

서술적 실험 설계분석을 통한 과학 영재 창의성 탐색

김세미 · 조미영 · 김성원*

이화여자대학교

Exploring the Creativity of the Scientific Gifted from Analyzing Descriptive Experiment-Design

Kim, Semi · Cho, Miyoung · Kim, Sung-Won*

Ewha Womans University

Abstract: This study investigated factors of creativity and interaction between factors that are revealed when gifted students designed scientific experiments. For this, we firstly developed items which required the written process of designing experiments to explore creativity factors. Then, we used these items as a part for letters of self-introduction to students who applied for 2011 correspondence education of general physics for the Korea Physics Olympiad. 513th letters of self-introduction which were analyzed to investigate factors of creativity in view of creativity definition after researchers' consultation, which specifically means a combination of divergent and convergent thinking. The results were as follows; (1) in the step of hypothesis building, we could not only find Originality and the Flexibility & Fluency, which were factors of divergent thinking, but also Coherency and Elaborateness, which were factors of convergent thinking. (2) in the step of the hypothesis testing, we could explore Originality, Flexibility & Fluency in divergent thinking and Coherency, Reliability, Clarity, Elaborateness in convergent thinking. (3) we also figured out three creativity types of gifted students from the viewpoint that creativity is a consequence of interaction between divergent thinking and convergent thinking; a) Type A showed divergent and convergent factors of creativity in the step of hypothesis building. However, type A did not include divergent factors of creativity on the process of the hypothesis testing. b) Type B had divergent and convergent factors of creativity on the process of the hypothesis testing, but it had not convergent factors of creativity on the step of hypothesis building. c) Finally, in Type C, only divergent factors of creativity appeared on the process of the hypothesis testing, but convergent factors of creativity could be found on the step of hypothesis building and hypothesis testing.

Key words: gifted student; creativity; experiment design; science writing

I. 서 론

창의적 접근을 통한 과학적 문제 해결 능력의 신장은 영재교육에서 중요하게 다뤄지는 목표 중 하나이다(Treffinger & Isakesen, 2005). 학생들은 그들의 일상에서 접하는 다양한 문제를 해결하는 실생활의 경험을 바탕으로 지식을 습득하고 구성한다(Phillips, 1995). 따라서 교육자들은 교육을 통해 학생들이 실생활과 관련된 다양한 문제들을 직접 경험할 수 있도록 기회를 제공해 주기 위해 노력해야한다. 하지만, 과학기술의 발달로 급격한 변화가 이뤄지고 있는 21세기 지식정보기반사회에서 학생들이 접하는 일상의

문제들은 그 내용과 특징이 매우 새로우며 다양하다. 따라서 교육자들은 문제들을 해결하는 접근방식에서 요구되는 창의성을 그 어느 때보다 강조하고 있다. 특히, 과학 영역에서 창의적 문제해결력은 과학지식 부분과 과학을 탐구하는 과정, 그리고 창의적으로 문제를 해결하는 능력이 모두 포함된 개념으로 그 영역이 확장되어(조연실 외, 2008), 일반학생들 뿐만 아니라 과학 영재들에게 학습시켜야 할 중요한 영역으로 제기되고 있다(한국교육개발원, 1999). 김혜순, 강기숙(2007)에 따르면, 과학 창의적 문제해결력이란 과학적 지식을 바탕으로 한 과학적 사고과정이며, 단순히 학문 분야뿐만 아니라 정보화 사회에서 요구되는

*교신저자: 김성원(sungwon@ewha.ac.kr)

**2011.10.10(접수) 2011.11.07(1심통과) 2011.12.28(2심통과) 2012.01.06(최종통과)

***본 연구는 한국연구재단을 통해 교육과학기술부의 세계수준의 연구중심대학육성사업(WCU)으로부터 지원받아 수행되었습니다(R32-20109).

자질을 일컫는다. 또한 박인숙, 강순희(2011)는 과학 창의적 문제해결력을 과학적 문제를 창의적으로 해결하는 능력으로 간주하여, 문제인식에서 시작해서 가설설정, 실험설계 및 수행, 결론도출로 이르는 모든 과정을 포괄하는 것이라고 주장했다.

이러한 맥락에서 볼 때, 과학적 탐구 능력은 창의적 접근을 통한 문제해결능력 신장에 매우 중요한 역할을 한다(박인숙, 강순희, 2011). 창의적인 접근을 통한 문제해결을 위해서는 과학적인 사고가 반드시 요구되는데, 이러한 과학적 사고는 과학탐구능력과 과학적 태도를 통해 신장될 수 있다(홍순원, 이용섭, 2008). 특히 과학탐구능력은 창의적 문제해결능력과 밀접한 관련이 있는데, 과학탐구 중에서도 실험을 설계하는 과정에서 창의적 문제해결력과 연관성을 살펴볼 수 있다(Chinn & Malhotra, 2002). 이는 과학탐구의 목표가 탐구과정을 통하여 단순히 학생들의 생각을 입증하는 것이 아니라 학생의 지식을 실제적 활동과 문제해결과정에 적용하여 의미 있는 결과를 도출해 내는 것이기 때문이다(홍순원, 이용섭, 2008). 즉, 학생들은 실험설계 과정에서 상황에 따라 적절한 지식을 활용하여 문제를 인식하고, 해결방법을 고안하는 일련의 과정들을 통해 창의적 문제해결력을 발휘하는 것이다. 또한 학생들이 스스로 실험을 설계하는 과정은 과학탐구과정에 대한 학생들의 흥미를 높이고 적극적인 태도를 형성하게 한다는 점에서 의의가 있다(이윤하, 강순희, 2011). 그러나 실험설계 관련연구들은 많이 실행되지도 않았을 뿐만 아니라(박종원, 2004), 학교 현장에서 실시되고 있는 과학탐구학습은 주로 실험 수행이나 자료 해석과 같은 일부분에 집중되어 있어(전영석, 박종찬, 2006; 박남이, 임낙룡, 박경화, 2005) 과학교육에서 실험설계에 관련한 연구 및 학습 필요성의 인식이 요구된다.

한편, 최근 과학교육에서는 과학적 탐구 과정의 일부분으로서 학생들의 창의적 문제해결력을 자극하기 위해 과학 글쓰기 활동에 주목하고 있다(구슬기, 박일우, 2010). 학교에서 주로 실행되고 있는 탐구활동은 연구문제와 방법 등의 과정이 미리 제시된 경우가 대부분이며, 학생 스스로 수행하고 있는 활동의 목적이나 의미 등의 중요한 내용을 인지하지 못하고 단순히 교사의 설명에 의해 활동하는 경우가 많아(변선미, 김현주, 2011; Tamir & Lunetta, 1981; Germann, Haskins, & Auls, 1996; Bell *et al.*, 2003) 학교현

장에서 실시되고 있는 기존의 탐구 활동만으로 학생들의 창의적 문제해결력을 함양시키는 데는 무리가 있기 때문이다. 또한 학교 현장에서는 주로 탐구의 일부분에 국한된 활동만을 제시하고 있기 때문에(전영석, 박종찬, 2006; 박남이, 임낙룡, 박경화, 2005) 학생들의 창의성을 충분히 자극하지 못한다. 하지만 과학 글쓰기는 자신의 생각을 창의적으로 자유롭게 기술할 수 있는 기회를 제공하기 때문에 과학적 탐구 과정에서 학생들의 창의성을 자극할 수 있는 훌륭한 도구라 할 수 있다(구슬기, 박일우, 2010). 또한 과학탐구의 설계에서부터 수행결과분석, 분류, 설명에 이르기까지의 모든 과정이 과학의 언어를 통해서 실행되기에(Lemke, 1990; Osborne, 2002; Norris & Phillips, 2003) 실험설계 과정을 글로 표현하는 것은 학생들의 창의적 실험설계 과정을 살펴보기에 효과적이다.

본 연구는 과학영재들의 서술적 실험설계과정을 살펴보기 위하여 2011년 한국 물리 올림피아드 여름통신학교 지원자들의 자기소개서를 통해 과학 실험을 창의적으로 설계하고 이를 기술할 수 있도록 문항을 개발하였다. 자기소개서는 다양한 목적을 지향하는 글이기 때문에(최지은, 전은주, 2009), 지원한 학생들의 창의적 소양을 다면적으로 탐색할 수 있는 기회를 제공한다는 장점이 있다. 더불어 학생들의 제출물이 고민과 노력의 산물이라는 글쓰기 자체의 장점을 더욱 부각시킬 뿐만 아니라 그 과정자체가 매우 창의적이고 자유로워, 학생들의 실험설계과정에서의 창의성을 면밀히 살펴볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 2011년 한국 물리 올림피아드 여름통신학교 지원자들의 자기소개서에 제시된 서술적 실험설계 문항을 개발하여 과학영재들의 서술적 실험설계에서 나타난 창의성 요소들을 살펴본 후, 과학영재들의 서술적 실험설계 창의성 유형을 탐색하였다.

II. 이론적 배경

1. 과학탐구에서 실험설계 과정

과학탐구란 기본적인 탐구과정을 거쳐 변인 찾기와 변인 통제, 가설설정 및 검증, 조작적 정의의 실험 수행, 자료해석, 모형구성 등의 통합 탐구 과정을 통해 문제를 해결하고 지식을 구성하는 것을 의미한다(Karplus,

1977). 즉 과학에서의 탐구는 과학지식체계보다 과학 지식을 획득하는 과정, 방법, 혹은 활동을 강조하며, 흔히 문제해결, 발견, 반성적 사고의 과정이 이에 포함된다(정완호 외, 1998). 그러나 많은 학생들이 과학 탐구 활동에 참여할 때, 통합적인 과학탐구 능력이 요구되는 문제해결 상황에서 어려움을 많이 느낀다(Pines & West, 1986). 특히, 통합적 과학탐구 중에서도 학생들은 가설과 변인의 관계를 제대로 파악하지 못하거나, 실험에서 설정된 가설에 적절한 실험을 설계하지 못하는 것과 같은 어려움을 보이고 있다(Van Jooligen & De Jong, 1991; Germann, Haskins & Pauls, 1996). 그러나 과학탐구에서 실험 설계는 비판적 사고력과 창의성을 요구하는 가장 핵심적인 과정이다(김신자, 최병순, 2005). 또한 실험설계는 미국의 국가과학교육기준에서도 탐구로서의 과학에서 강조하는 있는 기준이기도 하다(구인선, 이종원, 강대호, 2004). 이는 실험설계과정이 단순히 실험의 차례를 설계하는 과정뿐 아니라 가설을 설정하고 변인을 통제 및 조작하고 가설검증방법을 계획하는 등의 복잡한 과정을 내포하고 있기 때문이다. 즉, 과학탐구활동에서의 실험설계 과정은 가장 복잡하면서도 동시에 가장 핵심적인 영역인 것이다.

여러 학자들은 실험설계 활동에서 나타나는 다양한 요소들에 대해 언급하였다. Barker와 Dunbar(2000)는 실험설계의 특성을 분석하였으며, 실험설계 과정에 실험조건과 통제조건이 포함된다고 주장하였다. 실험조건이란 변인들 사이의 관계를 파악하여 독립변인과 종속변인을 인지하는 것이며, 통제조건이란 변인들을 통제하여 가설에 적합한 실험으로 설계하는 과정을 일컫는다. 박종원(2004)은 가설검증을 위한 실험설계과정을 살펴보는 연구에서 실험설계의 구성요소를 실험방법, 실험결과의 예측, 가설검증으로 요약하였다. Krajcik 등(1998)은 탐구모형과정의 하나로 실험설계와 과정계획단계를 제시하였으며, 이때 실험설계와 과정 계획의 요소로는 변인선정, 실험설계, 측정계획, 자료수집 계획 등이 포함된다. Chinn과 Malhotra(2002)의 연구에서는 실험설계의 과정으로 변인선정, 실험절차, 변인통제, 측정계획의 4가지 요인을 제시하였다. 양일호, 류철진, 임성만(2009)의 실험설계 활동에서의 과정요소를 탐색하는 연구에서는 실험설계 과정요소를 다음과 같이 제시하고 있다. 실험설계 활동의 요소로는 문제 확인, 준비물 열

거, 실험대상에 대한 고려, 변인탐색, 변인 소거, 변인 선택, 변인 조작 방법 계획, 환경적 변인통제 계획, 생물적 변인통제 계획, 관찰측정 방법 계획, 자료 수집 계획, 자료 해석 계획, 실험의 반복 계획, 측정의 반복 계획, 안전수칙이 포함되어 있으며 기존의 연구들에 비해 보다 구체적인 요소들로 구성되어 있다.

2. 실험설계 과정에서의 창의성 요소

창의성이란 어떤 문제나 상황을 민감하게 지각하고 기존의 관계 양식이나 해결 방법으로부터 탈피하여 새롭고 독특한 관계 양식이나 해결 방법을 제시할 수 있는 능력을 의미한다(김혜순, 강기숙, 2007). 창의적 사고를 측정하기 위한 연구는 Guilford(1956)로부터 시작되었다. 그는 인간의 사고형태를 수렴적 사고와 확산적 사고로 구분하였고, 창의성을 측정하는 수단으로 확산적 사고인 유창성, 융통성, 독창성, 정교성을 제시하였다(심재영, 김종득, 김언주, 2005). Guilford의 창의성에 대한 연구를 시초로 Torrance(1984) 역시 창의적 사고의 중요한 영역으로 유창성, 융통성, 독창성, 정교성의 발산적 영역을 강조하였다. 최근 연구에는 창의성이 이러한 발산적 영역뿐만 아니라 수렴적 영역, 인지적, 인성, 동기적 그리고 환경적 영역들의 상호작용까지 모두 고려하는 통합적 관점이 나타나고 있다(김혜순, 강기숙, 2007).

Cropley와 Urban(2000)은 창의적 산출물의 생성 과정을 7단계로 나누고, 초기단계에는 수렴적 사고가, 중간 단계에서는 발산적 연관적 사고가, 그리고 마지막 단계에서는 산출물의 적절성과 효과에 대한 판단을 하는 사고가 중요하다고 기술하고 있다. 김정자, 김아영, 조석희(2000)는 창의적 사고를 확산적 사고와 비판적, 혹은 수렴적 사고를 모두 포함하는 의미로 인식하였으며, 확산적 사고에는 유창성, 융통성, 독창성을, 비판적 사고에는 정교성이 필요하다고 하였고, 정교성은 다시 명료화, 상세화, 정밀화, 세련화로 구성될 수 있다고 주장하였다. 마찬가지로 조연순과 최경희(2000)의 연구에서도 창의적 사고영역으로 확산적 사고와 비판적 사고를 제시하였으며, 확산적 사고에 유창성, 융통성, 독창성을, 비판적 사고에는 적절성, 신뢰성, 정교성을 구성요소로 선정하였다. 창의성을 인지적 측면에서 연구한 박종원(2004)은 일반적 창의성에 강조되어 왔던 발산적 사고 뿐 아니라 수

렴적 통찰도 강조하였으며 기존의 지식이나 사건에 새로운 관점을 연관시키는 연관적 사고의 중요성도 언급하였다. 그는 확산적 사고로 유창성, 융통성, 비습관적 사고를 제시하였으며, 수렴적 사고에는 정합성, 통합성, 단순성을, 마지막으로 연관적 사고로는 유사성 사고, 비유사성 사고를 제시하여 창의성의 요소를 설명하였다.

Ⅲ. 연구 방법 및 절차

본 연구는 2011년 한국 물리 올림피아드 여름통신 학교 지원자들의 자기소개서 실험설계 문항을 통해 과학 영재들의 창의성요소와 그 서술적 특성을 알아 보는데 목적을 두고 있다. 이를 위해 창의적으로 과학 실험설계를 요하는 검사문항을 개발하였으며, 과학영재들의 서술을 통해 드러나는 실험설계의 창의성 요소를 귀납적으로 탐색하였다. 연구자들은 전문가 패널의 구성에서부터 수집된 자료 분석까지 다음의 연구 절차 및 방법을 통해 연구를 진행하였다.

1. 전문가 패널의 구성

연구자 3인은 연구 초기에 연구자를 포함한 총 6인의 전문가 패널을 구성하여, 연구의 전반적인 내용과 진행 사항에 대해 검토를 받을 수 있도록 연구를 설계하였다. 전문가 패널은 물리학 및 과학 교육 전문가 1인과 과학 교육 전문가 1인, 과학 교육 박사과정 중인 현직 교사 1인, 과학 교육 박사과정 2인 그리고 물리학 박사과정 1인으로 구성되었다. 연구 초기부터 구성된 전문가 패널은 연구가 시작되어 진행되는 동안 지속적으로 연구에 적극 참여하였다. 전문가 패널의 활동은 과학 교육자와 물리학자의 다양한 견해 통합을 통해 연구의 신뢰성을 높일 수 있었다는 점에서 의의를 갖는다. 또한 연구가 진행되는 과정 중에 지속적으로 연구의 설계, 진행 그리고 결과 분석에 대한 전문가 패널의 비판적인 평가는 연구자들의 반성적 사고를 자극해 연구의 질을 높이는데 큰 역할을 하였다.

2. 연구절차

1) 실험 설계에서 창의성 요소 추출

연구자들과 전문가 패널은 과학 영재에게 요구되는

실험 설계 과정에서의 창의성 요소를 추출하기 위해 국·내외 과학 교육 관련 학술지에 게재된 논문과 전문가들의 저서들을 대상으로 문헌연구를 진행하였다. 과학의 본성 상 모든 과학적 실험 절차가 하나의 일정한 방법으로 이뤄지는 것은 아니다 (AAAS, 1993; Bauer, 1994; Feyerabend, 1993; NRC, 1996; Shapin, 1996). 이에 본 연구는 과학적 실험 설계와 관련된 논문들의 분석을 바탕으로 공통적으로 포함되며, 중요하게 여겨지는 요소를 추출하였다. 이후 추출된 실험 설계의 단계에서 필요한 창의성 요소를 탐색하기 위해, 먼저 일반적인 창의성 이론에 대한 이해를 바탕으로 과학 영역에서 특별히 요구되는 창의성 요소들을 탐색하였다. 창의성과 관련된 문헌연구 과정에서 연구자들은 전문가 패널의 검증과 더불어 김은주 등(2008)과 조연순, 최경희(2000)가 제시한 창의성 개념의 연속선상에서 과학 영재의 창의성을 발산적 사고와 수렴적 사고의 상호작용의 결과로 정의하였다. 또한 많은 선행 연구들에서 정의하는 다양한 사고과정을 통해 창의성 요소들을 추출하였다. 창의성 요소 추출결과 확산적 사고에는 유창성, 독창성, 융통성이 수렴적 사고에는 정합성, 통합성, 단순성, 적절성, 신뢰성, 명료성, 상세성, 정밀성, 세련성, 정교성이 포함되는 것으로 나타났다. 연구자들은 각각의 요소들의 정의를 먼저 인지 한 후에, 영재들의 서술적 실험설계에서 나타나는 요소들은 어떠한 것들이 있는지, 또 그러한 요소들은 어떠한 형태로 발현되었는지를 귀납적으로 분석하여, 서술적 실험설계과정에서의 창의성 요소들을 재정의 하였다.

2) 과학 실험 설계에서의 과학 영재의 창의성 탐색을 위한 자기소개서 문항 개발

연구자들은 문헌연구를 바탕으로 영재 선발의 일반적인 형태인 자기소개서를 통해 과학 영재의 과학 실험 설계 과정에서의 창의성 탐색 도구를 개발하였다. 검사문항은 과학 실험 설계 과정을 가설설정(실험목표)과 가설검증(실험과정)의 단계로 구분하여 제시하였으며, 영재들의 창의성이 발현될 수 있도록 개발되었다. 창의성 요소와 그것의 발현형태를 탐색하기 위해서는 정답이 존재하지 않는 문제를 제시해야 하기 때문에(Isaksen & Treffinger, 1991) 학생들의 사고가 제한되지 않고, 자유롭게 표현될 수 있도록 열린 답안으로 문항을 개발하였다. 이러한 특징을 강조하

기 위해서 학생들에게 몇 가지의 제한된 실험도구만을 제시한 후, 스스로 문제를 구성하고 이에 대한 해결과정을 포함하여 실험을 설계하도록 하였다. 이 때, 학생들이 실험을 직접 실행하거나 실험결과를 도출하도록 요구하지는 않았는데, 이는 학생들이 그들의 창의력을 충분히 발휘하여 머릿속에서 실험을 구상하는 과정을 통해 창의성이 발현될 것이라 생각되었기 때문이다. 즉, 실제 실험을 설계하는 것과 같이 구체적인 사고를 요구하되, 실험 도구나, 실험 환경 등의 제약을 두지 않고 실험을 자유롭게 설계 할 수 있도록 하는 것이 학생들의 창의성 요소를 탐색하는데 적합하다고 판단되었다.

한편, 영재들의 실험설계과정을 제시하는 과정에서도 자유롭게 창의성 발현을 할 수 있도록 서술적 표현을 통해 실험설계를 하도록 요구하였다. 서술적으로 자신의 사고를 표현하는 것은 학생들이 과학적 설명과 이에 대한 정당화 과정이 필요함으로, 자신만의 언어와 생각을 표현할 기회를 제시한다(송유미 외, 2011). 이에, 서술적 표현은 창의성 발현의 자유성을 더욱 부각시켜 학생들의 창의성 요소와 각 요소의 발현형태를 면밀하게 탐색할 수 있도록 도와준다. 본 연구의 목적은 이미 발견된 창의성 요소들을 확인하는 것이 아니고, 학생들의 실험설계과정을 통해 귀납적으로 창의성 요소를 탐색하는데 있으므로, 이러한 서술적 표현은 창의성 요소를 정밀히 탐색할 수 있도록 도와주며, 요소들의 발현형태 또한 상세히 살펴볼 수 있게 해준다는 점에서 의의가 있다.

과학영재들의 서술적 실험설계과정에서 발현된 창의성 요소를 바탕으로 창의성 유형탐색도 실시되었다. 창의성 유형이 탐색되기 위해서는 창의적 실험설계의 조작적 정의가 선행되어야 하기에, 연구자들의 합의를 통해 창의적 실험설계를 다음과 같이 정의하였다. 창의적 실험설계란 발산적 사고와 수렴적 사고가 조화롭게 발현되어 상호작용을 하는 설계과정이다. 따라서 이러한 정의에 부합하도록 창의적 실험설계를 크게 가설 설정, 가설검증, 발산적 사고, 수렴적 사고의 4 영역으로 분류하고, 학생들의 서술적 실험설계에서 발현된 요소들을 각 영역에 표시하여 요소들의 분산 형태를 살펴보고, 공통적인 형태를 보이는 것을 하나의 유형으로 인식하였다.

문항에서 제시된 실험도구는 전문가 패널의 비판적인 검토를 바탕으로 설정된 것으로서 학생들의 창의

성 발현을 저해하지 않는 수준에서, 학생들이 실험을 설계하는 방식에 따라 발산적으로 아이디어가 생산될 수 있도록 제시하였다. 또한 실험 재료는 실생활에서 쉽게 구할 수 있는 것이라는 조건만 제시하여 실험도구를 보다 자유롭게 선택하도록 하였다. 학생들은 이러한 문항을 통해 스스로 적합하다고 생각되는 실험도구와 재료를 선택하여 가설을 설정하고, 이를 검증할 수 있는 단계를 서술하도록 요구되었다.

서술적 실험설계를 탐색함에 있어 창의성 요소와 요소의 발현 형태는 이미 발견된 창의성 요소들을 확인하는 것이 아니고, 학생들의 실험설계과정을 통해 귀납적으로 탐색하는데 그 목적이 있다.

3. 연구 대상

영재 학생들의 실험 설계의 과정에서 창의적 요소를 탐색하기 위해 2011년 한국 물리올림피아드의 일반물리 통신교육에 지원한 학생 중 513명의 자기소개서를 분석하였다. 연구에서 분석의 대상이 된 513명의 학생 중 38은 중학생이었으며, 그 외 학생 중 360명은 과학 고등학교, 115명이 일반 계 고등학교에 재학 중인 학생이었다. 성별로는 남학생이 513명 중 484명이었으며, 29명이 여학생이었다. 자기소개서 분석의 대상이 된 513명의 학생들은 모두 학교 성적이 상위 10%이내인 학생들로서, 적성 분야에서 상위 15~20%범위에 드는 아동을 영재성이 있는 것으로 간주할 수 있다는 Gagné(1991)의 정의에 모두 포함이 되는 학생들이었다.

4. 자료 분석

문헌연구로부터 추출된 창의적 요소가 실제 학생들이 실험을 설계하는 과정에서 어떻게 나타나는지 탐색하기 위해 귀납적 접근을 통해 학생들이 서술적으로 설계한 실험과정을 분석하였다. 연구자들은 연구의 신뢰성을 높이기 위해 Lincoln과 Guba(1985)가 제시한 삼각기법을 기초로 하여 자료를 분석하였다. 즉, 3인의 연구자와 그 외 전문가 패널 1인이 분석에 참여하여 자료 분석에 대한 연구자간의 통합을 이끌어 신뢰도를 높였다.

수집된 자료는 2차례의 분석절차를 통해 분석되었으며, 그 내용은 다음과 같다. 우선, 2인의 연구자가

513명의 자기소개서를 검토한 뒤, 가설설정과 가설 검증의 단계에서 나타나는 창의적 요소들을 코딩하였다. 이렇게 1차 분석에서 코딩된 창의성 요소들의 발현이 서술적 실험설계에서 어떠한 특성을 지니며 나타나고 있는지를 알아보기 위해 2차 분석이 이루어졌다. 2차 분석은 2인의 연구자를 통해 이루어졌는데, 문헌연구에서 정의된 창의적 요소들의 특징이 실험과정에서는 어떠한 형태로 발현되고 있는지를 탐색하였으며, 이때 탐색된 창의성 요소들의 특징을 검토하여 각각의 요소들을 재 정의하였다. 즉, 창의성 요소의 틀로 서술적 실험설계내용을 분석한 것이 아니라, 서술적 실험설계과정에서 나타난 창의성 요소가 무엇인지와 그것이 어떠한 특징을 지니며 발현되고 있는지를 살펴보는 귀납적 방식을 사용하였다. 이러한 분석 과정은 서술적인 특성이 지니는 장점, 즉 문제의 답에 관한 분석보다는 원하는 결론에 도달하기 위한 과정을 살펴 볼 수 있는 특성을 부각시키는 것으로서, 창의성이 발현되는 과정'을 면밀히 탐색할 수 있도록 도와준다. 또한, 학생들이 글로써 자신의 생각을 표현하는 것은 충분한 사고의 결과이기 때문에 서술적 실험설계의 분석은 이러한 과정 분석에 적절한 도구라 할 수 있겠다.

IV. 연구 결과

본 연구에서는 과학영재들의 서술적 실험설계에서의 창의적 요소를 2011년 한국 물리올림피아드 여름 통신학교 지원자들의 자기소개서에 제시된 문항을 통해 탐색하였으며, 각각의 창의적 요소가 학생들의 서술적 실험설계 과정에서 어떠한 특색으로 정의되었는지를 귀납적으로 분석하였다. 이러한 창의적 요소들이 실험설계 과정 중 가설설정과 가설검증단계에서 각각 발현되고 있는지, 그리고 발현이 된다면 발현되는 형태는 어떠한지를 예시를 통해 기술하였다. 또한 실험설계과정에서 과학영재들의 대표적 창의성 발현 유형을 분류하였고, 이 역시 예시를 통해 구체적으로 제시하였다.

1. 과학영재들의 서술적 실험설계과정에서의 창의성 요소

과학영재들의 서술적 실험설계과정에서의 창의성

요소는 가설설정단계와 가설검증단계에서 각각 나타났다. 발산적 사고유형과 수렴적 사고유형에서의 창의성 요소가 모두 발견되었다. 가설설정단계와 가설검증단계에서 공통적으로 관찰된 창의성 요소들도 있었으나 과정에 따라 각 요소들의 발현 형태는 다르게 나타났다.

1) 독창성

가설설정단계와 가설검증단계에서는 과학영재들의 창의성 발현에 있어 발산적 사고유형과 수렴적 사고유형이 모두 나타났다. 우선, 가설설정단계에서 기술된 실험설계과정을 귀납적으로 코딩한 결과 학생들의 발산적 사고유형에서는 독창성, 유창성, 융통성이 보였다. 가설설정의 독창성은 새롭고 독특한 주제를 생각해 내어 가설을 설정하는 형태로 나타났다. 또한 과학영재들은 과학 교과서나 과학관련 서적에서 흔히 보지 못했던 참신한 주제를 제시하기도 하였다. 과학영재들의 가설설정단계에서의 독창성의 예는 다음과 같다.

금속은 열을 받으면 팽창한다고 한다. 하지만 책이나 다른 곳에서는 팽창하는 정도를 식으로 나오기는 하지만 책에서는 실험이 나오지 않는다. 그래서 정밀하게 잴 수 있는 방법을 모색해 보았다. 그래서 떠올린 것이 영의 회절 실험을 응용하는 것이다. 영의 회절 실험은 빛의 파동성을 증명하기 위해 실험한 것으로 빛의 간섭과 상쇄의 효과로 어두운 부분과 밝은 부분이 생기는 현상이다. 이 장치는 가운데 슬릿이 이중 슬릿이다. 이중 슬릿의 간격의 길이를 조정하는 것인데 이 조정을 전류를 통하게 해서 그로 인해 발생한 열로 조정하는 것이다. 열로 길이를 조정해서 스크린에 나온 회절 모양을 보고 길이를 측정하는 것이다.

이 학생은 금속이 열을 받으면 팽창하는 속성을 통해 이중슬릿의 간격을 조정하는 아이디어를 제시하였다. 독창성이라 하여 다른 사람들이 생각하기 어렵거나, 난이도가 높은 실험을 설계한 것이 아니라, 쉽고 간편한 상황의 실험을 고안하여 발상의 전환을 보여주었고, 참신한 실험주제를 통해 가설설정단계에서 독창성을 발현하였다.

가설검증단계에서의 독창성은 주로 과학영재들의

실험과정에서 제시되었는데, 기존에 사용하지 않았던 새롭고 기발한 발상으로 가설검증과정을 제시하는 형태와, 일상생활에서 쉽게 구할 수 있는 참신한 실험재료로 기존의 실험과 비슷한 검증과정을 보다 간편히 시현할 수 있도록 대안적 발상을 보이는 형태로 나타났다. 가설검증단계에서 드러난 독창성의 예는 다음과 같다.

- ① 닭다리 뼈를 소형 스카시톱으로 0.5mm두께로 자른다.
- ② 닭다리 뼈 단면에 있는 구멍 중에서 하나를 고른 후 나머지 구멍은 석고가루를 물에 녹인 석고로 막는다.
- ③ 레이저를 구멍에 쏘고, 뒤에 스크린을 설치하여 간섭무늬 개수를 센다.
- ④ 묽은 염산을 이용하여 닭다리 뼈를 부식시킨다.
- ⑤ 부식시킨 닭다리 뼈 구멍에 다시 레이저를 쏜 후, 간섭무늬 개수를 센 후 부식되기 전과 개수를 비교한다.

이 학생은 레이저를 통해 골밀도를 측정하는 실험과정을 제시하였는데, 실험 재료는 주위에서 쉽게 구할 수 있는 닭다리 뼈를 이용하였다. 또한 닭다리 뼈 단면의 골밀도의 차이를 주기 위해 석고와 묽은 염산을 이용해 독립변수를 적절히 설정하여 참신한 가설검증과정을 제시해 보였다. 뿐만 아니라, x-선 대신 간편한 레이저를 사용하는 대안적 발상과, 레이저에 의한 간섭무늬 개수를 통해 골밀도를 확인하는 획기적인 방식을 제시하여 가설검증단계에서의 독창성을 서술적으로 보여주었다.

2) 유창성

과학영재들의 서술적 실험설계에서 나타난 두 번째 창의성 요소는 유창성이다. 일반적으로 유창성과 융통성은 발산적 사고에 해당되는 창의성 요소이다. 유창성이란 문제에 대한 해결방법의 수를 많이 제시하는 것을 의미하고, 융통성은 문제에 대해 다양한 관점에서 해결책을 제시하는 것을 의미한다(Guilford, 1956). 그러나 본 연구에서 나타난 과학영재들의 유창성과 융통성은 그것의 특성이 명확하게 구분되지 않았다. 학생들은 하나의 독립변수에 대해 여러 가지 종속변수들을 확인하거나 다양한 독립변수들을 통해

한 가지 종속변수를 살펴보는 실험을 설계하는 등, 많은 수의 실험과정을 제시하여 융통성 보다는 유창성에 가까운 창의성을 발현하였다. 또한, 대안적 실험을 제시했던 학생들의 실험설계과정은 새롭고, 참신한 발현형태를 보여 융통성 보다는 독창성 영역으로 간주되었다. 이렇게 융통성의 특성이 발현되지 않은 것은 실험설계가 실험목적을 먼저 설정한 후, 가설을 설정하는 단계를 포함하므로 어느 정도 한정된 범위 내에서 창의성을 발현하여야 하는 상황 때문일 수도 있을 것이다. 따라서 본 연구에서의 융통성을 제외하고 유창성을 서술적 설계과정에서의 창의성 요소로 간주하였으며, 이에 대한 가설설정과 가설검증단계에서의 예시는 다음과 같다.

공이 구르는 경우가 많은 구기 스포츠 종목(당구, 축구 등)에서 공을 타격하는 위치에 따라 달라지는 공의 이동거리, 속도, 구름 정도 등을 당구공을 이용한 실험을 통하여 앞으로써 효율적인 플레이를 할 수 있도록 한다.

위와 같이, 가설설정단계의 유창성은 하나의 독립변수에 따라 여러 가지 결과를 살펴보는 실험을 설계하거나, 다양한 독립변수에 따라 하나의 결과를 관찰하는 형태로 기술되었다. 제시된 예의 경우 공을 타격하는 위치(하나의 독립변수)에 따라 공의 이동거리, 속도, 구름정도(다양한 종속변수)를 알아보는 가설을 설정하였으므로 유창성을 발현한 사례로 제시되었다.

가설검증단계에서는 한 가지 실험목표를 달성하기 위해 여러 가지 접근으로 실험을 계획하는 모습을 보여 유창성을 발현하였다. 아래의 예는 3D입체영상을 만드는 실험을 설정하는데 있어 3가지 실험방법으로 문제해결에 접근한 것을 확인할 수 있다.

1. 실험목표: 3D 입체 영상이 만들어지는 원리를 알아보고, 만드는 방법을 알아보자.
2. 실험과정
실험1)
 - ① 카메라 2개, 그리고 편광안경, 스크린 등을 준비한다.
 - ② 카메라를 이용해서 2개의 같은 영상을 만든다. 이때, 두 영상은 서로 다른 진동수를 가져야 한다.

- ③ 편광안경은 안경에 편광필터를 부착한 것으로, 이 두 필터의 진동방향은 서로 수직이다.
- ④ 두 영상을 편광 필터가 부착된 곳에 비춘다.

실험 2)

- ① 셔터 2개, 안경, 카메라 2개, 스크린 등을 준비한다.
- ② 카메라를 이용해서 2개의 같은 영상을 만든다. 이 때, 두 영상은 서로 다른 진동수를 가진다.
- ③ 안경 렌즈 앞에 빠르게 열렸다 닫힐 수 있는 조리개를 부착한다.
- ④ 셔터를 모두 닫은 상태에서 한쪽씩 번갈아 가면서 조리개를 여는데, 이 때 한쪽이 열린 뒤 다시 닫히고, 잠깐의 시간이 흐른 뒤 반대쪽이 열린다.
- ⑤ 이 안경에 영상을 비춘다.

실험 3)

- ① 카메라 2개 그리고 작은 틈의 슬릿 등을 준비한다.
- ② 카메라를 이용해서 2개의 서로 다른 진동수를 가진 영상을 만든다.
- ③ 슬릿을 통해 영상을 비추는데, 각 눈에 한 영상만 비춰질 수 있도록 조정한다. 오른쪽 눈으로 슬릿 너머를 보면, 슬릿을 중심으로 왼쪽 카메라에서 나온 빛만 볼 수 있다. 왼쪽 눈은 마찬가지로 오른쪽 카메라에서 나온 빛만 볼 수 있다.
- ④ 각 눈에 서로 다른 진동수의 영상이 비춰지게 된다.

3) 정합성

과학영재들의 서술적 실험설계에서 나타난 3번째 창의성 요소이자, 수렴적 요소인 정합성 또한 학생들의 가설설정과 검증단계에서 모두 나타났다. 영재들의 실험설계 과정을 분석한 결과, 가설설정과 검증단계에서 드러난 창의성 요소들은 독창성이나 유창·융통성은 보이지만, 논리적이거나 합리적으로 기술되지 않은 경우도 있었고, 발산적인 사고는 드러나지 않았으나, 논리적으로 오류가 없고 일관된 실험설계과정을 기술한 경우도 있었다. 따라서 이러한 실험설계과정을 분석하는 과정에서 혼란이 생길 수 있는데, 독창성과 같은 발산적 요소가 나타나지 않더라도 논리적으로 일관성을 보이는 설계과정은 정합성이라는 수렴적 창의성 요소로 귀결됨을 인식하고 분석하는 것이 중요했다. 과학영재들의 서술적 실험설계과정을 분석한 결과, 가설설정과 가설검증과정에서 나타난

정합성은 주제로부터 설정한 가설과 그것의 검증과정이 각각 논리적이고 합리적이며 일관성 있게 연결되어 있는 형태로 기술되는 것을 알 수 있었다.

가설설정단계에서 정합성의 예는 다음과 같다. 제시된 예시를 보면, 화산폭발 시 발생하는 화산재와 미세물방울의 조합이 광량을 조절하여 기후를 변화시키는 정도를 알기 위해 물방울 내에 존재하는 화산재의 종류에 따라 빛의 흡수율이 어떻게 다른지를 관찰하는 가설을 설정하였다. 화산재와 미세물방울로 빛의 흡수율 변화를 확인하는 상황을 논리적이고 합리적으로 제시함으로써 정합성을 보임을 알 수 있었다.

이 연구는 화산 폭발이 발생했을 때, 화산재와 미세물방울의 조합이 광량을 조절하여 기후를 변화시키는 정도를 알아내는 것을 주된 목적으로 한다. 따라서 물방울 내에 존재하는 화산재의 종류에 따른 빛의 흡수율 변화를 실험적으로 파악하고, 이를 통해서 화산 폭발 모형을 제작하여 가상의 화산 폭발에 의한 빛 흡수율 변화를 관찰한다. 그리고 이 결과를 실생활에 적용하여 백두산 등 실제 화산의 폭발에 의한 기후 변화를 예측한다.

가설검증의 단계에서도 마찬가지로 정합성 요소를 찾아볼 수 있었는데, 이와 관련한 예시는 다음과 같다. 제시된 예는 유체의 밀도와 양에 따른 캔의 안정성을 알아보기 위한 것으로 총 11개의 실험 과정이 제시되어 있다. 실험 목표에서 제시한 가설을 검증하기 위해 제시된 예는 용수철의 탄성력을 이용하여 각 실험 단계를 논리적으로 설계하였다. 또한 앞에 제시된 실험 과정과 뒤에 제시된 실험 과정 간에 연결이 일관성이 있으며, 과정 내에서 변인 통제가 정확히 이뤄지고 있어 과정 내 모순이 없는 것을 확인할 수 있다.

1. 실험목표: 유체의 밀도와 양에 따른 캔의 안정성을 알아보자.

2. 실험기구 및 재료

실험기구: 자(마이크로미터포함), 전자저울, 디지털카메라, 매스실린더

실험재료: 10cm의 알루미늄 캔, 밀도가 다른 여러 가지 유체(물, 알코올, 사염화탄소), 용수철을 고정 가능한 부분이 있는 책상(고정

하는 부분은 높이 7cm), 탄성계수를 아는 용수철

3. 실험과정

- ① 책상에서 용수철이 고정 가능한 부분에서부터의 길이를 자로 재서 5cm단위로 눈금을 표시한다.
- ② 용수철의 탄성계수와 늘어난 거리를 구해, 각 지점에서의 작용하는 힘의 값을 구해 눈금 밑에 표시해 준다.
- ③ 비어있는 캔의 질량을 전자저울로 측정한다.
- ④ 알루미늄 캔에 1cm 간격으로 물, 알코올, 사염화탄소를 메스실린더를 이용하여 측정한 뒤, 각각 따른다.
- ⑤ 유체가 1cm만큼 들어있는 캔의 질량을 각각 전자저울로 측정한다.
- ⑥ 유체가 1cm만큼 들어있는 캔을 용수철에 가장 가까운 곳에 고정시킨다.
- ⑦ 우선 용수철을 높이 7cm인 곳에 고정 시킨 후 용수철의 반대 쪽 한 끝을 캔과 연결한다.
- ⑧ 캔이 쓰러질 경우, 해당 캔이 쓰러진 거리를 기록하고, 쓰러지지 않은 경우는 다음 눈금에 캔을 놓고 실험을 반복한다.
- ⑨ 유체가 1cm만큼 들어있는 경우의 실험을 끝마치면, 2~3cm가 들어있는 캔들도 같은 방법으로 실험한다.
- ⑩ 이 경우 캔의 질량은 (유체가 1cm만큼 들어있는 캔의 질량- 비어있는 캔의 질량) * (0cm)로 계산하여 구해준다.
- ⑪ 디지털카메라로 각 실험의 과정 또는 결과를 사진으로도 찍어 정리한다.

4) 정교성

창의성 요소의 수렴적 사고 중 두 번째인 정교성은 과학영재들의 가설설정과 가설검증단계에서 모두 나타났다. 가설설정단계에서의 정교성을 귀납적으로 분석한 결과 독립변인과 종속변인을 명확히 제시하여 가설을 정교하게 기술한 것을 볼 수 있었다. 즉, 무엇을 통하여 어떠한 결과를 알아보고자 하는지를 정교하게 제시하였다. 이와는 반대로 가설설정의 정교성이 보이지 않았던 사례들은 ‘무엇을 알아보기’와 같이 단순히 기대되는 결과만을 제시하거나 명사형태의 주제로만 제시하여, 가설설정단계만으로는 독립변인

과 종속변인을 확인할 수 없었다. 정교성이 드러난 가설설정단계의 예시들은 다음과 같다.

1. 실험목표: 회전하는 거울을 이용한 빛의 속도측정과 굴절률에 따른 빛의 속도변화를 알아본다.

1. 실험목표: 흑체복사에 빛의 색깔이나 파장에 따라 어떤 온도 차이가 있는지 파악한다.

예시들을 통해 알 수 있듯이, ‘빛의 속도측정과 굴절률’이라는 독립변인을 제시하여 주고, 이에 따른 ‘빛의 속도’ 즉, 종속변인을 명확히 제시해 준 사례는 가설설정의 정교성이 발현된 예라 할 수 있다. 두 번째 예시 역시, ‘빛의 색깔이나 파장’에 따른 ‘온도차이’를 확인함으로써 독립변수와 종속변수를 제시해 주고 있다.

가설검증단계에서 나타난 정교성은 가설검증을 위한 단계를 구체적으로 제시하는 형태로 나타났다. 학생들은 실험과정을 기술함에 있어 단계적이고 상세하게 과정을 기술하여 정교성을 보여주었다. 다음의 예시를 보면, 신기루 현상을 재현하는 실험에서 그 과정을 단계별로 제시하고 필요한 도구들의 설치 방법과 실험설계에 필요한 수치까지 아주 상세하게 기술하였을 뿐만 아니라, 실험조건을 통제하는 방법까지 자세하게 제시하고 있다.

1. 실험목표: 신기루 현상을 직접 재현해봄으로써 신기루 현상에 대해서 깊이 이해한다.

2. 실험과정

- ① 가열장치 위에 알루미늄 호일로 싯 철판을 올려 놓는다.
- ② 가열장치 뒤편에 높이를 조절할 수 있는 받침대를 놓고 그 위에 레이저를 설치한다.
- ③ 레이저빔이 철판 위 약 2.5mm를 지나가도록 받침대 높이를 조정한다.
- ④ 철판의 면과 레이저빔이 평행한지 확인한 후 레이저를 고정시킨다.
- ⑤ 철판의 중심으로부터 3000cm 떨어진 곳에 스크린을 설치한다.
- ⑥ 양은냄비와 철판 사이에 5mm의 틈을 만들 냄비

지지대 한 쌍을 철판 위에 설치한다.

- ⑦ 얼음물이 담긴 양은냄비를 지지대 위에 올려놓고 철판을 서서히 가열한다.
- ⑧ 스크린에 맺히는 빔의 위치를 관찰한다.

3. 실험 시 실험조건

- ① 가열장치에 의해 가열된 철판과 얼음물을 담고 있는 양은 냄비 사이의 공기 온도는 약 300도씨에서 100도씨로 연속적인 분포를 보인다고 단순화시킨다.
- ② 철판의 중심으로부터 스크린까지의 거리는 2000cm이다.
- ③ 철판과 양은 냄비 사이 틈의 간격은 5mm이다.
- ④ 양은냄비바닥의 지름, 즉 레이저빔이 굴절되는 구간의 길이는 16cm이다.
- ⑤ 레이저는 철판 위 약 2.5mm 인 지점, 즉 틈의 중심을 통과한다.
- ⑥ 공기는 광학적 매질로서 사용한다.

정교성의 발현에 대한 이해를 돕기 위해 대조적인 예시도 제시하였다. 다음을 보면 신기루 현상을 재현하는 동일한 실험임에도 불구하고 대략적인 과정만 제시되어 정교성이 드러나지 않았음을 확인할 수 있다.

- 1. 실험목표: 신기루 현상에 대해서 알아보자.
- 2. 실험과정
 - ① 모래판에 자를 설치한다.
 - ② 모래판 회절격자 앞쪽에 모형을 놓아둔다.
 - ③ 전원공급장치에 가열장치를 연결한다.
 - ④ 자로 거리를 재어서, 일정한 거리를 떨어뜨리면 서, 신기루의 발생여부를 모형을 통해서 회절격자로 그 정도를 확인한다.
 - ⑤ 신기루가 뚜렷하게 생기는 거리를 알아본다.

두 번째 예시 또한 가설검증단계에서의 정교성의 발현 형태를 보여주고 있다. 즉, 아래에 제시된 예와 같이 문항의 요구사항을 명확히 인식하고, 가설검증을 위한 실험 기기를 설정한 것을 볼 수 있었다.

- 1. 실험목표: 설탕의 농도에 따른 물의 임계각 측정
- 2. 실험기구: 자, 전자저울, 비이커
실험재료: 물, 설탕, 직사각형 스티로폼, 못

- 1. 실험목표: 직선편광이 설탕물과 .
- 2. 실험기구: 전자저울, 편광판, 회절격자, 레이저, 비커
실험재료: 물, 설탕, 소금

5) 신뢰성

수렴적 사고의 창의성 요소인 신뢰성 또한 가설검증단계에서만 발견되었다. 과학영재들은 실험을 설계하는 과정에서 아래의 예시와 같이 이론적 값과 자신의 실험결과를 비교하는 단계를 제시하여 실험의 당위성을 밝혔다. 이러한 학생들의 서술적 실험설계 과정을 분석한 결과 신뢰성은 이와 같은 두 가지 방식으로 발현되고 있음을 확인할 수 있었다.

1. 실험목표

주기를 이용하여 중력가속도를 측정하고 실제 중력가속도와 비교하여 오차의 원인을 분석한다.
실험적으로 주기를 계산하고 이론적인 주기와 비교하여 오차의 원인을 분석한다.

2. 실험과정

- ① 스탠드에 클램프를 고정시키고 실에 추를 매긴다. 실의 길이가 길수록 같은 변위에 대한 각도의 변화량이 작기 때문에 되도록 길게 한다.
- ② 스탠드에 고정된 클램프에 실을 묶어 추를 매긴다.
- ③ 포토게이트를 추가 진동하는 방향에 나란하도록 위치시킨다. 이때, 포토게이트가 바라보는 면이 지표면과 수평이 되도록 하고 추를 바라보게 한다.
- ④ 추를 흔들어 포토게이트를 이용하여 주기를 측정한다. 여기서 추를 진동시킬 때 너무 많은 각도로 흔들지 않도록 한다.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (T: \text{주기}, l: \text{실의 길이}, g: \text{중력가속도})$$

의 식을 이용하면, $g = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 \times l$ 의 관계식을 얻게

되는데, 이 관계식과 측정된 주기를 이용하여 중력가속도를 계산한다.

- ⑥ 위의 실험을 반복하여 중력가속도의 평균을 계산한다.
- ⑦ 측정된 중력가속도와 실제 중력가속도를 비교하여 오차의 원인을 분석한다. 또한 측정된 주기와 이론적인 주기를 비교하여 오차의 원인을 분석한다.

지금까지 과학영재들의 서술적 실험 설계분석을 통한 창의성 요소들의 특성을 분석한 결과는 <표 1>과 같다. <표 1>에서는 가설설정과 가설검증단계에서 나타난 과학영재들의 창의성 요소들이 제시되어 있으며, 각각의 요소들이 단계에 따라 어떠한 형태로 발현되었는지를 귀납적으로 분석한 결과가 종합적으로 기술되어 있다.

2. 과학영재들의 서술적 실험설계과정에서의 창의성 유형

본 연구는 서술적 실험설계과정에서 발현된 과학영재들의 창의성을 학생 개인의 설계 내용별로 분석한 후, 가설설정과 검증을 포함하는 종합적 설계 과정을 분석하여 이를 유형화하였다. 이를 위해, 가장 먼저 창의적 실험설계 유형을 조작적으로 정의하였다. 일반적으로 창의적 사고는 발산적 사고만을 의미하기도 하지만, 창의적인 과학 활동을 하기 위해서는 발산적 사고뿐만 아니라 수렴적 사고 등도 포함시켜야한다(박종원, 2004). 김혜순, 강기숙(2007) 또한 창의적 문제해결력에서도 확산적(발산적) 사고와 비판적 사고가 복합적으로 작용하여야 진정한 창의성의 발현이라고 주장하였다. 이러한 선행연구들을 바탕으로 본 연구에서는 창의적 실험설계를 발산적 사고와 수렴적 사고가 조화롭게 발현되어 상호작용하는 설계과정이라고 정의하였다. 즉 가설설정 단계에서의 발산적 사고와 수렴적 사고에 해당하는 창의성 요소들과 가설검증단계에서의 발산적 사고와 수렴적 사고에 해당하는 요소들이 어떠한 창의적 사고유형(발산적, 수렴적 사고유형)에 해당되는지를 검사하여 전체 실험설계과정에서 창의성 요소들의 분포를 확인하였다. 예를 들면, 가설설정단계에서 발산적 사고만 나타나고, 가설검증단계에서도 역시 발산적 사고만 제시된 경우, 이 과정이 독창적이거나 창의적으로 보일지라도 본 연구의 관점에서는 창의적 실험설계라 인정할 수 없다. 이와는 대조적으로, 가설설정단계에서는 발산적 사고만 발현되었을 경우, 가설검증단계에서 수렴적 사고만 나타나도 이는 창의적 실험설계라 할 수 있다. 이처럼 학생들의 창의적 요소를 개인별로 모두 분석한 후, 각각의 실험설계가 가설설정 및 검증단계에서 발산적사고와 수렴적 사고를 제시하고 있는지에 따라 창의성 유형의 형태가 분류되었다. 분석 결과, 유형A~C까지 총 3

가지의 창의적 실험설계 유형이 나타났다(표 2 참고).

1) 창의성 유형A

창의성 유형A는 가설설정에서 발산적 사고와 수렴적 사고가 나타나고, 가설검증과정에서 수렴적사고만 나타난 유형이다. 즉, 이 유형에 해당하는 과학영재들은 실험을 설계함에 있어 창의적으로, 가설설정을 하고 검증과정을 수렴적으로 제시한 형태이다. 유형A의 이해를 돕기 위해 한 학생의 실험설계과정을 전체적으로 제시하였다. 아래에 제시된 예를 보면, 이 학생은 건축물의 내진구조를 알아보는 방법으로 독창적인 3가지 방식을 제시하여 가설설정의 독창성과 유창성 및 융통성이 드러나 발산적 사고를 보였다.

또한 이러한 가설의 설정이 논리적으로 타당하였으므로 수렴적 사고인 정합성도 표현되어 있다. 가설검증과정에서는 과정에 대한 제시가 독창적이거나 유창·융통성을 보이지 않았으므로 발산적 사고형태는 나타나지 않았지만, 과정이 논리적이고 합리적이며 정교하게 단계별로 제시되어 있으므로, 수준 높은 수렴적 사고를 보였다.

1. 실험목표

건축물에서 '내진구조'에 대하여, 크게 3가지 과정으로 나누어 실험할 것이다. 첫 번째로, 고층건물 최고층에 큰 추를 놓아 지진에 대비에 대하여 탐구하는 것. 두 번째로, 위에서도 언급했던 고층건물이나 현재 건물에서 맞물림으로 인한 내진설계에서 좀 더 발전해 실제 지면의 재질과 연약도에 따른 내진설계를 추가하여 실험하겠다. 셋째로, 벽돌건물에서 틈새가 매우 중요하다 하는데 '틈새로 인한' 내진설계를 탐구할 것이다.(위는 평소에 생각하고 조사해보았던 것이기에, 완벽한 실험결과가 존재하지 않기에 가능성이 무궁무진하다고 생각한다.)

2. 실험과정

모든 실험은 공통적으로 <그림1>과 같은 구조로 실험한다. 각각의 실험에서의 조작변인이 다르며, 모두 공통적인 독립변인은 '용수철을 받치는 아래 판의 재질'과 '판을 누르는 세기와 정도'로 한다.

① 추에 의한 내진설계

고층건물에서 건물의 흔들림 방지를 위하여 질량이

큰 추를 놓는다는 소식을 들었다. 이를 이용하여 지진에 얼마나 큰 효과가 있는지 실험해 보기 위하여 이 실험을 시작한다.

- a. 나무막대, 콘크리트, 콘크리트+철근 막대를 준비한다. 중앙에 최소한의 구멍을 뚫어 각각 100g, 200g, 300g (그 이상도 가능)짜리 추를 매단다.
- b. 찰흙을 기반으로 아래에 지지대인 찰흙과 만나는 곳의 홈은 모두 5mm깊이의 2개의 홈으로 통일하여 실험한다(제일 기초적이고 단순한 구조이기 때문에 이를 채택)
- c. 나무판 아래쪽에 용수철을 매달아 흔들릴 수 있는 지진발생장치를 설계한다.
- d. 디지털카메라를 초고속카메라 기능으로 작동시키고, 지지대에 고정하여 설치하고, 지진발생장치의 오른쪽을 3cm로 같은 힘으로 누르고 튕긴다.
- e. 타이머를 이용하여 20초간 재고, 초고속카메라에 찍힌 자료를 컴퓨터에 저장하여 막대가 흔들린 최대진폭과 땅바닥과의 흔들림을 쟀다.

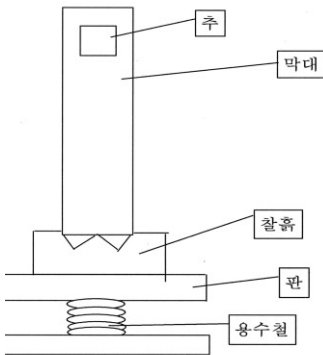


그림 1 실험 기구의 모습

2. 땅의 재질에 따른 내진설계 효과

위와 같은 방법으로 설계한다. 달라지는 점은 위에서 언급했듯이 판의 재질을 달리하는 것인데, 이 실험에서는 막대 위에 매다는 추의 무게를 일정하게 하고 판의 재질을 바꿔가며 실험해서 내진설계에서 땅의 재질이 어떠한 영향을 미치는지 알아볼 것이다.

3. 벽돌건물에서 틈새로 인한 내진설계의 효과

- a. 찰흙으로 크기 42cm*2cm*2cm를 다수 제작한다.
- b. 찰흙들을 쌓는데 서로간의 틈을 0mm, 0.5mm, 1.0mm, 1.5mm로 바꾸면서 아래부터 3-2-1 개수로 쌓는다.(그림2 참조)

- c. 위 실험을 1, 2와 같게 지진 발생장치를 작동시킨다.
- d. 초고속카메라로 이 결과를 분석한다.

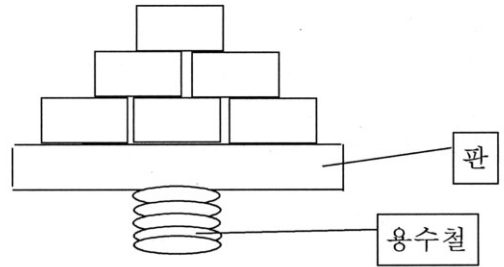


그림 2 실험 기구의 모습

2) 창의성 유형B

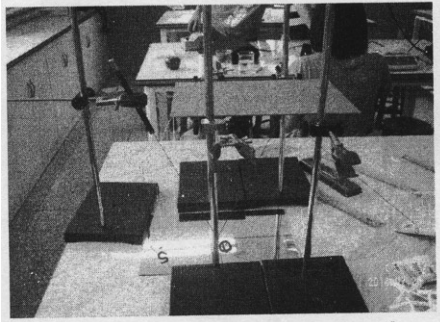
두 번째 창의성 유형은 가설설정에서 발산적 사고를, 가설검증에서는 발산적이고 수렴적인 사고를 모두 보인 학생들이 속한 유형이다. 즉, 독창적이거나 유창·융통적인 가설을 설정하고, 창의적인 가설검증 과정을 설계한 학생들이 이 유형에 해당된다. 아래의 예시는 창의성 유형B에 해당하는 학생의 실험설계 내용으로서, 가설설정에서 독창성이 나타나 발산적 사고를 보였다. 이 실험의 가설은 빛의 반사를 통해 얇은 물체의 두께를 측정하는 내용이다. 이러한 가설로부터 검증과정을 제시하였는데, 반사판 두 개를 설치한 후 그 사이에 얇은 두께의 물체를 넣고, 레이저를 반사시켜 빛이 도달한 거리의 차이를 통해 두께를 측정하도록 하는 독창적인 과정을 보여주었다. 또한 실험을 검증하는 과정이 논리적이며, 실험단계를 기술할 때, 그림이나 수치 등 다양한 방식을 포함하여 상세하게 제시하고 있으므로, 발산적 사고인 독창성과 수렴적 사고인 정합성, 정교성이 모두 나타난 예라 할 수 있다.

1. 실험목표

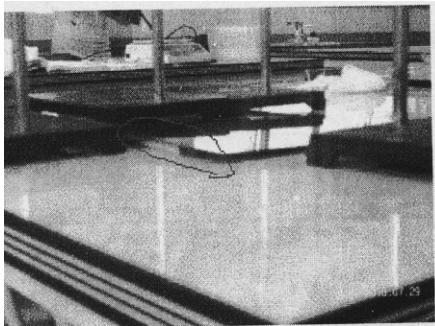
물리학에 있어서 '측정'은 매우 중요한 요소 중에 하나입니다. 몇 만 광년이나 떨어져 있는 천체와 지구의 거리, 너무 작아서 우리 눈으로 볼 수 없는 세포, 원자들의 크기들과 같이 단순히 자를 이용해서 측정할 수 없는 요소들이 있게 때문에 새로운 측정 방법이 필요합니다. 그래서 이 실험에서는 얇은 물체의 두께를 빛의 반사를 이용해 측정하는 방법을 제시합니다.

2. 실험기구 및 재료: 자, 거울, 레이저, 스탠드

3. 실험과정



- ① 그림과 같이 스탠드를 이용해서 반사판을 위와 아래에 설치한다.
- ② 스탠드를 이용해 레이저를 설치한다.
- ③ 레이저를 아래 반사판에 쏘고, 쏜 부분(O)부터 빛이 지표면에 도달한 점(S)까지의 거리를 측정한다.
- ④ 위 반사판부터 아래 반사판까지의 높이(H)를 측정한다.



- ⑤ 그림과 같이 측정하고자 하는 물체를 아래 반사판에 끼워 넣고, ③을 다시 실행해서 거리(S')를 측정한다. (이 때, 물체는 레이저 바로 밑에 있어야 한다.)
- ⑥ 공식을 이용해 물체의 두께(x)를 구한다.
- ⑦ 자를 이용해 물체의 실제 두께(x')을 측정하고 x와 비교한다.

3) 창의성 유형C

이 유형에 속하는 학생들은 실험을 설계하는 과정에서 수렴적으로 가설을 설정하고, 발산적·수렴적인 사고를 바탕으로 가설을 검증하였다. 즉, 서술적 실험 설계 과정에서 학생들은 발산적 사고와 수렴적 사고의 상호작용을 통해 가설을 검증하는 특징을 보였다.

나, 가설을 설정함에 있어서는 독창적이거나 유창·융통적인 특징은 보이지 않고, 가설을 논리적이고 정교하게 제시하는 특징을 보였다. 이 유형에 해당되는 예는 다음과 같다. 이 학생은 빛의 속도가 상황에 상관없이 유지되는지를 알아보는 가설을 설정하였다. 즉, 광원으로부터 나온 빛의 속도를 측정하고, 빛이 분산되었을 때 나누어진 전자기파의 속력을 측정하여 이것이 일정하게 유지되었는지를 알아보는 실험이다. 이는 논리적이고 합리적인 가설이라 판단되어, 가설 설정의 수렴적 사고영역 요소인 정합성을 나타낸 예라 할 수 있다. 또한 제시된 과정에서 볼 수 있듯이 학생은 상황에 따른 빛의 속도 변화를 검증하기 위해 실생활에서 구할 수 있는 기구를 사용하여 매우 독창적으로 실험 과정을 설계했을 뿐만 아니라, 설정한 검증 과정 간에 모순이 없이 실험목적에 적합한 논리적 실험을 서술하였다.

1. 실험목표

대부분의 참고서에는 실제 빛이 광원에서 발생된 후 특정한 메커니즘을 거치면서 변하게 되었을 때에도 빛의 속도는 유지되는가에 대한 내용은 잘 명시되어 있지 않다. 나는 독특한 방식으로 광속력을 측정해 본 후 그 빛이 분산 되었을 때에도 나누어진 전자기파의 속력이 일정하게 유지 되는가 .

2. 실험과정

- ① 일회용 카메라 속에 내장된 플래시 장치 회로를 들어낸 후 장치를 완전히 충전시킨 후에 충전장치를 회로에서 분리하고 빛 감지 센서를 연결한다.
- ② 빛의 진행 경로를 최대한 늘임으로써 보다 측정값의 유효숫자가 증가하도록 하기 위해 실험실 내부에 다수의 거울과 광학적인 원리를 이용하여 빛의 경로를 늘인다. 늘이는 정도는 포토게이트의 사양에 따라 측정에 무리가 없게끔 정도로 한다. 포토게이트는 카메라의 플래시 장치의 미세한 미동도 감지할 수 있을 만큼 가까이 설치한다.
- ③ 위의 장치에서 아무런 추가 구성없이 레이저 광을 발사하여 레이저광의 속력을 측정한다. 레이저광이 플래시에 부착된 센서에 도달하면 플래시가 빛을 방출하며 축전기사이의 거리가 줄어든다. 포토게이트는 이를 감지하여 감지까지 걸린 시간을 출력해낸다. (포토게이트의 측정시작시각

은 광속도를 처음 발사할 때 임의로 조작해 측정한다.)

- ④ 회절격자를 설치한 후, 레이저광을 발사하여 나타나는 간섭무늬를 통해 특정 분산 각을 파악한 후 그 각도를 추적하여 광학적 원리를 이용하여 거울의 배치를 수정하여 3과 같은 원리로 속력을 측정한다. 측정 가능한 한 회절격자에서 파악할 수 있는 분산되는 각을 모두 파악하여 모두 추적해 본다.
- ⑤ 포토게이트가 허락하는 한 최대한 정밀하게 측정하여 속력이 변하였는지에 대한 여부를 파악하고, 주위의 변인 통제에 관한 보증을 가하여 최종 결론을 내린다.

과학영재들의 서술적 실험설계과정을 귀납적으로 분석하여 총 3가지의 창의적 실험설계 유형을 살펴본 결과 유형A~C에 해당하는 학생들은 발산적 사고를 통해 자유롭게 가설을 설정하고 이를 검증하기 위한 가설도 발산적으로 제시함을 확인할 수 있었다. 동시에 이들은 설정된 가설을 논리적으로 정교하게 기술하였을 뿐만 아니라 이를 검증하는 과정 또한 수렴적으로 서술하였다. 각 유형의 학생들은 가설설정에서의 2가지 사고유형과 가설검증의 2가지 사고유형 중 하나의 사고유형을 제외한 나머지 3가지 사고유형에서 모두 창의성을 발현하였다. 각각의 유형을 자세히 살펴보면, 유형 A에 해당하는 학생들은 가설설정에서 발산적·수렴적 사고를 모두 보여 창의적 가설 설정을 하였으며, 이를 수렴적으로 검증하는 과정을 통해 실험을 설계하였다. B유형의 학생들은 독창적이거나 유창하게 가설을 설정하였으며, 이를 창의적으로 검증하는 과정을 기술하였으며, C유형의 학생들은 논리적으로 일관적이고 정교한 가설을 설정 한 후, 검증과정을 창의적으로 기술한 실험설계를 제시한 것을 살펴볼 수 있었다.

V. 결론 및 제언

창의성은 과학교육에 있어 대상을 막론하고 강조되어 왔으며, 과학교육의 목표에서도 창의성을 신장시키기 위한 교육의 중요성이 재차 명시되고 있다. 과학영재들의 창의성 신장을 위한 연구들도 매우 활발하게 진행되고 있는데, 과학영재들의 창의성을 측정하

기 위한 검사도구 개발이나 과학영재들의 창의성 요소들을 탐색하는 데 집중되어 있다. 본 연구 또한 과학영재들의 창의성 요소를 탐색하는데 목표를 두고 있으나, 과학 탐구의 중요한 과정 중에서 특히, 실험 설계과정을 통해 영재들의 창의성이 어떻게 발현되고 있는지, 발현되고 있는 유형은 어떠한지를 알아보았다. 이는 실험설계라는 과정이 주어진 상황에서 자신만의 문제해결방법을 모색해 나가는데 필요한 창의적 사고를 요구하는 과정이기 때문이다. 이에 연구자들은 학생들에게 이러한 정신적인 과정을 서술적으로 표현하도록 요구하여 과학영재들의 실험설계과정을 보다 상세하고 정교하게 탐색할 수 있었다.

연구 결과 가설설정단계에서는 발산적 사고의 독창성, 유창·융통성의 요소를 탐색할 수 있었으며, 수렴적 사고 요소인 정합성, 정교성을 발견할 수 있었다. 가설검증단계에서 발견되는 발산적 사고의 요소는 독창성, 유창·융통성으로 가설설정의 단계와 동일했다. 하지만 수렴적 사고의 요소로는 정합성, 신뢰성, 명료성, 정합성이 탐색되어 학생들이 가설설정 단계보다 가설검증단계에서 다양한 수렴적 사고를 하고 있음을 알 수 있었다.

서술적 실험 설계과정에서 나타난 영재들의 창의적 요소를 바탕으로 연구자들은 3가지 창의성 유형을 탐색할 수 있었다. 각 유형에 속한 학생들은 서술적 실험설계의 가설설정과 검증의 단계에서 발산적 사고와 수렴적 사고의 상호작용을 통해 창의성이 발현되고 있었다. 첫 번째 유형에 속하는 학생들은 발산적·수렴적 사고의 상호작용을 통해 가설을 설정한 뒤, 수렴적 가설검증과정으로 창의성을 발현하였다. 반면, 두 번째 유형은 첫 번째 유형의 학생들과 달리, 발산적 사고만을 통해 가설을 설정하는 특징을 보였으며, 검증 단계에서는 발산적 사고와 수렴적 사고가 상호작용하는 모습을 보였다. 마지막으로 세 번째 유형은 두 번째 유형과 같이 가설검증 단계에서 발산적·수렴적 사고의 유형이 모두 보였으나, 가설설정 단계에서 수렴적 사고를 바탕으로 창의성이 발현됨을 확인할 수 있었다.

본 연구 결과를 바탕으로 서술적 실험설계 과정에서 과학영재들의 창의성 발현을 도울 수 있는 교육적 방안에 대해 다음과 같이 논의해 보고자 한다.

첫째, 영재 학생들에게 학교에서 제공되는 확인실험과 같은 제한적인 탐구 활동을 벗어나 서술적 과정

을 통해 자유롭게 실험을 설계할 수 있는 다양한 기회를 제공해 주어야 한다. 본 연구에서는 자기소개를 활용하여 영재들에게 서술적으로 실험을 설계하도록 한 결과, 여러 연구를 통해 제시된 영재들의 창의성 요소가 실험 설계의 과정에서도 다양하게 발견되고 있음을 확인할 수 있었다. 글쓰기 과정은 현실적 제약에서 상대적으로 자유로울 뿐만 아니라, 개인의 상상력을 충분히 발휘할 수 있도록 발산적 사고를 자극한다. 또한 발산적 사고의 결과를 글로 기술하기 위해서는 논리적인 구성으로 일관성 있게 표현할 수 있는 능력이 필요하다. 이러한 특징 때문에 서술적인 실험 설계 과정은 영재 학생들에게 잠재된 창의성을 발현시키고, 이를 개발할 수 있는 기회를 제공해 줄 수 있는 것이다. 따라서 과학교육연구자들과 교사들은 학생들이 그들 자신에게 잠재된 다양한 능력과 자질을 발현할 수 있는 장을 마련해 주는데 많은 관심을 기울여야 할 것이다.

둘째, 탐구 과정에서 발현되는 창의적 요소에 대한 이해를 바탕으로 학생들에게 개별적으로 필요한 비계(scaffolding)를 단계별로 보다 자세하고 적절히 설정해 주어야 한다. 본 연구 결과 탐색된 실험 설계에서 나타나는 창의적 요소를 바탕으로 영재학생들이 개별적으로 취약한 요소를 파악하여 이를 보완할 수 있는 교육적 처치가 필요하다. 즉, 창의적인 실험설계를 지도할 때 신중시여야 할 창의성 영역의 교육목표를 설정하여 학생들이 취약한 창의적 요소를 개발시킬 수 있도록 수업을 설계하고, 수업이 진행되는 과정에서 다양한 비계 설정이 이뤄질 수 있도록 사전에 수업을 면밀히 계획해야 한다.

셋째, 창의적 사고는 발산적 사고뿐만 아니라 수렴적 사고도 동시에 이뤄져야함을 영재학생들에게 인지시키고, 그 과정을 충분히 경험할 수 있도록 실험 설계 과정을 중심으로 한 교육 프로그램을 개발해야 한다. 연구자들이 학생들의 서술적 실험 설계를 분석하는 과정에서 적지 않은 학생들이 창의적 요소들은 내포하고 있지만, 창의적 실험설계에 속하지 않는 경우가 많음을 알 수 있었다. 즉, 가설설정이나 검증에 있어 참신한 아이디어를 제공하고 있다 하더라도, 그것의 내용이 논리적이지 않거나, 이와는 반대로 모든 과정이 논리적이고 정교하기는 하나 교과서나 다른 서적에서 보았을 법한 진부한 내용들을 제시하는 경우가 많았다. 따라서 과학교육에서의 창의성이 단순히

인지적인 측면뿐만 아니라 모든 영역에서 개발되어야 할 것이며, 진정한 창의성이란 발산적 사고뿐만 아니라 수렴적 사고를 동시에 발현하는 것이라는 것을 상기해야 한다.

국문 요약

본 연구는 학생들의 실험 설계 내용에서 나타나는 창의적 요소들을 탐색하고, 각 요소 간 상호작용을 분석하여 과학 영재들이 실험을 설계할 때 나타나는 창의성의 특징을 귀납적으로 살펴보았다. 이를 위해 우선, 서술적 실험설계 과정에서 영재들의 창의성 요소를 탐색하기 위한 문항을 개발하였다. 개발된 문항은 2011년 한국 물리올림피아드 일반물리 통신교육에 지원한 학생들에게 요구되는 자기소개서의 일부분으로 제시하였다. 실험설계 과정에서 나타나는 창의성은 발산적 사고와 수렴적 사고의 상호작용이라는 조작적 정의 하에 총 513명의 자기소개서에 포함된 실험설계 과정이 분석되었으며, 그 결과는 다음과 같다. (1) 가설설정단계에서 나타난 창의성 요소 중 발산적 유형의 요소는 독창성, 유창성, 융통성이었고, 수렴적 유형의 요소는 정합성, 정교성으로 나타났다. (2) 가설 검증단계에서는 창의성 요소 중 발산적 유형의 요소인 독창성, 유창성, 융통성과 수렴적 유형의 요소인 정합성, 단순성, 신뢰성, 적절성, 명료성, 정합성을 탐색할 수 있었다. (3) 가설설정단계나 검증단계에서 발산적이고 수렴적인 창의적 요소가 함께 발현되어야 창의적 실험설계라는 정의 하에 과학영재들의 창의적 실험설계 유형을 살펴 본 결과 다음과 같은 특징을 가진 3가지 유형이 탐색되었다. a) 첫 번째 유형의 특징은 가설설정단계에서 발산적이고 수렴적인 창의성을 모두 보이고, 가설검증 단계에서는 수렴적인 창의성만 보인 경우이다. b) 두 번째 유형은 가설설정단계에서 발산적 창의성이, 검증 단계에서는 발산적이고 수렴적인 창의성이 나타나는 특징을 보였다. c) 마지막으로 세 번째 유형은 가설설정단계에서 수렴적 창의성을, 가설검증단계에서 발산적·수렴적 창의성을 모두 보이는 특징을 보였다.

참고 문헌

구슬기, 박일우 (2010). 초등과학 글쓰기 지도 전

략의 개발 및 적용. *초등과학교육*, 29(4), 427-440.

구인선, 이종원, 강대호 (2004). 제7차의 탐구요소들에 의한 중학교 과학 3교과서의 탐구 영역 분석-화학 분야에 대하여-. *대한화학회지*, 48(4), 414-426.

김경자, 김아영, 조석희 (2000). 창의적 문제 해결력 신장을 위한 단원 개발 및 평가. *교육과정연구*, 18(2), 17-45.

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

김은주, 이효녕, 윤일희, 강천덕 (2008). 창의적 사고 계발을 위한 고등학교 학습 프로그램 개발: 태양계 축소 모형을 중심으로. *한국지구과학회지*, 29(3), 290-304.

김혜순, 강기숙 (2007). 아동의 과학 적성, 창의성, 과학 창의적 문제해결력간의 관계. *초등과학교육*, 26(1), 32-40.

박남이, 임낙룡, 박경화 (2005). 제 7차 교육과정 고등학교 생물 I [자극과 반응] 단원의 탐구활동에 대한 교과서 비교 분석. *한국생물교육학회지*, 33(1), 70-81.

박인숙, 강순희 (2011). 과학 창의적 문제해결 능력에 대한 현장 교사들의 인식. *한국과학교육학회지*, 31(2), 314-327.

박종원 (2004). 과학적 창의성 모델의 제안-인지적 측면을 중심으로-. *한국과학교육학회지*, 24(2), 375-388.

변선미, 김현주 (2011). 자유 탐구 활동에 대한 중학생들의 인식 및 자유 탐구 활동이 중학생들의 과학 탐구능력에 미치는 영향. *한국과학교육학회지*, 31(2), 210-224.

송윤미, 양일호, 김주연, 최현동 (2011). 초등학교 교사들의 과학글쓰기에 대한 인식 연구. *한국과학교육학회지*, 31(5), 788-800.

심재영, 김종득, 김인주 (2005). 과학영재와 일반 학생 집단 간의 창의성 비교 연구. *교육심리연구*, 19(3), 563-576.

양일호, 류철진, 임성만 (2009). 생물학자와 과학 영재의 실험설계활동에서 나타나는 과정요소 및 특성 분석. *과학교육연구지*, 33(2), 271-299.

이윤하, 강순희 (2011). 변인 통제 능력을 강화하

기 위한 수업 프로그램의 개발 및 적용 효과 분석. *대한화학회지*, 55(3), 519-528.

전영석, 박종찬(2006). 과학고등학교 학생의 물리 분야 개방적 탐구과제 수행 준비도 분석. *새물리*, 52(4), 345-355.

정원호, 권재술, 정진우, 김효남, 최병순, 허명 (1998). 과학과 수업모형. *교육과학사*.

조연순, 최경희(2000). 창의적 문제 해결력 신장을 위한 중학교 과학 교육과정 개발. *한국과학교육학회지*, 20(2), 329-343.

조연실, 주희영, 김성하, 김희백, 이길재 (2008). 과학 영재의 창의적 문제 해결력 신장을 위한 진화 수업 프로그램 개발과 적용. *한국생물교육학회지*, 36(1), 1-10.

최지은, 전은주 (2009). 자기소개서 쓰기 지도를 위한 교육 내용 선정 방안. *새국어교육*, 82, 439-363.

한국교육개발원 (1999). 과학영재교육을 위한 교육과정 개발 연구. 연구보고 CR 99-20-4. 서울: 한국교육개발원.

홍순원, 이용섭 (2008). 창의적 문제 해결 학습이 학생들의 과학 탐구 능력 및 과학적 태도에 미치는 영향. *초등과학교육*, 27(3), 233-243.

American Association for the Advancement of Science. (1993). *Benchmarks for science literacy: A Project 2061 Report*. New York: Oxford University Press.

Barker, L. M., & Dunbar, K.(2000). Experimental design heuristics for scientific discovery: The use of "baseline and known standard" controls. *International Journal of Human-Computer Studies*, 53, 335-349.

Bell, R. L., Blair, L. M., Crawford, B. A., & Lederman, N. G. (2003). Just do it? Impact of science apprenticeship program on high school students' understanding of the nature of science and scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(5), 487-509.

Bauer, H.H. (1994). *Scientific literacy and the myth of the scientific method*. Champaign, IL: University of Illinois Press.

Chin, C., & Malhotra, B. (2002).

Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.

Cropley, A. J., & Urban, K. K. (2002). Programs and strategies for nurturing creativity. In K. A. Heller, F.J. Monks, F. J. Sternberg, and R. F. Subotnik(Eds.) *International Handbook of Giftedness and Talent*. Oxford: Elsevier Science Ltd.

Feyerabend, P. (1993). *Against method*. New York: Verso.

Gagné, F. (1991) Toward a differentiated model of giftedness and talent, In N. Colangelo & G. A. Davis (Eds) *Handbook of gifted education* (Boston, Allyn & Bacon).

Germann, P. J., Haskins, S., & Pauls, S. (1996). Analysis of nine high school biology laboratory manuals: Promoting scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 33(5), 475-499.

Guilford, J. P. (1956). The structure of intellect. *Psychological Bulletin*, 53, 267-293.

Isaksen, S. G., & Treffinger, D. J. (1991). Creative learning and problem solving. In A. L. Costa(Ed.), *Developing minds: Programs for teaching thinking*. Alexandria, VA: Association for Supervision and Curriculum Development .

Karplus, R. (1977). *Science teaching and the development of reasoning*. University of California: Berkely, CA.

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), 313-350.

Lemke, J. L. (1990). *Talking science: language, learning and values*. Norwood, New Jersey: Ablex Publishing.

Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985).

Naturalistic inquiry. Beverly Hills, CA: Sage Publications.

National Research Council. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academic Press.

Norris, S.P. & Phillips, L.M. (2003). How literacy in its fundamental sense is central to scientific literacy. *Science Education*, 87(2), 224-240.

Osborne, J.F. (2002). Science without literacy: A ship without a sail? *Cambridge Journal of Education*, 32, 203-215.

Phillips, D. C. (1995). The good, the bad, and the ugly: The many faces of constructivism. *Educational Researcher*, 24(7), 5-12.

Pine, A. L., & West, L. H. T. (1986). Conceptual understanding and science learning: An interpretation of research within a sources-of-knowledge framework. *Science Education*, 70(5), 583-604.

Shapin, S. (1996). *The scientific revolution*. Chicago: University of Chicago Press.

Tamir, P., & Lunetta, V.N. (1981). Inquiry-related tasks in high school science laboratory handbooks. *Science Education*, 65, 477-484.

Torrance, E. P. (1984). Teaching gifted and creative learners. In M. Wittrock (Ed.), *Handbook of research on teaching* (3rd ed). Chicago: Rand-Mcnally.

Treffinger, D. J. & Isaksen, S. G. (2005). *Development Creative Problem Solving: The History, Development, and Implications for Gifted Education and Talent*. *Gifted Child Quarterly*, 49(4), 342-353.

Van Jooligen, W.R., & De Jong, T. (1991). Supporting hypothesis generation by learners exploring an interactive computer simulation. *Instructional Science*, 20, 389-404.