그래서 이렇게 그렸어요.

[S7의 사후면담 내용 중에서]

뿐만 아니라 S7은 과학 그래프를 구성할 때에는 목표 개념에 관한 지식이 필요하며, 그렇지 않으면 과학 그래프의 구성은 어려울 것이라는 견해를 가지고 있었다.

면담자: 양금 생성 반응에 관한 과학 개념이 그래프 그리는 데 도움이 되었나요?

S7: 네. 없으면 힘들겠죠. 그리기는 했었지만 그리면서도 이게 맞나

하면서 그렸을 거예요. 근데 사실 애는 양금을 안 배웠으면 아마 그리지도 못했을 거예요. 과학 시간에 양금 같은 거 배우면서 한 거지, 만약에 양금의 개념을 몰랐으면 아마 이 그래프 자체를 못 그렸을 거예요.

[S7의 사후면담 내용 중에서]

개념적 이해가 높은 학생이 문제 해결에 성공할 가능성이 높고 (Chiu, 2001), 또한 그래프 구성에도 성공할 가능성이 높다(Gültepe, 2016)는 선행 연구의 결과를 고려할 때, 구조적 전략을 사용한 유형의 학생들이 모두 성공적으로 그래프를 구성할 수 있었던 것은 목표 개념에 대한 일관되고 구조화된 명제적 지식이 뒷받침되었기 때문으로 해석할 수 있다. 이들은 사용 전략과 무관하게 계획 단계에서 각 수치 사이의 관계와 경향성을 파악(B4)할 때 명제적 지식을 연관 지어 생각(B3)하였다는 공통점이 있었다. 예를 들어, 학생들은 같은 수 또는 눈금이 두 번 나타난 것을 확인할 때 이를 양금 생성 반응에 관한 목표 개념과 연결하여 ‘이것은 반응물의 양이 제한되어 있으므로 양금의 양이 일정해졌음을 의미한다.’는 뜻으로 이해하였다.

하지만 이 유형의 학생들은 표상 측면에서 전 과정에서 수 또는 단어 표상만 활용하는 등 저차원 표상만을 활용하였다. 즉, 이들은 다양한 표상을 활용하지 않았지만 그래프의 목표 개념에 관한 명제적 지식의 활용만으로도 올바른 그래프 구성에 성공할 수 있었다.

다. 임의 전략 및 고차원 표상 유형

임의 전략 및 고차원 표상 유형의 학생은 2명(S2, S10)이었다. 이 중 S2는 목표 개념에 대한 고려를 시도하였으나, 오개념을 갖고 있어 올바른 목표 개념을 도출하는 데 성공하지 못하고 시행착오를 겪은 후 절차적 지식만 활용하여 문제를 해결하였다. S10은 처음부터 명제적 지식에 관한 고려를 하지 않고 그래프 구성에 관한 절차적 지식만을 활용하였다. 이들의 과학 그래프 구성 문제 해결 과정과 활용한 표상은 Table 4와 같다.

S2는 이해 단계에서 문제와 그림 자료의 눈금을 읽으며 수와 단어로 표상을 전환한 후, 계획 단계에서는 양금 생성 반응에 관한 지식을 바탕으로 자료를 분석하고자 하였다. 그러나 S2는 50mL의 탄산칼슘은 50/3mL의 Ca²⁺와 100/3mL의 Cl⁻로 이루어져 있다는 등의 오개념을 가지고 있었기 때문에 단어와 계수비, 계산식과 같은 다양한 표상을 활용하여 문제 분석을 시도하였음에도 자료의 과학적 의미를 정확히 파악하는 데 실패하였다. 이에 S2는 오개념을 활용한 그래프를 구성했다가 모두 지우는 시행착오를 거친 후, 자신은 목표 개념에 관한 지식이 부족한 상태라는 것을 인정하고 주어진 자료에만 기초하여 절차적으로 그래프를 구성하기로 하였다. 그리고 수와 단어 표상

Table 4. Problem solving processes of the student with random strategy-higher order representation type

Student	Problem solving processes & utilized representations													
S2	A	B	C	B	C	D	C	B	B	A	C	D	C	D
	A1-[A4-A4-A4]-A3-B3-B3-B4-B2-B4-B3-[[C2x-C2y]-B4-[C3-C1-C3-C1]-C4-D2-D2-C4]좌제-B2-[C2x-C2y]-B3-B4-A3-B3-B4-B3-B4-[C3-C1-C3-C1]-C4-D2-C4-D1-C4-D1													
	그림-[수+단어]---단어-계수비---계산식-그래프-----그래프-----[수서쌍-그래프]-----													
S10	A	B	A	B	A	B	C	D	C					
	A1-A4-A3-A5-A3-B2-[A4-A4-A4]-B4-B4-[A4-A4-A4]-B4-C4-D1-[C2x-C2y]-[C1-C3x-C3y-C1-C3x-C3y-C1-C3x-C3y]													
	그림-----단어-----수-----부등호-수-----그래프-----													

A: Understanding, B: Planning, C: Implementing, D: Revising

으로 전환했었던 자료를 순서쌍의 형태로 전환한 다음, 이에 기초하여 점을 찍고 내삽으로 연결하여 그래프를 구성하였다. 이후 검토 단계에서는 점찍기가 올바르게 되었는지 확인(D2)하였을 뿐 아니라 시행착오 과정에서 활용했던 표상을 되돌아보며 구성했던 그래프의 과학적 의미를 파악하는 과정(D1)을 수행하였다. 이를 바탕으로 S2는 다음과 같이 그래프의 추세선의 양쪽을 각각 외삽하여 연장(C4)함으로써 올바른 그래프를 구성할 수 있었다.

(20, 25)를 지나고 그다음에 (40, 50)을 지나는데(D2), (원점부터 추세선의 왼쪽을 외삽하며) 일단 40까지는 일차함수로 쪽 가는데(C4), 40을 넘어섰을 때부터는 염화칼슘이 한정되어 있으니까(D1) 가로 직선으로 추세선의 오른쪽을 외삽하며(C4) 그 다음부터 양금의 양은 어차피 일정하게 되는 구나(D1).

[S2의 발생사고 내용 중에서]

한편, S10은 문제를 읽은 후 먼저 그림 자료를 보면서 그림이 나타내는 물질의 화학식을 단어로 작성하였고, 이후 눈금을 읽고 수를 씌으로써 S2의 경우와 같이 이해 단계에서 수와 단어를 모두 활용하여 표상을 전환하였다. 계획 단계에서는 부등호를 활용하여 변인의 값을 크기 순서대로 재배열하면서 각 수치의 관계를 구체적으로 정리(B4)하였다.

수용액 양을 서로 비교해보면, 애의 숫자를 2, 3, 매겨 놓으면 (부등호로 숫자들을 크기순으로 재배열하며) 1번이 50mL로 제일 많고, 그 다음이 3번, 그다음이 2번이지(B4). 그다음에 양금의 양도 보면, 이제 탄산나트륨 수용액이 가장 많은 1이랑 2번째로 많은 2랑, 양이 50mL로 같고 응? 50. 근데, 여기 밑에 가라앉은 게 양금인 건가? 이게 양금이야, 1이랑 3이 양금의 양이 똑같고, 이게 2의 양금의 양은 한 25? 25정도로 제일 적어(A4-A4-A4-B4).

[S10의 발생사고 내용 중에서]

수행 단계에서는 추세선을 먼저 그린 다음 S2와 마찬가지로 검토 단계에서 추세선의 과학적 의미를 파악하는 과정(D1)을 거쳤다. 이후 축의 변인을 설정하고 점찍기와 눈금 설정을 번갈아 하며 그래프 구성을 마쳤다.

면담 결과, S2와 S10은 공통적으로 목표 개념인 양금 생성 반응을 이해하는 데 어려움을 느꼈으나, 주어진 자료를 분석하여 절차적으로 접근하여 그래프를 구성할 수 있었다고 응답하였다.

좀 어려웠던 게, 과학 지식 같은 것도 생각이 안 나는 것도 있고, 그리고 그계(양금이) 정확히 언제부터 일정하게 유지되고 이런 걸 모르겠어서 그 문제가 어렵게 느껴졌어요. 그래프 그리기 자체만 봤을 때는 괜찮았어요.

[S2의 사후면담 내용 중에서]

제가 처음에 양금을 한번 보면서 중간에 잠깐 헤맸었는데, 우선 그래프를 그릴 줄 알아야 하니까. 그래프도 자료를 분석하는 방법을 알고 분석해서 그리는 거잖아요.

[S10의 사후면담 내용 중에서]

문제 해결 전략 측면에서 이 유형의 학생들은 공통적으로 명제적 지식의 활용 없이 절차적으로 접근하였으나, 수행 단계 이후 자신이 구성한 그래프를 검토하는 과정을 통하여 완성한 그래프 개형이 가지는 과학적 의미를 깨닫는 과정을 거쳤다.

또한, 표상 측면에서 이들은 부등호, 순서쌍 등의 다양한 표상을 활용하며 수치 사이의 경향성과 자료의 특징을 체계적으로 파악하였다. 이들이 활용했던 표상 중 일부는 시행착오 과정에서 활용되기도 하였으나, 수와 단어, 순서쌍, 부등호 등의 표상은 자료의 특징을 체계적으로 분석하고 자신이 구성한 그래프의 의미를 과학적 맥락에서 파악하는 과정에 유의미하게 활용되었으며, 표상 사이의 연관성도 높았다. 특히 이들은 과학 그래프 구성 문제를 절차적으로 해결하는 임의 전략을 사용하였기 때문에 저차원 표상뿐만 아니라 고차원 표상의 활용과 표상 사이의 유의미한 전환이 올바른 과학적 이해에 도달할 수 있도록 촉진하는 역할을 하였다(Cooper et al., 2010; Hill & Sharma, 2015; Lemke, 1998; Vermaat et al., 2003). 즉, 학생들이 명제적 지식이 부족하다는 점을 극복하는 데 표상의 활용이 매우 중요하게 작용한 것으로 해석할 수 있다.

Table 5. Problem solving processes of the student with random strategy-lower order representation type

Student	Problem solving processes & utilized representations
S1	<p>A B A B C B C D B C B C D C D B C D C B C D C</p> <p>A1-[A4-A4-A4]-B4-A3-B2-[C2x-B4-B2-C3x-C2y-C3-C1-D2]사제-B1-[C1-C1-C1]-B1-B4-C4-D2x-D2y-D2x-D2y-C2y-D2]사제-B1-[C3-C1]-D2-[C3-C1-C3-C1]-B4-[C1-C1-C1]-D2-C4-C4</p> <p>그림-수-----[막대그래프-문장]-----[선그래프]-----[막대+선그래프]-----</p>
S4	<p>A B C D C B C</p> <p>A1-[A4-A4-A4]-B2-[C2x-C2y]-C3x-D2-C3-B4-C3y-[C1-C1-C1]-C4</p> <p>그림-수-----그래프-----</p>
S6	<p>A B C</p> <p>A1-A3-[A4-A4-A4]-B2-B4-B2-B2-[C2x-C2y]-[C3x-C3y]-[C1-C1-C1]-C4</p> <p>그림-수-----그래프-----</p>
S8	<p>A B A B A B C B C B C D</p> <p>A1-A2-A3-A1-[A4-B4-A4-B4-A4-B4]-B3-B4-B4-B2-[C2x-C2y]-B4-B4-B3-B4-C3-C3-C3-B4-[C1-C1-C1]-C4-D2-D2</p> <p>그림-수-----그래프-----</p>
S9	<p>A B C B C D</p> <p>A1-A5-A4-A4-B4-B4-B2-[C3x-C2y]-[C3x-C3y]-B4-[C1-C1-C1]-B4-C5-C6-D2</p> <p>그림-수-----그래프-----</p>

A: Understanding, B: Planning, C: Implementing, D: Revising

라. 임의 전략 및 저차원 표상 유형

임의 전략 및 저차원 표상 유형의 학생은 5명(S1, S4, S6, S8, S9)이었다. 이들 중 3명(S1, S6, S9)은 축 설정과 점찍기까지 올바르게 수행하였으나 추세선을 내삽으로만 구성하였다. S4는 그림 자료에서 잘못된 수를 추출하여 그래프의 개형을 꺾은선 형태가 아닌 비례하는 직선형으로 잘못 구성하였다. S8은 x축과 y축의 변수를 반대로 설정하였고, 점찍기와 그래프의 개형 구성도 올바르게 하지 못했다. S4와 S8도 모두 내삽으로 추세선을 구성하였다. 이들의 과학 그래프 구성 문제 해결 과정과 활용한 표상은 Table 5와 같다.

S4, S6, S9는 유사한 그래프 구성 과정을 거쳤다. 이들은 공통적으로 문제를 읽은 후(A1) 그림 자료의 눈금을 수 표상만으로 전환하였다(A4). 계획 단계에서는 수치들을 읽어보거나 비교하는 방식으로 간단하게 자료를 분석하며 변인의 값 사이의 관계를 파악(B4)한 다음, 축 설정에 필요한 두 변인을 추출(B2)하였다.

(그림 자료를 읽고 수로 쓰며) 첫 번째 것, 그 다음 두 번째 것의 염화칼슘 수용액은 80mL 똑같고 그 다음에 두 번째 것은 탄산 20mL밖에 안 넣었네. 그러면 전체 더한 양은 100mL지. 근데 양금은 25mL네?(A4) (그림들을 전체적으로 보면서) 자, 50mL에선 50, 20에선 25. 그랬다가 40mL에서는 50mL가 됐네(B4).

[S9의 발생사고 내용 중에서]

이들은 수행 단계에서 내삽으로 추세선을 구성하였다. 검토 단계에서 S9는 점과 점 사이를 추세선으로 잘 연결하였는지 확인하는 그래프 구성의 절차적 과정에 대한 간단한 검토(D2) 단계를 거쳤고, S4도 축의 눈금 간격을 확인하는 과정(D2)을 거쳐 눈금의 간격과 숫자를 일부 수정하였지만 그림 자료의 눈금을 읽는 과정에서 수를 잘못 추출하였다는 점은 인지하지 못하였다. S6은 검토 단계를 거치지 않았다.

S1의 경우에는 복잡한 문제 해결 과정을 거친 것처럼 보이지만, 표상 측면에서 보면 그래프의 유형을 막대그래프로 해야 할지, 선 그래프로 해야 할지 고민하는 과정에서 그래프의 유형을 바꾸는 두 차례의 시행착오를 거친 것이었다. S1은 결국 막대그래프와 선 그래프를 동시에 그리기로 하고 수행 단계를 거쳤으며, 검토 단계에서도 그래프의 유형에 관한 확인(D2)만을 하였다. 즉, 그래프 유형 설정에 관한 시행착오를 제외하면 S1의 그래프 구성 과정의 특징은 S4, S6, S9와 매우 유사하였다. S8의 경우 명제적 지식의 활용을 시도했다는 점에서 이 유형의 다른 학생들과 차별화되지만, 목표 개념인 양금 생성 반응과 무관한 포화/불포화 개념을 고려하였고, 이는 축 변수 설정부터 점찍기, 그래프 개형 구성까지 모두 잘못 수행하면서 최종적으로 2개의 옳지 않은 그래프를 구성하는 결과로 이어졌다.

면담에서도 S8을 제외한 다른 학생들은 명제적 지식에 관한 고려 없이 주로 눈금 자료에서 전환했던 수 표상들의 수치 관계를 분석하여 그래프를 구성한 것으로 나타났다.

일단 제가 생각했던 외중에서 신기했던 게 탄산나트륨 수용액이 20mL이었을 때 양금이 25mL가 생성되는 거예요. 그런 다음에 탄산나트륨 수용액이 2배로 늘어서 40mL이었을 때는 50mL가 생성되는 거예요. 그래서 생각을 해보니까 정비례인 거예요.

[S9의 사후면담 내용 중에서]

이 유형의 모든 학생은 수행 단계에서 점찍기를 한 다음 단순히 점들을 연결하는 수준에서 충분한 고민 없이 추세선을 내삽으로 구성하였다. 이는 수학 교과에서 추세선을 내삽으로 구성했던 학생들이 대체로 거점을 기계적으로 잇는 방식으로 추세선을 구성하고, 추세선의 의미에 대해서도 크게 주의를 기울이지 않았던 것(Lee, Ryu, & Chang, 2009)과 유사한 행동으로 볼 수 있다.

(눈금까지 그린 그래프에 점을 하나씩 찍으며) 20mL 일 때는 25mL(C1), 그리고 탄산나트륨 수용액이 40mL 일 때는 50mL였다고(C1)...; 그다음 탄산나트륨 수용액이 50mL 일 때도 탄산칼슘의 양이 50mL였다(C1). (내삽으로 추세선을 그리며) 이 점들을 다 이으면 그래프가 되겠지(C4)?

[S6의 발생사고 내용 중에서]

이 유형의 학생들은 계획 단계에서 자료 사이의 관계와 경향성을 분석할 때 공통적으로 수 이외의 표상을 활용하지 않고 간단한 수치 비교와 축 설정 활동만을 하였다. 또한, 검토 단계에서도 눈금, 축, 추세선 등 그래프의 구성 요소에 대한 절차적 측면의 점검 과정(D2)만을 수행하였다. 이를 임의 전략 및 고차원 표상 유형의 학생들이 모두 올바른 그래프 구성에 성공했던 결과와 비교하면 그래프를 구성할 때 이해, 계획 단계에서는 저차원에서 고차원 수준에 이르는 다양한 표상을 활용하여 자료를 체계적으로 분석하고, 검토 단계에서는 그래프가 내포하고 있는 과학적 의미를 파악하는 과정이 매우 중요하다는 것을 알 수 있다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 학생들의 과학 그래프 구성 과정을 문제 해결의 관점에서 발생사고법을 사용하여 심층적으로 조사하였다. 그동안 과학 그래프 구성에 관한 선행 연구(Kim, Choi, & Noh, 2009; Kim & Kim, 2002; Kim et al., 2009)에서는 주로 그래프의 구성 요소에 따라 학생들이 구성한 과학 그래프에서 나타나는 특징을 분석하였다. 이에 학생들이 어려움을 겪는 그래프 구성 요소에 대한 정보와 이에 대한 교육의 필요성은 알 수 있었지만, 학생들의 종합적인 그래프 구성 능력의 향상을 위한 구체적인 교수학습 방법 또는 전략에 관한 정보는 제한적이었다. 반면, 이 연구는 문제 해결에 성공한 학생들에게서 나타난 특징을 바탕으로 과학교사들에게 학생들이 과학 그래프를 효과적으로 구성하도록 지도할 수 있는 구체적인 방안을 제시할 수 있다는 점에서 선행 연구와의 차별성이 있다. 또한, 과학교육 연구자들에게는 그동안 계산 위주의 정량적 문제가 주로 제시되었던 문제 해결 관련 연구의 영역을 통합적 문제 해결력을 요구하는 그래프 구성 문제로 범위를 확장하였다는 점에서 의의가 있다.

연구 결과, 학생들의 과학 그래프 구성 유형은 문제 해결 과정에서 사용한 전략과 활용한 표상의 수준에 따라 구조적 전략-고차원 표상 유형, 구조적 전략-저차원 표상 유형, 임의 전략-고차원 표상 유형, 임의 전략-저차원 표상 유형으로 분류할 수 있었다. 구조적 전략을 사용한 두 유형의 학생들은 그래프의 목표 개념에 대한 명제적 지식을 바탕으로 자료를 분석하고 경향성을 파악함으로써 활용한 표상의 수준과 무관하게 올바른 과학 그래프 구성에 성공하였다. 임의 전략-고차원 표상 유형의 학생들은 명제적 지식의 활용 없이 그래프 구성에 대한 절차적 지식만으로 문제를 해결하였지만, 문제 해결 과정

전반에서 다양한 저차원 및 고차원 표상을 활용하였고 표상의 전환도 활발히 수행하였다. 이를 통해 학생들은 자료의 특징을 체계적으로 분석하고 자신이 구성한 그래프의 의미를 과학적 맥락에서 검토하는 과정까지 거치며 과학 그래프 구성에 성공할 수 있었다. 반면, 임의 전략-저차원 표상 유형의 학생들은 단순히 점을 연결하는 수준에서 그래프를 구성하였고 검토 단계에서도 그래프를 과학적 맥락에 접목하는 수준에 도달하지 못한 채 그래프 구성 과정을 점검하는 수준에 머물며 올바른 과학 그래프 구성에 실패한 것으로 나타났다.

즉, 과학 그래프 구성 문제 해결 상황에서도 목표 개념에 대한 명제적 지식을 고려하는 구조적 전략의 활용은 성공적인 문제 해결 전략이라 할 수 있다. 문제 해결 과정의 계획 단계에서 이루어진 목표 개념에 대한 명제적 지식의 고려는 학생들이 자료의 특징을 파악하는데 활용되었고, 축 변수 설정과 추세선 구성 등 수행 단계의 그래프 구성 요소에 관한 의사결정을 하는 데도 큰 도움을 주었다. 그러므로 교사는 학생들이 계획 단계에서 명제적 지식을 활용하도록 촉진할 필요가 있다. 이는 그래프 구성의 계획 단계에서 변인 사이의 관계 또는 변인의 값 사이의 관계를 찾을 때 올바른 명제적 지식을 고려할 기회를 제공하는 것으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 계획 단계에서 문제 상황을 화학 반응식으로 나타내고 반응식 속에서 독립, 종속, 통제 변인을 추출하고 변인 사이의 관계를 유추해 보도록 함으로써 학생들이 자연스럽게 목표 개념에 관한 명제적 지식을 떠올리도록 유도할 수 있다. 이때 학생이 오개념 또는 목표 개념과 무관한 지식을 고려하는 경우에는 이 과정이 오히려 시행착오를 유발하는 등 성공적인 문제 해결을 방해하는 것으로 나타났으므로, 학생들이 오개념을 그래프 구성 문제 해결에 활용하려 할 때는 적극적으로 개입할 필요가 있다.

문제 해결 과정에서 활용한 표상의 수준도 문제를 이해하고 성공적으로 해결하는 데 중요한 요인으로 작용하였다. 특히, 고차원 표상의 활용은 명제적 지식을 고려하지 못한 학생들의 문제 해결 성공 여부에 결정적인 영향을 미쳤다. 고차원 표상을 활용한 학생들은 공통적으로 이전 단계에서 활용한 표상을 다음 단계의 표상으로 전환하는 과정을 거치면서 문제 해결의 단계별로 다른 표상을 활용하였고, 이를 통해 문제를 충분히 이해하고 자신이 구성한 그래프에서 과학적 의미를 파악할 수 있었다. 따라서 교사는 문제 해결 과정에서 활용할 수 있는 표상을 안내하여 학생들이 저차원 표상에 머물지 않고 고차원 표상까지 활용하도록 안내할 필요가 있다. 예를 들어, 이해 단계에서는 제시된 그림에서 측정값을 기록할 때 단순히 숫자뿐만 아니라 수의 단위 표상을 함께 기록하여 수가 가지는 과학적 의미를 고려하도록 하고, 계획 단계에서는 문제의 유형에 따라 부등호, 계수비, 표 등의 표상을 활용하여 자료 사이의 관계 및 경향성을 파악하도록 할 수 있다. 수행 단계에서는 이해 단계에서 기록한 수를 순서쌍의 표상으로 전환해 축의 척도를 설정하고 점을 찍을 때 활용하도록 유도할 수 있고, 검토 단계에서는 기울기 등 그래프가 나타내는 자료의 경향성을 점검할 수 있는 표상을 활용함으로써 구성한 그래프에서 과학적 의미를 파악하도록 이끌 수 있다.

추후 연구에서는 구조적 전략 및 고차원 표상의 활용을 강조한 교수법이 학생들의 과학 그래프 구성 문제 해결의 성공 여부에 미치는 영향을 조사할 필요가 있다. 또한, 일반적으로 학교급이 올라갈수록 그래프의 목표 개념, 제시되는 자료의 개형, 실험과 관련된 변수

들은 복잡해지는 경향이 있다. 이에 따라 문제 해결 과정이나 표상의 활용이 달라질 수 있으므로, 학교급이나 목표 개념의 종류를 달리하여 그래프 구성 문제 해결 과정에 관한 연구를 수행할 필요가 있다. 그리고 문제 해결 관련 선행 연구에서는 학업 성취도, 논리적 사고능력, 학습 접근방식, 공간 능력 등 다양한 변인을 대상으로 문제 해결 과정 및 성공 여부의 차이를 비교하였다(Hong, 1995; Hsu *et al.*, 2004; Noh *et al.*, 1996). 효과적인 그래프 구성 문제 해결 전략은 문제의 특성뿐 아니라 학생의 특성에 따라서도 달라질 수 있으므로, 과학 그래프 구성 문제 상황에서도 이러한 학생 변인과 문제 해결 과정 및 결과 사이의 관련성을 조사할 필요가 있다.

국문 요약

이 연구에서는 중학생들의 과학 그래프 구성 과정을 문제 해결의 관점에서 심층적으로 조사하였다. 중학교 3학년 학생 10명이 연구에 참여하였으며, 이들은 앙금 생성 반응을 묘사한 그림 자료를 바탕으로 과학 그래프를 구성하였다. 학생들이 그래프를 구성할 때 거치는 사고 과정을 심층적으로 조사하기 위하여 발생사고법을 활용하였고, 그래프 구성 과정에 대한 녹화 및 반구조화된 면담을 실시하였다. 연구 결과, 학생들의 과학 그래프 구성 유형은 사용한 문제 해결 전략과 활용한 표상의 수준에 따라 네 가지 유형으로 구분할 수 있었다. 구조적 전략을 사용한 학생들은 그래프의 목표 개념에 대한 명제적 지식을 바탕으로 자료를 분석하고 경향성을 파악함으로써 활용한 표상의 수준과 무관하게 과학 그래프 구성에 성공하였다. 임의 전략-저차원 표상 유형의 학생들은 다양한 표상을 활용해 자료의 특징을 체계적으로 분석하고 자신이 구성한 그래프의 의미를 과학적 맥락에서 검토하는 과정을 거치며 과학 그래프 구성에 성공할 수 있었다. 반면, 임의전략-저차원 표상 유형의 학생들은 단순히 점을 연결하는 방식으로 그래프를 구성하였고, 과학적 맥락에 대한 고려 없이 그래프 구성 과정만을 점검하는 수준에 머물며 올바른 과학 그래프 구성에 실패하였다. 연구 결과를 바탕으로 학생들의 과학 그래프 구성 능력을 효과적으로 함양하는 방안을 제안하였다.

주제어: 그래프 구성, 문제 해결, 표상, 발생사고법

References

- Atwater, M. M., & Alick, B. (1990). Cognitive development and problem solving of Afro-American students in chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(2), 157-172.
- Beaumont-Walters, Y., & Soyibo, K. (2001). An analysis of high school students' performance on five integrated science process skills. *Research in Science & Technological Education*, 19(2), 133-145.
- Beichner, R. J. (1994). Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics*, 62(8), 750-762.
- Berg, C. A., & Smith, P. (1994). Assessing students' abilities to construct and interpret line graphs: Disparities between multiple-choice and free-response instruments. *Science Education*, 78(6), 527-554.
- Bing, T. J., & Redish, E. F. (2006). The cognitive blending of math and physics knowledge. In *Proceedings of the 2006 Physics Education Research Conference*, Syracuse, NY, USA.
- Bing, T. J., & Redish, E. F. (2009). Analyzing problem solving using math in physics: Epistemological framing via warrants. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 5(2), 020108.
- Brasell, H. M. (1990). Graphs, graphing, and graphers. *What Research Says to the Science Teacher*, 6, 69-85.

- Byun, T. (2012). An understanding of students' physics problem solving processes by using house model. Doctoral dissertation, Seoul National University, Seoul.
- Canham, M., & Hegarty, M. (2010). Effects of knowledge and display design on comprehension of complex graphics. *Learning and Instruction*, 20(2), 155-166.
- Chiu, M.-H. (2001). Algorithmic problem solving and conceptual understanding of chemistry by students at a local high school in Taiwan. Proceedings of the National Science Council, Republic of China Part D: Mathematics, Science and Technology Education, 11(1), 20-38.
- Cho, S. (1993). A comparison of students' responses to everyday and scientific context problems about the particulate nature of matter. Master's thesis, Seoul National University, Seoul.
- Choi, J., & Heo, H. (2013). A study on formation of the process-object perspective of function using excel to specialized high school math underachievers. *The Korea Society of Educational Studies in Mathematics*, 23(2), 213-235.
- Cooper, M. M., Grove, N., Underwood, S. M., & Klymkowsky, M. W. (2010). Lost in Lewis structures: An investigation of student difficulties in developing representational competence. *Journal of Chemical Education*, 87(8), 869-874.
- Dori, Y. J., & Sasson, I. (2008). Chemical understanding and graphing skills in an honors case-based computerized chemistry laboratory environment: The value of bidirectional visual and textual representations. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(2), 219-250.
- Ferguson, L. E., Braten, I., & Stromso, H. I. (2012). Epistemic cognition when students read multiple documents containing conflicting scientific evidence: A think-aloud study. *Learning and Instruction*, 22(2), 103-120.
- Friel, S. N., Curcio, F. R., & Bright, G. W. (2001). Making sense of graphs: Critical factors influencing comprehension and instructional implications. *Journal for Research in Mathematics Education*, 32(2), 124-158.
- Gabel, D. L., Sherwood, R. D., & Enochs, L. (1984). Problem-solving skills of high school chemistry students. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(2), 221-233.
- Gültepe, N. (2016). Reflections on high school students' graphing skills and their conceptual understanding of drawing chemistry graphs. *Educational Sciences: Theory and Practice*, 16(1), 53-81.
- Hill, M., & Sharma, M. D. (2015). Students' representational fluency at university: A cross-sectional measure of how multiple representations are used by physics students using the representational fluency survey. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 11(6), 1633-1655.
- Hipkins, R. (2011). Challenges with graph interpretation: A review of the literature. *Studies in Science Education*, 47(2), 183-210.
- Hong, M. (1995). Influence of characteristics of problems and problem solvers on chemistry problem solving. Doctoral dissertation, Seoul National University, Seoul.
- Hong, M., & Park, Y. (1994). Analysis of characteristics of problem solving process in gas phase problems of college students. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 14(2), 143-158.
- Hsu, L., Brewster, E., Foster, T. M., & Harper, K. A. (2004). Resource letter RPS-1: Research in problem solving. *American Journal of Physics*, 72(9), 1147-1156.
- Ibrahim, B., & Rebello, N. S. (2012). Representational task formats and problem solving strategies in kinematics and work. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 8(1), 010126.
- Jeon, K. (1999). Problem solving strategy and paired think aloud problem solving: Instructional effect and small group problem solving process in chemistry class. Doctoral dissertation, Seoul National University, Seoul.
- Kim, T. S., & Kim, B.-K. (2002). The comparison of graphing abilities of pupils in grades 7 to 12 based on TOGS(The test of graphing in science). *Journal of the Korean Association for Science Education*, 22(4), 768-778.
- Kim, T. S., Ko, S. K., & Kim, B. K. (2005). Relationships of graphing ability to science-process skills and academic achievement of high school students. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 25(5), 624-633.
- Kim, Y., Choi, G., & Noh, T. (2009). High school students' errors in constructing and interpreting science graph. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 29(8), 978-989.
- Kim, Y., Moon, S., Kang, H., & Noh, T. (2009). Analysis of the types of errors in science graph construction processes of middle school students. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 29(2), 168-178.
- Kohl, P. B., & Finkelstein, N. D. (2008). Patterns of multiple representation use by experts and novices during physics problem solving. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 4(1), 010111.
- Kwon, J., & Lee, S. (1988). A Comparative analysis of expert's and novice's thinking processes in solving physics problems. *A Journal of the Korean Association for Science Education*, 8(1), 43-55.
- Lapp, D. A., & Cyrus, V. F. (2000). Using data-collection devices to enhance students' understanding. *Mathematics Teacher*, 93(6), 504-510.
- Larkin, J. H. (1978). Problem solving in physics: Structure, process, and learning. In J. M. Scandura & C. J. Brainerd (Eds.), *Structural/process models of complex human behavior*. (pp. 445-458). The Netherlands: Sijthoff & Noordhoff.
- Larkin, J. H. (1981). Cognition of learning physics. *American Journal of Physics*, 49(6), 534-541.
- Larkin, J. H., McDermott, J., Simon, D. P., & Simon, H. A. (1980). Models of competence in solving physics problems. *Cognitive Science*, 4(4), 317-345.
- Lee, H., Ryu, H., & Chang, K. (2009). Investigation to teach graphical representations and their interpretations of functions to fifth graders. *The Korea Society of Educational Studies in Mathematics*, 11(1), 131-145.
- Lemke, J. (1998). Multimedia literacy demands of the scientific curriculum. *Linguistics and Education*, 10(3), 247-271.
- Lim, H.-M., Kim, Y.-H., & Kim, Y.-S. (2010). Female high school students' ability to construct graphs in biology. *The Korean Society of Biology Education*, 38(2), 342-352.
- Madden, S. P., Jones, L. L., & Rahm, J. (2011). The role of multiple representations in the understanding of ideal gas problems. *Chemistry Education Research and Practice*, 12(3), 283-293.
- McKenzie, D. L., & Padilla, M. J. (1986). The construction and validation of the test of graphing in science(TOGS). *Journal of Research in Science Teaching*, 23(7), 571-579.
- Meredith, D. C., & Marrongelle, K. A. (2008). How students use mathematical resources in an electrostatics context. *American Journal of Physics*, 76(6), 570-578.
- Noh, T., Jeon, K., Han, I., & Kim, C. (1996). Comparison of chemistry problem solving behaviors in the aspects of cognitive developmental level of student and context of problem. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 16(4), 389-400.
- Park, H.-K., & Kwon, J.-S. (1994). A study on students' thinking processes in solving physics problems. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 14(1), 85-102.
- Park, J. (2018). Features of elementary students' intuitive thinking during the problem solving activities on thermal phenomena: Focusing on the processes of emergence and elaboration. Doctoral dissertation, Seoul National University, Seoul.
- Park, Y. (2002). Teaching and learning of physics problem solving[물리 문제해결 학습과 지도]. In I. Kim, J. Park, K. Choi, J. Song & Y. Park (Eds.), *General physics education II[물리교육학 총론 II]*. (pp. 69-136). Seoul: Bookshill.
- Park, Y., & Cho, Y.-K. (2005). Analysis of physics problem solving processes of high school students to qualitative and quantitative problems. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 25(4), 526-532.
- Ploetzner, R., Lippitsch, S., Galmbacher, M., Heuer, D., & Scherrer, S. (2009). Students' difficulties in learning from dynamic visualisations and how they may be overcome. *Computers in Human Behavior*, 25(1), 56-65.
- Potgieter, M., Harding, A., & Engelbrecht, J. (2008). Transfer of algebraic and graphical thinking between mathematics and chemistry. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(2), 197-218.
- Rau, M. A. (2015). Enhancing undergraduate chemistry learning by helping students make connections among multiple graphical representations. *The Royal Society of Chemistry*, 16(3), 654-669.
- Seçken, N., & Yörük, N. Z. (2012). An analysis of relations between concerns about the use of graphs in chemistry classes and multiple intelligences in terms of different variables. *International Journal of New Trends in Arts, Sports & Science Education*, 1(2), 142-156.
- Tuminaro, J., & Redish, E. F. (2004). Understanding students' poor performance on mathematical problem solving in physics. In Proceedings of the 2004 Physics Education Research Conference, University of Maryland, MD, USA.
- Vermaat, H., Terlouw, C., Dijkstra, S., & Vermaat, J. H. (2003). Multiple representations in web-based learning of chemistry concepts. In Proceedings of the 84th Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Francisco, CA, USA.
- Yang, S. J., & Jang, M. D. (2012). Analysis of children's constructing and interpreting of a line graph in science. *Journal of Korean Elementary*

Science Education, 31(3), 321-333.

Zoller, U., Dori, Y., & Lubezky, A. (2002). Algorithmic, LOCS and HOCS (chemistry) exam questions: Performance and attitudes of college students. *International Journal of Science Education*, 24(2), 185-203.

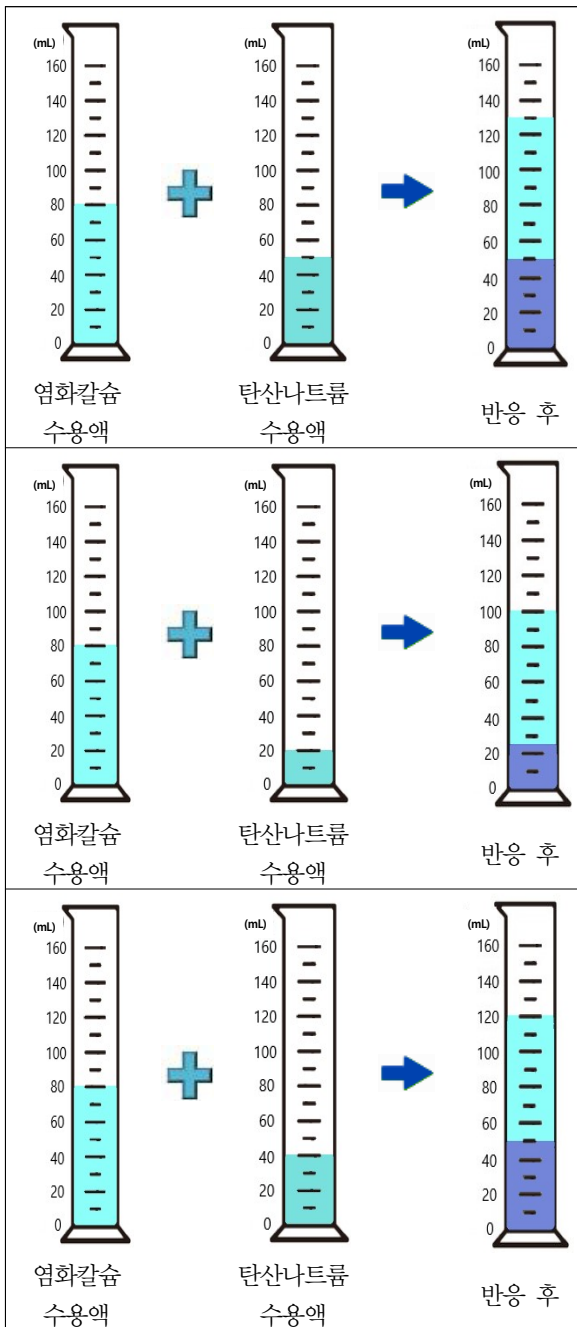
저자 정보

이재원(서울대학교 박사 후 연구원)

박가영(서울대학교 학생)

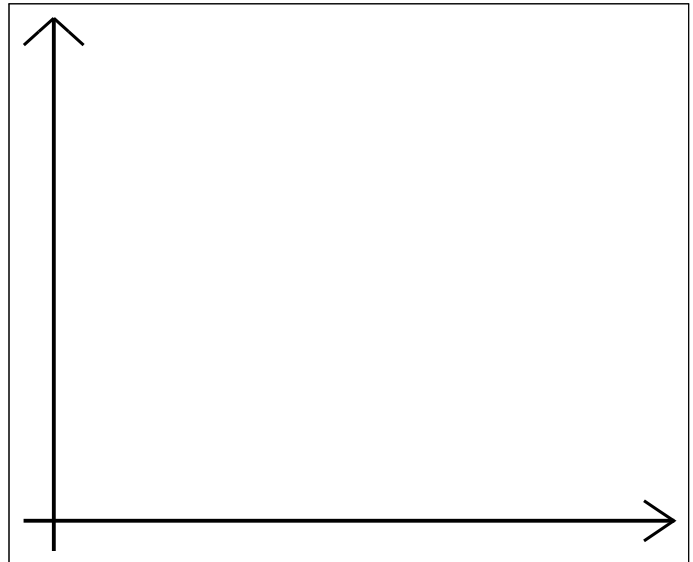
노태희(서울대학교 교수)

Appendix 1. The test item used in this study



철수는 일정한 양의 염화칼슘(CaCl₂) 수용액에 탄산나트륨(Na₂CO₃) 수용액을 넣는 양금 생성 반응을 하고 있다.

- 1) 철수는 왼쪽 그림과 같이 넣은 탄산나트륨(Na₂CO₃) 수용액의 양에 따라 생성되는 탄산칼슘(CaCO₃) 양금의 양을 측정하였다. 철수의 실험 결과를 그래프로 나타내 보자.



- 2) 그래프를 위와 같이 그린 이유를 적어보자.
