

탐구화학실험 수행에서 나타나는 예비화학교사의 탐구특성 및 변화 분석

심헌태 · 유선아*

한국교원대학교

(접수 2017. 9. 13; 게재확정 2017. 12. 28)

Pre Service Chemistry Teachers' Understanding of Science Practices During Open-inquiry Chemistry Laboratory Activities

Heontae Shim and Suna Ryu*

Department of Chemistry Education, Korea National University of Education, Cheongju 28173, Korea.

*E-mail: sunaryu@knue.ac.kr

(Received September 13, 2017; Accepted December 28, 2017)

요 약. 이 연구에서는 20명의 1학년 예비교사들이 탐구화학실험을 수행하면서 겪는 어려움에 어떻게 대응하는가를 분석하고, 탐구실험의 수행이 예비 교사들의 탐구수행능력 및 인식론적 목표와 고려에 어떤 변화를 주었는지 살펴보았다. ‘화학 지식을 실험에 적절히 적용하지 못함’, ‘참고자료에 대한 강한 의존성’ 및 ‘결과에서 나타난 현상에만 집중’과 같은 특성은 탐구수행을 방해하였으나, 일부 조에서의 활발한 토의는 관련 화학 개념 및 실험 설계의 오류를 재고찰 하는 기회로 작용하여 장애를 극복하는데 도움을 주었다. 또한 활발하게 토론에 임한 학생들은 실험안에서 분담한 역할만 수동적으로 수행하는 것에서, 새로운 아이디어를 내고 그 아이디어에 대한 책임감을 갖고 실험 성공을 위해 노력해야 한다는 지식 생성을 위한 능동적인 인식론적 주체로서의 발전을 보였다. 이에 본 연구는 처음부터 완전한 자유탐구로 탐구실험 수업을 진행하는 것보다 예비교사의 수준을 고려하여 서서히 자유도를 높여가는 비계의 적용이 효과적임을 제안한다. 또한 본 연구에서 활발한 논의는 효과적이었지만 일부 조에서만 이루어졌으므로, 실험 수행 시 토론을 활발하게 하고 책임감을 높일 수 있도록 하는 비계의 도입이 탐구실험수업 설계에 고려되어야 할 것으로 보여진다.

주제어: 탐구화학실험, 안내된 실험, 예비화학교사교육, 인식론적 주체

ABSTRACT. The purpose of this study was to observe and analyze how pre-service secondary chemistry teachers conduct open-ended, free style, exploratory chemistry experiments. The study examined common difficulties and tendencies that teachers showed in the chemistry labs. The study also investigated how these teachers deal with their difficulties and obstacles, such as unexpected results and device errors. Next, the study explored how students' epistemic goals and considerations have been shaped and changed as they interacted with one another and participated in their experiments over time. The study suggests that it could be more effective to gradually decrease guided-features of the experiment by providing appropriate scaffolding, than to start with completely open-ended inquiry labs. The study also suggests that the establishment of epistemic agency among group members influences the way they conduct experiments. Consequently, it is necessary to consider how instructional design for open-ended inquiry labs may provide students with scaffolds to encourage their active participation and to build responsibility in group discussions.

Key words: Inquiry-oriented chemistry labs, Guided experiment, Pre-service chemistry teacher education, Epistemic agency

서론

최근 과학 교육은 과학 지식의 습득 뿐 아니라, 과학의 본질을 이해하고 과학적인 결정을 통해 행동을 실천에 옮길 수 있는 과학적 시민의 양성을 그 목적으로 하고 있다.¹ 이에 따라 이전 과학 탐구 활동의 목적이 탐구 활동을 통해 과학의 내용(science contents) 혹은 탐구 과정을 통한 기술(inquiry skills)을 배우는 것이었다면, 현재는 이러한 과정을 통해 질문하기, 모델링, 탐구과정 설계 및 수행,

데이터 분석, 논의와 설명의 참여 등의 과학 실천을 통해 과학 지식의 형성 과정과 그 본성을 이해하는 것으로 그 목적이 확대되고 있다고 할 수 있다.^{2,3} 이러한 맥락에서 학생들이 직접 지식을 구성하고 평가하는 과정에 참여할 수 있는 자유 탐구의 중요성은 그 어느 때 보다 커졌다. 최근 우리나라 교육과정에서 탐구능력 향상을 과학 교육의 중요한 목표로 강조해왔고 2007교육과정에서 신설된 자유탐구는 학생 스스로 탐구를 할 수 있는 기회와 시간을 제공해줌으로써, 탐구기능을 신장하는데 그 목적을 두

고 있다.⁴ 현재 우리나라 교육과정에서 자유탐구란 과학 문제를 해결하기 위해 문제정의에서 설계, 결론 도출까지 문제해결의 모든 과정을 학생이 자유롭게 수행하는 탐구로 정의된다.⁴

이렇게 새롭게 적용된 자유탐구에서 양질의 탐구수업을 진행하기 위해서는 탐구수업을 지도하는 교사가 올바른 과학적 소양과 과학탐구능력, 그리고 전문성을 필수적으로 갖추어야 하며,^{5,6} 학생들이 원활하게 탐구를 수행할 수 있도록 적극적으로 지도를 해야 한다. 하지만 학교현장에서는 과학 수업에 탐구활동을 적용하여 수행하도록 하는 교사가 적으며,⁷ 교과서 또한 내용과 개념이해의 효율성 측면을 위하여 탐구과정이 자세히 서술된 형식으로 구성되어 있어 자유탐구가 적절히 반영되지 못하고 있다.⁸ 또한 초임 화학교사들도 확인 또는 구조화된 탐구 수준에 머물러서 문제개발, 탐구과정에서 어려움을 겪는 것으로 나타났으며, 이런 교육과정을 거친 예비교사들 또한 자유탐구의 경험이 거의 없어 탐구 설계 및 수행에서 큰 어려움을 겪고 있는 것으로 나타났다.^{9,10} 또한 자유탐구를 수행한 예비교사에 대한 기존 선행 연구의 경우, 주제 선정의 어려움, 배경 지식의 부족 등과 같이 어려움에 대한 특정 요인의 분석이 주가 된 반면^{9,10} 실험 수행 과정 전반에 걸쳐 나타나는 문제점 및 특성을 깊이 있게 분석하거나, 내용에 대한 지식 및 실험 수행 기술 이외의 다른 요소들이 탐구 실험의 성공에 어떤 영향을 미치는가를 분석한 연구가 거의 없었다. 이러한 요인 분석만으로는 효과적인 탐구실험 수업의 설계와 적용에 한계점이 있다고 판단되는 바, 본 연구에서는 실험수행 전반에 대한 관찰과 분석을 실시하였다. 특히 실제 과학자들의 탐구에서 한 실험이 실패할 경우, 이어지는 토론과 실험 방법에 대한 검토를 통해 여러 번 다양한 다른 설계와 방법을 시도하는 것이 보편적인 특성이므로, 본 연구에서는 예비 교사들 또한 실험이 잘 이루어지지 않았을 때 어떻게 재설

계와 재시도를 하는지에 중점을 두어 분석하였다. 이러한 시도는 예비 교사들이 과학 탐구가 무엇이며 과학 지식이 어떻게 형성되는가에 대한 이해를 높이고, 효과적인 탐구실험수업 설계에 대한 시사점을 도출할 수 있을 것이라 기대된다. 더불어 탐구화학실험을 수행하는 것이 예비교사들의 탐구 수행 능력 및 인식에 어떤 변화를 주었는지에 대해서 알아보았다. 본 연구의 세 가지 연구 문제는 아래와 같다.

1. 예비화학교사들이 탐구실험을 설계하고 수행하는 과정에서 보인 특성에는 무엇이 있는가?
2. 예비 화학교사들이 탐구실험을 수행하는 과정에서 어떤 어려움을 가지고 있었고, 그 어려움을 어떻게 극복했는가?
3. 예비 화학교사들의 탐구 수행능력과 과학 탐구에 대한 인식은 어떤 변화가 있었는가?

연구방법 및 절차

충청도에 소재하는 K대학의 탐구화학수업을 수강하는 예비 화학교사 1학년 학생 20명이 연구에 참여하였다. 연구에 참여한 예비 화학교사들은 중등교육과정에서 모두 화학관련 실험을 수행한 경험이 있었고, 이 중 일부는 학교 정규 수업 외에 화학동아리 등의 활동에서 실험을 수행한 경험을 가지고 있었다. 실험조는 한 조당 4명씩 총 5개조로 구성되었으며 별도의 구분없이 첫 수업시간에 무작위로 배정하였다.

탐구화학실험은 15주 동안 총 9개 주제의 실험수업으로 진행되었고, 실험의 종류는 가이드 실험, 주제범위가 주어진 자유탐구실험, 완전한 자유탐구실험의 3가지 방식으로 구성되었다. 가이드 실험은 실험을 진행하기 전에 기본적인 실험방법과 탐구목표를 제시하고, 주어진 실험방법을 토대로 각 조별로 주어진 실험방법을 재설계하여

Table 1. Experiment Types and Topics

Type of experiment	Topic	Type of experiment	Topic
1 guided	Flame reaction	6 guided	Carbon dioxide fountain
2 guided	Candle combustion (learning 'prove')	7 Freestyle	Acid-base indicator making, surface tension, boiling point ascending, osmotic pressure, aspirin synthesis
3 guided	Iodine clock reaction (learning 'control')	8 Freestyle	Distillation, carbon cell, Mentos cola, equilibrium constant
Inquiryoriented	Surface tension, catalyst, clock reaction, signal-light reaction, Briggs-rauscher reaction	9 Freestyle	Artificial soap, measuring calories of cookies, freezing point
4 guided	Ammonia fountain experiment (learning 'control')		
guided	Sedimentation and crystal formation		
5 Inquiryoriented	Conditional recrystallization, naphthalene crystal, etc.		

제시한 탐구목표를 달성하도록 하는 실험이었다. 주제 범위가 주어진 탐구실험은 특정 주제에 대한 가이드 실험을 제시하고, 가이드 실험을 완료한 후 안내된 실험과 관련이 있는 주제에 대해서 각 조별로 자유 주제 탐구실험을 설계하여 진행하도록 한 실험이었다. 자유탐구 실험은 주제선정부터 실험설계까지 모든 과정을 예비교사들이 스스로 수행하였다. 처음부터 완전한 자유탐구실험을 수행한 전 연구에서 예비 교사들이 실험의 주제 결정과 질문 설정, 실험 과정에 대한 설계에 큰 어려움을 겪었기 때문에 두 번째 해에 시행된 본 연구에서는 가이드 실험의 수행을 통해 기본적인 실험 조작 능력과 배경 지식을 배운 후, 가이드 실험과 비슷한 배경 지식을 사용할 수 있는 같은 주제 내에서의 탐구실험, 그리고 완전한 자유탐구 실험 등의 순서로 실험 수행의 난이도가 단계적으로 올라가는 전략을 적용하였다. 가이드 실험은 1차시(2시간)의 시간이 주어졌고, 주제 범위가 주어진 탐구실험의 경우 4차시(8 시간)이 주어졌는데, 4차시 중 1차시(2시간)는 주제에 대한 안내를 위해 쓰여졌고, 3차시는 실험수행에 쓰였다. 완전한 자유탐구실험은 3차시(6시간)의 실험시간을 기본으로 하되 조별로 추가 시간이 필요한 경우 실험 강사의 지도 하에 별도로 실험실을 사용하여 추가로 1차시(2시간) 또한 실험할 수 있게 고려하였다. 또한 매 주제의 실험을 완료한 후 실험의 과정 및 결과에 대해서 예비교사들이 조별로 결과를 발표하고 논의하는 시간을 가졌다.

이 연구에서 실험의 단계마다 강사가 하는 역할과 강조점은 각 실험 단계에서 가르치고자 중점을 두었던 목표와 관련이 있다. 안내된 실험의 경우, 실험의 설계나 데이터의 분석이 구체적인 문제에 따라 달라진다는 것을 경험하고 연습하는데 그 목적이 있었다. 가이드 실험은 두 과정으로 이루어져 있는데, 첫 번째 과정은 예비 교사들이 중등교육과정에서 수행했던 실험과 거의 차이가 없이 진행되어 개념과 과정이 설명된 제시물을 보고 실험을 진행하거나 교사가 대표 실험을 진행하였다. 이 과정에서 관련 개념과 실험 방법 및 장치에 대한 모든 질문에 대해 교사가 답하였다. 두 번째 과정은 ‘새로운 수행 목표’를 제시하여 기본적으로 같은 개념을 다루지만 ‘문제’에 대한 대답을 하기 위해, 특정한 변수를 통제할 수 있게 실험을 재설계하고 새로운 데이터를 모아 분석해야 하도록 했다. 이 과정을 통해 예비 교사들은 비슷하게 보이는 실험일지라도 어떤 문제냐에 따라 실험이 달라진다는 것을 연습할 수 있도록 했다. 예를 들어 양초연소 실험에서는 물이 있는 수조에 양초를 켜서 세워 둔 후, 양초를 병으로 덮었을 때 촛불이 꺼지고 병 안쪽의 수위가 올라가는 실험을 첫 번째 과정의 실험으로, 새로운 수행 목표로는 ‘병 안쪽 물의 수위가 촛불이 꺼진 이후에 올라가는 이유를

실험을 통해서 증명하시오’를 제시하였다. 각 조별로 수위가 올라가는 원인을 설정하고, 그에 따른 가설을 세우고, 가설에 맞춰서 실험을 재설계하여 수행하여 본인들이 세운 가설이 옳은 가설인가를 증명하는 방식이었다. 가이드 실험의 단계에서 교사는 예비교사들이 가설을 세우는 데 도움이 될 수 있도록 전체 예비교사들을 상대로 문제 해결의 실마리가 될 수 있는 이론에 대해서 설명하고, 가설에 따른 변인설정과 제어방법, 실험기구 구성 등에 대한 논의의 진행자 겸 안내자로서의 역할을 수행하였다.

주제 범위가 주어진 자유탐구실험의 목적은 주제와 관련 있는 개념을 적용해 문제를 설정하고 실험을 설계하며, 실험의 실패 시 재설계하여 다시 수행, 문제를 해결하는데 있다. 교사는 주제 범위에 적용되는 일반적인 개념에 대해서는 설명했지만 직접적으로 문제해결의 실마리가 되는 힌트는 제공하지 않았고 실험 방법의 설계에 대해서도 언급하지 않았다. 다만 각 조별로 실험에 대한 가설, 실험설계, 실험기기 설치, 수행과정에서 심각한 오류가 있으나 그것을 계속해서 발견하지 못하였을 때, 오류가 있는 부분에 대한 문답을 주고 받음으로써 예비교사들이 스스로 오류를 깨닫고 수정할 수 있도록 안내하였다. 주제 범위가 주어진 자유 탐구는, 첫 번째 과정이 수행 목표 달성, 두 번째 과정이 새로운 문제 설정 및 수행으로 구성되어 있다. 예를 들어 화학 평형 주제 실험에서 첫 번째 수행 목표는 “3개의 비커로 시계반응을 구현하고, 각 비커의 색이 바뀌는 시간을 동일한 간격으로 조절하라”라는 수행 목표를 제시한 후, 수행 목표 달성 과정에서는 실험 설계와 수행을 예비교사들이 교사의 도움 없이 진행하였고, 자유탐구 과정에서는 화학 평형과 관련된 주제 하에서 문제 설정, 실험 설계 및 수행을 예비 교사들이 모두 도움 없이 진행하였다. 이 단계에서 교사는 심각한 오류가 있을 때 오류 부분에 대한 문답을 제공하여 스스로 문제를 깨달을 수 있게 하는 조력자의 역할을 했다고 할 수 있다.

마지막으로 ‘완전한 자유탐구’에서는 교사의 역할을 매우 축소하였다. 실험 주제 선정, 설계에 대한 모든 부분은 예비교사들이 스스로 수행하였으며, 위험성이 높거나 실험기기가 없는 경우에만 예비레포트 검토를 통해서 주제 재선정 혹은 실험 재설계를 하도록 하였다. 그 외에 실험을 수행하는 과정에서 나오는 질문이나 기구상의 오류에 대해서는 모두 예비교사들이 스스로 해결할 수 있도록 하였고, 교사는 위험요인에 대해서만 최소한의 범위에서 개입하였다. 각 주제별 실험시간의 끝 부분에 있었던 논의 시간에도 교사는 관찰 중에 발생한 의문 사항에 대해서만 간략하게 1~2가지 질문을 하였고, 그 외의 모든 논의는 예비교사들끼리 진행하도록 하였다.

실험 수행과정 및 결과에 대해서는 각 실험별로 안내된

실험의 경우는 실험목적, 이론, 방법, 수행과정, 고찰 등이 포함된 결과보고서를, 탐구실험의 경우는 실험 목적, 이론, 방법, 예상결과가 포함된 예비보고서와 결과보고서를 작성하여 제출하도록 하였다. 또한 모든 실험에 대해서 실험 수행과정 중에서 중요 과정이라고 생각하는 부분은 각 조별로 동영상으로 촬영하여 보고서와 함께 제출하도록 하였으며, 마지막 주제의 실험에 대해서는 실험의 모든 과정을 동영상으로 촬영하여 제출하도록 하였다. 보고서에 실험과정의 동영상과 사진을 포함하도록 함으로써 실험 장치나 과정을 실험을 수행하는 중에 손으로 그리거나 따로 기록해야 하는 부담을 줄였으며 기록 자체에 대한 정확도는 높였다. 조별로 서로 해 본 적이 없는 새로운 실험 주제, 기구나 방법 등의 시도가 많은 수업이었으므로 실제 실험 장치와 과정을 사진과 영상으로 표현한 발표 자료를 제시했을 때 실험 주제와 설계 등에 높은 흥미를 보였다. 연구자는 이러한 자료와 발표로부터 예비 교사들이 실험 수행 중 어떤 부분에 중점을 두고 실험을 수행하는가, 어떤 이야기들을 나누는가를 좀 더 정확하게 알 수 있었다. 연구원 1명은 예비교사들이 수행하는 실험에 직접적으로 관여하지는 않고 지속적으로 실험과정을 관찰하고 기록하였다. 탐구화학실험 수업이 완료되는 시점에서 각 조당 1-2명씩 예비교사 8명을 대상으로 반구조화된 인터뷰를 실시하였다. 인터뷰는 예비교사가 작성하여 제출한 보고서와 동영상 및 연구자의 관찰노트에서 드러난 특징적인 행동과 논의 내용 등에 대한 내용을 토대로 진행하였으며, 인터뷰 내용은 모두 오디오 녹음을 하여 전사한 후 분석하였다.

인터뷰 내용은 고등학교때 했던 실험에 비해 현재 하는 탐구 실험이 어떤 면에서 어렵고 어떤 면에서 흥미로운지에 대한 질문, 실험 주제를 선택하게 된 동기, 실험할 때 겪은 어려움과 해결책을 어떻게 합의했는가, 구체적인 실험 디자인의 설계와 수정에 대한 질문, 실험을 통해서 달라진 점 등으로 이루어졌다. 예비교사들이 탐구실험을 진행하는 과정에서 나타나는 특성에 대해서는 관찰노트, 실험 녹화 영상과 인터뷰 내용을 귀납적 방법으로 자유코딩 후 분류·분석하였다. 예비교사들이 겪는 여러 탐구 진행 과정에서 겪는 어려움과 그 원인에 대해서는 예비교사들이 제출한 보고서와 연구원이 작성한 관찰노트를 토대로 분석하였다. 실험을 진행할 때 예비 교사의 행동들은 크게 문제의 인식, 해결 방법에 대한 모색, 해결 과정 시 보이는 행동과 의사 결정 행동으로 나누어 분석하였다. 탐구실험수업을 진행하는 동안 예비교사들의 탐구 수행능력 및 인식에 대한 변화는 연구자의 관찰노트와 보고서, 인터뷰 내용을 토대로 하여 어떤 계기를 통해서 변화하는지 그리고 어떤 방향으로 변화하는지 분석하였다.

과학 교육 전문가 1인과 현직 교사 3인, 석사 대학원생 2인이 관찰 및 인터뷰 자료가 의미하는 바에 대해 지속적으로 협의하여 연구의 신뢰성을 높이려고 노력하였다.

연구결과 및 논의

예비교사들은 탐구실험을 수행하는 과정에서 어떤 특성을 보였는가?

첫 번째로 예비교사들은 실험과제를 수행하면서 실험의 결과로 나오는 현상에만 집중하고 과정에서 발생하는 여러 현상에 대한 관찰 및 그에 대한 원인 분석 등은 등한시하는 경향을 보였다. 예비교사들은 실험을 수행하는 과정에서 실험 장치를 꾸민다든가, 시약을 준비한다든가 하는 준비과정 및 실험 수행 과정 중에 일어나는 일들은 자세히 관찰하거나 기록하지 않았고, 결과가 잘못 나왔을 때에 이러한 준비 과정이나 실험 장치의 조작 등이 결과에 어떻게 영향을 미치는가를 연결 지어 생각하는데 오랜 시간이 걸렸다. 아래의 인터뷰에서 예비 교사는 분수를 보는 것(결과)만 생각하고 있었기 때문에 수산화나트륨 용액이 잘 안 들어가는 실험 절차상에 문제에 대해서 그 원인을 생각하기 보다는 ‘빨리 애를 넣어서 녹이자’라는 생각만 하게 되었다고 말한다.

Q	이산화탄소 분수 실험의 경우에 주사기로 수산화나트륨 수용액을 넣을 때 잘 안 들어가고 밀려나오는 현상이 있었는데 그 부분은 생각해보지는 않았나요?
A	아 그때 왜 안 들어가지? 이런 식으로 넣기도 했고, 약간 분수를 보는 실험, 딱 성공했냐 아니냐를 풀고 분수가 나오게 하는 확인하는 실험이라 그 결과만 생각하고 있으니까, 빨리 애를 넣어서 녹이자라는 생각에 아마 그쪽은 생각을 안 했던 것 같아요.

비슷한 예로, 두 개의 페트병 사이에 끼운 관이 팽팽하지 않을 경우 충분한 수압이 생기지 않아 물이 뿜어 나오지 않음에도 불구하고, ‘페트병 사이에 관을 끼운다’라고 하는 절차에만 신경을 쓰고 그 관이 실험에서 어떤 역할을 하는가, 혹은 관이 느슨하기 때문에 어떤 문제가 생기는가를 발견하지 못했다. 또한 색깔의 변화 등에 걸린 시간이라던가, 색의 변화 순서 등이 처음 예상과 다르게 나왔을 때 이러한 데이터가 나오게 된 이유가 무엇인가를 실험 수행 절차에 관련 지어 고찰하기 보다는 예상대로 되지 않았으니 실패한 실험이므로 다시 해야겠다는 단순한 결정을 내리는 경우가 많았다. 진행된 인터뷰에서 왜 실험 중간의 절차라던가 실험 장치의 문제 등에 소홀하냐는 질문에 대해 예비교사들은 중·고등학교에서 수행했던 실험이 대부분 상세히 서술된 과정을 따라하기만 하면 원하는 결과가

나왔던 실험이었기 때문에 실험 설계에 대한 문제라던가 얻어진 자료의 해석을 다르게 할 수 있는 등, 결과의 확인 이외에 다른 문제가 생길 수 있다는 점을 인식하지 못했던 것 같다고 말하였다. 또한 제시된 결과를 얻어내지 못했던 경우라도 대부분 지도교사가 바로 잘못된 점을 잡아주었기 때문에 과정이나 원리에 대해서 고민하거나 의심할 여지가 없었다고 대답하였다. 이런 경향은 수업의 초반부, 그리고 예비교사들이 이미 수행해본 경험이 있는 실험이거나 그와 유사한 주제의 실험에서 더 자주 관찰되었으며, 수업의 후반부로 갈수록 점점 줄어드는 추세를 보였다.

두 번째로, 탐구 실험 주제를 정한 후 라도 실험의 설계와 진행에 대하여 인터넷에서 찾은 자료와 매체 등에 강하게 의지하는 경향을 보였다. 예비교사들은 주로 인터넷을 통해서 얻어낸 자료를 이용하여 실험을 설계하였고, 이 과정에서 본인들이 참고한 자료에 본인들이 알고 있는 지식에 맞지 않는 내용이 나와 있더라도 일단 본인들이 참고한 자료에서 제시하는 실험과정을 그대로 사용하였다. 또한, 실험의 아이디어는 직접 생각해낸 경우라도 과정을 직접 설계하는 대신 비슷한 주제이거나, 비슷한 배경 지식이 이용된다고 생각되는 자료를 찾아서 그 자료가 제공하는 실험 방법이나 장치에 의존하였다. 이런 모습을 보인 예비교사들은 제시된 방법으로 실험을 수행하여 실험에 실패했을 때, 문제를 해결하는 과정에서도 제시된 실험방법에서 최대한 벗어나지 않고 문제를 해결하려는 모습을 보였다. 또한 여러 번의 실패를 통해서 실험방법 자체에 문제가 있음을 인식하더라도, 바로 문제인식 및 해결과정으로 넘어가지 않고, 또 다시 제시된 방법으로 여러 차례 실험을 재시도하였다. 일부 예비교사가 실험에 실패한 후에 논의와 재설계를 하는 과정에서 실험 방법에 대한 의문을 제기하는 경우도 있었으나, 그 의문이 본인들이 참고하던 자료와 상반되는 내용인 경우에는 같은 조의 다른 예비교사들에게 받아들여지지 않았다. 이러한 경향 역시, 첫 번째 경향과 마찬가지로 탐구 실험을 수행한 경험이 없는 예비교사들이 실험 방법을 직접 설계하는 것보다는 기존의 자료를 참고하는 것을 선호한 것으로 보이며, 실제 잘못된 점이 발견되더라도 그대로 따라하기만 하면 결과를 볼 수 있었던 확인 실험 수행의 습관을 반영하여 그대로 따라하지 못해서 생긴 실수로 여기는 경우가 많았음을 보여준다.

Q	예전에 안내된 것 이랑 똑같이 안 했기 때문에 틀렸다는 것은?
A	그러니깐 원리를 알지 못하고 원리를 생각하는게 아니라 수치를 틀렸으니깐 틀렸구나 이거랑 똑같이 베껴야 했는데 라고..

세 번째로, 실험을 수행하는 도중에 발생한 문제를 해결하는 과정에서, 그 해결책이 이미 본인들이 알고 있는 지식이더라도 적용하지 못하는 경우가 여러 조에서 나타났다. 예비교사들에게 주어진 가이드 실험은 모두 고등학교 화학 수준에 해당하는 내용의 실험이었고, 예비교사들이 고안한 탐구 과제 역시 이 학습내용을 기반으로 해결할 수 있는 수준의 목표가 대부분이었다. 그럼에도 불구하고 예비교사들은 가이드 실험의 탐구 목표를 달성하기 위해 실험을 설계하거나, 실패 후 재설계하는 과정에서 배경 지식을 실험의 설계나 수정에 연결, 적용하는데 어려움을 겪었다. 여러 번 실험에 실패하는 원인이 기본 원리나 배경 지식을 제대로 적용하지 못했기 때문으로 보였을 때, 실험 담당 강사가 약간의 힌트를 주기 위한 방법으로 한 두가지 질문을 하였다. 질문은 실험과 관련된 화학 지식 내용을 묻는 것이 대부분이었고, 학생들은 그 질문 자체에는 맞는 답변을 할 수 있었으나, 그 내용을 실험 설계나 방법의 수정에 적용하지는 못하는 모습을 보였다. 해당하는 내용을 알고 있는지 재차 확인하기 위해 실험을 완료한 후 토론하는 시간에 해당 내용에 대해서 직접적인 질문을 했을 때에도 대부분의 예비교사가 질문에 올바른 답을 내놓았기에 알고 있는 지식을 실험에 적용하는 것에 어려움을 겪는 것으로 판단된다.

예비교사들은 탐구 실험을 설계, 수행하는 과정에서 어떤 어려움을 가지고 있었나?

예비교사들이 탐구실험을 수행하는 과정에서 겪는 첫 번째 어려움은 ‘탐구’라는 것을 거창하게 생각해서 실험 주제 선정에 고민이 많다는 점이었다. 많은 예비교사들이 탐구실험의 주제가 기존에 하지 않았던 창의적이며 새로운 것이어야 한다는 인식을 가지고 있어서, 자신들의 지식을 적용하여 설계할 수 있는 실험보다 ‘간이입자가속기’ 라던가 ‘상하는 것을 방지 할 수 있는 돼지고기 포장’, ‘아이오딘 지뢰 만들기’ 등 수행하는 시간이 오래 걸리고 높은 수준의 지식과 실험장비 및 기술을 요구하는 실험만을 탐구 실험이라고 여기는 경향이 있었다. 짧은 시간 동안 실험을 수행해야 하면 진정한 탐구는 어렵다고 생각하는 예비교사도 있었다.

A	일단 주제 찾기가 엄청 힘들었던 것 같아요. 자유 주제 때..
Q	어떤 면에서요?
A	그냥 생판 이상한 것에서? 생판 없던 것에서 새로운 것을 도출해야 하잖아요? 그래서 일단 주제 찾기가 너무 어려웠던 것 같아요.

Q	어떤 부분에서 설계하는 것이 힘들었어요? 이렇게 자유탐구 설계하는게?
A	그러니깐 너무 큰 범위니깐 화학실험이라는 게, 그러니깐 안내된 실험이 주어지면 그거랑 관련된 실험을 하면 되잖아요? 그런데 화학은 너무 큰 범위여 가지고 그 중에서 뭔가 주제를 고르는게 너무 힘들었어요.

예비 교사들은 탐구 실험의 연구 문제를 결정한 후, 그 문제에 답을 하기 위한 실험 과정 설계 및 실험 기구 조장에 어려움을 겪었다. 특히, 실험 장치에 문제가 생겼을 때 그 문제를 찾아내서 수정하는 것에 대부분의 조가 어려움을 겪은 것으로 드러났다. 좀 더 자세히 살펴보면, 예비 교사들은 본인들이 설계한 실험에 대해서 어떤 것이 통제변인인 것인가를 알아내고 그것을 통제하는 방법에 대해서 어려움을 겪었을 뿐 아니라, 이후 변인을 다르게 설정한 실험을 수행하고 그 결과를 비교하기 위해서 정량적인 측정과 비교가 필요할 경우 그 방법을 설계하고 적용하는데 많은 어려움을 겪는 것으로 나타났다. 예를 들어, 8차시 실험의 “달걀 탕탕볼” 실험에서 일정 시간 산에 담가서 성질이 변한 달걀의 강도를 측정하는 과정에서, 예비 교사들은 강도를 측정하는 방법을 스스로 고안하지 못하고 가하는 힘을 측정해 줄 수 있는 기계를 제공해 줄 것을 요청하였다. 결국 실험 담당 강사의 조언과 다른 예비 교사들과 아이디어를 상의한 끝에 추와 메스 실린더를 이용하여 강도를 측정하는 실험방법을 설계하고 수행할 수 있었다. 9차시 실험의 과자의 칼로리 측정 실험의 경우, 과자가 연소하면서 발생하는 열을 측정하는 실험이기에 연소시키는 과자와 에탄올의 질량을 각 비교군에서 동일하게 적용하여야 함에도 불구하고, 에탄올의 양을 정확하게 통제해야 한다는 깨달음이 없이 정성적인 감각으로 “과자에 촉촉한 느낌이 있게” 에탄올을 뿌려야 한다라는 방식으로 실험을 설계하고 진행하였다. 또한 몇몇 예비 교사는 간단한 방법을 통해서 확인 가능한 것(예를 들어, 연소에 따른 이산화탄소 발생 확인)에 대해서 본인들이 그 기기를 활용할 수 없음에도 불구하고 Gas Chromatograph 같은 전문분석기기를 이용하고자 하였다. 통제변인 조절의 경우, 토론시간에 계속해서 언급되었기에 수업의 중반 이후부터는 상당히 좋아지는 모습을 보였으나, 정량적인 측정방법의 고안 등에 대해서는 여전히 어려움을 드러냈다. 이에 대해서 예비 교사들은 본인들이 중고등학교 때 수행했던 실험이 정량적인 부분에 대해서 측정하고 비교하는 실험보다는 현상이 일어나는지 관찰만 하면 끝났던 실험이 대부분이라 그 부분에 대해서 경험이 부족해서 그렇다는 의견을 토론과정에서 내놓았다.

세 번째는 실험에 실패했을 경우, 그 실패의 원인을 알

아내는 것에 대한 어려움이었다. 실패의 원인을 알아내는 것에 대한 어려움은 예비 교사들의 인터뷰 및 연구자의 관찰 노트에서 여러 번 부각되었다. 앞서 지적된 바와 같이, 결과에만 집중하고 실험 설계와 수행과정에서 현상의 관찰이나 오류 등에 신경을 쓰지 않았기 때문에 실패의 원인을 찾는 것에 어려움을 겪었고, 관련 지식을 실험에 적용하는데 겪는 어려움도 실험 실패의 원인을 쉽게 찾지 못하는 것에 영향을 주었다. 예를 들어 암모니아 분수 실험의 경우 고무관의 핀치콕을 열기전에 암모니아가 들어있는 플라스크에 대해서 밀폐를 완전히 하지 않아 공기가 들어오는, 현상이 있었으나, 예비 교사들은 그런 현상을 관찰하지 못하였다. 또한 이산화탄소 분수 실험의 경우, 이전에 수행했던 암모니아 분수 실험에 비해서 이산화탄소 기체가 수산화나트륨 수용액에 녹아들어가는 시간이 오래 걸림에도 불구하고 그 시간을 기다리지 못하고 바로 핀치콕을 열어버리는 경우가 많았다. 이 과정에서 한 조는 계속해서 물이 들어가 있는 비커에 고무관을 넣어둔 상태로 유지하고 있어서 고무관을 따라 물이 서서히 올라오고 있음에도 불구하고, 이런 현상을 관찰하고 원인을 분석하는 대신 격렬한 분수현상이 일어나지 않았다는 것에만 초점을 맞춰서 실패로 단정짓고 실험을 중단하였다. 또한 잘못된 포집 방법을 사용하여 이산화탄소를 포집한 경우에는 이산화탄소가 포집된 플라스크가 고압상태인 관계로 플라스크에서 수조 쪽으로 기포가 방출되는 현상이 발생하여 계속해서 실험을 실패함에도 불구하고 그 현상에 대해서 의문을 제기하거나 논의를 하는 조가 없었다. 시계반응에 대한 자유탐구 실험으로 신호등 반응을 준비한 조의 경우, 준비과정에서 혼합한 용액에서는 용액을 흔들었을 때 신호등 반응의 결과와 동일한 색변화가 일어났지만 이를 관찰하지 못하였고, 본인들이 설계한 잘못된 실험 방법에 의한 실패한 결과만 관찰하고 실패의 원인을 논의하였다.

- 실험의 실패 요인 중 다른 하나는 수산화나트륨을 주사한 후 충분히 흔들어 주지 않아 기체의 용해가 덜 이루어졌다는 점이었다. 암모니아 분수 실험과 동일하게 생각해 암모니아 기체에 물을 주사했을 때와는 다르게 수산화나트륨 수용액을 주사한 직후 고무관에 변화가 없어 의아해하고, 그러면서도 그대로 실험을 진행시켜 번번이 실패하고 말았다. <4차 시도>에서 아주 조금씩 밀려 올라오던 액체가 그 증거로, 점점 조금씩 용해되며 올라오던 것을 잡아내지 못하고 계속 의미 없는 실험만 반복했다. 고무관에 변화가 없었다면 왜 그런지 생각해 본 후 실험을 진행하거나, 용해가 덜 일어난 이유에 대해 의심을 갖지 않아 압력을 제어할 수 있는 좋은 실험 방법을 두 개나 설계해 냈음에도 제대로 된 결과를 얻어내기까지 꽤나 오랜 시간이 걸렸다. 항상 느끼는 점이지만 실험이 실패한다면 왜 그런지 생각하고 변화시키는 과정이 반드시 필요하다.

사실, 직접 설계한 실험에서 실험 실패의 원인을 진단하고, 이를 개선한 실험을 재설계하고 수행하는 것은 다양하고 높은 수준의 탐구 능력을 요구한다. 이는 실험에 대한 배경 지식 뿐 아니라, 배경 지식이 실험에 어떻게 적용되고 있는가에 대한 이해 및 실험 수행시에 일어나는 다양한 현상들을 정확하게 관찰하고 기록하며 이의 원인을 규명할 수 있는 능력이 필요하기 때문이다. 예비 교사들의 경우 탐구 실험을 전에 수행한 적이 없기 때문에 무엇을 어떻게 해야 하는지 모른다고 하는 막연한 두려움과 궁금한 자연 현상에 대한 답을 찾고 싶다고 하는 탐구 본연의 목적 보다는 어떻게든 빨리 실험의 결과를 보고 싶다고 하는 결과 지향적인 경향등이 실험 실패의 원인을 진단하거나 개선할 수 있는 능력을 키우는 것을 방해한 요인으로 작용한 것으로 보인다. 또한, 예비 교사들은 처음에 시도하기 원했던 과학자들 수준의, 고가의 장비와 시약을 이용하는 탐구가 아닌 자신들이 할 수 있는 수준의 탐구 실험을 설계하고 수행하는 데에는 크게 흥미를 느끼지 못한다고 대답하였으나, 실제로 탐구 문제를 선택할 때는 결과를 빠르게 확인할 수 있고 자료를 인터넷에서 쉽게 찾을 수 있는 실험을 선호하는 모습을 보였다. 이는 학생들이 실험의 성공이 실험 과목 점수와 연관이 있다고 생각했던 것에서 비롯됐던 것으로, 후에 실험의 성공, 실패와 상관 없이 수행과정에 평가의 무게가 실험을 이해한 후로는 점차 개선되는 모습을 보였다.

탐구 실험수업을 진행하는 동안 예비교사들의 탐구 수행능력 및 인식에 어떤 변화가 있었는가?

탐구 실험이 새로운 지식을 생성하고, 생성된 지식에 대해 인식론적인 주체로서의 자아(epistemic agency)를 확립하여 생성된 지식에 대한 책임감 및 주체의식을 키우는 인식론적 실천(epistemic practice)을 경험하고 배우는 좋은 기회가 될 수 있다는 주장과 함께 그 중요성이 강조되고 있으나, 본 연구에서 탐구 실험 수업 초반 예비 교사들은 실험에 대한 책임감이나 주체의식을 확립하지 못한 것으로 보였다. 예를 들어, 실험을 수행하는 과정에서는 조원 모두가 의견을 제시하고 논의를 거쳐 진행하기 보다는 1~2명이 주도적으로 실험을 하고 나머지 조원은 따라가는 형태로 실험이 진행되었다. 또한 실험에 문제가 발생하거나 실패를 했을 때는 조원들 간에 다양한 의견이 오가면서 논의가 이루어지고 그에 따라 실험의 방향을 정하고 재설계하는 것이 아니라, 처음 그 실험을 제안했던 사람에게 실험의 진행이라던가 실험 실패의 원인을 찾는 주요 책임을 맡기는 경우와 처음 제안했던 사람이 자발적으로 실험을 주도하는 경우가 많았다.

그래서 조금 더 생각을 깊게 해야 되고, 책임감도 느껴지고 일단 조 활동이니깐 책임감도 느껴지고, 그냥 저희가 저희 머리 맞대고 하는거니깐 조금 더 지식적으로? 쌓아야 된다 이런 생각도 들고, 저는 그래서 전반적으로 만족해요. 보고서 쓸때는 조금 귀찮긴한데 저는 약간 능동적으로 자발적으로 참여를 하는 입장이니깐 원래 안 그랬는데, 그냥 수동적이었는데 능동적으로 하니까, 전 좋은 것 같아요

아 저는 일단 맨처음에 제가 약간 새로운 거 그러니까 제가 제 특성이 새로운 것에 딱 마주치면 약간 고수하려는? 네, 고수하려는 느낌이 있어요. 그래서 약간 새로운 낯선거에 엄청 약해요. 그러니깐 너무 당황스러워 가지고 그랬는데, 약간 적응하고 나니까 약간 저도 막 찾아보고 그러고, 그렇게 하다보니까 나도 아이디어를 내고 그랬던 거 같아요. 막 그 탐구를 하면서 제가 생각나는 어떻게 하면 이렇게 하면 어떻게? 이런 걸 다 해결하려고 하고? 그랬던 거 같아요.

그러나, 이런 예비교사들의 모습은 실험을 한 두 명이 주도하는 것이 아니라 다른 조원들의 다양한 의견을 반영하고 논의가 활발하게 진행된 조부터 조금씩 변화하였다. 실험이 계속해서 실패를 반복하자 초반에 주도적으로 실험을 이끌어가던 예비교사들 중에서 같은 조의 다른 예비교사들의 의견을 적극적으로 들어보고 수용하는 예비교사가 나타났다. 또한, “이제 뭐하면 되는데?” “다음에 뭐 가져와?” 등 지시된 사항을 수동적으로 따르는 모습으로 실험을 수행하던 다른 예비교사들도 본인들의 의견을 더 능동적으로 말하기 시작하면서 문제해결을 위해서로 논의하는 분위기가 조성된 조가 나타나기 시작했다. 이런 변화가 발생한 조에서는 논의가 점점 더 활성화 되었으며 탐구실험을 설계하고 수행하는 과정에서도 다양한 접근을 시도하는 것을 확인할 수 있었다. 반면 계속해서 특정 예비교사가 강하게 의견을 말하고 실험을 주도하는 분위기가 이어진 실험조의 경우에는 계속해서 1~2명이 실험을 주도하고 그 외에 다른 조원들은 단순 수행 수준의 참여만 이루어지거나 서로 다른 실험을 하는 모습도 보였다. 이런 조의 경우에는 후반부에 이루어진 자유탐구실험에서도 본인들이 과거에 수행해본 경험이 있는 실험을 그대로 재연하는 실험으로 설계하고 수행하는 모습을 보여, 논의가 활발하게 이루어진 조와 주제 결정에서 확연한 차이를 보였다. 논의가 활발하게 이루어진 조들에서는 그 조에서 실험해왔던 다양한 주제들 안에서 ‘좀 더 탐구해봤으면 했던 것들’을 중심으로 주제가 결정되었기 때문이다.

논의가 활발해진 조의 예비교사들은 인터뷰에서 수동적인 태도에서 능동적으로 변하게 된 이유에 대해서 “조를 구성해서 수행해야하는 것에서 생긴 책임감”, “조원 상호간 의견의 수용”을 언급하였다.

다음으로 실험과정 및 발생한 현상에 대해 그 원인을 다양한 관점에서 생각하고 근본적인 원리까지 사고를 확장하는 경우가 많아졌다. 수업 초기의 예비교사들은 실험에 실패했을 때, 그 원인을 찾는 범위가 대부분 수행과정상 실수에서 머물렀고 계속해서 동일한 현상을 보이며 실험에 실패하는 상황에서도 그 범위를 더 넓게 확장하지 못하는 경향을 보였다. 이런 경향에 대해서 예비교사들은 중등교육과정에서는 “탐구의 기회와 시간의 부족”, “모든 과정과 답이 주어진 실험”, “지도교사의 즉각적인 문제해결”과 같은 환경에서 실험을 수행하였기 때문에 과정이나 원리에 대해서 깊게 생각하거나 탐구를 할 필요가 없었고 단순히 정해진 결과만 내놓기만 했으면 됐었다는 점을 그 원인으로 꼽았다. 예비교사들의 이런 모습은 실험과제를 수행하는 과정에서 점차 개선되는 모습을 보였다. 예비교사들에게 주어진 안내된 실험도 기존의 실험과는 다르게 기본적인 실험방법과 구체적인 탐구 목표만 주어진 실험이었으며, 제시된 실험방법에서 여러 가지 조건을 변경하거나 실험방법 자체를 새롭게 설계해야만 주어진 탐구목표를 달성할 수 있도록 구성된 실험이었다. 이런 형태의 실험이었기에 예비교사들은 실험을 수행하는 과정에서 여러 번의 실패를 경험하게 되었다. 또한 실험에 실패하거나 문제가 발생하였을 때 실험조교나 연구원에게 문제 해결을 위한 도움과 해결책을 제공할 수 없다는 것을 인지한 후로 스스로 문제를 해결하기 위한 움직임이 나타났고, 이 과정에서 실험의 재설계 방향 및 문제점에 대한 서로 다른 의견 제기되고 그에 대해서 토론하는 모습을 보이기 시작하였다. 더불어 주어진 안내된 실험에서 실험의 재설계를 위해 실패 원인을 찾는 과정에서도 그 원인을 수행과정 중 본인들의 실수에 의한 오류에서 근본적인 실험설계의 오류까지 확장하여 검토하는 경우가 많아졌으며, 이 과정에서 여러 의견이 제안되고 수용됨에 따라 다양한 방법으로 실험을 재설계하고 수행하는 모습을 보였다. 이런 예비교사들의 변화는 그들의 인터뷰에서도 드러났다.

예비교사들의 또 다른 변화는 제시한 탐구목표를 달성한 실험에 대해서도 더 나은 결과를 얻기 위해서 또 다시 다른 방법으로 실험을 재설계하고 수행하는 모습이었다. 예비교사들이 인터뷰를 통해서 언급한 중고등학교 시절의 과학실험은 ‘빨리 해치워야 하는 과제’, ‘안되면 말고, 안되면 우리가 모르는 무언가 있겠지’, ‘과정을 그대로 실행에 옮기고 결과를 확인하는 것’ 이었고, 이런 예비교사

들의 인식은 수업초기에 실험을 수행하는 모습에서도 드러났다. 수업초기에 예비교사들은 본인들이 만들어낸 결과가 탐구목표에 비해 미흡한 부분이 있었고 시간이 많이 남아있었음에도 불구하고 “이정도면 됐지”, “자 그냥 빨리 끝내자” 와 같이 언급하며 실험을 종료하는 모습을 보였다. 하지만 수업 중반부터 몇몇 조에서 탐구목표에 도달한 결과를 얻었음에도, 더 좋은 혹은 또 다른 결과를 얻거나 완전히 해소되지 않은 의문점을 해소하기 위해서 이미 성공한 실험을 재설계하고 수행하는 모습을 보였다. 이런 모습을 보인 예비교사들에게 “이미 목표를 달성한 실험을 왜 재시도하였는가?” 라는 연구원이 질문을 했을 때, “우리가 변경한 거, 이거 빼고 나머지는 다 대조군하고 똑같이 맞춰보고 싶었어요”, “성공은 했는데 우리가 설계한 내용이랑은 달라서요, 그 이유를 알고 싶었어요” 라는 답변을 받을 수 있었다. 이러한 예비교사들의 변화는 과거 여러 연구에서 밝힌 바 있는 과학공동체에서 추구하는 과학적 의미형성(Sense-making)의 목표와 그 방향성이 동일하다고 할 수 있으며, 추후 교육현장에서 탐구를 가르칠 예비교사들에게 있어서도 의미 있는 변화라 할 수 있다.^{12,13}

이 조건에서 이 현상이 일어나면 왜 일어나는지에 대해서 생각하게 되는 거 같고, 그냥 답이 정해진 실험에서 실험을 하는 것보다 이렇게 탐구실험을 하면서 저희가 직접 설계를 하면서 좀 더 “이렇게 해야지 이렇게 나올 거 같다. 이렇게 하면 이렇게 될 것 같다” 라는 걸 생각을 많이 하게 되니까 도움이 부분이 좀 많은 것 같아요.

어..뭔가 더..그때는 그냥 원리까지는 생각안하고 그냥 과정을 옮기기만 실행에 옮기기만 했었는데, 이거는 좀 변형을 해야하니까 이 과정이 왜 있지? 라는 걸 더 많이 생각하게 되는거 같아요.

이 실험에서 이 과정이 왜 필요한거지? 이려고 이 과정은 왜 이렇게 하는거지? 만약에 그램수가 써져 있으면은 왜 이 그램 대 이 그램으로 넣어야하지? 이런 거랑 그렇게 되면 실험식 찾아보게 되고, 실험 몰수 보게 되고.

Stroupe는 전통적인 과학 학습에서 실천으로서의 과학(science-as-practice)으로 전환하기 위해서는 교실에서 교사만이 독점하고 있던 인식론적인 권위를 내려 놓고 학생들 역시 지식의 수동적인 습득자의 지위에서, 인식론적 권위를 공유하는 인식론적 주체로서의 자아를 확립하는 것이 과학 실천으로서 전환의 관건이라고 하였다.¹⁴ 본 연구는 탐구 실험 과목으로서, 실험 과목의 강사가 직접적

인 지도를 하는 것을 최대한 자제하고 조별로 실험 주제의 설정, 수행, 수정과 재시도까지를 주도하게 하여 학생들이 지식의 주체로서 역할을 할 수 있는 수업 형식을 제공하였다고 할 수 있다. 그러나 조 안에서 전통적 과학 수업안에서 교사의 역할과 비슷한 역할을 맡는 주도적인 예비교사가 인식론적인 권위와 책임을 갖고 있는 모습을 보인 경우 과학 실천이 제대로 이루어지지 않는 모습을 보였다. 반면, 처음 조 안에서 전통적인 교사의 역할을 맡았던 예비교사가 점차적으로 자신의 주도적인 역할을 내려놓고, 다른 조원들의 의견을 적극 반영한 경우 그 조원들이 책임감을 갖게 되고 전체적으로 논의와 참여가 활발해졌을 뿐 아니라, 탐구 실험 주제의 선정 및 실험 수행에도 능동적으로 참여하게 되어 실험을 통해, 새로운 지식을 쌓고 기존 지식에 대한 유용성을 평가하며 의사소통을 통해 지식의 생성과 평가를 경험하는 인식론적 실천으로써의 과학 실천을 경험하게 되었다. Berland 와 동료들은 과학 실천을 통해 인식론적인 목적(epistemic goal)과 인식론적인 고려(epistemic consideration)를 높이는 수업 방법에 대한 논의와 제안을 했는데,¹² 예비 교사들이 처음 결과만 확인하던 식의 방식에서 벗어나 자신들이 설계한 실험에 대해 다양한 각도로 접근하고, 이미 성공한 실험 또한 다양한 재시도를 했다는 것은 인식론적 목적과 고려가 단순한 지식의 수동적인 획득에서 벗어나 능동적인 태도로 지식을 탐색, 생성하고 평가하는 모습으로 변했다는 것을 보여준다. 그러나, 본 연구에서는 모든 예비 교사들이 이러한 발전을 보인 것이 아니고 약 40% (두 조)만이 이러한 변화를 보였다. 이는 탐구 실험 수업 설계에 중요한 시사점을 준다. 탐구 실험이 진정한 과학 실천이 되기 위해서는 실험 문제의 설계와, 과정의 설계, 결과의 해석과 고찰 등 실험 자체의 수행 뿐만 아니라 조원들의 협력과 각각의 역할, 그리고 적절한 비계(scaffolding)의 제공을 통해 능동적인 실험 수행 태도와 책임감 등을 기르는 것 역시 실험 수업 설계의 요소가 되어야 함을 의미한다.

탐구실험 및 자유탐구에 대한 예비교사들의 기타 의견

모든 실험을 종료한 후, 8명의 예비교사들을 대상으로 진행한 인터뷰에서 예비교사들은 탐구실험 및 자유탐구에 대한 여러가지 의견을 내놓았다.

먼저 주제 선정에서 힘든 점이 많았기에 완전히 ‘자유롭게’, ‘모든 과정을 스스로’ 라는 형식의 자유탐구를 하는 것 보다는 특정한 주제를 제시하고 그 주제와 관련하여 자유탐구를 수행해라 라는 식으로 진행하는 것이 더 괜찮을 것 같다 라는 의견이 있었다. 이는 화학탐구 실험 수업 초기에는 조원들 간의 단순한 선호도 차이에 의해

주제를 결정했으나 수업이 진행됨에 따라 주제를 결정하는 과정에서 관련 과학 지식이라던가 실험이 잘 될 수 있을 것인가 등 여러 가지를 생각해보게 되었기 때문이라고 한다. 조 안에서 너무 광범위한 범위에서 다양한 의견이 제시 됐을 경우 이런 면들을 잘 따져 보기가 어렵기 때문에 완전한 자유탐구라 할지라도 주제 선정의 범위에 대해서 적당한 가이드 라인을 제공해 주는 것이 좀 더 정교한 실험의 설계와 수행에 도움이 될 수 있을 것이라는 의견이었다.

아마 다음 학기에 완전 자유롭게 해봐라가 아니라 뭐에 대해서 자유롭게 해봐라 그런 식으로 하면 더 괜찮을 거 같아요. 가이드 실험을 주는게 아니라도 어떤 거에 대해서 자유탐구 해봐라! 예를 들어 반응속도에 대해 자유탐구 해봐라. 이런 식으로..

그러니깐 너무 큰 범위니깐, 화학실험이라는게 그러니깐 가이드 실험이 주어진다면 그거랑 관련된 실험을 하면 되잖아요. 그런데 화학은 너무 큰 범위여 가지고 그 중에서 뭔가 주제를 고르는게 너무 힘들었어요. 일단 우리가 잘 아는 내용이어야 하고 또 실험이 잘 될 건 지도 생각해봐야 하고..

그 외에도 안내된 실험에서 자유탐구까지 단계적으로 진행한 부분이 실험에 실패를 하더라도 자신감을 가지고 실험을 수행할 수 있었고, 탐구의 과정을 알아가는데 도움이 많이 되었다는 의견도 있었다. 특히 실험 초반에는 본인들이 설계한 실험에서 실패했을 때, 조원끼리 불화가 발생하여 실험이 제대로 이루어지지 못했던 모습을 보이기도 했던 예비교사들이 몇 차례 가이드 실험과 ‘주제 범위가 주어진 자유탐구실험’을 수행하는 과정에서 더 이상 실패에 대해서 어려워하지 않고 실패한 결과라도 그 안에서 새로운 것을 알아내려 하는 모습으로 바뀐 것은 매우 의미 있는 변화라 생각되었다.

그러니깐 실험 과정을 보고 더 깊게 생각하고 실패를 했을 때 실패한 원인을 찾아내는? 약간 옛날에는 가이드랑 다르게 했으니깐 틀렸네? 똑같이 해야지? 이거였다면 지금은 이 부분에서 틀렸구나 이렇게 됐죠

일단 자신감이 생겼죠. 실패해도 그 약간 실패..완전 딱 성공을 하면은 약간 좀 그랬을꺼 같아요..뭐라고 해야하지? 쓸게 없잖아요..그래서 약간 실패를 해도 약간 자신감을 가졌던거 같아요. 아는게 있으니깐?

사고 방식이 어떻게 하면 이걸 증명 할수 있겠다. 어떻게 하면 이런 결과를 나오도록 실험을 설계 할 수 있을까? 어떻게 하면 변인을 이렇게 만져서 이런 결과를 이끌어 낼수 있을까? 이런 사고를 하게 하는거? 그게 되게 좋은 경험이었다. 정말 힘들었지만 1학기때 들은 수업 중에서 가장 얻은게 많은 수업이에요.

또한 고등학교 시절에 이런 식의 수업이 있었더라면 좋았을 것이다 라는 의견이 있었고, 이 의견을 내놓은 예비교사는 ‘고등학교때 이런 수업이 있었더라면 수행한 탐구과제에 대해서 더 좋은 결과를 내놓을 수 있었을 것이다’, ‘내가 나중에 교사가 되었을 때, 여건만 갖춰지면 꼭 이런 수업을 해보고 싶다’ 라는 의견도 함께 내놓았다.

고등학교에 하고 싶은 사람을 모아서 하면 되게 좋을꺼 같아요. 생각 할 것도 많고 기록할 것도 많고, 진짜 자기 적성에 맞는지도 알수 있을 것 같고, 교육적으로 좋을꺼 같아요. 이거 정말 고등학교때 했으면 정말 좋았을꺼 같아요. 되게 좋아요. 이게 직접 탐구하면서 생각하면서 실험해서 되게 좋은거 같아요.

그러나 추후 교육현장에서 동아리가 아닌 실제 수업에서 탐구실험과 같은 수업을 수행할 것인지에 찬성과 반대 의견이 갈리는 반응이 나왔다.

Q	그럼 앞으로 학교 나가가지고, 이렇게 탐구실험 해야 한다면 할 수 있겠어요?
A	어떻게 제가 하면서 좀 고통 받았던거, 재미 있던 것도 있고 고통 받았던 것도 있는데 한번 학생들에게 느껴보게 하고 싶기는 해요. 학생들에게 과학이 이런거다, 과학이 이런 면이 있고, 실험을 좋아하는 학생들도 있을 테니깐, 한번 해보기도 싶다 싶은데..
Q	그럼 좀 도움이 됐어요? 이 실험수업이? 나중에 한다고 생각했을때 이 경험이?
A	그렇죠. 확실히, 그냥 학생들이 이러면은 아~ 그냥 학생들이 실패하고 그러면 아~ 내가 할때도 그랬었는데 하면서 이런 식으로 아니면 이렇게 생각을 해봐라 이런 식으로 약간~ 답을 알려주는 것이 아니라 이런 식으로 생각해보고 해보면 되지 않겠느냐? 이런 식으로 답을 줄 수 있을 것 같고, 경험이 있으니까.

Q	그럼 나중에 학교가서 하라고 하면? 교사가 되서 학생들한테 그거 하라고 하면 어떻게 같아요? 본인이 시킨다면
A	음..그러니깐 뭔가..시켜야 한다면 더 간단한 실험으로 시킬 것 같아요. 그러니깐.
Q	간단한 실험? 지금 하는 것들도 간단했잖아요?
A	맞아요..그건 그렇네..음..아 그냥 시키고 싶지 않아요..너무 힘들어요..

Q	그럼 학교가면 어떻게 할꺼 같아요?
A	사실 솔직히 대부분은요 화학선생님들이 하는거랑 비슷하게 할꺼 같아요. 그렇게 막 대학교처럼 이런식으로 안하고 지금 고등학교 선생님이 실험하시는 것처럼, 뭔가 눈치가 보인다할까? 그런거도 있고 고등학교는 딱 시간이 정해져 있잖아요. 이 시간에 이거 끝내고, 착착착! 그래야 넘어가야 하잖아요. 그러니깐 이렇게 시간을 뭐 더 추가 실험을 하거나 그렇게 할 수는 없을꺼 같아요.

긍정적인 답변을 한 예비교사의 경우에는 과학이라는 것에 이와 같은 탐구적인 면에 대해서 느끼게 하고 싶다는 의견과 함께 탐구수업의 경험을 통해서 학생들을 지도하는 방법면에서 도움이 되었다는 의견을 내놓았다. 부정적인 답변을 한 예비교사의 경우에는 ‘교육현장에서의 현실’ 과 ‘어려움’을 이유로 수업에 적용하지 못할 것이라는 의견을 내놓았다. 하지만 부정적인 의견을 내놓은 예비교사들도 이번 탐구실험수업을 통해서 자유탐구에 대한 흥미가 생겼고, 탐구능력이 향상되었다고 이야기 하였다.

결론 및 제언

이 연구에서는 예비교사들이 3가지 형태의 탐구실험을 진행하도록 하고 그에 대한 실험 수행 관찰, 보고서 분석, 실험 동영상 분석, 인터뷰를 통해서 탐구실험을 수행하는 과정에서 나타나 예비교사들의 탐구 특성 및 변화를 관찰하고자 하였다. 그 결과 예비교사들이 탐구실험을 수행하는 과정에서 나타나는 몇 가지 특성과 어려움을 발견할 수 있었다.

먼저 예비교사들은 실험 수행 과정에서 나타나는 여러 현상에 대한 관찰은 등한시 하고, 실험의 결과로 나오는 현상에만 집중하여 관찰하려는 경향성이 나타났다. 또한 본인들이 실험을 설계하면서 참고한 자료나 제시된 자료에 대해서 강한 의존성을 드러냈고, 문제 해결과정에서

본인들이 이미 알고 있는 지식을 탐구과정이나 실험 설계에서 적용하지 못하는 경향성도 보였다. 이런 경향성은 예비교사들이 탐구실험을 설계하고 수행하는 과정과 실험에 실패한 후에 문제를 찾아내고 실험을 재설계하는 과정에서 문제해결과 탐구의 장애요인으로 작용하였다.

다음으로 예비교사들은 자유탐구 실험을 설계하는 과정에서 탐구실험은 무조건 새롭고 창의적인 주제로 해야 한다 라는 생각과 너무 넓은 범위에서 바로 주제를 선택 하려고 하는 인식으로 인해 실험 주제를 선정하는 것에 대해 어려움을 드러냈고, 주제를 선정 한 후에는 탐구주제에 적합한 실험기구나 방법을 설계하는 것에 어려움을 드러냈다. 탐구목표 달성에 실패 한 후 재설계를 하는 과정에서 발생 한 문제에 대한 적합한 설계를 하는 것, 실패의 원인을 밝혀내는 과정에서도 이전 시도에서 관찰된 여러 현상을 분석하여 실패의 근본적인 원인을 찾아내는 것에 어려움을 드러냈다.

예비교사들의 이런 경향과 어려움은 탐구실험을 진행 하면서, 실험에 대해 문제점을 찾아내고 재설계를 하는 과정에서 조원들 간의 논의와 고찰을 하는 시간을 통해서 점점 개선되는 모습을 보였다. 이런 토의와 고찰은 수업의 후반부로 갈수록 예비교사들의 참여가 능동적으로 바뀌면서 점점 더 활발해졌으며, 그와 더불어 예비교사들의 탐구에 대한 사고능력과 문제해결 능력 또한 향상되는 모습을 보였다.

본 연구는 학생들의 탐구에 대한 인식 및 탐구능력향상에는 교사가 탐구를 지도하는 방식이 매우 중요한 요인으로 작용한다는 것을 보여준다. 본 연구에 참여한 예비교사들은 탐구기능 신장을 위한 자유탐구를 신설한 2007 교육과정을 중학교 1학년년부터 적용 받았지만 중등교육과정 기간 동안 그들이 수행한 실험은 그들에게 탐구의 경험을 제공하기에는 적합하지 않았다고 볼 수 있다. 그런 교육과정을 거친 예비교사들은 오히려 탐구에 장애요인으로 작용할 여지가 높은 특성들을 가지고 있었고 본 연구과정에서 제시한 탐구실험을 수행하는 과정에서도 여러 어려움을 겪는 것으로 나타났다. 학생들이 실험을 수행했던 경험에 대한 인터뷰로 볼 때, 교사들은 학생들로 하여금 실험을 수행할 때 일어날 현상을 예측하게 하도록 해서 나름의 ‘탐구’를 진행했으나, 학생들이 관련 화학 개념을 정확히 알아서 바른 예측을 할 수 있으면 실제 실험이 성공하지 못하더라도 학생들로 하여금 그 실험을 다시 수행하게 하는 법이 거의 없었던 것으로 보인다. 이 결과로, 본 연구의 초반에 예비 교사들은 실험이 실패하더라도 다시 하려는 생각보다는 개념을 알고 있는데 왜 굳이 실험을 다시 해야 하는지에 의문을 품는 경우도 있었다. 또한, 실험의 연구 문제 설정, 연구 문제에 대한 가

설 설정 및 변인의 통제가 반영되어 있는지를 ‘화학 평형을 이해할 수 있다’ 등의 일반적인 개념 수준에서 설정하여, 구체적인 현상에 대한 원인을 가설로 설정하고 이 가설을 시험하기 위해 변인을 통제하는 실험 등을 설계하는데 어려움을 겪었다. 본 연구도 예비교사 20명을 대상으로 1학기라는 비교적 짧은 기간 동안에 이루어진 연구라는 한계점을 가지고 있지만, 제시된 실험방법을 변경하고 재설계해야만 목표를 성취할 수 있도록 설계된 가이드 실험, 이와 같은 가이드 실험을 선행하여 주제선정의 어려움을 감소시킨 주제범위가 주어진 탐구실험, 그리고 완전한 자유탐구실험의 단계로 이루어진 탐구실험을 수행하는 과정에서 실험의 문제점을 찾아내고 그 원인을 밝혀내어 재설계하여 구체적인 연구 문제와 가설을 설정하고, 그에 적합한 실험을 설계하는 능력 등의 탐구 수행 능력이 신장되었으며, 이 과정을 통해 실험이 이미 알려진 사실이나 개념을 확인 하는 것 이라기 보다 새로운 이론을 시험하기 위한 도구의 역할을 수행한다는 증진된 이해를 보였다.

탐구에 대한 경험이 없는 교사가 학생들에게 탐구를 제대로 가르친다는 것은 매우 어려운 일이다. 이에 중등교육과정에서 원활한 탐구지도를 위해서는 예비교사들을 대상으로 하는 실험수업에서도 예비교사들이 탐구에 대한 경험을 얻을 수 있는 실험과목이 추가되어야 할 것이며, 탐구실험을 목적으로 하는 수업뿐만 아니라 예비교사들이 수행하는 여타 실험 과목에 대해서도 이와 같이 탐구 요소가 추가될 수 있도록 다양한 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한 탐구실험에 대한 방법적인 부분에서는 여러 예비교사들의 인터뷰 답변에서 나온 바와 같이 낮은 자유도에서 높은 자유도로 단계적으로 진행 될 수 있도록 적절한 비계의 설계가 포함되어야 하며, 실험 수행 자체 뿐 아니라 실험 조 안에서의 역할에 대한 적절한 비계 역시 고려되어야 한다고 보여진다. 예를 들어, 본 연구에서는 탐구 실험에 필요한 기본적인 능력과 기술로 배경지식, 실험 연구 문제 설정, 실험 설계하기, 결과 분석하기 등을 고려하였고, 이 능력과 기술들이 각기 다른 독립적인 요소라기 보다 서로 영향을 미쳐서 전반적인 실험 수행의 성공을 결정한다고 보았다. 그러므로, 처음의 가이드 실험에서는 배경지식과 실험 전반의 설계 및 수행을 안내하여 이 모든 과정에 대한 비계를 제공하였고, 두 번째 단계인 주제 범위가 주어진 탐구 실험의 경우, 학생들이 기본적으로 필요한 배경 지식에 대해서는 첫 차시에 안내를 받되, 문제 설정과 실험 설계단계에서 배경 지식을 응용하여 실험을 구상하고 설계하는 부분은 직접 수행하도록 하여 실험 설계 및 수행에 대한 비계를 제거하였다. 마지막 단계인 완전한 자유 탐구에서는 문제를

설정하는 단계에서 어떤 화학 개념이나 지식에 대한 탐구를 진행할 것인가를 스스로 결정하게 해서 문제를 정의하는 부분에 대한 비계 역시 제거하였다.

본 연구에서 탐구 실험 수행에 관한 비계의 설계는 효과가 있었다. 그러나 탐구 실험의 성공은 학생들이 실험을 하는 목적에 대한 인식이라던가, 실험 수행에서 자신의 역할과 책임감에 대한 인식, 그리고 그룹 안에서의 활발한 논의 등 다른 요소들의 영향 역시 중요하게 나타났다. 그러므로 효과적인 탐구 실험의 설계를 위해서는 토의를 활발하게 하는 수업 전략이라던가 예비교사들의 실험 안에서 역할에 대한 재고찰 등의 내용도 비계의 설계에 포함되어져야 할 것으로 보인다. 또한 한 가지 실험을 마치기 위해 걸린 시간이 보통 실험 수업보다 훨씬 길었기 때문에 수행한 실험의 개수가 보통 일반 화학 등의 교과 실험보다 훨씬 적었다. 이러한 부분도 개선하기 위한 노력이 필요할 것으로 보인다.

REFERENCES

1. Ford, M. J.; Forman, E. A. *Review of Research Education* **2006**, 30, 1.
2. ang, I. H.; Cho, H. J.; Jeong, J. W.; Hur, M.; Kim, Y. S. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2006**, 26, 177.
3. Han, S. Y. *The Journal of Educational Principles* **2004**, 9, 47.
4. Ministry of Education & Human Resources Development; 2007, pp 121–204.
5. Ministry of Education, Science and Technology; 2011.
6. Cho, Y. Y. *Biology Education* **2015**, 43, 170.
7. Jeong, E. Y.; Lee, J. E. *Journal of Science Education* **2013**, 37, 203.
8. Byun, S. M.; Kim, H. J. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2011**, 31, 210.
9. Lim, S. M.; Yang, I. H.; Kim S.M.; Hong, E. J.; Lim, J. K. *Journal of the Korean Association for Science Education* **2010**, 30, 291.
10. Jeong, J. W.; Lee, K. J.; Kim, J. K. *Journal of the Korean Earth Science Society* **2006**, 27, 364.
11. Berg, A. C.; Bergendahl, C. V.; Lundberg, B. K.; Tibell, L. A. *International Journal of Science Education* **2003**, 25, 351.
12. Berland, L. K.; Schwarz, C. V.; Krist, C.; Kenyon, L.; Lo, A. S.; Reiser, B. J. *Journal of Research in Science Teaching* **2016**, 53, 1082.
13. Jiménez-Aleixandre, M. P.; Bugallo Rodríguez, A.; Duschl, R. A. *Science Education* **2000**, 84, 757.
14. Stroupe, D. *Science Education* **2014**, 98, 487.