

문제해결형 탐구학습에 대한 인식과 학습이 실험 설계 능력에 미친 효과 : 과학 영재학생들에 대한 사례 연구

주미나 · 김현주*

한국교원대학교

Understanding Problem-Solving Type Inquiry Learning and its Effect on the Improvement of Ability to Design Experiments: A Case Study on Science-Gifted Students

Ju, Mi-Na · Kim, Hyun-Joo*

Korea National University of Education

Abstract: We developed problem-solving type inquiry learning programs reflecting scientists' research process and analyzed the activities of science-gifted high school students, and the understanding and the effects of the programs after implementation in class. For this study, twelve science-gifted students in the 10th grade participated in the program, which consisted of three different modules - making a cycloidal pendulum, surface growth, and synchronization using metronomes. Diet Cola Test (DCT) was used to find out the effect on the improvement of the ability to design experiments by comparing pre/post scores, with a survey and an interview being conducted after the class. Each module consisted of a series of processes such as questioning the phenomenon scientifically, designing experiments to find solutions, and doing activities to solve the problems. These enable students to experience problem-solving type research process through the program class. According to this analysis, most students were likely to understand the characteristics of problem-solving type inquiry learning programs reflecting the scientists' research process. According to the students, there are some differences between this program class and existing school class. The differences are: 'explaining phenomenon scientifically,' 'designing experiments for themselves,' and 'repeating the experiments several times.' During the class students have to think continuously, design several experiments, and carry them out to solve the problems they found at first. Then finally, they were able to solve the problems. While repeating this kind of activities they have been able to experience the scientists' research process. Also, they showed a positive attitude toward the scientists' research by understanding problem-solving type research process. These problem-solving type inquiry learning programs seem to have positive effects on students in designing experiments and offering the opportunity for critical argumentation on the causes of the phenomena. The results of comparing pre/post scores for DCT revealed that almost every student has improved his/her ability to design experiments. Students who were accustomed to following teacher's instructions have had difficulty in designing the experiments for themselves at the beginning of the class, but gradually, they become used to doing it through the class and finally were able to do it systematically.

Key words: Problem-solving type inquiry learning, Scientists' research process, Designing an experiment

I. 서론

전통적인 과학 교육의 중요한 교육 목적은 체계화된 지식을 학생들에게 전달하는 것이었다. 그러나 구성주의적 과학 교육의 목적은 학습자 스스로 과학 지

식을 발견하고, 이 과정에서 새로운 지식을 생성할 수 있는 능력을 습득하는 것이다(권용주 등, 2003). 뿐만 아니라 학생들은 과학 교육을 통해서 일상생활에서 직면하는 문제들을 과학적으로 해결하는 능력을 신장시키고, 앞으로 과학자가 될 학생들은 과학 연구 현장

*교신저자: 김현주 (hjkim21@knu.ac.kr)

**2013.01.10(접수), 2013.03.13(1심통과), 2013.04.05(2심통과), 2013.04.09(최종통과)

***이 논문은 한국교원대학교 2012학년도 KNUe 학술연구비 지원을 받아 수행하였음.

에서 창의적으로 새로운 지식을 생성할 수 있는 능력을 개발시켜 가는 것이다(권용주 등, 2007). 이처럼 지식 생성에 중심을 둔 과학 교육에서 가장 효과적인 교수-학습 전략은 학생들이 과학자의 연구 과정을 학습 상황에서 직접 경험할 수 있도록 하는 것이다(양일호 등, 2006a).

과학적 탐구는 자연 현상을 관찰하여 의문을 제기하고, 그 의문에 대한 답을 제안하여 검증하는 활동(NRC, 2000)이라고 할 수 있다. 따라서 과학적 탐구의 출발점은 자연 현상을 관찰하여 의문을 생성하는 것에 있다고 할 수 있다(교육부, 1999; Chin & Brown, 2002). 학생 스스로 탐구 문제를 발상하고 설정하여 탐구 활동을 수행하는 것은 학생들의 창의적, 비판적 사고와 탐구능의 능동적 참여를 촉진시킬 수 있다(Jones et al., 1992; Gott & Duggan, 1995; Roychoudhury & Roth, 1996). 그러나 현재 대부분의 교과서들과 실험 교재들은 탐구 문제를 직접 제시하고 있어서 학생들이 스스로 의문을 발상하여 탐구할 수 있는 기회는 거의 제공되지 못하고 있는 실정이다. 양일호 등(2006b)이 중등학교 과학실험 수업에 대한 탐구과정을 분석한 연구에 따르면 학생들은 대부분의 수업에서 현상에 관한 문제 제기 및 가설 설정 활동이 관찰되지 않았으며, 실험설계 부분은 활동지나 교사의 지시에 의해 주어지고 있었고, 학생들은 단지 실험 결과 기록에만 집중하는 것으로 나타났다. 이러한 연구 결과는 학생들의 가설 검증 활동이 이미 주어진 방법으로부터 예상된 결과를 확인하는 과정에 치우쳐 있다는 것을 보여준다고 할 수 있다. 이는 학생들이 교육 과정 내에서 주어진 과정에 따라 실험을 하게 되므로 스스로 가설을 설정하고 이를 검증하기 위한 실험을 설계해 볼 기회를 거의 갖지 못하기 때문으로 생각된다.

학생들이 경험하는 탐구는 실제 과학 연구에서 과학자들이 경험하는 것과는 큰 차이가 있으므로(박영신, 2006) 과학자의 연구 과정을 가시화하여 학생들이 이를 직접 경험해 볼 수 있도록 하는 것이 필요하다. 이에 강성주 등(2011)은 과학자의 연구과정에서 보이는 일정한 패턴에 따라 문제해결형, 모델제시형, 아이디어산출형, 유사세런디퍼티형의 네 가지 연구형태 유형을 제시하였다. 과학자의 연구 형태는 각각의 연구자들에 의한 다양한 형태로 나타날 수 있으므로 몇 가지 유형만으로 한정할 수는 없다. 그러나 연구과정에서 주로 나타나는 특징들을 유형화하여 과학교육

에 적용하는 것은 학생들이 탐구활동을 통해 과학자의 연구과정을 경험하게 하고 과학 지식을 발견하고 생성하는 과정을 이해하는데 도움을 줄 수 있다. 이와 관련된 선행 연구들로 표면성장이라는 학습주제를 문제해결형과 모델제시형 각각의 형태로 학습할 수 있는 탐구학습 프로그램을 개발한 연구(신호심 등, 2009)와 모델제시 형태의 연구과정을 반영한 탐구학습 프로그램을 개발하여 적용한 연구(김영관 등, 2010), 모델링 활동에 대한 과학 고등학교 학생들의 인식에 관한 연구(하지희 등, 2009), 아이디어 산출형 탐구실험 중에 나타난 아이디어 생성 과정을 분석한 연구(김연숙, 2010) 등이 있다.

본 연구에서는, 실험 수행 과정 중 한계에 부딪히는 문제를 인식하고 해결책을 찾기 위해 학생 스스로 연구문제, 실험설계 등의 과정을 수행하여 학생들이 탐구를 통해 문제해결 과정을 경험하도록 구성된 문제해결형 탐구실험의 특성(임희영, 강성주, 2009)에 근거하여 문제해결형 탐구활동 프로그램을 개발 및 적용하였다. 이와 관련된 연구로 문제해결형 탐구실험에서 학생 간 대화를 분석한 연구(김지영 등, 2008; 신호심 등, 2011) 및 대학생을 대상으로 문제해결형 프로그램을 적용하여 그 효과를 알아본 연구(임희영 등, 2009) 등도 보고되었는데, 본 연구에서는 문제해결형 프로그램을 개발한 후, 이를 고등학교 과학영재학급 학생들을 대상으로 적용하여 수업을 통해 학생들이 문제를 발견하고 해결하는 과정을 경험하게 하고, 수업에 대한 학생들의 인식과 행동을 분석하여 문제해결형 탐구실험의 효과를 알아보고자 하였다. 이를 위해 수업관찰과 사후 설문 및 면담을 실시하고 그 결과를 분석하였다. 또한 실험설계는 문제해결을 위한 핵심적인 요소이므로 실질적으로 프로그램의 특징적인 요소에 있어서 학생들의 문제 해결 능력이 향상되었는지를 알아보고자 문제해결형 탐구실험 수업의 전과 후에 실험설계능력 검사를 실시하여 그 향상도를 분석하였다.

II. 연구방법 및 절차

1. 연구대상

본 프로그램은 경기도 고양시 소재의 고등학교 과학영재학급 1학년 학생 12명을 대상으로 4시간씩 총

3회에 걸쳐 적용하였다. 12명의 과학 영재학급 학생들은 모두 학기 초에 영재 선발 과정을 거쳤으며 월 4회, 16시간씩 영재수업을 받고 있다. 학생들의 인지 수준을 알아보기 위해 GALT 검사지를 사용하여 논리적 사고력 검사를 하였는데, 연구 대상 학생들의 25%가 과도기, 75%가 형식적 조작기의 인지수준을 가지고 있는 것으로 나타났다. 이는 고등학교 1학년 학생들의 평균적인 인지능력보다 다소 높은 인지수준에 해당한다.

2. 프로그램 개발 및 적용

1) 문제해결형 탐구학습 프로그램의 과정과 특징

과학자들은 연구과정 전반에서 발생하는 문제들을 발견하고 그 문제들을 해결하는 과정을 여러 번 반복하게 된다. 문제해결형 프로그램 모듈은 직면한 문제들을 계속적으로 해결하는 과정을 통해 과학자의 연구과정을 경험하게 하는 것을 목적으로 개발되었다(강성주 등, 2011). 그림 1은 문제해결형 프로그램의 과정을 도식화하여 나타낸 것으로, 프로그램 모듈의 각 단계는 현상제시와 탐색, 연구 활동, 문제 상황 발견, 해결 방안 모색, 문제 해결 활동, 결과분석, 문제 해결 순서로 제시되어 있다.

현상제시 및 탐색하기 단계에서 관심 있는 현상을 제시하여 결과를 예상해 보게 하고, 그 현상을 과학적으로 설명할 수 있는 방법에 대한 탐색과정을 거치게 된다. 탐색 과정에서 고안한 연구 방법을 토대로 실험 활동이 이루어진다. 이 때 연구 활동 중 문제 상황을 발견하게 되고, 그 문제 상황을 해결할 수 있는 방안을 찾아내고, 문제를 해결하는 활동을 진행하게 된다. 이 과정에서 문제가 바로 해결되어 결과를 분석하고 현상을 과학적으로 설명하는 과정이 끝날 수 있다. 그러나 새로운 문제가 또다시 드러날 수 있으면 이때는 다시 해결 방안을 찾아내는 과정을 반복적으로 진행

하여 최종적으로 처음 제시된 현상에 대해 문제가 해결되어 과학적인 결론에 도달하게 된다. 문제 상황의 발견과 해결과정은 몇 번이고 반복되어 진행될 수 있다.(신호심, 김현주, 2009; 임희영, 강성주, 2009)

2) 프로그램 개발

해당 학생들을 대상으로 한 프로그램은 주기가 일정한 흔들이 만들기, 표면성장 실험, 메트로놈의 동기화 순서로 적용하였으며, 매 수업은 4시간 동안 진행되었으며 학생들은 4명씩 3개 조로 구성하여 실험하였다. 개발한 각 모듈의 구체적인 내용은 다음과 같다.

(1) 주기가 일정한 흔들이 만들기 모듈의 개발

주기가 일정한 흔들이를 만들어가는 과정에서 발생하는 문제를 해결해 나가는 것이 이 수업의 목표이며, 그러한 과정 속에서 학생들이 과학자의 연구과정의 단계를 하나씩 밟아가도록 모듈을 개발하였다. 먼저 흔들이를 만들고 주기와 추의 질량, 실의 길이, 진폭과의 관계를 알아보는 실험을 하는 과정에서 문제 상황에 직면하게 되고, 진폭에 관계없이 주기가 일정한 흔들이를 만드는 방법을 찾아 문제를 해결해 나가게 된다. 학생들이 사이클로이드를 해결 방안으로 고안하기가 쉽지 않으므로 참고자료의 형태로 제시하여 도움을 줄 수 있도록 하였다. 다음의 표 1은 주기가 일정한 흔들이 만들기 모듈의 과정과 활동 내용을 나타낸 것이다.

학생 활동지 중 일부를 그림 2에 나타내었으며, 그림에서 보듯이 수업 중 학생들은 단진자를 사용한 주기 측정 실험과 사이클로이드 진자를 사용한 주기 측정 실험을 설계하고 수행하게 된다. 이 과정에서 최소 3회 이상 실험을 여러 번 반복 수행할 수 있도록 하였으며, 실험 도중 관찰한 현상이나 궁금한 내용을 적을 수 있는 부분을 따로 구성하여 학생들이 떠오른 생각을 자유롭게 적을 수 있도록 구성하였다.

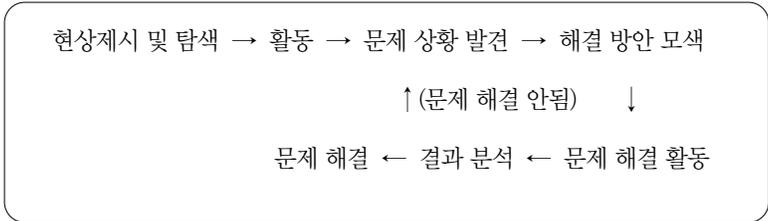


그림 1 문제해결형 탐구학습 프로그램 과정

표 1
주기가 일정한 흔들이 만들기 모듈

단계	활동 내용
예상 및 탐색하기	- 진자의 주기는 무엇과 관계가 있을지 예상해 봄
활동	- 진자를 만들고 조작변인(추의 질량, 실의 길이, 진폭)에 따른 주기를 측정함 - 주기와 각 변인과의 관계를 알아 봄
문제 상황 발견	- 진자의 주기가 진폭과 무관하지 않은 문제 상황을 발견함
해결 방안 모색	- 사이클로이드 곡선의 정의와 특성을 학습
문제 해결 활동	- 직접 사이클로이드 곡선을 그려보고, 사이클로이드 곡선을 따라 왕복운동하는 진자를 만들어 봄 - 사이클로이드 진자의 진폭에 따른 주기를 측정함
결과 분석	- 사이클로이드 곡선을 이용한 진자와 처음 진자의 차이점을 알아 냄
문제 해결	- 사이클로이드 곡선의 성질을 잘 이해하고, 실생활에 적용된 예를 찾아봄

(2) 진폭을 변화시켜 가며 주기를 측정해 보자.

진폭 (cm)	10	20	25	30	35	40	45
주기 (s)							
1회	1.42	1.42	1.43	1.45	1.46	1.46	1.51
2회	1.45	1.43	1.42	1.43	1.47	1.46	1.55
3회	1.4	1.42	1.43	1.45	1.44	1.44	1.52
평균	1.4	1.42	1.42	1.44	1.46	1.47	1.53

관찰한 현상이나 궁금한 내용을 적어보자.

⇒ 진폭이 늘어날수록, 주기가 늘어남!
내운 내용과 다르다...

13. 사이클로이드 곡선을 이용한 흔들이의 진폭에 따른 주기를 측정해 보자.

진폭 (cm)	10	20	25	30	35	40	45
주기 (s)							
1회	1.46	1.47	1.47	1.46	1.44	1.50	1.50
2회	1.47	1.47	1.48	1.47	1.48	1.50	1.50
3회	1.46	1.48	1.47	1.46	1.44	1.50	1.51
평균	1.46	1.47	1.47	1.46	1.44	1.50	1.50

관찰한 현상이나 궁금한 내용을 적어보자.

결과 분석

14. 사이클로이드 곡선을 이용한 흔들이는 처음 흔들이와 어떠한 점이 다른가?

사이클로이드 곡선을 이용한 흔들이에서는 주기와 진폭은 무관.

그림 2 '주기가 일정한 흔들이 만들기' 모듈 학생 활동지 일부

(2) 표면성장 실험 모듈의 개발

이 모듈에서는 주변에서 접할 수 있는 표면이나 경계면의 성장을 관찰하고 그 현상을 과학적으로 설명하기 위하여 실험을 설계하고 검증하는 실험을 함으

로써, 표면성장 에 대한 과학적인 설명을 얻어내는 과정을 학습하게 된다. 이 과정에서 학생들은 문제 상황을 발견하고 이를 해결해 나가기 위한 활동을 하게 된다. 학생들은 일정 시간 간격으로 경계면의 거칠기를

측정하는 실험에서 문제점을 발견하고, 문제 해결을 반복하여 최종적으로 처음에 발견한 문제를 해결할 수 있도록 모듈을 개발하였으며, 이를 통해 과학자의 연구형태 및 사고과정을 이해하는 것이 이 실험의 목적이다. 표 2는 수업에 적용한 표면성장 실험 모듈의 과정과 활동 내용을 나타낸 것이다.

그림 3은 '예상 및 탐색하기' 단계에서 한지에 용액이 흡수되는 현상을 관찰하고, 어떤 변화가 있는지 이를 과학적으로 설명하기 위한 방법을 찾는 단계의 학생 활동지 중 일부이다. 이 과정에서 현상을 주의 깊게 관찰하고, 이를 과학적으로 설명하는 활동을 경험할 수 있으며, 이러한 활동 중에 교사의 도움은 최소

표 2
표면성장 실험 모듈

단계	활동 내용
예상	- 한지에 용액이 흡수되는 현상을 관찰하고, 어떤 변화가 있는지 기록해 봄
탐색하기	- 관찰한 현상을 과학적으로 설명하기 위한 과정을 논의함 - 어떤 물리량을 가지고 현상을 과학적으로 설명할 것인지 생각해 봄 - 경계면의 높이 차를 측정하기 위한 방법을 논의함
활동 및 결과 분석	- 시간에 따라 용액이 올라간 높이를 측정하여 기록함 - 결과를 그래프로 그려 결론을 내림
문제 상황 발견	- 활동 과정에서 방법적인 측면에서의 문제점(최고점과 최저점을 찍는 과정에서의 오차 발생 등)을 발견함
해결 방안 모색	- 문제를 해결할 수 있는 방안을 토론을 통해 얻어냄
문제 해결 활동	- 해결 방안 중 한 가지를 선택하여 실험을 하고 결과를 기록 함
결과 분석	- 실험 결과를 분석하고 결과에 대한 논의를 함
문제 해결	- 실험 결과를 바탕으로 종이에 용액이 흡수될 때 경계면에서 발생하는 규칙성을 과학적으로 설명할 수 있음 - 시간이 허용되는 경우, 종이의 폭을 달리하여 실험을 실시하고 결과를 확인해 봄

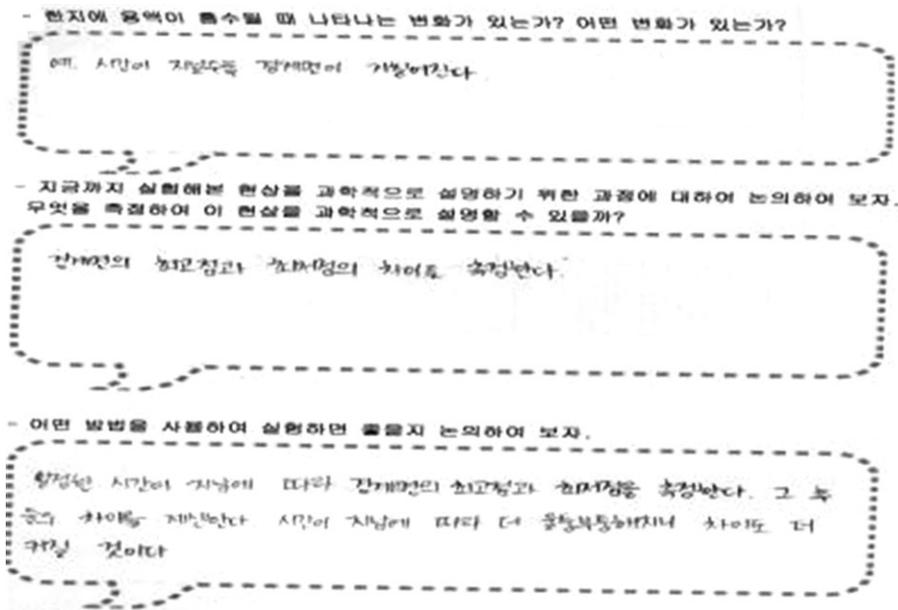


그림 3 '표면성장 실험' 모듈 학생 활동지 일부

화하여 학생들이 주도적으로 방법적인 측면까지 생각해 내도록 모듈을 개발하였다.

(3) 메트로놈의 동기화 모듈의 개발

이 수업은 두 메트로놈 사이에서의 동기화를 관찰하기 위한 실험에서의 문제점을 발견하고, 다양한 변인들을 고려하여 그 원인을 찾아 문제를 해결하는 과정을 경험할 수 있도록 구성되었다. 이를 위해 먼저 현상제시 단계에서 동기화와 관련된 일화 및 영상 자료를 보여주어 학생들에게 동기화의 개념을 소개한 후, 탐색하기 단계에서 주어진 준비물들을 가지고 메트로놈의 동기화를 관찰하기 위한 실험을 설계하게 한다. 실험을 수행하는 과정에서 메트로놈의 동기화가 잘 유지되지 않는 문제 상황에 직면하게 되고, 그러한 문제 상황을 해결하기 위한 방안 모색을 위한 토의 과정을 거쳐 문제 해결활동을 한다.

이러한 일련의 활동을 통해 학생들이 문제를 해결하는 과정이 과학자에게 있어 중요한 연구과정임을 배우고, 과학자들의 연구형태 및 사고과정을 이해하도록 하는 것에 초점을 두고 이 모듈을 개발하였다. 메트로놈의 동기화 모듈의 과정과 활동 내용은 표 3에 제시하였으며, 학생들이 작성한 활동지의 일부를 그림 4에 나타내었다. 활동지는 ‘예상 및 탐색하기’ 단계에서 실험설계 및 활동 단계에 해당한다.

3) 학생 설문 및 면담

세 차례의 탐구 수업이 모두 끝난 후에 문제해결형 탐구활동 수업에 대한 학생들의 인식을 알아보기 위해 설문조사를 실시하였다. 설문지의 문항을 표 4에 제시하였고, 설문 문항들의 내용에 따라 크게 세 부분으로, ‘프로그램에 대한 전반적인 이해’, ‘프로그램의 각 모듈에서 단계별 활동특징’, ‘수업의 효과’를 알아보는 문항으로 구분하였다. 각 문항은 5단계 리커트 형식을 취해, ‘매우 그렇다’는 5점, ‘그렇다’는 4점, ‘보통이다’는 3점, ‘아니다’는 2점, ‘매우 아니다’는 1점으로 점수화하여 각 문항에 대한 평균값을 계산하였다. 설문 문항을 보완하기 위하여 대상 학생 중 실험설계 능력 검사(DCT)에서 향상도가 큰 학생, 수업 만족도가 높았던 학생 6명을 선별하여 심층 면담을 실시하였다. 면담 과정은 녹음하여 이를 전사한 후 필요한 부분을 발췌하여 사용하였다.

4) 실험설계능력 검사

학생들의 실험설계 능력 향상에 관한 프로그램의 효과를 알아보기 위하여 수업의 전·후에 실험설계 능력 검사를 실시하였고, 두 점수를 비교하여 향상 여부를 알아보고자 하였다. 실험설계 능력의 검사는 Fowler에 의해 1990년에 개발된 Diet Cola Test (DCT)에 기초한다 (Fowler, 1990). DCT는 실험설계 능력을 볼 수 있는 개방적 검사도구로, 사전·사후 검

표 3 메트로놈의 동기화 모듈

단계	활동 내용
현상 제시	- 호이겐스의 추시계 일화, 반딧불이들이 서로 깜빡이는 주기가 일치하는 영상 자료를 보여 주면서 이 현상들의 공통점을 알아냄 - 주변에서 동기화와 관련된 현상에 무엇이 있는지 발표해 봄
탐색하기	- 주어진 실험도구를 이용하여 두 메트로놈이 서로 닮아가려는 현상을 관찰하기 위한 실험을 설계해 보고, 결과를 예상함
활동 및 결과 분석	- 실험을 수행하고 결과를 기록함
문제 상황 발견	- 메트로놈의 동기화가 잘 유지되지 않는 문제 상황을 발견함
해결 방안 모색	- 문제점의 원인을 생각해 보고 이를 해결하기 위한 방안을 토론을 통해 모색함. (이 과정에서 학생들이 어려움을 겪을 경우 동영상 자료를 통해 힌트를 줌)
문제 해결 활동	- 진동수에 따른 메트로놈의 동기화 여부를 알아보는 실험을 설계하고 수행함
결과 분석 및 문제 해결	- 실험 결과를 분석하여 동기화 현상은 진동수가 높을 때 잘 관찰할 수 있다는 결론을 이끌어냄 - 위와 같은 결과가 나온 이유에 대해서 토론해 봄

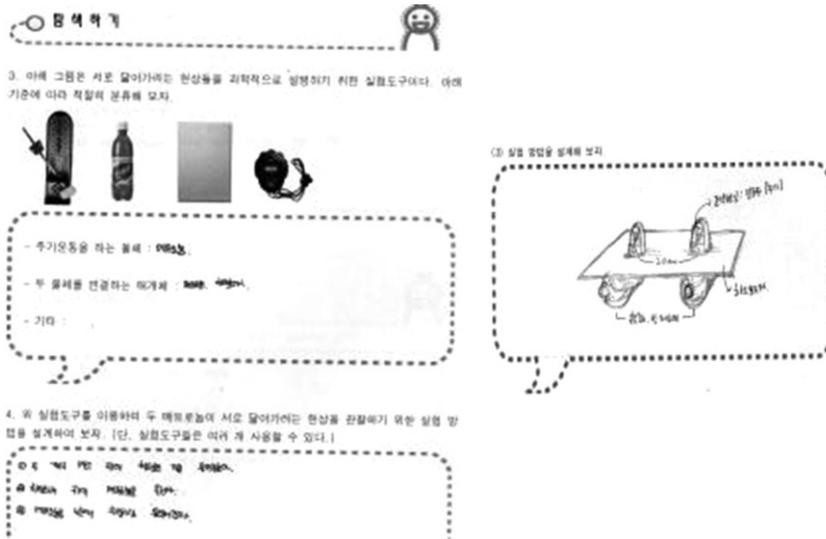


그림 4 매트로놈의 동기화 수업 활동지 일부

표 4
설문 문항과 구분

설문 문항		구분
1	기존의 다른 수업이나 프로그램과 비교하였을 때 본 탐구활동 수업은 차이가 있는가? 있다면 어떤 차이가 있는가?	I. 수업의 이해도
2	과학자의 연구과정에 대한 인식의 변화가 있었는가? 있다면 어떤 변화가 있었는가?	
3	본 탐구 활동 수업을 진행하면서 가장 어려웠던 점은 무엇인가?	
4	학습 내용은 어려웠는가?	
5	탐색하기 단계 중 실험 설계 과정은 수월하였는가?	
6	문제 상황 발견 후 해결 방안 모색은 수월하였는가?	
7	해결 방안 모색 후 문제 해결 활동은 원활하게 이루어졌는가?	
8	주어진 현상을 과학적으로 설명할 수 있는 방법에 대한 탐색과 토론이 자유롭게 이루어졌는가?	II. 단계별 활동 특성
9	실험 설계 과정 중 변인의 설정은 타당하게 이루어졌는가?	
10	예상했던 혹은 기준에 알고 있던 과학 지식과 다른 문제 상황을 발견하였는가?	
12	문제 상황 발견 후 반복 실험을 해 보았는가?	
13	해결 방안 모색 과정에서 다양한 의견을 제시하였는가?	
14	제시된 여러 해결 방안을 검토할 때 논리적으로 평가하였는가?	
15	선생님의 도움 없이 해결 방안을 생각할 수 있었는가?	
16	다른 조가 발표한 해결 방안을 보고 좋은 방안이라고 생각했던 아이디어가 있는가?	
17	문제 해결 활동 후 처음에 발견했던 문제를 과학적으로 해결할 수 있었는가?	
18	수업을 하면서 이전에 가지고 있던 과학에 대한 나의 생각을 수정하거나 새롭게 알게 된 점이 있는가?	
19	실험과정이 모두 주어지는 수업보다 문제 상황을 발견한 후 이를 해결하기 위하여 직접 실험을 설계하는 수업이 수업 전체에 대한 이해에 효과적인가?	
20	과학적인 의견을 제시하고 이를 자유롭게 논의하는 기회가 되었는가?	
21	본 탐구활동을 진행하면서 향상된 능력이 있다면 무엇인가?	

사로 구성되어 있고, 과제의 내용은 '다이어트 콜라도 별이 유인되는가'에 대한 의문을 해결하기 위한 실험을 설계하는 것이다. 그가 개발한 체크리스트는 표 5와 같다.

Ⅲ. 연구결과 및 논의

1. 문제해결형 탐구활동 수업에 대한 학생들의 인식

문제해결형 탐구활동 수업에 대한 학생들의 인식을 알아보기 위하여 설문조사와 면담을 실시하였다. 설문지의 문항은 '본 수업이 기존의 학교 수업과 차이가 있는가?', '수업 후 과학자의 연구 과정에 대한 인식의 변화가 있는가?' 등의 질문이며 각 문항에는 그렇게 생각하는 이유를 서술하게 하여 구체적인 생각을 알아보았다.

기존 학교 수업과 본 수업에 차이가 있는가에 대한 문항에 대한 학생들의 응답은 리커트 척도 평균값 4.1로 긍정으로 응답한 학생이 많았으며, 이에 대한 응답 유형 분류는 표 6과 같다.

학생들은 주어진 과정에 따라 기계적으로 하는 기존 학교 수업과는 달리 자기주도적으로 실험을 설계하고, 직접 문제를 해결하도록 한 점을 가장 큰 차이로 인식하였다. 더불어 본 수업이 어떤 문제에 대해 스스로 생각해 볼 수 있는 기회를 주었다는 점에서 공통된 의견을 보였다.

다음으로 수업 후에 과학자의 연구 과정에 대한 인식의 변화가 있었는가라는 문항에 대한 학생 응답의 평균은 4.3으로 높게 나타났다. 구체적으로 어떤 점에서 변화가 있었는가를 묻는 물음에 대한 응답 유형은 표 7에 제시하였다.

학생들은 막연하게 생각했던 과학자의 연구과정을 수업을 통해 경험해 봄으로써 이에 대한 인식의 변화가 있었음을 확인하였으며, 이에 대한 근거는 다음 학생들의 실제 응답에서 찾을 수 있다.

교사: 수업을 통해 과학자의 연구 과정에 대한 인식의 변화가 있었니?

학생(1): 전에는 과학자들이 어떤 문제를 보면 하루, 이틀 생각을 해서 막연하게 실험을 해서 문제

표 5
DCT 검사 점수 체크리스트(Fowler, 1990)

과학 기술 검사를 위한 점수 체크리스트 (학생의 기록지에 기록이 서술되어 있을 때마다 1점을 주고, 학생이 아무 것도 쓰지 않았거나 실험을 서술하는 것에 실패했을 때는 0점을 준다.)	
- 순차적 순서로 3단계 이상 서술함	- 측정 계획을 포함함
- 안전 사항에 대해 계획함	- 자료 수집 계획을 포함함
- 의문이나 문제들을 서술함	- 자료 해석 계획을 포함함
- 결과를 예상하고 가설을 세움	- 수집된 자료를 바탕으로 결론을 만들 계획을 포함함
- 필요한 준비물을 나열함	- 변인을 표명함
- 실험에 사용되는 용어를 정의함	- 변인을 통제하는 방법을 계획함
- 관찰 계획을 포함함	- 실험을 반복 수행할 계획을 포함함

표 6
본 수업과 기존 학교 수업과의 차이에 대한 응답 유형 분류

구분	응답 유형
기존 학교 수업과의 차이점 (응답수)	- 알고 있는 지식에 대한 확인 실험이 아니라 직접 문제를 해결하도록 하는 실험이었다. (4명)
	- 어떤 현상에 대해 '왜 그럴까' 라는 의문을 갖게 만든다. (3명)
	- 여러 번 실험을 반복해서 결론을 얻는다. (3명)
	- 토론을 통해 문제 해결을 스스로 하게 만든다. (2명)

표 7
과학자의 연구 과정에 대한 인식의 변화에 대한 응답 유형 분류

구분	응답 유형
과학자의 연구과정에 대한 인식의 변화	- 막연한 연구가 아닌, 직접 실험을 설계해서 나온 결과를 분석하는 과정을 통해 결론을 얻는다는 것을 알았다.(5명)
	- 한 번의 실험으로 원리나 법칙을 찾아내는 것이 아니라 수많은 실험을 반복해서 결론을 얻게 된다는 것을 알았다.(3명)
	- 현상을 과학적으로 설명하는 과정의 어려움을 알게 되었다.(2명)
	- 작은 것도 놓치지 않는 관찰력이 필요하다는 것을 알았다.(2명)

가 다 해결되는 줄 알았는데, 이번에 수업을 하면서 실험설계를 해 보면서 든 생각이지만, 간단한 실험인데도 이렇게 설계하는 게 어렵는데 과학자들은 훨씬 더 복잡하고 어려운 문제를 어떻게 해결하는지 대단하다는 생각이 들었어요.

학생(2): 저도 과학자들이 연구한 결과적인 부분만을 항상 접하게 되니까 아주 쉬워보였는데 제가 직접 실험을 설계해 보고, 수행해 보고 하니까 작은 것도 매우 어렵고... 일단 문제 자체를 발견을 잘 못해요. 또 발견했다고 하더라도 그걸 해결하는 방안이 바로바로 생각나는 게 아니니까 계속 토론하고 생각해 보고... 시간이 많이 걸리잖아요. 또 해결 방안을 생각해 냈다고 하더라도 여러 오차가 있으니까 한두 번 해가지고는 안되잖아요. 여러 번 실험을 반복하는 것도 쉽지 않다는 걸 느꼈어요.

학생(3): 과학자들은 한 순간에 대단한 발견을 하는 줄 알았는데 실제로는 결론을 얻기 위해서 엄청난

횟수의 실험을 하고, 많이 실패도 하고 끈기가 필요하다는 걸 알게 됐어요. 또 사소한 것도 놓치지 않으려는 관찰력도 필요하다고 생각했어요.

이와 같이 학생들은 탐구활동 수업 과정 중에 하나의 결론을 얻기 위해 직접 실험을 설계하여 여러 번 실험을 반복하는 것을 경험하였고, 이를 통해 과학자의 연구 과정에 대한 인식의 변화가 있었음이 확인되었다.

이외에도 본 수업을 하면서 가장 어려웠던 점이 무엇인지를 묻는 문항을 통해 학생들의 문제해결형 탐구활동 수업을 어떻게 인식하고 있는지를 파악하고자 하였으며, 이에 대한 응답 유형 분류는 표 8과 같다.

수업을 모두 마친 후, 학생들에게 문제해결형 연구 과정이란 무엇인지 그 정의를 내려보도록 하였는데 이에 학생들은 '문제점을 찾고 해결 방안을 위해 토론을 하고, 그렇게 생각해 낸 실험을 직접 설계해서 적용해보고 결론을 내리는 과정', '문제 상황을 발견하고 그것을 해결하기 위한 방안을 모색하여 다시 실험에 적용하는 과정을 여러 번 겪는 것' 등으로 응답하였다. 이러한 응답에 근거하여 학생들은 일련의 수업 과정을 통해 문제해결형 연구 과정을 잘 이해하고, 그

표 8
수업을 진행하면서 가장 어려웠던 점에 대한 응답유형 분류

구분	응답 유형
수업에서 가장 어려웠던 점 (응답수)	- 문제 상황에 대한 해결 방안을 스스로 찾는 것이 어려웠다.(6명)
	- 생각하고 토론할 것들이 많아 시간이 부족했다.(2명)
	- 문제 상황의 원인을 찾지 못할 때 너무 답답했다.(2명)
	- 실험 결과를 기다리는 과정이 지루하고 힘들었다.(1명)
	- 통제해야 할 변인들이 많아 변인 통제가 어려웠다.(1명)

것이 과학자의 연구 과정의 한 형태임을 인식한 것으로 판단된다.

수업의 난이도가 학생들에게 적절했는지를 확인하기 위해 학습 내용의 난이도 및 각 수업에서 단계별 과정이 수월했는지를 물어보았다. 설문 문항은 주기가 일정한 흔들이 만들기, 표면 성장, 메트로놈의 동기화 세 가지 모듈에 대해 각각 물어보았으며 면담 과정을 통해 추가적인 질문을 하여 응답을 얻었다. 먼저 학습 내용이 어려웠는지를 묻는 문항의 리커트 척도 평균값은 3.0으로 학생들이 수업 내용 자체를 어려워하지는 않는 것으로 나타났다. 수업의 시작 부분인 탐색하기 단계에서 실험설계 과정은 수월하였는지를 묻는 문항에 대해서는 주기가 일정한 흔들이 만들기 모듈에서는 중학교 과학 교과서에도 많이 소개가 되어 있는 실험으로 대다수의 학생들이 이미 학습한 내용이었기에 학생들이 어렵지 않게 실험을 설계할 수 있었다는 응답이 대다수였다. 반면 표면성장 모듈에서는 한지에 용액을 흡수시키면서 일어나는 현상을 과학적으로 설명하는 것이 주어진 과제였는데 수업 관찰 시 이 단계에서 어려움을 느끼는 학생이 많음을 볼 수 있었다. 소수의 학생들을 제외하고는 시간에 따라 한지 표면의 거칠기의 정도가 더 심해진다는 것을 관찰을 통해 설명하는 데 어려움을 겪었다. 이는 어떤 현상에 대해 주의 깊게 관찰하고 그것을 과학적으로 설명하는 것에 학생들이 익숙하지 않기 때문인 것으로 생각된다. 메트로놈의 동기화 모듈에서는 동기화에 대한 설명을 간략하게 들은 후에 주어진 준비물을 가지고 메트로놈을 동기화하는 실험을 설계하는 것이 탐색하기 활동이었는데 적지 않은 수의 학생들이 아무런 실마리도 주어지지 않은 상태에서 어떻게 변인을 설정하여 실험해야 할지 막막함을 느꼈다는 것을 확인할 수 있었다.

문제 상황을 발견한 후 해결 방안 모색은 수월하였는지를 묻는 문항에 대한 결과는 표면성장 모듈을 제외한 나머지 두 모듈에서는 학생들이 해결 방안을 모색하는 것을 매우 어려워한 것으로 나타났다. 이는 주기가 일정한 흔들이 만들기 모듈의 경우 학생들이 사이클로이드 곡선에 대한 이론적인 지식을 갖고 있지 않았기 때문이고, 메트로놈의 동기화 모듈에서는 메트로놈의 동기화를 길게 유지하기 위한 방안을 찾는 것이었는데, 변인이 많아서 알맞은 조작변인을 찾지 못해 해결 과정에 어려움을 겪은 것으로 보인다.

해결 방안을 모색한 후 문제를 해결하는 활동은 수월했는지를 묻는 물음에 대해서는 표면성장 모듈의 경우 수업 시간의 제약 때문에 생각해 낸 문제 해결 방안을 직접 적용해 보는 과정은 할 수 없었고, 나머지 두 모듈에서는 리커트 척도 평균값 3.5 이상으로 긍정으로 나타났다. 사이클로이드 곡선을 이용한 진자를 만드는 과정에서 학생들은 사이클로이드 곡선을 그리기까지 여러 번 시행착오를 겪었지만, 만들어진 사이클로이드 진자를 가지고 진폭에 따른 주기 측정 실험을 해 본 결과, 단진자로 실험했을 때와 달리 진폭의 영향을 크게 받지 않는다는 것을 알 수 있었다고 대다수의 학생들이 응답하였다. 메트로놈의 동기화 수업에서도 일단 진동수가 조작변인임을 알고 난 후에는 진동수가 높아질수록 동기화가 잘 유지된다는 것을 많은 학생들이 어렵지 않게 확인할 수 있었다.

2. 수업 단계별 활동 분석

문제해결형 탐구활동 수업은 탐색하기, 문제 상황의 발견, 해결 방안 모색, 문제 해결의 활동 단계를 거친다. 이 과정을 통해 학생들은 처음에 발견했던 문제를 과학적으로 해결할 수 있게 된다. 세 가지 수업을 거치면서 수업의 단계별 활동을 학생들이 잘 이해하고 수행하였는지를 각각의 수업별, 단계별로 설문 문항에 대한 응답 및 면담 자료를 분석하여 알아보았다.

1) 탐색하기

수업의 도입 부분인 탐색하기 단계에서 학생들은 예상하기 단계에서 제시된 현상을 과학적으로 설명할 수 있는 방법에 대한 탐색을 하게 된다. '주어진 현상을 과학적으로 설명할 수 있는 방법에 대한 탐색과 토론이 자유롭게 이루어졌는가' 문항에 대해 응답은 세 가지 모듈 모두에서 리커트 척도 평균값 4.0 이상으로 학생들은 긍정적으로 응답하였다. 대상 학생들의 구성이 학기 초 선별 시험을 거쳐 영재학급에 입학한 학생들로, 과학에 대한 흥미와 열정이 많은 학생들이었기에 수업 과정에서 자주 주어졌던 토론 시간에 적극적으로 의견을 교환하고 상대방의 의견을 경청하는 것을 관찰할 수 있었다. 학생들이 특히 어려워했던 모듈은 표면성장 수업에서 시간에 따라 표면의 거칠기가 심해지는 현상을 관찰하고 설명하는 것이었는데, 조원들과 자유롭게 의견을 교환하는 과정에서 과학적

설명을 이끌어내고, 나아가 거칠기를 어떻게 표현할 것인지에 대해 토론하여 그 방법에도달하는 것을 수업 관찰 시 볼 수 있었다. 탐색하기 단계에서 뿐만 아니라 학생들은 문제해결형 탐구학습 전반에 걸쳐 토론이 차지하는 부분을 굉장히 크게 인식하고 있는 것을 이후 면담을 통해 파악할 수 있었다.

2) 문제 상황 발견

탐색하기 단계에서 고안한 방법을 토대로 실험 활동과 같은 연구 활동이 이루어지게 되고, 실험 결과를 분석하는 과정에서 학생들은 새로운 의문점이나 문제 상황을 발견하게 된다. '예상했던 혹은 기존에 알고 있던 과학 지식과 다른 문제 상황을 발견하였는가' 하는 물음에 대한 응답은 세 모듈에서 모두 리커트 척도 평균값 3.8 이상으로 학생들이 비교적 어렵지 않게 문제 상황을 발견한 것으로 보인다. 주기가 일정한 흔들기 만들기 수업에서는 대부분의 학생들이 중학교 때 '진자의 주기는 추의 질량, 진폭에 관계없이 오직 실의 길이에 의해서만 달라진다.' 라는 진자의 등시성에 관한 지식을 학습하였기 때문에 실험 결과 진폭이 커질수록 주기가 길어지는 문제 상황을 쉽게 발견할 수 있었다. 이러한 문제 상황을 발견한 후 학생들은 기존에 알고 있던 것과 다른 결과에 당황하는 것처럼 보였다. 많은 학생들이 공기의 저항이나 실험 조작 시 실수에 의한 오차 때문에 결과가 잘못 나온 것이라고 생각하는 반응을 보였다. 두 번째 표면성장 실험의 경우에는 문제 상황이라기보다는 표면의 거칠기를 측정하기 위해 최고점과 최저점을 찍는 과정에서 학생들은 '펜이 두꺼워서 정확한 점을 알아보기 어려웠다', '유성펜을 사용했지만 물에 의해 약간은 번져서 측정할 때 불분명했다. 이에 의한 오차가 발생했을 것이다' 등의 어려움을 이야기했다. 메트로놈의 동기화 수업에서는 모든 조가 동기화가 길게 지속이 되지 않는 문제 상황을 쉽게 발견하는 것을 관찰할 수 있었다.

'문제 상황을 발견한 후 반복 실험을 해 보았는가' 하는 물음에 대해서는 표면성장 모듈을 제외한 나머지 두 모듈에서는 리커트 척도 평균값 4.0 이상으로 긍정적으로 응답하였다. 처음에는 실험 오차 때문에 결과가 잘못 나왔다고 생각했다가 최소 3회 이상의 반복 실험 결과 일관성 있는 결과가 나오자 학생들은 단순한 실험 오차 때문이 아니라 자신이 알고 있던 것과 다른 '문제 상황'이라는 것을 인식하는 반응을 보였

다. 표면성장 모듈에서 실험의 반복 수행 여부에 부정적인 응답이 나온 이유는 용액이 한지에 흡수되는데 걸리는 시간과 최고점과 최저점의 차이를 측정하기 위해 용액이 마르기까지 기다리는 시간이 너무 길었기 때문에 반복 실험을 할 시간적 여유가 없었기 때문으로 보여진다.

3) 문제 해결 방안 모색

문제 상황을 발견한 후 학생들은 문제를 해결하기 위한 방안을 모색하게 된다. 이 과정에서 조원들 사이에 다양한 의견을 교환할 시간이 주어지고, 학생들은 자유로운 분위기 속에서 제시된 의견을 타당하게 비판한 후, 가장 적합하다고 생각하는 방안에 도달하게 된다. 이러한 활동들에 대하여 학생들은 어떻게 인식을 하고 있는지 알아보기 위하여 몇 가지 설문 문항을 제시하였다. '해결 방안 모색 과정에서 다양한 의견을 제시하였는가?' 라는 설문 항목에 대해서 학생들은 세 모듈 모두 리커트 척도 평균값 3.8로 긍정적으로 응답하였다. 또한 다양한 의견이 제시되는 가운데 가장 좋은 해결 방안을 찾기 위해 제시된 의견을 비판하는 과정이 따르게 되는데, 이 때 논리적으로 평가를 하였던가를 묻는 문항에도 학생들은 세 모듈 모두에서 대체로 긍정적으로 응답하였다. 학생들은 매 문제 상황마다 해결 방안을 모색하기 위해 조원들과 토론할 시간이 주어지는데, 이때 문제 해결에 도움이 되는 의견들이 대개의 경우 나온다고 응답하였다. 면담 시 학생들의 이러한 생각들을 더 구체적으로 들을 수 있었는데, 조원들과의 토론 과정을 통해 다른 사람이 제시한 의견을 비판하면서 더 많은 생각을 하게 되거나 혹은 자신은 전혀 생각지 못한 면에 대해 생각을 하게 되면서 문제 해결에 더욱 접근하게 되는 것 같다고 진술하였다. 예를 들어 표면성장 실험에서 한지에 용액을 흡수시키고 일어나는 변화를 과학적으로 진술하게 했을 때 처음에는 학생들이 방향을 잡지 못하다가 조원들과 의견을 교환하는 과정에서 '시간에 따라 표면이 더욱 거칠어진다'는 진술을 이끌어내는 것을 관찰할 수 있었다. 해결 방안을 모색 할 때 선생님의 도움 없이 해결 방안을 생각할 수 있었는지를 묻는 문항에서는 표면성장 모듈을 제외한 나머지 두 모듈에서 리커트 척도 평균값 2.5이하의 부정적인 응답을 보였는데, 특히 주기가 일정한 흔들기 만들기 모듈에서는 학생들이 사이클로이드 곡선에 대한 사전 지식이 없었기 때

문에 해결 방안을 찾는 것이 불가능했다고 응답한 학생들이 대부분이었다.

4) 문제 해결 활동

조별 토론 과정을 거친 후 제시된 해결 방안 중 가장 적합하다고 판단한 방안을 가지고 실험을 설계하여 직접 수행하는 활동이 문제 해결 활동이다. 문제 해결 활동을 통해 얻은 결과를 분석하여 처음에 발견했던 문제가 해결된 경우 문제 해결의 단계로 마무리가 되는 것이다. 그러나 이 과정에서 새로운 문제가 발생한 경우에는 다시 해결 방안을 찾아내는 과정을 반복적으로 수행하여 최종적으로 문제를 해결할 수 있다. 문제 해결 활동 후 처음에 발견했던 문제를 과학적으로 해결할 수 있었는지, 문제 해결 활동 중 어려움은 없었는지를 설문과 면담을 통해 알아보았다. 먼저 문제 해결 활동 후 처음에 발견했던 문제를 해결할 수 있었는지를 묻는 설문 문항에 대한 응답 결과는 리커트 척도 평균값 3.8 이상의 대체로 긍정적인 반응을 보였다. 주기가 일정한 흔들기 만들기 수업에서 학생들은 이론적으로 배운 사이클로이드 곡선을 직접 그린 후, 곡선을 이용한 진자를 직접 만들어 진폭에 따른 주기 측정 실험을 해 보는 활동을 했다. 실험 결과 공기 저항 등의 실험 오차를 감안했을 때, 모든 조에서 단진자를 이용해 실험했을 때보다 주기가 진폭의 영향을 덜 받는 것을 확인할 수 있었다. 표면성장 수업에서는 시간적인 한계로 인해 모색한 해결 방안을 가지고 직접 실험을 수행하여 문제를 해결 할 수는 없었지만, 사진을 찍거나 동영상 촬영하여 최고점과 최저점의 차이를 측정하는 해결 방안을 조별로 모색하였다. 그 외에도 실험을 여러 번 하여 많은 데이터를 얻어서 오차를 줄이는 방법을 떠올린 조도 있었는데 이를 통해 앙상블 통계의 개념까지 연계하여 학습할 수 있었다.

메트로놈의 동기화 수업에서는 조작변인이 진동수

라는 것을 생각해 내기까지가 어려웠던 반면 실험설계 및 결과 분석 등의 문제 해결 과정은 학생들이 매우 수월하게 할 수 있었던 것으로 보인다.

3. 문제해결형 탐구활동 수업의 효과

수업의 효과에 대한 분석은 크게 두 부분으로 나누어 수업의 효과를 학생들이 어떻게 인식하고 있는지를 설문과 면담을 통해 알아본 것과, 실제로 수업을 통해 학생들의 실험설계 능력이 향상되었는지를 사전, 사후 실시한 검사 결과를 분석함으로써 알아보았다.

1) 수업의 효과에 대한 학생들의 인식

수업을 진행하면서 향상된 능력이 있다면 무엇인지를 묻는 문항에 대한 학생들의 응답 중 가장 많았던 것은 실험설계 능력에 관한 것이었다. 학생들은 수업을 진행하면서 먼저 예상 및 탐색하기 단계에서 탐색의 과정을 거쳐 실험을 하는 활동을 하게 되고, 그 후 문제 상황을 발견한 후 문제를 해결하는 활동을 하는 과정에서 또 다른 실험을 설계하여 수행하게 된다. 이 과정에서 대부분의 경우 학생들은 선생님이나 기타 주변의 도움 없이 스스로의 힘으로 해결 방안을 모색하여 실험을 설계해야 한다. 수업 관찰 시 처음에 학생들은 실험 설계를 막막해 하며 소극적인 모습을 보였지만, 이와 같은 활동이 반복되면서 차츰 체계적으로 실험을 설계하는 것을 볼 수 있었다.

실험설계 능력 외에도 지금까지의 따라하기 식 수업에서처럼 수동적으로 실험에 참여하는 것이 아니라 스스로 실험을 주도하려고 하는 것에 큰 차이가 있으며, 문제를 해결 할 때에도 보통 한두 가지만 생각하게 되는데 다른 조원들과 얘기하는 과정에서 문제를 넓은 시각에서 보게 되었다고 응답한 학생들도 있었다. 물음에 대한 구체적인 응답 유형은 표 9에 제시하였다.

표 9
탐구활동을 진행하면서 향상된 능력에 대한 응답 유형

구분	응답 유형
수업을 진행하면서 향상된 능력 (응답수)	- 실험 과정을 설계하는 능력(5명)
	- 현상 및 문제의 원인에 대해 여러 방면으로 생각하는 능력(4명)
	- 문제 상황을 스스로 해결하려는 의지(2명)
	- 자신의 의견을 논리적으로 말하는 능력(1명)

세 모듈을 사용한 수업에서 학생들이 가장 눈에 띄게 달라진 모습은 주도적이고 적극적으로 수업에 참여하게 되었다는 점이다. 단순히 매뉴얼을 따라하는 식으로, 혹은 ‘옆 사람이 알아서 하겠지’ 하는 의존적인 자세로는 문제의 원인을 파악할 수도, 해결할 수도 없기 때문에 학생들은 두 번째, 세 번째 수업에서 보다 적극적으로 문제 상황을 대하는 것을 볼 수 있었다. 정답을 알려주지 않기에 여러 방향으로 생각하여 현상의 원인을 찾고, 해결하기 위해 체계적으로 실험을 설계해야 했으므로 비록 세 번의 수업이었지만 이러한 능력이 향상되었다고 학생들이 인식한 것으로 보여진다.

수업의 내용적인 측면과 관련하여 이전에 가지고 있던 과학에 대한 생각을 수정하거나 새롭게 알게 된 것이 있는지를 묻는 문항에 대해서 학생들은 세 가지 모듈 모두에서 긍정적인 응답을 하였다. 구체적으로 알게 된 점이 무엇인지에 대해서는 첫 번째 수업에서는 ‘사이클로이드 곡선의 성질’, ‘단진자의 경우 진폭이 작을 때만 진폭이 주기에 영향을 미치지 않는다는 점’ 등으로 대다수의 학생들이 사이클로이드 곡선에 대해서 처음으로 알게 되었다고 응답하였다. 표면성장 수업에서는 우리가 당연하게 알고 있던 현상에 대해 ‘시간이 지날수록 경계면의 거칠기가 더 심해진다.’ 라는 식의 과학적인 진술을 하는 것을 처음 접해 본다고 응답한 학생들이 많았다. 또 어떤 물리량을 사용하여 이 현상을 과학적으로 설명할 것인지 그 방법적인 측면을 생각 해 볼 때에도 학생들은 마치 과학자가 된 것 같은 경험을 하였다고 진술하였다. 세 번째 모듈인 메트로놈의 동기화 수업에서는 실생활에서 박수소리가 서로 일치하게 되는 것과 같은 동조현상을 경험해 보았지만 ‘동기화’ 라는 용어에 대해서는 처음 들어보았다고 대부분 응답하였다.

탐구활동의 효과와 관련하여 실험을 직접 설계하는

수업이 실험과정이 모두 주어지는 수업보다 효과적인지를 묻는 문항에 대해 학생들은 리커트 척도 평균값 4.3으로 긍정적인 반응을 보였다. 이에 대한 학생들의 응답 유형별 분류는 표 10에 제시하였다.

실험과정이 모두 주어지는 기존의 수업 방식의 경우 왜 그렇게 하는지 생각하기 보다는 그 순서와 방법을 따르는 데만 치중하게 되는데 반해서, 본 수업에서는 학생들이 처음에는 다소 어렵게 느끼지만 직접 문제 상황을 해결하기 위한 실험설계를 해 보는 과정을 통해서 생각을 많이 하게 되고, 능동적으로 수업에 참여한 결과 수업의 내용이라든가 연구 절차 등이 오래 기억에 남았던 것으로 생각된다. 그 근거는 학생들의 실제 응답에서 찾을 수 있다.

교사: ...직접 실험을 설계하는 수업이 더 효과적일까?

학생(1): 네. 일단 조원들과 토론을 하면서 그 주제에 대해서 좀 더 깊이 다가가고, 문제를 해결하는 과정도 주어진 실험 과정을 그대로 따라가는 것이 아니라 직접 문제 상황을 해결하기 위한 방안을 생각해서 실험을 설계하고, 또 직접 실험을 해서 문제가 해결되었는지를 확인하는 이런 과정이 있었기 때문에 아무래도 수업 내용에 대한 기억도 더 오래 가는 것 같아요.

학생(2): 실험 주제만 주어지고 어떻게 하라는 과정이 주어지지 않잖아요. 과정이 주어지면 생각을 하지않고 그대로 따라서 하게 되는데요, 결과적으로 며칠 지나면 그 내용이 잘 생각이 안나요. 그런데 이런 수업은 제가 스스로 생각을 하면서 수업에 참여할 수밖에 없고, 또 조원들과 이야기를 하면서 하니깐 더 기억에 오래 남고, 많은 의견에 대한 생각도 더 해 볼 수 있는 기회가 되는 것 같아요.

표 10 실험과정이 모두 주어지는 수업보다 직접 실험을 설계하는 수업이 더 효과적인 이유에 대한 응답 유형

구분	응답 유형
실험을 직접 설계하는 수업이	- 능동적이고 주체적인 태도로 수업에 참여하게 되므로(4명)
	- 스스로 해결 방안을 찾는 데서 오는 만족감이 있으므로(3명)
더 효과적인 이유 (응답 수)	- 수업 도중 생각할 기회가 많아 기억에 오래 남게 되므로(3명)
	- 왜 그런지, 어떻게 할지의 생각이 실험을 이해하는 데 도움이 되므로(2명)

학생(4): 학교 수업 같은 경우에는 실험을 하면 보통 수행평가 같은 게 많아서 제약을 많이 받고, 실수하면 안된다는 부담감이 있는데 이런 수업에서는 자유롭게 실험을 해 보고, 원하는 결과가 나오지 않았을 때는 또 실험을 해보고...이런 자유로운 방식이 좋았어요..

스스로 궁금증을 만들고 이를 해결하기 위한 실험을 직접 설계하게 되기 때문에 수업 주제를 이해하는 데 도움이 되고, 또 조원들과의 토론과정, 자유로운 실험 분위기 등이 그 효과를 배가시켰을 것으로 생각한다.

실험을 직접 설계하여 문제를 해결한다는 특징 이외에도 학생들은 수업 중 토론의 비중을 매우 크게 생각하며 또한 긍정적으로 인식하는 것을 알 수 있었다. 수업을 통해 과학적인 의견을 제시하고 이를 자유롭게 논의하는 기회가 되었는지를 묻는 문항에 대해 학생들은 리커트 척도 평균값 4.6으로 매우 긍정적으로 응답하였다. 설문 문항과 관련된 질문의 면담을 통해 학생들의 구체적인 생각을 더 잘 알 수 있었는데, 문제를 해결하기 위해서 조원들 모두 의견을 내야만 했고, 의견을 내는 과정에서 현상이나 문제에 대해 스스로 더 많이 생각해 보게 되고, 나아가 다른 사람의 의견을 들었을 때 그것에 대해서 또 생각해 보게 됨으로써 훨씬 더 넓은 시각에서 사고할 수 있었다고 응답하였다. 결국 토론을 통해서 소극적인 자세가 아니라 적극적인 자세로 수업에 참여할 수 있고, 해결 방안 모색 및 실험설계 등 전반적인 수업의 과정에서 토론이 문제 해결에 큰 영향을 미쳤다는 것이 대다수 학생들의 공통된 의견이었다.

마지막으로 문제해결형 프로그램의 장점이 무엇이라 생각하는지, 앞으로 과학적 연구 활동에 참여할 의지가 있는지를 면담을 통해 알아보았다. 앞서 학생들은 본 프로그램과 기존의 학교 수업과의 가장 큰 차이점으로 수업의 주제, 즉 스스로 문제를 발견하고 해결해 나가는 점을 꼽았었다. 이와 같은 맥락에서 학생들은 문제해결형 프로그램의 장점에 대해 '스스로 문제를 해결하였을 때 오는 만족감이 크다', '스스로 생각하는 힘을 길러준다', '기억에 오래 남는다' 등의 응답을 하였다. 결국 스스로 생각하기 때문에 이해가 잘 되고, 이해가 잘 되기에 수업 내용이며 방식이 오래 기억에 남는 것이라 생각한다. 또한 실패한 경우, 다시 말하면 문제 해결이 되지 않은 경우에는 다른 해결

방안을 모색하여 다시 문제 해결을 시도해 보는 식의 허용적이고 자유로운 수업 분위기가 좋았다는 응답도 인상적이었다. 실제 수업 시간에 하는 실험은 대부분이 수행 평가 점수에 반영되는 경우가 많기 때문에 학생들은 자유롭게 의견을 교환할 기회도 없을 뿐 아니라 실패에 대한 두려움이 매우 크다. 그러한 시간에서 잠시 벗어나 과학자가 연구를 수행하듯이 자유롭게 토론하고 실험을 설계하고 창의적으로 문제를 해결하는 활동이 학생들에게 매우 색다른 경험이 된 것으로 보여진다.

세 가지 주제의 모듈을 모두 경험한 후 앞으로 과학적 연구 활동에 참여할 의지가 있는지를 묻는 물음에 학생들은 모두 긍정적인 응답을 하였다. 학생들의 응답으로는 '연구를 따분하게만 생각했는데 수업을 통해 흥미를 갖게 되어 계속 참여하고 싶은 마음이 생겼다', '이번 수업을 통해 과학자의 연구라는 것을 조금 맛보기 한 것 같아서 굉장히 흥미로웠다' 등이 있었는데, 학생들은 막연하게만 생각했던 과학자의 연구를 직접 경험했다는 사실만으로 무척 고무되어 있음을 알 수 있었다.

수업의 효과를 알기 위한 설문 문항과 면담에 대한 응답 결과를 분석한 결과, 본 프로그램은 학생들의 체계적인 실험설계 능력의 향상, 현상의 원인에 대해 자유롭게 생각해 보고 의견을 발표하는 기회를 가진 점 등에서 학생들에게 긍정적인 영향을 미친 것으로 보인다. 아울러 문제 상황을 발견하고 그것을 해결해 나가는 과정에서 과학자의 연구과정의 한 형태를 경험해 보고 이해한 것으로 보이며, 참여한 학생들 모두 앞으로 과학적 연구 활동을 계속해 보고 싶다는 의지를 드러냈다.

2) 실험설계 능력의 향상도 분석

문제해결형 탐구활동 수업의 효과에는 자유롭게 사고하고 발표하는 기회를 가진 것, 과학자의 연구형태를 경험해 봄으로써 과학적 연구 활동을 계속해 보고 싶다는 의지가 생긴 점 등 과학에 대한 학생들의 인식에 긍정적인 영향을 미친 것 등이 있었다. 하지만 이러한 정성적인 면들은 주로 학생들과의 면담이나 설문지를 통해 파악할 수밖에 없었으므로 본 연구에서는 수업의 효과를 객관적으로 살펴 보기위한 방법으로 수업의 전과 후에 실험설계 능력을 알아보기 위한 사전·사후 검사를 실시하여 그 향상 여부를 알고자 하였다.

문제해결형 탐구활동에서는 학생들이 과학자처럼 의문을 생성하고 해결 방안 모색을 위한 실험을 설계해보고 실험을 통해 문제가 해결되지 않은 경우 다시 실험을 설계하여 문제 해결 활동을 하는 식으로 여러 번 실험설계 활동을 하게 된다. 따라서 세 모듈을 수업한 후 학생들의 실험설계 능력이 실제로 향상되었는지 여부를 확인 하는 것은 문제해결형 탐구활동 수업의 효과를 검증하는 하나의 객관적인 근거가 될 수 있을 것이다. 실험설계 능력은 Fowler에 의해 1990년에 개발된 Diet Cola Test(DCT)를 가지고 측정하였다. 학생들에게 '다이어트 콜라에도 벌이 유인되는가'에 대한 의문을 해결하기 위한 실험을 수업 전과 후에 설계해 보도록 한 후, DCT 검사 점수 체크리스트에 따라 채점하여 향상도 정도를 살펴보았다. DCT 검사 점수 체크리스트는 총 14개 항목에 대해 서술하였는가를 묻고 있으며 서술하였으면 1점, 서술하지 않았으면 0점을 부여하는 식으로 점수를 매겼다. 이러한 방식으로 수업에 참여한 12명의 학생들의 사전·사후 검사 점수를 비교하여 향상 정도를 나타낸 것이 표 11이며, 학생의 번호는 면담 시 표기한 것과 동일하며 향상도가 큰 학생 순으로 배열하였다.

표 11에서 보는 것과 같이 실험설계 능력의 향상 정도를 알아보기 위한 검사 결과에서 수업 후 향상을 보인 학생은 총 12명의 학생 중 9명이었다. 총 14점 만점에서 학생들의 평균 사전 점수(소수 둘째 자리에서 반올림함)는 4.8점, 평균 사후 점수는 6.8점으로 평균 향상도 2.0으로 긍정적인 변화를 보였으며, 특히 5명의 학생은 향상 정도가 3 이상으로 수업 후 실험설계 능력 면에서 눈에 띄는 향상을 보인 것을 알 수 있었다. 특히하게도 사전 검사에서 보다 오히려 사후 검사에서 점수가 1점 떨어진 학생이 있었는데, 이 학생은 사전 검사 점수가 대상 학생들 중 눈에 띄게 높았던

학생이었다. 사전 검사에서 매우 우수하게 검사지를 작성했었고, 사후 검사에서도 사실상 미묘한 차이가 있었을 뿐 역시 좋은 점수를 받았기에 점수의 하락이 큰 의미는 없는 것으로 판단된다.

그림 5는 한 학생이 실제로 작성한 DCT 사전·사후 검사지의 일부이다. 그림 5에서 볼 수 있는 것과 같이 수업 전 DCT 검사에서 학생은 실험설계 시 구체적인 관찰 계획과 측정 계획을 포함시키지 않았고 변인통제도 벌의 종류와 상자를 놓는 환경을 언급하는 것에 그쳤다. 그러나 사후 검사에서는 '꿀벌 100마리, 말벌 100마리, 호박벌 100마리를 각각 풀어 놓고 그릇에 1분 이상 접근해 있었던 벌의 마리수를 측정한다'는 식으로 구체적인 관찰 및 측정 계획을 실험설계에 포함시킨 것을 확인할 수 있다. 또한 조작변인과 통제변인을 매우 구체적으로 표명하고 변인을 통제하는 방법도 구체적으로 계획하여 정교한 실험설계를 하였으며, '위의 과정을 수차례 반복하여 데이터를 얻어 오차를 최소화한다'와 같이 실험을 반복 수행할 계획을 포함시킨 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 프로그램 수업을 통해 수차례 실험설계를 해 봄으로써 보다 체계적으로 실험을 설계할 수 있게 된 것으로 보인다. 또한 프로그램을 적용한 탐구활동 수업 과정 중 여러 차례 실험을 반복 수행하는 과정을 경험함으로써 이것이 과학자의 연구에서 중요한 과정임을 인식한 것으로 해석될 수 있다.

학생들은 따라하기식 실험에 익숙해져 있다가 첫 수업 때 스스로 실험을 설계해야 하는 방식에 다소 어려움을 느꼈지만 두 번째, 세 번째 수업을 하면서 체계적으로 실험을 설계하여 문제를 해결해 나가는 데에 조금씩 익숙해진 것으로 확인되었다. 이는 다음의 실제 학생 응답에서 확인이 가능하다.

표 11
DCT 검사 사전·사후 점수 비교

구분	학생 (1)	학생 (5)	학생 (3)	학생 (4)	학생 (7)	학생 (2)	학생 (8)	학생 (6)	학생 (9)	학생 (10)	학생 (11)	학생 (12)	평균	비고
사전	3	5	2	5	4	7	4	4	6	6	3	9	4.8	문항만 점:14
사후	8	9	5	8	7	9	6	5	7	6	3	8	6.8	
향상도	+5	+4	+3	+3	+3	+2	+2	+1	+1	0	0	-1	2.0	

고 세심하게 관찰하게 되고, 넓은 시각에서 크게 볼 수 있게 된 것 같아요. 또 수업 전에는 어떻게 하는지 잘 모르고 중구난방으로 실험 설계를 했었는데, 자꾸 하다 보니까 순서와 체계가 잡히는 느낌이에요.

학생(4): 예전에는 연구라는 것이 구체적으로 어떻게 진행되는지 몰라서 문제를 발견했을 때 뭘 먼저 하는지 몰랐었는데, 수업 후에는 과정이 명확해 지니까 실험을 빨리 진행할 수 있게 된 것 같아요. 반복하다보니까 과학자의 연구과정을 자연스럽게 알게 된 것 같아요.

이상의 학생 응답에서도 확인할 수 있고, 앞서도 언급한 바 있지만 수업 과정 중 학생들은 문제 해결을 위해 끊임없이 사고하고 실험을 설계해 보고, 직접 수행하면서 문제를 해결해 나가게 된다. 이러한 반복적인 과정을 통해서 학생들은 단순히 매뉴얼 따라하기 식으로 수동적으로 참여하는 것이 아니라 스스로 실험을 주도하게 되고, 다른 조원들과 계속 토론하는 과정 속에서 문제를 넓은 시각에서 보는 능력을 학습하게 된 것을 알 수 있었다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 문제해결형 탐구학습 프로그램을 개발하고 고등학교 과학 영재학급 학생들에게 적용한 후 이에 대한 학생들의 인식, 단계별 활동 내용 및 수업의 효과를 분석하였다. 프로그램은 세 가지 주제의 모듈로 구성 되었으며 수업 시작 전에 학생들을 대상으로 사전 실험설계능력 검사를 실시하였고, 수업이 모두 종료된 후 사후 실험설계능력 검사, 설문조사 및 일부 학생들을 대상으로 심층 면담을 실시하여 결과를 분석하였다.

학생들은 현상을 과학적으로 설명하고, 주도적으로 실험을 설계하고, 여러 번 반복해서 실험을 수행하는 점 등을 문제해결형 탐구활동과 기존 수업과의 차이로 인식하였는데, 이는 문제해결형 연구과정의 핵심적인 특징에 해당하며, 따라서 학생들은 문제해결형 연구과정의 특성을 잘 인식하고 있는 것으로 보여진다. 나아가 본 프로그램을 통해 막연하게 생각했던 과학자의 연구과정을 직접 경험해 봄으로써, 이에 대한

긍정적인 인식의 변화가 생긴 것이 확인되었다. 학생들은 학습 내용 자체가 크게 어렵지는 않았으나 문제 상황을 발견한 후 해결 방안을 모색하는 과정은 다소 어렵다고 인식하였는데, 이는 사이클로이드, 표면성장, 동기화 현상 등 교육과정에서 다루고 있지 않은 내용들이 포함되어 있기 때문인 것으로 생각된다. 추후 문제해결형 모듈 개발 시에는 이러한 점을 고려하여 교육과정 내에 있는 친숙한 과학 개념을 이용하는 것이 필요할 것으로 생각된다.

학생들은 실험과정이 모두 주어지는 기존의 수업 방식에 익숙해 있다가 스스로 문제 상황을 발견하고 원인을 찾고, 해결 방안을 찾는 것을 처음에는 매우 힘들어하는 것처럼 보였지만 두 번째, 세 번째 수업을 통해 이러한 과정을 반복하다 보니 차츰 생각하고, 토론하고, 체계적으로 실험을 설계하는 것에 익숙해진 것을 관찰할 수 있었다.

탐색 후 활동에서 학생들은 기존에 알고 있던 과학 지식과 다른 문제 상황을 발견하게 되면서 다소 당황하는 모습을 보였으며, 이러한 문제 상황을 해결하기 위해 조원들과 다양한 의견을 제시하고 평가하는 과정을 거치면서 해결 방안을 모색하고, 제시된 해결 방안 중 가장 적합하다고 판단한 방안을 가지고 실험을 설계하였다. 그 결과 처음에 발견했던 문제를 대체로 해결할 수 있었으며 학생들은 스스로 문제 해결을 했다 는 점에서 매우 큰 만족감을 느끼는 것으로 드러났다.

수업의 효과 측면에서 학생들은 본 프로그램을 통해 실험을 설계하는 능력 및 현상의 원인에 대해 여러 방면으로 생각하는 능력 등이 향상되었다고 생각하였다. 실험설계 능력 면에서의 향상 정도를 측정해 보기 위해 수업의 전과 후에 DCT 검사를 실시하였고, 이를 분석해 본 결과, 대부분의 학생들이 수업 후 실험설계 능력 면에서 긍정적인 변화를 보인 것을 확인할 수 있었다. 학생들은 세 차례의 탐구활동 수업을 통해 여러 번 실험을 설계하는 활동을 하였는데, 이를 통해 실험 설계 시에 구체적인 관찰 계획과 측정 계획을 포함시키고, 변인을 구체적으로 표명하며, 실험을 반복적으로 수행할 계획을 포함시키는 등의 변화가 일어난 것을 확인할 수 있었다. 학생들은 또한 실험과정이 모두 주어지는 기존의 수업 방식보다 실험을 직접 설계하는 수업을 할 때, 더 능동적인 태도로 수업에 참여하게 되고, 수업 도중 생각할 기회가 많기 때문에 더욱 기억에 오래 남는다고 인식하였으며, 또 스스로 문제

를 해결한 데서 오는 만족감이 매우 큰 것으로 확인되었다.

문제 상황을 해결하기 위한 방안을 모색하는 과정에서 학생들은 조원들과 토론하며 의견을 교환하고 이를 비판하는 기회를 자주 갖게 되는데, 학생들은 이러한 토론식 수업을 매우 낯설어하면서도 문제 해결에 중요한 부분을 차지한다고 인식하였다. 스스로 의견을 내는 과정 뿐 아니라 다른 사람의 의견을 비판하는 과정에서 생각할 기회를 많이 갖게 되어 이전에 생각하지 못했던 부분까지 생각해 볼 수 있게 되고, 그러한 과정 속에서 문제를 해결할 수 있는 실마리를 얻게 되었다는 의견이 많았다.

문제해결형 탐구활동을 통하여 학생들은 문제 상황을 발견하고 이를 해결하기 위한 방안을 모색하고, 문제를 해결하기 위한 활동을 하고, 그러한 과정에서 여러 번 실험을 반복하면서 결국 문제를 해결해 나가는 활동을 하였다. 또한 이러한 연구방법이 과학자의 연구과정 중 한 형태라는 것을 잘 인식하고 있는 것으로 보이며 실험을 설계하는 능력 및 현상에 대해 여러 방면으로 생각해 보는 태도, 자유롭게 의견을 제시하고 논리적으로 비판하는 태도 등에 본 프로그램이 긍정적인 영향을 미친 것으로 판단된다.

한편 이러한 활동을 통해 학생들이 과학자의 연구형태가 항상 정형화되어 있다고 생각하지 않도록 안내하는 것이 필요하며 추후 보다 다양한 주제의 문제해결형 탐구학습 모듈이 개발되어 장기간, 더 많은 학생들에게 적용될 수 있다면 구성주의적 과학교육을 실현하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

국문 요약

이 연구는 과학자의 연구과정을 반영한 문제해결형 탐구학습 프로그램을 이용하여 고등학교 과학 영재학급 학생들을 대상으로 수업을 한 후, 문제해결형 탐구활동 수업에 대한 학생들의 인식, 활동 내용 및 수업의 효과를 분석한 것이다. 이를 위해 고등학교 부설 영재학급 1학년 학생 12명을 대상으로 사전 실험설계 능력 검사(DCT)를 한 후, '주기가 일정한 흔들이 만들기', '표면성장 실험', '메트로놈의 동기화현상'의 세 모듈을 적용하여 수업을 하였고, 그 후 사후 실험설계능력 검사, 설문과 학생 면담을 실시하였다. 각각의 모듈은 과학적 의문의 생성, 해결 방안 모색을 위

한 실험설계, 문제 해결 활동과 같은 일련의 과정들로 이루어져 있어 이를 통해 학생들이 문제해결형 연구형태를 경험할 수 있도록 하였다.

조사 결과 학생들은 주어진 과정에 따라 기계적으로 하는 기존의 학교 수업과는 달리 자기주도적으로 실험을 설계하고, 해결 방안을 다양한 각도로 모색하여 직접 문제를 해결한다는 점에서 문제해결형 탐구활동과 기존 수업과의 차별성을 인식하였다. 수업 과정 중 학생들은 발견한 문제를 해결하기 위해 끊임없이 사고하고 실험을 설계 해 보고, 직접 실험을 수행하면서 마침내 처음에 발견했던 문제를 해결할 수 있었다. 이러한 반복적인 과정을 통해 학생들은 과학자의 연구과정의 한 형태를 경험할 수 있었으며, 문제해결형 연구과정에 대한 이해를 바탕으로 과학자의 연구과정에 대한 인식의 변화도 생겼음을 확인할 수 있었다.

수업의 효과 면에서 본 프로그램은 학생들의 체계적인 실험설계 능력의 향상, 현상의 원인에 대해 자유롭게 생각해 보고 의견을 발표하는 기회를 갖게 한 점 등에서 학생들에게 긍정적인 영향을 미친 것으로 보인다. 실험 설계 능력 사전·사후 검사 점수를 비교한 결과, 수업 후 대부분의 학생들은 실험설계 능력에 향상을 보였다. 기존의 따라 하기 식 실험에 익숙해져 있던 학생들은 처음에는 스스로 실험을 설계하는 데 다소 어려움을 느꼈지만 두 번째, 세 번째 수업을 하면서 체계적으로 실험을 설계하여 문제를 해결해 나가는 데에 조금씩 익숙해진 것을 확인할 수 있었다.

주요어 : 문제해결형 탐구학습, 과학자의 연구과정, 실험설계

참고 문헌

- 강성주, 김현주, 이길재(2011). 과학영재들을 위한 창의적 탐구활동 프로그램. 북스힐.
- 권용주, 정진수, 박운복, 강민정(2003). 선언적 과학 지식의 생성과정에 대한 과학 철학적 연구 - 귀납적, 귀추적, 연역적 과정을 중심으로. 한국과학교육학회지, 23(3), 215~228.
- 권용주, 정진수, 이준기, 이일선(2007). 과학지식의 성과 평가. 메이드.
- 김연숙(2010). 아이디어산출형 탐구실험과정에 나타

난 창의적 아이디어 생성과정 이해. 한국교원대학교 대학원 석사학위논문.

김영관, 신호심, 김현주(2010). 모델제시 형태의 연구 과정을 반영한 탐구학습 프로그램의 개발 및 적용. 새물리, 60권 10호, 1102~1113.

김지영, 하지희, 박국태, 강성주(2008). 중학교 과학 영재의 과학 창의성 신장을 위한 문제해결형 탐구 실험에서의 학생간 대화 분석. 영재교육연구, 18(1), 1~21.

박영신(2006). 교실에서의 실질적 과학탐구로서 과학적 논증 기회에 대한 이론적 고찰. 한국지구과학회지, 27(4), 401~415.

신호심, 김현주(2009). 과학자의 연구과정이 가시화된 표면성장에 관한 탐구학습 프로그램 개발 및 적용. 새물리, 58(5), 530~539.

신호심, 김현주(2011). 문제해결형 탐구실험에서 나타난 영재학생들의 논의 양상 및 논의활동에 대한 인식. 한국과학교육학회지, 31(4), 567~586.

양일호, 정진수, 권용주, 정진우, 허명, 오창호(2006a). 과학자의 과학지식 생성 과정에 대한 심층 면담 연구. 한국과학교육학회지, 26(1), 88~89.

양일호, 정진우, 김영신, 김민경, 조현준(2006b). 중등학교 과학 실험 수업에 대한 실험 목적, 상호작용, 탐구 과정의 분석. 한국지구과학회지, 27(5), 509~520.

임희영, 강성주(2009). 문제해결형 일반화학 실험에서 나타나는 대학생의 반응 유형. 한국과학교육학회지, 29(2), 193~202.

하지희, 이화중, 강성주(2009). 모델링 활동에 대한 과학고등학교 학생들의 인식. 영재교육연구, 19(1), 184~202.

Chin, C. A., & Brown, D. E. (2002). Posing problems for open investigations: What questions do pupils ask?. *Research in Science & Technological Education*, 20(2), 269-287

Fowler, M. (1990) The diet cola test. *Science Scope*, 13(4), 32-34.

Gott, R., & Duggan, S. (1995). *Investigative work in the science curriculum*. Buckingham: Open University Press.

Jones, A. T., Simon, S. A., Black, P. J., Faibrother, R. W., Watson, J. R(1992). *Open work in science: Development of investigations in schools*. Hatfeild: Association for Science Education.

NRC (National Research Council, 2000). *Inquiry and the national science education standards: A guide for teaching and learning*. Center for Science, Mathematics, and Engineering Education. Washington, D. C.: National Academy Press.

Roychoudhury, A. & Roth, W. M. (1996). Interaction in an open-inquiry physics laboratory. *International Journal of Science Education*, 18(4), 423-445.