

과학영재들의 적용실험 설계 과정에서 나타나는 과정요소 및 특징

유지연 · 박연옥 · 양찬호 · 노태희*
서울대학교

The Components and the Characteristics Revealed at the Processes of Designing Application Experiments of Science-gifted Students

You, Jiyeon · Park, Younok · Yang, Chanho · Noh, Taehee*
Seoul National University

Abstract: In this study, we investigated the thinking processes of 7th grade science-gifted students in designing application experiments and analyzed their performance levels in the categorized processes. The analyses of the results revealed that they considered ‘setting a problem situation,’ ‘deciding a strategy,’ ‘identifying the assumptions,’ ‘defining the measurements,’ and ‘validating the assumptions’ in the processes of designing experiments. However, their performance levels of the categorized processes were found to be rather low. It was especially insufficient in setting the situations concretely appropriated to solve the problems and checking their own thinking critically by proper criteria. Therefore, we suggested a potential learning strategy for designing experiments such as replacing difficult and abstract situations to concrete and familiar situations. These results may offer some implications in developing an education program for science-gifted students to foster creativity by emphasizing scientific thinking skills such as experiment design ability.

Key words: designing experiment, science-gifted student, thinking processes, application experiment

I. 서론

창의성은 독창적이고 유용한 아이디어나 산출물을 만들어내는 능력(Sternberg, 2003)으로, 영재성을 구성하는 핵심적인 요소이다. 창의성이 체계적인 학습을 통해 계발될 수 있음이 알려지면서(Baer, 1998), 선진 각국에서는 영재들의 창의성 계발 방안을 마련하기 위해 노력하고 있다. 우리나라에서도 영재교육진흥종합계획에서 창의성 계발을 영재교육의 중요 목표로 명시하고 있다(교육인적자원부 등, 2007). 이러한 맥락에서 과학 내용지식과 과학 과정 지식을 결합하여 문제를 해결하는 과정에서 창의적 사고를 포함한 고차원적 사고력을 활용할 수 있는 통합적인 접근으로서 탐구 학습이 강조되고 있다(박종원, 2004; NRC, 2000). 그러나 현재 과학영재 교육 프로그램에서 탐구 학습은 영재들이 창의적 사고 활동을 통해 자기주도적인 학습을 할 수 있도록 진행되기 보다는 제시된 순서대로 따라하는 실험 위주로 진

행되고 있다(박지영 등, 2005). 즉, 과학영재들의 창의적 사고를 촉진하기 위한 체계적인 탐구 학습 프로그램이 부족한 실정이다.

탐구 학습 과정에서 창의적 사고의 활용을 촉진할 수 있는 방법의 하나로, 탐구 문제를 해결하기 위한 실험을 학생들이 직접 설계해 보는 활동을 들 수 있다. 실험 설계는 결과물 보다는 결과물을 얻어내는 과정에 초점을 두고 있으며 이 과정에서 과학적 사고 기술이 필요한 활동이다. 따라서 과학적 사고 기술을 향상시키는 것이 과학적 창의성 계발에 중요하다고 강조되고 있는 상황에서(김종백, 2006; Arce & Betancourt, 1997) 실험 설계 활동은 과학적 창의성 계발에 매우 유용한 활동이라 할 수 있다. 그러나 과학고 학생들이나 과학영재들도 실험 과정을 구성하는 각 단계의 논리적 관계를 인식하지 못하며, 실험기구를 다루는 법이나 시약을 만드는 법을 잘 알지 못하는 등 실험 설계에 필요한 지식수준이 피상적인 것으로 보고되었다(권용주 등, 2008; 류철진, 2009). 따라서

*교신저자: 노태희(nohth@snu.ac.kr)

**2011.01.05(접수) 2011.03.15(1심통과) 2011.05.27(2심통과) 2011.05.27(최종통과)

***이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2010-0016228).

탐구를 통해 학생들의 창의적 사고력을 향상시키기 위해서는 과학영재의 실험 설계 과정을 돕기 위한 체계적 방안을 마련할 필요가 있다.

한편, Etkina 등(2006a)은 학생들의 실험 설계 능력을 향상시키기 위해서는 설계하고자 하는 실험의 특징에 맞는 적절한 활동을 제공할 필요가 있다고 제안하였다. 이들은 실험 활동을 그 목적과 특징에 따라 관찰실험(observational experiment), 검증실험(testing experiment), 적용실험(application experiment)으로 분류하고, 각각의 실험 설계에 필요한 사고 및 탐구능력이 서로 다르다고 주장하였다. 따라서 실험 설계에 대한 효과적인 학습 방안을 마련하기 위해서는 실험의 특징에 따라 과학영재들이 실험을 설계하는 과정을 심도 있게 조사할 필요가 있다. 특히, 적용실험은 문제를 해결하기 위해 개념이나 개념 사이의 관계를 사용하여 마찰계수나 비열 같은 정량적인 수치를 구하는 활동이다. 이러한 활동에서는 다양한 아이디어를 탐색하는 확산적 사고나 이를 검토하고 정교화하는 비판적 사고와 같은 고차원적인 사고가 활용된다. 이는 다른 형태의 실험에 비해 과학자들의 수행수준에 좀 더 가까운 것으로(Karelina & Etkina, 2007), 과학자들의 실제 수행에서 나타나는 것과 유사한 과학적 사고과정을 과학영재들이 경험하도록 하므로 과학영재의 창의적 사고 계발에 보다 유용한 실험 형태로 볼 수 있다. 따라서 적용실험 설계 과정에서 나타나는 과학영재의 사고과정을 탐색하여 과학영재에게 보다 유용한 탐구 학습 프로그램을 마련을 위한 정보를 제공할 필요가 있다.

그러나 지금까지 이루어진 실험 설계에 대한 선행 연구들은 실험 설계 능력을 탐구능력의 하위요소로 설정하고 독립적으로 심도있게 다루지 않거나(우종옥, 이항로, 1995) 가설을 검증하는 방법의 유형을 분류하고(박순화 등, 2005; 정진수, 권용주, 2007) 변인 통제 기술에 초점을 맞춰 설계의 특성을 분석(김선자, 최병순, 2005)한 경우가 대부분이었다. 또한, 설계 과정에 대한 분석을 시도하기도 하였으나(Chinn & Malhotra, 2002; Sin *et al.*, 2004) 대부분 검증실험을 대상으로 하고 있으므로 다양한 형태의 실험 설계 과정에서 나타나는 과정요소 및 관련된 사고의 특징 및 어려움을 파악하기에는 한계가 있다.

이에 본 연구에서는 적용실험의 설계 과정에서 나타나는 과학영재들의 사고를 심층적으로 분석하여 과

학영재들이 탐구 학습에서 실험 설계를 효과적으로 수행하는 것을 돕기 위한 체계적 방안을 마련하여 적용하는 데 유용한 시사점을 얻고자 한다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 연구 대상

이 연구는 서울 소재 종합대학의 영재교육원 기초반에 소속된 중학교 1학년 과학영재 7명을 대상으로 하였다. 이들은 소속 학교장으로부터 추천을 받거나 교육청 및 교육과학기술부 지정 초등 영재교육 기관의 교육과정을 수료한 학생으로 해당 대학의 교육원에서 실시한 과학적 사고력 및 창의적 문제 해결력 검사와 심층 면접을 통한 학문적성·인성 평가를 통해 선발되었다. 따라서 이들의 과학적 사고력, 창의성 등의 인지적 능력은 일반 학생들에 비해 높은 것으로 생각할 수 있다. 또한, 올레산 분자의 크기 구하기 실험에 대한 사전 경험이 있을 경우, 실험 절차를 단순 회상하여 계획할 수 있으므로 사전 경험이 없는 학생들을 대상으로 하였다. 결과 분석을 위해 대상 학생들을 임의로 Sa~Sg로 명명하였다.

2. 연구 절차

우선 실험 설계 활동과 관련된 선행연구를 고찰하고 교과서 및 영재교육자료들을 검토하여 적용실험에 적합한 탐구 과제를 선정하였다. 이 과제는 물질의 세 가지 상태와 상태 변화 및 분자 운동 개념을 사용하여 올레산 분자의 지름을 구하는 것이었다.

실험 설계 과정에서 나타나는 학생들의 생각을 구체적으로 알기 위해서 문제를 해결하면서 머릿속에 떠오르는 생각들을 그대로 말로 표현하게 하는 발성 사고법(Larkin & Rainard, 1984)을 활용하였다. 학생들이 발성사고법에 익숙해지도록 실험 설계 활동을 실시하기 이전 차시에 발성사고법에 대한 오리엔테이션을 실시하였다. 먼저 문제 해결 과정에서 발성사고법의 유용성을 설명하고 안내 자료를 이용하여 발성사고법의 구체적인 방법을 설명하였으며, 실제로 발성사고법을 사용하여 문제를 해결하는 과정을 녹화한 자료를 보면서 가능한 떠오르는 생각을 모두 표현해야 한다는 점을 강조하였다(노태희 등, 1996). 그리고

실험 설계 활동과는 관련이 없는 문제를 사용하여 과학영재들이 발생사고법을 연습할 수 있도록 하였다. 적용실험에 대한 설계 활동은 40분 동안 개별적으로 이루어졌다. 이 때, 과학영재들에게 설계 과정을 발생 사고법을 이용해 자세히 표현하며 설계지에도 기록하도록 하였다. 또한, 학생 한 명당 1인의 면담자가 학생들의 설계 과정을 관찰하며 실험 설계 과정에서 나타나는 특징 및 추가적으로 질문할 부분을 기록하였다. 실험 설계 후 사전에 구성한 면담 시나리오와 관찰 기록지를 바탕으로 반구조화된 면담을 실시하였다. 학생들이 표현한 실험 설계 과정에 대한 발생사고 및 면담 질문에 대한 과학영재의 응답을 모두 녹음·녹화하였다.

면담 시나리오는 과학영재의 사고를 심층적으로 조사하기 위해 실험 설계 과정에서의 어려움, 사전지식 및 경험의 활용 등에 대한 질문으로 구성하였다. 이를 위해 선행 연구 및 예비 연구 결과를 바탕으로 면담 시나리오를 구성하고 서울시 지역구 부설 영재교육원의 과학영재들을 대상으로 면담 질문의 타당성을 점검하였다. 그 결과를 모든 연구자들이 분석하고 논의하는 과정을 반복하여 최종 면담 시나리오를 확정하였다. 또한, 면담자들의 면담 기술을 훈련하기 위해 본 면담을 실시하기 전에 예비 면담을 실시하였다.

3. 결과 분석

녹음·녹화된 자료 및 관찰 노트를 바탕으로 전사본을 작성하였다. 선행연구(Etkina *et al.*, 2006a)를 바탕으로 전사본 및 실험 설계지를 반복적으로 분석하여 과학영재들이 실험을 설계하는 과정에서 공통적으로 나타나는 사고과정을 귀납적으로 추출하였다. 그리고 각 과정을 잘 수행한 과학영재들의 자료를 반복적으로 분석하여 각 과정요소의 정의와 수반되는 하위요소를 구체화하였다. 또한, 실험 설계지 및 실험 설계 과정과 사후면담에 대한 전사본을 분석하여 각 과정의 하위요소별 수행 정도를 세부적으로 분석하였다. 연구 결과의 타당도와 신뢰도를 높이기 위해 모든 연구자가 공동으로 논의하여 과정요소 및 하위요소를 추출하고 수집된 자료들을 분석 및 해석하였으며, 과학교육 전문가, 과학교사, 과학교육 전공 대학원생 10여 명으로 구성된 소그룹과의 수차례의 세미나를 통해 분석 결과의 타당성을 검토하고 수정·보완하는

과정을 거쳤다. 본 연구는 과학영재들의 사고과정 요소 및 특징을 탐색하고자 한 것으로, 사고의 원인을 명확히 이해하는 데 한계가 있을 수 있다. 이에, 모든 연구자가 합의점에 도달할 때까지 논의하여 도출한 내용만을 결과 해석에 사용하였다.

Ⅲ. 결과 및 논의

1. 과학영재들의 실험 설계에서 나타난 과정요소

적용실험의 설계에서 나타나는 과학영재의 사고과정 및 특징을 분석한 결과, 상황설정, 전략결정, 측정계획, 가정설정, 가정의 타당화의 5개 과정요소가 나타났다. 각 과정요소에서 나타나는 구체적인 사고의 특징은 다음과 같다.

(1) 상황설정

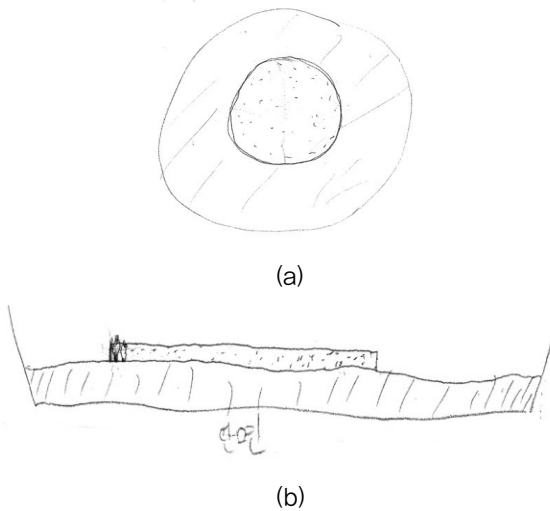
상황설정은 주어진 탐구 과제를 실험적인 방법으로 해결하기 위해 목표를 명확하게 인식하고 구체적인 상황을 마련하는 과정이다. 과학영재들은 이 과정에서 ‘목표 확인’, ‘대상의 특성 파악’, ‘선개념 끌어내기’, ‘상황에 대한 묘사’의 하위요소에 대해 고려하는 것으로 나타났다. 다음은 올레산 분자의 크기를 구하기 위해 상황을 구체적이고 명확하게 설정한 학생 Se의 예시이다. Se는 한 층으로 퍼진 올레산의 높이를 구해야 할 목표 값으로 인식하고(목표 확인), 올레산 분자들이 한 층으로 모여 있는 상황을 올레산의 퍼짐성, 에탄올이나 송화 가루의 성질 등과 연관시켜(대상의 특성 파악, 선개념 끌어내기) 구체적으로 설정하였다. 이 과정에서 Se는 올레산이 분자 수준에서 한 층으로 퍼져있는 상황을 단면과 측면에서 구체적인 그림으로 나타냄으로써 실험의 목표나 상황을 보다 구체적으로 설정하고 있었다(상황에 대한 묘사). 이처럼 과학영재들은 목표 상황을 설정하기 위해 주어진 물질의 성질을 고려하고 관련 있는 개념을 끌어내 활용하였으며 그림을 통해 목표 상황을 구체적으로 묘사하는 것으로 나타났다.

[Se의 발생사고과정에서 나타난 설계 내용]

쟁반이 충분히 넓어 가지고 올레산이 최대한 퍼질 수 있을 정도의 넓이라고 봐요. 거기다 물을 부어요. 여기에 이렇게 쟁반이 있으면 물이 이렇게 차겠조

(그림a). 이렇게 물이 있으면 여기서다 송화가루를 뿌려요. 그 다음에 그 위에도가 올레산에탄올 용액 한 방울을 뿌리는데 올레산에탄올 용액을 뿌리게 되면 시간이 지나면 이건 올레산은 기름이라고 했으니까 휘발성이 크지 않겠죠. 그러니까 일정 시간이 지나게 되면 에탄올은 전부다 증발을 하겠죠. 그 에탄올이 증발을 하게 되면 여기 이렇게 쟁반이 있으면 올레산이 최대한 거의, 충분한 넓이라고 했으니까 퍼질 수 있을 때까지 퍼지겠죠. 그러면 노란색이기 때문에 눈으로 딱 봐도 구별을 할 수 있는거죠(그림a). 이 그림은 위에서 본 그림. 단면에서 높이라 하면 1개의 높이잖아요. 그러니까 이 높이를 구하면 아마 구할 수 있지 않을까 하는 게 저의 추측입니다(그림b).

[Se의 설계지 기록 그림]



특히, 그림 그리기는 추상적인 내용을 구체화시켜 사고를 정교화하는데 효과적이라고 제안되고 있으므로(van Meter & Garner, 2005), 눈에 보이지 않는 미시적인 입자의 크기를 구하는 이 과제에서 목표를 인식하고 상황을 구체적으로 설정하는데 중요한 요소라 볼 수 있다. 따라서 목표를 명확히 확인하고 대상의 특성이나 선개념 중 과제와 관련된 내용을 선택적으로 인식하며, 추상적인 상황을 그림을 통해 나타내는 과정은 상황을 구체적으로 설정하는데 중요한 요소라 할 수 있다.

(2) 전략결정

전략결정은 주어진 문제를 해결하기 위한 실험적 방법을 브레인스토밍을 통해 다양하게 생각하여 최적의 전략 즉, 설계하고자 하는 실험의 큰 틀을 결정하고 정교화하는 과정이다. 이 과정에 수반되는 하위요소로는 ‘아이디어 고안’, ‘실행 가능성 점검’, ‘목표와의 부합성 점검’에 대한 사고가 나타났다. 예를 들어, 전략결정 과정을 잘 수행한 학생 Sg는 한 층으로 퍼트린 올레산의 부피를 분자의 개수로 나누는 방법과 퍼진 올레산 한 층의 두께를 직접 측정하려는 방법, 올레산 한 방울이 한 층으로 퍼진 면적을 부피로 나누어 높이를 구하려는 방법 등 문제를 해결하기 위한 다양한 방법들을 생각해냈다(아이디어 고안). 그 중 현실성이 있는 적절한 아이디어를 선택하여 정교화함으로써 신뢰할만한 결과를 도출할 가능성이 있는 전략을 결정하였다. 특히, 아이디어를 선택하는 과정에서 실제 조작이 가능한지 여부와(실행 가능성 점검) 구하고자 하는 목표에 부합하는지 여부를(목표와의 부합성 점검) 준거로 활용하여 선택한 아이디어를 검토하고 개선하려고 시도하였다. 즉, 실현 가능성이 있는 구체적인 아이디어를 선정하고 잠정적인 시행 단계들을 모의실험하며 목표를 해결할 가능성이 있는지를 점검하는 것으로 나타났다.

아이디어의 생성이 성공적이라면 확산적 사고 뿐 아니라 비판적 사고가 균형 있게 사용되어야 하므로(Isaksen *et al.*, 2000) 다양한 아이디어를 고안하고 이를 비판적으로 점검하는 과정은 문제 해결에 유의미한 전략을 결정하는데 중요한 요소라 할 수 있다.

(3) 측정계획

측정계획은 문제를 해결하기 위해 측정해야 하는 변인을 결정한 후 유용한 도구 및 절차를 구성하는 과정으로 ‘측정할 변인 결정’, ‘도구 탐색’, ‘절차 탐색’, ‘수학적 과정 탐색’의 하위요소를 고려하는 것으로 나타났다. 학생 Sg의 경우 원기둥의 높이를 구하기 위해 올레산 한 방울이 퍼진 원의 지름과 올레산에탄올 용액 한 방울을 떨어뜨렸을 때의 부피변화를 측정하고자 하는 변인으로 결정하였다. 그리고 각 변인을 측정하기 위한 도구를 탐색하고 구체적인 측정 절차를 고민하였을 뿐 아니라 수학적 공식이나 계산과정 등의 측정 결과의 처리 절차까지 최대한 자세하게 표현하려고 시도하였다.

많은 연구들(서정아, 2000; Callahan *et al.*,

1998)이 측정을 기초적인 탐구 기능의 하나로 정의하면서 정량적인 자료를 수집하는 활동이라는 측면에 초점을 맞추고 있다. 그러나 실험 설계에서 측정과 관련된 계획에는 무엇을 측정하는 변인으로 선택할 것 인지를 판단하고 실험 기구를 다루고, 측정된 자료를 이용하여 결론을 도출하는 일련의 과정이 직·간접적으로 관련되어 있다(박중찬, 2009). 따라서 측정할 변인의 결정, 측정 도구 및 절차, 수학적 과정 등의 다양한 요소에 대해 총체적으로 고려하는 것이 문제를 해결하는데 신뢰할만한 값을 구할 수 있는 측정계획을 정교하게 구성하는데 중요한 요소임을 알 수 있다.

(4) 가정설정

가정설정은 문제를 해결하기 위해 계획한 과정의 적용 가능성을 점검하면서 수반되는 필수 가정들을 파악하는 과정으로 ‘가정의 필요성 인식’, ‘필수조건 파악’, ‘가정의 제시’의 하위요소가 나타났다. 학생 Sf와 Se의 경우 올레산 한 방울이 한 층으로 최대한 퍼져있는 상황에서 한 방울의 부피를 퍼진 면적으로 나누어 분자 한 층의 높이를 구하겠다는 전략을 결정하고 관련된 절차를 계획하였다. 이 과정에서 계획한 실험에 전제되는 조건들이 실제와는 다를 수 있으므로 가정이 필요함을 인식하였다(가정의 필요성 인식). 이에 전략을 사용하기 위해 필요한 조건을 파악하여 구해진 높이 값을 올레산 분자의 크기로 보기 위해서 ‘올레산이 한 층의 분자로 퍼져야 한다’는 조건을 가정으로 설정하였다(가정의 제시). 또한, 결정한 수학적 공식을 활용하기 위해서 ‘올레산이 퍼진 층이 원기둥이 되어야 한다’는 필수조건을 인식하여(필수조건 파악) 가정으로 설정하였다.

[Sf의 사후면담]

면담자: 그런 가정을 세운 이유는 뭔가요?

Sf: 퍼진 면이 거의 완벽하게 원형이라는 거를 가정을 했는데, 이 공식을 이용하려면 원기둥이 되어야 되기 때문에 원기둥이라고 생각을, 원기둥이 되는 가정 하에서 이 공식을 이용할 수 있다고 생각하기 때문에 가정을 했어요.

[Se의 사후면담]

면담자: 실험을 계획할 때 가정한 것들 중, 두 번째

것은 한 겹으로 퍼진다는 가정인데 어떻게 세우게 되었나요?

Se: 사실 가정이라는 게 실제와는 다르잖아요. 얼음판에서도 예를 들어서 마찰력의 크기는 0이라고 가정한다, 강철 탱크에서 부피변화는 없다고 가정한다. 근데 그게 없다면 그 식에 대입해야 되고 얼음판에서 마찰력도 구해야 되고 그러니까 실험이 복잡해질 수도 있고 그래서 가정을 세우는 것이 좋기도 한 것 같아요.

가정은 논리적인 결론을 내리기 위해 사용되는 간접적인 증거로서 설정한 실험 상황과 실제 상황 사이에 차이가 있을 가능성을 인지하는 것으로부터 형성되는 확률에 근거한 진술이라 할 수 있다(De Vito, 1989). 실제로 과학자들은 문제를 해결하기 위해 사용되는 수식이 이상적인 상황을 가정한 것일 수 있음을 인식하고 이를 실제 적용하는 경우에는 그에 수반되는 필수조건을 먼저 고려하는 것으로 보고되었다(박중찬, 2009). 따라서 학생들이 가정의 필요성을 인식하고 계획한 실험을 적용하기 위한 필수적인 조건을 파악하는 사고과정은 적절한 가정을 설정하는데 중요한 요인으로 볼 수 있다.

(5) 가정의 타당화

가정의 타당화는 가정한 내용과 실제 실험 상황이 다를 가능성을 인식하여 가정한 상황에 최대한 근접할 수 있도록 구체적인 실험 방법을 계획하는 과정으로, ‘제한점 인식’과 ‘구체적인 방법 탐색’의 하위요소가 나타났다. 학생 Se와 Sf의 경우 가정을 설정함으로써 인해 발생하는 제한점을 인식하고 이를 개선하기 위한 구체적인 방안을 탐색하는 사고를 거치는 것으로 나타났다. 예를 들어, 올레산에탄올 용액 한 방울이 물 위에 한 층의 분자로 퍼진다고 가정하였으나 실제 실험 수행에서 올레산에탄올이 한 층으로 퍼지지 않을 수 있다는 점을 고려하여(제한점 인식) 이를 만족시키기 위해 최대한 넓게 퍼질 수 있도록 ‘충분히 기다린다’(Se), ‘송화가루가 멈출 때까지 기다린다’(Sf) 등과 같은 구체적인 과정을 실험 절차에 추가하였다(구체적인 방법 탐색).

[Se의 사후면담]

면담자: 여기 과정 4번에 ‘충분한 시간이 지난다.’ 라는 과정을 넣은 이유는 뭔가요?

Se: 그게 가정을 만족시켜주기 위한 건데요. 우선 아까 이게 한 겹이 된다고 했는데 이걸 충분히 시간이 지난다는 조건에서 퍼지도록 한 거구요. 여기서 부을 때 최대한 조심스럽게 부었다고 직접 쓰진 않았지만 아까 말로 했잖아요.

면담자: 그런 생각을 한 이유에 대해서 말해줄래요?

Se: 가정을 세우려면 제가 말했다시피 가정에서 틀리게 되면 이걸 오차 수준이 아니고 아예 잘못된 경우가 나온다고 했잖아요. 그러니까 가정을 정확하게 만들어 주기 위해서 필요한 과정은 많을수록 좋다고 봐요. 왜냐하면 가정이 가정이라는 건 정말 중요하니까 이게 틀리면 실험이 의미가 없어지니까. 가정을 그 정확성을 만들기 위해서 필요한 과정은 충분히 있어야 한다고 생각해요.

창의적으로 문제를 해결하기 위해서는 계획이 성공적으로 수행되는데 방해가 되는 요소를 점검하는 비판적인 사고가 중요한 역할을 하는 것으로 보고되고 있다(Isaksen *et al.*, 2000). 따라서 설정한 가정으로부터 발생할 수 있는 제한점을 검토하고 이를 개선하기 위한 구체적인 방안을 모색하는 과정은 자신이 계획한 실험을 비판적으로 점검하고 정교화하는데 중요한 요소가 될 수 있음을 알 수 있다.

2. 과학영재들의 실험 설계에서 나타나는 과정요소별 수행 정도

과학영재들이 실험을 설계하는 과정에서 나타나는 과정요소별 수행 정도를 분석한 결과는 다음 표 1과 같다.

(1) 상황설정

과학영재들이 상황을 설정하는 과정에서 나타나는 하위요소별 수행 정도를 분석한 결과, 일부 과학영재들은 구하고자 하는 목표가 무엇인지에 대해 명확히 인식하지 못하는 것으로 나타났다(2명). 또한, 자료에 제시된 올레산의 성질을 충분히 고려하지 못하고(2명), 관련된 선개념을 활용하려고 시도하지 않거나(2

명), 선개념을 활용하는 경우에도 오개념을 포함하고 있는 경우가 있었다(3명). 상황을 묘사하는 데 있어서 그림을 활용하지 않거나(2명), 그림을 그려 표현할 때 구체성이 부족한 경우도 일부 나타났다(2명).

좋은 실험 설계를 위해서는 주어진 자료에서 과제와 관련된 요소를 파악하는 능력이 필요하다(Darius *et al.*, 2007). 그러나 일부 과학영재의 경우 대상의 특성에 대한 자료가 제공되었음에도 관련 요소를 파악하고 올바르게 활용하는 능력이 미흡하여 구체적인 상황을 설정하는 데 부족함이 있었던 것으로 나타났다. 예를 들어, 학생 Sd의 경우 올레산 한 방울이 대중목욕탕의 욕조를 덮을 정도의 퍼짐성을 지니고 있다는 정보를 제공해주었음에도 불구하고 이러한 특성을 충분히 고려하지 못해 작은 비커에 올레산 한 방울을 떨어뜨리는 실험 방법을 고안하였다. 또한, 상황을 성공적으로 설정하기 위해서는 우선 정확한 개념을 바탕으로 관련 개념을 적절하게 조합해야 한다(Etkina *et al.*, 2006b). 그러나 과학영재 교육프로그램에 참여하고 있는 학생임에도 불구하고 적절한 개념을 끌어내는 것에 다소 어려움을 느끼는 학생들이 있었고, 이 중 대다수가 자신이 지닌 개념의 한계로 인해 형성된 오개념을 적용함으로써 잘못된 상황을 설정하는 것으로 나타났다. 예를 들어, Sc는 쟁반의 크기에 따라 분자의 크기가 달라지므로 쟁반의 크기를 결정해 놓아야만 분자의 크기를 측정할 수 있다고 제안하였다. 또한, Sd는 에탄올이 비누처럼 올레산과 물을 섞어주는 역할을 하기 때문에 올레산에탄올 용액과 물을 모두 섞어서 실험을 하는 것이 좋을 것이라고 제시하기도 하였다. 뿐만 아니라 이 과제는 올레산 분자를 한 층으로 배열하는 것과 같이 추상적인 상황을 구체화시켜 이해하는 것이 필수적인데 일반학생 보다 인지적 수준이 높을 것으로 기대되는 학생들임에도 이러한 능력이 미흡한 경우가 적지 않았다.

이러한 결과로 볼 때, 학생들이 기존에 알고 있던 개념을 회상하고 이를 응용하는 과정이나 추상적인 것을 구체화시켜 나타내는 과정에서 겪는 어려움은 문제의 범위를 좁혀 명확하고 구체적으로 상황을 설정하는데 제한점으로 작용할 가능성이 있다. 따라서 과학영재 학생들이 과제를 해결하기 위한 적절한 상황을 설정하는 것을 돕기 위해서는 학생들이 과제와 관련된 개념을 미리 시범적으로 활용해보고 그 중 추

표 1
실험 설계 과정요소의 하위요소별 수행 정도

과정요소	하위요소	Sa	Sb	Sc	Sd	Se	Sf	Sg
상황설정	목표 확인	○	○	△	△	○	○	○
	대상의 특성 파악	○	△	○	△	○	○	○
	신개념 끌어내기	×	×	△	△	○	△	○
	상황에 대한 묘사	△	×	△	×	○	○	○
전략결정	아이디어 고안	△	△	○	○	○	○	○
	실행 가능성 점검	×	×	×	×	○	○	○
	목표와의 부합성 점검	○	○	○	×	○	○	○
측정계획	측정할 변인 결정	△	△	○	△	○	○	○
	도구 탐색	○	△	△	△	○	○	○
	절차 탐색	○	×	△	×	○	△	○
	수학적 과정 탐색	×	×	△	△	△	○	○
가정설정	가정의 필요성 인식	×	△	×	×	○	○	○
	필수조건 파악	×	×	×	△	○	○	×
	가정 제시	△	△	△	△	○	○	△
가정의 타당화	제한점 인식	△	△	△	△	○	○	○
	구체적인 방법 탐색	×	×	×	×	○	○	×

×: 시도하지 않음, △: 충분하지 않음, ○: 올바르게 수행함.

상적인 내용을 그림과 같이 구체적인 형태로 표현할 수 있는 기회를 제공할 필요가 있을 것이다.

(2) 전략결정

과학영재들이 전략을 결정하는 과정에서 나타나는 하위요소별 수행 정도를 분석한 결과, 대부분의 학생들은 문제를 해결하기 위해 다양한 아이디어를 고안하는 것으로 나타났다(5명). 그러나 고안한 아이디어 중 최종적으로 하나를 선택하는 과정에서 일부 학생들이 실제 실험의 실행 가능성(4명)이나 목표와의 부합성(1명)에 대한 점검을 하지 않는 것으로 나타났다.

문제 해결에 의미 있는 아이디어를 결정하기 위해서는 문제를 다양한 시각에서 재정의하는 확산적 사고 뿐 아니라 아이디어의 수행가능성이나 가치 등에 대해 스스로 점검하여 이를 확고히 할 수 있는 분석적 사고가 필요하다(Sternberg, 2003). 그러나 일부 과학영재의 경우 고안한 아이디어를 비판적으로 점검하는 과정을 충분히 수행하지 못하며 신뢰할 만한 결과를 얻을 수 있는 전략을 결정하는데 어려움을 겪는 것

으로 나타났다. 예를 들어 제시한 전략을 실제로 수행하여 값을 구할 수 있는지 여부에 대한 사전 고려가 부족한 학생들의 경우(Sa, Sb, Sc) ‘올레산 한 분자로 이루어진 한 층의 두께를 직접 잴다’ 등과 같이 측정할 수 없는 미시적인 입자의 크기를 직접 측정하려는 부적절한 전략을 고안하는 경향이 있었다. 또한, 방향성 없이 무작위로 여러 가지의 부적절한 전략을 탐색한 학생 Sd의 경우에는 실행 가능성에 대한 점검 뿐 아니라 제시한 아이디어가 목표한 값을 구하는데 적절한 것인지에 대해 전혀 점검하지 않는 것으로 나타났다. 이는 검증실험에서 나타나는 과학영재들의 특성을 분석한 류설진(2009)의 연구에서 학생들이 전략을 탐색하고 선택한 후 그 타당성을 검토하지 않고 옳다고 생각하는 것으로 나타난 것과 유사하다.

이로 볼 때, 학생들이 적절한 준거를 통해 아이디어를 체계적으로 점검하지 못하는 것은 문제를 해결하기 위한 유의미한 전략을 결정하는데 부정적인 영향을 미칠 가능성이 있음을 알 수 있다. 따라서 교사는 학생들이 스스로 세운 전략을 체계적으로 검토할 수

있도록 안내할 필요가 있는데, 본 연구에서 제시한 하위요소를 활용하여 전략을 실제 실험에서 수행할 수 있는지, 실험의 목표에 전략이 잘 부합되는지 등의 구체적인 준거를 제시해 주는 것이 한 가지 방법이 될 수 있을 것이다.

(3) 측정계획

과학영재들이 측정계획을 구성하는 과정에서 나타나는 하위요소별 수행 정도를 분석한 결과, 일부 학생들은 '분자의 개수'와 같이 실제로 측정이 불가능한 변인을 측정할 변인으로 결정하거나(1명: Sd), 분자 한 층의 높이를 직접 측정할 변인으로 결정하는 것으로 나타났다(2명: Sa, Sb). 또한, 일부 학생들이 '길이 줄 잴다', '올레산에탄올 용액의 부피를 잴다' 등과 같이 측정도구를 구체적으로 언급하지 않거나(3명), 측정 절차(2명) 및 측정 결과의 수학적 처리(3명)에 대해 구체적으로 제시하지 못하는 것으로 나타났다. 몇몇 학생들은 측정 절차(2명)와 측정 결과의 수학적 처리(2명)를 전혀 고려하지 못하기도 하였다.

이러한 결과는 과학영재들이 목적에 맞는 실험 도구 및 절차 선택의 중요성에 대해 인식하지 못했기 때문일 가능성이 있는데, 이는 학생들이 스스로 측정계획을 세운 경험에 매우 부족한 것을 하나의 원인으로 생각할 수 있다(남정희 등, 2002; 류설진, 2009; 박재원 등, 2007; VanTassel-Baska *et al.*, 1998). 즉, 과학영재 수업에서도 일반학교 수업에서와 마찬가지로 주어진 실험절차를 그대로 수행하는 요리책식 실험 수업이나 실험을 통해 개념을 확인하거나 결과의 해석에만 중점을 두는 실험 수업을 진행하는 경우가 적지 않아, 실험 설계 과정에서 측정계획에 대한 교육이 강조되지 않았기 때문일 가능성이 있다.

(4) 가정설정

과학영재들이 가정을 설정하는 과정에서 나타나는 하위요소별 수행 정도를 분석한 결과, 일부 학생들은 자신이 구성한 실험 계획에 수반되는 가정을 설정하는 단계에서 가정의 필요성을 인식하지 못하거나(3명), 전략을 활용하는 데 있어 내재된 필수조건을 탐색하지 못하는 것(4명)으로 나타났다. 학생 Sb의 경우 제시한 계획 중 일부분에 대해서만 가정이 필요함을 인식하였고, 학생 Sd는 필요한 모든 조건을 파악하지 못한 것으로 나타났다. 또한, 대부분의 학생들이

유의미하지 않은 가정을 포함하고 있거나 필요한 가정을 충분히 제시하지 못하고 있는 것으로 나타났다(5명).

가정설정의 필요성에 대한 인식이 부족한 학생들의 경우(Sa, Sb, Sc, Sd)에는 필수조건을 제대로 파악하지 못하고 문제를 해결하는데 부적절하거나 유의미하지 않은 가정을 설정하는 경향이 있었다. 이는 가정의 필요성에 대해 인식하지 못하는 것이 적절한 가정을 설정하는데 제한점으로 작용했을 가능성이 있음을 의미한다. 대학생들의 실험 설계 능력에 관한 선행연구(Etkina *et al.*, 2010)에서도 대부분의 학생들이 가정 설정에 대한 필요성을 느끼지 못하기 때문에 실험에 내재된 가정을 고려하지 못한다고 보고한 바 있다.

한편, 가정의 필요성은 인식하였으나 필수조건을 제대로 파악하지 못한 학생 Sg는 문제를 해결하기에 적합한 상황과 전략을 결정하였음에도 전략에 내재된 필수조건을 가정으로 설정하는 것이 아니라, '부피를 1 ml라고 가정한다.'와 같이 실험 절차 중에서 실제로 수행할 때 어려움이 발생할 수 있는 부분을 나름대로 정당화하기 위해 임의적으로 가정을 설정하는 것으로 나타났다. 또한, 학생들은 실험을 계획하는 동안 가정과 실험으로 검증해야 하는 가설을 혼동하여 불명확하게 표현하는 경우도 많았다. 이와 같이 가정의 정의에 대해 명확히 이해하지 못하는 것도 가정을 올바르게 설정하는데 부정적인 영향을 미쳤을 가능성도 있다.

따라서 과학영재들이 문제를 해결하기 위해 설정한 상황에서 자신이 고안한 전략의 적용 가능성을 평가하도록 함으로써 실험 설계 과정에서 가정의 필요성을 인식하고 적합성을 점검할 수 있는 기회를 제공할 필요가 있다.

(5) 가정의 타당화

과학영재들이 가정을 타당화하는 과정에서 나타나는 하위요소별 수행 정도를 분석한 결과, 일부 학생들이 자신이 계획한 실험 과정에 잠재되어 있는 제한점에 대한 인식이 부족한 것(4명)으로 나타났으며, 이를 해결하기 위한 구체적인 방법을 마련하지 못하는 것(5명)으로 나타났다.

특히, 설정한 가정에서 발생 가능한 제한점에 대한 인식이 부족한 경우 대부분 이를 해결하기 위한 구체적인 방법을 탐색하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 과학영재 학생들이 설정한 가정의 상황과 실제 실험

으로 구현되는 상황이 서로 다르다는 것에 대해 인식하지 못하는 것이 가정을 타당화하여 신뢰로운 결과를 이끌어낼 수 있는 실험 과정을 설계하는데 근본적인 문제가 될 수 있음을 의미한다.

이는 학생들이 가정을 타당화하는 것과 관련된 경험이 부족하여 그를 위한 절차와 과정이 내면화되어 있지 않기 때문일 가능성이 있다(Etkina *et al.*, 2006a). 따라서 실험을 설계하면서 가정을 세울 때 가정에 내재된 제한점을 점검할 수 있도록 지속적인 피드백을 제공하고 그로부터 발생할 수 있는 문제를 해결하기 위한 방법을 고안하여 점차 정교하고 타당하게 설계된 실험이 더욱 성공적임을 경험할 수 있는 기회를 제공할 필요가 있다(류설진, 2009).

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 적용실험에 대한 과학영재의 실험 설계 과정에서 나타나는 사고과정요소 및 특징을 조사하고, 각 과정요소를 성공적으로 수행하는 데 필요한 하위요소를 탐색하여 과학영재의 하위요소별 수행 정도를 조사하였다.

연구 결과, 과학영재들은 실험을 설계하는 과정에서 상황설정, 전략결정, 측정계획, 가정설정, 가정의 타당화의 5개 과정요소와 관련된 사고를 거치는 것으로 나타났다. 즉, 주어진 문제를 해결하기 위한 구체적인 상황을 마련하고 신뢰할 만한 결과를 이끌어 낼 수 있는 다양한 전략을 탐색한 후, 결과를 얻기 위한 절차를 계획하였다. 또한, 전략을 적용하는 데 수반되는 가정을 설정하고 실험적 제한점에 대해 평가하였으며 이를 개선하여 타당화하기 위한 다양한 사고를 하는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 일련의 과정에 대한 과학영재들의 수행 정도는 다소 미흡한 측면이 있는 것으로 나타났다. 예를 들어, 상황설정 과정에서는 과제와 관련된 개념을 떠올려 구조화하거나 추상적인 것을 구체화하지 못하는 경우가 있었으며, 전략을 결정할 때에는 아이디어를 체계적으로 검토하지 못하는 것으로 나타났다. 또한, 측정계획 과정에서는 목적에 맞는 실험 도구 및 절차, 수학적 과정에 대해 구체적으로 제시하지 못하는 경우가 많았다. 가정의 설정 및 타당화 과정에서는 그러한 과정의 필요성에 대한 인식이 다소 부족한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 일반 학생에 비해 인지적 능력이 뛰어난 과학영

재라 할지라도 문제 상황을 구체화시켜 사고하거나 자신의 생각을 반성적으로 점검하고 평가하기 위한 준거를 마련하는데 익숙하지 않아 적절한 실험 설계를 수행하는데 어려움을 겪을 수 있음을 의미하는 것으로 볼 수 있다.

과학영재들의 적용실험에서 나타나는 사고과정의 요소 및 특징을 심층적으로 조사한 본 연구의 결과는 적합한 탐구 학습 프로그램을 개발하는데 구체적이고 유용한 정보를 제공할 수 있다. 즉, 과학영재들은 실험 설계 활동에서 문제를 해결하는데 적합한 목표 상황을 구체적으로 설정하고 전략결정, 측정계획, 가정설정, 가정의 타당화 과정 전반에서 자신의 사고를 적절한 준거를 통해 비판적으로 점검하는 능력이 특히 부족한 것으로 나타났다. 이에 다음과 같은 구체적인 방안을 제안할 수 있다.

예를 들어, 과학영재 학생들이 과제를 해결하기 위한 적절한 상황을 설정하는 것을 돕기 위해 추상적이고 이해하기 어려운 문제 상황을 학생들에게 친숙하여 기존에 지닌 선개념을 쉽게 적용할 수 있는 구체적인 상황으로 바꾸어 생각해볼 수 있는 기회를 제공하는 것이 유용한 방안이 될 수 있다. 즉, 문제 상황의 속성이나 속성들 간의 인과관계가 유사한 구체적인 상황을 제시하여 그로부터 학생들이 문제 상황을 구체적으로 인식하는 것을 도울 수 있다. 또한, 제시된 상황과 문제 상황의 유사점을 대응시켜 문제를 해결하기 위한 유의미한 준거들을 유추함으로써 해결 전략을 구체화하는 사고과정을 경험할 수 있을 것이다. 뿐만 아니라, 적용실험에서 중요하게 다루어지는 요소인 가정이나 제한점에 대한 이해는 계획한 것과 실제 사이에 차이가 있을 가능성을 인지하고 이를 비교해봄으로써 발달할 수 있으므로(Etkina *et al.*, 2006a), 제시된 상황과 문제 상황의 차이점을 체계적으로 검토하는 과정을 통해 계획한 실험에 내재된 제한점에 대한 반성적이며 비판적인 평가를 촉진할 수 있을 것이다.

따라서 추후 연구에서는 본 연구의 결과에 근거하여 적용실험 설계를 수행할 수 있는 체계적인 교수-학습 전략을 개발하고 실제 과학영재 수업에 적용하여 과학영재들의 실험 설계 능력을 향상시키는데 어떤 영향을 미치는지 조사할 필요가 있다. 또한, 실험 설계에서 나타나는 과학영재들의 사고과정은 실험의 종류와 특성에 따라 달라질 가능성이 있으므로 다양

한 실험 설계 과정에서 과학영재들이 거치는 사고과정을 조사하는 연구가 지속적으로 이루어진다면 과학영재들의 사고력 계발에 적합한 탐구 학습 프로그램의 개발에 유용한 시사점을 줄 수 있을 것이다.

국문 초록

이 연구에서는 중학교 1학년 과학영재 학생들의 적용실험에 대한 실험 설계 과정에서 나타나는 사고를 발생사고법을 이용해 조사하였고, 각 과정요소별로 과학영재의 수행 정도를 분석하였다. 연구 결과, 과학영재들은 실험을 설계하는 과정에서 '상황설정', '전략결정', '가정설정', '측정계획', '가정의 타당화'의 과정요소와 관련된 사고를 하는 것으로 나타났다. 그러나 이러한 과정요소에 대한 과학영재들의 수행 정도는 다소 미흡한 측면이 있는 것으로 나타났다. 특히, 실험 설계 과정에서 문제를 해결하는데 적합한 목표 상황을 구체적으로 설정하거나 자신의 사고에 대해 적절한 준거를 통해 비판적으로 점검하는 능력이 부족한 것으로 드러났다. 이에 추상적이고 이해하기 어려운 문제 상황을 학생들에게 친숙한 구체적인 상황으로 바꾸어 생각하도록 하는 새로운 실험 설계 학습 전략의 가능성을 제안하였다. 본 연구의 결과는 실험 설계 능력과 같은 과학적 사고 기술을 강조함으로써 과학적 창의성을 계발하기 위한 과학영재 교육프로그램 개발에 유용한 시사점을 제공할 수 있을 것이다.

참고 문헌

권용주, 이준기, 이일선, 최상규 (2008). 고래 과제에서 과학고등학교 학생들이 고안한 가설 검증 방법의 분석을 통한 실험 설계 능력 지수 산출식의 개발. *한국생물교육학회지*, 36(1), 40-51.

교육인적자원부, 과학기술부, 문화관광부, 여성가족부, 기획예산처, 특허청 (2007). 제2차 영재교육진흥종합계획.

김선자, 최병순 (2005). 변인통제 문제 해결 과정에서 나타난 초등학생의 실험 설계 및 증거제시 특성. *한국과학교육학회지*, 25(2), 111-121.

김종백 (2006). 과학영재를 위한 교수-학습 전략. *영재와 영재교육*, 5(2), 19-32.

남정희, 김성희, 강순희, 박종윤, 최병순 (2002). 변인통제 문제해결 활동에서 학생들의 인지수준에 따른 상호작용 분석. *한국과학교육학회지*, 22(1), 110-121.

노태희, 전경문, 한인옥, 김창민 (1996). 학생의 인지발달 수준과 문제의 상황에 따른 화학 문제해결 행동 비교. *한국과학교육학회지*, 16(4), 389-400.

류설진 (2009). 생물학자와 과학영재의 실험 설계 활동에서 나타나는 과정요소와 특성 분석. *한국고원대학교 대학원 석사 학위 논문*.

박순화, 고경태, 정진수, 권용주 (2005). 생물학 탐구에서 학생들이 생성한 가설검증방법의 유형. *한국과학교육학회지*, 25(2), 230-238.

박재원, 윤상미, 원정애, 백성혜 (2007) 초등학생의 실험 기구 조작 능력에 대한 실태 조사. *초등과학교육학회지*, 26(2), 161-170.

박종원 (2004). 과학적 창의성 모델의 제안. *한국과학교육학회지*, 24(2), 375-386.

박종찬 (2009). 측정과 자료해석 능력 향상을 위해 교정적 피드백을 강조한 실험 수업의 효과: 과학고등학교 물리 실험활동을 중심으로. *서울대학교 대학원 박사 학위 논문*.

박지영, 이길재, 김성하, 김희백 (2005). 과학영재 교육프로그램 분석 모형의 고안과 국내의 과학영재를 위한 생물프로그램의 실태 분석. *한국생물교육학회지*, 33(1), 122-131.

서정아 (2000). 측정이론에 관한 중학교 1학년 학생의 선개념 조사. *한국과학교육학회지*, 22(3), 455-465.

우종욱, 이항로 (1995). 고등학생의 지구과학 탐구 능력 측정을 위한 평가도구 개발. *한국과학교육학회지*, 15(1), 92-103.

정진수, 권용주 (2007). 감자즙 과제에서 예비 과학 교사들이 생성한 가설 검증 방법. *한국생물교육학회지*, 35(2), 320-327.

Arce, J., & Betancourt, R. (1997). Student-designed experiments in scientific lab instruction. *Journal of College Science Teaching*, 27(2), 114-118.

Baer, J. (1998). The case for domain specificity of creativity. *Creativity Research Journal*, 11(2), 173-177.

Callahan, J. F., Clark, L. H., & Kellough, R. D. (1998). *Teaching in the middle and secondary schools*, 6th ed. Merrill, New Jersey: Englewood Cliffs.

Chinn, C. A., & Malhotra, B. A. (2002). Epistemologically authentic inquiry in schools: A theoretical framework for evaluating inquiry tasks. *Science Education*, 86(2), 175-218.

Darius, P. L., Portier, K. M., & Schrevens, E. (2007). Virtual experiments and their use in teaching experimental design. *International Statistical Review*, 75(3), 281-294.

De Vito, A. (1989). *Creative wellsprings for science teaching*. West Lafayette: Creative Ventures.

Etkina, E., Heuvelen, A. V., White-Brahmia, S., Brookes, D. T., Gentile, M., Murthy, S., Rosengrant, D., & Warren, A. (2006a). Scientific abilities and their assessment. *Physical Review Special Topics-Physics Education Research*, 2(2), 1-15.

Etkina, E., Karelina, A., Ruibai-Villasenor, M., Rosengrant, D., Jordan, R., & Hmelo-Silver, C. E. (2010). Design and reflection help students develop scientific abilities: Learning in introductory physics laboratories. *Journal of the Learning Sciences*, 19(1), 54-98.

Etkina, E., Murthy, S., & Zou, X. (2006b). Using introductory labs to engage students in experimental design. *American Journal of Physics*, 74(11), 979-986.

Isaksen, S. G., Dorval, K. B., & Treffinger, D. J. (2000). *Creative approaches to problem*

solving: A framework for change (2nd ed.). Dubuque, IA: Kendall Hunt.

Karelina, A., & Etkina, E. (2007). Acting like a physicist: Student approach study to experimental design. *Physics Education Research*, 3(2), 1-12.

Larkin, J. H., & Rainard, B. (1984). A research methodology for studying how people think. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(3), 235-254.

National Research Council (2000). *Inquiry and national science education standards: A guide for teaching and learning*. Washington, DC: National Academy Press.

Sin, M., Park, J., Jung, H., & Heo, N. (2004). Rethinking the high ability students to foster their scientific research skill: Through an experimental designing test. *Journal of Korean Earth Science Society*, 25(8), 674-683.

Sternberg, R. J. (2003). *Wisdom, intelligence, and creativity synthesized*. New York: Cambridge University Press.

van Meter, P., & Garner, J. (2005). The promise and practice of learner-generated drawing: Literature review and synthesis. *Educational Psychology Review*, 17(4), 285-325.

VanTassel-Baska, J., Bass, G., Ries, R., Poland, D., & Avery, L. (1998). A national study of science curriculum effectiveness with high ability students. *Gifted Child Quarterly*, 42(4), 200-211.