

실험 설계에 나타난 초등 예비교사의 과학적 추론의 특징: 지식과 추론의 상호작용

장병기

(춘천교육대학교)

Characterization of Pre-service Elementary Teachers' Scientific Reasoning in Experimental Design: Interaction between Knowledge and Reasoning

Jang, Byung-Ghi

(Chuncheon National University of Education)

ABSTRACT

This research explores the scientific reasoning of pre-service elementary teachers in experimental design. The article focuses on pre-service teachers' responses to the questions in the worksheets which involve making their knowledge claims on extinguishing of a burning candle in a closed container, evaluating anomalous data, and designing experiment to test their ideas. Their responses are interpreted in terms of categories developed by Tytler and Peterson(2003, 2004). The interrelationship between conceptual knowledge and scientific reasoning is explored using the data. It is argued that coordination of ideas and evidence must be emphasized in the scientific investigations rather than fair test.

Key words : scientific reasoning, experimental design, anomalous data, coordination of ideas and evidence, scientific investigations

I. 연구의 필요성

학생의 선개념을 과학적 개념으로 변화시키는 중요한 방법 중의 하나는 학생의 생각과 불일치하는 변칙사례를 제시하여 인지 갈등을 유발시키는 것이다(Posner *et al.*, 1982). 이 방법에 기초한 수업은 종종 불만족을 유발하기 위해 변칙사례를 채용한다. 변칙사례를 보고 학생은 자신의 생각이 새로운 자료를 설명하기 어렵다는 것을 깨닫고, 그 자료를 설명할 수 있는 다른 생각이나 이론을 고려할지 모른다. 그러나 수업에서 변칙사례의 사용이 항상 개념 변화를 보장하는 것은 아니며, 변칙사례의 제시가 반드시 인지갈등으로 이어지는 것도 아니

다(강석진 등, 2006; Shepardson & Moje, 1999). 학생은 변칙사례를 다르게 해석하거나 무시할 수 있는 여러 가지 방법을 찾아내기 때문이다(Chinn & Brewer, 1998).

변칙사례에 대한 연구는 변칙사례의 특성, 제시 방법(강석진 등, 2001, 2006; Levin *et al.*, 1990)이나 변칙사례에 대한 학생의 반응 유형(노태희 등, 2000; Chinn & Brewer, 1998, 장병기, 1994) 등에 초점을 맞추었다. Chinn & Brewer(1998)는 학생이 변칙 자료에 반응하는데 있어 선행 지식의 역할을 시사했다. 과학 영재를 대상으로 한 장병기(1994)의 연구는 영재 학생의 경우에도 학생의 기존 생각이 추론 방식에 영향을 주기 쉽다는 것을 보여주었다. 이러한 결

과는 변칙사례에 대한 반응에 있어 그와 관련된 지식 배경이 변칙사례를 증거로 판단하는 데 영향을 줄 수 있다는 것을 시사한다.

또한, 최근의 연구는 학생의 개념 변화에서 개념 지식 이외의 다른 요인에 대한 강조가 증가되어 왔다. 예를 들어, 개념 변화에서 과학 지식이나 설명의 본성에 대한 이해(Duschl & Gitomer, 1991), 개념 생태계(conceptual ecology: Strike & Posner, 1992), 열개 이론/framework theories: Vosniadou, 1994), 인식론적 추론(epistemological reasoning: Drive *et al.*, 1996) 등의 역할이 강조되었다(Tytler & Peterson, 2004). 이론과 증거의 조정과 관련된 과학적 추론은 자료의 해석이나 새로운 지식의 생성에서 매우 중요하다. 과학철학적 논의에 의하면 이론과 관련된 가설의 타당성은 단지 몇몇 일치 또는 불일치 사례를 근거로 해서 지지되거나 폐기되지 않고 총체적인 증거에 의존한다.

과학적 추론에 대한 최근의 연구는 인지 발달 측면의 연구와는 다르게 변인통제 능력이나 발달적인 제한보다는 영역특정적인 지식과의 상호작용에 관심을 갖는다(Schauble *et al.*, 1991; Tytler & Peterson, 2004). 추론에 사용된 개념 지식이나 탐구 방안, 추론 목적 등을 포함한 영역특정적인 지식의 성장과 과학적 추론의 발달에 관한 것이다. Schauble(1996)은 과학적 추론의 발달에서 지식 특정한 변화와 실험 방안의 변화 모두가 중요한 역할을 할 것이라고 제안했다. 적절한 지식이 적절한 실험 방안의 선택을 뒷받침하고, 체계적이고 타당한 실험 방안은 좀 더 정확하고 완전한 지식의 발달을 지원하기 때문이다. 이러한 연구 결과는 지식과는 무관하게 주로 실험 방안이나 변인통제에 관심을 두는 탐구 활동의 지도에 대해 문제를 제기한다.

이 연구의 목적은 열린 탐구 활동의 맥락에서 예비교사가 자신의 생각을 검증하는 실험을 설계할 때 과학적 추론의 특징을 조사하고, 그것이 예비교사의 개념 지식과 어떻게 관련되는지 살펴보기 위한 것이다. 가설 검증과 관련된 박종원(2003), 장병기(2005), 김지영과 강순희(2007)의 연구에서도 실험 설계 과정에서 학생이 지닌 생각과의 상호작용을 강조하였다. 그러나 이들 연구는 가설에 대한 학생 생각의 일치 여부에 따른 반응 유형을 주로 분석하였다. 비록 장병기의 연구(2005) 결과는 개념이나 가설이 실험 설계 방식에 영향을 준다는 것을 시사했지만, 과학적 추론과 지식 사이의 관계를 심층적으로 조사한 연구는 거의 없었다.

II. 이론적 배경

과학적 추론을 구성하는 차원이나 추론의 수준을 판단하는 기준은 연구자마다 차이가 있다. Tytler & Peterson(2003, 2004)은 Driver 등(1996)의 연구를 수정하여 3가지 차원을 갖는 표 1과 같은 인식론적 추론틀(a Framework of Epistemological Reasoning)을 제안했다.

과학적 추론의 중요한 부분은 이론과 증거를 조정하는 것이고, 탐구방식은 탐구에 대한 접근방식을 가리키는 것으로 피험자가 자신의 설명을 증거와 조정하는 방식의 유형을 나타낸다. 탐구방식의 첫 번째 수준은 현상 뒤에 숨겨진 이유보다는 그 현상을 탐색하고 서술하려는 접근방식을 보여준다. 두 번째 수준은 단지 현상을 관찰한 결과로부터 규칙성을 추리하려는 귀납적인 접근방식을 보여준다. 세 번째 수준은 생각과 추리에 의해 관찰을 주도하고, 대안 가설을 인식하며 탐색하는 접근방식을 포

표 1. 인식론적 추론틀과 차원(Tytler & Peterson, 2003)

추론 특성	탐구방식	경쟁 지식 주장	변인 다루기
현상 바탕 추론	· 시행착오적인 탐색 · 설명을 일종의 서술로 생각한다.	증거를 명확하게 구별하여 사용하는 법을 이해하지 못한다.	변인에 대한 분명한 인식이 없다.
관계 바탕 추론	· 추리를 통해 규칙성을 찾는 탐색 · 설명은 사물에 대한 해석으로 자료에서 나온다고 생각한다.	선호 주장에 대한 증거를 얻기 위해 확증 실험을 고안하는 경향 증거와 관련 있는 이론의 결핍으로 반증 개념이 드물다.	변인통제를 ‘공정한 검사’ 방안으로 보지만, 서로 다른 변인의 상대적 효과도 규칙성의 일부로 생각한다.
개념 바탕 추론	· 가설 점검 및 탐색 · 생각을 바탕으로 탐구를 추진하고 증거를 수집한다.	지식 주장의 진위를 판별하기 위해, 반증 증거를 제공하기 위한 탐구를 고안한다.	규칙성을 확인하기보다는 오히려 경쟁 생각을 검사하는 과정에서 변인이 통제된다.

함한다.

또, 다른 차원인 경쟁 지식 주장을 다루는 방식의 첫 번째 수준은 검증에 대한 필요를 느끼지 않고 단지 자신의 의견을 표현하는 방식을 보여준다. 두 번째 수준은 서로 다른 지식 주장의 가능성을 비교로서 인정하지만, 선호하는 주장을 긍정하거나 선호하지 않는 주장을 부정하는 방식을 포함한다. 세 번째 수준은 전략적인 증거의 탐색으로 두 경쟁 설명을 구별할 수 있는 검사를 제안하는 방식을 나타낸다.

변인 다루기 차원은 복잡한 변인을 인식하고 다루는 능력을 나타낸다. 첫 번째 수준은 문제가 되는 상호작용의 조건이 존재한다는 것을 인식하지 못하고, 하나의 조건을 서로 다른 값(사례)을 갖는 변인으로 인식하지 못하는 경우를 말한다. 두 번째 수준은 공정한 검사를 위해 변인을 통제하는 방식을 나타내지만, 복잡한 두 변인의 공변화(covariation)를 분리할 수 없는 경우도 포함한다. 세 번째 수준은 경쟁 설명을 구별하기 위해 변인을 통제하고 통제 요소를 지적하는 방식을 나타낸다.

Tyler & Peterson(2003, 2004)은 이론과 가설을 검증하는 과학 탐구과정에서 개념 지식이 바로 탐구의 추진력이 되어야 한다고 주장한다. 탐구의 진행이 개념 지식에 의존하기 때문이다. 그래서 그들은 지식을 이해하고 처리하는 특성에 따라 탐구과정에서 일어나는 추론의 특징을 분류하였다. 본 연구자도 특정한 과제에서 학생의 추론을 파악하기 위한 준거로서, 이러한 틀을 사용할 것이다. 학생이 왜 특정한 종류의 증거에 그렇게 반응하는지 알아보기 위해 반응에 영향을 주는 증거의 특징을 살펴보는 것은 중요하다. Chinn & Brewer(1998)는 변칙사례에 대한 연구에서 제시된 사례와 관련된 학생의 선행지식을 구체적으로 조사하거나, 반응 유형과의 관련성을 밝히는 연구가 필요하다는 것을 시사했다.

연구자는 일련의 탐구수업에서 학생의 지식이 추론에 영향을 준다는 실마리를 발견했다. 학생들은 촛불을 비커로 덮었을 때 촛불이 꺼지는 이유를 대개 산소의 완전 소모로 설명했고, 그러한 생각을 검사하는 실험을 설계하라고 했을 때 당혹스러워했다. 이 문제는 매우 오래된 역사를 가지고 있다. 현재도 많은 학생이나 교사는 물이 든 살레 위의 촛불을 비커로 덮었을 때 물이 비커 속으로 들어가는 것이 비커 속의 산소가 없어졌기 때문이라고 생각

한다(Vera et al., 2011). 우리나라 6차 교육과정 자연 교과서에서도 동일한 실험을 산소의 소모로 설명했었다(전우수, 2000). 잘못된 설명의 주된 원인은 연소에 있어 산소의 역할에 대한 지나친 강조이다. 그것은 촛불 실험 결과를 사실과 다르게 해석하도록 하기 쉽다. 밀폐된 공간에서 촛불이 꺼지는 이유를 탐구하는 과제는 그런 의미에서 추론 방식과 지식 사이의 관계를 드러낼 수 있는 적절한 탐구과제이다. 해결을 위해 많은 지식이 필요하고, 변인 사이의 관계보다는 설명을 요구하기 때문이다. 따라서 연구자는 초등 예비교사에게 비커 속의 촛불이 꺼지는 이유를 탐구하는 과제를 제시했을 때, 자신의 가설을 검증하는 활동에서 드러난 피험자의 과학적 추론의 특징을 조사하고, 과학적 추론이 어떻게 지식과 관련되는지 분석하였다. 그 구체적인 연구 문제는 다음과 같다.

- 초등 예비교사가 자신의 생각을 검사하는 실험을 설계하는 과정에서 드러난 과학적 추론의 특징은 무엇인가?
- 탐구과제에 대한 초등 예비교사의 지식은 실험 설계에 어떻게 영향을 주는가?

III. 연구 방법 및 절차

1. 연구 대상

본 연구는 좀 더 자연스러운 접근방식에서 실제 수업 활동에서 일어나는 피험자의 반응을 탐색하기 위해 엄격한 표집법을 사용하지 않았다. 연구자가 강의하는 초등과학교육 과목을 수강하는 학생 '4개 반'을 대상으로 하였다. 학생들은 각각 국어과, 영어과, 컴퓨터과에 속해 있었고, 그 중 영어과는 2개 반이었다. 총 108명의 학생 중 여학생은 79명, 남학생은 29명이었다. 대상 학생은 주로 고등학교 인문계열 출신이고, 자연계열 출신은 20%도 되지 않았다. 촛불의 소화에 대한 열린 탐구과제를 수행하기 전에 이들 학생에게 먼저 수업 시간에 1시간 동안 탐구에 대한 예시를 제시했다. 제시된 예시는 썩은 고기에서 나온 구더기가 저절로 생기는 것인지, 파리의 알에서 생기는지 알아보기 위한 실험이었다. 그림 1과 같이 병 속에 각각 고기를 넣고 마개를 한 경우와 열어 놓은 비교 실험에서 일어날 수 있는 결과와 결과에 대한 논리적 해석에 대해 설명했다.

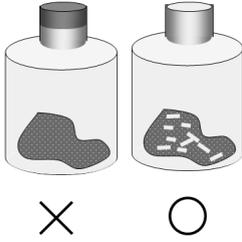


그림 1. 비교 실험

2. 검사 도구

열린 탐구과제를 위한 자료로서 수업 활동에서 제공된 검사지는 비커를 덮었을 때 촛불이 꺼지는 원인에 대한 피험자의 생각과 확신 정도, 그리고 자신의 생각을 검증하기 위한 실험 설계에 대한 것이었다. 구체적인 사례는 그림 2와 같다.

일주일 후에 수업 활동에서 사용된 두 번째 검사지는 좀 더 구체적으로 위 실험에서 산소 완전 소모 및 변칙사례에 대한 피험자의 생각과 실험 설계 방

법을 조사하였다. 변칙사례와 경쟁 지식 주장을 다루는 방식은 증거에 비추어 피험자의 생각이나 이론을 평가하고 판단하는 데 중요한 능력이기 때문이다(Tytler & Peterson, 2003; 2004). 피험자에게 제시된 변칙사례의 예는 그림 3과 같다. 이어서 산소 완전 소모에 대한 피험자의 생각을 묻고, 자신의 생각을 확인해 볼 수 있는 실험을 설계하도록 하였다. 전체적인 탐구 검사지 구성의 예시는 다음과 같다.

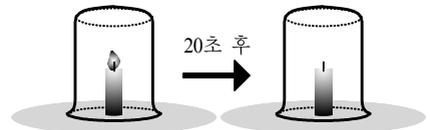
- 산소소모 이론에 대한 자료를 읽고 이론을 확신도와 함께 평가하도록 한다.
- 산소소모 이론에 대한 변칙사례를 제시하고, 그것을 확신도와 함께 평가하도록 한다.
- 변칙사례가 증거로서 산소소모 이론과 일치하는 정도를 확신도와 함께 평가하게 한다.
- 다시 산소소모 이론을 확신도와 함께 평가하도록 한다.
- 자신의 생각과 그것을 확인할 수 있는 실험 방법을 제시하고 설명하도록 한다.

1. 타고 있는 양초에 500mL 비커를 덮었다. 비커를 덮자 얼마 후 불꽃은 조금씩 약해지더니 20초가 되자 꺼져버렸다. 여러분은 비커 속의 촛불이 왜 꺼졌다고 생각하는가?

2. 촛불이 꺼진 이유에 대한 자신의 생각을 여러분은 얼마나 확신하는가?

잘 모르겠다	조금	중간	정말로 확신한다.
0	1	2	3

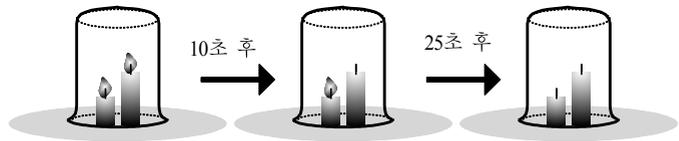
3. 자신의 생각이 맞는지 확인해 볼 수 있는 실험 방법을 제시하고, 그 결과를 어떻게 해석해야 하는지 설명한다. (다른 사람이 이해하기 쉽게 가능하면 그림을 그려서 서술한다.)



실험 1. 500 mL용 비커 속의 촛불

그림 2. 촛불의 소화에 대한 사전 설문

그래서 보람이도 한 번 실험을 해보았다. 이번엔 길이가 서로 다른 두 양초에 불을 붙이고 1,000 mL 비커를 덮었더니, 먼저 긴 양초가 꺼지고 25초가 되자 짧은 양초도 꺼져버렸다. 보람이는 이 실험 결과가 이상했다. 비커 속의 산소가 없어서 촛불이 꺼진다면 긴 초가 꺼졌을 때, 짧은 초도 동시에 꺼져야 하기 때문이다. 그래서 보람이 촛불이 꺼지는 것이 산소 때문이 아니라 다른 이유 때문일 것이라고 생각했다.



실험 2. 1000 mL용 비커 속의 길이가 다른 두 촛불

(1) 여러분은 보람이의 실험 결과 2를 얼마나 믿을 수 있는가?

정말로 안 믿는다	중간	조금	잘 모르겠다.	조금	중간	정말로 확신한다.
-3	-2	-1	0	1	2	3

(2) 그렇게 생각하는 이유를 근거를 들어 구체적으로 설명한다.

그림 3. 촛불의 소화에 대한 탐구 설문 예시

3. 자료 수집 및 분석

촛불을 비커로 덮었을 때 꺼지는 원인을 탐구하기 위한 과제는 한 달 동안의 열린 탐구과제로 모둠별로 자신의 생각을 검증하는 실험 활동과 토의를 거치도록 하였고, 그 후 일주일 동안 가상대학 게시판을 통하여 이 주제에 대한 토론을 하도록 하였다. 최종적으로 탐구보고서를 개별적으로 제출하도록 하였다. 모둠별로 열린 탐구과제를 수행하기 전에 수업 시간 중에 30분 동안 검사지를 통해 촛불의 소화 문제에 대한 학생의 생각을 적고, 실험 설계를 해보도록 하였다. 이어서 탐구에 대한 예시로서 구더기가 파리의 알에서 생기는지 알아보는 실험에 대해 설명을 하였다. 그리고 일주일 후 수업 시간(1시간 30분) 중에 다시 검사지를 통해 변칙사례를 제시하고, 그것을 평가한 후 다시 실험 설계를 해보도록 하였다. 검사지를 제출하고 남은 30분 동안 모둠별로 열린 탐구과제를 수행하기 위한 계획을 세우도록 하였다. 탐구과제는 모둠별로 수업 시간 이외에 수행하도록 하였다. 필요한 준비물은 과학실험실에서 제공하였다. 본 연구는 이 활동을 통해 피험자가 제출한 검사지를 토대로 이루어졌다.

검사지에 나타난 학생의 반응을 범주화하기 위해 각 문항별로 3번의 분류 작업을 별도로 시행하였다. 각각의 작업에서 불일치되는 항목은 다시 분류 준거를 바탕으로 검토하여 조정하였고, 범주별로 분류된 반응을 다시 최종적으로 범주 내에서 비교 검토하였다. 범주화된 학생의 반응은 빈도를 조사하고 교차 분석을 통해 유의도 .05 수준에서 반응의 상호관련성을 분석하였다. 표집 한계와 남녀 구성의 불균형 등으로 남녀별 차이는 분석하지 않았다.

촛불의 소화에 대한 학생의 생각은 크게 4가지, ‘산소소모’, ‘산소부족’, ‘이산화탄소’, 및 ‘기타’ 반응으로 분류하였다. 산소가 ‘없어져서’, ‘진부 써서’, ‘모두 사용해서’ 등 산소를 완전히 소모했기 때문인 것으로 서술한 학생은 ‘산소소모’ 반응으로 분류했다. 반면에 산소가 ‘부족’하기 때문인 것으로 서술하거나, 공기나 산소의 공급이 차단되었다는 의미로 서술한 학생은 ‘산소부족’ 반응으로 분류했다. 설명에서 연소에서 발생한 ‘이산화탄소’를 언급한 학생은 ‘이산화탄소’ 반응으로 분류했다. 그밖에 나머지 반응은 ‘기타’ 반응으로 분류했다.

학생이 자신의 생각을 검증하기 위해 설계한 실험 내용은 표 2와 같이 독립 및 종속변인의 종류,

표 2. 실험 설계의 분석 준거

독립 변인	종속 변인	결과 해석	변인 통제	탐구 방식
산소 공급	연소 유무	없음	인식 부족	현상 탐색
비커 크기	연소 시간	확증 결과	변인 고려	관계 탐색
기타	기타	결과 비교	변인 통제	가설 탐색

결과의 해석, 변인통제 능력, 탐구방식의 5가지 측면에서 분석되었다. 각 범주의 구체적인 준거는 결과 설명에서 제시할 것이다.

이 중에서 탐구방식은 변인통제와 함께 과학적 추론의 특징을 시사하는 구체적인 준거이다. 원래 Tyler & Peterson(2003)이 제시했던 범주는 현상 탐색(ad hoc exploration), 관계 탐색(inference searching), 가설 점검(hypothesis checking), 가설 탐색(hypothesis exploring)의 4범주이었다. 여기서 가설 탐색은 증거와 이론의 상호의존성을 인식하고, 두 가지 이상의 가설을 효과적으로 비교하기 위해 변인을 의도적으로 변화시키며, 추론의 오류 가능성을 탐색하는 반응을 말한다. 그러나 학생의 반응을 분석한 결과, 대안 가설을 분명하게 인식하고, 그것을 적극적으로 탐색하는 엄밀한 의미의 가설 탐색은 거의 없었다. 그래서 이 연구에서는 가설 점검과 가설 탐색 범주를 하나로 묶어 ‘가설’ 탐색 반응으로 분류했다.

두 번째 검사지에서 제시한 변칙사례에 대한 반응은 확신도에 따라 긍정(>0), 불확실(=0), 부정(<0) 반응으로 구분하고, Chin & Brewer(1998)의 분류 준거를 바탕으로 그 이유 설명을 분류했다. 그러나 ‘제외하기’, ‘이론 일부 수정’, ‘이론 변화’ 범주는 나타나지 않아서, 이유 설명에 대한 학생의 반응은 표 3과 같이 5가지 범주로 분류되었다.

산소소모 주장과 제시된 변칙사례가 일치하는지 묻는 문항은 학생이 증거를 어떻게 인식하는지 알아보기 위한 문항이다. 이에 대한 학생의 반응은 일

표 3. 변칙사례에 대한 반응 유형

반응 유형	자료를 바탕으로 받아들이는가?	자료에 대한 설명을 하는가?	현재 이론을 바꾸는가?
무시하기	아니다	아니다	아니다
거부하기	아니다	그렇다	아니다
불확실성	미결정	아니다	아니다
보류하기	그렇다	미결정	아니다
재해석	그렇다	그렇다	아니다

치에 대한 확신도에 따라 일치(>0), 불확실(=0), 불일치(<0) 반응으로 구분하였다. 그 이유에 대한 설명은 크게 증거를 인정하는 경우나 인정하지 않는 경우로 구분하고, 증거를 인정하지 않는 경우는 ‘인식결여’와 ‘증거부인’ 반응으로 구분하고, 증거를 인정하는 경우는 ‘긍정증거’, ‘부정증거’, ‘대안인식’ 반응 등으로 세분하였다.

산소소모 주장을 재평가하는 문항은 이론 변화를 알아보기 위한 문항이다. 이에 대한 학생의 반응은 확신도에 따라 긍정(>0), 불확실(=0), 부정(<0) 반응으로 구분하였다. 그 이유 설명은 ‘이론 유지’, ‘이론 조정’, ‘이론 의심’, ‘이론 대체’ 반응 등 4가지 범주로 분류했다.

IV. 연구 결과 및 논의

1. 촛불의 소화에 대한 학생들의 생각과 확신

촛불을 비커로 덮었을 때 촛불이 꺼지는 현상에 대해 학생의 반응은 크게 2 범주로 구분할 수 있었다. 그것은 산소가 부족하거나 없어져서 꺼진다고 하는 반응과 다른 이유를 든 반응이었다. 두 반응을 다시 세분하면 표 4와 같다. 108명의 학생 중 63명(58%)은 산소가 없어져서 꺼진다고 했고, 30명(28%)은 산소가 부족해서 꺼진다고 했다. 산소소모를 이유로 든 학생은 절반 이상이 산소가 ‘없어져서’, ‘전부 써서’ 또는 ‘모두 사용해서’와 같은 낱말을 사용하였다. 산소부족을 구체적으로 언급한 학생은 23명이었지만, 산소나 공기의 ‘차단’ 또는 ‘공급 중단’으로 표현한 학생도 이 범주에 포함시켰다. 나중에 이들 학생 중 일부는 ‘차단’이라는 말을 ‘완전 소모’로 해석하는 경우도 있다는 것을 알았다. 이와 같은 경향은 놀랍게도 연소에 대한 초등교사 12명의 개념을 조사한 신애경 등(2011)의 결과와 매우 유사하다. 나머지 학생은 주로 연소에서 발생한 이산화탄소를 언급했다. 12명은 산소의 연소에서 생긴 이산화탄소를 언급했고, 1명은 단지 ‘CO₂가 부족해서’라고 했다. 기타로 분류된 두 학생 중 한 명은 양초가 기화하여 위로 올라가서 촛불이 꺼지고, 다른 학생은 산소부족으로 발화점이 되지 않아 꺼진다고 설명했다.

전체적으로 학생은 자신의 생각을 확신했다. 평균값은 3점 기준으로 2.28이었다. 표 4에서 알 수 있는 것처럼 산소가 완전히 소모되어 꺼진다고 생각하는 학생일수록 확신도가 커지는 경향이 있었다.

표 4. 학생의 처음 생각에 따른 분포와 확신도

처음 생각	산소소모	산소 부족	이산화탄소	기타
학생 수(N=108)	63(58%)	30(28%)	13(12%)	2(2%)
확신도*	2.41	2.13	2.08	1.50

*3점 척도로 전체 학생의 평균값은 2.28

이것은 학생들이 그만큼 연소에서 산소의 역할에 주목하고 있다는 뜻이다. 따라서 이 과제는 추론에서 강한 지식 특성의 영향을 살펴볼 수 있는 기회를 줄 것이라고 예상되었다.

2. 실험 설계의 특징과 지식의 상호작용

실험 설계를 통한 학생의 추론은 앞에서 언급했던 것처럼 5가지 측면에서 분석되었다. 독립변인의 선택은 ‘산소공급’, ‘비커 크기’, ‘기타’ 등 3범주로 분류되었다. ‘산소공급’ 범주는 다시 ‘공급/차단’ 반응과 ‘틈/구멍’ 반응으로 세분되었다. 산소를 공급하거나 산소공급기를 언급하는 경우(표 5 산소 공급 참조), 또는 비커로 공기를 차단하는 경우(표 5 공기 차단)를 고려한 학생은 ‘공급/차단’ 반응으로 분류했다. 반면에 공기를 공급하기 위하여 비커에 틈을 만들거나 구멍을 만드는 실험(표 5 참조 공기 공급)을 설계한 학생은 ‘틈/구멍’ 반응으로 분류했다. 산소의 양을 변화시키기 위하여 비커의 크기를 다르게 설계한 학생은 ‘비커 크기’ 반응으로 분류했다. 초의 길이나 비커의 높이를 변화시켜 비커의 높이에 대한 양초의 상대적 길이를 변화시킨 학생은 ‘초의 길이’ 반응으로 분류했다. 이 반응은 두 번째 실험 설계에서 나타났고, 비커의 크기를 변화시키는 것을 함께 고려한 경우도 있었다. 그밖에 독립변인을 고려하지 않고, 생물, 석회수, 또는 불똥 등 산소나 이산화탄소를 확인하기 위한 방법만을 언급하거나 온도나 습도를 측정한다고 언급한 학생은 ‘기타’ 반응으로 분류했다. 학생들은 독립 변인으로 ‘산소공급’(56%)이나 ‘비커 크기’(22%)를 생각하였다. 나머지 22%의 학생은 ‘기타’ 범주로 변인의 변화보다는 현상을 확인하는 것에 그쳤다. 학생들의 전형적인 실험 설계 사례는 표 5와 같다.

비커로 공기를 차단하여 그렇지 않은 촛불과 비교하는 실험을 제안한 학생은 전체의 10%이다. 이것은 표 5의 ‘공기 차단’ 예에서 보여주는 것처럼 설문에서 사례로 제시한 현상을 재현하고 확인하는 것이었다. 11명의 학생 중에서 5명은 예상 결과나

표 5. 전형적인 실험 설계 사례

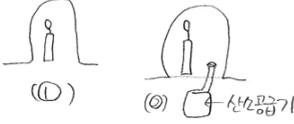
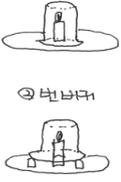
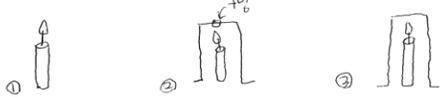
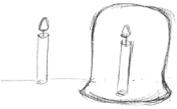
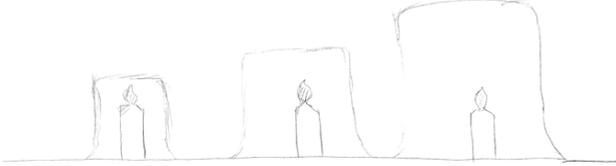
독립변인	빈도	전형적인 실험 설계 사례
산소 공급	22(20%)	<p>조를 태울 때 하나는 그냥 조를 태우고 ①</p> <p>하나의 비커는 조를 꽂아 산소 팽이를 장착한다.</p> <p>②번 비커쪽의 양초는 계속 타오를 것이다.</p> 
공기 공급 (틈)	16(15%)	<p>비교실험을 한다.</p> <p>①번 비커 실험기과 같이 양초는 500ml 비커로 완전히 덮는다.</p> <p>②번 비커 다른 조건은 ①번과 모두 같으나 비커 밑에 받침대를 놓아 비커와 비커사이의 공간은 확보한다.</p> <p>공기의 출입이 있을 때 아 없을 때 경과가 어떠한지 살펴본다. 상각의</p> 
공기 공급 (구멍)	11(10%)	<p>같은 크기의 비커를 2개를 준비한다. 양초 2개를 준비한다. 하나는 그냥 태우고, 다른 하나는 구멍이 뚫린 비커를 덮고 비커를 덮는다. ③</p>  <p>결과: ②번 초만 불이 꺼진다. ⇒ ①, ② 번은 공기가 계속 순환하고 ③번은 밀폐되어 있다. 따라서 연소가 타기 위해서는 공기가 필요하다.</p>
공기 차단	11(10%)	<p>똑같은 조의 양초를 준비하고 하나는 비커를 덮고, 다른 하나는 비커를 덮지 않고 실험을 진행한다.</p> 
비커 크기 (산소량)	24(22%)	<p>같은 크기의 조를 3개정도 준비하고, 크기가 다른 비커를 3개 준비한다. 촛불 붙이고 크기가 다른 비커를 동시에 덮는다. 각각의 비커 속에 든 촛불이 꺼지는 시간을 측정한다.</p> <p>⇒ 비커가 클수록 촛불이 늦게 꺼질 것이다. 비커의 크기가 클수록 산소의 양이 많기 때문에 더 오래 탈수 있다.</p> 

표 5. 계속

독립변인	빈도	전형적인 실험 설계 사례
기타 (기체)	10(9%)	<p>이산화탄소는 날숨으로 비커안을 가득 채운 후 양초를 넣으면 바로 꺼진다. 산소가 아예 없기 때문이다.</p> 
기타 (생물)	5(5%)	<p>안에 초파리나 버섯을 넣어본다. 불이 꺼지고 그다음 산소가 없어 썩어 버리는 것이다. 동물은 산소가 필요하니까 산소가 없으면 파리들이 죽어버린다. * 더 오래 산소가 부족하여 불이 계속 연소되지 못하니 꺼진 것이다.</p> 
기타 (석회수)	4(4%)	<p>500ml 비커 속에는 이산화탄소가 많이 차있는 것 것이므로 석회수가 이산화탄소를 만나면 부풀게 변하므로 이 비커안이다 이 산소가 많은 비커를 곁에 놓는다. (또는 실험에 석회수를 써서)</p> 
기타 (그 외)	5(5%)	<p>비커내의 온도변화를 측정한다. 양초의 발화점과 비교하여 측정온도보다 낮은지 높은지 비교한다.</p> 

해석을 제시하지 않았다. 반면에 전체 학생의 45%는 공기 차단보다는 전형적으로 공기나 산소의 공급을 통해 자신의 생각을 검증하려고 하였다.

산소나 공기 공급을 의도한 학생 49명 중 22명은 관을 통해 공기나 산소를 비커에 주입하면 계속 양초가 탈 것이라는 예상하고, 그것을 확인하려고 했다. 이들은 구체적으로 어떻게 산소를 얻는지는 언급하지 않았다. 일부 학생은 두 가지 조건을 비교하기보다는 공기나 산소가 주입되면 양초가 계속 타는지 확인하는 것에만 주목하였다. 대부분 학생은 비커로 덮었을 때 공기가 완전하게 차단되지 않거나, 공기나 산소가 주입되어도 양초가 꺼질 수 있다는 가능성은 전혀 예상하지 못했다. 극히 일부 학생만 주어진 조건에서 일어날 수 있는 두 가지 사례를 가정할 수 있었다. 16명의 학생은 공기나 산소의 공급을 위하여 비커를 들어 올리거나 틈을 만들어 비교하는 것으로 자신의 생각을 확인하려고 했다. 이

들 학생 중 일부는 실험 결과나 해석을 제시하지 않고 단지 두 가지 이상의 비교 조건만을 제시했지만, 대부분 학생은 자신의 생각을 입증하는 결과를 제시했다. 실제로 비커를 바닥에서 어느 정도 들어 올려도 촛불이 꺼지지만, 그러한 결과를 예상한 학생은 없었다. 학생 11명은 공기나 산소를 공급하기 위해 비커에 작은 구멍을 뚫어 비교하는 실험을 제안했다. 대부분 학생은 비커에 구멍을 뚫으면 공기가 통해 촛불이 계속 탈 것이라고 생각했다. 실제로 구멍이 있어도 촛불이 꺼지지만 그렇게 될 가능성을 예상한 학생은 한 명도 없었다.

22%의 학생은 산소의 양에 따라 촛불이 얼마나 오래 타는지 조사하려고 했다. 24명 중 18명은 크기가 다른 비커를 덮었을 때 연소 시간을 측정하려고 했다. 나머지 학생은 대부분 산소의 양을 변화시켜서 촛불이 꺼지는 시간을 측정한다고 추상적으로 서술했다. 표 5에서 알 수 있는 것처럼 대부분 학생

은 촛불이 늦게 꺼지면 연소 시간이 비례하지 않아도 산소 가설이 입증되는 것처럼 생각했다. 촛불이 늦게 꺼지더라도 연소 시간이 2배가 되지 않는다면 산소 가설에 문제가 있다는 것을 뜻하지만, 이들 학생은 이러한 점을 전혀 인식하지 못했다.

‘기타’ 범주로 분류된 나머지 22%의 학생은 대부분 현상을 확인하는 수준이었다. 대개 학생은 산소나 이산화탄소 기체에 촛불을 넣어보거나, 연소된 비커에 생물을 넣어 산소가 없어졌다는 것을 확인하고, 또는 석회수를 넣어 이산화탄소가 생겼다는 것을 확인하려고 했다. 24명의 학생 중 8명은 결과나 해석을 제시하지 않았다.

검사지에서 ‘실험 방법을 제시하고 그 결과를 어떻게 해석할지 설명’하라고 요구했지만, 전체적으로 41명은 실험 결과나 해석을 제시하지 않아 ‘없음’ 범주에 해당되었다. 이런 결과는 학생이 자신의 개념을 바탕으로 예상하는 일이 쉽지 않다는 것을 시사한다. 실험 결과의 긍정적 사례나 부정적 사례를 제시하고 반증 가능성을 언급하여 ‘결과비교’ 범주로 분류된 학생은 단지 7명이었고, 나머지 학생(56%)은 ‘확증결과’ 범주로 대개 자신의 생각을 확증하는 결과만을 제시하였다. 또한, 실험 설계에서 57%의 학생은 2개 이상의 비교 실험을 제시했지만, 나머지 학생은 1개의 실험만 언급하거나 실험 방법을 구체적으로 서술하지 않았다. 이것은 학생의 추론이 관계나 가설을 탐색하기보다는 현상을 탐색하는 방향으로 이루어지기 쉽다는 것을 시사한다.

학생의 생각과 독립변인의 선택을 살펴보면 표 6과 같다. 산소의 완전 소모로 촛불이 꺼진다고 생각하는 학생은 상대적으로 구체적인 실험 방법을 제시하여 비커의 크기를 변화시키거나 비커에 틸을 주거나 구멍을 만드는 방법을 택하기 쉬웠고, 산소 부족으로 촛불이 꺼진다고 생각하는 학생은 틸이나 구멍을 만드는 것 대신에 실제로 학생의 수준에서

실험이 가능하지 않은 추상적인 방법만 언급하기 쉬웠다. 이것은 촛불이 꺼지는 현상을 단지 산소의 유무로 판단하는 경우 그것을 통제할 수 있는 구체적인 방안, 예를 들어 틸이나 구멍, 또는 비커의 크기를 변화시키는 것을 쉽게 찾아낼 수 있다는 것을 시사한다. 그러나 산소부족으로 촛불이 꺼진다고 생각하는 경우에는 산소부족이 어떻게 양초의 연소에 영향을 주는지 이해하는 것이 학생 수준에서는 쉽지 않다. 따라서 학생은 구체적인 방안 대신에 단지 추상적인 방법을 언급하기 쉬웠던 것으로 보인다. 예를 들어, 어떤 학생은 단지 ‘산소의 양에 따라서 촛불이 어떻게 연소하는지 알아본다.’고 서술했다. 마찬가지로 이산화탄소 때문에 촛불이 꺼진다고 생각하는 학생도 이산화탄소가 어떻게 양초의 연소에 영향을 주는지 이해하기가 쉽지 않다. 학생들은 이산화탄소가 무겁다고 생각하기 때문에, 이산화탄소의 영향을 알아내는 실험을 고안하기가 쉽지 않았을 것이다. 따라서 많은 학생은 이산화탄소를 확인하는 것에 초점을 맞추었다. 이것은 학생이 지니고 있는 개념 지식이 학생의 추론을 구속하거나 그것에 영향을 준다는 것을 시사한다.

학생의 탐구방식은 ‘현상’, ‘관계’, ‘가설’ 범주로 구분했다. ‘현상’ 탐색 방식은 독립변인을 변화시킨 체계적인 비교나 관찰보다는 표 5의 ‘기타’ 반응과 같이 어떤 현상을 확인하거나, 주어진 실험을 다시 재현하여 확인하는 반응을 말한다. ‘관계’ 탐색 방식은 변인 사이의 관계를 알아보기 위해 다른 조건을 비교하지만, 자신의 생각을 바탕으로 그 결과를 예상하지 못하는 경우를 말한다. 이들 학생은 관찰을 통해 추리를 하는데 목적이 있다. ‘가설’ 탐색 방식은 가설이 될 수 있는 자신의 생각을 바탕으로 그것을 확인하기 위해 실험 조건을 변화시키고, 실험 결과가 어떻게 될지 예상하는 반응을 말한다. 이들 학생은 자신의 생각을 확인하기 위해 의도적인 관찰 상황을 만든다. 실험 설계에서 나타난 학생의 탐구방식을 조사한 결과는 표 7과 같다.

표에서 알 수 있는 것처럼 틸/구멍 또는 비커 크기와 같이 구체적인 실험 방안을 제시했던 학생은 ‘가설’ 탐색 방식을 선호하였고, 공기 공급이나 차단의 관점에서 실험 방안을 제시했던 학생은 상대적으로 ‘현상’ 탐색 방식을 선호하였다. 또한, 기타 방안을 제시했던 학생도 대개 현상을 탐색하고 확인하는 것에 초점을 맞추었다. 이와 같은 결과는 학

표 6. 학생의 처음 생각에 따른 독립변인의 선택*

독립변인	산소소모	산소부족	기타**	합계
공급/차단	17	15	1	33
틸/구멍	19	6	2	27
비커 크기	15	7	2	24
기타	12	2	10	24
합계	63	30	15	108

* $p < .05$, ** 이산화탄소 범주 포함

표 7. 탐구방식과 독립변인의 선택*

독립변인	현상	관계	가설	합계
공급/차단	16	8	9	33
틈/구멍	1	6	20	27
비커 크기	0	9	15	24
기타	18	2	4	24
합계	35	25	48	108

* $p < .05$

생이 지닌 개념 지식이 추론 과정과 방향에 영향을 주기 쉽다는 것을 단적으로 보여준다. 구체적인 방안을 이용할 수 없는 경우 명확하게 가설을 점검하고 탐색하기가 어렵기 때문이다.

구체적인 설계 방안을 만들기 어려웠던 산소 공급/차단 변인을 사용하는 학생은 다른 변인을 선택한 학생보다 실험에 대한 예상 결과를 제시하지 못한 경우가 많았다(55% > 31%). 전체적으로 38%의 학생은 결과를 예상하지 않았고, 대부분 자신의 생각을 입증하는 결과만을 제시했다. 일치 사례와 불일치 사례를 모두 제시하고 비교한 학생은 단지 7명뿐이었다. 학생의 개념적 기대가 결과를 예상하거나 그것을 해석하는 데도 영향을 주는 것으로 보였다.

종속변인의 선택은 크게 3가지 범주로 구분하였다. 양초가 계속 타는지 꺼지는지를 언급하는 경우는 ‘연소 유무’ 반응으로, 양초가 얼마나 오래 타는지, 양초가 꺼지는 순서 등을 언급한 경우는 ‘연소 시간’ 반응으로, 그 밖에 석회수의 색깔, 온도, 습도, 및 생물의 반응 등을 확인하려고 한 경우는 ‘기타’ 반응으로 분류했다. 탐구하는 소재와 관련하여 다른 변인을 일정하게 유지하고, 조사하는 변인의 변화 결과를 알아보는 것은 실험 설계에서 매우 중요하지만, 관찰하려는 종속변인을 언급하지 않은 학생은 14명이나 되었다. 대부분의 학생은 종속변인으로 연소 유무(48%)와 연소 시간(28%)을 언급했다. 나머지 11명은 ‘기타’ 범주에 속했다.

실험 설계에 필요한 변인을 다루는 능력은 크게 ‘인식부족’, ‘변인고려’, ‘변인통제’ 등 3가지 범주로 구분했다. 독립변인을 구체적으로 언급하지 않고 단지 현상을 확인하기 위한 실험을 설계한 학생은 ‘인식부족’ 범주로 분류했다. 반면에 비교하는 실험의 조건을 언급하지 않고 독립변인의 변화만을 고려한 경우에는 ‘변인고려’ 범주로 분류했다. 두 가지 변인을 함께 변화시키는 경우도 포함되었다. 양

초의 길이나 비커의 크기 등 구체적으로 비교할 실험의 조건을 언급하거나 ‘동일한’ 또는 ‘같은’ 조건을 분명하게 서술한 경우에는 ‘변인통제’ 범주로 분류했다. 독립변인의 선택에 따른 변인통제 능력을 조사한 결과는 표 8과 같다.

21%의 학생은 실험 설계에서 변인을 고려하지 않았지만, 나머지 학생은 변인을 고려하여 실험을 설계했다. 대부분의 학생은 연소에 영향을 주는 것이 단지 산소라고 생각하고 있기 때문에 산소(또는 공기) 이외의 요인에 거의 주목하지 못했다. 따라서 비커를 덮는 방법이라든지, 비커의 높이, 비커와 바닥의 밀폐 여부, 심지의 상태나 촛불의 크기 등을 고려하지 않았다. 전반적으로 양초의 연소에 영향을 주는 요인에 대한 학생의 지식은 충분하지 못했다. 19%의 학생이 언급한 통제 변인은 양초 길이나 비커 크기, 또는 일반적으로 ‘동일한 조건’의 언급이 전부이었다. 틈/구멍을 포함하여 산소의 공급이나 차단을 통해 실험을 설계하는 학생은 독립변인은 고려하지만, 대개 변인통제를 구체적으로 언급하지 않았고, 비커의 크기 변화로 산소의 양을 변화시키는 실험을 설계하는 학생은 상대적으로 변인통제를 언급하는 경우가 많았다. 그밖에 단지 현상을 확인하려는 실험을 설계한 기타 반응은 변인에 대한 인식이 분명하게 드러나지 않았다. 이와 같은 결과도 학생의 지식이 추론 과정에 영향을 준다는 시사점을 준다.

탐구방식과 변인통제 능력을 비교한 결과는 표 9와 같다. 현상 탐색적인 탐구방식을 사용하는 학생은 독립변인을 고려하지 않기 쉬웠고, 관계나 가설 탐색적인 탐구방식을 사용하는 학생은 독립변인을 고려하여 실험을 설계하기 쉬웠다. 그러나 가설 탐색적인 탐구방식을 사용하는 학생보다 관계 탐색적인 탐구방식을 사용하는 학생이 변인통제를 더 많이 했다. 이것은 변인통제 능력이 반드시 탐구방식의

표 8. 변인통제 능력과 독립변인의 선택*

독립변인	인식부족	변인고려	변인통제	합계
공급/차단	5	26	2	33
틈/구멍	1	21	5	27
비커 크기	0	13	11	24
기타	17	5	2	24
합계	23	65	20	108

* $p < .05$

표 9. 탐구방식과 변인통제 능력*

변인통제	현상	관계	가설	합계
인식부족	21	0	2	23
변인고려	14	17	34	65
변인통제	0	8	12	20
합계	35	25	48	108

* $p < .05$

수준과 일치하는 것은 아니라는 것을 시사한다.

3. 변칙사례 평가를 통한 추론 방식의 변화

과학적 추론의 핵심은 경쟁 이론과 관련하여 증거를 판단하고 평가하는 능력이다. 두 번째 설문은 이를 위해 산소소모 이론에 대한 변칙 자료와 경쟁 지식 주장을 제시하고, 이것을 다루는 학생의 반응과 실험 설계에서 학생이 그러한 자료를 고려하는지 살펴보았다.

1) 산소소모 주장에 대한 학생의 반응

산소소모 주장에 대한 학생의 반응은 108명 중에서 102명의 학생(94%)이 긍정적이었다. 단지 5명만 부정적인 의견을 제시했다. 이산화탄소에 의해 촛불이 꺼진다고 생각하는 학생 13명 중 9명도 산소소모 주장을 긍정적으로 생각했다. 산소소모 주장에 대한 확신도는 1.95로 자신의 주장에 대한 결과(2.28)와 비교했을 때 조금 줄어들었다. 산소소모 주장에 대해 불확실 반응이나 부정 반응을 한 학생 6명은 특별한 경우가 아니면 이후의 분석에서는 제외했다. 학생의 처음 생각에 따른 반응 이유를 살펴보면 표 10과 같다. 학생 대부분(83%)은 촛불의 소화에 대한 이유를 크게 산소의 고갈, 공기나 산소의 차단, 연소에 산소가 필요하기 때문이라고 응답했다. 11%의 학생은 이산화탄소의 발생을 이유로 들

표 10. 처음 생각에 따른 산소소모 주장에 대한 옹호 이유*

반응 이유	산소소모	산소 부족	이산화탄소	합계
산소고갈	21	6	3	30
차단	16	6	0	22
산소(=연소)	18	14	1	33
이산화탄소	5	1	5	11
기타	3	3	0	6
합계	63	30	9	102

* $p < .05$

었고, 6%의 학생은 그밖에 다양한 이유를 들었다. 자신의 설명에서 사례를 든 학생은 7명뿐이었고, 5명은 확인 실험이 필요하기 때문이라고 했다. 많은 학생은 설명에서 ‘연소의 조건’을 언급했으며, 73명 중 11명은 명확하게 3가지 조건 즉, 탈 것, 산소, 발화점을 언급했다. 그러나 학생들은 촛불의 소화를 산소와 발화점 사이의 역동적인 설명 모형보다는 인과적 관계에 근거해서 판단을 내렸다.

산소소모 이론을 가지고 있던 학생은 주로 산소고갈(33%)이나 차단(25%)으로 산소소모 주장을 옹호했고, 산소부족 이론을 가지고 있던 학생은 주로 ‘산소를 연소의 조건’(47%)으로 들어 산소소모 주장을 옹호했다. 그러나 이와 같은 결과는 많은 학생이 ‘연소=산소’, ‘산소 차단=산소 고갈=소화’라는 도식을 사용하고 있고, 산소 완전 소모와 산소부족 사이의 차이를 인식하지 못하고 있다는 것을 보여준다. 또한, 이산화탄소의 영향을 언급했던 학생도 산소 대신 이산화탄소가 발생하거나 산소를 차단하는 것(56%)으로 산소소모 주장을 옹호하여 대부분의 학생이 연소의 중요한 요인이 산소라고 생각한다는 것을 보여주었다.

2) 변칙사례에 대한 학생의 반응

산소소모 주장의 관점에서 변칙사례로 간주할 수 있는 자료에 대한 학생 반응은 표 11과 같다. 산소소모 주장을 찬성했던 학생 102명 중에서 37%는 부정 반응을, 43%는 긍정 반응을, 20%는 불확실 반응을 보였다. 학생의 반응 유형은 크게 5가지로 분류되었다. 전체적으로 ‘무시하기’ 반응은 10%, ‘거부하기’ 반응은 28%, ‘불확실성’ 반응은 18%, ‘보류하기’ 반응은 14%, ‘재해석’ 반응은 30%가 나타났다. 이론 수정이나 변화가 나타나지 않고, 재해석이나 거부하기 반응이 많이 나타난 것은 산소소모 이

표 11. 변칙사례의 신뢰성에 따른 반응 유형*

반응 유형	부정(<0)	불확실(=0)	긍정(>0)	합계
무시하기	10	0	0	10
거부하기	28	1	0	29
불확실성	0	18	0	18
보류하기	0	1	13	14
재해석	0	0	31	31
합계	38	20	44	102

* $p < .05$

론에 대한 학생의 이론적 신임이 강하기 때문인 것으로 추측된다. 산소소모 이론은 확실한 지식 기반이므로 학생은 그 이론으로 주어진 자료를 재해석하고, 재해석할 수 없을 때는 자료를 보류하거나 거부할 수밖에 없었을 것이다. 표 11에서 알 수 있는 것처럼 변칙사례에 대해 부정 반응을 한 학생은 실험 방법이나 결과의 불신을 통해 제시된 자료를 무시(10%)하거나 이론적 부당성을 들어 거부(28%)하는 반응을 보여주었다. 반면에 긍정 반응을 한 학생은 산소소모 주장의 관점에서 변칙사례를 재해석(30%)하거나 보류하는 반응(13%)을 보여주었다. 불확실 반응을 보인 학생은 거의 자료의 불확실성이나 설명할 수 없음을 언급했다. 그렇게 불확실성 반응을 하지 않은 단지 2명의 학생은 각각 보류하기와 거부하기 반응을 보였다. 학생의 처음 생각에 따른 변칙사례 반응은 통계적으로 유의하지 않았다. 그러나 산소소모나 부족으로 소화를 설명하는 학생은 제시된 변칙사례를 거부하거나, 자료를 변칙사례로 보지 않고 자신의 이론 내에서 재해석하는 경향이 있었다.

표 12는 변칙사례를 증거로 인식하는지 알아본 결과이다. 증거로 인정하지 않는 경우는 ‘인식 결여’와 ‘증거 부인’ 범주로 구분했다. ‘인식 결여’는 질문과 무관한 답변이나 단지 실험 결과가 잘못되어서라고 응답하는 경우를 말하고, ‘증거 부인’ 범주는 제시된 자료의 조건이나 설명의 불충분성, 이론적 설명 등을 통해 증거를 부인하는 경우를 말한다. 증거로 인정하는 경우는 ‘긍정 증거’, ‘부정 증거’, ‘대안 인식’ 등 3가지 범주로 구분했다. ‘긍정 증거’ 범주는 제시 자료의 결과를 일부 인정하거나 예외적인 사례로 해석하여 산소소모 주장을 지지하는 증거로 해석하는 경우를 말한다. 예를 들어, 짧

은 양초가 오래 타는 이유는 ‘산소 기체가 무거워 아래쪽에 많이 몰려 있기 때문’이라고 생각하여 소모 주장이 맞다고 반응하거나 두 개의 양초가 서로 영향을 주었지만 ‘결국 산소가 없어져서 꺼지는 것’이므로 소모 주장과 일치한다고 반응하는 경우를 말한다. ‘부정 증거’ 반응은 변칙사례를 소모 주장과 불일치하는 것으로 판단하고, 그것을 논리적으로 설명하는 반응을 말한다. 예를 들어, ‘산소가 없어져서 꺼졌다면 두 초가 동시에 꺼져야’ 한다고 반응한 경우를 말한다. ‘대안 인식’ 범주는 이산화탄소나 높이의 영향과 같이 소모 주장과는 다른 이론의 가능성을 언급하는 경우를 말한다.

102명 중에서 3명은 응답을 하지 않아 제외되었다. 학생의 60%는 증거를 인식했지만, 40%는 제시 자료를 증거로 인식하지 못하거나 증거로 인정하지 않았다. 전체 학생 중 약 1/3은 제시된 변칙사례를 산소소모 주장에 대한 긍정적 증거로 해석했다. 약 60%의 학생은 제시된 변칙사례가 산소소모 주장과 일치한다고 응답했지만, 절반 정도는 그것을 긍정적인 증거로 인정하기보다는 예외적인 사례로 취급했다. 변칙사례를 분명하게 부정적 증거로 인식한 학생은 약 21% 정도이었다. 4명을 제외한 17명 학생은 그러한 현상을 부정적 증거로 인정은 했지만, 그 현상을 설명할 수 없었다. 4명은 산소가 비커 아래쪽에 더 많이 분포하거나 상승한 이산화탄소에 의해 차단되어 긴 초가 먼저 꺼진다고 생각했다. ‘잘 모르겠다.’고 응답한 학생 13명 중 7명은 증거에 대한 인식이 없었고, 5명은 산소소모 주장과는 다른 이론의 가능성을 인식하였다. 전체적으로 74%의 학생이 자신의 이론에 대한 반증 증거를 긍정적 증거로 해석하거나, 증거로서 취급하지 않는다는 것은 학생의 추론에 있어 이론 지식의 영향이 크다는 것을 시사한다.

표 12. 소모 주장과 변칙 사례의 일치에 따른 증거 인식 유형*

증거인식 유형	불일치 (<0)	불확실 (=0)	일치 (>0)	합계	
비인정	인식 결여	3	7	0	10
	증거 부인	1	0	29	30
인정	긍정 증거	1	1	31	33
	부정 증거	21	0	0	21
	대안 인식	0	5	0	5
합계	26	13	60	99	

*p<.05

3) 산소소모 주장에 대한 학생의 평가

변칙사례의 평가 후 산소소모 주장의 재평가 요구에 대한 학생의 반응은 표 13과 같다. 응답이 누락된 1명을 제외하고 산소소모를 옹호하는 학생 101명 중에서 1/4 정도의 학생이 불확실이나 부정 반응으로 변했다. 55%의 학생은 이론을 그대로 유지했고, 23%는 이론을 일부 조정하여 소모 이론을 유지했다. 18%의 학생은 산소소모 이론에 대해 의심을 표현했다. 나머지 4명은 이산화탄소나 발화점

표 13. 산소소모 주장의 평가에 따른 이론 변화*

이론 변화	부정	불확실	긍정	합계
이론 유지	4	3	49	56
이론 조정	1	0	22	23
이론 의심	0	14	4	18
이론 대체	3	0	1	4
합계	8	17	76	101

* $p < .05$

에 의해 촛불이 꺼지는 것으로 설명했다. 산소소모 이론을 긍정하는 학생은 이론을 그대로 유지하거나 일부 조정하기 쉬웠다. 반면에 불확실 반응을 하는 학생은 이론을 의심하는 경향이 있었다. 그렇지만 산소소모 이론을 부정하지만, 소모 이론을 그대로 유지하는 경우도 있었다. 이것은 소모 이론에 대한 대안을 가지고 있지 않기 때문인 것으로 생각된다. 소모 이론을 그대로 유지하는 학생은 산소소모나 부족으로 촛불이 꺼지는 것으로 설명했고, 이론을 일부 조정하거나 의심하는 학생은 이산화탄소나 초의 높이 차로 설명했다.

4) 실험 설계와 탐구방식

촛불이 꺼지는 이유를 확인하는 실험을 설계하는 과정에서 나타난 학생의 탐구방식은 ‘가설’ 탐색 반응 47명, ‘관계’ 탐색 반응 17명, ‘현상’ 탐색 반응 31명이었다. 통계적으로 유의하지 않았지만, 자신의 이론을 그대로 유지하는 학생은 가설 탐색 방식이 많았고, 자신의 이론을 일부 조정하는 학생은 상대적으로 현상 탐색 방식이 많은 편이었다. 변칙사례를 평가하기 전후에 나타난 탐구방식을 비교하면 표 14와 같다. 전체적으로 탐구방식의 양상은 변칙사례 평가 전후에 크게 변하지 않았다. 이것은 학생 개개인에 따라 탐구방식 수준이 있다는 것을 시사한다. 실제로 95명 중 절반 가량인 47명은 같은 탐구방식을 사용하였다. 그렇지만 변칙사례를 평가하기 전후에 탐구방식을 비교하면 처음에 관계 탐색 방식을 사용하는 학생은 변칙사례를 평가한 후에 가설 탐색 방식이 증가했다는 것을 알 수 있다. 반면에, 현상 탐색적이거나 가설 탐색적인 학생은 자신의 탐구방식을 그대로 유지하는 경향이 컸다. 이것은 변칙사례를 증거로 인식하는 경향과 관계가 있는 것으로 보인다. 현상 탐색 방식을 사용하는 학생은 변칙사례를 증거로 인정하지 못하기 쉽고, 관계

표 14. 변칙사례 평가 전후의 탐구방식 비교*

탐구 방식	현상	관계	가설	합계
현상	17	3	9	29
관계	6	6	10	22
가설	8	8	28	44
합계	31	17	47	95

* $p < .05$

탐색 방식을 사용하는 학생은 증거를 인식하기 쉽기 때문이다.

촛불이 꺼지는 이유에 대한 학생의 설명 유형에 따른 탐구방식을 살펴보면 표 15와 같이 설명 유형에 따라 다른 경향을 보인다는 것을 알 수 있다. 소화의 원인을 이산화탄소로 생각하고 있는 학생은 현상적으로 이산화탄소인지 직접 확인하는 실험을 설계하기 쉬웠다. 반면에, 산소소모나 높이에 의한 영향으로 설명하는 학생은 상대적으로 가설 탐색적인 탐구방식을 선호했고, 산소부족으로 설명하는 관계 탐색적인 탐구방식을 선호하는 경향을 보였다.

변칙사례를 평가하기 전과 후에 독립변인을 비교했을 때, 처음 설계에서 사용했던 변인은 대부분 크게 줄고, 이산화탄소의 확인이나 초의 길이를 변화시키는 실험 설계가 증가했다. 이것은 변칙사례를 평가하기 전에는 초의 길이에 따른 영향을 생각할 수 없었지만, 변칙사례로 인해 그 가능성을 인식한 후에는 실험 설계에 그 영향이 반영되었다는 것을 분명하게 보여준다. 학생의 탐구방식에 따른 독립변인의 선택을 살펴보면 표 16과 같다.

현상 탐색 방식을 사용하는 학생은 독립변인을 고려하지 않는 기타 반응을 하기 쉬웠고, 관계 탐색 방식을 사용하는 학생은 비커의 크기나 초의 길이를 변인으로 고려하기 쉬웠다. 반면에 가설 탐색 방식을 사용하는 학생은 초의 길이를 변인으로 선택

표 15. 학생의 설명 유형에 따른 탐구방식*

설명 유형	현상	관계	가설	계
산소소모	4	6	23	33
산소부족	8	7	6	21
이산화탄소	17	3	14	34
높이	0	1	3	4
기타	2	0	1	3
계	31	17	47	95

* $p < .05$

표 16. 탐구방식에 따른 독립변인의 선택*

독립변인	현상	관계	가설	합계
공급/차단	3	0	9	12
뜸/구멍	0	2	5	7
비커 크기	0	3	6	9
비커 크기/초	1	6	4	11
초의 길이	1	6	21	28
기타	26	0	2	28
합계	31	17	47	95

* $p < .05$

하는 경향이 있었다. 이 두 번째 실험 설계에서 학생들은 첫 번째 실험 설계와는 반대로 종속 변인으로서 연소 시간(42명)을 연소 유무(27명)보다 더 많이 언급했다. 그러나 변인통제를 구체적으로 언급한 학생은 첫 번째 설계와 별 차이가 없었다. 또한 실험 결과를 예상하고 그것을 해석하는데도 첫 번째 설계와 큰 차이가 없었다. 처음과 마찬가지로 단지 7명만 예상되는 긍정 사례와 부정 사례를 비교했고, 65명은 확증하는 결과만을 제시하였다. 이런 결과를 고려할 때 학생의 과학적 추론 유형은 탐구 방식 유형과 대응되고, 변인통제 능력과는 반드시 대응되는 것은 아닌 것으로 보였다.

4. 추론 방식의 한계

앞에서 얻은 결과를 토대로 촛불의 소화에 대한 산소소모 주장을 검증하기 위한 실험 설계에서 드러난 학생 추론의 한계를 살펴보면 다음과 같다.

- (1) 촛불을 비커로 덮었을 때 촛불이 꺼지는 것에 영향을 주는 변인에 대한 학생의 제한된 지식은 실험 설계와 해석에 영향을 주었다. 대부분의 학생은 산소에만 주목하고, 비커와 바닥의 밀폐 여부, 심지 상태나 촛불의 크기, 덮는 방법 등을 거의 고려하지 못했다. 또한, 학생이 연소 조건을 분명하게 알고 있어도 촛불이 타고 있기 때문에 발화점이 유지될 것이라고 생각하는 학생은 산소(공기) 공급의 차단 이외에 다른 방법은 생각할 수 없었다.
- (2) 실험 방법, 변인 및 변인통제 등 탐구방법에 대한 제한된 지식은 실험 설계를 제한한다. 예를 들어, 1/3 정도의 학생은 종속변인을 분명하게 언급하지 못하거나 예상된 결과를 제시할 수 없었다. 이들 학생은 실험의 조건을

변화시키지 않고 현상을 관찰하거나 측정하려고 했다. 특히, 촛불의 소화에서 이산화탄소의 영향을 고려한 학생은 실험 설계에서 이산화탄소 기체를 확인하려고 했다. 부적절한 예상도 학생의 실험 수행을 제한한다. 큰 비커를 사용하면 촛불이 오래 탈 것이라고 예상하는 학생은 연소 시간이 비커의 크기에 비례하지 않는데도 그와 같은 결과를 산소소모 주장과 일치하는 사례로 해석하였다.

- (3) 현상을 이해하는 데 필요한 특정한 모형이 학생의 추론이나 실험 설계에 영향을 주었다. 예를 들어, 촛불의 소화를 인과론적인 관점에서만 바라보는 학생은 그것을 ‘산소의 고갈’이나 ‘이산화탄소’ 때문인 것으로 생각할 수밖에 없다. 인과적 관계 뒤에 숨겨진 설명 모형을 가지고 있지 않기 때문이다. 기체 확산을 분자 모형으로 이해할 수 없는 학생은 이산화탄소가 비커의 아래쪽이나 위쪽을 가득 채우면서 불꽃이 꺼진다고 생각하기 쉬웠다. 실제로 여러 기체가 섞여 있지만, 그것을 이해하지 못하는 학생은 발화점이 원인이 된다고 생각해도, 왜 타고 있는 촛불의 발화점이 낮아지는지 이해할 수 없다. 따라서 학생의 실험 설계는 산소나 이산화탄소에 의한 영향을 확인하는 데 주로 초점을 맞추게 된다.
- (4) 양초의 연소에 대해 학생이 지니고 있는 개념적 기대는 변칙사례에 대한 해석과 증거의 인식에 영향을 준다. 예를 들어, 촛불의 소화를 산소의 소모로 연관 짓는 학생은 산소소모 주장에 대한 변칙사례를 오히려 일치 사례로 해석하거나, 그것을 무시하거나 거부하여 증거로 보지 못하기 쉬웠다. 따라서 다른 설명의 가능성을 보지 못하고 자신의 설명을 확증하는 방향으로만 실험을 설계한다. 반면에 산소 부족 이론을 가진 학생은 소모 이론의 한계를 쉽게 파악하여 상대적으로 변칙사례를 부정적 증거로 해석하기 쉬웠다.

과학적 추론은 생각과 증거의 조정과 관련이 있다는 의미에서 Tytler & Peterson(2004)이 제시한 탐구방식은 실험 설계에서 추론을 범주화하는데 쓸모가 있었다. 현상 탐색 방식을 사용하는 학생은 체계적인 관찰이나 비교보다는 임시변통으로 현상을 확인했다. 그것은 이산화탄소의 영향을 생각했던 학

생이 그랬던 것처럼 지식 배경에 영향을 받는 것처럼 보인다. 현상은 관계에 대한 인식이 없이 임의적으로 조사되고, 현상을 해석하는 데 일관성을 추구하지 않기 때문에 추론 과정에서 증거를 인식하기 어려웠다. 관계 탐색 방식을 사용하는 학생은 변인 사이의 관계를 탐색하기 때문에 변인을 고려하지만, 개념을 바탕으로 추론하지 않기 때문에 설계 과정에서 실험 결과를 예상하거나 해석을 제시할 수 없었다. 반면에, 가설 탐색 방식을 사용하는 학생은 조건과 변인을 인식하고 통제하지만, 변인에 대한 지식이 초보적이기 때문에 통제 능력이 완벽하지 못했다. 성인인 피험자를 고려했을 때, 반증 증거나 대안 가설을 인식하는 실험 설계가 나타날 것으로 예상할 수 있다. 그러나 대부분 자신의 생각을 입증하는 실험을 설계했고, 자신의 생각과 일치하는 실험 결과만을 제시했다.

이와 같은 결과는 Tytler & Peterson(2003, 2004)의 예상처럼 추론 방식이 발달적인 수준을 보여주는 것이라기보다는 과제 구조나 지식수준에 따라 영향을 받을 수 있다는 것을 시사한다. 물론 다양한 과제에 대한 아동의 반응을 연구한 그들은 개별 아동이 여러 과제에 걸쳐 일관된 추론 방식을 사용한다는 것을 언급했다. 본 연구에서도 비록 2번 실험을 설계했지만, 절반가량의 학생은 동일한 탐구방식을 취했다. 그러나 나머지 학생은 제시된 자료에서 새로운 정보를 얻어 탐구방식에 변화가 있었다. 이것은 본 연구에서 제시한 과제의 특성과 관련이 있는지 모르지만, 그에 대한 좀 더 구체적인 연구가 필요할 것이다.

V. 결론 및 제언

이 연구는 학생의 개념 지식이 탐구과제의 수행에 어떻게 영향을 주는지 살펴보는 것이다. 이를 위해 검사지가 제공되고 실제 모듈별 탐구와 가상대학 게시판을 통해 토론을 수행하도록 하였지만, 본 연구에서는 학생이 수행한 검사지만 분석하였다. 검사지 분석을 위해서 Tytler & Peterson(2003, 2004)이 개발한 과학적 추론 분석틀을 활용했다. 비커로 촛불을 덮을 때 촛불이 꺼지는 이유에 대해 86%의 학생은 산소의 소모나 부족으로 설명하고, 자신의 생각을 매우 확신하고 있었다. 학생의 약 94%는 산소소모 주장을 긍정적으로 평가했다.

학생들은 자신의 생각을 검증할 수 있는 실험을 두 번 설계했다. 설계 과정에서 학생들은 유사한 탐구방식을 보여주었다. 전체적으로 50%는 가설 탐색 방식을 사용하였고, 30%는 현상 탐색 방식을, 20%는 관계 탐색 방식을 사용했다. 가설 탐색 방식을 사용하는 학생은 생각을 입증하는 방향으로 실험을 설계하고, 자신의 생각을 입증할 수 있는 결과만을 제시하기 쉬웠다. 반면에, 관계 탐색 방식을 사용하는 학생은 변인을 고려하여 실험을 설계하지만, 결과에 대한 예상이나 해석을 제시하지 않았다. 현상 탐색 방식을 사용하는 학생은 변인에 대한 인식이 없이 단지 주어진 현상을 재현하거나 확인하기 쉬웠다. 초등학생에 대한 Tytler & Peterson(2003, 2004)의 연구와 비교했을 때 유사한 탐구방식을 사용한다는 점에서 차이가 없었다. 이 연구에서 가설 탐색 방식을 사용하는 학생은 초등학생의 경우와 마찬가지로 대부분 가설 점검 수준에 있었고, 엄밀한 의미에서 가설 탐색 수준의 학생은 없었다.

학생의 생각은 독립변인의 선택과 관계가 있고, 변인의 선택은 탐구방식에 영향을 주었다. 변칙사례의 평가에서 산소소모 주장을 옹호했던 학생의 43%는 변칙사례를 긍정적으로 인정하고, 일치 사례로 재해석하거나 제시된 증거를 보류하기 쉬웠다. 반면에 부정적으로 판단한 37%의 학생은 변칙사례를 무시하거나 이론적 근거로 거부하였다. 또한, 학생이 지닌 개념 지식은 실험 설계에 영향을 주었다. 촛불의 소화에 영향을 주는 변인에 대한 인식 결여로 적절한 실험 방법을 선택할 수 없었고, 실험 결과에 대한 해석이 어려웠다. 또한 연소에 대해 학생이 지닌 인과론적 모형은 가설 탐색 방식에서 지향하는 설명 모형으로 나아가는데 방해가 되었다. 이것은 Schauble(1996)의 주장처럼 지식과 추론의 상호의존성을 시사한다. 어떤 생각을 추리하는데 필요한 수준의 지식이 결여되었거나 잘못된 이해는 높은 수준의 탐구로 나아가기 어렵게 만든다. 따라서 탐구에 대한 강조는 단지 변인을 통제하고 변인 사이의 관계를 조사하는 수준에서 벗어나, 증거와 이론 사이의 관계에 초점을 맞추어야 한다.

촛불을 비커로 덮을 때 꺼지는 현상은 당연한 것으로 탐구할 가치가 없는 소재라고 생각하기 쉽지만, 많은 변인이 관련되어 있어 토론 과제로서 매우 적절하다. 학생의 설명은 주로 인과적 모형에 의지하기 쉽다. 따라서 산소의 역할만 강조하는 인과적

모형보다는 3가지 연소 조건의 상호작용을 분자 모형의 관점에서 이해하도록 하는 것이 필요할 것이다. 그것은 양초의 연소 후 생긴 생성물인 이산화탄소와 수증기의 역할을 이해하는 데도 매우 중요하다.

성인인 학생의 탐구방식에서 상위 수준의 가설 탐색이 부족하다는 것은 그에 대한 지식과경험이 부족하기 때문인지 모른다. 따라서 가설을 바탕으로 한 탐구 방법에 대한 지도가 예비교사에게 요구된다. 아울러 아동의 과학적 추론을 증진시키기 위한 방안을 개념화하고 개발할 수 있도록 예비교사를 뒷받침할 필요가 있다. 교사는 아동의 질문과 생각을 주의 깊게 경청하고, 증거에 의지하여 그러한 생각을 도전시키고 뒷받침하는 것을 배울 필요가 있다.

참고문헌

- 강석진, 김순주, 노태희(2001). 변칙사례의 특성이 인지 갈등과 개념 변화에 미치는 영향. *대한화학회지*, 45(6), 589-594.
- 강석진, 이정민, 강훈식, 차정호, 노태희(2006). 변칙사례의 제시 방법이 개념 변화 과정에 미치는 영향. *교육과정평가연구*, 9(2), 77-93.
- 김지영, 강순희(2007). 과학적 가설의 설정과 검증 과정에서 나타나는 학생들의 반응 유형 분류. *교육과정평가연구* 10(2), 229-252.
- 노태희, 임희연, 강석진 (2000). 변칙사례에 대한 학생들의 반응 유형. *한국과학교육학회지*, 20(2), 288-296.
- 박종원(2003). 과학적 가설 검증을 위한 학생들의 실험 설계 내용 분석. *한국과학교육학회지* 23(2), 200-213.
- 신애경, 문현숙, 강민석(2011). 연소에 대한 초등교사의 개념-기체 변화를 중심으로-. *한국과학교육학회지*, 31(6), 942-957.
- 장병기(1994). 그림자 현상에 대한 학생의 생각과 제시된 증거 유형에 따른 추론 방식. 서울대학교 대학원 박사학위 논문.
- 장병기(2005). 전구의 밝기에 대한 초등 예비교사의 가설 검증 활동. *초등과학교육*, 24(5), 518-530
- 전우수(2000). 촛불 실험과 관련된 오개념 교정을 위한 지도방안 탐색. *초등과학교육*, 18(2), 145-151.
- Chinn, C. A. & Brewer, W. F. (1998). An empirical test of a taxonomy of responses to anomalous data in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(6), 623-654.
- Collins, H. & Pinch, T. (1993). *The golem: What everyone should know about science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. & Scott, P. (1996). *Young people's images of science*. Milton Keynes: Open University Press.
- Duschl, R. & Gitomer, D.(1991). Epistemological perspectives on conceptual change: Implications for classroom practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 839-858.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227.
- Schauble, L. (1996). The development of scientific reasoning in knowledge-rich contexts. *Developmental Psychology*, 32, 102-119.
- Schauble, L., Klopfer, L. & Raghavan, K. (1991). Students' transition from an engineering model to a science model of experimentation. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 859-882.
- Shepardson, D. P. & Moje, E. B. (1999). The role of anomalous data in restructuring fourth graders' frameworks for understanding electric circuits. *International Journal of Science Education*, 21(1), 77-94.
- Strike, K. & Posner, G. (1992) A revisionist theory of conceptual change. In R. Duschl & R. Hamilton (Eds.), *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice* (pp. 147-176). Albany, NY: State University of New York.
- Tytler, R. & Peterson, S. (2003). Tracing young children's scientific reasoning. *Research in Science Education*, 33, 433-465.
- Tytler, R. & Peterson, S. (2004). From "Try It and See" to strategic exploration: Characterizing young children's scientific reasoning. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(1), 94-118.
- Vera, F., Rivera, R. & Núñez, C. (2011). Burning a candle in a vessel, a simple experiment with a long history. *Science and Education*, 20, 881-893.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.