

비유 실험을 활용한 탐구학습이 과학영재의 실험설계 과정에 미치는 영향

유지연 · 박연옥 · 노태희*

서울대학교

The Influences of Inquiry Learning-Based Analogical Experiments on Experimental Design Processes of Science-Gifted Students

You, Jiyeon · Park, Younok · Noh, Taehee*

Seoul National University

Abstract: In this study, we developed analogical experimental activities to foster scientific creativity in inquiry learning and applied them to 7th grade science-gifted students. The influences of inquiry learning-based analogical experiments were investigated with respect to the experimental design processes. We classified the patterns of experimental design processes by creative thinking processes and analyzed performance levels by the elements of experimental design processes. The students' experimental design processes were categorized into three kinds of patterns such as reinitiated motion, backward-divergent motion and stationary motion. Those belonging to the reinitiated motion performed precise experimental design from new perspectives by identifying the mapping in depth and considering the elements of experimental design processes. In the case of the backward-divergent motion, they shifted their positions to new directions, but the concreteness of experimental design was insufficient due to the lack of mapping or considering the elements. In the type of stationary motion, maintaining their previous positions, they showed less performance of experimental design without considering the elements sufficiently. Educational implication of these findings are discussed.

Key words: designing experiments, science-gifted student, analogical experimental inquiry

I. 서 론

우리나라에서는 2002년 영재교육진흥법을 통해 자율적이고 창의적인 인재 육성을 영재 교육의 기본 방향으로 설정하고 영재의 창의성 함양에 노력을 기울이고 있다. 최근에는 창의성이 영역특수적이라는 견해(Han, 2000; Baer, 1998)에 대한 공감대가 확산되면서, 과학 개념학습과 더불어 과학교육의 중요한 목표 중 하나인 탐구학습이 과학적 창의성의 발현에 반드시 필요한 요소로 강조되고 있다(박종원, 2004; Hu & Adey, 2002). 그러나 현재 과학영재 교육에서 이루어지는 탐구학습은 탐구문제를 인식하고 재정의 하거나, 문제를 해결하기 위한 실험을 직접 구성하는 등의 자기주도적인 탐구보다는 학생들이 제시된 절차

를 순서대로 따라하는 실험 활동 위주로 진행되고 있다(박지영 등, 2005). 또한, 과학 탐구학습을 통해 과학영재 학생들의 창의적 사고를 계발하기 위한 교수·학습 전략이나 체계적인 탐구학습 프로그램도 매우 부족한 실정이다(정현철 등, 2002).

여러 과학교육 연구자들은 과학 탐구학습에서 결과물보다는 결과물을 얻어내는 과정에 초점을 맞추어, 실험을 직접 설계하는 등의 활동을 통해 과학적 사고 기술을 향상시키는 것이 과학적 창의성 계발에 중요하다고 강조하고 있다(김종백, 2006; Arce & Betancourt, 1997). 따라서 탐구학습 과정에서 과학영재 학생들이 탐구문제를 해결하기 위한 실험설계를 직접 구성해보도록 함으로써 창의적 사고를 효과적으로 활용할 수 있도록 하는 것이 매우 중요하다. 그러

*교신저자: 노태희(nohth@snu.ac.kr)

**2011.06.08(접수) 2011.07.14(1심통과) 2011.08.20(2심통과) 2011.08.23(최종통과)

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

나 과학영재 학생들이라 할지라도 실험을 설계하는 과정에서 문제 상황을 구체화시켜 사고하거나 자신의 생각을 반성적으로 점검하는데 어려움을 겪으며, 실험설계의 수행수준이 미흡한 것으로 나타났다(류설진, 2009; 유지연 등, 2011). 따라서 과학탐구를 통해 과학영재 학생들의 창의적 사고력을 향상시키기 위해서는 학생들이 실험설계를 효과적으로 수행하는 것을 도울 수 있는 구체적인 학습 전략의 개발이 필요하다.

학습자들이 실험을 설계하기 전에 문제의 확인, 자료 수집 방법 등 관련된 구성 요소들을 미리 고려하여 활용해 보는 사전 활동은 의미 있는 실험설계를 위해 중요하다. 이는 실험 과정을 구성하고 검토하는 과정에서, 해결해야 할 탐구문제 상황과 관련 구성 요소들이 상호작용하며 설계를 구체화할 수 있는 기회를 제공함으로써 창의적인 사고를 증진시킬 수 있기 때문이다(Darius *et al.*, 2007; Solomon, 1980). 이러한 사전 활동의 일환으로 비유의 활용을 고려할 수 있다. 비유적 사고는 친숙하지 않은 정보들을 학습과 경험을 통해 인지구조 내에 정착되어 있는 친숙한 정보들과 관련지어 사고하는 과정으로, 새로운 정보를 인지구조에 능동적으로 동화시킬 수 있도록 자극하고, 추상적인 개념을 구체적이고 상상 가능한 형태로 시각화하는데 유용하기 때문이다(Kipnis, 2005; Rule & Fureletti, 2004). 또한, 실험설계 과정에서는 학생들이 탐구문제를 해결하는데 필요한 정보들과 자신의 사고를 시각화하고, 이를 끊임없이 재연결하며 통합, 변환, 조작하는 등의 심상적 사고의 활용이 중요한데(Solomon, 1980; Wellington, 2004), 비유는 이러한 심상적 사고를 촉진시키므로(성은현, 2001) 실험설계에 있어 유용한 사전 활동으로 활용될 수 있다.

이런 측면에서, 창의적인 탐구학습을 위한 비유 사용 방안으로, 실험설계에 앞서 탐구 실험과 연관된 비유 상황을 제시하고, 비유 상황에서 과학영재 학생들이 직접 실험을 설계하고 비유물을 조작하면서 문제를 해결하는 비유 실험 활동을 제안할 수 있다. 비유 실험을 활용한 탐구학습은 학생들이 이해하기 어려운 추상적인 탐구문제를 구체적으로 재정의하는 과정에서, 비유적 추론을 통해 다양한 관점에서 사고할 수 있도록 함으로써 보다 창의적인 실험설계를 수행할 수 있도록 도울 수 있을 것으로 기대된다. 이를 통해, 과학영재 학생들의 연관적 사고 및 확산적 사고를 촉진할 수 있을 뿐만 아니라, 과학영재 학생들이 비유

실험 상황과 탐구문제 상황을 대응시키면서 실험 계획을 점검하고 정교화하는 과정을 통해 분석적 사고도 촉진될 수 있을 것으로 기대된다.

한편, 과학영재의 창의성 계발을 위한 비유의 활용 방안에 대한 연구는 많지 않다. 초등과 중등 과학영재 수업에 비유 생성 활동을 적용한 연구(김유정 등, 2009; 노태희 등, 2010)가 일부 이루어졌으나, 학생들이 생성한 비유의 특징 및 비유 생성 과정 등에 집중하여 창의적 사고 계발의 측면은 구체적으로 고려하지 않았다. 또한, 과학영재 학생들의 창의성 계발을 위한 비유 생성 수업 전략에 대한 연구도 시도되었으나(김유정, 2011), 이는 과학 개념학습 과정에서 비유적 사고의 활용 방안을 모색하기 위한 것이었다. 즉, 탐구학습 과정에서 창의적 사고를 향상시키기 위한 목적으로 비유를 활용하는 수업 전략에 대한 연구는 거의 이루어지지 않았다.

이에 이 연구에서는 과학영재의 탐구학습에서 창의성 계발을 촉진하는 비유 실험설계 수업 전략 개발을 위한 기초 연구로서, 비유 실험을 활용한 탐구학습의 적용 가능성을 탐색하고자 한다. 이를 위해 비유 실험을 활용한 탐구학습을 수행한 과학영재 학생들의 실험설계 과정을 분석하여, 비유를 활용한 탐구학습이 과학영재 학생들의 실험설계 과정에 미치는 영향을 심층적으로 조사하고자 한다.

II. 연구 내용 및 방법

1. 연구 대상

이 연구는 서울시에 소재한 대학부설 영재교육원의 중학교 1학년 과학영재 8명을 대상으로 하였다. 이들은 각 소속 학교장으로부터 추천을 받거나 교육청 및 교육과학기술부 지정 초등 영재교육 기관의 교육과정을 수료한 학생들로, 해당 대학의 영재교육원에서 실시한 과학적 사고력 및 창의적 문제 해결력 검사와 심층 면접에서 학문적성·인성 평가를 거쳐 선발되었다. 또한, 이 연구에서 사용한 탐구문제인 올레산 분자의 크기 구하기에 대한 사전 경험이 있을 경우 실험 절차를 단순 회상하여 계획할 수 있으므로, 사전 경험이 없는 학생들을 대상으로 하였다. 결과 분석을 위해 대상 학생들을 임의로 S1~S8로 명명하였다.

2. 연구 절차

우선 실험설계 활동 및 비유 학습과 관련된 선행연구를 고찰하고 교과서 및 영재교육자료들을 검토하여 과학영재 학생들이 비유적 사고를 활용하여 실험을 설계하기에 적합한 탐구문제를 선정하고 비유 실험을 개발하였다. 탐구문제는 올레산 분자의 크기를 구하는 것으로 선정하였으며 이에 대한 비유 실험은 곡물의 평균 크기를 구하는 것으로 하였다. 올레산 분자의 크기를 구하는 실험은 물질의 세 가지 상태와 상태 변화 및 분자 운동 개념들 간의 관계를 사용하여 분자의 길이를 정량적인 수치로 구하는 적용실험에 해당하는 탐구과제이다. 적용실험은 다양한 아이디어를 탐색하는 확산적 사고나 이를 검토하고 정교화하는 비판적 사고와 같은 고차원적인 사고를 요하는 것으로 과학영재의 창의적 사고 계발에 유용한 형태로 보고되고 있다(Karelina & Etkina, 2007). 비유 실험은 학생들이 친숙하게 접할 수 있는 소재인 곡물을 올레산 분자의 비유물로 설정하여 곡물의 크기를 구하는 다양한 방법에 대해 계획하고, 곡물을 직접 조작하며 문제를 해결해봄으로써 올레산 분자의 크기를 구하는 실제 탐구문제에 활용하도록 하기 위한 것이다. 예비연구를 토대로 비유 실험을 위한 교사용 수업 지도안과 학생용 교수-학습 자료를 개발하였고 과학교육 전문가 2인 및 과학영재교육 담당 교사 5인으로부터 타당성을 검토 받아 수정·보완한 후, 완성된 자료를 활용하여 탐구학습을 실시하였다. 비유 실험을 활용한 탐구학습에서는 과학영재 학생들이 주어진 탐구문제를 해결하기 위한 다양한 실험 방법을 단계별로 구성해 보도록 하였다. 이때 교사는 과학영재 학생들이 계획한 다양한 실험 방법을 정리하고 학생들이 직접 실험을 수행하여 문제를 해결할 수 있도록 하였다. 비유 실험을 활용한 탐구학습을 진행한 후, 과학영재 학생들은 발생사고법을 사용하여 올레산 분자의 크기를 구하는 탐구문제를 해결하기 위한 실험설계를 약 40분 동안 개별적으로 수행하였다. 이 과정에서 면담자가 각 학생 1명씩을 관찰하며 실험설계에서 나타나는 특징 및 추가적으로 질문할 부분을 기록하였다. 실험설계 후에는 사전에 구성한 면담 시나리오와 관찰 기록지를 바탕으로 반구조화된 면담을 실시하였다.

면담 시나리오는 실험설계 과정에서 나타나는 과학영재의 사고를 심층적으로 조사하기 위해 비유 실험

을 활용하여 실험설계를 하는 과정이나 비유 실험과 설계한 실험의 속성 및 관계를 각각 대응시키는 과정 등에 대한 질문으로 구성하였다. 또한, 비유 실험을 활용한 탐구학습에 대한 과학영재 학생들의 인식을 조사하기 위해 비유 실험의 활용 정도와 유용성 및 비유 실험 활용에서의 어려움 등을 질문하였다. 발생사고를 통한 학생들의 실험설계 과정 및 면담 과정은 모두 녹음·녹화하였다.

3. 결과 분석

녹음·녹화된 자료 및 관찰 기록지를 바탕으로 전사본을 작성하였다. 전사본을 바탕으로 비유 실험을 활용한 탐구학습 후 실험을 설계하는 과정에서 나타나는 과학영재의 사고과정을 심층적으로 분석하였다. 우선, 학생들이 비유 실험을 활용하여 새로운 탐구문제를 해결하는 실험설계 과정의 유형을 Sternberg 등(2002)의 창의적 사고과정의 유형에 따라 분석하였다. Sternberg 등(2002)은 문제를 해결하는 데 있어 현존하는 아이디어를 진진적으로 추진시키는 사고과정에 따라 그 과정에 공헌하는 창의성의 유형이 다르다는 것에 기초하여, 창의적 사고과정의 유형을 8가지로 분류하여 제시하였다. 이 연구에서는 이를 비유 실험을 활용한 실험설계 상황에 적용하여, 과학영재들이 비유 실험 상황에서의 아이디어를 변화시켜 추진하는 과정을 중심으로 유형을 분석하였다. 또한, 각 유형에 따른 실험설계 과정요소별 수행수준을 분석·비교하였다. 과정요소별 수행수준에 대한 분석을 위해, 동일한 탐구문제에 대한 과학영재 학생들의 일반적인 실험설계에서 나타나는 특징을 분석한 선행연구(유지연 등, 2011)에서 사용한 분류틀에 따라 적용실험 설계의 과정요소 및 하위요소를 표 1과 같이 분류하고, 각 과정의 하위요소별 수행수준을 분석하였다. 이때, 실험설계 과정에서 비유 실험의 활용정도과 유용성 및 비유 실험 활용에서의 어려움 등의 사후 면담 질문에 대한 과학영재 학생들의 응답을 해석 자료로 활용하였다.

연구 결과의 타당도와 신뢰도를 높이기 위해 수집된 자료들은 모든 연구자가 공동으로 분석하고 해석하였으며, 과학교육 전문가 2인 및 과학교사, 과학교육 전공 대학원생 10여 명과 수차례 논의하여 분석 결과를 검토하고 수정·보완하였다. 또한, 모든 연구자

표 1
실험설계 과정요소

과정요소	정의	하위요소
상황설정	주어진 탐구문제를 실험적인 방법으로 해결하기 위해 목표를 명확하게 인식하고 구체적인 상황을 마련하는 과정	목표 확인 대상의 특성 파악 선개념 끌어내기 상황에 대한 묘사
전략결정	주어진 문제를 해결하기 위한 실험적 방법을 브레인스토밍을 통해 다양하게 생각하여 최적의 전략을 결정하고 정교화하는 과정	아이디어 고안 실행 가능성 점검 목표와의 부합성 점검
측정계획	문제를 해결하기 위해 측정해야 하는 변인을 결정한 후 유용한 도구 및 절차를 결정하기 위한 과정	측정할 변인 결정 도구 탐색 절차 탐색 수학적 과정 탐색
가정설정	계획한 과정의 적용 가능성을 점검하면서 수반되는 필수 가정들을 파악하는 과정	가정의 필요성 인식 필수조건 파악 가정 제시
가정의 타당화	가정한 내용과 실제 실험 상황이 다를 가능성을 인식하여 가정한 상황에 최대한 근접할 수 있도록 구체적인 실험 방법을 계획하는 과정	제한점 인식 구체적인 방법 탐색

가 논의하여 합의점에 도달한 내용만을 결과 해석에 사용하였다.

는 것 뿐 아니라 그 방향으로 나아가게 하는 추진력으로 작용한다.

Ⅲ. 결과 및 논의

1. 비유 실험을 활용한 실험설계 과정의 유형 및 특징

과학영재 학생들이 비유 실험을 활용하여 새로운 탐구문제를 해결하기 위한 실험설계 과정을 Sternberg 등(2002)의 창의적 사고과정의 유형에 따라 분석한 결과, 확장이동형(RM: Reinitiated Motion), 후진-확산이동형(BDM: Backward-Divergent Motion), 제자리이동형(SM: Stationary Motion)의 세 가지 유형이 나타났으며, 이에 대한 구체적인 설명과 예는 다음과 같다.

(1) 확장이동형(RM: Reinitiated Motion)

확장이동형(RM형)은 비유 실험 상황에서 문제를 해결하는 데 활용한 현재의 관점을 새로운 탐구문제 상황에 그대로 적용하지 않고, 여러 가지 가능성을 고려하여 새로운 관점을 선택하고 그 관점에서 새로운 실험절차를 구체적으로 계획해 나가는 경우를 말한다(그림 1). 이 과정에서 창의성은 새로운 관점을 형성하

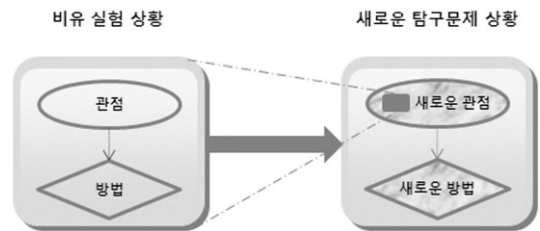


그림 1 확장이동형의 실험설계 과정

확장이동형으로 분류된 학생들(S5, S7, S8)의 사고 과정을 구체적으로 살펴보면, 먼저 주어진 탐구문제를 인식하는 과정에서 비유 실험에서 자신이 사용한 전략뿐만 아니라 다양한 다른 전략들도 떠올려 적용 가능성을 탐색하였다. 이 때, 비유 실험 상황과 탐구문제 상황의 유사점 및 차이점에 대한 잠재적인 대응 관계를 확인하여 비유 실험에서 자신이 결정한 전략이나 실험방법이 제시된 탐구문제에 적용하기에 적합하지 않다고 판단하고 다른 측면에서 실험설계를 시작하였다. 또한, 유사점과 차이점을 심층적으로 분석하며 구체적으로 실험절차를 계획하였다. 특히, 차이점에 대해 정확히 파악하고 이를 줄이기 위한 방안을 구체적으로 탐색하여 실험 절차를 구성하였다. 예를

들어, S5의 경우에는 콩과 올레산 분자를 대응시킬 때, '콩은 퍼짐성이 없지만 직접 조작할 수 있기 때문에 손으로 두드려 한 층을 만들었다'와 '올레산 분자는 손으로 직접 조작할 수는 없지만 퍼짐성이 좋다'라는 차이점들을 구체적으로 인식하여 물과 송화가루를 활용하여 올레산 분자를 한 층으로 퍼뜨리기 위한 구체적인 실험 절차를 계획하였다.

이와 같이 확장이동형에 속하는 과학영재 학생들은 비유 실험 상황과 탐구문제 상황의 대응 관계를 심층적으로 파악함으로써 비유 실험을 검토하고 비판적으로 수용하는 과정을 거치는 것으로 나타났다. 즉, 비유 실험이 탐구문제를 다양한 시각에서 탐색하여 재정의하는 데 도움을 주었을 뿐만 아니라, 자신이 구성한 실험 계획을 비판적으로 점검하기 위한 준거로 유용하게 사용되었음을 알 수 있다. 따라서 탐구학습 과정에서 비유 실험을 목표 실험에 올바르게 대응하며 적절히 활용하는 것이 과학영재 학생들의 확산적 사고 뿐 아니라 비판적 사고를 촉진시켜 새로운 관점을 형성하고 보다 창의적이고 정교한 실험설계를 수행할 수 있도록 하는데 도움을 준 것으로 볼 수 있다.

(2) 후진-확산이동형(BDM: Backward-Divergent Motion)

후진-확산이동형(BDM형)은 새로운 탐구문제를 해결하기 위해 비유 실험 상황에서의 관점을 바로 적용하여 실험설계를 수행하였으나, 실험절차를 계획하는 과정에서 현재의 관점이 부적절함을 인식하고 다시 비유 실험 상황으로 되돌아가 새로운 관점으로 전환하는 경우를 말한다(그림 2). 이 과정에서 창의성은 방향을 되돌려 관점을 전환하는 추진력으로 작용한다.

이 유형에 해당하는 학생들(S1, S3, S4)은 곡물의 크기를 구하는 비유 실험에서 곡물 전체의 부피를 개수로 나누어 곡물 한 개의 부피를 구한 후, 구의 부피를 구하는 수학적 공식을 사용하여 콩의 반지름을 계산하는 방법을 사용하였다. 이 학생들은 올레산 분자의 크기를 구하는 탐구문제를 해결하기 위해 먼저 곡물과 올레산 분자를 대응하여 두 물질이 모두 구 모양이라는 유사점만을 확인하였다. 이를 토대로 비유 실험 상황에서 자신이 결정한 관점 및 실험 방법이 탐구문제 상황에 적용 가능하다고 판단하고 실험설계를 시작하였다. 그러나 측정계획을 세우는 과정에서 콩은 직접 개수를 셀 수 있지만, 올레산 분자는 직접 개

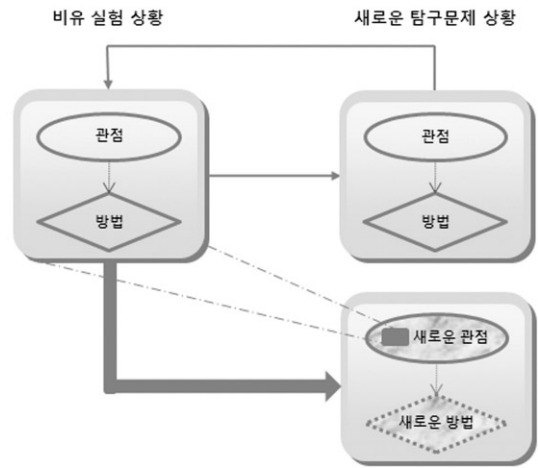


그림 2 후진-확산이동형의 실험설계 과정

수를 셀 수 없다는 차이점을 인식하며 현재의 방향이 부적절함을 인식하였다. 이에 다시 비유 실험 상황으로 돌아가 다른 전략들의 적용 가능성을 탐색하고 인식한 차이점을 바탕으로 분자의 크기를 측정 가능한 변인을 활용하여 분자의 크기를 간접적으로 구할 수 있는 새로운 접근을 시도하였다.

이와 같이 후진-확산이동형의 과학영재 학생들은 비유 실험을 활용하여 탐구문제 해결을 위한 관점을 새롭게 전환함으로써 또 다른 새로운 해결책을 탐색하는 과정을 거친다는 것을 알 수 있다. 즉, 제시된 탐구문제를 해결하기 위해 비유 실험을 바탕으로 다른 다양한 전략을 탐색할 수 있게 되어 과학영재 학생들의 확산적 사고가 촉진된 것으로 볼 수 있으며, 이에 따라 보다 유의미한 방향으로 실험설계를 수행할 수 있었던 것으로 볼 수 있다.

그러나 이러한 유형의 학생들은 비유 실험 상황과 탐구문제 상황을 대응시켰으나 그 수준이 낮고 정교하지 못해 실험설계의 구체성에서 다소 미흡한 부분이 있었다. 이와 관련하여 학생들은 사후면담 과정에서 다음과 같은 어려움이 있다고 응답하였다.

[S1의 사후면담]

면담자 비유 실험을 활용하는 데 어려운 점은 없었니?
 S1 비유 실험에 무작정 대입을 하려고 하니 뭔가 다른 게 좀 많은 것 같은데 그런 결

어떻게 처리해야할지 그게 좀 어려웠어요.

즉, 학생들은 비유 실험 상황과 탐구문제 상황을 대응시키며 탐구문제를 해결하기 위한 새로운 관점을 형성할 수 있으나, 차이점을 보다 구체적으로 파악하는데 어려움을 겪으며 보다 정교한 실험절차를 계획하는데 한계를 느낀다는 것을 알 수 있다.

(3) 제자리이동형(SM: Stationary Motion)

제자리이동형(SM형)은 비유 실험 상황에서 문제를 해결하기 위해 활용한 관점이 새로운 탐구문제 상황에 적용하기에 적절하다고 판단하여 그 관점을 계속 유지하는 경우를 말한다(그림 3). 이 때, 창의성은 새로운 관점을 형성하거나 방향을 전환하기 보다는 현재의 위치를 지키는데 공헌하므로 제자리이동으로 표현된다.

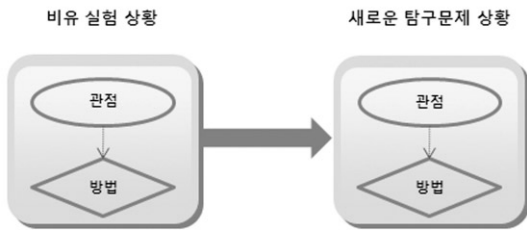


그림 3 제자리이동형의 실험설계 과정

이러한 사고과정을 거치는 학생들이 비유 실험을 활용하는 수준을 분석한 결과, 곡물과 올레산 분자를 대응하여 주어진 탐구문제를 비유 실험과 유사한 것으로 인식하고 비유 실험 상황에서 자신이 결정한 실험 방법을 그대로 적용하는 것으로 나타났다. 예를 들어, S2의 경우에는 비유 실험에서 부피와 개수를 이용한 전략을 결정하여 실험을 계획하였다. 탐구문제 상황에 기존의 관점을 유지하며 실험을 계획하는 과정에서 ‘물수를 계산하면 분자의 개수는 쉽게 구할 수 있으므로 이 방법이 가능하다’ 와 같이 자신이 계획한 실험 방법의 실행 가능성을 점검하면서 현재의 관점이 타당하다고 생각하였다.

또한, 그 과정에서 비유 실험에는 존재하지 않는 속성임에도 불구하고 자신이 설계한 실험의 속성과 대응시켜 탐구문제 상황을 비유 상황에 끼워 맞추는 오류를 범하기도 하였다. 다음은 이와 관련된 S6의 대응 오류의 예시이다.

[S6의 대응 오류 예시]

콩의 개수는 직접 셀 수 있지만 올레산 분자는 직접 셀 수 없으므로 직접 셀 수 있는 물질로 송화가루를 선택하여 콩을 송화가루로 다시 대응시켰어요.

S6은 비유 실험에서 콩을 일렬로 나열하여 전체 길이를 측정 후 콩의 개수로 나누는 방법을 중심으로 실험을 계획하였다. 올레산 분자의 크기를 구하는 탐구문제 상황에 기존의 방법을 그대로 적용하는 과정에서 올레산 분자의 개수를 구하기 위한 방법으로 탐구문제 상황에만 존재하는 속성인 송화가루를 비유 실험의 곡물에 잘못 대응시키며 송화가루의 개수를 직접 세는 절차를 계획하였다.

이런 측면에서 볼 때, 제자리이동형의 과학영재 학생들은 다른 전략의 적용 가능성을 고려하지 않고 비유 실험 상황에서 결정한 자신의 관점이 적절하다는 것을 나름대로 타당화하며 기존의 전략 및 실험 방법을 고수하는 과정을 거치는 것을 알 수 있다. 이 때, 비유 실험 활동을 떠올리고 대응 관계를 확인하는 등 비유 실험 상황을 탐구문제 상황에 연결시켜 활용하려는 시도를 하였으나, 비유 실험에 대한 이해나 대응 관계에 대한 이해가 부족하여 창의적이고 정교한 실험설계를 하지 못한 것으로 볼 수 있다.

2. 유형에 따른 과정요소별 수행수준

비유 실험을 활용한 탐구학습을 경험한 과학영재 학생들이 새로운 탐구문제에 대한 실험설계 과정에서 나타나는 과정요소별 수행수준을 유형에 따라 분석한 결과를 표 2에 제시하였다. 또한, 세 가지 유형에 따라 각 과정요소를 올바르게 수행한 학생의 빈도수를 비교한 결과는 그림 4와 같다.

확장이동형에 해당하는 학생들(RM: S5, S7, S8)의 경우, 전반적으로 모든 과정요소 및 하위요소에 대해 고르게 고려하며 대부분 올바른 수행을 하는 것으로 나타났다. 특히, 전략결정이나 가정설정의 과정요소에 대해서는 모두 올바른 수행을 하였다. 즉, 설계하고자 하는 실험의 큰 틀인 전략을 결정하는 과정에서 문제를 해결하기 위해 다양한 아이디어를 고안하고(3명), 실제 실험의 실행 가능성과 목표 부합성을 점검하여(3명) 최종적으로 하나를 선택하여 정교화 하나

표 2
유형에 따른 실험설계 과정요소의 하위요소별 수행수준

과정요소	하위요소	RM			BDM			SM	
		S5	S7	S8	S1	S3	S4	S2	S6
상황설정	목표 확인	○	○	○	○	○	○	○	○
	대상의 특성 파악	○	○	○	○	○	△	○	△
	선개념 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	○	△	○	△	○	×	×	×

×: 고려하지 않음, △: 고려하나 수행수준이 충분하지 않음, ○: 고려하여 올바르게 수행함.

가는 것으로 나타났다. 또한, 이 유형에 해당하는 모든 학생들이 자신이 구성한 실험 계획에 수반되는 가정을 설정해야 하는 필요성을 인식하고 있었으며, 전략을 활용하는 데 있어 내재된 필수조건을 올바르게 탐색함으로써 유의미한 가정을 제시하였다.

제시된 탐구문제와 같은 적용실험의 설계에서는 다양한 아이디어를 탐색하는 확산적 사고 뿐 아니라 이를 검토하고 정교화하는 비판적 사고가 요구되며 가정이나 제한점에 대한 이해가 중요하다. 이는 계획한 실험설계와 실제 실험 상황 사이에 차이가 있을 가능성을 인지하고 이를 비교해 봄으로써 발달할 수 있다 (Ekina *et al.*, 2006). 선행연구(유지연 등, 2011; Ekina *et al.*, 2010; Karelina & Etkina, 2007)에 따르면 대부분의 과학영재 학생들이 실험설계 과정 중, 가정설정과 가정의 타당화 과정 전반에서 자신의 사고를 적절한 준거를 통해 비판적으로 점검하는 능력이 부족한 것으로 보고되고 있다. 그러나 확장이동형의 사고과정을 거치는 학생들의 경우에는 가정설정의 필요성이나 설정한 가정에서 발생 가능한 제한점에 대해 올바르게 인식할 뿐 아니라 필수조건을 구체

적으로 파악하여 의미 있는 가정을 제시한 것으로 나타났다. 예를 들어, 학생 S7의 경우 실제로 비유 실험 상황과 탐구문제 상황의 유사점과 차이점을 체계적으로 검토하는 과정을 거침으로써 자신이 계획한 실험의 제한점을 인식하여 타당한 가정을 설정하는 것으로 나타났다.

[S7의 사후면담]

면담자: 그런 가정들을 하는데 도움이 되었던 것이 있다면 좀 자세히 말해줄래?
 S1: 아까 곡물실험에서 가정했던 내용이요, 한 층이고 한 층의 틈이 전혀 없었던가 그런 내용을 여기에 적용했죠. 그 콩 실험에서 실험할 때 이런 가정이 있어야 실험결과가 정확히 나오고 이런 거라고 생각을 했죠. 차이점은 올레산은 매우 미세하니까요, 눈으로 확인할 수는 없잖아요. 그러니까 가정을 하는거죠. 아까 곡물 실험에서도 틈새 같은 걸 최대한 메우려고 이 층으로 쌓이

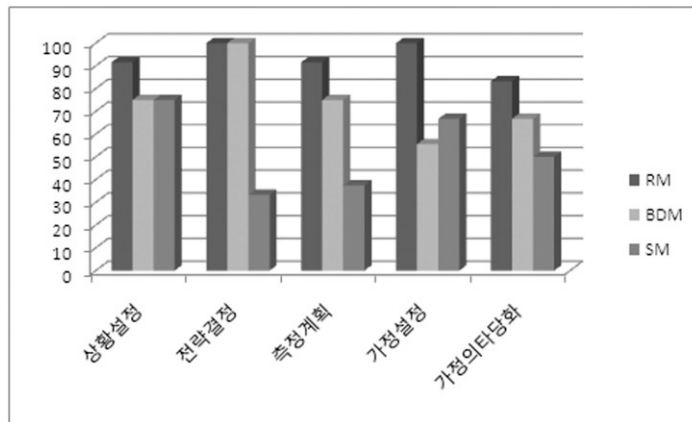


그림 4 유형에 따른 과정요소별 수행수준 비교

지 않도록 잘 이렇게 다쳐주고, 유사하죠. 한 마디로 이거랑. 여기서는 손으로 쳐줄 수는 없으니까 이층으로 서지 않게 하려면 잘 퍼지도록 이렇게 해주면 되는거죠.

이는 해당 과학영재들이 비유 실험과 탐구문제 상황의 대응 관계를 심층적으로 파악하며, 비유 실험을 자신이 계획한 실험을 비판적으로 점검하기 위한 준거로 유용하게 활용할 수 있었기 때문으로 볼 수 있다. 이런 측면에서 비유 실험을 활용한 탐구학습이 과학영재의 실험설계 수행에 긍정적인 영향을 미쳤을 가능성이 있음을 알 수 있다.

후진-확산이동형에 해당하는 학생들(BDM: S1, S3, S4)의 경우에는 가정을 타당화하기 위한 구체적인 방법의 제시(S4)와 관련된 하위요소를 제외하고 대체로 모든 과정요소 및 하위요소에 대해 고려한 것으로 나타났다. 그 중, 전략결정 과정요소에 대해서는 해당학생 모두 올바른 수행을 한 것으로 나타났다. 즉, 비유 실험 상황과 탐구문제 상황을 대응시키며 다른 관점에서 해결 전략을 탐색하고, '실행 가능성'이나 '목표 부합성'과 같은 유의미한 준거를 바탕으로 전략을 점검하는 것으로 나타났다. 예를 들어, S4의 경우, 탐구문제에 대한 실험설계 과정에서 콩과 올레산을 대응시키며 '콩과 올레산 두 물질이 모두 구 모양이다'라는 유사점을 파악하여 비유 실험에서 활용한 전략을 사용하였다. 즉, 전체 부피를 콩의 개수로 나누어 한 개의 부피를 구한 후 공식을 사용하여 콩의 반지름을 구했던 방법을 적용하려고 시도하였다. 그

리나 올레산 분자의 개수를 실제 실험에서 셀 수 있을지 여부에 대해 점검하며 콩의 크기와 올레산 분자의 크기가 서로 다르다는 차이점을 인식하였다. 이에 콩의 개수는 직접 셀 수 있지만 올레산 분자의 개수는 직접 셀 수 없음을 인지하고 간접적인 관점에서 새로운 방법을 탐색하였다. 이러한 결과는 비유 실험을 활용한 탐구학습이 비유 실험 상황과 주어진 탐구문제 상황의 관계를 통해 정보를 재구성하여 새로운 심상을 형성하고 이를 새로운 상황에 전이하는 것을 촉진시켰을 가능성이 있음을 시사한다(Mayo, 2001). 다음은 이와 관련하여 비유를 활용한 탐구학습의 유용성에 대한 인식을 묻는 질문에 대한 해당 과학영재 학생들의 응답 예시이다.

[비유 실험의 유용성에 대한 과학영재 학생들의 응답]

유사한 상황이랑 연결 지어서 생각할 수 있게 해준 점. 같은 점이 있고 다른 점이 있잖아요. 같은 점은 같은 점대로 이용하고 다른 점은 다른 점대로 이용하니까요. 그 두 개의 공통점과 차이점을 이렇게 떠올리면요 그게 이렇게 다르게 방법을 하느냐 아니면 콩처럼 똑같이 하느냐 그런 거를 이렇게 다르게 해야겠다고 하는데 도움을 줬어요. (S3)

제일 먼저 떠오른 것이 직육면체. 근데 올레산은 직육면체로 퍼지게 할 수 없으니까. 그래도 어찌되었든 퍼지는 대로 해도 어떤 도형은 나올꺼잖아요. 그러면 어떤 도형이든 밑면이랑 윗면이 평행일 것 같

아서. 이해하기가 쉬웠어요. (S4)

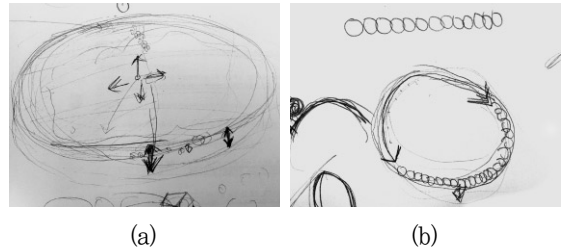
그러나 학생 S4는 전략을 활용하는 데 필요한 모든 조건을 파악하지는 못하였으며, 필수조건을 올바르게 파악한 S1과 S3의 경우에도 ‘올레산의 부피는 정확히 1mL라고 가정한다’와 같이 실험 과정에서 어려움이 발생할 수 있는 부분에 대해 실험상의 편의를 위한 임의적인 가정을 추가적으로 제시하기도 하였다. 또한, S4는 자신이 계획한 실험 과정에 잠재되어 있는 제한점에 대해 인식하였으나 이를 해결하기 위한 구체적인 방법은 제시하지 못하였다.

이는 비유 실험을 활용한 실험설계에서 후진-확산 이동형의 사고과정을 거치는 학생들이 시행착오를 통해 유의미한 방향으로 관점을 전환할 수는 있었지만 심층적인 대응관계를 파악하는 데 미흡한 부분이 있어 비유 실험 뿐 아니라 자신이 구성한 실험 계획을 비판적으로 점검하지 못했기 때문으로 볼 수 있다. 따라서 비유 실험과 탐구문제 상황의 유사점과 차이점을 보다 구체적으로 파악할 수 있도록 안내하여 과학영재들이 탐구문제를 해결하는 데 있어 비유 실험을 효과적으로 활용할 수 있도록 도울 필요가 있다.

제자리이동형에 해당하는 학생들(SM: S2, S6)의 경우에는 상황을 설정하고 측정계획을 세우는 과정요소에 대해 다소 미흡한 부분이 있지만 모든 하위요소를 고려한 것으로 나타났다. 주어진 탐구문제를 해결하기 위해서는 올레산 분자를 한 층으로 배열하는 것과 같이 추상적인 상황을 구체화시켜 이해하는 것이 필수적이나 학생들은 물질의 입자성과 관련된 추상적인 개념을 이해하는데 어려움을 겪으며(Singer *et al.*, 2003; Snir *et al.*, 2003), 인지적 수준이 높을 것으로 기대되는 과학영재 학생들도 이러한 능력이 미흡한 것으로 보고되고 있다(유지연 등, 2011). 그러나 비유 실험을 활용한 경우, 학생들이 추상적인 상황에 대해 입자 수준에서 그림을 그려 표현하는 등 상황을 구체적으로 설정하고 묘사하는 것으로 나타났다. 따라서 학생들에게 친숙한 곡물과 같이 추상적인 개념을 가시화하는 비유물(Duit *et al.*, 2001; Treagust *et al.*, 1998)로 학생들에게 친숙한 곡물을 사용한 비유 실험 활동이 추상적이고 이해하기 어려운 문제 상황을 상상 가능하고 구체적인 상황으로 바꾸어 생각하는데 도움이 된 것으로 해석할 수 있다. 다음은 이와 관련된 학생 S6의 실험설계 내용의 예시이다.

[S6의 발생사고과정에서 나타난 설계 내용과 설계지 기록 그림]

우선은요. 이 올레산이요. 이게 뭉쳤으니까요. 막 엄청나게 대중목욕탕을 덮을 정도로 퍼짐성이 크진 않을 거잖아요? 그럼요. 올레산 한 방울을 스포이트에 넣어요. 그 다음에 그거를요 넓은 쟁반에다가 떨어 드리면요 이게 넓게 퍼지잖아요. 이렇게 되게 얇은 막으로 여기에 이렇게 짝 퍼질 거 아니에요(그림a). 거기에 이제 올레산 분자가 이렇게 층을. 아니 그러니까 하나하나 이렇게 해가지고 여기 짝 퍼지잖아요. 한 층으로(그림b).



그러나 학생 S6은 실험의 실행 가능성을 전혀 고려하지 않고 비유 실험에서 자신이 사용한 기존 전략을 새로운 문제 상황에 그대로 적용하였다. 또한 그 전략을 적용하는데 수반되는 필수조건을 고려하지 못하고 임의적으로 가정을 설정하기도 하였다. 또한, S2와 S6 모두 설정한 가정을 타당화하기 위한 구체적인 방법에 대해서는 전혀 고려하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 SM형의 학생들이 비유 실험과 탐구문제 상황을 유사한 것으로 인식하기는 하나 비유 실험에서 제시된 다양한 관점의 적용 가능성을 탐색하지 못하기 때문으로 해석할 수 있다. 따라서 학생들이 비유 실험에서 제시된 다양한 관점과 방법들의 특성 및 제한점 등을 정확히 이해하여 유의미한 실험설계를 할 수 있도록 도울 필요가 있다.

이상의 결과들로 볼 때, 비유 실험을 활용한 탐구학습은 과학영재들이 탐구와 관련된 다양한 심상을 효과적으로 활용할 수 있도록 자극함으로써 비판적이고 창의적인 사고를 촉진하여 실험설계 과정에서 요구되는 다양한 하위요소에 대한 고려 및 올바른 수행에 긍정적인 영향을 미칠 가능성이 있음을 알 수 있다. 즉, 학생들은 상황을 설정하고 전략을 결정하는 과정에서 비유 실험에서의 심상을 떠올려 비유적 추론한다. 이

를 통해 비유 실험을 주어진 탐구문제에 연결하고 이 과정에서 형성된 탐구문제 상황에 대한 심상을 비유 실험 상황에서의 심상과 비교하면서 통합, 변환, 조합으로써 실험과정을 보다 정교화할 수 있다. 그러나 비유 실험에 대한 이해가 부족하거나 비유 실험과 탐구문제 상황을 피상적으로만 대응하는 경우 비유 실험을 효과적으로 활용하는 데 한계가 있을 수 있음을 알 수 있다. 따라서 실험설계 과정에서 비유 실험을 적절히 활용함으로써 보다 창의적이고 정교한 실험설계를 할 수 있도록 도울 수 있는 방안을 마련할 필요가 있다.

IV. 결론 및 제언

이 연구에서는 탐구학습에서 과학적 창의성을 개발하기 위해 활용할 수 있는 비유 실험 활동을 개발, 적용하여 비유 실험을 활용한 탐구학습이 학생들의 실험설계 과정에 미치는 영향을 심층적으로 조사하였다.

우선, 과학영재 학생들이 비유 실험을 활용하여 새로운 탐구문제를 해결하기 위한 실험설계 과정의 유형을 창의적 사고과정의 유형에 따라 분석한 결과, 확장이동형, 후진-확산이동형, 제자리이동형의 세 가지 유형이 나타났다. 확장이동형에 속하는 학생들의 경우, 비유 실험에 대한 명확한 이해를 바탕으로 비유 실험과 탐구문제 상황 사이의 대응관계를 심층적으로 파악함으로써 탐구문제를 해결하기 위한 새로운 관점을 선택하여 정교한 실험설계를 수행하는 것으로 나타났다. 후진-확산이동형의 학생들은 비유 실험에서의 관점을 탐구문제에 그대로 적용하여 실험설계를 시도하였으나 대응 과정에서 현재의 관점이 부적절함을 인식하고 새로운 방향으로 관점을 전환하였다. 그러나 대응 수준이 피상적이어서 보다 구체적인 실험을 계획하는데 어려움을 겪는 것으로 나타났다. 제자리이동형에 해당하는 학생들은 기존의 관점을 계속 유지하려고 하는 경우로 비유 실험을 문제 상황에 연결시켜 활용하려고 시도하나 비유 실험에 대한 이해나 대응관계에 대한 이해 수준이 부족하여 적절한 실험설계를 수행하지 못하는 것으로 나타났다.

한편, 각 유형에 따라 실험설계 과정요소별 수행도를 분석한 결과, 확장이동형의 학생들은 전반적으로 모든 과정요소를 고르게 고려하였다. 특히, 전략결정이나 가정설정과 관련된 과정요소에 대해서는 모두

올바른 수행을 한 것으로 나타났으며 다른 유형의 학생들에 비해 가정의 타당화 요소에 대한 고려도 상대적으로 잘 이루어진 것으로 나타났다. 후진-확산이동형에 해당하는 학생들의 경우에는 전략결정의 요소에 대해 모두 올바른 수행을 하였으며 대체로 모든 과정 요소에 대해 고려하였다. 그러나 전략을 활용하는 데 수반되는 유의미한 가정을 설정하는데 다소 미흡한 부분이 있었으며, 이를 타당화하기 위한 구체적인 방법을 제시하지 못하는 경우가 있었다. 제자리이동형의 경우, 모든 하위요소를 올바르게 수행한 과정요소는 없었으나 상황을 설정하고 측정계획을 세우는 과정 요소에 대해서는 모든 하위요소를 고려한 것으로 나타났다. 그러나 전략을 결정하는 과정에서 실행가능성을 점검하지 못하고 전략을 활용하는 데 수반되는 필수조건을 파악하지 못하는 경우가 있었으며 해당 학생 모두 설정한 가정을 타당화하기 위한 구체적인 방법을 탐색하지 못하는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 실험설계 과정에서 비유 실험을 이해하고 활용하는 수준에 따라 비유 실험을 활용한 탐구학습이 과학영재의 실험설계 수행능력 및 창의적 사고에 미치는 영향이 달라질 수 있음을 의미한다. 따라서 과학영재 학생들이 비유 실험에 대해 명확히 이해했는지를 확인하는 것뿐만 아니라, 대응 관계를 명료화하여 보다 타당하고 정교한 실험설계 수행이 이루어질 수 있도록 구체적이고 체계적인 안내가 이루어질 필요가 있다. 또한, 과학영재 학생들이 자신이 생각한 실험계획의 적절성을 문제 해결 가능성, 실제 실험의 수행 가능성, 실험 과정에 내재된 가정이나 제한점 등의 측면에서 비판적으로 점검하여 실험설계를 더욱 정교화할 수 있는 구체적인 방안을 마련할 필요가 있다. 예를 들어, 새로운 탐구문제에 대한 실험설계 수행에 앞서 비유 실험의 내용을 각 과정요소별로 정리하도록 함으로써 비유 실험의 특징 및 제한점 등을 보다 체계적이고 명확하게 이해할 수 있도록 도울 수 있을 것이다. 또한, 과학영재들이 비유 실험을 활용하여 자신이 계획한 실험과정을 점검하는 기회를 제공할 수 있다. 이 과정에서 과학영재들은 비유 실험과 문제 상황의 유사점과 차이점을 대응시키며 유의미한 증거들을 유추하고 이를 기반으로 체계적인 검토 과정을 거쳐 자신이 계획한 실험에 내재된 제한점 등에 대해 반성적이며 비판적으로 평가할 수 있을 것이다.

또한, 소집단 토론을 활용한 수업에서는 학생들이 스스로 자신의 사고과정을 드러냄으로써 동료들에게 자신의 생각을 표출하고 의견을 교환하며, 동료들로부터 피드백을 받아 수정·보완하는 과정을 거칠 수 있다. 이는 자신의 사고를 명확히 파악하는데 도움이 될 뿐만 아니라, 창의적이고 비판적인 사고과정을 경험할 수 있도록 해 준다. 따라서 추후 연구에서는 본 연구 결과에 근거하여 과학영재의 탐구학습에서 창의성 계발을 촉진할 수 있는 비유를 활용한 실험설계 전략을 개발하고 과학영재 수업에서 주로 이루어지고 있는 수업 형태인 소집단 활동에 적용하여 그 효과와 수행 양상을 심층적으로 조사할 필요가 있다.

한편, 실험설계에서 나타나는 과학영재의 사고과정은 실험의 종류 및 특성에 따라 달라질 가능성이 있으므로 다양한 실험 상황에 대한 비유 실험을 개발·적용하여 학생들이 거치는 사고과정 및 비유 실험의 영향을 조사하는 연구가 지속적으로 이루어질 필요가 있다. 이 연구는 특정 실험 상황에 대해 소수의 학생만을 대상으로 발생사고 및 면담 방법 등을 통해 심층적이고 실질적인 정보를 얻는데 중점을 두고 연구를 진행했다. 따라서 이 연구 결과를 모든 실험 상황과 학생들에게 일반화하는 데 한계가 있으므로, 이 연구 결과에 기초하여 보다 더 많은 대상과 다양한 실험을 대상으로 하는 연구를 진행할 필요가 있다.

국문 요약

이 연구에서는 탐구학습에서 과학적 창의성을 개발하기 위해 활용할 수 있는 비유 실험 활동을 개발, 적용하여 비유 실험을 활용한 탐구학습이 중학교 1학년 과학영재 학생들의 실험설계 과정에 미치는 영향을 조사하였다. 과학영재 학생들의 실험설계 과정을 창의적 사고과정의 유형에 따라 분류하고 각 유형에 따른 특징 및 실험설계 과정요소별 수행수준을 분석하였다. 비유 실험을 활용한 실험설계 과정의 유형은 확장이동형, 후진-확산이동형, 제자리이동형의 세 가지 유형이 나타났다. 확장이동형은 대응 관계를 심층적으로 파악함으로써 새로운 관점에서 전반적으로 모든 과정요소를 고려하며 정교한 실험설계를 수행하였다. 후진-확산이동형은 비유 실험을 활용해 새로운 방향으로 관점을 전환하지만 대응의 수준이나 과정요소에 대한 고려에 미흡한 부분이 있어 실험설계의 구체성

이 다소 부족한 것으로 나타났다. 제자리이동형은 기존의 관점을 새로운 문제 상황에 그대로 적용하고 필요한 과정요소를 고르게 고려하지 못하며 적절한 실험설계를 수행하지 못하는 것으로 나타났다. 이에 대한 교육적 함의를 논의하였다.

참고 문헌

- 김경순, 양찬호, 노태희 (2009). 화학 개념학습에서 역할놀이 비유가 대응 관계 이해도 및 대응 오류에 미치는 영향. *한국과학교육학회지*, 29(8), 898-909.
- 김유정 (2011). 과학영재를 위한 비유 생성 수업 전략의 개발 및 적용. 서울대학교 대학원 박사 학위 논문.
- 김유정, 문세정, 노태희 (2009). 크로마토그래피 개념에 대해 중학교 과학영재가 만든 비유의 유형과 대응 오류 및 비유 만들기 활동에 대한 인식 조사. *한국과학교육학회지*, 29(8), 861-873.
- 김종백 (2006). 과학영재를 위한 교수-학습 전략. *영재와 영재교육*, 5(2), 19-32.
- 노태희, 양찬호, 강훈식 (2010). 초등학교 5학년 과학영재와 일반 학생들의 포화 용액 개념에 대한 비유 만들기 과정의 유형과 비유 만들기에 대한 인식. *초등과학교육*, 29(2), 219-232.
- 류설진 (2009). 생물학자와 과학영재의 실험설계 활동에서 나타나는 과정요소와 특성 분석. *한국교원대학교 대학원 석사 학위 논문*.
- 박종원 (2004). 과학적 창의성 모델의 제안. *한국과학교육학회지*, 24(2), 375-386.
- 박지영, 이길재, 김성하, 김희백 (2005). 과학영재 교육 프로그램 분석 모형의 고안과 국내의 과학영재를 위한 생물프로그램의 실태 분석. *한국생물교육학회지*, 33(1), 122-131.
- 성은현 (2001). 심상적 사고를 통한 창의력 증진 프로그램 개발 및 효과 검증. *한국심리학회지*, 14(1), 161-180.
- 유지연, 박연옥, 양찬호, 노태희 (2011). 과학영재들의 적용실험 설계 과정에서 나타나는 과정요소 및 특징. *한국과학교육학회지*, 31(4), 528-538.
- 정현철, 한기순, 김병노, 최승언 (2002). 과학 창의성 개발을 위한 프로그램 개발 -이론과 예시를 중심으로-. *한국지구과학회지*, 23(4), 334-348.

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.

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.

Duit, R., Roth, W., Komorek, M., & Wilbers, J. (2001). Fostering conceptual change by analogies: Between scylla and charybdis. *Learning and Instruction*, 11(4), 283-303.

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. (2006). Using introductory labs to engage students in experimental design. *American Journal of Physics*, 74(11), 979-986.

Han, K. (2000). Varieties of creativity: Investigating the domain-specificity of creativity in young children. Unpublished doctoral dissertation, University of Nebraska, NE.

Hu, W., & Adey, P. (2002). A scientific creativity test for secondary school students. *International Journal of Science Education*, 24(4), 389-403.

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

Kipnis, N. (2005). Scientific analogies and

their use in teaching science. *Science and Education*, 14(3), 199-233.

Matthew, B. M., & Huberman, A. M. (1994). *Qualitative data analysis: An expanded sourcebook*. Thousand Oaks, London, New Delhi: SAGE Publications.

Mayo, J. A. (2001). Using analogies to teach conceptual applications of developmental theories. *Journal of Constructivist Psychology*, 14(3), 187-213.

Rule, A. C., & Furletti, C. (2004). Using form and function analogy object boxes to teach human body systems. *School Science and Mathematics*, 104(4), 155-169.

Singer, J. E., Wu, H., & Tal, R. (2003). Students' understanding of the particulate nature of matter. *School Science and Mathematics*, 103(1), 28-44.

Snir, J., Smith, C. L., & Raz, G. (2003). Linking phenomena with computing underlying models: A software tool for introducing students to the particulate model of matter. *Science Education*, 87(6), 794-830.

Solomon, J. (1980). *Teaching children in the laboratory*. London: Croom Helm.

Sternberg, R. J., Kaufman, J. C., & Pretz, J. E. (2002). *The creativity conundrum: A propulsion model of kinds of creative contributions*. New York: Psychology Press.

Treagust, D. F., Harrison, A. G., & Venville, G. J. (1998). Teaching science effectively with analogies: An approach for pre-service and in-service teacher education. *Journal of Science Teacher Education*, 9(2), 85-101.

Wellington, J. (2004). *Practical work in school science: Which way now?* London: Routledge.