

예비초등교사의 자유 탐구 활동에서 나타나는 추론 복잡성 분석

정선희 · 최현동[†] · 양일호
(한국교원대학교) · (서울대방초등학교)[†]

Analysis on the Complexity of Scientific Reasoning during Pre-service Elementary School Teachers' Open-Inquiry Activities

Jeong, Sun-Hee · Choi, Hyun-Dong[†] · Yang, Il-Ho
(Korea National University of Education) · (Daebang Elementary School)[†]

ABSTRACT

The purpose of this study was to analyze the complexity of scientific reasoning during open inquiry activities of pre-service elementary school teachers. In this study, 6 pre-service elementary teachers who participated in open-inquiry activities were selected. The data of scientific reasoning during their inquiry process was collected from the video recording of reporting about inquiry process and results, their reports and researcher's notetaking. CSRI Matrix (Dolan & Grady, 2010) was used to analyze the complexity of participants' scientific reasoning. The result showed that the degree of the complexity of their scientific reasoning varied in participants. Particularly the low degree of the complexity of scientific reasoning presented in posing preliminary hypotheses, providing suggestions for future research, communicating and defending finding. Also, The more pre-service teachers' epistemology of inquiry are similar to that of scientists, the more complex scientific reasoning represents. This results suggest that teachers should impress on students the importance of doing the precedent study and providing suggestions for future research, and provide a place for communicating and defending findings.

Key words : the complexity of scientific reasoning, open-inquiry

I. 서 론

학생들의 과학의 본성에 대한 이해(Abd-El-Khalick *et al.*, 1998)와 과학자의 탐구 활동에 근접한 탐구 수행(NRC, 1996)은 과학교육의 중요한 목표 중 하나로 지난 수십년 동안 점진적으로 발전해 왔다(DeBoer, 2006). 과학자의 탐구는 주어진 문제나 실험에서 정답만 확인하는 획일적이고 선형적인 형태가 아니라(Finley & Pocovi, 2000; Harwood, 2004a, 2004b; Krajcik *et al.*, 1998; Reiff *et al.*, 2002; Robinson, 2004; White & Frederiksen, 1998) 복잡하며 순환적인 형태이다(Reiff *et al.*, 2002). 이와 같이 학생들은 스스로 문제를 발견하고, 문제를 해결할 수 있는 방법을 찾거나 실험을 설계하여 직접 실험을

수행하는 과정을 경험해야 한다는 것이 과학교육학자들의 생각이다(예, Harwood *et al.*, 2005; Roth, 1998; Taylor, 1962). 탐구 수행의 경험이 강조되면서 2007년 개정 과학과 교육과정에서는 3학년부터 10학년까지 매 학년 최소 6시간 이상 할애할 수 있도록 '자유 탐구' 시간이 신설되었다. 이것은 학교 과학과 실제 과학자가 수행하는 탐구 사이의 간격을 좁힐 수 있는 학습 환경을 제공하는 것이 중요하다고 언급한 Roth & Bowen(1993)의 연구를 통해서도 의미를 찾을 수 있다.

자유 탐구는 학생들이 주도적으로 문제를 해결하고, 그 과정에서 지식과 이해, 기능과 과정 모두를 증진시킬 수 있으며(황성원과 박승재, 2001), 실험 전 단계에 대한 선택권과 책임감을 갖기 때문에, 기

존의 확인 실험 등이 갖는 한계를 극복할 수 있다(김희경과 송진웅, 2003). 또한, 자유 탐구는 교사의 지시가 최소화되기 때문에 학생의 통찰력과 창의적 사고에 의존하게 되며, 학생 주도적인 탐구를 하게 됨으로써 학생의 내적 동기를 강화하고, 자발적인 인지 전략 및 자기 조절 전략의 적극적인 사용이 요구된다(윤초희와 정현철, 2006). 따라서 자유 탐구는 과학자의 실제 활동과 가장 유사한 형태의 탐구이다(Colburn, 2000).

하지만 신현화와 김효남(2010)의 자유 탐구 연구에 의하면, 학생들은 탐구 문제를 찾고 탐구를 계획하는 것, 보고서를 작성하는 것, 탐구에 지속적인 관심을 갖는 것, 탐구 의욕 부족과 같은 문제에 있어 어려움을 겪고 있으며, 학생들을 가르치는 교사도 이와 유사한 어려움을 호소했다. 탐구를 지도하는 교사들에게는 어떤 과정과 방법으로 지도해야 할지에 대한 구체적인 안내가 없으며(진순희와 장신호, 2007), 탐구에 대한 명확한 의미나 이해가 부족하여 교사들은 과학 탐구 지도에 어려움을 겪고 있다(박정희 등, 2004; 조현준 등, 2008). 탐구 활동의 중요성을 인식하는 정도에 비해 실제 수행하는데 학생들이나 이를 지도해야 할 예비교사, 교사들 모두 어려움을 겪고 있음을 알 수 있다(임성만 등, 2010; 진순희와 장신호, 2007; 전영석과 전민지, 2009).

또한 자유 탐구가 학교 현장에서 실시되고 있지만, 타당하고 객관적으로 평가할 수 있는 평가 기준이 있는가의 문제와 그러한 기준에 의해 평가되고 있는가의 문제가 제기되고 있다(주정은과 차희영, 2007; 김찬중과 최미애, 2002). 초등학생의 자유 탐구 활동 보고서의 평가 준거 개발을 위한 연구(김숙경 등, 2010; 황현정과 전영석, 2009)가 있긴 하지만, 보고서에서 평가되어야 할 내용 영역을 구분하고 결과론적으로 명확성, 적합성, 논리성의 정도를 판단하여 평가 점수를 부여하는 도구이다. 따라서 탐구를 수행하면서 비판적으로 사고하고 과학적 추론을 통해 접근하고 있는가 여부를 평가하기에는 어려움이 따른다.

교사, 과학자, 과학 교육자를 포함한 많은 관계자들은 학생들의 추론 능력 발달을 위해 탐구에 의한 교수를 촉진하고자 한다(Dolan & Grady, 2010). 그렇다면 학생들이 탐구를 수행하는 과정에서 어떤 추론을 통해 문제를 확인하고 실험의 변인들을 조작했는지, 실험 수행 상의 문제점들을 어떻게 해결

했는지 여부를 판단하는 것이 중요하다. NRC에서는 과학자들의 인지 사고로 여겨지는 다음 사고 과정에 학생들이 참여하기를 권고하였다. “과학적 의문을 생성하는 것, 의문에 대한 답을 찾기 위해 증거를 찾는 것, 증거로부터 설명을 만들어 내는 것, 설명과 과학적 지식을 연결시키는 것, 설명에 대해 의사소통하고 정당화하는 것”(2000, p. 23). 즉, 탐구 활동에서 학생들이 복잡한 추론에 참여하기를 요구하고 있다(Chinn & Malhotra, 2002; Driver *et al.*, 2000; Singer *et al.*, 2000). 연역적 추론(Lawson, 2004), 귀납적 추론(Kuhn, 1988; Sloman & Lagnado, 2005), 귀추적 추론(권용주, 2003; 정진수, 2005; Magnani, 2004, 2007; Josephson & Josephson, 1994), 유추적 추론(Holyoak, 2005; Blanchette & Dunbar, 2000; Dunbar, 1999), 인과적 추론(Schauble *et al.*, 1991) 등 각각에 관한 추론 연구는 많지만 실제 학생들이 탐구를 수행하는 과정에서 나타나는 추론의 정도를 종합적으로 분석한 연구는 많지 않으며, 변인 통제, 가설 생성, 설명에 대한 증거 제공 등 특정 범주에 초점을 맞추고 있다(Bybee, 2000; Zimmerman, 2000). 따라서 과학적 추론에 관한 분석 연구들이 과학적 탐구의 핵심적인 특징을 체계적으로 구체화하지 못했다(Chinn & Malhotra, 2002).

Chinn & Malhotra(2002)는 탐구 과제 수행에서 나타나는 추론이 얼마나 과학자와 유사한가를 평가할 수 있는 탐구 과제 평가 도구를 제안한 바 있는데, 그들의 분석 도구로 학교 과학 탐구 과제를 평가해 본 결과, 참 과학 추론과는 많은 차이가 있었다. Dolan & Grady(2010)는 Chinn과 Malhotra가 제안한 참 탐구의 인지 과정을 기반으로 인지적 발달, 과학적 탐구, 과학의 실제 등을 반영하여 과학적 추론의 복잡성 정도를 평가하는 분석 도구를 개발하였다. 이 분석 도구를 통해 학생들의 탐구 수행에서 나타나는 추론의 복잡성 정도를 이해할 수 있을 것으로 판단된다.

우리의 관심은 자유 탐구를 수행하는 동안 나타나는 추론의 복잡성 정도를 포착하는 것이다. 특히 예비초등교사가 수행한 자유 탐구에서 추론의 복잡성이 어떠한 정도로 이루어지는지 확인하고, 수준 차이의 근원이 되는 인식론을 비교 분석하는데 연구의 목적이 있다. 학교 현장에서 학생을 지도해야 할 예비초등교사들의 추론 복잡성 정도를 확인함으로써 자유 탐구에서 겪는 어려움이나 추론의 정도,

변인 선택 및 변인 통제에 대한 고려 정도를 이해할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 자유 탐구 지도시 교사가 학생들에게 도움을 주어야 할 시기나 과학에 대한 본성 및 인식론의 중요성을 파악할 수 있을 것이다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

연구에 참여한 예비교사는 교원 양성을 위한 K 대학교의 초등교육을 전공하고 있는 학생 11명이었다. 학생들은 2학년에 재학 중이었고, 2명을 제외한 9명의 학생이 여학생이었다. 2011년 3월부터 6월까지 초등과학교육만 강좌를 이수하면서 과제로 제시된 자유 탐구를 4개월 간 수행한 11명의 학생들 가운데 탐구 수행을 주도적으로 진행하였으며, 마지막 보고서 발표를 했던 학생 6명을 분석 대상으로 선정하였다. 탐구는 2인 1조 소그룹으로 진행되었으며, 1명의 학생만 단독으로 자유 탐구를 수행하였다. 자유 탐구 주제는 자유롭게 선정하였으며, 학생들이 수행한 자유 탐구의 주제는 표 1과 같다. 탐구 주제를 선정한 후에 선정 이유와 이후 실험 계획에 대한 중간 점검을 통해 자유 탐구 수행을 촉진하였다. 표 1에서 제시된 예비교사 코드는 발표 순서에 의한 것이다.

2. 추론 복잡성 분석 도구

본 연구에서 사용한 분석 도구는 2가지이다. 첫째, 추론의 복잡성 수준은 Dolan & Grady(2010)가 제안한 CSRI(Complex of Scientific Reasoning During Inquiry) Matrix를 통해 확인하였다. 추론 복잡성 Matrix는 학생들이 탐구하는 동안 복잡한 추론에 참여

하고 있는지 여부를 인식하고 판단하기에 용이하다. 인지 과정의 각 단계는 덜 복잡함, 다소 복잡함, 많이 복잡함, 매우 복잡함의 4단계로 구분되며, 덜 복잡함에서 매우 복잡함으로의 추론 복잡성 증진은 Chinn & Malhotra(2002)의 단순 탐구에서 참 탐구의 인지 과정으로의 증진으로 설명된다. 덜 복잡함은 대부분 행동 요소는 인식되지만 그 근거가 없는 경우이며, 근거가 명확하지 않거나 기술적이지 않고 제한된 근거일 때 다소 복잡함 또는 많이 복잡함, 의도적이며 폭넓은 탐색에 의한 근거 제시가 이루어지면 매우 복잡함에 해당된다. Dolan & Grady(2010)의 추론 복잡성 증진에 따른 CSRI Matrix는 표 2에 제시하였다.

둘째, 복잡성의 차이를 나타내는 예비초등교사의 인식론은 Chinn & Malhotra(2002)의 인식론 분석 준거 6가지를 사용하였다. 인식론이란 알고 있는 것에 관한 기본적인 신념을 의미하며, 인식론은 그 신념이 변화되어야 하는 시기와 관련이 있다(Chinn & Malhotra, 2002). 학생과 과학자가 갖고 있는 인식론이 다르며, 그것이 탐구 수행에 영향을 미치게 된다. 특히 학생들은 단순한 인과 구조의 과학 지식을 가지고 있으며, 갖고 있는 지식이 탐구 수행을 통해 얻은 결과에 의해 쉽게 변화된다. 반면에 과학자들은 데이터의 복잡함을 인식하고 다각도로 이론과 증거를 비교하며, 실험 결과를 쉽게 받아들이지 않는 경향이 있다. 추론의 복잡성의 수준 차이가 나는 학생들을 선별하여 그 학생들의 인식론을 비교 분석하였다.

3. 자료 수집 및 분석

예비초등교사의 자유 탐구 수행에 관한 자료는 보고 발표 녹화물, 자유 탐구 보고서, 연구자 기록물로 Cohen *et al.*(2000)이 제안한 삼각 측정법(triangulation)에 의거 최대한 객관적이고 타당한 자료를 확보하기 위해 노력하였다. 학생들 보고 발표 녹화물은 6월 둘째 주에 이루어진 마지막 탐구 결과 보고 발표회를 통해 수집되었다. 캠코더와 mp3 녹음기를 통해 발표를 녹화 및 녹음하고, 의문나는 점이나 학생들의 실험 설계에서 변인 통제 및 추론 정도에 관한 특이 사항은 연구 노트에 기록하였다. 보고서 발표 내용은 탐구 주제, 주제 선정 이유, 가설 및 예상, 실험 설계 방법, 탐구 결과, 결론 및 미래 제언 등의 순으로 발표되었고, 발표된 내용을 중심으로 프로토크

표 1. 예비초등교사가 수행한 자유 탐구 주제 목록

자유 탐구 주제	예비교사코드
교내 대기오염이 가장 심한 곳은 어디일까?	P1
왜 특정 휴지만을 선호하는 것일까?	P2
학교 내 물 파연 안전할까?	P3
컵 안의 물은 왜 식는 속도가 다를까?	P4
커피보다 녹차가 더 뜨겁게 느껴지는 이유	P5
아이스크림마다 녹는 속도가 다른 이유	P6

표 2. 추론 복잡성 평가를 위한 Matrix(Dolan & Grady, 2010)

인지 과정	과학적 추론 과정에 대한 복잡성 증진 정도			
	덜 복잡함 (Least complex)	다소 복잡함 (Somewhat complex)	많이 복잡함 (More complex)	매우 복잡함 (Most complex)
1. 의문 생성	연구 의문이 제공된다; 학생들은 탐구시에 다른 의문을 생성하거나 탐구하지 않는다.	연구 의문이 제공된다; 학생들은 탐구하는 동안 관찰에 기반하여 다른 의문을 생성하거나 탐구한다.	연구 의문이 제공된다; 학생들은 탐구하는 동안 관찰과 연구 주제에 대한 더 포괄적인 탐색에 기반하여 다른 의문을 생성하고 탐구한다.	학생들은 자신만의 연구 의문을 생성한다; 탐구하는 동안 관찰과 연구 주제에 대한 폭넓은 탐색에 기반하여 다른 의문들이 생성되고 탐구된다.
2. 예비 가설 설정	연구 문제에 대한 선행 연구 수행이 없고, 학생들은 예비 가설이 없거나 검증할 수 없거나 관련없는 가설을 설정한다.	연구 문제에 관한 선행 연구 수행 없이 학생들은 연구 문제와 관련된 검증할 수 있는 예비 가설을 설정한다.	연구 문제의 선행 연구에 기반하여 학생들은 관련된 검증가능한 가설을 설정한다.	연구 문제의 선행 연구에 기반하여 학생들은 관련된, 검증 가능하며 허위없는 가설을 설정한다.
3. 연구 설계와 수행				
A. 독립 변인과 종속 변인 선택	학생들은 변인 선택에 대한 근거가 없다.	학생들은 변인 선택에 대한 제한된 이유를 갖고 있다.	학생들은 변인 선택에 대해 고려하지만 기술적이지 않은 근거를 갖고 있다.	학생들은 변인 선택에 대해 고려하며 과학적 근거가 있다.
B. 실험통제	학생들은 통제 설계에 주목하지 않는다.	학생들은 통제 설계에 대해 최소한의 주의를 기울인다.	학생들은 통제 설계에 다소 주의를 기울인다.	학생들은 통제 설계에 의도적인 주의를 기울인다.
4. 결과 설명				
A. 자료의 의미 고려	학생들은 형식화된 자료 테이블을 제공하지만 자료에 대한 의미를 고려하지 않는다.	학생들은 자료가 주는 의미에 대해 조금 고려하면서 본인 자료 테이블을 설계한다.	학생들은 자료의 의미에 대해 조금 고려하면서 표, 그림, 그래프, 사진, 통계값 등을 포함해 다양한 방식으로 자료를 제시한다.	학생들은 자료의 의미에 대해 주의깊게 고려하면서 표, 그림, 그래프, 사진, 통계값 등을 포함해 다양한 방식으로 자료를 제시한다.
B. 실험 한계와 결점 고려	학생들은 보고서의 제한점이나 본인 실험의 결점에 대해 고려하지 않는다.	학생들은 탐구 수행 후에 실험의 한계나 결점에 대해 생각하고 구두나 글로 보고한다.	학생들은 탐구 수행 중 본인 실험의 한계나 결점을 주의 깊게 생각하지만 조절하지 않는다. 이러한 한계를 구두나 글로 보고한다.	학생들은 탐구 수행 중 본인 실험이 갖는 한계나 결점을 주의깊게 고려하고 탐구를 조절한다.
C. 자료와 연구 의문 연결	학생들은 연구 의문과 자료를 연결시키지 않는다.	학생들은 원래 연구 의문보다는 의문에 대한 답을 구하기 위해 자료를 사용한다.	학생들은 원래 연구 의문과 자료를 연결시키기 위해 다른 형태의 추론(예, 대조적, 연역적, 귀납적 추론)을 사용한다. 추론은 여러 층위의 연결을 포함하는 추론을 요한다.	학생들은 원래 연구 의문과 자료를 연결시키기 위해 다른 형태의 추론을 사용할 뿐 아니라, 다른 연구 결과를 사용한다. 추론은 여러 층위의 연결을 포함하는 추론을 요한다.
D. 후속 연구를 위한 제언 제공	학생들은 미래를 위한 제언을 하지 않고 추가적인 가설을 제안하지 않는다.	학생들은 후속 연구를 위한 추상적인 제언이나 관계되지 않은 가설을 제안한다.	학생들은 후속 연구를 위한 관련 제언이나 추가적으로 검증가능한 가설을 제안한다.	학생들은 타당하고 검증가능한 가설을 포함하여 후속 연구를 위한 관련 제언을 한다.
E. 의사소통 및 연구 결과 방어	학생들은 구두나 글로 자신의 결과에 대해 의사소통하거나 결과에 대한 방어를 하지 않는다.	학생들은 구두나 글로 자신의 결과에 대해 의사소통하거나 방어하는에 약간의 주의를 기울인다.	학생들은 자신의 결과를 방어하는데 강조점을 두고 구두나 글로 결과에 대해 의사소통한다.	학생들은 구두나 글로 자신의 결과에 대해 의사소통한다. 학생들은 결과를 방어하기 위해 논리적 논증을 사용한다.

을 생성하였다. 실험 내용이나 이해되지 않는 부분은 보고 발표를 위해 학생들이 제시한 프리젠테이션 자료(ppt, UCC 등)와 발표 후 질의 응답 내용을 통해 보완하고 추론 정도를 확인하였다. 생성된 프로토콜을 반복해서 읽으면서 탐구 수행 순서나 발표 내용에서 빠진 부분을 보고서에서 찾아 보완하여 최종 프로토콜을 생성하였다.

최종 프로토콜에서 나타난 추론의 복잡성은 Dolan & Grady(2010)가 개발한 분석 도구를 이용해 분석되었으며, 자유 탐구 수행 중 나타난 예비교사의 추론 복잡성에 대한 인지 과정은 탐구 각 단계에 따라 4수준으로 구분되어 코딩되었다. 자료 분석의 신뢰도 확보를 위해 과학교육전공 교사 3인이 각자 프로토콜 코딩을 한 뒤 분석자 간 일치도(interrater reliability)를 확인하고, 코딩하기 애매한 요소에 대해 논의하였다. 무작위 추출한 학생 2명의 프로토콜 코딩에 대한 최종 분석자 3인의 일치도는 분석자 3인 이상의 일치도 확인에 유용하다고 Fletcher *et al.*(2011)이 제안한 ICC(intraclass correlation coefficient)를 통해 확인하였다. 일치도 지수는 Cronbach $\alpha=0.88$ 이었다. 최근 신뢰도 연구에서 0.60 이하는 불일치한다고 보여지며, 0.75 이상의 평정값을 얻도록 노력해야 의미가 있다고 보기 때문에(Fletcher *et al.*, 2011) 0.88은 비교적 높은 신뢰 수준을 나타낸다고 할 수 있다.

또한 추론의 복잡성에서 차이를 보인 P1과 P6의

인식론을 Chinn & Malhota(2002)의 인식론 분석 준거에 따라 각각 비교 분석하였다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 예비초등교사의 자유 탐구 수행에서 나타난 추론의 복잡성 수준

Dolan & Grady(2010)의 CSRI Matrix를 통해 예비초등교사의 자유 탐구에서 나타난 추론의 복잡성 정도를 인지 과정별로 분석해 보았다. 예비초등교사의 추론 복잡성 수준은 표 3과 같이 다양하게 분포되어 있음을 확인할 수 있었다.

1) 의문 생성

의문 생성에서 많이 복잡함과 매우 복잡함의 구분은 교사에 의해 연구 의문이 주어지는가 학생 스스로 연구 의문을 생성하는가에 따른 것이었다(Dolan & Grady, 2010). 따라서 6명의 예비초등교사가 모두 매우 복잡함에 해당된다. 주어진 과제가 예비초등교사 스스로 자유 탐구를 수행하고 결과 보고를 하는 형태였기 때문에, 탐구 주제나 의문 생성은 교사에 의해 주어지는 것이 아니라 학생이 자신만의 연구 의문을 생성한 것에 해당된다. Chinn & Malhota(2002)의 연구 결과를 보면, 단순 탐구 과제는 학생들에게 탐구 의문이 제공되는데 반해, 참 탐구

표 3. 예비초등교사의 추론 복잡성 수준

인지 과정	추론의 복잡성 증진 정도			
	덜 복잡함 (Least)	다소 복잡함 (Somewhat)	많이 복잡함 (More)	매우 복잡함 (Most)
1. 의문 생성				P1, P2, P3, P4, P5, P6
2. 예비 가설 생성	P1, P2, P3	P4, P5, P6		
3. 연구 설계와 수행				
A. 변인 선택		P1, P2, P3, P4		P5, P6
B. 실험 통제 조건 고려		P1	P3, P4, P6	P2, P5
4. 결과 설명				
A. 자료 진술의 의미 고려		P1, P3, P5	P2, P4, P6	
B. 실험의 한계나 결점 고려	P5	P1	P2, P3, P4, P6	
C. 연구 의문과 자료 연결			P1, P2, P3, P4, P5	P6
D. 후속 연구를 위한 제언 제공	P1, P3, P4, P5, P6		P2	
E. 의사소통 및 연구 결과 방어	P4	P1	P2, P3, P5, P6	

에서 과학자들은 자신의 탐구 의문을 생성하고, 그 의문을 이해하기 위한 전략들을 개발하려고 한다. 따라서 의문 주제에 따라 의문 생성을 구분하였는데, 이런 구분에 따라 자유 탐구는 과학자의 참 탐구 활동과 더 가까운 형태임을 알 수 있다.

또한 표 1에 제시한 바와 같이, P1~P6이 수행한 자유 탐구 주제는 ‘교내 대기 오염이 가장 심한 곳은 어디일까?’부터 ‘아이스크림마다 녹는 속도가 다른 이유’까지 다양하였다. 그러나 학생들은 탐구 주제 이외에 추가 질문을 추구하거나 연구 주제에 대한 폭넓은 탐색을 통해 다른 의문들을 생성하는 것처럼 보이지는 않았다(Dolan & Grady, 2010). 대부분 현상이 얼마나 다르게 나타날까에 초점을 둔 주제들이었다. 자유 탐구 주제에서 나타난 변인들을 분석한 결과, 약 81%의 학생들이 독립 변인과 종속 변인이 불분명한 형태로 진술되었다고 보고한 김재우 등(1998)의 연구 결과와 같이 예비초등교사들은 의문 현상을 설명할 수 있는 독립 변인과 종속 변인의 인과 관계 설명에 관심을 보이지 않고, 단순히 선택된 변인에 따라 현상이 어떻게 변할지 차이를 확인하는 실험이 50%를 차지하고 있었다. 분석된 6명의 예비초등교사 중 P3는 학교 안 기숙사의 정수기가 더러울 것이라는 생각을 가지고 기숙사 각 관의 수질 오염 정도를 측정했다. 프로토콜 사례를 제시하면 다음과 같다.

P3: 어떤 친구가 울곡관 1층 물을 떠놓고 3일 동안 방치해 놓았더니 갈색 이상한 부유물이 생겼다고 했어요. 그리고 울곡관 2층 정수기에 보면 사람들이 되게 많이 라면 국물도 버리고 무 국물도 버리고 정수기에 라면 국물과 무 국물 냄새가 난대요. 그게 저희 학교 정수기가 필터가 있는 게 아니라 필터 없이 지하수에서 한번 거르고 끌어올리는 거거든요. 이걸 알아보는 실험... 학교 안 기숙사의 물이 더러울 것이라고 생각하고서 그 차이가 어느 정도 있을지를 검사하고 싶었어요.

2) 예비 가설 생성

예비 가설 생성에서 P1~P6에 해당되는 예비초등교사가 덜 복잡함 또는 다소 복잡함에 해당됨을 확인할 수 있다. P1, P2, P3 경우, 탐구 주제를 선정한 동기는 있지만 의문 현상을 설명할 수 있는 변인 선택의 근거나 예비 가설이 없었고, P4, P5, P6의 경우, 예비 가설은 있었지만 연구 문제에 관한 선행

연구를 수행하거나 예비 가설을 생성한 근거가 없었음을 알 수 있다. CSRI Matrix에서 다소 복잡함과 많이 복잡함의 구분은 선행 연구의 수행이 있는가와 검증할 수 있는 예비 가설을 제안하였는가에 따른 것이다. 따라서 예비초등교사들이 선행 연구 수행 없이 자유 탐구를 진행하고 있으며, 예비 가설을 선택한 근거가 없을 뿐 아니라 검증할 수 있는 가설을 제안하지 못하고 있음 알 수 있다. 특히 덜 복잡함에 해당되는 P1은 대기오염 정도가 지역에 따라 얼마나 다른지를 알고 싶어서 탐구를 수행하였는데, 대기오염 정도를 빗물의 pH 수치를 통해 확인하고자 하였고, 쓰레기나 주차장 근처가 pH 수치가 높을 것이라고 예상하였다. 예비 가설없이 단순히 pH 수치에 따른 차이만을 탐구하였다.

P1: 가설 설정입니다. 전제는 지역에 대한 오염도는 비의 산성도를 측정함으로써 알 수 있다. 따라서 교내에서도 빗물의 산성도 차이를 비교 분석함으로써 어느 장소가 가장 오염의 정도가 심한지 알아낼 수 있다 입니다. 그래서 설정한 가설이 교내에서 자동차가 많이 다니는 주차장이나 쓰레기가 많이 쌓여 있는 곳이 산성의 정도가 심할 것이다 입니다.

프로토콜을 통해 P1이 pH 수치를 선택한 근거가 없을 뿐 아니라 가설과 예상을 혼동하고 있음을 알 수 있다. 예상이 가설과 구분이 모호한 채 구분 없이 사용되고 있다는 연구 결과와 일치하는 부분이다(권용주 등, 2000; Germann *et al.*, 1996). 또한 Klahr *et al.*(1993)은 가설을 생성할 때 영역 내의 선지식과 이전 실험 결과에 영향을 받는다고 제언한 바 있는데, P1은 대기오염에 따라 산성비가 내린다는 경험적 사실을 통해 pH 수치라는 변인을 선택했을 것이라는 추측을 할 수 있으며, 대기오염 정도에 따라 차이를 나타낼 수 있는 다른 변인들은 확인하지 않았고, 그럴 필요성도 느끼지 않았다. 반면에 P5는 녹차와 커피가 같은 온도의 물로 탔음에도 느껴지는 온도가 다르다는 사실을 경험적으로 확인하고 온도에 영향을 미치는 요인을 탐색하는 실험을 수행하였다. 그리고 용해열, 비열에 따라 달라질 것이라는 가설을 세웠다.

P5: 행정실에서 근무를 하는데 커피랑 녹차를 같이 탔을 때 웬지 커피보다 녹차가 항상 뜨겁게 느껴졌어요. 아주 미세하지만 녹차가 조금 더 뜨겁게 느껴

졌어요. 그래서 왜 그럴까 궁금했습니다. 그래서 우선 가설로 세운 것은 커피는 가루로 된 믹스고, 가루 녹차는 티백으로 돼 있는데, 가루믹스가 녹으면서 뜨거운 물에서 열이 방출해서 온도가 낮아질 것이라고 생각을 했고 두 번째는 비열 차이일 수도 있을 것이라고 생각했습니다. 비열이란 물체 1g당 어.. 온도를 1도씩 변화하는 데 필요한 열량인데, 비열이 물질마다 다르다고 해요. 그래서 이제 물의 온도를 변화시키는데 필요한 열량이 다르기 때문에 그제 비열 차이일 수도 있을 것이라고 생각했습니다.

P4와 P6은 영향을 미칠 것이라 생각하는 변인을 찾아 제시한 예비 가설이 1개였던 것에 비해 P5는 온도 차이에 영향을 줄 수 있는 변인을 2가지 선택하였다. 이런 차이는 선지식과 이전 경험에 의한 것으로 보여진다. Zeineddin & Abd-El-Khalick(2010)은 선지식이 변인 조작에 영향을 미치는 중요한 요인임을 밝힌 바 있다. 하지만 실험을 통해 원인적 설명자가 될 변인을 명확히 찾아내지는 못했다. 과학적 문제 해결에서는 여러 경쟁 가설들의 검증이 요구되는데(Chamberlain, 1890), 하나의 가설 검증은 확증 편향을 야기할 수 있다(Klayman & Ha, 1987)는 것이 과학자들 사이에서 오랫동안 인정되어 온 사실이다(Kyza, 2009). 예비초등교사들도 현상에 대해 자신의 경험적 지식에 의존해 하나의 가설 이상 생성하기 어렵다는 사실을 확인할 수 있다.

3) 연구 설계와 수행

연구 설계와 수행에서는 독립 변인과 종속 변인 선택, 실험 통제에 관한 추론을 확인하게 된다. 덜 복잡함과 다소 복잡함은 학생들이 변인을 선택한 근거 유무에 따라 구분되며, 근거가 제한된 근거인가, 기술적이지 않은 근거인가, 과학적 근거인가의 근거 제시 정도에 따라 추론의 복잡성이 증진된다고 해석할 수 있다. 분석된 6명의 예비초등교사들이 다소 복잡함 이상의 추론 정도를 보인 것으로 보아 변인을 선택한 근거나 변인을 통제하려는 최소한의 노력을 기울였다고 보여진다. P4의 경우, 컵 안의 물의 온도에 컵의 밀도가 영향을 미칠 것이라는 가설을 확인하기 위해 탐구를 수행하였는데, 밀도 변인은 과학적으로 컵의 온도에 큰 영향을 미치는 변인이 아니며, 밀도 변인을 선택한 근거가 제한적이기 때문에 다소 복잡함으로 구분되었다. 문제 상황에서 변인을 찾아내지 못하거나 가설과 관련 없는

변인을 조작하거나 실험 설계에서 통제 변인을 고정하지 못하는 등 변인 통제를 잘 못한다는 기존 연구들(김선자와 최명순, 2005; Germann *et al.*, 1996)과 유사하다. 그리고 실험 통제 부분에서 P4는 많이 복잡함으로 구분되었는데, 여러 컵들의 온도 변화를 확인하기 위해 초기 온도를 80도로 고정시킨 뒤 변화를 관찰한 부분, 온도 변화를 보기 위해 1분 간격으로 온도를 측정하는 부분 등 실험 통제에 다소 주의를 기울인 것을 알 수 있다.

P4: 컵의 밀도에 따라 물의 식는 속도가 다를 것이라고 생각하였어요. 왜냐하면 컵의 밀도와 얼마나 촉촉하고 느슨한지에 따라 물이 식는 속도가 다를 것이라고 생각했기 때문에. 방법은 아까 말씀드렸듯이 컵의 밀도가 클수록 속도가 느릴 것이라고 생각했습니다.

P4: 일단 여러 물질의 컵을 준비했어요. 그래서 유리컵, 사기 컵, 커피 컵, 종이 컵, 플라스틱 컵, 스티로폼 컵, 스테인리스 컵...스티로폼 컵은 이제 스무디킹 컵으로 했어요. 물 80도에서 온도계를 사용하여 했습니다. 물을 100도 안 하고 80도로 한 이유가 처음에 물을 100도씨로 할려고 했는데 100도씨 물이 따르면 어느 정도 식더라구요. 그래서 물 80도로 어느 정도 맞춰 놓고서 시작하기로 했습니다.

실험 통제에서 P6 같은 경우, 실험 이외의 조건을 통제하기 위해 바람이 차단되고 온도가 일정한 장소를 선택하여 실험하고, 밀도를 계산하기 위해 일정한 직육면체 부피로 잘랐으며, 녹는 시간을 동일하게 맞추기 위해 먼저 꺼낸 아이스크림을 다시 냉동실에 열린 것, 질량 측정을 위해 영점을 조정하는 등 실험 통제를 위해 다소의 주의를 기울인 것으로 판단돼 많이 복잡함으로 구분하였다. 프로토콜을 살펴보면 다음과 같다.

P6: 아이스크림이 가장 잘 녹는 데 영향을 많이 받는 것이 온도와 바람이라고 익히 알고 있기 때문에 바람이 차단되고 이제 온도가 일정한 체육관에서 했어요. 이제 아이스크림을 가로, 세로, 높이 1 cm의 직육면체로 잘랐어요. 이거는 이제 나중에 밀도를 측정할 때 나중에 계산하기 귀찮기 때문에 부피를 먼저 정해 놓았습니다. 따로 다시 냉동실에 넣은 이유는 자르면서 먼저 꺼낸 게 먼저 녹을 수도 있기 때문에 냉동실에 다시 넣고 한 20분 정도 충분한 시간을 주고 열게 했습니다. 두 번째데요. 이렇게 저

희가 페트리 접시 네 개를 준비했는데 얼핏 보면 다 똑같은데 그래서 처음에는 페트리 접시를 무시하고 그냥 제시.. 그냥 하나만 제시 하려고 했는데 페트리 접시가 다 무게가 다 다르더라고요. 그래서 이제 페트리 접시를 얹고 영점 버튼이 있어요. 여기.. 세 번째보면... 요거를 눌러서 영점을 만들고 아이스크림 없어서 아이스크림만의 무게를 잰습니다. 이제 세 번째로 이렇게 나온 결과를 찍어서 밀도는 부피분의 질량이라는 공식을 이용해서 아이스크림마다 밀도를 구하고, 이제 아이스크림이 다 완전히 녹기까지 시간을 측정했습니다.

참 탐구를 수행할 때 영향을 미칠 것이라 여겨지는 변인을 선택하고, 변인을 통제하는 문제는 단순 탐구에 비해 어렵고 복잡하다(Chinn & Malhotra, 2002).

4) 결과 설명

결과 설명 중 자료 진술의 의미 고려는 탐구 수행 결과, 얻은 자료를 어떻게 진술하며, 그 의미에 대해 해석하는가와 관련된 부분이다. 분석된 모든 예비초등교사들은 자신이 수행한 탐구 결과를 진술하고, 처음 의문과 연결시켜 의미를 부여하였다. 따라서 다소 복잡함과 많이 복잡함에 분포하고 있다. 자료를 제공하는 방식을 살펴보자면, P1은 pH 시험지의 색깔을 사진으로 찍어 사진 자료를 제시하고, 색깔 변화 정도에 따라 부등호로 결과를 정리하여 보여주었다. P3는 수질 검사에서 나타난 색깔 변화 정도를 찍은 사진과 안전한 정도에 대한 결과를 제시하였고, P5는 설계했던 각 실험의 온도를 제시하고 부등호로 온도를 비교하였다. P2는 휴지의 특성을 알아보기 위해 흡수량, 흡수 속도, 무게, 가라앉는 정도 등을 알아보았는데 각 실험 결과의 원 데이터를 표로 제시하고, 전체적인 비교를 위해 그래프를 사용하였다. P4는 컵의 밀도를 계산한 결과와 온도 변화에 관한 원 데이터를 표로 제시하고 전체적인 온도 변화를 비교하기 위해 그래프를 사용하였다. P6는 아이스크림이 녹는 모습을 사진으로 보여주고 아이스크림의 밀도와 유지방 함량, 녹는데 걸린 시간에 관한 표와 그래프를 제시하였다. 이들을 다소 복잡함과 많이 복잡함으로 구분한 근거는 전체적인 비교를 위해 그래프 자료를 사용하였는가의 유무였다. Latour(1987)와 Roth et al.(1998)의 연구에서 표나 원 데이터를 기록한 목록표보다 그래프나 평균이 더 추상적인 표상 방법이며, 그래프나 평균

을 사용한 학생들이 인과관계 설명에 대한 확신도가 높다고 보여준 바 있는데, 본 연구에서도 유사한 결과를 확인할 수 있었다. P1, P3은 예비 가설이 없었기 때문에 모두 원 데이터만을 제시한데 반해, 그래프를 사용한 P2, P6은 자신이 제시했던 가설에 대한 확신도가 높았다. P5의 경우, 여러 변인을 고려하고 실험을 수행했지만 실제 연구에 영향을 미치는 변인을 정확히 찾아내지 못하고, 결론을 내렸으며 그래프까지 제시하지 못했다. 반면 P4의 경우, 가설에서 제시한 변인이 종속 변인에 영향을 미치지 못한다는 결론을 정확히 내렸다는 점에서 인과관계에 대한 확신도가 그래프 생성에 영향을 미쳤음을 알 수 있다(그림 1).

P5: 우선 믹스커피보다 티백 녹차가 온도가 높았어요. 예상했던 대로 근데 두 번째와 세 번째를 보면 같은 믹스여도 온도는 다 같고, 같은 티백이어도 온도는 다 같게 나왔습니다. 그래서 비열의 영향이 없는 걸 확인할 수 있었고, 네 번째로 같은 커피지만 믹스커피보다 티백커피가 낮았어요. 1번처럼 믹스가 티백보다 낮다는 것을 확인할 수 있었고, 다섯 번째 믹스커피 두 개와 믹스커피 한 개 차이. 이때 가루의 양이 차이가 있었지만 온도는 똑같았습니다. 그래서 가루의 양은 영향을 끼치지 않았고, 여섯 번째 일곱 번째에서 찬물에서는 변화가 없는 것을 관찰할 수 있습니다. 그래서 이것을 통해서 뜨거운 물에서는 종류에 관계없이 가루가 열을 흡수하기 때문에 믹스로 된 것은 티백으로 된 것보다 온도가 많이 낮아진다고 결론을 내렸습니다.

P5의 프로토콜을 살펴보면, 비열과 가루 양이 영향을 미치지 못함은 확인했지만, 믹스와 티백의 차이가 무엇을 의미하는지 확인할 수 있는 근거가 없다는 것을 알 수 있다. 열의 흡수 때문인지를 확인할 수 있는 실험 설계가 없었기 때문에 P5는 두 가지 가설 중 비열과는 관계가 없으며, 다른 가설로 제



그림 1. P5의 결과 자료 제시 방법

시한 열의 흡수로 인해 믹스로 된 것은 티백으로 된 것보다 온도가 낮아진다고 확신도가 약한 결론을 내렸다. 결론에 대한 확신 정도에 따라 자료 제시 방법이 달라질 수 있음을 확인할 수 있는 대목이다. 또한 황현정과 전영석(2009)의 연구에서 분석된 예비초등교사 모두 그래프가 더 효과적인 경우에도 표나 글을 사용하였다는 연구 결과를 보고했는데, 학생들이나 예비초등교사가 결과를 제시하는 방식에 효율적이지 않으며, 자료 제시 방법에 대한 능력을 향상시킬 필요성이 있음을 알 수 있다.

결과 설명에서 실험의 한계나 결점 고려, 연구의 문과 자료 연결, 의사소통과 연구 결과, 방어 부분에서 대부분 예비초등교사는 많이 복잡함의 추론을 하고 있었다. 하지만 후속 연구를 위한 제언 제공 부분에서 대부분의 예비초등교사는 다른 가설을 제안하거나 후속 연구에 대한 제언이 없어 덜 복잡함으로 분류되었다. 많이 복잡함으로 분류된 P2는 휴지의 특성을 알아본 결과, 흡수량과 흡수 속도에 영향을 미치는 요인이 휴지의 조직일 것 같다는 제언을 남겼다. 예상치 못한 결과를 해석하고, 그 해석을 확장시켜 후속 연구를 제안할 수 있는 대안 가설을 생성하는 것은 순환적 탐구 학습을 위해 중요한 부분이며(Lawson, 1995), 일회적인 탐구가 아니라 탐구가 지속적인 활동임을 확인할 수 있는 부분인데, 예비 교사들조차 주어진 과제만을 해결하려는 일회적 특성의 탐구를 수행함을 알 수 있다. 특히 가설검증을 위한 탐구에서 대안 가설 생성의 중요성에 대해서는 인식되고 있지만(Chinn & Brewer, 2001; Zimmerman, 2005), 학생들의 탐구 상황에서 대안 가설 생성에 관해 확장적으로 연구된 예가 드물다(Kyza, 2009). 황현정과 전영석(2009)의 연구에서 결론 도출 중 연구의 한계나 결과의 가치를 인식하는 정도가 낮았다고 보고한 결과와 일치한다.

또한 의사소통과 연구 결과, 방어 부분에서 거의 많이 복잡함의 추론을 나타냈지만 자신의 연구 결과에 답변 위주로 의사 교환이 이루어졌으며, 개방적으로 의사소통하는 노력이 부족함을 알 수 있었다. 과학자 커뮤니티는 과학 지식의 발전을 위해 진보적인 담화 즉, 상호 이해, 경험적 검증 가능성, 타당한 제안 확장, 담화 개방성과 같은 논의에 참여한다(Bereiter, 1994). 학생들과 예비초등교사 모두 자신의 탐구 결과에 대해 서로 의견을 교환하면서 발전 가능한 방향으로의 논의가 더 활발히 이루어질

수 있도록 유도할 필요가 있다(Kyza, 2009).

2. 인식론에 따른 추론 복잡성의 차이

인식론에 따른 추론 복잡성 차이를 확인하기 위해 인지 과정 각 단계에서 추론의 복잡성 수준이 덜 복잡함과 다소 복잡함에 머물렀던 P1의 사례와 많이 복잡함과 매우 복잡함으로 분류되었던 P6의 사례를 비교하였다. 인식론은 Chinn & Malhotra(2002)의 연구에서 사용한 연구의 목적, 이론-증거의 조화, 방법에 대한 이론-의존성, 변칙 자료에 대한 반응, 추론의 성격, 지식에 대한 사회적 구성 6가지 기준에 의해 논의되었다. 인식론의 각 준거를 비교해 보았을 때 P1은 단순 탐구와, P6는 과학자가 하는 참 탐구의 인식론과 유사함을 확인할 수 있었다.

1) 연구의 목적

과학은 발견된 증거를 설명할 수 있는 이론을 개발하고 정교화하는데 목적이 있다(Darden, 1991; Giere, 1988). 하지만 단순 탐구에서는 쉽게 관찰될 수 있는 규칙성을 발견하는데 목적이 있으며, 그 기반이 되는 메커니즘에 관해 이론을 생성하려고 하지 않는다. Chinn & Malhotra(2002)에 의하면, 참 탐구에 비해 단순 탐구는 세상에 대한 사실을 귀납적으로 수집하는데 목적이 있다. P1의 경우 학교 내에서 오염이 심한 곳이 어느 곳인지 귀납적으로 자료를 수집하는데 연구의 목적 있었다. 반면 P6는 아이스크림의 녹는 속도가 다른 원인에 주목하고, 이를 설명할 수 있는 변인을 찾으려 노력했음을 알 수 있다.

P1: 자유 탐구 목표는 학교 내의 각각의 장소에서 가장 오염이 심한 곳을 찾아보자 입니다.

P6: 친구들이랑 아이스크림을 먹다가... 아이스크림이 다 다른걸 먹잖아요. 그래서 아이스크림은 종류마다 녹는 속도가 다를까? 다르다면 왜 다를까를 생각하면서 주제를 설정하게 되었습니다.

2) 이론-증거의 조화

과학자들의 참 탐구에서는 자료의 복잡성을 인식하고 이론과 일치시키려는 노력을 기울이는 반면(Thagard, 1992), 단순 탐구에서는 자료가 불확실하고 부분적으로는 모순을 나타내는 경우조차 이론과 자료의 일관성에 대해 다루지 않는다(Chinn & Malhotra, 2002). P1은 이론이 없었기 때문에 단지 pH 수치에 따른 색깔 차이만을 비교해서 연구 결과에 기록

했다. 반면, P6은 밀도와 유지방 함량에 따라 녹는 속도가 어떻게 나타났는지를 그래프로 정리해서 이론과 자료를 연결시키려 했다. 제시된 원 데이터만 가지고 보서는 밀도 차이가 났다고 판단되기 어려움에도 이론에 맞춰 증거 자료를 해석하려고 하였다.

P1: 실험 결과를 저희가 봤는데 저희가 예상한 것과 다르게 미호 삼거리가 제일 산성 농도가 심했고, 그 다음에 기숙사, 학생식당, 자연관 옆 주차장, 종합교육관 순이었습니다.

P6: 그래프로 나타내 보면 파란 게 밀도고 빨간 게 유지방이고 이게 꺾은 선 그래프가 녹는 시간인데요. 밀도에 따라서 비례하는 것을 볼 수 있고, 유지방에 따라서 반비례하는 것을 볼 수 있습니다.

3) 방법에 대한 이론-의존성

참 탐구에서 과학자들의 인식론의 특징 중 하나는 이론에 의존해 방법을 고안한다는 점이다. 하지만 P1은 탐구를 통해 현상의 기저에 있는 인과 메커니즘을 밝히고, 이론과 증거를 조화시키려는 노력을 하기 보다는 한 번의 pH 측정으로 오염도를 확인하였다. 연구 방법에 대한 아이디어는 대기오염이 심해져 산성비가 내린다는 경험 지식에 의존해 산성비 측정을 선택하였다. 하지만 대기오염의 정도 차이를 보여줄 수 있는 다른 방법을 다각적으로 연구하거나 연구의 한계에 대해 고민하지 않았다. 하지만 P6는 유지방 함량과 밀도에 따라 아이스크림이 녹는 정도를 관찰하기 위해 유지방 함량이 표기되었으며 밀도 차이가 나는 아이스크림을 선별하여 실험을 수행하였다.

P1: 보통 대기오염 하면 산성비를 떠올리잖아요. 그리고 우리가 가장 쉽게 측정할 수 있는 게 아닌가 생각했어요.

P6: 처음에는 그냥 좋아하는 아이스크림으로 하려고 했었어요. 더위사냥, 빵또아 이런 걸로 하려고 했는데 가설을 맞춰야 되고 유지방에도 맞춰야 되는 거예요. 그래서 밀도는 확연하게 차이가 금방 나잖아요. 아이스크림을 먹어본 기억이 있기 때문에. 그래서 했고. 유지방은.. 유지방을 하기 위해서 아이스크림 뒤 봉지를 보고 유지방이 적혀있는 걸로 골라왔어요.

4) 변칙 자료에 대한 반응

변칙 자료에 대한 반응에서, 과학자들은 자신의

신념을 쉽게 수정하려고 하지 않는다. 반면, P1은 예상했던 것과 다른 결과가 나왔을 때 자신이 수행한 실험 결과를 전적으로 믿고 새로운 해석을 시도한다. 미호 삼거리가 가장 더럽고, 그 다음 학생식당, 자연관 옆 주차장, 종합교육관, 기숙사 순으로 pH 수치가 높아질 것이라고 예상했는데, pH 시험지의 반응 정도가 거의 차이가 없었고, 미묘한 차이에 의한 결과도 예상과 달랐다. 기숙사는 오염이 덜할 것이라 생각했는데, 기숙사 앞이라는 특성상 쓰레기가 많이 발생하고 쉽게 더러워졌다 깨끗해졌다를 반복하기 때문으로 해석했다. 일회적 측정에 의한 실험 결과도 그대로 수용하는 모습을 볼 수 있었다. P6은 아이스크림이 녹는 정도가 조금 다를 거라고 생각했는데 실제로 해보니까 차이가 있었고, 그게 밀도와 유지방 함량에 따라서 조금씩 차이가 있을 수 있다는 자신의 이론과 일치하는 연구 결과를 얻었다.

P1: 실험 결과를 저희가 봤는데 저희가 예상한 것과 다르게 미호 삼거리가 제일 산성 농도가 심했고, 그 다음에 기숙사, 학생식당, 자연관 옆 주차장, 종합교육관 순이었습니다. 결과를 분석해 보면 예상대로 자동차가 가장 많이 다니고 제일 변화한 미호 삼거리의 pH 수치가 낮았습니다. 주차된 차들만 있을 뿐 아니라 기숙사의 오염 정도가 가장 덜 할 것이라고 저희는 예상했는데, 역시 미호 삼거리 다음으로 산성도가 높았어요. 왜 높았는지 생각해 보면 기숙사 앞이라는 특성상 쓰레기가 많이 자주 발생하고 쉽게 더러워졌다 깨끗해졌다를 반복했기 때문일 것입니다.

5) 추론의 성격

단순 탐구에서는 대부분 알고자 하는 변인을 통제했을 때 결과에 차이가 나타났는가를 확인하는 알고리즘적 전략을 주로 사용하는 반면, 과학자들의 참 탐구에서는 확실한 알고리즘에 의해 추론한다기보다 발견을 위해 다소 확률적이고 창의적이며 연결될 것 같지 않은 허위적 추론을 한다(Chinn & Malhotra, 2002). P1 추론의 성격을 보면, 단순히 오염 정도가 다르다면 pH 수치 차이가 나타날 것이라는 논리를 기반으로 하고 있음을 알 수 있다. 반면, 유지방 함량에 따라 밀도 차이가 나는 이유를 생각하는 과정에서의 P6의 추론은 귀추이다. 기존에 유지방 함량이 높은 아이스크림이 부드러웠던 기억과 부드럽게 만들기 위해 밀도가 낮아진다는 확률적 추론을 하고 있음을 알 수 있다.

P1: 교내에서도 빗물의 산성도를 차이를 비교분석함으로써 어느 장소가 가장 오염의 정도가 심한지 알아낼 수 있다입니다.

P6: 유지방이 많이 포함된 아이스크림은 좀 빨리 녹고 밀도가 낮은 아이스크림일수록 빨리 녹는데 이것이 왜 그럴까 생각을 해보니까 보통 유지방이 많이 들어간 우유가 많이 들어간 고소한 아이스크림 같은 경우에는 먹었을 때 딱딱한 거보다는 부드러운 게 좋잖아요.

6) 지식에 대한 사회적 구성

지식에 대한 사회적 구성 즉, 과학 커뮤니티와의 의사소통을 보면, 과학자들의 참 탐구에서는 다른 사람들의 연구를 탐색하면서 연구 방법에 대한 아이디어를 얻거나 이론, 실증적 자료를 확인하게 되는데, 단순 탐구에서 학생들은 일반적인 탐구의 절차나 방법에 대해 살펴보지 않는다. P1은 개선 방안으로 자신이 수행한 실험보다 좀 더 정밀한 방법으로 분석해 볼 필요가 있음을 제안하였지만, 다른 사람들의 결과와 비교하거나 좀 더 정밀하게 할 수 있는 방안을 제안하지 못했다. P6은 유지방 함량과 밀도가 반비례하다는 것을 연구 결과를 발견했는데, 그것이 아이스크림을 만드는 과정에서의 차이와 연관됨을 자료 검색을 통해 확인하고, 연구 결과를 지지하는 자료를 제시했다.

P1: 저희 실험의 개선 방안입니다. pH 수치를 정확하게 파악할 수 있는 방법을 사용하여 미세한 수치 차이를 분석해본다. pH 시험지 이외에 오염의 정도를 파악할 수 있는 다른 방법을 모색해본다.

P6: 서주 아이스크림 같이 유지방 함량이 높은 것은 아이스크림을 만들 때 공기를 많이 넣어서 부드럽게 만든다고 해요. 그렇기 때문에 당연히 밀도가 낮아진다고 합니다. 반면에, 유지방이 안 들어간 얼음 종류의 아이스크림은 시원하고 딱딱하게 먹는 게 맛있잖아요. 그래서 유지방이 포함된 것보다는 공기를 거의 함유를 안 하는 그냥 우리 집에서 물을 얼리는 것처럼 그런 식으로 해서 밀도가 높다고 합니다.

IV. 종합 논의

과학적 추론 능력의 향상은 과학 교육의 목적이자 과학 교육학자들의 주된 관심사이다(NRC, 1996; Kuhn *et al.*, 1988). 또한 과학적 추론 능력 향상을 위해 탐구를 수행해야 한다는데 많은 과학 교육학

자들이 동의하고 있다(예, Abrahams & Millar, 2008; Lawson, 2004; Schauble *et al.*, 1995). 이렇게 학생들의 직접 탐구 수행이 강조되면서 우리나라에서도 개정 7차 과학과 교육과정에 ‘자유 탐구’가 도입되어 지도되고 있다. 이 연구에서는 예비초등교사의 자유 탐구 수행에서 나타나는 추론의 복잡성 정도를 인지 과정별로 분석하고, 복잡성의 차이에 따라 인식론을 비교해 보았다. 이를 통해 예비초등교사의 자유 탐구 수행에서 추론 정도가 미약한 시기이나 인식론 등 학생 지도에 주는 시사점을 이해하기 위함이었다.

6명의 예비초등교사의 탐구 수행을 분석한 결과, 대체로 다소 복잡함이나 매우 복잡함 수준이었으나, 예비 가설 생성, 후속 연구를 위한 제언, 의사소통과 사실 방어 면에서 예비교사가 낮은 정도의 추론 복잡성을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. Dolan과 Grady(2010)에서 후속 연구를 위한 제언 제공과 의사소통 및 연구 결과, 방어 부분에서 매우 복잡함 수준으로 나타났던 것과 대조적인 결과이다. 특히 예비 가설 생성은 탐구의 시작을 알리는 핵심적인 활동임에 틀림없지만(권용주 등, 2000; Driver *et al.*, 2000; Lawson, 1995) 학생들은 가설 생성에 어려움을 느낀다(권용주 등, 2003). 예비 가설의 수에서도 예비초등교사들마다 차이가 나타났는데, 선지식에 의한 차이로 해석할 수 있다. 이는 현상을 설명할 수 있는 변인을 선택하는데 선지식이 영향을 미친다는 연구 결과들(Klahr *et al.*, 1993; Zeineddin & Abd-El-Khalick, 2010)로 뒷받침된다. 예비 가설 생성 부분에서 추론 복잡성이 낮게 나온 것은 선지식의 영향뿐만 아니라, 현장에서 가설 생성을 위한 연습이 부족하며 가설 생성 학습이 제대로 이루어지지 않고 있기 때문일 수도 있다.

학교 과학에서 시행되는 탐구 활동을 살펴보면, 학생들은 관찰된 것과 설계된 활동을 통해 알아낼 수 있는 아이디어를 연결하는데 어려움을 느낀다(Abrahams & Millar, 2008). 그리고 자료 분석에 대한 토의, 결론의 일반화, 새로운 결과와 이전 결과를 연결하고 종합하는 것보다 자료를 수집하고 실험 과정을 완성하는데 오히려 더 많은 시간을 보낸다(Watson *et al.*, 2004). 예상하지 못했던 변칙 사례에 대한 해석이나 실험 설계의 미흡함을 해결할 수 있는 방법에 대해 제안해 주는 것은 실험 한계와 결점 고려, 후속 연구를 위한 제언 제공과 관련된다. 하지만 학

생들은 대부분 변칙 자료를 거부하거나(Chinn & Brewer, 1993; Jonathan *et al.*, 2004; Limón, 2001) 자신이 제안한 가설을 확인하는 실험을 수행한다. 후속 연구를 위한 제언 부분에서 복잡성 정도가 미약했던 것도 확증을 위한 실험 설계가 많았기 때문으로 판단된다. 또한 변칙 자료를 자신의 가설이나 이론과 연결시켜 설명하는 증거 평가 능력이 부족함을 확인할 수 있는 부분이다.

의사소통은 자기가 얻은 탐구 결과를 논리적으로 정당화하고 다른 사람과의 논의를 통해 더 발전적인 방향으로 설명을 개발하는데 목적이 있다. 또한 과학 커뮤니티에서 의견이 받아들여져야만 탐구가 의미가 있다. 이러한 점 때문에 의사소통 및 연구 결과에 대한 방어에서 나타나는 추론은 중요하다. 이 단계에서 예비초등교사가 대부분 많이 복잡함 수준을 나타냈는데, 이는 자신의 연구 결과를 신뢰롭게 생각하고 있으며, 확신도가 높기 때문으로 보여진다. 반대로 실험 설계에서 나타날 수 있는 측정 오류나 측정에 대한 본성에 대해 인식하지 못하고 있기 때문으로 해석할 수 있다. Buffler *et al.*(2009)은 측정의 본성을 Point 패러다임과 Set 패러다임으로 구분한 바 있다. Point 패러다임은 측정을 통해 참값을 찾을 수 있으며, 측정 과정에서 생긴 오류를 0까지 줄일 수 있다고 여기는 반면, Set 패러다임에서는 측정의 불완전성을 인식하고 모든 측정의 오류를 0까지 줄이기 어려우며 최대한 불확실성이 줄어들 수 있는 방법으로 측정해야 한다고 여기는 관점을 의미한다. 대부분의 예비초등교사가 일회적인 측정을 통해 결과를 냈으며, 이 결과에 대한 확신도가 높다는 것은 Point 패러다임을 가지고 있기 때문으로 이해할 수 있다. 연구 결과에 대한 확신도에 비하면 다른 사람과의 논의가 활발하게 이루어지지 않았는데, Dolan & Grady(2010)의 연구에서 학생들이 설계에서 미흡했던 점이나 실험 결과에 대해 부정적인 질문을 해서 교사가 그런 질문을 금지했던 것과 다른 양상이다.

추론 복잡성의 차이가 나타나는 원인을 알아보기 위해 추론의 복잡성 수준이 덜 복잡함과 다소 복잡함에 머물렀던 P1의 사례와 많이 복잡함과 매우 복잡함으로 분류되었던 P6의 사례에서 인식론에 따라 나타난 특징을 비교해 보았다. 그 결과 P1은 단순 탐구를 수행하는 학생들의 인식론과 비슷한 양상을 나타내고, P6는 참 탐구를 수행하는 과학자의 인식

론과 비슷한 양상을 나타냈다. 아마도 추론의 복잡성에 탐구에 대한 인식론이 반영되었기 때문으로 해석된다. 이러한 해석은 인식론이 높을수록 과학적 추론 수준이 높았음을 보였던 Zeineddin & Abd-El-Khalick(2010)의 연구 결과와 과학이나 측정에 대한 본성이 학생들의 실험 수행이나 추론에 영향을 미친다는 Tsai(1999)의 연구 결과로 뒷받침된다.

자유 탐구를 통해 과학자와 같은 참 탐구를 맞고 과학적 추론을 경험하는 것은 의미 있는 일이다. 하지만 참 탐구를 하거나 과학적 추론 능력을 향상시키기 위해서는 한 가지 변인 확인을 위한 실험 수행이나 단편적인 탐구가 아닌 순환적이며 복잡한 형태의 탐구가 되어야 한다(Reiff *et al.*, 2002). 따라서 예비 가설을 생성하거나 후속 연구를 위한 제언을 제공하거나 의사소통 및 연구 결과 방어를 위해 학생들이 많은 시간을 할애하고 여러 가지를 고려하여 탐색할 수 있도록 하는 교사의 안내가 요구된다.

V. 결론 및 제언

이 연구는 예비초등교사의 자유 탐구 수행에서 나타나는 추론의 복잡성 정도에 대해 분석해 보았는데, 연구 결과로부터 얻은 결론과 제언은 다음과 같다.

예비초등교사의 추론 복잡성 수준은 덜 복잡함, 다소 복잡함, 많이 복잡함, 매우 복잡함에 다양하게 분포하고 있었다. 하지만 인지 과정의 각 단계에 따라 확인해 보면 의문 생성은 매우 복잡함에 해당되며, 예비 가설 생성은 덜 복잡함과 다소 복잡함으로 예비 가설이 거의 없는 연구를 수행함을 알 수 있었다. 변인 선택과 실험 통제에 관한 고려는 다소 복잡함에서 매우 복잡함까지 고루 분포하고 있었다. 결과 설명 중 자료 진술의 의미, 실험의 한계나 결점 고려, 연구 의문과 자료의 연결에 대해서는 대부분 다소 복잡함과 많이 복잡함이었던 반면 후속 연구를 위한 제언 제공에 대해서 대부분 예비초등교사가 덜 복잡함으로 구분돼 대안 가설이나 후속 연구를 위한 제언이 거의 없는 것을 확인할 수 있었다. 의사소통과 연구 결과 방어 부분에서는 덜 복잡함에서 많이 복잡함까지 고루 분포했다.

또한 추론의 복잡성 수준이 덜 복잡함과 다소 복잡함에 머물렀던 P1의 사례와 많이 복잡함과 매우 복잡함으로 분류되었던 P6의 사례에서 인식론에 따라 나타난 특징을 비교한 결과, P1은 단순 탐구를

수행하는 학생들의 인식론과 P6는 참 탐구를 수행하는 과학자의 인식론과 비슷한 양상을 나타냈다.

이에 따라 다음과 같은 세 가지 제언을 할 수 있다. 첫째, 탐구 주제를 정하거나 예비 가설을 설정할 때에 실제 의문 현상이 확인되는지 탐구 수행이 가능한지 등에 관한 선행 연구가 필요함을 교사는 학생들에게 안내할 필요가 있다. 둘째, 탐구 수행에서 예상치 못한 변칙 자료를 설명하거나 실험을 통해 확인할 수 없었던 부분에 대한 후속 연구 제언이 탐구의 본성에서 매우 중요함을 교사는 학생들에게 인식하게 할 필요가 있다. 셋째, 사람들은 자신의 이론에 따라 연구 결과를 해석하려는 확증 편향을 보이게 마련이다. 교사는 학생들이 다른 사람과의 의사소통을 통해 좀 더 점진적이고 발전적인 방향으로 탐구가 진행될 수 있도록 의견 교환을 할 수 있는 장을 마련해 주어야 한다.

참고문헌

권용주, 심해숙, 정진수, 박국태(2003). 수증기 응결에 관한 초등학생들의 가설 생성에서 귀추의 역할과 과정. 한국과학교육학회지, 24(4), 250-257.

권용주, 양일호, 정원우(2000). 예비 과학교사들의 가설 창안 과정에 대한 탐색적 분석. 한국과학교육학회지, 15(1), 116-125.

김선자, 최병순 (2005). 변인통제 문제해결 과정에서 나타난 초등학생의 실험설계 및 증거제시 특성. 한국과학교육학회지, 25(2), 111-121.

김숙경, 정진수, 천제순(2010). 초등학생의 자유 탐구 활동 보고서의 평가 준거 개발 및 적용. 초등과학교육, 29(1), 69-85.

김재우, 오원근, 박승재(1998). 중학교 1학년 학생들의 자유 탐구보고서에 나타난 변인의 유형. 한국과학교육학회지, 18(3), 297-301.

김찬중, 최미애(2002). 초등 과학과 포트폴리오의 채점 기준 개발과 신뢰도 검증. 한국과학교육학회지, 22(1), 176-189.

김희경, 송진웅 (2003). 과학 실험의 목적에 대한 중학생의 인식 조사. 한국과학교육학회지, 23(3), 254-264.

박정희, 김정률, 박예리(2004). 탐구 학습에 관한 중등 과학 교사들의 인식. 한국지구과학회지, 25(8), 731-738.

박종원 (2005). 학생의 과학적 탐구분제의 제안과정과 특성 분석. 새물리, 50(4), 203-211.

신현화, 김효남(2010). 초등학교 과학과 자유 탐구 활동에서 교사와 학생이 겪는 어려움 분석. 초등과학교육, 29(3), 262-276.

윤초희, 정현철(2006). 과학 영재의 과학탐구 능력 관련 변인에 대한 경로분석: 숙달목표, 자기효능감, 자기조절전략 및 탐구 수업을 중심으로. 교육심리연구, 20(2), 321-339.

임성만, 양일호, 김순미, 홍은주, 임재근(2010). 초등 예비 교사들이 자유 탐구 활동 중에 겪는 어려움 조사. 한국과학교육학회지, 30(2), 291-303.

전영석, 전민지 (2009). 과학 자유 탐구를 지도할 때 발생하는 어려움. 한국초등교육, 20(1), 105-115.

정진수, 원희정, 권용주(2005). 과학적 가설의 생성력 향상을 위한 삼원귀추모형의 적용. 한국과학교육학회지, 25(5), 595-602.

조현준, 한인경, 김효남, 양일호(2008). 초등학교 과학 탐구 수업 실행의 저해 요인에 대한 교사들의 인식 분석. 한국과학교육학회지, 28(8), 901-921.

주정은, 차희영(2007). 관찰에 의한 분류하기 탐구 능력 평가 준거 개발. 초등과학교육, 26(4), 407-417.

진순희, 장신희(2007). 과학 탐구에 대한 초등 교사들의 지도 경험. 초등과학교육, 26(2), 181-191.

황성원, 박승재 (2001). 진기와 자기에 대한 중학생들의 개방적 탐구에서 과제 유형에 따른 탐구 수행 분석. 한국과학교육학회지, 21(2), 255-263.

황현정, 전영석(2009). 초등 예비 교사들의 자유 탐구 수행 능력 분석. 초등과학교육, 28(4), 404-414.

Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. & Lederman, N. G. (1998). The nature of science and instructional practice: Making the unnatural Natural. *Science Education*, 82(4), 417-436.

Abrahams, I. & Millar, R. (2008). Does practical work really work? A Study of the effectiness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, 30(14), 1945-1969.

Bereiter, C. (1994). Implications of postmodernism for science, or, science as progressive discourse. *Educational Psychology*, 29, 3-12.

Blanchette, I. & Dunbar, K. (2000). How analogies are generated: The roles of structural and superficial similarity. *Memory and Cognition*, 29, 730-735.

Buffler, A., Lubben, F. & Ibrahim, B. (2009). The relationship between students' views fo the nature of science and their views of the nature of scientific measurement. *International Jouranl fo Science Education*, 31(9), 1137-1156.

Bylee, R. W. (2000). Teaching cience as inquiry. In Mins-trell, J. & van Zee, E. H. (Eds.), *Inquiring into inquiry learning and teaching in science* (pp. 20-46). Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.

Chamberlain, T. C. (1890). The method of multiple working hypothesis. *Science*, 15(92), 754-759.

Chinn, C. A. & Brewer, W. F. (1993). The role of anomalous data in knowledge acquisition: A theoretical framework

- and implications for science instruction. *Review of Educational Research*, 63(1), 1-49.
- Chinn, C. A. & Brewer, W. F. (2001). Models of data: A theory of how people evaluate data. *Cognition and Instruction*, 19(3), 323-393.
- Chinn, C. A. & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86, 175-218.
- Cohen, L., Manion, L. & Morrison, K. (2000). *Research methods in education*(5th Ed.). London: Routledge Falmer.
- Colburn, A. (2000). An inquiry primer. *Science Scope*, 23(6), 42-44.
- Darden, L. (1991). *Theory change in science: Strategies from Mendelian genetics*. New York: Oxford University Press.
- DeBoer, G. E. (2006). Historical perspectives on inquiry teaching in schools. In L. B. Flick & N. G. Lederman (Eds.), *Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education*, Dordrecht, The Netherlands: Springer, pp. 17-35.
- Dolan, E. & Grady, J. (2010). Recognizing students' scientific reasoning: A tool for categorizing complexity of reasoning during teaching by inquiry. *Journal of Science Teacher Education*, 21, 31-55.
- Driver, R., Newton, P. & Osborn, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84, 287-312.
- Dunbar, K. (1999). How Scientists Build Models: *InVivo Science as a Window on the Scientific Mind*. In Magnani, L., Nersessian, N., & Thagard, P. (1999), *Model-based reasoning in scientific discovery* (pp. 89-98). Plenum Press.
- Finley, F. N. & Pocovi, M. C. (2000). Considering the scientific method of inquiry. In J. Minstrell and E. H. van Zee (Eds.), *Inquiring into inquiry learning and teaching in science* (pp. 47-62). Washington, DC: American Association for the Advancement of Science.
- Fletcher, I., Mazzi, M. & Nuebling, M. (2011). When coders are reliable: The application of three measures to assess inter-rater reliability/agreement with doctor-patient communication data coded with the VR-CoDES. *Patient Education and Counseling*, 82, 341-345.
- German, P. J., Haskins, S. & Auls, S. (1996). Analysis of nine high school biology laboratory manuals: Promoting scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(5), 475-499.
- Giere, R. N. (1988). *Explaining science: A cognitive approach*. Chicago: University of Chicago Press.
- Harwood, W. S. (2004a). An activity models for scientific inquiry. *The Science Teacher*, 71(1), 44-46.
- Harwood, W. S. (2004b). A new model for inquiry: Is the scientific method dead? *Journal of College Science Teaching*, 33(7), 29-33.
- Harwood, W. S., Reiff, R. & Phillipson, T. (2005). Putting the puzzle together: Scientists' metaphors for scientific inquiry. *Science Educator*, 14(1), 25-30.
- Holyoak, K. J. (2005). Analogy. In Holyoak, K. J. & Morrison, R. G. (Eds.), *The Cambridge handbook of thinking and reasoning* (pp. 117-142). New York: Cambridge University Press.
- Jonathan, A. F., Courtney, B. S., Adam, E. G. & Kevin, N. D. (2004). Theory and data interactions of the scientific mind: evidence from the molecular and the cognitive laboratory. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 58(2), 86-95.
- Josephson, J. R. & Josephson, S. G. (1994). *Abductive inference: Computation, philosophy, technology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Klahr, D., Fay, A. L. & Dunbar, K. (1993). Heuristics for scientific experimentation: A developmental study. *Cognitive Psychology*, 25, 111-146.
- Klayman, J. & Ha, Y.-W. (1987). Confirmation, disconfirmation, and information in hypothesis testing. *Psychological Review*, 94(2), 211-228.
- Krajcik, J., Blumenfeld, P., Marx, R., Bass, K. & Fredricks, J. (1998). Inquiry in project-based science classrooms: Initial attempts by middle school students. *The Journal of the Learning Science*, 7(3&4), 313-350.
- Kuhn, D., Amsel, E. & O'Loughlin, M. (1988). *The development of scientific thinking Skills*. San Diego, CA: Academic Press.
- Kyza, E. A. (2009). Middle-school students' reasoning about alternative hypotheses in a scaffolded, software-based inquiry investigation. *Cognition and Instruction*, 27(4), 277-311.
- Latour, B. (1987). *Science in action: How to follow scientists and engineers through society*. Milton Keynes, UK: Open University Press.
- Lawson, A. E. (1995). *Science teaching and the development of thinking* (pp. 11-12). Belmont, CA: Wadsworth.
- Lawson, A. E. (2004). What is the role of induction and deduction in reasoning and scientific inquiry? *Journal of Research in Science Teaching*, 42(6), 716-740.
- Limón, M. (2001). On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: A critical appraisal. *Learning and Instruction*, 11, 357-380.
- Lustick, D. (2009). The failure of inquiry: Preparing science teachers with an authentic investigation. *Journal of Science Teacher Education*, 20, 583-604.
- Magnani, L. (2004). Model-based and manipulative abduc-

- tion in science. *Foundation of Science*, 9, 219-247.
- Magnani, L. (2007). Abduction and chance discovery in science. *International Journal of Knowledge-based Intelligent Engineering Systems*, 11, 273-279.
- National Research Council (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- National Research Council (2000). *Inquiry and national science education standards*. Washington, DC: National Academy Press.
- Reiff, R., Harwood, W. S. & Phillipson, T. (2002). A scientific method based upon research scientists' conception of scientific inquiry. In *Proceedings of the 2002 Annual International Conference of the Association for the Education of Teachers in Science* (Charlotte, North Carolina, January 10-13, 2002), 546-556.
- Robinson, W. R. (2004). The inquiry wheel, an alternative to the scientific method. *Journal of Chemical Education*, 81(6), 791-792.
- Roth, W. M. (1998). How prepared are preservice teachers to teach scientific inquiry? Levels of performance in scientific representation practices. *Journal of Science Teacher Education*, 9(1), 25-48.
- Roth, W. & Bowen, G. M. (1993). An investigation of problem framing and solving in grade 8 open-inquiry science program. *The Journal of the Learning Sciences*, 3(2), 165-204.
- Schauble, L., Glaser, R., Duschl, R. A., Schulze, S. & John, J. (1995). Students' understanding of the objectives and procedures of experimentation in the science classroom. *The Journal of the Learning Science*, 4, 131-166.
- Schauble, L., Glaser, R., Raghavan, K. & Reiner, M. (1991). Causal models and experimentation strategies in scientific reasoning. *The Journal of The Learning Science*, 1(2), 201-238.
- Singer, J., Marx, R. W., Krajcik, J. & Clay Chambers, J. (2000). Constructing extended inquiry projects: Curriculum materials for science education reform. *Educational Psychologist*, 35, 165-178.
- Sloman, S. A. & Lagnado, D. A. (2005). The problem of Induction. In Holyoak, K. J. & Morrison, R. G. (Eds.) *The Cambridge handbook of thinking and reasoning*. New York: Cambridge University Press. pp. 95-116.
- Taylor, C. (1962). Some educational implications of creativity research findings. *School Science and Mathematics*, 62, 593-606.
- Thagard, P. (1992). *Conceptual revolutions*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
- Tsai, C. C. (1999). 'Laboratory exercises help me memorize the scientific truths': A study of eight graders scientific epistemological views and learning in laboratory activities. *Science Education*, 83(6), 654-674.
- Watson, R., Swain, R. L. & McRobbie, C. (2004). Students discussions in practical scientific inquiries. *Journal of Science Education*, 23(26), 25-45.
- White, Y. B. & Frederiksen, R. J. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16(1), 3-118.
- Zeineddin, A. & Abd-El-Khalick, F. (2010). Scientific reasoning and epistemological commitments: Coordination of theory and evidence among college science students. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(9), 1064-1093.
- Zimmerman, C. (2000). The development of scientific reasoning skills. *Developmental Review*, 20, 99-149.
- Zimmerman, C. (2005). The development of scientific reasoning skills: What psychologists contribute to an understanding of elementary science learning. *Final Draft of a Report to the National Research Council Committee on Science Learning Kindergarten through Eighth Grade*, 1-109.