한국과학교육학회지, 33권 2호, pp. 284-309(2013. 4) J Korea Assoc. Sci. Edu, Vol. 33, No. 2, pp. 284-309(2013. 4)

고등학교 과학수업 사례 분석을 통한 학교 과학 탐구의 특징

이선경* · 손정우[1] · 김종희[2] · 박종석[3] · 서혜애[4] · 심규철[5] · 이기영[6] · 이봉우[7] · 최재혁[2]
(서울대학교) · [1](경상대학교) · [2](전남대학교) · [3](경북대학교) · [4](부산대학교)
· [5](공주대학교) · [6](강원대학교) · [7](단국대학교)

Characteristics of School Science Inquiry Based on the Case Analyses of High School Science Classes

Lee, Sun-Kyung* · Son, Jeong-woo[1] · Kim, Jong-Hee[2] · Park, Jongseok[3] · Seo, Hae-Ae[4]
· Shim, Kew-Cheol[5] · Lee, Ki-Young[6] · Lee, Bongwoo[7] · Choi, Jaehyeok[2]

(Seoul National University) · [1](Gyeongsang National University) · [2](Chonnam National University)
· [3](Kyungpook National University) · [4](Pusan National University) · [5](Kongju National University)
· [6](Kangwon National University) · [7](Dankook University)

Abstract: This study aims to explore how to characterize high school science inquiry. For this research, data were collected from fifteen science classes (18 hours), through observation and videotaping, interviews with a few students and their teacher, and documents such as lesson plan or activity sheet in 13 Science Core High Schools. All the data were transcribed and analyzed. Analyses of these transcripts were proceeded in three steps: first, classroom cases showing active interactions between teacher-students and among students were selected; second, according to cognitive process of inquiry (Chinn & Malhotra, 2002), each segment was analyzed and interpreted; lastly, distinctive cases were determined to show essential features of school science inquiry. Based on the analyses, we characterize high school science inquiry in terms of features of variables controlling-device improvement, design studies, evidence-explanation transformation, and reasoning to formulate explanations from evidence. Teachers' role and educational support were discussed as well as the practical characters or features of school science inquiry.

Key words: school science inquiry, high school, reasoning, evidence, explanation

Ⅰ. 서 론

과학교육의 목표는 크게 두 가지로 볼 수 있다. 하나는 과학 지식을 이해하는 것이고, 다른 하나는 과학 지식의 생성과정을 이해하는 것이다. 그러나 이 두 목표는 분리될 수 없는데, 과학 지식을 과학의 결과적 산물로서 받아들이게 되면 과학의 본질에 대한 이해가 결여된 채 추상적인 과학 언어만을 받아들이게 된다. 과학 지식의 생성 과정에 대한 탐구를 통해서 과학 지식을 이해하게 될 때, 진정한 과학적 '앎'이 이루어지는 것이다.

그렇다면, 과학 지식의 생성 과정의 본질은 무엇일까? 이 본질을 이해하기 위해서 과학자의 활동, 즉 과학적 탐구에 대한 이해가 함께 탐색되고 학교 과학에 적용되어 왔다. 과학적 탐구는 1950년대부터 현재에 이르기까지 끊임없이 정의되고, 비판되고, 재고찰되는 과정을 겪어왔다(Grandy & Duschl, 2007). 초기에 과학적 탐구는 '과정 기술(process skills)'을 익히는 것으로 이해되거나, 일련의 탐구과정으로 불리는 '관찰-가설 형성-결론 연역-관찰 근거의 가설 수용/거부'의 전통적인 과학적 방법으로 이해되었다. 그러나 최근 교수학습은 과학적 탐구를 조작적으로 정의되는 특정한 절차나 방법으로 보지 않고(Abd-El-Khalick *et al.*, 2004), 자연을 이해하는 다양한 방식이라고 이해하고 있다(NRC, 1996).

이후, 과학교육 연구자들 사이에서 학교 과학 탐구

*교신저자: 이선경(sunlee@snu.ac.kr)
**2012.11.19(접수), 2013.01.02(1심통과), 2013.03.02(2심통과), 2013.04.09(3심통과), 2013.04.16(최종통과)

를 정의하고 특징을 찾는 작업이 많이 이루어져왔다. 이는 학교 과학 탐구의 정의와 특징 규명의 중요성을 반영함과 동시에, 그 명료화의 어려움을 방증하는 것이다. 연구자들은 국제 심포지움(Abd-El-Khalick *et al.*, 2004)에서 탐구를 특징짓기 위해 사용되는 용어와 어구들을 30개로 목록화한 바 있다[1](Grandy & Duschl, 2007). 여기서 이 용어와 어구들은 지식을 얻는 수단(방법)으로 해석되어, 이들 능력을 단편적으로 경험하는 것이 탐구 학습과 동일한 것으로 이해될 위험성이 있다. 그 보다는 이 탐구의 특징들이 인지적(cognitive), 사회적(social), 인식적(epistemic) 실행이라는 점에서 개념화될 필요가 있다(Duschl & Grandy, 2012; Giere, 1988; Grandy & Duschl, 2007; Nersessian, 2002). 예를 들어, 이론에 대해 글쓰기(writing about theories)는 분명히 인지적 과제이나, 그것은 저자가 독자를 위해 글쓰는 것이므로 사회적 판단을 또한 요구한다(Norris & Phillips, 2005). 독자를 위한 글쓰기가 의미하는 것은, 저자가 독자의 신념과 동기적 구조가 어떠한지에 대해 매우 미묘하고 섬세한 개념을 가지고 있어야 한다는 것이다. 저자가 독자의 동기적 구조를 끌지 못한다면, 독자는 피상적으로 글을 읽게 될 것이기 때문이다(이선경 외, 2005). 저자가 독자의 신념 구조를 연관된 방식으로 끌어내지 못한다면, 독자의 신념은 변화될 수 없고 독자는 논쟁에 심지어 집중하지 못할지도 모른다. 그리고 그 과제는 또한 인식적인데 그 이유는 글쓰기가 전제하는 것이 이론에 대해 믿거나 의심하게 하는 증거를 인용하는 것이며, 그래서 글쓰기 과제의 본질적인 것은 증거와 이론 간의 관계에 대한 인식적 판단을 내리기 때문이다. 즉, 학교 과학 탐구는 전통적인 의미의 과학적 방법을 넘어서 인지적 과제에 대한 사회적이고 인식적 판단을 포함하는 것으로 이해될 필요가 있다.

그렇다면, 학교 과학 탐구는 학습자에게 어떻게 제공되어야 하는가? 앞에서 제시된 모든 목록들이 '참 과학'의 일부이지만, 그것들이 한 두 시간의 과학 수업에 모두 포함될 수 없는 것이 학교 현실이다. 따라서, 최적의 '학교 과학 탐구'가 어떻게 이루어져야 하는지를 모색하는 것은 과학교육 연구의 중요한 과제라 할 수 있다. 이와 관련하여, Grandy & Duschl (2007)은 미국과학교육과정기준(NSES)에서 제시한 학교 과학 탐구 목록을 인용하였는데, 이 목록은 장기간의 탐구 교육과정을 디자인할 때 탐구 과정에 학습자의 주도권을 부여하는 교실 환경을 만드는 것을 의미한다. 그 목록은 크게 다섯 가지로 제시되었다. 첫째, 학습자는 과학적으로 정향된 질문에 참여한다. 둘째, 학습자는 과학적으로 정향된 질문에 대한 설명을 발전시키고 평가할 수 있는 증거제시를 우선적으로 한다. 셋째, 학습자는 증거로부터 설명을 만든다. 넷째, 학습자는 특히 과학적 이해를 반영하는 대안 지식에 비추어 설명을 평가한다. 다섯째, 학습자는 제안된 설명을 논하고 정당화한다. 물론 미국과학교육기준은 이 학교 과학 탐구 목록이 학교 과학의 목표와 맥락 내에서 융통성 있게 다양한 방식으로 운용될 수 있다고 강조한다(NRC, 2000).

그렇다면 학교 과학 탐구가 갖는 시공간의 한계와 교육과정의 범위를 고려하면, 학교 과학 탐구 목록 중에서 어떤 측면이 강조되어야 할까? 과학 탐구의 핵심은 앞에서 언급한 특징들 중에서 '증거와 설명의 조정'에 있다(Grandy & Duschl, 2007). 이런 의미에서, 학교 과학 탐구는 학생들에게 "과학적 증거와 설명을 생성하고 평가하는" 능력, 그리고 "과학적 실제와 담화에서 생산적으로 참여하는" 능력을 기를 수 있는 기회를 제공해야 한다(McNeill, 2011; Millar, 1998; NRC, 1996). 즉, 앞에서 살펴본 탐구의 다양한 특징 중에서 '증거와 설명의 연결 및 평가'(Grandy & Duschl, 2007) 그리고 '그 과정에서의 담화 및 논증'(Jimenez-Aleixandre & Erduran, 2008; Sampson *et al.*, 2011)이 핵심을 이루고 있으며, 과학 수업을 들여다볼 때 중요한 준거로 사용될 필요가

1) 질문 제기하기(posing questions), 질문 정교화하기(refining questions), 질문 평가하기(evaluating questions), 실험 계획하기(designing experiments), 실험 정교화하기(refining experiments), 실험 해석하기(interpreting experiments), 관찰하기(making observations), 자료 수집하기(collecting data), 자료 표상하기(representing data), 자료 분석하기(analyzing data), 자료를 가설/모델/이론과 연관시키기(relating data to hypotheses/models/theories), 가설 형성하기(formulating hypotheses), 이론 학습하기(learning theories), 모델 학습하기(learning models), 이론 정교화하기(refining theories), 모델 정교화하기(refining models), 대안 이론/모델과 자료를 비교하기(comparing alternative theories/models with data), 설명 증명하기(proving explanations), 모델과 이론에 찬/반하여 논쟁을 제공하기(giving arguments for/against models and theories), 대안 모델 비교하기(comparing alternative models), 예측하기(making predictions), 자료 기록하기(recording data), 자료 조직하기(organizing data), 자료 논의하기(discussing data), 이론/모델 논의하기(discussing theories/models), 이론/모델 설명하기(explaining theories/models), 자료에 대해 글쓰기(writing about data), 이론/모델에 대해 글쓰기(writing about theories/models), 자료에 대해 읽기(reading about data), 이론/모델에 대해 읽기(reading about theories/models)

있음을 의미한다. 이는 과학적 탐구에서 핵심인 과학적 추론으로서, '이론'과 '증거', 그리고 증거를 생성하기 위해 사용되는 '방법'의 변증법적 조정이 강조되어야 함을 의미한다(Garcia-Mila & Anderson, 2008; Kuhn & Franklin, 2006; Moshman, 1998). 여기서 '방법(methodologies)'은 전통적으로 과정 기능(즉, 이론을 확증 또는 검증할만한 증거를 생성하기 위한 실험 계획에 포함되는 과정) 혹은 추론 기능(즉, 결론을 이끌기 위해 여러 가지 증거의 원천과 유형들을 해석하고 평가하는데 포함된 과정, 그리고 자료에 대한 대안 설명을 고려하는데 포함된 과정) 둘 중의 하나에 초점이 맞춰져왔다(Zimmerman, 2000). 하지만, 이 두 기능은 지식 획득과 관련해서 동시에 중요하게 고려되어야 한다(Garcia-Mila & Anderson, 2008).

이상 살펴본 것처럼, 과학적 탐구의 본질은 일련의 확실한 과정을 거쳐 이루어진다기 보다는, 증거, 이론, 방법의 조정 과정으로서, 불확실성과 다중적 논증을 통한 자기발견적(heuristic) 추론의 과정이다(Driver *et al.*, 2000; Siegel, 1989). 이러한 관점으로, 우리는 학교 과학 탐구의 실제를 일상적 과학 수업으로부터 조명하고, 수업에 대한 경험적 증거들을 축적하고, 그 경험적 증거를 기반으로 교육적 논의를 전개해야 할 것이다. 학교 과학 수업은 과학 활동의 본질적 측면인 과학적 탐구 즉, 과학적 추론과 논증 활동을 활성화시키는 방향으로 이루어져야 할 것이다. 강의, 시범실험, 실험, 자료해석, 발표 및 질의응답, 과제연구, 창의적 체험활동 등 다양한 형태의 활동이 존재한다 하더라도, 그 활동은 본질적으로 탐구, 즉 추론과 논증 과정이 중심이 되어야 할 것이다. 따라서, 교사는 학생들의 탐구 활동을 촉진할 수 있는 수업을 운영하고, 학생들은 이론, 증거, 방법을 조정하는 탐구 활동에 능동적으로 참여할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 일상적인 학교 과학 수업에서 탐구의 특징들이 반영된 수업 장면에 대한 경험적 증거를 탐색하고 교육적 의미를 찾고자 한다. 이를 통해, 최적의 '학교 과학 탐구'의 특징이 어떻게 다양하게 이루어질 수 있는지를 모색하는 이론적이고 실제적인 토대를 제공할 수 있다. 본 연구의 내용은 "고등학교 과학 수업에서 나타나는 학교 과학 탐구의 특징은 어떠한지"를 사례분석을 통해 질적으로 탐색하는 것이다.

2. 연구 방법

본 연구는 질적 방법으로 수행되었다. 자연스런 수업 상황을 관찰하고 녹화하여 자료를 수집하였고, 필요한 경우 교사 및 학생과 면담을 실시하고, 수업 문서(수업계획서, 학생 활동지 등)를 수집하는 등 다양한 각도에서 자료를 수집하였고 이를 해석적으로 분석하였다.

(1) 연구의 맥락

본 연구는 2012년 '과학중점학교 지원 연구단'이 실시한 '수업관찰조사'로부터 이루어졌다. 과학중점학교의 수업관찰조사는 과학중점학교 지원 연구단이 수행한 과제 중 일환이었고, 과학 수업에서 이루어지는 탐구 활동의 사례를 발굴하는 것이 목적이었다. 이 논문에서는 과학중점고의 일상 수업에서 나타나는 학교 과학 탐구의 특징을 조명해 보는 것에 초점을 두고 있다.

연구진은 2012년 4월부터 6월까지 2개월에 걸쳐 13개 과학중점학교를 방문하여 수업을 관찰 및 녹화하였다. 이를 위해, 2011년 과학중점학교 운영 평가에서 상위(20위 이내)에 해당하는 학교에 일상적 수업 공개를 요청하였고, 연구진의 수업 관찰을 허용한 학교에 한해서 연구가 이루어졌다. 연구진은 일상적 수업 관찰을 원한다는 것 외에, 학교에 어떠한 요구사항도 하지 않았다. 따라서 총 13개 학교가 수업 관찰에 개방적인 태도를 보여주었고, 연구진은 총 15개 수업(18차시)[2]을 관찰 및 녹화하였다. 수업 관찰은 1학년 8개 수업, 2학년 6개 수업, 3학년 1개 수업으로 구성되었다. 수업 교과목별로 살펴보면, 공통과학 2개, 과제연구 1개(2차시), 5개 수업, 생물 2개, 지구과학 1개, 창의적 체험학습 2개, 화학실험 2개(각 2차시) 수업이었다.

본 연구진이 방문한 과학중점학교는 학기당 과학수업 8시간 이상 확대, 수학 및 4개 과학 과목별 교과교실 운영, 과학 · 수학 과목에 대한 심화교육 실시 등 일반교육과정을 확대하고 심화하여 운영하도록 되어 있었다. 그 일환으로 여러 가지 교과목이 규정 내에서

2) 15개 수업 중에서 3개 수업은 2차시 연속으로 진행되었다.

자율적으로 신설 및 운영되고 있었다. 예로, '과학교양'은 학생들에게 과학에 대한 주제를 다양하고 활동적으로 접근할 수 있는 기회를 제공하는 교과목이었다. 또한, 학교에 따라 '실험' 교과가 2차시로 집중 배치되어 운영되기도 하였다. 그 외에, '창의적 체험학습'이 교과로 운영되거나, 한 학기 단위의 '과제 연구'가 실시되었다. 이러한 특성 때문에 과학중점학교는 연구진에게 대학 입시로부터 좀 더 자유로운 교과를 공개하는 경향이 있었으며, 따라서 연구진은 학생 활동이 다양하게 드러나는 수업을 관찰할 수 있었다.

(2) 자료 수집

연구를 위한 주 자료원은 수업 관찰과 비디오 녹화물이었고, 부 자료원은 교사 및 학생과 면담 자료, 수업 지도안 및 학생 활동지 등의 문서 자료로 수집되었다. 우선, 연구자 2인이 전체 15개 수업(18차시)을 모두 관찰하고 비디오 녹화하였다. 수업은 다양하게 운영되었고 크게 세 가지로 나누어 볼 수 있으며, 이에 따라 녹화 방식도 효율적으로 이루어졌다. 첫째, 수업이 전체적으로 이루어지는 경우, 예를 들어, 교사가 중심이 되어 전체 학생과 담화를 전개한다거나, 혹은 소수의 학생들이 발표하고 질의응답을 하는 등의 수업은 학급 전체가 한 화면에 들어오도록 비디오를 고정시켜 녹화를 하였다. 또한, 동시에 녹화물의 소실 혹은 소음이나 잡음으로 인해 주된 담화 내용이 명확하지 않을 것을 대비하여 보이스 레코더를 교실 앞 탁자에 설치하여 전 담화 과정을 녹음하였다.

둘째, 교사가 전체적으로 수업을 운영하면서 소집단 및 전체 토론을 병행하는 경우에는 3개의 비디오 혹은 영상 녹화가 이루어졌다. 비디오 한 대를 고정시켜 전체 수업을 촬영하였고, 2개의 비디오 혹은 영상 녹화는 연구자가 목표 대상의 소집단으로 이동하여 토론을 집중 촬영하였다. 소집단 토론은 대체로 3명이 한 조로 이루어진 9개 소집단 혹은 4명이 한 조로 이루어진 8개 소집단으로 구성되어 이루어졌다. 따라서 2인의 수업 관찰자(연구진)이 각각 목표 소집단을 정하고 집중 관찰 및 녹화하였다. 이때 목표 소집단은 임의로 이루어졌다. 예를 들어, 토론이 방해되지 않는 범위 내에서 연구자의 접근성이 좋은 자리에 위치한 소집단을 목표로 하거나, 공간상 연구자가 이동하기 쉬운 자리에 위치한 소집단이 목표가 되었다. 소집단 토론이 이루어질 때 2인의 연구자가 각각 핸디캠 혹은 스마트폰의 영상 기능을 사용하여 2개의 목표 소집단을 집중 녹화하였다. 이와 동시에, 다른 집단의 담화가 혼합되어 잘 알아들을 수 없을 경우를 대비하여, 보이스 레코더를 사용하여 소집단 학생들 담화를 중복 녹음하였다.

마지막 수업 유형으로서, 교사(혹은 학생)가 학생들에게 실험 혹은 활동을 전체적으로 안내한 후, 교사가 소집단 실험 및 활동을 개별적으로 점검하고 개입하는 수업의 경우, 2개의 비디오 녹화가 이루어졌다. 하나는 고정된 비디오로 전체 촬영하는 것이고, 다른 하나는 핸디캠을 이용하여 교사의 이동을 따라다니며 교사와 소집단 학생들과의 상호작용 및 담화를 촬영하였다.

수업이 끝난 후 연구진은 교사 혹은 학생들과 간단한 면담을 하여 수업의 목표와 활동 과정에 대해 추가적인 정보를 확보하였다. 예를 들어, 교사에게는 수업의 목표, 준비 과정, 교육 경험, 학생들에 대한 이해 등에 관해 면담하였고 이는 모두 녹화 혹은 녹음되었다. 또한 학생 발표 및 활동이 주된 수업의 경우, 발표 혹은 실험 준비 과정, 교사의 도움 과정, 소집단 구성 학생과 협력 등에 관해 일부 학생과 면담하였고 이 또한 모두 녹화 혹은 녹음되었다. 그 외에도, 수업 지도안, 학생 활동지 등 문서 자료를 확보하여 보충자료로 활용하였다.

(3) 자료 분석

연구의 주 자료원인 수업 녹화물은 모두 전사되어 자료 분석에 사용되었다. 면담 녹화(혹은 녹음) 파일도 모두 전사되었고, 필요한 경우 수업의 맥락을 이해하기 위한 자료로 활용되었다. 자료 분석은 크게 3단계로 이루어졌다. 분석의 1단계에서는 전 수업을 관찰했던 1인의 연구자가 수업 녹화 영상물과 전사본 전체를 주도적으로 검토하였고, 검토한 사항에 대해 수업 관찰에 참여했던 또 다른 연구자와 논의를 통해 확인 절차를 밟았다. 연구자는 수업의 목표와 맥락, 그리고 수업 유형을 토대로 '만들기 활동'의 3개 수업(예, 작용반작용 법칙을 이용하여 멀리 가는 수레 만들기), '발표 및 토론'의 4개 수업(예, 빅뱅이론의 형성과정에 대한 연극 형식의 발표, 학생과 질의응답을 통한 교사의 정리), '실험 활동'의 2개 수업(예, 기체상태방정식을 이용한 이소프로판올의 분자량 측정), '과제 연구'의 1개 수업, '핸즈온 활동'의 2개 수업, '추론

중심' 1개 수업(예, 예측-관찰-설명(POE) 과제) 으로 구분하였다. 위의 초기 수업 분류는 매우 거친 수준으로 이루어졌으며, 다음 단계로 다양한 수업 유형 중에서 교사와 학생 혹은 학생들 간 상호작용이 활발하게 의미 형성을 중심으로 이루어지는지, 그리고 상호작용이 과학적 탐구의 차원에서 이루어지는지를 살펴보았다. 예를 들어, 수업 상호작용이 단발적인지 연속적인지를 살폈으며, 그 내용이 의미를 발달시키는지를 준거로 하였다. 또, 과학적 탐구의 차원에서 볼 때, 교사와 학생들이 단지 활동의 절차에 집중하는지, 혹은 증거를 얻기 위한 다양한 방법적 고려와 판단, 그리고 증거와 설명을 연결하는 과정에 집중하는지에 초점을 두고 탐색하였다. 이와 같이, 상호작용 및 탐구의 총체적 관점에서 불충분한 수업(1개 수업), 전형적인 수업(10개 수업), 전형적-충분한 수업(2개 수업), 충분한 수업(2개 수업)으로 대별하였다. 이 과정은 수업 관찰 및 전사 자료, 그리고 연구자가 메모한 내용을 종합하여 전체적으로 검토하면서 진행되었고, 분류되었다. 따라서 수업 관찰의 분석 관점과 자료 해석 준거에 따라 수업은 다르게 대별될 수 있음을 밝히며, 본 연구의 자료는 해당 분석 관점에서 검토되고 분석되었으므로 본 연구의 맥락에 제한된다는 것을 명시한다. 즉, 수업의 다른 측면을 준거로 한 분석이 이루어질 경우, 수업의 다른 특징이 조명될 것이며 따라서 다르게 범주화될 것이다. 또한, 이 연구가 수업을 평가하고자 한 것이 아니라, 탐구의 측면이 담화 과정으로부터 잘 드러난다고 판단되는 사례를 추출하고 기술하는데 있기 때문에, 수업의 범주화는 본 연구의 결과에 한해서 그 의미를 갖는다고 볼 수 있다.

1단계에서, 수업 유형와 수업의 탐구적 특징을 개략적으로 탐색한 것은 수업 사례의 맥락을 충분히 이해하기 위한 거시적 관점에 해당하였다. 그리고 수업 유형과 수업의 탐구적 특징의 연관성을 규정하는 것은 이 논문에서 중요하게 고려되지 않았다. 수업 유형이 같더라도 탐구의 특징 및 수준은 전혀 다르게 나타났기 때문이다. 또한 수업 유형이 다르더라도 동일한 탐구의 특징을 반영하고 있기도 하였다. 이에, 이 논문에서는 학교 과학 탐구의 특징을 잘 보여주는 수업 사례를 경험적으로 제공하기 위해, 다음 2단계로 세부적인 분석을 실시했다.

2단계 분석에서는, 1단계 분석 결과인 '전형적-충분한 수업 2개'와 '충분한 수업 2개'로 범주화된 4개 수업을 대상으로 구체적인 학교 과학 탐구의 특징들을 분석하였다. 이때는 보다 세부적 분석이 이루어졌는데, 우선 의미의 형성과 주제 전환에 따라 담화 단편(discourse segment)으로 구분한 후, 각 담화 단편에 대해 탐구의 인지적 과정(Chinn & Malhotra, 2002) 특징을 분석하고 해석하였다. Chinn & Malhotra(2002)는 '탐구의 인지적 과정' 틀을 개발하였는데, 그 틀에 따르면 탐구는 참 탐구(authentic inquiry)와 학교 과학 탐구의 3개 유형 즉, 단순 실험(simple experiment), 단순 관찰(simple observation), 단순 예증(simple illustration)으로 범주화되고, 각 범주에 따라 인지적 과정의 특징이 다르게 나타난다. 그들이 제시한 탐구의 인지적 과정은 '연구 질문 생성', '연구 계획하기', '관찰하기', '결과 설명하기', '이론 발달시키기', '연구 보고서 연구하기'의 6개 범주로 구성되어 있으며, 몇 개 범주는 다시 여러 하위 범주들을 포함한다. '연구 계획하기' 범주는 '변인 선택하기', '절차 계획하기', '변인 통제하기', '측정 계획하기'의 하위 범주를, '결과 설명하기' 범주는 '관찰 변환하기', '결함 찾기', '간접 추론', '추론 유형'의 하위 범주를, '이론 발달시키기' 범주는 '이론의 수준', '다중 연구로부터 결과를 조정하기'의 하위 범주를 포함하고 있다. 표 1은 이 틀 내용의 일부를 보여준다.

2단계 분석의 예를 들면 다음과 같다. 아래 〈담화의 예 1〉은 결과에서 제시된 수업 사례 2의 실험 장치를 고안하는 학생들 간의 담화 단편의 일부이다. 수업 사례 2는 초기에 9개의 담화 단편으로 나뉘었고, 담화 단편에서 초점 내용의 흐름이 탐구의 절차(예를 들면, MBL 조작법이나 기계적 장치) 보다는 특징(예를 들면, 변인 탐색 및 통제, 실험 장치와 원리의 연결, 실험 결과의 표상 방법과 의미 해석 등)을 반영하는 담화로 개수를 줄여가며 추려내었다. 이때 탐구의 특징은 표 1의 준거에 따라 해석되었다. 즉, 수업에서 드러난 탐구의 특징을 표 1을 토대로 분석하고 참 탐구, 단순 실험 등의 어떤 탐구 유형에 해당하는지를 규정하고자 한 것이 아니라, 표 1의 준거를 토대로 수업에서 나타난 탐구의 특징을 찾아 수업 활동의 의미를 해석하였다는 것을 의미한다. 예를 들어, 아래 〈담화의 예 2, 3, 4〉은 '연구 계획하기'의 하위 범주인 '변인 통제하기'에 대해 학생들은 실험의 목적에 맞게 즉, 문제를 해결하기 위해, 무엇이 통제되어야 하며 어떻게

표 1
참 탐구, 단순 실험, 단순 관찰, 단순 예증에서 인지적 과정(Chinn & Malhotra, 2002)

인지 과정	추론 과제 유형			
	참 탐구	단순 실험	단순 관찰	단순 예증
연구 질문 생성	과학자들은 자신의 연구 질문을 생성한다.	연구 질문은 학생에게 제공된다.	연구 질문은 학생에게 제공된다.	연구 질문은 학생에게 제공된다.
연구 계획하기				
1. 변인 선택하기	과학자들은 연구할 변인을 선택하고 심지어 창출한다. 가능한 변인들이 많다.	학생들은 제공된 한두 개의 변인들을 조사한다.	학생들은 처방된 특징을 관찰한다.	학생들은 제공된 변인을 사용한다.
2. 절차 계획하기	과학자들은 복잡한 절차를 창출해서 흥미있는 질문을 언급한다. 과학자들은 종종 유비 모델을 고안해서 연구 질문을 언급한다.	학생들은 간단한 지시에 따라 절차를 수행한다. 유비 모델은 때로 사용되지만, 학생들은 그 모델이 적절한지에 대해 반추하지 않는다.	학생들은 간단한 지시에 따라 무언가를 관찰한다. 유비 절차는 보통 사용되지 않는다.	학생들은 간단한 지시에 따라 절차를 수행한다. 유비 모델은 때로 사용되지만, 학생들은 그 모델이 적절한지에 대해 반추하지 않는다.
관찰하기	과학자들은 정교한 기술을 사용해서 관찰자 편견을 경계한다.	자와 같은 측정 도구가 사용된다 하더라도, 관찰자 편견은 명백하게 언급되지 않는다.	자와 같은 측정 도구가 사용된다 하더라도, 관찰자 편견은 명백하게 언급되지 않는다.	자와 같은 측정 도구가 사용된다 하더라도, 관찰자 편견은 명백하게 언급되지 않는다.
결과 설명하기				
1. 관찰 변환하기	관찰은 종종 다른 자료 형태로 반복적으로 변환된다.	관찰은, 아마 단순 그래프를 제외한, 다른 자료 형태로 거의 변환되지 않는다.	관찰은, 아마 그림그리기를 제외한 다른 자료 형태로 거의 변환되지 않는다.	관찰은, 아마 단순 그래프를 제외한, 다른 자료 형태로 거의 변환되지 않는다.
2. 결함 찾기	과학자들은 그들의 결과와 다른 사람의 결과가 옳은지 아니면 실험 결함의 부작용인지를 끊임없이 질	실험에서 결함은 거의 중요하지 않다.	실험에서 결함은 거의 중요하지 않다.	학생들이 기대한 결과를 얻지 않으면, 그들은 실험이 잘못되었다고 종종 가정한다.
이론 발달시키기				
1. 이론의 수준	과학자들은 관찰되지 않은 속성을 갖고 메카니즘을 가정하여 이론을 구성한다.	학생들은 보통 경험적 규칙성을 찾아내며, 이론적 메카니즘은 찾지 않는다.	학생들은 경험적 규칙성을 찾는다.	학생들은 이론적 메커니즘을 예증하는 실험을 하지만, 이론을 개발하거나 조사하지 않는다.
연구 보고서 연구하기	과학자들은 다른 연구자들의 연구 보고서를 여러 목적으로 연구한다.	학생들은 연구 보고서를 읽지 않는다.	학생들은 연구 보고서를 읽지 않는다.	학생들은 연구 보고서를 읽지 않는다.

배치해야 하는지를 결정하는 담화 과정을 보여주는 것으로 해석되었다. 교사가 학생들에게 변인을 알려주고 실험 장치를 고안하는 방법을 알려주는 것이 아니라, 아래 〈담화의 예 2, 3, 4〉에서는 학생들이 그들이 해결하고자 하는 문제(담화의 예 1)가 무엇인지를 계속 점검하고, 그 문제를 해결하기 위해 고려할 변인을 정하고 통제하는 장치를 고안하는 과정으로 나아가는 모습을 볼 수 있었기 때문이다. 이 일련의 담화의 경우, 변인 통제하기 과정에서 '참 탐구'의 모습을 반영하고 있는 것으로 범주화할 수도 있지만, 그렇게 범주화하는 것에 본 연구는 큰 의미를 부여하지 않았다. 연구 결과로 제시된 모든 수업 사례가 과학적 탐구의 전 측면에서 '참 탐구'이기 어려우며, 이 연구의 의의는 탐구의 특징을 보여주는 수업 사례를 통해 학교 과학 탐구의 실제를 논하는데 있기 때문이다. 이에, 어떤 수업 사례는 교사가 수업의 주제와 활동 도구를 모두 제공하여 '단순 실험'의 성격을 띠고 있지만, 교사와 학생들의 담화 과정이 실험에서 얻은 자료

(증거)를 이론과 연결시키는 측면에서 탐구의 특징을 담고 있는 것으로 해석되기도 하였다. 이처럼 담화 단편 분석은 탐구의 어떤 측면을 반영하고 있는가, 그것이 학교 과학 탐구의 실제에 대해 어떤 논의를 이끌어 낼 수 있는가라는 관점에서 수업 자료가 해석되었다.

〈담화의 예 1〉

학생 1: 초기 속도가 약간 그 초기속도가 약간 주어지면은 여기서 나가는 속도가 이런 식으로 있거든요. ... 이런 걸 이용해서 **자석 세기**와 이 **쇠구슬의 크기** 그리고 그런 **자성된 정도 이런 걸 측정해서 ... 그 마지막에 나가는 속도를 제어하는 거에요..** 자성체에서

〈담화의 예 2〉

학생 2 : 그니까, [구슬이] **느린 거 일수록 지나갈 때 속도가 느리니깐 빛이 더 많이 감지** 될 꺼 아니야 ?

학생 1: 어.. 여기하고 여기 거리를 재서

학생 2: 아니다 느리면 더 많이 감지되나? **아니다, 더 조금 감지되겠지 이게[구슬]이 천천히 지나가니깐 지나갈 때 [빛을] 가린다** 아이가?

학생 1: **어 가리지..**

학생 2: 근데 **시간을 측정하면 되지.**

학생 1: 근데, 약간 좀 더 그거, 좋은 받침대가 필요할 것 같다.

〈담화의 예 3〉

학생 3: 아 자석을 고정 시키면은 이게 거리가 다르잖아 이거하고 이거 사이가, **우리가 원하는 것은 이거(구슬의) 평균속도잖아.**

〈담화의 예 4〉

담당 교사 : 속도가 측정이 되나? 그래프 그려봐라

학생 2 : **이거 자체로 속도를 측정하는 게 아니고요.** 그러니깐 그 일정한 거리를 지나가는 시간이 있잖아요. 그러니깐 원래 빛이 비춰지는데 쇠구슬이 지나가면 쇠구슬이 빛을 막으니깐 ....

각 담화 단편이 탐구의 어떤 특징을 반영하는지의 분석을 토대로, 3단계에서는 4개의 수업에서 담화의 연속선상에서 탐구의 특징이 어떻게 흘러가는지를 분석하고 해석하였다. 예를 들어, 위의 〈담화의 예〉들이 포함된 수업은 학생들이 여러 가지 변인을 고려하여 실험 장치를 만들고 구슬의 속도를 측정해 보는 과정을 담고 있으며, 그 과정에서 실험 장치를 원리 및 이론과 연결시키는 것으로 해석되었다. 이에 따라, 이 수업사례는 '실험 계획 과정(변인탐색-절차계획-변인통제-측정계획)' 이라고 명명되었다. 이와 같은 방식으로, 4개 수업 사례가 담고 있는 탐구적 특징이 기술되고, 해석되고, 명명되었다.

연구 결과로 제시된 4개 수업 사례의 분석 및 해석 결과는 연구진이 상호 점검하여 타당도를 높였다. 결과 해석이 과도하지 않은지, 담화 증거가 충분한지 등에 대해 연구진들은 검토하고 교육적 의미를 제시하였다. 연구 결과에서 제시된 각 수업 담화 사례가 적절한지를 검토하였고, 그 담화 사례를 토대로 탐구의 특징을 명명하고 기술하고 해석하는 것이 타당한지를 점검했다. 또, 연구진은 독자가 되어 낯선 시선으로 연구 결과의 흐름에 따라 논리의 비약은 없는지, 자료 제시와 해석이 설득적인지를 검토했다. 연구진에 의해 검토된 논문은 최종적으로 연구에 참여한 교사들에게 분석 결과를 회람하여 검토하도록 하는 과정을 거쳤다.

3. 연구 결과

본 연구의 결과는 4개 수업 사례를 포함한다. 제시된 수업 사례의 공통적인 특징은 첫째, 교사와 학생, 그리고 학생들 간의 상호작용이 활발하게 이루어지며 둘째, 과학적 탐구의 특징이 수업에서 구현되는 장면을 담고 있다는 것이다. 반면, 각 수업 사례는 과학적 탐구의 전체적인 과정이 아니라, 특정 활동 맥락에서의 탐구의 측면을 담고 있다는 점에서 차별화된다. 또한 연구 결과로 제시된 각 수업 사례는 과학적 탐구의 특징을 명시적으로 잘 드러내주는 것으로 해석되었는데, 이는 본 연구에서 자료로 수집되었으나 연구 결과로 제시되지 못한 나머지 여러 수업들이 암묵적으로 혹은 단편적으로 담고 있는 일부 특징들을 대표한다고 볼 수 있다.

(1) 수업 사례 1. 변인 조절-실험 장치 개선

이 사례는 1학년 '과학교양' 수업으로서, 과학사속

의 과학적 이론과 그의 실험을 표현해보는 수업으로 2차시에 나누어 진행하는 방식이었다. 관찰된 수업은 2번째 차시인 실험의 표현시간으로 뉴턴의 '작용 반작용' 법칙을 이용하여 학생들의 '수레 만들기' 활동을 담고 있다. 교사는 수업 초기에 마찰력이 적은 얼음판 위에서 농구공을 던질 때 던지는 사람과 농구공의 관계를 예로 들면서 뉴턴의 작용 반작용 법칙을 설명하였다. 이에 덧붙여, 농구공과 볼링공을 동일한 속도로 던졌을 때 어느 공을 던진 사람이 더 빨리 뒤로 밀려나는지의 예를 들면서 운동량 보존 법칙을 설명하였다. 이처럼 교사는 수업 초기에 학생들이 활동할 실험의 원리를 뒷받침하는 혹은 실험의 방향을 제시할 이론을 제시하고 학생들이 만들어야 할 수레에 대해 실물화상기를 통해 실제 작동원리를 간략하게 설명하면서, 각 도구들의 역할(예, 빨대는 수레가 굴러가는 바퀴의 역할을 한다)에 대해 설명을 하였다.

이 수업의 활동은 작용 반작용의 법칙과 운동량 보존 법칙을 이용하여 수레를 가장 멀리 움직일 수 있도록 장치를 고안하는 것이다. 학생들은 4명이 한 조를 이루며, 수레, 실험에 필요한 고무줄, 압정, 실, 빨대 등을 제공받았다. 교사가 실험에 대한 이론과 장치에 대해 설명한 후 학생들이 조별로 활동하는 시간을 가졌다. 교사는 조별로 옮겨 다니면서 수레 장치가 완성되면 수레를 움직일 수 있게 실을 끊어주고 그 결과에 대해 간단한 평가와 조언을 하였다. 교사는 각 조의 활동이 어떻게 이루어지고 있는지, 학생들이 놓치고 있는 변인은 무엇인지 등에 관해 간단한 담화를 주고받았다.

본 연구에서 관찰된 조의 학생들은 4명이다. 다른 조의 학생들과 마찬가지로, 교사로부터 제공된 질문 '어떻게 하면 수레를 멀리 나가게 할 수 있을까?'를 해결하기 위해 제공된 도구들 (예, 수레, 고무줄, 압정, 실, 빨대)의 변인들을 고려하면서 장치를 만들어 가고 있었다. 학생들은 수레 장치를 만들어 실험해 보는 과정을 2회 되풀이 하면서 주어진 변인을 고려하는 활동을 수행하였다.

[수업 사례 1-발췌 1]은 학생들이 처음 수레 장치를 만드는 과정의 담화이다. 학생들은 수레의 앞과 뒤를 확인하고(1줄), 고무줄을 작동하기 위해 어디를 고정시켜야 할지 확인하고(2줄), 고무줄의 수와 작용하는 힘의 관계를 짚어보기도 하고(3줄), 지우개의 무게 혹은 위치와 빨대 배치에 대해 이야기하는 등(5, 8, 10, 14, 16줄) 다양한 변인을 고려하고 있었다.

[수업 사례 1-발췌 1]

1 학생4: 이거 여기가 [수레의] 앞이잖아

2 학생3: **[고무줄 장치] 이거 이렇게 하는 거 아닌데? 이거 [압정으로 고무줄] 한 개 여기다 꽂고 [압정으로 고무줄] 한 개 여기다 꽂는 거 아니야?**

3 학생4: 그게 아니라 **이거 [고무줄] 한 개 갖다가.. 이거 [고무줄] 두 개를 같이 당겨서 이렇게 하든가.. [고무줄] 한 개 갖다가 그냥...**

4 학생3: 아~아~ 실을 잘못 묶었네..

5 학생4: **근데 이거 [고무줄] 두 개를 해도 되나..**

6 학생3: 실 어떡하지?

7 학생2: 잘라~

8 학생3: 너무 세지 않아 이거?

〈중략〉

9 학생2: 지우개로 하게?

10 학생3: 음.. **[지우개 위치를] 가로로 할까?**

11 학생1: 날아가려나?

〈중략〉

12 학생3: 한 개만 냅둘까 여기?

그림 1 *수레 만들기*

13 학생2: 한 번 해보자.
14 학생1: **[빨대 배치 보며] 근데 이게 뒤로 밀리니까 뒤에다가 하나 해야 돼.**
15 학생 2,3 : 음...
16 학생2: **...지우개 말고 딴 거 없나?**

교사가 학생들이 만든 첫 번째 수레의 실을 토치의 불로 끊어줬을 때, 투사될 물체(지우개)는 약간 위로 붕 뜨면서 책상 위로 떨어졌고, 수레는 제자리에서 이동을 하지 않았다. 이 현상을 보고 교사는 '지우개가 위쪽 방향이 아닌 직선으로 날아갈 수 있도록' 생각해 보라고 언급했고, 학생들은 그 현상의 변인을 '지우개를 가로로 넓게/좁게 배치' 하는 것과 '고무줄을 바닥에서 약간 뜨게 장치' 하는 것에 집중하여 논의했다. 그 외에, 앞에서도 언급되었던 '고무줄의 수를 줄이는 것' 에 대한 변인도 재 언급되었지만 다른 학생들은 고무줄의 수가 많아야 지우개를 밀어내는 힘이 크다는 것을 근거로 고무줄의 수를 한 개로 줄이는 것에 제안은 받아들여지지 않았다.

이런 논의를 토대로, 학생들은 두 번째로 수레 장치를 만들었다. 이 수레 장치를 실험했을 때, 학생들과 교사는 지우개가 수레보다 더 멀리 날아갔음을 관찰했다(17줄). 이 결과에 관하여 교사는 지우개의 속도가 너무 빨랐음을 지적했고(18줄), 학생들은 순간적으로 지우개를 더 무겁게 해야 한다고 인지하는 듯 했다(19줄). 교사는 학생들에게 지우개 변인을 고려할 것을 질문형으로 제안했고(20줄), 무거운 지우개를 선택하려는 학생들에게(21줄) 지우개를 두 개 사용하는 것도 가능하다는 제스처(22줄)를 취하였다. 학생들은 교사의 지우개를 두 개 사용하는 것에 대한 제안을 즉각 받아들였는데, 이는 학생들이 지우개의 무게가 중요한 변인이라는 인지와 잘 맞아떨어졌던 것으로 해석된다. 학생들의 "아... 좀 더... 무겁게..."(19줄)와 처음에 장치했던 조금 더 큰 지우개를 들고 "다시 이걸로"(21줄)라는 담화 내용이 이와 관련된다. 아래 [발췌 2]는 첫 실험 결과를 분석하며 변인을 조절하고자 하는 교사와 학생의 담화를 보여준다.

[수업 사례 1-발췌 2]
17 교사: [수레의 실을 토치의 불로 끊어줌] **얘가[지우개] 더 멀리 갔어요. 쟤[수레]가 더 멀리 가야 되잖아.**
〈중략〉
18 교사: 아이디어는 좋았어. 근데 **얘[지우개] 속도가 너무 빨랐죠.**
19 학생4: **아... 좀 더... 무겁게...**
20 교사: **얘[지우개] 한테는 변인이 없을까요?**
21 학생2: 이거요 이거 다시 이걸로 **[처음에 실험했던 조금 더 큰 지우개]**
22 교사: **아니면 얘네가. [지우개 두 개를 한꺼번에 겹쳐서 들어 보임]**
23 학생4: 아~~

실험 장치를 마무리할 시간은 거의 다가왔고, 학생들은 2회의 시행착오를 통해 변인들을 더 세심하게 조절하기 시작했다. 지우개 두 개와 또 다른 지우개를 양손에 각각 올려놓고 무게를 비교하고(24-26줄), 빨대의 배치 거리 등을 조절(27-31줄)하였다. 앞의 실험 장치에서 성공한 요인과 실패한 요인이 담화에서 명확하게 드러나고 정리되지는 않았지만 학생들은 각 변인들을 조절하는 방향에 대해 합의하고 있음을 알 수 있다. [발췌 3]은 이 과정의 담화 내용을 담고 있다.

[수업 사례 1-발췌 3]
24 학생4: **이거[지우개 두 개] 얼마나 돼? 무게가 얼마나 돼? 이게 더 무거운가?**
25 학생3: **[다른 지우개] 이거 하나로 해보자.**
26 학생2: **이거[다른 지우개] 되게 가벼워 이거. 저거[지우개 두 개] 하나보다도 가볍다.**
〈중략〉
27 학생4: **빨대는 어떻게 해야 되지?**
〈중략〉
28 학생4: **빨대를 넓게 해서.....**
29 학생1: **아 넓게 하면 안 되는데.**
30 학생3: **너무 넓은가?**
31 학생들: **[빨대를 나열하고] 이거 될 거 같아. [빨대 위에 수레를 올려놓고 굴려본다] 된다.**

이후 학생들의 실험 장치는 매우 성공적이었다. 고무줄을 바닥에서 약간 뜨게 장치하고 지우개 두 개를 실로 묶어서 무게를 늘린 후 빨대의 배치를 적절하게 조절한 결과, 고무줄을 고정시켰던 실을 끊었을 때 지우개는 앞으로 상당히 멀리 나아갔고 수레는 뒤로 멀리 밀려나갔다. 실험 장치의 성공 여부는 학생들이 변

인들을 얼마나 잘 고려했는가에 따른다고 볼 때, 학생들은 실험에 영향을 미치는 변인들 자체와 변인들 간의 관계를 조절하는 데 초점을 두고 활동을 진행했다고 볼 수 있다. 이는 담화에서 명시적으로 표현되지 않았으므로 명백한 증거를 제시할 수 없다는 해석상의 한계를 지닌다. 활동 과정에서 학생들이 변인들을 조절하는 과정에서 작동하는 추론이 명시적인 담화 내용으로 드러나지 않음에도 불구하고, 몇 가지 점에서 탐구의 의미와 한계를 찾아볼 수 있다.

첫째, 학생들은 이 활동의 목적 즉, 탐구질문과 실험 장치에 필요한 도구들, 그리고 활동의 토대가 되는 법칙들을 교사로부터 제공받았다. 학생들에게 열려져 있었던 탐구적 측면은 변인들을 조절하는 것에 있었다. 즉, 변인들로는 고무줄의 수, 지우개의 무게, 빨대의 배치 등이 고려되었고, 변인들 간의 관계로는 고무줄과 지우개의 배치, 고무줄의 높이, 지우개를 끼우는 방식, 빨대 위의 수레의 위치 등 여러 가지가 조절되어야 했다. 학교 과학에서는 질문을 만들고, 증거를 수집하고, 설명을 만들어내고, 그 설명을 다른 지식으로 평가 검토하고, 의사소통을 통해 설명을 확립해 가는 과정을 학생 스스로 실행하는 '충분한 탐구'(full inquiry)의 여건을 충족하기 쉽지 않다. 그럴 경우, 특정 맥락에서 학생들이 탐구 활동을 할 수 있는 상황을 만들어줄 필요가 있다. 이 실험 상황에서 학생들은 목표와 도구를 제공받았지만, 다양한 변인들을 고려하고 조절하는 탐구를 수행할 수 있는 기회를 가졌다고 볼 수 있다.

둘째, 이 활동에서 학생들은 변인의 조절에만 집중한 나머지, 변인들이 교사가 수업 초반에 설명했던 '작용 반작용의 법칙'이나 '운동량 보존의 법칙'과 어떤 연관이 있는지에 대해서는 깊이 논의하지 않았다. 즉, 변인들을 찾고 변인들의 관계를 조절하는 측면은 활동이 거듭될수록 정교화되어 결과를 성공적으로 이끄는데 영향을 미쳤다. 반면, 탐구의 중요한 측면인 변인들이 실험 과정에서 어떤 의미를 갖는지에 대한 담화는 찾아보기 어려웠다는 점은 활동의 한계로 남는다. 이는 전 차시에서 관련 이론을 먼저 다루었기 때문에 본 차시에서는 활동 위주로 진행된 것이 자연스런 현상일 수도 있지만, 이론과 실험 증거의 연관에 대한 담화 과정이 활성화되었더라면 과학 탐구의 중요한 측면이 잘 구현되었을 것으로 보인다.

(2) 수업 사례 2. 실험 계획 과정(변인 탐색-절차 계획-변인 통제-측정 계획)

이 활동은 '과제연구'에서 수행된 것으로, 2학년 과학중점인 전문교과에 해당된다. 연구진이 관찰한 과제연구 활동은 학생들이 물리실, 화학실, 생물실, 지구과학실에서 서너 명이 한 조가 되어 다양한 실험을 수행하고 있었다. 한 명의 교사가 2~3개 조의 학생들을 전담하여 지도하고 있으며, 수업시간에는 물리, 화학, 생물, 지구과학 교사들이 해당 교과의 활동을 수행하는 학생들을 지도하고 있었다. 학생들은 과제연구 활동 중 자유롭게 교사에게 도움을 요청할 수 있었다.

관찰된 과제연구 활동은 초기 속도가 주어진 쇠구슬이 자기력의 상호작용으로 다양한 구슬(쇠구슬, 유리구슬 등)의 탈출속도를 제어하고자 하는 목표를 갖고 있었다(1-2줄). 즉, 자석의 세기, 쇠구슬의 크기, 자성된 정도 등의 다양한 변인들을 고려하고 측정해서 구슬의 탈출 속도를 제어하는 것이었다. 촬영된 내용은 활동의 초기 단계로서 실험에 필요한 변인들을

그림 2 *과제연구 활동*

고려하고 목표 달성을 위해 실험을 계획(5-7줄)함으로써, 3명의 학생들이 협력하여 실험 장치를 고안하는 과정을 담고 있다. [수업 사례 2-발췌 1]은 과제연구 활동의 목표에 대해 학생들과 실험 전에 한 면담의 일부로, 학생들은 과제연구의 목표와 그 목표를 달성하기 위한 과정으로 당시 활동이 어떻게 진행될 것인지에 대한 설명을 포함한다.

[수업 사례 2-발췌 1]

1 학생 1: 초기 속도가 약간 그 초기속도가 약간 주어지면은 여기서 나가는 속도가 이런식으로 있거든요. ... 이런걸 이용해서 **자석 세기**와 이 **쇠구슬의 크기** 그리고 그런 **자성된 정도 이런 걸 측정해서 ... 그 마지막에 나가는 속도를 제어하는 거에요..** 자성체에서

2 연구자 :네

3 학생 1: 그리고 또 다른 **자성체 말고도 이런 반자성체 같은 상자성체 같은 것을 ... 해가지고 속도를 크게 하거나 그런 것들은 연구하고 있어요.**

4 연구자 : 오늘은 뭐 할 거예요?

5 학생 1: **오늘은 이걸로 해서 좀 더 섬세하게 속도를 측정할거에요.**

〈중략〉

6 학생 2: ... 어쨌든 변인이 많기 때문에 통제하는 방법이나 그런 게 중요해..

7 학생 1: **지금은 실험초기에 가까운 거라서 변인에 통제하는 거에 대해서 초점을 맞추고 있어요.**

학생들은 활동 중에 여러 가지 변인을 고려하여 실험 장치를 만들고 구슬의 속도를 측정해 보는데 대부분의 시간을 할애했다. [수업 사례 2-발췌 2]는 학생들이 실험 설계를 그림으로 그리고 실험을 위한 장치를 만드는 과정에서 나눈 담화이다. 학생들은 실험에서 얻어야 하는 측정값 및 실험도구의 기능과 (단순한 사용법이 아니라 원리를 적용한) 사용에 대해 논하였고, 도구를 적절히 배치하여 실험 장치를 만들어 보고 있었다. 학생들의 담화 내용 중, "이런 걸 어떻게 하지?"(8줄), "빛이 감지된 시간으로 측정하는 거지"(10줄), "오래 동안 감지되었으면 속도가 느린 거잖아"(12줄)의 흐름은 실험 도구를 어떻게 배치하여 결과를 얻을 수 있는가와 연관되어 있었다. 마찬가지로, 이어지는 담화 내용도 실험 장치를 만드는 과정에서 실험 도구의 역할을 이론적으로 점검하는 모습을 담고 있다. 즉, "어떤 구간에 빛을 비춰줘야 하고"(15줄), "애초에 비춰지고 있는 상태에서 쇠구슬이 지나갈 때면.. 쇠구슬이 지나가면은 빛이 끊긴다"(18줄)는 예상으로부터, "빛이 끊긴 시간을 측정"(20-21줄)하는 내용의 담화가 이루어지고 있었다. 이때 빛의 감지와 속도의 관계에 대해서는 이어지는 담화에서 수정되는데, 빛의 감지 시간이 길수록 구슬의 속도가 느리다는 추론(12, 22줄)에서, 구슬의 속도가 느릴수록 빛을 가리는 시간이 길어 감지 시간이 짧다는 추론(24줄)으로 변화한 것이다. 이 담화에서 학생들이 검토하고자 하는 것은 쇠구슬이 지나갈 때 빛의 차단 시간을 측정함으로써 쇠구슬의 속력을 측정할 수 있는지에 관한 것이었다. 이 가능성은 학생들에게 암묵적으로 합의되었고, 이 합의를 토대로 학생들은 빛이 차단된 시간을 측정하기 위한 실험 장치를 만들고 구슬을 굴려보는 시도를 하는 것으로 해석된다.

[수업 사례 2-발췌 2]

8 학생 2: **이런 걸 어떻게 하지?** 시간에 따라서 조도의 감지로 측정할까?

9 학생 1: 아니 그거 안 된다, 하기 매우 힘들 껄? 그렇게 하기는....

10 학생 3: 근데 조도자체가 시간을 측정하는 게 아니라 빛의 세기로.. 그러니깐 **빛이 감지된 시간으로 측정하는 거지 ...** 얼마나 오랫동안 감지되었나

11 학생 1: 얼마나 오랫동안?

12 학생 2: **오랫동안 감지되었으면 속도가 느린 거잖아**

〈중략〉

13 학생 1: [그림 그리는 중] 자 이렇게 있다, **여기서 어떻게 재서 해야 된다는 건데?**

14 학생 2: 그러게 ?

15 학생 1: 그런데 **감지된 시간에서 한다면 어떤 구간에만 빛을 비춰 줘야 된다** 아니가?

16 학생 2: 어 그렇지?

17 학생 1: 그러면 **어떤 식으로 그릴 건데?**

〈중략〉

18 학생 2: **그러면은 애초에 비춰지고 있는 상태에**

서 쇠구슬이 지나갈 때면.. 쇠구슬이 지나가면은 빛이 끊긴다 아이가?

19 학생 1: 응

20 학생 2: **그러면 빛이 끊긴 시간을 측정...아 아니다**

21 학생 1: **그럴까? 그래도 될 것 같기는 한데**

〈중략〉

22 학생 2 : 그니까, [구슬이] **느린 거 일수록 지나갈 때 속도가 느리니깐 빛이 더 많이 감지** 될 꺼 아니야 ?

23 학생 1: 어.. 여기하고 여기 거리를 재서

24 학생 2: 아니다 느리면 더 많이 감지되나? **아니다, 더 조금 감지되겠지 이게[구슬]이 천천히 지나가니깐 지나갈 때 [빛을] 가린다** 아이가?

25 학생 1: **어 가리지..**

26 학생 2: 근데 **시간을 측정하면 되지.**

27 학생 1: 근데, 약간 좀 더 그거, 좋은 받침대가 필요할 것 같다.

학생들은 출발 구슬을 어디에서(레일 중간 혹은 끝) 출발시킬 것인가, 자석과 탈출 구슬을 어디에 위치할 것인가(레일 중간 혹은 끝), 그리고 빛을 비추는 역할을 하는 레이저를 어디에 어떻게 고정시킬 것인가에 관한 담화를 오랫동안 이어갔다. 우선, 학생들은 출발 구슬, 자석과 탈출 구슬, 레이저의 위치를 실험의 편리성을 위해 잠정적으로 고정시켰다. 다음으로, 실험을 통해 그들이 이론적으로 계산 가능한 '속도'를 알기 위해 실험에서 각 변인들의 측정이 가능한지를 탐색했다.

이어, 학생들은 실험 결과를 얻기 위해 물체의 위치를 변화시켜 가며 실험 장치의 기본 골격을 만든 후, 출발 구슬을 굴려 자석에 붙어있던 탈출 구슬이 튕겨나가는 실험을 반복하고, 그때 빛이 끊기는 시간을 반복적으로 측정하였다. 이 과정에서 과제 연구 담당 교사는 "그래프 그려봐라"(28줄)라고 담화에 개입하였다. 이는 학생들에게 실험 장치를 연결시켜 MBL로 얻어낸 데이터를 어떻게 변환하고 가시화하여 시간을 계산해낼 것인가에 대한 스캐폴딩을 제공한 것으로 볼 수 있다. 학생 2는 속도가 측정되는지를 기계가 알려주는 것이 아니라, 쇠구슬의 움직임과 빛의 관계, 이때 거리와 시간의 관계로 계산되는 것임을 교사에게 설명하였다(29줄). 이에, 교사는 손으로 그래프 모양을 그리며 "탁 튀는 시간이 있을 거 아니가, 툭 떨어지는 시간이 있잖아"(30줄)라고 말했고, 학생은 "아 맞아, 그거 그래프로 그리면 되요."(31줄)라고 곧바로 이해했다. 이에 관한 담화 내용은 [수업 사례 2-발췌 3]에 해당한다.

[수업 사례 2-발췌 3]

28 교사: **속도가 측정이 되나? 그래프 그려봐라.**

29 학생 2: **이거 자체로 속도를 측정하는 게 아니고요 .. 그러니깐 그 일정한 거리를 지나가는 시간이 있잖아요. 그러니깐 원래 빛이 비춰지는데 쇠구슬이 지나가면 쇠구슬이 빛을 막으니깐 조도센서에 빛이 안 비춰질 거 아니에요.**

30 교사: **그래서 탁 튀는 시간이 있을 거 아니가, 툭 떨어지는 시간이 있잖아.**

31 학생 2: **아 맞아.. 그거 그래프로 그리면 되요.**

32 교사: **그렇게 해서 그 시간 텀을 재야지 ...**

33 학생 2: **그 시간 텀을 재서 속력을.. 거리로 나누면 되잖아요.**

34 교사: **그래서 여기에 걸리는 시간을 첫 번째는 얼마고 두 번째는 얼마고 그래서 그래프를 읽어야지.**

35 학생 2: 근데 이거 생각보다 많이 줄였는데 시간을 ...측정이 너무 힘드네요

이후 학생들은 실험 장치에 새로운 생각을 덧붙이기도 하고(예, 탈출구슬로 유리구슬과 쇠구슬을 사용하여 속도 비교하기, 탈출 구슬이 떨어진 거리를 알기 위해서 먹지 사용하기) 앞에서 했던 방법을 변형시키기도 하는(예, 출발 구슬을 높은 레일에서 굴리기) 등의 다양한 방법으로 실험을 수행했다. 이 외에도 빛이 감지되지 않는 시간을 어떻게 측정할 것인가에 대한 기준을 정하는 담화와 컴퓨터 조작과 측정치 이해를 위한 담화도 충분히 이루어졌다.

이 탐구 사례는 한 학기 동안 진행되는 과제연구의 초기 수업 사례로, 학생들이 주체가 되어 과제 목표, 실험 계획, 실험 수행, 결과 도출, 보고서 작성 등의 일련의 과정을 수행하는 모습의 일부를 담고 있다. 과제연구의 형식은 탐구의 모든 특징을 포함할 것으로 예상되지만, 실제로 과제연구가 충분히 탐구적인지는 2시간의 과제연구 과정을 지켜보는 것만으로는 확인

할 수 없다. 그러나 관찰된 과제 연구는 몇 가지 면에서 탐구 본질의 측면을 반영한다고 볼 수 있다.

첫째, 살펴본 학생들의 실험 과정의 절차는 교사로부터 혹은 교재로부터 제공된 것이 아니었다. 학생들은 실험 장치를 고안하기 위해 고려해야 할 점을 스스로 생각해내고 해결하려고 하였다. 그렇다고 학생들은 이렇게 해볼까 저렇게 해볼까를 아무 기준 없이 시도했다고 보기 어렵다. 그들의 시도에는 명확한 근거가 존재하지 않고 불확실성이 잠재되어 있지만, 이론적 근거가 희미하게나마 연결되어 있었다. 예를 들어, "그러면 빛이 끊긴 시간을 측정... 아 아니다"라는 한 학생의 담화를 받아, 다른 학생들은 빛이 끊긴 시간을 속도와 잠재적으로 연결시켜, "그럴까? 그래도 될 것 같기는 한데", "그니깐 이렇게 .. 함 봐바"라는 담화로 연결시켰고, 실험 장치를 고안하게 된 것이다.

둘째, 실험 장치를 고안하기 위해 다양한 변인을 고려하는 과정에서 학생들은 실험의 목적을 반추하여 그 토대 위에서 서로 의견을 교환하였다. 의견 교환의 초점은 실험 장치 고안에 중요한 변인들을 선택하는 것에 있었고, 변인 선택이 실험 목적에 적절한가에 있었다. 학생들은 구슬의 탈출 속도를 제어하는 것을 실험의 목표로 잡았고, 따라서 탈출하는 구슬의 속도를 알아내기 위해 거리(어디부터 어디까지로 정할 것인가)나 빛이 감지되지 않는 시간에 대해 논의하는 데에 대부분의 시간을 할애했다. 그 외에 실험 전 면담에서 변인으로 언급되었던 자석 세기, 쇠구슬의 크기, 구슬의 재료 등에 관한 변인은 실험 결과를 얻기 위한 장치를 고안하는 단계에서는 다루어지지 않았다.

위의 두 가지 측면이 탐구의 본질을 반영한다고 볼 수 있는 이유는 교사나 교재로부터 제공된 변인만을 고려하여 실험 장치를 완성하는 과정이 아니라 학생들이 실험 목적에 맞게 스스로 변인을 찾고 실험 장치 고안에 적용한다는 점에 있다. 학교 과학에서 비판받는 탐구 활동의 한 가지 형태가 수업 목표가 되는 과학 개념, 법칙, 혹은 이론을 증명하는 방법으로, 하나의 독립변인과 하나의 종속변인을 제공하여 그 관계를 확인하는 실험을 수행하는 활동을 하게 하는 것이다. 이와 달리, 이 과제 연구에서 학생들은 실험에서 고려해야 하는 변인을 실험의 목표 및 실험 도구의 기능과 연관해서 검토함으로써, 증거-이론-방법의 조정을 고려한 탐구의 특징을 반영한다고 해석해 볼 수 있다.

(3) 수업 사례 3. (관찰)증거-설명 변환 과정

이 활동은 2학년 '화학실험' 수업의 일부로 2시간 연속으로 진행되었다. 이 활동은 '액체 질소를 이용한 나만의 실험구상'으로 구성되었다. 실험을 시작하기 전에 미리 실험을 준비한 2명의 학생들이 '실험 진행' 학생들이 되어 다른 학생들에게 실험의 목표, 내용, 방법, 주의 사항 등을 설명하였다. 실험 내용은 총 5개로서, 액체 질소를 이용하여 '풍선 찌그러뜨리기', '장미꽃 얼리기', '홈런볼 얼리기', '액체 산소 만들기 (음료수에 액체 질소 붓기, 빈 음료수 캔에 액체질소를 넣고 관찰하기)'로 구성되어 있었다. 실험 진행 학생들은 각 조의 학생들에게 액체 질소를 덜어주고, 실험 팁과 관찰 지점을 알려주고, 실험을 도와주고, 실험이 끝난 후 내용을 개념적으로 정리 발표하는 등의 진행을 전반적으로 주도하였다. 진행 학생들은 실험 과정을 모두 숙지하고 활동에 매우 익숙하고 관련 개념과 지식을 사전에 학습한 듯 보였다. 이들은 활동 목표와 계획, 실험 활동 선정, 예비 실험 등을 거치면서 중간 중간에 교사의 지도와 점검을 받았다고 하였다. 액체 질소를 다루는 것은 세심한 주의가 필요한데, 진행 학생들이 익숙하게 활동을 리드하게 되려면 교사가 사전 준비 단계를 체크하고 점검하는 과정이 필수적이기 때문이다. 교사는 학생들이 활동하는 도중에 각 조의 실험 과정을 체크하고 관찰 내용 및 원인을 질문하여 학생들과의 담화를 촉발하는 등 매우 활발한 상호작용을 가졌다.

학생들은 활동 1이 끝나면 활동 2로 넘어가는 식으로 5개 활동을 연속적으로 수행했다. 교사는 각 조의 실험 결과가 잘 되는지를 확인하고 왜 이런 결과가 나오게 되었는지를 학생들에게 질문하는 방식으로 학생들과 담화를 이어갔다. 이 실험 활동의 특징은 탐구의 중요한 측면인 '관찰하기-결과 설명하기'를 보여준다.

[수업 사례 3-발췌 1]은 실험 1의 '풍선 찌그러뜨리기' 과정에서 교사와 학생들의 담화 중 일부이다. '풍선 찌그러뜨리기' 실험은 바람 넣은 풍선을 액체 질소가 담긴 용기에 넣었다가 상온으로 꺼내어 보는 것이다. 학생들은 풍선이 액체 질소에 들어갔다 나왔을 때 부피가 줄어드는 현상을 관찰하고 다시 상온에서 일정시간이 지나면 풍선의 부피가 커지는 것을 관찰하게 된다. 이러한 현상이 발생하는 이유에 대해 교사는 학생들과 질문과 대답을 통해 '샤를의 법칙'과 연결시키는 담화를 전개하였다.

그림 3 *액체질소를 이용한 화학실험*

교사는 학생들의 일상적 용어를 과학적 용어로 변환할 수 있도록 도와주었다. 예를 들어, "찌그러지네"(2줄)라는 학생들의 용어에 대해, "이 말을 과학적으로 하면?"(3줄)으로 질문하여 "수축"(4줄)이라는 용어를 이끌어내고, "수축하다는 어떤 물리량이 감소하는 것인지"(5줄)를 질문함으로써 "부피"(6줄)라는 용어를 학생들로부터 이끌어냈다. 이에 연결하여, 교사는 풍선이 찌그러진 것을 "기체의 부피가 감소하네"로 표현하고, 그 이유를 학생들에게 물었다(7줄). 학생들은 여전히 "추워서"(8줄)라는 일상적 용어로 표현했고, 교사는 "냉각"(11줄)이라는 용어로 변환하여 설명을 연결하였다. 이 담화는 교사 주도적으로 진행되었다. 교사는 최종적으로 풍선이 액체질소에 의해 부피 변화를 보인 현상에 대해 "샤를의 법칙"을 적용하여 이 현상을 이론적으로 설명하였다(13-19줄).

[수업 사례 3-발췌 1]

1 교사: 여기 한번 볼까? 1번 결과 한번 볼까? 결과 뭐라고 적어야 돼? 핀셋으로...[풍선을 액체질소 통에] 집어넣었더니
2 학생들: **찌그러지네. 찌그러진다**
3 교사: 이 말을 좀 더 예쁘게 하면, **과학적으로 하면.**
4 학생1: **수축**
5 교사: **수축하다!!어!!어떤 물리량이 감소한다고 하면 됩니까?**
6 학생2,3: **부피!!**
7 교사: 그렇지 부피가, **기체의 부피가 감소하네** 감소했네!! 자 **왜 그럼 감소했나 부피가**
8 학생3: **추워서**
9 교사: 추워서. 얘[액체질소]가 되게 추운 애죠. 그렇죠? 지금 온도가 몇 도 짜립니까?
10 학생들: **-196**
11 교사: 그렇죠. **-196** 액체[질소]에다가 공기가 들어있는 애[풍선]를 넣으니까 냉각되는 거죠. 그치? [특정 학생 이름을 부르며] ***?
12 학생3(***): 네!!
13 교사: **온도가 낮아지면 부피가** 어떻게 됩니까?
14 학생3(***): **줄어들어요.**
15 교사: 줄어들죠. **온도가 올가가면 부피는**
16 학생들: **늘어나요.**
17 교사: 고...런 현상을? **일반적으로 어떤 법칙이라고 얘기하지?**
18 학생3: **샤를!**
19 교사: 샤를의 법칙이라고 얘기하죠. **샤를의 법칙에 의해서 부피가 온도가 따라서 변화하는 거지.** 자 요거를 1번에다 적어야 되는 거지. 풍선을 넣었더니 찌그러졌다, 상온상태에 놨더니 온도가 올라가면서 팽창했다. 이게 샤를의 법칙 알아보는 실험이네.

[수업 사례 3-발췌 2]는 교사가 학생들에게 관찰 현상을 과학적으로 해석하게 하는 사고를 촉진하는 담화의 일부이다. 실험 3인 '홈런볼 얼리기' 는 과자 홈런볼을 액체 질소에 담갔다 뺀 다음 입에 넣고 코로 숨을 내쉬어 보는 활동이다. 교사는 한창 실험을 하고 있는 학생들에게 언 홈런볼을 입에 넣고 코로 숨을 내쉴 때 어떤 현상이 나타나는지를 살펴보고 그 이유에 대해 생각해보도록 요구했다. 학생들은 코로 나오는 하얀 연기 같은 것을 '김' 이라고 표현했고(23줄) 그 실체를 '질소' 로 추측(25줄)하면서 담화가 시작되었

다. 교사는 '기체'가 눈에 보이는지 아닌지를 학생들에게 물었고(26줄), 눈에 보이는 '김'이 기체가 아니기 때문에(27, 32줄), 학생들은 액체라고 인식하였으나 '수증기'(33줄) 혹은 '드라이아이스'나 '이산화탄소'일 것으로 추측하였다(39, 41줄). 이처럼 학생들이 김에 대하여 질소, 수증기, 드라이아이스, 이산화탄소 등의 다양한 기체를 언급하는 이유는 눈에 보이지 않는 '기체' 개념에 대한 이해가 쉽지 않다는 것을 방증한다고 볼 수 있다. 과학적 의미에서의 '기체'는 눈에 보이지 않기 때문에 개념적으로 범주화하고 추상적으로 사고해야 한다. 즉, 기체의 성질(눈에 보이지 않음, 냄새와 색 없음 등)과 행동(고체와 액체에 비해 입자 간 거리가 멈) 측면에서 다른 물리적 상태와 구별되어야 하는 것이다. 그러나 학생들은 기체가 '멀리 자유롭게 움직인다'는 행동 하나만을 적용시켜, 일상에서 흔히 볼 수 있는 김, 연기 등을 복잡한 과학적 사고 과정을 거치지 않고 단순히 기체라고 여기는 것일 수 있다. 교사는 기체의 성질에 대해 학생들과의 끊임없는 이야기를 통해 점검하였지만(42-49줄), 학생들의 코에서 나온 것이 어떤 물질인지, 그리고 그 물질이 어떤 상태인지 마무리되지 않았다. 즉, 담화 말미에 H_2O가 학생들로부터 언급되었지만(51줄) 물리적 상태는 설명되지 않았으며, 교사는 잘 생각해 보라(52줄)는 말을 남기고 다른 조로 자리를 옮겼기 때문이다. 이 담화는 실험 결과를 일상적 용어 그리고 그에 해당하는 과학적 용어와 연결하는 과정을 담고 있다. 그러나 현상 중심의 일상적 용어와 달리, 과학적 용어는 추상화된 의미를 담고 있기 때문에 다루기 쉽지 않다. 담화에서 볼 수 있듯이, 기체는 눈에 보이지 않는 것이지만 일상에서는 김을 기체로 인식하기 쉽다. 김은 기체의 행동을 가시적으로 보여주는 것으로 간주되기 쉽기 때문에, 담화 과정에서 기체의 과학적 정의를 재고할 필요가 있으며, 그 정의에 입각하여 현상을 설명하는 것이 중요한 것이다. 이때 현상의 설명은 일상적 용어와 과학적 용어의 비교와 대응을 통해 이루어질 수 있다. 따라서 관찰 현상을 설명하는 과정에서 학생들에게 일상적 용어와 과학적 용어를 대응시키는 기회를 제공하는 것은 탐구의 매우 중요한 특징이다.

[수업 사례 3-발췌 2]

20 교사: 어. 자 얘들아 우리 그럼 **이 이유 좀 생각해 볼까?**

21 학생1: 아!!

22 교사: ... 어떻게 됐어? **입을 다물고 코로 숨을 쉬니까 어떤 현상이 나왔어?**

23 학생2: **김이 나왔어요.**

24 교사: 어! 코에서 김 같은 게 나왔어 하얀 연기 같은 게 나왔지? **이 연기의 정체는 뭘까?**

25 학생3: **질소**

26 교사: 질소! 여기 비커에 담아있는 **액체 질소도 끊임없이 상온 상태에서도 온도가 올라가니까 기화되고 있는데 보이는 거라고 생각이 들제.** 그치? 요거 요거, 액체질소였던 게 기체질소로... **근데 얘들아 기체 질소는 눈에 보일까?**

27 학생2: **아니요.**

28 교사: 색깔이 있을까?

29 학생들: 아니요.

30 교사: 냄새가 있을까?

31 학생들: 아니오.

32 교사: **근데 얘는 보여!**

33 학생3: **수증기.**

34 교사: 수증기? **수증기는 물에 액체 상태야? 기체 상태야?**

35 학생3: **액체.....**

36 교사: 액체 상태야 수증기? 액체 상태야 기체 상태야? 합의 볼까?

37 학생3: **기체?**

38 교사: 일단 **기체 상태는 눈에 안보이죠.** 그죠, 근데 얘는 눈에 보여. 우리가 흔히 말하는 일상생활에서 말하는 이 하얀 연기를 김이라고 얘기 많아 하잖아. **김은 기체일까 액체일까?**

39 학생2: **드라이아이스** 아니에요?

40 교사: 그래 드라이아이스!!

41 학생2: **이산화탄소!**

42 교사: 그래 이산화탄소. 기체가 뽁뽁뽁 보여? 기체야? 이게 뭘까? 이거 하얀 거 뭘까? 기체? 액체?

43 학생: 액체?

44 교사: 다시 돌아가서... **기체는 눈에 보여 안보여? 입자와 입자 사이 너무 멀어 보여 안보여? 안보여 색깔이 없으면 안보여 근데 얘는 보여 그면 얘는 기체야 아니야** 기체

는 아니야 우선 합의 봤어 그다음에 눈에 보이네 기체는 아니니까 액체야 그러면 액체 질소일까? 액체 질소는 여기 있었잖아 아니죠

45 학생 : 중간사이. 얘가 이렇게 실온에 나오니까. 어.. 이게

46 교사 : 아 그럼 변하는 중간지점?

47 학생 : 액체

48 교사 : **액체는 액체인데 액체 질소일지 아니면 다른 물질일지.**

49 학생 : **다른 물질**

50 교사 : 공기 중에 있는 물질 중에서 우리가 확인하기 좋은 연기처럼 확인하기 가장 좋은 물질이 뭐겠어 가장 흔하게.

51 학생 : H_2O

52 교사 : **H_2O? 생각해봐봐.**

이 수업 사례는 학생들이 실험을 통해 관찰 현상을 설명하거나 혹은 물질을 확인할 때, 관찰 증거를 이론과 연결시켜 설명하게 된다는 점에서 탐구의 중요한 측면을 담고 있다. 관찰 증거를 단순히 이론과 연결시키거나, 이미 알고 있는 이론을 예증하기 위해 실험 활동을 한다면 이는 단순 탐구 활동에 속할 것이다. 반면, 이 수업 사례에서 보여주는 탐구의 특징은 관찰 증거를 설명하고 이론과 연결시키는 과정에서 교사와 학생은 담화를 통해 일상적 용어를 과학적 용어로 바꾸고 이론으로 현상을 해석해 나가려고 노력했다는 점이다. 실험 과정에서 교사와 학생 간에 이루어진 담화의 흐름은 이 과정을 잘 보여주었다. 즉, 실험 결과에 대해 이론을 간단히 대응시키는 방식이 아니라, 실험 결과에 대해 학생들의 일상적 표현을 과학적 용어로 변환하기 위한 노력이 교사와 학생 사이에 지속적으로 이루어지고 있었기 때문이다. 이 담화는 과학 탐구의 중요한 측면인 증거(현상)을 설명으로 변환하는 과정이 섬세하게 이루어져야 하는 중요성을 조명해 준다. 즉, 증거-설명의 변환 과정에서 일상적 용어와 과학적 용어가 혼재하기 때문에, 증거(현상)를 중심으로 이들을 적절하게 대응시키는 노력이 이루어지는 과정을 담아야 하기 때문이다. 본 사례는 이러한 과정의 중요성을 일부 보여준다는 점에서 의미가 있다. 이와 더불어, 실험 과정에서 나타나는 현상에 대해 그 이유를 추론해 봄으로써 기체와 액체의 구별, 물질의 구별 등의 다양한 개념을 탐색하는 모습을 보여주었다.

(4) 수업 사례 4. 증거와 설명을 연결하는 추론 과정

이 수업은 POE 모형을 적용한 문제해결 학습 과정에 해당한다. POE 모형은 White & Gunstone(1992)이 제안한 것으로서, 예측(Prediction)-관찰(Observation)-설명(Explanation) 단계를 가지며 각 단계의 첫 글자를 따서 명명되었다. 각 단계는 관찰하게 될 현상의 결과에 대해 예측하고 그 예측을 나름대로 정당화하는 '예측'(P), 관찰한 사실에 대해 서술하는 '관찰'(O), 그리고 예측과 관찰 사이의 갈등을 해결하는 설명(E)으로 진행된다. POE 과정이 학생들에게 친숙하지만 다양한 예측을 할 수 있는 문제 상황으로 제공될 때, 학생들은 예측과 관찰 결과의 불일치로 인한 인지적 갈등을 느끼고 이를 해결하기 위해 추론을 활발하게 할 수 있는 기회를 갖게 된다.

이 수업의 주제는 '압력 이해하기: 깔때기, 공기와

그림 4 *POE 모형을 이용한 수업*

물기둥이 만드는 압력' ('Understanding Pressure: Using a funnel, both air and a column of water can exert pressure')이다. 수업 교사는 해외 연수를 통해 'POE'를 수업에 적용하는 방법을 배운 후, '과학교양' 수업에 POE 모형을 적용하여 수업을 진행하고 있었다. 이 수업 초기에 교사는 학습지를 학생들에게 나누어 주고, 문제 상황을 읽고 설명해 준 후, 학생들에게 어떻게 될지 예측해 보라고 요구했다. 문제 상황은 '고무마개에 끼워진 깔때기로 삼각 플라스크 입구를 막고, 깔때기 위로 물을 충분히 부으면 어떻게 될까?'였다. 교사는 학생들에게 '깔때기를 고정시켜 주는 고무마개의 역할'에 대해 설명하고, '깔때기에 물을 부으면 어떻게 될지'를 예측해 보라고 하면서 학생들의 사고를 독려했다.

학생들은 약 3분 동안 개별적으로 예측하여 학습지에 기록하였고, 그 후 4명으로 구성된 각 조의 학생들은 서로의 예측 결과와 그 이유에 대해 논의하는 시간을 가졌다. 연구자가 초점 녹화한 소집단(A조) 학생들의 예측에 관한 진술은 크게 두 가지로 나뉘었다. 하나는 '깔때기로 물을 부으면 플라스크 안의 공기가 나올 수 없어서 물이 못 들어가게 된다'(1-2줄)는 것과, 다른 하나는 '깔때기를 손으로 잡고 있으면 흔들릴 위험이 있고, 깔때기를 고무마개로 고정시키면 안전한데 물을 확 부을 위험이 있다'(3줄)는 것이었다. 학생들은 발표하기 위해 보드지에 기록을 하다가 앞서 이해하지 못했던 두 번째 의견을 다시 제기했다. 학생 1이 "정확하게 니[네] 이론을 이해를 못했어."(5줄)라고 발언했고, 학생 3이 이에 대해 설명을 추가하였다(7줄). 여기서 학생 1이 학생 3의 설명을 여전히 이해하지 못한 상태로 보이는데(학생 2와 4도 학생 3의 설명을 이해 못한 상태로 보임), 학생 3에게 설명을 요구했던 '무게 감지'에 대한 개념도 해소되지 않은 것처럼 보였다(8-11줄). 학생들은 "아"(10줄)라는 감탄사로 학생 3의 설명에 반응을 했지만, 학생 3의 설명을 이해했다기 보다는 그저 하나의 의견으로 인정했다고 볼 수 있다. 그렇게 볼 수 있는 이유는 학생 3의 설명을 들었던 학생들의 반응은 단지 "아"라는 것에서 끝났을 뿐이고 학생 2는 직접 학생 3에게 "니[네]가 설명을 하면 돼"(12줄)라고 명시했기 때문이다. 첫 번째 설명과 두 번째 설명은 그 의미에서 차이가 있는 것으로 해석된다. 첫 번째 설명은 예측되는 결과(물이 못 들어간다)와 그 이유(공기가 나올 수 없으므로)에 관한 것이라면, 두 번째 설명은 문제 상황의 조건(깔때기를 손으로 잡느냐 고무마개로 잡느냐) 중 어느 것이 더 좋은지에 관한 것으로 해석된다. 따라서 설명의 초점은 차이가 있었는데 학생들은 더 이상 논의를 진행시키지 않고 두 가지를 다 수용하여 발표를 위한 기록을 하였다. 논의 말미에 한 학생이 '압력'(13줄)이라는 말을 사용했고, 그 말을 받아 첫 번째 설명을 정리했던 학생이 공기가 위로 올라오는 모양의 손 제스처를 취하면서 플라스크 안에서 공기의 '압력'으로 그 의미를 강화했다(14줄). 이와 관련된 담화는 [수업 사례 4-발췌 1]에서 확인된다.

[수업 사례 4-발췌 1] A조 학생들 소집단 토론]

1 학생 1: 아니.. [활동지 그림을 가리키며] 이렇게 돼 있잖아.. [플라스크] 안에 공기가 있을 거 아니야 근데 물을 계속 부으면.. 자리가... 공기는 공기대로 막힐 것 아니야

2 학생 2: [활동지를 가리키며] 맞아! 내생각도 그래.. **나도 원래 [플라스크 안에] 공기가 구성하고 있잖아. 근데 얘를 막아버리면 물이 나오니깐[들어오니까] 공기가 [밖으로] 나와야 되는데 공기가 나오려면 이쪽[깔때기] 구멍 밖에 없잖아.** 그럼 [공기가 위로] 이렇게 나오니깐 [물이] 못 들어가게 되는 거잖아. 내 생각은 그래.

3 학생 3: 아.. 그렇게 생각했구나.. 나는 어떻게 했냐면 이게.. 내가 안 잡고 있으면.. **얘[깔때기]를 이렇게 잡고 있잖아. 그러면 이만큼 무게가 확실히 느껴지니깐 조심을 하게 되잖아. 근데 대신에 이게[깔때기] 막 흔들흔들 할 수 있잖아. 그런데 얘[고무마개]를 끼워주면 고정이 되니깐 쏟을 위험은 없는데 대신에 무게 감지가 안 되서 이걸[물을] 확 부을 수 있잖아.** 그래서 가능성이 똑같다고 생각했어.

4 학생들 : 음...

〈중략〉

5 학생 1: **정확하게 니[네] 이론을 이해를 못했어.**

6 학생 2 : 나도!!

7 학생 3: [활동지를 가리키며] 아 진짜? 그니깐 어떻게 되냐면은 깔때기를 꽂을 경우야 이 경우는 그러면 쏟을 위험이 없지? 아! 깔

때기를 꽂는 게 아니지 아 고무마개! **고무마개를 꽂으면 쏟을 위험이 없어서** 플러스 요인이잖아. 근데 **무게 감지가 안돼서 조심성이 없잖아 이건 마이너스 요인이야 근데 대신에 깔때기를 뺀 경우에는 쏟을 위험이 있으니깐** 마이너스 요인이 있지만 **무게감지가 ....**

8 학생 2: **무게감지가 무슨 뜻이야?**

9 학생 1 : 그니깐 이 깔때기..

10 학생 2: ;[감탄하며] 아~~~

11 학생 3: **그니깐 이걸 내가 잡고 부어야 되잖아. 근데 이게 차면 물이 본능적으로 컵에 물을 부을 때 이게 확 이렇게 되잖아. 그렇게 되니깐 조심하니깐 플러스 요인이 돼서 [활동지를 가리키며] 이게 위험할 거다. 뭐 이런 걸 감소해 줘야 되는데 그런 거는 똑같을 것 같아.**

〈중략〉

12 학생 2: [학생3을 가리키며] 니[네]가 설명을 하면 돼

〈중략〉

13 학생 4 : **압력**이라고....

14 학생 2: **압력**이라고 해도 될 것 같아. 왜냐하면 [손을 위로 하며] 공기가 올라가는 게 .... 압력

소집단 논의가 끝난 후 학생들은 각 집단에서 예측한 내용을 발표했다. A조 학생들이 '예측(P)' 단계에서 문제를 두 개로 파악하여 설명을 전개했던 것과 마찬가지로, 다른 조의 학생들도 다양한 예측 결과를 전체 학생들 앞에서 발표했다. B조의 예측과 그 이유는 '마개를 꽉 끼우면 깔때기 관에 압력이 가해져서 줄어들기 때문에 물이 내려가는 속도가 느려질 것'이었다(15-18줄). C조는 다른 조의 예측과 달리, "고무마개를 쓰면 물이 내려갈 것"이라고 단순 예측했다. D와 E조는 '깔때기에서 물이 넘칠 것'으로 예측했는데, 그 이유로는 '고무마개를 끼운 깔때기에 물을 부으면 플라스크 안의 공기가 빠져나갈 구멍이 없기 때문에 나중엔 안 들어갈 것'을 들었다(D조 발표문 인용, 19줄). F조는 문제의 초점을 잡지 못하여 다양한 조건의 경우를 고려였으며(고무마개 사용할 경우/사용하지 않을 경우, 고무마개 비사용시 손으로 깔때기를 잡을 경우/안 잡을 경우), '고무마개 사용할 경우 깔때기에 물을 가득 채우면 거의 다 들어가고 약간 안 들어가는데, 그 이유는 기체가 압축되기 때문'이라고 예측과 그 이유를 발표했다(21줄). 고무마개를 씌웠을 때의 예측에 대해, C조(물이 들어가지 않을 것)를 제외한 나머지 5개 조는 '물이 내려가는 속도가 느려질 것/물이 나중에/약간 들어가지 않을 것' 등의 예측을 제시하였다. G조는 고무마개를 썼을 때/안 썼을 때, 그리고 물을 넣는 속도, 물을 벽면으로 흘려보낼 때 등 다양한 문제 상황을 가정하여 그 결과를 예측하였다(22줄). 이들 발표 내용을 살펴보면, 결과적으로 물이 많이 내려가지 않을 것이라고 예측한 상황(예, 물을 한꺼번에 붓기, 고무마개 사용)에 대해 그 이유로는 '깔때기 관의 압력이 증가, 플라스크 안의 공기가 빠져나갈 구멍이 없기 때문, 플라스크 안의 기체가 압축되기 때문' 등으로 다양하게 드러났다. 이와 관련된 담화는 [수업 사례 4-발췌 2]에서 나타난다.

[수업 사례 4-발췌 2] 소집단 토론 결과 전체 발표

15 B조 발표학생: 저희는 **물이 내려가는 속도가 조금 느려진다**고 생각했습니다. 그러니까 마개를 끼우면 압력이 가해지는데, 이렇게, 꼭 끼우잖아요, 느리게 내려가는 부분에 압력이 가해져서 유리가 쪼금이라도, **유리가** 유동성이, 아 유리가 도체가 아닌 건 아시죠? [학생들 웃음] 유리가, 유동성이 있어서 **압력을 가하면 조금이라도 줄어든다는 그런 생각에서, 물이 내려가는 속도가 조금이라도 느려질 것**이라고 생각했습니다.

16 교사: 속도가 느려질 것이라는 게 어떤 의미 때문에 그런 거예요? 이게 쪼여들어서 그런 거에요, 관이?

17 B조 발표학생: 네.

18 교사: **깔때기의 관이 쪼끔이라도 힘을 받아서 작아졌다?** [학생 발표 내용을 칠판에 기록]

〈중략〉

19 D조 발표학생: 저희 조는 나중이 되면 **깔때기에서 물이 넘친다**고 생각했는데요. **이 삼각플라스크 여기 안에 공기가 차 있으니까 깔때기를 통해 물을 넣으면 이제 더 이상 물이 차면 공기가 빠져나갈 공간이 없잖아요.** 그래서 이 공기가 깔때기를 통해 올라가기 때

문에 깔때기의 물이 넘쳐서..넘치기 때문이 이 고무마개가 없는 게 물이 더 잘 들어간다고 생각합니다.

20 교사: 아 그러니까 고무마개 때문에 물이 찔끔찔끔 들어간다... 그런 뜻이에요? [학생들 웃음]

〈중략〉

21 F조 발표학생 : 저희 조는요. 요점을 솔직히 잘 모르겠어서 **여러 가지 가정**을 해봤는데요. 처음에 **고무마개를 썼을 때와 안 썼을 때는 비교**를 해서 생각을 해 봤습니다. 그리고 썼을 때랑 **안 썼을 때도, 안 썼을 때 내가 잡고 있느냐 아니냐로 구분**을 해 보았는데요. ..〈중략〉.. 고무마개를 썼을 때 그중에서도 만약에 물이 이 비커에 물이 가득 찬다면, 또는 가득차지 않는다면으로 다시 구분해서 생각해 보도록 하겠습니다. 만약에... [학생들 웅성] 미안해, 발표가 너무 길어서. 만약에 나눠서 생각을 했을 때 가득차게 된다면 여러분 생각대로 아마 공기가 아니 **물이, 완전히 들어가지는 못할 것** 같습니다만, **기체는 워낙 분자와 분자사이가 거리가 멀기 때문에 아마 압축이 될** 것입니다. 그래서 아마 거의 대부분이 들어가지만, 끝에서 아주 약간은 못 들어갈 수도 있다고 생각을 합니다. 그러면 덜 들어갔을 때는, 변화가 없다고 생각합니다. 왜냐하면.. 공기.. 물이 들어갈 만큼은 있지만 그만큼 압축될 거기 때문에..

〈중략〉

22 G조 발표학생: **고무마개를 안 썼을 때는, 공기가 빠져나갈 공간이 있으니까, 물이 잘 들어갈 것 같고, 고무마개를 썼을 때에는, 물을 조금씩 넣느냐 한꺼번에 넣느냐에 따라 달라질 것 같은데, 한꺼번에 넣으면 공기가 빠져나갈 공간이 없으니까, 거의 안 떨어 질 것 같고, 공기가 빠져나갈 공간을 위해 물을 벽면으로 흘려보내면, 조금씩 들어갈 것 같습니다.**

23 교사: 예 좋습니다.

[수업 사례 4-발췌 2]의 담화에서 드러난 것처럼, 조별 학생들은 예측해야 할 문제 상황의 초점을 다양하게 잡았고 그에 따른 추론을 전개하고 있었다. 깔때기를 손으로 잡느냐 안 잡느냐, 고무마개를 끼우느냐 안 끼우느냐, 물을 조금씩 붓느냐 많이 붓느냐 등의 변인들의 조합을 고려하는 것이 조별로 다르게 나타났다. 따라서 학생들은 물이 들어가는 속도를 예측하고, 물이 들어갈 것/들어가지 않을 것을 예측하고, 물이 넘쳐날 것 등을 예측하면서, 다양한 변인을 고려하여 여러 가지 예측 결과를 발표하였다. 이에, 교사는 학생들의 발표 내용을 칠판에 정리하고, 문제 상황에서 통제해야 할 변인을 상기시키고 예측해야 할 초점을 다시 강조하였다(24줄). 교사는 1차 발표에서 여러 학생들이 변인으로 고려한 고무마개의 존재 여부와 물을 붓는 속도는 예측에 영향을 주는 변인으로 취급하지 말자고 당부하였다(24-26줄). 즉, 고무마개를 끼운 깔때기에 물을 가득 부었을 때 물이 내려갈 것인지, 내려가지 않을 것인지에 대해 예측하는 것이 이 문제의 초점이라고 강조하였다(26줄). 또, 들어간다면 어느 정도(밑바닥, 절반 등) 들어갈 것인지, 그리고 속도의 변화가 있는지에 대해 예측하라고 하고 학생들에게 다시 토론 시간을 주었다(24-26줄). 이와 관련된 담화 내용은 [수업 사례 4-발췌 3]에서 드러난다.

[수업 사례 4-발췌 3]

24 교사: 어.. 이 문제의 핵심은.. 〈중략〉 그래서 **여러분들이 생각해야 할 가장 중요한 포인트는** 물을 붓고자 하는 원래 목적을 잘 수행할 수 있겠느냐 그런, 다시 말해서 **물이 잘 들어갈 수 있겠느냐** 그런 거죠. 잠깐만, 몇 초만 의견을 정리해보세요. 물이 잘 들어갈 것인가? 잘 못 들어 갈 것인가? 잘 못 들어 갈 것이라면... 〈중략〉 **물이 잘 들어갈 수 있을 것이라고 생각한다면 속도에 대해서 어떤 속도에 변화가 있을까? 가능하면 구체적으로 생각을 해야 나중에 생각을 바꿀 수 있습니다.** 두리뭉실하게 넘어가려고 하지 말고, 그 다음에, **안 들어간다고 한다면 어느 정도 안 들어 가는지, 전혀 안 들어 갈 건지, 또는 절반 정도인지.** 또 사실 붓는 거에 문제가 있습니다. 그런데 내가 한 방울 한 방울씩 떨어뜨린다 해 보세요. 어떻게 될까요?

25 학생들: 들어가요.

26 교사: 당연히 들어가겠죠. 이제 그거는 생각하지 맙시다. 결국 문제는 그냥 붓다보면 이게 밑에서 사실 깔때기에 부어보면 잘 안 빠지고 깔때기에 차거든요. 그래서 **가득 차는 사안, 부었을 때 가득 차는 사안에서 잘 들어갈 것이다 아닐 것이다.** 이것을 잠깐만, 잠깐만 생각해 봅시다.

교사는 예측해야 할 문제 상황이 무엇인지를 명확히 설명했고, 학생들은 다시 소집단 토의 시간을 가졌다. A조 소집단 토론에서는 두 가지 예측이 제안되었다. 하나는 물이 들어오면 공기가 올라오는 과정이 반복되다가 물이 못 들어갈 거라는 예측이었다(27-31줄). 두 번째는 물이 아예 못 들어갈 거라는 예측이 제안되었지만(32줄), 그 이유에 대해서는 충분히 논의되지 못했다. 이와 관련된 담화는 [수업 사례 4-발췌 4]에 나타난다.

[수업 사례 4-발췌 4] A조 학생들 소집단 토론

27 학생 2: 이렇게 되면 **공기방울이 올라왔다가 다시 물이 들어가고 이런 식으로..**

28 학생 4: 그럼 어떻게 생겨?

29 학생 2: 여기는 처음에 들어갈 거 같아. 처음에 좀 들어가다가 이렇게 [공기가] 올라오니까 막 [손동작을 함]

30 학생 1: 음.....

31 학생 3: 그니깐 이거를 넣으면 **처음에 물이 들어오다가 기포가 발생하고 또 물이 들어가다가 또 기포가 발생하고를 반복하다가..**

32 학생 2: **아예 못 들어갈 거 같아, 그렇게 되면. 공기가 나가야 되니까 ...**

33 학생들: 왜?

34 학생들: 음...

조별 토론이 끝난 후 교사는 플라스크에 물이 얼마나 들어갈 것인지에만 초점을 맞추어 학생들의 예측을 이끌어냈다. 학생들의 예측은 다양하였는데, '끝까지 찬다'(C조), '바닥에 조금 깔리는 정도'(F조), '바닥에 깔릴 정도'(E조), '깔때기의 끝부분까지'(F, A조), '안 들어감'(G조), '바닥에 깔리는 것 보다는 조금 더'(H조), '깔때기 끝보다 조금 더 높이'(D조) 등이었다. 이때 학생들의 표현은 교사의 기준에 맞게 재표현되었다. 예를 들면 학생이 '다 내려간다'(35줄)고 예측했을 때 교사와의 담화를 통해 '바닥에 깔릴 정도'(44줄)로 수정되었는데, '다 내려간다'는 것이 '(깔때기의 물이) 다 내려간다'는 의미였기 때문이다. 이처럼 언어와 그 의미를 대응시키는 과정은 매우 중요한데, 말할 때의 용어와 그 의미는 다를 수 있기 때문이다. 이런 측면에서 교사는 학생의 예측이 무엇을 의미하는지를 질문과 재진술을 통해 짚어내는 중요한 담화를 개시하고 전개했다(35-44줄)고 볼 수 있다. 이와 관련된 담화 과정은 [수업 사례 4-발췌 5]과 같다.

[수업 사례 4-발췌 5]

35 E조 발표학생: **저희는 다 내려간다.**

36 교사: 어... E조는 **가득 찰 것이다?**

37 E조 발표학생: 아니요, **그냥 깔때기에 있는 물은 다 내려갈 것이다.**

38 교사: 아니요 물은 계속 부을 것입니다.

39 E조 발표학생: 아....그럼...

40 교사: 그럼 물은 어느 정도 찰까요?

41 E조 발표학생: 찔끔찔끔 내려갈 거 같아요.

42 교사: **최종적으로는 어느 정도 찰까요?** 마지막 모습은?

43 E조 발표학생: **바닥에 깔릴 거...**

44 교사: 아 역시 바닥에 조금 깔릴 정도? 좋습니다.

교사는 조별 예측 결과를 듣고 칠판에 그림으로 예측되는 수면의 위치를 표시한 후, 시범실험을 실시했다. 교사는 깔때기를 끼운 고무마개로 플라스크 입구를 막은 후 붉은 색의 물(가시적으로 보이기 위해 색소를 사용)을 깔때기 안에 처음에 충분히 붓고, 깔때기에 물이 충분한 상태를 유지하도록 계속 물을 부어주었다. 물이 플라스크로 들어가는 동안 교사는 "자 어디까지 들어갈까요?", "이런 추세라면?"이라고 질문했고 학생들은 "다 들어가겠다"라고 말하기도 하였다. 물이 플라스크 안으로 들어가던 어느 순간이 물이 들어가는 걸 멈췄고 학생들은 "어?", "멈췄다", "우와 멈췄다. 신기해", "우와 우와~~~"의 반응을 보이며 예측하지 못한 결과에 놀랐다. 교사는 관찰된 결과(물은 삼각 플라스크 부피의 반 정도를 채우고 멈춤)를 칠판에 적은 각 조의 예측과 비교하면서(관찰 결과를 정확히 예측한 조는 없었음), "도대체 예측하고 많이 빗나갔는데 어떻게 설명해야 될지"라고 하면서 다시

소집단 토론을 독려했다.

A조 학생들은 관찰 결과에 대해 흥분한 듯 보였다. 목소리는 약간 들떠 있었고 말의 속도는 빨라지면서 토론은 매우 활발하게 진행되었다. 학생들은 토론 초기에 학생 3의 "처음에는 [공기가 위로] 나가다가 이 압력[깔때기를 채운 물의 압력]과 이 압력[공기의 압력]이 같아지면 둘이 똑같아지니까... 힘이 평형을 이루니까"라는 설명에 공감하는 듯 했다(45-47줄). 그러나 학생 3의 "물이 들어올수록 플라스크 안의 공기 압력이 세지기 때문"이라는 설명에 대하여 다른 학생들의 이견이 제기되는데, 예를 들면, "[공기가] 바로 나가잖아 처음에 딱 넣자마자"(61줄), "누가 쎌지?" 등(49-51줄)의 의문이 제기되었고, "만약에 공기가 더 약하잖아. 그러면 얘가[물]..."(54줄)에 이어 "[공기의 압력이 약하면 공기가] 못 올라오잖아"(55줄) 등이 추론되었다. 이들 논의의 초점은 분산된 경향이 있었지만, 이들의 이견에 대해 "힘의 평형"(46줄) 용어를 적용했던 학생 3은 '[약했던 공기의 압력이] 더 세지는 게 아닌가..'라며 혼란을 겪게 되나, 시간의 제한으로 인해 A조 학생들의 토론은 이쯤에서 마무리되었다. 교사는 첫 발표로 A조의 설명을 요청했는데 교사는 특정 조와 특정 학생의 발표를 지목하지 않았다. 발표 순서는 수업 초기에 학생들이 카드를 뽑아 결정된 것이고, 발표 학생은 각 조의 학생들이 자발적으로 혹은 협력적으로 결정하였다. 이에 첫 발표조인 A조에서 처음 설명을 전개했던 학생 3이 토론 초기에 가정했던 공기의 압력이 약했다가 세어진다는 것을 번복하고, 공기의 압력이 셌다가 물이 들어오면서 점점 약해지고 물의 압력이랑 공기의 압력이 같아져 힘의 평형을 이루게 된다고 설명했다(55줄). 교사는 이 설명을 듣고, 칠판에 발표 내용을 정리하여 그림[관찰 결과를 표시한 그림]에 화살표로 표시하면서 다음과 같이 정리하였다. "여기서 이렇게 빠져 나갈라고 하는 공기의 압력, 그 다음에 지금 물이 이렇게 차 있는 거죠, 차 있을 때 내려오려고 하는 물의 압력과 균형을 이루게 된다."(56줄) 교사의 이러한 설명에는 학생이 가정했던 공기의 압력의 변화는 빠져 있었고, 힘의 평형이라는 말 또한 빠져 있었다. 대신 공기의 압력과 물의 압력이 균형을 이루게 된다는 것이 교사 설명의 요지였다. 관련된 담화 내용은 [수업 사례 4-발췌 6]에 나타난다.

[수업 사례 4-발췌 7] A조 학생들 소집단 토론

45 학생 2: 그러니깐 지금 공기가 나가려고 하고 ..

46 학생 3: [화이트보드에 그려진 삼각플라스크를 가리키며] 지금 계속 들어올려고 하잖아 항상 물은 이만큼[깔때기] 밖에 못 채워, 최대가, 근데 이만큼 계속 차면[플라스크에 물이 어느 정도 차게 되면] 공기 압력이 훨씬 세지겠지? 근데 **처음에는 [공기가 위로] 나가다가 이 압력[깔때기를 채운 물의 압력]과 이 압력[공기의 압력]이 같아지면 둘이 똑같아지니까... 힘이 평형을 이루니까**

47 학생 2: 아, 완전 신기하다.

〈중략〉

48 학생 2: [공기가] **바로 나가잖아 처음에 딱 넣자마자..**

49 학생 3: 아 그때는 얘[물]보다 얘[공기]가

50 학생 1: **누가 쎌지?** 얘[깔때기 안의 물]가 누르니깐

51 학생 4: 근데 물이 찰수록 더 세지잖아..

52 학생 3: **아 더 세지는 게 아닌가.** 얘[공기]가 원래 더 세서 나가다가 점점 나가니깐 공기의 양이 점점 줄어들어서...

53 학생 4: 결론을 끝까지 해라.

〈중략〉

[토론 시간이 끝나고 전체 발표 시간으로 연결됨]

54 교사: 자 A조, 설명을 해볼까?

55 학생 3: 저희여, 저희는 삼각플라스크 안에 공기가, 아 헷갈려.. 저는 처음에 **공기의 압력이** 어.. 이걸 계속 넣었을 때 보다 약했다고.. **만약 약했더라면 이게 공기가 계속 들어오면 점점 공기의 압력이 세지면서 나가려고 할 테니깐 그건 아니라고 생각을 해요 그러면 어느 순간 멈춰야 되는데 계속 세지니깐 멈출 리가 없잖아요. 근데 처음에 공기의 압력이 셌는데 얘[물]가 계속 넣어서 그만큼 공기가 빠져 나올 거 아니에요. 그러면서 이게 약해지고 이만큼 물이 있는 압력이랑 공기가 위로 나갈려는 압력이랑 같아지면 그때 힘을 평형을 이루어서 더 이상 안 나가고 멈춰 있을 것**이라고 생각을 해요

56 교사: [칠판에 발표 내용을 정리하면서] 여기서 이렇게 빠져 나갈라고 하는 **공기의 압력,** 그 다음에 지금 물이 이렇게 차있는 거죠, 차 있을 때 내려오려고 하는 **물의 압력과 균형을 이루게 된다.** 좋습니다.

이후, 삼각 플라스크 안으로 물이 더 이상 들어가지 않는 현상에 대해 다른 조 학생들의 설명이 이어졌다. "플라스크 안의 공기의 압력과 물의 압력이 같아져서"(57줄)라는 A조와 같은 H조의 주장이 이어졌다. 또, '보일의 법칙'으로 물이 들어옴으로써 플라스크 안의 공기의 압력이 높아지고, '기압'이 같아져서 더 이상 공기의 이동이 생기지 않는다고 설명한 D조의 주장도 이어졌다(59줄). D조의 설명이 구체적이지는 않았지만 교사는 발표학생이 언급한 '기압'이라는 용어에서 촉발(prompt)하여 "무엇이 평형을 이루고 있는가"(60줄)에 대해 학생들과 질문을 주고받으면서 압력, 힘, 중력, 기압을 범주화하고 개념화하였다(61-69줄). 교사는 학생들의 설명에 대기압을 더해줘야(70줄) 함을 강조하였는데, 즉 플라스크 안의 공기의 압력이 수압과 대기압을 더한 압력과 평형을 이룬다고 정리하였다. 그러나 교사의 설명을 학생들이 충분히 이해했는지에 대해서는 교사와 학생들의 질문과 대답만으로 확언하기 어렵다. 이에 덧붙여, 교사는 보일의 법칙을 상기시키며 삼각 플라스크 내부 압력의 변화가 어느 정도였을 것인가에 대한 질문을 던지고(70줄), 물의 부피와 압력의 관계를 전개하면서 내부 기압의 변화가 거의 없다는 추론을 길게 전개했는데, 이 추론 과정 역시 학생들과의 담화 과정을 통해 이루어졌다(70-82줄). 이와 관련된 담화는 [수업 사례 4-발췌 7]과 같다.

[수업 사례 4-발췌 7]

57 H조 발표학생: 여기 물이 들어가면 여기 있던 **공기의 압력이랑 위쪽의 물의 압력 이게 똑 같아져서 더 이상 물이 더 이상 못 내려오고 멈춰있는 거예요.**

58 교사: 비슷하네요. 그죠? D조? 쌤이 지금 무슨 한마디를 더 듣고 싶어서 계속 물어보는 거예요. D조?

59 D조 발표학생: 말로 할 거예요. 저희 조는 똑같은데요. 조금 다르게 설명하자면 중학교 때 배운 **보일의 법칙**에서 부피 곱하기 압력을 하면 항상 일정하다 했는데 **물이 채워지면 [공기의] 부피가 작아지니까 그만큼 [공기의] 압력이 커져요.** 그리고 또 생각해낸 게 그 공기의 이동이나 이런 걸 볼 때도 고기압에서 저기압으로 가잖아요. 그런데 **기압이 같으니까 이동이 없을 거라고 생각해요.**

60 교사: 좋습니다. 어 지금 안에 있는 공기가.. 고무마개의 핵심은 고무마개가 빠져나갈 공기를 막고 있는 거죠. 그죠? 그게 문제를 일으키고 있고, 마지막에 **이 정지 상태에 자연이 변화가 없다는 말은 뭔가 평형을 이루는 겁니다.** 어떤 평형상태에 도달한 건데 지금 **이 상황에서는 무엇이 평형을 이룬 것인가** 하면 뭐다?

61 학생들: 압력.

62 학생들: 힘...

63 교사: 압력이죠 압력. 압력이라고 말할 수 있는 그런 물리량이 평형을 이루는 건데 ..압력은 힘하고는 조금 다릅니다. **[칠판 그림의 깔때기 안의 물과 플라스크 안의 공기를 가리키며] 어 그럼 요것 두 개가 그럼 같을까? 그래서 평형을 이룬 걸까?**

64 앞쪽 학생: 아니요.

65 학생들 : ...

66 교사: 예 아니거든요. 맞습니다. 조금 더 먼가를 더해야 되요. 어떻게 해야 되죠?

67 학생: 중력?

68 교사: 중력은 힘이구요. 이런 수압이 생기는 이유가 중력 때문에 생기는 거죠. 중력이 당기기 때문에 생기는 거고.. 그건 힘이고..

69 학생들: **기압?**

70 교사: 그렇죠. 사실은 여기[실험장치 외부]에 공기층이 있죠. 공기층이. **여기에 대기압을 플러스 해줘야 하죠.** 근데 아까 저 친구가 말한 것 중에 상당히 우리가 생각해 볼 문제가 있는데, 질문거리가 있는데 이게 이쪽 공기의 압력이 이쪽에 물이 들어가면서 부피가 줄어들면서 압력이 높아진 거잖아요. 그죠? 그럼 여러분들이 배운 **보일의 법칙에 대입**을 해 버리면 여러분들이 아까 본 실험을 좀 보면요. 마지막 상황을 다시

보면 이 삼각플라스크가 500ml 짜리인데 여기까지가 500 이거든요 위쪽까지 합치면 600 정도 될 것 같은데 현재 물이 어디에서 멈췄느냐하면 300 조금 위에서 멈췄습니다. **부피가 공기의 부피가 반으로 줄었어요. 그러면 공기의 저 안의 압력이 두 배로 늘어났을까?**

71 학생들: 아니요.

72 학생: 아까 나갔잖아요..

73 교사: 왜 아니예요? 아까 빠져나간 것 있죠? 공기가 빠져나간 것. 그럼 빠져나간 것 좀 치고 그럼 두 배까지는 아니더라도 1.5배정도 늘어났을까? 저 안의 내부 기압이 어느 정도 까지 올라갔을까?

74 학생들: ....

75 교사: 쉽지 않은 문제입니다. 쉽지 않은 문제인데, 예를 들면 공기를 우리가 못 빠져 나가게 할 수 있을지 모르겠는데...아 첫 번째 질문은 공기가 왜 빠져 나갈까하는 거죠, 공기가 왜 빠져나갈까 하는 것도 생각해봐야하는 문제이고, 그 다음 두 번째 문제는 **내부 기압의 변화가 도대체 어느 정도 생겼을까 하는 문제고.** 이것도 생각해봐야 할 문제고, 아..첫 번째 질문은 어느 정도 답을 찾을 수 있을 것 같은데 두 번째 질문은 상당히 어려운 문제가 있어요. 선생님 생각에 이건 아니예요. 기압이 두 배로 늘어났을 것이다 라는 것은 절대로 아닙니다. **2기압이 기압이 두 배로 늘면 물기둥으로 치면 높이가 얼마나 되게요? 1기압이 물기둥 높이로 치면은....**

76 학생들: 웅성웅성

77 학생: 10m?

78 교사: 10m예요 10m. 그런데 이 물기둥의 높이가 한..10cm 정도 밖에 안되거든요.

79 학생들: 하하하..

80 교사: 10cm 정도면은 압력으로 따지면.. 10m가 1기압을 만들어 낼 수 있다라면 한 10cm 니까 어떻게 되는거에요. 백분의 일입니까? 그럼 압력의 변화가 사실은...

81 학생들: 없어요.

82 교사: **없는 거거든요.** 조금 생각이.. 왜 공기가 어느 정도 빠져 나가고 부피가 이렇게 반으로 줄었는지 생각해 봐야 될 문제입니다.

수업 말미에 교사는 '빨대를 끼운 고무마개로 입구를 막은 플라스크'를 학생들에게 보여주며, 한 학생으로 하여금 '한 번의 숨으로 빨아들이기'와 '힘껏 숨을 불어넣기'를 시범 실험을 하도록 요청했다. 이 시범실험에 참여한 학생의 경험을 전체 학생들과 담화로 연결하면서 압력과 수면의 변화에 대한 이야기로 수업은 마무리되었다.

이 수업 사례는 탐구의 가장 중요한 측면인 학생들의 추론이 활발하게 이루어지는 모습을 보여준다. 학생들은 문제 상황을 받고 어떻게 될지를 예측할 때 개인적 추론 및 소집단 토론을 통해 그 예측의 근거를 뒷받침하였다. 문제 상황을 예측하기 위해 변인들을 고려할 때 문제의 초점이 열려 있어 학생들은 다양한 변인들의 작용을 고려하였으며 이때 학생들의 추론은 과학적이지 않은 듯이 보였다. 반면 이 과정은 학생들의 추론이 활발하게 이루어지는 모습을 다양하게 보여준다는 점에서 다중적 추론이 활성화되는 탐구의 특징을 보여준다. 또 문제 상황이 하나의 초점으로 모아졌을 때 학생들은 보다 과학적 용어를 자주 사용하여 추론을 강화시켰는데, 특히 예측과 다른 관찰 현상을 설명할 때는 이런 특징이 더욱 잘 나타났다.

수업 전체적으로 학생들은 추론의 목적을 단계적으로 제시받았다. 교사는 문제 상황에 대해 개별적 예측, 예측에 대한 소집단 합의, 관찰 현상에 대한 설명의 생성 및 정교화 등의 단계에 따라 학생들의 추론을 독려하였다. 또한 각 단계가 이루진 후 교사는 조별 논의 내용을 발표시키고 그 의미를 확인하였으며 조별 의견들이 어떻게 다른지를 정리하였다. 전체적으로 의견을 정리하고 비교할 때 교사는 학생들과 끊임없이 담화를 전개하였고, 따라서 가능한 한 학생들의 의견을 정확히 파악하여 전체적으로 논의했다. 이러한 과정은 과학적 탐구를 증거와 설명을 개인적 수준에서 연결시키는 데에서 멈추지 않고 주장을 정당화시키고 설득하는 개인 간 논증활동의 차원을 반영하는 것으로 해석된다.

4. 논의 및 제언

본 연구는 고등학교 과학수업의 질적 사례 분석을

토대로 학교 과학 탐구의 특징을 탐색하고자 했다. 연구의 맥락은 과학중점고에서 수행하는 일상 과학 수업이었으며, 고등학교의 과학 수업의 다양한 맥락 중 하나로 파악하였다. 과학중점고 교육과정의 특성과 과학탐구 특징 사례의 연관성을 살펴보는 일은 조심스럽게 경계하였다. 즉, 이 연구는 고등학교 다양한 과학 수업 맥락의 하나로서 과학중점고 수업을 들여다보고자 하였으며, 과학 수업에서 나타나는 탐구의 특징을 조명하고자 했다. 이 연구의 결과는 학교 과학 탐구의 특징으로서 '변인조절-실험 장치 개선', '실험 계획 과정(변인 탐색-절차 계획-변인 통제-측정 계획)', '(관찰)증거-설명 변환 과정', '증거와 설명을 연결하는 추론 과정'을 포함하였다. 수업 사례 분석을 토대로 한 연구 결과를 바탕으로, 학교 과학 탐구의 특징에 대한 전체적 논의와 함께 새로운 연구에 대하여 몇 가지 제언을 하고자 한다.

첫째, 본 연구의 결과는 학교 과학 탐구의 특징을 여러 가지 측면으로 조명하고 해석한 수업 사례를 담고 있다. 학교 과학 탐구가 갖는 시공간 및 교육과정상의 제한으로 인해 참 탐구 혹은 충분한 탐구를 수행하기 쉽지 않다는 점을 감안할 때, 1-2시간 혹은 보다 긴 시간에 이루어지는 탐구의 특징을 살펴보는 것은 학교 과학 탐구의 의미를 실제적으로 이해하도록 도와줄 수 있다. 수업 사례 1은 활동 목표가 주어진 수업 상황에서 학생들이 변인을 찾고 조절하는 탐구의 특징을 보여주었다. 수업 사례 2는 활동의 목표를 학생들이 정한 후 그 목표에 맞게 실험을 계획하는 과정을 담은 탐구의 특징을 보여주었다. 학생들은 변인을 찾고 조정하고, 장치를 고안하는 과정에서 목표를 기반으로 검토하고, 실험 장치의 기능을 이론적으로 점검하는 등의 이론-증거-방법의 조정 과정에 참여하였다. 수업 사례 3은 학생들이 다양한 활동을 통해 관찰한 결과를 일상적 표현에서 과학적 용어로 이동하는 탐구 과정을 담고 있다. 이 활동이 화학 반응의 미시적 차원을 담고 있기 때문에 현상을 설명하는 과학적 표현은 학생들에게 경험적이거나 일상적인 용어를 포함하지 않는다. 따라서 이 탐구 과정에서 교사의 담화 스캐폴딩이 중요하게 고려되어야 함이 드러났다. 마지막으로, 수업 사례 4는 예측을 하기 위해 학생들이 지식과 경험을 연결시켜 어설프고 복잡한 추론을 전개하고 예측과 맞지 않는 관찰 증거를 설명하기 위해 이론과 계속적으로 조정하는 추론 과정을 보여주었다. 학생들은 자신의 추론을 집단 내에서 공론화시키고, 더 나아가 전체 학생들을 설득하는 과정을 경험하였다. 이 과정에서는 현상에 대한 개념적 해석, 설명의 일관성과 타당성, 나아가 동료 학생 및 교사와의 논증 과정이 활성화되었다. 이는 과학적 탐구가 포함하는 인지적, 사회적, 인식적 차원이 활성화되는 중요한 증거로 볼 수 있다.

둘째, 오래 동안 과학적 탐구에 대한 시도와 비판이 이어지고 지속되고 있다는 사실은 학교 과학 탐구의 실현이 그만큼 어렵고 복잡하다는 의미를 갖는다. 이는 과학자의 탐구와 학교 과학의 탐구가 맥락이 다르기 때문에 생기는 간극이 크기 때문이기도 하다. 따라서 현재 과학적 탐구에 대한 이론적 및 개념적 정의와 특징을 학교 과학 탐구에서 탐색하여 실제 활동 장면과 대응시키는 연구가 필요하고 중요하다. 특히, 전통적인 탐구의 정의인 특정 활동의 조합에 그치는 것이 아니라, 활동을 넘어 인식론적 목적이 반영되는 수업 사례를 연구에서 다룰 필요가 있다. 즉, 탐구 활동이 세계에 대한 일종의 "설명하기"를 추구하고 있는가에 관한 관점으로 다루어질 필요가 있다. 이에, 탐구에 관한 연구가 탐구의 특징을 분석적으로 나누어 단편적인 수치로 제시하는 것을 넘어서, 일련의 활동 과정 속에서 증거와 설명이 교사와 학생의 실행과 담화에서 어떻게 생성되고 작용하는가를 심층적으로 기술할 필요를 갖는다. 이런 관점에서 본 연구의 결과는 학교 탐구 활동의 단편적 특징을 제시하는 것을 극복하고, 일련의 활동 과정에서 다양한 특징이 어떻게 조합되고 드러나는지를 조명하였다는 의미를 갖는다. 즉, 수업의 흐름 속에서 교사와 학생의 상호작용을 통한 의미 형성이 어떻게 발전해 가고 어떤 탐구적 특징을 갖는가를 심층기술 하였다는 점에서, 본 연구는 학교 과학 탐구의 실제 모습을 드러내고 교육적 해석을 덧붙여 이론과 실제를 연결하고자 하는 시도와 노력을 한 셈이다. 이런 연구가 더욱 활발하게 수행된다면, 과학적 탐구에 대한 이론과 실제가 상호 강화되고 안정화되어, 학교 과학 탐구가 구체적으로 활성화될 수 있는 토대를 제공할 수 있으리라고 판단된다.

셋째, 본 연구에서 제시한 담화 발췌문들은 활동을 하면서 관찰 현상을 말로 표현하고 이론과 연결시켜 가는 과정, 즉 관찰과 이론 사이의 실제 관계를 경험하고 설명하는 수업 장면을 조명하였다는 점에서 의미가 있다. 실제 과학 수업에서 흔히 발생하는 일이기

도 하지만, 혹은 학생들이 과학을 행하면서 마땅히 그러리라고 전제되어 수업 담화 과정을 통해 그 담화 과정이 외현화되지 않을 수도 있다. 그러나 사례 3에서 보았듯이, 과학을 말하는 과정은 학생들에게 쉽지 않다. 따라서 교사는 수업 활동 과정과 그 관찰 사실에 대해 학생들과 끊임없이 담화를 전개하여, 학생들로 하여금 일상 언어와 과학 언어를 연결하고 관찰 증거를 이론으로 설명하도록 독려해야 할 것이다. 이 사례에서 본 것처럼, 학생들의 탐구 경험은 일상 언어와 과학 언어를 연결하고 관찰 증거를 이론으로 설명하는 과정을 포함한다. 이처럼, 과학 수업 사례가 탐구의 특징을 조명하고 학생이 탐구 활동을 통해 교육적으로 유의미한 경험을 하게 된다면, 학생들이 왜 과학적 탐구를 배워야 하는지에 대한 실행 기반의 이론을 구축할 수 있고, 탐구 학습의 교육적 가치를 구체적이고 경험적으로 세울 수 있게 될 것이다.

넷째, 본 연구에서 다룬 수업의 맥락이 과학중점학교였던 만큼 다양한 맥락의 과학 수업에 대한 과학 탐구의 특징을 조명할 필요가 있다. 많은 수업 사례가 확보되고 수업의 맥락과 탐구의 특징에 연관성이 보인다거나 패턴이 드러나면, 학교 및 수업의 유형과 탐구의 특징에 관한 연구 결과와 이론을 생성할 수 있게 될 것이다.

국문 요약

본 연구는 학교 과학 탐구의 특징이 어떠한지 탐색하는 것을 목표로 하였다. 연구를 위하여, 연구진은 13개의 과학중점학교에서 운영하는 다양한 유형의 일상적 과학수업을 참관하고 녹화하였다. 연구 자료는 총 15개 수업(18차시)에 해당하는 수업 관찰 및 녹화, 교사 및 학생과 면담, 수업 지도안 및 학생 활동지 등의 문서자료로 수집되었다. 수업 녹화물과 면담 녹음 자료는 즉시 전사하여 분석에 사용되었다. 자료 분석은 3단계로 이루어졌다. 1단계에서는 전체 수업 중에서 교사-학생, 학생들 간의 상호작용이 활발한 수업을 선정했다. 2단계에서는 선정된 수업의 담화를 주제의 흐름에 따라 단편으로 나눈 후 '탐구의 인지적 과정'(Chinn & Malhotra, 2002)을 준거로 하여 세부적으로 분석 및 해석했다. 3단계에서는 담화의 연속선상에서 일관되게 나타나는 탐구의 특징을 조명하였다. 연구 결과는 과학적 탐구의 특징으로서, '변인 조절-실험장치 개선', '실험 계획 과정(변인탐색-절차계획-변인통제-측정계획)', '(관찰)증거-설명 변환 과정', '증거-설명 연결의 추론 과정'이 반영된 4개 수업 사례로 제시되었다. 연구 결과를 토대로 학교 과학 탐구 실제에 대한 교육적 의미가 논의되었다.

참고 문헌

이선경, 이선경, 김찬종, 김희백 (2005). 비형식적 과학 학습 자료의 시나리오 및 논증 구조: 영국 자연사박물관의 공룡관의 사례 연구. 한국과학교육학회지, 25(7), 849-866.

Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., Hofstein, A., Niaz, M., Treagust, D., & Tuan, H.-L. (2004). Inquiry in Science Education: international Perspectives. Science Education, 88(3), 397-419.

Chinn, C. A. & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: a theoretical framework for evaluating inquiry tasks. Science Education, 86, 175-218.

Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classroom. Science Education, 84, 287-312.

Duschl, R. A. & Grandy, R. (2012). Two views about explicitly teaching nature of science. Science & Education, published online: 06 October.

Garcia-Mila, M. & Anderson, C. (2008). Cognitive foundations of learning argumentation. In S. Erduran & M. P. Jimenez-Aleixandre (eds.), Argumentation in science education (pp. 29-45). Springer.

Giere, R. (1988). Explaining science: A cognitive approach. Chicago: University of Chicago Press.

Grandy, R. & Duschl, R. A. (2007). Reconsidering the character and role of inquiry in school science: analysis of a conference. Science & Education, 16, 141-166.

Jimenez-Aleixandre, M. P. & Erduran, S. (2008). Argumentation in science education: an overview. In M. P. Jimenez-Aleixandre & S. Erduran (eds.), Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research (pp. 3-27). Springer.

Kuhn, D. & Franklin, S. (2006). The second decade: What develops (and how)? In W. Damon & R. M. Lerner (Seried Eds.), D. Kuhn & R. Siegler (Vol. Eds.), Handbook of child psychology: Vol. 2, Cognition, perception, and language (6th ed., pp. 953-993). Hoboken, NJ: Wiley.

McNeil, K. L. (2011). Elementary students' views of explanation, argumentation, and evidence and their abilities

to construct arguments over the school year. Journal of Research in Science Teaching, 48(7), 793-823.

Millar, R. (1998). Rhetoric and reality: what practical work in science education is really for. In J. Wellington (ed.), Practical work in science education: which way now? (pp. 16-31). London: Routledge.

Moshman, D. (1998). Cognitive development beyond childhood. In D. Kuhn & R. Siegler (Eds.), Handbook of child psychology: Vol. 2, Cognition, perception, and language (5th ed., pp. 947-978). New York: Wiley.

National Research Council (1996). National science education standards. Washington, D.C.: National Academy Press.

National Research Council (2000). Inquiry and the national science education standards: a guide for teaching and learning. Washington, D.C.: National Academy Press.

Nersessian, N. (2002). The cognitive basis of model-based reasoning in science. In P. Carruthers, S. Stich, & M. Siegal (Eds.), The cognitive basis of science (pp. 133 153). Cambridge: Cambridge University Press.

Norris, S. & Phillips, L. (2005). 'Reading as inquiry', NSF inquiry conference proceedings. http://www.ruf.rice.edu/rgrandy/NSFConSched.html.

Sampson, V., Grooms, J., & Walker, J. P. (2011). Argument-driven inquiry as a way to help students learn how to participate in scientific argumentation and craft written arguments: an exploratory study. Science Education, 95, 217-257.

Siegel, H. (1989). The rationality of science, critical thinking and science education. Syntheses, 80(1), 9-42.

White, R. & Gunstone, R. (1992). Probing understanding. London, UK: Falmer Press.

Zimmerman, C. (2000). The development of scientific reasoning skills. Developmental Review, 20, 99-149.