

# 예비 초등교사의 과학 탐구 글쓰기 활동에서 나타난 이론과 증거의 조정 과정 분석

이선경 · 이규호<sup>1</sup> · 최취임 · 신명경<sup>1\*</sup>

서울대학교 · <sup>1</sup>경인교육대학교

## Analyzing Coordination of Theory and Evidence Presented in Pre-service Elementary Teachers' Science Writing for Inquiry Activities

Lee, Sun-Kyung · Lee, Gyuho<sup>1</sup> · Choi, Chui Im · Shin, Myeong-Kyeong<sup>1\*</sup>

Seoul National University · <sup>1</sup>Gyeongin National University of Education

**Abstract:** This study aims to explore patterns and characteristics of coordination between evidence and theories which were found in pre-service elementary teachers' writing for their science inquiry. Five science inquiry activities and a total of 115 writings of the participant teacher at the elementary teacher preparation university in Korea were collected and analyzed for this study. Based on the writing analyses there were found four types of coordination between the evidence and theory. We proposed four types as: Type 1-Consistency of evidence and theory; Type 2-Consistence of evidence and theory including more extension or elaboration of theory; Type 3-Inconsistence of evidence and theory Type 4-Inconsistence of evidence and theory followed by coordination of them. Firstly the findings indicated that the most to least frequent types were Type 1, Type 3, Type 2, and Type 4. The most frequent type was Type 1. It is interpreted that theory in the inquiry questions were frequently figured out by participants and they selected supporting evidence out of data found. There were rarely found relations between activity topics and frequencies of coordination types except in activity 1. The findings in this study will connect to the point of how students collaborate their previously owned knowledge with experiment planning, data analysis and interpretation and making of their own scientific claims.

**Key words:** practical epistemology, coordination of theory and evidence, science writing, inquiry activity, pre-service teacher

### I. 서 론

과학수업의 '고유한 본질'은 과학 세계에 학생들이 참여하는 것에 있는데, 구체적으로 과학적 추론에 참여하는 것이다. 과학적 추론에의 참여는 탐구를 수행하는 것이며, 초등과학에서 실험은 학생들이 탐구를 경험하는 것을 목표로 한다. 탐구가 특정 질문을 연구하기 위해 단순 관찰에서 통제 실험에 이르기까지 다양한 방법(Sandoval, 2005)을 사용하는 과정이라고 할 때, 과학 탐구의 핵심은 문제를 인식하고 이를 해결하는 것과 이 과정에서 얻은 증거를 평가하는 것이 되어야 할 것이다.

실제 과학적 탐구가 수행되는 과정은 매우 복잡하

고 다중적으로 이루어진다. Giere(1991)가 제안한 추론 모형에 따르면, 과학적 탐구가 수행되는 과정에서 증거와 이론의 조정 과정은 보다 강조된다. 과학자들은 관찰과 실험을 통해 '실세계'에 대한 자료를 수집하고, 실세계 행동에 대한 설명(이론)을 추측해 만들며, 이 설명으로부터 추론과 계산을 통하여 추측하고 있는 설명으로부터 구체적인 예측이 만들어지고(연역되고), 그 예측들은 자료와 비교된다. 다음으로, 자료가 예측과 일치하거나 일치하지 않는 정도가 검증되어야 하는데, 하나의 이론이나 추측이 검증되기 보다는 두 개 이상의 경쟁이론 사이에서 일어나는 경우가 왕왕 있기 때문에 간단하지 않다. 이때 과학자가 하는 중요한 활동은 이 대안들이 증거와 일치하는지 혹은

\*교신저자: 신명경(mkshin@ginue.ac.kr)

\*\*2011.04.07(접수) 2011.05.23(1심통과) 2012.01.10(2심통과) 2012.02.20(최종통과)

\*\*\*이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 중견연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0028684).

일치하지 않는지를 평가하여, 특정 자연 현상에 대해 가장 설득력 있는 설명을 제공하는 것이다. 예측과 자료가 맞아떨어지면, 실세계와 설명의 조화에 대한 확신이 증가하게 된다. 반면에 예측과 자료가 맞아떨어지지 않으면 설명에 의심을 품게 되거나, 설명으로부터 연역된 특정 예측을 의심하거나, 혹은 자료의 타당성을 의심하게 된다.

과학적 탐구에서 실세계로부터 얻은 자료(증거)와 설명을 조정(증거를 의심하거나 설명을 개선하거나 하는 등)하는 과정이 핵심인 것처럼, 학교 과학에서 학생들도 과학자가 하듯이 관찰과 실험 자료를 근거로 하여 이론을 개선하고 새로운 지식을 구성할 것으로 기대되어야 할 것이다. 즉, 과학수업에서 학생들은 관찰과 실험 자료를 근거로 관찰 증거를 평가하고, 증거와 이론의 조정을 통해, 자신의 개념을 변화시킬 수 있는 능력을 기를 것으로 기대된다(Havdala & Ashkenazi, 2007). Kuhn *et al.*(1988)이 과학적 사고의 핵심으로 이론과 증거의 조정을 통한 추론 과정의 중요성을 주장한 것도 이와 맥을 같이 한다. 그러나 그 과정은 쉽지 않다. 학생들은 과학적 추론에 종종 실패하는데, 증거와 이론을 잘 구별하지 못하며(Kuhn, 2004), 관찰 증거에 대해서 증거기반(evidence-based)으로 평가하기 보다는 이미 가지고 있던 생각을 기반(idea-based)으로 평가하는 경향이 있기 때문이다(박종원 외, 1993). 반면, 과학자들은 증거와 이론을 구별하고, 증거와 이론의 조정을 하며, 초인지적 사고를 통해 그 조정 과정에 몰두한다. 물론 실제 과학자의 활동에서도 실험 결과에 선개념이 영향을 미치기도 한다. 많은 과학자들은 과학자가 아닌 사람들이 보여주는 인지적 결점과 비슷한 결점을 가지고 있

는 것으로 보이며, 과학자가 자신의 이론과 실험결과가 일치하지 않는 경우에 선개념의 변화가 어렵다는 것이다(Faust, 1984; Shadish & Neimeyer, 1989). 그러나 Siegel(1989)의 주장에 따르면, 과학자들은 신뢰할만한 지식을 얻기 위해서, 과학자들은 합당한 연구 결과가 예측과 상반된 결과를 산출할 때는 자신이 이미 가지고 있던 생각을 바꾸기도 한다. 과학자들은 학생에 비해 과학적으로 추론을 하려고 하며, 그 과정은 증거와 이론의 조정에 대한 초인지적 사고로 이루어진다.

이에, 본 연구에서는 학교 과학의 실체가 다루어야 하는 과학의 탐구 즉, 과학 지식 생성 과정에서 ‘증거와 이론의 조정’(coordination of theory and evidence) 과정을 탐색하고자 하였다. ‘증거와 이론의 조정’ 과정은 초등 과학 실험에서 관찰 증거와 이미 알고 있는 지식 간의 관계에 관한 것으로, 학생들은 증거를 기존 이론에 맞추거나, 증거와 이론이 불일치할 경우 증거를 무시하거나 이론에 대해 재고하는 등의 다양한 과정을 실행할 것이다. 이 과정에 대한 연구 탐색을 통해, 예비 초등교사가 증거와 이론을 구별하고 어떻게 조정하는지를 살펴봄으로써, 과학 지식의 임시성, 지식의 정당화 및 정합성 등에 대해 초인지 작용이 어떻게 이루어지는지를 간접적으로 알아볼 수 있을 것이다. 이와 더불어, 학교 과학 실제에서 이루어지는 다양한 수준의 증거와 이론의 조정 과정에 대한 미시적 조명과 그로부터 ‘실제적 인식론’(practical epistemology)(Sandoval, 2005)을 작동하도록 하기 위해 어떤 노력이 필요한지 재고해 볼 수 있다. 구체적으로, 과학 실험의 목적과 방법은 어떻게 이루어져야 하며, 실험보고서 작성에 관한 지침을 마

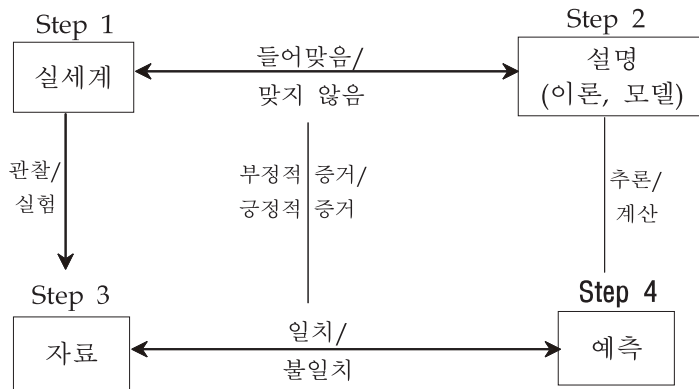


그림 1 Ciere(1991)의 추론 모형

련하는 실질적 자료로 활용될 수 있을 것이다.

특히, 본 연구의 참여자인 예비 초등 교사가 실행하는 인식론적 실제로서, 실험 활동을 통해 얻은 증거의 필요성 판단, 기존 개념의 평가, 증거와 이론의 조정 등의 과정 경험은 향후 학교 과학실험의 목표와 과정을 조직하는데 중요한 역할을 할 것이다. 교사는 학교 과학실험에서 학생들이 자신의 사전 지식을 어떻게 고려하고, 그 사전 지식과 실험 계획, 자료 분석, 실험 해석을 어떻게 연관시키도록 하는지의 실험 실제 운영을 이끄는 사람이기 때문이다. 따라서, 이러한 활동에 대한 교사의 경험이 중요하며, 그 경험에서 어떤 과정을 거치는지는 학생들의 탐구 활동과 체험 과정에 직간접적인 영향을 주기 때문에(Hashweh, 1996) 과학교육 연구와 교육에서 중요하게 다루어져야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 예비 초등교사의 과학 탐구 활동 맥락에서, 이론과 주장의 조정 과정의 유형과 특징은 어떠한지를 탐색하고자 한다.

## II. 연구 방법

### 1. 연구의 맥락

본 연구는 인천 지역의 한 교육대학교의 과학 실험 관련 강좌에서 실시되었다. 이 강좌의 목적은 예비 초등 교사들이 초등학교 교과서에 나오는 과학실험을 학생의 입장에서 실행해 봄으로써 초등학생의 실험 활동 과정에 대한 이해를 높여 향후 교사가 되었을 때 적절한 교수학습 전략을 마련하도록 하는데 있었다. 연구에 참여한 예비 초등교사는 한 학기 동안 초등학교 4-5학년 과학 교과서에 나오는 실험을 그대로 실행해 보았다. 강좌가 진행되면서 교수자는 한 달에 1-2회 시간을 정하여 예비 초등 교사들에게 과학 교과서 없이 주어진 재료를 가지고 직접 실험을 고안하고 활동을 수행하도록 하였다.

미국과학교육표준은 과학적 탐구의 기본 요소로서 질문하기(Asking), 설명하기(Explaining), 증거제시하기(Evidencing), 평가하기(Evaluating), 의사소통하기(Communicating)를 제시하고, 이 요소들의 학생 주도 혹은 교사/교재 안내의 정도에 따라 다양한 형태의 탐구 활동이 학교 수업에서 가능하다고 제안한다(NRC, 2000). 이를 토대로, 본 연구에서 주목한 탐구 활동은 예비 초등 교사들에게 실험 기구 및 재료를

를 제공한 후, 그 활동 환경 내에서 스스로 질문하고, 자기 질문에 답을 하기 위해 실험을 고안하여 증거를 얻고 설명을 만들어내도록 구조화된 것이다. 따라서 연구에 참여한 예비 초등 교사들은 동일한 실험기구와 재료를 받아도 다른 연구 질문을 창출할 수 있으며 그 질문에 대한 답을 얻기 위해 실험을 계획하게 되는 것이다.

수업에서 실행한 실험 활동의 목적은 실험을 통해 알아야 할 과학 내용에 초점을 둔 것이 아니라, 어떻게 알며 왜 믿어야 하는가 하는 과학의 방법론 및 인식론적 차원에 초점이 있다고 할 수 있다. 즉, 예비 초등 교사들에게 자기 질문을 만들고 질문에 맞는 증거를 어떻게 수집해야 하고, 실험 결과로 얻은 증거와 지식 주장을 어떻게 연관시키며 정당화하는지 그 과정을 추구하게 하는데 있었다. 첫 활동을 시작하기 전에, 교수자는 수업에 참여한 예비 초등 교사들에게 탐구 활동의 목적, 과정, 그리고 글쓰기 포맷을 구성하는 각 요소의 의미를 이해하고 익숙하게 하였다. 글쓰기 활동지는 '나의 질문', '내가 사전에 알고 있는 것', '내 질문에 답을 얻기 위한 활동 설계', '내 활동 결과', '나의 주장', '나의 증거', '다른 출처로부터 지식 얻기', '반성적 논의'(내 생각이 변한 이유 혹은 변하지 않은 이유)로 구성되었다.

각 탐구 실험 활동에서 교수자는 예비 초등 교사들에게 몇 가지 실험기구와 재료를 제공하였다. 예비 초등 교사들은 제공된 그 실험기구와 재료를 가지고 탐구 질문을 만들고, 실험을 계획하고 수행하는 일련의 과정을 스스로 전개하였다. 본 연구에서 분석한 5개의 탐구 실험 활동에서 제공한 기구와 재료는 다음과 같다. 아래에서 제공된 실험기구나 재료 외에 예비 초등 교사들이 활동에 필요하다고 판단되는 것이 있으면, 실험실 내에서 자유롭게 찾아 사용하도록 하였다. 학생들에게 아래와 같은 준비물과 함께 제안한 것은 '다음의 실험 준비물을 이용하여 시험가능한(testable) 한 질문을 만들도록 요구하였다. 즉 기존의 과학실험이 지나친 비약이나 추상적인 개념으로의 확대 그리고 비유실험의 형태로 진행되던 것을 지양하고, 논리 실증주의적 관점에서 실험에서 시험가능한 질문을 제시하고 그 실험과정 및 결과로부터 그 질문에 대한 답의 형태를 이끌어 내는, 즉 자신이 아는 기지의 이론과 실험을 통한 증거를 바탕으로 자신의 과학적 주장을 해보는 경험을 하도록 고려하였다.

- 활동 1. 물, 온도계, 비커, 삼발이, 알코올램프
- 활동 2. 다양한 무게의 추, 스탠드, 실, 자
- 활동 3. 아연판, 구리판, 유리판, 알코올램프, 삼발이, 초콜릿, 스톱워치
- 활동 4. 염산, 석회석, 기체발생기구, 클램프, 수조, 양초, 성냥, 고무관
- 활동 5. 사이다, 양초, 유리판, 고무관, 수조

각 탐구 활동에 대한 실험기구와 재료들을 얼핏 보면, 모든 예비 초등 교사들이 동일한 질문을 하고 동일한 실험설계를 하고 동일한 대답을 얻을 것이라고 판단할 수도 있다. 하지만 실제 활동에서 예비 초등 교사들의 질문은 다양하였으며 그 배경이 되는 사전 지식도 다양하게 기록되었다. 예를 들어, 활동 1에서 나온 질문은 ‘물은 100℃에서 끓을까?’, ‘물이 팔팔 끓을 때의 온도는?’, ‘첫 기포가 생겼을 때와 완전히 끓을 때 온도가 같을까’, ‘100℃의 온도에서 물은 어떤 상태일까?’, ‘물이 끓을 때 비커 내의 온도가 일정한가?’, ‘물이 끓을 때 디지털 온도계와 막대 온도계의 측정 온도가 같을까?’ 등으로 매우 다양하였으며, 각 질문에 따라 사전 지식, 실험 설계, 증거 수집 및 주장 전개 등이 달라졌다. 따라서, 본 연구에서 관심을 가진 탐구 맥락은 완전히 열린 탐구(open-inquiry)의 형태라기보다는, 실험기구와 재료로 제한을 두었지만 자기질문으로부터 출발하는 탐구의 형태를 갖는다고 할 수 있다.

## 2. 자료 수집 및 분석

본 연구에서 수집한 자료는 실험의 목표 개념이나 과정이 주어지지 않은 채 예비 초등 교사들이 그들에게 제공된 간단한 실험기구와 재료를 가지고 스스로의 탐구 활동을 수행하는 과정에서 수집한 것이다. 본 연구에서 분석 및 해석한 탐구 활동 글쓰기 자료는 총 115개였다. 활동 1은 23개, 활동 2는 29개, 활동 3은 27개, 활동 4는 17개, 활동 5는 17개였다. 초기 분석으로 세 명의 연구자는 탐구 활동 글쓰기 자료를 각기 검토한 후, 논의와 합의를 통해 분석 기준을 4개 유형으로 결정하였다.

- 유형 1. 증거(Evidence)와 이론(theory)의 일치
- 유형 2. 증거와 이론의 일치 및 이론의 확장(정교화)

- 유형 3. 증거와 이론의 불일치
- 유형 4. 증거와 이론의 불일치 및 이론의 조정(coordination)의 발생

분석 기준에서 증거는 실험을 통해 얻은 자료로서 주장에 근거가 되는 것을 의미하며, 이론은 탐구 실험 활동자가 그 활동과 관련하여 사전에 지니고 있던 개념이나 이해를 의미한다. 활동자는 자신의 이해를 토대로 질문을 해결하기 위한 실험을 고안하고 증거를 수집하는데, 증거가 이론과 일치하는 경우와 일치하는 않는 경우가 발생하였다. 또한 각 경우에 대해 두 가지 유형으로 나눌 수 있는데 즉, 증거와 이론이 일치하는 것에 만족하는 유형(유형 1)과 증거와 이론이 일치하지만 증거를 토대로 자신이 지닌 이론을 확장해가는 유형(유형 2)이 발생하였다. 이와 마찬가지로 증거와 이론이 불일치하는 경우에도 불일치를 확인하는 것으로 활동을 종결하는 유형(유형 3)과 증거와 이론이 불일치함을 해소하기 위해 다양한 출처의 지식을 사용하여 조정이 이루어지는 유형(유형 4)이 나타났다. 활동지 구성요소에 작성한 내용이 정합성이 없거나 명확하지 않은 경우에는 ‘기타’로 처리하였다.

이상의 분석 기준을 만든 후, 2명의 연구자가 그 기준을 토대로 각기 자료를 코딩하였다. 연구자간 내적 일치도(inter-reliability)는 .89였다. 코딩 결과가 불일치한 경우에 대해서는 3명의 연구자가 모여 논의를 하고 합의하여 유형을 결정하거나 결정이 어려운 경우 ‘기타’에 포함하였다.

## Ⅲ. 연구 결과 및 논의

본 연구의 결과는 두 부분으로 구성되었다. 첫 부분에서는 증거와 이론의 조정 유형의 양적 분석 결과를 제시하고, 두 번째 부분에서는 각 유형에 대한 전형적 사례에 대해 심층적으로 기술하고자 한다. 이상 두 부분으로 연구 결과를 나누어 기술하고, 이를 종합하여 논의를 전개하고자 한다.

### 1. 증거와 이론의 조정 유형

본 연구에 참여한 예비 초등 교사들의 탐구 활동 과학교육 글쓰기에 나타난 증거와 이론의 조정 과정의 빈도는 전체적으로 유형 1(57개, 49.6%)이 가장 많이 나타

났고, 다음으로 유형 3(26개, 22.6%)이었다. 유형 2(7개, 6.1%)와 유형 4(4개, 3.5%)는 매우 적은 빈도를 나타냈다(표 1).

유형 1의 특징은 활동 전 이해(사전 개념 및 이해, beginning understanding)와 활동 계획을 통해 얻은 증거(evidence)가 일치하는 경우이다. 이 유형의 긍정적 측면은 활동의 성공적 수행에 있는 반면, 부정적 측면은 더 이상의 비판적 사고가 일어나지 않는다는 점에 있다. 유형 3은 활동 전 이해를 토대로 실험 설계를 하고 실험을 통해 얻은 증거가 수행자의 이론과 맞지 않는 경우이지만, 불일치의 원인을 단순한 실험오차로 보고 이론의 조정과 같은 더 이상의 비판적 사고가 전개되지 않은 채 그 상태에서 실험이 종결되는 유형이다. 본 연구에서 가장 많은 빈도로 나타난 유형 1과 유형 3의 공통점은 예비 초등 교사들의 초기 이론과 맞는 증거를 찾든 맞지 않는 증거를 찾든 더 이상의 조정 과정이 일어나지 않는데 있다. 반면, 초기 이론과 맞는 증거를 찾더라도 이론을 확장하거나(유형 2), 초기 이론과 맞지 않는 증거가 발생했을 때 증거와 이론의 조정 과정이 발생하는(유형 4)의 경우는 많지 않았지만, 유의미한 과학 활동으로서 세부 조명이 필요하다.

아래 표에서 볼 수 있듯이, 대부분의 활동은 유형 1이 가장 많이 나타났지만, 활동 1의 경우에 유형 3이 두드러지게 나타났다. 그 이유는 활동 자체의 성격에 의존하는 것으로 해석되었다. 즉, 활동 1은 예비 초등 교사들이 다양한 이론을 지니고 있었던 실험인데 반해 상대적으로 다른 활동들은 기존 이론이 제한된 경우였다. 따라서 예비 초등 교사들이 처음에 가지고 있던 이론으로부터 발생한 질문과 이를 검증하는 과정에서 나온 정합성이 확보된 지식주장은 활동 1의 경우에 증거와 이론 사이의 불일치가 많이 나타났다. 따라서, 활동 1의 경우 유형 3이 많이 나타

난 것으로 볼 수 있다(표 1).

## 2. 증거와 이론의 조정 유형의 대표적 사례

### 유형 1. 증거와 이론이 일치한 사례

유형 1은 증거와 이론이 일치하고, 더 이상의 논의가 전개되지 않은 경우이다. 이 유형에 해당하는 활동 사례는 활동 5에 대한 N의 글쓰기에서 추출되었다. 활동 5에서는 사이다, 양초, 유리관, 고무관, 수조 등의 실험기구가 제공되었다.

실험기구를 제공받은 N은 “높이가 각각 다른 촛불에 불을 붙이고 사이다를 흔들어 나온 기체로 인해 꺼지는 촛불의 순서(는 무엇인가?)”라는 질문을 생성하였다. 이 질문과 관련된 초기 이해(사전 이론, beginning understanding) 즉, 자신의 이론은 “이산화탄소는 불을 끄게 만드는 성질을 가지고 있다.”, “기체가 바닥에 깔리면 위로 올라간다.”이었다. 이러한 이해를 바탕으로 N은 자기 질문에 대한 답을 얻기 위해, 수조 속에 높이가 다른 촛불 세 개를 넣고 사이다에서 나온 기체가 수조로 들어갈 수 있도록 고무관과 기억자 유리관 등을 설치한 후 사이다를 흔들어 기체가 나오도록 실험을 설계하였다. 실험 관찰 결과 키가 작은 촛불부터 불이 꺼진 것을 관찰 확인하고, 그 증거를 토대로 N은 “사이다를 흔들어서 나온 기체는 이산화탄소이다”라는 주장을 하였다. 즉, 주장에 대한 증거는 자신이 설계하여 관찰한 실험 결과를 바탕으로 한 것이며 이는 처음에 가지고 있었던 이론과 잘 일치하는 것이었다.

이 사례의 경우, 질문과 초기 이해(이론), 실험 설계 및 관찰, 그리고 증거와 주장의 모든 부분에서 정합성이 잘 이루어지고 있었으며, 주장이 N이 원래 가지고 있던 이론과 잘 일치하자 더 이상의 논의를 하지 않고 실험을 마무리 지었다.

**표 1**  
각 활동에 대한 증거와 이론 조정의 유형 수

	유형 1	유형 2	유형 3	유형 4	기타	합계
활동 1	2	0	14	3	4	23
활동 2	19	4	0	1	5	29
활동 3	14	2	6	0	5	27
활동 4	14	0	0	0	4	18
활동 5	8	1	6	0	3	18
합계	57	7	26	4	21	115

## 유형 2. 증거와 이론의 일치 및 조정 사례: 이론의 확장(정교화)

유형 2는 증거와 이론이 일치하고, 더불어 이론의 확장 혹은 정교화가 발생한 경우이다. 유형 2는 매우 적게 나타났는데 전체 115개 중 7개로 6.1%에 해당하였다. 이 유형에 해당하는 대표적 활동 사례는 활동 2에 대한 L의 글쓰기에서 추출되었다. 활동 2에서는 다양한 무게의 추, 스탠드, 실, 자 등의 실험기구가 제공되었다.

L은 제공된 실험기구를 받은 후, “한쪽 4번 자리에 20g을 달았을 때 반대편은 어느 부분에 몇 g을 달아야 수평인가”라는 질문을 제기하였다. 이 질문은 다른 예비 초등 교사들의 경우에 비해 매우 구체적인 것으로 나타났다. 이 질문과 연관된 L의 초기 이론은 “저울의 중심축을 기준으로 양쪽에 같은 거리에 같은 무게의 추를 달면 저울은 수평이 된다.”, “같은 무게의 추를 저울에 달 때 저울의 중심축에 가까울수록 가벼워진다.” 등 이었다.

양팔 저울에 관한 이러한 기본적인 이해를 바탕으로 자기 질문에 대한 답을 얻기 위해, L은 다양한 무게의 추를 준비하여 양팔 저울의 반대쪽에 여러 가지 경우로 무게를 달아 수평 여부를 확인하는 실험을 설계하였다. L은 다른 쪽 “① 4번 20g, ② 2번에 40g, ③ 1번에 80g과 같이 단순히 무게×거리의 값이 좌우가 같을 때” 뿐만 아니라 “⑤ 2번에 20g, 4번에 10g, ⑥ 2번에 10g, 3번에 20g, ⑦ 1번에 30g, 2번에 10g, 3번에 10g, ⑧ 1번에 10g, 2번에 10g, 5번에 10g”과 같이 (무게×거리)의 합이 좌우가 같을 때까지 수평이 성립함을 확인하였다. 또한 ④ 1번에 20g, 3번에 30g과 같이 (무게×거리)의 합이 좌우가 다를 경우는 수평이 성립하지 않는다는 사실을 바탕으로 “한쪽 4번에 20g의 추를 달면 반대편에는 다는 번호와 추의 무게를 곱하고 그 각각을 더하여 80이 되면 수평을 이룬다.  $4번 \times 20g = a번 \times x g + b번 \times y g + c번 \times z g = 80$ ”과 같은 주장을 하고 있다.

L의 이러한 주장은 자신이 실험을 통해 획득한 여러 자료를 바탕으로 이루어진 것이므로 정합성이 잘 드러나고 있으며 나아가 자신이 가지고 있던 초기 이론에 잘 부합하는 것이다. L의 보고서에서는 주장과 증거에만 정합성이 성립하는 것이 아니라 자신이 가지고 있는 사전 이론에서부터 질문, 실험 설계 및 실행, 자료 수집 및 분석의 전 과정에서 정합성이 잘 나타나 있다.

L은 이미 어떻게 하면 저울의 수평이 이루어질 것인가에 대한 자기 자신의 이론을 지니고 있었으며, 확보된 정합성을 바탕으로 자신의 생각을 정리하여 이를 수식으로까지 확대하는 모습을 확인할 수 있었다.

## 유형 3. 증거와 이론이 불일치한 사례

유형 3은 증거와 이론이 불일치한 경우이다. 유형 3은 유형 1에 이어 적지 않게 나타났는데, 전체 115개 중 21개로 22.6%에 해당하였다. 이 유형에 해당하는 활동 사례는 활동 3에 대한 A의 글쓰기에서 추출되었다. 활동 3에서는 아연판, 구리판, 유리판, 알코올램프, 삼발이, 초콜릿, 스톱워치 등의 실험기구가 제공되었다.

A는 “구리판과 아연판 중 어떤 초콜릿이 더 빨리 녹을까?”라는 질문을 제기하였다. 이 질문과 연관된 초기 이론은 “금속은 고유의 열전도율을 가진다.”이다. 탐구 질문에 대한 답을 얻기 위해, A는 구리판과 아연판 끝에 초콜릿을 얹어 놓고 열을 가하여 녹는 시간을 측정하는 실험을 설계하였다. 실험을 수행한 결과, 아연판 위의 초콜릿이 더 빨리 녹기 시작한 것을 관찰하였고, 관찰 증거를 토대로 “구리판보다 아연판의 열전도율이 더 높다.”라는 주장을 하였다.

A의 초기 이론이 “금속의 열전도율이 다르다”는 것이었고 그에 따른 질문이 “어떤 금속판에서 초콜릿이 더 빨리 녹을까”인데, 실험 관찰 증거를 토대로 한 주장인 “아연판의 열전도율이 더 높다”는 초기 이론과 증거에 일치하는 것으로 볼 수 있다. 그러나 실험에 대한 A의 ‘반성적 논의’를 살펴보면, 외부 출처에 의해 “구리의 열전도율이 아연보다 더 높다”는 사실을 알게 된 것으로 나타났다. 이에, 자신의 실험 관찰 증거를 토대로 나온 “구리판보다 아연판의 열전도율이 더 높다”는 주장은 “구리판이 아연판보다 열전도율이 높다”는 과학적 사실과 불일치하게 된 것이다. 이 상황에 대해 A는 본인의 실험 결과와 외부 출처에서 찾아낸 이론이 불일치한 상황이라는 것을 인지하였고 이러한 불일치가 왜 발생했는지에 대한 고민을 하였다. 그러나 재 실험을 하거나 다른 논의를 더 이상 전개하지 않았고, 실험 결과에 대한 막연한 의문을 지닌 채 실험을 마무리하였다.

## 유형 4. 증거와 이론의 불일치 및 조정 사례: 이론의 확장(정교화)

유형 4는 증거와 이론이 불일치하여 조정이 발생한 경우이다. 유형 4는 가장 적게 나타났는데, 전체 115개 중 4개로 3.56%에 해당하였다. 이 유형에 해당하는 활동 사례는 활동 1에 대한 K의 글쓰기에서 추출되었다. 활동 1에서는 물, 온도계, 비커, 삼발이, 알코올램프 등의 실험기구가 제공되었다.

K는 제공된 실험기구를 받은 후, “100℃의 온도에서 물은 어떤 상태일까?(끓기 시작할까? 아니면 팔팔?)”이라는 자기 질문을 생성하였다. 이 질문과 관련하여 K가 실험 전 가지고 있던 초기 이론은 “물은 100℃에서 끓는다”, “100℃의 끓는 물은 다량의 기포와 수증기가 생긴다”, “100℃가 되기 전에는 활발히 끓지 않을 것 같다”였다.

K는 자신이 제시한 질문을 확인하기 위해 실험을 설계하고 측정을 실시하였다. 그 결과, 물의 온도가 100℃에 도달하지 않았음에도 불구하고 본인의 질문에서 예상했던 현상 즉, 끓기 시작 또는 격렬하게 기포가 발생하는 현상이 일어났음을 발견하였다. 이러한 현상적인 관찰 증거를 바탕으로 K는 물의 온도가 100℃가 되어야만 팔팔 끓는 것은 아니라는 주장을 전개하였다. 즉, 관찰 증거와 이론의 불일치 상황이 발생한 것이다. K는 반성적 사고를 통해 최종적으로 “순수한 물이 100℃에서 끓는 것은 기압이 1기압일 때의 결과다”라는 사실을 이끌어내고, 자신이 실험 전에 가지고 있던 이론인 “물이 당연히 100℃ 넘게까지 쉽게 끓을 것이라는 생각”이 타당하지 않다고 여기게 되었으며, 후에 교사가 되어 학생들을 가르치게 될 때 이를 고려해야겠다는 점을 기록하였다.

K의 글쓰기 자료에서는 초기 이론에서부터 자기 질문, 실험 계획 및 실행, 자료 수집과 분석, 주장 전개에 이르는 전 과정에서 정합성이 잘 확보되어 있었다. 이 보고서를 작성하는 과정에서 K는 너무도 당연하게 받아들이고 있었던 자신의 초기 이론이 “일상적” 개념이었다는 것을 깨닫게 되었으며 이에 그치지 않고 보다 증거를 기반으로 자신의 초기 이론을 조정하여 보다 정교화 시켰다.

### 3. 논의

예비 초등 교사의 과학 탐구 실험에 관한 글쓰기 자료로부터 증거와 이론의 조정 과정에 대한 유형과 특징을 탐색한 결과, 네 가지 유형에 대한 빈도수와 각

유형의 대표적 사례를 살펴보았다.

실험 관찰 증거와 초기 이론이 일치한 경우인 유형 1은 본 연구에서 수집한 전체 글쓰기 자료의 과반수 이상의 사례에서 발견되었다. 유형 1의 대표적 사례에서 제시한 것처럼, 대다수의 예비교사들은 탐구 활동에서 실험 관찰 결과가 기존에 자신이 가지고 있던 이론과 잘 부합하면 더 이상의 이론의 확장 등을 시도하지 않고 실험을 마무리 짓는 경향을 보였다.

자료 분석 결과, 자신의 질문에 대한 실험을 통해 기존의 이론을 확인하는 유형 1에 해당하는 사례가 많이 나타났는데 반하여, 유형 2는 상대적으로 드물게 나타나지만 이론의 확장(정교화)에까지 가는 큰 의미를 갖는다고 할 수 있다. 즉, 유형 1은 기존의 이론을 확인하는 단순 실험에서 벗어나지 못하는 반면, 유형 2는 증거와 이론이 일치하지만 이론을 확인하는데서 그치지 않고 간단한 이론을 보다 정교하게 만들어가는 중요한 활동이 된 것으로 볼 수 있다.

유형 3과 유형 4는 증거와 이론이 불일치한 경우이다. 그 중에서 유형 3은 증거와 이론이 불일치한 것을 확인하지만 불일치 해소가 되지 않는 경우이다. 이 경우는 학교 과학실험에서 빈번하게 발생한다. 본 연구에서 살펴본 과학 탐구 글쓰기 보고서에서 연구 참여자들은 실험 결과가 자기가 원래 가지고 있던 이론이든지 혹은 외부 이론이든지 간에 그 무엇과도 일치하지 않게 될 경우, 불일치 가능성을 열거하면서 ‘오차 발생원인’이라고 명명할 뿐 불일치를 해소하려는 노력을 전개하지 않는 경향을 보였다.

증거와 이론이 불일치하여 조정이 일어난 유형 4의 경우는 매우 적은 사례에서 나타났다. 이 유형의 사례는 탐구 활동 과학 글쓰기를 통해 자신이 가지고 있는 초기 이론을 증거 기반으로 하여 조정하는 과정 즉, 새로운 이론으로 수정 및 정교화 하는 과정을 보여주었다. 증거와 이론의 조정 과정이 발생한 사례를 통해, 탐구 실험 경험을 통해 자신의 사전 이론을 점검하고 관찰 증거와의 인과적 관계를 타진하면서 자신의 사전 이론을 확장하는 지식 생성 과정을 볼 수 있었다. 이러한 사례는 단지 과학 탐구 실험이 확립된 과학적 이론을 확인하고 점검하는데 그치지 않고 자신의 사전 이론을 조정해 가는 중요한 과정이어야 한다는 점을 재조명해 준다.

전체적으로 증거와 이론의 조정이 많이 일어나지 않았다는 것은 그 과정에 쉽지 않다는 점을 드러낸다.

Kuhn(2004)의 설명에 따르면, 이론과 증거가 일치할 때, 학생들은 그 둘을 병합시켜서 증거를 이론의 일부 혹은 '예'(example)로 간주하는 경향이 있다. 반면, 이론과 증거가 일치하지 않을 때, 학생들은 증거를 이론에 맞추거나 증거를 무시한다는 것이다. Kuhn(2004)은 증거를 무시하거나 왜곡해서 기존의 이론적 틀에 맞추는 것을 '과학적 사고의 오류'라고 간주하였다. 왜냐하면, 그 경우에 기존의 이론이 도전받지 않고 새 지식을 찾으려는 의도가 없기 때문이다. Kuhn은 이러한 추론의 단점 혹은 부적절함을 학생들이 보통 그들의 신념을 검증 가능한 가설로 간주하기 보다는 신념으로 간주한다는 관점으로 보았다. 따라서 학생들은 이론에 대해서(about)가 아니라 이론을 가지고(with) 생각하기 때문에 대안 이론들을 고려하기 어렵다. 또한 Dunbar(1993)는 많은 학생들이 대안 가설 혹은 대안 이론을 고려하는데 실패하는데, 특히 그들의 목표가 기존 신념에 맞는 증거를 찾는 데 있을 경우에 그렇다고 하였다. Norman(1997)은 Lawson(1992)의 이론인 대안 가설을 찾는 것은 추론의 질을 결정하는 중요한 요소라는 점을 확증하였다.

이처럼 과학 탐구 실험에서 증거와 이론을 조정하는 일이 어려운 것은 학생들이 기존에 갖고 있는 이론이 신념과 같은 속성을 가지며, 그 이론을 가지고 증거를 생각하기 때문이라고 해석할 수 있다. 이는 과학 실험이 지식 생성을 추구하는 탐구의 목표를 살리지 못하고 증거와 이론의 일대일 연관을 통한 단순 확인 실험에 그치게 되는 제한을 갖는다. 학생들은 과학 실험에서 증거와 이론을 조정하는 것에 대해 훈련받지 못했으며, 탐구 실험의 진정한 의미를 되살려 증거와 이론을 구별하고, 그 둘 간의 조정에 대한 초인지적 각성이 결핍된 때문이다. 이는 학생들에게 과학 탐구 실험의 목표, 실험 계획, 사전 지식과 관찰 결과 해석의 연관성 등에 대한 교육이 필요함을 암시한다.

#### IV. 맺음글

과학 활동 특히, 실험을 활동을 할 때, 학생들은 사전지식을 갖고 실험계획을 하며, 자료 분석 및 해석을 해내게 된다. 본 연구의 맥락은 예비 초등 교사들의 사전지식을 밝히고, 실험에서 얻은 증거와 자신의 이론이 맞는지를 검토하는 과정을 포함하는 탐구활동을 과학글쓰기로 표상해내도록 하였다.

그 결과, 학생들의 대부분의 탐구 실험의 경우 관찰 증거와 이론이 일치하거나 불일치하거나에 관계없이 증거와 이론의 조정은 쉽게 이루어지지 않았다. 특히 자신의 초기 이론과 증거의 불일치 상황에서 이론의 수정과 같은 조정을 하기보다는 실험 설계나 실험기구 등으로 인해 결과로 얻은 증거가 정확하지 않아 불일치가 일어났을 거라고 결론을 내리고 있다. 이때 증거와 이론의 불일치의 원인으로 초기 이론 혹은 사전 지식에 대해 의구심을 제기하기보다는 외적 요인에서 그 원인을 찾는 경향이 있다고 해석할 수 있다. 이는 예비교사들이 과학지식의 가변성, 과학지식 생성되는 과정 등 과학지식의 본질에 대한 이해가 초보적인 수준에서 기인할 수도 있고 혹은 과학지식의 본질에 대한 이해가 활동 과정에 반영되지 않고 명시적으로 고정되어 있다고 볼 수도 있다. 즉, 증거에 기반을 두고 지식의 정당화하는 과정에서 초인지적 각성이 이루어지지 않았다고 볼 수 있다. 과학지식은 실증적 증거와 그 의미를 조정함으로써 구성되며, 이론과 실증적 증거와 상호관계를 이해하는 것은 과학이 무엇이고 그것이 어떻게 작동하는지를 이해하는 데 있어서 중요하다. 따라서 학생 특히 예비교사들에게 이론과 실증적 증거를 조정하는 과정을 경험하는 것 뿐 아니라 그 과정에서 초인지적 각성의 기회를 제공할 필요가 있다는 것을 시사한다.

반면에 증거와 이론의 일치 또는 불일치 할 때 일부 예비교사들은 증거와 이론의 조정을 하였으며, 그 과정에서 반성적 사고를 통해 이론의 확장(정교화)까지 진행되는 매우 의미 있는 탐구 과정을 보여주었다. 즉 자기질문, 증거, 주장, 그리고 이론 사이의 정합성을 훈련할 수 있는 탐구 활동 과학글쓰기를 통해 과학탐구가 수행되는 과정을 경험하여 이에 대한 이해가 향상될 가능성을 보여준다.

#### 국문 요약

본 연구는 예비초등교사들이 과학탐구를 수행하고 이에 대한 과학글쓰기를 분석하여 증거와 이론의 조정의 유형과 특성을 탐색하기 위한 연구이다. 본 연구에서 4개의 과학탐구활동에서 총 115개의 예비초등교사들의 글쓰기가 수집 및 분석되었다. 글쓰기 분석을 바탕으로 4개의 이론과 증거의 조정 유형을 발견할 수 있었다. 본 연구는 다음과 같이 유형을 제안한다.



유형1은 증거와 이론의 일치, 유형2는 증거와 이론의 일치 및 이론의 확장과 정교화, 유형3은 증거와 이론의 불일치, 마지막으로 유형4는 증거와 이론의 불일치 및 조정으로 보았다.

본 연구결과 우선 빈도수를 고려할 때 가장 많은 것에서 적은 것의 순으로 보면 유형1, 유형3, 유형2, 유형4의 순이다. 가장 빈도수가 높은 것으로 유형1이 나왔는데 이는 탐구질문에 내재된 이론이 참여자에 의해 쉽게 파악되었고 이를 지지하는 증거를 발견된 자료 중에서 골라냈다는 것으로 해석된다. 탐구주제와 조정유형의 빈도수 사이에 관련성이 별로 없었으나 예외적으로 활동1은 관련성을 보여주었다. 본연구의 이러한 결과는 학생들이 자신이 이미 가지고 있는 지식을 실험계획, 자료분석 및 해석 그리고 과학주장을 만들어내는 과정에서 잘 융합하고 있다는 점과 연관성이 있다고 보여진다.

주요어: 실제적 인식론, 이론과 증거의 조정, 과학 글쓰기, 탐구활동, 예비교사

## 참고 문헌

- 박중원, 장병기, 윤혜경, 박승재 (1993). 중학생들의 빛과 그림자에 대한 증거 평가. *한국과학교육학회지*, 13(2), 135-145.
- Dunbar, K. (1993). Concept discovery in a scientific domain. *Cognitive Science*, 17, 397-434.
- Faust, D. (1984). *The limits of scientific reasoning*. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Giere, R. N. (1991). *Understanding scientific reasoning* (3rd ed.). Forth Worth, TX: Holt.
- Hashweh, M. Z. (1996). Effects of science teachers' epistemological beliefs in teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(1), 47-63.
- Havdala R. & Ashkenazi, G. (2007). Coordination of theory and evidence: Effect of epistemological theories on students' laboratory practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 44(8), 1134-1159.
- Kuhn, D. (2004). What is scientific thinking and how does it develop? In U. Goswami(Ed.), *Blackwell handbook of childhood cognitive development* (pp. 371-393). Malden, MA: Blackwell.
- Kuhn, D., Amsel, E., & O'Loughlin, M. (1988). *The development of scientific thinking skills*. San Diego, CA: Academic Press.
- Lawson, A.E. (1992). What do tests of formal reasoning actually measure? *Journal of Research in Science Teaching*, 29, 965-983.
- National Research Council (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. National Academy Press: Washington D.C.
- Norman, O. (1997). Investigating the nature of formal reasoning in chemistry: Testing Lawson's multiple hypothesis theory. *Journal of Research in Science Teaching*, 34, 1067-1081.
- Sandoval, W. A. (2005). Understanding students' practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. *Science Education*, 89, 634-656.
- Shadish, W. & Neimeyer, R. (1989). Contributions of psychology to an integrated science studies: the shape of things to come. In S. Fuller, M. De Mey, T. Shinn & S. Woolgar (Eds.), *the Cognitive turn* (p. 17). Kluwer Academy Publishers.
- Siegel, H. (1989). The rationality of science, critical thinking and science education. *Synthese*, 80(1), 9-42.