

초등학생의 증거에 기반한 과학적 설명의 수정 과정 고찰

임 희 준
(경인교육대학교)

Elementary Students' Modification of Their Scientific Explanations based on the Evidences in Water Rising in Burning Candle Inquiry

Lim, Heejun
(Gyeongin National University of Education)

ABSTRACT

The purpose of this study was to explore the characteristics of elementary science gifted students' modification of scientific explanations based on evidences. For this study, sixteen 6th elementary students were participated. The subjects of this study were enrolled in the program for the science gifted. Students were asked to generate initial hypotheses before experiment, and to modify and revise their scientific explanations based on the experiments about water rising in burning candle(s). All the processes of small group discussion during the inquiry were audio-recorded. Students' modification of their scientific explanations were appeared in three types: 1) appropriate connections among evidences, reasoning, and claims, 2) disconnections among evidences, reasoning, and claims and/or use of inappropriate reasoning, 3) scientific explanations without their own understanding. Other problems that students encountered in the processes of modification of their explanations were also discussed.

Key words : scientific explanations, evidence, reasoning, scientific inquiry, elementary science, gifted education

I. 서 론

과학 탐구는 과학적 사고를 통하여 문제를 해결하는 과정으로, 정해진 일련의 단계에 따라 진행되는 단순한 활동이 아니라 실제 상황에서는 매우 복잡하고 어려운 과정이다. 과학자들은 문제를 해결하기 위하여 현상을 관찰하고, 이를 설명하고, 나아가 새로운 현상을 예측하는 과정에서 가설을 설정하고, 수정하고 정교화하며 자신의 아이디어를 정당화하는 과정을 거치며, 이를 통하여 현상을 설명하는 가설과 이론이 발전되어 나간다(NRC, 2002). 학교 과학교육은 과학자의 탐구와 동일할 수는 없기 때문에 여러 가지 측면에서 차이가 있지만(Yang & Cho, 2006), 적절한 탐구 문제를 인식하고, 실험

을 통해 수집한 관찰 증거를 토대로 하여 현상을 설명하고 자신의 가설을 설정하고 수정, 정교화하고 정당화하는 과정은 학교 과학에서도 반드시 필요한 탐구의 과정이다(NRC, 1996, 2012).

그러나 실제 학교 과학탐구에서는 의도한 바대로의 탐구가 이루어지지 못하고 있음이 여러 연구를 통하여 보고되었다(Gray & Kang, 2012). 일반적으로 학교 과학 수업에서는 제시된 실험 방법에 따라 기대되는 결과를 얻고 확인하며, 이로부터 과학적 개념과 지식을 정리하는 형태의 활동이 일반적으로 이루어지고 있다. 학생들이 스스로 다양한 가설을 설정하고, 이들 가설을 지지하거나 또는 지지하기 어렵게 만드는 관찰 자료들을 수집하여 증거로 활용하고, 이를 통해 가설을 수정, 발전시키는

2015.8.14(접수), 2015.8.20(1심통과), 2015.8.25(최종통과)

이 논문은 2012년도 경인교육대학교 교내 학술연구의 지원을 받아 수행된 연구임.

E-mail: limhj@ginue.ac.kr(임희준)

실질적인 탐구의 과정은 거의 이루어지지 않고 있다(Han *et al.*, 2012).

그러나 과학자의 탐구 과정이 과학적 문제를 해결하기 위하여 적절한 증거로부터 자신의 가설을 도출하고, 증거를 기반으로 한 과학적 추론을 통하여 이를 정당화하는 과정이라고 할 때(McNeil & Krajcik, 2012), 학생들에게도 의미있는 탐구 문제를 통하여 진정한 탐구의 과정을 경험하게 하는 것이 반드시 필요하다. 증거를 기반으로 자신의 사고를 정당화하고 과학적 설명(scientific explanations)을 발전시켜나가는 과정에서 필요한 중요한 활동 중 하나가 논증이다(Kim & Song, 2004; Lim *et al.*, 2010; Lim & Jeong, 2012; Lim & Yeo, 2012; Walton, 1990). 논증은 과학적 문제를 해결하기 위해 자신의 의견을 정당화하는 언어적이며, 사회적인 활동 과정이다(McNeil & Krajcik, 2012). 증거(evidence)로부터 주장(claim)을 도출하고 정당화하는 논증 과정에 참여함으로써 학습자는 자신의 사고와 이해를 드러내게 되며, 의견이 다른 상대방을 설득하거나 또는 자신의 모순을 해결하기 위하여 논리적으로 타당한 근거와 설명을 제공하기 위한 노력을 하게 된다(Jang & Jeong, 2010). 이러한 과정이 과학 탐구에서 반드시 필요한 중요한 과정이다.

본 연구에서는 증거를 기반으로 한 정당화 과정을 통하여 과학적 설명의 수정 및 발전 과정이 활발하게 일어나기에 적절한 탐구 과제를 초등과학 영재학생들에게 제시하고, 학생들이 과학적 탐구를 통하여 자신의 가설을 설정하고, 타당한 증거와 추론을 기반으로 하여 자신의 생각을 정당화하면서 과학적 설명을 수정, 발전시켜나가는 과정을 살펴보고, 그 과정에서 학생들이 겪는 문제점을 살펴보고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 수도권에 소재한 초등 과학영재교육원 학생 16명을 대상으로 하였다. 연구 대상 학생들은 모두 6학년이며, 해당 영재교육원에서 2년째 영재교육을 받고 있는 학생들이었다. 이들은 학생 생활기록부, 영재성 입증자료, 심층면접 등을 토대로 한 영재교육대상자 선발 과정을 거쳐 선발된 후, 1차년도 영재교육을 이수하였으며, 1차년도 때의

교육 과정 및 결과에 대한 관찰 평가를 토대로 보다 심화된 2차년도 교육에 참여하고 있는 학생들이었다. 따라서, 전반적으로 과학에 대한 흥미와 이해도, 탐구 능력이 비교적 높다고 할 수 있다. 해당 영재교육원은 광역시의 한 지역구를 대상으로 하고 있는 곳으로, 연구 대상 학생들은 초등학교의 영재학급 학생 및 시도 전체에서 선발된 영재학생들과 차이가 있을 수 있다. 본 논문에서 학생들의 이름은 모두 가명을 사용하였다.

2. 탐구 과제 및 탐구 활동의 진행

학생들의 과학적 가설 설정 및 과학적 설명의 수정 및 발전 과정의 특징을 살펴보기 위하여 비교적 다양한 가설이 도출될 수 있고, 실험을 통하여 다양한 증거를 수집할 수 있으며, 추론의 과정이 열려있는 탐구 과제를 제시하였다. 탐구 활동은 4인을 한 모둠으로 하여 총 4모둠으로 진행하였다. 학생들에게 제시된 탐구 과제는 “수조에 물을 약간 넣고 양초에 불을 붙인 후 비커를 덮었을 때 일어나는 현상과 그 이유”를 알아보는 것이었다. 이 탐구의 결과는 양초의 불이 꺼지고 물이 올라오는 것이다. 기체의 열팽창과 수축이 이 현상의 주된 원이고, 이외에 산소 소모, 소모된 산소와 발생한 이산화탄소의 비율, 온도에 따른 포화수증기량 등의 다양한 요인들이 고려될 수 있는 흥미로운 과제이다.

탐구 수행을 위하여 먼저 학생들에게 문제 상황을 설명하였다. 문제 상황은 “수조에 물을 약간 넣고, 여기에 양초를 놓고 불을 켜 후에 비커를 덮으면 어떤 현상을 관찰할 수 있으며, 왜 그럴까?”였다. 학생들은 이에 대해 자신들의 초기 가설을 설정하였다.

초기 가설을 설정한 후, 양초 한 개를 이용한 실험을 수행하였다(실험 1). 실험을 수행하면서 관찰한 현상으로부터 증거를 수집하고, 이로부터 자신의 가설을 수정하거나 보완하여 과학적 설명을 구성하도록 하였다. 모둠별 탐구 수행과 논의를 통하여 모둠의 의견이 합의를 이루면 모둠의 가설을 제시하고, 서로 의견이 다르면 각자의 가설을 제시하도록 하였다.

실험 1에 대한 모둠 활동이 끝난 후, 전체 토론을 통하여 각 모둠 또는 개인의 가설들을 발표를 통하여 공유하였다. 실험 1에서는 불을 켜 양초에

비커를 덮으면 불이 꺼지고 물이 올라오는 현상을 관찰할 수 있다. 이에 대해 학생들은 양초가 타면서 산소를 소모했기 때문에, 산소가 소모되면서 이산화탄소가 발생하기 때문에, 양초의 열의 의해 기체가 팽창되었다가 불이 꺼지고 기체가 수축했기 때문에 등과 같은 다양한 과학적 설명을 도출하였다.

전체 의견 공유가 끝난 후, 이러한 수정된 과학적 설명들을 다시 점검하기 위한 실험 2를 수행하도록 하였다. 실험 2는 불을 켜 양초가 하나일 때와 두 개일 때의 물이 올라온 높이를 비교하는 것이었다. 학생들의 의견을 토대로, 양초의 부피 자체는 동일하게 하기 위하여 두 상황 모두 같은 크기의 양초 2개를 사용하되, 한 쪽은 양초 1개에만 불을 붙이고 다른 한쪽은 양초 2개 모두 불을 붙이는 방법을 수행하였다. 이 실험을 수행하면서 관찰되는 현상과 물이 올라오는 높이를 비교하고, 이를 통해 양초에 불을 붙이면 물이 올라오는 이유에 대한 가설을 수정/보완하도록 하였다. 그리고 모든 과정에서 이 탐구와 관련하여 추가적으로 더 해보고 싶은 활동은 자유롭게 수행하도록 하였다.

탐구 과제 및 탐구 활동의 과정과 결과를 Fig. 1에 제시하였다.

3. 자료 수집 및 분석 방법

학생들의 초기 가설, 각 실험에서 관찰한 현상,

가설의 수정을 통한 과학적 설명 등을 활동지 및 연구 노트에 자유롭게 기록하도록 하였다. 학생들의 모듈별 탐구 활동 과정은 모두 녹음하였고, 전체 내용을 전사하였다. 또한, 연구자가 직접 수업을 진행하면서 관찰한 중요한 사항들에 대해서는 필드 노트를 작성하였다.

학생들의 탐구 활동에 대한 녹음 자료를 중심으로 하여, 학생들의 연구 노트와 연구자의 필드 노트를 종합하여 학생들의 초기 가설 및 탐구의 과정에서 관찰한 현상과 증거의 사용, 추론, 이를 통한 자신의 과학적 설명의 수정, 발전의 내용 등을 분석하였다.

학생들의 과학적 설명은 McNeil and Krajcik(2012)의 연구를 토대로, 주장(claim), 증거(evidence), 추론(reasoning)의 요소를 토대로 분석하였다. ‘주장’은 제시된 문제에 대한 자신의 견해나 진술을 의미한다. ‘증거’는 주장을 뒷받침하는 과학적 자료로써 자신이 수행한 실험이나 탐구의 결과 또는 다른 자료들로부터 얻은 자료들을 포함한다. ‘추론’은 증거가 주장을 뒷받침하는지를 보여주는 적절한 과학적 원리들을 포함한다. 본 연구에서는 학생들이 어떠한 증거들(evidences)로부터 과학적 추론(reasoning)의 과정을 통하여 주장(claim)을 제시하는지를 파악하였고, 학생들의 증거와 추론으로부터 제시하는 주장(claim)을 학생들의 가설 즉, 과학적 설명으로 파악하였다.

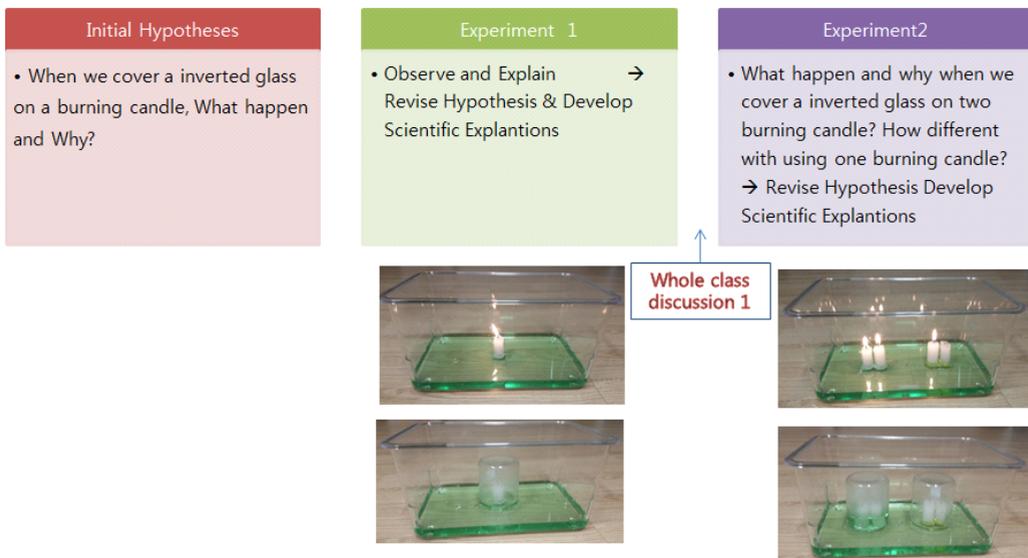


Fig. 1. Inquiry task and processes

네 개의 모듈에 대한 소집단 탐구 과정에 대한 전사와 분석을 토대로, 학생의 과학적 설명이 수정되는 양상들을 도출하고, 각 양상을 나타낸 대표적인 학생들의 가설 수정 과정을 중심으로 결과를 기술하였다. 또한, 학생들의 가설 수정 과정 전반에 나타나는 문제점들을 도출하고 기술하였다.

III. 연구 결과 및 논의

타고 있는 양초에 비커를 덮었을 때 관찰되는 현상의 이유에 대하여 학생들이 자신의 과학적 설명을 수정 및 발전시키는 과정은 학생에 따라 몇 가지 다른 양상으로 나타났다. 또한, 학생들이 자신의 과학적 설명을 수정하고 발전시키는 과정에서 겪는 대표적인 문제점들을 발견할 수 있었다.

1. 증거와 추론으로부터 과학적 설명을 수정 해가는 방식

초기 가설로부터 실험 1, 실험 2를 통하여 자신의 과학적 설명을 수정, 보완해가는 과정은 모든 학생들이 경험하였다. 그러나 이 과정에서 가설이 보다 바람직하게 수정되고 정교화되는 경우도 있었지만, 가설이 답보되거나 단순히 변화만 되는 경우들을 볼 수 있었다. 이들을 유형으로 나누어 살펴보았다.

1) 적절한 증거와 타당한 추론을 통한 과학적 설명의 수정

A모듈의 진영이의 경우, 수집한 증거들로부터 타당한 추론을 거쳐 자신의 과학적 설명을 적절하게 수정해가는 모습을 볼 수 있었다. 진영이의 초기 가설은 ‘불이 꺼진다. 그리고 물의 높이가 낮아질 것이다. 양초가 불에 타면 이산화탄소가 발생할 것이고, 그 이산화탄소의 부피 때문에 물의 높이가 낮아진다.’는 것이었다. 실험 1을 통해 진영이는 물이 올라간다, 물이 들어올 때 바깥쪽에 있는 물의 높이가 낮아진다 등의 증거를 수집하고, 이러한 관찰 증거와 양초가 탈 때는 산소가 소모된다는 지식을 토대로 ‘불이 타면서 산소를 소모해서 기압이 낮아져서 물이 올라온다.’는 것으로 초기 가설을 수정하였다.

진영: 물이 들어올 때 바깥쪽에 있는 물의 높이가 낮아

지고, 물이 나가면 바깥쪽의 물이 높아지거든, 물이 증발하는 것이 아니라 바깥쪽의 물이 들어오는 거야.

민호: 아. 근데 왜 들어오지?

진영: 압력이 낮아지니까. 산소를 태워서.

또한, 불이 켜져 있을 때는 물이 거의 안올라오다가 불이 꺼지면서 급격히 올라온다는 관찰 사실로부터 ‘불이 타고 있는 동안에는 온도가 높으니까 기체의 부피가 크고 불꽃이 꺼지는 순간 온도가 낮아지니까 부피가 줄어서 물이 올라온다.’는 가설을 병행하였다. 이 단계까지는 산소가 소모되어 물이 올라오는 것과 불이 타고 있는 동안 물이 올라오지 않는 것을 서로 다른 두 현상으로 보고, 이에 대한 두 가지 설명을 각각 제시하였다.

민호: 이게 불이 켜져 있을 때는 (물이) 거의 안올라오다가 불이 꺼지면 딱 올라오잖아.

진영: 불이 타고 있을 동안에는 온도가 높으니까 (기체의) 부피가 크데, 불꽃이 꺼지는 순간 온도가 낮아지니까 부피가 줄어서 물이 올라오는 거야.

그러나 실험 2에서 양초 2개일 때가 물이 더 많이 올라오는 것으로부터 산소 소모라면 물이 올라오는 높이가 같아야 하므로, 기체의 부피 팽창에 의한 것이라는 가설로 자신의 생각을 정리하였다.

이상과 같은 진영이의 증거와 추론을 통한 과학적 설명의 수정 과정을 정리하여 Fig. 2에 제시하였다.

B모듈의 은지의 경우, 초기 가설은 ‘산소가 차단되어 있어서 불이 꺼지고 불의 온기 때문에 물의 온도는 높아질 것이다.’이었다. 실험 1을 통해 은지모듈의 학생들은 물이 비커 안으로 들어오는 것을 관찰하였다. 또한, 은지가 있는 B모듈은 증거 수집을 위하여 다양한 실험 방법을 시도하였는데, 불을 켜 양초를 비커로 덮었을 때와 불을 켜지 않은 양초를 덮었을 때는 차이가 있음을 발견하였다.

은지: 양초에 불을 붙이고 덮으면 물이 늘어나고 불을 안붙이고 덮으면(불을 안 붙인 양초에 그냥 비커를 덮으면) 물이 안 늘어난다.

또한, 실험 과정에서 양초의 불이 켜져 있는 동안에는 물이 올라오지 않지만, 불이 꺼지면서 물이 올라오는 것을 중요한 관찰 사실로 파악하였다.

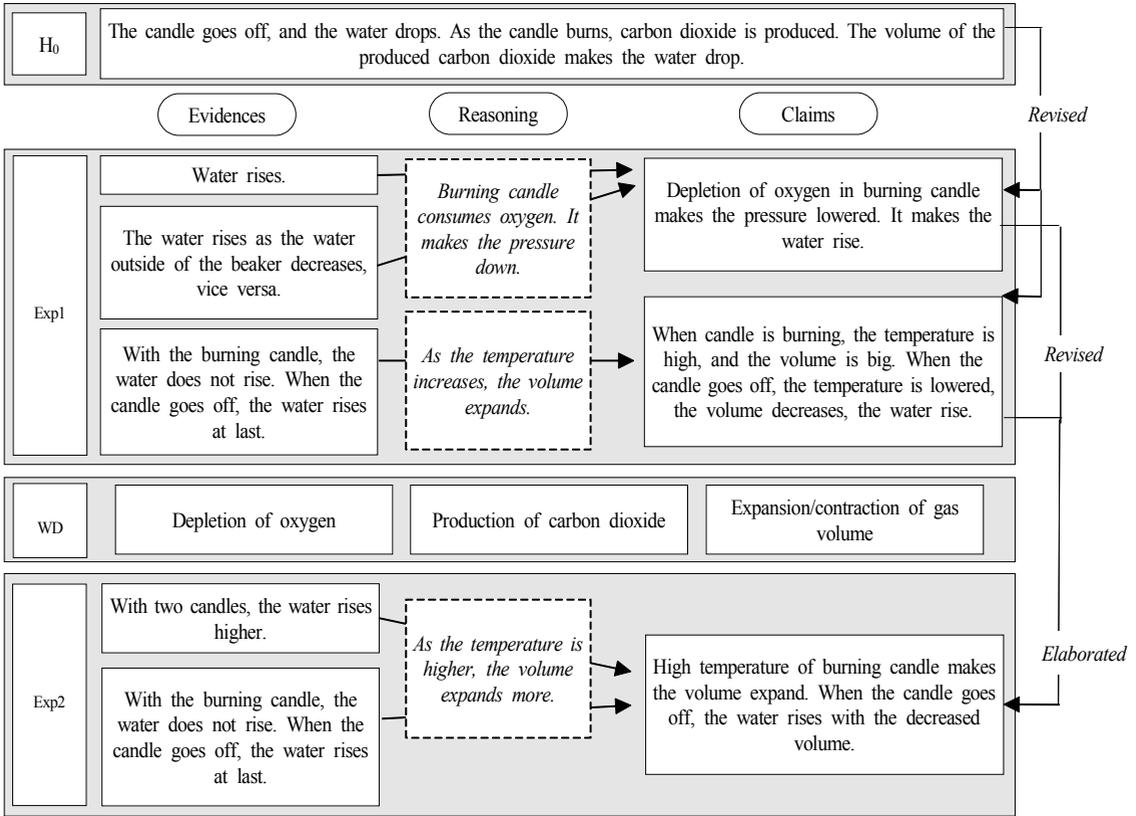


Fig. 2. Jinyoung's modification of his scientific explanations

은지: 뽕뽕. 불이 꺼지면서 올라와. 와 불이 꺼지면서 올라온다. 불이 물을 못올라오게 해?
 지숙: 몰라.
 은지: (불이 꺼지면 물이 올라오는데) 근데 이렇게 불을 안붙이고 하면 물이 안올라오요. 왜 그럴까?
 지숙: 그 안에 산소가 여찌고 저찌고 하나까?
 은지: 불 때문에 산소가 필요하니까 물을 끌어당기는거지. 물 안에 공기가 있잖아. 이거 완전 신기하다.

이상의 관찰로부터 불이 물과 관련이 있다는 생각을 하고, 지숙이의 산소라는 아이디어를 힌트로 ‘불 때문에 산소가 필요하니까 물 속의 공기를 이용하려고 물을 끌어당긴다.’는 주장을 하였다. 비록 과학적으로 타당한 설명은 아니지만, 관찰한 현상으로부터 불이 물이 올라오는 것에 영향을 미치고, 불이 탈 때에는 산소가 필요하다는 지식을 활용하여 공기가 필요해서 물을 끌어당기기 때문에 물이 올라온다는 것으로 과학적 설명을 수정해 나갔다.

실험 1 이후 수행된 전체 토론을 통하여 산소 소모, 이산화탄소의 발생, 기체의 팽창과 압축 등과

같은 다른 모둠의 가설을 들었고, 양초 2개를 태우면 물이 더 높이 올라온다는 실험 2를 통하여 은지는 자신의 과학적 설명을 다시 수정하였다.

은지: 이유는 부피 팽창이야. 불이 켜졌을 때 공기가 팽창이 되잖아.
 지숙: 많이 팽창됐다가 많이 줄어드는 거잖아.
 은지: 부피가 많이 팽창되니까... 불을 붙였을 때 기체들이 팽창을 많이 하잖아.

은지의 과학적 설명의 수정/발전은 관찰 증거와 과학적 지식, 그리고 다른 모둠에 제시한 과학적 설명 등에 기반하여 이루어졌으며, 이 과정은 Fig. 3과 같이 정리할 수 있었다.

진영과 은지의 과학적 설명은 과학성이나 구체성에는 차이가 있지만 중요한 현상을 적절하게 관찰하였고, 이를 자신의 주장을 위한 증거로 활용하고, 그 과정에서 과학적 지식을 추론의 근거로 사용함으로써 초기 가설에서 보다 수정되고 발전된 과학적 설명을 구성해가는 모습을 볼 수 있었다.

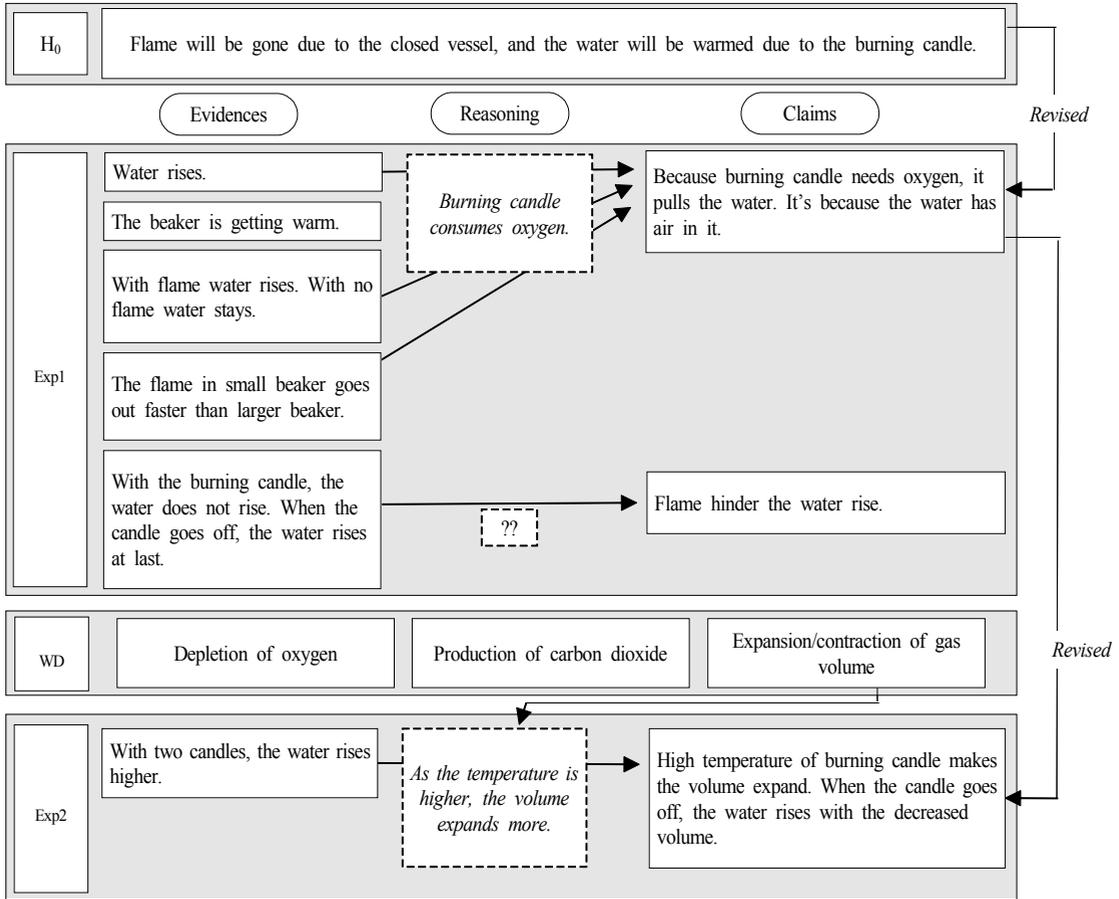


Fig. 3. Eunji's modification of her scientific explanations

2) 증거, 추론, 주장 사이의 관련성 및 타당한 추론이 없는 과학적 가설의 유지 또는 수정

한편, 진영이와 같은 A모듬인 민호의 초기 가설은 ‘양초의 뜨거움에 의해서 물이 증발하고, 물이 증발하면서 그 안에 있는 산소와 수소가 만나 불이 서서히 꺼진다.’는 것이었다. 민호는 실험 1을 통해 진영이와 같은 현상들을 함께 관찰하였다.

진영: 어 물이 올라갔어. 뽕뽕 물이 올라갔어.
 민호: 아무래도 수증기가 뭔가 영향을 미치는 것 같다.
 민호: 이제 올라간다. 역시 불이 꺼졌을 때 올라온다. 그럼 시간이 지나면 내려가는지 보자고. 기다려봐. 아마 수증기가 없어진다면 상황이 달라질 거.

불이 꺼진 다음에 물이 올라가는 현상은 오히려 민호가 먼저 인지했다. 그러나 이에 대하여 민호는 막연하게 ‘아무래도 수증기가 뭔가 영향을 미치는

것 같다.’는 근거가 부족한 막연한 추론을 하였다.

진영: 불이 켜져 있을 때는 거의 안올라오다가 불이 꺼지면 딱 올라오잖아. 왜 그런거 같아?
 민호: 왜냐면 불이 탈 때 이산화탄소가 나오잖아. 근데 이게 갑자기 꺼지면 이산화탄소가 갑자기 쭈긴 것 아니야. 그렇기 때문에 ... 애가 완전히 공간을 차지하지 못하고 있다가 불이 꺼지니까 이때가 싫어서 딱 올라오는거예요.

민호는 진영이와 같은 현상을 관찰했으면서도 이에 대해서 ‘불이 타고 있을 때는 이산화탄소가 나와서 물이 못 올라오고 있다가 불이 꺼지면 이때 다 싶어서 딱 올라온다.’는 과학적 논리성이 부족한 설명을 제시하였다. 그리고 전체 토론 및 실험 2를 진행한 후 양초 2개를 사용했을 때 물이 더 많이 올라가는 현상을 관찰하고도 이산화탄소에 대한 주장을 계속하였다.

진영: 왜 두 개가 많이 올라가냐?
 민호: 이번에는 정말 이산화탄소 이런 거 아닐까?
 진영: 이산화탄소가 많이 나오면 무게가 커지니까 많이 내려가야지
 민호: 아니지 이산화탄소가 뜨거운 바람이니까 위로 올라가잖아.
 민호: 위에 있는 이산화탄소가 전부 물로 내려갔잖아. 그러니까 물이 올라와야...
 진영: 이산화탄소가 물에 잘 녹지를 않잖아.
 민호: 아 잘 모르겠다.

이 과정에서 양초가 하나일 때와 두 개일 때 다른 것은 무엇인가를 고려하기 보다는 ‘이산화탄소가 왜지 답일 것 같다는 생각에 이산화탄소다. 이산화탄소가 위로 올라가서이다. 이산화탄소가 물로 내려가서 물이 올라왔다.’ 등 논리적으로 설명이 되지 않음에도 불구하고, 이산화탄소에 대한 주장을 계속 진행하였다. 그리고 같은 모둠의 진영이가 온도에 의한 기체의 부피 팽창과 수축으로 설명하는 것을 듣고도 이에 대해서는 별다른 반응을 보이지 않았다. 최종적으로 민호는 ‘양초가 산소를 태워 이것을 이산화탄소로 바꾸고, 그에 의해 팽창한 물은 올라간다.’라는 과학적 설명을 제시한다. 민호의 초기 가설은 물을 구성하는 산소와 수소로 출발해서, 수증기 때문이다. 이산화탄소 때문이다 등 기체가 나열되지만 하다가, 최종적으로도 ‘양초가 산소

를 태워 이산화탄소로 바꾸고, 이것에 의해 팽창한 물이 올라간다.’는 관찰 증거를 충분히 설명하지도 않고, 추론도 막연히 기체와 관련이 되어 있을 것이라는 생각에 기초하여 설득력이 없는 결론을 내리고 탐구를 마쳤다.

민호의 근거가 부족한 막연한 추론에 통한 그의 과학적 설명의 수정 및 유지 과정을 Fig. 4에 정리하였다.

3) 자신의 이해에 기반하지 않은 과학적 설명의 수정

B모둠의 지속이는 앞에 제시한 은지와 같은 모듬이다. 지속이의 초기 가설은 ‘공기가 차단되어 있기 때문에 불이 꺼지고, 물은 약간 증발한다.’는 것이었다.

실험 1을 통해 공기가 차단되어 있어서 불이 꺼진다는 초기 아이디어를 불이 타는 것은 산소와 관련이 있다는 것으로 연결짓고, 은지와 의 논의를 통하여 ‘불이 공기를 뺏어가니까 그 공간에 물이 찬다.’는 과학적 설명으로 발전시켰다.

지속: 그 안에 산소가 어찌고 저찌고 하니까 (중략)

은지: ... 불이 켜져 있으려면 공기가 필요하잖아. 이 비커 속의 공기를 이 불이 가져가니까 공기가 없어지잖아. 그래서 물 속의 공기가 가져가려고 하니까 물이 올라가지.

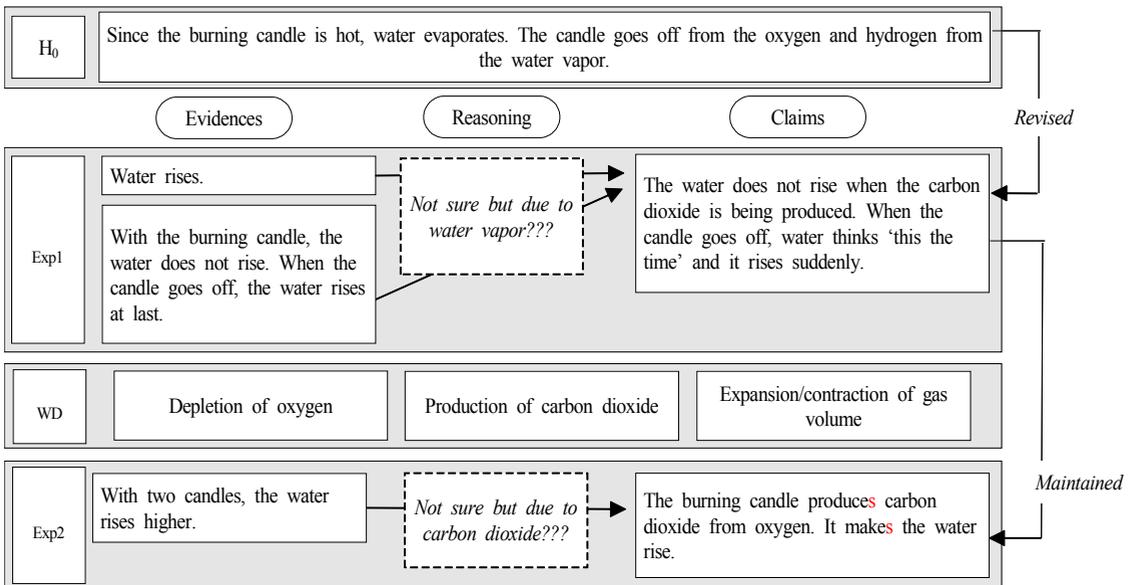


Fig. 4. Minho's modification of his scientific explanations

지숙: 그러면 불이 공기를 뺏아 가니까 그 공간에 물이 찬다야? ...그냥 이렇게 생각하면 안돼? 불이 공기를 잡아 먹는다고 생각해봐.

윤아: 근데 우리가 주로 본 것은 물이 올라온거잖아.

실험 1이 끝난 후 전체 토론을 통하여 여러 모둠의 의견과 아이디어를 공유한 후에 수행한 실험 2에서 지숙이는 양초가 타면 불이 올라오고, 양초가 2개일 때 불이 더 많이 올라오는 것을 관찰했음에도 불구하고, 갑자기 이산화탄소와 관련된 주장을 제시하였다. 아마도 전체 토론에서 다른 모둠에서 제시한 산소가 소모되고, 이산화탄소가 발생한다는 의견이 지숙이에게는 매우 그럴듯한 의견으로 여겨진 것으로 보인다.

모둠원들이 지숙이에게 이산화탄소와 관련된 지숙이의 설명이 그들이 관찰한 현상과는 다름을 설명하고, 은지가 기체의 팽창과 수축으로 현상을 설명하는 것을 듣고, 지숙이는 활동지에는 기체가 팽창했다가 수축하기 때문이라고 자신의 최종 과학적 설명을 기술하였다. 그러나 기체의 팽창과 수축이 무엇을 의미하는지, 수축하면 왜 물이 들어온다는 것인지를 이해하지 못하고 있음을 볼 수 있었다.

지숙: 수축할 때 물이 안들어오는 이유는 이산화탄소가 산소의 자리를 차지하기 때문인가?

은지: 물이 들어온 것은 기체가 팽창했다가 줄어들어서.
지숙: 팽창하면 작아지는 거 아냐? 그럼 물이 어떻게 들어오지?

은지: 응? 아니 기체가 팽창한다고.

지숙: 산소가 줄어들면서 이산화탄소가 들어와서 물이 줄어들지 않는다. 이거 아냐?

즉, 자신이 충분하게 이해하지 못했지만 모둠 논의의 흐름에 따라 자신이 제대로 받아들이지 못한 기체의 팽창과 수축에 의해 물이 올라온다는 것을 현상에 대한 과학적 설명으로 기술하였다(Fig. 5).

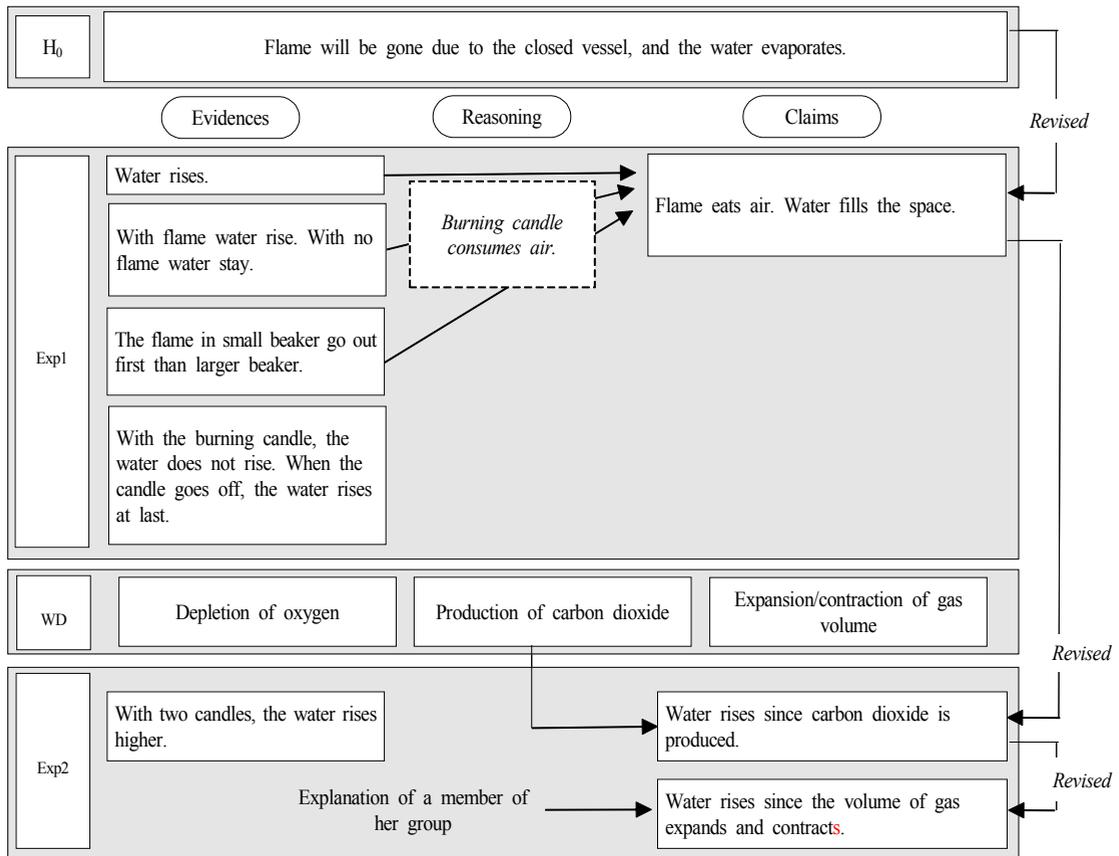


Fig. 5. Jisook's modification of her scientific explanations

2. 과학적 설명의 수정 과정에서 나타나는

문제점

학생들이 탐구 과정에서 자신의 과학적 설명을 타당하게 수정, 발전시키는 데에 어려움으로 작용하는 요소들에는 다음과 같은 것이 있었다.

1) 초기 가설에 의해 영향을 받는 관찰과 주장

학생들의 초기 가설이 이후 수행된 실험에 대한 증거 자료 수집과 주장에 영향을 미침을 알 수 있었다. 은지와 지숙이가 있는 B모둠의 경우, 모둠원들의 초기 가설은 물이 증발할 것이라거나, 따뜻해질 것이라는 것이었다. 그런데 학생들이 실험 1을 통해서 관찰한 것은 그들이 전혀 기대하거나 예상하지 않았던 물이 올라오는 현상이었다. 이러한 기대하지 못했던 현상에 대하여 초기에는 이 모둠은 이 현상을 관찰 현상으로 받아들이지 못하고 실험이 잘못되었고 문제가 있다고 생각하며 관찰 현상 자체에 불만을 가지는 반응을 나타냈다.

윤아: 물이 늘어나 늘어나.

은지: 이거 이 (비커) 입구 때문에 그래. 내가 고무찰흙으로 막으라고 했잖아.

윤아: 나는 물이 따뜻해지는지 봐야해

지숙: 선생님, 이거 이 구멍 안으로 물이 막 들어와요

은지: 물은 들어오는 것밖에 안보이는데요. 물이 늘어나기만 해요.

관찰한 현상을 있는 그대로 받아들이고 생각하면 된다는 조언을 연구자가 해주기 전까지 이 모둠원들을 이 현상을 증거로 전혀 받아들이지 않고 거부감을 보임을 알 수 있었다.

한편, C모둠의 준서의 경우에는 초기 가설을 ‘불은 산소가 없어지니까 꺼진다. 뜨거운 공기가 올라가는데 비커가 차가우니까 응결되어 물이 더 생긴다.’라고 설정하였다. 그러면서도 양초의 불 정도로 물이 생기는 것이 보일까를 스스로 의심하고 있었다. 그러나 실험 결과로 물이 올라오는 것을 보고, 본인이 했던 의구심을 전혀 고려하지 않고 자신의 초기 가설을 지지하는 증거로 이를 활용하였다.

호원: 물이 올라오고 불이 꺼졌다. 와 준서가 맞았다.

준서: 물이 올라간다.

(실험)

준서: 불은 서서히 꺼졌고 비커에 수증기가 응결되어 물

이 더 늘어나는 것을 관찰했다.

이러한 결과들은 실험 전 초기의 아이디어와 가설이 학생들의 증거 수집과 이를 통한 주장에 영향을 미침으로써 보다 타당한 증거 및 과학적 설명의 제시에 제약으로 작용할 수 있음을 보여준다.

2) 관찰한 증거에 대한 설명의 어려움

탐구에서 관찰은 가장 기본적이면서도 중요한 활동이다. 중요한 현상이 있어도 이를 관찰하지 못하면 필요한 증거가 수집되지 못하는 것이고, 결국 타당한 주장을 하는 데 어려움이 생기게 된다. 그런데 본 연구에서는 학생들이 중요한 증거가 될 수 있는 관찰을 했고, 그것이 중요한 현상이라는 것을 인지하면서도 그 현상의 이유를 설명하지 못함으로써 타당한 과학적 설명으로 발전시키지 못하는 경우들을 볼 수 있었다.

은지: 이유는 불이 공기를 빼앗아 가니까... 왜 불이 켜져있는 상태에서는 물이 안들어와? 왜 꺼지고 나서 올라와? 이상하지 않나?

은지: (실험 다시 수행) 봐봐. 우리 말대로면 불이 공기를 필요하니까 물이 올라가는데 근데 불이 꺼지고 올라가잖아.

은지: 불이 켜져있을 때는 서서히 올라가는데 불이 꺼지면 확 올라와. 우리의 궁금점은 왜 불이 꺼지면 확 올라오느냐고. 불이 켜져 있을 때 공기가 필요하니까 물이 올라오는거잖아. 근데 왜 불이 꺼지고 더 많이 올라와? 불이 꺼지면 공기가 필요없잖아.

불이 꺼지고 물이 올라오는 것은 매우 중요한 증거가 되는 현상인데 이 현상을 A모둠과 B모둠 모두 관찰하였다. 그런데 A모둠 진영이의 경우에는 이를 불이 있으면 온도가 높아서 부피가 팽창한 것으로 추론했지만, B모둠의 은지는 불이 물이 올라오는 것을 막고 있다는 것으로 현상적으로만 설명함으로써 더 타당한 과학적 설명으로 발전하지 못하고 있음을 볼 수 있었다.

3) 오개념/미분화된 개념에 의한 부적절한 설명

관찰한 현상을 설명하려고 하지만 개념을 잘 이해하지 못하고 있거나, 오개념이 있어서 타당한 주장으로 발전시키지 못하거나, 다른 사람의 주장을 이해하지 못하는 경우도 있었다.

B모듬의 지숙이의 경우, 부피 팽창과 수축이 무슨 의미인지를 잘 몰랐기 때문에 기체가 팽창하면 물이 못 올라오다가 기체가 수축하면 물이 올라온다는 것을 이해하지 못하였다. 그리고 기체의 팽창과 수축이 기체 자체가 커지고 작아지는 것인지, 기체가 없어진다는 것인지 등에 대하여 이해하지 못하였고, 이를 풍선 속의 기체로 예를 들어 생각하면서 풍선 속의 기체가 수축한다고 해서 물이 어떻게 풍선으로 들어오느냐는 의문을 제기하였다.

지숙: 팽창한다는 게 뭐야? 커지는 거야? 공기가 작아진다고 해야 하지 않아?

은지: 공기가 왜 작아져? 불에 의해 공기가 좀 없어지는 거지.

지숙: 팽창하면 작아지는 거 아냐? 그럼 물이 어떻게 들어오지?

은지: 그 때 아직까지는 물이 안들어오지? 수축했을 때 들어오잖아.

지숙: 그러니까 풍선이 수축하면 물이 어떻게 들어오냐고,

한편, 민호는 이산화탄소가 발생하기는 하는데 이산화탄소가 물에 잘 녹는다는 오개념과 이산화탄소가 물을 끌고 올라간다 즉, 기체가 위로 올라가면 막연히 물도 따라 올라간다는 그릇된 개념을 가지고 이를 적용함으로써 과학적이고 논리적인 추론의 과정을 놓치고 있었다.

민호: 위에 있는 이산화탄소가 전부 물로 내려갔잖아. 그러니까 물이 올라와야...

진영: 이산화탄소가 물에 잘 녹지를 않잖아. (중략) 이산화탄소가 생기기 때문에 이산화탄소가 물을 끌고 올라오는거라고.

진영: 그니까 이산화탄소가 어떻게 물을 끌고 올라가?

민호: 이산화탄소가 딱 녹았을 때와 이산화탄소가 올라갈 때.

진영: 이산화탄소가 물에 잘 안 녹아요.

이와 같이 가설 설정에서 선행 지식의 미치는 영향은 선행연구에서도 보고된 것으로(Oh & Yang, 2009), 지숙이와 민호의 사례는 부적절한 선행 지식을 가지고 있거나 개념 이해 정도가 낮아서 이를 잘못된 추론의 근거로 활용하거나 아예 추론에 활용하지 못하는 어려움을 보여준다.

IV. 결론 및 제언

적절한 탐구 문제를 인식하고, 실험을 통해 수집한 관찰 증거를 토대로 현상을 설명하고, 자신의 가설을 만들고, 이를 수정, 정교화, 정당화하는 과정은 매우 중요한 탐구의 과정이다. 본 연구에서는 학생들이 자신의 가설을 설정하고, 과학적 탐구를 통하여 수집한 타당한 증거와 추론을 기반으로 자신의 생각을 정당화하면서 가설, 즉 과학적 설명을 수정, 발전시켜 나가는 과정의 양상을 살펴보고, 그 과정에서 학생들이 겪는 문제점을 살펴보고자 하였다.

학생들이 증거와 추론으로부터 과학적 설명을 수정/발전해 가는 방식은 크게 3가지로 나타났다. 첫 번째는 가장 바람직한 방식으로, 적절한 증거의 수집과 타당한 추론을 통해 자신의 과학적 설명을 수정, 보완, 발전시키는 방식이었다. 이는 의미있는 관찰을 통한 적절한 증거의 수집, 이를 해석하기 위한 타당한 추론의 활용, 그리고 이를 통한 논리적이고 타당한 주장 즉, 가설이 제시되는 바람직한 방식이라고 할 수 있다. 두 번째는 타당한 추론이 없는 막연한 주장만을 제시함으로써 근거 없이 과학적 설명이 제시되는 방식이었다. 학생이 가지고 있는 과학적 지식이 타당한 추론의 근거로 활용되지 못하고, 증거와 지식, 주장이 서로 관련없이 제시되는 경우에 해당하였다. 이런 경우, 내용의 옳고 그름을 떠나서 논리적이고 설득력있는 과학적 설명은 도출되지 못했다. 세 번째는 자신의 이해에 기반하지 않은 채 동료 학생들의 그럴듯한 설명이나 토론 분위기에 따라 확신이나 이해가 없는 내용으로 자신의 과학적 설명을 수정하는 경우였다. 이러한 가설은 충분한 이해에 기반하지 않기 때문에 자신의 사고 과정에 의하여 가설이 수정, 보완되었다고 보기 어렵고, 결과적으로 다른 사람을 설득하거나 새로운 현상에 자신이 과학적 설명을 적용하는 데에도 문제가 발생할 것임을 예측할 수 있다.

학생들이 적절한 증거와 과학적 추론을 통하여 자신의 과학적 설명을 수정, 발전시키는 과정에서 증거, 추론, 주장을 제대로 연결짓지 못하는 문제들과 함께, 적절한 과학적 설명을 도출하는 데 어려움으로 작용하는 다른 문제점들도 있었다. 먼저, 자신의 초기 가설이 이후 관찰에 직접적인 영향을 미쳐 적절한 관찰 현상을 증거로 사용하게 하는 데

장애가 되는 경우가 있었으며, 근거가 부족함에도 불구하고 초기 가설을 쉽게 포기하지 않는 현상들이 나타났다. 다음으로, 학생들이 적절한 증거를 관찰하고 그것이 중요하다고 생각함에도 불구하고, 과학 지식 및 사고의 한계로 인하여 이를 설명해내지 못함으로써 발전된 과학적 설명으로 나아가지 못하는 문제점이 있었다. 마지막으로 오개념이나 미분화된 개념으로 인하여 현상을 그릇되게 설명하거나 명확하게 설명하지 못함으로써 타당한 가설로 수정, 발전되는 데 장애로 작용되기도 하였다.

본 연구에서는 탐구를 통한 적절한 증거 수집과 타당한 추론의 과정을 통하여 자신의 가설을 논리적이고 과학적으로 수정, 발전시켜 나가는 과정에서의 다양한 측면을 살펴보았다. 학생들의 과학적 설명의 수정/발전 과정에서 나타나는 이러한 특징들은 과학적 설명의 제시, 수정, 발전을 위한 바람직한 사고 과정 및 과학적 탐구의 핵심적인 과정에 대하여 겪고 있는 어려움에 대한 구체적인 사례와 이해를 제공하고 있다. 이러한 요소들을 고려하여 학생들의 과학적 설명의 수정 및 발전에 도움을 줄 수 있는 교수적 방법들이 논의될 필요가 있다. 그리고 무엇보다도 학생들이 과학적 탐구의 과정에서 증거를 찾고, 추론을 통해 이 증거들을 설명해 보고, 이 과정에서 자신의 사고와 이해를 충분히 노출시키면서 다른 동료학생들과 토론의 과정을 거침으로써 실질적인 탐구 과정을 경험하고, 이를 통해 과학 탐구의 즐거움과 의미를 느낄 수 있도록 하는 지속적인 노력을 필요할 것으로 보인다.

참고문헌

- Gray, R. & Kang, N. (2014). The structure of science arguments by secondary science teachers: Comparison of experimental and historical science topics. *International Journal of Science Education*, 36(1), 46-65.
- Han, G. B., Min, H. J. & Paik, S. H. (2012). The teachers' and students' perceptions on lectures and experiments of law of definite proportion in middle school science classes. *Journal of the Korean Chemical Society*, 56(1), 144-158.
- Jang, S. & Jeong, S. (2010). Analysis of elementary students' scientific justification activities based on evidence. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 29(4), 414-426.
- Jeong, H. S. & Oh, E. A. (2003). Sixth graders' inquiry understanding for scientific evidence and explanation. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 23(6), 634-649.
- Kim, H. K. & Song, J. W. (2004). The exploration of open scientific inquiry model emphasizing students' argumentation. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 24(6), 1216-1234.
- Lim, H. & Jeong, I. (2014). Effects of scientific argumentation on argument tasks with incorrect alternative ideas in elementary science classes. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 33(1), 195-205.
- Lim, H. J. & Yeo, S. I. (2012). Characteristics on elementary students' argumentation in science problem solving process. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 31(1), 13-24.
- Lim, J. K., Song, Y. M., Song, M. S. & Yang, I. H. (2010). An analysis on the level of elementary gifted students' argumentation in scientific inquiry. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 29(4), 441-450.
- McNeill, K. L. & Krajcik, J. (2012). Supporting grade 5-8 students in constructing explanations in science: The claim, evidence and reasoning framework for talk and writing. New York, NY: Pearson Allyn & Bacon.
- National Research Council (1996). National Science Education Standards. National Academy of Sciences.
- National Research Council (2002). Inquiry and the National Science Education Standards. National Academy of Sciences.
- National Research Council (2012). A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. National Academy of Sciences.
- Oh, C. & Yang, I. (2009). The features of the observation and the hypothetical faults generated by pre-service elementary teachers on candlelight inquiry tasks: Focusing on usage of the participants' prior knowledge. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 28(2), 93-104.
- Walton, D. N. (1990). What is reasoning? What is an argument? *Journal of Philosophy*, 87, 399-419.
- Yang, I. & Cho, H. (2006). Review on the aims of laboratory activities in school science. *Journal of Elementary Science Education*, 24(3), 268-280.